การเลือกชุดพารามิเตอร์สำหรับระเบียบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ในการคำนวณย้อนกลับหาค่าโมดูลัสชั้นทางแอสฟัลต์คอนกรีต

SELECTION OF GENETIC ALGORITHM PARAMETERS FOR BACKCALCULATION OF LAYER MODULI OF ASPHALT CONCRETE PAVEMENT

จักรพงษ์ นามหาไชย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การเลือกชุดพารามิเตอร์สำหรับระเบียบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม
ในการคำนวณย้อนกลับหาค่าโมดูลัสชั้นทางแอสฟัลต์คอนกรีต

จักรพงษ์ นามหาไชย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเลือกชุดพารามิเตอร์สำหรับระเบียบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในการคำนวนย้อนกลับหาค่าโมดูลัสชั้นทางแอสฟัลต์คอนกรีต Selection of Genetic Algorithm Parameters for Backcalculation of Layer Moduli of Asphalt Concrete Pavement
ชื่อ - นามสกุล	นายจักรพงษ์ นามหาไชย
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์พุทธพล ทองอินทร์ดำ, Dr.-Ing.
ปีการศึกษา	2556

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปิติศานต์ กร้ำมาตร, ปร.ด.)

.... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัยณรงค์ อธิสกุล, ปร.ด.)

.... กรรมการ
(อาจารย์บุญชัย ผึ้งไผ่งาม, ปร.ด.)

.... กรรมการ
(อาจารย์พุทธพล ทองอินทร์ดำ, Dr.-Ing.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)
วันที่ 18 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2557

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเลือกชุดพารามิเตอร์สำหรับระเบียบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ในการคำนวณย้อนกลับหาค่าโมดูลัสชั้นทางแอสฟัลต์คอนกรีต
ชื่อ - นามสกุล	นายจักรพงษ์ นามหาไชย
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์พุทธพล ทองอินทร์ดำ, Dr.-Ing.
ปีการศึกษา	2556

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการประเมินกำลังรับน้ำหนักของโครงสร้างทาง ด้วยวิธีการคำนวณย้อนกลับจากค่าการยุบตัวของผิวทาง มักพบกับปัญหาจุดต่ำสุดเฉพาะที่ของพื้นผิวคำตอบ ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ระเบียบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหานี้ได้อย่างประสบความสำเร็จ ในขณะที่การใช้เทคนิคแบบใหม่ของระเบียบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการค้นหาคำตอบกลับก่อให้เกิดการเพิ่มของตัวแปรที่มากขึ้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาการคัดเลือกชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการคำนวณย้อนกลับเพื่อหาค่าโมดูลัสชั้นทางแอสฟัลต์คอนกรีต โดยในการศึกษาได้มีการกำหนดและสุ่มชุดตัวอย่างของชุดพารามิเตอร์นี้ด้วยหลักการทางสถิติ และทำการวิเคราะห์เพื่อประเมินความเหมาะสมทั้งจากแบบจำลองโครงสร้างทางที่สมมุติขึ้นและจากข้อมูลการทดสอบจริงในสนาม โดยใช้ระดับความถูกต้องของผลคำตอบที่ต้องการและภาระการคำนวณของคอมพิวเตอร์ เป็นเกณฑ์ตัดสินเพื่อคัดเลือกชุดพารามิเตอร์

ผลการศึกษาพบว่าชุดพารามิเตอร์ที่เลือกให้ค่าความคลาดเคลื่อนของผลคำตอบส่วนใหญ่น้อยกว่าร้อยละ 3 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยชุดพรามิเตอร์ที่เหมาะสมคือ มีจำนวนรุ่นสูงสุด 100 รุ่น ขนาดประชากรเท่ากับ 40 ใช้อัตราการผสมข้ามแบบสม่ำเสมอ การกลายพันธุ์แบบกระโดดและการกลายพันธุ์แบบคืบ เท่ากับ 0.77, 0.016 และ 0.140 ตามลำดับ รวมถึงมีการเปิดใช้การคัดเลือกผู้นำและวิธีกลุ่มเฉพาะ

คำสำคัญ: ระเบียบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม การคำนวณย้อนกลับ ค่าโมดูลัสชั้นทาง

Thesis Title	Selection of Genetic Algorithm Parameters for Backcalculation of Layer Moduli of Asphalt Concrete Pavement
Name - Surname	Mr. Chakrapong Nammahachai
Program	Civil Engineering
Thesis Advisor	Mr. Puttapon Thongindam, Dr.-Ing.
Academic Year	2013

ABSTRACT

Recently, backcalculation from pavement surface deflections has been used to evaluate layer moduli of asphalt concrete road structure. It was found that the local minima occur from the process mentioned. Genetic algorithms (GAs) have been used successfully in the past for backcalculation program by showing the capability to overcome the local minima problem. While the introduction of new GA techniques are of importance for improvement of solution accuracy, this makes selection of GA parameters more complicate.

Hence, this research focuses on the selection of optimal GA parameters to be adopted for backcalculation of layer moduli of asphalt concrete pavement. A number of parameter sets have been randomly generated using statistical method. The generated parameter sets have been evaluated by the level of accuracy desired and the corresponding computational effort. The selected parameters have been evaluated using some hypothetical and field problems.

The results show that the optimal GA parameter set could, in most of the cases, decrease the root mean square error to less than 3% which is considered as acceptable. The optimal GA parameter set found in this study are as follow: number of generations: 100, number of population: 40, uniform crossover probability: 0.77, jump mutation probability: 0.016, creep mutation probability: 0.140 with elitism and niching.

Keywords: genetic algorithms, backcalculation, pavement layer moduli

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือเป็นอย่างดีของ ดร.พุทธพล ทองอินทร์ดำ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิติศานต์ กร้ำมาตร ดร.บุญชัย ผึ้งไผ่งาม กรรมการสอบ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยณรงค์ อธิสกุล ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชา บ่มเพาะจนผู้วิจัยสามารถนำเอาหลักการมาประยุกต์ใช้และอ้างอิงในงานวิจัยขั้นตอนนี้

ขอขอบคุณบุคลากร สำนักงานบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ทุกคนที่เป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือแนะนำตลอดจนให้คำปรึกษาตลอดช่วงเวลาของการศึกษาและการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ กรมการบินพลเรือน (Department of Civil Aviation) ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลการทดสอบของท่าอากาศยานเพชรบูรณ์ ด้วยเครื่องทดสอบการยุบตัวด้วยลูกตุ้มกระแทก (Falling Weight Deflectometer, FWD) และศูนย์วิจัยเทคโนโลยีผิวทางถนนและท่าอากาศยาน (RAPTRE) ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่เอื้อเฟื้อเอื้อเฟื้อเครื่องมือและซอฟแวร์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ตลอดจนสถานที่ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ และมอบความดีทั้งหมดนี้ให้แก่ คุณพ่อ คุณแม่ พี่น้อง เพื่อนที่แสนดีและคณะครู-อาจารย์ ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ จนสามารถดำเนินการวิจัยและจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจ หากวิจัยฉบับนี้ขาดตกบกพร่อง หรือไม่สมบูรณ์ประการใด ผู้วิจัยขอกราบขออภัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

จักรพงษ์ นามหาไชย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .... (3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... (4)
กิตติกรรมประกาศ .... (5)
สารบัญ .... (6)
สารบัญตาราง .... (8)
สารบัญรูป .... (9)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ .... (11)
บทที่ 1 บทนำ 12
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 12
1.2 วัตถุประสงค์ 16
1.3 ขอบเขต 16
1.4 ขั้นตอนการวิจัย 16
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 17
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 18
2.1 ลักษณะทางกายภาพและการประเมินความแข็งแรงของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตในประเทศไทย 18
2.2 การคำนวณย้อนกลับหาค่าโมดูลัสชั้นทาง 20
2.3 ระเบียบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm, GA) 28
2.4 ระเบียบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในการคำนวณย้อนกลับ 29
2.5 โปรแกรมคำนวณย้อนกลับแกมเล็ท (GAMLET) 30
2.6 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ 32
2.7 ทฤษฎีการสุ่มตัวอย่าง 35
2.8 การวิเคราะห์เพื่อเลือกชุดพารามิเตอร์ 36
2.9 การทดสอบหาค่าการยุบตัวด้วยเครื่องมือ FWD ในสนาม 37
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 42
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย 43

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2 วิธีการดำเนินงาน 44
3.3 การทดสอบ FWD บริเวณทางวิ่งของท่าอากาศยานเพชรบูรณ์ 48
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ 53
4.1 การวิเคราะห์เพื่อเลือกชุดพารามิเตอร์ 53
4.2 ภาระการคำนวณของโปรแกรมแก็มเล็ททียบกับโปรแกรมอื่นที่ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม 62
4.3 ประสิทธิภาพของโปรแกรมแก็มเล็ทในการคำนวณข้อมูลจริงในสนามเทียบกับโปรแกรมเชิงพาณิชย์ 62
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 64
5.1 สรุปผลการวิจัย 64
5.2 ข้อเสนอแนะ 65
รายการอ้างอิง 66
ภาคผนวก 71
ภาคผนวก ก ผลการคำนวณหาค่าการยุบตัวจากแบบจำลองโครงสร้างทางโดยใช้โปรแกรม BISAR 3.0 72
ภาคผนวก ข รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการสุ่ม 84
ภาคผนวก ค ผลการคำนวณย้อนกลับจากข้อมูลผลการทดสอบด้วยเครื่อง FWD บริเวณทางวิ่งของสนามบินเพชรบูรณ์ 170
ภาคผนวก ง ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่ 172
ประวัติผู้เขียน 192

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ค่าอัตราส่วนปัวซ์ซอง (μ) โดยทั่วไปของวัสดุชั้นทางที่แนะนำโดย AASHTO............25
ตารางที่ 2.2 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (E) โดยทั่วไปของวัสดุชั้นทางที่แนะนำโดย AASHTO 26
ตารางที่ 2.3 ลักษณะโครงสร้างชั้นทางที่ Reddy และคณะสมมุติขึ้น..34
ตารางที่ 2.4 สรุปค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณย้อนกลับหาค่าโมดูลัสชั้นทาง...........................34
ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างตำแหน่งการวางตัวของอุปกรณ์วัดค่าการยุบตัวที่ใช้ในแต่ละหน่วยงาน 39
ตารางที่ 2.6 รายละเอียดทางเทคนิคของเครื่องมือ FWD แต่ละรุ่น 41
ตารางที่ 3.1 วิธีการเลือกช่วงของค่าพารามิเตอร์สำหรับการคำนวณย้อนกลับด้วยโปรแกรม
แกมเล็ก 46
ตารางที่ 3.2 ตำแหน่งและระยะห่างของจุดทดสอบที่ใช้ทั่วไปสำหรับทางวิ่งและทางขับ.................49
ตารางที่ 4.1 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์ที่มีค่าความเหมาะสมมากที่สุด 10 อันแรก 58
ตารางที่ 4.2 ตัวอย่างบางส่วนของค่าโมดูลัสชั้นทางที่ได้จากการคำนวณย้อนกลับ 59
ตารางที่ 4.3 รายละเอียดของชุดพารามิเตอร์ที่ความคลาดเคลื่อนต่ำสุดและชุดพารามิเตอร์ที่มี
ประสิทธิภาพสูงสุด 61

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 สาเหตุความเสียหายของผิวทางที่เกิดจากรถบรรทุก 13
รูปที่ 1.2 การตรวจสอบเพื่อประเมินความเสียหายของถนน 13
รูปที่ 2.1 รูปแบบทั่วไปของโครงสร้างชั้นทางแอสฟัลต์คอนกรีต 18
รูปที่ 2.2 ตำแหน่งตัวแปรทางกลศาสตร์ที่ใช้วิเคราะห์โครงสร้างชั้นทางแอสฟัลต์คอนกรีต 20
รูปที่ 2.3 หน่วยแรงและค่าการยุบตัวที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกกระทำแบบวงกลมของ Boussinesq 21
รูปที่ 2.4 หลักการของทฤษฎีความหนาเทียบเท่า (MET) 22
รูปที่ 2.5 หลักการของทฤษฎียืดหยุ่นหลายชั้นทาง (MLET) 23
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างพื้นผิวคำตอบของระบบชั้นทาง 2 ชั้น ที่ใช้ค่า *RMSE* เป็นดัชนีชี้วัดคำตอบ 27
รูปที่ 2.7 ลักษณะการทำงานของเครื่องมือ FWD [42] 38
รูปที่ 3.1 เครื่องมือทดสอบการยุบตัวด้วยลูกตุ้มกระแทก รุ่น Dynatest Model 8000 43
รูปที่ 3.2 เครื่องมือ Ground Penetrating Radar (GPR) 44
รูปที่ 3.3 แบบจำลองโครงสร้างโครงสร้างชั้นทางที่ใช้ในการพิจารณา 45
รูปที่ 3.4 ผังบริเวณของพื้นที่ทดสอบ FWD บริเวณทางวิ่งของท่าอากาศยานเพชรบูรณ์ 48
รูปที่ 3.5 แนวการทดสอบ FWD บริเวณทางวิ่งของท่าอากาศยานเพชรบูรณ์ 50
รูปที่ 3.6 การทดสอบ FWD บริเวณทางวิ่งของของท่าอากาศยานเพชรบูรณ์ 51
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหมาะสมและจำนวนรุ่นสูงสุด 54
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหมาะสมและจำนวนประชากร 55
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหมาะสมและค่าอัตราการผสมข้าม 55
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหมาะสมและค่าอัตราการกลายพันธุ์แบบกระโดด 56
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหมาะสมและค่าอัตราการกลายพันธุ์แบบคืบ 56
รูปที่ 4.6 ค่าความเหมาะสมที่ได้จากการตั้งค่าชุดพารามิเตอร์ที่ต่างกัน 57
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหมาะสมและค่า *CE* 58
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนของค่าโมดูลัสชั้นทางและค่า *RMSE* กับ ค่า *CE* ของพารามิเตอร์ทั้ง 77 ชุด 60
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนของค่าโมดูลัสชั้นทางและค่า *RMSE* กับ ค่า *CE* หลังจากคัดเลือกเพื่อสังเกตแนวโน้มของค่าความคลาดเคลื่อน 61

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.10 ค่า *CE* ของโปรแกรมแก็มเล็ทเทียบกับโปรแกรมอื่นที่ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม 62
รูปที่ 4.11 ค่า *RMSE* ที่ได้จากการคำนวณย้อนกลับของข้อมูลผลการทดสอบด้วยเครื่อง FWD บริเวณทางวิ่งของสนามบินเพชรบูรณ์ 63

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

μ_i	ค่าอัตราส่วนปัวซ์ซองของวัสดุชั้นทางที่ i
CE	Computational Effort (ภาระการประมวลผลของคอมพิวเตอร์)
d_i	ค่าการยุบตัวของผิวทางที่ที่วัดได้จริงที่อุปกรณ์วัดค่าที่ i
D_i	ค่าการยุบตัวของผิวทางที่คำนวณได้ที่อุปกรณ์วัดค่าที่ i
E_i	ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของชั้นทางที่ i
H_i	ความหนาของวัสดุชั้นทางที่ i
ibstmold	การปิด-เปิด การคัดเลือกผู้นำ
icreep	การปิด-เปิด การกลายพันธุ์แบบคืบ
iunifirm	การปิด-เปิด การผสมข้ามแบบสม่ำเสมอ
maxgen	จำนวนรุ่นสูงสุด
N	จำนวนอุปกรณ์วัดค่าการยุบตัว
niching	การปิด-เปิด วิธีกลุ่มเฉพาะ
numpop	ขนาดของประชากร
pcreepmu	อัตราความเป็นไปได้ของการกลายพันธุ์แบบคืบ
pcross	อัตราความเป็นไปได้ของการผสมข้ามแบบจุดเดียว
pjumpmu	อัตราความเป็นไปได้ของการกลายพันธุ์แบบกระโดด
RMSE	ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองน้อยสุด
FWD	เครื่องทดสอบการยุบตัวด้วยลูกตุ้มกระแทก
GA	ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม
GAMLET	โปรแกรมคำนวณย้อนกลับหาค่าโมดูลัสชั้นทางแกมเล็ท
MLET	ทฤษฎียืดหยุ่นหลายชั้นทาง
NDT	การทดสอบแบบไม่ทำลาย
SGA	ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมอย่างง่าย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในสภาวะปัจจุบันประเทศไทยมีการขยายตัวทางเศรษฐกิจเพิ่มขึ้นทำให้มีการคมนาคมขนส่งทางบกเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย จากรายงานประจำปี 2555 ของกรมทางหลวงพบว่าเฉพาะกรมทางหลวงเพียงหน่วยงานเดียวมีสายทางที่อยู่ในความรับผิดชอบถึง 67,793 กิโลเมตรต่อสองช่องจราจร ในจำนวนนี้เป็นสายทางที่จำเป็นต้องมีการบำรุงรักษาอยู่ถึง 66,871 กิโลเมตรต่อสองช่องจราจร หรือคิดเป็นร้อยละ 98.64 ของสายทางที่อยู่ในความรับผิดชอบ เพื่อให้ตอบโจทย์แผนยุทธศาสตร์กรมทางหลวง พ.ศ. 2555-2559 ซึ่งจากระยะทางดังกล่าวส่งผลให้ต้องสูญเสียงบประมาณในการซ่อมบำรุงถึง 23,586.60 ล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 46.78 ของงบประมาณกรมทางหลวง หรือคิดเป็นร้อยละ 0.99 ของงบประมาณประเทศ 2.38 ล้านล้านบาท) [1] โดยความเสียหายดังกล่าวมีสาเหตุมาจากสภาพการใช้งาน ปริมาณการจราจร สภาพแวดล้อม ลักษณะภูมิประเทศและภูมิอากาศ ยกตัวอย่างความเสียหายที่เกิดจากสภาพแวดล้อม เช่น การเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติ รวมไปถึงการเกิดการยุบตัวและการสไลด์ของดินคันทาง เป็นต้น [2] ส่วนด้านการใช้งานนั้นเป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าเกิดจากปริมาณการจราจร และน้ำหนักของรถบรรทุกเป็นหลัก ดังแสดงในรูปที่ 1.1 จากสถิติการจดทะเบียนรถตามกฎหมายว่าด้วยการขนส่งทางบกสะสม ณ วันที่ 30 มิถุนายน 2556 พบว่ามีรถบรรทุกจำนวน 927,441 คัน เป็นรถบรรทุกส่วนบุคคลจำนวน 713,713 คัน และรถบรรทุกไม่ประจำทางจำนวน 213,728 คัน ในจำนวนนี้รถบรรทุกส่วนหนึ่งทำการบรรทุกสิ่งของที่มีน้ำหนักเกินกว่าที่กฎหมายกำหนด [3]

จากสาเหตุดังกล่าวจึงก่อให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างชั้นทางและหากพิจารณาความเสียหายที่เกิดขึ้นนั้นสามารถแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ความเสียหายด้านการใช้งาน (Functional Failure) ได้แก่ การเกิดร่องล้อ ความขรุขระของผิวทางและการสูญเสียการยึดเกาะของผิวทาง เป็นต้น อีกส่วนหนึ่งคือ ความเสียหายด้านโครงสร้าง (Structural Failure) [4] เช่น การยุบตัวของถนน การเกิดรอยแตกต่างๆ และหลุมบ่อ เป็นต้น [5]

รูปที่ 1.1 สาเหตุความเสียหายของผิวทางที่เกิดจากรถบรรทุก [5]

ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องมีการทดสอบและวิเคราะห์เพื่อให้ทราบความเสียหายของโครงสร้างทาง เช่นในรูปที่ 1.2 เป็นการตรวจสอบเพื่อประเมินความเสียหายของถนน โดยการตรวจสอบร่องล้อ เป็นต้น พร้อมหาอายุการใช้งานที่เหลืออยู่และทำการบำรุงรักษาให้สามารถใช้งานได้ตามอายุที่ออกแบบไว้ต่อไป

ในการประเมินความเสียหาย หากเป็นทางด้านการใช้งานก็จะสามารถสังเกตได้ง่าย เช่น การสังเกตด้วยตาเปล่า แต่หากเป็นการประเมินด้านโครงสร้างนั้น จำเป็นต้องมีการทดสอบ ซึ่งมีวิธีการที่ซับซ้อนยิ่งขึ้น

รูปที่ 1.2 การตรวจสอบเพื่อประเมินความเสียหายของถนน [6]

ในการประเมินกำลังรับน้ำหนักของโครงสร้างชั้นทางนั้น สามารถกระทำได้ทั้งการทดสอบแบบทำลาย (Destructive Test) และการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Nondestructive Test, NDT)

ซึ่งการทดสอบแบบทำลายนั้น ได้แก่ การทดสอบด้วยวิธีเจาะเก็บก้อนตัวอย่าง (Coring) ส่วนการทดสอบแบบไม่ทำลาย ได้แก่ การทดสอบด้วยเครื่องมือเบนเคลแมนบีม (Benkelman Beam) [7] และทดสอบด้วยเครื่องมือทดสอบการยุบตัวด้วยลูกตุ้มกระแทก (Falling Weight Deflectometer, FWD) [8] เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันการทดสอบแบบไม่ทำลายกำลังเป็นที่นิยมโดยเฉพาะการทดสอบด้วย FWD จัดว่าเป็นวิธีการประเมินความแข็งแรงของโครงสร้างถนนและสนามบินที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นวิธีการทดสอบที่ทำได้รวดเร็วและปลอดภัยอีกทั้งยังมีความน่าเชื่อถือสูง โดยหลักการทำงานของเครื่องมือชนิดนี้คือวัดค่าการยุบตัว (Deflection) ของผิวทางที่ได้จากน้ำหนักกระทำแบบกระแทกที่เครื่องสามารถสร้างขึ้นเองได้ จากนั้นนำค่าการยุบตัวที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาความแข็งแรง อันได้แก่ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุในแต่ละชั้น ซึ่งขั้นตอนในการคำนวณทั้งหมด เรียกว่าการคำนวณย้อนกลับ (Backcalculation) [8]

การคำนวณย้อนกลับเพื่อหาค่าโมดูลัสชั้นทางจำเป็นต้องมีโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ ซึ่งสมรรถนะและประสิทธิภาพของแต่ละโปรแกรมขึ้นอยู่กับระเบียบวิธีชุดคำสั่งของโปรแกรมนั้นๆ [9] ซึ่งในปัจจุบันมีหลายเทคนิคที่แต่ละโปรแกรมเลือกใช้ในการคำนวณเช่น วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks, ANN) [10] วิธีวิทยาการศึกษาสำนึก (Heuristics) [11] แต่สำหรับวิธีที่กำลังถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างประสบความสำเร็จและกำลังเป็นที่นิยมและแพร่หลายคือขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm, GA) [12] เนื่องจากเป็นวิธีที่ขจัดปัญหาของค่าคำตอบที่ได้ขัดแย้งกับความเป็นไปได้จากมุมมองทางวัสดุวิศวกรรม ซึ่งเป็นปัญหาของโปรแกรมส่วนใหญ่ที่ใช้การคำนวณย้อนกลับ โดยมีสาเหตุหลักมาจากความซับซ้อนและประกอบด้วยจุดต่ำสุดเฉพาะที่ (Local Minima) จำนวนมากของพื้นผิวคำตอบ แต่ข้อจำกัดของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม คือ ระยะเวลาในการคำนวณที่นานขึ้น และปัญหาในการเลือกตัวแปรหรือค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเช่น จำนวนประชากรตั้งต้น (Size Population) จำนวนรุ่นของประชากรสูงสุด (Maximum Generation) อัตราการผสมข้าม (Crossover Rate) อัตราการเปลี่ยนแปลงยีนส์ (Mutation Rate) เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันได้มีนักวิจัยหลายท่านได้ศึกษาเกี่ยวกับการเลือกชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในแต่ละโปรแกรม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดระยะเวลาในการคำนวณลง [13] แต่ชุดพารามิเตอร์ดังกล่าวจะสามารถใช้ได้กับโปรแกรมนั้นๆ เท่านั้น และถ้าหากใช้เทคนิคแบบใหม่ของระเบียบขั้นตอนวิธี เชิงพันธุกรรมยิ่งทำให้จำนวนของค่าพารามิเตอร์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้การคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมมีความยากมากยิ่งขึ้น และถ้ามีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ไม่เหมาะก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการคำนวณของโปรแกรมต่ำลง ทำให้จะมีผลต่อเนื่องถึงประสิทธิภาพในการคำนวณอายุคงเหลือและการออกแบบเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างทาง

ดังนั้น การศึกษาวิจัยนี้จึงมุ่งหวังคัดเลือกชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการกำหนดค่าให้กับโปรแกรมแกมเล็ท (GAMLET) [12] จำนวน 9 พารามิเตอร์ ประกอบด้วย จำนวนรุ่นสูงสุด ขนาดประชากร อัตราการผสมข้าม การกลายพันธุ์แบบกระโดดและการกลายพันธุ์แบบคืบ การปิด-เปิดใช้งานการผสมข้ามแบบสม่ำเสมอ การคัดเลือกผู้นำและวิธีกลุ่มเฉพาะ ซึ่งโปรแกรมแกมเล็ท เป็นโปรแกรมคำนวณย้อนกลับหาค่าโมดูลัสชั้นทางที่ถูกพัฒนาขึ้น โดยพุทธพล [12] และใช้ทฤษฎียืดหยุ่นของชั้นทางเป็นแบบจำลองของการคำนวณแบบเดินหน้าและประยุกต์ใช้เทคนิคแบบใหม่ของระเบียบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเป็นขบวนการในการค้นหาคำตอบ การคัดเลือกชุดพารามิเตอร์ดังกล่าวอยู่บนพื้นฐานของความเหมาะสมระหว่างความถูกต้องของคำตอบและภาระในการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ ซึ่งชุดพารามิเตอร์ที่ได้จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำในการค้นหาคำตอบ อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับต่อยอดในการเลือกชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับการคำนวณอายุคงเหลือและการออกแบบเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างทางรวมทั้งเป็นแนวทางการเลือกพารามิเตอร์ให้กับ โปรแกรมอื่นที่ใช้ระเบียบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในลักษณะคล้ายคลึงกันต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาถึงชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับโปรแกรมแกมเล็ท ที่ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในการคำนวณย้อนกลับเพื่อหาค่าโมดูลัสชั้นทางแอสฟัลต์คอนกรีต

1.2.2 เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพของโปรแกรมแกมเล็ท หลังจากผ่านการเลือกชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสม กับการใช้งานกับข้อมูลจริงในสนาม

1.2.3 เพื่อให้ทราบถึงแนวโน้มของค่าความเหมาะสมที่แปรผันตามค่าพารามิเตอร์แต่ละชนิด

1.3 ขอบเขต

1.3.1 ใช้โครงสร้างชั้นทางที่สอดคล้องกับถนนในประเทศไทย โดยเลือกใช้ผิวทางแบบยืดหยุ่นเป็นแบบจำลอง

1.3.2 ใช้ลักษณะของโครงสร้างชั้นทางแบบ 3 ชั้นทางในการวิเคราะห์

1.3.3 จำลองโครงสร้างชั้นทางเพื่อคำนวณค่าการยุบตัวของชั้นผิวทางจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม BISAR

1.3.4 คัดเลือกชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อใช้กับโปรแกรมแกมเล็ท ที่พัฒนาจากระเบียบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างทางจากการคำนวณย้อนกลับ

1.3.5 ใช้ฐานข้อมูลค่าการยุบตัวของชั้นผิวทาง ที่ได้จากการทดสอบในสนามด้วยเครื่องมือทดสอบแบบลูกตุ้มกระแทก (FWD)

1.4 ขั้นตอนการวิจัย

1.4.1 ศึกษารวบรวมทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 ศึกษาลักษณะโครงสร้างชั้นทางและน้ำหนักบรรทุกที่สอดคล้องกับที่ใช้ในประเทศไทย

1.4.3 สร้างแบบจำลองและวิเคราะห์ค่าการยุบตัว ด้วยโปรแกรม BISAR 3.0

1.4.4 ศึกษาและสร้างชุดพารามิเตอร์จากการสุ่มเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการคำนวณ

1.4.5 ทดสอบชุดพารามิเตอร์ที่สร้างขึ้นเพื่อประเมินประสิทธิภาพในการคำนวณ

1.4.6 วิเคราะห์ประสิทธิภาพในการคำนวณจากชุดพารามิเตอร์เพื่อให้มีความเหมาะสมระหว่างความถูกต้องของคำตอบและภาระการคำนวณของคอมพิวเตอร์

1.4.7 ทดสอบชุดพารามิเตอร์ที่ได้รับการคัดเลือกกับแบบจำลองโครงสร้างชั้นทางที่สร้างขึ้นเพื่อประเมินประสิทธิภาพของชุดพารามิเตอร์

1.4.8 นำชุดพารามิเตอร์มาใช้งานกับข้อมูลการทดสอบจริงในสนาม

1.4.9 เปรียบเทียบประสิทธิภาพกับโปรแกรมในเชิงพาณิชย์

1.4.10 สรุปผลข้อมูลและรวบรวมผลการศึกษา

1.4.11 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์และตีพิมพ์เพื่อเผยแพร่ในการประชุมวิชาการ หรือวารสารวิชาการระดับชาติ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถใช้ชุดพารามิเตอร์ดังกล่าว เพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของโปรแกรมแกมเล็ทให้สมบูรณ์แบบมากยิ่งขึ้น

1.5.2 ชุดพารามิเตอร์และโปรแกรมดังกล่าวสามารถนำมาประเมินสภาพชั้นทางได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ทำให้การซ่อมบำรุงรักษาทางให้มีความแข็งแรง ปลอดภัย เป็นไปอย่างถูกวิธี ส่งผลให้สามารถใช้งบประมาณในการซ่อมบำรุงทางอย่างเกิดประสิทธิภาพ

1.5.3 ทราบถึงผลกระทบจากค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการคำนวณย้อนกลับ

1.5.4 ทราบถึงประสิทธิภาพของโปรแกรมแกมเล็ทภายใต้การตั้งค่าด้วยพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเมื่อเทียบกับโปรแกรมอื่นในเชิงพาณิชย์

1.5.5 เพื่อเป็นแนวทางสำหรับต่อยอดในการเลือกชุดพารามิเตอร์ที่หมาะสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับโปรแกรมอื่นที่ใช้ระเบียบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเช่นกัน

1.5.6 ได้พัฒนาและต่อยอดทรัพยากรที่มีอยู่ เพื่อประยุกต์ใช้กับงานวิจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

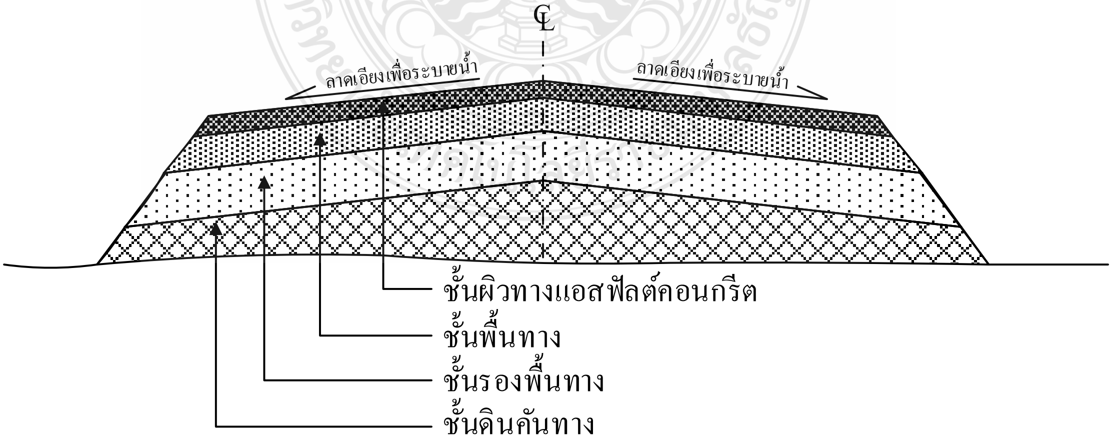
บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักในการเลือกชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมให้กับโปรแกรมแกมเล็ทซึ่งเป็นโปรแกรมคำนวณย้อนกลับหาค่าโมดูลัสชั้นทางที่ใช้ระเบียบวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรมเป็นกระบวนการคำนวณย้อนกลับ โดยมีทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1 ลักษณะทางกายภาพและการประเมินความแข็งแรงของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตในประเทศไทย

2.1.1 ลักษณะทางกายภาพของโครงสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตในประเทศไทย

โครงสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตถูกจัดไว้เป็นโครงสร้างผิวทางแบบยืดหยุ่น (Flexible Pavement Structure) ที่มีลักษณะการก่อสร้างเป็นชั้น ๆ โดยเรียงลำดับความแข็งแรงจากมากไปหาน้อยการพิจรณาจากชั้นบนลงล่าง โดยวัสดุที่ใช้มีการกำหนดความหนาแน่นและความแข็งแรงเป็นเกณฑ์มาตรฐานขั้นต่ำที่ใช้สำหรับก่อสร้าง โดยชั้นผิวบนเป็นชั้นที่มีความแข็งแรงมากที่สุด และมีการใช้สารบิทูเมนหรือยางมะตอยเป็นวัสดุประสานเพื่อยึดมวลรวมเข้าไว้ด้วยกันและยังทำหน้าที่ป้องกันน้ำที่จะซึมลงไปทำลายความแข็งแรงของวัสดุชั้นล่าง โดยคุณภาพของวัสดุและความหนาของชั้นทางนั้นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ และอายุการใช้งานรวมไปถึงงบประมาณในการก่อสร้าง ซึ่งความหนาของชั้นผิวทางที่ใช้นั้นจะมีความหนาตั้งแต่ 5 ซม. ขึ้นไปสำหรับถนน และอาจมากกว่า 20 ซม. เช่นในกรณีของผิวทางที่ใช้รองรับน้ำหนักของอากาศยานในท่าอากาศยาน เป็นต้น โดยรูปแบบทั่วไปของโครงสร้างชั้นทาง แสดงในรูปที่ 2.1



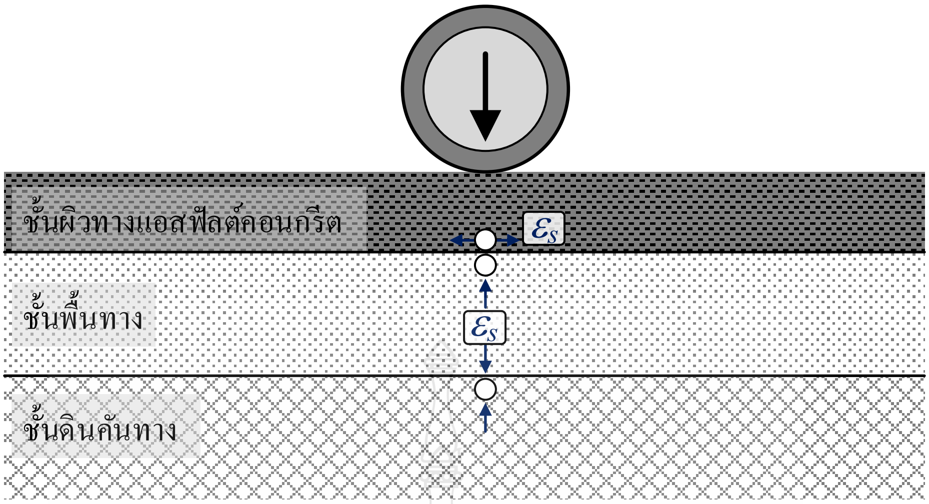
รูปที่ 2.1 รูปแบบทั่วไปของโครงสร้างชั้นทางแอสฟัลต์คอนกรีต

2.1.2 การประเมินความแข็งแรงของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

การก่อสร้างชั้นทางนั้นนอกจากจะคำนึงถึงคุณสมบัติด้านความปลอดภัยและสะดวกสบายในการใช้งานแล้ว ยังต้องคำนึงถึงความแข็งแรงโครงสร้างสร้างชั้นทางเพื่อรองรับน้ำหนักยานพาหนะ ด้วยเหตุนี้ในการประเมินความเสียหายของโครงสร้างทางจึงแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ความเสียหายด้านการใช้งาน (Functional Failure) เช่นการยึดเกาะ การสะท้อนแสง เป็นต้น และความเสียหายด้านโครงสร้าง (Structural Failure) เช่น การเกิดโพรงใต้ผิวทาง การสูญเสียกำลังรับน้ำหนักของชั้นทาง เป็นต้น ในการประเมินกำลังรับน้ำหนักหรือความแข็งแรง นิยมบ่งบอกในรูปของค่าความโมดูลัสชั้นทาง โดยปัจจุบันนิยมทดสอบด้วยการใช้เครื่องมือวัดค่าการยุบตัวด้วยลูกตุ้มกระแทก (Falling Weight Deflectometer, FWD) ซึ่งจัดอยู่ในประเภทเครื่องมือแบบใช้แรงกระตุ้น (Impulse Device) ที่เป็นการแบบไม่ทำลาย (Nondestructive Testing, NDT) โดยในการทดสอบด้วยเครื่องมือชนิดจะได้ค่าการยุบตัวที่เกิดจากก้อนน้ำหนักกระแทก โดยเมื่อนำค่าการยุบตัวที่ได้นี้รวมกับความหนาของชั้นทางจะสามารถคำนวณหาค่าโมดูลัสชั้นทางได้ ซึ่งเป็นหนึ่งในตัวแปรสำคัญที่จะนำไปสู่การวิเคราะห์โครงสร้างของถนนลาดยาง เพื่อหาค่าความเปลี่ยนแปลงทางกลศาสตร์ที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างชั้นทางแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งโดยทั่วไปมีตัวแปรทางกลศาสตร์ที่สำคัญคือ [14]

1. ความเครียดดึงแนวราบ (Horizontal Tensile Strain, ε_s) ที่ใต้ชั้นผิวทางแอสฟัลต์ ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากจำนวนเที่ยวสะสมจากน้ำหนักกระทำของยานพาหนะที่แล่นผ่านที่มากขึ้น โดยจะเกิดการสะสมของความเครียดจนเกินกว่าที่แอสฟัลต์จะรับได้จะทำให้แอสฟัลต์เกิดรอยแตก (Crack) ซึ่งความเสียหายที่เกิดขึ้นในลักษณะนี้มีผลมาจากความล้าของวัสดุ โดยจะเริ่มเกิดที่ผิวด้านล่างก่อน แล้วค่อยลามขึ้นไปสู่ผิวด้านบน ความเครียดดึงแนวราบนี้จะเกิดในชั้นวัสดุที่มีการเชื่อมแน่น (Bound Materials) เช่น วัสดุดินซีเมนต์ แต่จะไม่เกิดในชั้นวัสดุที่ไม่มีการเชื่อมแน่น (Unbound Materials) เช่น หินคลุกหรือวัสดุมวลรวม

2. ความเครียดอัดแนวดิ่ง (Vertical Compressive Strain, ε_z) บนผิววัสดุที่ไม่มีการเชื่อมแน่น เช่น ชั้นหินคลุกหรือวัสดุมวลรวม เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักกระทำของยานพาหนะ มากเกินกำหนดทำให้โครงสร้างชั้นทางวิบัติในลักษณะของรอยร่องล้อ เนื่องจากดินคันทางมีความแข็งแรงน้อยที่สุด ค่าโมดูลัสต่ำที่สุด สัดส่วนของความเครียดอัดทางดิ่งในชั้นดินคันทางจึงมีค่ามากที่สุด โดยค่าความเครียดที่เกิดขึ้นในโครงสร้างถนนลาดยางที่กล่าวข้างต้นแสดงไว้ในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ตำแหน่งตัวแปรทางกลศาสตร์ที่ใช้วิเคราะห์โครงสร้างชั้นทางแอสฟัลต์คอนกรีต

นอกจากนั้นค่าโมดูลัสชั้นทางได้ยังสามารถนำไปคำนวณหาอายุคงเหลือและการออกแบบเสริมความแข็งแรงของโครสร้างทางได้ แต่ในการคำนวณหาค่าโมดูลัสชั้นทางต้องอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการคำนวณย้อนกลับ โดยรายละเอียดของการคำนวณย้อนกลับจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

2.2 การคำนวณย้อนกลับหาค่าโมดูลัสชั้นทาง

การคำนวณย้อนกลับเป็นการประเมินกำลังรับน้ำหนักโครงสร้างทางของแต่ละชั้นซึ่งแสดงในรูปของค่าโมดูลัสชั้นทาง โดยการคำนวณหาค่าโมดูลัสชั้นทางจากวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Nondestructive Test, NDT) นิยมใช้ค่าแอ่งการยุบตัวที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่อง FWD เป็นข้อมูลนำเข้า ซึ่งจำเป็นต้องมีโปรแกรมหรือซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณย้อนกลับ กระบวนการคำนวณจะเริ่มจากการกำหนดค่าโมดูลัสตั้งต้นให้กับโปรแกรม ร่วมกับนำเข้าข้อมูลของคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของแต่ละชั้นทาง (ความหนาและค่าปัวซ์ซองของแต่ละชั้นทาง) รวมถึงค่าการยุบตัวของผิวทาง น้ำหนักและรัศมีของน้ำหนักกระทำ จากนั้นโปรแกรมจะคำนวณแบบเดินหน้าเพื่อสร้างแอ่งการยุบตัว และนำไปเปรียบเทียบกับค่าการยุบตัวที่ได้จาการทดสอบด้วยเครื่อง FWD หากค่าความคลาดเคลื่อนของค่าการยุบตัวที่ได้จากการคำนวณน้อยกว่าค่าที่ยอมให้ กระบวนการก็จะสิ้นสุดลง แต่ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่าค่าที่ยอมให้ก็จะเข้าสู่ขั้นตอนการคำนวณย้อนกลับเพื่อกำหนดค่าโมดูลัสยืดหยุ่นใหม่อีกครั้ง กระบวนการทั้งหมดจะวนซ้ำจนกว่าจะค่าความคลาดเคลื่อนจะ

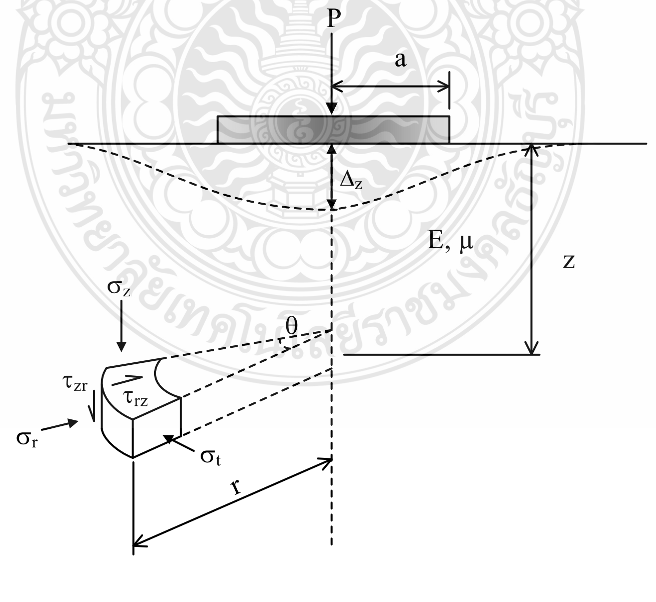
น้อยกว่าค่าที่ยอมให้กระบวนการจึงจะสิ้นสุดลง และถือว่าค่าโมดูลัสนั้นเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

2.2.1 กระบวนการคำนวณแบบเดินหน้า (Forward Mechanistic Process)

กระบวนการคำนวณแบบเดินหน้าเป็นกระบวนการสำคัญที่ใช้ในการคำนวณแอ่งการยุบตัวของโปรแกรมคำนวณย้อนกลับเพื่อเปรียบเทียบกับแอ่งการยุบตัวที่วัดได้ในสนามจากเครื่องมือ FWD โดยทฤษฎีของกระบวนการคำนวณแบบเดินหน้าที่มักใช้ในโปรแกรมคำนวณย้อนกลับ เช่น สมการของ Boussinesq ที่ใช้ร่วมกับทฤษฎีความหนาเทียบเท่า ทฤษฎียืดหยุ่นหลายชั้นทาง เป็นต้น

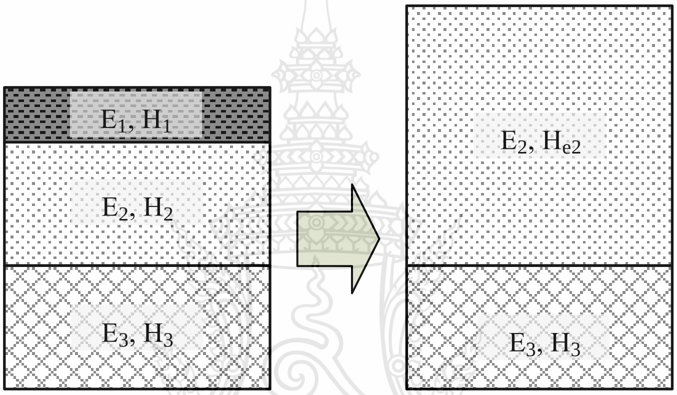
1. สมการของ Boussinesq (Boussinesq’s Equation) และทฤษฎีความหนาเทียบเท่า (Method of Equivalent Thickness, MET)

ในปี 1885 Boussinesq ได้พัฒนาสมการ เพื่อใช้วิเคราะห์หาค่าหน่วยแรงเค้น ความเครียด และค่าการยุบตัวที่เกิดขึ้นในมวลดิน จากน้ำหนักบรรทุกกระทำแบบวงกลมในระบบชั้นเดียวดังรูปที่ 2.3 ภายใต้สมมติฐานของวัสดุที่จะต้องมีคุณสมบัติกึ่งอนันต์ เป็นเนื้อเดียวกัน มีความสม่ำเสมอเท่ากันทุกทิศทาง และเป็นวัสดุยืดหยุ่น โดยจากสมการการทรุดตัวของ Boussinesq แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยุบตัวและค่าโมดูลัส ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าโมดูลัสผิวทาง (Surface Modulus) ได้โดยตรง แต่จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการคำนวณโดยตรงด้วยวิธีการนี้มีความแม่นยำน้อย [15] ยกตัวอย่างเช่น ค่าโมดูลัสของชั้นผิวทางที่คำนวณได้มีค่าต่ำกว่าความเป็นจริงมาก เป็นต้น



รูปที่ 2.3 หน่วยแรงและค่าการยุบตัวที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกกระทำแบบวงกลมของ Boussinesq

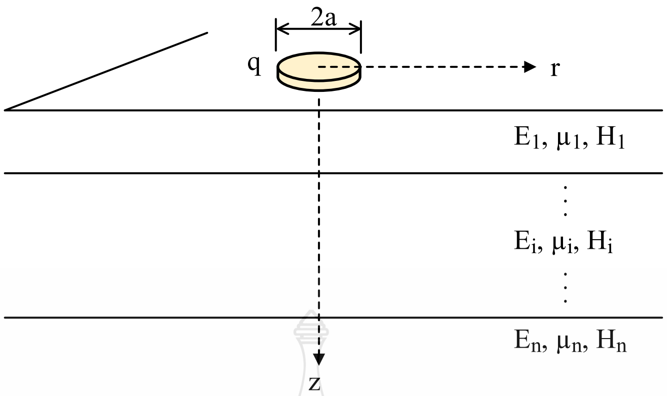
ดังนั้นต่อมามีนักวิจัยบางท่านมีแนวคิดที่จะนำเอาทฤษฎีความหนาเทียบเท่าหรือที่รู้จักกันในชื่อ MET ที่พัฒนาโดย Odemark ในปี 1949 มาใช้ร่วมกับสมการของ Boussinesq โดย MET เป็นทฤษฎีที่ใช้แปลงความหนาชั้นทางที่มีค่าโมดูลัสต่างกันให้เป็นชั้นทางที่มีค่าโมดูลัสเดียวกันดังรูปที่ 2.4 ซึ่งมีหลักการคล้ายกันกับทฤษฎีคานผสม (Composite Beam) โดยในส่วนของการแปลงความหนานั้นต้องมีการใช้ตัวคูณปรับแก้ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนชั้นทาง ความหนาแต่ละชั้น ค่าอัตราส่วนปัวซ์ซอง รวมไปถึงค่าอัตราส่วนโมดูลัส นอกจากนั้น MET ยังมีข้อกัดอื่น ๆ อีกเช่น ค่าโมดูลัสชั้นทางของชั้นที่อยู่ถัดลงมาจะต้องมีค่าน้อยกว่าชั้นที่อยู่ด้านบน รวมไปถึงความหนาของชั้นผิวทางต้องมีค่ามากกว่ารัศมีของพื้นที่น้ำหนักกระทำ เป็นต้น จากที่กล่าวมาจะพบว่าวิธีการนี้ยังมีจุดอ่อนอยู่มาก



รูปที่ 2.4 หลักการของทฤษฎีความหนาเทียบเท่า (MET)

2. ทฤษฎียืดหยุ่นหลายชั้นทาง (Multi-Layered Elastic Theory, MLET)

ทฤษฎียืดหยุ่นหลายชั้นทางหรือรู้จักกันในชื่อ MLET ถูกนำเสนอครั้งแรกโดย Burmister ในปี 1943 เพื่อใช้ในการวิเคราะหาค่าความเค้น และค่าการยุบตัว ของระบบ 2 ชั้นทางและได้รับการพัฒนาต่อจนสามารถวิเคราะห์ในระบบ 3 ชั้นทางได้ในปี 1945 จนกระทั่งเข่าสู่ยุคคอมพิวเตอร์ได้มีการพัฒนาให้สามารถคำนวณได้หลายชั้นทางมากยิ่งขึ้น โดยมีหลักการดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 หลักการของทฤษฎียืดหยุ่นหลายชั้นทาง (MLET)

โดย MLET ได้มีการนำมาพัฒนาเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถคำนวณ ความเค้น ความเครียด และค่าการยุบตัวที่เกิดขึ้นในชั้นทางให้สามารถวิเคราะห์ได้หลายชั้นทางมากยิ่งขึ้น และโปรแกรม BISAR ที่พัฒนาโดย Shell International Oil Products เป็นหนึ่งในโปรแกรมที่มีพื้นฐานมาจากทฤษฎีนี้ ซึ่งกำลังได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง

3. การวิเคราะห์หาการยุบตัวของโครงสร้างทางโดยใช้โปรแกรม Bitumen Stress Analysis in Roads (BISAR)

โปรแกรม BISAR เป็นโปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์พฤติกรรมทางกลศาสตร์ของชั้นทาง ที่วิจัยและพัฒนาขึ้นโดย Shell ในปี ค.ศ.1978 โดยก่อนหน้านี้ได้พัฒนาเป็นโปรแกรมที่ใช้ในระบบเมนเฟรมคอมพิวเตอร์ และต่อมาได้มีการพัฒนาเรื่อยมาจนเป็นโปรแกรม BISAR 3.0 ที่รองรับการติดตั้งบนระบบปฏิบัติการ Windows และมีศักยภาพในการคำนวณวิเคราะห์เพิ่มขึ้น สามารถแสดงผลข้อมูลในรูปแบบแฟ้มข้อมูลและการจัดการฐานข้อมูลจากการคำนวณในขั้นตอนเดียวกัน รวมไปถึงมีการปรับปรุงการวิเคราะห์คุณสมบัติชั้นทางเพิ่มขึ้น ทำให้การประมวลผลของโปรแกรมมีประสิทธิภาพและมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น [16]

1) องค์ประกอบหลักที่สำคัญของโปรแกรม BISAR

BISAR เป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้คำนวณหา ค่าความเค้น (Stress) ความเครียด (Strain) และการยุบตัว (Displacement) โดยมีพื้นฐานการวิเคราะห์จากทฤษฎียืดหยุ่นหลายชั้นทาง ซึ่งกำหนดรูปแบบและพฤติกรรมของวัสดุดังต่อไปนี้

(1) ชั้นทางในแนวราบมีความสม่ำเสมอโดยวางอยู่บนวัสดุที่กึ่งอนันต์ที่แผ่ไปด้านข้างอย่างไม่สิ้นสุด (Semi-Infinite หรือ Half Space)

(2) ชั้นทางในแนวราบแผ่ไปด้านข้างอย่างไม่สิ้นสุด

(3) วัสดุแต่ละชั้นทางเป็นเนื้อเดียว (Homogeneous) และมีคุณสมบัติเหมือนกันทุกทิศทาง (Isotropic)

(4) วัสดุมีคุณสมบัติยืดหยุ่นและความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเค้นกับความเครียดมีลักษณะเป็นเส้นตรง

โดยลักษณะของน้ำหนักกระทำจะเป็นรูปวงกลมที่มีการกระจายตัวของหน่วยน้ำหนักสม่ำเสมอบนพื้นที่วงกลม

2) ข้อมูลที่ต้องการสำหรับการคำนวณของโปรแกรม BISAR

(1) จำนวนชั้นทาง

(2) ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุแต่ละชั้นทาง

(3) ค่าอัตราส่วนปัวซ์ซอง (Poison's Ratios) ของวัสดุแต่ละชั้นทาง

(4) ความหนาของแต่ละชั้นทาง

(5) ค่า Interface Shear Spring Compliance ที่บริเวณรอยต่อของแต่ละชั้น

(6) จำนวนน้ำหนักที่กระทำ

(7) พิกัดตำแหน่งของจุดศูนย์กลางที่น้ำหนักกระทำ

(8) รูปแบบของน้ำหนักกระทำ ซึ่งมี 3 รูปแบบคือ หน่วยแรงดันและน้ำหนัก น้ำหนักและรัศมี หน่วยแรงดันและรัศมี

(9) แรงกระทำในแนวราบ (ถ้ามี)

(10) พิกัดตำแหน่งของผลลัพธ์ที่ต้องการ

2.2.2 กระบวนการคำนวณย้อนกลับ (Inverse Algorithms)

กระบวนการคำนวณย้อนกลับนับเป็นขั้นตอนสำคัญที่ใช้ในขั้นตอนการคำนวณย้อนกลับ ซึ่งในปัจจุบันมีการพัฒนาโปรแกรมที่สามารถคำนวณย้อนกลับเพื่อหาค่าโมดูลัสชั้นทางจำนวนมาก โดยแต่ละโปรแกรมจะใช้ระเบียบขั้นตอนในการคำนวณย้อนกลับที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทดังนี้ [17]

1. วิธีความหนาเทียบเท่า (เช่น โปรแกรม ELMOD, RoSy DESIGN)
2. วิธีการคำนวณวนซ้ำ (เช่น โปรแกรม MODCOMP, EVERCALC)
3. วิธีหาค่าความเหมาะสม (เช่น โปรแกรม BACKGA, GAPAVE)

วิธีความหนาเทียบเท่า (MET) นั้นเป็นวิธีที่มีข้อจำกัดในการวิเคราะห์อยู่ค่อนข้างมาก ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อย่อยที่ 1 ของหัวข้อที่ 2.2.1 แต่เนื่องจากวิธีการนี้ใช้ระยะเวลาในการประมวลผลน้อย จึงทำให้ยังคงมีการนำวิธีการนี้ไปพัฒนาเป็นโปรแกรมคำนวณย้อนกลับ ซึ่งบางโปรแกรมมีการพัฒนาจนสามารถออกแบบเสริมผิวทางและคำนวณหาอายุคงเหลือของชั้นทางได้

ในปัจจุบันวิธีการที่นิยมนำมาใช้ในขั้นตอนวิธีคำนวณผกผันสำหรับโปรแกรมคำนวณย้อนกลับเพื่อหาค่าโมดูลัสชั้นทางคือ วิธีการคำนวณวนซ้ำ (Iteration) ซึ่งวิธีการนี้จำเป็นจะต้องกำหนดค่าโมดูลัส ตั้งต้น โดยสามารถกำหนดได้เองจากผู้งานหรือมาจากการสุ่มเลือกขึ้นเองของโปรแกรม และค่าอัตราส่วนปัวซ์ซอง โดย American Association of State Highway and Transportation Officials หรือ AASHTO ซึ่งเป็นหน่วยงานด้านการขนส่งและทางหลวงของประเทศสหรัฐอเมริกาได้แนะนำค่าโมดูลัสชั้นทางและค่าอัตราปัวซ์ซองโดยทั่วไปไว้ดังตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2 เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณค่าแอ่งการยุบตัวแล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าการยุบตัวที่ได้จากการวัด

ตารางที่ 2.1 ค่าอัตราส่วนปัวซ์ซอง (μ) โดยทั่วไปของวัสดุชั้นทางที่แนะนำโดย AASHTO [18]

Materials	Range	Remarks	Typical Value
Portland Cement Concrete	0.10 – 0.20	-	0.15
Hot Mixed Asphalt / Asphalt Treated Base	0.15 – 0.45	For Temperatures < 30° C use 0.15; For Temperatures > 50°C use 0.45.	0.35
Cement Stabilized Base	0.15 – 0.30	When Sound Free Of Cracks Use 0.15; With Crack Use 0.30.	0.20
Granular Base / Subbase	0.30 – 0.40	Crushed Material Use Low Value ; Unprocessed Rounded Gravel / Sand Use High Values	0.35
Subgrade Soils	0.30 – 0.50	For Cohesiveless Soils Use Value Near 0.30 ; For Very Plastic / Cohesive Clays Use 0.50.	0.40

ตารางที่ 2.2 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (E) โดยทั่วไปของวัสดุชั้นทางที่แนะนำโดย AASHTO [18]

Pavement Material	Range [MPa]	Typical Value [MPa]
Hot Mixed Asphalt	1,500 – 3,500	3,000
Portland Cement Concrete	20,000 – 50,000	30,000
Asphalt Treated Base	500 – 3,000	1,000
Cement Treated Base	3,500 – 7,000	5,000
Lean Concrete	7,000 – 20,000	10,000
Granular Base	100 – 350	200
Granular Subgrade Soils	50 – 150	100
Fine – Grained Subgrade Soils	20 – 50	30

จากนั้นโปรแกรมจะค้นหาค่าโมดูลัสชั้นทางที่ทำให้แอ่งการยุบตัวที่คำนวณได้มีความสอดคล้องกับแอ่งการยุบตัวที่ได้จากการวัด ซึ่งจะมีการค้นหาโดยวนซ้ำไปเรื่อย ๆ โดยกระบวนการนี้จะเป็นการหาค่าคำตอบโดยใช้การวนซ้ำเพื่อลดค่าความแตกต่างระหว่างค่ายุบตัวที่ได้จากการคำนวณและจากการวัดจริง ค่าความแตกต่างของค่ายุบตัวโดยส่วนใหญ่มักใช้ค่าความคลาดเคลื่อนหรือค่า Root Mean Square Error ($RMSE$) เป็นดัชนีชี้วัด ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.1 [12]

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{d_i - D_i}{D_i}\right)^2} \tag{2.1}$$

โดยที่

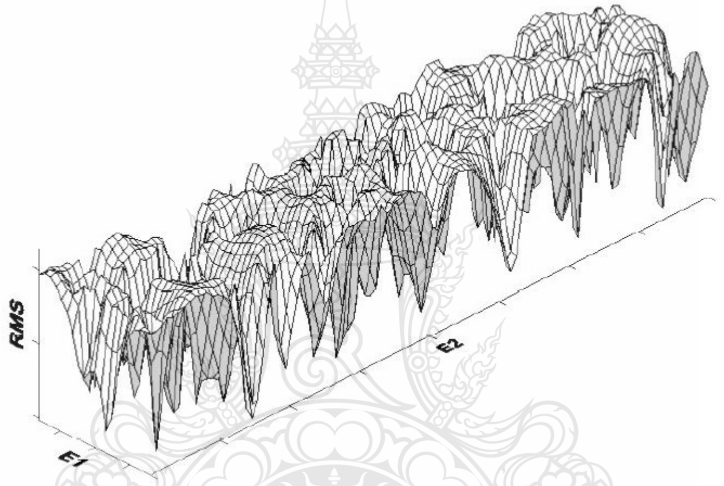
N = จำนวนของข้อมูลค่าการยุบตัว

d_i = ค่าการยุบตัวที่ได้จากการคำนวณในตำแหน่งของค่าการยุบตัวที่ i

D_i = ค่าการยุบตัวที่ได้จากการวัดในตำแหน่งของค่าการยุบตัวที่ i

ซึ่งจากข้างต้นพบว่าการกำหนดค่าโมดูลัสชั้นทางตั้งต้น มีผลต่อเป็นอย่างมากการค้นหาค่าโมดูลัสชั้นทาง และในทางปฏิบัติมักเกิดปัญหาเมื่อคำตอบที่ได้จากโปรแกรมขัดแย้งกับมุมมองทางวิศวกรรม [19] โดยปัญหานี้เกิดจากหลายสาเหตุ และหนึ่งในสาเหตุหลักก็คือพื้นผิวคำตอบของปัญหานั้นมีความซับซ้อนและประกอบด้วยจุดต่ำสุดเฉพาะที่ (Local Minimum) หลายจุด ดังแสดงใน

รูปที่ 2.6 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างที่ได้จากการคำนวณย้อนกลับและค่า *RMSE* ซึ่งแสดงเป็นพื้นผิวคำตอบ โดยบริเวณที่มีจุดต่ำสุดคือตำแหน่งที่เหมาะสมที่จะเป็นคำตอบ โดยจากรูปจะพบว่ามีจุดต่ำสุดอยู่หลายแห่ง ซึ่งเรียกจุดเหล่านี้ว่าจุดต่ำสุดเฉพาะที่ ส่วนตำแหน่งที่เหมาะสมที่จะคำตอบมากที่สุดเรียกว่าจุดต่ำสุดองค์รวม (Global Minimum) ซึ่งเป็นจุดที่ต่ำที่สุดและมีอยู่เพียงจุดเดียวของพื้นที่ผิวคำตอบ ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้มีนักวิจัยหลายท่านที่ได้พยายามนำเอาขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm, GA) มาประยุกต์ใช้ในการคำนวณย้อนกลับหาค่าโมดูลัสชั้นทาง โดยผลที่ได้พบ GA มีศักยภาพที่ดีในการค้นหาจุดต่ำสุดองค์รวม แต่ GA ก็ยังมีข้อจำกัด เช่น ปัญหาในการเลือกตัวแปรหรือค่าพารามิเตอร์เหมาะสม ซึ่งรายละเอียดของ GA จะขอกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างพื้นผิวคำตอบของระบบชั้นทาง 2 ชั้น ที่ใช้ค่า *RMSE* เป็นดัชนีชี้วัดคำตอบ [17]

2.2.3 การคำนวณย้อนกลับเพื่อหาค่าโมดูลัสชั้นทางโดยใช้โปรแกรม PAVERS

โปรแกรม PAVERS เป็นหนึ่งในโปรแกรมคำนวณย้อนกลับที่สามารถใช้วิเคราะห์พฤติกรรมทางกลศาสตร์รวมไปถึงออกแบบและประเมินความกำลังรับน้ำหนักของโครงสร้างชั้นทางถนนและท่าอากาศยาน พัฒนาขึ้นครั้งแรกในปี 1999 เป็นรุ่น 1.0 สำหรับใช้ในงานแผ่นพื้นคอนกรีตระบบ UEC-Slab ในกระทรวงกลาโหม ของประเทศเนเธอร์แลนด์ และได้รับการปรับปรุงเรื่อยมาจนเป็นโปรแกรมเชิงพาณิชย์ โดยรุ่นปัจจุบันคือ 2.8 ในที่ได้รับการปรับปรุงในปี 2008 ซึ่งมีความสามารถในการนำเข้าค่าการยุบตัวที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่อง FWD สำหรับคำนวณย้อนกลับหาค่าโมดูลัสชั้นทางในรูปแบบของไฟล์ที่สร้างโดยโปรแกรม Microsoft Excel มีฐานข้อมูลน้ำหนักลงเพลามาตรฐานของรถบรรทุกและของอากาศยานอีกหลายชนิดและยังสามารถนำเข้าข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อ

ปรับปรุงฐานข้อมูลน้ำหนักที่มีอยู่รวมถึงค่า ACN ของอากาศยาน โปรแกรม PAVERS ใช้ทฤษฎียืดหยุ่นหลายชั้นทาง (MLET) เป็นแบบจำลองในการคำนวณแบบเดินหน้าและใช้วิธีการวนซ้ำลดค่าความแตกต่างระหว่างค่ายุบตัวที่ได้จากการคำนวณและจากการวัดจริงเป็นกระบวนการคำนวณย้อนกลับ [20] สำหรับในงานวิจัยนี้ได้นำเอาโปรแกรม PAVERS 2.8 มาใช้ในการคำนวณย้อนกลับสำหรับเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโปรแกรมแกมเล็ทที่ได้รับการตั้งค่าด้วยชุดพารามิเตอร์ที่ผ่านการคัดเลือกให้เหมาะสม โดยใช้ข้อมูลทดสอบค่าการยุบตัวจริงในสนามในการเปรียบเทียบ

2.3 ระเบียบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm, GA)

ระเบียบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm, GA) คิดค้นขึ้นโดย John Holland (1975) เพื่อหาค่าผลเฉลยที่เหมาะสม โดยมีแรงบันดาลใจมาจาก ทฤษฎีวิวัฒนาการของ Charles Darwin (1859) ซึ่งเป็นการเลียนแบบกลไกลการคัดเลือกทางธรรมชาติ นั่นคือ สายพันธุ์ที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมคือสายพันธุ์ที่อยู่รอด ซึ่งโดยพื้นฐาน GA ประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอนคือ การสร้างกลุ่มประชากร (Creation of Population) การประเมินความเหมาะสม (Evaluation) การคัดเลือก (Selection) การจับคู่ผสมข้าม (Crossover) และการกลายพันธุ์ (Mutation) [9]

การทำงานของระเบียบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมอย่างง่าย (Simple Genetic Algorithm, SGA) จะเริ่มจากสุ่มสร้างชุดรหัสเลขฐานสองเรียกว่า โครโมโซม ซึ่งสามารถแปลงรหัสกลับไปเป็นค่าพารามิเตอร์เลขฐานสิบใช้ในการคำนวณวิเคราะห์ และทำการประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Evaluation) แล้วนำมาคัดเลือกเพื่อนำไปเป็นกลุ่มประชากรรุ่นพ่อแม่ จากนั้นประชากรที่ถูกเลือกในรูปแบบของโครโมโซมจะถูกนำมาดำเนินการทางพันธุกรรม (Genetic Operation หรือ Reproduction Operation) คือการผสมข้ามและการกลายพันธุ์ เพื่อสร้างประชากรรุ่นลูกหรือทายาท และเมื่อนำประชากรกลุ่มนี้มาประเมินค่าความเหมาะสมแล้วพบคำตอบที่เหมาะสมกับปัญหา กระบวนการทำงานก็จะสิ้นสุดลง แต่หากยังไม่พบคำตอบที่ต้องการ กระบวนการทำงานก็จะดำเนินต่อไป โดยมีการแทนที่ของประชากรรุ่นพ่อแม่ด้วยรุ่นลูกซึ่งพิจารณาโอกาสในการแทนที่จากค่าความเหมาะสม สายรหัสโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมมากก็จะมีโอกาสที่จะถูกเลือกมาก ในทางตรงข้ามสายรหัสที่มีความเหมาะสมน้อยก็จะมีโอกาสถูกเลือกน้อยและอาจสูญพันธุ์ไปในที่สุด เมื่อแทนที่เสร็จก็จะกลับเข้าสู่กระบวนการคัดเลือกใหม่ โดยกระบวนการเหล่านี้จะดำเนินการไปเรื่อย ๆ เมื่อผ่านไปหลาย ๆ รุ่น ลักษณะทางพันธุกรรมที่ดีของรุ่นบรรพบุรุษจะถูกถ่ายทอดไปยังรุ่นทายาท ซึ่งจะทำให้รุ่นถัดไปมีค่าความเหมาะสมสูงขึ้นจนนำไปสู่การค้นพบคำตอบที่เหมาะสม

จุดเด่นของ GA อยู่ที่การค้นหาคำตอบที่มีความเหมาะสมโดยรวม ซึ่งเป็นผลมาจากการจับคู่ผสมพันธุ์ของประชากรที่มีค่าความเหมาะสมต่างกันทำให้มีโอกาสในการค้นหาบนพื้นผิวคำตอบ

ที่กว้างขึ้น [9] และการกลายพันธุ์ที่ทำให้การค้นหาคำตอบไม่ติดอยู่กับหรือจุดต่ำสุดเฉพาะที่ แต่การค้นหาคำตอบที่เหมาะสมโดยรวมจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีการกำหนดตัวดำเนินการทางพันธุกรรมหรือพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ซึ่งเปรียบเสมือนการกำหนดสภาพแวดล้อมให้กับกลุ่มประชากร ในทางกลับกันการเลือกชุดพารามิเตอร์ที่ไม่เหมาะสมก็จะทำให้คำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่ติดอยู่กับจุดต่ำสุดเฉพาะที่ของพื้นผิวคำตอบเท่านั้น

2.4 ระเบียบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในการคำนวณย้อนกลับ

Fwa และ คณะ [21] ได้พัฒนาโปรแกรม NUS-GABACK ในปี 1997 ซึ่งเป็นบทความแรกที่ได้ที่มีการนำเสนอการนำ GA มาประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรมผิวทาง Kameyama และคณะ [22] ในปี ค.ศ. 1998 ได้พัฒนาโปรแกรมคำนวณย้อนกลับหาค่าโมดูลัสชั้นทางทั้งผิวทางที่เป็นแบบยืดหยุ่นและผิวทางแบบแข็งในปีถัดมา ต่อมา Reddy และคณะ [23] ได้พัฒนาโปรแกม BACKGA สำหรับคำนวณย้อนกลับหาค่าโมดูลัสชั้นทางในปี ค.ศ. 2002 และทำการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในปี ค.ศ. 2006 [9] Park และคณะ [24] ได้พัฒนาโปรแกรม GAPAVE ในปี ค.ศ. 2006 และได้มีการหาค่าพารามิเตอร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการคำนวณย้อนกลับโดย Park ในปี ค.ศ. 2009 และในปี 2007 Alkasawneh [17] ได้พัฒนาโปรแกรม Back Genetic 3d ขึ้น

โดยโปรแกรมที่ได้กล่าวมาส่วนใหญ่ใช้กระบวนการคำนวณแบบเดินหน้าที่ต่างกันและใช้ SGA ในการคำนวณย้อนกลับ ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนพื้นฐานดังนี้

2.4.1 การสร้างกลุ่มประชากร

ค่าโมดูลัสชั้นทางแต่ละชั้นจะถูกสุ่มผลิตขึ้นจากขอบเขตของคำตอบที่เป็นไปได้ (ตัวแปร E) แล้วแปลงเป็นระบบเลขฐานสอง เพื่อแทนเป็นยีนส์แต่ละชุดซึ่งจะถูกนำไปเรียงต่อกันเป็นสายโครโมโซม นั้นหมายความว่าสายโครโมโซมหนึ่งสายแทนลักษณะโครงสร้างชั้นทางหนึ่งแบบ โดยจำนวนลักษณะโครงสร้างชั้นทางคือจำนวนประชากรของสายโครโมโซมที่ผู้ใช้กำหนด (ตัวแปร $numpop$)

2.4.2 การประเมินค่าความเหมาะสม

ค่าความเหมาะสมส่วนใหญ่จะถูกประเมินจากค่า $RMSE$ ของการยุบตัวของผิวทางที่ได้จากการทดสอบจริงในสนามด้วยเครื่อง FWD และจากการคำนวณแบบเดินหน้าของโปรแกรม โดยประชากรที่มีค่า $RMSE$ น้อยก็จะมีค่าความเหมาะสมมาก

2.4.3 การคัดเลือกประชากร

ประชากรทั้งหมดจะถูกคัดเลือกจากค่าความเหมาะสม โดยประชาการที่มีค่าความเหมาะสมมากก็จะมีโอกาสขยายพันธุ์มาก ส่วนประชากรที่มีความเหมาะสมน้อยก็จะมีโอกาสขยายพันธุ์น้อยและอาจสูญพันธุ์ไปในที่สุด

2.4.4 การผสมข้ามแบบจุดเดียว

เป็นการจับคู่ของประชากรแล้วผสมข้ามจุดใดจุดหนึ่งบนสายโครโมโซมเพื่อผลิตรุ่นลูกหรือทายาทตามอัตราความเป็นไปได้ของการผสมข้ามตามที่ผู้ใช้กำหนด (ตัวแปร *pcross*)

2.4.5 การกลายพันธุ์แบบกระโดด

เป็นการเปลี่ยนแปลงลักษณะของประชากรโดยมีการเปลี่ยนจากค่า 0 เป็น 1 หรือกลับกันในตำแหน่งใดๆที่สุ่มขึ้นบนสายโครโมโซมตามอัตราความเป็นไปได้ของการผสมข้ามแบบกระโดดที่ผู้ใช้กำหนด (ตัวแปร *pjumpmu*)

จากนั้นกระบวนการค้นหาคำตอบจะดำเนินการไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะครบจำนวนรุ่นที่กำหนดไว้ (ตัวแปร *maxgen*) หรือจนกว่าจะพบคำตอบที่เหมาะสมตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้ เช่น $RMSE_{\text{ค่าคำนวณได้}} < RMSE_{\text{ค่าที่ยอมให้}}$ เป็นต้น

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าขั้นตอนพื้นฐานของ SGA ประกอบไปด้วยจำนวนของพารามิเตอร์ที่ไม่มากนัก แต่สำหรับโปรแกรมที่ใช้เทคนิคแบบใหม่ของ GA อย่างโปรแกรมแกมเล็ทจะทำให้มีจำนวนพารามิเตอร์ที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้กล่าวมาใช้เป็นเพียงแนวทางได้เท่านั้น ไม่สามารถนำมากำหนดค่าได้โดยตรง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้มีการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับโปรแกรมแกมเล็ท ซึ่งรายละเอียดและจุดเด่นของโปรแกรมจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

2.5 โปรแกรมคำนวณย้อนกลับแกมเล็ท (GAMLET)

แกมเล็ทเป็นโปรแกรมคำนวณย้อนกลับหาค่าโมดูลัสชั้นทางที่พัฒนาขึ้นโดย พุทธพล [12] ด้วยภาษาคอมพิวเตอร์ Digital Fortran ใช้ทฤษฎียืดหยุ่นของชั้นทาง (Multi-Layered Elastic Theory, MLET) ในการคำนวณแบบเดินหน้าเพื่อหาค่าการยุบตัวของผิวทางและใช้ GA คำนวณย้อนกลับหาค่าโมดูลัสชั้นทางด้วยเทคนิคแบบใหม่ โดยหลักการทำงานของแกมเล็ทอาศัยข้อมูลนำเข้าจากการทดสอบด้วยเครื่อง FWD ประกอบไปด้วยค่าการยุบตัวแต่ละตำแหน่งที่วัดจริงจากสนาม ระยะห่างของตำแหน่งที่วัดการยุบตัวจากน้ำหนักกระทำ แรงดันและรัศมีของน้ำหนักกระทำ ร่วมกับข้อมูลของวัสดุชั้นทางคือความหนาแต่ละชั้นทางในตำแหน่งที่ทำการทดสอบ และค่าอัตราส่วนปัวซ์ซองของ

แต่ละชั้นทาง โดยแกมเล็ทสามารถวิเคราะห์โครงสร้างชั้นทางได้มากถึงสามสิบชั้น แต่ในงานวิจัยนี้ใช้ GAMLET 308 ที่สามารถคำนวณย้อนกลับหาค่าโมดูลัสชั้นทางได้ 3 ชั้น จากค่าการยุบตัวของผิวทาง 8 ตำแหน่ง โดยแกมเล็ทมีคุณลักษณะโดดเด่นที่สำคัญที่สามารถสรุปได้ดังนี้

2.5.1 การคัดเลือกประชากร

แกมเล็ทเลือกใช้วิธีการคัดเลือกประชากรแบบ Tournament ซึ่งได้ทำการศึกษาโดย Goldberg และ Deb [25] และพบว่ามีประสิทธิภาพในการลู่เข้าหาคำตอบและต้องการกลุ่มประชากรน้อยกว่าวิธี Roulette-Wheel ที่ใช้ใน SGAทั่วไป

2.5.2 การประเมินค่าความเหมาะสม

จากที่โปรแกรมคำนวณย้อนกลับที่ใช้ SGA อื่น ใช้เพียงสมการเดียวในการประเมินค่าความเหมาะสม เพื่อเพิ่มศักยภาพในการคำนวณย้อนกลับ โปรแกรมแกมเล็ทได้ใช้สมการในการประเมินค่าความเหมาะสมมากถึง 3 สมการ ซึ่งประกอบไปด้วย [12]

ค่าน้อยสุดของ $$f_1 = \max.of\left|\frac{\left(d_i - D_i\right)}{D_i}\times 100\right| \tag{2.2}$$

ค่าน้อยสุดของ $$f_2 = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{d_i - D_i}{D_i}\right)^2}\times 100\% \tag{2.3}$$

ค่ามากสุดของ $$f_3 = \frac{1}{1+\left(\frac{OBJ}{10^6}\right)} \tag{2.4}$$

โดย $$OBJ = \sum_{i=1}^{N}\left(d_i - D_i\right)^2 \tag{2.5}$$

โดยที่

N = จำนวนอุปกรณ์วัดค่าการยุบตัว

d_i = ค่าการยุบตัวที่ได้จากการคำนวณในตำแหน่งที่ i

D_i = ค่าการยุบตัวที่ได้จากการวัดจริงในตำแหน่งที่ i

โดยจากสมการทั้ง 3 จะพบว่า สมการที่ 2.2 เป็นสมการที่บ่งชี้ความคลาดเคลื่อนเฉพาะตำแหน่งที่เกิดความคลาดเคลื่อนมากที่สุดบนเส้นการยุบตัวของผิวทางส่วนสมการที่ 2.3 คือค่า $RMSE$ และสมการที่ 2.4 คือค่าความคลาดเคลื่อนโดยรวมของเส้นการยุบตัวทั้งหมดโดยค่าที่สมบูรณ์แบบทั้งสามสมการคือ 0.0, 0.0 และ 1.0 ตามลำดับ

2.5.3 การผสมข้าม

แกมเล็ทได้มีการบรรจุวิธีการผสมข้ามทั้งแบบจุดเดียว (ตัวแปร *pcross*) ที่ใช้ในโปรแกรมคำนวณย้อนกลับทั่วไปที่ใช้กระบวนการย้อนกลับแบบ SGA และการผสมข้ามแบบสม่ำเสมอ (ตัวแปร *iunifrm*) เนื่องจาก Syswerda [28] ได้เปรียบเทียบการผสมข้ามแบบต่าง ๆ พบว่าการผสมข้ามแบบสม่ำเสมอมีประสิทธิภาพที่โดดเด่น

2.5.4 การกลายพันธุ์

แกมเล็ทได้บรรจุการกลายพันธุ์ทั้งแบบกระโดด (ตัวแปร *pjumpmu*) ที่ใช้อยู่ในโปรแกรมคำนวณย้อนกลับทั่วไป และการกลายพันธุ์แบบคืบ (ตัวแปร *pcreepmu*) ซึ่งการกลายพันธุ์ทั้งสองแบบสามารถใช้ร่วมกันหรือแยกกันก็ได้

2.5.5 การคัดเลือกผู้นำ (Elitism Technique)

การคัดเลือกผู้นำ (ตัวแปร *ibstmodl*) เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเลือกผู้นำของประชากรแต่ละรุ่นที่มีค่าความเหมาะสมสูงสุดเก็บไว้ เพื่อการดำรงอยู่ในรุ่นถัดไปโดยอัตโนมัติ โดยในแกมเล็ทสามารถเลือกเปิดหรือปิดการใช้งานได้

2.5.6 วิธีกลุ่มเฉพาะ (Niche Method)

แกมเล็ทได้บรรจุวิธีกลุ่มเฉพาะ (ตัวแปร *niching*) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้สำหรับแบ่งพื้นผิวคำตอบออกเป็นหลาย ๆ ส่วนด้วยวิธีแบ่งแบบสามเหลี่ยม เพื่อค้นหาจุดต่ำสุดหลาย ๆ ตำแหน่งพร้อมกัน โดยสามารถเลือกเปิดหรือปิดการใช้งานได้เช่นกัน

นอกจากนั้นแกมเล็ทยังมีคุณสมบัติเด่นอื่น ๆ อีกเช่น FWDLine, Micro GA, CSCM [27] แต่เนื่องจากอยู่นอกเหนือขอบเขตที่ได้ทำการศึกษา จึงไม่ขอกล่าวถึงรายละเอียดในที่นี้

2.6 การกำหนดค่าพารามิเตอร์

การกำหนดค่าพารามิเตอร์ หรือการกำหนดค่าการดำเนินการทางพันธุกรรม มีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของ GA ในช่วงหลายปีที่ผ่านมามีนักวิจัยหลายท่านพยายามศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของ GA ทั้งในเชิงทฤษฎีและเชิงประจักษ์ ซึ่งมีดังนี้

การศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมส่วนใหญ่ในเชิงทฤษฎีเป็นการหาค่าพารามิเตอร์ทีละตัว โดยการกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์อื่นคงที่ ซึ่งได้มีการศึกษาไว้ดังนี้ Grefenstette (1984) [28] ได้ศึกษาถึงการตั้งค่าพารามิเตอร์ GA เพื่อหาคำตอบของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั่วไปที่ใช้กลุ่มประชากรไม่มาก โดยสรุปได้ว่าควรใช้กลุ่มประชากรจำนวน 30 ตัวอย่าง แต่ไม่ได้มีการระบุถึงจำนวนรุ่นของประชากร ใช้วิธีผสมข้ามสายพันธุ์แบบสองตำแหน่ง โดยใช้อัตราการผสมข้ามเท่ากับ 0.9 และใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงค่ายีนส์เท่ากับ 0.01 ต่อมา De jong และ Spears (1990) [29] ได้ศึกษา

ถึงการตั้งค่าเพื่อให้เป็นมาตรฐานสำหรับระเบียบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมส่วนใหญ่ โดยพารามิเตอร์ชุดนี้จะทำให้การคำนวณดีขึ้นกว่าชุดพารามิเตอร์ที่ผ่านมา จากการศึกษาพบว่า ต้องกำหนดขนาดจำนวนประชากรเท่ากับ 50 มีจำนวนรุ่นของกลุ่มประชากรทั้งหมด 1,000 รุ่น ใช้วิธีผสมข้ามสายพันธุ์แบบสองตำแหน่ง โดยมีอัตราส่วนของการผสมข้ามเท่ากับ 0.6 และใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงค่ายีนส์เท่ากับ 0.001 ซึ่งแตกต่างไปจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ จากนั้น Goldberg และคณะ (1992) [30] ได้สร้างสมการสำหรับหาขนาดของประชากรขึ้นเป็นครั้งแรกและได้รับการกลั่นกรองโดย Harik และคณะ (1997) [31] ต่อจากกนั้น Muhlenbein (1992) [32] และ Back (1993) [33] ได้ตรวจสอบผลกระทบของอัตราการกลายพันธุ์ต่อประสิทธิภาพของ GA พบว่า มีค่าเท่ากับ *l/2* สำหรับปัญหาที่มีวัตถุประสงค์เดียว เมื่อ *l* คือค่าความยาวของปัญหา

จากงานวิจัยข้างต้นแสดงให้เห็นว่าวิธีเชิงทฤษฎีสามารถนำมาใช้ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ได้เพียงบางค่าเท่านั้น แต่ถ้าหากต้องการกำหนดค่าพารามิเตอร์ทีละหลายชุด การใช้วิธีการนี้ก็เป็นเรื่องยากและไม่เหมาะสม ดังนั้นจึงมีนักวิจัยหลายท่านที่นำเอาวิธีเชิงประจักษ์มาใช้ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์เช่น De Jong (1975) [34] พบว่าขนาดของประชากรมากจะทำให้ GA มีประสิทธิภาพดีในการคำนวณระยะยาว แต่ในทางกลับกัน ขนาดประชากรน้อยจะตอบสนองการค้นหาคำตอบได้ดีในช่วงเริ่มต้น โดยอัตราการผสมข้ามและอัตราการกลายพันธุ์จะมีค่าประมาณ 0.60 และ 0.001 ตามลำดับ ส่วนขนาดประชากรจะมีค่าระหว่าง 50-100 ต่อมา Grafenstette (1986) [35] ได้ศึกษาในแนวทางเดียวกับ De Jong พบว่าควรมีขนาดของประชากรเท่ากับ 30 อัตราการผสมข้ามและอัตราการกลายพันธ์เป็น 0.95 และ 0.01 ตามลำดับ จากนั้น Schaffer และคณะ (1989) [36] ได้ศึกษาเพิ่มเติมต่อจากงานวิจัยของ De Jong เช่นกันพบว่า ควรใช้จำนวนประชากร 20-30 อัตราการผสมข้ามมีค่า 0.70-0.95 และอัตราการกลายพันธุ์มีค่า 0.005-0.01 จากผลการศึกษาของนักวิจัยทั้งสองท่านพบว่า ขนาดของประชากรและอัตราการกลายพันธุ์ แตกต่างไปจากงานวิจัยที่ De Jong [34] ได้เคยศึกษาไว้ในก่อนหน้านี้ ต่อจากนั้นงานวิจัยของ Alvarez [37] (2002) และ Ernian Pan และคณะ (2012) [38] ได้ศึกษาถึงผลของการปรับค่าพารามิเตอร์ โดยได้สามารถสรุปว่าการปรับชุดพารามิเตอร์มีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบ ซึ่งหากมีการกำหนดชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจะช่วยลดขั้นตอนการทำงานของคอมพิวเตอร์ลงได้และทำให้กระบวนการค้นหาคำตอบมีศักยภาพที่ดียิ่งขึ้น

สำหรับในงานวิศวกรรมผิวทางได้มีนักวิจัยหลายท่านที่ได้ศึกษาการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการคำนวณย้อนกลับ เช่น Reddy และคณะ [9] เป็นต้น ได้ศึกษาเพื่อเลือกชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสม จากการสุ่มชุดพารามิเตอร์จำนวน 4 พารามิแตอร์คือ จำนวนรุ่นสูงสุด ขนาดประชากร อัตราการผสมข้าม และอัตราการกลายพันธุ์ โดยได้สุ่มพารามิเตอร์ทั้งหมด 1,200 ชุด

และทดสอบประสิทธิภาพของชุดพารามิเตอร์ที่เลือกกับโครงสร้างชั้นทางที่สมมุติขึ้นซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 2.3 โดยผลการศึกษาของ Reddy และคณะ [9] ได้ชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ซึ่งแสดงรายละเอียดร่วมกับนักวิจัยท่านอื่น ๆ ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 ลักษณะโครงสร้างชั้นทางที่ Reddy และคณะสมมุติขึ้น [9]

No.	Layer Moduli [Mpa]			Layer Thickness [mm]	
	E_1	E_2	E_3	H_1	H_2
1	700	180	45	90	600
2	900	150	45	225	450
3	650	200	55	150	600
4	2500	400	90	125	300
5	1,000	300	40	95	300
6	2,000	350	95	225	425
7	2200	500	90	155	450
8	1500	350	50	150	500
9	700	125	60	95	275
10	1200	200	50	200	350

ตารางที่ 2.4 สรุปค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณย้อนกลับหาค่าโมดูลัสชั้นทาง

โปรแกรม	นักวิจัย	จำนวนรุ่น	จำนวนประชากร	การผสมข้าม	การกลายพันธุ์	*CE* *	จำนวนชั้นทาง
NUS-GABACK 1	Fwa et al. (1997) [21]	60	40	0.85	0.15	2040	3
NUS-GABACK 2	Fwa et al. (1997) [21]	60	150	0.85	0.15	7650	3
NUS-GABACK 3	Fwa et al. (1997) [21]	60	120	0.85	0.15	6120	4
(Kameyama)1	Kameyama et al. (1997) [22]	50	42-593	แปรผัน	แปรผัน	ไม่ระบุ	4
(Kameyama)2	Kameyama et al. (1997) [22]	50	150	แปรผัน	แปรผัน (แบบไดนามิค)	ไม่ระบุ	3
(Hunaidi et al.)	Hunaidi et al. (1998) [39]	50	100	0.5	0.02 (0.04 แบบคืบ)	2500	3
(Tsai et al.)	Tsai et al. (2004) [40]	500	50	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	3
BACKGA Best	Reddy et al. (2004) [9]	100	60	0.9	0.02	5400	3
BACKGA Selected	Reddy et al. (2004) [9]	60	60	0.74	0.1	2664	3, 4
GAPAVE1	Park et al. (2006) [24]	100	70	0.64	0.01	4480	-
GAPAVE2	Park et al. (2006) [24]	140	120	0.86	0.05	14448	-
BACKGENETIC3D	Alkasawneh (2007) [17]	100	100	0.75	0.001	7500	3
(Senseney)	Senseney et al. (2013) [41]	60	60	0.5	0.1	1800	2

*ภาระการคำนวณผลของคอมพิวเตอร์ (Computational Effort): CE = จำนวนรุ่น×จำนวนประชากร×การผสมข้าม

จากงานวิจัยของหลาย ๆท่านที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับ การเลือกชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของ GA แสดงให้เห็นว่า ชุดพารามิเตอร์ของ GA ที่ดีที่สุดนั้นไม่ได้มีรูปแบบของค่าพารามิเตอร์ที่แน่นอน ทั้งนี้รูปแบบของชุดพารามิเตอร์อาจขึ้นอยู่กับเป้าหมายของการค้นหาคำตอบ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วิธีการศึกษาสำนึก (Heuristics) ในการค้นหาเพื่อเลือกชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมทั้ง 9 พารามิเตอร์

2.7 ทฤษฎีการสุ่มตัวอย่าง

ในงานวิจัยนี้ได้มีการสุ่มสร้างชุดพารามิเตอร์ที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นการเลือกชุดพารามิเตอร์มาเพียงบางส่วน เพื่อนำมาใช้เป็นตัวแทนของชุดพารามิเตอร์ที่มีโอกาสจะเป็นชุดที่เหมาะสม โดยทฤษฎีการสุ่มตัวอย่างแบ่งประเภทการสุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

2.7.1 การสุ่มตัวอย่างในเชิงเป็นไปได้ (Probability Sampling)

เป็นการสุ่มตัวอย่างที่สามารถกำหนดได้ว่าทุกภาคส่วนของประชากรมีโอกาสได้รับเลือกเป็นตัวอย่างเท่ากัน การสุ่มแบบนี้มีหลายวิธีดังนี้

1. การสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (Simple Random Sampling) เป็นการสุ่มตัวอย่างที่ประชากรทุกภาคส่วนมีโอกาสเท่าเทียมกันที่จะได้รับการคัดเลือกเป็นตัวอย่าง โดยแบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ

1) วิธีตารางเลขสุ่ม เป็นการนำจำนวนขนาดตัวอย่างไปสุ่มในตารางสำเร็จรูปที่ได้สร้างไว้แล้ว จากนั้นกำหนดหลักในการสุ่มเลือกและทำการสุ่มตามข้อกำหนด จนได้ตามจำนวนที่ต้องการ

2) วิธีการจับฉลาก โดยการกำหนดหมายเลขกำกับประชากรตัวอย่าง แต่ละรายการก่อน แล้วจึงจับฉลากขึ้นมา ซึ่งวิธีการจับฉลากอาจใช้ 2 แบบคือ

(1) ไม่สุ่มประชากรที่เคยถูกสุ่มแล้ว (Simple Random Sampling without Replacement)

(2) สุ่มประชากรที่เคยถูกสุ่มแล้ว (Sample Random Sampling with Replacement)

2. การสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบ (Systematic Sampling) การสุ่มแบบนี้จะต้องอาศัยบัญชีรายการเกี่ยวกับประชากรกลุ่มเป้าหมาย โดยเลือกตามจำนวนที่กำหนดไว้ เช่น ประชากรจำนวน 1,000 ตัวอย่าง ต้องการตัวอย่างจำนวน 100 ตัวอย่าง โดยทำการเลือกทุก ๆ 10 หน่วย

3. การสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้น (Stratified Random Sampling) การสุ่มตัวอย่างแบบนี้ต้องแยกประเภทของประชากรเป็นกลุ่มย่อยหรือชั้นก่อน แล้วจึงสุ่มตัวอย่างแยกกันคนและกลุ่ม โดยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย หรือ การสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบ

4. การสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่ม (Cluster Sampling) คือการสุ่มตัวอย่างประชากรโดยแบ่งประชากรออกเป็นกลุ่มๆ ให้แต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกัน คือมีความแตกต่างกันภายในกลุ่ม เช่น การสุ่มตัวอย่างโดยการแบ่งตามประเภท

5. การสุ่มตัวอย่างในทุกขั้นตอน (Multi Stage Sampling) เป็นการเลือกสุ่มโดยสุ่มย่อยลงไปเรื่อย ๆ ลำดับ เช่น สุ่มลือกชนิด จากนั้นสุ่มเลือกชุด แล้วจึงสุ่มเลือกประชากร

2.7.2 การสุ่มตัวอย่างในเชิงเป็นไปไม่ได้ (Non-Probability Sampling)

เป็นการสุ่มตัวอย่างโดยไม่อาจกำหนดได้ว่าทุกส่วนของประชากรมีโอกาสได้รับการคัดเลือกโดยเท่ากัน ซึ่งทำให้ไม่สามารถจะคาดคะเนหรือคำนวณหาความผิดพลาดในการสุ่มเลือกตัวอย่างได้ การสุ่มแบบนี้มีหลายวิธีคือ

1. การสุ่มตัวอย่างแบบบังเอิญ (Accidental Sampling) เช่น เมื่อพบประชากรตัอย่างที่ตรงตามความต้องการ ก็นำมาใช้งานทันที

2. การสุ่มตัวอย่างโดยวิธีการจัดสรรโควตา (Quota Sampling) เป็นการสุ่มตัวจัดสรรโควตาตัวอย่างให้แต่ละกลุ่มตามสัดส่วนของปริมาณประชากรที่แบ่งกลุ่มไว้ ตามจำนวนที่ระบุไว้ก่อนหน้า

3. การสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) โดยจะเลือกศึกษาจากประชากรที่มีลักษณะตรงตามวัตถุประสงค์ที่จะศึกษา

4. การสุ่มตัวอย่างพิจารณาตามความสะดวก (Convenience Sampling) โดยจะเลือกศึกษากลุ่มประชากรที่เห็นว่าง่ายต่อการศึกษา

โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย โดยใช้วิธีจับฉลากที่มีการสุ่มประชากรที่เคยถูกสุ่มแล้ว หรืออีกนัยหนึ่งคือ เป็นการสุ่มที่มีการเลือกซ้ำได้ ซึ่งจัดอยู่ในการสุ่มตัวอย่างแบบเป็นไปได้ เนื่องค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสุ่มนั้น มีการกำหนดขอบเขตการสุ่ม โดยอ้างอิงจากฐานข้อมูลค่าพารามิเตอร์ของงานวิจัยที่เคยมีการศึกษาไว้ก่อนหน้า [12, 17, 19, 22, 29] โดยในงานวิจัยนี้ใช้คำสั่ง RANDBETWEEN ของโปรแกรม Microsoft Excel 2013 ในการสุ่ม

2.8 การวิเคราะห์เพื่อเลือกชุดพารามิเตอร์

ในการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมให้กับโปรแกรมแกมเล็ท มีค่าที่ใช้เป็นดัชนีเพื่อเลือกชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมดังนี้

2.8.1 ค่าคลาดเคลื่อนของค่าโมดูลัสชั้นทาง (Moduli Error, E_{err})

เป็นค่าคลาดเคลื่อนของค่าโมดูลัสชั้นทางที่ได้จากการคำนวณเทียบกับค่าโมดูลัสชั้นทางที่ได้กำหนดไว้ในแบบจำลอง เพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนในระดับที่ยอมรับได้ โดยมีวิธีการคำนวณดังสมการที่ 2.6

$$E_{err} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{E_{ir}-E_{i}}{E_{ir}}\right)^{2}}{N}} \tag{2.6}$$

โดยที่

E_{ir} = ค่าโมดูลัสชั้นทางที่กำหนดในแบบจำลองของชั้นทางที่ i

E_i = ค่าโมดูลัสชั้นทางที่ได้จากการคำนวณของชั้นทางที่ i

N = จำนวนชั้นทาง

2.8.2 ค่าภาระการคำนวณของคอมพิวเตอร์(Computational Effort, CE)

เป็นค่าผลคูณระหว่าง จำนวนประชากร จำนวนรุ่นของประชากร และอัตราของการผสมข้าม ซึ่งใช้สำหรับชี้วัดภาระการคำนวณของคอมพิวเตอร์ โดยหากชุดพารามิเตอร์ใดมีค่า CE มาก แสดงว่าพารามิเตอร์ชุดนั้นสร้างภาระในการคำนวณสูง โดยมีวิธีการคำนวณดังสมการที่ 2.7 [41]

$$CE = numpop \times maxgen \times pcross \tag{2.7}$$

โดยที่

$numpop$ = ขนาดของประชากร

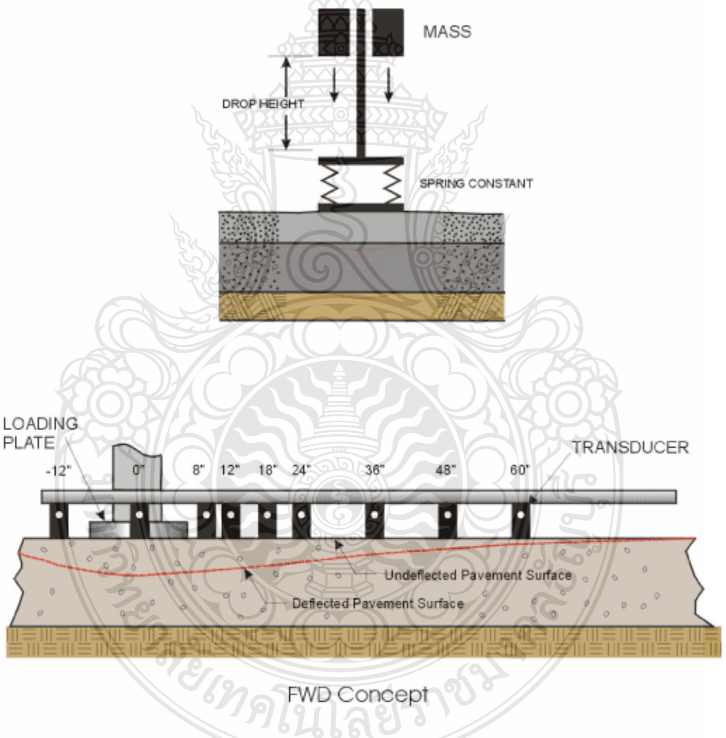
$maxgen$ = จำนวนรุ่นของประชากร

$pcross$ = อัตราของการผสมข้าม

2.9 การทดสอบหาค่าการยุบตัวด้วยเครื่องมือ FWD ในสนาม

การใช้เครื่องมือทดสอบหาค่าการยุบตัวด้วยลูกตุ้มกระแทก (Falling-Weight Deflectometer, FWD) เป็นการทดสอบความแข็งแรงของโครงสร้างทางไม่ทำลาย (NDT) แบบใช้แรงกระตุ้น (Impulse Device) ที่กำลังได้รับความนิยม เนื่องจากเป็นการทดสอบที่ไม่ทำลายชั้นผิวทาง

ที่เป็นสาเหตุให้ผู้ใช้ถนนรู้สึกไม่สะดวกสบายในการสัญจร และมีความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานขณะทำการทดสอบ รวมถึงสามารถทำการทดสอบได้อย่างรวดเร็ว โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ ก้อนน้ำหนัก แผ่นยางกันกระแทกที่ทำหน้าที่คล้ายสปริง ที่วัดอุณหภูมิ รวมถึงตัวรับสัญญาณ (Geophones) และกลไกควบคุมการยกและปล่อยก้อนน้ำหนัก ซึ่งเป็นระบบอิเลคโทร-ไฮโดรลิค ที่ควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ดังรูปที่ 2.7 โดยก้อนน้ำหนักสามารถจำลองน้ำหนักกระทำที่มากระทำต่อโครงสร้างทางได้ในลักษณะคล้ายกับน้ำหนักลงเพลามาตรฐาน การวัดค่าการยุบตัวนั้นโดยทั่วไปตัวรับสัญญาณ 6 ถึง 9 ตัว โดยมีตัวรับสัญญาณ หนึ่งตัวทำหน้าที่วัดค่าการยุบตัวของโครงสร้างทางที่ตำแหน่งกึ่งกลางของแผ่นรองรับน้ำหนักทดสอบ จากนั้นตัวรับสัญญาณจะรับข้อมูลการค่ายุบตัวที่เกิดจากน้ำหนักที่กระทำต่อผิวทางและส่งไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อเก็บบันทึกข้อมูลสำหรับใช้ในการประมาณค่าโมดูลัสชั้นทางต่อไป



รูปที่ 2.7 ลักษณะการทำงานของเครื่องมือ FWD [42]

ในการทดสอบโดยใช้เครื่องมือ FWD สามารถทำได้โดยอิสระ (Stand Alone System) โดยไม่ต้องใช้รถบรรทุกขนาดมาตรฐานเนื่องจาก เครื่อง FWD สามารถผลิตน้ำหนักกระแทกขึ้นเองได้ ซึ่งทำให้เกิดความสะดวก รวดเร็ว และปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานในสนาม โดยการทำงานของ

เครื่องมือ FWD เริ่มจากการสอบเทียบระยะยกก้อนน้ำหนักเพื่อให้เครื่องมือคำนวณความสูงของการยกก้อนน้ำหนักเพื่อผลิตน้ำหนักที่ผู้ทดสอบใช้ในการทดสอบได้อย่างแม่นยำทำงาน เมื่อเริ่มทำการทดสอบ เครื่องมือจะยกก้อนน้ำหนักขึ้นตามความสูงที่คำนวณไว้ จากนั้นจะปล่อยก้อนน้ำหนักกระแทกกับแผ่นรองรับน้ำหนักเพื่อถ่ายน้ำหนักไปยังผิวทาง เมื่อผิวทางมีการยุบตัวเกิดขึ้น ตัวรับสัญญาณหรืออุปกรณ์วัดค่าการยุบตัวแต่ละตำแหน่งจะทำการวัดและส่งค่าไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อเก็บบันทึก ซึ่งตำแหน่งของอุปกรณ์วัดค่าการยุบตัวนั้น ผู้ใช้สามารถเลือกปรับได้ แต่โดยทั่วไปแล้วจะมีตำแหน่งการวางตัวที่เป็นมาตรฐานในการทำงาน เช่น ที่ระยะ 0, 200, 350, 400, 600, 900, 1200, 1500 และ 1,800 มม. หรือจากข้อแนะนำของแต่ละหน่วยงานดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างตำแหน่งการวางตัวของอุปกรณ์วัดค่าการยุบตัวที่ใช้ในแต่ละหน่วยงาน [43]

Agency	Configuration Name	Sensor Distance from Center of Load Plate, in (cm)						
		Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3	Sensor 4	Sensor 5	Sensor 6	Sensor 7
U.S. Air Force	AF 7-Sensor	0	12 (30)	24 (60)	36 (90)	48 (120)	60 (150)	72 (180)
FHWA and State DOT	SHRP 4-Sensor	0	12 (30)	24 (60)	36 (90)	-	-	-
	SHRP 7-Sensor	0	6 (15)	12 (30)	18 (45)	24 (60)	36 (90)	60 (150)

2.9.1 ข้อควรพิจารณาในการทดสอบด้วยเครื่องมือ FWD

ก่อนนำเครื่องมือ FWD ไปใช้งานควรมีการตรวจสอบ แก้ไข และสอบเทียบก่อน ทั้งนี้เพื่อเคครื่องสามารถทำงานได้อย่างปรกติและผลข้อมูลการทดสอบมีความถูกต้อง โดยมีข้อควรพิจารณาดังนี้ [44]

1. การสอบเทียบมาตรฐาน (Calibration Process) ก่อนเริ่มต้นทำการทดสอบในภาคสนาม ควรมีการสอบเทียบเพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานที่ผู้ผลิตตั้งก่อนไว้ทุกครั้ง เช่น ขนาดของแรงกระแทก ตำแหน่งของอุปกรณ์วัดค่าการยุบตัว ระบบไฮดรอลิก ชุดวัดอุณหภูมิ การจ่ายพลังงาน การถ่ายโอนข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์ เป็นต้น

2. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางแผ่นเหล็ก (Load Plate Diameter) มีอยู่ 2 ขนาด คือ 300 มม. และ 450 มม. โดยแผ่นเหล็กขนาดใหญ่ (450 มม.) นิยมใช้ทดสอบบนชั้นพื้นทางหรือรองพื้นทางซึ่งเป็นชั้นที่ไม่เป็นวัสดุประสานเนื่องจากสามารถกระจายน้ำหนักได้กว้างกว่า ส่วนแผ่นเหล็กขนาดเล็ก (300 มม.) จะนิยมใช้ทดสอบบนผิวทางที่เป็นวัสดุแบบประสาน (Bound Surface Materials)

3. ตำแหน่งและจำนวนของเซ็นเซอร์วัดค่ายุบตัว (Sensor Spacing and Number) โดยจะต้องจัดตำแหน่งให้ได้ตามที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งข้อพิจารณาพื้นฐาน คือ การจัดตำแหน่งเซ็นเซอร์ให้กระจายครอบคลุมแอ่งการยุบตัวที่จะประเมินความแข็งแรงชั้นทาง

4. ระยะเวลาการกระตุ้นด้วยแรง (Pulse Duration) ซึ่งเป็นระยะเวลาที่น้ำหนักกระแทกกระทำต่อจุดทดสอบ ซึ่งงานมาตรฐาน เช่น FAA และ ASTM [43] ได้แนะนำให้ใช้ค่าในช่วง 20 ถึง 60 มิลลิวินาที ซึ่งโดยทั่วไปค่าที่วัดได้จากเครื่องมือ FWD อยู่ที่ประมาณ 25-30 มิลลิวินาที [45]

5. น้ำหนักตุ้มกระแทก (Impulse Load) ที่ใช้ทดสอบ โดยทั่วไปนั้น ผิวทางถนนจะใช้น้ำหนักในการทดสอบที่ 80 kN ส่วนของสนามบินพลเรือนนั้นอยู่ระหว่าง 90 kN ถึง 245 kN [46] ซึ่งการเลือกขนาดน้ำหนักนอกจากจะเลือกให้ความสอดคล้องกับน้ำหนักยานพาหนะที่ใช้ออกแบบแล้ว ต้องพิจารณาความหนาของโครงสร้างผิวทางด้วย โดยน้ำหนักที่เลือกใช้นั้นต้องทำให้เกิดค่าการยุบตัวอยู่ในช่วงเกณฑ์ที่ทางผู้ผลิตกำหนดด้วย โดยตารางที่ 2.6 แสดงรายละเอียดของเครื่องมือ FWD แต่ละรุ่น

2.9.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ในงานวิจัยนี้ได้นำเอาค่าการยุบตัวที่ได้จากการทดด้วยเครื่องมือ FWD โดยก่อนนำข้อมูลค่าการยุบตัวมาใช้ จะต้องมีการปรับแก้ค่าการยุบตัวเข้าสู่น้ำหนักมาตรฐาน (Normalization) เสียก่อน ทั้งนี้เพื่อให้น้ำหนักที่ใช้ทดสอบเป็นไปในแนวทางเดียวกัน และลดการข้อผิดพลาดที่เกิดจากการปัดเศษ (Round-Off Error) ของหน่วยน้ำหนักที่ใช้ทดสอบ โดยการปรับแก้ค่าการยุบตัวสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.8 [47]

$$d_{i(n)} = \left(\frac{L_{norm}}{L_{applied}}\right) \times d_i \tag{2.8}$$

โดยที่

$d_{i(n)}$ = ค่าการยุบปรับแก้ในตำแหน่งที่ i

d_i = ค่าการยุบตัวในตำแหน่งที่ i

L_{norm} = น้ำหนักมาตรฐาน

$L_{applied}$ = น้ำหนักที่ใช้ทดสอบ

ตารางที่ 2.6 รายละเอียดทางเทคนิคของเครื่องมือ FWD แต่ละรุ่น [43]

	Dynatest	Foundation Mechanics, Inc.	KUAB	Carl Bro Group
Load Range, lb (kN)	1,500 - 54,000 (7 - 240)	1,500 - 54,000 (7 - 240)	1,500 - 66,000 (7 - 300)	1,500 - 56,000 (7 - 250)
Load Duration, milliseconds	25 - 30 ms	Selectable	56 ms	25 - 30 ms
Load Rise Time	Variable	Selectable	28 millisecond	12 - 15 ms
Load Generator	One-Mass	Two-Mass	One-Mass	One-Mass
Type of Load Plate	Rigid with Rubberized Pad or Split Plate	Rigid with Rubberized Pad	Segmented or Nonsegmented with Rubberized Pads	Four Segmented Plate with Rubberized Pad
Diameter of Load Plate, in (cm)	12 And 18 (30 And 45)	12 And 18 (30 And 45)	12 And 18 (30 And 45)	12 And 18 (30 And 45)
Type of Deflection Sensors	Geophones with or without Dynamic Calibration Device	Geophones	Seismometers with Static Field Calibration Device	Geophones with or without Dynamic Calibration Device
Deflection Sensor Positions, in (cm)	0 - 90 (0 - 225)	0 - 96 (0 - 240)	0 - 72 (0 - 180)	0 - 96 (0 - 250)
Number of Sensors	7 - 9	7	7	9 - 12
Deflection Sensor Range, mils (mm)	80 or 100 (2 or 2.5 Mm)	80 (2)	200 (5)	90 (2.2)
Deflection Resolution	1 im (0.04 mils)	1 im (0.04 mils)	1 im (0.04 mils)	1 im (0.04 mils)
Relative Accuracy of Deflection Sensors	2 µm ± 2%	2 µm ± 2%	2 µm ± 2%	2 µm ± 2%
Test Time Required (four loads)	25 Seconds	30 Seconds	35 Seconds	20 Seconds
Type of Computer	Personal Computer	Personal Computer	Personal Computer	Personal Computer

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

ในกระบวนการ การคำนวณย้อนกลับโดยใช้ระเบียบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเพื่อหาความแข็งแรงของโครงสร้างทางนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใส่ค่าพารามิเตอร์ในการตั้งค่าการทำงานของโปรแกรม ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาในหลายๆ ฉบับ นักวิจัยแต่ละท่านต่างก็มุ่งหวังที่จะเลือกชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมให้กับแต่ละโปรแกรม ซึ่งในงานวิจัยฉบับนี้ก็มุ่งหวังที่จะเลือกชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมให้กับโปรแกรมแกมเล็ท เพื่อให้สามารถคำนวณย้อนกลับเพื่อหาค่าโมดูลัสชั้นทางได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็วมากยิ่งขึ้น

วิธีการดำเนินงานในการศึกษาวิจัยในขั้นตอนนี้เป็นวิธีการวิจัยในเชิงวิเคราะห์และทดลอง ซึ่งวิธีที่ใช้ในการวิจัยทั้งหมดเป็นไปตามขั้นตอนการวิจัยดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 1 ดังนี้

1. ศึกษารวบรวมทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาลักษณะโครงสร้างชั้นทางและน้ำหนักบรรทุกที่สอดคล้องกับที่ใช้ในประเทศไทย
3. สร้างแบบจำลองและวิเคราะห์ค่าการยุบตัว ด้วยโปรแกรม BISAR 3.0
4. ศึกษาและสร้างชุดพารามิเตอร์จากการสุ่มเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการคำนวณ
5. ทดสอบชุดพารามิเตอร์ที่สร้างขึ้นเพื่อประเมินประสิทธิภาพในการคำนวณ
6. วิเคราะห์ประสิทธิภาพในการคำนวณจากชุดพารามิเตอร์เพื่อให้มีความเหมาะสมระหว่างความถูกต้องของคำตอบและภาระการคำนวณของคอมพิวเตอร์
7. ทดสอบชุดพารามิเตอร์ที่ได้รับการคัดเลือกกับแบบจำลองโครงสร้างชั้นทางที่สร้างขึ้นเพื่อประเมินประสิทธิภาพของชุดพารามิเตอร์
8. นำชุดพารามิเตอร์มาใช้งานกับข้อมูลการทดสอบจริงในสนาม
9. เปรียบเทียบประสิทธิภาพกับโปรแกรมในเชิงพาณิชย์
10. สรุปผลข้อมูลและรวบรวมผลการศึกษา
11. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์และตีพิมพ์เพื่อเผยแพร่ในการประชุมวิชาการหรือวารสารวิชาการระดับชาติ

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 โปรแกรม BISAR 3.0 เป็นโปรแกรมวิเคราะห์หาพฤติกรรมทางกลศาสตร์วิศวกรรมของโครงสร้างทาง โดยในงานวิจัยนี้ใช้สำหรับวิเคราะห์หาค่าการยุบตัวของแบบจำลองโครงสร้างทาง ซึ่งเป็นการจำลองแทนการทดสอบด้วยเครื่อง FWD

3.1.2 โปรแกรมแกมเล็ท 308 เป็นโปรแกรมคำนวณย้อนกลับหาค่าโมดูลัสชั้นทางโดยใช้ระเบียบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเป็นกระบวนการคำนวณย้อนกลับ ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับโปรแกรมนี้

3.1.3 โปรแกรม PAVERS 2.8 เป็นโปรแกรมคำนวณย้อนกลับหาค่าโมดูลัสชั้นทาง ที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ โดยในงานวิจัยนี้ได้นำมาเปรียบเทียบความแม่นยำของผลการคำนวณย้อนกลับกับโปรแกรมแกมเล็ทที่ตั้งค่าด้วยชุดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

3.1.4 เครื่องมือทดสอบการยุบตัวด้วยลูกตุ้มกระแทก (FWD) เป็นเครื่องมือทดสอบการยุบตัวในสนาม โดยในงานวิจัยนี้ใช้ผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องมือรุ่น Dynatest Model 8000 ดังรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 เครื่องมือทดสอบการยุบตัวด้วยลูกตุ้มกระแทก รุ่น Dynatest Model 8000

3.1.5 เครื่องมือ Ground Penetrating Radar (GPR) เป็นเครื่องมือตรวจสอบความหนาชั้นทางในสนาม โดยในงานวิจัยนี้ใช้ความหนาชั้นทางจากข้อมูลผลการทดสอบ GPR โดยตัวอย่างของเครื่องมือ GPR ดังแสดงในรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.2 เครื่องมือ Ground Penetrating Radar (GPR)

3.2 วิธีการดำเนินงาน

3.2.1 จำลองการทดสอบด้วยเครื่อง FWD กับแบบจำลองโครงสร้างชั้นทาง

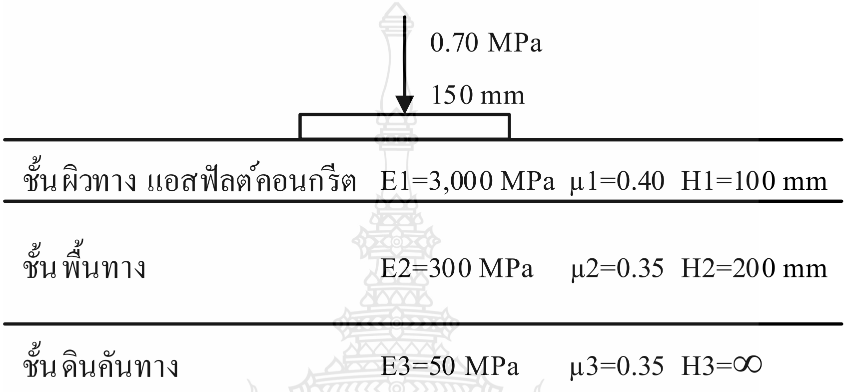
ทำการสร้างแบบจำลองโครงสร้างชั้นทาง โดยสมมุติให้เป็นผิวทางแบบยืดหยุ่นที่มีลักษณะใกล้เคียงกับถนนลาดยางที่ก่อสร้างจริงในประเทศไทยโดยมีลักษณะชั้นทางดังรูปที่ 3.3 จากนั้นคำนวณแอ่งการยุบตัวด้วยโปรแกรม BISAR ซึ่งเป็นการจำลองการทดสอบเครื่อง FWD เพื่อนำค่าที่ได้ ไปใช้ในการคำนวณย้อนกลับหาความแข็งแรงของโครงสร้างชั้นทาง โดยแบบจำลองโครงสร้างชั้นทางมีรายละเอียดดังนี้

1. ใช้แรงดันที่กระทำกับผิวทางขนาด 700 kPa (น้ำหนักลงเพลาเดี่ยวมาตรฐาน 10 ตัน)

2. ใช้รัศมีของพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างล้อรถกับผิวทาง 150 มม.

3. ค่าอัตราส่วนปัวซ์ซอง (μ) และค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (E) ตามคุณสมบัติของวัสดุที่เป็นใช้เป็นโครงสร้างทาง

4. ตำแหน่งตัวรับสัญญาณ 8 ตำแหน่ง 0, 200, 300, 450, 600, 900, 1200 และ 1500 มม.



รูปที่ 3.3 แบบจำลองโครงสร้างโครงสร้างชั้นทางที่ใช้ในการพิจารณา

3.2.2 สร้างและทดสอบชุดพารามิเตอร์เพื่อหาชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับโปรแกรมแกมเล็ท

ในการคำนวณย้อนกลับด้วยโปรแกรมแกมเล็ท ต้องมีการกำหนดค่าข้อมูลนำเข้า ซึ่งโปรแกรมแกมเล็ทที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นโปรแกรมรุ่น GAMLET 308 (สามารถวิเคราะห์โครงสร้างทางแบบ 3 ชั้นทาง จากค่าการยุบตัว 8 ตำแหน่ง) โดยมีข้อมูลนำเข้าที่จำเป็นในการวิเคราะห์ดังนี้

1. ค่าความหนาของชั้นทางทั้ง 3 ชั้น

2. ค่าแรงดันที่กระทำต่อผิวทาง

3. ค่าการยุบตัวของโครงสร้างทาง ที่ได้จากโปรแกรม BISAR จำนวน 8 ค่า

4. ค่าพารามิเตอร์ของโปรแกรมแกมเล็ท

โดยข้อมูลนำเข้าลำดับที่ 1 ถึงลำดับที่ 3 เป็นข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองในขั้นตอนที่ 3.2.1 ส่วนข้อมูลนำเข้าลำดับที่ 4 ได้มาจากการสร้างชุดพารามิเตอร์ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. ทดสอบการ เปิด-ปิด ชุดพารามิเตอร์ที่เป็นเทคนิคแบบใหม่ของ GA

สร้างชุดพารามิเตอร์ที่มีการปรับเปลี่ยนการ เปิด-ปิด เทคนิคแบบใหม่ของ GA ซึ่งประกอบไปด้วย การผสมข้ามแบบสม่ำเสมอ (ตัวแปร *iunifirm*) การกลายพันธุ์แบบคืบ (ตัวแปร *pcreepmu*) วิธีกลุ่มเฉพาะ (ตัวแปร *niching*) และการคัดเลือกผู้นำ (ตัวแปร *ibstmold*) เพื่อหาค่าที่เหมาะสม

2. ทดสอบหาช่วงของค่าพารามิเตอร์ที่เป็นตัวเลขที่เหมาะสม

สร้างชุดพารามิเตอร์ที่มีการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่เป็นตัวเลขซึ่งประกอบไปด้วย ขนาดประชากร (ตัวแปร *numpop*) อัตราความเป็นไปได้ของการผสมข้ามแบบจุดเดียว (ตัวแปร *pcross*) การกลายพันธุ์แบบกระโดด (ตัวแปร *pjumpmu*) การกลายพันธุ์แบบคืบ (ตัวแปร *pcreepmu*) เพื่อหาค่าที่เหมาะสม

3. สร้างชุดพารามิเตอร์ทั้งหมดของ GA จากการสุ่ม เพื่อหาชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

สร้างชุดพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันจำนวน 2,000 ชุด โดยใช้วิธีการตามทฤษฎีการสุ่มในหัวข้อที่ 2.7 ซึ่งมีขอบเขตการสุ่มของทั้ง 9 พารามิเตอร์ ดังตารางที่ 3.1 โดยใช้งานวิจัยที่ผ่านมา [12, 17, 19, 28] เป็นแนวทางและคำนวณภาระการคำนวณผลของคอมพิวเตอร์ (Computational Effort, *CE*) ตามสมการที่ 2.7 เพื่อใช้ในการกำหนดขนาดของชุดพารามิเตอร์ โดยในส่วนของค่าโมดูลัสชั้นทางที่เป็นไปได้ มีการกำหนดช่วงในการค้นหาคำตอบของโปรแกรมดังนี้คือ ชั้นผิวทาง ชั้นพื้นทาง และชั้นดินคันทาง มีค่าระหว่าง 500-10,000 Mpa, 50-1,000 MPa และ 10-500 MPa ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 วิธีการเลือกช่วงของค่าพารามิเตอร์สำหรับการคำนวณย้อนกลับด้วยโปรแกรมแกมเล็ท

พารามิเตอร์	ขอบเขต
จำนวนรุ่นสูงสุด (*maxgen*)	40-140
ขนาดของประชากร (*numpop*)	40-80
อัตราความเป็นไปได้ของการผสมข้ามแบบจุดเดียว (*pcross*)	0.70-0.90
อัตราความเป็นไปได้ของการกลายพันธุ์แบบกระโดด (*pjumpmu*)	0.01-0.05
การปิด-เปิด การผสมข้ามแบบสม่ำเสมอ (*iunifirm*)	on-off
การปิด-เปิด การกลายพันธุ์แบบคืบ (*icreep*)	on-off
อัตราความเป็นไปได้ของการกลายพันธุ์แบบคืบ (*pcreepmu*)	0.001-0.200
การปิด-เปิด การคัดเลือกผู้นำ (*ibstmold*)	on-off
การปิด-เปิด วิธีกลุ่มเฉพาะ (*niching*)	on-off

3.2.3 วิเคราะห์หาชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

วิเคราะห์หาชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมโดยนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า CE และค่าที่แสดงถึงประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบของโปรแกรมแกมเล็ท เช่น ค่าความเหมาะสม ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าโมดูลัสชั้นทาง ค่า $RMSE$ เป็นต้น จากนั้นจึงทำการเลือกชุดพารามิเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจะต้องมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

3.2.4 ทดสอบชุดพารามิเตอร์กับแบบจำลองโครงสร้างชั้นทาง

ทดสอบชุดพารามิเตอร์โดยนำไปใช้กับแบบจำลองโครงสร้างชั้นทางที่ Reddy และคณะ [9] สมมุติขึ้น 10 แบบ เพื่อประเมินประสิทธิภาพของชุดพารามิเตอร์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. กำหนดความหนา (H) และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของชั้นทาง (E) ตามแบบจำลองโครงสร้างชั้นทางที่ Reddy และคณะ [9] สมมุติขึ้น

2. กำหนดค่าแรงดันที่กระทำกับผิวทางและค่าอัตราส่วนปัวซ์ซอง (μ) ตามแบบจำลองในขั้นตอนที่ 3.2.1

3. คำนวณค่าการยุบตัวดังขั้นตอนที่ 3.2.1

4. นำค่าการยุบตัวมาคำนวณย้อนกลับด้วยโปรแกรมแก็มเล็ทเพื่อประเมินประสิทธิภาพของชุดพารามิเตอร์

3.2.5 นำชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมมาใช้งานกับข้อมูลที่ทดสอบจริงในสนาม

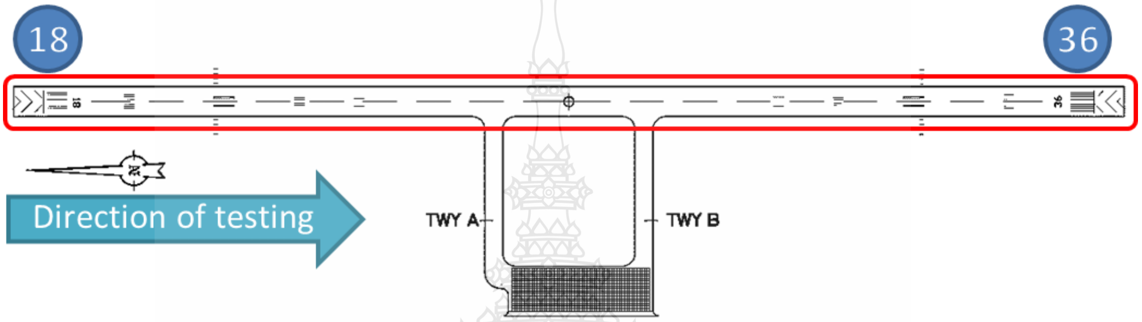
นำชุดพารามิเตอร์ที่ได้รับการคัดเลือกมาตั้งค่าให้กับโปรแกรมแกมเล็ท จากนั้นทำการคำนวณย้อนกลับกับข้อมูลที่ทดสอบจริงในสนามด้วยเครื่องมือ FWD โดยผลข้อมูลการยุบตัวที่ได้จากเครื่อง FWD จะต้องมีการปรับแก้ค่าการยุบตัวสู่น้ำหนักมาตรฐาน ส่วนค่าความหนาที่ได้จากการทดสอบด้วย GPR จะต้องมีการปรับแก้ให้ถูกต้องก่อนนำมาใช้งาน

3.2.6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพกับโปรแกรมในเชิงพาณิชย์

เปรียบเทียบประสิทธิภาพการคำนวณย้อนกลับของข้อมูลที่ทดสอบจริงในสนามระหว่างโปรแกรมแกมเล็ทที่ตั้งค่าด้วยชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมและโปรแกรมในเชิงพาณิชย์ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม PAVERS 2.8 เป็นโปรแกรมเปรียบเทียบ

3.3 การทดสอบ FWD บริเวณทางวิ่งของท่าอากาศยานเพชรบูรณ์

การทดสอบ FWD บริเวณทางวิ่ง (Runway) ของท่าอากาศยานเพชรบูรณ์ เป็นการทดสอบหาค่าการยุบตัวเพื่อคำนวณย้อนกลับหาค่าโมดูลัส ซึ่งส่วนหนึ่งของโครงการตรวจสอบความแข็งแรงทางวิ่ง ทางขับ และลานจอดของท่าอากาศยานทั้ง 8 แห่ง ของกรมการบินพลเรือน (Department of Civil Aviation, DCA) โดยผังบริเวณของพื้นที่ทดสอบทางวิ่งของท่าอากาศยานเพชรบูรณ์ (PB RWY 18/36) ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ผังบริเวณของพื้นที่ทดสอบ FWD บริเวณทางวิ่งของท่าอากาศยานเพชรบูรณ์

3.3.1 การกำหนดตำแหน่งทดสอบ

โดยทั่วไปการทดสอบด้วยเครื่อง FWD จะสามารถทำการทดสอบได้ประมาณ 200 ถึง 300 จุดทดสอบต่อ 1 วัน หรือต่อ 8 ชั่วโมงทำงาน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุปสรรคที่พบในภาคสนาม ดังนั้นเพื่อลดอุปสรรคที่จะอาจเกิดขึ้นในสนามและควบคุมการทดสอบให้อยู่ในช่วงเวลาที่กำหนด จึงได้มีการวางแผนกำหนดตำแหน่งจุดทดสอบ และลำดับตำแหน่งการเข้าพื้นที่ทดสอบ ในการกำหนดจุดทดสอบ FAA [43] ได้ให้ค่าแนะนำในการกำหนดจุดทดสอบบนทางวิ่งและทางขับทั้งสำหรับผิวทางแอสฟัลต์และผิวทางคอนกรีตดังแสดงในตารางที่ 3.2 เมื่อทราบตำแหน่งจุดทดสอบที่แน่นอนแล้ววิศวกรสำนักงานจะทำการวาดแผนผังการทดสอบในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบแล้วส่งให้ผู้ทดสอบหรือวิศวกรปฏิบัติงานภาคสนาม เพื่อให้เกิดความเข้าตรงกันระหว่างผู้ปฏิบัติการทดสอบและผู้วิเคราะห์ข้อมูล

ตารางที่ 3.2 ตำแหน่งและระยะห่างของจุดทดสอบที่ใช้ทั่วไปสำหรับทางวิ่งและทางขับ [43]

Test Type	Jointed PCC and HMA Overlaid PCC				HMA			
	Project Level		Network Level		Project Level		Network Level	
	Offset ft (m)	Spacing ft (m)	Offset ft (m)	Spacing ft (m)	Offset ft (m)	Spacing ft (m)	Offset ft (m)	Spacing ft (m)
Center	10 (3) 30 (9) 65 (20)	100 (30) 100 - 200 (30 - 60) 400 (120)	10 (3)	200 – 400 (60 - 120)	200 - 400 (60 - 120)	100 (30) 100 - 200 (30 - 60) 200 - 400 (60 - 120)	10 (3)	200 - 400 (60 - 120)
Joint	10 (3) 30 (9) 65 (20)	100 - 200 (30 - 60) 200 - 400 (60 - 120) 400 (120)	10 (3)	-	-	-	-	-
Long. Joint	20 (6) 40 (12) 60 (18)	200 (60) 400 (120) 400 (120)	-	-	-	-	-	-
Corner	20 (6) 40 (12) 60 (18)	200 (60) 400 (120) 400 (120)	-	-	-	-	-	-

For each centerline offset, there are two NDT passes, one to the left and one to the right; spacing is staggered between adjacent NDT passes; and a minimum of two NDT tests should be conducted per pavement section.

โดยการทดสอบทางวิ่งของท่าอากาศยานเพชรบูรณ์ มีการกำหนดจุดทดสอบและมีการปรับตำแหน่งเพื่อให้จุดทดสอบมีการกระจายครอบคลุมพื้นที่ทดสอบ โดยยังคงสอดคล้องตามที่กรมการบินพลเรือนระบุ โดยมีการกำหนดจุดทดสอบไว้ดังนี้

1. จำนวนแนวทดสอบ (Test Track) 5 แนว
2. ตำแหน่งทดสอบและความถี่

1) แนวระยะ 6 ม. ด้านซ้าย แนวศูนย์กลางทางวิ่ง: เริ่มที่สถานี 0+000 ม. ความถี่ทุก ๆ 100 ม.

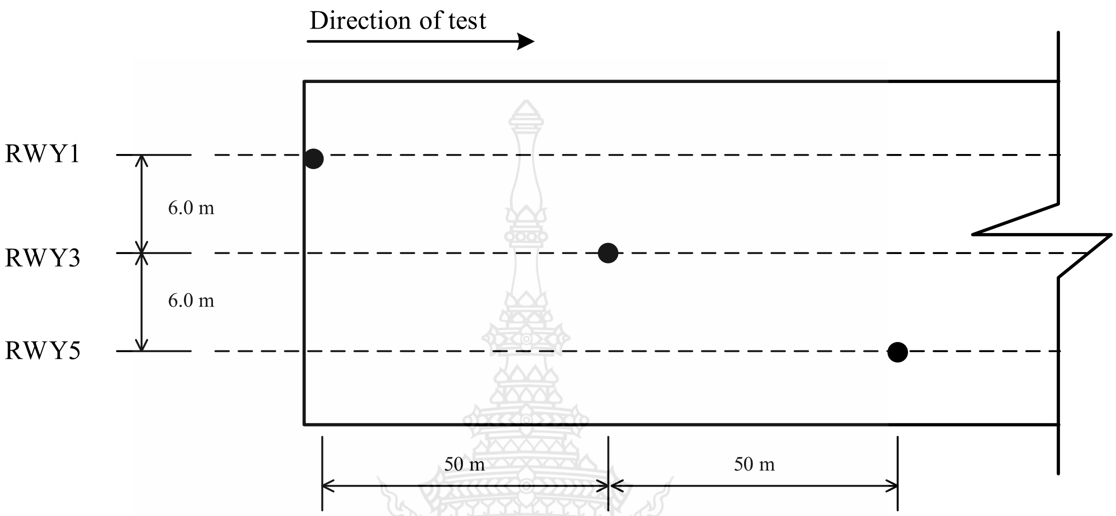
2) แนวระยะ 3 ม. ด้านซ้าย แนวศูนย์กลางทางวิ่ง: เริ่มที่สถานี 0+025 ม. ความถี่ทุก ๆ 100 ม.

3) แนวศูนย์กลางทางวิ่ง: เริ่มที่สถานี 0+050 ม.ความถี่ ทุกๆ 100 ม.

4) แนวระยะ 3 ม. ด้านขวา แนวศูนย์กลางทางวิ่ง: เริ่มที่สถานี 0+075 ม. ความถี่ทุกๆ 100 ม.

5) แนวระยะ 6 ม. ด้านขวา แนวศูนย์กลางทางวิ่ง: เริ่มที่สถานี 0+100 ม. ความถี่ทุกๆ 100 ม.

ทั้งนี้เพื่อให้ตำแหน่งจุดทดสอบกระจายครอบคลุมพื้นที่ทดสอบอย่างครบถ้วน จึงกำหนดให้จุดเริ่มต้นของแต่ละแนวขยับห่างจากกันแนวละ 25 ม. ดังรายละเอียดที่กล่าวมา โดยในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลการทดสอบแนวที่ 1 (RWY1) และแนวที่ 3 (RWY3) ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แนวการทดสอบ FWD บริเวณทางวิ่งของท่าอากาศยานเพชรบูรณ์

3.3.2 การทดสอบภาคสนาม

ในการทดสอบมีขั้นตอนในการทดสอบที่ผู้ปฏิบัติงานต้องปฏิบัติดังนี้ [46]

1. กำหนดตำแหน่งการทดสอบในสนาม โดยก่อนการทดสอบ FWD จะมีการแบ่งทีมเพื่อกำหนดจุดทดสอบ โดยอาจใช้การผ่นสีในการระบุตำแหน่งทดสอบ เพื่อให้การทดสอบครบถ้วนและตรงตามตำแหน่งที่วิศวกรสำนักงานกำหนดตำแหน่งไว้

2. การเคลื่อนย้ายอุปกรณ์เครื่องมือ ซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญที่ทีมทดสอบจะทำการตรวจสอบความถูกต้องเรียบร้อยของเครื่องมือ รวมทั้งความพร้อมครบถ้วนของอุปกรณ์หลักและอุปกรณ์เสริมที่ต้องใช้ในการทดสอบทุกชิ้นก่อนออกเดินทาง รวมทั้งเอกสารจำเป็นต่างๆ ที่ต้องใช้การทดสอบ เช่น หลักฐานการติดต่อกับเจ้าหน้าที่หน่วยงานของสนามบิน แผนผังสนามบิน แผนผังแสดงตำแหน่งจุดทดสอบ เป็นต้น

3. วางแผนลำดับการเข้าพื้นที่ทดสอบ โดยในการทดสอบในท่าอากาศยานนั้น เมื่อเริ่มทดสอบจะมีทีมทดสอบหลายทีมที่เข้าใช้พื้นที่ ดังนั้นทีมทดสอบจะตกลงกันในการเลือกพื้นที่ทดสอบก่อน-หลัง เพื่อให้การปฏิงานไม่เกิดการทับซ้อนของพื้นที่ทดสอบกับการทดสอบอื่น ๆ

4. เริ่มต้นทดสอบ โดยทีมทดสอบจะทำการตรวจสอบความพร้อมให้สามารถเริ่มทำการทดสอบได้ในทันทีเมื่อเริ่มเดินทางเข้าสู่พื้นที่ใช้งานของสนามบิน โดยประสานงานกับเจ้าหน้าที่ของท่าอากาศยานให้รับทราบการเริ่มต้นทดสอบ และทำการทดสอบตามแผนการที่ได้วางแผนไว้ โดยรูปที่ 3.6 แสดงการทดสอบ FWD บริเวณทางวิ่งของของท่าอากาศยานเพชรบูรณ์

รูปที่ 3.6 การทดสอบ FWD บริเวณทางวิ่งของของท่าอากาศยานเพชรบูรณ์

5. การเก็บบันทึกอุณหภูมิขณะทดสอบ เป็นการเก็บบันทึกค่าอุณหภูมิอากาศ (Air Temperature) และอุณหภูมิผิวทาง (Surface Temperature) เพื่อใช้ในกรณีที่มีการปรับแก้ค่าสู่อุณหภูมิมาตรฐาน

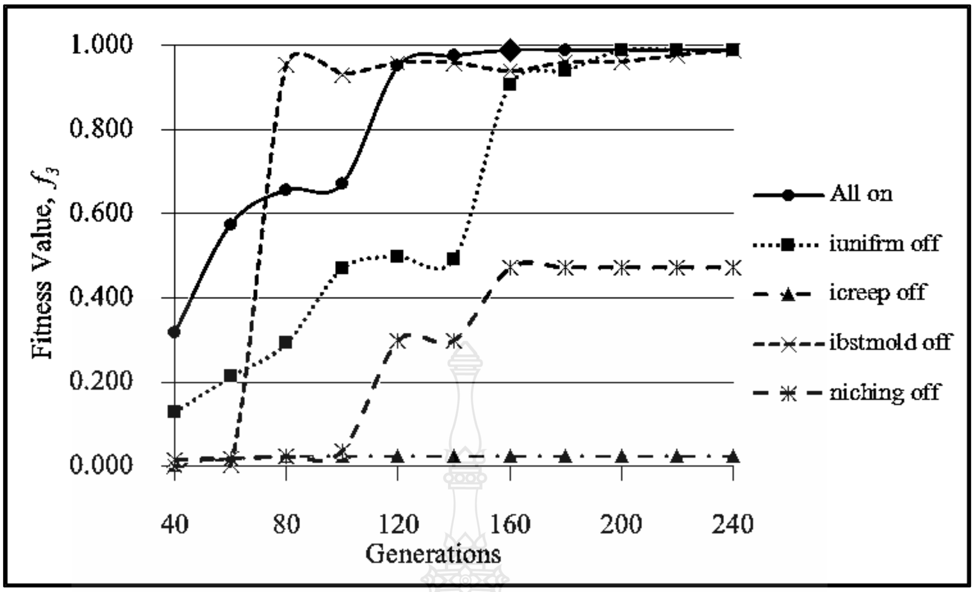
6. การเฝ้าสังเกตค่าการยุบตัว ซึ่งเป็นการตรวจสอบในเบื้องต้นว่าค่าการยุบตัวที่วัดได้มีความผิดปกติเกิดกิดขึ้นหรือไม่ ซึ่งหากพบความผิดปกติจากค่าการยุบตัวที่ทดสอบได้ ควรมีการทดสอบใหม่อีกครั้ง ทั้งนี้ความผิดปกติดังกล่าวอาจเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ เช่น ตำแหน่งจุดทดสอบไม่ราบเรียบ มีเศษวัสดุหลุดร่อน เป็นต้น

7. การตรวจสอบข้อมูลหลังเสร็จสิ้นการทดสอบ โดยในขั้นตอนนี้จะทำให้สามารถตรวจสอบว่ามีการทดสอบสมบูรณ์ครบถ้วนหรือไม่ และยังป็นการสำรองข้อมูลไว้ด้วย และหากตรวจสอบพบความผิดปกติของข้อมูลจะได้ตัดสินใจทดสอบเพิ่มเติมได้ทันที

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการวิเคราะห์

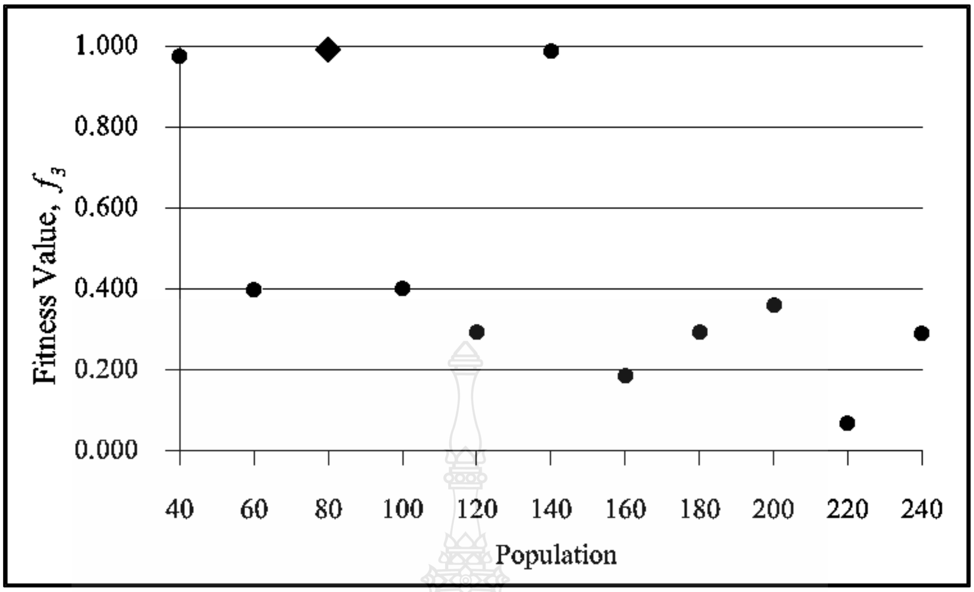
4.1 การวิเคราะห์เพื่อเลือกชุดพารามิเตอร์

การเลือกชุดพารามิเตอร์หรือตัวดำเนินการในงานวิจัยนี้ เริ่มจากการวิเคราะห์ผลของค่าความเหมาะสมจากการเปิด-ปิด เทคนิคแบบใหม่ของ GA เทียบกับการเพิ่มขึ้นของจำนวนรุ่นโดยใช้ค่าการยุบตัวที่วิเคราะห์จากแบบจำลองโครงสร้างชั้นทางที่สร้างขึ้นในบทที่ 3 ซึ่งใช้โปรแกรม BISAR 3.0 ในการวิเคราะห์ โดยมีรายละเอียดของการวิเคราะห์ดังรูปที่ ก.1 ผลการวิเคราะห์พบว่าจำนวนรุ่นสูงสุดมีผลโดยตรงต่อค่าความเหมาะสมโดยหากเพิ่มจำนวนรุ่นขึ้นจะทำให้ได้คำตอบที่มีค่าความเหมาะสมเพิ่มขึ้นเช่นกัน และยังพบอีกว่าในกรณีที่มีการเปิดใช้เทคนิคแบบใหม่ของ GA ทั้งหมด (All on) ซึ่งประกอบไปด้วย การผสมข้ามแบบสม่ำเสมอ การกลายพันธุ์แบบคืบ วิธีกลุ่มเฉพาะและการคัดเลือกผู้นำ มีโอกาสทำให้ค่าความเหมาะสมลู่เข้าสู่คำตอบได้รวดเร็วกว่ากรณีอื่น ๆ เพียงใช้จำนวนรุ่น 160 รุ่นก็สามารถให้ค่าความเหมาะสมในระดับสูงสุด (Fitness, $f_3 = 0.98977$) ดังแสดงในรูปที่ 4.1 หรือในตารางที่ ข.1 ส่วนในกรณีที่มีการปิดเทคนิคการคัดเลือกผู้นำ (*ibstmold* off) นั้นพบว่าในกรณีที่จำนวนรุ่นไม่มากมีการพัฒนากระบวนการค้นหาเพื่อลู่เข้าสู่คำตอบทำให้ค่าความเหมาะสมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากจำนวนรุ่นที่ 60 รุ่นให้ค่าความเหมาะสมที่น้อยกว่า 0.1 แต่เมื่อเพิ่มจำนวนรุ่นเป็น 80 รุ่น ให้ค่าความเหมาะสมมากกว่า 0.9 จากนั้นเมื่อเพิ่มจำนวนรุ่นขึ้นไปเรื่อย ๆ กลับพบว่าค่าความเหมาะสมมีการพัฒนาไปน้อยมากและเมื่อเพิ่มจำนวนรุ่นจนถึง 180 รุ่น ซึ่งมากกว่าในกรณีที่มีการเปิดใช้เทคนิคทั้งหมดก็ยังไม่สามารถให้ค่าความเหมาะสมในระดับสูงสุด ซึ่งแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการเปิดใช้เทคนิคแบบใหม่ของ GA ทั้งหมดมีความสามารถโดดเด่นที่ทำให้ค่าความเหมาะสมอยู่ในระดับที่ดีกว่ากรณีอื่น ๆ ส่วนกรณีของการปิดการใช้เทคนิคการกลายพันธุ์แบบคืบ (*icreep* off) และวิธีกลุ่มเฉพาะ (*niching* off) พบว่า ค่าความเหมาะสมที่จะลู่เข้าสู่ค่าสูงสุดมีความเป็นไปได้น้อยมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีปิดการใช้เทคนิคการกลายพันธุ์แบบคืบ มีการลู่เข้าสู่ค่าความเหมาะสมในระดับสูงสุดที่ช้ากว่าทุกกรณี โดยพบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนรุ่นจนถึง 240 รุ่นค่าความเหมาะสมยังคงมีค่าต่ำกว่า 0.1 ซึ่งถือว่าน้อยมาก ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าเทคนิคแบบใหม่ของ GA ที่เพิ่มเข้ามาในโปรแกรมแกมเล็ทมีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบที่ถูกต้องและการเปิดใช้เทคนิคแบบใหม่ของ GA ทั้งหมดทำให้โปรแกรมแกมเล็ทมีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบสูงสุด

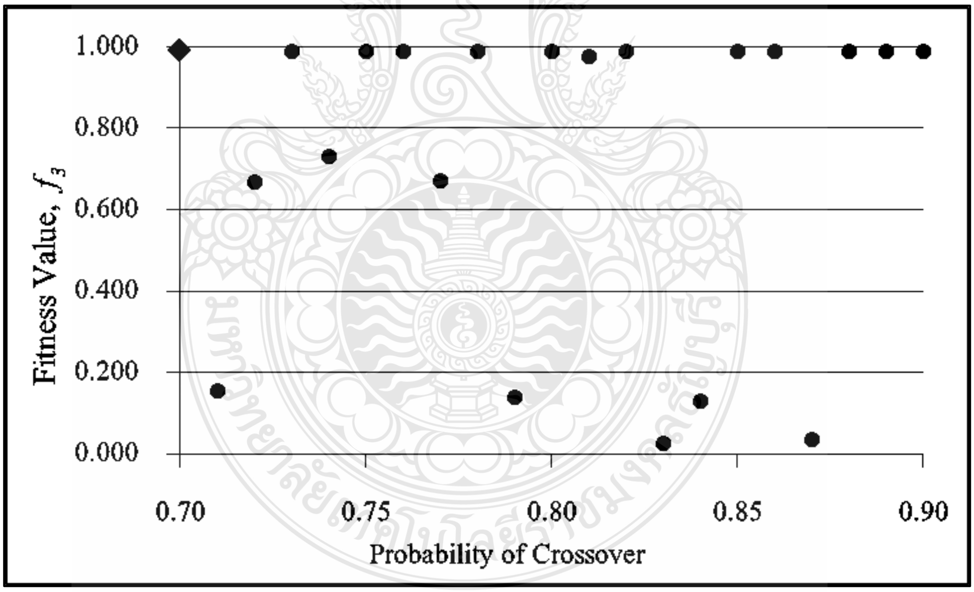


รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหมาะสมและจำนวนรุ่นสูงสุด

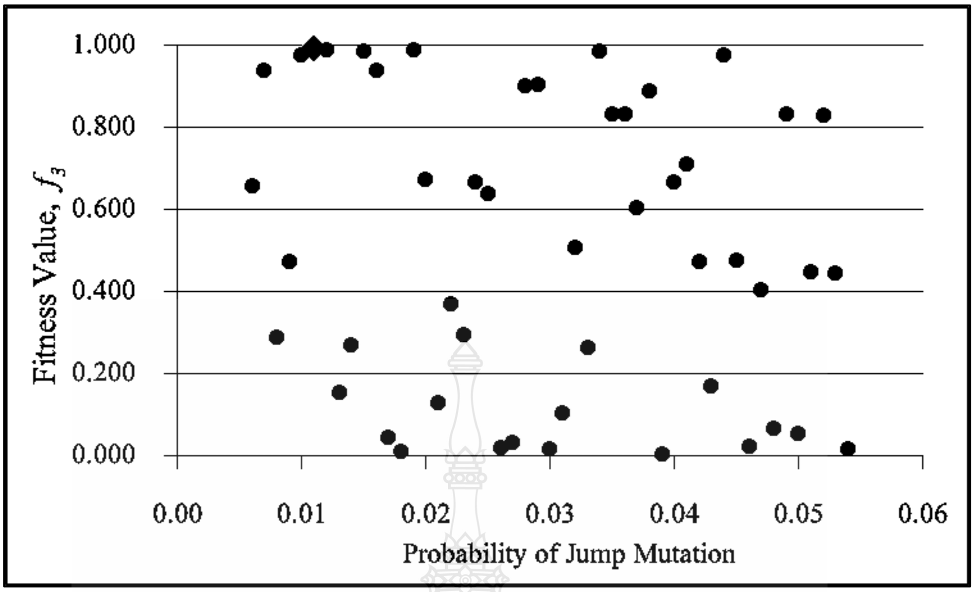
ในส่วนของการปรับเปลี่ยนค่าของตัวดำเนินการซึ่งประกอบไปด้วย ขนาดของประชากร อัตราการผสมข้าม การกลายพันธุ์แบบกระโดด และการกลายพันธุ์แบบคืบ จำเป็นจะต้องระบุเป็นตัวเลข ดังนั้นเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของตัวดำเนินการเหล่านี้ จึงได้มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ขั้นต่ำและแปรผันค่าพารามิเตอร์เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งความละเอียดและช่วงของค่าพารามิเตอร์กำหนดตามความเหมาะสมโดยอ้างอิงจากงานวิจัยที่ผ่านมา โดยรายละเอียดของค่าพารามิเตอร์แสดงในตารางที่ ข.2 และผลจากการวิเคราะห์พบว่าการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ให้ค่าความเหมาะสมสูงสุดมีด้วยกันหลายชุดและกระจายตัวกันอย่างไม่มีรูปแบบที่แน่ชัด ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ถึง รูปที่ 4.5 ซึ่งเป็นการแปรผันขนาดของประชากร อัตราการผสมข้าม อัตราการกลายพันธุ์แบบกระโดด และอัตราการกลายพันธุ์แบบคืบ ตามลำดับ โดยชุดพารามิเตอร์ที่มีค่าจำนวนประชากรหรือค่าอัตราของตัวดำเนินการที่น้อยที่สุดและให้ค่าความเหมาะสมสูงสุดแสดงเป็นจุดที่ใหญ่กว่า ดังนั้นค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ไม่สามารถสรุปได้ชัดเจนว่าชุดใดเป็นชุดพารามิเตอร์ที่มีความเหมาะสมมากที่สุด



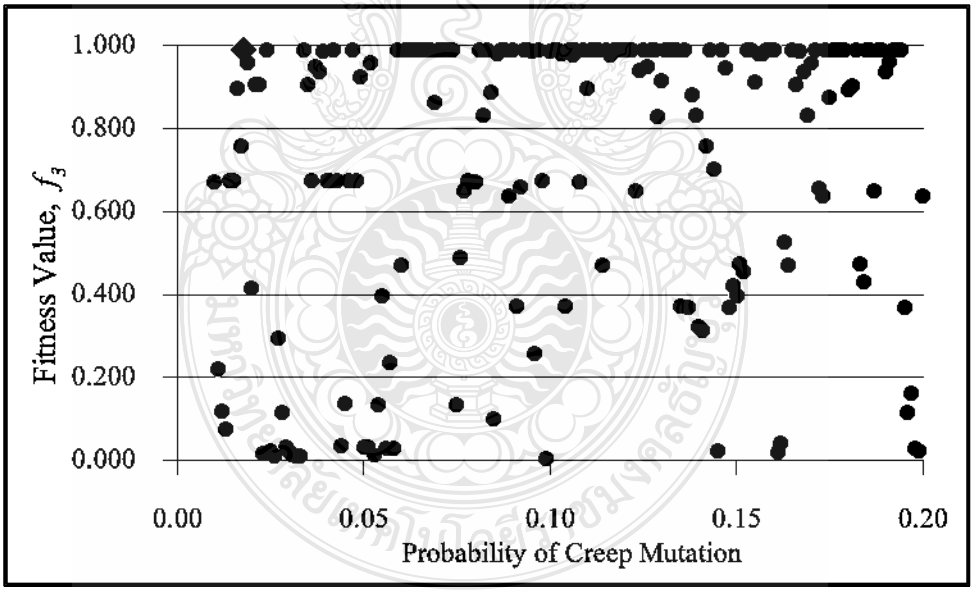
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหมาะสมและจำนวนประชากร



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหมาะสมและค่าอัตราการผสมข้าม



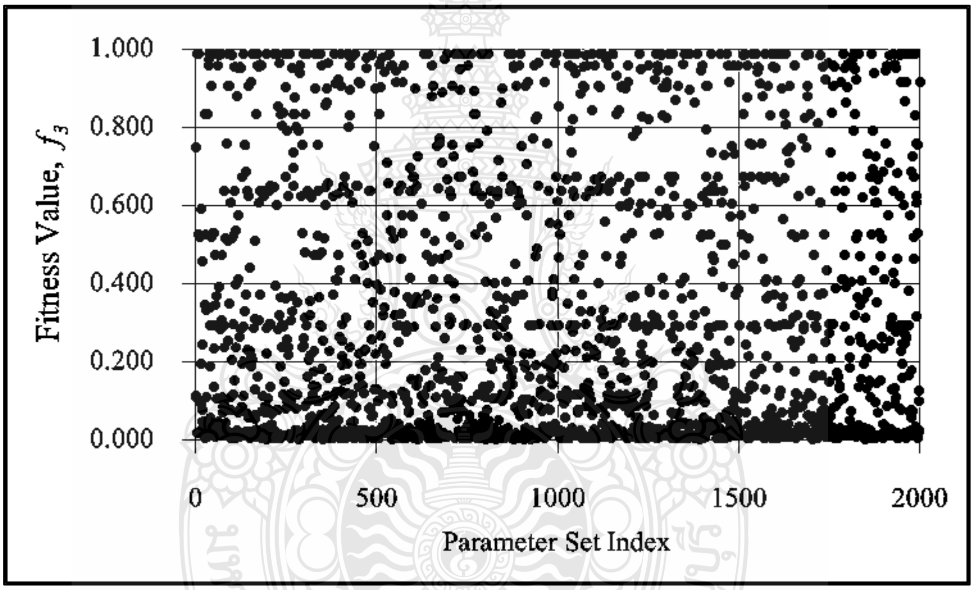
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหมาะสมและค่าอัตราการกลายพันธุ์แบบกระโดด



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหมาะสมและค่าอัตราการกลายพันธุ์แบบคืบ

จากผลการวิเคราะห์ที่ผ่านมาพบว่าการเปิดใช้ทุกเทคนิคแบบใหม่เป็นรูปแบบที่เหมาะสมที่สุดแต่ยังไม่สามารถระบุค่าพารามิเตอร์ที่ตัวเลขที่เหมาะสมได้ ดังนั้นจึงสุ่มสร้างชุดพารามิเตอร์ขึ้น

จำนวน 2,000 ชุด มาตั้งค่าให้กับโปรแกรมแกมเล็ททำให้ได้ค่าความเหมาะสมที่แตกต่างกันจากสมการประเมินค่าความเหมาะสมทั้ง 3 สมการพบว่า ค่าความเหมาะสมที่พิจารณาโดยใช้สมการที่ 2.4 มีความแปรผันมากที่สุดดังแสดงในตารางที่ ข.3 ดังนั้นในการศึกษาขั้นตอนนี้จึงมุ่งเน้นที่จะพิจารณาค่าความเหมาะสมจากสมการที่ 2.4 เป็นหลัก จากรูปที่ 4.6 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหมาะสมของแต่ละชุดพารามิเตอร์ที่สุ่มขึ้นโดยเรียงลำดับตามชุดที่สุ่มขึ้น ในเบื้องต้นพบว่าชุดพารามิเตอร์ส่วนใหญ่ให้ค่าความเหมาะสมน้อยกว่า 0.1 ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำมากและไม่เหมาะสมต่อการนำไปเป็นชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสม และส่วนที่เหลือมีการกระจายตัวออกไป โดยพบว่ายังมีชุดพารามิเตอร์บางส่วนที่ให้ค่าความเหมาะสมที่สูงกว่า 0.9 ซึ่งถือว่าสูงมาก และชุดพารามิเตอร์ในส่วนนี้เหมาะสำหรับนำไปใช้วิเคราะห์เชิงลึกเพื่อคัดเลือกเป็นชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

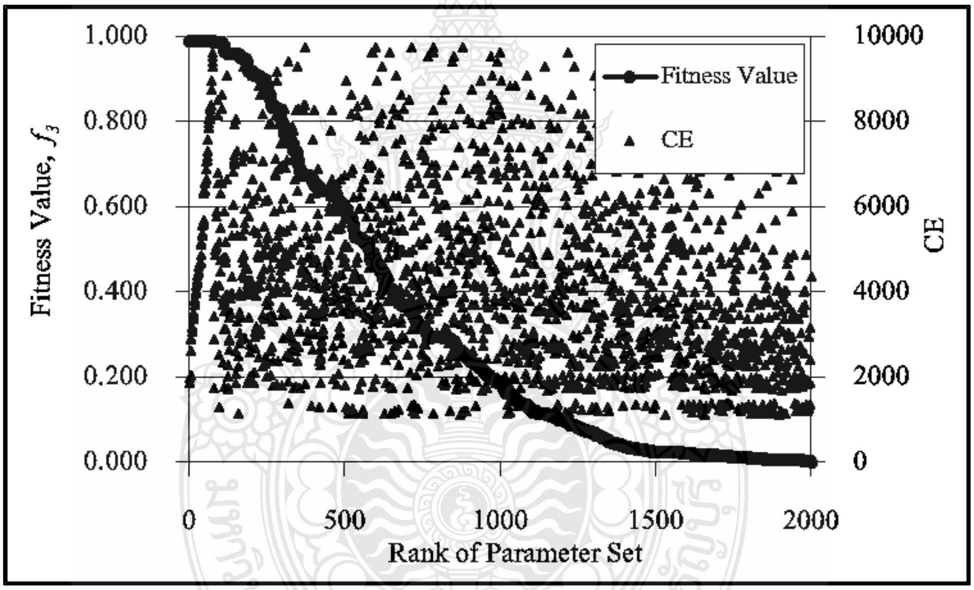


รูปที่ 4.6 ค่าความเหมาะสมที่ได้จากการตั้งค่าชุดพารามิเตอร์ที่ต่างกัน

จากนั้นเมื่อนำค่าพารามิเตอร์มาเรียงลำดับ โดยเรียงจากชุดที่ให้ค่าความเหมาะสมมากและมีค่า *CE* น้อย โดย ตารางที่ 4.1 แสดงถึงรายละเอียดของชุดพารามิเตอร์ที่มีความเหมาะสมสูงสุด 10 อันดับแรกแสดง ส่วนรายละเอียดทั้งหมดของแต่ละชุดพารามิเตอร์ที่เรียงลำดับตามค่าความเหมาะสมแสดงในตารางที่ ข.3 โดยหากพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหมาะสมและค่า *CE* ของแต่ละลำดับชุดพารามิเตอร์ ในรูปที่ 4.7 พบว่า ค่าความเหมาะสมไม่ได้มีความสัมพันธ์กับค่า *CE* โดยตรง เนื่องจากชุดพารามิเตอร์ที่มีค่าความเหมาะสมเดียวกันก็มีค่า *CE* ที่แตกต่างกันได้ และพบว่ามีพารามิเตอร์มากกว่า 70 ชุด ที่ให้ค่าความเหมาะสมในระดับสูงสุด

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์ที่มีค่าความเหมาะสมมากที่สุด 10 อันแรก

Rank	*maxgen*	*numpop*	*pcross*	*pjumpmu*	*iunifrm*	*icreep*	*pcreepmu*	*ibstmold*	*niching*	*CE*	Fitness	Max Err	*RMSE*
1	40	60	0.77	0.007	on	on	0.025	on	on	1848	0.98977	0.01	0.01
2	60	40	0.77	0.015	on	on	0.188	on	on	1848	0.98977	0.01	0.01
3	60	40	0.82	0.007	on	on	0.129	on	on	1968	0.98977	0.01	0.01
4	60	40	0.85	0.016	on	on	0.050	on	on	2040	0.98977	0.01	0.01
5	80	40	0.82	0.027	on	on	0.050	on	on	2624	0.98977	0.01	0.01
6	100	40	0.72	0.011	on	on	0.083	on	on	2880	0.98977	0.01	0.01
7	100	40	0.73	0.007	on	on	0.130	on	on	2920	0.98977	0.01	0.01
8	100	40	0.77	0.022	on	on	0.109	on	on	3080	0.98977	0.01	0.01
9	100	40	0.77	0.016	on	on	0.140	on	on	3080	0.98977	0.01	0.01
10	100	40	0.79	0.011	on	on	0.132	on	on	3160	0.98977	0.01	0.01



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหมาะสมและค่า *CE*

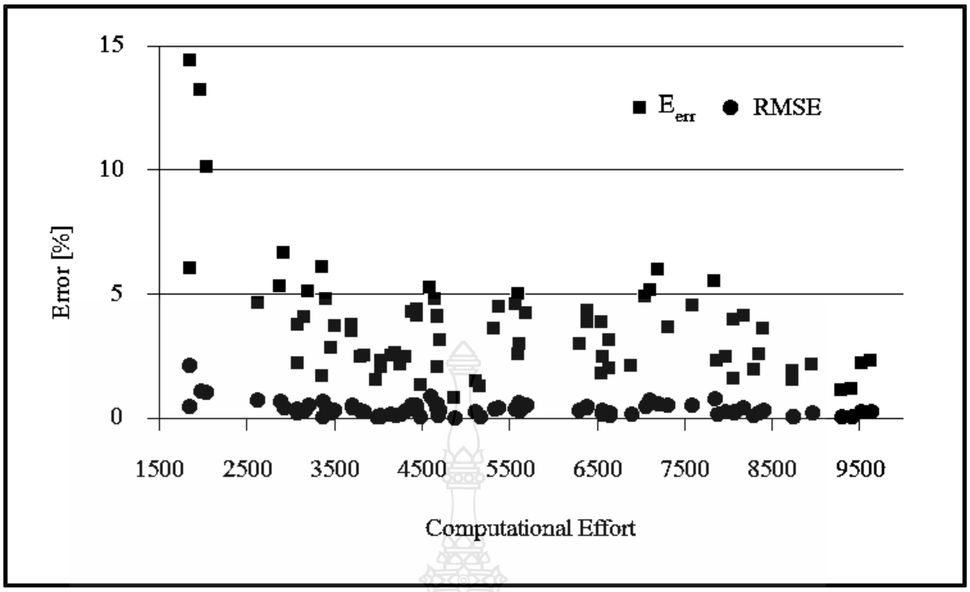
ตารางที่ 4.2 แสดงผลของค่าโมดูลัสชั้นทางบางส่วนที่ได้จากการคำนวณย้อนกลับที่ตั้งค่าตามชุดพารามิเตอร์ที่สร้างขึ้น โดยผลการคำนวณย้อนกลับทั้งหมดของแต่ละชุดพารามิเตอร์แสดงในตารางที่ ข.3 และพบว่าชุดพารามิเตอร์ที่ให้ค่าความเหมาะสมสูงสุด เช่นในลำดับที่ 1 จะเป็นชุดที่ให้ผลของค่าโมดูลัสชั้นทางถูกต้องตรงตามแบบจำลองที่สร้างขึ้น

ตารางที่ 4.2 ตัวอย่างบางส่วนของค่าโมดูลัสชั้นทางที่ได้จากการคำนวณย้อนกลับ

Rank	CE	Fitness Value	Backcalculated Moduli [MPa]		
			E_1	E_2	E_3
			3000	300	50
1	1848	0.98977	3000	300	50
59	7200	0.98977	3000	300	50
88	5056	0.98768	3001	300	50
101	4760	0.98594	2999	300	50
285	5328	0.83018	3035	298	50
538	4312	0.52820	3073	296	50
1024	1152	0.16134	3015	297	50
1156	2664	0.11073	3088	298	50
1793	2240	0.01095	2333	340	50
1999	3160	0.00129	2819	359	48

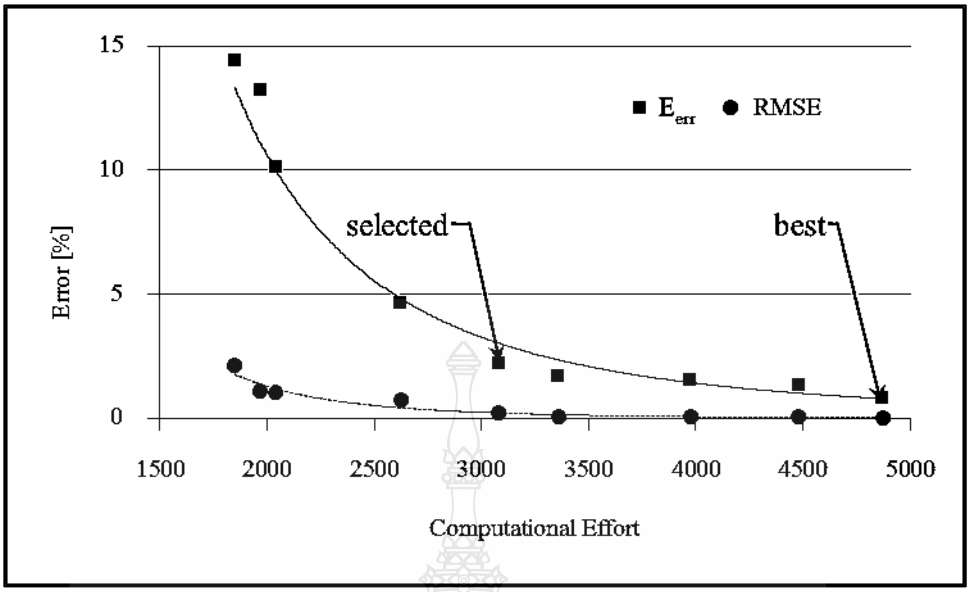
จากตารางที่ ข.3 และในรูปที่ 4.7 พบว่ามีพารามิเตอร์หลายชุดที่ให้ค่าความเหมาะสมในระดับสูงสุดในขณะที่ค่า CE มีความแตกต่างกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชุดพารามิเตอร์กลุ่มนี้จำเป็นจะต้องมีการคัดกรองเพื่อหาชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมยิ่งขึ้น ดังนั้นจึงได้มีการคัดเลือกอีกครั้ง ซึ่งในขั้นตอนนี้จะใช้แบบจำลองโครงสร้างชั้นทางที่ Reddy และคณะ [9] สมมุติขึ้น 10 แบบ โดยมีรายละเอียดของการวิเคราะห์ค่าการยุบตัวด้วยโปรแกรม BISAR 3.0 ดังแสดงในรูปที่ ก.2 ถึงรูปที่ ก.11 มาทดสอบกับชุดพารามิเตอร์ที่ยังให้ค่าความเหมาะสมสูงสุด เพื่อคัดเลือกชุดพารามิเตอร์อีกครั้ง และในขั้นตอนนี้พิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนทั้งจากค่าการยุบตัวและจากค่าโมดูลัส เป็นดัชนีชี้วัดความแม่นยำของชุดพารามิเตอร์ โดยผลการคำนวณย้อนกลับแสดงในรูปที่ 4.8 และมีรายละเอียดในตารางที่ ข.4 ในการใช้แบบจำลองที่มีรูปแบบแตกต่างกันนี้ นอกจากจะเป็นการคัดกรองเพื่อหาชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมยิ่งขึ้นแล้ว ยังเป็นการนำชุดพารามิเตอร์ที่ให้ค่าความเหมาะสมสูงสุดมาใช้กับแบบจำลองที่สมมุติขึ้นหลาย ๆ แบบอีกด้วย

จากการวิเคราะพบว่าชุดพารามิเตอร์ทั้งหมดให้ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าโมดูลัสชั้นทาง (E_{err}) น้อยกว่า 15% และค่า $RMSE$ น้อยกว่า 3% ซึ่งถือว่าความคลาดเคลื่อนยังอยู่ในเกณฑ์ที่ดี และพบว่าชุดพารามิเตอร์ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยน้อยสุด ซึ่งเป็นชุดที่ดีที่สุด (Best) มีค่า CE



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนของค่าโมดูลัสชั้นทางและค่า *RMSE* กับค่า *CE* ของพารามิเตอร์ทั้ง 77 ชุด

เท่ากับ 4,872 ซึ่งอยู่ในชุดที่ 38 ดังตารางที่ ข.4 จากนั้นทำการคัดชุดพารามิเตอร์ที่มีค่า *CE* มากกว่าชุดที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยสุดออก เนื่องจากเป็นชุดที่สร้างภาระในการคำนวณให้กับคอมพิวเตอร์มากกว่าและยังมีความแม่นยำในการคำนวณน้อยกว่า รวมทั้งพิจารณาเพื่อคัดชุดพารามิเตอร์ที่มีค่า *CE* น้อยมากและยังคงให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อย ออกเช่นกัน เช่นในชุดที่ 2 ซึ่งมีค่า *CE* เพียง 1,848 เนื่องจากการที่ค่า *CE* น้อย อาจก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนมากในกรณีที่นำมาตั้งค่าเพื่อใช้งานกับข้อมูลจริง ต่อมาคัดชุดพารามิเตอร์ที่มีค่า *RMSE* และค่า *CE* มากกว่าชุดที่อยู่ลำดับก่อนหน้าออกเพื่อให้สามารถสังเกตแนวโน้มจากอิทธิพลของค่า *CE* ที่มีผลต่อค่าความคลาดเคลื่อน ซึ่งกระบวนการทั้งหมดที่ใช้ในการคัดกรองชุดพารามิเตอร์ในครั้งที่ 2 นี้ จัดว่าเป็นการวิเคราะห์โดยใช้วิธีการศึกษาสำนึก (Heuristics) แบบหาค่าที่ดีที่สุดก่อน (Best First Search) จากนั้นจะสามารถสังเกตได้ชัดเจนยิ่งขึ้นว่าค่า *RMSE* มีแนวโน้มลดลงในขณะที่ค่า *CE* เพิ่มขึ้นดังแสดงใน รูปที่ 4.9 โดยพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนเริ่มมีความเปลี่ยนแปลงน้อยลงในขณะที่ค่า *CE* เพิ่มขึ้นบริเวณที่มีค่า *CE* มากกว่า 3,080 ขึ้นไป ซึ่งตรงกับตำแหน่งของชุดที่ 9 และยังพบว่าเป็นตำแหน่งแรกที่ให้ค่า E_{err} ที่น้อยกว่า 3% ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าชุดพารามิเตอร์ชุดนี้มีประสิทธิภาพสูงสุด (Selected) เนื่องจากใช้เวลาในการคำนวณน้อยและยังคงให้คำตอบเป็นที่น่าพอใจ สำหรับชุดพารามิเตอร์ที่มีความคลาดเคลื่อนต่ำสุดและชุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.3



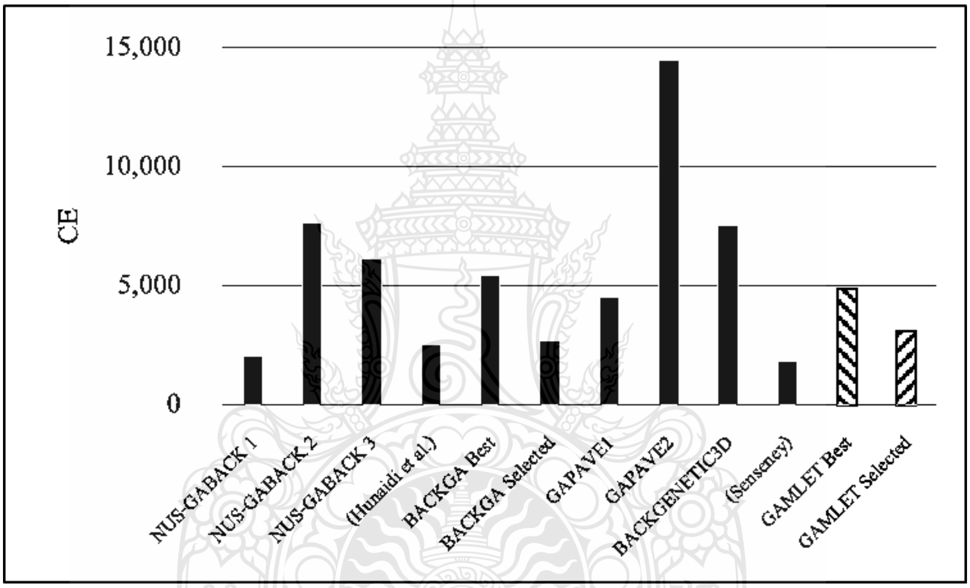
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนของค่าโมดูลัสชั้นทางและค่า *RMSE* กับค่า *CE* หลังจากคัดเลือกเพื่อสังเกตแนวโน้มของค่าความคลาดเคลื่อน

ตารางที่ 4.3 รายละเอียดของชุดพารามิเตอร์ที่ความคลาดเคลื่อนต่ำสุดและชุดพารามิเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

พารามิเตอร์	ความคลาดเคลื่อนต่ำสุด	ประสิทธิภาพสูงสุด
จำนวนรุ่นสูงสุด	140	100
ขนาดของประชากร	40	40
อัตราความเป็นไปได้ของการผสมข้ามแบบจุดเดียว	0.87	0.77
อัตราความเป็นไปได้ของการกลายพันธุ์แบบกระโดด	0.008	0.016
การปิด-เปิด การผสมข้ามแบบสม่ำเสมอ	on	on
การปิด-เปิด การกลายพันธุ์แบบคืบ	on	on
อัตราความเป็นไปได้ของการกลายพันธุ์แบบคืบ	0.182	0.140
การปิด-เปิด การคัดเลือกผู้นำ	on	on
การปิด-เปิด วิธีกลุ่มเฉพาะ	on	on
ภาระการคำนวณผลของคอมพิวเตอร์ (*CE*)	4,872	3,080

4.2 ภาระการคำนวณของโปรแกรมแก็มเล็ททียบกับโปรแกรมอื่นที่ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

โปรแกรมแก็มเล็ทได้มีการใช้เทคนิคแบบใหม่ของ GA เพื่อช่วยให้การคำนวณย้อนกลับมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น โดยหลังจากการเลือกชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมพบว่า การเปิดใช้ทุกเทคนิคแบบใหม่ของของ GA ส่งผลให้โปรแกรมแกมเล็ทมีประสิทธิภาพสูงสุด และเมื่อเปรียบเทียบการสร้างภาระในการคำนวณให้กับคอมพิวเตอร์เทียบกับโปรแกรมอื่นที่ใช้ขั้นตอนวิธีเดียวกันพบว่า การเปิดใช้ทุกเทคนิคแบบใหม่ของของ GA ไม่ได้สร้างภาระในการคำนวณให้กับคอมพิวเตอร์ในระดับที่สูงแตกต่างกว่าโปรแกรมอื่น แต่กลับพบว่าโปรแกรมแกมเล็ทมีการสร้างภาระในการคำนวณในระดับที่ใกล้เคียงกันดังแสดงในรูปที่ 4.10

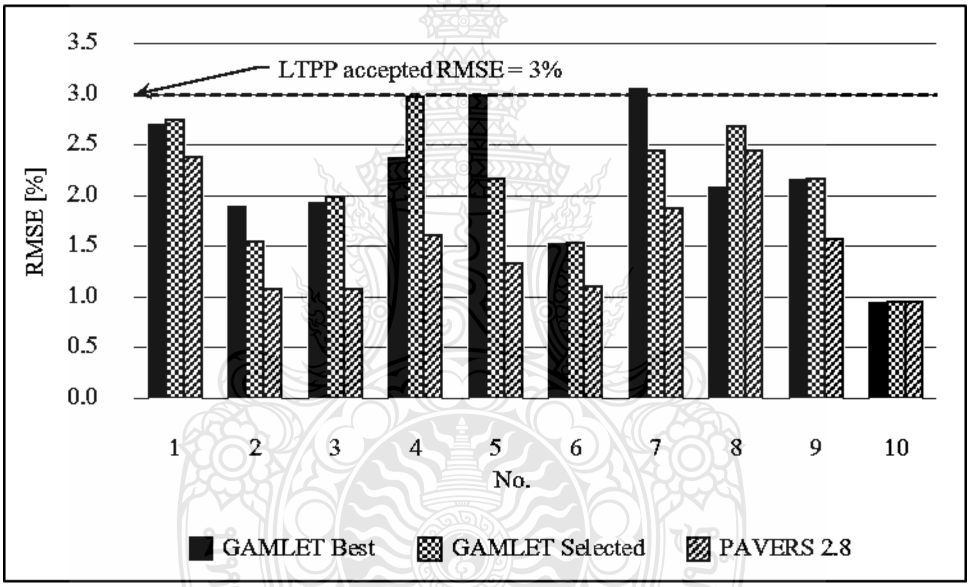


รูปที่ 4.10 ค่า *CE* ของโปรแกรมแก็มเล็ทเทียบกับโปรแกรมอื่นที่ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

4.3 ประสิทธิภาพของโปรแกรมแก็มเล็ทในการคำนวณข้อมูลจริงในสนามเทียบกับโปรแกรมเชิงพาณิชย์

จากการวิเคราะห์ในข้างต้นทำให้ได้ชุดพารามิเตอร์ที่ความคลาดเคลื่อนต่ำสุดและชุดพารามิเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด จากนั้นนำชุดพารามิเตอร์ดังกล่าวไปทดสอบใช้กับข้อมูลจากการทดสอบจริงในสนาม และมีการนำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบกับโปรแกรม PAVERS 2.8 ซึ่งเป็นโปรแกรมเชิงพาณิชย์ ผลการคำนวณย้อนกลับจากข้อมูลการทดสอบในสนามแสดงดัง รูปที่ 4.11 หรือมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ ค.1 พบว่า ค่า *RMSE* ส่วนใหญ่ อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับค่าที่ใช้อยู่ทั่วไป เช่น ในโครงการ Long Term Pavement Performance (LTPP) ในประเทศ

สหรัฐอเมริกา ใช้ค่า *RMSE* ระหว่าง 1%-3% [48] และพบว่าโปรแกรมแกมเล็ทที่ตั้งค่าด้วยชุดพารามิเตอร์ที่ความคลาดเคลื่อนต่ำสุดและชุดพารามิเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดมีประสิทธิภาพในการคำนวณย้อนกลับในระดับที่ใกล้เคียงกัน รวมไปถึงมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับโปรแกรม PAVERS 2.8 ด้วย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชุดพารามิเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดสามารถนำไปใช้ตั้งค่าเพื่อคำนวณย้อนกลับหาค่าโมดูลัสชั้นทางแอสฟัลต์คอนกรีตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนกรณีของผิวทางที่มีค่าความคลาดเคลื่อนมากอาจมีผลมาจากหลายปัจจัย เช่น ความคลาดเคลื่อนจากการหาความหนาชั้นทาง ความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของชั้นทาง [49] รวมถึงปัจจัยอื่น ๆ ที่ไม่เป็นไปตามทฤษฎียืดหยุ่นของชั้นทาง เป็นต้น



รูปที่ 4.11 ค่า *RMSE* ที่ได้จากการคำนวณย้อนกลับของข้อมูลผลการทดสอบด้วยเครื่อง FWD บริเวณทางวิ่งของสนามบินเพชรบูรณ์

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการดำเนินการวิจัยและวิเคราะห์ผลพบว่าการเลือกชุดพารามิเตอร์สำหรับ GA มีผลกระทบโดยตรงต่อการคำนวณย้อนกลับหาค่าโมดูลัสชั้นทาง ดังนั้นการเลือกชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก ในงานวิจัยเป็นการเลือกชุดพารามิเตอร์ที่มีความเหมาะสมสำหรับโปรแกรมแกมเล็ทแบบ 3 ชั้นทาง ซึ่งมีการเลือก 2 ครั้ง โดยใช้แบบจำลองชั้นทางที่แตกต่างกันมีระดับความถูกต้องของคำตอบและค่า *CE* เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือก ได้ชุดพารามิเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับโครงสร้างชั้นทางที่มีผิวทางเป็นแอสฟัลต์คอนกรีตคือ มีจำนวนรุ่นสูงสุด 100 รุ่น ขนาดประชากรเท่ากับ 40 ใช้อัตราการผสมข้ามแบบสม่ำเสมอ การกลายพันธุ์แบบกระโดดและการกลายพันธุ์แบบคืบ เท่ากับ 0.77, 0.016 และ 0.140 ตามลำดับ และมีการเปิดใช้การคัดเลือกผู้นำและวิธีกลุ่มเฉพาะ สำหรับค่าพารามิเตอร์ชุดดังกล่าวได้มีการนำไปตั้งค่าเพื่อคำนวณย้อนกลับหาค่าโมดูลัสชั้นทาง ทั้งจากแบบจำลองโครงสร้างชั้นทางที่สมมุติขึ้น และจากข้อมูลการทดสอบจริงในสนามด้วยเครื่อง FWD ผลที่ได้ชี้ให้เห็นว่าค่าพารามิเตอร์ชุดนี้มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ เนื่องจากค่า *RMSE* อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับกันส่วนใหญ่ เช่นในโครงการ LTPP ในประเทศสหรัฐอเมริกา ใช้ค่า *RMSE* =3% ดังนั้นสรุปได้ว่า สามารถนำค่าพารามิเตอร์ชุดนี้มาตั้งค่าให้กับโปรแกรมแกมเล็ทเพื่อคำนวณย้อนกลับหาค่าโมดูลัสชั้นทางแอสฟัลต์คอนกรีตได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังพบอีกว่าค่าพารามิเตอร์ชุดนี้สร้างภาระในการคำนวณในระดับที่ใกล้เคียงกันกับโปรแกรมอื่น ที่ใช้ระเบียบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในเทคนิคที่แตกต่างกัน

สำหรับการวิเคราะห์ในเชิงลึกพบว่าค่าอัตราการผสมข้ามแบบสม่ำเสมอ การกลายพันธุ์แบบกระโดดและการกลายพันธุ์แบบคืบนั้น ไม่สามารถระบุช่วงของค่าที่เหมาะสมได้ชัดเจน เนื่องจากค่าความเหมาะสมของคำตอบมีการกระจายตัวอย่างไม่มีรูปแบบที่แน่ชัด

ส่วนการเปรียบเทียบกับโปรแกรมอื่นในเชิงพาณิชย์พบว่าโปรแกรมแกมเล็ทภายใต้การตั้งค่าด้วยชุดพารามิเตอร์ที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยสุดและชุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุดให้ผลการคำนวณที่มีความแม่นยำในระดับที่ใกล้เคียงกันกับโปรแกรม PAVERS 2.8 ซึ่งเป็นโปรแกรมเชิงพาณิชย์ โดยเทียบได้จากค่า *RMSE* ที่ได้จากการคำนวณย้อนกลับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อเลือกชุดพารามิเตอร์ในกระบวนการคำนวณย้อนกลับสำหรับโปรแกรมแกมเล็ทแบบผิวทางยืดหยุ่น 3 ชั้นทางเท่านั้น ซึ่งหากมีการศึกษาเพิ่มเติมควรมีการนำพารามิเตอร์ชุดนี้ไปปรับปรุงเพื่อใช้เป็นแนวทางสำหรับโครงสร้างชั้นทางที่มีจำนวนชั้นมากขึ้น และโครงสร้างชั้นทางที่มีการปรับปรุงคุณภาพเช่น ชั้นพื้นทางที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยดินซีเมนต์ เป็นต้น รวมไปถึงการนำไปใช้กับโครงสร้างผิวทางคอนกรีตด้วย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

รายการอ้างอิง

[1] สำนักงานประชาสำพันธ์ กรมทางหลวง, "งานบำรุงรักษาทาง," *รายงานประจำปี 2555*, pp. 41-95, 2555.

[2] อมรัตน์ เสือแจ่ม, พบถนนขึ้นเขาใหญ่พังเสี่ยงอันตราย *(online)*, 2556, Available: www.ndwc.go.th/web/index.php?option=com_content&view=article&id=265:2011.10-18-04.16-56&catid=93:2011-08-04-03-09-51&Itemid=275, (17 กันยายน 2556).

[3] ธารทิพย์, กรมการขนส่งทางบก จัดทำโครงการศึกษาพิกัดน้ำหนักรถบรรทุกเพื่อรองรับ AEC *(online)*, 2556, Available: http://www.dlt.go.th/th/index.php?option=com_content&view=article&id=4025:-aec-6-1,0000-&catid=48, (17 กันยายน 2556).

[4] Ullidtz P., *Pavement analysis.* Amsterdam: Elsevier Science Publishing, 1987.

[5] "ชาวบ้านโวยรถบรรทุกซิ่งทำถนนวินาศสัญจรลำบากนับปี," *เดลินิวส์*. 1 กรกฎาคม 2555, หน้า 1.

[6] งานบำรุงทาง กรมทางหลวง. *แนะนำระบบบริหารงานบำรุงทางของกรมทางหลวง.* [สไลด์]. กรุงเทพมหานคร: กรมทางหลวง, 2556.

[7] พุทธพล ทองอินทร์ดำและ นิรชร นกแก้ว. "การพัฒนาระบบตรวจสอบกำลังรับน้ำหนักของถนนลาดยางในท้องถิ่นโดยวิธีตรง," ใน *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 18*, เชียงใหม่, 2556. pp. 380-386.

[8] วิเชียร พัวรุ่งโรจน์ และ ธีรพงศ์ เสนจันทร์ฒิไชย. "ผลตอบสนองทางพลวัตของโครงสร้างถนนภายใต้น้ำหนักกระทำจากเครื่อง FWD ," ใน *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 7*, กรุงเทพฯ, 2545. pp. 105-111.

[9] Reddy M. Amaranatha, Reddy K. Sudhakar, and Pandey B.B., "Selection of Genetic Algorithm Parameters for Backcalculation of Pavement Moduli," *International Journal of Pavement Engineering*, 2004, pp. 81-90. Available: Taylor & Francis Group, Taylor & Francis (6 May 2011).

[10] Saltana Mehmet, and Terzib Serdal. "Backcalculation of pavement layer parameter using Artificial Neural Networks," *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, 2004, pp. 38-42. Available: Indian J. Eng. Mater. Sci, Indian J. Eng. Mater. Sci (28 September 2013).

รายการอ้างอิง (ต่อ)

[11] Cervantes J., and Stephens C. R., "Optimal Mutation Rates for Genetic Search," *GECCO'06*, 2006, Available: GECCO, GECCO (8 June 2013).

[12] Puttapon. Thongindam. "Enhancement of Backcalculation Techniques for Assessing Flexible Pavement Layer Moduli Using Genetic Algorithms," Ph.D Thesis, Pavement Engineering, Gottfried Wilhelm Leibniz University of Hannover, Hannover, 2009.

[13] Maria Angelova, and Tania Pencheva, "Tuning Genetic Algorithm Parameters to Improve Convergence Time," *International Journal of Chemical Engineering*, 2011 Available: Hindawi Publishing Corporation / Hindawi Publishing Corporation (31 August 2013).

[14] พุทธพล ทองอินทร์ดำ, และ นิรชร นกแก้ว. *การพัฒนาระบบตรวจสอบกำลังรับน้ำหนักของถนนลาดยางในท้องถิ่นโดยวิธีตรง*, ปทุมธานี: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 2553.

[15] Irwin L.H., *"Backcalculation: An Overview and Perspective," Pavement Evaluation Conference, 2002,* Available: the TRIS and ITRD data base, Transportation Research Board (12 June 2013).

[16] Bitumen Business Group, *BISAR 3.0 User Manual*. [n.p.] 1997.

[17] Alkasawneh W. "Backcalculation of Pavement Moduli Using Genetic Algorithms." Ph.D. Thesis, The University of Akron, Akron. 2007.

[18] American Association of State Highway and Transportation Officials, *AASHTO Guidefor Design of Pavement Structures 1993*, Washington D.C.: AASHTO, 1993.

[19] พุทธพล ทองอินทร์ดำ. "วิศวกรรมงานทางแบบบูรณาการในการประเมินสภาพถนนลาดยางไทยแบบมีชีวิต." *วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม, 14, นน. 43.56, มกราคม-มิถุนายน 2556.*

[20] PAVERS, *PAVERS User Help Manuals*, Netherland, 2008.

[21] Fwa, T.F., Tan, C.Y. and Chan, W.T. "Backcalculation analysis of pavement layer moduli using genetic algorithms", in *Transportation Research Board 1570.* TRB, National Research Council, Washington DC, 1997, pp. 134–142.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

[22] Kameyama, S., Himeno, K., Kasahara, A. and Maruyama, T. "Backcalculation of pavement layer moduli using genetic algorithms", in *8th International conference on Asphalt Pavements.* University of Washington, Seattle, Washington, 1998, pp. 1375–1385.

[23] Raddy, M.A., Murthy, M.S., Reddy, K.S. and pendey, B.B. "Backcalculation of Pavement Layer Moduli Using Genetic Algorithms". in *Journal of Highway Research Board 66*, 2002, pp. 1.10.

[24] Park, H.M., Park, S.W. and Hwang, J.J. "Use of Genetic Algorithm and Finite Element for Backcalculating Layer Moduli in Asphalt Pavements", present at the Transportation Research Board No. 07-2614, Washington D.C. 2006.

[25] Goldberg, D.E. and Deb, K., "Comparative Analysis of Selection Schemes used in *Genetic* Algorithms", in *Foundations of Genetic Algorithms*, 1991, pp. 66-93.

[26] Syswerda, G. "Uniform Crossover in Genetic Algorithm", in *3rd International Conference on Genetic Algorithms,* Morgan Kaufmann, 1989, pp. 2-9.

[27] Puttapon Thongindam. "Alternative for Pavement Model in Backcalculation Process", in *The 5th PSU-UNS International Conference on Engineering and Technology (ICET-2011)*, Phuket, 2011, pp. 154.

[28] Grefenstette, J.J. "Optimization of Control Parameters for Genetic Algorithms," IEEE Trans. Systems (Electronic), Vol. SMC-16, No. 1, 1986, pp. 122.128. Available: Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions (25 September 2013).

[29] De jong, K.A. and Spears, W.M. "An Analysis of the Interacting Roles Population Size and Crossover in Genetic Algorithms," *Parallel Problem Solving from Nature* (Electronic), vol. 16, 1990, pp. 38- 47, Available: CiteSeerX (20 September 2013).

[30] Goldberg, D.E., Deb, K. and Clark, J.H. "Genetic algorithms noise, and the sizing of populations", in *Complex Systems 6*, 1992, pp. 333–362.

[31] Harik, G.R., Cantu-Paz, E., Goldberg, D.E. and Miller, B.L. "The gambler's ruin problem genetic algorithms, and the sizing of populations", in *IEEE International Conference on Evolutionary Computation*, New York, 1997, pp. 7–12.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

[32] Muhlenbein, H. “How genetic algorithms really work: I. mutation and hill climbing”, in *Parallel Problem Solving from Nature*, The Netherlands, Vol. 2, 1992 pp. 15–25.

[33] Back, T. “Optimal mutation rates in genetic search”, in *Fifth International Conference on Genetic Algorithms*, California, 1993, pp 2–8.

[34] De Jong, K.A. “An analysis of the behavior of a class of genetic adaptive systems”, Doctoral Dissertation, Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, 1975.

[35] Grefenstette, J.J. “Optimization of control parameters for genetic algorithms”, in *IEEE Transactions on Systems*, New York, Vol. SMC-16 (1), 1986, pp. 122–128.

[36] Schaffer, J.D., Caruana, R.A., Eshelman, L.J. and Das, R. “A study of control parameters affecting online performance of genetic algorithms for function optimization”, in *Proceedings of International Conference on Genetic Algorithms*, Californai), 1989, pp. 51–60.

[37] A. Gabriel, *Can we make genetic algorithms work in high dimensionality problems? (Online)*. 2002, Available : http://sepwww.stanford.edu/public/docs/sep112/gabriel1/paper_html/, (12 September 2013).

[38] Ernian Pan, Ali Sangghaleh, Amirhossein Molavi, Yanfei Zhao, and Ping Yi, *An Efficient and Accurate Genetic Algorithm for Backcalculation of Flexible Pavement Layer Moduli,* Ohio: Federal Highway Administration, 2012.

[39] Osama Hunaidi, “Evolution-based genetic algorithms for analysis of non-destructive surface wave tests on pavements”.in *NDT&E International*, Ottawa, 1998, pp. 273.280.

[40]Tsai, B., Kannekanti, V., and Harvey, J.T. “Application of Genetic Algorithm in Asphalt Pavement Design”, in *Transportation Research Board*, Washington, D.C., 2004, pp. 112-120.

[41] Christopher T. Senseney, Richard A. Krahenbuhl, and Michael A. Mooney. “Genetic Algorithm to Optimize Layer Parameters in Light Weight Deflectometer Backcalculation,” *International Journal of Geomechanics (Electronic)*, Vol. 13, No. 4, 2013, pp. 473.476, Available: American Society of Civil Engineers (8 August 2013).

รายการอ้างอิง (ต่อ)

[42] APTS Services, *APTS offers the following pavement testing (online)*, 2013 Available: http://aptsfwd.com/services.html/, (3 August 2013).

[43] Federal Aviation Administration, *Use of Nondestructive Testing on The Evaluation of Airport Pavements,* Advisory Circular 150/5370-11B. U.S. Department of Transportation, 2011.

[44] จตุพล สายัณหวัฒน์. “ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักกับโพรงใต้ผิวทางแผ่นพื้นคอนกรีตของท่าอากาศยาน,” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี, 2555.

[45] ชยธันว์ พรหมศร, ธนศักดิ์ ใฝ่กระโทก, เลิศ พัดฉวี และ พรชัย ศิลารมย์ “การประเมินสภาพผิวทางถนนที่มีผิวชนิดปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีตโดยใช้เครื่องมือ Falling Weight Deflectometer ในประเทศไทย,” *รายงานฉบับที่ วพ. 206 สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง,* pp.1-4, เมษายน 2546.

[46] พิพัฒน์ จำนงค์พิพัฒน์กุล, พุทธพล ทองอินทร์ดำ, จิรพัฒน์ โชติไกร, และ พินิจ ธรรมกสิริ, รายงานเบื้องต้นโครงการศึกษา สำรวจ ออกแบบ ซ่อมแซม/แก้ไข/ปรับปรุง พื้นที่ทางวิ่ง ทางขับ และลานจอด ท่าอากาศยานภูเก็ตและท่าอากาศยาน, [ม.ป.ท.]. 2554.

[47] Deb, K. *Optimization for Engineering Design,* New Delhi: Prentice-Hall. 2005

[48] H. L. Von Quintus and A. L. Simpson, *Back-Calculation of Layer Parameters for LTPP Test Sections, Volume II: Layered Elastic Analysis for Flexible and Rigid*, (Final Report May 1997 – August 2001 FHWA), Virginia: Office of Engineering R & D Federal Highway Administration, 2002.

[49] พุทธพล ทองอินทร์ดำ. “ผลกระทบจากความคลาดเคลื่อนของความหนาชั้นทางต่อค่าการประเมินค่าโมดูลัสยืดหยุ่นชั้นทางของโครงสร้างผิวทางคอนกรีต,” ใน *การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 9*, พิษณุโลก, 2556. pp. 8-15.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ผลการคำนวณหาค่าการยุบตัวจากแบบจำลองโครงสร้างทาง
โดยใช้โปรแกรม BISAR 3.0

BISAR 3.0 - Block Report

_Thesis 308 010914

System 2: 0Thesis 308 3ly PT Rd 3100 a150mm

Structure

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio
1	0.100	3.000E+03	0.40
2	0.200	3.000E+02	0.35
3		5.000E+01	0.35

Loads

Load Number	Vertical Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horizontal (Shear) Load (kN)	Horizontal (Shear) Stress (MPa)	Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Shear Angle (Degrees)
1	4.948E+01	7.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.500E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	Stresses XX (MPa)	Stresses YY (MPa)	Stresses ZZ (MPa)	Strains XX µstrain	Strains YY µstrain	Strains ZZ µstrain	Displacements UX (µm)	Displacements UY (µm)	Displacements UZ (µm)
1	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	-2.362E+00	-2.362E+00	-7.000E-01	-3.790E+02	-3.790E+02	3.964E+02	0.000E+00	0.000E+00	9.056E+02
2	1	2.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	-5.177E-01	-9.626E-01	0.000E+00	-4.421E+01	-2.518E+02	1.974E+02	-5.037E+01	0.000E+00	7.536E+02
3	1	3.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	-1.250E-01	-5.515E-01	0.000E+00	3.186E+01	-1.672E+02	9.020E+01	-5.015E+01	0.000E+00	6.557E+02
4	1	4.500E-01	0.000E+00	0.000E+00	2.888E-02	-2.795E-01	0.000E+00	4.689E+01	-9.702E+01	3.342E+01	-4.366E+01	0.000E+00	5.375E+02
5	1	6.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	6.358E-02	-1.591E-01	0.000E+00	4.241E+01	-6.151E+01	1.274E+01	-3.691E+01	0.000E+00	4.465E+02
6	1	9.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	6.707E-02	-5.987E-02	0.000E+00	3.034E+01	-2.890E+01	-9.609E-01	-2.601E+01	0.000E+00	3.192E+02
7	1	1.200E+00	0.000E+00	0.000E+00	5.010E-02	-2.622E-02	0.000E+00	2.020E+01	-1.542E+01	-3.185E+00	-1.850E+01	0.000E+00	2.393E+02
8	1	1.500E+00	0.000E+00	0.000E+00	3.347E-02	-1.380E-02	0.000E+00	1.300E+01	-9.062E+00	-2.623E+00	-1.359E+01	0.000E+00	1.878E+02

Calculated: 09-Jan-2014 19:04:16 Print Date: 09-Jan-2014 Page: 2

รูปที่ ก.1 ค่าการยุบตัวของแบบจำลองโครงสร้างทางที่สร้างขึ้นจากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม BISAR 3.0

BISAR 3.0 - Block Report

hypothetical3ly

System 1: 1

Structure / **Loads**

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Vertical Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horizontal (Shear) Load (kN)	Horizontal (Shear) Stress (MPa)	Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Shear Angle (Degrees)
1	0.000	0.000E+00	0.00	1	4.948E+01	7.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.500E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	Stresses XX (MPa)	Stresses YY (MPa)	Stresses ZZ (MPa)	Strains XX µstrain	Strains YY µstrain	Strains ZZ µstrain	Displacements UX (µm)	Displacements UY (µm)	UZ (µm)
1	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	-1.286E+00	-1.286E+00	-7.000E-01	-7.024E+02	-7.023E+02	4.698E+02	0.000E+00	0.000E+00	1.059E+03
2	1	2.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	-2.551E-02	-2.864E-01	0.000E+00	1.272E+02	-3.946E+02	1.782E+02	-7.891E+01	0.000E+00	7.163E+02
3	1	3.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	5.717E-02	-1.240E-01	0.000E+00	1.525E+02	-2.098E+02	3.820E+01	-6.295E+01	0.000E+00	5.712E+02
4	1	4.500E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.348E-02	-6.872E-02	0.000E+00	5.852E+01	-1.059E+02	3.157E+01	-4.764E+01	0.000E+00	4.578E+02
5	1	6.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	-6.077E-03	-5.175E-02	0.000E+00	2.089E+01	-7.046E+01	3.304E+01	-4.227E+01	0.000E+00	3.934E+02
6	1	9.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	-3.952E-03	-3.125E-02	0.000E+00	1.221E+01	-4.238E+01	2.012E+01	-3.815E+01	0.000E+00	3.103E+02
7	1	1.200E+00	0.000E+00	0.000E+00	2.321E-03	-1.900E-02	0.000E+00	1.417E+01	-2.846E+01	9.528E+00	-3.415E+01	0.000E+00	2.525E+02
8	1	1.500E+00	0.000E+00	0.000E+00	5.134E-03	-1.188E-02	0.000E+00	1.412E+01	-1.991E+01	3.855E+00	-2.986E+01	0.000E+00	2.095E+02

Calculated: 17-Jan-2014 13:30:43 Print Date: 17-Jan-2014 Page: 1

รูปที่ ก.2 ค่าการยุบตัวของแบบจำลองโครงสร้างทางที่ Reddy สมมุติขึ้นแบบที่ 1 จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม BISAR 3.0

BISAR 3.0 - Block Report

hypothetical3ly

System 2: 2

Structure

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio
2	0.000	0.000E+00	0.00

Loads

Load Number	Vertical Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horizontal (Shear) Load (kN)	Horizontal (Shear) Stress (MPa)	Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Shear Angle (Degrees)
1	4.948E+01	7.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.500E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	Stresses XX (MPa)	Stresses YY (MPa)	Stresses ZZ (MPa)	Strains XX µstrain	Strains YY µstrain	Strains ZZ µstrain	Displacements UX (µm)	Displacements UY (µm)	UZ (µm)
1	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	-9.817E-01	-9.817E-01	-7.000E-01	-3.433E+02	-3.433E+02	9.480E+01	0.000E+00	0.000E+00	7.843E+02
2	1	2.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	-1.638E-01	-2.909E-01	0.000E+00	-5.277E+01	-2.504E+02	2.021E+02	-5.008E+01	0.000E+00	6.222E+02
3	1	3.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	-8.920E-02	-1.960E-01	0.000E+00	-1.201E+01	-1.781E+02	1.267E+02	-5.343E+01	0.000E+00	5.498E+02
4	1	4.500E-01	0.000E+00	0.000E+00	-1.904E-02	-1.109E-01	0.000E+00	2.815E+01	-1.148E+02	5.776E+01	-5.166E+01	0.000E+00	4.683E+02
5	1	6.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	4.989E-03	-6.794E-02	0.000E+00	3.574E+01	-7.771E+01	2.798E+01	-4.663E+01	0.000E+00	4.052E+02
6	1	9.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.256E-02	-3.184E-02	0.000E+00	2.811E+01	-4.097E+01	8.569E+00	-3.687E+01	0.000E+00	3.146E+02
7	1	1.200E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.153E-02	-1.761E-02	0.000E+00	2.064E+01	-2.470E+01	2.704E+00	-2.964E+01	0.000E+00	2.529E+02
8	1	1.500E+00	0.000E+00	0.000E+00	9.943E-03	-1.056E-02	0.000E+00	1.574E+01	-1.615E+01	2.730E-01	-2.423E+01	0.000E+00	2.084E+02

Calculated: 17-Jan-2014 13:30:43   Print Date: 17-Jan-2014   Page: 2

รูปที่ ก.3 ค่าการยุบตัวของแบบจำลองโครงสร้างทางที่ Reddy สมมุติขึ้นแบบที่ 2 จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม BISAR 3.0

BISAR 3.0 - Block Report

hypothetical3ly

System 3: 3

Structure

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio
3	0.000	0.000E+00	0.00

Loads

Load Number	Vertical Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horizontal (Shear) Load (kN)	Horizontal (Shear) Stress (MPa)	Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Shear Angle (Degrees)
1	4.948E+01	7.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.500E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	Stresses XX (MPa)	Stresses YY (MPa)	Stresses ZZ (MPa)	Strains XX µstrain	Strains YY µstrain	Strains ZZ µstrain	Displacements UX (µm)	Displacements UY (µm)	Displacements UZ (µm)
1	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	-9.826E-01	-9.826E-01	-7.000E-01	-4.763E+02	-4.763E+02	1.325E+02	0.000E+00	0.000E+00	8.034E+02
2	1	2.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	-7.367E-02	-2.266E-01	0.000E+00	2.610E+01	-3.033E+02	1.848E+02	-6.065E+01	0.000E+00	5.617E+02
3	1	3.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	-1.152E-03	-1.203E-01	0.000E+00	7.224E+01	-1.843E+02	7.473E+01	-5.530E+01	0.000E+00	4.621E+02
4	1	4.500E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.491E-02	-5.872E-02	0.000E+00	5.908E+01	-9.952E+01	2.696E+01	-4.478E+01	0.000E+00	3.726E+02
5	1	6.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	5.941E-03	-3.881E-02	0.000E+00	3.302E+01	-6.336E+01	2.022E+01	-3.801E+01	0.000E+00	3.177E+02
6	1	9.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.001E-04	-2.290E-02	0.000E+00	1.425E+01	-3.529E+01	1.403E+01	-3.176E+01	0.000E+00	2.493E+02
7	1	1.200E+00	0.000E+00	0.000E+00	2.207E-03	-1.424E-02	0.000E+00	1.216E+01	-2.327E+01	7.405E+00	-2.792E+01	0.000E+00	2.036E+02
8	1	1.500E+00	0.000E+00	0.000E+00	3.843E-03	-9.021E-03	0.000E+00	1.146E+01	-1.624E+01	3.187E+00	-2.437E+01	0.000E+00	1.697E+02

Calculated: 17-Jan-2014 13:30:43 Print Date: 17-Jan-2014 Page: 3

รูปที่ ก.4 ค่าการยุบตัวของแบบจำลองโครงสร้างทางที่ Reddy สมมุติขึ้นแบบที่ 3 จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม BISAR 3.0

BISAR 3.0 - Block Report

hypothetical3ly

System 4: 4

Structure

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio
4	0.000	0.000E+00	0.00

Loads

Load Number	Vertical Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horizontal (Shear) Load (kN)	Horizontal (Shear) Stress (MPa)	Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Shear Angle (Degrees)
1	4.948E+01	7.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.500E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	Stresses XX (MPa)	Stresses YY (MPa)	Stresses ZZ (MPa)	Strains XX µstrain	Strains YY µstrain	Strains ZZ µstrain	Displacements UX (µm)	Displacements UY (µm)	UZ (µm)
1	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	-1.507E+00	-1.507E+00	-7.000E-01	-2.497E+02	-2.497E+02	2.022E+02	0.000E+00	0.000E+00	4.928E+02
2	1	2.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	-2.516E-01	-5.120E-01	0.000E+00	-1.874E+01	-1.645E+02	1.222E+02	-3.290E+01	0.000E+00	3.913E+02
3	1	3.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	-5.233E-02	-2.887E-01	0.000E+00	2.526E+01	-1.071E+02	5.457E+01	-3.213E+01	0.000E+00	3.359E+02
4	1	4.500E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.567E-02	-1.470E-01	0.000E+00	2.979E+01	-6.132E+01	2.102E+01	-2.760E+01	0.000E+00	2.753E+02
5	1	6.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	2.233E-02	-8.953E-02	0.000E+00	2.326E+01	-3.938E+01	1.075E+01	-2.363E+01	0.000E+00	2.315E+02
6	1	9.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	2.406E-02	-4.007E-02	0.000E+00	1.604E+01	-1.988E+01	2.562E+00	-1.789E+01	0.000E+00	1.713E+02
7	1	1.200E+00	0.000E+00	0.000E+00	2.147E-02	-2.005E-02	0.000E+00	1.180E+01	-1.145E+01	-2.273E-01	-1.375E+01	0.000E+00	1.321E+02
8	1	1.500E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.675E-02	-1.117E-02	0.000E+00	8.488E+00	-7.149E+00	-8.924E-01	-1.072E+01	0.000E+00	1.056E+02

Calculated: 17-Jan-2014 13:30:43 Print Date: 17-Jan-2014 Page: 4

รูปที่ ก.5 ค่าการยุบตัวของแบบจำลองโครงสร้างทางที่ Reddy สมมุติขึ้นแบบที่ 4 จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม BISAR 3.0

BISAR 3.0 - Block Report

hypothetical3ly

System 5: 5

Structure

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio
5	0.000	0.000E+00	0.00

Loads

Load Number	Vertical Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horizontal (Shear) Load (kN)	Horizontal (Shear) Stress (MPa)	Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Shear Angle (Degrees)
1	4.948E+01	7.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.500E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	Stresses XX (MPa)	Stresses YY (MPa)	Stresses ZZ (MPa)	Strains XX µstrain	Strains YY µstrain	Strains ZZ µstrain	Displacements UX (µm)	Displacements UY (µm)	UZ (µm)
1	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	-1.347E+00	-1.347E+00	-7.000E-01	-5.284E+02	-5.284E+02	3.778E+02	0.000E+00	0.000E+00	1.053E+03
2	1	2.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	-1.578E-01	-3.976E-01	0.000E+00	1.195E+00	-3.344E+02	2.222E+02	-6.689E+01	0.000E+00	8.192E+02
3	1	3.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	-4.990E-02	-2.321E-01	0.000E+00	4.293E+01	-2.121E+02	1.128E+02	-6.363E+01	0.000E+00	7.082E+02
4	1	4.500E-01	0.000E+00	0.000E+00	-3.012E-02	-1.421E-01	0.000E+00	2.672E+01	-1.301E+02	6.889E+01	-5.853E+01	0.000E+00	5.965E+02
5	1	6.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	-1.096E-02	-9.542E-02	0.000E+00	2.721E+01	-9.104E+01	4.255E+01	-5.462E+01	0.000E+00	5.133E+02
6	1	9.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.457E-02	-4.462E-02	0.000E+00	3.242E+01	-5.045E+01	1.202E+01	-4.541E+01	0.000E+00	3.891E+02
7	1	1.200E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.969E-02	-2.223E-02	0.000E+00	2.858E+01	-3.011E+01	1.016E+00	-3.613E+01	0.000E+00	3.027E+02
8	1	1.500E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.758E-02	-1.195E-02	0.000E+00	2.236E+01	-1.898E+01	-2.252E+00	-2.847E+01	0.000E+00	2.420E+02

Calculated: 17-Jan-2014 13:30:43 Print Date: 17-Jan-2014 Page: 5

รูปที่ ก.6 ค่าการยุบตัวของแบบจำลองโครงสร้างทางที่ Reddy สมมุติขึ้นแบบที่ 5 จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม BISAR 3.0

BISAR 3.0 - Block Report

hypothetical3ly

System 6: 6

Structure

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio
6	0.000	0.000E+00	0.00

Loads

Load Number	Vertical Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horizontal (Shear) Load (kN)	Horizontal (Shear) Stress (MPa)	Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Shear Angle (Degrees)
1	4.948E+01	7.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.500E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	Stresses XX (MPa)	Stresses YY (MPa)	Stresses ZZ (MPa)	Strains XX µstrain	Strains YY µstrain	Strains ZZ µstrain	Displacements UX (µm)	Displacements UY (µm)	Displacements UZ (µm)
1	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	-9.797E-01	-9.797E-01	-7.000E-01	-1.539E+02	-1.539E+02	4.188E+01	0.000E+00	0.000E+00	3.608E+02
2	1	2.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	-1.649E-01	-2.910E-01	0.000E+00	-2.427E+01	-1.125E+02	9.119E+01	-2.250E+01	0.000E+00	2.882E+02
3	1	3.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	-9.213E-02	-1.975E-01	0.000E+00	-6.564E+00	-8.032E+01	5.792E+01	-2.410E+01	0.000E+00	2.558E+02
4	1	4.500E-01	0.000E+00	0.000E+00	-2.297E-02	-1.136E-01	0.000E+00	1.125E+01	-5.223E+01	2.732E+01	-2.350E+01	0.000E+00	2.193E+02
5	1	6.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.576E-03	-7.082E-02	0.000E+00	1.495E+01	-3.573E+01	1.385E+01	-2.144E+01	0.000E+00	1.907E+02
6	1	9.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.123E-02	-3.384E-02	0.000E+00	1.238E+01	-1.917E+01	4.522E+00	-1.725E+01	0.000E+00	1.491E+02
7	1	1.200E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.151E-02	-1.871E-02	0.000E+00	9.500E+00	-1.166E+01	1.440E+00	-1.399E+01	0.000E+00	1.202E+02
8	1	1.500E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.042E-02	-1.112E-02	0.000E+00	7.434E+00	-7.645E+00	1.403E-01	-1.147E+01	0.000E+00	9.913E+01

Calculated: 17-Jan-2014 13:30:43 Print Date: 17-Jan-2014 Page: 6

รูปที่ ก.7 ค่าการยุบตัวของแบบจำลองโครงสร้างทางที่ Reddy สมมุติขึ้นแบบที่ 6 จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม BISAR 3.0

BISAR 3.0 - Block Report

hypothetical3ly

System 7: 7

Structure

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio
7	0.000	0.000E+00	0.00

Loads

Load Number	Vertical Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horizontal (Shear) Load (kN)	Horizontal (Shear) Stress (MPa)	Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Shear Angle (Degrees)
1	4.948E+01	7.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.500E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	Stresses XX (MPa)	Stresses YY (MPa)	Stresses ZZ (MPa)	Strains XX µstrain	Strains YY µstrain	Strains ZZ µstrain	Displacements UX (µm)	Displacements UY (µm)	UZ (µm)
1	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	-1.127E+00	-1.127E+00	-7.000E-01	-1.801E+02	-1.801E+02	9.164E+01	0.000E+00	0.000E+00	3.786E+02
2	1	2.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	-1.595E-01	-3.314E-01	0.000E+00	-1.225E+01	-1.216E+02	8.925E+01	-2.432E+01	0.000E+00	2.985E+02
3	1	3.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	-5.003E-02	-1.969E-01	0.000E+00	1.305E+01	-8.039E+01	4.489E+01	-2.412E+01	0.000E+00	2.608E+02
4	1	4.500E-01	0.000E+00	0.000E+00	-3.983E-03	-1.067E-01	0.000E+00	1.759E+01	-4.779E+01	2.013E+01	-2.150E+01	0.000E+00	2.216E+02
5	1	6.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	-1.009E-03	-7.100E-02	0.000E+00	1.245E+01	-3.209E+01	1.309E+01	-1.925E+01	0.000E+00	1.939E+02
6	1	9.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	2.050E-03	-3.920E-02	0.000E+00	8.058E+00	-1.819E+01	6.754E+00	-1.637E+01	0.000E+00	1.546E+02
7	1	1.200E+00	0.000E+00	0.000E+00	6.922E-03	-2.304E-02	0.000E+00	7.336E+00	-1.173E+01	2.930E+00	-1.408E+01	0.000E+00	1.265E+02
8	1	1.500E+00	0.000E+00	0.000E+00	8.877E-03	-1.402E-02	0.000E+00	6.585E+00	-7.988E+00	9.356E-01	-1.198E+01	0.000E+00	1.052E+02

Calculated: 17-Jan-2014 13:30:43 Print Date: 17-Jan-2014 Page: 7

รูปที่ ก.8 ค่าการยุบตัวของแบบจำลองโครงสร้างทางที่ Reddy สมมุติขึ้นแบบที่ 7 จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม BISAR 3.0

BISAR 3.0 - Block Report

hypothetical3ly

System 8: 8

Structure

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio
8	0.000	0.000E+00	0.00

Loads

Load Number	Vertical Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horizontal (Shear) Load (kN)	Horizontal (Shear) Stress (MPa)	Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Shear Angle (Degrees)
1	4.948E+01	7.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.500E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	Stresses XX (MPa)	Stresses YY (MPa)	Stresses ZZ (MPa)	Strains XX µstrain	Strains YY µstrain	Strains ZZ µstrain	Displacements UX (µm)	Displacements UY (µm)	Displacements UZ (µm)
1	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	-1.135E+00	-1.135E+00	-7.000E-01	-2.673E+02	-2.673E+02	1.386E+02	0.000E+00	0.000E+00	5.906E+02
2	1	2.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	-1.552E-01	-3.305E-01	0.000E+00	-1.535E+01	-1.789E+02	1.295E+02	-3.579E+01	0.000E+00	4.717E+02
3	1	3.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	-4.683E-02	-1.949E-01	0.000E+00	2.076E+01	-1.175E+02	6.447E+01	-3.524E+01	0.000E+00	4.162E+02
4	1	4.500E-01	0.000E+00	0.000E+00	-7.724E-03	-1.080E-01	0.000E+00	2.365E+01	-6.994E+01	3.086E+01	-3.147E+01	0.000E+00	3.596E+02
5	1	6.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	-8.085E-03	-7.482E-02	0.000E+00	1.456E+01	-4.772E+01	2.211E+01	-2.863E+01	0.000E+00	3.198E+02
6	1	9.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	-4.813E-03	-4.442E-02	0.000E+00	8.638E+00	-2.833E+01	1.313E+01	-2.550E+01	0.000E+00	2.627E+02
7	1	1.200E+00	0.000E+00	0.000E+00	2.483E-03	-2.760E-02	0.000E+00	9.015E+00	-1.906E+01	6.697E+00	-2.287E+01	0.000E+00	2.201E+02
8	1	1.500E+00	0.000E+00	0.000E+00	6.531E-03	-1.753E-02	0.000E+00	9.030E+00	-1.343E+01	2.934E+00	-2.014E+01	0.000E+00	1.864E+02

Calculated: 17-Jan-2014 13:30:43 Print Date: 17-Jan-2014 Page: 8

รูปที่ ก.9 ค่าการยุบตัวของแบบจำลองโครงสร้างทางที่ Reddy สมมุติขึ้นแบบที่ 8 จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม BISAR 3.0

BISAR 3.0 - Block Report

hypothetical3ly

System 9: 9

Structure

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio
9	0.000	0.000E+00	0.00

Loads

Load Number	Vertical Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horizontal (Shear) Load (kN)	Horizontal (Shear) Stress (MPa)	Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Shear Angle (Degrees)
1	4.948E+01	7.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.500E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	Stresses XX (MPa)	Stresses YY (MPa)	Stresses ZZ (MPa)	Strains XX µstrain	Strains YY µstrain	Strains ZZ µstrain	Displacements UX (µm)	Displacements UY (µm)	UZ (µm)
1	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	-1.548E+00	-1.548E+00	-7.000E-01	-9.273E+02	-9.272E+02	7.697E+02	0.000E+00	0.000E+00	1.297E+03
2	1	2.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	-9.090E-02	-4.125E-01	0.000E+00	1.058E+02	-5.373E+02	2.876E+02	-1.075E+02	0.000E+00	8.746E+02
3	1	3.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	7.599E-02	-1.773E-01	0.000E+00	2.099E+02	-2.967E+02	5.790E+01	-8.902E+01	0.000E+00	6.693E+02
4	1	4.500E-01	0.000E+00	0.000E+00	5.976E-02	-7.464E-02	0.000E+00	1.280E+02	-1.408E+02	8.500E+00	-6.335E+01	0.000E+00	4.871E+02
5	1	6.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	3.472E-02	-4.295E-02	0.000E+00	7.415E+01	-8.120E+01	4.704E+00	-4.872E+01	0.000E+00	3.804E+02
6	1	9.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.842E-02	-1.846E-02	0.000E+00	3.685E+01	-3.689E+01	2.275E-02	-3.320E+01	0.000E+00	2.593E+02
7	1	1.200E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.130E-02	-9.858E-03	0.000E+00	2.177E+01	-2.054E+01	-8.226E-01	-2.465E+01	0.000E+00	1.936E+02
8	1	1.500E+00	0.000E+00	0.000E+00	6.985E-03	-6.288E-03	0.000E+00	1.357E+01	-1.297E+01	-3.981E-01	-1.946E+01	0.000E+00	1.536E+02

Calculated: 17-Jan-2014 13:30:43 Print Date: 17-Jan-2014 Page: 9

รูปที่ ก.10 ค่าการยุบตัวของแบบจำลองโครงสร้างทางที่ Reddy สมมุติขึ้นแบบที่ 9 จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม BISAR 3.0

BISAR 3.0 - Block Report

hypothetical3ly

System 10: 10

Structure / **Loads**

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Vertical Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horizontal (Shear) Load (kN)	Horizontal (Shear) Stress (MPa)	Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Shear Angle (Degrees)
1	0.000	0.000E+00	0.00	1	4.948E+01	7.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.500E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	Stresses XX (MPa)	Stresses YY (MPa)	Stresses ZZ (MPa)	Strains XX µstrain	Strains YY µstrain	Strains ZZ µstrain	Displacements UX (µm)	Displacements UY (µm)	Displacements UZ (µm)
1	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	-1.084E+00	-1.084E+00	-7.000E-01	-3.085E+02	-3.084E+02	1.390E+02	0.000E+00	0.000E+00	7.184E+02
2	1	2.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	-2.068E-01	-3.523E-01	0.000E+00	-5.492E+01	-2.246E+02	1.864E+02	-4.493E+01	0.000E+00	5.838E+02
3	1	3.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	-1.049E-01	-2.344E-01	0.000E+00	-9.299E+00	-1.604E+02	1.131E+02	-4.811E+01	0.000E+00	5.185E+02
4	1	4.500E-01	0.000E+00	0.000E+00	-2.227E-02	-1.324E-01	0.000E+00	2.558E+01	-1.029E+02	5.157E+01	-4.632E+01	0.000E+00	4.424E+02
5	1	6.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	4.585E-03	-8.193E-02	0.000E+00	3.113E+01	-6.980E+01	2.578E+01	-4.188E+01	0.000E+00	3.825E+02
6	1	9.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.585E-02	-3.794E-02	0.000E+00	2.585E+01	-3.690E+01	7.363E+00	-3.321E+01	0.000E+00	2.948E+02
7	1	1.200E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.606E-02	-1.994E-02	0.000E+00	2.003E+01	-2.197E+01	1.294E+00	-2.636E+01	0.000E+00	2.340E+02
8	1	1.500E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.390E-02	-1.130E-02	0.000E+00	1.535E+01	-1.405E+01	-8.651E-01	-2.108E+01	0.000E+00	1.905E+02

Calculated: 17-Jan-2014 13:30:43 Print Date: 17-Jan-2014 Page: 10

รูปที่ ก.11 ค่าการยุบตัวของแบบจำลองโครงสร้างทางที่ Reddy สมมุติขึ้นแบบที่ 10 จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม BISAR 3.0

ภาคผนวก ข
รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการสุ่ม

ตารางที่ ข.1 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์ที่มีการเปิด-ปิดเทคนิคแบบใหม่ และค่าความเหมาะสม

							Fitness				
Rank	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	pcreepmu	CE	All on	iunifrm off	icreep off	ibstmold off	niching off
1	40	40	0.81	0.010	0.068	1600	0.31829	0.12923	0.00205	0.00091	0.01476
2	60	40	0.81	0.010	0.106	2400	0.57495	0.21311	0.01769	0.00408	0.01915
3	80	40	0.81	0.010	0.106	3200	0.65690	0.29279	0.02389	0.9559	0.02321
4	100	40	0.81	0.010	0.106	4000	0.67221	0.46986	0.02408	0.93213	0.03675
5	120	40	0.81	0.010	0.106	4800	0.95109	0.49864	0.02408	0.95827	0.29897
6	140	40	0.81	0.010	0.106	5600	0.97623	0.49262	0.02408	0.95827	0.29897
7	160	40	0.81	0.010	0.106	6400	0.98977	0.90654	0.02408	0.93899	0.47205
8	180	40	0.81	0.010	0.106	7200	0.98977	0.94108	0.02408	0.95972	0.47285
9	200	40	0.81	0.010	0.106	8000	0.98977	0.98977	0.02408	0.9612	0.47285
10	220	40	0.81	0.010	0.106	8800	0.98977	0.98977	0.02408	0.97623	0.47285
11	240	40	0.81	0.010	0.106	9600	0.98977	0.98977	0.02408	0.98977	0.47285

ตารางที่ ข.2 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์ที่มีการแปรผันค่าอัตราของตัวดำเนินการ และผลการคำนวณย้อนกลับ

Rank	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
numpop																
1	140	40	0.81	0.010	on	on	0.106	on	on	5600	0.97623	0.01	0.10	2998	300	50
2	140	60	0.81	0.010	on	on	0.106	on	on	8400	0.39794	0.13	0.05	2930	303	50
3	140	80	0.81	0.010	on	on	0.106	on	on	11200	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
4	140	100	0.81	0.010	on	on	0.106	on	on	14000	0.40169	0.11	0.06	2918	304	50
5	140	120	0.81	0.010	on	on	0.106	on	on	16800	0.29505	-0.14	0.09	2894	306	50
6	140	140	0.81	0.010	on	on	0.106	on	on	19600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
7	140	160	0.81	0.010	on	on	0.106	on	on	22400	0.18799	-0.20	0.12	2867	308	50
8	140	180	0.81	0.010	on	on	0.106	on	on	25200	0.29505	-0.14	0.09	2894	306	50
9	140	200	0.81	0.010	on	on	0.106	on	on	28000	0.36225	-0.13	0.08	2916	305	50
10	140	220	0.81	0.010	on	on	0.106	on	on	30800	0.07046	-0.39	0.15	3221	291	50
11	140	240	0.81	0.010	on	on	0.106	on	on	33600	0.29050	-0.14	0.09	2894	306	50
pcross																
1	140	40	0.70	0.010	on	on	0.106	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
2	140	40	0.71	0.010	on	on	0.106	on	on	5600	0.15427	-0.23	0.14	2852	309	50
3	140	40	0.72	0.010	on	on	0.106	on	on	5600	0.66741	0.06	0.04	3057	297	50
4	140	40	0.73	0.010	on	on	0.106	on	on	5600	0.98977	0.01	0.10	3000	300	50
5	140	40	0.74	0.010	on	on	0.106	on	on	5600	0.72938	-0.06	0.03	3044	298	50
6	140	40	0.75	0.010	on	on	0.106	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
7	140	40	0.76	0.010	on	on	0.106	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
8	140	40	0.77	0.010	on	on	0.106	on	on	5600	0.67221	0.06	0.04	3056	297	50
9	140	40	0.78	0.010	on	on	0.106	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
10	140	40	0.79	0.010	on	on	0.106	on	on	5600	0.14017	0.22	0.14	3188	290	50
11	140	40	0.80	0.010	on	on	0.106	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
12	140	40	0.81	0.010	on	on	0.106	on	on	5600	0.97623	0.01	0.01	2998	300	50
13	140	40	0.82	0.010	on	on	0.106	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
14	140	40	0.83	0.010	on	on	0.106	on	on	5600	0.02416	-0.53	0.35	2548	326	50
15	140	40	0.84	0.010	on	on	0.106	on	on	5600	0.12969	-0.25	0.15	2836	310	50
16	140	40	0.850	0.010	on	on	0.106	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
17	140	40	0.860	0.010	on	on	0.106	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
18	140	40	0.87	0.010	on	on	0.106	on	on	5600	0.03360	-0.47	0.30	2621	322	50
19	140	40	0.88	0.010	on	on	0.106	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
20	140	40	0.89	0.010	on	on	0.106	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
21	140	40	0.90	0.010	on	on	0.106	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50

ตารางที่ ข.2 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์ที่มีการแปรผันค่าอัตราของตัวดำเนินการ และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
pjumpmu																
1	140	40	0.81	0.006	on	on	0.106	on	on	5600	0.65690	0.07	0.04	3051	297	50
2	140	40	0.81	0.007	on	on	0.106	on	on	5600	0.94108	0.03	0.01	2996	300	50
3	140	40	0.81	0.008	on	on	0.106	on	on	5600	0.28858	-0.13	0.09	2889	306	50
4	140	40	0.81	0.009	on	on	0.106	on	on	5600	0.47285	-0.10	0.06	2929	304	50
5	140	40	0.81	0.010	on	on	0.106	on	on	5600	0.97623	0.01	0.01	2998	300	50
6	140	40	0.81	0.011	on	on	0.106	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
7	140	40	0.81	0.012	on	on	0.106	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
8	140	40	0.81	0.013	on	on	0.106	on	on	5600	0.15360	-0.19	0.13	2832	309	50
9	140	40	0.81	0.014	on	on	0.106	on	on	5600	0.26962	-0.16	0.10	2904	306	50
10	140	40	0.81	0.015	on	on	0.106	on	on	5600	0.98594	0.01	0.01	2999	300	50
11	140	40	0.81	0.016	on	on	0.106	on	on	5600	0.94108	0.03	0.01	2996	300	50
12	140	40	0.81	0.017	on	on	0.106	on	on	5600	0.04422	-0.42	0.26	2676	319	50
13	140	40	0.81	0.018	on	on	0.106	on	on	5600	0.00985	-0.97	0.06	2393	341	50
14	140	40	0.81	0.019	on	on	0.106	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
15	140	40	0.81	0.020	on	on	0.106	on	on	5600	0.67441	0.06	0.04	3055	297	50
16	140	40	0.81	0.021	on	on	0.106	on	on	5600	0.12842	0.24	0.13	2820	309	50
17	140	40	0.81	0.022	on	on	0.106	on	on	5600	0.37050	-0.12	0.07	2910	305	50
18	140	40	0.81	0.023	on	on	0.106	on	on	5600	0.29505	-0.14	0.09	2894	306	50
19	140	40	0.81	0.024	on	on	0.106	on	on	5600	0.66741	0.06	0.04	3057	297	50
20	140	40	0.81	0.025	on	on	0.106	on	on	5600	0.63828	-0.06	0.04	3060	297	50
21	140	40	0.81	0.026	on	on	0.106	on	on	5600	0.01912	-0.64	0.40	2501	330	50
22	140	40	0.81	0.027	on	on	0.106	on	on	5600	0.03371	-0.50	0.31	2634	322	50
23	140	40	0.81	0.028	on	on	0.106	on	on	5600	0.90065	-0.03	0.01	3023	299	50
24	140	40	0.81	0.029	on	on	0.106	on	on	5600	0.90654	-0.03	0.02	2982	301	50
25	140	40	0.81	0.030	on	on	0.106	on	on	5600	0.01792	-0.58	0.40	2475	330	50
26	140	40	0.81	0.031	on	on	0.106	on	on	5600	0.10438	0.24	0.15	2791	311	50
27	140	40	0.81	0.032	on	on	0.106	on	on	5600	0.50860	-0.07	0.05	3078	298	50
28	140	40	0.81	0.033	on	on	0.106	on	on	5600	0.26489	-0.17	0.10	29025	306	50
29	140	40	0.81	0.034	on	on	0.106	on	on	5600	0.98549	0.01	0.01	2999	300	50
30	140	40	0.81	0.035	on	on	0.106	on	on	5600	0.83399	0.03	0.02	3011	299	50
31	140	40	0.81	0.036	on	on	0.106	on	on	5600	0.83401	0.04	0.03	3036	298	50
32	140	40	0.81	0.037	on	on	0.106	on	on	5600	0.60340	-0.08	0.05	2947	303	50
33	140	40	0.81	0.038	on	on	0.106	on	on	5600	0.88875	0.04	0.02	2997	300	50
34	140	40	0.810	0.039	on	on	0.106	on	on	5600	0.00558	2.73	1.67	2530	347	49
35	140	40	0.81	0.040	on	on	0.106	on	on	5600	0.66741	0.06	0.04	3057	297	50
36	140	40	0.810	0.041	on	on	0.106	on	on	5600	0.71084	0.06	0.03	2959	302	50

ตารางที่ ข.2 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์ที่มีการแปรผันค่าอัตราของตัวดำเนินการ และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
37	140	40	0.81	0.042	on	on	0.106	on	on	5600	0.47285	-0.10	0.06	2929	304	50
38	140	40	0.81	0.043	on	on	0.106	on	on	5600	0.17110	0.22	0.10	2854	307	50
39	140	40	0.81	0.044	on	on	0.106	on	on	5600	0.97623	0.01	0.01	2998	300	50
40	140	40	0.81	0.045	on	on	0.106	on	on	5600	0.47707	-0.11	0.04	3037	299	50
41	140	40	0.81	0.046	on	on	0.106	on	on	5600	0.02383	0.66	0.26	2818	304	50
42	140	40	0.81	0.047	on	on	0.106	on	on	5600	0.40486	0.11	0.07	3088	295	50
43	140	40	0.81	0.048	on	on	0.106	on	on	5600	0.06599	-0.37	0.22	2783	314	50
44	140	40	0.81	0.049	on	on	0.106	on	on	5600	0.83401	0.04	0.03	3036	298	50
45	140	40	0.81	0.050	on	on	0.106	on	on	5600	0.05560	-0.33	0.19	3001	304	50
46	140	40	0.81	0.051	on	on	0.106	on	on	5600	0.44932	0.09	0.06	2923	304	50
47	140	40	0.81	0.052	on	on	0.106	on	on	5600	0.82918	0.04	0.02	3038	298	50
48	140	40	0.81	0.053	on	on	0.106	on	on	5600	0.44485	0.12	0.05	2947	302	50
49	140	40	0.81	0.054	on	on	0.106	on	on	5600	0.01736	-0.62	0.41	2467	331	50
pcreepmu																
1	140	40	0.81	0.010	on	on	0.010	on	on	5600	0.67096	0.06	0.04	3053	297	50
2	140	40	0.81	0.010	on	on	0.011	on	on	5600	0.22239	-0.15	0.10	2867	307	50
3	140	40	0.81	0.010	on	on	0.012	on	on	5600	0.11803	0.24	0.15	3207	289	50
4	140	40	0.81	0.010	on	on	0.013	on	on	5600	0.07639	-0.31	0.20	2755	314	50
5	140	40	0.81	0.010	on	on	0.014	on	on	5600	0.67441	0.06	0.04	3055	297	50
6	140	40	0.81	0.010	on	on	0.015	on	on	5600	0.67441	0.06	0.04	3055	297	50
7	140	40	0.81	0.010	on	on	0.016	on	on	5600	0.89827	-0.03	0.02	2984	301	50
8	140	40	0.81	0.010	on	on	0.017	on	on	5600	0.75780	-0.05	0.03	2964	302	50
9	140	40	0.81	0.010	on	on	0.018	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
10	140	40	0.81	0.010	on	on	0.019	on	on	5600	0.95972	0.02	0.01	3018	299	50
11	140	40	0.81	0.010	on	on	0.020	on	on	5600	0.41445	0.13	0.05	2931	303	50
12	140	40	0.81	0.010	on	on	0.021	on	on	5600	0.90654	-0.03	0.02	2982	301	50
13	140	40	0.81	0.010	on	on	0.022	on	on	5600	0.90654	-0.03	0.02	2982	301	50
14	140	40	0.81	0.010	on	on	0.023	on	on	5600	0.01745	-0.67	0.37	3573	274	50
15	140	40	0.81	0.010	on	on	0.024	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
16	140	40	0.81	0.010	on	on	0.025	on	on	5600	0.02486	-0.56	0.35	2562	326	50
17	140	40	0.81	0.010	on	on	0.026	on	on	5600	0.01115	-0.92	0.55	2436	338	50
18	140	40	0.81	0.010	on	on	0.027	on	on	5600	0.29505	-0.14	0.09	2894	306	50
19	140	40	0.81	0.010	on	on	0.028	on	on	5600	0.11610	-0.25	0.16	2806	311	50
20	140	40	0.81	0.010	on	on	0.029	on	on	5600	0.03320	-0.51	0.31	2641	322	50
21	140	40	0.81	0.010	on	on	0.030	on	on	5600	0.02489	-0.57	0.36	2568	326	50
22	140	40	0.81	0.010	on	on	0.031	on	on	5600	0.01416	-0.65	0.45	2411	334	50
23	140	40	0.81	0.010	on	on	0.032	on	on	5600	0.00960	-0.83	0.56	2289	343	50

ตารางที่ ข.2 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์ที่มีการแปรผันค่าอัตราของตัวดำเนินการ และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
24	140	40	0.81	0.010	on	on	0.033	on	on	5600	0.01244	-0.80	0.50	2387	338	50
25	140	40	0.810	0.010	on	on	0.034	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
26	140	40	0.81	0.010	on	on	0.035	on	on	5600	0.90654	-0.03	0.02	2982	301	50
27	140	40	0.81	0.010	on	on	0.036	on	on	5600	0.67441	0.06	0.04	3055	297	50
28	140	40	0.810	0.010	on	on	0.037	on	on	5600	0.95109	0.02	0.01	3020	299	50
29	140	40	0.81	0.010	on	on	0.038	on	on	5600	0.93899	-0.02	0.01	3021	299	50
30	140	40	0.81	0.010	on	on	0.039	on	on	5600	0.98770	0.01	0.01	3000	300	50
31	140	40	0.81	0.010	on	on	0.040	on	on	5600	0.67411	0.06	0.04	3055	297	50
32	140	40	0.81	0.010	on	on	0.041	on	on	5600	0.67441	0.06	0.04	3055	297	50
33	140	40	0.81	0.010	on	on	0.042	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
34	140	40	0.81	0.010	on	on	0.043	on	on	5600	0.67393	0.06	0.04	3054	297	50
35	140	40	0.81	0.010	on	on	0.044	on	on	5600	0.03587	-0.43	0.28	2630	321	50
36	140	40	0.81	0.010	on	on	0.045	on	on	5600	0.13643	-0.23	0.14	2826	310	50
37	140	40	0.81	0.010	on	on	0.046	on	on	5600	0.67394	0.06	0.04	3054	297	50
38	140	40	0.81	0.010	on	on	0.047	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
39	140	40	0.81	0.010	on	on	0.048	on	on	5600	0.67441	0.16	0.04	3055	297	50
40	140	40	0.81	0.010	on	on	0.049	on	on	5600	0.92475	-0.02	0.01	3005	300	50
41	140	40	0.81	0.010	on	on	0.050	on	on	5600	0.03347	-0.51	0.31	2638	322	50
42	140	40	0.81	0.010	on	on	0.051	on	on	5600	0.03413	-0.52	0.31	2669	321	50
43	140	40	0.81	0.010	on	on	0.052	on	on	5600	0.95972	0.02	0.01	3018	299	50
44	140	40	0.81	0.010	on	on	0.053	on	on	5600	0.01427	-0.65	0.45	2413	334	50
45	140	40	0.81	0.010	on	on	0.054	on	on	5600	0.13541	0.25	0.12	2833	308	50
46	140	40	0.81	0.010	on	on	0.055	on	on	5600	0.39794	0.13	0.05	2930	303	50
47	140	40	0.81	0.010	on	on	0.056	on	on	5600	0.02929	-0.46	0.31	2589	323	50
48	140	40	0.81	0.010	on	on	0.057	on	on	5600	0.23590	-0.17	0.10	2880	307	50
49	140	40	0.81	0.010	on	on	0.058	on	on	5600	0.02883	-0.53	0.33	2599	324	50
50	140	40	0.81	0.010	on	on	0.059	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
51	140	40	0.81	0.010	on	on	0.060	on	on	5600	0.47258	-0.10	0.06	2929	304	50
52	140	40	0.81	0.010	on	on	0.061	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
53	140	40	0.81	0.010	on	on	0.062	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
54	140	40	0.81	0.010	on	on	0.063	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
55	140	40	0.81	0.010	on	on	0.064	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
56	140	40	0.81	0.010	on	on	0.065	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
57	140	40	0.81	0.010	on	on	0.066	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
58	140	40	0.81	0.010	on	on	0.067	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
59	140	40	0.81	0.010	on	on	0.068	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
60	140	40	0.81	0.010	on	on	0.069	on	on	5600	0.86446	0.04	0.02	2987	301	50

ตารางที่ ข.2 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์ที่มีการแปรผันค่าอัตราของตัวดำเนินการ และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
61	140	40	0.81	0.010	on	on	0.070	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
62	140	40	0.81	0.010	on	on	0.071	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
63	140	40	0.81	0.010	on	on	0.072	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
64	140	40	0.81	0.010	on	on	0.073	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
65	140	40	0.81	0.010	on	on	0.074	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
66	140	40	0.810	0.010	on	on	0.075	on	on	5600	0.13473	0.20	0.14	3196	290	50
67	140	40	0.81	0.010	on	on	0.076	on	on	5600	0.48889	0.09	0.05	3000	299	50
68	140	40	0.81	0.010	on	on	0.077	on	on	5600	0.65032	-0.06	0.04	3059	297	50
69	140	40	0.81	0.010	on	on	0.078	on	on	5600	0.67441	0.06	0.04	3055	297	50
70	140	40	0.810	0.010	on	on	0.079	on	on	5600	0.67221	0.06	0.04	3056	297	50
71	140	40	0.81	0.010	on	on	0.080	on	on	5600	0.67221	0.06	0.04	3056	297	50
72	140	40	0.81	0.010	on	on	0.081	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
73	140	40	0.81	0.010	on	on	0.082	on	on	5600	0.83334	0.04	0.03	3037	298	50
74	140	40	0.81	0.010	on	on	0.083	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
75	140	40	0.81	0.010	on	on	0.084	on	on	5600	0.88875	0.04	0.02	2994	300	50
76	140	40	0.81	0.010	on	on	0.085	on	on	5600	0.10049	0.28	0.14	2797	310	50
77	140	40	0.81	0.010	on	on	0.086	on	on	5600	0.97975	0.01	0.01	3002	300	50
78	140	40	0.81	0.010	on	on	0.087	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
79	140	40	0.81	0.010	on	on	0.088	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
80	140	40	0.81	0.010	on	on	0.089	on	on	5600	0.63693	0.06	0.04	3005	299	50
81	140	40	0.81	0.010	on	on	0.090	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
82	140	40	0.81	0.010	on	on	0.091	on	on	5600	0.37129	-0.12	0.07	2911	305	50
83	140	40	0.81	0.010	on	on	0.092	on	on	5600	0.66009	0.06	0.04	3058	297	50
84	140	40	0.81	0.010	on	on	0.093	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
85	140	40	0.81	0.010	on	on	0.094	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
86	140	40	0.81	0.010	on	on	0.095	on	on	5600	0.98770	0.01	0.01	3000	300	50
87	140	40	0.81	0.010	on	on	0.096	on	on	5600	0.25862	0.18	0.07	2920	303	50
88	140	40	0.81	0.010	on	on	0.097	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
89	140	40	0.81	0.010	on	on	0.098	on	on	5600	0.67441	0.06	0.04	3055	297	50
90	140	40	0.81	0.010	on	on	0.099	on	on	5600	0.00584	-2.67	1.60	3575	251	51
91	140	40	0.81	0.010	on	on	0.100	on	on	5600	0.98768	0.01	0.01	3001	300	50
92	140	40	0.81	0.010	on	on	0.101	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
93	140	40	0.81	0.010	on	on	0.102	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
94	140	40	0.81	0.010	on	on	0.103	on	on	5600	0.97975	0.01	0.01	3002	300	50
95	140	40	0.81	0.010	on	on	0.104	on	on	5600	0.37129	-0.12	0.07	2911	305	50
96	140	40	0.81	0.010	on	on	0.105	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
97	140	40	0.81	0.010	on	on	0.106	on	on	5600	0.97623	0.01	0.01	2998	300	50

ตารางที่ ข.2 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์ที่มีการแปรผันค่าอัตราของตัวดำเนินการ และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
98	140	40	0.81	0.010	on	on	0.107	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
99	140	40	0.81	0.010	on	on	0.108	on	on	5600	0.67221	0.06	0.04	3056	297	50
100	140	40	0.81	0.010	on	on	0.109	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
101	140	40	0.81	0.010	on	on	0.110	on	on	5600	0.89827	-0.03	0.02	2984	301	50
102	140	40	0.81	0.010	on	on	0.111	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
103	140	40	0.81	0.010	on	on	0.112	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
104	140	40	0.81	0.010	on	on	0.113	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
105	140	40	0.81	0.010	on	on	0.114	on	on	5600	0.47022	-0.09	0.06	2927	304	50
106	140	40	0.81	0.010	on	on	0.115	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
107	140	40	0.810	0.010	on	on	0.116	on	on	5600	0.97623	0.01	0.01	2998	300	50
108	140	40	0.81	0.010	on	on	0.117	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
109	140	40	0.81	0.010	on	on	0.118	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
110	140	40	0.81	0.010	on	on	0.119	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
111	140	40	0.81	0.010	on	on	0.120	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
112	140	40	0.810	0.010	on	on	0.121	on	on	5600	0.98972	0.02	0.01	3018	299	50
113	140	40	0.81	0.010	on	on	0.122	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
114	140	40	0.81	0.010	on	on	0.123	on	on	5600	0.65032	-0.06	0.04	3059	297	50
115	140	40	0.81	0.010	on	on	0.124	on	on	5600	0.94108	0.03	0.01	2996	300	50
116	140	40	0.81	0.010	on	on	0.125	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
117	140	40	0.81	0.010	on	on	0.126	on	on	5600	0.95109	0.02	0.01	3020	299	50
118	140	40	0.81	0.010	on	on	0.127	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
119	140	40	0.81	0.010	on	on	0.128	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
120	140	40	0.81	0.010	on	on	0.129	on	on	5600	0.82918	0.04	0.02	3038	298	50
121	140	40	0.81	0.010	on	on	0.130	on	on	5600	0.91688	0.03	0.01	2995	300	50
122	140	40	0.81	0.010	on	on	0.131	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
123	140	40	0.81	0.010	on	on	0.132	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
124	140	40	0.81	0.010	on	on	0.133	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
125	140	40	0.81	0.010	on	on	0.134	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
126	140	40	0.81	0.010	on	on	0.135	on	on	5600	0.37129	-0.12	0.07	2911	305	50
127	140	40	0.81	0.010	on	on	0.136	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
128	140	40	0.81	0.010	on	on	0.137	on	on	5600	0.36838	-0.13	0.08	2914	305	50
129	140	40	0.81	0.010	on	on	0.138	on	on	5600	0.88131	0.03	0.02	2979	301	50
130	140	40	0.81	0.010	on	on	0.139	on	on	5600	0.83401	0.04	0.03	3036	298	50
131	140	40	0.81	0.010	on	on	0.140	on	on	5600	0.32247	0.01	0.07	2900	305	50
132	140	40	0.81	0.010	on	on	0.141	on	on	5600	0.31464	0.13	0.07	2899	305	50
133	140	40	0.81	0.010	on	on	0.142	on	on	5600	0.75780	-0.05	0.03	2964	302	50
134	140	40	0.81	0.010	on	on	0.143	on	on	5600	0.98954	0.01	0.01	2999	300	50

ตารางที่ ข.2 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์ที่มีการแปรผันค่าอัตราของตัวดำเนินการ และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
135	140	40	0.81	0.010	on	on	0.144	on	on	5600	0.70357	0.07	0.03	2972	301	50
136	140	40	0.81	0.010	on	on	0.145	on	on	5600	0.02408	-0.53	0.35	2547	326	50
137	140	40	0.81	0.010	on	on	0.146	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
138	140	40	0.81	0.010	on	on	0.147	on	on	5600	0.94669	0.03	0.01	3016	299	50
139	140	40	0.81	0.010	on	on	0.148	on	on	5600	0.37050	-0.12	0.07	2910	305	50
140	140	40	0.81	0.010	on	on	0.149	on	on	5600	0.42281	0.10	0.06	2920	304	50
141	140	40	0.81	0.010	on	on	0.150	on	on	5600	0.39794	0.13	0.05	2930	303	50
142	140	40	0.81	0.010	on	on	0.151	on	on	5600	0.47285	-0.10	0.06	2929	304	50
143	140	40	0.81	0.010	on	on	0.152	on	on	5600	0.45642	-0.09	0.06	2924	304	50
144	140	40	0.81	0.010	on	on	0.153	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
145	140	40	0.81	0.010	on	on	0.154	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
146	140	40	0.81	0.010	on	on	0.155	on	on	5600	0.91306	0.03	0.02	3014	299	50
147	140	40	0.81	0.010	on	on	0.156	on	on	5600	0.97975	0.01	0.01	3002	300	50
148	140	40	0.810	0.010	on	on	0.157	on	on	5600	0.97975	0.01	0.01	3002	300	50
149	140	40	0.81	0.010	on	on	0.158	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
150	140	40	0.81	0.010	on	on	0.159	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
151	140	40	0.81	0.010	on	on	0.160	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
152	140	40	0.81	0.010	on	on	0.161	on	on	5600	0.02166	0.57	0.37	3519	274	50
153	140	40	0.81	0.010	on	on	0.162	on	on	5600	0.04106	-0.39	0.25	3373	282	50
154	140	40	0.810	0.010	on	on	0.163	on	on	5600	0.52820	0.08	0.05	3073	296	50
155	140	40	0.81	0.010	on	on	0.164	on	on	5600	0.47227	-0.10	0.06	2928	304	50
156	140	40	0.81	0.010	on	on	0.165	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
157	140	40	0.81	0.010	on	on	0.166	on	on	5600	0.90654	-0.03	0.02	2982	301	50
158	140	40	0.81	0.010	on	on	0.167	on	on	5600	0.98768	0.01	0.01	3001	300	50
159	140	40	0.81	0.010	on	on	0.168	on	on	5600	0.93828	-0.06	0.04	3060	297	50
160	140	40	0.81	0.010	on	on	0.169	on	on	5600	0.83401	0.04	0.03	3036	298	50
161	140	40	0.81	0.010	on	on	0.170	on	on	5600	0.95972	0.02	0.01	3018	299	50
162	140	40	0.81	0.010	on	on	0.171	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
163	140	40	0.81	0.010	on	on	0.172	on	on	5600	0.65690	0.07	0.04	3051	297	50
164	140	40	0.81	0.010	on	on	0.173	on	on	5600	0.63828	-0.06	0.04	3060	297	50
165	140	40	0.81	0.010	on	on	0.174	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
166	140	40	0.81	0.010	on	on	0.175	on	on	5600	0.87579	-0.04	0.02	3024	299	50
167	140	40	0.81	0.010	on	on	0.176	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
168	140	40	0.81	0.010	on	on	0.177	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
169	140	40	0.81	0.010	on	on	0.178	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
170	140	40	0.81	0.010	on	on	0.179	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
171	140	40	0.81	0.010	on	on	0.180	on	on	5600	0.89467	0.03	0.02	2980	301	50

ตารางที่ ข.2 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์ที่มีการแปรผันค่าอัตราของตัวดำเนินการ และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
172	140	40	0.81	0.010	on	on	0.181	on	on	5600	0.90305	-0.03	0.02	2981	301	50
173	140	40	0.81	0.010	on	on	0.182	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
174	140	40	0.81	0.010	on	on	0.183	on	on	5600	0.47285	-0.10	0.06	2929	304	50
175	140	40	0.81	0.010	on	on	0.184	on	on	5600	0.43123	-0.11	0.07	2937	304	50
176	140	40	0.81	0.010	on	on	0.185	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
177	140	40	0.81	0.010	on	on	0.186	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
178	140	40	0.81	0.010	on	on	0.187	on	on	5600	0.65032	-0.06	0.04	3059	297	50
179	140	40	0.81	0.010	on	on	0.188	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
180	140	40	0.81	0.010	on	on	0.189	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
181	140	40	0.81	0.010	on	on	0.190	on	on	5600	0.93899	-0.02	0.01	3021	299	50
182	140	40	0.81	0.010	on	on	0.191	on	on	5600	0.96120	0.02	0.01	2997	300	50
183	140	40	0.81	0.010	on	on	0.192	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
184	140	40	0.81	0.010	on	on	0.193	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
185	140	40	0.81	0.010	on	on	0.194	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
186	140	40	0.81	0.010	on	on	0.195	on	on	5600	0.36871	-0.12	0.07	2909	305	50
187	140	40	0.81	0.010	on	on	0.196	on	on	5600	0.11463	-0.24	0.15	2802	311	50
188	140	40	0.81	0.010	on	on	0.197	on	on	5600	0.16190	-0.21	0.13	2843	309	50
189	140	40	0.810	0.010	on	on	0.198	on	on	5600	0.02818	-0.56	0.34	2612	324	50
190	140	40	0.81	0.010	on	on	0.199	on	on	5600	0.02390	-0.52	0.35	2545	326	50
191	140	40	0.81	0.010	on	on	0.200	on	on	5600	0.63828	-0.06	0.04	3060	297	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
1	1539	40	60	0.77	0.007	on	on	0.025	on	on	1848	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
2	1040	60	40	0.77	0.015	on	on	0.188	on	on	1848	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
3	64	60	40	0.82	0.007	on	on	0.129	on	on	1968	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
4	1271	60	40	0.85	0.016	on	on	0.050	on	on	2040	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
5	170	80	40	0.82	0.027	on	on	0.050	on	on	2624	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
6	1541	100	40	0.72	0.011	on	on	0.083	on	on	2880	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
7	1980	100	40	0.73	0.007	on	on	0.130	on	on	2920	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
8	6	100	40	0.77	0.022	on	on	0.109	on	on	3080	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
9	330	100	40	0.77	0.016	on	on	0.140	on	on	3080	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
10	751	100	40	0.79	0.011	on	on	0.132	on	on	3160	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
11	224	100	40	0.80	0.023	on	on	0.067	on	on	3200	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
12	631	100	40	0.84	0.016	on	on	0.065	on	on	3360	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
13	875	120	40	0.70	0.019	on	on	0.089	on	on	3360	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
14	791	120	40	0.71	0.021	on	on	0.138	on	on	3408	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
15	697	120	40	0.72	0.014	on	on	0.156	on	on	3456	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
16	724	120	40	0.73	0.019	on	on	0.030	on	on	3504	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
17	335	60	80	0.77	0.011	on	on	0.172	on	on	3696	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
18	1118	120	40	0.77	0.026	on	on	0.034	on	on	3696	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
19	225	120	40	0.79	0.008	on	on	0.142	on	on	3792	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
20	1516	120	40	0.80	0.022	on	on	0.076	on	on	3840	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
21	1695	140	40	0.71	0.016	on	on	0.100	on	on	3976	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
22	808	120	40	0.84	0.012	on	on	0.162	on	on	4032	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
23	1954	140	40	0.72	0.012	on	on	0.159	on	on	4032	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
24	761	140	40	0.74	0.015	on	on	0.178	on	on	4144	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
25	401	140	40	0.75	0.014	on	on	0.183	on	on	4200	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
26	1927	140	40	0.76	0.020	on	on	0.122	on	on	4256	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
27	5	140	40	0.77	0.017	on	on	0.048	on	on	4312	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
28	1448	100	60	0.73	0.015	on	on	0.137	on	on	4380	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
29	801	100	60	0.74	0.012	on	on	0.045	on	on	4440	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
30	1153	100	60	0.74	0.017	on	on	0.070	on	on	4440	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
31	1518	140	40	0.80	0.006	on	on	0.150	on	on	4480	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
32	864	140	40	0.82	0.015	on	on	0.021	on	on	4592	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
33	74	140	40	0.83	0.030	on	on	0.134	on	on	4648	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
34	132	80	80	0.73	0.012	on	on	0.127	on	on	4672	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
35	1306	80	80	0.73	0.029	on	on	0.071	on	on	4672	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
36	419	100	60	0.78	0.013	on	on	0.120	on	on	4680	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
37	195	140	40	0.84	0.027	on	on	0.043	on	on	4704	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
38	969	140	40	0.87	0.008	on	on	0.182	on	on	4872	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
39	95	120	60	0.71	0.022	on	on	0.086	on	on	5112	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
40	1982	100	60	0.86	0.012	on	on	0.132	on	on	5160	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
41	1616	120	60	0.740	0.018	on	on	0.064	on	on	5328	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
42	998	80	80	0.84	0.008	on	on	0.125	on	on	5376	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
43	1054	80	80	0.87	0.015	on	on	0.107	on	on	5568	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
44	311	100	80	0.70	0.015	on	on	0.103	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
45	715	100	80	0.70	0.008	on	on	0.055	on	on	5600	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
46	219	120	60	0.78	0.013	on	on	0.151	on	on	5616	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
47	1605	120	60	0.79	0.048	on	on	0.129	on	on	5688	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
48	8	140	60	0.75	0.025	on	on	0.071	on	on	6300	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
49	159	140	60	0.76	0.006	on	on	0.051	on	on	6384	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
50	1152	140	60	0.76	0.036	on	on	0.014	on	on	6384	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
51	1423	140	60	0.78	0.012	on	on	0.199	on	on	6552	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
52	1866	140	60	0.78	0.033	on	on	0.154	on	on	6552	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
53	643	100	80	0.82	0.023	on	on	0.044	on	on	6560	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
54	37	100	80	0.83	0.013	on	on	0.087	on	on	6640	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
55	789	100	80	0.83	0.009	on	on	0.086	on	on	6640	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
56	1831	140	60	0.82	0.028	on	on	0.093	on	on	6888	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
57	1550	140	60	0.84	0.036	on	on	0.037	on	on	7056	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
58	1227	120	80	0.74	0.024	on	on	0.079	on	on	7104	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
59	424	120	80	0.75	0.020	on	on	0.023	on	on	7200	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
60	716	140	60	0.87	0.031	on	on	0.136	on	on	7308	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
61	300	120	80	0.79	0.029	on	on	0.120	on	on	7584	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
62	738	140	80	0.70	0.039	on	on	0.050	on	on	7840	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
63	1038	120	80	0.82	0.025	on	on	0.038	on	on	7872	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
64	1965	120	80	0.83	0.039	on	on	0.046	on	on	7968	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
65	383	140	80	0.72	0.033	on	on	0.146	on	on	8064	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
66	1310	140	80	0.72	0.010	on	on	0.104	on	on	8064	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
67	53	140	80	0.73	0.043	on	on	0.200	on	on	8176	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
68	973	140	80	0.74	0.007	on	on	0.143	on	on	8288	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
69	1385	120	80	0.87	0.025	on	on	0.075	on	on	8352	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
70	536	140	80	0.75	0.032	on	on	0.155	on	on	8400	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
71	994	140	80	0.78	0.014	on	on	0.187	on	on	8736	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
72	1027	140	80	0.78	0.007	on	on	0.180	on	on	8736	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
73	1988	140	80	0.80	0.027	on	on	0.161	on	on	8960	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
74	1693	140	80	0.83	0.019	on	on	0.092	on	on	9296	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
75	1363	140	80	0.84	0.020	on	on	0.086	on	on	9408	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
76	69	140	80	0.85	0.033	on	on	0.036	on	on	9520	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
77	1467	140	80	0.86	0.019	on	on	0.043	on	on	9632	0.98977	0.01	0.01	3000	300	50
78	1946	40	60	0.72	0.008	on	on	0.116	on	on	1728	0.98768	0.01	0.01	3001	300	50
79	259	100	40	0.72	0.023	on	on	0.078	on	on	2880	0.98768	0.01	0.01	3001	300	50
80	1589	100	40	0.86	0.016	on	on	0.064	on	on	3440	0.98768	0.01	0.01	3001	300	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
81	1589	100	40	0.86	0.016	on	on	0.064	on	on	3440	0.98768	0.01	0.01	3001	300	50
82	1628	140	40	0.70	0.016	on	on	0.173	on	on	3920	0.98768	0.01	0.01	3001	300	50
83	1095	80	60	0.83	0.020	on	on	0.089	on	on	3984	0.98768	0.01	0.01	3001	300	50
84	1122	80	60	0.83	0.019	on	on	0.011	on	on	3984	0.98768	0.01	0.01	3001	300	50
85	1318	140	40	0.74	0.018	on	on	0.108	on	on	4144	0.98768	0.01	0.01	3001	300	50
86	1349	100	60	0.81	0.012	on	on	0.118	on	on	4860	0.98768	0.01	0.01	3001	300	50
87	1790	100	60	0.83	0.036	on	on	0.049	on	on	4980	0.98768	0.01	0.01	3001	300	50
88	1574	100	60	0.84	0.020	on	on	0.063	on	on	5040	0.98768	0.01	0.01	3001	300	50
89	1287	80	80	0.79	0.020	on	on	0.046	on	on	5056	0.98768	0.01	0.01	3001	300	50
90	896	120	60	0.80	0.017	on	on	0.050	on	on	5760	0.98768	0.01	0.01	3001	300	50
91	1816	140	60	0.70	0.031	on	on	0.034	on	on	5880	0.98768	0.01	0.01	3001	300	50
92	441	140	60	0.78	0.031	on	on	0.147	on	on	6552	0.98768	0.01	0.01	3001	300	50
93	245	140	60	0.81	0.025	on	on	0.054	on	on	6804	0.98768	0.01	0.01	3001	300	50
94	1311	120	80	0.85	0.052	on	on	0.063	on	on	8160	0.98768	,01	0.01	3001	300	50
95	344	140	80	0.76	0.022	on	on	0.186	on	on	8512	0.98768	0.01	0.01	3001	300	50
96	89	80	80	0.81	0.014	on	on	0.150	on	on	5184	0.98678	0.01	0.01	3001	300	50
97	1513	40	40	0.80	0.021	on	on	0.067	on	on	1280	0.98594	0.01	0.01	2999	300	50
98	1915	60	60	0.70	0.012	on	on	0.110	on	on	2520	0.98594	0.01	0.01	2999	300	50
99	65	140	40	0.74	0.023	on	on	0.184	on	on	4144	0.98594	0.01	0.01	2999	300	50
100	1077	140	40	0.80	0.013	on	on	0.126	on	on	4480	0.98594	0.01	0.01	2999	300	50
101	1286	140	40	0.85	0.050	on	on	0.152	on	on	4760	0.98594	0.01	0.01	2999	300	50
102	1687	80	80	0.86	0.028	on	on	0.101	on	on	5504	0.98594	0.01	0.01	2999	300	50
103	533	100	80	0.79	0.020	on	on	0.119	on	on	6320	0.98594	0.01	0.01	2999	300	50
104	1727	140	60	0.78	0.033	on	on	0.021	on	on	6552	0.98594	0.01	0.01	2999	300	50
105	1945	100	80	0.82	0.023	on	on	0.167	on	on	6560	0.98594	0.01	0.01	2999	300	50
106	102	140	80	0.74	0.017	on	on	0.112	on	on	8288	0.98594	0.01	0.01	2999	300	50
107	485	140	80	0.77	0.024	on	on	0.054	on	on	8624	0.98594	0.01	0.01	2999	300	50
108	516	60	80	0.77	0.011	on	on	0.190	on	on	3696	0.97975	0.01	0.01	3002	300	50
109	431	120	40	0.80	0.013	on	on	0.113	on	on	3840	0.97975	0.01	0.01	3002	300	50
110	473	80	80	0.75	0.028	on	on	0.065	on	on	4800	0.97975	0.01	0.01	3002	300	50
111	38	80	40	0.73	0.017	on	on	0.152	on	on	2336	0.97623	0.01	0.01	2998	300	50
112	687	100	40	0.78	0.030	on	on	0.021	on	on	3120	0.97623	0.01	0.01	2998	300	50
113	1135	80	60	0.74	0.016	on	on	0.042	on	on	3552	0.97623	0.01	0.01	2998	300	50
114	1812	120	60	0.82	0.007	on	on	0.047	on	on	5904	0.97623	0.01	0.01	2998	300	50
115	1745	60	40	0.74	0.037	on	on	0.028	on	on	1776	0.96634	0.01	0.01	3003	300	50
116	367	60	80	0.79	0.010	on	on	0.082	on	on	3792	0.96634	-0.01	0.01	3003	300	50
117	993	100	60	0.78	0.034	on	on	0.093	on	on	4680	0.96634	-0.01	0.01	3003	300	50
118	945	100	60	0.80	0.046	on	on	0.188	on	on	4800	0.96634	-0.01	0.01	3003	300	50
119	232	80	80	0.81	0.012	on	on	0.168	on	on	5184	0.96634	-0.01	0.01	3003	300	50
120	1801	100	40	0.78	0.021	on	on	0.069	on	on	3120	0.96120	0.01	0.01	2997	300	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
121	1930	120	40	0.82	0.015	on	on	0.076	on	on	3936	0.96120	0.02	0.01	2997	300	50
122	179	100	80	0.83	0.025	on	on	0.013	on	on	6640	0.96120	0.02	0.01	2997	300	50
123	1348	140	80	0.810	0.031	on	on	0.051	on	on	9072	0.96120	0.02	0.01	2997	300	50
124	1277	60	40	0.71	0.020	on	on	0.156	on	on	1704	0.95972	0.02	0.01	3018	299	50
125	545	40	60	0.74	0.006	on	on	0.057	on	on	1776	0.95972	0.02	0.01	3018	299	50
126	1815	60	40	0.84	0.016	on	on	0.174	on	on	2016	0.95972	0.02	0.01	3018	299	50
127	1762	80	40	0.71	0.019	on	on	0.170	on	on	2272	0.95972	0.02	0.01	3018	299	50
128	1251	80	40	0.83	0.020	on	on	0.043	on	on	2656	0.95972	0.02	0.01	3018	299	50
129	1498	100	40	0.71	0.008	on	on	0.126	on	on	2840	0.95972	0.02	0.01	3018	299	50
130	1471	100	40	0.73	0.008	on	on	0.017	on	on	2920	0.95972	0.02	0.01	3018	299	50
131	541	120	40	0.71	0.028	on	on	0.136	on	on	3408	0.95972	0.02	0.01	3018	299	50
132	652	100	40	0.87	0.011	on	on	0.196	on	on	3480	0.95972	0.02	0.01	3018	299	50
133	1802	120	40	0.73	0.040	on	on	0.041	on	on	3504	0.95972	0.02	0.01	3018	299	50
134	937	120	40	0.80	0.041	on	on	0.044	on	on	3840	0.95972	0.02	0.01	3018	299	50
135	1401	80	60	0.82	0.027	on	on	0.070	on	on	3936	0.95972	0.02	0.01	3018	299	50
136	426	120	40	0.82	0.018	on	on	0.118	on	on	3936	0.95972	0.02	0.01	3018	299	50
137	1485	140	40	0.71	0.032	on	on	0.112	on	on	3976	0.95972	0.02	0.01	3018	299	50
138	894	140	40	0.78	0.042	on	on	0.065	on	on	4368	0.95972	0.02	0.01	3018	299	50
139	1656	80	80	0.83	0.020	on	on	0.169	on	on	5312	0.95972	0.02	0.01	3018	299	50
140	752	120	60	0.78	0.007	on	on	0.136	on	on	5616	0.95972	0.02	0.01	3018	299	50
141	1924	120	60	0.84	0.023	on	on	0.132	on	on	6048	0.95972	0.02	0.01	3018	299	50
142	1081	140	60	0.72	0.010	on	on	0.155	on	on	6048	0.95972	0.02	0.01	3018	299	50
143	1910	120	80	0.71	0.018	on	on	0.133	on	on	6816	0.95972	0.02	0.01	3018	299	50
144	288	120	80	0.73	0.018	on	on	0.011	on	on	7008	0.95972	0.02	0.01	3018	299	50
145	1193	140	60	0.84	0.013	on	on	0.154	on	on	7056	0.95972	0.02	0.01	3018	299	50
146	574	140	60	0.85	0.034	on	on	0.028	on	on	7140	0.95972	0.02	0.01	3018	299	50
147	1032	140	60	0.86	0.024	on	on	0.112	on	on	7224	0.95972	0.02	0.01	3018	299	50
148	183	140	80	0.71	0.026	on	on	0.023	on	on	7952	0.95972	0.02	0.01	3018	299	50
149	349	120	80	0.84	0.008	on	on	0.157	on	on	8064	0.95972	0.02	0.01	3018	299	50
150	1523	60	40	0.78	0.027	on	on	0.185	on	on	1872	0.95827	0.02	0.01	3019	299	50
151	36	60	40	0.86	0.028	on	on	0.019	on	on	2064	0.95827	0.02	0.01	3019	299	50
152	879	80	40	0.82	0.013	on	on	0.198	on	on	2624	0.95827	0.02	0.01	3019	299	50
153	1101	100	40	0.83	0.017	on	on	0.121	on	on	3320	0.95827	0.02	0.01	3019	299	50
154	62	80	80	0.83	0.007	on	on	0.173	on	on	5312	0.95827	0.02	0.01	3019	299	50
155	1142	80	80	0.83	0.022	on	on	0.047	on	on	5312	0.95827	0.02	0.01	3019	299	50
156	173	120	80	0.76	0.020	on	on	0.022	on	on	7296	0.95827	0.02	0.01	3019	299	50
157	1072	40	40	0.71	0.031	on	on	0.120	on	on	1136	0.95590	0.03	0.01	3017	299	50
158	107	40	40	0.72	0.025	on	on	0.024	on	on	1152	0.95590	0.03	0.01	3017	299	50
159	1763	80	40	0.70	0.013	on	on	0.164	on	on	2240	0.95590	0.03	0.01	3017	299	50
160	121	80	40	0.78	0.028	on	on	0.010	on	on	2496	0.95590	0.03	0.01	3017	299	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
161	121	80	40	0.78	0.028	on	on	0.010	on	on	2496	0.95590	0.03	0.01	3017	299	50
162	1733	80	40	0.87	0.027	on	on	0.027	on	on	2784	0.95590	0.03	0.01	3017	299	50
163	1551	100	40	0.76	0.027	on	on	0.160	on	on	3040	0.95590	0.03	0.01	3017	299	50
164	1596	80	60	0.73	0.028	on	on	0.035	on	on	3504	0.95590	0.03	0.01	3017	299	50
165	174	120	40	0.83	0.028	on	on	0.100	on	on	3984	0.95590	0.03	0.01	3017	299	50
166	124	100	40	0.72	0.029	on	on	0.022	on	on	2880	0.95109	0.02	0.01	3020	299	50
167	267	120	40	0.71	0.046	on	on	0.130	on	on	3408	0.95109	0.02	0.01	3020	299	50
168	1793	140	40	0.70	0.041	on	on	0.125	on	on	3920	0.95109	0.02	0.01	3020	299	50
169	881	120	40	0.82	0.028	on	on	0.118	on	on	3936	0.95109	0.02	0.01	3020	299	50
170	1934	100	60	0.73	0.034	on	on	0.035	on	on	4380	0.95109	0.02	0.01	3020	299	50
171	1556	140	40	0.86	0.034	on	on	0.138	on	on	4816	0.95109	0.02	0.01	3020	299	50
172	472	80	80	0.83	0.038	on	on	0.127	on	on	5312	0.95109	0.02	0.01	3020	299	50
173	117	140	60	0.84	0.047	on	on	0.027	on	on	7056	0.95109	0.02	0.01	3020	299	50
174	1044	140	60	0.86	0.015	on	on	0.044	on	on	7224	0.95109	0.02	0.01	3020	299	50
175	1603	140	80	0.83	0.015	on	on	0.072	on	on	9296	0.95109	0.02	0.01	3020	299	50
176	731	100	60	0.78	0.030	on	on	0.140	on	on	4680	0.94776	-0.02	0.01	3004	300	50
177	1822	100	60	0.81	0.009	on	on	0.198	on	on	4860	0.94776	-0.02	0.01	3004	300	50
178	1231	140	60	0.71	0.008	on	on	0.011	on	on	5964	0.94776	-0.02	0.01	3004	300	50
179	1275	60	60	0.81	0.017	on	on	0.027	on	on	2916	0.94669	0.03	0.01	3016	299	50
180	1305	100	60	0.72	0.024	on	on	0.140	on	on	4320	0.94669	0.03	0.01	3016	299	50
181	1396	120	60	0.76	0.014	on	on	0.057	on	on	5472	0.94669	0.03	0.01	3016	299	50
182	554	120	60	0.78	0.046	on	on	0.112	on	on	5616	0.94669	0.03	0.01	3016	299	50
183	1905	120	80	0.75	0.030	on	on	0.176	on	on	7200	0.94669	0.03	0.01	3016	299	50
184	521	140	40	0.72	0.006	on	on	0.193	on	on	4032	0.94108	0.03	0.01	2996	300	50
185	1553	140	40	0.82	0.053	on	on	0.029	on	on	4592	0.94108	0.03	0.01	2996	300	50
186	290	120	40	0.82	0.033	on	on	0.022	on	on	3936	0.93899	-0.02	0.01	3021	299	50
187	1875	120	40	0.87	0.011	on	on	0.017	on	on	4176	0.93899	-0.02	0.01	3021	299	50
188	1049	100	80	0.79	0.022	on	on	0.082	on	on	6320	0.93899	-0.02	0.01	3021	299	50
189	1163	140	40	0.81	0.028	on	on	0.042	on	on	4536	0.93213	0.03	0.02	3015	299	50
190	1738	60	40	0.77	0.034	on	on	0.057	on	on	1848	0.92179	-0.03	0.01	3022	299	50
191	1824	100	40	0.85	0.034	on	on	0.122	on	on	3400	0.92179	-0.03	0.01	3022	299	50
192	394	140	40	0.77	0.021	on	on	0.077	on	on	4312	0.92179	-0.03	0.01	3022	299	50
193	1268	100	80	0.72	0.042	on	on	0.138	on	on	5760	0.92179	-0.03	0.01	3022	299	50
194	963	60	40	0.81	0.006	on	on	0.089	on	on	1944	0.91688	0.03	0.01	2995	300	50
195	573	60	40	0.84	0.017	on	on	0.192	on	on	2016	0.91688	0.03	0.01	2995	305	50
196	553	80	40	0.81	0.024	on	on	0.081	on	on	2592	0.91688	0.03	0.01	2995	300	50
197	1783	80	40	0.86	0.012	on	on	0.181	on	on	2752	0.91688	0.03	0.01	2995	300	50
198	1300	140	40	0.71	0.044	on	on	0.067	on	on	3976	0.91688	0.03	0.01	2995	300	50
199	1948	120	40	0.84	0.031	on	on	0.020	on	on	4032	0.91688	0.03	0.01	2995	300	50
200	155	140	40	0.74	0.008	on	on	0.132	on	on	4144	0.91688	0.03	0.01	2995	300	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
201	1195	100	80	0.76	0.016	on	on	0.130	on	on	6080	0.91688	0.03	0.01	2995	300	50
202	1963	100	80	0.83	0.018	on	on	0.065	on	on	6640	0.91688	0.03	0.01	2995	300	50
203	2000	140	60	0.85	0.020	on	on	0.152	on	on	7140	0.91688	0.03	0.01	2995	300	50
204	919	120	80	0.77	0.043	on	on	0.071	on	on	7392	0.91688	0.03	0.01	2995	300	50
205	1473	140	80	0.810	0.026	on	on	0.200	on	on	9072	0.91688	0.03	0.01	2995	300	50
206	455	40	60	0.78	0.033	on	on	0.168	on	on	1872	0.91306	0.03	0.02	3014	299	50
207	1560	80	80	0.85	0.023	on	on	0.110	on	on	5440	0.91306	0.03	0.02	3014	299	50
208	386	100	80	0.77	0.022	on	on	0.198	on	on	6160	0.91306	0.03	0.02	3014	299	50
209	1410	60	40	0.87	0.017	on	on	0.132	on	on	2088	0.90654	-0.03	0.02	2982	301	50
210	1691	60	40	0.87	0.008	on	on	0.018	on	on	2088	0.90654	-0.03	0.02	2982	301	50
211	147	80	40	0.84	0.011	on	on	0.030	on	on	2688	0.90654	-0.03	0.02	2982	301	50
212	402	60	60	0.82	0.007	on	on	0.027	on	on	2952	0.90654	-0.03	0.02	2982	301	50
213	1113	60	60	0.85	0.009	on	on	0.015	on	on	3060	0.90654	-0.03	0.02	2982	301	50
214	1414	60	60	0.86	0.042	on	on	0.048	on	on	3096	0.90654	-0.03	0.02	2982	301	50
215	709	100	40	0.80	0.015	on	on	0.181	on	on	3200	0.90654	-0.03	0.02	2982	301	50
216	911	140	40	0.70	0.024	on	on	0.175	on	on	3920	0.90654	-0.03	0.02	2982	301	50
217	1071	140	40	0.73	0.027	on	on	0.032	on	on	4088	0.90654	-0.03	0.02	2982	301	50
218	888	140	40	0.74	0.013	on	on	0.121	on	on	4144	0.90654	-0.03	0.02	2982	301	50
219	1761	80	80	0.76	0.019	on	on	0.122	on	on	4864	0.90654	-0.03	0.02	2982	301	50
220	44	140	40	0.87	0.038	on	on	0.060	on	on	4872	0.90654	-0.03	0.02	2982	301	50
221	1176	80	80	0.84	0.013	on	on	0.158	on	on	5376	0.90654	-0.03	0.02	2982	301	50
222	1579	120	60	0.87	0.029	on	on	0.138	on	on	6264	0.90654	-0.03	0.02	2982	301	50
223	90	140	80	0.79	0.028	on	on	0.086	on	on	8848	0.90654	-0.03	0.02	2982	301	50
224	1331	80	40	0.77	0.018	on	on	0.049	on	on	2464	0.90489	-0.03	0.02	2983	301	50
225	1641	140	40	0.86	0.012	on	on	0.160	on	on	4816	0.90489	-0.03	0.02	2983	301	50
226	658	100	60	0.86	0.037	on	on	0.053	on	on	5160	0.90489	-0.03	0.02	2983	301	50
227	94	140	80	0.77	0.022	on	on	0.058	on	on	8624	0.90489	-0.03	0.02	2983	301	50
228	512	100	40	0.75	0.036	on	on	0.018	on	on	3000	0.90305	-0.03	0.02	2981	301	50
229	1301	60	60	0.87	0.030	on	on	0.159	on	on	3132	0.90305	-0.03	0.02	2981	301	50
230	1177	60	80	0.86	0.020	on	on	0.094	on	on	4128	0.90305	-0.03	0.02	2981	301	50
231	1115	140	40	0.77	0.007	on	on	0.070	on	on	4312	0.90305	-0.03	0.02	2981	301	50
232	248	140	40	0.79	0.033	on	on	0.170	on	on	4424	0.90305	-0.03	0.02	2981	301	50
233	1075	140	40	0.87	0.044	on	on	0.034	on	on	4872	0.90305	-0.03	0.02	2981	301	50
234	1799	140	60	0.77	0.013	on	on	0.146	on	on	6468	0.90305	-0.03	0.02	2981	301	50
235	1289	140	60	0.84	0.040	on	on	0.133	on	on	7056	0.90305	-0.03	0.02	2981	301	50
236	362	60	80	0.72	0.040	on	on	0.163	on	on	3456	0.90065	-0.03	0.01	3023	299	50
237	1619	140	80	0.73	0.029	on	on	0.087	on	on	8176	0.90065	-0.03	0.01	3023	299	50
238	1186	80	40	0.70	0.028	on	on	0.056	on	on	2240	0.89827	-0.03	0.02	2984	301	50
239	332	80	60	0.71	0.038	on	on	0.013	on	on	3408	0.89827	-0.03	0.02	2984	301	50
240	606	80	80	0.71	0.008	on	on	0.080	on	on	4544	0.89827	-0.03	0.02	2984	301	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
241	498	100	60	0.82	0.040	on	on	0.155	on	on	4920	0.89827	-0.03	0.02	2984	301	50
242	849	120	60	0.77	0.006	on	on	0.125	on	on	5544	0.89827	-0.03	0.02	2984	301	50
243	732	40	80	0.77	0.015	on	on	0.091	on	on	2464	0.89790	-0.03	0.02	3006	300	50
244	1365	80	60	0.70	0.017	on	on	0.049	on	on	3360	0.89790	-0.03	0.02	3006	300	50
245	427	120	60	0.85	0.046	on	on	0.050	on	on	6120	0.89790	-0.03	0.02	3006	300	50
246	769	80	40	0.720	0.018	on	on	0.152	on	on	2304	0.89467	0.03	0.02	2980	301	50
247	680	40	60	0.84	0.025	on	on	0.021	on	on	2016	0.88875	0.04	0.02	2994	300	50
248	1064	60	80	0.79	0.030	on	on	0.026	on	on	3792	0.88718	-0.04	0.02	2985	301	50
249	1690	80	40	0.76	0.006	on	on	0.172	on	on	2432	0.88131	0.03	0.02	2979	301	50
250	654	80	60	0.71	0.027	on	on	0.169	on	on	3408	0.88131	0.03	0.02	2979	301	50
251	1567	100	60	0.85	0.023	on	on	0.023	on	on	5100	0.88131	0.03	0.02	2979	301	50
252	115	100	80	0.77	0.042	on	on	0.189	on	on	6160	0.88131	0.03	0.02	2979	301	50
253	276	80	80	0.82	0.028	on	on	0.162	on	on	5248	0.87579	-0.04	0.02	3024	299	50
254	1524	120	40	0.77	0.041	on	on	0.182	on	on	3696	0.87578	0.04	0.02	2993	300	50
255	1327	80	80	0.83	0.054	on	on	0.184	on	on	5312	0.87132	-0.04	0.02	2986	301	50
256	1960	120	40	0.79	0.026	on	on	0.157	on	on	3792	0.86802	-0.03	0.02	3007	300	50
257	363	140	40	0.74	0.030	on	on	0.120	on	on	4144	0.86446	0.04	0.02	2978	301	50
258	1796	80	80	0.76	0.022	on	on	0.071	on	on	4864	0.86446	0.04	0.02	2978	301	50
259	1379	140	80	0.71	0.042	on	on	0.013	on	on	7952	0.86446	0.04	0.02	2978	301	50
260	845	100	60	0.76	0.027	on	on	0.052	on	on	4560	0.86312	0.03	0.02	3012	299	50
261	359	40	60	0.85	0.018	on	on	0.078	on	on	2040	0.85780	0.04	0.02	2993	300	50
262	230	60	60	0.73	0.029	on	on	0.022	on	on	2628	0.85241	-0.04	0.02	2987	301	50
263	1005	60	80	0.72	0.035	on	on	0.093	on	on	3456	0.85241	-0.04	0.02	2987	301	50
264	1096	60	60	0.75	0.031	on	on	0.049	on	on	2700	0.84348	0.04	0.02	2977	301	50
265	1170	140	40	0.71	0.042	on	on	0.080	on	on	3976	0.84348	0.04	0.02	2977	301	50
266	1756	140	40	0.78	0.037	on	on	0.088	on	on	4368	0.83601	-0.04	0.02	3008	300	50
267	242	140	80	0.71	0.011	on	on	0.049	on	on	7952	0.83601	-0.04	0.02	3008	300	50
268	34	60	40	0.75	0.010	on	on	0.192	on	on	1800	0.83401	0.04	0.03	3036	298	50
269	272	80	40	0.74	0.028	on	on	0.183	on	on	2368	0.83401	0.04	0.03	3036	298	50
270	775	100	40	0.83	0.043	on	on	0.159	on	on	3320	0.83401	0.04	0.03	3036	298	50
271	169	80	60	0.72	0.012	on	on	0.100	on	on	3456	0.83401	0.04	0.03	3036	298	50
272	1161	140	40	0.86	0.016	on	on	0.103	on	on	4816	0.83401	0.04	0.03	3036	298	50
273	1820	100	60	0.83	0.022	on	on	0.121	on	on	4980	0.83401	0.04	0.03	3036	298	50
274	1627	100	60	0.84	0.049	on	on	0.193	on	on	5040	0.83401	0.04	0.03	3036	298	50
275	27	120	60	0.82	0.042	on	on	0.015	on	on	5904	0.83401	0.04	0.03	3036	298	50
276	236	140	60	0.80	0.033	on	on	0.011	on	on	6720	0.83401	0.04	0.03	3036	298	50
277	275	140	60	0.81	0.023	on	on	0.174	on	on	6804	0.83401	0.04	0.03	3036	298	50
278	303	140	60	0.85	0.039	on	on	0.046	on	on	7140	0.83401	0.04	0.03	3036	298	50
279	507	120	80	0.85	0.038	on	on	0.137	on	on	8160	0.83401	0.04	0.03	3036	298	50
280	1514	140	40	0.72	0.009	on	on	0.064	on	on	4032	0.83334	0.04	0.03	3037	298	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
281	1698	140	80	0.80	0.039	on	on	0.145	on	on	8960	0.83334	0.04	0.03	3037	298	50
282	771	140	80	0.82	0.022	on	on	0.122	on	on	9184	0.83334	0.04	0.03	3037	298	50
283	1587	60	40	0.76	0.049	on	on	0.133	on	on	1824	0.83018	0.04	0.03	3035	298	50
284	428	60	80	0.86	0.027	on	on	0.107	on	on	4128	0.83018	0.04	0.03	3035	298	50
285	1290	120	60	0.74	0.035	on	on	0.047	on	on	5328	0.83018	0.04	0.03	3035	298	50
286	1986	100	80	0.86	0.046	on	on	0.102	on	on	6880	0.83018	0.04	0.03	3035	298	50
287	943	80	40	0.74	0.009	on	on	0.069	on	on	2368	0.82918	0.04	0.02	3038	298	50
288	1235	80	80	0.79	0.031	on	on	0.096	on	on	5056	0.82918	0.04	0.02	3038	298	50
289	1299	80	80	0.73	0.036	on	on	0.036	on	on	4672	0.82529	0.05	0.02	2992	300	50
290	1683	80	80	0.80	0.031	on	on	0.132	on	on	5120	0.82529	0.05	0.02	2992	300	50
291	1041	120	60	0.76	0.040	on	on	0.074	on	on	5472	0.82268	0.04	0.03	3034	298	50
292	1250	120	40	0.83	0.045	on	on	0.142	on	on	3984	0.82048	0.04	0.02	3039	298	50
293	940	120	80	0.78	0.048	on	on	0.108	on	on	7488	0.82048	0.04	0.02	3039	298	50
294	1717	140	60	0.71	0.026	on	on	0.157	on	on	5964	0.81109	0.05	0.03	3033	298	50
295	1630	100	60	0.72	0.007	on	on	0.149	on	on	4320	0.80803	-0.04	0.03	3040	298	50
296	238	100	60	0.75	0.046	on	on	0.098	on	on	4500	0.80336	-0.04	0.03	2889	301	50
297	423	80	60	0.76	0.022	on	on	0.190	on	on	3648	0.80287	0.04	0.02	3010	299	50
298	279	140	60	0.83	0.038	on	on	0.085	on	on	6972	0.80227	-0.04	0.02	3009	300	50
299	1409	60	80	0.72	0.054	on	on	0.029	on	on	3456	0.79606	0.05	0.03	3032	298	50
300	804	40	60	0.75	0.009	on	on	0.148	on	on	1800	0.79262	0.05	0.02	2975	301	50
301	1870	100	40	0.73	0.038	on	on	0.107	on	on	2920	0.79262	0.05	0.02	2975	301	50
302	1220	80	80	0.74	0.031	on	on	0.164	on	on	4736	0.79262	0.05	0.02	2975	301	50
303	252	120	60	0.75	0.031	on	on	0.030	on	on	5400	0.79262	0.05	0.02	2975	301	50
304	1034	120	60	0.86	0.032	on	on	0.098	on	on	6192	0.79262	0.05	0.02	2975	301	50
305	285	80	60	0.86	0.020	on	on	0.027	on	on	4128	0.79064	0.05	0.02	2991	300	50
306	1817	140	80	0.74	0.054	on	on	0.012	on	on	8288	0.79064	0.05	0.02	2991	300	50
307	1207	140	40	0.86	0.016	on	on	0.107	on	on	4816	0.77778	0.05	0.03	3031	298	50
308	673	80	80	0.72	0.043	on	on	0.023	on	on	4608	0.77034	0.04	0.03	3009	299	50
309	1674	100	60	0.82	0.030	on	on	0.108	on	on	4920	0.77034	0.04	0.03	3009	299	50
310	932	120	80	0.72	0.045	on	on	0.138	on	on	6912	0.77034	0.04	0.03	3009	299	50
311	970	80	40	0.78	0.022	on	on	0.016	on	on	2496	0.75780	-0.05	0.03	2964	302	50
312	780	100	40	0.87	0.023	on	on	0.037	on	on	3480	0.75780	-0.05	0.03	2964	302	50
313	1904	100	40	0.87	0.015	on	on	0.069	on	on	3480	0.75780	-0.05	0.03	2964	302	50
314	1562	120	40	0.83	0.041	on	on	0.019	on	on	3984	0.75780	-0.05	0.03	2964	302	50
315	1531	120	40	0.86	0.030	on	on	0.047	on	on	4128	0.75780	-0.05	0.03	2964	302	50
316	675	80	80	0.85	0.032	on	on	0.176	on	on	5440	0.75780	-0.05	0.03	2964	302	50
317	1991	120	80	0.74	0.043	on	on	0.149	on	on	7104	0.75780	-0.05	0.03	2964	302	50
318	86	140	80	0.84	0.009	on	on	0.111	on	on	9408	0.75780	-0.05	0.03	2964	302	50
319	1994	60	40	0.79	0.027	on	on	0.018	on	on	1896	0.75710	0.05	3.00	3030	298	50
320	337	40	40	0.87	0.028	on	on	0.096	on	on	1392	0.75517	-0.05	0.03	2963	302	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
321	710	60	60	0.71	0.028	on	on	0.077	on	on	2556	0.75517	-0.05	0.03	2963	302	50
322	138	60	60	0.81	0.033	on	on	0.162	on	on	2916	0.75517	-0.05	0.03	2963	302	50
323	137	100	40	0.74	0.020	on	on	0.092	on	on	2960	0.75517	-0.05	0.03	2963	302	50
324	296	100	40	0.77	0.006	on	on	0.074	on	on	3080	0.75517	-0.05	0.03	2963	302	50
325	1536	80	80	0.73	0.021	on	on	0.037	on	on	4672	0.75517	-0.05	0.03	2963	302	50
326	494	80	40	0.77	0.023	on	on	0.126	on	on	2464	0.75314	-0.06	0.03	2966	302	50
327	901	100	60	0.83	0.027	on	on	0.161	on	on	4980	0.75272	-0.06	0.03	3043	298	50
328	668	120	60	0.83	0.023	on	on	0.049	on	on	5976	0.75243	-0.06	0.02	3028	299	50
329	1481	120	80	0.78	0.050	on	on	0.171	on	on	7488	0.75243	-0.06	0.02	3028	299	50
330	2	80	40	0.83	0.011	on	on	0.191	on	on	2656	0.74844	-0.05	0.03	2962	302	50
331	1688	100	60	0.81	0.028	on	on	0.130	on	on	4860	0.74844	-0.50	0.03	2962	302	50
332	760	80	80	0.87	0.036	on	on	0.073	on	on	5568	0.74844	-0.05	0.03	2962	302	50
333	1645	120	80	0.82	0.019	on	on	0.165	on	on	7872	0.74844	-0.05	0.03	2962	302	50
334	1633	60	60	0.79	0.053	on	on	0.064	on	on	2844	0.73915	0.05	0.03	2961	305	50
335	1634	120	80	0.81	0.043	on	on	0.128	on	on	7776	0.73915	0.05	0.03	2961	302	50
336	1425	60	40	0.72	0.032	on	on	0.128	on	on	1728	0.73482	-0.06	0.04	2968	302	50
337	270	60	60	0.75	0.053	on	on	0.046	on	on	2700	0.73482	-0.06	0.04	2968	302	50
338	1752	120	60	0.70	0.030	on	on	0.115	on	on	5040	0.73482	-0.06	0.04	2968	302	50
339	1037	100	80	0.83	0.047	on	on	0.196	on	on	6640	0.73482	-0.06	0.04	2968	302	50
340	1489	120	80	0.79	0.045	on	on	0.096	on	on	7584	0.73401	0.04	0.03	3036	298	50
341	1857	140	60	0.86	0.052	on	on	0.191	on	on	7224	0.73195	0.05	0.03	2961	302	50
342	1461	120	80	0.86	0.022	on	on	0.088	on	on	8256	0.72938	-0.06	0.03	3044	298	50
343	613	60	40	0.72	0.027	on	on	0.148	on	on	1728	0.72621	0.05	0.03	2960	302	50
344	713	60	40	0.74	0.034	on	on	0.144	on	on	1776	0.72621	0.05	0.03	2960	302	50
345	1979	80	40	0.82	0.052	on	on	0.138	on	on	2624	0.72621	0.05	0.03	2960	302	50
346	1877	140	60	0.76	0.036	on	on	0.097	on	on	6384	0.72621	0.05	0.03	2960	302	50
347	836	80	40	0.74	0.018	on	on	0.148	on	on	2368	0.71658	-0.05	0.03	2992	301	50
348	681	120	40	0.81	0.049	on	on	0.035	on	on	3888	0.71084	0.06	0.03	2959	302	50
349	1917	80	60	0.87	0.038	on	on	0.174	on	on	4176	0.71084	0.06	0.03	2959	302	50
350	1640	140	80	0.83	0.053	on	on	0.176	on	on	9296	0.71084	0.06	0.03	2959	302	50
351	530	60	60	0.75	0.043	on	on	0.054	on	on	2700	0.70980	0.05	0.04	3028	298	50
352	916	100	40	0.77	0.053	on	on	0.069	on	on	3080	0.70509	-0.07	0.04	2970	302	50
353	594	60	40	0.72	0.010	on	on	0.158	on	on	1728	0.69749	-0.06	0.03	3012	300	50
354	269	140	80	0.74	0.015	on	on	0.177	on	on	8288	0.69749	-0.06	0.03	3012	300	50
355	1869	100	40	0.78	0.037	on	on	0.103	on	on	3120	0.69289	0.06	0.03	2958	302	50
356	1898	120	60	0.72	0.049	on	on	0.059	on	on	5184	0.68693	-0.07	0.04	2971	302	50
357	766	60	40	0.73	0.027	on	on	0.063	on	on	1752	0.68634	-0.07	0.03	3030	299	50
358	767	120	80	0.74	0.026	on	on	0.181	on	on	7104	0.68634	-0.07	0.03	3030	299	50
359	140	120	40	0.79	0.016	on	on	0.200	on	on	3792	0.68576	-0.05	0.03	2993	301	50
360	1977	100	60	0.74	0.035	on	on	0.074	on	on	4440	0.68576	-0.05	0.03	2993	301	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
361	1939	100	60	0.79	0.032	on	on	0.139	on	on	4740	0.68330	0.06	0.04	3027	298	50
362	1321	60	80	0.71	0.022	on	on	0.152	on	on	3408	0.67441	0.06	0.04	3055	297	50
363	1051	140	40	0.74	0.007	on	on	0.107	on	on	4144	0.67441	0.06	0.04	3055	297	50
364	1984	120	40	0.87	0.009	on	on	0.037	on	on	4176	0.67441	0.06	0.04	3055	297	50
365	1242	140	40	0.81	0.026	on	on	0.021	on	on	4536	0.67441	0.06	0.04	3055	297	50
366	1784	140	40	0.82	0.009	on	on	0.032	on	on	4592	0.67441	0.06	0.04	3055	297	50
367	414	100	80	0.85	0.034	on	on	0.113	on	on	6800	0.67441	0.06	0.04	3055	297	50
368	1442	120	80	0.71	0.011	on	on	0.068	on	on	6816	0.67441	0.06	0.04	3055	297	50
369	599	120	80	0.86	0.015	on	on	0.107	on	on	8256	0.67441	0.06	0.04	3055	297	50
370	1119	140	80	0.75	0.008	on	on	0.089	on	on	8400	0.67441	0.06	0.04	3055	297	50
371	1169	140	80	0.75	0.007	on	on	0.107	on	on	8400	0.67441	0.06	0.04	3055	297	50
372	1580	140	80	0.87	0.019	on	on	0.144	on	on	9744	0.67441	0.06	0.04	3055	297	50
373	1884	60	40	0.76	0.010	on	on	0.166	on	on	1824	0.67393	0.06	0.04	3054	297	50
374	1598	80	60	0.77	0.013	on	on	0.080	on	on	3696	0.67393	0.06	0.04	3054	297	50
375	129	100	60	0.72	0.042	on	on	0.098	on	on	4320	0.67393	0.06	0.04	3054	297	50
376	728	80	80	0.70	0.007	on	on	0.081	on	on	4480	0.67393	0.06	0.04	3054	297	50
377	1864	80	80	0.83	0.025	on	on	0.090	on	on	5312	0.67393	0.06	0.04	3054	297	50
378	1225	120	60	0.77	0.013	on	on	0.080	on	on	5544	0.67393	0.06	0.04	3054	297	50
379	1559	120	80	0.70	0.053	on	on	0.044	on	on	6720	0.67393	0.06	0.04	3054	297	50
380	997	140	40	0.86	0.051	on	on	0.120	on	on	4816	0.67337	0.07	0.03	2957	302	50
381	251	100	40	0.71	0.043	on	on	0.158	on	on	2840	0.67221	0.06	0.04	3056	297	50
382	603	100	40	0.73	0.018	on	on	0.127	on	on	2920	0.67221	0.06	0.04	3056	297	50
383	1308	100	40	0.77	0.039	on	on	0.057	on	on	3080	0.67221	0.06	0.04	3056	297	50
384	1810	100	40	0.87	0.023	on	on	0.122	on	on	3480	0.67221	0.06	0.04	3056	297	50
385	1535	120	40	0.79	0.014	on	on	0.061	on	on	3792	0.67221	0.06	0.04	3056	297	50
386	1512	140	40	0.78	0.040	on	on	0.100	on	on	4368	0.67221	0.06	0.04	3056	297	50
387	847	140	40	0.86	0.009	on	on	0.085	on	on	4816	0.67221	0.06	0.04	3056	297	50
388	733	100	60	0.85	0.021	on	on	0.168	on	on	5100	0.67221	0.06	0.04	3056	297	50
389	1052	120	60	0.86	0.024	on	on	0.149	on	on	6192	0.67221	0.06	0.04	3056	297	50
390	1412	140	60	0.80	0.017	on	on	0.115	on	on	6720	0.67221	0.06	0.04	3056	297	50
391	1626	140	40	0.75	0.046	on	on	0.035	on	on	4200	0.66901	0.06	0.04	3058	297	50
392	1886	40	40	0.83	0.031	on	on	0.014	on	on	1328	0.66741	0.06	0.04	3057	294	50
393	1103	100	60	0.70	0.011	on	on	0.113	on	on	4200	0.66741	0.06	0.04	3057	297	50
394	695	140	40	0.87	0.010	on	on	0.049	on	on	4872	0.66741	0.06	0.04	3057	297	50
395	1569	120	60	0.73	0.030	on	on	0.164	on	on	5256	0.66682	-0.07	0.04	2972	302	50
396	1023	40	80	0.83	0.018	on	on	0.185	on	on	2656	0.66640	-0.32	0.21	2733	315	50
397	1609	100	40	0.75	0.048	on	on	0.024	on	on	3000	0.66009	0.06	0.04	3058	297	50
398	1314	100	60	0.78	0.053	on	on	0.053	on	on	4680	0.66009	0.06	0.04	3058	297	50
399	1148	120	80	0.79	0.044	on	on	0.067	on	on	7584	0.66009	0.06	0.04	3058	297	50
400	365	60	80	0.75	0.017	on	on	0.147	on	on	3600	0.65690	0.07	0.04	3051	297	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
401	534	120	40	0.86	0.038	on	on	0.044	on	on	4128	0.65690	0.07	0.04	3051	297	50
402	1199	120	80	0.86	0.040	on	on	0.179	on	on	8256	0.65690	0.07	0.04	3051	297	50
403	1141	100	40	0.77	0.015	on	on	0.193	on	on	3080	0.65313	-0.08	0.03	3031	299	50
404	873	100	60	0.70	0.042	on	on	0.074	on	on	4200	0.65203	0.07	0.03	2956	302	50
405	206	100	80	0.79	0.052	on	on	0.175	on	on	6320	0.65203	0.07	0.03	2956	302	50
406	449	100	40	0.83	0.008	on	on	0.161	on	on	3320	0.65032	-0.06	0.04	3059	297	50
407	948	120	40	0.70	0.006	on	on	0.028	on	on	3360	0.65032	-0.06	0.04	3059	297	50
408	1517	60	80	0.74	0.010	on	on	0.159	on	on	3552	0.65032	-0.06	0.04	3059	297	50
409	445	80	80	0.74	0.007	on	on	0.153	on	on	4736	0.65032	-0.06	0.04	3059	297	50
410	410	80	80	0.82	0.029	on	on	0.098	on	on	5248	0.65032	-0.06	0.04	3059	297	50
411	567	80	80	0.83	0.011	on	on	0.084	on	on	5312	0.65032	-0.06	0.04	3059	297	50
412	611	80	80	0.87	0.009	on	on	0.101	on	on	5568	0.65032	-0.06	0.04	3059	297	50
413	1429	100	80	0.73	0.006	on	on	0.173	on	on	5840	0.65032	-0.06	0.04	3059	297	50
414	774	100	80	0.81	0.030	on	on	0.155	on	on	6480	0.65032	-0.06	0.04	3059	297	50
415	271	100	80	0.86	0.028	on	on	0.199	on	on	6880	0.65032	-0.06	0.04	3059	297	50
416	358	80	60	0.72	0.039	on	on	0.094	on	on	3456	0.64621	0.07	0.04	3050	297	50
417	217	120	40	0.85	0.018	on	on	0.103	on	on	4080	0.64621	0.07	0.04	3050	297	50
418	1117	100	60	0.76	0.040	on	on	0.193	on	on	4560	0.64621	0.07	0.04	3050	297	50
419	671	80	40	0.74	0.017	on	on	0.099	on	on	2368	0.64532	-0.07	0.04	2973	302	50
420	1114	40	40	0.80	0.007	on	on	0.055	on	on	1280	0.63828	-0.06	0.04	3060	297	50
421	1284	60	40	0.78	0.014	on	on	0.031	on	on	1872	0.63828	-0.06	0.04	3060	297	50
422	1696	80	40	0.71	0.008	on	on	0.156	on	on	2272	0.63828	-0.06	0.04	3060	297	50
423	768	80	40	0.76	0.011	on	on	0.122	on	on	2432	0.63828	-0.06	0.04	3060	297	50
424	1437	80	40	0.78	0.020	on	on	0.089	on	on	2496	0.63828	-0.06	0.04	3060	297	50
425	308	80	40	0.84	0.025	on	on	0.055	on	on	2688	0.63828	-0.06	0.04	3060	297	50
426	339	80	40	0.85	0.015	on	on	0.168	on	on	2720	0.63828	-0.06	0.04	3060	297	50
427	1042	100	40	0.71	0.008	on	on	0.100	on	on	2840	0.63828	-0.06	0.04	3060	297	50
428	1140	60	60	0.80	0.018	on	on	0.084	on	on	2880	0.63828	-0.06	0.04	3060	297	50
429	776	100	40	0.75	0.014	on	on	0.054	on	on	3000	0.63828	-0.06	0.04	3060	297	50
430	1097	100	40	0.78	0.016	on	on	0.014	on	on	3120	0.63828	-0.06	0.04	3060	297	50
431	191	100	40	0.86	0.013	on	on	0.112	on	on	3440	0.63828	0.06	0.04	3060	297	50
432	704	120	40	0.72	0.029	on	on	0.029	on	on	3456	0.63828	-0.06	0.04	3060	297	50
433	890	120	40	0.74	0.020	on	on	0.104	on	on	3552	0.63828	-0.06	0.04	3060	297	50
434	974	120	40	0.76	0.029	on	on	0.121	on	on	3648	0.63828	-0.06	0.04	3060	297	50
435	1424	120	40	0.77	0.027	on	on	0.019	on	on	3696	0.63828	-0.06	0.04	3060	297	50
436	108	120	40	0.81	0.013	on	on	0.181	on	on	3888	0.63828	-0.06	0.04	3060	297	50
437	1087	120	40	0.81	0.019	on	on	0.117	on	on	3888	0.63828	-0.06	0.04	3060	297	50
438	1011	120	40	0.82	0.019	on	on	0.137	on	on	3936	0.63828	-0.06	0.04	3060	297	50
439	834	140	40	0.74	0.022	on	on	0.085	on	on	4144	0.63828	-0.61	0.04	3060	297	50
440	815	120	40	0.87	0.022	on	on	0.158	on	on	4176	0.63828	-0.06	0.04	3060	297	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
441	481	140	40	0.77	0.023	on	on	0.022	on	on	4312	0.63828	-0.06	0.04	3060	297	50
442	601	140	40	0.80	0.024	on	on	0.180	on	on	4480	0.63828	-0.06	0.04	3060	297	50
443	1433	100	60	0.77	0.018	on	on	0.115	on	on	4620	0.63828	-0.06	0.04	3060	297	50
444	1767	140	40	0.83	0.032	on	on	0.052	on	on	4648	0.63828	-0.06	0.14	3060	297	50
445	1928	140	40	0.83	0.016	on	on	0.187	on	on	4648	0.63828	-0.06	0.04	3060	297	50
446	81	80	80	0.74	0.023	on	on	0.081	on	on	4736	0.63828	-0.06	0.04	3060	297	50
447	1794	80	80	0.74	0.013	on	on	0.122	on	on	4736	0.63828	-0.60	0.04	3060	297	50
448	870	140	40	0.85	0.022	on	on	0.020	on	on	4760	0.63828	-0.06	0.04	3060	297	50
449	1455	140	40	0.85	0.030	on	on	0.057	on	on	4760	0.63828	-0.06	0.04	3060	297	50
450	483	80	80	0.78	0.014	on	on	0.111	on	on	4992	0.63828	-0.06	0.04	3060	297	50
451	204	80	80	0.83	0.043	on	on	0.093	on	on	5312	0.63828	-0.06	0.04	3060	297	50
452	1873	120	60	0.82	0.025	on	on	0.019	on	on	5904	0.63828	-0.06	0.04	3060	297	50
453	561	100	80	0.75	0.015	on	on	0.102	on	on	6000	0.63828	-0.06	0.04	3060	297	50
454	593	100	80	0.78	0.010	on	on	0.014	on	on	6240	0.63828	-0.06	0.04	3060	297	50
455	1189	140	60	0.76	0.028	on	on	0.094	on	on	6384	0.63828	-0.06	0.04	3060	297	50
456	178	120	80	0.81	0.036	on	on	0.156	on	on	7776	0.63828	-0.06	0.04	3060	297	50
457	1415	120	80	0.81	0.031	on	on	0.072	on	on	7776	0.63828	-0.06	0.04	3060	297	50
458	142	120	80	0.86	0.017	on	on	0.073	on	on	8256	0.63828	-0.06	0.04	3060	297	50
459	422	120	40	0.79	0.029	on	on	0.190	on	on	3792	0.62973	0.08	0.04	2955	302	50
460	396	140	60	0.79	0.044	on	on	0.128	on	on	6636	0.62973	0.08	0.04	2955	302	50
461	1398	40	40	0.80	0.013	on	on	0.063	on	on	1280	0.62475	-0.07	0.04	3061	297	50
462	291	60	40	0.81	0.014	on	on	0.064	on	on	1944	0.62475	-0.75	0.04	3061	297	50
463	1047	80	40	0.78	0.021	on	on	0.119	on	on	2496	0.62475	-0.07	0.04	3061	297	50
464	705	40	80	0.85	0.018	on	on	0.066	on	on	2720	0.62475	-0.07	0.04	3061	297	50
465	1079	60	80	0.73	0.031	on	on	0.108	on	on	3504	0.62475	-0.07	0.04	3061	297	50
466	1322	60	80	0.80	0.006	on	on	0.030	on	on	3840	0.62475	-0.07	0.04	3061	297	50
467	258	120	40	0.80	0.049	on	on	0.062	on	on	3840	0.62475	-0.07	0.04	3061	297	50
468	1944	60	80	0.84	0.007	on	on	0.132	on	on	4032	0.62475	-0.07	0.04	3061	297	50
469	835	100	60	0.70	0.035	on	on	0.088	on	on	4200	0.62475	-0.07	0.04	3061	297	50
470	1665	140	40	0.78	0.021	on	on	0.131	on	on	4368	0.62475	-0.07	0.04	3061	297	50
471	188	80	80	0.86	0.010	on	on	0.160	on	on	5504	0.62475	-0.07	0.04	3061	297	50
472	1990	140	60	0.70	0.031	on	on	0.076	on	on	5880	0.62475	-0.07	0.04	3061	297	50
473	382	100	80	0.74	0.022	on	on	0.057	on	on	5920	0.62475	-0.07	0.04	3061	297	50
474	148	140	60	0.77	0.037	on	on	0.043	on	on	6468	0.62475	-0.07	0.04	3061	297	50
475	792	140	60	0.78	0.038	on	on	0.076	on	on	6552	0.62281	-0.07	0.04	2974	302	50
476	892	40	60	0.76	0.042	on	on	0.116	on	on	1824	0.62106	-0.08	0.03	3032	299	50
477	1841	60	80	0.82	0.023	on	on	0.122	on	on	3936	0.61963	0.07	0.05	3048	297	50
478	319	140	60	0.76	0.046	on	on	0.176	on	on	6384	0.61963	0.07	0.05	3048	297	50
479	999	120	60	0.76	0.007	on	on	0.160	on	on	5472	0.61108	0.09	0.03	2969	301	50
480	176	60	40	0.86	0.044	on	on	0.079	on	on	2064	0.60915	-0.07	0.04	3062	297	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
481	1452	100	40	0.74	0.021	on	on	0.176	on	on	2960	0.60915	-0.07	0.04	3062	297	50
482	1989	100	40	0.75	0.031	on	on	0.021	on	on	3000	0.60915	-0.07	0.04	3062	297	50
483	1197	60	60	0.84	0.009	on	on	0.155	on	on	3024	0.60915	-0.07	0.04	3062	297	50
484	1413	100	40	0.80	0.019	on	on	0.015	on	on	3200	0.60915	-0.07	0.04	3062	297	50
485	1878	120	40	0.77	0.024	on	on	0.135	on	on	3696	0.60915	-0.07	0.04	3062	297	50
486	1726	100	60	0.73	0.053	on	on	0.043	on	on	4380	0.60915	-0.07	0.04	3062	297	50
487	435	140	40	0.87	0.034	on	on	0.117	on	on	4872	0.60915	-0.07	0.04	3062	297	50
488	900	140	40	0.87	0.015	on	on	0.087	on	on	4872	0.60915	-0.07	0.04	3062	297	50
489	1880	80	80	0.86	0.015	on	on	0.144	on	on	5504	0.60915	-0.07	0.04	3062	297	50
490	98	100	80	0.83	0.029	on	on	0.105	on	on	6640	0.60915	-0.07	0.04	3062	297	50
491	1362	140	40	0.79	0.047	on	on	0.181	on	on	4424	0.60354	0.08	0.05	3047	297	50
492	1480	80	40	0.87	0.046	on	on	0.125	on	on	2784	0.60340	-0.08	0.05	2947	303	50
493	1230	120	40	0.74	0.015	on	on	0.073	on	on	3552	0.60340	-0.08	0.05	2947	303	50
494	813	120	60	0.78	0.033	on	on	0.141	on	on	5616	0.60340	-0.08	0.05	2947	303	50
495	1259	140	40	0.73	0.048	on	on	0.050	on	on	4088	0.60317	-0.07	0.05	2946	303	50
496	624	140	40	0.84	0.052	on	on	0.110	on	on	4704	0.60317	-0.07	0.05	2946	303	50
497	1957	80	40	0.75	0.026	on	on	0.104	on	on	2400	0.60119	-0.08	0.05	2948	303	50
498	891	120	40	0.80	0.042	on	on	0.168	on	on	3840	0.60119	-0.08	0.05	2948	303	50
499	1190	140	40	0.86	0.049	on	on	0.155	on	on	4816	0.60119	-0.08	0.05	2948	303	50
500	226	40	60	0.75	0.031	on	on	0.154	on	on	1800	0.60065	-0.07	0.05	2945	303	50
501	360	100	80	0.84	0.021	on	on	0.082	on	on	6720	0.60065	-0.07	0.05	2945	303	50
502	1196	120	60	0.71	0.037	on	on	0.158	on	on	5112	0.59719	-0.08	0.05	2949	303	50
503	1173	80	60	0.85	0.053	on	on	0.035	on	on	4080	0.59658	-0.07	0.04	3015	300	50
504	1372	100	60	0.85	0.054	on	on	0.170	on	on	5100	0.59658	-0.07	0.04	3015	300	50
505	1787	140	80	0.80	0.045	on	on	0.092	on	on	8960	0.59623	-0.17	0.05	2944	303	50
506	1540	40	40	0.81	0.045	on	on	0.141	on	on	1296	0.59264	0.08	0.04	3036	297	50
507	16	120	40	0.76	0.029	on	on	0.200	on	on	3648	0.59264	-0.08	0.04	3063	297	50
508	1302	100	60	0.84	0.035	on	on	0.142	on	on	5040	0.59264	-0.08	0.04	3063	297	50
509	1221	80	80	0.72	0.029	on	on	0.030	on	on	4608	0.58296	0.09	0.04	2953	302	50
510	1031	140	40	0.70	0.054	on	on	0.131	on	on	3920	0.57625	0.07	0.04	3023	298	50
511	597	120	60	0.70	0.015	on	on	0.160	on	on	5040	0.57625	0.07	0.04	3023	298	50
512	1307	40	40	0.71	0.009	on	on	0.193	on	on	1136	0.57495	-0.08	0.04	3064	297	50
513	528	40	40	0.77	0.025	on	on	0.013	on	on	1232	0.57495	-0.08	0.04	3064	297	50
514	1974	80	40	0.72	0.023	on	on	0.122	on	on	2304	0.57495	-0.85	0.04	3064	297	50
515	1914	100	40	0.87	0.036	on	on	0.171	on	on	3480	0.57495	-0.08	0.04	3064	297	50
516	1358	60	80	0.74	0.020	on	on	0.198	on	on	3552	0.57495	-0.08	0.04	3064	297	50
517	570	120	40	0.75	0.032	on	on	0.058	on	on	3600	0.57495	-0.08	0.04	3064	297	50
518	1507	120	40	0.79	0.027	on	on	0.116	on	on	3792	0.57495	-0.08	0.04	3064	297	50
519	915	120	40	0.84	0.041	on	on	0.163	on	on	4032	0.57495	-0.08	0.04	3064	297	50
520	1279	100	80	0.85	0.033	on	on	0.155	on	on	6800	0.57495	-0.08	0.04	3064	297	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
521	118	140	80	0.77	0.035	on	on	0.075	on	on	8624	0.57495	-0.08	0.04	3064	297	50
522	1478	140	80	0.73	0.037	on	on	0.089	on	on	8176	0.57224	-0.09	0.05	2952	303	50
523	685	40	40	0.71	0.023	on	on	0.101	on	on	1136	0.57187	-0.09	0.04	3050	298	50
524	689	40	40	0.79	0.050	on	on	0.090	on	on	1264	0.57187	-0.09	0.04	3050	298	50
525	600	60	80	0.84	0.029	on	on	0.079	on	on	4032	0.57187	-0.09	0.04	3050	298	50
526	829	140	40	0.77	0.054	on	on	0.022	on	on	4312	0.56821	0.08	0.05	3045	297	50
527	1621	140	60	0.82	0.050	on	on	0.071	on	on	6888	0.56508	-0.07	0.04	2997	301	50
528	1132	40	80	0.84	0.016	on	on	0.032	on	on	2688	0.56039	-0.09	0.05	2953	303	50
529	979	120	40	0.76	0.046	on	on	0.147	on	on	3648	0.55622	-0.09	0.04	3065	297	50
530	1000	100	60	0.73	0.035	on	on	0.063	on	on	4380	0.55392	0.09	0.04	2984	300	50
531	790	140	60	0.74	0.024	on	on	0.191	on	on	6216	0.54716	-0.09	0.05	2954	303	50
532	113	140	40	0.80	0.023	on	on	0.117	on	on	4480	0.53725	-0.09	0.04	3066	297	50
533	540	80	80	0.84	0.017	on	on	0.170	on	on	5376	0.53725	-0.09	0.04	3066	297	50
534	50	80	80	0.85	0.030	on	on	0.099	on	on	5440	0.53022	0.08	0.05	3043	297	50
535	49	40	40	0.72	0.013	on	on	0.087	on	on	1152	0.53020	0.08	0.05	3043	297	50
536	294	120	60	0.76	0.032	on	on	0.035	on	on	5472	0.52858	0.08	0.05	2978	302	50
537	1888	40	80	0.80	0.018	on	on	0.072	on	on	2560	0.52820	0.08	0.05	3073	296	50
538	1278	140	40	0.77	0.024	on	on	0.178	on	on	4312	0.52820	0.08	0.05	3073	296	50
539	463	100	60	0.78	0.031	on	on	0.020	on	on	4680	0.52820	0.08	0.05	3073	296	50
540	636	80	80	0.75	0.012	on	on	0.096	on	on	4800	0.52820	0.08	0.05	3073	296	50
541	571	80	80	0.83	0.007	on	on	0.199	on	on	5312	0.52820	0.08	0.05	3073	296	50
542	1204	120	80	0.85	0.016	on	on	0.189	on	on	8160	0.52820	0.08	0.05	3073	296	50
543	1993	120	80	0.87	0.036	on	on	0.052	on	on	8352	0.52820	0.08	0.05	3073	296	50
544	773	60	40	0.71	0.017	on	on	0.144	on	on	1704	0.52749	0.08	0.05	3074	296	50
545	1829	80	40	0.85	0.050	on	on	0.102	on	on	2720	0.52749	0.08	0.05	3074	296	50
546	1400	60	80	0.74	0.008	on	on	0.109	on	on	3552	0.52749	0.08	0.05	3074	296	50
547	1422	140	60	0.71	0.037	on	on	0.113	on	on	5964	0.52749	0.08	0.05	3074	296	50
548	1649	140	60	0.71	0.035	on	on	0.012	on	on	5964	0.52749	0.08	0.05	3074	296	50
549	1678	120	60	0.87	0.043	on	on	0.011	on	on	6264	0.52749	0.08	0.05	3074	296	50
550	1269	120	80	0.80	0.027	on	on	0.187	on	on	7680	0.52749	0.08	0.05	3074	296	50
551	1737	80	40	0.73	0.014	on	on	0.188	on	on	2336	0.52725	0.08	0.05	3072	296	50
552	1868	120	40	0.81	0.035	on	on	0.017	on	on	3888	0.52725	0.08	0.05	3072	296	50
553	28	140	40	0.77	0.026	on	on	0.173	on	on	4312	0.52725	0.08	0.05	3072	296	50
554	10	80	40	0.80	0.015	on	on	0.169	on	on	2560	0.52497	0.08	0.05	3075	296	50
555	1008	140	60	0.77	0.034	on	on	0.027	on	on	6468	0.52497	0.08	0.05	3075	296	50
556	1508	40	60	0.79	0.010	on	on	0.042	on	on	1896	0.52473	0.09	0.05	3071	296	50
557	1416	100	40	0.74	0.023	on	on	0.196	on	on	2960	0.52473	0.09	0.05	3071	296	50
558	106	40	80	0.84	0.012	on	on	0.063	on	on	2688	0.52445	0.10	0.04	2966	301	50
559	338	40	40	0.71	0.019	on	on	0.171	on	on	1136	0.52412	0.08	0.05	3021	298	50
560	13	40	40	0.77	0.009	on	on	0.123	on	on	1232	0.52116	0.08	0.05	3076	296	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
561	806	40	80	0.75	0.012	on	on	0.160	on	on	2400	0.52116	0.08	0.05	3076	296	50
562	1657	60	60	0.84	0.032	on	on	0.160	on	on	3024	0.52116	0.08	0.05	3076	296	50
563	706	60	80	0.73	0.013	on	on	0.123	on	on	3504	0.52116	0.08	0.05	3076	296	50
564	1395	100	80	0.83	0.035	on	on	0.102	on	on	6640	0.52116	0.08	0.05	3076	296	50
565	1985	120	80	0.79	0.040	on	on	0.168	on	on	7584	0.52116	0.08	0.05	3076	296	50
566	43	140	80	0.76	0.017	on	on	0.124	on	on	8512	0.52116	0.08	0.05	3076	296	50
567	83	40	80	0.87	0.007	on	on	0.031	on	on	2784	0.51544	0.07	0.05	3077	296	50
568	355	120	40	0.71	0.036	on	on	0.094	on	on	3408	0.51544	0.07	0.05	3077	296	50
569	548	120	40	0.83	0.054	on	on	0.165	on	on	3984	0.51544	0.07	0.05	3077	296	50
570	1528	60	80	0.84	0.040	on	on	0.032	on	on	4032	0.51544	0.07	0.05	3077	296	50
571	1825	140	40	0.72	0.041	on	on	0.145	on	on	4032	0.51544	0.07	0.05	3077	296	50
572	101	120	60	0.80	0.052	on	on	0.200	on	on	5760	0.51544	0.07	0.05	3077	296	50
573	1895	120	80	0.73	0.033	on	on	0.020	on	on	7008	0.51544	0.07	0.05	3077	296	50
574	1187	140	80	0.75	0.047	on	on	0.013	on	on	8400	0.51544	0.07	0.05	3077	296	50
575	476	80	40	0.85	0.006	on	on	0.181	on	on	2720	0.50983	-0.07	0.05	2999	301	50
576	660	120	40	0.71	0.023	on	on	0.086	on	on	3408	0.50860	-0.07	0.05	3078	296	50
577	91	100	60	0.76	0.047	on	on	0.171	on	on	4560	0.50860	-0.07	0.05	3078	296	50
578	166	100	80	0.75	0.023	on	on	0.091	on	on	6000	0.50860	-0.07	0.05	3078	296	50
579	444	80	40	0.86	0.013	on	on	0.177	on	on	2752	0.50066	-0.08	0.05	3079	296	50
580	1451	120	80	0.72	0.044	on	on	0.133	on	on	6912	0.50066	-0.08	0.05	3079	296	50
581	727	40	80	0.82	0.031	on	on	0.146	on	on	2624	0.49972	0.09	0.06	3067	296	50
582	1465	80	80	0.86	0.054	on	on	0.143	on	on	5504	0.49972	0.09	0.06	3067	296	50
583	944	120	40	0.70	0.046	on	on	0.046	on	on	3360	0.48889	0.09	0.05	3000	299	50
584	302	80	40	0.82	0.036	on	on	0.172	on	on	2624	0.47874	-0.11	0.05	3069	297	50
585	350	120	40	0.77	0.034	on	on	0.162	on	on	3696	0.47874	-0.11	0.05	3069	297	50
586	329	100	40	0.76	0.028	on	on	0.109	on	on	3040	0.47285	-0.10	0.06	2929	304	50
587	343	120	60	0.83	0.008	on	on	0.085	on	on	5976	0.47285	-0.10	0.06	2929	304	50
588	73	140	60	0.83	0.014	on	on	0.172	on	on	6972	0.47285	-0.10	0.06	2929	304	50
589	458	140	80	0.86	0.008	on	on	0.059	on	on	9632	0.47285	-0.10	0.06	2929	304	50
590	1515	140	80	0.86	0.048	on	on	0.085	on	on	9632	0.47285	-0.10	0.06	2929	304	50
591	56	60	40	0.74	0.017	on	on	0.012	on	on	1776	0.47258	-0.10	0.06	2929	304	50
592	1069	100	40	0.81	0.039	on	on	0.122	on	on	3240	0.47227	-0.10	0.06	2928	304	50
593	694	120	80	0.80	0.008	on	on	0.081	on	on	7680	0.47227	-0.10	0.06	2928	304	50
594	395	60	60	0.81	0.016	on	on	0.091	on	on	2916	0.47205	-0.10	0.06	2930	304	50
595	1706	100	40	0.85	0.053	on	on	0.134	on	on	3400	0.47205	-0.10	0.06	2930	304	50
596	509	100	60	0.76	0.010	on	on	0.198	on	on	4560	0.47205	-0.10	0.06	2930	304	50
597	1791	120	60	0.73	0.030	on	on	0.112	on	on	5256	0.47205	-0.10	0.06	2930	304	50
598	640	140	80	0.87	0.014	on	on	0.076	on	on	9744	0.47205	-0.10	0.06	2930	304	50
599	1427	40	60	0.81	0.012	on	on	0.123	on	on	1944	0.47178	-0.11	0.04	3054	298	50
600	1175	80	60	0.75	0.011	on	on	0.027	on	on	3600	0.47022	-0.09	0.06	2927	304	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
601	938	120	60	0.87	0.011	on	on	0.128	on	on	6264	0.47022	-0.09	0.06	2927	304	50
602	1834	80	80	0.77	0.047	on	on	0.014	on	on	4928	0.46990	0.10	0.04	2981	300	50
603	1892	140	80	0.80	0.015	on	on	0.064	on	on	8960	0.46986	-0.10	0.06	2931	304	50
604	1133	120	40	0.72	0.048	on	on	0.028	on	on	3456	0.46964	-0.09	0.05	3082	296	50
605	1003	100	80	0.72	0.020	on	on	0.165	on	on	5760	0.46635	-0.10	0.06	2932	304	50
606	532	80	80	0.84	0.053	on	on	0.104	on	on	5376	0.46618	0.12	0.04	2948	302	50
607	1566	80	60	0.70	0.010	on	on	0.053	on	on	3360	0.46229	-0.09	0.06	2925	304	50
608	568	120	40	0.77	0.006	on	on	0.067	on	on	3696	0.46229	-0.09	0.06	2925	304	50
609	1938	100	80	0.83	0.009	on	on	0.048	on	on	6640	0.46229	-0.09	0.06	2925	304	50
610	1983	100	80	0.85	0.014	on	on	0.124	on	on	6800	0.46229	-0.09	0.06	2925	304	50
611	676	120	80	0.83	0.013	on	on	0.029	on	on	7968	0.46229	-0.09	0.06	2925	304	50
612	659	120	80	0.84	0.006	on	on	0.055	on	on	8064	0.46229	-0.09	0.06	2925	304	50
613	1432	80	40	0.87	0.033	on	on	0.140	on	on	2784	0.45927	-0.08	0.05	3001	301	50
614	21	60	80	0.84	0.009	on	on	0.111	on	on	4032	0.45779	-0.10	0.05	3083	296	50
615	493	100	80	0.76	0.038	on	on	0.068	on	on	6080	0.45779	-0.10	0.05	3083	296	50
616	653	120	40	0.82	0.017	on	on	0.129	on	on	3936	0.45642	-0.09	0.06	2924	304	50
617	1174	80	60	0.76	0.013	on	on	0.106	on	on	3648	0.44932	0.09	0.06	2923	304	50
618	1486	120	60	0.78	0.007	on	on	0.147	on	on	5616	0.44932	0.09	0.06	2923	304	50
619	882	140	80	0.73	0.006	on	on	0.140	on	on	8176	0.44932	0.09	0.06	2923	304	50
620	464	100	60	0.74	0.040	on	on	0.184	on	on	4440	0.44750	0.12	0.05	2963	301	50
621	1060	140	40	0.82	0.030	on	on	0.080	on	on	4592	0.44750	0.12	0.05	2963	301	50
622	151	140	80	0.83	0.008	on	on	0.127	on	on	9296	0.44154	0.09	0.06	2922	304	50
623	1744	100	60	0.72	0.012	on	on	0.011	on	on	4320	0.43272	0.10	0.06	2921	304	50
624	399	100	80	0.77	0.026	on	on	0.186	on	on	6160	0.43272	0.10	0.06	2921	304	50
625	1874	120	80	0.76	0.020	on	on	0.028	on	on	7296	0.43272	0.10	0.06	2921	304	50
626	1428	80	60	0.72	0.035	on	on	0.142	on	on	3456	0.43245	-0.11	0.05	3085	296	50
627	1926	40	40	0.72	0.006	on	on	0.183	on	on	1152	0.42652	0.11	0.05	2934	303	50
628	592	120	60	0.74	0.024	on	on	0.166	on	on	5328	0.41445	0.13	0.05	2931	313	50
629	1291	140	60	0.73	0.010	on	on	0.053	on	on	6132	0.41445	0.13	0.05	2931	303	50
630	1351	120	60	0.86	0.010	on	on	0.182	on	on	6192	0.41445	0.13	0.05	2931	303	50
631	1786	60	40	0.77	0.023	on	on	0.106	on	on	1848	0.41256	0.11	0.06	2919	304	50
632	1578	120	60	0.79	0.009	on	on	0.153	on	on	5688	0.41256	0.11	0.06	2919	304	50
633	119	80	80	0.82	0.041	on	on	0.128	on	on	5248	0.41121	-0.12	0.07	2939	304	50
634	657	80	40	0.75	0.037	on	on	0.155	on	on	2400	0.41070	0.11	0.07	3091	295	50
635	1788	100	40	0.74	0.042	on	on	0.076	on	on	2960	0.41070	0.11	0.07	3091	295	50
636	442	100	40	0.82	0.026	on	on	0.014	on	on	3280	0.41070	0.11	0.07	3091	295	50
637	1045	120	40	0.79	0.010	on	on	0.148	on	on	3792	0.41070	0.11	0.07	3091	295	50
638	1902	140	40	0.80	0.046	on	on	0.102	on	on	4480	0.41070	0.11	0.07	3091	295	50
639	699	80	80	0.79	0.030	on	on	0.051	on	on	5056	0.41070	0.11	0.07	3091	295	50
640	439	120	60	0.83	0.045	on	on	0.068	on	on	5976	0.41070	0.11	0.07	3091	295	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
641	1667	80	80	0.75	0.015	on	on	0.045	on	on	4800	0.41064	0.10	0.07	3092	295	50
642	389	140	40	0.86	0.047	on	on	0.183	on	on	4816	0.41064	0.10	0.07	3092	295	50
643	989	120	40	0.80	0.052	on	on	0.140	on	on	3840	0.40986	0.10	0.07	3093	295	50
644	1901	140	40	0.78	0.046	on	on	0.106	on	on	4368	0.40986	0.10	0.07	3093	295	50
645	920	60	40	0.74	0.013	on	on	0.194	on	on	1776	0.40783	0.10	0.07	3094	295	50
646	1837	140	80	0.86	0.022	on	on	0.138	on	on	9632	0.40783	0.10	0.07	3094	295	50
647	390	80	60	0.84	0.020	on	on	0.179	on	on	4032	0.40767	0.11	0.07	3089	295	50
648	1604	120	60	0.76	0.054	on	on	0.128	on	on	5472	0.40767	0.11	0.07	3089	295	50
649	1809	40	40	0.72	0.014	on	on	0.198	on	on	1152	0.40509	0.10	0.07	3095	295	50
650	858	100	40	0.74	0.045	on	on	0.115	on	on	2960	0.40509	0.10	0.07	3095	295	50
651	802	140	80	0.71	0.039	on	on	0.152	on	on	7952	0.40509	0.10	0.07	3095	295	50
652	1573	60	60	0.80	0.039	on	on	0.115	on	on	2880	0.40486	0.10	0.07	3088	295	50
653	827	60	40	0.72	0.032	on	on	0.076	on	on	1728	0.40268	0.13	0.05	2961	301	50
654	1662	60	60	0.70	0.013	on	on	0.081	on	on	2520	0.40268	0.13	0.05	2961	301	50
655	1112	120	60	0.79	0.043	on	on	0.013	on	on	5688	0.40268	0.13	0.05	2961	301	50
656	1931	120	40	0.70	0.007	on	on	0.082	on	on	3360	0.40169	0.11	0.06	2918	304	50
657	712	100	60	0.86	0.009	on	on	0.123	on	on	5160	0.40169	0.11	0.06	2918	304	50
658	1340	140	80	0.74	0.008	on	on	0.085	on	on	8288	0.40169	0.11	0.06	2918	304	50
659	477	100	80	0.78	0.048	on	on	0.138	on	on	6240	0.40107	0.10	0.07	3096	295	50
660	112	40	40	0.75	0.033	on	on	0.099	on	on	1200	0.39960	-0.10	0.06	2984	302	50
661	501	100	40	0.83	0.025	on	on	0.078	on	on	3320	0.39794	0.13	0.05	2930	303	50
662	220	40	40	0.73	0.015	on	on	0.186	on	on	1168	0.39647	0.09	0.07	3097	295	50
663	67	60	60	0.76	0.012	on	on	0.139	on	on	2736	0.39273	-0.10	0.06	3004	301	50
664	1797	140	80	0.73	0.052	on	on	0.023	on	on	8176	0.39231	-0.13	0.06	3088	296	50
665	1458	140	80	0.81	0.043	on	on	0.139	on	on	9072	0.39052	0.11	0.07	3058	296	50
666	1766	120	80	0.78	0.053	on	on	0.134	on	on	7488	0.38706	-0.14	0.05	3074	297	50
667	1497	80	80	0.76	0.054	on	on	0.192	on	on	4864	0.38470	0.14	0.05	2944	302	50
668	1256	60	80	0.82	0.033	on	on	0.043	on	on	3936	0.38435	0.12	0.07	3084	295	50
669	513	80	80	0.85	0.035	on	on	0.080	on	on	5440	0.38435	0.12	0.07	3084	295	50
670	1970	60	60	0.78	0.048	on	on	0.133	on	on	2808	0.38084	-0.10	0.06	2985	302	50
671	1855	120	60	0.70	0.046	on	on	0.088	on	on	5040	0.37894	0.12	0.06	2916	304	50
672	987	40	40	0.76	0.026	on	on	0.091	on	on	1216	0.37829	-0.11	0.07	3100	295	50
673	1253	120	80	0.85	0.044	on	on	0.144	on	on	8160	0.37829	-0.11	0.07	3100	295	50
674	551	80	40	0.71	0.028	on	on	0.106	on	on	2272	0.37763	-0.13	0.07	2942	304	50
675	1732	120	60	0.87	0.054	on	on	0.078	on	on	6264	0.37374	0.11	0.06	2995	299	50
676	141	120	60	0.80	0.022	on	on	0.042	on	on	5760	0.37290	-0.12	0.07	2911	305	50
677	1293	100	40	0.72	0.038	on	on	0.149	on	on	2880	0.37129	-0.12	0.07	2911	305	50
678	380	80	60	0.85	0.009	on	on	0.066	on	on	4080	0.37129	-0.12	0.07	2911	305	50
679	1597	100	60	0.83	0.016	on	on	0.194	on	on	4980	0.37129	-0.12	0.07	2991	305	50
680	1370	120	80	0.79	0.032	on	on	0.082	on	on	7584	0.37129	-0.12	0.07	2911	305	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
681	180	140	80	0.77	0.007	on	on	0.177	on	on	8624	0.37129	-0.12	0.07	2911	305	50
682	904	100	40	0.82	0.033	on	on	0.091	on	on	3280	0.37110	-0.12	0.07	2912	305	50
683	1676	100	40	0.84	0.016	on	on	0.162	on	on	3360	0.37110	-0.12	0.07	2912	305	50
684	1721	80	60	0.77	0.007	on	on	0.135	on	on	3696	0.37110	-0.12	0.07	2912	305	50
685	639	100	60	0.83	0.049	on	on	0.148	on	on	4980	0.37110	-0.12	0.07	2912	305	50
686	1490	100	40	0.74	0.040	on	on	0.067	on	on	2960	0.37096	-0.11	0.07	3101	295	50
687	1066	80	80	0.77	0.012	on	on	0.128	on	on	4928	0.37050	-0.12	0.07	2910	305	50
688	886	120	60	0.76	0.006	on	on	0.191	on	on	5472	0.37025	-0.12	0.08	2913	305	50
689	266	140	60	0.84	0.017	on	on	0.148	on	on	7056	0.37025	-0.12	0.08	2913	305	50
690	832	140	80	0.74	0.051	on	on	0.085	on	on	8288	0.37025	-0.12	0.08	2913	305	50
691	984	80	80	0.85	0.032	on	on	0.192	on	on	5440	0.37023	-0.14	0.05	3075	297	50
692	1211	100	60	0.73	0.017	on	on	0.089	on	on	4380	0.36871	-0.12	0.07	2909	305	50
693	1585	60	60	0.81	0.022	on	on	0.150	on	on	2916	0.36838	-0.13	0.08	2914	305	50
694	57	140	60	0.86	0.026	on	on	0.175	on	on	7224	0.36838	-0.13	0.08	2914	305	50
695	1677	120	40	0.77	0.031	on	on	0.148	on	on	3696	0.36714	0.13	0.06	2915	304	50
696	1827	60	80	0.76	0.027	on	on	0.165	on	on	3648	0.36652	-0.11	0.07	2908	305	50
697	1622	120	60	0.86	0.045	on	on	0.027	on	on	6192	0.36652	-0.11	0.07	2908	305	50
698	585	120	40	0.76	0.016	on	on	0.133	on	on	3648	0.36599	0.14	0.06	2928	303	50
699	342	140	40	0.81	0.038	on	on	0.046	on	on	4536	0.36599	0.14	0.06	2928	303	50
700	235	60	80	0.83	0.054	on	on	0.110	on	on	3984	0.36579	-0.13	0.08	2915	305	50
701	1201	40	60	0.72	0.023	on	on	0.139	on	on	1728	0.36573	-0.14	0.06	3090	296	50
702	610	80	60	0.77	0.042	on	on	0.133	on	on	3696	0.36573	-0.14	0.06	3090	296	50
703	718	60	60	0.70	0.010	on	on	0.045	on	on	2520	0.36327	-0.11	0.07	2907	305	50
704	1577	120	40	0.74	0.039	on	on	0.022	on	on	3552	0.36325	-0.12	0.07	3102	295	50
705	667	120	40	0.78	0.032	on	on	0.071	on	on	3744	0.36325	-0.12	0.07	3102	295	50
706	249	140	40	0.80	0.038	on	on	0.098	on	on	4480	0.36325	-0.12	0.07	3102	295	50
707	1344	140	80	0.76	0.050	on	on	0.134	on	on	8512	0.36325	-0.12	0.07	3102	295	50
708	856	100	60	0.82	0.036	on	on	0.017	on	on	4920	0.36318	0.12	0.07	3056	296	50
709	1845	140	60	0.77	0.054	on	on	0.010	on	on	6468	0.36248	0.13	0.08	3081	295	50
710	609	120	80	0.73	0.047	on	on	0.183	on	on	7008	0.35833	0.13	0.06	2976	300	50
711	880	60	40	0.87	0.019	on	on	0.142	on	on	2088	0.35470	-0.12	0.07	2966	303	50
712	318	140	60	0.78	0.019	on	on	0.072	on	on	6552	0.35452	-0.11	0.07	2905	305	50
713	490	80	60	0.81	0.041	on	on	0.052	on	on	3888	0.35261	-0.14	0.06	3091	296	50
714	281	40	40	0.83	0.020	on	on	0.022	on	on	1328	0.35093	-0.14	0.05	3060	298	50
715	1881	100	40	0.78	0.052	on	on	0.165	on	on	3120	0.35093	-0.14	0.05	3060	298	50
716	620	140	80	0.87	0.053	on	on	0.175	on	on	9744	0.35093	-0.14	0.05	3060	298	50
717	93	140	40	0.75	0.023	on	on	0.028	on	on	4200	0.35071	0.15	0.06	2927	303	50
718	1029	40	40	0.75	0.013	on	on	0.116	on	on	1200	0.34765	-0.14	0.08	2919	305	50
719	595	100	40	0.70	0.042	on	on	0.065	on	on	2800	0.34765	-0.14	0.08	2919	305	50
720	608	140	60	0.70	0.019	on	on	0.134	on	on	5880	0.34765	-0.14	0.08	2919	305	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
721	25	100	60	0.83	0.006	on	on	0.084	on	on	4980	0.34730	0.26	0.11	2845	307	50
722	1835	40	40	0.85	0.016	on	on	0.135	on	on	1360	0.34651	-0.13	0.07	3104	295	50
723	54	100	40	0.78	0.040	on	on	0.055	on	on	3120	0.34545	0.13	0.08	3079	295	50
724	1620	80	80	0.87	0.013	on	on	0.155	on	on	5568	0.34170	-0.14	0.08	2920	305	50
725	523	100	60	0.71	0.041	on	on	0.197	on	on	4260	0.33959	-0.15	0.06	3092	296	50
726	40	140	40	0.82	0.046	on	on	0.062	on	on	4592	0.33959	-0.15	0.06	3092	296	50
727	852	120	40	0.77	0.025	on	on	0.060	on	on	3696	0.33580	0.15	0.06	2926	303	50
728	656	140	40	0.74	0.024	on	on	0.087	on	on	4144	0.33514	-0.14	0.08	2921	305	50
729	31	40	40	0.71	0.019	on	on	0.200	on	on	1136	0.33399	-0.15	0.06	3061	298	50
730	1128	80	80	0.72	0.024	on	on	0.096	on	on	4608	0.33180	0.15	0.07	2912	304	50
731	136	60	40	0.85	0.031	on	on	0.065	on	on	2040	0.33094	-0.13	0.08	2946	304	50
732	814	100	80	0.84	0.047	on	on	0.190	on	on	6720	0.33094	-0.13	0.08	2946	304	50
733	268	80	60	0.75	0.011	on	on	0.168	on	on	3600	0.32978	0.12	0.07	2901	305	50
734	1092	140	40	0.74	0.016	on	on	0.098	on	on	4144	0.32978	0.12	0.07	2901	305	50
735	1065	80	60	0.83	0.051	on	on	0.010	on	on	3984	0.32859	-0.14	0.07	3106	295	50
736	1406	40	40	0.79	0.028	on	on	0.137	on	on	1264	0.32815	-0.14	0.08	2922	305	50
737	569	80	60	0.78	0.042	on	on	0.183	on	on	3744	0.32157	0.13	0.08	3109	294	50
738	831	140	60	0.78	0.033	on	on	0.105	on	on	6552	0.32157	0.13	0.08	3109	294	50
739	552	100	40	0.81	0.038	on	on	0.046	on	on	3240	0.32090	0.12	0.08	3112	294	50
740	1663	60	80	0.78	0.047	on	on	0.093	on	on	3744	0.32081	-0.14	0.08	2923	305	50
741	1821	80	80	0.81	0.039	on	on	0.134	on	on	5184	0.32081	-0.14	0.08	2923	305	50
742	233	120	60	0.79	0.006	on	on	0.187	on	on	5688	0.32081	-0.14	0.08	2923	305	50
743	317	80	40	0.70	0.028	on	on	0.193	on	on	2240	0.32051	-0.12	0.07	3008	301	50
744	518	60	80	0.76	0.047	on	on	0.180	on	on	3648	0.32018	0.15	0.07	2911	304	50
745	1378	100	60	0.71	0.026	on	on	0.129	on	on	4260	0.31961	0.12	0.08	3113	294	50
746	1263	60	80	0.80	0.019	on	on	0.102	on	on	3840	0.31941	-0.14	0.07	3107	295	50
747	1317	100	40	0.83	0.024	on	on	0.027	on	on	3320	0.31915	0.13	0.08	3107	294	50
748	1701	140	60	0.86	0.008	on	on	0.080	on	on	7224	0.31850	-0.16	0.06	3062	298	50
749	1992	140	60	0.87	0.045	on	on	0.141	on	on	7308	0.31698	0.14	0.08	3106	294	50
750	1715	80	40	0.81	0.041	on	on	0.018	on	on	2592	0.31580	-0.16	0.06	3062	298	50
751	415	40	80	0.79	0.007	on	on	0.061	on	on	2528	0.31464	0.13	0.07	2899	305	50
752	1923	80	60	0.79	0.008	on	on	0.049	on	on	3792	0.31464	0.13	0.07	2899	305	50
753	1215	120	60	0.71	0.008	on	on	0.057	on	on	5112	0.31464	0.13	0.07	2899	305	50
754	1651	100	80	0.79	0.007	on	on	0.038	on	on	6320	0.31464	0.13	0.07	2899	305	50
755	703	140	60	0.86	0.023	on	on	0.035	on	on	7224	0.31464	0.13	0.07	2899	305	50
756	1274	120	80	0.79	0.030	on	on	0.139	on	on	7584	0.31437	-0.15	0.06	3045	299	50
757	301	100	40	0.70	0.015	on	on	0.097	on	on	2800	0.31310	-0.15	0.09	2924	305	50
758	1850	100	80	0.79	0.017	on	on	0.175	on	on	6320	0.31310	-0.15	0.09	2924	305	50
759	1180	120	80	0.74	0.043	on	on	0.097	on	on	7104	0.31209	0.12	0.08	3116	294	50
760	1120	80	40	0.76	0.052	on	on	0.032	on	on	2432	0.31010	-0.16	0.06	3079	297	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
761	164	40	80	0.86	0.006	on	on	0.074	on	on	2752	0.31010	-0.16	0.06	3079	297	50
762	707	140	40	0.82	0.053	on	on	0.146	on	on	4592	0.30748	0.14	0.09	3103	294	50
763	263	140	40	0.77	0.011	on	on	0.118	on	on	4312	0.30685	0.14	0.07	2898	305	50
764	72	120	60	0.73	0.022	on	on	0.110	on	on	5256	0.30685	0.14	0.07	2898	305	50
765	175	80	80	0.72	0.050	on	on	0.043	on	on	4608	0.30652	0.15	0.06	2973	300	50
766	857	120	80	0.79	0.044	on	on	0.190	on	on	7584	0.30652	0.15	0.06	2973	300	50
767	1154	100	80	0.85	0.021	on	on	0.070	on	on	6800	0.29508	-0.14	0.09	2894	306	50
768	810	140	80	0.85	0.020	on	on	0.148	on	on	9520	0.29508	-0.14	0.09	2894	306	50
769	1642	40	60	0.87	0.013	on	on	0.020	on	on	2088	0.29505	-0.14	0.09	2894	306	50
770	208	80	40	0.74	0.014	on	on	0.100	on	on	2368	0.29505	-0.14	0.09	2894	306	50
771	1759	60	60	0.80	0.010	on	on	0.134	on	on	2880	0.29505	-0.14	0.09	2894	306	50
772	1266	120	40	0.70	0.020	on	on	0.186	on	on	3360	0.29505	-0.14	0.09	2894	306	50
773	1076	100	40	0.87	0.012	on	on	0.069	on	on	3480	0.29505	-0.14	0.09	2894	306	50
774	949	80	60	0.77	0.012	on	on	0.041	on	on	3696	0.29505	-0.14	0.09	2894	306	50
775	702	60	80	0.85	0.031	on	on	0.200	on	on	4080	0.29505	-0.14	0.09	2894	306	50
776	747	140	40	0.73	0.009	on	on	0.032	on	on	4088	0.29505	-0.14	0.09	2894	306	50
777	103	140	40	0.81	0.021	on	on	0.082	on	on	4536	0.29505	-0.14	0.09	2894	306	50
778	405	100	60	0.76	0.022	on	on	0.193	on	on	4560	0.29505	-0.14	0.09	2894	306	50
779	1208	80	80	0.72	0.025	on	on	0.099	on	on	4608	0.29505	-0.14	0.09	2894	306	50
780	1583	100	80	0.82	0.028	on	on	0.177	on	on	6560	0.29505	-0.14	0.09	2894	306	50
781	823	140	60	0.83	0.027	on	on	0.047	on	on	6972	0.29505	-0.14	0.09	2894	306	50
782	1920	120	80	0.80	0.016	on	on	0.031	on	on	7680	0.29505	-0.14	0.09	2894	306	50
783	239	120	80	0.82	0.009	on	on	0.090	on	on	7872	0.29505	-0.14	0.09	2894	306	50
784	1749	120	80	0.86	0.024	on	on	0.010	on	on	8256	0.29505	-0.14	0.09	2894	306	50
785	202	140	80	0.86	0.027	on	on	0.033	on	on	9632	0.29505	-0.14	0.09	2894	306	50
786	1625	140	80	0.87	0.015	on	on	0.136	on	on	9744	0.29505	-0.14	0.09	2894	306	50
787	47	40	40	0.71	0.012	on	on	0.169	on	on	1136	0.29487	-0.41	0.09	2893	306	50
788	1544	60	60	0.82	0.028	on	on	0.034	on	on	2952	0.29487	-0.14	0.09	2893	306	50
789	1680	80	60	0.82	0.050	on	on	0.156	on	on	3936	0.29487	-0.14	0.09	2893	306	50
790	80	140	40	0.71	0.013	on	on	0.123	on	on	3976	0.29487	-0.14	0.09	2893	306	50
791	1371	120	60	0.85	0.016	on	on	0.049	on	on	6120	0.29487	-0.14	0.09	2893	306	50
792	566	140	60	0.78	0.041	on	on	0.172	on	on	6552	0.29487	-0.14	0.09	2893	306	50
793	1951	140	60	0.78	0.007	on	on	0.034	on	on	6552	0.29487	-0.14	0.09	2893	306	50
794	1457	140	60	0.81	0.034	on	on	0.038	on	on	6804	0.29487	-0.14	0.09	2893	306	50
795	1283	140	60	0.83	0.023	on	on	0.055	on	on	6972	0.29487	-0.14	0.09	2893	306	50
796	995	100	40	0.76	0.021	on	on	0.157	on	on	3040	0.29473	-0.15	0.09	2895	306	50
797	1966	60	80	0.74	0.041	on	on	0.024	on	on	3552	0.29473	-0.15	0.09	2895	306	50
798	1035	80	80	0.71	0.008	on	on	0.194	on	on	4544	0.29473	-0.15	0.09	2895	306	50
799	1367	140	60	0.71	0.019	on	on	0.165	on	on	5964	0.29473	-0.15	0.09	2895	306	50
800	1159	100	80	0.80	0.022	on	on	0.043	on	on	6400	0.29473	-0.15	0.09	2895	306	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
801	1002	80	40	0.70	0.025	on	on	0.095	on	on	2240	0.29417	-0.14	0.09	2891	306	50
802	1613	80	60	0.76	0.025	on	on	0.053	on	on	3648	0.29417	-0.14	0.09	2892	306	50
803	1164	80	80	0.70	0.013	on	on	0.016	on	on	4480	0.29417	-0.14	0.09	2892	306	50
804	66	80	80	0.75	0.014	on	on	0.057	on	on	4800	0.29417	-0.14	0.09	2892	306	50
805	933	80	80	0.78	0.011	on	on	0.124	on	on	4992	0.29417	-0.14	0.09	2892	306	50
806	41	80	80	0.86	0.016	on	on	0.137	on	on	5504	0.29417	-0.14	0.09	2892	306	50
807	982	140	80	0.71	0.022	on	on	0.014	on	on	7952	0.29417	-0.14	0.09	2892	306	50
808	1143	80	40	0.75	0.018	on	on	0.170	on	on	2400	0.29397	-0.15	0.09	2896	306	50
809	1969	120	40	0.78	0.030	on	on	0.191	on	on	3744	0.29397	-0.15	0.09	2896	306	50
810	1711	140	40	0.70	0.045	on	on	0.049	on	on	3920	0.29397	-0.15	0.09	2896	306	50
811	480	80	80	0.74	0.042	on	on	0.162	on	on	4736	0.29397	-0.15	0.09	2896	306	50
812	1258	80	80	0.87	0.029	on	on	0.056	on	on	5568	0.29397	-0.15	0.09	2896	306	50
813	1942	120	60	0.84	0.019	on	on	0.164	on	on	6048	0.29397	-0.15	0.09	2896	306	50
814	305	140	80	0.76	0.028	on	on	0.166	on	on	8512	0.29397	-0.15	0.09	2896	306	50
815	1503	60	40	0.78	0.047	on	on	0.070	on	on	1872	0.29279	-0.14	0.09	2891	306	50
816	1050	80	60	0.79	0.026	on	on	0.036	on	on	3792	0.29279	-0.14	0.09	2891	306	50
817	826	120	40	0.80	0.021	on	on	0.044	on	on	3840	0.29279	-0.14	0.09	2891	306	50
818	556	60	80	0.85	0.011	on	on	0.069	on	on	4080	0.29279	-0.14	0.09	2891	306	50
819	740	120	60	0.75	0.012	on	on	0.031	on	on	5400	0.29279	-0.14	0.09	2891	306	50
820	345	120	60	0.84	0.028	on	on	0.105	on	on	6048	0.29279	-0.14	0.09	2891	306	50
821	1443	140	80	0.70	0.028	on	on	0.043	on	on	7840	0.29279	-0.14	0.09	2891	306	50
822	1223	140	80	0.78	0.017	on	on	0.118	on	on	8736	0.29279	-0.14	0.09	2891	306	50
823	581	60	40	0.75	0.051	on	on	0.153	on	on	1800	0.29256	-0.15	0.09	2897	306	50
824	921	100	40	0.79	0.011	on	on	0.029	on	on	3160	0.29256	-0.15	0.09	2897	306	50
825	1239	120	40	0.83	0.025	on	on	0.040	on	on	3984	0.29256	-0.15	0.09	2897	306	50
826	1325	120	60	0.77	0.050	on	on	0.054	on	on	5544	0.29256	-0.15	0.09	2897	306	50
827	59	120	60	0.84	0.028	on	on	0.020	on	on	6048	0.29256	-0.15	0.09	2897	306	50
828	662	60	40	0.77	0.023	on	on	0.178	on	on	1848	0.29133	0.15	0.07	2972	300	50
829	1216	100	40	0.78	0.028	on	on	0.082	on	on	3120	0.29084	-0.13	0.09	2890	306	50
830	348	120	60	0.75	0.015	on	on	0.148	on	on	5400	0.29084	-0.13	0.09	2890	306	50
831	1792	80	80	0.87	0.025	on	on	0.181	on	on	5568	0.29084	-0.13	0.09	2890	306	50
832	241	100	80	0.84	0.046	on	on	0.198	on	on	6720	0.29084	-0.13	0.09	2890	306	50
833	1430	40	80	0.71	0.031	on	on	0.021	on	on	2272	0.29063	0.15	0.08	2896	305	50
834	1336	100	40	0.70	0.023	on	on	0.079	on	on	2800	0.29055	-0.15	0.09	2898	306	50
835	1212	140	40	0.83	0.050	on	on	0.129	on	on	4648	0.29055	-0.15	0.09	2898	306	50
836	1124	120	60	0.74	0.041	on	on	0.174	on	on	5328	0.29055	-0.02	0.09	2898	306	50
837	1599	40	80	0.72	0.021	on	on	0.090	on	on	2304	0.29002	-0.13	0.08	3121	294	50
838	851	80	40	0.78	0.045	on	on	0.034	on	on	2496	0.29002	-0.13	0.08	3121	294	50
839	1036	40	40	0.75	0.013	on	on	0.169	on	on	1200	0.28868	0.15	0.09	3099	294	50
840	133	140	40	0.74	0.042	on	on	0.193	on	on	4144	0.28858	-0.13	0.09	2889	306	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
841	1921	140	40	0.74	0.049	on	on	0.161	on	on	4144	0.28858	-0.13	0.09	2889	306	50
842	1533	100	60	0.81	0.010	on	on	0.097	on	on	4860	0.28858	-0.13	0.09	2889	306	50
843	605	120	60	0.71	0.026	on	on	0.133	on	on	5112	0.28858	-0.13	0.09	2889	306	50
844	1716	140	40	0.71	0.034	on	on	0.163	on	on	3976	0.28566	-0.13	0.09	2888	306	50
845	1940	120	40	0.85	0.013	on	on	0.079	on	on	4080	0.28566	-0.13	0.09	2888	306	50
846	777	140	80	0.84	0.032	on	on	0.038	on	on	9408	0.28566	-0.13	0.09	2888	306	50
847	162	80	60	0.83	0.012	on	on	0.172	on	on	3984	0.28525	-0.16	0.09	2900	306	50
848	198	80	60	0.87	0.034	on	on	0.049	on	on	4176	0.28525	-0.16	0.09	2900	306	50
849	1418	100	80	0.87	0.012	on	on	0.157	on	on	6960	0.28525	-0.16	0.09	2900	306	50
850	70	100	40	0.82	0.045	on	on	0.070	on	on	3280	0.28461	-0.14	0.08	3122	294	50
851	126	80	60	0.71	0.030	on	on	0.054	on	on	3408	0.28229	-0.13	0.09	2887	306	50
852	1549	140	80	0.71	0.022	on	on	0.050	on	on	7952	0.28229	-0.13	0.09	2887	306	50
853	1681	140	80	0.85	0.044	on	on	0.092	on	on	9520	0.28229	-0.13	0.09	2887	306	50
854	229	60	60	0.70	0.017	on	on	0.085	on	on	2520	0.28189	-0.16	0.09	2901	306	50
855	1249	60	60	0.70	0.024	on	on	0.151	on	on	2520	0.27865	-0.13	0.09	2886	306	50
856	1935	60	60	0.75	0.011	on	on	0.086	on	on	2700	0.27811	-0.16	0.09	2902	306	50
857	1043	100	60	0.75	0.027	on	on	0.050	on	on	4500	0.27811	-0.16	0.09	2902	306	50
858	583	80	40	0.85	0.049	on	on	0.040	on	on	2720	0.27666	-0.13	0.07	3011	301	50
859	1751	60	60	0.71	0.011	on	on	0.176	on	on	2556	0.27452	0.13	0.09	2885	306	50
860	1312	60	40	0.81	0.027	on	on	0.169	on	on	1944	0.27405	0.16	0.08	2894	305	50
861	1959	40	60	0.71	0.015	on	on	0.179	on	on	1704	0.26920	-0.16	0.10	2904	306	50
862	1417	100	60	0.87	0.034	on	on	0.110	on	on	5220	0.26702	-0.15	0.08	3125	294	50
863	833	80	80	0.87	0.007	on	on	0.152	on	on	5568	0.26702	-0.15	0.08	3125	294	50
864	510	40	80	0.73	0.025	on	on	0.145	on	on	2336	0.26581	0.17	0.08	2893	305	50
865	1961	60	40	0.75	0.030	on	on	0.166	on	on	1800	0.26539	0.14	0.09	2883	306	50
866	1836	100	60	0.79	0.013	on	on	0.097	on	on	4740	0.26539	0.14	0.09	2883	306	50
867	398	100	60	0.80	0.051	on	on	0.177	on	on	4800	0.26532	0.16	0.10	3095	294	50
868	1896	60	60	0.73	0.041	on	on	0.076	on	on	2628	0.26530	0.18	0.07	2906	304	50
869	860	120	80	0.77	0.022	on	on	0.021	on	on	7392	0.26489	-0.17	0.10	2905	306	50
870	122	60	40	0.79	0.027	on	on	0.063	on	on	1896	0.26292	-0.14	0.08	2973	303	50
871	688	40	40	0.70	0.030	on	on	0.069	on	on	1120	0.26101	-0.16	0.08	3126	294	50
872	1962	80	60	0.78	0.044	on	on	0.169	on	on	3744	0.26101	-0.16	0.08	3126	294	50
873	299	140	80	0.74	0.048	on	on	0.191	on	on	8288	0.26101	-0.16	0.08	3126	294	50
874	1116	40	40	0.74	0.013	on	on	0.066	on	on	1184	0.26029	0.14	0.09	2882	306	50
875	1319	100	40	0.81	0.038	on	on	0.115	on	on	3240	0.26029	0.14	0.09	2882	306	50
876	781	100	40	0.82	0.038	on	on	0.105	on	on	3280	0.25592	0.15	0.10	3129	293	50
877	254	120	60	0.73	0.053	on	on	0.183	on	on	5256	0.25592	0.15	0.10	3129	293	50
878	487	120	40	0.76	0.046	on	on	0.054	on	on	3648	0.25575	0.15	0.10	3128	293	50
879	1138	80	80	0.85	0.043	on	on	0.037	on	on	5440	0.25538	0.16	0.10	3127	293	50
880	1670	140	80	0.87	0.032	on	on	0.094	on	on	9744	0.25537	0.16	0.10	3127	293	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
881	353	140	40	0.85	0.009	on	on	0.191	on	on	4760	0.25499	0.15	0.09	2881	306	50
882	406	100	60	0.82	0.034	on	on	0.102	on	on	4920	0.25499	0.15	0.09	2881	306	50
883	1160	120	60	0.80	0.040	on	on	0.072	on	on	5760	0.25499	0.15	0.09	2881	306	50
884	92	80	60	0.81	0.039	on	on	0.018	on	on	3888	0.25405	0.15	0.10	3132	293	50
885	1647	40	40	0.75	0.036	on	on	0.155	on	on	1200	0.25321	0.16	0.10	3125	293	50
886	1916	100	40	0.85	0.015	on	on	0.062	on	on	3400	0.25321	0.16	0.10	3125	293	50
887	1475	100	40	0.79	0.039	on	on	0.098	on	on	3160	0.25262	0.14	0.09	3133	293	50
888	1806	100	80	0.77	0.040	on	on	0.087	on	on	6160	0.25262	0.14	0.09	3133	293	50
889	1741	40	60	0.72	0.007	on	on	0.096	on	on	1728	0.24956	0.16	0.09	2880	306	50
890	560	100	60	0.84	0.042	on	on	0.027	on	on	5040	0.24956	0.16	0.09	2880	306	50
891	1839	140	40	0.79	0.025	on	on	0.169	on	on	4424	0.24940	0.16	0.09	2879	306	50
892	1151	40	40	0.75	0.009	on	on	0.038	on	on	1200	0.24837	-0.17	0.08	3128	294	50
893	1958	100	80	0.85	0.022	on	on	0.094	on	on	6800	0.24837	-0.17	0.08	3128	294	50
894	1953	140	40	0.75	0.041	on	on	0.193	on	on	4200	0.24658	0.14	0.09	3136	293	50
895	1521	120	60	0.76	0.051	on	on	0.039	on	on	5472	0.24502	-0.17	0.10	3121	293	50
896	1871	80	80	0.70	0.046	on	on	0.182	on	on	4480	0.24377	0.18	0.07	2951	301	50
897	19	60	80	0.71	0.023	on	on	0.121	on	on	3408	0.24364	-0.17	0.10	2909	306	50
898	1234	120	80	0.84	0.046	on	on	0.027	on	on	8064	0.24364	-0.17	0.10	2909	306	50
899	1082	140	40	0.83	0.027	on	on	0.168	on	on	4648	0.24164	-0.14	0.09	2975	303	50
900	298	100	80	0.77	0.030	on	on	0.078	on	on	6160	0.24088	-0.19	0.07	3068	298	50
901	1341	80	80	0.85	0.023	on	on	0.043	on	on	5440	0.24078	-0.17	0.10	2933	305	50
902	1387	80	40	0.75	0.054	on	on	0.139	on	on	2400	0.23893	0.17	0.10	3119	293	50
903	1655	60	40	0.80	0.048	on	on	0.036	on	on	1920	0.23845	0.16	0.08	2986	299	50
904	1894	60	60	0.86	0.008	on	on	0.101	on	on	3096	0.23820	0.17	0.09	2878	306	50
905	240	100	60	0.82	0.042	on	on	0.164	on	on	4920	0.23820	0.17	0.09	2878	306	50
906	425	40	60	0.85	0.009	on	on	0.178	on	on	2040	0.23802	0.17	0.09	2878	306	50
907	78	140	40	0.84	0.051	on	on	0.043	on	on	4704	0.23796	-0.17	0.10	2877	307	50
908	257	80	60	0.77	0.017	on	on	0.033	on	on	3696	0.23788	-0.18	0.10	2910	306	50
909	1860	140	80	0.78	0.028	on	on	0.116	on	on	8736	0.23788	-0.16	0.10	2876	307	50
910	110	120	80	0.83	0.038	on	on	0.045	on	on	7968	0.23781	-0.14	0.09	3139	293	50
911	295	60	60	0.81	0.022	on	on	0.047	on	on	2916	0.23755	-0.17	0.10	2878	307	50
912	517	120	80	0.78	0.032	on	on	0.190	on	on	7488	0.23444	-0.17	0.10	2881	307	50
913	51	40	80	0.82	0.031	on	on	0.194	on	on	2624	0.23438	-0.15	0.09	3140	293	50
914	1900	80	80	0.77	0.009	on	on	0.068	on	on	4928	0.23429	-0.16	0.10	2872	307	50
915	787	140	40	0.74	0.021	on	on	0.135	on	on	4144	0.23245	-0.15	0.10	2871	307	50
916	868	80	80	0.77	0.013	on	on	0.027	on	on	4928	0.23239	0.17	0.09	2877	306	50
917	143	80	80	0.82	0.054	on	on	0.041	on	on	5248	0.23239	0.17	0.09	2877	306	50
918	734	140	60	0.82	0.048	on	on	0.165	on	on	6888	0.23239	0.17	0.09	2877	306	50
919	1022	60	80	0.87	0.051	on	on	0.079	on	on	4176	0.23215	-0.18	0.10	2911	306	50
920	470	60	80	0.77	0.007	on	on	0.152	on	on	3696	0.23036	-0.15	0.10	2870	307	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
921	1388	100	60	0.82	0.044	on	on	0.073	on	on	4920	0.23036	-0.15	0.10	2870	307	50
922	1099	120	60	0.71	0.053	on	on	0.119	on	on	5112	0.23036	-0.15	0.10	2870	307	50
923	1048	40	40	0.83	0.030	on	on	0.101	on	on	1328	0.22921	-0.20	0.07	3086	297	50
924	1947	100	60	0.79	0.036	on	on	0.035	on	on	4740	0.22848	-0.18	0.11	2884	307	50
925	326	100	80	0.79	0.035	on	on	0.101	on	on	6320	0.22848	-0.18	0.11	2884	307	50
926	369	80	80	0.75	0.048	on	on	0.058	on	on	4800	0.22822	0.18	0.11	3116	293	50
927	467	40	60	0.79	0.042	on	on	0.180	on	on	1896	0.22702	0.17	0.11	3088	294	50
928	149	100	80	0.87	0.052	on	on	0.065	on	on	6960	0.22691	-0.16	0.09	3142	293	50
929	1329	120	40	0.86	0.032	on	on	0.107	on	on	4128	0.22625	-0.18	0.11	2912	306	50
930	1172	80	80	0.83	0.007	on	on	0.017	on	on	5312	0.22537	-0.15	0.10	2866	307	50
931	1369	120	80	0.76	0.022	on	on	0.085	on	on	7296	0.22390	-0.15	0.10	2867	307	50
932	497	80	60	0.71	0.047	on	on	0.139	on	on	3408	0.22239	-0.15	0.10	2867	307	50
933	926	120	40	0.71	0.020	on	on	0.192	on	on	3408	0.22239	-0.15	0.10	2867	307	50
934	871	80	80	0.83	0.030	on	on	0.185	on	on	5312	0.22239	-0.15	0.10	2867	307	50
935	196	140	60	0.80	0.028	on	on	0.099	on	on	6720	0.22239	-0.15	0.10	2867	307	50
936	1107	140	60	0.82	0.038	on	on	0.016	on	on	6888	0.22239	0.15	0.10	2867	307	50
937	1229	40	80	0.73	0.012	on	on	0.194	on	on	2336	0.22205	0.19	0.08	2949	301	50
938	453	100	60	0.87	0.024	on	on	0.087	on	on	5220	0.22172	-0.20	0.08	3103	296	50
939	906	140	80	0.80	0.041	on	on	0.128	on	on	8960	0.22172	-0.20	0.08	3103	296	50
940	1436	140	60	0.79	0.022	on	on	0.093	on	on	6636	0.22065	0.18	0.09	2875	306	50
941	996	140	80	0.71	0.050	on	on	0.162	on	on	7952	0.22065	-0.18	0.09	2875	306	50
942	316	100	80	0.72	0.009	on	on	0.143	on	on	5760	0.21932	0.15	0.10	2866	307	50
943	529	60	40	0.70	0.045	on	on	0.149	on	on	1680	0.21822	0.18	0.08	2966	300	50
944	256	140	40	0.74	0.037	on	on	0.067	on	on	4144	0.21661	-0.19	0.11	2888	307	50
945	1106	80	40	0.85	0.048	on	on	0.102	on	on	2720	0.21601	0.18	0.11	3113	293	50
946	154	60	60	0.81	0.044	on	on	0.034	on	on	2916	0.21583	0.16	0.10	2865	307	50
947	407	100	80	0.70	0.052	on	on	0.070	on	on	5600	0.21460	-0.64	0.39	2548	328	50
948	1575	120	80	0.77	0.024	on	on	0.015	on	on	7392	0.21456	-0.18	0.11	2914	306	50
949	1527	140	40	0.72	0.047	on	on	0.035	on	on	4032	0.21311	-0.09	0.11	2889	307	50
950	1080	80	80	0.76	0.029	on	on	0.074	on	on	4864	0.21227	0.16	0.10	2864	307	50
951	669	120	80	0.76	0.025	on	on	0.149	on	on	7296	0.21227	0.16	0.10	2864	307	50
952	1807	100	40	0.79	0.038	on	on	0.017	on	on	3160	0.21066	-0.20	0.09	3134	294	50
953	841	80	60	0.77	0.022	on	on	0.115	on	on	3696	0.20939	-0.19	0.11	2890	307	50
954	1705	60	80	0.81	0.027	on	on	0.019	on	on	3888	0.20933	0.21	0.08	2915	303	50
955	1755	40	60	0.75	0.053	on	on	0.135	on	on	1800	0.20884	-0.19	0.11	2915	306	50
956	1852	80	80	0.86	0.024	on	on	0.094	on	on	5504	0.20856	0.17	0.10	2862	307	50
957	983	120	60	0.80	0.009	on	on	0.171	on	on	5760	0.20856	0.17	0.10	2863	307	50
958	313	60	40	0.72	0.031	on	on	0.099	on	on	1728	0.20566	0.18	0.11	3145	292	50
959	1445	100	40	0.78	0.035	on	on	0.108	on	on	3120	0.20566	0.18	0.11	3145	292	50
960	1376	80	40	0.76	0.029	on	on	0.088	on	on	2432	0.20495	0.18	0.11	3144	292	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
961	157	120	60	0.85	0.052	on	on	0.116	on	on	6120	0.20495	0.18	0.11	3144	292	50
962	1243	100	40	0.78	0.044	on	on	0.200	on	on	3120	0.20467	0.17	0.10	2862	307	50
963	100	80	60	0.76	0.031	on	on	0.030	on	on	3648	0.20467	0.17	0.10	2862	307	50
964	1167	140	40	0.85	0.028	on	on	0.132	on	on	4760	0.20395	0.21	0.09	2885	305	50
965	1254	140	80	0.72	0.025	on	on	0.043	on	on	8064	0.20313	-0.19	0.11	2916	306	50
966	134	100	60	0.76	0.048	on	on	0.015	on	on	4560	0.20226	-0.21	0.08	3072	298	50
967	866	40	60	0.84	0.024	on	on	0.062	on	on	2016	0.20164	-0.20	0.12	2892	307	50
968	1374	100	60	0.79	0.036	on	on	0.177	on	on	4740	0.20069	0.18	0.10	2861	307	50
969	1260	80	80	0.87	0.043	on	on	0.039	on	on	5568	0.19887	0.18	0.09	2982	299	50
970	1185	140	80	0.77	0.045	on	on	0.043	on	on	8624	0.19667	-0.16	0.10	2980	303	50
971	417	120	80	0.86	0.040	on	on	0.064	on	on	8256	0.19661	0.18	0.10	2860	307	50
972	1233	140	80	0.85	0.046	on	on	0.160	on	on	9520	0.19661	0.18	0.10	2860	307	50
973	15	80	80	0.83	0.045	on	on	0.143	on	on	5312	0.19637	0.16	0.11	3157	292	50
974	457	60	40	0.84	0.038	on	on	0.188	on	on	2016	0.19497	-0.19	0.12	2859	308	50
975	1476	80	80	0.70	0.032	on	on	0.037	on	on	4480	0.19497	-0.19	0.12	2859	308	50
976	817	140	80	0.81	0.010	on	on	0.026	on	on	9072	0.19497	-0.19	0.12	2589	308	50
977	418	140	60	0.85	0.047	on	on	0.140	on	on	7140	0.19489	-0.19	0.12	2860	308	50
978	1001	140	60	0.85	0.040	on	on	0.062	on	on	7140	0.19489	-0.09	0.12	2860	308	50
979	456	140	60	0.81	0.043	on	on	0.112	on	on	6804	0.19463	-0.19	0.12	2861	308	50
980	1420	80	60	0.77	0.008	on	on	0.116	on	on	3696	0.19428	-0.18	0.11	2857	308	50
981	968	80	80	0.71	0.037	on	on	0.072	on	on	4544	0.19428	-0.18	0.11	2857	308	50
982	1355	120	80	0.75	0.039	on	on	0.178	on	on	7200	0.19428	-0.18	0.11	2857	308	50
983	908	120	80	0.85	0.029	on	on	0.163	on	on	8160	0.19428	-0.18	0.11	2857	308	50
984	524	140	80	0.76	0.037	on	on	0.029	on	on	8512	0.19428	-0.02	0.11	2857	308	50
985	1952	80	60	0.80	0.041	on	on	0.106	on	on	3840	0.19361	-0.18	0.11	2856	308	50
986	128	100	60	0.71	0.052	on	on	0.125	on	on	4260	0.19361	-0.18	0.11	2856	308	50
987	1844	80	80	0.83	0.043	on	on	0.137	on	on	5312	0.19355	-0.20	0.12	2894	307	50
988	404	40	60	0.78	0.031	on	on	0.125	on	on	1872	0.19265	-0.18	0.11	2855	308	50
989	939	120	40	0.72	0.039	on	on	0.177	on	on	3456	0.19188	-0.16	0.11	3159	292	50
990	1441	120	80	0.71	0.035	on	on	0.088	on	on	6816	0.19176	-0.19	0.11	2918	306	50
991	1366	140	60	0.79	0.046	on	on	0.068	on	on	6636	0.19150	-0.18	0.11	2854	308	50
992	1463	80	40	0.76	0.046	on	on	0.049	on	on	2432	0.19049	-0.18	0.11	2940	305	50
993	153	140	80	0.84	0.014	on	on	0.023	on	on	9408	0.18997	-0.20	0.12	2866	308	50
994	234	120	80	0.86	0.045	on	on	0.138	on	on	8256	0.18965	-0.20	0.12	2866	308	50
995	39	120	80	0.87	0.016	on	on	0.143	on	on	8352	0.18965	-0.20	0.12	2866	308	50
996	861	120	80	0.79	0.040	on	on	0.138	on	on	7584	0.18828	0.19	0.10	2858	307	50
997	663	120	60	0.85	0.046	on	on	0.148	on	on	6120	0.18799	-0.20	0.12	2867	308	50
998	1808	120	40	0.86	0.053	on	on	0.111	on	on	4128	0.18670	-0.17	0.11	2851	308	50
999	1018	60	40	0.76	0.040	on	on	0.170	on	on	1824	0.18614	0.20	0.12	3134	292	50
1000	1607	140	80	0.86	0.052	on	on	0.137	on	on	9632	0.18592	0.21	0.10	2869	306	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
1001	912	100	80	0.71	0.015	on	on	0.050	on	on	5680	0.18412	-0.17	0.11	3162	292	50
1002	347	80	60	0.71	0.046	on	on	0.166	on	on	3408	0.18273	0.21	0.09	2962	300	50
1003	981	140	80	0.73	0.013	on	on	0.024	on	on	8176	0.18260	-0.17	0.11	2849	308	50
1004	819	140	80	0.80	0.020	on	on	0.163	on	on	8960	0.18260	-0.17	0.11	2849	308	50
1005	1563	80	60	0.79	0.035	on	on	0.052	on	on	3792	0.18220	0.24	0.15	3206	289	50
1006	1421	140	80	0.70	0.021	on	on	0.064	on	on	7840	0.18033	0.17	0.11	2848	308	50
1007	1978	80	80	0.78	0.041	on	on	0.128	on	on	4992	0.18009	-0.21	0.12	2897	307	50
1008	634	80	40	0.81	0.016	on	on	0.125	on	on	2592	0.17968	-0.21	0.12	2871	308	50
1009	1123	60	40	0.74	0.017	on	on	0.101	on	on	1776	0.17874	-0.11	0.05	3069	297	50
1010	877	120	40	0.70	0.049	on	on	0.192	on	on	3360	0.17736	-0.27	0.13	3197	291	50
1011	1653	40	80	0.84	0.038	on	on	0.119	on	on	2688	0.17673	-0.21	0.12	2898	307	50
1012	682	60	40	0.77	0.038	on	on	0.035	on	on	1848	0.17477	0.20	0.09	2979	299	50
1013	327	60	40	0.78	0.035	on	on	0.186	on	on	1872	0.17394	0.18	0.11	3058	295	50
1014	1772	140	40	0.70	0.047	on	on	0.164	on	on	3920	0.17042	-0.20	0.12	2922	306	50
1015	1127	140	40	0.72	0.046	on	on	0.149	on	on	4032	0.16919	0.20	0.13	3167	291	50
1016	1545	120	60	0.78	0.048	on	on	0.028	on	on	5616	0.16897	0.19	0.12	3168	291	50
1017	1728	60	40	0.84	0.013	on	on	0.053	on	on	2016	0.16677	0.19	0.11	2843	308	50
1018	1971	120	80	0.70	0.035	on	on	0.199	on	on	6720	0.16612	-0.22	0.13	2876	308	50
1019	1710	80	80	0.81	0.043	on	on	0.111	on	on	5184	0.16475	0.24	0.10	2865	306	50
1020	1240	120	40	0.77	0.041	on	on	0.134	on	on	3696	0.16473	0.18	0.12	3174	291	50
1021	722	60	60	0.80	0.048	on	on	0.010	on	on	2880	0.16196	-0.21	0.13	2842	309	50
1022	454	100	60	0.87	0.042	on	on	0.102	on	on	5220	0.16190	-0.21	0.13	2843	309	50
1023	872	140	60	0.77	0.053	on	on	0.115	on	on	6468	0.16171	0.22	0.13	3126	292	50
1024	1774	40	40	0.72	0.043	on	on	0.114	on	on	1152	0.16134	0.17	0.11	3015	297	50
1025	309	40	40	0.84	0.008	on	on	0.104	on	on	1344	0.16106	-0.24	0.10	3143	294	50
1026	739	80	40	0.74	0.042	on	on	0.036	on	on	2368	0.16106	-0.24	0.10	3143	294	50
1027	978	120	80	0.75	0.054	on	on	0.067	on	on	7200	0.16088	0.21	0.10	2977	299	50
1028	172	100	80	0.87	0.017	on	on	0.099	on	on	6960	0.16074	-0.22	0.13	2846	309	50
1029	923	120	80	0.77	0.030	on	on	0.010	on	on	7392	0.16074	-0.22	0.13	2846	309	50
1030	1354	120	60	0.84	0.038	on	on	0.110	on	on	6048	0.16059	-0.23	0.09	3060	299	50
1031	1178	140	40	0.71	0.008	on	on	0.178	on	on	3976	0.15981	0.24	0.10	2864	306	50
1032	670	100	60	0.82	0.032	on	on	0.054	on	on	4920	0.15880	-0.20	0.13	2836	309	50
1033	1950	40	40	0.74	0.006	on	on	0.132	on	on	1184	0.15817	-0.22	0.13	2849	309	50
1034	1708	140	80	0.79	0.028	on	on	0.156	on	on	8848	0.15817	-0.22	0.13	2849	309	50
1035	366	120	80	0.72	0.035	on	on	0.136	on	on	6912	0.15750	-0.18	0.12	3179	291	50
1036	1431	40	80	0.82	0.031	on	on	0.049	on	on	2624	0.15706	-0.23	0.13	2879	308	50
1037	677	140	80	0.71	0.033	on	on	0.127	on	on	7952	0.15697	-0.23	0.13	2850	309	50
1038	1840	40	60	0.73	0.008	on	on	0.095	on	on	1752	0.15647	-0.19	0.13	2834	309	50
1039	596	60	40	0.81	0.043	on	on	0.107	on	on	1944	0.15647	-0.19	0.13	2834	309	50
1040	421	80	40	0.76	0.030	on	on	0.079	on	on	2432	0.15647	-0.19	0.13	2834	309	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
1041	615	40	60	0.83	0.046	on	on	0.136	on	on	1992	0.15492	0.25	0.10	2863	306	50
1042	952	60	80	0.79	0.050	on	on	0.103	on	on	3792	0.15427	-0.23	0.15	2852	309	50
1043	409	60	40	0.84	0.049	on	on	0.086	on	on	2016	0.15373	-0.19	0.12	3181	291	50
1044	1891	40	80	0.87	0.021	on	on	0.087	on	on	2784	0.15373	-0.19	0.12	3181	291	50
1045	701	120	60	0.75	0.040	on	on	0.130	on	on	5400	0.15360	-0.19	0.13	2832	309	50
1046	109	40	80	0.77	0.037	on	on	0.059	on	on	2464	0.15306	-0.25	0.09	3113	296	50
1047	1456	140	60	0.80	0.031	on	on	0.166	on	on	6720	0.15270	-0.23	0.14	2853	309	50
1048	1192	120	80	0.72	0.029	on	on	0.094	on	on	6912	0.15270	-0.23	0.14	2853	309	50
1049	1859	40	60	0.81	0.008	on	on	0.035	on	on	1944	0.15195	-0.19	0.13	2831	309	50
1050	1750	140	80	0.79	0.053	on	on	0.159	on	on	8848	0.15053	-0.20	0.12	2947	305	50
1051	247	100	60	0.74	0.022	on	on	0.163	on	on	4440	0.14832	0.19	0.13	2829	309	50
1052	1882	120	40	0.78	0.018	on	on	0.184	on	on	3744	0.14727	-0.24	0.14	2856	309	50
1053	1262	80	60	0.76	0.037	on	on	0.166	on	on	3648	0.14491	0.23	0.12	2836	308	50
1054	1450	100	40	0.81	0.046	on	on	0.114	on	on	3240	0.14438	0.20	0.13	2827	309	50
1055	1863	80	60	0.85	0.018	on	on	0.040	on	on	4080	0.14438	0.20	0.13	2827	309	50
1056	1086	120	80	0.84	0.007	on	on	0.148	on	on	8064	0.14438	0.20	0.13	2827	309	50
1057	985	80	60	0.71	0.033	on	on	0.105	on	on	3408	0.14323	-0.21	0.12	3186	291	50
1058	876	40	80	0.76	0.010	on	on	0.133	on	on	2432	0.14196	-0.26	0.11	3162	293	50
1059	462	40	40	0.82	0.054	on	on	0.030	on	on	1312	0.14053	0.22	0.14	3185	290	50
1060	1460	80	40	0.86	0.031	on	on	0.168	on	on	2752	0.14046	0.22	0.14	3184	290	50
1061	1534	120	40	0.79	0.050	on	on	0.168	on	on	3792	0.14045	0.22	0.14	3187	290	50
1062	811	120	60	0.78	0.050	on	on	0.081	on	on	5616	0.14017	0.22	0.14	3188	290	50
1063	1375	80	40	0.73	0.043	on	on	0.055	on	on	2336	0.14009	0.21	0.13	3073	294	50
1064	612	60	40	0.73	0.036	on	on	0.194	on	on	1752	0.13967	0.27	0.10	2889	304	50
1065	862	60	60	0.76	0.038	on	on	0.198	on	on	2736	0.13954	-0.19	0.12	2989	303	50
1066	1780	100	60	0.80	0.034	on	on	0.088	on	on	4800	0.13869	-0.22	0.12	3188	291	50
1067	1145	120	80	0.77	0.033	on	on	0.157	on	on	7392	0.13804	0.23	0.13	2821	309	50
1068	1261	100	60	0.80	0.016	on	on	0.047	on	on	4800	0.13796	-0.22	0.13	2929	306	50
1069	324	40	80	0.82	0.013	on	on	0.175	on	on	2624	0.13784	0.22	0.13	2824	309	50
1070	1345	60	80	0.76	0.034	on	on	0.055	on	on	3648	0.13784	0.22	0.13	2824	309	50
1071	649	120	40	0.70	0.054	on	on	0.097	on	on	3360	0.13778	-0.25	0.10	3064	299	50
1072	642	80	60	0.85	0.027	on	on	0.012	on	on	4080	0.13643	-0.23	0.14	2826	310	50
1073	795	140	40	0.86	0.015	on	on	0.075	on	on	4816	0.13643	-0.23	0.14	2826	310	50
1074	1368	60	60	0.76	0.029	on	on	0.168	on	on	2736	0.13617	-0.23	0.14	2823	310	50
1075	1832	140	40	0.72	0.034	on	on	0.184	on	on	4032	0.13617	-0.23	0.01	2823	310	50
1076	52	80	80	0.70	0.033	on	on	0.181	on	on	4480	0.13599	-0.24	0.14	2828	310	50
1077	333	140	60	0.83	0.013	on	on	0.156	on	on	6972	0.13599	-0.24	0.14	2828	310	50
1078	1073	120	80	0.83	0.048	on	on	0.041	on	on	7968	0.13599	-0.24	0.14	2828	310	50
1079	725	100	40	0.76	0.039	on	on	0.197	on	on	3040	0.13590	0.24	0.15	3144	291	50
1080	207	40	60	0.86	0.050	on	on	0.095	on	on	2064	0.13541	-0.22	0.14	2821	310	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
1081	720	60	60	0.77	0.024	on	on	0.055	on	on	2772	0.13541	-0.22	0.14	2821	310	50
1082	451	100	80	0.81	0.033	on	on	0.110	on	on	6480	0.13541	0.25	0.12	2833	308	50
1083	1542	60	60	0.70	0.013	on	on	0.150	on	on	2520	0.13503	-0.24	0.15	2830	310	50
1084	1777	120	60	0.86	0.030	on	on	0.148	on	on	6192	0.13417	-0.22	0.14	2819	310	50
1085	1932	140	80	0.81	0.024	on	on	0.160	on	on	9072	0.13417	-0.22	0.14	2819	310	50
1086	1333	60	60	0.75	0.023	on	on	0.059	on	on	2700	0.13362	0.20	0.14	3197	290	50
1087	1854	60	40	0.81	0.034	on	on	0.068	on	on	1944	0.13249	-0.21	0.14	2817	310	50
1088	807	60	80	0.86	0.007	on	on	0.024	on	on	4128	0.13148	-0.21	0.14	2816	310	50
1089	500	60	60	0.79	0.053	on	on	0.187	on	on	2844	0.13042	-0.21	0.14	2815	310	50
1090	1529	140	60	0.81	0.023	on	on	0.176	on	on	6804	0.13042	-0.21	0.14	2815	310	50
1091	495	120	60	0.70	0.053	on	on	0.047	on	on	5040	0.12969	0.22	0.12	2990	298	50
1092	165	40	80	0.73	0.028	on	on	0.045	on	on	2336	0.12870	0.25	0.15	3141	291	50
1093	1925	40	80	0.74	0.009	on	on	0.013	on	on	2368	0.12842	0.24	0.13	2820	309	50
1094	1572	60	60	0.72	0.012	on	on	0.113	on	on	2592	0.12782	-0.21	0.13	2952	305	50
1095	1083	140	40	0.84	0.047	on	on	0.035	on	on	4704	0.12706	0.27	0.11	3084	298	50
1096	953	80	60	0.79	0.047	on	on	0.010	on	on	3792	0.12602	-0.22	0.14	2932	306	50
1097	1025	80	80	0.84	0.034	on	on	0.066	on	on	5376	0.12602	-0.22	0.14	2932	306	50
1098	1996	140	80	0.71	0.023	on	on	0.068	on	on	7952	0.12602	-0.22	0.14	2932	306	50
1099	1617	140	80	0.77	0.031	on	on	0.055	on	on	8624	0.12602	-0.22	0.14	2932	306	50
1100	400	100	80	0.73	0.016	on	on	0.165	on	on	5840	0.12509	-0.27	0.12	3181	292	50
1101	388	60	60	0.70	0.023	on	on	0.146	on	on	2520	0.12372	0.26	0.15	3167	290	50
1102	1488	40	40	0.75	0.010	on	on	0.079	on	on	1200	0.12359	0.25	0.13	2818	309	50
1103	572	100	60	0.81	0.032	on	on	0.102	on	on	4860	0.12297	-0.25	0.15	2890	308	50
1104	578	80	40	0.80	0.051	on	on	0.034	on	on	2560	0.11927	-0.27	0.11	3068	299	50
1105	1214	60	60	0.85	0.028	on	on	0.010	on	on	3060	0.11876	-0.23	0.14	2934	306	50
1106	466	100	40	0.75	0.038	on	on	0.093	on	on	3000	0.11867	-0.26	0.12	3050	300	50
1107	1495	60	40	0.77	0.029	on	on	0.055	on	on	1848	0.11828	0.25	0.15	3204	289	50
1108	1658	40	80	0.87	0.037	on	on	0.169	on	on	2784	0.11828	0.25	0.15	3204	289	50
1109	1694	100	40	0.72	0.031	on	on	0.023	on	on	2880	0.11828	0.25	0.15	3204	289	50
1110	262	100	40	0.70	0.032	on	on	0.052	on	on	2800	0.11827	0.24	0.15	3205	289	50
1111	420	140	40	0.83	0.050	on	on	0.055	on	on	4648	0.11827	0.24	0.15	3205	289	50
1112	954	100	80	0.81	0.048	on	on	0.198	on	on	6480	0.11743	0.25	0.16	3200	289	50
1113	843	80	60	0.87	0.039	on	on	0.010	on	on	4176	0.11710	0.24	0.14	2806	310	50
1114	627	60	80	0.74	0.038	on	on	0.165	on	on	3552	0.11652	-0.29	0.12	3184	292	50
1115	1046	100	80	0.77	0.048	on	on	0.026	on	on	6160	0.11642	-0.29	0.11	3104	297	50
1116	1056	120	60	0.84	0.053	on	on	0.086	on	on	6048	0.11613	-0.27	0.16	2845	310	50
1117	1188	80	40	0.71	0.047	on	on	0.094	on	on	2272	0.11603	0.26	0.16	3197	289	50
1118	520	80	40	0.76	0.039	on	on	0.023	on	on	2432	0.11603	0.26	0.16	3197	289	50
1119	104	120	80	0.76	0.019	on	on	0.037	on	on	7296	0.11601	-0.26	0.16	2811	311	50
1120	283	60	40	0.81	0.008	on	on	0.140	on	on	1944	0.11587	-0.25	0.15	2805	311	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
1121	779	80	60	0.83	0.037	on	on	0.038	on	on	3984	0.11587	-0.25	0.15	2805	311	50
1122	325	100	80	0.78	0.006	on	on	0.119	on	on	6240	0.11572	-0.26	0.16	2812	311	50
1123	865	40	60	0.81	0.012	on	on	0.068	on	on	1944	0.11530	-0.23	0.14	2935	306	50
1124	433	40	40	0.76	0.014	on	on	0.034	on	on	1216	0.11513	-0.24	0.15	2803	311	50
1125	1139	60	40	0.86	0.022	on	on	0.048	on	on	2064	0.11513	-0.24	0.15	2803	311	50
1126	244	80	40	0.78	0.018	on	on	0.035	on	on	2496	0.11513	-0.24	0.15	2803	311	50
1127	1248	120	40	0.74	0.018	on	on	0.055	on	on	3552	0.11513	-0.24	0.15	2803	311	50
1128	1389	120	40	0.76	0.013	on	on	0.058	on	on	3648	0.11513	-0.24	0.15	2803	311	50
1129	1059	140	40	0.71	0.007	on	on	0.142	on	on	3976	0.11513	-0.24	0.15	2803	311	50
1130	691	80	60	0.85	0.015	on	on	0.026	on	on	4080	0.11513	-0.24	0.15	2803	311	50
1131	1088	100	60	0.74	0.034	on	on	0.179	on	on	4440	0.11513	-0.24	0.15	2803	311	50
1132	243	120	60	0.75	0.026	on	on	0.051	on	on	5400	0.11513	-0.24	0.15	2803	311	50
1133	1660	140	60	0.73	0.012	on	on	0.076	on	on	6132	0.11513	-0.24	0.15	2803	311	50
1134	1168	140	60	0.77	0.007	on	on	0.037	on	on	6468	0.11513	-0.24	0.15	2803	311	50
1135	413	140	60	0.85	0.037	on	on	0.159	on	on	7140	0.11513	-0.24	0.15	2803	311	50
1136	967	120	80	0.75	0.044	on	on	0.066	on	on	7200	0.11513	-0.24	0.15	2803	311	50
1137	1144	100	80	0.73	0.053	on	on	0.153	on	on	5840	0.11484	-0.26	0.16	2814	311	50
1138	1612	60	40	0.76	0.009	on	on	0.191	on	on	1824	0.11463	-0.24	0.15	2802	311	50
1139	1397	60	60	0.79	0.007	on	on	0.184	on	on	2844	0.11463	-0.24	0.15	2802	311	50
1140	961	80	60	0.87	0.034	on	on	0.138	on	on	4176	0.11463	-0.24	0.15	2802	311	50
1141	626	100	80	0.84	0.031	on	on	0.165	on	on	6720	0.11463	-0.24	0.15	2802	311	50
1142	381	120	40	0.74	0.050	on	on	0.061	on	on	3552	0.11435	-0.26	0.15	2893	308	50
1143	1334	120	60	0.83	0.014	on	on	0.067	on	on	5976	0.11404	-0.24	0.15	2801	311	50
1144	1010	140	80	0.83	0.010	on	on	0.110	on	on	9296	0.11404	-0.24	0.15	2801	311	50
1145	1012	140	80	0.76	0.046	on	on	0.019	on	on	8512	0.11340	-0.85	0.53	2361	340	50
1146	1	140	80	0.76	0.052	on	on	0.076	on	on	8512	0.11338	-0.24	0.15	2800	311	50
1147	796	120	40	0.79	0.047	on	on	0.105	on	on	3792	0.11321	0.27	0.16	3193	289	50
1148	1009	60	60	0.77	0.018	on	on	0.132	on	on	2772	0.11264	-0.23	0.15	2799	311	50
1149	633	100	60	0.81	0.007	on	on	0.129	on	on	4860	0.11264	-0.23	0.15	2799	311	50
1150	542	80	80	0.77	0.047	on	on	0.093	on	on	4928	0.11264	0.23	0.15	2799	311	50
1151	186	60	80	0.70	0.015	on	on	0.041	on	on	3360	0.11183	-0.23	0.15	2798	311	50
1152	1702	80	80	0.76	0.023	on	on	0.188	on	on	4864	0.11183	-0.23	0.15	2798	311	50
1153	364	140	60	0.77	0.033	on	on	0.146	on	on	6468	0.11174	0.25	0.14	2803	310	50
1154	131	60	40	0.70	0.045	on	on	0.114	on	on	1680	0.11156	-0.30	0.12	3171	293	50
1155	1933	120	80	0.77	0.038	on	on	0.162	on	on	7392	0.11096	-0.23	0.15	2797	311	50
1156	29	60	60	0.74	0.046	on	on	0.012	on	on	2664	0.11073	-0.29	0.12	3088	298	50
1157	99	140	40	0.87	0.024	on	on	0.148	on	on	4872	0.11073	0.22	0.15	3219	289	50
1158	71	60	40	0.80	0.010	on	on	0.138	on	on	1920	0.10998	-0.23	0.15	2796	311	50
1159	721	80	60	0.79	0.034	on	on	0.141	on	on	3792	0.10990	0.26	0.14	2802	310	50
1160	1510	120	80	0.87	0.015	on	on	0.112	on	on	8352	0.10979	-0.25	0.15	2916	307	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
1161	1492	60	40	0.71	0.031	on	on	0.067	on	on	1704	0.10976	-0.22	0.15	3220	289	50
1162	3	140	80	0.71	0.041	on	on	0.018	on	on	7952	0.10948	-0.28	0.17	2821	311	50
1163	977	120	40	0.75	0.049	on	on	0.117	on	on	3600	0.10911	0.28	0.13	2812	309	50
1164	1386	140	80	0.70	0.046	on	on	0.188	on	on	7840	0.10896	-0.22	0.15	2795	311	50
1165	1865	120	40	0.74	0.040	on	on	0.184	on	on	3552	0.10870	-0.22	0.15	3221	289	50
1166	803	80	60	0.78	0.049	on	on	0.136	on	on	3744	0.10870	-0.22	0.15	3221	289	50
1167	664	120	40	0.78	0.038	on	on	0.031	on	on	3744	0.10870	-0.22	0.15	3221	289	50
1168	577	120	40	0.73	0.037	on	on	0.200	on	on	3504	0.10831	0.28	0.17	3188	289	50
1169	1685	40	80	0.85	0.026	on	on	0.063	on	on	2720	0.10787	0.31	0.12	2866	305	50
1170	1089	60	40	0.73	0.040	on	on	0.119	on	on	1752	0.10686	-0.25	0.15	2917	307	50
1171	1511	60	80	0.82	0.033	on	on	0.099	on	on	3936	0.10677	0.21	0.14	3023	296	50
1172	1789	60	60	0.80	0.029	on	on	0.099	on	on	2880	0.10675	0.29	0.14	2811	309	50
1173	820	120	40	0.77	0.037	on	on	0.144	on	on	3696	0.10675	0.29	0.14	2811	309	50
1174	201	140	60	0.81	0.027	on	on	0.148	on	on	6804	0.10674	-0.22	0.13	2846	309	50
1175	1013	40	60	0.81	0.024	on	on	0.097	on	on	1944	0.10600	-0.78	0.52	2331	340	50
1176	60	40	80	0.80	0.051	on	on	0.120	on	on	2560	0.10594	-0.23	0.14	2958	305	50
1177	1519	60	40	0.76	0.025	on	on	0.178	on	on	1824	0.10584	-0.31	0.13	3188	292	50
1178	1244	40	60	0.79	0.044	on	on	0.129	on	on	1896	0.10562	-0.24	0.15	2938	306	50
1179	825	60	80	0.70	0.034	on	on	0.160	on	on	3360	0.10501	-0.22	0.14	2978	304	50
1180	903	40	80	0.82	0.024	on	on	0.092	on	on	2624	0.10438	0.24	0.15	2791	311	50
1181	1202	80	60	0.74	0.014	on	on	0.103	on	on	3552	0.10438	0.24	0.15	2791	311	50
1182	1026	80	40	0.86	0.037	on	on	0.169	on	on	2752	0.10371	-0.30	0.12	3090	298	50
1183	918	140	80	0.70	0.014	on	on	0.085	on	on	7840	0.10330	0.31	0.13	2822	308	50
1184	1091	40	40	0.85	0.038	on	on	0.072	on	on	1360	0.10286	-0.25	0.15	3226	289	50
1185	735	60	60	0.72	0.024	on	on	0.181	on	on	2592	0.10246	0.25	0.15	3084	293	50
1186	336	40	40	0.85	0.025	on	on	0.147	on	on	1360	0.10152	-0.30	0.13	3204	291	50
1187	905	40	40	0.76	0.023	on	on	0.175	on	on	1216	0.10123	-0.29	0.14	3217	290	50
1188	1356	100	60	0.72	0.053	on	on	0.080	on	on	4320	0.10116	0.30	0.12	2929	301	50
1189	586	120	60	0.78	0.048	on	on	0.103	on	on	5616	0.10111	0.32	0.12	2849	306	50
1190	1158	60	80	0.85	0.015	on	on	0.120	on	on	4080	0.10044	0.25	0.15	2788	311	50
1191	763	140	40	0.72	0.046	on	on	0.164	on	on	4032	0.10041	0.26	0.17	3227	288	50
1192	711	140	40	0.83	0.054	on	on	0.045	on	on	4648	0.10041	0.26	0.17	3227	288	50
1193	1734	80	60	0.75	0.036	on	on	0.140	on	on	3600	0.10025	-0.27	0.17	2791	312	50
1194	1377	60	80	0.78	0.020	on	on	0.161	on	on	3744	0.10025	-0.27	0.17	2791	312	50
1195	253	100	60	0.70	0.034	on	on	0.103	on	on	4200	0.10023	-0.28	0.17	2792	312	50
1196	846	60	80	0.86	0.044	on	on	0.179	on	on	4128	0.10003	-0.28	0.17	2794	312	50
1197	1997	60	60	0.78	0.042	on	on	0.117	on	on	2808	0.09986	-0.27	0.17	2788	312	50
1198	1181	140	80	0.74	0.048	on	on	0.101	on	on	8288	0.09986	-0.27	0.02	2788	312	50
1199	700	80	40	0.85	0.042	on	on	0.143	on	on	2720	0.09965	0.26	0.17	3230	288	50
1200	1241	140	40	0.79	0.049	on	on	0.071	on	on	4424	0.09960	-0.27	0.17	2787	312	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
1201	1778	140	40	0.82	0.035	on	on	0.096	on	on	4592	0.09960	-0.27	0.17	2787	312	50
1202	341	60	40	0.85	0.030	on	on	0.183	on	on	2040	0.09940	-0.31	0.14	3205	291	50
1203	928	120	40	0.73	0.032	on	on	0.187	on	on	3504	0.09931	-0.26	0.17	2786	312	50
1204	503	40	60	0.80	0.017	on	on	0.122	on	on	1920	0.09891	-0.26	0.17	2785	312	50
1205	1206	60	80	0.82	0.043	on	on	0.129	on	on	3936	0.09882	-0.29	0.17	2798	312	50
1206	902	60	60	0.74	0.053	on	on	0.094	on	on	2664	0.09802	0.29	0.18	3214	288	50
1207	714	80	80	0.70	0.038	on	on	0.054	on	on	4480	0.09768	-0.27	0.15	3230	289	50
1208	1408	40	80	0.84	0.029	on	on	0.129	on	on	2688	0.09688	0.39	0.26	2650	319	50
1209	310	40	40	0.73	0.049	on	on	0.043	on	on	1168	0.09676	0.30	0.15	2795	310	50
1210	79	120	60	0.87	0.049	on	on	0.137	on	on	6264	0.09676	-0.25	0.17	2781	312	50
1211	264	100	60	0.85	0.042	on	on	0.114	on	on	5100	0.09624	0.27	0.15	2785	311	50
1212	1876	40	60	0.72	0.034	on	on	0.105	on	on	1728	0.09610	0.24	0.17	3237	288	50
1213	1342	80	60	0.72	0.031	on	on	0.021	on	on	3456	0.09605	-0.30	0.17	2856	310	50
1214	1484	140	60	0.72	0.050	on	on	0.087	on	on	6048	0.09605	-0.30	0.17	2856	310	50
1215	584	60	80	0.85	0.024	on	on	0.064	on	on	4080	0.09596	-0.30	0.18	2803	312	50
1216	1137	100	80	0.85	0.035	on	on	0.197	on	on	6800	0.09539	0.24	0.16	3238	288	50
1217	934	120	60	0.76	0.010	on	on	0.195	on	on	5472	0.09534	-0.25	0.17	2779	312	50
1218	1203	140	80	0.86	0.053	on	on	0.200	on	on	9632	0.09481	0.30	0.18	3209	288	50
1219	544	100	80	0.87	0.052	on	on	0.079	on	on	6960	0.09466	0.24	0.16	3239	288	50
1220	429	40	80	0.80	0.048	on	on	0.036	on	on	2560	0.09392	-0.33	0.13	3145	295	50
1221	629	40	40	0.73	0.014	on	on	0.073	on	on	1168	0.09387	-0.27	0.17	2901	308	50
1222	1654	40	60	0.73	0.034	on	on	0.095	on	on	1752	0.09377	-0.24	0.07	2777	312	50
1223	17	100	60	0.75	0.052	on	on	0.138	on	on	4500	0.09332	0.28	0.16	2783	311	50
1224	1016	80	80	0.76	0.036	on	on	0.028	on	on	4864	0.09288	-0.24	0.17	2776	312	50
1225	1929	60	40	0.77	0.027	on	on	0.128	on	on	1848	0.09249	0.34	0.13	2861	305	50
1226	1909	80	40	0.73	0.027	on	on	0.143	on	on	2336	0.08798	0.27	0.17	2771	312	50
1227	1200	120	80	0.78	0.008	on	on	0.064	on	on	7488	0.08798	0.27	0.17	2771	312	50
1228	192	60	40	0.87	0.007	on	on	0.198	on	on	2088	0.08770	0.31	0.19	3201	288	50
1229	1078	80	80	0.86	0.038	on	on	0.131	on	on	5504	0.08749	0.35	0.13	2844	306	50
1230	1218	60	80	0.77	0.033	on	on	0.123	on	on	3696	0.08739	0.30	0.16	2779	311	50
1231	1090	140	80	0.77	0.044	on	on	0.048	on	on	8624	0.08693	-0.29	0.18	2771	313	50
1232	75	60	40	0.80	0.031	on	on	0.175	on	on	1920	0.08676	-0.29	0.19	3284	286	50
1233	304	40	40	0.78	0.034	on	on	0.057	on	on	1248	0.08661	0.29	0.18	3243	287	50
1234	1245	40	80	0.72	0.033	on	on	0.078	on	on	2304	0.08651	-0.31	0.19	2780	313	50
1235	1126	60	60	0.83	0.050	on	on	0.178	on	on	2988	0.08651	0.30	0.18	3241	287	50
1236	1157	80	40	0.76	0.045	on	on	0.041	on	on	2432	0.08640	0.30	0.19	3240	287	50
1237	1084	140	80	0.83	0.051	on	on	0.154	on	on	9296	0.08623	0.31	0.19	2781	313	50
1238	1183	60	80	0.87	0.020	on	on	0.037	on	on	4176	0.08613	-0.28	0.18	2768	313	50
1239	1768	80	60	0.85	0.006	on	on	0.200	on	on	4080	0.08589	-0.31	0.19	2782	313	50
1240	899	120	60	0.72	0.027	on	on	0.119	on	on	5184	0.08589	-0.31	0.19	2782	313	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
1241	1675	80	80	0.83	0.025	on	on	0.136	on	on	5312	0.08577	-0.28	0.18	2767	313	50
1242	384	60	80	0.86	0.011	on	on	0.108	on	on	4128	0.08576	0.33	0.15	2789	310	50
1243	726	40	40	0.86	0.040	on	on	0.143	on	on	1376	0.08575	-0.32	0.19	2814	312	50
1244	127	100	80	0.84	0.037	on	on	0.091	on	on	6720	0.08467	0.27	0.18	3253	287	50
1245	443	60	40	0.75	0.054	on	on	0.182	on	on	1800	0.08462	-0.32	0.19	2815	312	50
1246	950	80	60	0.76	0.036	on	on	0.152	on	on	3648	0.08427	0.27	0.18	3254	287	50
1247	130	100	60	0.77	0.025	on	on	0.074	on	on	4620	0.08360	-0.04	0.02	3008	300	50
1248	1760	60	60	0.81	0.040	on	on	0.075	on	on	2916	0.08353	-0.32	0.19	2787	313	50
1249	883	140	60	0.78	0.053	on	on	0.199	on	on	6552	0.08333	-0.27	0.18	2762	313	50
1250	1669	140	80	0.73	0.029	on	on	0.043	on	on	8176	0.08333	-0.27	0.18	2762	313	50
1251	484	80	40	0.70	0.035	on	on	0.046	on	on	2240	0.08223	0.31	0.19	3235	287	50
1252	1735	60	40	0.77	0.045	on	on	0.156	on	on	1848	0.08157	0.25	0.16	3034	295	50
1253	199	40	60	0.72	0.010	on	on	0.158	on	on	1728	0.08143	0.33	0.16	2775	311	50
1254	278	100	80	0.80	0.030	on	on	0.129	on	on	6400	0.08114	0.35	0.15	2799	309	50
1255	1943	40	80	0.71	0.036	on	on	0.194	on	on	2272	0.08043	-0.29	0.15	3025	302	50
1256	478	60	60	0.83	0.052	on	on	0.059	on	on	2988	0.08039	-1.14	0.48	3729	271	50
1257	1590	120	60	0.71	0.035	on	on	0.188	on	on	5112	0.08035	0.35	0.15	2800	309	50
1258	85	40	60	0.84	0.039	on	on	0.157	on	on	2016	0.07962	-0.37	0.14	3200	292	60
1259	971	120	80	0.77	0.054	on	on	0.148	on	on	7392	0.07913	0.27	0.18	2756	313	50
1260	1111	80	40	0.81	0.050	on	on	0.151	on	on	2592	0.07886	-0.35	0.14	3099	298	50
1261	250	60	40	0.72	0.035	on	on	0.174	on	on	1728	0.07867	0.27	0.17	3053	294	50
1262	221	80	80	0.73	0.041	on	on	0.028	on	on	4672	0.07861	-0.32	0.19	2866	310	50
1263	18	140	80	0.70	0.034	on	on	0.071	on	on	7840	0.07853	-0.27	0.18	3264	287	50
1264	97	140	80	0.71	0.047	on	on	0.184	on	on	7952	0.07853	-0.27	0.18	3264	287	50
1265	1949	40	40	0.76	0.035	on	on	0.081	on	on	1216	0.07719	0.33	0.20	3191	288	50
1266	1057	120	60	0.82	0.033	on	on	0.041	on	on	5904	0.07657	-0.32	0.20	2759	314	50
1267	1493	140	60	0.79	0.043	on	on	0.088	on	on	6636	0.07651	-0.32	0.20	2760	314	50
1268	1477	60	80	0.84	0.043	on	on	0.196	on	on	4032	0.07642	-0.32	0.20	2761	314	50
1269	730	100	60	0.71	0.050	on	on	0.052	on	on	4260	0.07642	-0.32	0.20	2761	314	50
1270	227	80	40	0.80	0.037	on	on	0.062	on	on	2560	0.07639	-0.31	0.20	2755	314	50
1271	377	140	80	0.73	0.012	on	on	0.119	on	on	8176	0.07639	-0.31	0.20	2755	314	50
1272	980	120	60	0.71	0.024	on	on	0.115	on	on	5112	0.07582	-0.28	0.17	2950	306	50
1273	805	120	60	0.81	0.053	on	on	0.139	on	on	5832	0.07566	-0.32	-0.32	2757	314	50
1274	708	140	60	0.72	0.034	on	on	0.076	on	on	6048	0.07563	-0.30	0.19	2751	314	50
1275	1975	120	40	0.77	0.047	on	on	0.188	on	on	3696	0.07560	0.35	0.16	2771	311	50
1276	1981	100	60	0.84	0.040	on	on	0.068	on	on	5040	0.07519	0.32	0.20	3262	286	50
1277	1730	100	80	0.73	0.035	on	on	0.150	on	on	5840	0.07417	0.35	0.16	2770	311	50
1278	737	60	40	0.71	0.040	on	on	0.116	on	on	1704	0.07407	-0.33	0.15	3065	300	50
1279	957	60	80	0.76	0.033	on	on	0.075	on	on	3648	0.07376	0.32	0.19	3138	290	50
1280	181	80	80	0.87	0.025	on	on	0.128	on	on	5568	0.07338	-0.35	0.21	2771	314	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
1281	591	100	40	0.78	0.017	on	on	0.200	on	on	3120	0.07335	-0.29	0.19	2745	314	50
1282	1968	100	60	0.78	0.038	on	on	0.087	on	on	4680	0.07305	0.31	0.18	2749	313	50
1283	1646	80	60	0.77	0.024	on	on	0.024	on	on	3696	0.07234	-0.29	0.19	2743	314	50
1284	1811	100	60	0.76	0.037	on	on	0.134	on	on	4560	0.07215	-0.31	0.19	2891	309	50
1285	589	120	80	0.80	0.026	on	on	0.189	on	on	7680	0.07196	-0.28	0.18	2952	306	50
1286	77	100	60	0.84	0.041	on	on	0.091	on	on	5040	0.07187	-0.35	0.21	2774	314	50
1287	1468	40	60	0.75	0.054	on	on	0.142	on	on	1800	0.07179	-0.28	0.19	2742	314	50
1288	1055	80	60	0.78	0.033	on	on	0.156	on	on	3744	0.07179	-0.28	0.19	2742	314	50
1289	1316	120	60	0.73	0.008	on	on	0.058	on	on	5256	0.07122	0.38	0.15	2884	303	50
1290	693	60	40	0.83	0.026	on	on	0.153	on	on	1992	0.07114	0.27	0.17	3029	295	50
1291	1883	40	80	0.77	0.021	on	on	0.168	on	on	2464	0.07109	-0.38	0.15	3138	296	50
1292	1504	40	60	0.71	0.049	on	on	0.113	on	on	1704	0.07069	-0.36	0.21	2776	314	50
1293	193	120	80	0.73	0.030	on	on	0.194	on	on	7008	0.07061	0.28	0.19	2740	314	50
1294	1618	40	40	0.77	0.053	on	on	0.033	on	on	1232	0.07046	-0.39	0.15	3221	291	50
1295	76	40	40	0.81	0.016	on	on	0.181	on	on	1296	0.07010	-0.38	0.15	3121	297	50
1296	683	120	60	0.82	0.050	on	on	0.142	on	on	5904	0.06999	0.29	0.19	2739	314	50
1297	1520	100	80	0.84	0.054	on	on	0.132	on	on	6720	0.06999	0.29	0.19	2739	314	50
1298	1198	140	40	0.80	0.036	on	on	0.024	on	on	4480	0.06932	0.29	0.19	2738	314	50
1299	893	100	40	0.85	0.038	on	on	0.172	on	on	3400	0.06910	0.36	0.21	3242	286	50
1300	1335	60	80	0.72	0.051	on	on	0.136	on	on	3456	0.06897	0.39	0.16	2792	309	50
1301	120	120	60	0.79	0.039	on	on	0.126	on	on	5688	0.06897	0.39	0.16	2792	309	50
1302	1746	40	60	0.79	0.015	on	on	0.151	on	on	1896	0.06869	0.30	0.19	2737	314	50
1303	356	60	80	0.71	0.034	on	on	0.174	on	on	3408	0.06812	-0.36	0.21	2780	314	50
1304	144	80	60	0.78	0.044	on	on	0.062	on	on	3744	0.06764	-0.33	0.21	2739	315	50
1305	210	140	80	0.81	0.009	on	on	0.200	on	on	9072	0.06744	-0.33	0.21	2737	315	50
1306	917	40	80	0.84	0.051	on	on	0.159	on	on	2688	0.06583	-0.31	0.19	3289	286	50
1307	1320	40	40	0.80	0.035	on	on	0.121	on	on	1280	0.06560	0.29	0.18	3046	294	50
1308	346	100	60	0.72	0.036	on	on	0.167	on	on	4320	0.06534	0.35	0.18	2741	313	50
1309	1129	120	80	0.73	0.035	on	on	0.158	on	on	7008	0.06438	0.41	0.16	2789	309	50
1310	794	60	60	0.81	0.007	on	on	0.139	on	on	2916	0.06420	-0.37	0.22	2757	315	50
1311	757	120	60	0.85	0.040	on	on	0.016	on	on	6120	0.06400	0.29	0.19	3045	294	50
1312	1689	120	80	0.83	0.046	on	on	0.109	on	on	7968	0.06375	-0.37	0.22	2758	315	50
1313	491	80	80	0.86	0.046	on	on	0.136	on	on	5504	0.06366	0.41	0.17	2775	310	50
1314	161	40	80	0.70	0.038	on	on	0.070	on	on	2240	0.06338	0.42	0.16	2817	307	50
1315	1094	120	40	0.71	0.039	on	on	0.100	on	on	3408	0.06334	0.31	0.18	3005	296	50
1316	1747	40	40	0.75	0.027	on	on	0.153	on	on	1200	0.06312	0.36	0.22	3178	288	50
1317	1576	60	60	0.84	0.051	on	on	0.013	on	on	3024	0.06277	-0.30	0.21	2723	315	50
1318	1652	140	40	0.83	0.054	on	on	0.108	on	on	4648	0.06276	0.42	0.16	2802	308	50
1319	641	140	80	0.79	0.029	on	on	0.173	on	on	8848	0.06276	0.42	0.16	2802	308	50
1320	1265	80	80	0.86	0.049	on	on	0.016	on	on	5504	0.06235	0.39	0.16	2913	301	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
1321	897	40	60	0.83	0.030	on	on	0.047	on	on	1992	0.06177	-0.38	0.23	2762	315	50
1322	486	100	40	0.80	0.045	on	on	0.197	on	on	3200	0.06139	-0.41	0.17	3258	289	50
1323	1707	120	60	0.70	0.044	on	on	0.066	on	on	5040	0.06031	-0.36	0.22	2723	316	50
1324	1753	120	80	0.79	0.052	on	on	0.046	on	on	7584	0.05992	-0.35	0.22	2719	316	50
1325	1692	100	40	0.83	0.044	on	on	0.164	on	on	3320	0.05976	-0.38	0.23	2732	316	50
1326	1594	100	80	0.72	0.015	on	on	0.114	on	on	5760	0.05950	-0.31	0.20	2940	307	50
1327	321	40	80	0.75	0.054	on	on	0.140	on	on	2400	0.05924	-0.36	0.20	3299	286	50
1328	1217	60	80	0.72	0.041	on	on	0.190	on	on	3456	0.05887	-0.34	0.22	2714	316	50
1329	1020	40	80	0.74	0.007	on	on	0.199	on	on	2368	0.05848	-0.37	0.22	2838	312	50
1330	1222	60	40	0.76	0.021	on	on	0.026	on	on	1824	0.05818	-0.42	0.18	3261	289	50
1331	1976	40	80	0.75	0.054	on	on	0.077	on	on	2400	0.05782	-0.33	0.22	2709	316	50
1332	42	60	40	0.80	0.049	on	on	0.086	on	on	1920	0.05758	0.40	0.19	2733	313	50
1333	361	40	80	0.73	0.041	on	on	0.077	on	on	2336	0.05750	0.44	0.17	2784	309	50
1334	146	140	40	0.79	0.052	on	on	0.168	on	on	4424	0.05735	-0.39	0.24	2714	316	50
1335	1449	120	40	0.72	0.046	on	on	0.026	on	on	3456	0.05679	-0.32	0.20	2942	307	50
1336	315	80	80	0.77	0.032	on	on	0.171	on	on	4928	0.05590	0.36	0.22	3147	289	50
1337	1402	140	40	0.77	0.051	on	on	0.074	on	on	4312	0.05576	0.33	0.22	3318	284	50
1338	163	100	80	0.78	0.018	on	on	0.099	on	on	6240	0.05568	0.36	0.21	2711	315	50
1339	1722	40	60	0.84	0.019	on	on	0.128	on	on	2016	0.05520	-0.41	0.24	2773	315	50
1340	723	40	80	0.84	0.007	on	on	0.043	on	on	2688	0.05456	-0.41	0.24	2774	315	50
1341	538	40	80	0.72	0.041	on	on	0.036	on	on	2304	0.05436	-0.40	0.24	2798	314	50
1342	375	40	80	0.87	0.024	on	on	0.036	on	on	2784	0.05396	-0.37	0.18	3040	302	50
1343	1699	120	60	0.82	0.054	on	on	0.026	on	on	5904	0.05391	0.34	0.21	3079	292	50
1344	1600	40	40	0.80	0.026	on	on	0.120	on	on	1280	0.05385	0.40	0.24	3219	286	50
1345	1805	40	80	0.81	0.026	on	on	0.079	on	on	2592	0.05205	-0.34	0.22	3329	284	50
1346	1483	40	60	0.81	0.037	on	on	0.061	on	on	1944	0.05096	0.42	0.25	3242	285	50
1347	838	80	40	0.70	0.039	on	on	0.121	on	on	2240	0.05076	0.38	0.24	3165	288	50
1348	393	140	80	0.83	0.049	on	on	0.082	on	on	9296	0.05000	-0.37	0.22	3334	284	50
1349	1472	40	40	0.75	0.034	on	on	0.122	on	on	1200	0.04986	0.47	0.18	2838	305	50
1350	809	60	80	0.84	0.049	on	on	0.155	on	on	4032	0.04931	0.34	0.23	2686	317	50
1351	436	140	80	0.77	0.030	on	on	0.079	on	on	8624	0.04890	-0.03	0.02	2983	301	50
1352	24	60	60	0.71	0.054	on	on	0.174	on	on	2556	0.04873	0.35	0.24	3342	283	50
1353	1586	40	80	0.70	0.009	on	on	0.157	on	on	2240	0.04869	-0.40	0.25	2689	318	50
1354	535	80	40	0.76	0.044	on	on	0.129	on	on	2432	0.04862	-0.39	0.25	2688	318	50
1355	63	80	80	0.86	0.040	on	on	0.160	on	on	5504	0.04819	-0.42	0.26	2701	318	50
1356	1496	40	80	0.74	0.040	on	on	0.140	on	on	2368	0.04813	0.46	0.18	2869	303	50
1357	647	120	80	0.82	0.043	on	on	0.048	on	on	7872	0.04766	0.42	0.25	3210	286	50
1358	1546	100	40	0.70	0.037	on	on	0.190	on	on	2800	0.04756	0.48	0.18	2836	305	50
1359	1337	40	60	0.75	0.046	on	on	0.123	on	on	1800	0.04680	0.38	0.23	2680	317	50
1360	526	120	80	0.77	0.053	on	on	0.067	on	on	7392	0.04600	0.41	0.26	3342	282	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
1361	20	100	60	0.70	0.053	on	on	0.172	on	on	4200	0.04598	-0.41	0.23	3343	284	50
1362	1419	140	40	0.70	0.049	on	on	0.032	on	on	3920	0.04594	0.40	0.26	3345	282	50
1363	617	60	40	0.83	0.052	on	on	0.056	on	on	1992	0.04583	0.40	0.25	3159	288	50
1364	1125	140	60	0.71	0.051	on	on	0.165	on	on	5964	0.04569	0.39	0.25	3349	282	50
1365	45	120	40	0.85	0.029	on	on	0.062	on	on	4080	0.04554	-0.45	0.27	2713	318	50
1366	1491	40	60	0.79	0.044	on	on	0.053	on	on	1896	0.04552	-0.36	0.24	2672	318	50
1367	618	80	40	0.74	0.048	on	on	0.095	on	on	2368	0.04539	0.39	0.25	3352	282	50
1368	755	100	60	0.76	0.026	on	on	0.121	on	on	4560	0.04521	-0.36	0.24	2671	318	50
1369	430	120	60	0.84	0.054	on	on	0.187	on	on	6048	0.04416	-0.42	0.26	2673	319	50
1370	328	80	60	0.74	0.040	on	on	0.192	on	on	3552	0.04413	-0.46	0.22	3335	285	50
1371	1350	40	80	0.72	0.048	on	on	0.059	on	on	2304	0.04411	-0.42	0.25	2833	313	50
1372	82	40	60	0.75	0.020	on	on	0.036	on	on	1800	0.04389	0.37	0.25	2667	318	50
1373	765	120	60	0.75	0.006	on	on	0.045	on	on	5400	0.04357	-0.39	0.24	2895	310	50
1374	385	40	60	0.83	0.021	on	on	0.094	on	on	1992	0.04319	-0.44	0.23	3349	284	50
1375	793	80	80	0.77	0.048	on	on	0.101	on	on	4928	0.04273	-0.45	0.23	3350	284	50
1376	622	120	80	0.71	0.038	on	on	0.149	on	on	6816	0.04245	-0.39	0.26	2660	319	50
1377	625	80	60	0.77	0.041	on	on	0.181	on	on	3696	0.04234	0.36	0.23	3047	293	50
1378	1338	40	60	0.85	0.047	on	on	0.010	on	on	2040	0.04231	0.51	0.21	2728	312	50
1379	783	80	60	0.71	0.040	on	on	0.160	on	on	3408	0.04210	-0.49	0.21	3325	286	50
1380	1435	60	80	0.76	0.038	on	on	0.038	on	on	3648	0.04187	-0.38	0.25	3370	282	50
1381	1742	60	60	0.83	0.046	on	on	0.101	on	on	2988	0.04178	-0.38	0.26	2657	319	50
1382	1615	100	40	0.70	0.053	on	on	0.109	on	on	2800	0.04168	0.41	0.25	2661	318	50
1383	992	120	80	0.72	0.053	on	on	0.083	on	on	6912	0.04161	-0.47	0.28	2749	317	50
1384	550	140	40	0.83	0.048	on	on	0.170	on	on	4648	0.04129	0.43	0.27	3364	281	50
1385	1638	120	80	0.77	0.036	on	on	0.177	on	on	7392	0.04128	-0.38	0.26	2655	319	50
1386	1364	100	40	0.82	0.019	on	on	0.184	on	on	3280	0.04107	0.11	0.07	3091	295	50
1387	1382	140	80	0.86	0.011	on	on	0.078	on	on	9632	0.04072	0.41	0.27	3373	281	50
1388	48	120	60	0.79	0.015	on	on	0.162	on	on	5688	0.04064	0.46	0.20	3349	281	50
1389	753	120	40	0.84	0.028	on	on	0.030	on	on	4032	0.04040	0.46	0.28	3347	281	50
1390	211	100	80	0.78	0.043	on	on	0.054	on	on	6240	0.04025	-0.44	0.28	2658	320	50
1391	562	60	80	0.73	0.047	on	on	0.136	on	on	3504	0.04022	-0.44	0.28	2657	320	50
1392	1731	80	60	0.78	0.032	on	on	0.083	on	on	3744	0.04017	-0.44	0.27	2656	320	50
1393	531	100	80	0.77	0.028	on	on	0.076	on	on	6160	0.03949	0.56	0.23	2404	313	50
1394	1315	40	40	0.82	0.047	on	on	0.078	on	on	1312	0.03947	-0.47	0.21	3091	300	50
1395	1897	40	60	0.81	0.046	on	on	0.070	on	on	1944	0.03933	0.39	0.27	3383	281	50
1396	1494	100	40	0.82	0.051	on	on	0.186	on	on	3280	0.03928	-0.42	0.27	2647	320	50
1397	1903	60	60	0.86	0.048	on	on	0.057	on	on	3096	0.03878	0.38	0.27	3386	281	50
1398	1150	40	80	0.80	0.019	on	on	0.125	on	on	2560	0.03773	0.55	0.20	2779	308	50
1399	1712	60	40	0.74	0.042	on	on	0.122	on	on	1776	0.03765	-0.50	0.29	2710	319	50
1400	1438	40	80	0.76	0.031	on	on	0.108	on	on	2432	0.03752	0.38	0.24	3041	293	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
1401	812	100	40	0.74	0.047	on	on	0.074	on	on	2960	0.03729	0.46	0.29	3381	280	50
1402	1526	120	40	0.76	0.050	on	on	0.065	on	on	3648	0.03713	0.47	0.29	3375	280	50
1403	387	100	60	0.80	0.022	on	on	0.170	on	on	4800	0.03713	0.44	0.28	3388	280	50
1404	434	140	40	0.83	0.039	on	on	0.189	on	on	4648	0.03706	-0.50	0.30	2685	320	50
1405	522	100	80	0.76	0.046	on	on	0.125	on	on	6080	0.03679	0.50	0.30	3328	281	50
1406	1828	100	80	0.70	0.048	on	on	0.168	on	on	5600	0.03675	-0.46	0.29	2640	321	50
1407	1568	40	60	0.85	0.032	on	on	0.045	on	on	2040	0.03665	-0.45	0.29	2638	321	50
1408	537	120	80	0.87	0.052	on	on	0.042	on	on	8352	0.03630	-0.56	0.21	3255	291	50
1409	1830	80	40	0.86	0.027	on	on	0.139	on	on	2752	0.03625	-0.25	0.07	3102	295	50
1410	547	80	60	0.73	0.041	on	on	0.031	on	on	3504	0.03622	-0.44	0.29	2633	321	50
1411	1228	40	80	0.70	0.023	on	on	0.127	on	on	2240	0.03621	0.42	0.28	3399	280	50
1412	23	60	60	0.82	0.054	on	on	0.111	on	on	2952	0.03609	-0.43	0.27	3398	281	50
1413	1814	60	80	0.78	0.027	on	on	0.055	on	on	3744	0.03573	-0.43	0.28	2629	321	50
1414	1757	100	40	0.82	0.031	on	on	0.188	on	on	3280	0.03531	-0.48	0.02	3078	301	50
1415	1664	40	60	0.72	0.012	on	on	0.176	on	on	1728	0.03526	-0.51	0.30	2717	319	50
1416	200	80	60	0.70	0.052	on	on	0.124	on	on	3360	0.03417	-0.57	0.21	3224	293	50
1417	1684	100	60	0.81	0.027	on	on	0.137	on	on	4860	0.03383	-0.49	0.30	2628	322	50
1418	1411	100	60	0.86	0.018	on	on	0.113	on	on	5160	0.03383	-0.49	0.30	2629	322	50
1419	1987	80	40	0.82	0.025	on	on	0.106	on	on	2624	0.03382	0.46	0.27	2624	320	50
1420	515	100	80	0.70	0.018	on	on	0.049	on	on	5600	0.03382	-0.49	0.30	2630	322	50
1421	759	140	80	0.78	0.011	on	on	0.030	on	on	8736	0.03381	-0.49	0.30	2631	322	50
1422	527	80	60	0.82	0.012	on	on	0.070	on	on	3936	0.03378	-0.49	0.30	2632	322	50
1423	1403	100	80	0.75	0.017	on	on	0.157	on	on	6000	0.03375	-0.50	0.31	2633	322	50
1424	1213	80	60	0.82	0.040	on	on	0.041	on	on	3936	0.03371	-0.47	0.30	2623	322	50
1425	58	40	80	0.71	0.031	on	on	0.178	on	on	2272	0.03352	0.47	0.27	2623	320	50
1426	962	40	80	0.75	0.042	on	on	0.178	on	on	2400	0.03320	-0.51	0.31	2641	322	50
1427	1391	80	80	0.72	0.019	on	on	0.193	on	on	4608	0.03286	-0.45	0.30	2613	322	50
1428	1252	120	60	0.82	0.051	on	on	0.010	on	on	5904	0.03275	-0.52	0.31	2645	322	50
1429	975	60	40	0.74	0.020	on	on	0.098	on	on	1776	0.03274	-0.45	0.30	2612	322	50
1430	307	100	60	0.82	0.041	on	on	0.168	on	on	4920	0.03274	-0.45	0.30	2612	322	50
1431	1592	60	40	0.84	0.030	on	on	0.189	on	on	2016	0.03246	-0.45	0.30	2610	322	50
1432	1499	80	60	0.80	0.030	on	on	0.115	on	on	3840	0.03240	-0.49	0.30	2811	315	50
1433	1611	120	80	0.86	0.011	on	on	0.054	on	on	8256	0.03201	-0.44	0.30	2607	322	50
1434	619	140	60	0.70	0.045	on	on	0.065	on	on	5880	0.03197	0.53	0.32	3310	281	50
1435	372	40	40	0.85	0.019	on	on	0.123	on	on	1360	0.03179	0.54	0.26	2637	318	50
1436	588	40	60	0.75	0.053	on	on	0.133	on	on	1800	0.03172	0.56	0.25	2648	317	50
1437	990	40	80	0.72	0.048	on	on	0.144	on	on	2304	0.03167	-0.44	0.30	2605	322	50
1438	1039	80	80	0.84	0.036	on	on	0.144	on	on	5376	0.03166	0.53	0.32	3374	279	50
1439	1623	140	40	0.79	0.043	on	on	0.014	on	on	4424	0.03119	-0.51	0.32	2613	323	50
1440	772	80	80	0.83	0.049	on	on	0.085	on	on	5312	0.03119	-0.51	0.32	2613	323	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
1441	1847	80	80	0.72	0.008	on	on	0.191	on	on	4608	0.03118	-0.51	0.32	2612	323	50
1442	374	60	80	0.74	0.033	on	on	0.200	on	on	3552	0.03113	-0.50	0.31	2609	323	50
1443	590	60	40	0.75	0.026	on	on	0.129	on	on	1800	0.03108	-0.58	0.23	3194	295	50
1444	1779	100	80	0.85	0.009	on	on	0.198	on	on	6800	0.03107	-0.49	0.31	2607	323	50
1445	1359	140	80	0.77	0.038	on	on	0.128	on	on	8624	0.03107	-0.49	0.31	2607	323	50
1446	514	120	60	0.84	0.044	on	on	0.070	on	on	6048	0.03100	-0.52	0.32	2620	323	50
1447	565	140	60	0.75	0.050	on	on	0.120	on	on	6300	0.03100	-0.52	0.32	2620	323	50
1448	1326	120	40	0.76	0.006	on	on	0.192	on	on	3648	0.03097	-0.49	0.31	2605	323	50
1449	863	100	60	0.71	0.009	on	on	0.160	on	on	4260	0.03092	-0.49	0.31	2604	323	50
1450	190	60	60	0.77	0.043	on	on	0.154	on	on	2772	0.03085	-0.49	0.31	2603	323	50
1451	1588	60	60	0.82	0.052	on	on	0.099	on	on	2952	0.03078	-0.48	0.31	2602	323	50
1452	1257	60	40	0.73	0.052	on	on	0.153	on	on	1752	0.03075	-0.53	0.32	2624	323	50
1453	1479	100	40	0.70	0.053	on	on	0.029	on	on	2800	0.03058	0.52	0.32	3413	278	50
1454	666	80	60	0.74	0.047	on	on	0.140	on	on	3552	0.03052	-0.48	0.31	2599	323	50
1455	1394	40	60	0.83	0.036	on	on	0.185	on	on	1992	0.03043	-0.48	0.31	2598	323	50
1456	1446	60	60	0.75	0.047	on	on	0.131	on	on	2700	0.03021	-0.47	0.31	2596	323	50
1457	1679	40	80	0.85	0.029	on	on	0.099	on	on	2720	0.02994	-0.50	0.35	2536	326	50
1458	1407	100	60	0.85	0.013	on	on	0.136	on	on	5100	0.02992	0.46	0.30	2596	322	50
1459	323	60	60	0.77	0.037	on	on	0.095	on	on	2772	0.02983	0.47	0.31	3442	278	50
1460	913	60	60	0.84	0.040	on	on	0.104	on	on	3024	0.02980	0.62	0.23	2737	310	50
1461	1165	40	80	0.75	0.006	on	on	0.031	on	on	2400	0.02887	-0.49	0.30	3446	279	50
1462	1547	60	60	0.80	0.039	on	on	0.037	on	on	2880	0.02881	-0.52	0.33	2594	324	50
1463	1833	120	60	0.79	0.014	on	on	0.125	on	on	5688	0.02879	-0.52	0.33	2593	324	50
1464	965	80	80	0.79	0.041	on	on	0.160	on	on	5056	0.02873	0.55	0.33	3272	282	50
1465	956	40	60	0.74	0.026	on	on	0.147	on	on	1776	0.02861	0.63	0.24	2706	312	50
1466	1292	60	40	0.82	0.044	on	on	0.015	on	on	1968	0.02850	-0.50	0.30	3448	279	50
1467	1102	140	40	0.76	0.051	on	on	0.187	on	on	4256	0.02835	0.50	0.30	2589	322	50
1468	312	40	40	0.82	0.044	on	on	0.150	on	on	1312	0.02791	-0.52	0.30	3451	279	50
1469	1501	60	60	0.80	0.017	on	on	0.189	on	on	2880	0.02781	-0.58	0.35	2622	324	50
1470	910	140	80	0.76	0.045	on	on	0.022	on	on	8512	0.02779	-0.58	0.34	2671	322	50
1471	351	60	40	0.77	0.044	on	on	0.105	on	on	1848	0.02765	-0.48	0.30	2901	311	50
1472	205	80	60	0.79	0.052	on	on	0.068	on	on	3792	0.02757	0.48	0.31	2579	323	50
1473	828	120	40	0.82	0.006	on	on	0.071	on	on	3936	0.02756	-0.58	0.34	2672	322	50
1474	1267	60	60	0.85	0.042	on	on	0.158	on	on	3060	0.02728	-0.48	0.32	2574	324	50
1475	1739	40	60	0.87	0.030	on	on	0.184	on	on	2088	0.02721	-0.58	0.25	3129	299	50
1476	1281	100	60	0.80	0.014	on	on	0.035	on	on	4800	0.02699	-0.59	0.35	2650	323	50
1477	1666	100	60	0.85	0.018	on	on	0.108	on	on	5100	0.02673	-0.56	0.34	2585	325	50
1478	511	80	40	0.72	0.031	on	on	0.095	on	on	2304	0.02664	0.64	0.26	2648	316	50
1479	1919	60	80	0.73	0.048	on	on	0.043	on	on	3504	0.02652	-0.53	0.34	2572	325	50
1480	168	40	80	0.80	0.034	on	on	0.037	on	on	2560	0.02637	-0.57	0.34	2743	319	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
1481	1856	100	60	0.70	0.052	on	on	0.156	on	on	4200	0.02630	-0.59	0.25	3131	299	50
1482	1804	40	80	0.81	0.015	on	on	0.142	on	on	2592	0.02620	0.52	0.34	2567	325	50
1483	1063	80	80	0.81	0.010	on	on	0.199	on	on	5184	0.02596	-0.51	0.34	2564	325	50
1484	1907	40	80	0.87	0.044	on	on	0.044	on	on	2784	0.02580	0.55	0.35	3464	276	50
1485	1298	80	80	0.84	0.031	on	on	0.071	on	on	5376	0.02580	-0.47	0.30	2944	309	50
1486	635	60	60	0.70	0.048	on	on	0.154	on	on	2520	0.02576	0.54	0.35	3468	276	50
1487	1303	40	60	0.84	0.045	on	on	0.090	on	on	2016	0.02563	0.57	0.35	3453	276	50
1488	927	120	60	0.77	0.009	on	on	0.047	on	on	5544	0.02490	-0.57	0.36	2567	326	50
1489	576	100	80	0.80	0.010	on	on	0.028	on	on	6400	0.02490	-0.57	0.35	2565	326	50
1490	785	80	60	0.86	0.007	on	on	0.019	on	on	4128	0.02489	-0.56	0.35	2564	326	50
1491	1823	140	80	0.71	0.042	on	on	0.175	on	on	7952	0.02489	-0.56	0.35	2564	326	50
1492	1558	120	40	0.76	0.032	on	on	0.110	on	on	3648	0.02488	-0.53	0.35	2457	326	50
1493	1564	120	60	0.84	0.023	on	on	0.083	on	on	6048	0.02488	-0.53	0.35	2547	326	50
1494	621	60	60	0.83	0.007	on	on	0.076	on	on	2988	0.02482	-0.58	0.36	2572	326	50
1495	729	60	80	0.78	0.032	on	on	0.013	on	on	3744	0.02471	-0.55	0.35	2557	326	50
1496	1130	40	40	0.79	0.033	on	on	0.196	on	on	1264	0.02460	-0.61	0.26	3135	299	50
1497	1470	40	80	0.77	0.010	on	on	0.038	on	on	2464	0.02460	0.53	0.28	2979	295	50
1498	1297	60	40	0.85	0.048	on	on	0.190	on	on	2040	0.02452	-0.60	0.36	2579	326	50
1499	1502	40	40	0.85	0.030	on	on	0.092	on	on	1360	0.02446	-0.60	0.36	2580	326	50
1500	448	80	40	0.79	0.008	on	on	0.038	on	on	2528	0.02446	-0.60	0.36	2580	326	50
1501	1672	80	60	0.80	0.014	on	on	0.081	on	on	3840	0.02446	-0.60	0.36	2580	326	50
1502	452	100	80	0.77	0.011	on	on	0.043	on	on	6160	0.02446	-0.60	0.36	2580	326	50
1503	1454	100	40	0.76	0.012	on	on	0.025	on	on	3040	0.02445	-0.45	0.35	2552	326	50
1504	1661	140	60	0.76	0.024	on	on	0.052	on	on	6384	0.02445	-0.54	0.35	2552	326	50
1505	411	120	80	0.87	0.019	on	on	0.112	on	on	8352	0.02432	0.50	0.33	2550	325	50
1506	519	60	60	0.87	0.011	on	on	0.083	on	on	3132	0.02431	-0.53	0.35	2550	326	50
1507	758	80	60	0.76	0.015	on	on	0.031	on	on	3648	0.02426	-0.61	0.37	2583	326	50
1508	1736	60	60	0.72	0.007	on	on	0.162	on	on	2592	0.02416	-0.53	0.35	2548	326	50
1509	628	100	60	0.75	0.009	on	on	0.128	on	on	4500	0.02416	-0.53	0.35	2548	326	50
1510	1469	60	40	0.86	0.011	on	on	0.078	on	on	2064	0.02408	-0.53	0.35	2547	326	50
1511	1226	40	80	0.77	0.006	on	on	0.061	on	on	2464	0.02408	-0.53	0.35	2547	326	50
1512	370	60	60	0.75	0.010	on	on	0.135	on	on	2700	0.02408	-0.53	0.35	2547	326	50
1513	1426	60	60	0.75	0.011	on	on	0.120	on	on	2700	0.02408	-0.53	0.35	2547	326	50
1514	1911	60	60	0.80	0.019	on	on	0.019	on	on	2880	0.02408	-0.53	0.35	2547	326	50
1515	844	100	40	0.73	0.019	on	on	0.028	on	on	2920	0.02408	-0.53	0.35	2547	326	50
1516	1434	60	60	0.83	0.009	on	on	0.100	on	on	2988	0.02408	-0.53	0.35	2547	326	50
1517	742	100	40	0.75	0.028	on	on	0.173	on	on	3000	0.02408	-0.53	0.35	2547	326	50
1518	437	60	60	0.86	0.021	on	on	0.089	on	on	3096	0.02408	-0.53	0.35	2547	326	50
1519	1146	120	40	0.73	0.023	on	on	0.063	on	on	3504	0.02408	-0.53	0.35	2547	326	50
1520	297	60	80	0.74	0.006	on	on	0.130	on	on	3552	0.02408	-0.53	0.35	2547	326	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
1521	320	80	60	0.74	0.012	on	on	0.167	on	on	3552	0.02408	-0.53	0.35	2547	326	50
1522	744	120	40	0.81	0.016	on	on	0.194	on	on	3888	0.02408	-0.53	0.35	2547	326	50
1523	1776	100	60	0.71	0.022	on	on	0.180	on	on	4260	0.02408	-0.53	0.35	2547	326	50
1524	1166	100	60	0.77	0.024	on	on	0.083	on	on	4620	0.02408	-0.53	0.35	2547	326	50
1525	273	80	80	0.73	0.011	on	on	0.087	on	on	4672	0.02408	-0.53	0.35	2547	326	50
1526	1100	100	80	0.83	0.031	on	on	0.061	on	on	6640	0.02408	-0.53	0.35	2547	326	50
1527	87	140	60	0.87	0.020	on	on	0.070	on	on	7308	0.02408	-0.53	0.35	2547	326	50
1528	447	140	80	0.80	0.017	on	on	0.134	on	on	8960	0.02408	-0.53	0.35	2547	326	50
1529	1136	140	80	0.80	0.018	on	on	0.167	on	on	8960	0.02408	-0.53	0.35	2547	326	50
1530	1466	140	80	0.83	0.039	on	on	0.139	on	on	9296	0.02408	-0.53	0.35	2547	326	50
1531	446	140	80	0.84	0.043	on	on	0.156	on	on	9408	0.02408	-0.53	0.35	2547	326	50
1532	818	60	60	0.82	0.017	on	on	0.123	on	on	2952	0.02404	0.51	0.34	2548	325	50
1533	340	40	40	0.70	0.029	on	on	0.014	on	on	1120	0.02401	0.62	0.27	2869	301	50
1534	1323	80	40	0.86	0.039	on	on	0.113	on	on	2752	0.02399	-0.52	0.35	2546	326	50
1535	1309	100	40	0.78	0.044	on	on	0.154	on	on	3120	0.02399	-0.52	0.35	2546	326	50
1536	35	80	80	0.75	0.025	on	on	0.057	on	on	4800	0.02399	-0.52	0.35	2546	326	50
1537	1781	80	80	0.86	0.013	on	on	0.149	on	on	5504	0.02399	-0.52	0.35	2546	326	50
1538	650	140	60	0.75	0.028	on	on	0.163	on	on	6300	0.02399	-0.52	0.35	2546	326	50
1539	1006	60	60	0.84	0.035	on	on	0.142	on	on	3024	0.02390	-0.52	0.35	2545	326	50
1540	116	100	40	0.86	0.026	on	on	0.076	on	on	3440	0.02390	-0.52	0.04	2545	326	50
1541	1800	80	60	0.76	0.018	on	on	0.164	on	on	3648	0.02390	-0.52	0.35	2545	326	50
1542	1543	80	60	0.77	0.024	on	on	0.176	on	on	3696	0.02390	-0.52	0.35	2545	326	50
1543	1725	120	60	0.77	0.029	on	on	0.189	on	on	5544	0.02390	-0.52	0.35	2545	326	50
1544	1602	100	80	0.79	0.018	on	on	0.146	on	on	6320	0.02390	-0.52	0.35	2545	326	50
1545	1285	140	60	0.76	0.037	on	on	0.168	on	on	6384	0.02390	-0.52	0.35	2545	326	50
1546	432	80	40	0.86	0.052	on	on	0.033	on	on	2752	0.02389	0.51	0.34	2547	325	50
1547	986	60	60	0.85	0.028	on	on	0.027	on	on	3060	0.02389	0.51	0.34	2547	325	50
1548	459	80	80	0.80	0.031	on	on	0.164	on	on	5120	0.02381	-0.52	0.35	2544	326	50
1549	1171	120	80	0.76	0.029	on	on	0.086	on	on	7296	0.02381	-0.52	0.04	2544	326	50
1550	539	40	60	0.83	0.016	on	on	0.063	on	on	1992	0.02374	0.52	0.34	2546	325	50
1551	991	140	60	0.71	0.033	on	on	0.165	on	on	5964	0.02374	0.52	0.34	2546	325	50
1552	855	60	60	0.78	0.031	on	on	0.190	on	on	2808	0.02371	-0.52	0.35	2543	326	50
1553	1062	60	80	0.76	0.018	on	on	0.139	on	on	3648	0.02371	-0.52	0.35	2543	326	50
1554	1671	80	80	0.87	0.011	on	on	0.029	on	on	5568	0.02371	-0.52	0.35	2543	316	50
1555	209	140	80	0.81	0.013	on	on	0.166	on	on	9072	0.02371	-0.52	0.35	2543	326	50
1556	1973	40	60	0.75	0.036	on	on	0.083	on	on	1800	0.02359	0.56	0.36	3494	275	50
1557	1713	100	40	0.77	0.047	on	on	0.028	on	on	3080	0.02359	0.52	0.34	2545	325	50
1558	488	100	60	0.83	0.045	on	on	0.043	on	on	4980	0.02359	0.05	0.34	2545	325	50
1559	1236	80	80	0.82	0.021	on	on	0.076	on	on	5248	0.02359	0.52	0.34	2545	325	50
1560	1724	100	40	0.87	0.043	on	on	0.117	on	on	3480	0.02351	-0.51	0.35	2541	326	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
1561	468	60	80	0.81	0.015	on	on	0.122	on	on	3888	0.02329	-0.51	0.35	2539	326	50
1562	1922	100	60	0.87	0.023	on	on	0.124	on	on	5220	0.02329	-0.51	0.35	2539	326	50
1563	1565	40	60	0.78	0.008	on	on	0.082	on	on	1872	0.02328	0.54	0.34	2543	325	50
1564	816	100	40	0.81	0.027	on	on	0.144	on	on	3240	0.02321	-0.58	0.37	2547	327	50
1565	282	40	60	0.86	0.013	on	on	0.122	on	on	2064	0.02318	-0.51	0.35	2538	326	50
1566	743	80	40	0.73	0.020	on	on	0.115	on	on	2336	0.02317	-0.58	0.36	2545	327	50
1567	391	60	80	0.78	0.054	on	on	0.135	on	on	3744	0.02313	-0.52	0.30	3008	306	50
1568	1582	40	80	0.76	0.042	on	on	0.042	on	on	2432	0.02311	0.54	0.34	2542	325	50
1569	1998	80	80	0.79	0.045	on	on	0.053	on	on	5056	0.02304	-0.57	0.36	2541	327	50
1570	1862	120	60	0.83	0.042	on	on	0.143	on	on	5976	0.02304	-0.57	0.36	2541	327	50
1571	218	60	40	0.76	0.051	on	on	0.116	on	on	1824	0.02298	0.64	0.38	3420	276	50
1572	68	60	60	0.76	0.028	on	on	0.037	on	on	2736	0.02296	-0.56	0.36	2539	327	50
1573	1913	80	60	0.87	0.021	on	on	0.010	on	on	4176	0.02290	-0.56	0.36	2538	327	50
1574	1532	120	80	0.80	0.042	on	on	0.033	on	on	7680	0.02290	-0.56	0.36	2538	327	50
1575	213	40	60	0.76	0.011	on	on	0.087	on	on	1824	0.02279	0.55	0.34	2540	325	50
1576	607	140	60	0.82	0.022	on	on	0.172	on	on	6888	0.02269	0.59	0.33	2547	324	50
1577	1557	40	60	0.83	0.019	on	on	0.191	on	on	1992	0.02262	0.56	0.34	2539	325	50
1578	1205	60	60	0.70	0.041	on	on	0.072	on	on	2520	0.02258	0.52	0.35	3513	275	50
1579	645	100	60	0.82	0.022	on	on	0.132	on	on	4920	0.02253	-0.55	0.36	2532	327	50
1580	1324	120	60	0.72	0.041	on	on	0.112	on	on	5184	0.02244	0.52	0.35	2532	326	50
1581	114	80	60	0.83	0.036	on	on	0.168	on	on	3984	0.02238	-0.54	0.36	2530	327	50
1582	1838	60	40	0.84	0.025	on	on	0.161	on	on	2016	0.02234	-0.64	0.38	2650	324	50
1583	284	40	40	0.84	0.020	on	on	0.141	on	on	1344	0.02230	-0.54	0.36	2529	327	50
1584	1058	40	60	0.75	0.015	on	on	0.097	on	on	1800	0.02230	0.53	0.35	2531	326	50
1585	277	80	40	0.72	0.021	on	on	0.043	on	on	2304	0.02204	-0.53	0.36	2526	327	50
1586	1853	100	60	0.75	0.041	on	on	0.137	on	on	4500	0.02204	-0.53	0.36	2526	327	50
1587	322	80	80	0.79	0.043	on	on	0.073	on	on	5056	0.02200	-0.54	0.34	2877	313	50
1588	1014	40	60	0.74	0.043	on	on	0.052	on	on	1776	0.02191	-0.63	0.38	2696	322	50
1589	1709	120	80	0.75	0.025	on	on	0.141	on	on	7200	0.02185	-0.53	0.36	2524	327	50
1590	909	60	40	0.87	0.035	on	on	0.037	on	on	2088	0.02173	-0.61	0.38	2536	328	50
1591	1668	80	60	0.83	0.029	on	on	0.024	on	on	3984	0.02171	-0.60	0.38	2532	328	50
1592	988	100	60	0.81	0.043	on	on	0.026	on	on	4860	0.02171	0.62	0.33	2542	324	50
1593	1538	40	60	0.74	0.015	on	on	0.085	on	on	1776	0.02168	-0.60	0.38	2530	328	50
1594	1294	80	40	0.73	0.048	on	on	0.158	on	on	2336	0.02160	-0.59	0.38	2527	328	50
1595	770	100	60	0.82	0.046	on	on	0.056	on	on	4920	0.02157	-0.59	0.38	2526	328	50
1596	11	80	60	0.70	0.026	on	on	0.135	on	on	3360	0.02151	0.63	0.33	2541	324	50
1597	30	40	60	0.83	0.010	on	on	0.050	on	on	1992	0.02144	0.60	0.34	2532	325	50
1598	479	40	80	0.75	0.008	on	on	0.136	on	on	2400	0.02110	0.53	0.36	2517	327	50
1599	1162	60	80	0.75	0.032	on	on	0.059	on	on	3600	0.02093	-0.56	0.37	2514	328	50
1600	158	100	80	0.83	0.047	on	on	0.112	on	on	6640	0.02093	-0.56	0.37	2514	328	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
1601	1714	140	80	0.76	0.042	on	on	0.096	on	on	8512	0.02093	-0.56	0.37	2514	328	50
1602	145	100	40	0.72	0.026	on	on	0.055	on	on	2880	0.02086	0.55	0.36	2515	327	50
1603	839	40	40	0.78	0.020	on	on	0.183	on	on	1248	0.02082	0.70	0.28	2810	304	50
1604	840	60	80	0.73	0.037	on	on	0.100	on	on	3504	0.02069	-0.55	0.37	2511	328	50
1605	1686	100	80	0.72	0.025	on	on	0.109	on	on	5760	0.02058	-0.61	0.30	3072	303	50
1606	1765	40	40	0.84	0.026	on	on	0.139	on	on	1344	0.02044	-0.55	0.37	2508	328	50
1607	1803	60	60	0.79	0.008	on	on	0.074	on	on	2844	0.02043	-0.68	0.40	2615	326	50
1608	1288	80	60	0.70	0.019	on	on	0.179	on	on	3360	0.02037	-0.63	0.39	2522	329	50
1609	1720	60	60	0.87	0.044	on	on	0.114	on	on	3132	0.02033	-0.62	0.39	2515	329	50
1610	160	40	40	0.82	0.022	on	on	0.037	on	on	1312	0.02022	0.61	0.39	3533	273	50
1611	665	60	60	0.86	0.047	on	on	0.122	on	on	3096	0.02014	-0.74	0.28	3293	291	50
1612	150	140	60	0.79	0.054	on	on	0.052	on	on	6636	0.02014	0.60	0.39	3537	273	50
1613	1179	80	80	0.78	0.044	on	on	0.104	on	on	4992	0.02005	-0.60	0.39	2506	329	50
1614	139	40	40	0.79	0.007	on	on	0.081	on	on	1264	0.02001	0.60	0.39	3539	273	50
1615	1999	80	40	0.81	0.017	on	on	0.032	on	on	2592	0.01995	0.66	0.40	3507	273	50
1616	867	100	40	0.81	0.043	on	on	0.048	on	on	3240	0.01995	-0.67	0.40	2537	329	50
1617	14	60	40	0.83	0.013	on	on	0.057	on	on	1992	0.01994	-0.65	0.39	2705	322	50
1618	187	40	40	0.73	0.020	on	on	0.094	on	on	1168	0.01987	0.66	0.41	3505	273	50
1619	1295	60	80	0.75	0.007	on	on	0.118	on	on	3600	0.01985	0.66	0.34	2523	325	50
1620	1149	80	40	0.80	0.052	on	on	0.196	on	on	2560	0.01937	-0.67	0.30	3132	300	50
1621	9	40	80	0.86	0.052	on	on	0.066	on	on	2752	0.01933	0.57	0.37	2497	328	50
1622	376	40	60	0.81	0.006	on	on	0.189	on	on	1944	0.01932	0.68	0.41	3494	273	50
1623	598	140	60	0.72	0.052	on	on	0.080	on	on	6048	0.01922	0.58	0.37	2496	328	50
1624	1723	40	40	0.84	0.047	on	on	0.083	on	on	1344	0.01916	-0.69	0.41	2549	329	50
1625	925	40	80	0.86	0.026	on	on	0.121	on	on	2752	0.01915	-0.65	0.40	2504	330	50
1626	1210	100	40	0.81	0.043	on	on	0.062	on	on	3240	0.01915	-0.65	0.41	2506	330	50
1627	684	60	80	0.83	0.039	on	on	0.103	on	on	3984	0.01915	-0.65	0.41	2505	330	50
1628	564	60	80	0.78	0.017	on	on	0.172	on	on	3744	0.01914	-0.66	0.41	2508	330	50
1629	1851	80	80	0.86	0.041	on	on	0.041	on	on	5504	0.01914	-0.64	0.40	2503	330	50
1630	955	140	60	0.77	0.051	on	on	0.181	on	on	6468	0.01912	-0.64	0.40	2501	330	50
1631	525	140	60	0.79	0.034	on	on	0.169	on	on	6636	0.01903	-0.63	0.40	2496	330	50
1632	1729	100	40	0.70	0.049	on	on	0.022	on	on	2800	0.01896	-0.68	0.41	2517	330	50
1633	1506	40	80	0.71	0.021	on	on	0.132	on	on	2272	0.01894	-0.62	0.40	2493	330	50
1634	1967	60	40	0.75	0.007	on	on	0.187	on	on	1800	0.01892	0.55	0.38	3563	273	50
1635	7	80	80	0.73	0.042	on	on	0.185	on	on	4672	0.01892	-0.68	0.35	3538	276	50
1636	1918	100	80	0.82	0.047	on	on	0.043	on	on	6560	0.01884	0.74	0.33	2549	322	50
1637	1500	40	40	0.81	0.009	on	on	0.170	on	on	1296	0.01882	0.65	0.41	3544	272	50
1638	392	80	40	0.84	0.017	on	on	0.177	on	on	2688	0.01882	0.65	0.41	3543	272	50
1639	859	60	60	0.80	0.028	on	on	0.109	on	on	2880	0.01881	-0.69	0.42	2521	330	50
1640	1399	60	40	0.87	0.037	on	on	0.156	on	on	2088	0.01878	0.66	0.41	3539	272	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
1641	1028	40	40	0.85	0.007	on	on	0.180	on	on	1360	0.01873	-0.61	0.40	2488	330	50
1642	1936	40	60	0.86	0.010	on	on	0.106	on	on	2064	0.01858	-0.60	0.40	2485	330	50
1643	1581	60	80	0.71	0.040	on	on	0.139	on	on	3408	0.01847	-0.60	0.40	2483	330	50
1644	280	120	80	0.71	0.037	on	on	0.178	on	on	6816	0.01834	-0.59	0.40	2481	330	50
1645	504	60	80	0.77	0.040	on	on	0.058	on	on	3696	0.01831	-0.67	0.40	2713	322	50
1646	936	40	40	0.81	0.014	on	on	0.150	on	on	1296	0.01828	-0.58	0.38	3572	273	50
1647	1682	40	40	0.81	0.015	on	on	0.010	on	on	1296	0.01828	-0.58	0.38	3572	273	50
1648	850	140	40	0.78	0.027	on	on	0.160	on	on	4368	0.01828	-0.58	0.38	3572	273	50
1649	105	80	80	0.78	0.036	on	on	0.024	on	on	4992	0.01827	-0.59	0.40	2480	330	50
1650	461	40	40	0.73	0.012	on	on	0.044	on	on	1168	0.01826	0.60	0.40	3572	272	50
1651	884	40	40	0.74	0.012	on	on	0.173	on	on	1184	0.01826	0.60	0.40	3572	272	50
1652	1956	40	40	0.75	0.019	on	on	0.119	on	on	1200	0.01826	0.60	0.40	3572	272	50
1653	764	40	40	0.79	0.019	on	on	0.176	on	on	1264	0.01826	0.60	0.40	3572	272	50
1654	976	60	40	0.75	0.039	on	on	0.021	on	on	1800	0.01826	0.60	0.40	3572	272	50
1655	1482	80	40	0.70	0.040	on	on	0.124	on	on	2240	0.01824	0.70	0.42	3520	272	50
1656	1273	100	80	0.87	0.038	on	on	0.046	on	on	6960	0.01821	-0.59	0.40	2479	330	50
1657	1704	40	40	0.71	0.022	on	on	0.028	on	on	1136	0.01820	-0.59	0.38	3575	273	50
1658	496	60	40	0.71	0.014	on	on	0.190	on	on	1704	0.01820	-0.59	0.38	3573	273	50
1659	748	60	40	0.74	0.012	on	on	0.073	on	on	1776	0.01814	0.63	0.38	2487	328	50
1660	1584	40	40	0.79	0.015	on	on	0.103	on	on	1264	0.01812	0.59	0.40	3575	272	50
1661	546	40	40	0.70	0.025	on	on	0.164	on	on	1120	0.01807	0.59	0.40	3576	272	50
1662	651	40	40	0.82	0.014	on	on	0.144	on	on	1312	0.01807	0.59	0.40	3576	272	50
1663	1644	100	80	0.87	0.051	on	on	0.058	on	on	6960	0.01804	-0.60	0.38	3575	273	50
1664	638	40	60	0.87	0.020	on	on	0.016	on	on	2088	0.01803	-0.67	0.42	2491	331	50
1665	156	100	40	0.81	0.041	on	on	0.076	on	on	3240	0.01802	-0.68	0.42	2493	331	50
1666	1270	40	80	0.81	0.041	on	on	0.121	on	on	2592	0.01798	0.59	0.40	3578	272	50
1667	185	80	60	0.87	0.040	on	on	0.198	on	on	4176	0.01796	-0.60	0.38	3576	273	50
1668	750	120	40	0.77	0.042	on	on	0.023	on	on	3696	0.01788	-0.61	0.38	3577	273	50
1669	4	120	60	0.79	0.054	on	on	0.152	on	on	5688	0.01787	-0.64	0.41	2479	311	50
1670	334	100	80	0.79	0.037	on	on	0.012	on	on	6320	0.01782	0.58	0.40	3581	272	50
1671	1632	80	40	0.85	0.045	on	on	0.171	on	on	2720	0.01781	-0.64	0.41	2477	331	50
1672	293	40	80	0.70	0.054	on	on	0.053	on	on	2240	0.01776	-0.70	0.43	2505	331	50
1673	1439	80	80	0.79	0.022	on	on	0.095	on	on	5056	0.01773	0.62	0.39	2477	329	50
1674	1650	80	80	0.72	0.027	on	on	0.137	on	on	4608	0.01765	-0.71	0.43	2508	331	50
1675	749	60	80	0.83	0.040	on	on	0.168	on	on	3984	0.01757	-0.70	0.42	2676	324	50
1676	935	60	40	0.87	0.014	on	on	0.089	on	on	2088	0.01750	0.66	0.42	3572	271	50
1677	1795	80	40	0.83	0.037	on	on	0.066	on	on	2656	0.01750	0.66	0.42	3571	271	50
1678	1282	60	40	0.83	0.046	on	on	0.181	on	on	1992	0.01749	0.66	0.42	3573	271	50
1679	746	40	40	0.87	0.020	on	on	0.175	on	on	1392	0.01747	0.66	0.42	3575	271	50
1680	12	80	80	0.70	0.044	on	on	0.092	on	on	4480	0.01737	0.65	0.42	3581	271	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
1681	1554	40	60	0.87	0.044	on	on	0.128	on	on	2088	0.01724	-0.73	0.44	2516	311	50
1682	637	120	80	0.72	0.045	on	on	0.192	on	on	6912	0.01716	0.63	0.42	3589	271	50
1683	378	60	80	0.72	0.040	on	on	0.151	on	on	3456	0.01714	-0.69	0.37	3576	274	50
1684	475	60	60	0.73	0.023	on	on	0.122	on	on	2628	0.01706	0.65	0.39	2471	329	50
1685	853	40	80	0.78	0.041	on	on	0.047	on	on	2496	0.01703	0.74	0.44	3499	272	50
1686	1004	60	60	0.79	0.019	on	on	0.082	on	on	2844	0.01697	-0.70	0.43	2482	332	50
1687	46	40	60	0.81	0.027	on	on	0.042	on	on	1944	0.01691	0.62	0.41	3596	271	50
1688	799	60	40	0.78	0.032	on	on	0.136	on	on	1872	0.01673	-0.71	0.38	3580	274	50
1689	1743	40	80	0.75	0.019	on	on	0.032	on	on	2400	0.01668	0.63	0.40	2461	330	50
1690	22	60	80	0.74	0.054	on	on	0.195	on	on	3552	0.01662	0.75	0.37	2494	326	50
1691	602	60	40	0.82	0.033	on	on	0.154	on	on	1968	0.01655	0.60	0.41	3604	271	50
1692	1548	60	40	0.83	0.014	on	on	0.130	on	on	1992	0.01655	0.60	0.41	3604	271	50
1693	32	40	60	0.72	0.019	on	on	0.143	on	on	1728	0.01640	0.60	0.41	3607	271	50
1694	630	60	60	0.71	0.043	on	on	0.180	on	on	2556	0.01635	-0.63	0.42	2451	332	50
1695	946	60	40	0.77	0.033	on	on	0.029	on	on	1848	0.01633	0.69	0.44	3590	270	50
1696	1552	60	60	0.86	0.047	on	on	0.032	on	on	3096	0.01632	0.69	0.44	3592	270	50
1697	1182	60	60	0.71	0.033	on	on	0.080	on	on	2556	0.01619	0.67	0.43	3603	270	50
1698	1614	100	40	0.70	0.047	on	on	0.178	on	on	2800	0.01613	0.66	0.43	3606	270	50
1699	762	40	80	0.83	0.043	on	on	0.182	on	on	2656	0.01606	-0.84	0.33	3467	282	50
1700	1908	60	60	0.82	0.022	on	on	0.082	on	on	2952	0.01604	-0.72	0.45	2467	333	50
1701	231	60	80	0.79	0.040	on	on	0.170	on	on	3792	0.01581	0.65	0.41	2446	331	50
1702	837	60	60	0.81	0.028	on	on	0.115	on	on	2916	0.01566	0.07	0.40	2451	330	50
1703	403	40	40	0.85	0.011	on	on	0.082	on	on	1360	0.01558	-0.78	0.37	3758	275	50
1704	1893	40	80	0.78	0.034	on	on	0.104	on	on	2496	0.01555	-0.85	0.32	3331	290	50
1705	469	40	40	0.77	0.032	on	on	0.194	on	on	1232	0.01526	0.72	0.46	3609	269	50
1706	289	120	60	0.76	0.021	on	on	0.058	on	on	5472	0.01526	0.72	0.46	3609	269	50
1707	1384	40	80	0.85	0.037	on	on	0.169	on	on	2720	0.01524	0.71	0.45	3616	269	50
1708	1070	80	40	0.87	0.041	on	on	0.156	on	on	2784	0.01522	-0.72	0.45	2443	334	50
1709	1718	100	60	0.80	0.038	on	on	0.073	on	on	4800	0.01522	-0.72	0.45	2443	334	50
1710	1782	60	80	0.75	0.045	on	on	0.199	on	on	3600	0.01515	0.69	0.45	3624	269	50
1711	203	100	80	0.71	0.053	on	on	0.108	on	on	5680	0.01515	0.69	0.45	3624	269	50
1712	212	60	40	0.79	0.011	on	on	0.032	on	on	1896	0.01514	-0.71	0.45	2436	334	50
1713	1673	40	40	0.85	0.007	on	on	0.143	on	on	1360	0.01498	0.76	0.47	3587	269	50
1714	1842	140	40	0.83	0.049	on	on	0.102	on	on	4648	0.01488	-0.64	0.43	3639	270	50
1715	261	80	60	0.71	0.050	on	on	0.116	on	on	3408	0.01479	-0.70	0.42	3633	271	50
1716	646	40	40	0.75	0.030	on	on	0.199	on	on	1200	0.01477	0.87	0.35	2540	321	50
1717	1332	40	40	0.85	0.046	on	on	0.145	on	on	1360	0.01474	0.78	0.47	3579	269	50
1718	1748	60	60	0.83	0.048	on	on	0.154	on	on	2988	0.01470	-0.69	0.43	2475	332	50
1719	1758	60	60	0.87	0.036	on	on	0.103	on	on	3132	0.01458	-0.67	0.45	2419	334	50
1720	274	40	60	0.75	0.032	on	on	0.017	on	on	1800	0.01456	-0.88	0.35	3510	280	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
1721	1561	40	40	0.85	0.014	on	on	0.072	on	on	1360	0.01453	0.79	0.48	3573	296	50
1722	1785	60	40	0.80	0.052	on	on	0.040	on	on	1920	0.01453	0.79	0.48	3573	269	50
1723	678	80	40	0.76	0.051	on	on	0.042	on	on	2432	0.01442	-0.74	0.45	2696	324	50
1724	754	40	40	0.83	0.048	on	on	0.159	on	on	1328	0.01437	-0.73	0.42	3639	271	50
1725	1872	40	80	0.76	0.014	on	on	0.011	on	on	2432	0.01429	0.90	0.34	2617	315	50
1726	947	40	60	0.84	0.054	on	on	0.139	on	on	2016	0.01427	0.80	0.48	3435	273	50
1727	959	60	80	0.73	0.043	on	on	0.133	on	on	3504	0.01417	0.71	0.46	3647	268	50
1728	1296	40	60	0.72	0.043	on	on	0.036	on	on	1728	0.01416	0.81	0.48	3463	272	50
1729	1053	40	80	0.73	0.052	on	on	0.162	on	on	2336	0.01378	0.71	0.44	2410	333	50
1730	941	80	40	0.79	0.043	on	on	0.072	on	on	2528	0.01378	0.68	0.16	3664	268	50
1731	1104	40	40	0.87	0.044	on	on	0.070	on	on	1392	0.01372	0.92	0.34	2628	314	50
1732	260	60	60	0.70	0.028	on	on	0.136	on	on	2520	0.01369	-0.75	0.48	2410	336	50
1733	632	40	60	0.80	0.018	on	on	0.063	on	on	1920	0.01357	0.91	0.37	2508	323	50
1734	1505	40	40	0.87	0.053	on	on	0.098	on	on	1392	0.01355	-0.73	0.47	2402	336	50
1735	1098	40	80	0.71	0.018	on	on	0.119	on	on	2272	0.01351	0.89	0.38	2484	325	50
1736	951	120	80	0.70	0.013	on	on	0.049	on	on	6720	0.01351	0.84	0.41	2441	329	50
1737	1184	140	40	0.84	0.038	on	on	0.053	on	on	4704	0.01336	-0.82	0.50	2439	336	50
1738	1156	60	40	0.78	0.007	on	on	0.080	on	on	1872	0.01333	-0.71	0.47	2394	336	50
1739	182	60	60	0.78	0.028	on	on	0.046	on	on	2808	0.01330	-0.71	0.47	2393	336	50
1740	1643	40	40	0.85	0.023	on	on	0.100	on	on	1360	0.01328	-0.80	0.42	3654	271	50
1741	1131	60	80	0.71	0.037	on	on	0.185	on	on	3408	0.01326	0.80	0.50	3634	267	50
1742	306	80	60	0.70	0.046	on	on	0.165	on	on	3360	0.01311	-0.73	0.45	2395	334	50
1743	255	80	40	0.70	0.050	on	on	0.057	on	on	2240	0.01305	-0.79	0.49	2405	337	50
1744	1697	60	60	0.70	0.050	on	on	0.033	on	on	2520	0.01305	-0.78	0.49	2399	337	50
1745	958	80	60	0.76	0.050	on	on	0.097	on	on	3648	0.01289	0.70	0.47	3688	267	50
1746	1606	40	80	0.87	0.026	on	on	0.197	on	on	2784	0.01283	0.60	0.40	3572	272	50
1747	1912	40	60	0.70	0.054	on	on	0.057	on	on	1680	0.01282	-0.76	0.45	3682	269	50
1748	1347	40	60	0.72	0.031	on	on	0.193	on	on	1728	0.01274	-0.76	0.47	2728	323	50
1749	1818	100	60	0.72	0.052	on	on	0.146	on	on	4320	0.01260	0.73	0.48	3671	267	50
1750	246	80	60	0.85	0.039	on	on	0.072	on	on	4080	0.01259	0.81	0.52	3668	266	50
1751	1972	80	40	0.71	0.024	on	on	0.058	on	on	2272	0.01244	-0.80	0.50	2386	338	50
1752	354	60	80	0.85	0.046	on	on	0.138	on	on	4080	0.01241	-0.82	0.51	2395	338	50
1753	782	120	60	0.70	0.037	on	on	0.044	on	on	5040	0.01238	-0.83	0.51	2398	338	50
1754	1906	40	80	0.73	0.053	on	on	0.197	on	on	2336	0.01237	-0.78	0.50	2378	338	50
1755	1339	60	60	0.81	0.037	on	on	0.050	on	on	2916	0.01237	-0.69	0.47	3704	267	50
1756	575	120	40	0.84	0.025	on	on	0.174	on	on	4032	0.01234	-0.87	0.52	2486	335	50
1757	1537	140	40	0.81	0.040	on	on	0.145	on	on	4536	0.01230	-0.84	0.51	2403	338	50
1758	798	80	80	0.75	0.018	on	on	0.018	on	on	4800	0.01224	-0.85	0.52	2406	338	50
1759	587	40	60	0.72	0.023	on	on	0.082	on	on	1728	0.01218	0.77	0.48	3286	278	50
1760	1304	140	40	0.77	0.029	on	on	0.073	on	on	4312	0.01218	-0.76	0.50	2368	338	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
1761	1487	100	80	0.73	0.051	on	on	0.042	on	on	5840	0.01218	0.87	0.43	2409	331	50
1762	1061	40	60	0.83	0.051	on	on	0.017	on	on	1992	0.01211	0.97	0.38	2510	322	50
1763	125	140	80	0.76	0.008	on	on	0.020	on	on	8512	0.01203	-0.87	0.52	2414	338	50
1764	914	40	60	0.84	0.046	on	on	0.130	on	on	2016	0.01201	0.88	0.53	3593	267	50
1765	1264	40	80	0.86	0.037	on	on	0.094	on	on	2752	0.01201	0.98	0.38	2534	320	50
1766	741	60	80	0.78	0.024	on	on	0.200	on	on	3744	0.01196	-0.92	0.42	3644	273	50
1767	1819	40	40	0.79	0.041	on	on	0.080	on	on	1264	0.01187	-0.89	0.52	2515	334	50
1768	1955	60	40	0.81	0.030	on	on	0.133	on	on	1944	0.01186	-0.83	0.52	2378	339	50
1769	1525	100	60	0.77	0.053	on	on	0.031	on	on	4620	0.01186	0.81	0.52	3700	265	50
1770	502	80	80	0.78	0.041	on	on	0.150	on	on	4992	0.01185	-0.81	0.51	2369	339	50
1771	623	60	80	0.72	0.037	on	on	0.078	on	on	3456	0.01184	-0.81	0.51	2367	339	50
1772	1447	60	40	0.78	0.037	on	on	0.181	on	on	1872	0.01182	0.84	0.52	3684	265	50
1773	1798	40	40	0.75	0.045	on	on	0.200	on	on	1200	0.01178	0.79	0.51	3712	265	50
1774	1024	40	80	0.75	0.024	on	on	0.033	on	on	2400	0.01175	0.88	0.44	2395	332	50
1775	929	60	60	0.84	0.047	on	on	0.049	on	on	3024	0.01172	-0.76	0.47	3720	267	50
1776	88	140	60	0.72	0.053	on	on	0.162	on	on	6048	0.01168	-0.78	0.51	2356	339	50
1777	558	80	40	0.81	0.049	on	on	0.177	on	on	2592	0.01157	0.75	0.48	2354	337	50
1778	61	40	40	0.80	0.052	on	on	0.040	on	on	1280	0.01153	-0.86	0.45	3704	269	50
1779	177	40	80	0.73	0.014	on	on	0.131	on	on	2336	0.01134	-0.85	0.53	2362	340	50
1780	216	40	80	0.71	0.030	on	on	0.123	on	on	2272	0.01131	-0.86	0.53	2367	340	50
1781	1238	60	60	0.73	0.044	on	on	0.018	on	on	2628	0.01128	-0.75	0.49	3737	266	50
1782	84	40	80	0.85	0.040	on	on	0.046	on	on	2720	0.01123	-0.76	0.47	2836	318	50
1783	686	60	40	0.81	0.052	on	on	0.156	on	on	1944	0.01116	-0.89	0.54	2378	340	50
1784	690	40	80	0.78	0.037	on	on	0.069	on	on	2496	0.01116	-0.89	0.54	2378	340	50
1785	972	60	60	0.84	0.032	on	on	0.144	on	on	3024	0.01114	0.91	0.55	3648	265	50
1786	1509	80	80	0.81	0.024	on	on	0.080	on	on	5184	0.01114	-0.92	0.54	2482	336	50
1787	1595	120	80	0.83	0.053	on	on	0.200	on	on	7968	0.01110	-0.74	0.51	2337	339	50
1788	1631	100	60	0.85	0.021	on	on	0.092	on	on	5100	0.01109	-0.78	0.49	3742	266	50
1789	579	40	80	0.79	0.044	on	on	0.112	on	on	2528	0.01107	0.88	0.54	3698	264	50
1790	1555	60	60	0.79	0.037	on	on	0.100	on	on	2844	0.01107	0.88	0.54	3698	264	50
1791	1357	100	60	0.87	0.044	on	on	0.040	on	on	5220	0.01106	-0.79	0.52	2337	340	50
1792	1890	40	40	0.81	0.034	on	on	0.091	on	on	1296	0.01105	0.76	0.43	2998	291	50
1793	1813	40	80	0.70	0.025	on	on	0.132	on	on	2240	0.01095	-0.78	0.52	2333	340	50
1794	482	60	80	0.70	0.039	on	on	0.038	on	on	3360	0.01084	-0.92	0.55	2508	335	50
1795	1769	60	60	0.85	0.013	on	on	0.107	on	on	3060	0.01082	-1.01	0.42	3627	275	50
1796	171	80	40	0.71	0.054	on	on	0.152	on	on	2272	0.01079	-0.89	0.55	2356	341	50
1797	1459	80	40	0.71	0.036	on	on	0.194	on	on	2272	0.01068	0.84	0.49	2339	337	50
1798	1775	40	40	0.78	0.040	on	on	0.088	on	on	1248	0.01060	-0.97	0.44	3692	271	50
1799	1639	40	60	0.77	0.050	on	on	0.036	on	on	1848	0.01060	-0.85	0.52	2670	327	50
1800	1155	80	40	0.70	0.051	on	on	0.199	on	on	2240	0.01060	-0.89	0.42	3143	302	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
1801	1224	40	40	0.85	0.047	on	on	0.185	on	on	1360	0.01058	0.75	0.52	3765	264	50
1802	1885	100	40	0.70	0.047	on	on	0.125	on	on	2800	0.01055	0.75	0.52	3766	264	50
1803	135	60	80	0.76	0.050	on	on	0.090	on	on	3648	0.01038	-0.89	0.56	2336	342	50
1804	314	40	40	0.79	0.034	on	on	0.130	on	on	1264	0.01004	-0.97	0.41	3223	298	50
1805	698	60	80	0.76	0.022	on	on	0.174	on	on	3648	0.01001	-0.95	0.58	2361	342	50
1806	465	60	40	0.82	0.044	on	on	0.105	on	on	1968	0.00997	-0.90	0.49	3769	266	50
1807	966	40	40	0.72	0.043	on	on	0.113	on	on	1152	0.00992	-0.29	0.17	2797	312	50
1808	1373	40	80	0.77	0.035	on	on	0.067	on	on	2464	0.00984	0.82	0.52	3239	279	50
1809	895	60	60	0.74	0.030	on	on	0.071	on	on	2664	0.00981	-0.86	0.56	2300	343	50
1810	1109	80	80	0.71	0.053	on	on	0.022	on	on	4544	0.00967	0.83	0.83	3260	278	50
1811	1610	80	40	0.81	0.030	on	on	0.057	on	on	2592	0.00965	-0.78	0.54	2291	342	50
1812	1390	80	60	0.79	0.054	on	on	0.016	on	on	3792	0.00956	0.96	0.58	3485	269	50
1813	1247	60	60	0.85	0.018	on	on	0.188	on	on	3060	0.00948	-0.89	0.57	2291	344	50
1814	357	40	40	0.85	0.048	on	on	0.122	on	on	1360	0.00934	0.79	0.55	3817	262	50
1815	1015	40	40	0.82	0.031	on	on	0.157	on	on	1312	0.00933	1.00	0.60	3707	262	50
1816	719	40	40	0.74	0.033	on	on	0.181	on	on	1184	0.00925	1.01	0.60	3597	265	50
1817	1361	60	60	0.70	0.033	on	on	0.122	on	on	2520	0.00919	0.85	0.57	3821	261	50
1818	696	80	60	0.80	0.038	on	on	0.182	on	on	3840	0.00915	2.61	-0.92	2283	345	50
1819	1629	40	80	0.70	0.025	on	on	0.092	on	on	2240	0.00900	-0.89	0.58	2269	345	50
1820	869	40	80	0.81	0.032	on	on	0.174	on	on	2592	0.00894	-1.12	0.45	3653	275	50
1821	1121	40	80	0.86	0.050	on	on	0.195	on	on	2752	0.00891	-0.86	0.55	3835	262	50
1822	960	80	80	0.79	0.053	on	on	0.098	on	on	5056	0.00883	0.89	0.59	3835	260	50
1823	1067	40	60	0.84	0.040	on	on	0.108	on	on	2016	0.00882	-0.95	0.60	2274	346	50
1824	1255	140	80	0.72	0.009	on	on	0.025	on	on	8064	0.00882	-0.96	0.60	2280	346	50
1825	1405	40	60	0.72	0.032	on	on	0.181	on	on	1728	0.00881	-0.97	0.60	2283	346	50
1826	692	40	60	0.77	0.049	on	on	0.170	on	on	1848	0.00876	-0.99	0.61	2290	346	50
1827	371	60	80	0.70	0.040	on	on	0.192	on	on	3360	0.00871	-0.91	0.59	2259	346	50
1828	559	40	40	0.71	0.017	on	on	0.193	on	on	1136	0.00870	-0.83	0.56	3848	261	50
1829	784	40	40	0.72	0.032	on	on	0.136	on	on	1152	0.00868	-1.04	0.62	2399	342	50
1830	1770	40	60	0.79	0.047	on	on	0.088	on	on	1896	0.00847	-1.05	0.63	2360	344	50
1831	1846	80	40	0.75	0.052	on	on	0.031	on	on	2400	0.00837	-0.98	0.54	3844	263	50
1832	1474	40	60	0.72	0.043	on	on	0.099	on	on	1728	0.00834	1.08	0.52	2302	337	50
1833	499	140	60	0.75	0.054	on	on	0.093	on	on	6300	0.00826	1.17	0.48	2387	329	50
1834	1843	40	40	0.77	0.054	on	on	0.188	on	on	1232	0.00822	0.88	0.60	3873	259	50
1835	167	40	40	0.74	0.037	on	on	0.186	on	on	1184	0.00817	-0.97	0.55	3861	262	50
1836	1134	60	80	0.77	0.034	on	on	0.173	on	on	3696	0.00816	-0.97	0.62	2242	348	50
1837	1280	40	60	0.81	0.050	on	on	0.017	on	on	1944	0.00813	-1.02	0.63	2263	348	50
1838	1624	40	80	0.82	0.024	on	on	0.192	on	on	2624	0.00810	0.98	0.63	3855	258	50
1839	1754	40	40	0.72	0.038	on	on	0.095	on	on	1152	0.00798	-1.06	0.64	2276	348	50
1840	1352	80	80	0.86	0.054	on	on	0.154	on	on	5504	0.00787	-0.91	0.61	2218	348	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
1841	1889	60	80	0.71	0.030	on	on	0.141	on	on	3408	0.00783	-1.08	0.65	2285	348	50
1842	292	60	40	0.79	0.047	on	on	0.143	on	on	1896	0.00774	-1.06	0.55	3863	263	50
1843	123	40	60	0.72	0.046	on	on	0.194	on	on	1728	0.00768	1.04	0.65	3859	257	50
1844	223	80	80	0.75	0.016	on	on	0.179	on	on	4800	0.00760	-1.02	0.65	2219	350	50
1845	33	40	40	0.85	0.050	on	on	0.019	on	on	1360	0.00752	1.09	0.67	3836	257	50
1846	373	40	80	0.85	0.023	on	on	0.089	on	on	2720	0.00743	0.91	0.53	3018	288	50
1847	1108	80	60	0.78	0.022	on	on	0.014	on	on	3744	0.00741	-0.90	0.61	3923	258	50
1848	655	100	60	0.73	0.049	on	on	0.085	on	on	4380	0.00739	-1.15	0.48	3293	296	50
1849	1635	100	60	0.77	0.042	on	on	0.120	on	on	4620	0.00735	-1.04	0.66	2210	351	50
1850	1636	100	80	0.86	0.048	on	on	0.146	on	on	6880	0.00735	-1.04	0.66	2210	351	50
1851	1209	40	80	0.71	0.050	on	on	0.191	on	on	2272	0.00732	-1.02	0.65	2201	351	50
1852	1740	40	40	0.74	0.047	on	on	0.073	on	on	1184	0.00713	1.12	0.68	3854	256	50
1853	1887	80	60	0.85	0.047	on	on	0.048	on	on	4080	0.00710	-1.06	0.67	2195	352	50
1854	679	60	60	0.84	0.028	on	on	0.036	on	on	3024	0.00708	-1.04	0.67	2189	352	50
1855	1462	60	40	0.72	0.054	on	on	0.058	on	on	1728	0.00704	1.11	0.58	2214	344	50
1856	474	100	80	0.81	0.041	on	on	0.157	on	on	6480	0.00688	-0.99	0.66	2167	352	50
1857	898	40	60	0.79	0.048	on	on	0.129	on	on	1896	0.00670	-2.54	1.54	3456	261	51
1858	55	80	60	0.87	0.052	on	on	0.111	on	on	4176	0.00667	-2.48	1.53	3314	266	51
1859	1648	80	80	0.73	0.045	on	on	0.127	on	on	4672	0.00662	1.04	0.68	3970	254	50
1860	1637	40	40	0.79	0.045	on	on	0.182	on	on	1264	0.00660	-2.44	1.52	3267	269	51
1861	555	40	60	0.74	0.025	on	on	0.174	on	on	1776	0.00660	-1.06	0.69	2158	354	50
1862	222	60	60	0.77	0.046	on	on	0.109	on	on	2772	0.00659	-2.44	1.52	3260	269	51
1863	797	60	60	0.82	0.053	on	on	0.190	on	on	2952	0.00658	-2.59	1.56	3490	257	51
1864	1826	100	40	0.85	0.043	on	on	0.091	on	on	3400	0.00658	-1.06	0.69	2155	354	50
1865	672	60	80	0.78	0.042	on	on	0.154	on	on	3744	0.00658	-0.99	0.64	3982	256	50
1866	1237	60	60	0.80	0.042	on	on	0.113	on	on	2880	0.00651	-2.62	1.57	3606	254	51
1867	1346	120	40	0.80	0.051	on	on	0.097	on	on	3840	0.00640	-2.64	1.58	3650	252	51
1868	1404	80	40	0.85	0.043	on	on	0.182	on	on	2720	0.00631	-1.21	0.72	2341	348	50
1869	1380	40	40	0.85	0.054	on	on	0.200	on	on	1360	0.00627	1.04	0.69	4003	253	50
1870	505	60	80	0.78	0.038	on	on	0.177	on	on	3744	0.00622	-1.03	0.69	2126	355	50
1871	1771	40	80	0.75	0.035	on	on	0.054	on	on	2400	0.00614	-1.17	0.70	2478	341	50
1872	1858	40	80	0.76	0.050	on	on	0.073	on	on	2432	0.00597	-1.04	0.59	3017	312	50
1873	842	40	40	0.73	0.039	on	on	0.136	on	on	1168	0.00596	1.17	0.65	2137	350	50
1874	821	40	40	0.71	0.050	on	on	0.112	on	on	1136	0.00591	-2.58	1.56	3606	257	51
1875	964	40	80	0.84	0.039	on	on	0.040	on	on	2688	0.00589	-2.38	1.52	3260	273	51
1876	931	40	60	0.71	0.053	on	on	0.038	on	on	1704	0.00588	-1.07	0.72	2103	357	50
1877	1773	40	40	0.75	0.039	on	on	0.042	on	on	1200	0.00586	2.60	1.60	2734	335	49
1878	1383	60	40	0.84	0.031	on	on	0.094	on	on	2016	0.00586	-1.18	0.74	2126	358	50
1879	1232	100	60	0.83	0.038	on	on	0.111	on	on	4980	0.00586	2.61	1.61	2711	336	49
1880	408	120	80	0.81	0.035	on	on	0.028	on	on	7776	0.00586	2.61	1.61	2711	336	49

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
1881	1017	140	80	0.85	0.043	on	on	0.025	on	on	9520	0.00586	2.61	1.61	2715	336	49
1882	1444	40	40	0.75	0.032	on	on	0.096	on	on	1200	0.00585	2.59	1.60	2752	334	49
1883	96	40	40	0.87	0.042	on	on	0.153	on	on	1392	0.00585	2.62	1.61	2704	337	49
1884	549	40	80	0.75	0.028	on	on	0.010	on	on	2400	0.00585	2.62	1.61	2701	337	49
1885	506	80	40	0.87	0.038	on	on	0.095	on	on	2784	0.00585	2.60	1.61	2723	335	49
1886	460	100	80	0.71	0.043	on	on	0.117	on	on	5680	0.00585	2.60	1.60	2740	335	49
1887	786	100	40	0.75	0.033	on	on	0.185	on	on	3000	0.00584	2.63	1.62	2677	338	49
1888	848	80	60	0.72	0.048	on	on	0.125	on	on	3456	0.00584	2.61	1.61	2701	336	49
1889	152	140	40	0.72	0.047	on	on	0.017	on	on	4032	0.00584	2.56	1.59	2778	332	49
1890	1360	120	80	0.71	0.036	on	on	0.022	on	on	6816	0.00583	2.64	1.62	2670	339	49
1891	778	120	40	0.77	0.032	on	on	0.129	on	on	3696	0.00582	2.55	1.59	2800	331	49
1892	1764	40	60	0.75	0.054	on	on	0.110	on	on	1800	0.00580	2.55	1.59	2808	301	49
1893	788	60	40	0.87	0.052	on	on	0.029	on	on	2088	0.00580	2.63	1.62	2663	338	49
1894	1093	80	40	0.71	0.035	on	on	0.139	on	on	2272	0.00580	2.54	1.58	2810	330	49
1895	214	140	60	0.87	0.018	on	on	0.182	on	on	7308	0.00579	2.66	1.63	2629	341	49
1896	887	80	60	0.86	0.040	on	on	0.137	on	on	4128	0.00578	2.63	1.62	2707	338	49
1897	1964	40	80	0.70	0.044	on	on	0.178	on	on	2240	0.00576	2.59	1.61	2700	355	50
1898	1030	100	40	0.79	0.052	on	on	0.105	on	on	3160	0.00576	2.68	1.64	2633	342	49
1899	674	40	40	0.70	0.029	on	on	0.177	on	on	1120	0.00575	2.52	1.58	2843	328	49
1900	1601	80	40	0.78	0.043	on	on	0.111	on	on	2496	0.00575	2.69	1.64	2606	343	49
1901	1191	100	80	0.86	0.046	on	on	0.055	on	on	6880	0.00575	2.55	1.59	2769	331	49
1902	1700	140	60	0.84	0.047	on	on	0.178	on	on	7056	0.00575	2.52	1.58	2834	328	49
1903	889	40	80	0.73	0.040	on	on	0.025	on	on	2336	0.00572	2.62	1.61	2734	337	49
1904	412	40	40	0.75	0.038	on	on	0.171	on	on	1200	0.00571	2.53	1.58	2853	329	49
1905	26	60	80	0.74	0.050	on	on	0.077	on	on	3552	0.00569	2.71	1.65	2578	345	49
1906	822	60	40	0.80	0.043	on	on	0.071	on	on	1920	0.00568	2.65	1.64	2618	340	49
1907	397	40	60	0.70	0.021	on	on	0.031	on	on	1680	0.00567	2.50	1.57	2892	326	49
1908	922	40	80	0.83	0.035	on	on	0.116	on	on	2656	0.00565	2.72	1.66	2557	346	49
1909	1879	60	60	0.85	0.032	on	on	0.139	on	on	3060	0.00565	2.48	1.57	2902	325	49
1910	1593	40	40	0.72	0.042	on	on	0.172	on	on	1152	0.00563	-2.29	1.49	2991	282	51
1911	1571	60	80	0.80	0.054	on	on	0.184	on	on	3840	0.00563	2.71	1.66	2554	345	49
1912	1530	140	40	0.71	0.008	on	on	0.014	on	on	3976	0.00563	2.72	1.66	2547	346	49
1913	885	140	80	0.79	0.052	on	on	0.014	on	on	8848	0.00563	2.72	1.66	2547	346	49
1914	1937	60	40	0.80	0.046	on	on	0.096	on	on	1920	0.00562	2.73	1.67	2547	347	49
1915	1899	140	40	0.72	0.054	on	on	0.126	on	on	4032	0.00561	2.73	1.67	2541	347	49
1916	644	60	80	0.70	0.046	on	on	0.088	on	on	3360	0.00560	2.47	1.56	2923	324	49
1917	471	60	40	0.87	0.045	on	on	0.119	on	on	2088	0.00558	2.70	1.66	2547	345	49
1918	1464	40	80	0.71	0.020	on	on	0.032	on	on	2272	0.00558	2.65	1.62	2716	339	49
1919	824	40	40	0.71	0.054	on	on	0.120	on	on	1136	0.00557	2.65	1.62	2717	339	49
1920	1033	120	40	0.78	0.051	on	on	0.101	on	on	3744	0.00556	2.74	1.67	2546	348	49

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
1921	189	80	60	0.84	0.054	on	on	0.058	on	on	4032	0.00553	2.79	1.70	2454	353	49
1922	582	40	60	0.87	0.038	on	on	0.101	on	on	2088	0.00553	2.75	1.68	2517	349	49
1923	1522	40	80	0.73	0.042	on	on	0.088	on	on	2336	0.00552	-1.22	0.08	2105	360	50
1924	1570	100	80	0.86	0.026	on	on	0.023	on	on	6880	0.00549	2.76	1.68	2503	350	49
1925	1074	80	80	0.73	0.048	on	on	0.010	on	on	4672	0.00547	2.44	1.56	2965	321	49
1926	1353	40	80	0.83	0.033	on	on	0.015	on	on	2656	0.00545	-2.69	1.60	3828	247	51
1927	563	100	40	0.74	0.053	on	on	0.055	on	on	2960	0.00545	2.43	1.56	2945	321	49
1928	1453	80	80	0.75	0.043	on	on	0.015	on	on	4800	0.00543	2.77	1.69	2482	351	49
1929	1392	100	40	0.76	0.050	on	on	0.015	on	on	3040	0.00539	2.79	1.69	2479	352	49
1930	1147	60	80	0.75	0.047	on	on	0.060	on	on	3600	0.00538	2.76	1.68	2556	349	49
1931	111	100	60	0.73	0.045	on	on	0.057	on	on	4380	0.00538	2.77	1.69	2466	351	49
1932	1007	40	60	0.75	0.038	on	on	0.164	on	on	1800	0.00536	2.52	1.60	2762	329	49
1933	1105	60	60	0.81	0.051	on	on	0.178	on	on	2916	0.00536	2.43	1.56	2925	321	49
1934	368	60	40	0.73	0.040	on	on	0.188	on	on	1752	0.00534	-1.11	0.75	2061	360	50
1935	1068	60	80	0.70	0.029	on	on	0.114	on	on	3360	0.00534	2.80	1.70	2464	353	49
1936	489	60	40	0.79	0.007	on	on	0.157	on	on	1896	0.00533	1.24	0.68	2093	353	50
1937	1246	40	60	0.75	0.050	on	on	0.023	on	on	1800	0.00532	1.46	0.55	2496	317	50
1938	184	60	40	0.79	0.044	on	on	0.145	on	on	1896	0.00532	2.79	1.70	2447	353	50
1939	194	100	80	0.83	0.014	on	on	0.114	on	on	6640	0.00531	2.79	1.70	2444	353	50
1940	756	120	60	0.82	0.011	on	on	0.096	on	on	5904	0.00529	-2.79	1.65	3819	241	51
1941	604	60	60	0.82	0.054	on	on	0.051	on	on	2952	0.00528	2.40	1.55	3028	318	49
1942	1941	80	80	0.76	0.044	on	on	0.147	on	on	4864	0.00528	2.81	1.71	2454	354	49
1943	1272	80	40	0.78	0.050	on	on	0.152	on	on	2496	0.00525	0.86	0.54	3153	282	50
1944	661	40	80	0.84	0.013	on	on	0.058	on	on	2688	0.00522	-2.81	1.65	3884	239	51
1945	1019	60	80	0.73	0.041	on	on	0.090	on	on	3504	0.00521	-1.26	0.79	2083	262	50
1946	1330	40	60	0.85	0.023	on	on	0.082	on	on	2040	0.00520	2.82	1.72	2415	355	49
1947	331	40	60	0.84	0.018	on	on	0.189	on	on	2016	0.00519	-1.34	0.80	2168	359	50
1948	1194	40	60	0.72	0.013	on	on	0.156	on	on	1728	0.00518	-2.82	1.66	3921	238	51
1949	1110	40	40	0.86	0.042	on	on	0.099	on	on	1376	0.00517	-2.21	1.49	2903	288	51
1950	616	40	60	0.73	0.046	on	on	0.092	on	on	1752	0.00517	2.83	1.72	2430	356	49
1951	1440	40	80	0.75	0.045	on	on	0.163	on	on	2400	0.00517	1.51	0.57	2397	324	50
1952	1861	60	80	0.71	0.051	on	on	0.184	on	on	3408	0.00517	2.83	1.72	2427	356	49
1953	237	40	80	0.75	0.050	on	on	0.142	on	on	2400	0.00501	2.86	1.74	2381	359	49
1954	1608	40	40	0.75	0.039	on	on	0.095	on	on	1200	0.00496	-1.39	0.59	3344	296	50
1955	854	80	60	0.70	0.053	on	on	0.064	on	on	3360	0.00491	2.33	1.54	3124	312	49
1956	1867	40	40	0.84	0.025	on	on	0.027	on	on	1344	0.00490	2.35	1.54	3135	313	49
1957	438	40	60	0.76	0.052	on	on	0.120	on	on	1824	0.00484	-1.17	0.72	2731	329	50
1958	1328	60	60	0.73	0.031	on	on	0.072	on	on	2628	0.00483	2.32	1.54	3149	311	49
1959	440	60	80	0.70	0.052	on	on	0.194	on	on	3360	0.00480	-1.38	0.82	2284	354	50
1960	557	100	40	0.85	0.031	on	on	0.021	on	on	3400	0.00475	-1.37	0.61	3274	300	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์จำนวน 2,000 ชุด และผลการคำนวณย้อนกลับ (ต่อ)

Rank	Set Index	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE	E1	E2	E3
1961	492	40	40	0.75	0.047	on	on	0.164	on	on	1200	0.00470	2.91	1.77	2317	364	49
1962	1381	80	40	0.70	0.010	on	on	0.153	on	on	2240	0.00470	-2.87	1.68	4066	233	51
1963	1848	60	40	0.84	0.011	on	on	0.138	on	on	2016	0.00469	-2.87	1.68	4084	233	51
1964	580	40	60	0.78	0.042	on	on	0.049	on	on	1872	0.00465	2.91	1.78	2287	364	49
1965	1313	60	60	0.76	0.044	on	on	0.158	on	on	2736	0.00458	2.94	1.79	2291	366	49
1966	745	40	40	0.79	0.025	on	on	0.037	on	on	1264	0.00449	-2.90	1.70	4105	231	51
1967	736	40	80	0.84	0.038	on	on	0.197	on	on	2688	0.00448	2.94	1.80	2250	367	49
1968	1021	100	40	0.76	0.048	on	on	0.188	on	on	3040	0.00448	-2.89	1.69	4138	231	51
1969	1085	40	60	0.75	0.038	on	on	0.094	on	on	1800	0.00440	2.94	1.76	2332	366	49
1970	416	40	80	0.82	0.007	on	on	0.040	on	on	2624	0.00440	2.97	1.81	2245	369	49
1971	942	40	60	0.74	0.046	on	on	0.166	on	on	1776	0.00439	2.25	1.54	3246	305	49
1972	1659	60	40	0.86	0.048	on	on	0.092	on	on	2064	0.00428	2.99	1.82	2226	371	49
1973	379	60	80	0.76	0.052	on	on	0.047	on	on	3648	0.00426	2.73	1.68	2692	346	49
1974	717	40	40	0.81	0.048	on	on	0.086	on	on	1296	0.00418	2.99	1.82	2258	371	49
1975	287	40	40	0.79	0.007	on	on	0.156	on	on	1264	0.00415	3.01	1.84	2188	373	49
1976	874	40	40	0.76	0.036	on	on	0.065	on	on	1216	0.00411	3.01	1.84	2222	373	49
1977	1995	80	60	0.83	0.054	on	on	0.104	on	on	3984	0.00409	-1.47	0.90	2020	370	50
1978	215	60	80	0.73	0.049	on	on	0.042	on	on	3504	0.00404	1.71	0.65	2242	334	50
1979	1343	60	60	0.71	0.042	on	on	0.122	on	on	2556	0.00394	1.43	0.91	4240	241	50
1980	1719	120	40	0.84	0.006	on	on	0.076	on	on	4032	0.00369	-2.97	1.73	4357	244	51
1981	1591	40	40	0.76	0.034	on	on	0.184	on	on	1216	0.00351	3.02	1.85	2298	373	49
1982	930	80	60	0.77	0.047	on	on	0.085	on	on	3696	0.00346	2.11	1.56	3443	293	49
1983	265	40	40	0.84	0.052	on	on	0.092	on	on	1344	0.00345	-1.63	0.81	4315	247	50
1984	1219	40	40	0.79	0.045	on	on	0.040	on	on	1264	0.00337	1.82	0.69	2425	318	50
1985	228	100	60	0.81	0.048	on	on	0.061	on	on	4860	0.00334	1.86	0.70	2355	323	50
1986	1276	40	40	0.81	0.054	on	on	0.068	on	on	1296	0.00332	-1.40	0.96	1831	380	50
1987	648	40	40	0.75	0.015	on	on	0.011	on	on	1200	0.00329	2.10	1.55	3574	291	49
1988	830	40	60	0.80	0.006	on	on	0.193	on	on	1920	0.00321	-3.05	1.79	4499	217	50
1989	352	40	60	0.76	0.036	on	on	0.099	on	on	1824	0.00311	-2.03	1.48	2506	304	50
1990	878	60	40	0.78	0.030	on	on	0.059	on	on	1872	0.00304	3.17	1.98	1938	390	49
1991	1849	60	40	0.76	0.017	on	on	0.181	on	on	1824	0.00298	-3.08	1.81	4629	214	51
1992	614	40	40	0.81	0.040	on	on	0.032	on	on	1296	0.00290	3.17	1.97	2116	388	49
1993	197	60	60	0.82	0.006	on	on	0.011	on	on	2952	0.00280	-3.09	1.81	4663	213	51
1994	924	40	40	0.80	0.017	on	on	0.138	on	on	1280	0.00271	-3.14	1.86	4649	210	51
1995	800	40	40	0.79	0.027	on	on	0.077	on	on	1264	0.00263	-3.12	1.84	4736	210	51
1996	1703	40	80	0.75	0.047	on	on	0.091	on	on	2400	0.00236	1.79	1.17	4666	225	50
1997	1393	60	40	0.77	0.054	on	on	0.088	on	on	1848	0.00168	3.66	2.36	1496	438	49
1998	543	40	40	0.85	0.053	on	on	0.188	on	on	1360	0.00163	-4.96	3.02	3678	228	52
1999	286	100	40	0.79	0.029	on	on	0.158	on	on	3160	0.00129	5.16	3.21	2819	359	48
2000	907	140	40	0.78	0.042	on	on	0.116	on	on	4368	0.00055	2.75	1.68	2509	349	49

ตารางที่ ข.4 ผลการคำนวณย้อนกลับของแบบจำลองโครงสร้างทางจากชุดพารามิเตอร์ 77 ชุด

Rank	Model. No	Best Fitn.	Max Err	RMSE [%]	E1	E2	E3	Err. E [%]
1	1	0.03534	0.54	0.30	750	177	45	4.23
	2	0.00375	2.44	1.43	787	174	44	11.81
	3	0.00500	-3.48	2.11	652	192	57	3.13
	4	0.03716	1.13	0.85	2602	398	89	2.46
	5	0.00052	-6.40	4.13	1838	222	42	50.74
	6	0.00263	-10.61	5.38	2530	240	106	24.66
	7	0.00503	-3.17	2.08	2539	528	87	9.66
	8	0.00534	-2.34	1.49	1891	305	51	16.82
	9	0.00259	2.41	1.71	566	139	59	12.84
	10	0.00413	-4.19	2.26	1263	176	52	7.91
	Avg.	0.01015		2.17				14.43
2	1	0.00603	1.24	0.71	832	173	45	11.12
	2	0.67711	-0.08	0.03	902	150	45	0.13
	3	0.06269	-0.48	0.28	628	203	55	2.14
	4	0.56750	0.16	0.07	2479	400	90	0.48
	5	0.11037	0.23	0.14	941	305	40	3.54
	6	0.13209	1.11	0.59	1928	370	94	3.95
	7	0.59667	-0.19	0.11	2157	505	90	1.27
	8	0.00699	-2.26	1.38	1814	310	51	13.82
	9	0.01669	0.56	0.32	756	122	60	4.82
	10	0.00294	-2.41	1.51	1523	160	51	19.40
	Avg	0.21791		0.51				6.07
3	1	0.01221	0.89	0.49	830	178	45	10.74
	2	0.24205	-0.19	0.13	952	153	45	3.53
	3	0.03946	-0.66	0.37	625	204	55	2.50
	4	0.00517	-4.51	2.61	3645	311	93	29.46
	5	0.00310	1.39	0.92	1528	261	40	31.39
	6	0.03146	-2.19	1.16	2227	308	97	9.61
	7	0.99474	0.03	0.01	2199	500	90	0.03
	8	0.00131	5.13	3.15	946	465	48	28.63
	9	0.20041	-0.18	0.10	686	126	60	1.24
	10	0.00366	-4.35	2.22	1409	161	52	15.27
	Avg	0.15336		1.12				13.24

ตารางที่ ข.4 ผลการคำนวณย้อนกลับของแบบจำลองโครงสร้างทางจากชุดพารามิเตอร์ 77 ชุด (ต่อ)

Rank	Model. No	Best Fitn.	Max Err	RMSE [%]	E1	E2	E3	Err. E [%]
4	1	0.59216	0.13	0.09	739	183	45	3.36
	2	0.01458	0.84	0.49	881	160	45	4.04
	3	0.06677	-0.49	0.28	630	203	55	1.98
	4	0.00314	-4.80	2.93	3938	289	93	36.92
	5	0.00317	1.29	0.90	1524	262	40	31.12
	6	0.02877	-3.18	1.59	2174	308	98	8.75
	7	0.29570	-0.32	0.18	2292	492	90	2.59
	8	0.35286	-0.19	0.10	1537	347	50	1.51
	9	0.00102	-5.36	3.77	752	113	63	7.58
	10	0.05471	-0.47	0.25	1259	194	50	3.33
	Avg	0.14129		1.06				10.12
5	1	0.00691	-2.34	1.45	747	174	46	4.51
	2	0.47596	-0.12	0.08	893	151	45	0.59
	3	0.00627	-1.59	1.18	606	200	56	4.05
	4	0.05227	1.45	0.88	2322	427	89	5.70
	5	0.05791	-0.29	0.22	903	310	40	5.92
	6	0.21895	-1.08	0.54	2041	337	96	2.52
	7	0.61127	-0.20	0.08	2242	497	90	1.16
	8	0.22519	-0.26	0.13	1551	346	50	2.07
	9	0.00287	-2.28	1.60	852	113	61	13.74
	10	0.01410	2.30	1.20	1130	219	49	6.54
	Avg	0.16717		0.74				4.68
6	1	0.05850	0.33	0.20	741	178	45	3.44
	2	0.97429	-0.02	0.01	900	150	45	0.00
	3	0.00257	-3.83	2.28	760	185	57	10.89
	4	0.05351	0.70	0.43	2811	379	90	7.80
	5	0.28287	-0.12	0.09	960	304	40	2.43
	6	0.47331	0.20	0.15	2038	345	95	1.37
	7	0.97594	-0.03	0.02	2203	500	90	0.08
	8	0.00518	-3.81	2.12	1599	319	52	6.78
	9	0.96451	0.03	0.01	699	125	60	0.08
	10	0.00259	-2.44	1.61	1537	157	51	20.45
	Avg	0.37933		0.69				5.33

ตารางที่ ข.4 ผลการคำนวณย้อนกลับของแบบจำลองโครงสร้างทางจากชุดพารามิเตอร์ 77 ชุด (ต่อ)

Rank	Model. No	Best Fitn.	Max Err	RMSE [%]	E1	E2	E3	Err. E [%]
7	1	0.59216	0.13	0.09	739	183	45	3.36
	2	0.01010	0.90	0.62	869	162	45	5.03
	3	0.35490	-0.17	0.10	642	201	55	0.77
	4	0.00631	-2.08	1.27	1748	470	90	20.09
	5	0.00656	1.18	0.65	1305	272	40	18.42
	6	0.04857	-0.86	0.59	2174	330	95	6.01
	7	0.99474	0.03	0.01	2199	500	90	0.03
	8	0.02654	0.83	0.51	1572	338	50	3.41
	9	0.01506	-0.71	0.39	642	129	60	5.13
	10	0.03316	0.59	0.39	1271	191	50	4.29
	Avg	0.20881		0.46				6.65
8	1	0.02519	0.64	0.35	772	180	45	5.94
	2	0.01823	-2.02	1.02	979	143	46	5.88
	3	0.14712	-0.22	0.15	650	201	55	0.29
	4	0.31652	-0.27	0.16	2428	407	90	1.95
	5	0.59652	0.07	0.05	979	302	40	1.27
	6	0.18598	1.08	0.58	1971	360	94	1.95
	7	0.99474	0.03	0.01	2199	500	90	0.03
	8	0.18779	-0.32	0.14	1524	350	50	0.92
	9	0.62354	-0.06	0.02	701	125	60	0.08
	10	0.00294	-2.40	1.48	1524	161	51	19.26
	Avg	0.30986		0.40				3.76
9	1	0.58692	0.14	0.09	738	183	45	3.28
	2	0.61831	0.19	0.11	946	153	45	3.17
	3	0.49640	-0.12	0.05	653	200	55	0.27
	4	0.76388	0.11	0.06	2538	397	90	0.98
	5	0.81477	0.05	0.02	1007	299	40	0.45
	6	0.99694	0.01	0.01	1998	350	95	0.06
	7	0.84147	-0.10	0.05	2224	498	90	0.67
	8	0.55542	-0.12	0.07	1524	348	50	0.98
	9	0.00821	-1.97	1.34	763	119	61	5.97
	10	0.01580	-0.83	0.50	1316	188	50	6.57
	Avg	0.56981		0.23				2.24

ตารางที่ ข.4 ผลการคำนวณย้อนกลับของแบบจำลองโครงสร้างทางจากชุดพารามิเตอร์ 77 ชุด (ต่อ)

Rank	Model. No	Best Fitn.	Max Err	RMSE [%]	E1	E2	E3	Err. E [%]
10	1	0.06162	0.37	0.21	776	181	45	6.28
	2	0.14175	0.26	0.20	962	151	45	4.00
	3	0.01653	0.97	0.56	695	194	55	4.36
	4	0.15841	0.43	0.19	2361	408	90	3.41
	5	0.47501	0.08	0.06	976	302	40	1.44
	6	0.99694	0.01	0.01	1998	350	95	0.06
	7	0.97721	0.04	0.02	2196	500	90	0.10
	8	0.61872	0.11	0.06	1520	348	50	0.84
	9	0.00282	-2.29	1.60	861	113	61	14.42
	10	0.01925	-0.83	0.43	1303	190	50	5.74
	Avg	0.34683		0.33				4.06
11	1	0.06667	0.39	0.22	769	181	45	5.70
	2	0.61831	0.19	0.11	946	153	45	3.17
	3	0.02059	-1.85	1.07	676	193	56	3.24
	4	0.04739	-1.51	0.88	2722	372	91	6.56
	5	0.15823	-0.20	0.13	944	306	40	3.43
	6	0.59415	-0.20	0.12	1972	354	95	1.04
	7	0.99454	0.03	0.01	2200	500	90	0.00
	8	0.01968	-1.95	1.08	1557	333	51	3.74
	9	0.01669	0.56	0.32	756	122	60	4.82
	10	0.00291	-2.41	1.51	1525	160	51	19.47
	Avg	0.25392		0.55				5.12
12	1	0.59216	0.13	0.09	739	183	45	3.36
	2	0.52461	0.19	0.11	948	153	45	3.29
	3	0.75529	0.07	0.03	648	200	55	0.18
	4	0.71814	-0.10	0.06	2547	397	90	1.17
	5	0.17122	0.14	0.12	947	305	40	3.21
	6	0.89302	0.09	0.04	1987	351	95	0.41
	7	0.94977	-0.05	0.03	2205	500	90	0.13
	8	0.15830	0.38	0.14	1456	352	50	1.73
	9	0.96451	0.03	0.01	699	125	60	0.08
	10	0.03739	-0.65	0.28	1268	194	50	3.70
	Avg	0.57644		0.09				1.73

ตารางที่ ข.4 ผลการคำนวณย้อนกลับของแบบจำลองโครงสร้างทางจากชุดพารามิเตอร์ 77 ชุด (ต่อ)

Rank	Model. No	Best Fitn.	Max Err	RMSE [%]	E1	E2	E3	Err. E [%]
13	1	0.00199	-2.81	1.88	1004	168	46	25.40
	2	0.01833	-2.02	1.02	977	143	46	5.77
	3	0.01821	-1.75	1.07	648	196	56	1.57
	4	0.70591	-0.10	0.06	2548	397	90	1.19
	5	0.17122	0.14	0.12	947	305	40	3.21
	6	0.21936	-1.08	0.54	2039	337	96	2.50
	7	0.29570	-0.32	0.18	2292	492	90	2.59
	8	0.08427	0.43	0.24	1410	358	50	3.71
	9	0.00465	-2.14	1.45	820	116	61	10.78
	10	0.03451	-0.64	0.31	1274	193	50	4.09
	Avg	0.15542		0.69				6.08
14	1	0.02448	-0.60	0.22	783	182	45	6.88
	2	0.61831	0.19	0.11	946	153	45	3.17
	3	0.14416	0.28	0.12	637	201	55	1.19
	4	0.70591	-0.10	0.06	2548	397	90	1.19
	5	0.31987	-0.11	0.06	998	301	40	0.22
	6	0.02797	-3.18	1.59	2180	309	98	8.72
	7	0.78213	0.10	0.07	2230	497	90	0.86
	8	0.00562	-2.36	1.47	1901	306	51	17.09
	9	0.04803	0.38	0.21	731	123	60	2.72
	10	0.01828	0.75	0.50	1304	188	50	6.09
	Avg	0.26948		0.44				4.81
15	1	0.59216	0.13	0.09	739	183	45	3.36
	2	0.61831	0.19	0.11	946	153	45	3.17
	3	0.99125	0.02	0.01	650	200	55	0.00
	4	0.69254	-0.11	0.06	2549	397	90	1.21
	5	0.83152	0.04	0.02	1009	299	40	0.55
	6	0.21936	-1.08	0.54	2039	337	96	2.50
	7	0.04981	-1.36	0.83	2443	465	91	7.58
	8	0.55542	-0.12	0.07	1524	348	50	0.98
	9	0.00977	-0.88	0.48	629	130	60	6.29
	10	0.06777	0.36	0.25	1252	194	50	3.04
	Avg	0.46279		0.25				2.87

ตารางที่ ข.4 ผลการคำนวณย้อนกลับของแบบจำลองโครงสร้างทางจากชุดพารามิเตอร์ 77 ชุด (ต่อ)

Rank	Model. No	Best Fitn.	Max Err	RMSE [%]	E1	E2	E3	Err. E [%]
16	1	0.01001	0.86	0.50	845	178	45	11.98
	2	0.61831	0.19	0.11	946	153	45	3.17
	3	0.93715	0.03	0.02	649	200	55	0.09
	4	0.04416	1.51	0.93	2217	431	89	7.95
	5	0.96278	0.03	0.02	999	300	40	0.06
	6	0.21936	-1.08	0.54	2039	337	96	2.50
	7	0.99474	0.03	0.01	2199	500	90	0.03
	8	0.02854	0.87	0.50	1614	336	50	4.96
	9	0.01669	0.56	0.32	756	122	60	4.82
	10	0.07977	-0.39	0.25	1173	205	50	1.94
	Avg	0.39115		0.32				3.75
17	1	0.02467	0.49	0.31	764	177	45	5.37
	2	0.16749	-0.21	0.15	883	152	45	1.33
	3	0.00314	-2.19	1.51	778	184	56	12.32
	4	0.07545	1.33	0.81	2412	417	89	3.25
	5	0.76396	-0.04	0.02	1002	300	40	0.12
	6	0.05231	-2.13	1.09	2059	323	97	4.92
	7	0.94799	-0.05	0.03	2212	499	90	0.34
	8	0.50556	-0.14	0.07	1526	348	50	1.05
	9	0.20718	-0.18	0.10	685	126	60	1.32
	10	0.02237	0.72	0.47	1288	189	50	5.29
	Avg	0.27701		0.46				3.53
18	1	0.00674	-2.31	1.40	811	175	46	9.38
	2	0.52461	0.19	0.11	948	153	45	3.29
	3	0.02203	-0.67	0.39	691	196	55	3.82
	4	0.04078	1.54	0.95	2228	434	89	8.00
	5	0.15823	-0.20	0.13	944	306	40	3.43
	6	0.96008	0.05	0.03	2005	349	95	0.22
	7	0.96952	-0.04	0.02	2191	501	90	0.26
	8	0.01095	-1.70	1.17	1399	350	51	4.06
	9	0.96451	0.03	0.01	699	125	60	0.08
	10	0.01480	2.26	1.19	1156	216	49	5.21
	Avg	0.36723		0.54				3.78

ตารางที่ ข.4 ผลการคำนวณย้อนกลับของแบบจำลองโครงสร้างทางจากชุดพารามิเตอร์ 77 ชุด (ต่อ)

Rank	Model. No	Best Fitn.	Max Err	RMSE [%]	E1	E2	E3	Err. E [%]
19	1	0.59216	0.13	0.09	739	183	45	3.36
	2	0.61831	0.19	0.11	946	153	45	3.17
	3	0.02059	-1.85	1.07	676	193	56	3.24
	4	0.04608	1.51	0.92	2227	431	89	7.76
	5	0.96278	0.03	0.02	999	300	40	0.06
	6	0.50759	-0.23	0.12	2036	346	95	1.23
	7	0.79605	0.11	0.07	2227	497	90	0.79
	8	0.01868	2.02	1.11	1439	369	49	4.08
	9	0.96451	0.03	0.01	699	125	60	0.08
	10	0.40402	0.13	0.08	1216	198	50	0.96
	Avg	0.49308		0.36				2.47
20	1	0.17342	0.20	0.12	757	182	45	4.74
	2	0.43759	0.20	0.11	939	154	45	2.94
	3	0.01833	-1.86	1.07	678	192	56	3.55
	4	0.18312	-0.37	0.22	2420	409	90	2.26
	5	0.96278	0.03	0.02	999	300	40	0.06
	6	0.39868	0.26	0.18	2041	344	95	1.54
	7	0.99474	0.03	0.01	2199	500	90	0.03
	8	0.55542	-0.12	0.07	1524	348	50	0.98
	9	0.24973	-0.13	0.05	704	125	60	0.33
	10	0.01166	-2.26	1.16	1321	177	51	8.91
	Avg	0.39855		0.30				2.53
21	1	0.01361	-0.72	0.35	820	180	45	9.90
	2	0.61831	0.19	0.11	946	153	45	3.17
	3	0.99125	0.02	0.01	650	200	55	0.00
	4	0.99300	0.04	0.02	2502	400	90	0.05
	5	0.96278	0.03	0.02	999	300	40	0.06
	6	0.78504	0.10	0.07	1997	349	95	0.19
	7	0.98505	0.03	0.02	2202	500	90	0.05
	8	0.99220	-0.02	0.01	1499	350	50	0.04
	9	0.20718	-0.18	0.10	685	126	60	1.32
	10	0.42346	-0.13	0.08	1185	202	50	0.92
	Avg	0.69719		0.08				1.57

ตารางที่ ข.4 ผลการคำนวณย้อนกลับของแบบจำลองโครงสร้างทางจากชุดพารามิเตอร์ 77 ชุด (ต่อ)

Rank	Model. No	Best Fitn.	Max Err	RMSE [%]	E1	E2	E3	Err. E [%]
22	1	0.18280	0.21	0.13	755	182	45	4.58
	2	0.31169	0.19	0.14	954	152	45	3.55
	3	0.06677	-0.49	0.28	630	203	55	1.98
	4	0.89374	0.06	0.03	2482	401	90	0.44
	5	0.85625	0.03	0.02	1001	300	40	0.06
	6	0.95915	0.05	0.03	2006	349	95	0.24
	7	0.99474	0.03	0.01	2199	500	90	0.03
	8	0.01084	-1.24	0.71	1795	328	50	11.92
	9	0.62354	-0.06	0.02	701	125	60	0.08
	10	0.72195	0.07	0.04	1208	199	50	0.48
	Avg	0.56215		0.14				2.34
23	1	0.05320	0.36	0.21	780	181	45	6.61
	2	0.61831	0.19	0.11	946	153	45	3.17
	3	0.14416	0.28	0.12	637	201	55	1.19
	4	0.99262	0.04	0.02	2500	400	90	0.00
	5	0.17122	0.14	0.12	947	305	40	3.21
	6	0.99694	0.01	0.01	1998	350	95	0.06
	7	0.89027	0.08	0.05	2215	498	90	0.46
	8	0.55542	-0.12	0.07	1524	348	50	0.98
	9	0.01669	0.56	0.32	756	122	60	4.82
	10	0.78726	0.06	0.03	1197	200	50	0.14
	Avg	0.52261		0.11				2.06
24	1	0.03268	0.55	0.30	790	180	45	7.42
	2	0.61831	0.19	0.11	946	153	45	3.17
	3	0.99125	0.02	0.01	650	200	55	0.00
	4	0.05520	1.44	0.88	2279	425	89	6.28
	5	0.84040	0.05	0.02	1008	299	40	0.50
	6	0.40626	0.27	0.18	2022	345	95	1.04
	7	0.99454	0.03	0.01	2200	500	90	0.00
	8	0.83433	0.07	0.04	1507	349	50	0.32
	9	0.00814	-0.76	0.38	772	122	60	6.10
	10	0.72220	0.07	0.05	1207	199	50	0.44
	Avg	0.55033		0.20				2.53

ตารางที่ ข.4 ผลการคำนวณย้อนกลับของแบบจำลองโครงสร้างทางจากชุดพารามิเตอร์ 77 ชุด (ต่อ)

Rank	Model. No	Best Fitn.	Max Err	RMSE [%]	E1	E2	E3	Err. E [%]
25	1	0.01902	0.72	0.40	809	179	45	9.00
	2	0.61831	0.19	0.11	946	153	45	3.17
	3	0.99125	0.02	0.01	650	200	55	0.00
	4	0.98788	0.04	0.02	2499	400	90	0.02
	5	0.28249	0.16	0.08	1037	296	40	2.27
	6	0.99055	0.02	0.01	1997	350	95	0.09
	7	0.99454	0.03	0.01	2200	500	90	0.00
	8	0.02909	0.84	0.49	1649	335	50	6.25
	9	0.96451	0.03	0.01	699	125	60	0.08
	10	0.02080	0.67	0.46	1299	189	50	5.72
	Avg	0.58984		0.16				2.66
26	1	0.05982	0.42	0.23	764	181	45	5.29
	2	0.43759	0.20	0.11	939	154	45	2.94
	3	0.99125	0.02	0.01	650	200	55	0.00
	4	0.47044	-0.20	0.09	2572	396	90	1.76
	5	0.59652	0.07	0.05	979	302	40	1.27
	6	0.60054	0.17	0.12	2026	346	95	1.00
	7	0.94799	-0.05	0.03	2212	499	90	0.34
	8	0.62274	0.11	0.07	1519	348	50	0.80
	9	0.96451	0.03	0.01	699	125	60	0.08
	10	0.01250	-2.25	1.16	1313	178	51	8.44
	Avg	0.57039		0.19				2.19
27	1	0.28965	0.17	0.13	723	184	45	2.29
	2	0.01833	-2.02	1.02	977	143	46	5.77
	3	0.99125	0.02	0.01	650	200	55	0.00
	4	0.76388	0.11	0.06	2538	397	90	0.98
	5	0.84040	0.05	0.02	1008	299	40	0.50
	6	0.02780	-3.18	1.59	2177	306	98	9.06
	7	0.96952	-0.04	0.02	2191	501	90	0.26
	8	0.99365	-0.03	0.01	1500	350	50	0.00
	9	0.01337	0.77	0.41	758	121	60	5.13
	10	0.16518	-0.21	0.15	1196	202	50	0.61
	Avg	0.50730		0.34				2.46

ตารางที่ ข.4 ผลการคำนวณย้อนกลับของแบบจำลองโครงสร้างทางจากชุดพารามิเตอร์ 77 ชุด (ต่อ)

Rank	Model. No	Best Fitn.	Max Err	RMSE [%]	E1	E2	E3	Err. E [%]
28	1	0.04654	-0.33	0.22	745	178	45	3.77
	2	0.36669	0.14	0.09	905	149	45	0.50
	3	0.00333	1.68	1.08	765	189	55	10.70
	4	0.53416	0.15	0.09	2439	404	90	1.52
	5	0.64839	-0.06	0.03	1012	299	40	0.72
	6	0.02847	-3.18	1.59	2174	307	98	8.88
	7	0.99474	0.03	0.01	2199	500	90	0.03
	8	0.99365	-0.03	0.01	1500	350	50	0.00
	9	0.00451	-2.00	1.38	787	119	61	7.75
	10	0.01168	-2.26	1.17	1319	177	51	8.84
	Avg	0.36322		0.57				4.27
29	1	0.01854	-0.69	0.25	788	182	45	7.29
	2	0.61831	0.19	0.11	946	153	45	3.17
	3	0.00371	-2.16	1.48	766	184	56	11.34
	4	0.99432	0.04	0.02	2501	400	90	0.02
	5	0.17122	0.14	0.12	947	305	40	3.21
	6	0.99694	0.01	0.01	1998	350	95	0.06
	7	0.89571	0.08	0.05	2217	498	90	0.50
	8	0.02854	-0.78	0.47	1351	366	50	6.31
	9	0.01273	0.77	0.41	764	121	60	5.59
	10	0.03864	0.48	0.33	1271	192	50	4.12
	Avg	0.37787		0.33				4.16
30	1	0.00883	1.10	0.60	842	177	45	11.75
	2	0.52461	0.19	0.11	948	153	45	3.29
	3	0.00230	-3.92	2.38	777	177	57	13.26
	4	0.70591	-0.10	0.06	2548	397	90	1.19
	5	0.15823	-0.20	0.13	944	306	40	3.43
	6	0.99694	0.01	0.01	1998	350	95	0.06
	7	0.99474	0.03	0.01	2199	500	90	0.03
	8	0.01847	1.96	1.10	1475	365	49	2.90
	9	0.82202	-0.04	0.02	700	125	60	0.00
	10	0.01308	-2.24	1.15	1309	179	51	8.10
	Avg	0.42451		0.56				4.40

ตารางที่ ข.4 ผลการคำนวณย้อนกลับของแบบจำลองโครงสร้างทางจากชุดพารามิเตอร์ 77 ชุด (ต่อ)

Rank	Model. No	Best Fitn.	Max Err	RMSE [%]	E1	E2	E3	Err. E [%]
31	1	0.55148	0.14	0.09	737	183	45	3.20
	2	0.61831	0.19	0.11	946	153	45	3.17
	3	0.87100	-0.05	0.02	651	200	55	0.09
	4	0.12225	-0.47	0.28	2328	414	90	4.46
	5	0.96278	0.03	0.02	999	300	40	0.06
	6	0.98995	-0.02	0.01	2000	350	95	0.00
	7	0.99474	0.03	0.01	2199	500	90	0.03
	8	0.53130	-0.13	0.07	1525	348	50	1.02
	9	0.17746	-0.17	0.10	682	126	60	1.55
	10	0.99276	0.02	0.01	1200	200	50	0.00
	Avg	0.68120		0.07				1.36
32	1	0.59216	0.13	0.09	739	183	45	3.36
	2	0.59501	0.19	0.11	945	153	45	3.11
	3	0.00322	-3.86	2.24	761	181	57	11.48
	4	0.46897	-0.21	0.08	2563	397	90	1.52
	5	0.83152	0.04	0.02	1009	299	40	0.55
	6	0.02916	-3.18	1.59	2164	308	98	8.59
	7	0.99474	0.03	0.01	2199	500	90	0.03
	8	0.55542	-0.12	0.07	1524	348	50	0.98
	9	0.00233	-3.87	2.62	819	113	62	11.43
	10	0.00424	-4.29	2.22	1340	167	52	11.89
	Avg	0.40768		0.91				5.29
33	1	0.59216	0.13	0.09	739	183	45	3.36
	2	0.01811	-2.02	1.02	980	143	46	5.94
	3	0.00292	2.33	1.35	765	186	55	10.99
	4	0.20403	-0.37	0.21	2389	410	90	2.94
	5	0.60586	0.08	0.04	1018	298	40	1.11
	6	0.02704	-3.19	1.59	2189	305	98	9.39
	7	0.96558	0.05	0.03	2207	499	90	0.22
	8	0.98065	-0.03	0.01	1501	350	50	0.04
	9	0.00287	-2.28	1.60	852	113	61	13.74
	10	0.72220	0.07	0.05	1207	199	50	0.44
	Avg	0.41214		0.60				4.82

ตารางที่ ข.4 ผลการคำนวณย้อนกลับของแบบจำลองโครงสร้างทางจากชุดพารามิเตอร์ 77 ชุด (ต่อ)

Rank	Model. No	Best Fitn.	Max Err	RMSE [%]	E1	E2	E3	Err. E [%]
34	1	0.00901	0.92	0.42	622	183	45	6.50
	2	0.00287	4.78	2.42	804	178	43	12.68
	3	0.99125	0.02	0.01	650	200	55	0.00
	4	0.05838	0.69	0.36	2242	417	90	6.44
	5	0.03465	-0.45	0.29	875	314	40	7.70
	6	0.50759	-0.23	0.12	2036	346	95	1.23
	7	0.79696	0.11	0.07	2226	497	90	0.77
	8	0.19836	0.25	0.16	1556	345	50	2.31
	9	0.96451	0.03	0.01	699	125	60	0.08
	10	0.06276	-0.39	0.25	1255	194	50	3.16
	Avg	0.36263		0.41				4.09
35	1	0.00785	-2.24	1.37	790	177	46	7.59
	2	0.36419	0.19	0.12	950	153	45	3.41
	3	0.00218	-3.87	2.39	758	177	57	11.85
	4	0.35414	0.23	0.14	2598	393	90	2.48
	5	0.89653	0.03	0.02	997	300	40	0.17
	6	0.02543	-3.19	1.60	2199	303	98	9.82
	7	0.21654	0.39	0.22	2091	510	90	3.08
	8	0.17465	-0.34	0.15	1557	346	50	2.29
	9	0.82202	-0.04	0.02	700	125	60	0.00
	10	0.14263	0.30	0.13	1186	200	50	0.67
	Avg	0.30062		0.62				4.14
36	1	0.03569	0.55	0.30	748	177	45	4.07
	2	0.97429	-0.02	0.01	900	150	45	0.00
	3	0.75529	0.07	0.03	648	200	55	0.18
	4	0.69254	-0.11	0.06	2549	397	90	1.21
	5	0.15823	-0.20	0.13	944	306	40	3.43
	6	0.62024	0.19	0.09	1970	353	95	1.00
	7	0.89571	0.08	0.05	2217	498	90	0.50
	8	0.42111	0.18	0.10	1526	347	50	1.12
	9	0.01740	0.56	0.32	755	122	60	4.74
	10	0.03175	0.55	0.38	1278	191	50	4.56
	Avg	0.46023		0.15				2.08

ตารางที่ ข.4 ผลการคำนวณย้อนกลับของแบบจำลองโครงสร้างทางจากชุดพารามิเตอร์ 77 ชุด (ต่อ)

Rank	Model. No	Best Fitn.	Max Err	RMSE [%]	E1	E2	E3	Err. E [%]
37	1	0.56596	0.13	0.08	740	183	45	3.44
	2	0.61831	0.19	0.11	946	153	45	3.17
	3	0.00256	-3.88	2.33	765	178	57	12.21
	4	0.87683	0.07	0.04	2481	401	90	0.46
	5	0.15823	-0.20	0.13	944	306	40	3.43
	6	0.96008	0.05	0.03	2005	349	95	0.22
	7	0.87762	0.07	0.05	2221	498	90	0.60
	8	0.44943	-0.16	0.09	1474	353	50	1.12
	9	0.19423	-0.17	0.10	683	126	60	1.48
	10	0.02191	-0.81	0.39	1295	191	50	5.26
	Avg	0.47252		0.34				3.14
38	1	0.28221	-0.14	0.08	745	183	45	3.83
	2	0.61831	0.19	0.11	946	153	45	3.17
	3	0.99125	0.02	0.01	650	200	55	0.00
	4	0.70591	-0.10	0.06	2548	397	90	1.19
	5	0.96278	0.03	0.02	999	300	40	0.06
	6	0.99694	0.01	0.01	1998	350	95	0.06
	7	0.99474	0.03	0.01	2199	500	90	0.03
	8	0.99365	-0.03	0.01	1500	350	50	0.00
	9	0.96451	0.03	0.01	699	125	60	0.08
	10	0.95991	-0.02	0.01	1201	200	50	0.05
	Avg	0.84702		0.03				0.85
39	1	0.17940	0.20	0.13	756	182	45	4.66
	2	0.00816	2.54	1.30	876	167	44	6.84
	3	0.01661	1.84	1.11	654	204	54	1.60
	4	0.98868	0.04	0.02	2503	400	90	0.07
	5	0.96278	0.03	0.02	999	300	40	0.06
	6	0.96008	0.05	0.03	2005	349	95	0.22
	7	0.79696	0.11	0.07	2226	497	90	0.77
	8	0.99365	-0.03	0.01	1500	350	50	0.00
	9	0.96451	0.03	0.01	699	125	60	0.08
	10	0.40151	0.14	0.09	1214	198	50	0.89
	Avg	0.62723		0.28				1.52

ตารางที่ ข.4 ผลการคำนวณย้อนกลับของแบบจำลองโครงสร้างทางจากชุดพารามิเตอร์ 77 ชุด (ต่อ)

Rank	Model. No	Best Fitn.	Max Err	RMSE [%]	E1	E2	E3	Err. E [%]
40	1	0.98423	-0.02	0.01	701	180	45	0.08
	2	0.95944	0.02	0.01	899	150	45	0.06
	3	0.99125	0.02	0.01	650	200	55	0.00
	4	0.99432	0.04	0.02	2501	400	90	0.02
	5	0.28464	0.16	0.07	1021	297	40	1.34
	6	0.60003	0.17	0.12	2027	346	95	1.02
	7	0.98598	0.04	0.02	2197	500	90	0.08
	8	0.55542	-0.12	0.07	1524	348	50	0.98
	9	0.01231	0.76	0.41	766	121	60	5.75
	10	0.04503	-0.48	0.29	1266	193	50	3.76
	Avg	0.64127		0.10				1.31
41	1	0.05548	0.43	0.24	762	181	45	5.12
	2	0.61831	0.19	0.11	946	153	45	3.17
	3	0.00725	-2.03	1.26	724	187	56	7.64
	4	0.59009	-0.13	0.08	2562	396	90	1.54
	5	0.32127	-0.11	0.07	1033	297	40	1.99
	6	0.21936	-1.08	0.54	2039	337	96	2.50
	7	0.99474	0.03	0.01	2199	500	90	0.03
	8	0.85815	0.06	0.04	1509	349	50	0.38
	9	0.00329	-2.24	1.55	851	114	61	13.49
	10	0.74439	-0.06	0.04	1192	201	50	0.48
	Avg	0.44123		0.39				3.63
42	1	0.24584	0.19	0.10	714	179	45	1.20
	2	0.17602	-0.22	0.15	884	152	45	1.28
	3	0.00437	-2.12	1.38	756	186	56	10.30
	4	0.01280	1.86	1.28	1921	460	89	15.94
	5	0.29070	-0.14	0.09	963	304	40	2.27
	6	0.99694	0.01	0.01	1998	350	95	0.06
	7	0.99474	0.03	0.01	2199	500	90	0.03
	8	0.01474	-2.09	1.15	1666	323	51	7.87
	9	0.20718	-0.18	0.10	685	126	60	1.32
	10	0.01833	-0.98	0.38	1291	193	50	4.82
	Avg	0.29617		0.47				4.51

ตารางที่ ข.4 ผลการคำนวณย้อนกลับของแบบจำลองโครงสร้างทางจากชุดพารามิเตอร์ 77 ชุด (ต่อ)

Rank	Model. No	Best Fitn.	Max Err	RMSE [%]	E1	E2	E3	Err. E [%]
43	1	0.56596	0.13	0.08	740	183	45	3.44
	2	0.01668	-2.03	1.01	994	141	46	7.07
	3	0.99125	0.02	0.01	650	200	55	0.00
	4	0.07907	-0.61	0.36	2285	418	90	5.60
	5	0.17122	0.14	0.12	947	305	40	3.21
	6	0.21936	-1.08	0.54	2039	337	96	2.50
	7	0.96342	0.05	0.03	2210	499	90	0.29
	8	0.99365	-0.03	0.01	1500	350	50	0.00
	9	0.01599	0.56	0.32	757	122	60	4.90
	10	0.00294	-2.40	1.48	1524	161	51	19.26
	Avg	0.40195		0.40				4.63
44	1	0.07809	0.37	0.20	731	178	45	2.64
	2	0.97429	-0.02	0.01	900	150	45	0.00
	3	0.00305	-3.86	2.25	765	182	57	11.65
	4	0.30027	0.28	0.16	2603	392	90	2.64
	5	0.17122	0.14	0.12	947	305	40	3.21
	6	0.99694	0.01	0.01	1998	350	95	0.06
	7	0.96898	-0.04	0.02	2190	501	90	0.29
	8	0.03072	0.84	0.48	1622	336	50	5.23
	9	0.96451	0.03	0.01	699	125	60	0.08
	10	0.99276	0.02	0.01	1200	200	50	0.00
	Avg	0.54808		0.33				2.58
45	1	0.01031	1.04	0.55	800	178	45	8.27
	2	0.61831	0.19	0.11	946	153	45	3.17
	3	0.00230	-3.92	2.38	777	177	57	13.26
	4	0.07415	1.29	0.80	2454	414	89	2.37
	5	0.29282	-0.13	0.09	962	304	40	2.33
	6	0.99694	0.01	0.01	1998	350	95	0.06
	7	0.62531	0.15	0.10	2211	497	90	0.45
	8	0.99365	-0.03	0.01	1500	350	50	0.00
	9	0.00465	-2.14	1.45	820	116	61	10.78
	10	0.00678	-1.26	0.85	1054	221	50	9.28
	Avg	0.36252		0.64				5.00

ตารางที่ ข.4 ผลการคำนวณย้อนกลับของแบบจำลองโครงสร้างทางจากชุดพารามิเตอร์ 77 ชุด (ต่อ)

Rank	Model. No	Best Fitn.	Max Err	RMSE [%]	E1	E2	E3	Err. E [%]
46	1	0.00798	-2.22	1.36	783	177	46	7.03
	2	0.43925	0.20	0.11	938	154	45	2.88
	3	0.30989	-0.16	0.10	641	201	55	0.85
	4	0.67847	-0.12	0.06	2550	397	90	1.23
	5	0.15823	-0.20	0.13	944	306	40	3.43
	6	0.99694	0.01	0.01	1998	350	95	0.06
	7	0.99454	0.03	0.01	2200	500	90	0.00
	8	0.99220	-0.02	0.01	1499	350	50	0.04
	9	0.00287	-2.28	1.60	852	113	61	13.74
	10	0.38019	-0.15	0.09	1188	202	50	0.82
	Avg	0.49606		0.35				3.01
47	1	0.00681	-2.32	1.41	816	175	46	9.79
	2	0.03752	-0.53	0.35	910	158	45	3.15
	3	0.01345	-1.15	0.65	610	207	55	4.09
	4	0.78472	0.09	0.05	2468	402	90	0.79
	5	0.04765	0.43	0.24	1109	289	40	6.64
	6	0.24782	-0.35	0.23	1935	358	95	2.29
	7	0.13145	1.16	0.66	2176	513	89	1.75
	8	0.04246	-0.69	0.40	1391	363	50	4.71
	9	0.00587	2.18	1.49	610	134	59	8.56
	10	0.06890	-0.36	0.22	1205	202	50	0.63
	Avg	0.13867		0.57				4.24
48	1	0.00798	-2.22	1.36	783	177	46	7.03
	2	0.43925	0.20	0.11	938	154	45	2.88
	3	0.30989	-0.16	0.10	641	201	55	0.85
	4	0.67847	-0.12	0.06	2550	397	90	1.23
	5	0.15823	-0.20	0.13	944	306	40	3.43
	6	0.99694	0.01	0.01	1998	350	95	0.06
	7	0.99454	0.03	0.01	2200	500	90	0.00
	8	0.99220	-0.02	0.01	1499	350	50	0.04
	9	0.00287	-2.28	1.60	852	113	61	13.74
	10	0.38019	-0.15	0.09	1188	202	50	0.82
	Avg	0.49606		0.35				3.01

ตารางที่ ข.4 ผลการคำนวณย้อนกลับของแบบจำลองโครงสร้างทางจากชุดพารามิเตอร์ 77 ชุด (ต่อ)

Rank	Model. No	Best Fitn.	Max Err	RMSE [%]	E1	E2	E3	Err. E [%]
49	1	0.03237	0.55	0.30	791	180	45	7.51
	2	0.61831	0.19	0.11	946	153	45	3.17
	3	0.00436	-2.13	1.41	756	185	56	10.42
	4	0.87643	0.07	0.04	2524	398	90	0.62
	5	0.96278	0.03	0.02	999	300	40	0.06
	6	0.02946	-3.18	1.59	2164	309	98	8.45
	7	0.99474	0.03	0.01	2199	500	90	0.03
	8	0.85815	0.06	0.04	1509	349	50	0.38
	9	0.96451	0.03	0.01	699	125	60	0.08
	10	0.00671	-2.32	1.25	1396	171	51	12.66
	Avg	0.53478		0.48				4.34
50	1	0.00881	1.09	0.60	843	177	45	11.83
	2	0.27842	0.19	0.14	956	152	45	3.67
	3	0.00229	-3.90	2.38	770	177	57	12.73
	4	0.99300	0.04	0.02	2502	400	90	0.05
	5	0.27102	0.17	0.08	1035	296	40	2.16
	6	0.21643	-1.08	0.54	2035	337	96	2.45
	7	0.99454	0.03	0.01	2200	500	90	0.00
	8	0.58182	-0.12	0.07	1486	352	50	0.63
	9	0.19423	-0.17	0.10	683	126	60	1.48
	10	0.03788	0.51	0.32	1132	208	50	4.00
	Avg	0.35784		0.43				3.90
51	1	0.06704	0.39	0.21	770	181	45	5.78
	2	0.61831	0.19	0.11	946	153	45	3.17
	3	0.01274	-1.69	1.11	632	198	56	2.00
	4	0.90892	0.06	0.03	2483	401	90	0.42
	5	0.83152	0.04	0.02	1009	299	40	0.55
	6	0.60003	0.17	0.12	2027	346	95	1.02
	7	0.96773	0.05	0.03	2208	499	90	0.24
	8	0.97640	-0.02	0.01	1498	350	50	0.08
	9	0.01669	0.56	0.32	756	122	60	4.82
	10	0.99276	0.02	0.01	1200	200	50	0.00
	Avg	0.59921		0.20				1.81

ตารางที่ ข.4 ผลการคำนวณย้อนกลับของแบบจำลองโครงสร้างทางจากชุดพารามิเตอร์ 77 ชุด (ต่อ)

Rank	Model. No	Best Fitn.	Max Err	RMSE [%]	E1	E2	E3	Err. E [%]
52	1	0.17940	0.20	0.13	756	182	45	4.66
	2	0.61831	0.19	0.11	946	153	45	3.17
	3	0.07578	-0.38	0.24	645	202	55	0.73
	4	0.04081	1.54	0.95	2203	434	89	8.46
	5	0.16161	-0.19	0.09	1013	300	40	0.75
	6	0.98995	-0.02	0.01	2000	350	95	0.00
	7	0.89571	0.08	0.05	2217	498	90	0.50
	8	0.29783	0.21	0.13	1540	346	50	1.68
	9	0.00568	-1.16	0.62	636	131	60	5.96
	10	0.00354	-2.27	1.34	1424	175	51	13.02
	Avg	0.32686		0.37				3.89
53	1	0.03107	0.51	0.30	757	177	45	4.80
	2	0.97429	-0.02	0.01	900	150	45	0.00
	3	0.01463	-1.89	1.11	689	193	56	4.15
	4	0.63432	0.13	0.08	2556	396	90	1.42
	5	0.15823	-0.20	0.13	944	306	40	3.43
	6	0.99674	-0.02	0.01	1999	350	95	0.03
	7	0.79588	0.11	0.07	2225	497	90	0.74
	8	0.42626	0.17	0.10	1527	347	50	1.15
	9	0.01337	0.77	0.41	758	121	60	5.13
	10	0.03887	0.48	0.32	1133	208	50	3.97
	Avg	0.40837		0.25				2.48
54	1	0.59216	0.13	0.09	739	183	45	3.36
	2	0.06836	0.34	0.27	974	150	45	4.75
	3	0.05965	-0.48	0.28	627	203	55	2.22
	4	0.05912	1.43	0.87	2291	425	89	6.06
	5	0.17122	0.14	0.12	947	305	40	3.21
	6	0.48403	0.21	0.15	2036	345	95	1.33
	7	0.89571	0.08	0.05	2217	498	90	0.50
	8	0.04467	0.63	0.38	1628	338	50	5.31
	9	0.01334	0.78	0.42	756	121	60	4.97
	10	0.89179	0.04	0.02	1198	200	50	0.10
	Avg	0.32801		0.27				3.18

ตารางที่ ข.4 ผลการคำนวณย้อนกลับของแบบจำลองโครงสร้างทางจากชุดพารามิเตอร์ 77 ชุด (ต่อ)

Rank	Model. No	Best Fitn.	Max Err	RMSE [%]	E1	E2	E3	Err. E [%]
55	1	0.59216	0.13	0.09	739	183	45	3.36
	2	0.04540	0.46	0.34	980	149	45	5.15
	3	0.87100	-0.05	0.02	651	200	55	0.09
	4	0.08635	-0.49	0.32	2282	416	90	5.54
	5	0.20722	0.14	0.10	955	304	40	2.71
	6	0.99694	0.01	0.01	1998	350	95	0.06
	7	0.79325	0.11	0.07	2228	497	90	0.81
	8	0.55542	-0.12	0.07	1524	348	50	0.98
	9	0.20718	-0.18	0.10	685	126	60	1.32
	10	0.99276	0.02	0.01	1200	200	50	0.00
	Avg	0.53477		0.11				2.00
56	1	0.22409	0.17	0.13	731	183	45	2.73
	2	0.43925	0.20	0.11	938	154	45	2.88
	3	0.56139	0.11	0.04	647	200	55	0.27
	4	0.81242	0.07	0.05	2470	402	90	0.75
	5	0.14997	-0.23	0.13	948	306	40	3.22
	6	0.99674	-0.02	0.01	1999	350	95	0.03
	7	0.79325	0.11	0.07	2228	497	90	0.81
	8	0.99220	-0.02	0.01	1499	350	50	0.04
	9	0.20718	-0.18	0.10	685	126	60	1.32
	10	0.01099	-2.26	1.16	1333	177	51	9.29
	Avg	0.51875		0.18				2.13
57	1	0.06704	0.39	0.21	770	181	45	5.78
	2	0.04350	-0.41	0.28	947	155	45	3.58
	3	0.00230	-3.91	2.38	773	177	57	12.96
	4	0.03494	1.57	0.98	2163	436	89	9.38
	5	0.03534	-0.48	0.29	879	314	40	7.49
	6	0.58770	-0.19	0.12	1969	354	95	1.11
	7	0.29066	0.31	0.20	2292	491	90	2.63
	8	0.42626	0.17	0.10	1527	347	50	1.15
	9	0.20718	-0.18	0.10	685	126	60	1.32
	10	0.03975	-0.57	0.30	1270	193	50	3.93
	Avg	0.17347		0.50				4.93

ตารางที่ ข.4 ผลการคำนวณย้อนกลับของแบบจำลองโครงสร้างทางจากชุดพารามิเตอร์ 77 ชุด (ต่อ)

Rank	Model. No	Best Fitn.	Max Err	RMSE [%]	E1	E2	E3	Err. E [%]
58	1	0.05316	0.44	0.24	761	181	45	5.04
	2	0.43925	0.20	0.11	938	154	45	2.88
	3	0.00255	-5.33	3.07	701	182	58	7.58
	4	0.42219	0.23	0.13	2571	394	90	1.85
	5	0.83315	0.05	0.03	990	301	40	0.61
	6	0.03171	-2.18	1.17	2207	308	97	9.23
	7	0.96342	0.05	0.03	2210	499	90	0.29
	8	0.29922	0.22	0.13	1539	346	50	1.64
	9	0.00287	-2.28	1.60	849	113	61	13.52
	10	0.01168	-2.26	1.17	1319	177	51	8.84
	Avg	0.30592		0.77				5.15
59	1	0.01160	-0.69	0.42	834	179	45	11.06
	2	0.61831	0.19	0.11	946	153	45	3.17
	3	0.00254	-3.91	2.34	775	178	57	12.96
	4	0.00473	-4.57	2.68	3623	306	93	29.33
	5	0.96278	0.03	0.02	999	300	40	0.06
	6	0.99694	0.01	0.01	1998	350	95	0.06
	7	0.79696	0.11	0.07	2226	497	90	0.77
	8	0.42894	0.17	0.10	1528	347	50	1.19
	9	0.96451	0.03	0.01	699	125	60	0.08
	10	0.06445	-0.46	0.20	1222	200	50	1.06
	Avg	0.48518		0.60				5.97
60	1	0.04373	0.46	0.26	757	181	45	4.71
	2	0.13338	0.25	0.20	964	151	45	4.12
	3	0.01907	0.82	0.36	634	199	55	1.45
	4	0.46534	-0.15	0.10	2501	402	90	0.29
	5	0.85625	0.03	0.02	1001	300	40	0.06
	6	0.06651	-2.12	1.08	2054	327	97	4.28
	7	0.99454	0.03	0.01	2200	500	90	0.00
	8	0.03873	0.71	0.42	1632	337	50	5.51
	9	0.00220	-3.92	2.65	836	112	62	12.87
	10	0.05364	0.45	0.30	1256	193	50	3.37
	Avg	0.26734		0.54				3.67

ตารางที่ ข.4 ผลการคำนวณย้อนกลับของแบบจำลองโครงสร้างทางจากชุดพารามิเตอร์ 77 ชุด (ต่อ)

Rank	Model. No	Best Fitn.	Max Err	RMSE [%]	E1	E2	E3	Err. E [%]
61	1	0.00793	-2.23	1.37	787	177	46	7.35
	2	0.59084	0.19	0.11	947	153	45	3.23
	3	0.00230	-3.92	2.39	778	177	57	13.33
	4	0.07802	0.65	0.37	2703	383	90	5.29
	5	0.13234	0.16	0.14	938	306	40	3.76
	6	0.59221	-0.19	0.12	1970	354	95	1.09
	7	0.68947	0.15	0.09	2234	496	90	1.00
	8	0.90789	0.05	0.02	1496	350	50	0.15
	9	0.93802	0.03	0.02	698	125	60	0.16
	10	0.00438	1.70	1.12	1360	177	50	10.17
	Avg	0.39434		0.58				4.55
62	1	0.00404	2.79	1.77	622	194	44	7.95
	2	0.09753	-0.32	0.22	925	156	45	2.81
	3	0.00241	-3.94	2.35	787	178	57	13.89
	4	0.84932	-0.07	0.05	2477	402	90	0.60
	5	0.19981	0.18	0.10	1049	295	40	2.99
	6	0.02542	-3.19	1.59	2215	305	98	9.85
	7	0.13175	-1.20	0.66	2290	483	91	3.14
	8	0.04315	-0.77	0.30	1584	347	50	3.27
	9	0.16716	0.19	0.10	714	124	60	1.24
	10	0.01075	-2.27	1.17	1333	176	51	9.50
	Avg	0.15313		0.83				5.52
63	1	0.06593	0.40	0.22	768	181	45	5.62
	2	0.61831	0.19	0.11	946	153	45	3.17
	3	0.04401	-0.54	0.33	640	203	55	1.24
	4	0.04129	1.54	0.95	2216	434	89	8.22
	5	0.56655	0.07	0.05	978	302	40	1.33
	6	0.99694	0.01	0.01	1998	350	95	0.06
	7	0.79696	0.11	0.07	2226	497	90	0.77
	8	0.29235	-0.24	0.11	1541	347	50	1.65
	9	0.20041	-0.18	0.10	686	126	60	1.24
	10	0.99276	0.02	0.01	1200	200	50	0.00
	Avg	0.46155		0.20				2.33

ตารางที่ ข.4 ผลการคำนวณย้อนกลับของแบบจำลองโครงสร้างทางจากชุดพารามิเตอร์ 77 ชุด (ต่อ)

Rank	Model. No	Best Fitn.	Max Err	RMSE [%]	E1	E2	E3	Err. E [%]
64	1	0.17342	0.20	0.12	757	182	45	4.74
	2	0.59501	0.19	0.11	945	153	45	3.11
	3	0.87100	-0.05	0.02	651	200	55	0.09
	4	0.07618	1.32	0.81	2419	416	89	3.04
	5	0.04934	0.37	0.20	916	307	40	5.03
	6	0.85766	0.09	0.06	2013	348	95	0.50
	7	0.48279	-0.23	0.12	2260	495	90	1.68
	8	0.07230	-0.40	0.27	1500	354	50	0.66
	9	0.00858	-1.97	1.34	760	119	61	5.75
	10	0.72220	0.07	0.05	1207	199	50	0.44
	Avg	0.39085		0.31				2.50
65	1	0.00791	-2.23	1.37	788	177	46	7.43
	2	0.19565	0.20	0.16	931	155	45	2.77
	3	0.75529	0.07	0.03	648	200	55	0.18
	4	0.43292	-0.17	0.10	2503	402	90	0.30
	5	0.59652	0.07	0.05	979	302	40	1.27
	6	0.89880	-0.09	0.04	2010	349	95	0.33
	7	0.68747	0.14	0.09	2237	496	90	1.08
	8	0.24619	0.23	0.14	1513	347	50	0.70
	9	0.07172	-0.23	0.14	694	126	60	0.68
	10	0.28801	-0.19	0.09	1221	198	50	1.16
	Avg	0.41805		0.22				1.59
66	1	0.01245	0.90	0.49	827	178	45	10.49
	2	0.61831	0.19	0.11	946	153	45	3.17
	3	0.00376	-1.58	0.99	757	190	55	9.93
	4	0.70591	-0.10	0.06	2548	397	90	1.19
	5	0.79020	-0.04	0.02	1010	299	40	0.61
	6	0.12537	-0.51	0.35	2101	338	95	3.52
	7	0.89438	-0.07	0.04	2180	502	90	0.57
	8	0.03222	0.71	0.44	1657	336	50	6.47
	9	0.96451	0.03	0.01	699	125	60	0.08
	10	0.03135	-0.73	0.30	1272	194	50	3.87
	Avg	0.41785		0.28				3.99

ตารางที่ ข.4 ผลการคำนวณย้อนกลับของแบบจำลองโครงสร้างทางจากชุดพารามิเตอร์ 77 ชุด (ต่อ)

Rank	Model. No	Best Fitn.	Max Err	RMSE [%]	E1	E2	E3	Err. E [%]
67	1	0.01251	0.91	0.49	826	178	45	10.41
	2	0.01679	-2.01	1.03	961	144	46	4.72
	3	0.04874	-0.46	0.28	624	203	55	2.47
	4	0.03394	1.59	0.99	2169	438	89	9.43
	5	0.60586	0.08	0.04	1018	298	40	1.11
	6	0.47935	0.21	0.15	2037	345	95	1.35
	7	0.27957	-0.36	0.22	2154	508	90	1.52
	8	0.48915	0.14	0.09	1511	348	50	0.54
	9	0.06249	-0.24	0.14	695	126	60	0.62
	10	0.01090	-2.26	1.17	1334	177	51	9.33
	Avg	0.20393		0.46				4.15
68	1	0.59216	0.13	0.09	739	183	45	3.36
	2	0.10024	-0.31	0.21	968	151	45	4.38
	3	0.99125	0.02	0.01	650	200	55	0.00
	4	0.08748	0.54	0.29	2289	414	90	5.28
	5	0.96278	0.03	0.02	999	300	40	0.06
	6	0.99694	0.01	0.01	1998	350	95	0.06
	7	0.89571	0.08	0.05	2217	498	90	0.50
	8	0.50556	-0.14	0.07	1526	348	50	1.05
	9	0.01669	0.56	0.32	756	122	60	4.82
	10	0.18527	-0.21	0.12	1204	201	50	0.35
	Avg	0.53341		0.12				1.99
69	1	0.06174	0.42	0.23	765	181	45	5.37
	2	0.52461	0.19	0.11	948	153	45	3.29
	3	0.67388	-0.08	0.03	652	200	55	0.18
	4	0.36143	0.24	0.14	2592	393	90	2.35
	5	0.16051	0.16	0.12	946	305	40	3.26
	6	0.02705	-3.19	1.59	2186	305	98	9.34
	7	0.96898	-0.04	0.02	2190	501	90	0.29
	8	0.40049	-0.17	0.11	1478	353	50	0.98
	9	0.96451	0.03	0.01	699	125	60	0.08
	10	0.40345	-0.14	0.09	1187	202	50	0.85
	Avg	0.45467		0.25				2.60

ตารางที่ ข.4 ผลการคำนวณย้อนกลับของแบบจำลองโครงสร้างทางจากชุดพารามิเตอร์ 77 ชุด (ต่อ)

Rank	Model. No	Best Fitn.	Max Err	RMSE [%]	E1	E2	E3	Err. E [%]
70	1	0.00862	1.16	0.61	830	177	45	10.77
	2	0.31169	0.19	0.14	954	152	45	3.55
	3	0.00217	-3.97	2.40	797	177	57	14.80
	4	0.69254	-0.11	0.06	2549	397	90	1.21
	5	0.38110	-0.12	0.07	974	303	40	1.61
	6	0.95435	-0.06	0.03	1992	351	95	0.28
	7	0.52406	-0.19	0.11	2256	495	90	1.58
	8	0.55542	-0.12	0.07	1524	348	50	0.98
	9	0.15840	0.19	0.10	715	124	60	1.32
	10	0.96730	0.02	0.01	1199	200	50	0.05
	Avg	0.45557		0.36				3.61
71	1	0.06500	-0.36	0.13	756	183	45	4.72
	2	0.61831	0.19	0.11	946	153	45	3.17
	3	0.99125	0.02	0.01	650	200	55	0.00
	4	0.99432	0.04	0.02	2501	400	90	0.02
	5	0.41924	-0.10	0.07	971	303	40	1.77
	6	0.99694	0.01	0.01	1998	350	95	0.06
	7	0.98598	0.04	0.02	2197	500	90	0.08
	8	0.07577	-0.47	0.26	1600	342	50	4.07
	9	0.20718	-0.18	0.10	685	126	60	1.32
	10	0.02874	-0.77	0.31	1274	194	50	3.96
	Avg	0.53827		0.10				1.92
72	1	0.12418	-0.20	0.12	762	182	45	5.15
	2	0.61831	0.19	0.11	946	153	45	3.17
	3	0.99125	0.02	0.01	650	200	55	0.00
	4	0.09233	0.45	0.30	2290	415	90	5.31
	5	0.96278	0.03	0.02	999	300	40	0.06
	6	0.99694	0.01	0.01	1998	350	95	0.06
	7	0.94977	-0.05	0.03	2205	500	90	0.13
	8	0.83433	0.07	0.04	1507	349	50	0.32
	9	0.19423	-0.17	0.10	683	126	60	1.48
	10	0.99276	0.02	0.01	1200	200	50	0.00
	Avg	0.67569		0.08				1.57

ตารางที่ ข.4 ผลการคำนวณย้อนกลับของแบบจำลองโครงสร้างทางจากชุดพารามิเตอร์ 77 ชุด (ต่อ)

Rank	Model. No	Best Fitn.	Max Err	RMSE [%]	E1	E2	E3	Err. E [%]
73	1	0.01522	0.69	0.40	823	179	45	10.15
	2	0.52461	0.19	0.11	948	153	45	3.29
	3	0.25654	-0.18	0.10	660	199	55	0.93
	4	0.99432	0.04	0.02	2501	400	90	0.02
	5	0.96278	0.03	0.02	999	300	40	0.06
	6	0.95435	-0.06	0.03	1992	351	95	0.28
	7	0.79325	0.11	0.07	2228	497	90	0.81
	8	0.57704	-0.11	0.07	1523	348	50	0.94
	9	0.00928	-1.91	1.31	740	120	61	4.14
	10	0.41859	-0.13	0.09	1186	202	50	0.89
	Avg	0.55060		0.22				2.15
74	1	0.59216	0.13	0.09	739	183	45	3.36
	2	0.61831	0.19	0.11	946	153	45	3.17
	3	0.99125	0.02	0.01	650	200	55	0.00
	4	0.82739	0.07	0.04	2503	399	90	0.16
	5	0.95131	0.03	0.02	998	300	40	0.12
	6	0.99694	0.01	0.01	1998	350	95	0.06
	7	0.99474	0.03	0.01	2199	500	90	0.03
	8	0.85440	0.06	0.03	1510	349	50	0.42
	9	0.96451	0.03	0.01	699	125	60	0.08
	10	0.04038	0.50	0.33	1268	192	50	4.00
	Avg	0.78314		0.07				1.14
75	1	0.10440	-0.24	0.13	764	182	45	5.32
	2	0.61831	0.19	0.11	946	153	45	3.17
	3	0.99125	0.02	0.01	650	200	55	0.00
	4	0.99300	0.04	0.02	2502	400	90	0.05
	5	0.85625	0.03	0.02	1001	300	40	0.06
	6	0.27612	-0.35	0.21	2061	343	95	2.11
	7	0.95288	0.06	0.03	2205	499	90	0.17
	8	0.88260	-0.04	0.03	1489	351	50	0.45
	9	0.02093	-0.47	0.22	705	126	60	0.62
	10	0.99276	0.02	0.01	1200	200	50	0.00
	Avg	0.66885		0.08				1.19

ตารางที่ ข.4 ผลการคำนวณย้อนกลับของแบบจำลองโครงสร้างทางจากชุดพารามิเตอร์ 77 ชุด (ต่อ)

Rank	Model. No	Best Fitn.	Max Err	RMSE [%]	E1	E2	E3	Err. E [%]
76	1	0.17940	0.20	0.13	756	182	45	4.66
	2	0.52461	0.19	0.11	948	153	45	3.29
	3	0.02075	-1.85	1.06	674	193	56	3.12
	4	0.35414	0.23	0.14	2598	393	90	2.48
	5	0.64839	-0.06	0.03	1012	299	40	0.72
	6	0.95915	0.05	0.03	2006	349	95	0.24
	7	0.99474	0.03	0.01	2199	500	90	0.03
	8	0.99365	-0.03	0.01	1500	350	50	0.00
	9	0.00698	2.12	1.45	627	133	59	7.13
	10	0.72195	0.07	0.04	1208	199	50	0.48
	Avg	0.54038		0.30				2.21
77	1	0.59216	0.13	0.09	739	183	45	3.36
	2	0.30011	0.19	0.14	955	152	45	3.61
	3	0.99125	0.02	0.01	650	200	55	0.00
	4	0.07534	1.29	0.80	2447	414	89	2.45
	5	0.96278	0.03	0.02	999	300	40	0.06
	6	0.04111	-2.17	1.10	2189	315	97	8.04
	7	0.99454	0.03	0.01	2200	500	90	0.00
	8	0.62113	0.12	0.07	1518	348	50	0.77
	9	0.56985	0.06	0.03	696	125	60	0.33
	10	0.02862	-0.62	0.41	1128	210	50	4.51
	Avg	0.51769		0.27				2.31

ภาคผนวก ค

ผลการคำนวณย้อนกลับจากข้อมูลผลการทดสอบด้วยเครื่อง FWD บริเวณทางวิ่งของสนามบินเพชรบูรณ์

ตารางที่ ค.1 ผลการคำนวณย้อนกลับจากข้อมูลผลการทดสอบด้วยเครื่อง FWD บริเวณทางวิ่งของสนามบินเพชรบูรณ์

No.	Chainage	GAMLET Best			RMSE	GAMLET Selected			RMSE	PAVERS 2.8			RMSE
		E1	E2	E3	[%]	E1	E2	E3	[%]	E1	E2	E3	[%]
1	RWY1 0+200	3622	729	261	2.71	3709	716	261	2.75	3268	823	256	2.38
2	RWY1 0+300	2791	487	210	1.89	2820	473	212	1.54	3257	399	214	1.08
3	RWY1 0+500	3155	238	112	1.93	3057	245	112	1.99	3774	180	115	1.07
4	RWY1 0+700	4249	179	147	2.37	4062	194	145	2.97	5058	139	152	1.61
5	RWY1 1+200	5107	224	134	2.99	5572	194	137	2.16	6863	138	143	1.33
6	RWY3 0+350	4783	795	285	1.53	4783	795	285	1.53	5440	660	289	1.10
7	RWY3 0+750	4932	229	163	3.06	5136	209	166	2.45	6448	150	172	1.88
8	RWY3 1+150	9560	184	167	2.08	8844	212	164	2.69	10000	139	175	2.45
9	RWY3 1+350	5246	203	138	2.16	5142	207	138	2.16	6207	135	144	1.58
10	RWY3 2+050	5079	160	136	0.95	5079	160	136	0.95	5132	157	137	0.95

ภาคผนวก ง

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

เอกสารประกอบการประชุม
การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 19
The 19th National Convention on Civil Engineering
เนื่องในโอกาสเฉลิมฉลองครบรอบ 50 ปี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
CIVIL KKU
ANNIVERSARY
NCCE 19
วิศวกรรมโยธากับประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน
Civil Engineering and ASEAN Economic Community
SIRDC
14-16 พฤษภาคม 2557
ณ โรงแรมพูลแมน ขอนแก่น ราชา ออคิด
May 14-16, 2014
Pullman Khon Kaen Raja Orchid Hotel
จัดโดย
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
และวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.)

ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 19

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ

1	ศ.ดร.ธีรพงศ์	เสนจันทร์ฒิไชย	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2	ศ.ดร.เอกสิทธิ์	ลิ้มสุวรรณ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3	รศ.ดร.เกษม	ชูจารุกุล	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4	รศ.ดร.ฐิรวัตร	บุญญะฐี	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5	รศ.ดร.ธัญวัฒน์	โพธิศิริ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
6	รศ.ดร.บรรเจิด	พละการ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
7	รศ.ดร.บุญไชย	สถิตมั่นในธรรม	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
8	รศ.ดร.วิสุทธิ์	ช่อวิเชียร	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
9	รศ.ดร.ศักดิ์สิทธิ์	เฉลิมพงศ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
10	รศ.ดร.สรวิศ	นฤปิติ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
11	รศ.ดร.สุเชษฐ์	ลิขิตเลอสรวง	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
12	รศ.ดร.อัครวัชร	เล่นวารี	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
13	รศ.วิชัย	เยี่ยงวีรชน	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
14	ผศ.ดร.จิตติชัย	รุจนกนกนาฎ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
15	ผศ.ดร.ฉัตรพันธ์	จินตนาภักดี	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
16	ผศ.ดร.ธเนศ	ศรีศิริโรจนากร	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
17	ผศ.ดร.นพดล	จอกแก้ว	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
18	ผศ.ดร.มาโนช	โลหเตปานนท์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
19	ผศ.ดร.วัชระ	เพียรสุภาพ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
20	ผศ.ดร.ศรีเลิศ	โชติพันธรัตน์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
21	อ.ดร.เบญจพร	สุวรรณศิลป์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
22	อ.ดร.อรอนงค์	ลาภปริสุทธิ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
23	ศ.ดร.วิโรจน์	รุโจปการ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
24	รศ.ดร.ก่อโชค	จันทวรางกูร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
25	รศ.ดร.ชวเลข	วณิชเวทิน	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
26	รศ.ดร.ดีบุญ	เมธากุลชาติ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
27	รศ.ดร.วัชรินทร์	วิทยกุล	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
28	รศ.ดร.สุธาริน	สถาปิตานนท์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
29	รศ.ดร.สุทธิศักดิ์	ศรลัมพ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
30	รศ.ดร.สุวัฒนา	จิตตลดากร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
31	รศ.ดร.สุวิมล	สัจจวาณิชย์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

32	ผศ.ดร.กิจพัฒน์	ภู่วรวรรณ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
33	ผศ.ดร.ปิยนุช	เวทย์วิวรณ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
34	ผศ.ดร.วราเมศวร์	วิเชียรแสน	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
35	ผศ.ดร.วันชัย	ยอดสุดใจ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
36	ผศ.ดร.วีระเกษตร	สวนผกา	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
37	ผศ.ดร.เหมือนมาศ	วิเชียรสินธุ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
38	ผศ.ดร.อดิชัย	พรพรหมินทร์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
39	ผศ.ดร.เอกสิทธิ์	โฆสิตสกุลชัย	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
40	ผศ.ทีฆวุฒิ	พุทธภิรมย์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
41	อ.ดร.จิระกานต์	ศิริวิชญ์ไมตรี	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
42	อ.ดร.จิระวัฒน์	กณะสุต	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
43	อ.ดร.ปนัดดา	กสิกิจวิวัฒน์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
44	อ.ดร.พรรณพิมพ์ พุทธรักษา	มะเปี่ยม	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
45	อ.ดร.ยุวดี	แซ่ตั้ง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
46	อ.ดร.วิษุวัฒก์	แต้สมบัติ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
47	อ.ดร.สมชาย	ดอนเจดีย์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
48	อ.ดร.สโรช	บุญศิริพันธ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
49	อ.ดร.สุภาพร	แก้วกอ เลี่ยวไพโรจน์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
50	อ.ดร.สุริยน	เปรมปราโมทย์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
51	อ.ดร.เอกชัย	ศิริกิจพาณิชย์กูล	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
52	อ.ฐิตาภรณ์	พ่อบุตรดี	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
53	อ.ต่อศักดิ์	ประเสริฐสังข์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
54	อ.ทศพล	จตุระบุล	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
55	ศ.ดร.ปริญญา	จินดาประเสริฐ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
56	รศ.ดร.เฉลิมชัย	พาวัฒนา	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
57	รศ.ดร.พงศกร	พรรณรัตนศิลป์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
58	รศ.พัชรี	หอวิจิตร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
59	รศ.วินัย	ศรีอำพร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
60	รศ.วีระ	หอสกุลไท	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
61	ผศ.ดร.กอปร	ศรีนาวิน	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
62	ผศ.ดร.จารึก	ถีระวงษ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
63	ผศ.ดร.ชาติชาย	ไวยสุระสิงห์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
64	ผศ.ดร.ณรงค์	เหลืองบุตรนาค	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
65	ผศ.ดร.ณัฐพงษ์	อารีมิตร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
66	ผศ.ดร.ดลฤดี	หอมดี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น

67	ผศ.ดร.ธเนศ	เสถียรนาม	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
68	ผศ.ดร.ธันยดา	พรรณเชษฐ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
69	ผศ.ดร.พนกฤษณ	คลังบุญครอง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
70	ผศ.ดร.รัตมณี	นันทสาร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
71	ผศ.ดร.ลัดดา	ตันวาณิชกุล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
72	ผศ.ดร.วันชัย	สะตะ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
73	ผศ.ดร.วิชุดา	เสถียรนาม	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
74	อ.ดร.กิตติเวช	ขันติยวิชัย	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
75	อ.ดร.ธนากร	เมธาธรรม	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
76	อ.ดร.ธัญลักษณ์	ราษฎร์ภักดี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
77	อ.ดร.ปิยะวัชร	ฝอยทอง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
78	อ.ดร.พัศพันธน์	ชาญวสุนันท์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
79	อ.สุรัตน์	ประมวลศักดิกุล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
80	รศ.ชูโชค	อายุพงศ์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
81	รศ.ดร.ธนพร	สุปริยศิลป์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
82	ผศ.ดร.พุทธิพล	ดำรงชัย	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
83	อ.ดร.เกรียงไกร	อรุโณทยานันท์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
84	อ.ดร.ปรีดา	พิชยาพันธ์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
85	อ.ดร.รังสรรค์	อุดมศรี	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
86	อ.ดร.อรรถวิทย์	อุปโยคิน	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
87	ศ.ดร.ชัย	จาตุรพิทักษ์กุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
88	ศ.ดร.ชัยยุทธ	ชินณะราศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
89	รศ.ดร.พรเกษม	จงประดิษฐ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
90	รศ.ดร.วิโรจน์	ศรีสุรภานนท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
91	ผศ.ดร.ธิดารัตน์	บุญศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
92	ผศ.ดร.พิชญ์	สุธีรวรรธนา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
93	ผศ.ดร.วรัช	ก้องกิจกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
94	ผศ.ดร.วิลาสินี	อยู่ชัชวาล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
95	ผศ.ดร.วีรชาติ	ตั้งจิรภัทร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
96	ผศ.ดร.วุฒิพงศ์	เมืองน้อย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
97	อ.ดร.ชัยวัฒน์	เอกวัฒน์พานิชย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
98	อ.ดร.ทรงเกียรติ	ภัทรปัทมาวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
99	อ.ดร.ประพัทธ์	พงษ์เกียรติกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
100	รศ.ดร.กิตติชัย	ธนทรัพย์สิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
101	รศ.ดร.ปิติ	สุคนธสุขกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

102	รศ.ดร.พานิช	วุฒิพฤกษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
103	รศ.ดร.วรรณวิทย์	แต้มทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
104	รศ.ดร.สมิตร	ส่งพิริยะกิจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
105	รศ.ดร.สุพรชัย	อุทัยนฤมล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
106	ผศ.ดร.เทอดศักดิ์	รองวิริยะพานิช	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
107	อ.ดร.ณัฐพงศ์	มกระธัช	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
108	รศ.ดร.สายสุนีย์	พุทธาคุณเจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
109	ผศ.ดร.ปิติศานต์	กร้ำมาตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
110	อ.ดร.จตุพล	ตั้งปกาศิต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
111	ผศ.ดร.สำเริง	รักซ้อน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
112	รศ.จรูญ	เจริญเนตรกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
113	ผศ.นัฐวุฒิ	ทิพย์โยธา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา
114	อ.ดร.เกียรติสุดา	สมนา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา
115	อ.ดร.รัฐพล	สมนา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา
116	รศ.ดร.วชรภูมิ	เบญจโอฬาร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
117	รศ.ดร.วัฒนวงศ์	รัตนวราห	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
118	รศ.ดร.สิทธิชัย	แสงอาทิตย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
119	รศ.ดร.อวิรุทธิ์	ชินกุลกิจนิวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
120	ผศ.ดร.ฉัตรชัย	โชติษฐยางกูร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
121	ผศ.ดร.ธีรวัฒน์	สินศิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
122	ผศ.ดร.ปรียาพร	โกษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
123	ผศ.ดร.พรพจน์	ตันเส็ง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
124	ผศ.ดร.รัฐพล	ภู่บุบผาพันธ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
125	อ.ดร.ศิรดล	ศิริธร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
126	รศ.ดร.ชวลิต	ชาลีรักษ์ตระกูล	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
127	รศ.ดร.นคร	ภู่วโรดม	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
128	รศ.ดร.บุรฉัตร	ฉัตรวีระ	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
129	รศ.ดร.วีรยา	ฉิมอ้อย	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
130	รศ.ดร.สายันต์	ศิริมนตรี	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
131	ผศ.ดร.กฤดายุทธ์	ชมภูนิ่ง	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
132	ผศ.ดร.ภาวิณี	เอี่ยมตระกูล	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
133	ผศ.ดร.สสิกรณ์	เหลืองวิชชเจริญ	มหาวิทยาลัยนเรศวร
134	อ.ดร.ดุษฎี	สถิรเศรษฐทวี	มหาวิทยาลัยนเรศวร
135	ผศ.ดร.ทวีชัย	สำราญวานิช	มหาวิทยาลัยบูรพา
136	ผศ.ดร.ธรรมนูญ	รัศมีมาสเมือง	มหาวิทยาลัยบูรพา

137	ผศ.ดร.วิเชียร	ชาลี	มหาวิทยาลัยบูรพา
138	ผศ.ดร.สยาม	ยิ้มศิริ	มหาวิทยาลัยบูรพา
139	ผศ.ดร.สุรเมศวร์	พิริยะวัฒน์	มหาวิทยาลัยบูรพา
140	อ.ดร.ฐิติมา	วงศ์อินตา	มหาวิทยาลัยบูรพา
141	อ.ดร.ปิติ	โรจน์วรรณสินธุ์	มหาวิทยาลัยบูรพา
142	อ.ดร.พัทรพงษ์	อาสนจินดา	มหาวิทยาลัยบูรพา
143	อ.ดร.เพชร์รัตน์	ลิ้มสุปรียารัตน์	มหาวิทยาลัยบูรพา
144	อ.เรือเอก ดร.สราวุธ	ลักษณะโต	มหาวิทยาลัยบูรพา
145	ผศ.ดร.ณัฐพงศ์	ดำรงวิริยะนุภาพ	มหาวิทยาลัยพะเยา
146	ผศ.ดร.ธนกร	ชมภูรัตน์	มหาวิทยาลัยพะเยา
147	ผศ.ดร.สมบูรณ์	เชี่ยงฉิน	มหาวิทยาลัยพะเยา
148	ผศ.ดร.กริสน์	ชัยมูล	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
149	ผศ.ดร.เรืองรุชดิ์	ชีระโรจน์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
150	ผศ.ดร.สหลาภ	หอมวุฒิวงศ์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
151	ผศ.ดร.ธัชวีร์	ลีละวัฒน์	มหาวิทยาลัยมหิดล
152	ผศ.ดร.สมชาย	ปฐมศิริ	มหาวิทยาลัยมหิดล
153	อ.ดร.ชลลดา	เลาะฟอ	มหาวิทยาลัยมหิดล
154	ผศ.ดร.วรรณี	ศุขสาตร	มหาวิทยาลัยรังสิต
155	ผศ.สมศักดิ์	เอื้ออัชฌาสัย	มหาวิทยาลัยรังสิต
156	อ.ดร.กรกนก	บุญเสริม	มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
157	อ.ดร.สกลวรรณ	ห่านจิตสุวรรณ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
158	ผศ.ดร.วสันต์	ธีระเจตกูล	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
159	ศ.ดร.พิชัย	ธานีรณานนท์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
160	ผศ.ดร.ธนันท์	ชุบอุปการ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
161	ผศ.ดร.ภาสกร	ชัยวิริยะวงศ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
162	อ.ดร.ปรเมศวร์	เหลือเทพ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
163	อ.ดร.วิชัยรัตน์	แก้วเจือ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
164	อ.ดร.ฐกลพัศ	เจนจิวัฒนกุล	มหาวิทยาลัยสยาม
165	รศ.ดร.สถาพร	โภคา	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
166	ผศ.ดร.เกรียงศักดิ์	แก้วกุลชัย	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
167	ผศ.ดร.สิทธา	เจนศิริศักดิ์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
168	อ.ดร.ถนัดกิจ	ชารีรัตน์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
169	พ.อ.ผศ.ดร.ไท	ชาญกล	โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
170	อ.ดร.ภัควัฒน์	แสนเจริญ	สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร
171	อ.ดร.รักติพงษ์	สหมิตรมงคล	สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร

172	อ.ดร.วรางคณา	แสงสร้อย	สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร
173	รศ.ดร.จักรพงษ์	พงษ์เพ็ง	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
174	รศ.ดร.เอกชัย	สุมาลี	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
175	รศ.แหลมทอง	เหล่าคงถาวร	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
176	ผศ.ดร.อุมา	สีบุญเรือง	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
177	อ.ดร.จำรัส	พิทักษ์ศฤงคาร	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
178	ดร.สุเมธ	องกิตติกุล	สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย

หมายเหตุ: เรียงลำดับตามชื่อสถาบันการศึกษา หน่วยงานราชการ และหน่วยงานเอกชน (ก-ฮ)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Technical Session 8-2: Network Analysis & Emissions
Room: FAH MUI 3
Chairperson: Dr. Thakonlaphat Jenjiwattanakul

Time	Paper ID	Title	Page No
17:15 - 17:30	118	Analysis of Cities and Highway Network in Greater Mekong Subregion	274
17:30 - 17:45	55	Network Evaluation of Flood Impact for Rural Highway Management Preparedness	275
17:45 - 18:00	268	Study Equity Accessibility to Activities of Chiang Mai City	275
18:00 - 18:15	455	Study of Short-Term Measures to Reduce CO2 Emission from Transport Sector in Khon Kaen City	276
18:15 - 18:30	130	Estimation of Fuel Consumption and CO2 Emission of Private Vehicles from Vehicle Kilometer Traveled Data : A Case Study of Hat Yai City	276
18:30 - 18:45	428	An Evaluation of Transportation System for Supporting Tourism in Nonghan Area Sakon Nakhon Province	277

Technical Session 8-3: Pavement
Room: CHAT TAN 1
Chairperson: Asst.Prof.Weerakaset Suanpaga

Time	Paper ID	Title	Page No
17:15 - 17:30	321	The Application of Microwave Pre-Heating for Asphalt Road in the Recycled Process	277
17:30 - 17:45	616	Asphalt Pavement Recycling Alternative Using Bitumen Emulsion	278
17:45 - 18:00	64	The Study Mixed Ratio of Natural Rubber with Mechanical Properties Testing of Para Asphalt Concrete by Hot Mixed Asphalt (by Masterbatch 1:1)	278
18:00 - 18:15	458	Selection of Genetic Algorithm Parameters for Backcalculation of Layer Moduli of Asphalt Concrete Pavement	279
18:15 - 18:30	518	The Study of Factors Influencing the Skid Resistance of the Road Surface	280
18:30 - 18:45	208	Design and Development of the Method to Forecasting the Skid Resistance of Asphaltic Pavements from Aggregate Characteristics	280

Selection of Genetic Algorithm Parameters for Backcalculation of Layer Moduli of Asphalt Concrete Pavement

Chakrapong Nammahachai[1], Puttapon Thongindam[2]
[1,2]Department of Civil Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi
E-mail: [1]n.chakrapong@gmail.com, [2]puttapon.t@en.rmutt.ac.th

ABSTRACT

Recently, backcalculation from pavement surface deflections has been used to evaluate layer moduli of asphalt concrete road structure. It was found that the local minima occur from the process mentioned. Genetic algorithms (GAs) have been used successfully for backcalculation program by showing the capability to overcome the local minima problem. While the introduction of new GA techniques are of importance for improvement of solution accuracy, this makes selection of GA parameters more complicate. Hence, this research focuses on the selection of optimal GA parameters to be adopted for backcalculation of layer moduli of Asphalt Concrete (AC) pavement using GAMLET software. A number of parameter sets have been randomly generated using statistical method. The generated parameter sets have been evaluated by the level of accuracy desired and the corresponding computational effort (CE). The selected parameters have been evaluated using some hypothetical and field problems. The results show that the optimal GA parameter set could, in most of the cases, decrease the root mean square error to less than 3% which is considered as acceptable. The optimal GA parameter set found in this study are as follow: number of generations: 100, number of population: 40, and the value of uniform crossover probability, jump mutation probability, creep mutation probability are 0.77, 0.016, and 0.140 respectively including elitism and niching functions.

Keywords: Selection of GA Parameters, Backcalculation Software Gamlet, Pavement Layer Moduli

Study and Development of Prototype to Explore and Evaluate the Pavement Friction for Safety

Smai Chotisakul[1], Santiparp Siriyong[2], Phromchat Chuathong[3], Wisanu Subsompon[4], Suebskul Phiphobmongkol[5], Nuntawat Lersinghanart[6], Weerachai Wongweeranimit[7]
[1,2,3]Bureau of Traffic Safety, Department of Rural Roads, Ministry of Transport
[4,5,6,7]Infrastructure Management Research Unit, Chulalongkorn University
E-mail: [1]smai3388@gmail.com, [2]ssiriyong@hotmail.com, [3]phromchatchuathong@gmail.com, [4]swisanu@chula.ac.th, [5]suebskul.p@chula.ac.th, [6]Nuntawat_n@hotmail.com, [7]vrachai.w@gmail.com

ABSTRACT

This project presents the development of a prototype device to measure Mean Profile Depth (MPD) as Laser MPD: DRR, which indicates the characteristic of macro pavement texture. Theoretically, macro texture is a key factor that affects pavement friction. The main idea of this research is to use MPD as a surrogate factor to reflect the pavement friction at the investigatory level, since MPD can be measured with faster and more cost-effective than measuring pavement friction directly. The MPD measuring device is developed based on the ASTM E 1845. From correlation analysis between MPD and coefficient of friction (μ) of sample pavements, it was found that if MPDs are higher than 1.5 millimeter, all coefficients of pavement friction (μ) would be higher than the required investigatory level at 0.35. Therefore, MPD can be used as a threshold to reduce needs of direct friction measurement of all pavements especially at the investigatory level. As a result, it can save cost and time of data collection for friction management at a network level planning, in order to promoting the current security standard of maintenance plan for rural roads safety.

Keywords: Mean Profile Depth, Macro-Texture, Pavement Friction

การเลือกชุดพารามิเตอร์สำหรับระเบียบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในการคำนวณย้อนกลับหาค่าโมดูลัสชั้นทางแอสฟัลต์คอนกรีต

Selection of Genetic Algorithm Parameters for Backcalculation of Layer Moduli of Asphalt Concrete Pavement

จักรพงษ์ นามหาไชย[1,*] และ พุทธพล ทองอินทร์ดำ[2]

[1,2] *ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ปทุมธานี*

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการประเมินกำลังรับน้ำหนักของโครงสร้างทาง ด้วยวิธีการคำนวณย้อนกลับจากค่าการยุบตัวของผิวทาง มักพบปัญหาจุดต่ำสุดเฉพาะที่ของพื้นผิวคำตอบ ระเบียบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหานี้ได้อย่างประสบความสำเร็จ ในขณะที่การใช้เทคนิคแบบใหม่ของระเบียบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการค้นหาคำตอบกลับก่อให้เกิดการเพิ่มของตัวแปรที่มากขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาการคัดเลือกชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการคำนวณย้อนกลับเพื่อหาค่าโมดูลัสชั้นทางแอสฟัลต์คอนกรีต ด้วยโปรแกรมคำนวณย้อนกลับ GAMLET โดยในการศึกษาได้มีการกำหนดและสุ่มชุดตัวอย่างของชุดพารามิเตอร์นี้ด้วยหลักการทางสถิติ และทำการวิเคราะห์เพื่อประเมินความเหมาะสม ทั้งจากแบบจำลองโครงสร้างทางที่สมมุติขึ้นและจากข้อมูลการทดสอบจริงในสนาม โดยใช้ระดับความถูกต้องของผลคำตอบที่ต้องการและภาระการคำนวณของคอมพิวเตอร์ (Computational effort, CE) เป็นเกณฑ์ตัดสินเพื่อคัดเลือกชุดพารามิเตอร์ ผลการศึกษาพบว่าชุดพารามิเตอร์ที่เลือกให้ค่าความคลาดเคลื่อนของผลคำตอบส่วนใหญ่น้อยกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยชุดพารามิเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดคือ จำนวนรุ่นสูงสุด 100 รุ่น ขนาดประชากร 40 ใช้อัตราการผสมข้ามแบบสม่ำเสมอ การกลายพันธุ์แบบกระโดดและการกลายพันธุ์แบบคืบ เท่ากับ 0.77, 0.016 และ 0.140 ตามลำดับ รวมถึงมีการเปิดใช้การคัดเลือกผู้นำและวิธีกลุ่มเฉพาะ

คำสำคัญ: การเลือกชุดพารามิเตอร์, โปรแกรมคำนวณย้อนกลับ GAMLET, ค่าโมดูลัสชั้นทาง

Abstract

Recently, backcalculation from pavement surface deflections has been used to evaluate layer moduli of asphalt concrete road structure. It was found that the local minima occur from the process mentioned. Genetic algorithms (GAs) have been used successfully for backcalculation program by showing the capability to overcome the local minima problem. While the introduction of new GA techniques are of importance for improvement of solution accuracy, this makes selection of GA parameters more complicate. Hence, this research focuses on the selection of optimal GA parameters to be adopted for backcalculation of layer moduli of Asphalt concrete (AC) pavement using GAMLET software. A number of parameter sets have been randomly generated using statistical method. The generated parameter sets have been evaluated by the level of accuracy desired and the corresponding computational effort (CE). The selected parameters have been evaluated using some hypothetical and field problems. The results show that the optimal GA parameter set could, in most of the cases, decrease the root mean square error to less than 3% which is considered as acceptable. The optimal GA parameter set found in this study are as follow: number of generations: 100, number of population: 40, and the value of uniform crossover probability, jump mutation probability, creep mutation probability are 0.77, 0.016, and 0.140 respectively including elitism and niching functions.

Keywords: Selection of GA Parameters, Backcalculation software GAMLET, Pavement layer moduli

* ผู้เขียนผู้รับผิดชอบบทความ (Corresponding author)
E-mail address: n.chakrapong@gmail.com

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการขยายตัวทางเศรษฐกิจเพิ่มขึ้นทำให้มีการคมนาคมขนส่งทางบกเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย จากรายงานประจำปี 2555 ของกรมทางหลวง พบว่า กรมทางหลวงเพียงหน่วยงานเดียวมีสายทางที่จำเป็นต้องมีการบำรุงรักษาอยู่ถึง 66,871 กิโลเมตรต่อสองช่องจราจร หรือคิดเป็นร้อยละ 98.64 ของสายทางที่อยู่ในความรับผิดชอบ [1] ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการประเมินความเสียหายและความแข็งแรงของโครงสร้างทางอย่างเหมาะสม เพื่อให้การขนส่งและเดินทางเป็นไปด้วยความสะดวกและปลอดภัย

ในการประเมินกำลังรับน้ำหนักของโครงสร้างชั้นทางแบบไม่ทำลาย มีเครื่องมือทดสอบหลายชนิด เช่น เครื่องมือเบนเคลแมนบีม (Benkelman Beam) เครื่องมือทดสอบการยุบตัวด้วยลูกตุ้มตกกระแทก (Falling Weight Deflectometer, FWD) และเครื่อง Dynaflect หรือ Road Rater เป็นต้น[2] ปัจจุบันการทดสอบแบบไม่ทำลายกำลังเป็นที่นิยมโดยเฉพาะการทดสอบด้วย FWD จัดว่าเป็นวิธีการประเมินความแข็งแรงของโครงสร้างถนนและสนามบินที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นวิธีการทดสอบที่ทำได้รวดเร็วและปลอดภัย อีกทั้งยังมีความน่าเชื่อถือสูง สามารถชี้วัดความแข็งแรงได้ทุกชั้นทาง โดยผลการทดสอบที่ได้จะจะเป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับคำนวณย้อนกลับหาค่าโมดูลัสชั้นทางด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ทั้งนี้ สมรรถนะและประสิทธิภาพของแต่ละโปรแกรมขึ้นอยู่กับลักษณะของขั้นตอนวิธี (algorithm) ของแต่ละโปรแกรม [3]

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาวิธีที่ได้นำมาประยุกต์ใช้อย่างประสบความสำเร็จในกระบวนการคำนวณย้อนกลับ คือ ระเบียบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm, GA) เนื่องจากเป็นวิธีที่ขจัดปัญหาของค่าคำตอบที่ได้ขัดแย้งกับความเป็นไปได้จากมุมมองทางวัสดุวิศวกรรม โดยมีสาเหตุหลักมาจากความซับซ้อนและประกอบด้วยจุดต่ำสุดเฉพาะที่ (local minima) จำนวนมากของพื้นผิวคำตอบ แต่ข้อจำกัดของระเบียบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม คือ ระยะเวลาในการประมวลผลที่นานขึ้น และปัญหาในการเลือกตัวแปรหรือค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม [5] ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับระเบียบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมอย่างง่าย ประกอบด้วย จำนวนประชากรตั้งต้น (size population) จำนวนรุ่นสูงสุดของประชากร (maximum generation) อัตราการผสมข้าม (crossover rate) และอัตราการเปลี่ยนแปลงยีนส์ (mutation rate) ปัจจุบันได้มีนักวิจัยหลายท่านได้ศึกษาเกี่ยวกับการเลือกชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ในแต่ละโปรแกรม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดระยะเวลาในการคำนวณลง [6] แต่ส่วนใหญ่ชุดพารามิเตอร์ดังกล่าวสามารถใช้ได้กับโปรแกรม นั้น ๆ เท่านั้น และถ้าหากใช้เทคนิคแบบใหม่ของระเบียบขั้นตอนวิธี เชิงพันธุกรรมยิ่งทำให้จำนวนของค่าพารามิเตอร์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้การคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมมีความยากมากยิ่งขึ้น และถ้ามีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ไม่เหมาะก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการคำนวณของโปรแกรมต่ำลง ทำให้จะมีผลต่อเนื่องถึงประสิทธิภาพในการคำนวณอายุคงเหลือและการออกแบบเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างทาง

ดังนั้น การศึกษาวิจัยนี้จึงมุ่งหวังคัดเลือกชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการกำหนดค่าให้กับโปรแกรมแกมเล็ท (GAMLET) [5] จำนวน 9 พารามิเตอร์ ประกอบด้วย จำนวนรุ่นสูงสุด ขนาดประชากร อัตราการผสมข้าม การกลายพันธุ์แบบกระโดดและการกลายพันธุ์แบบคืบ การปิด-เปิดใช้งานการผสมข้ามแบบสม่ำเสมอ การคัดเลือกผู้นำและวิธีกลุ่มเฉพาะ ซึ่ง GAMLET เป็นการคำนวณย้อนกลับหาค่าโมดูลัสชั้นทางที่ถูกพัฒนาขึ้น โดยพุทธพล [5] และใช้ทฤษฎียืดหยุ่นของชั้นทางเป็นแบบจำลองของการคำนวณแบบเดินหน้าและประยุกต์ใช้เทคนิคแบบใหม่ของระเบียบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเป็นขบวนการในการค้นหาคำตอบ การคัดเลือกชุดพารามิเตอร์ดังกล่าวอยู่บนพื้นฐานของความเหมาะสมระหว่างความถูกต้องของคำตอบและภาระในการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ ซึ่งชุดพารามิเตอร์ที่ได้จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำในการค้นหาคำตอบ อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับต่อยอดในการเลือกชุดพารามิเตอร์ที่หมาะสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับการคำนวณอายุคงเหลือและการออกแบบเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างทางรวมทั้งเป็นแนวทางการเลือกพารามิเตอร์ให้กับ โปรแกรมอื่นที่ใช้ระเบียบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในลักษณะคล้ายคลึงกันต่อไป

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระเบียบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm, GA)

ระเบียบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm, GA) คิดค้นขึ้นโดย John Holland (1975) เพื่อหาค่าผลเฉลยที่เหมาะสม โดยมีแรงบันดาลใจมาจาก ทฤษฎีวิวัฒนาการของ Charles Darwin (1859) ซึ่งเป็นการเลียนแบบกลไกลการคัดเลือกทางธรรมชาติ นั่นคือ สายพันธุ์ที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมคือสายพันธุ์ที่อยู่รอด ซึ่งโดยพื้นฐาน GA ประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอนคือ การสร้างกลุ่มประชากร (creation of population) การประเมินความเหมาะสม (evaluation) การคัดเลือก (selection) การจับคู่ผสมข้าม (crossover) และการกลายพันธุ์ (mutation) [3]

การทำงานของ GA อย่างง่ายจะเริ่มจากสุ่มสร้างชุดรหัสเลขฐานสองเรียกว่า โครโมโซม ซึ่งสามารถแปลงรหัสกลับไปเป็นค่าพารามิเตอร์เลขฐานสิบใช้ในการคำนวณวิเคราะห์ และทำการประเมินค่าความเหมาะสม (fitness evaluation) แล้วนำมาคัดเลือกเพื่อนำไปเป็นกลุ่มประชากรรุ่นพ่อแม่ จากนั้นประชากรที่ถูกเลือกในรูปแบบของโครโมโซมจะถูกนำมาดำเนินการทางพันธุกรรม (genetic operation หรือ reproduction operation) คือการผสมข้ามและการกลายพันธุ์ เพื่อสร้างประชากรรุ่นลูกหรือทายาท และเมื่อนำประชากรกลุ่มนี้มาประเมินค่าความเหมาะสมแล้วพบคำตอบที่เหมาะสมกับปัญหา กระบวนการทำงานก็จะสิ้นสุดลง แต่หากยังไม่พบคำตอบที่ต้องการ กระบวนการทำงานก็จะดำเนินต่อไป โดยมีการแทนที่ของประชากรรุ่นพ่อแม่ด้วยรุ่นลูกซึ่งพิจารณาโอกาสในการแทนที่จากค่าความเหมาะสม สายรหัสโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมมากก็จะมีโอกาสที่จะถูกเลือกมาก ในทางตรงข้ามสายรหัสที่มีความเหมาะสมน้อยก็จะมีโอกาสถูกเลือกน้อยและอาจสูญพันธุ์ไปในที่สุด เมื่อแทนที่เสร็จก็จะกลับเข้าสู่กระบวนการคัดเลือกใหม่ โดยกระบวนการเหล่านี้จะดำเนินการ

ไปเรื่อย ๆ เมื่อผ่านไปหลาย ๆ รุ่น ลักษณะทางพันธุกรรมที่ดีของรุ่นบรรพบุรุษจะถูกถ่ายทอดไปยังรุ่นทายาท ซึ่งจะทำให้รุ่นถัดไปมีค่าความเหมาะสมสูงขึ้นจนนำไปสู่การค้นพบคำตอบที่เหมาะสม

จุดเด่นของ GA อยู่ที่การค้นหาคำตอบที่มีความเหมาะสมโดยรวม ซึ่งเป็นผลมาจากการจับคู่ผสมพันธุ์ของประชากรที่มีค่าความเหมาะสมต่างกัน ทำให้มีโอกาสในการค้นหาบนพื้นผิวคำตอบที่กว้างขึ้น [3] และการกลายพันธุ์ที่ทำให้การค้นหาคำตอบไม่ติดอยู่กับหรือจุดต่ำสุดเฉพาะที่ แต่การค้นหาคำตอบที่เหมาะสมโดยรวมจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีการกำหนดตัวดำเนินการทางพันธุกรรมหรือพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ซึ่งเปรียบเสมือนการกำหนดสภาพแวดล้อมให้กับกลุ่มประชากร ในทางกลับกันการเลือกชุดพารามิเตอร์ที่ไม่เหมาะสมก็จะทำให้คำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่ติดอยู่กับจุดต่ำสุดเฉพาะที่ของพื้นผิวคำตอบเท่านั้น

2.2 การกำหนดค่าพารามิเตอร์

การกำหนดค่าพารามิเตอร์ หรือการกำหนดค่าการดำเนินการทางพันธุกรรม มีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของ GA ในช่วงหลายปีที่ผ่านมามีนักวิจัยหลายท่านพยายามศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของ GA ในเชิงทฤษฎีและเชิงประจักษ์ ซึ่งมีดังนี้

การศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมส่วนใหญ่ในเชิงทฤษฎีเป็นการหาค่าพารามิเตอร์ทีละตัว โดยการกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์อื่นคงที่ ซึ่งได้มีการศึกษาไว้ดังนี้ Grefenstette (1984) [8] ได้ศึกษาถึงการตั้งค่าพารามิเตอร์ GA เพื่อหาคำตอบของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั่วไปที่ใช้กลุ่มประชากรไม่มาก โดยสรุปได้ว่าควรใช้กลุ่มประชากรจำนวน 30 ตัวอย่าง แต่ไม่ได้มีการระบุถึงจำนวนรุ่นของประชากร ใช้วิธีผสมข้ามสายพันธุ์แบบสองตำแหน่ง โดยใช้อัตราการผสมข้ามเท่ากับ 0.9 และใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงค่ายีนส์เท่ากับ 0.01 ต่อมา De jong และ Spears (1990) [9] ได้ศึกษาถึงการตั้งค่าเพื่อให้เป็นมาตรฐานสำหรับระเบียบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมส่วนใหญ่ โดยพารามิเตอร์ชุดนี้จะทำให้การคำนวณดีขึ้นกว่าชุดพารามิเตอร์ที่ผ่านมา จากการศึกษาพบว่า ต้องกำหนดขนาดจำนวนประชากรเท่ากับ 50 มีจำนวนรุ่นของกลุ่มประชากรทั้งหมด 1,000 รุ่น ใช้วิธีผสมข้ามสายพันธุ์แบบสองตำแหน่ง โดยมีอัตราส่วนของการผสมข้ามเท่ากับ 0.6 และใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงค่ายีนส์เท่ากับ 0.001 ซึ่งแตกต่างไปจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ จากนั้น Goldberg และคณะ (1992) [10] ได้สร้างสมการสำหรับหาขนาดของประชากรขึ้นเป็นครั้งแรกและได้รับการกลั่นกรองโดย Harik และคณะ (1997) [11] ต่อจากกนั้น Muhlenbein (1992) [12] และ Back (1993) [13] ได้ตรวจสอบผลกระทบของอัตราการกลายพันธุ์ต่อประสิทธิภาพของ GA พบว่า มีค่าเท่ากับ *1/2* สำหรับปัญหาที่มีวัตถุประสงค์เดียว เมื่อ *l* คือค่าความยาวของปัญหา

จากงานวิจัยข้างต้นแสดงให้เห็นว่าวิธีเชิงทฤษฎีสามารถนำมาใช้ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ได้เพียงบางค่าเท่านั้น แต่ถ้าหากต้องการกำหนดค่าพารามิเตอร์ทีละหลายชุด การใช้วิธีการนี้ก็เป็นเรื่องยากและไม่เหมาะสม ดังนั้นจึงมีนักวิจัยหลายท่านที่นำเอาวิธีเชิงประจักษ์มาใช้ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์เช่น De Jong (1975) [14] พบว่าขนาดของประชากรมากจะทำให้ GA มีประสิทธิภาพดีในการคำนวณระยะยาว แต่ในทางกลับกัน ขนาดประชากรน้อยจะตอบสนองการค้นหาคำตอบได้ดีในช่วงเริ่มต้น โดยอัตราการผสมข้ามและอัตราการกลายพันธุ์จะมีค่าประมาณ 0.60 และ 0.001 ตามลำดับ ส่วนขนาดประชากรจะมีค่าระหว่าง 50-100 ต่อมา Grafenstette (1986) [15] ได้ศึกษาในแนวทางเดียวกับ De Jong พบว่าควรมีขนาดของประชากรเท่ากับ 30 อัตราการผสมข้ามและอัตราการกลายพันธ์เป็น 0.95 และ 0.01 ตามลำดับ จากนั้น Schaffer และคณะ (1989) [16] ได้ศึกษาเพิ่มเติมต่อจากงานวิจัยของ De Jong เช่นกันพบว่าควรใช้จำนวนประชากร 20-30 อัตราการผสมข้ามมีค่า 0.70-0.95 และอัตราการกลายพันธุ์มีค่า 0.005-0.01 จากผลการศึกษาของนักวิจัยทั้งสองท่านพบว่า ขนาดของประชากรและอัตราการกลายพันธุ์ แตกต่างไปจากงานวิจัยที่ De Jong ได้เคยศึกษาไว้ในก่อนหน้านี้ ต่อจากนั้นงานวิจัยของ Alvarez [17] (2002) และ Ernian Pan และคณะ (2012) [19] ได้ศึกษาถึงผลของการปรับค่าพารามิเตอร์ โดยได้สามารถสรุปว่าการปรับชุดพารามิเตอร์มีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบ ซึ่งหากมีการกำหนดชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจะช่วยลดขั้นตอนการทำงานของคอมพิวเตอร์ลงได้และทำให้กระบวนการค้นหาคำตอบมีศักยภาพที่ดียิ่งขึ้น

สำหรับในงานวิศวกรรมผิวทางได้มีนักวิจัยหลายท่านที่ได้ศึกษาการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการคำนวณย้อนกลับ เช่น Reddy และคณะ [3] เป็นต้น ได้ศึกษาเพื่อเลือกชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสม จากการสุ่มชุดพารามิเตอร์จำนวน 4 พารามิเตอร์คือ จำนวนรุ่นสูงสุด ขนาดประชากร อัตราการผสมข้าม และอัตราการกลายพันธุ์ โดยได้สุ่มพารามิเตอร์ทั้งหมด 1200 ชุด และทดสอบประสิทธิภาพของชุดพารามิเตอร์ที่เลือกกับโครงสร้างชั้นทางที่สมมุติขึ้นซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 1 โดยผลการศึกษาของ Reddy และคณะ ได้ชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ซึ่งแสดงรายละเอียดร่วมกับนักวิจัยท่านอื่น ๆ ดังตารางที่ 2

จากงานวิจัยของหลาย ๆท่านที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับ การเลือกชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของ GA แสดงให้เห็นว่า ชุดพารามิเตอร์ของ GA ที่ดีที่สุดนั้นไม่ได้มีรูปแบบของค่าพารามิเตอร์ที่แน่นอน ทั้งนี้รูปแบบของชุดพารามิเตอร์อาจขึ้นอยู่กับเป้าหมายของการค้นหาคำตอบ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วิธีการศึกษาสำนึก (Heuristics) ในการค้นหาเพื่อเลือกชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมทั้ง 9 พารามิเตอร์

ตารางที่ 1 ลักษณะโครงสร้างชั้นทางที่ Reddy และคณะสมมุติขึ้น [3]

No.	Layer moduli [Mpa]			Layer thickness [mm]	
	E1	E2	E3	H1	H2
1	700	180	45	90	600
2	900	150	45	225	450
3	650	200	55	150	600
4	2500	400	90	125	300
5	1000	300	40	95	300
6	2000	350	95	225	425
7	2200	500	90	155	450
8	1500	350	50	150	500
9	700	125	60	95	275
10	1200	200	50	200	350

ตารางที่ 2 สรุปค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณย้อนกลับหาค่าโมดูลัสชั้นทาง

นักวิจัย	จำนวนรุ่น	จำนวนประชากร	การผสมข้าม	การกลายพันธุ์	CE*	จำนวนชั้นทาง
Fwa และคณะ (1997) [19]	60	40-150	0.85	0.15	2040	3
	60	120	0.85	0.15	7650	4
Kameyama และคณะ (1997) [20]	50	42-593	แปรผัน	แปรผัน	ไม่ระบุ	4
	50	150	แปรผัน	แปรผัน (แบบไดนามิค)	ไม่ระบุ	3
Hunaidi (1998) [21]	50	100	0.50	0.02 (0.04 แบบคืบ)	2500	3
Reddy และคณะ (2004) [3]	100	60	0.90	0.02	5400	4
	60	60	0.74	0.10	2664	3, 4
Tsai และคณะ (2004) [22]	500	50	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	3
Alkasawneh (2007) [7]	100	100	0.75	0.001	7500	3
Senseney และคณะ (2013) [23]	60	60	0.5	0.1	1800	2

*ภาระการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ (Computational effort): CE = จำนวนรุ่น×จำนวนประชากร×การผสมข้าม

2.3 ระเบียบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในการคำนวณย้อนกลับ

Fwa และ คณะ [19] ได้พัฒนาโปรแกรม NUS-GABACK ในปี 1997 ซึ่งเป็นบทความแรกที่ได้ที่มีการนำเสนอการนำ GA มาประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรมผิวทาง Kameyama และคณะ [20] ในปี ค.ศ. 1998 ได้พัฒนาโปรแกรมคำนวณย้อนกลับหาค่าโมดูลัสชั้นทางทั้งผิวทางที่เป็นแบบยืดหยุ่นและผิวทางแบบแข็งในปีถัดมา ต่อมา Reddy และคณะ [24] ได้พัฒนาโปรแกม BACKGA สำหรับคำนวณย้อนกลับหาค่าโมดูลัสชั้นทางในปี ค.ศ. 2002 และทำการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในปี ค.ศ. 2006 [3] Park และคณะ [25] ได้พัฒนาโปรแกรม GAPAVE ในปี ค.ศ. 2006 และได้มีการหาค่าพารามิเตอร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการคำนวณย้อนกลับ โดย Park ในปี ค.ศ. 2009 และในปี 2007 Alkasawneh [7] ได้พัฒนาโปรแกรม Back Genetic 3d ขึ้น

โดยโปรแกรมที่ได้กล่าวมาส่วนใหญ่ใช้กระบวนการคำนวณแบบเดินหน้าที่ต่างกันและใช้ระเบียบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมอย่างง่าย (Simple Genetic Algorithm, SGA) ในการคำนวณย้อนกลับ ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนพื้นฐานดังนี้

2.3.1 การสร้างกลุ่มประชากร

ค่าโมดูลัสชั้นทางแต่ละชั้นจะถูกสุ่มผลิตขึ้นจากขอบเขตของคำตอบที่เป็นไปได้ (ตัวแปร E) แล้วแปลงเป็นระบบเลขฐานสอง เพื่อแทนเป็นยีนส์แต่ละชุดซึ่งจะถูกนำไปเรียงต่อกันเป็นสายโครโมโซม นั้นหมายความว่าสายโครโมโซมหนึ่งสายแทนลักษณะโครงสร้างชั้นทางหนึ่งแบบ โดยจำนวนลักษณะโครงสร้างชั้นทางคือจำนวนประชากรของสายโครโมโซมที่ผู้ใช้กำหนด (ตัวแปร numpop)

2.3.2 การประเมินค่าความเหมาะสม

ค่าความเหมาะสมส่วนใหญ่จะถูกประเมินจากค่า RMSE ของการยุบตัวของผิวทางที่ได้จากการทดสอบจริงในสนามด้วยเครื่อง FWD และจากการคำนวณแบบเดินหน้าของโปรแกรม โดยประชากรที่มีค่า RMSE น้อยก็จะมีค่าความเหมาะสมมาก

2.3.3 การคัดเลือกประชากร

ประชากรทั้งหมดจะถูกคัดเลือกจากค่าความเหมาะสม โดยประชากรที่มีค่าความเหมาะสมมากก็จะมีโอกาสขยายพันธุ์มาก ส่วนประชากรที่มีความเหมาะสมน้อยก็จะมีโอกาสขยายพันธุ์น้อยและอาจสูญพันธุ์ไปในที่สุด

2.3.4 การผสมข้ามแบบจุดเดียว

เป็นการจับคู่ของประชากรแล้วผสมข้ามจุดใดจุดหนึ่งบนสายโครโมโซมเพื่อผลิตรุ่นลูกหรือทายาทตามอัตราความเป็นไปได้ของการผสมข้ามตามที่ผู้ใช้กำหนด (ตัวแปร pcross)

2.3.5 การกลายพันธุ์แบบกระโดด

เป็นการเปลี่ยนแปลงลักษณะของประชากรโดยมีการเปลี่ยนจากค่า 0 เป็น 1 หรือกลับกันในตำแหน่งใดๆที่สุ่มขึ้นบนสายโครโมโซมตามอัตราความเป็นไปได้ของการผสมข้ามแบบกระโดดที่ผู้ใช้กำหนด (ตัวแปร pjumpmu)

จากนั้นกระบวนการค้นหาคำตอบจะดำเนินการไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะครบจำนวนรุ่นที่ตั้งไว้ (ตัวแปร maxgen) หรือจนกว่าจะพบคำตอบที่เหมาะสมตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้ เช่น $RMSE_{ที่คำนวณได้} < RMSE_{ที่ยอมให้}$

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าขั้นตอนพื้นฐานของ SGA ประกอบไปด้วยจำนวนของพารามิเตอร์ที่ไม่มากนัก แต่สำหรับโปรแกรมที่ใช้เทคนิคแบบใหม่ของ GA อย่างโปรแกรมแกมเล็ท จะทำให้มีจำนวนพารามิเตอร์ที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้กล่าวมาใช้เป็นเพียงแนวทางได้เท่านั้น ไม่สามารถนำมากำหนดค่าได้โดยตรง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้มีการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับโปรแกรมแกมเล็ท ซึ่งรายละเอียดและจุดเด่นของโปรแกรมจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

2.4 โปรแกรมคำนวณย้อนกลับแกมเล็ท (GAMLET)

แกมเล็ทเป็นโปรแกรมคำนวณย้อนกลับหาค่าโมดูลัสชั้นทางถูกพัฒนาขึ้นโดย พุทธพล [5] ด้วยภาษาคอมพิวเตอร์ Digital Fortran ใช้ทฤษฎียืดหยุ่นของชั้นทาง (Multilayered Elastic Theory, MLET) ในการคำนวณแบบเดินหน้าเพื่อหาค่าการยุบตัวของผิวทางและใช้ GA คำนวณ

ย้อนกลับหาค่าโมดูลัสชั้นทางด้วยเทคนิคแบบใหม่ โดยหลักการทำงานของแกมเล็ทอาศัยข้อมูลนำเข้าจากการทดสอบด้วยเครื่อง FWD ประกอบไปด้วยค่าการยุบตัวแต่ละตำแหน่งที่วัดจริงจากสนาม ระยะห่างของตำแหน่งที่วัดการยุบตัวจากน้ำหนักกระทำ แรงดันและรัศมีของน้ำหนักกระทำ ร่วมกับข้อมูลของวัสดุชั้นทางคือความหนาแต่ละชั้นทางในตำแหน่งที่ทำการทดสอบ และค่าอัตราส่วนปัวซ์ซองของแต่ละชั้นทาง โดยแกมเล็ทสามารถวิเคราะห์โครงสร้างชั้นทางได้มากถึงสามสิบชั้น แต่ในงานวิจัยนี้ใช้ GAMLET 308 ที่สามารถคำนวณย้อนกลับหาค่าโมดูลัสชั้นทางได้ 3 ชั้น จากค่าการยุบตัวของผิวทาง 8 ตำแหน่ง โดยแกมเล็ทมีคุณลักษณะโดดเด่นที่สำคัญที่สามารถสรุปได้ดังนี้

2.4.1 การคัดเลือกประชากร

แกมเล็ทเลือกใช้วิธีการคัดเลือกประชากรแบบ Tournament ซึ่งได้ทำการศึกษาโดย Goldberg และ Deb [26] และพบว่ามีประสิทธิภาพในการลู่เข้าหาคำตอบและต้องการกลุ่มประชากรน้อยกว่าวิธี Roulette-wheel ที่ใช้ใน SGAทั่วไป

2.4.2 การประเมินค่าความเหมาะสม

จากที่โปรแกรมคำนวณย้อนกลับที่ใช้ SGA อื่นใช้เพียงสมการเดียว เพื่อเพิ่มศักยภาพในการคำนวณย้อนกลับ โปรแกรมแกมเล็ทได้ใช้สมการในการประเมินค่าความเหมาะสมมากถึง 3 สมการ ซึ่งประกอบไปด้วย

ค่าน้อยสุดของ $$f_1 = \max .of \left| \frac{(d_i - D_i)}{D_i} \times 100 \right| \quad (1)$$

ค่าน้อยสุดของ $$f_2 = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{d_i - D_i}{D_i}\right)^2} \times 100\% \quad (2)$$

ค่ามากสุดของ $$f_3 = \frac{1}{1+\left(\frac{OBJ}{10^6}\right)} \quad (3)$$

โดย $$OBJ = \sum_{i=1}^{N}(d_i - D_i)^2 \quad (4)$$

เมื่อ N คือจำนวนอุปกรณ์วัดค่าการยุบตัว

d_i คือค่าการยุบตัวที่ได้จากการคำนวณในตำแหน่งที่ i

D_i คือค่าการยุบตัวที่ได้จากการวัดจริงในตำแหน่งที่ i

โดยจากสมการทั้ง 3 จะพบว่า สมการที่ 1 เป็นสมการที่บ่งชี้ความคลาดเคลื่อนเฉพาะตำแหน่งที่เกิดความคลาดเคลื่อนมากที่สุดบนเส้นการยุบตัวของผิวทางส่วนสมการที่ 2 คือค่า RMSE และสมการที่ 3 คือค่าความคลาดเคลื่อนโดยรวมของเส้นการยุบตัวทั้งหมดโดยค่าที่สมบูรณ์แบบทั้งสามสมการคือ 0.0, 0.0 และ 1.0 ตามลำดับ

2.4.3 การผสมข้าม

แกมเล็ทได้มีการบรรจุวิธีการผสมข้ามทั้งแบบจุดเดียว (ตัวแปร pcross) ที่ใช้ในโปรแกรมคำนวณย้อนกลับทั่วไปที่ใช้กระบวนการย้อนกลับแบบ SGA และการผสมข้ามแบบสม่ำเสมอ (ตัวแปร iunifrm) เนื่องจาก Syswerda [27] ได้เปรียบเทียบการผสมข้ามแบบต่าง ๆ พบว่าการผสมข้ามแบบสม่ำเสมอมีประสิทธิภาพที่โดดเด่น

2.4.4 การกลายพันธุ์

แกมเล็ทได้บรรจุการกลายพันธุ์ทั้งแบบกระโดด (ตัวแปร pjumpmu) ที่ใช้อยู่ในโปรแกรมคำนวณย้อนกลับทั่วไป และการกลายพันธุ์แบบคืบ (ตัวแปร pcreepmu) ซึ่งการกลายพันธุ์ทั้งสองแบบสามารถใช้ร่วมกันหรือแยกกันก็ได้

2.4.5 การคัดเลือกผู้นำ (Elitism technique)

การคัดเลือกผู้นำ (ตัวแปร ibstmodl) เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเลือกผู้นำของประชากรแต่ละรุ่นที่มีค่าความเหมาะสมสูงสุดเก็บไว้ เพื่อการดำรงอยู่ในรุ่นถัดไปโดยอัตโนมัติ โดยในแกมเล็ทสามารถเลือกเปิดหรือปิดการใช้งานได้

2.4.6 วิธีกลุ่มเฉพาะ (Niche method)

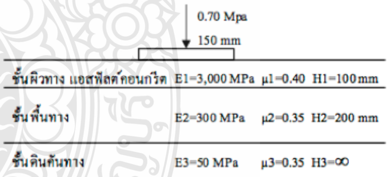
แกมเล็ทได้บรรจุวิธีกลุ่มเฉพาะ (ตัวแปร niching) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้สำหรับแบ่งพื้นผิวคำตอบออกเป็นหลาย ๆ ส่วนด้วยวิธีแบ่งแบบสามเหลี่ยม เพื่อค้นหาจุดต่ำสุดหลาย ๆ ตำแหน่งพร้อมกัน โดยสามารถเลือกเปิดหรือปิดการใช้งานได้เช่นกัน

นอกจากนั้นแกมเล็ทยังมีคุณสมบัติเด่นอื่น ๆ อีกเช่น FWDLine, Micro GA, CSCM [28] แต่เนื่องจากอยู่นอกเหนือขอบเขตที่ได้ทำการศึกษา จึงไม่ขอกล่าวถึงรายละเอียดในที่นี้

3. ขั้นตอนการศึกษา

3.1 จำลองการทดสอบด้วยเครื่อง FWD กับแบบจำลองโครงสร้างชั้นทาง

ทำการสร้างแบบจำลองโครงสร้างชั้นทาง โดยสมมุติให้เป็นผิวทางแบบยืดหยุ่นที่มีลักษณะดังรูปที่ 1 จากนั้นคำนวณแอ่งการยุบตัวด้วยโปรแกรม BISAR ซึ่งเป็นการจำลองการทดสอบเครื่อง FWD



รูปที่ 1 แบบจำลองการทดสอบด้วยเครื่อง FWD กับโครงสร้างชั้นทางแบบยืดหยุ่น 3 ชั้นทางเพื่อใช้เลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

3.2 สร้างชุดพารามิเตอร์ของ GA

สร้างชุดพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันจำนวน 2000 ชุด โดยมีขอบเขตการสุ่มของทั้ง 9 พารามิเตอร์ ตามตารางที่ 3 โดยใช้งานวิจัยที่ผ่านมา [3, 5, 7, 9] เป็นแนวทางและคำนวณภาระการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ (Computational effort, CE) ตามสมการที่ 5 [29] เพื่อใช้ในการกำหนดขนาดของชุดพารามิเตอร์

$$CE = maxgen \times numpop \times pcross \quad (5)$$

เมื่อ $maxgen$ คือการสุ่มสูงสุด

$numpop$ คือจำนวนประชากร

$pcross$ คืออัตราการผสมข้าม

ตารางที่ 3 ขอบเขตของชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ในการพิจารณา

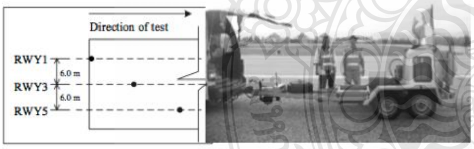
พารามิเตอร์	ขอบเขต
จำนวนรุ่นสูงสุด (maxgen)	40-140
ขนาดของประชากร (numpop)	40-80
อัตราความเป็นไปได้ของการผสมข้ามแบบจุดเดียว (pcross)	0.70-0.90
อัตราความเป็นไปได้ของการกลายพันธุ์แบบกระโดด (pjumpmu)	0.01-0.05
การปิด-เปิด การผสมข้ามแบบสม่ำเสมอ (iunifrm)	off-on
การปิด-เปิด การกลายพันธุ์แบบคืบ (icreep)	off-on
อัตราความเป็นไปได้ของการกลายพันธุ์แบบคืบ (pcreepmu)	0.001-0.200
การปิด-เปิด การคัดเลือกผู้นำ (ibstmold)	off-on
การปิด-เปิด วิธีกลุ่มเฉพาะ (niching)	off-on

3.3 เลือกชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

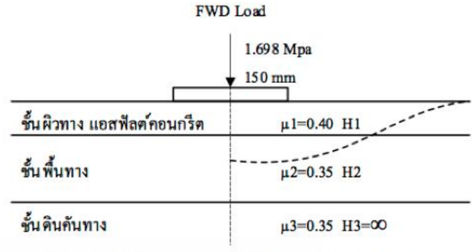
นำชุดพารามิเตอร์จากหัวข้อที่ 3.2 มาตั้งให้กับโปรแกรมแกมเล็ทเพื่อคำนวณย้อนกลับหาค่าโมดูลัสชั้นทาง โดยใช้ข้อมูลชั้นทางและแอ่งการยุบตัวที่ได้สร้างแบบจำลองไว้ในหัวข้อที่ 3.1 เป็นข้อมูลเข้า แล้วเลือกชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากชุดพารามิเตอร์ที่ค่าความเหมาะสมมาก ๆ ในขณะที่มีค่า CE อยู่ในระดับที่ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนของคำตอบอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

3.4 ทดสอบประสิทธิภาพของชุดพารามิเตอร์

นำชุดพารามิเตอร์ที่ได้รับการคัดเลือกมาตั้งค่าเพื่อใช้ในการคำนวณย้อนกลับหาค่าโมดูลัสชั้นทางจากข้อมูลการทดสอบในสนามด้วยเครื่อง FWD ที่ทดสอบบริเวณทางวิ่งของสนามบินเพชรบูรณ์ (PB RWY 18/36) ที่ตำแหน่ง RWY1 และ RWY3 ซึ่งมีรายละเอียดและตำแหน่งการทดสอบดังรูปที่ 2 โดยตัวแปรที่ใช้เป็นข้อมูลนำเข้าทั้งหมดดังแสดงในรูปที่ 3 และตารางที่ 4 โดยพิจารณาประสิทธิภาพของชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณย้อนกลับจากค่า RMSE ที่คำนวณได้จากสมการที่ 2 ซึ่งใช้เป็นดัชนีชี้วัดความคลาดเคลื่อนของการคำนวณย้อนกลับ



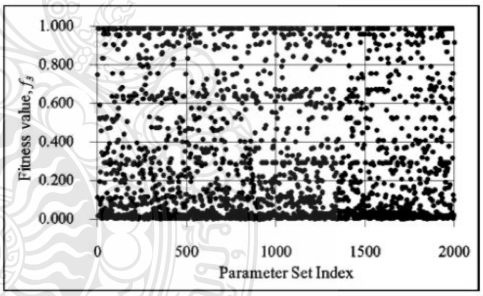
รูปที่ 2 ตำแหน่งและการทดสอบ FWD บริเวณทางวิ่งของสนามบินเพชรบูรณ์



รูปที่ 3 ค่าตัวแปรทางกลศาสตร์ที่ใช้เพื่อหาค่าโมดูลัสชั้นทางจากการทดสอบ FWD บริเวณทางวิ่งของสนามบินเพชรบูรณ์

4. ผลการศึกษา

จากการคำนวณย้อนกลับโดยนำชุดพารามิเตอร์ที่ได้สุ่มสร้างขึ้นตามหัวข้อที่ 3.2 จำนวน 2,000 ชุด มาตั้งค่าให้กับ GAMLET ทำให้ได้ค่าความเหมาะสมที่แตกต่างกัน จากสมการประเมินค่าความเหมาะทั้ง 3 สมการพบว่า ค่าความเหมาะสมที่พิจารณาโดยใช้สมการที่ 3 มีความแปรผันมากที่สุดดังแสดงในรูปที่ 4 ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้นที่จะพิจารณาค่าความเหมาะสมจากสมการที่ 3 เป็นหลัก โดยในเบื้องต้นพบว่าชุดพารามิเตอร์ส่วนใหญ่ให้ค่าความเหมาะสมน้อยกว่า 0.1 ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำมาก และส่วนที่เหลือมีการกระจายตัวออกไป โดยพบว่ายังมีชุดพารามิเตอร์บางส่วนที่ให้ค่าความเหมาะสมที่สูงกว่า 0.9 ซึ่งถือว่าสูงมาก และชุดพารามิเตอร์ในส่วนนี้เหมาะสำหรับนำไปใช้วิเคราะห์เชิงลึกเพื่อคัดเลือกเป็นชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสม เมื่อนำค่าพารามิเตอร์มาเรียงลำดับ โดยเรียง



รูปที่ 4 ค่าความเหมาะสมที่ได้จากการตั้งค่าชุดพารามิเตอร์ที่ต่างกัน

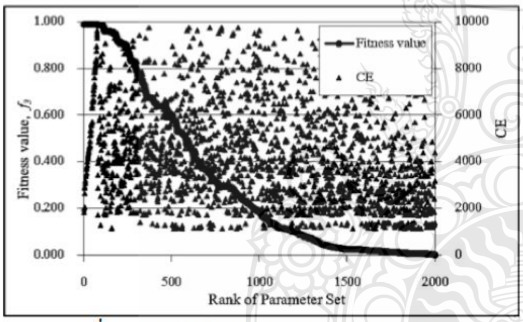
ตารางที่ 4 ผลการทดสอบการยุบตัวจริงในสนามด้วยเครื่อง FWD

No.	Chainage	Layer thickness [mm]		Surface deflection [μm] at a radial distance of [mm]							
		H1	H2	0	200	300	450	600	1200	1500	1800
1	RWY1 0+200	180	290	461.98	354.79	299.28	239.84	198.65	141.06	111.56	94.08
2	RWY1 0+300	179	229	632.45	481.26	408.02	325.81	264.06	182.72	132.36	102.91
3	RWY1 0+500	180	269	959.16	794.19	698.20	581.45	483.37	346.96	249.76	194.29
4	RWY1 0+700	165	291	868.69	709.00	612.12	501.15	401.96	270.21	193.55	142.09
5	RWY1 1+200	173	333	779.81	655.70	584.42	491.72	414.83	291.49	209.12	157.17
6	RWY3 0+350	168	187	450.63	352.20	298.54	242.37	198.91	135.47	98.32	76.70
7	RWY3 0+750	167	284	743.90	607.38	530.53	432.66	357.44	245.56	171.00	127.43
8	RWY3 1+150	156	337	664.03	564.95	502.42	427.01	354.00	248.92	170.78	130.41
9	RWY3 1+350	187	245	751.85	638.47	570.61	480.10	403.64	293.42	211.84	156.51
10	RWY3 2+050	185	434	785.64	669.93	597.95	498.39	415.07	295.43	209.71	167.40

ตารางที่ 5 รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์ที่มีค่าความเหมาะสมมากที่สุด 10 อันแรก

Rank	maxgen	numpop	pcross	pjumpmu	iunifrm	icreep	pcreepmu	ibstmold	niching	CE	Fitness	Max Err	RMSE
1	40	60	0.77	0.007	on	on	0.025	on	on	1848	0.98977	0.01	0.01
2	60	40	0.77	0.015	on	on	0.188	on	on	1848	0.98977	0.01	0.01
3	60	40	0.82	0.007	on	on	0.129	on	on	1968	0.98977	0.01	0.01
4	60	40	0.85	0.016	on	on	0.050	on	on	2040	0.98977	0.01	0.01
5	80	40	0.82	0.027	on	on	0.050	on	on	2624	0.98977	0.01	0.01
6	100	40	0.72	0.011	on	on	0.083	on	on	2880	0.98977	0.01	0.01
7	100	40	0.73	0.007	on	on	0.130	on	on	2920	0.98977	0.01	0.01
8	100	40	0.77	0.022	on	on	0.109	on	on	3080	0.98977	0.01	0.01
9	100	40	0.77	0.016	on	on	0.140	on	on	3080	0.98977	0.01	0.01
10	100	40	0.79	0.011	on	on	0.132	on	on	3160	0.98977	0.01	0.01

จากชุดที่ให้ค่าความเหมาะสมมากและมีค่า CE น้อย โดยตารางที่ 5 แสดงถึงรายละเอียดของชุดพารามิเตอร์ที่มีความเหมาะสมสูงสุด 10 อันดับแรก แสดง โดยหากพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหมาะสมและค่า CE ของแต่ละลำดับชุดพารามิเตอร์ ในรูปที่ 5 พบว่า ค่าความเหมาะสมไม่ได้มีความสัมพันธ์กับค่า CE โดยตรง เนื่องจากชุดพารามิเตอร์ที่มีค่าความเหมาะสมเดียวกันก็มีค่า CE ที่แตกต่างกันได้และพบว่ามีพารามิเตอร์มากกว่า 70 ชุด ที่ให้ค่าความเหมาะสมในระดับสูงสุด (Fitness = 0.98977)



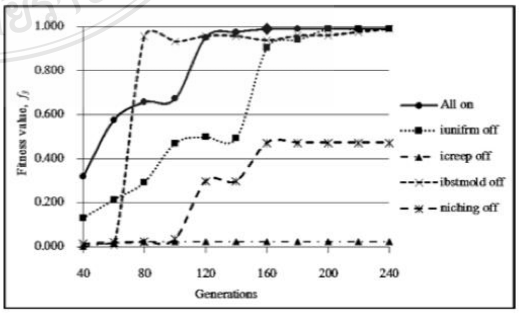
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหมาะสมและค่า CE

ตารางที่ 6 ตัวอย่างบางส่วนของค่าโมดูลัสชั้นทางที่ได้จากการคำนวณย้อนกลับ

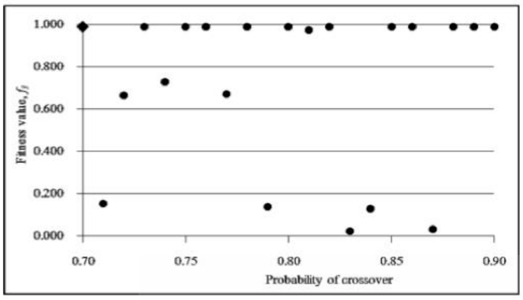
Rank	CE	Fitness value	Backcalculated moduli [Mpa]		
			E1	E2	E3
			3000	300	50
1	1848	0.98977	3000	300	50
88	5040	0.98768	3001	300	50
101	4760	0.98594	2999	300	50
285	5328	0.83018	3035	298	50
538	4312	0.52820	3073	296	50
1024	1152	0.16134	3015	297	50
1156	2664	0.11073	3088	298	50
1234	2304	0.08651	2780	313	50
1793	2240	0.01095	2333	340	50
1999	3160	0.00129	2819	359	48

ตารางที่ 6 แสดงผลของค่าโมดูลัสชั้นทางบางส่วนที่ได้จากการคำนวณย้อนกลับที่ตั้งค่าตามชุดพารามิเตอร์ที่สร้างขึ้น โดยพบว่าชุดพารามิเตอร์ที่ให้ค่าความเหมาะสมสูงสุด เช่นในลำดับที่ 1 จะเป็นชุดที่ให้ผลของค่าโมดูลัสชั้นทางถูกต้องตรงตามแบบจำลองที่สร้างขึ้น

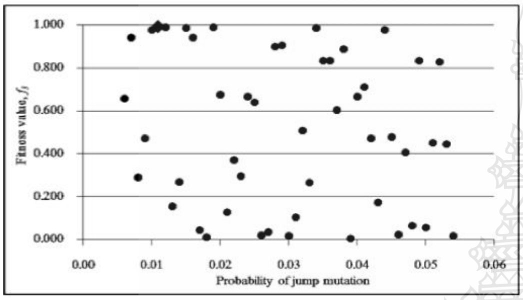
รูปที่ 6 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหมาะสมกับจำนวนรุ่นสูงสุด โดยจากรูปพบว่าจำนวนรุ่นสูงสุดมีผลโดยตรงต่อค่าความเหมาะสม โดยหากเพิ่มจำนวนรุ่นขึ้นจะทำให้ได้คำตอบที่มีค่าความเหมาะสมเพิ่มขึ้นเช่นกัน และยังพบอีกว่าในกรณีที่มีการเปิดใช้เทคนิคพิเศษของ GA ทั้งหมด (All on) ซึ่งประกอบไปด้วย การผสมข้ามแบบสม่ำเสมอ การกลายพันธุ์แบบคืบ วิธีกลุ่มเฉพาะและการคัดเลือกผู้นำ มีโอกาสทำให้ค่าความเหมาะสมลู่เข้าสู่คำตอบได้รวดเร็วกว่ากรณีอื่น ๆ เพียงใช้จำนวนรุ่น 160 รุ่นก็สามารถให้ค่าความเหมาะสมในระดับสูงสุดแล้ว ส่วนในกรณีที่มีการปิดเทคนิคการคัดเลือกผู้นำ (ตัวแปร ibstmold off) นั้นพบว่าในกรณีที่จำนวนรุ่นไม่มากมีการพัฒนากระบวนการค้นหาเพื่อลู่เข้าสู่คำตอบทำให้ค่าความเหมาะสมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากจำนวนรุ่นที่ 60 รุ่นให้ค่าความเหมาะสมที่น้อยกว่า 0.1 แต่เมื่อเพิ่มจำนวนรุ่นเป็น 80 รุ่น ให้ค่าความเหมาะสมมากกว่า 0.9 จากนั้นเมื่อเพิ่มจำนวนรุ่นขึ้นไปเรื่อย ๆ กลับพบว่าค่าความเหมาะสมมีการพัฒนาไปน้อยมากและเมื่อเพิ่มจำนวนรุ่นจนถึง 180 รุ่น ซึ่งมากกว่าในกรณีที่มีการเปิดใช้เทคนิคทั้งหมดก็ยังไม่สามารถให้ค่าความเหมาะสมในระดับสูงสุด ซึ่งแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการเปิดใช้เทคนิคแบบใหม่ของ GA ทั้งหมดมีความสามารถโดดเด่นที่ทำให้ค่าความเหมาะสมอยู่ในระดับที่ดีกว่ากรณีอื่น ๆ



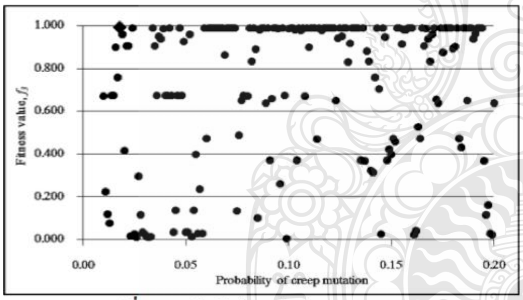
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหมาะสมและจำนวนรุ่นสูงสุด



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหมาะสมและค่าอัตราการผสมข้าม



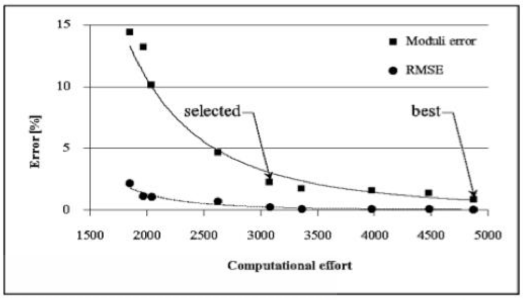
รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหมาะสม
และค่าอัตราการกลายพันธุ์แบบกระโดด



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหมาะสม
และค่าอัตราการกลายพันธุ์แบบคืบ

จากรูปที่ 7 ถึงรูปที่ 9 พบว่าการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ให้ค่าความเหมาะสมสูงสุดมีด้วยกันหลายชุดและกระจายตัวกันอย่างไม่มีรูปแบบที่แน่ชัดโดยชุดพารามิเตอร์ที่มีค่าอัตราน้อยที่สุดและให้ค่าความเหมาะสมสูงสุดแสดงเป็นจุดที่ใหญ่กว่า ดังนั้นค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ไม่สามารถสรุปได้ชัดเจนว่าชุดใดเป็นชุดพารามิเตอร์ที่มีความเหมาะสมมากที่สุด

จากตารางที่ 4 และในรูปที่ 5 พบว่า มีพารามิเตอร์หลายชุดที่ให้ค่าความเหมาะสมในระดับสูงสุดในขณะที่ค่า CE มีความแตกต่างกัน ดังนั้นจึงใช้แบบจำลองโครงสร้างชั้นทางที่ Reddy และคณะ [3] สมมุติขึ้น 10 แบบ มาทดสอบกับชุดพารามิเตอร์ที่ยังให้ค่าความเหมาะสมสูงสุด เพื่อคัดเลือกชุดพารามิเตอร์อีกครั้ง จากการคำนวณย้อนกลับพบว่าชุดพารามิเตอร์ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยน้อยสุดซึ่งเป็นชุดที่ดีที่สุดมีค่า



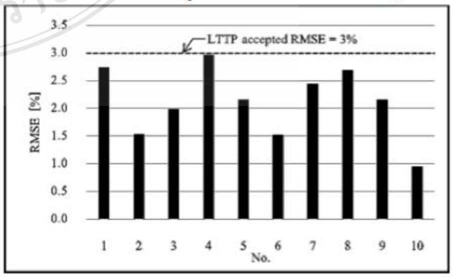
รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนของค่าโมดูลัสชั้นทาง
และค่า RMSE กับค่า CE

ตารางที่ 7 รายละเอียดของชุดพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดและชุดพารามิเตอร์ที่เลือก

พารามิเตอร์	ความคลาดเคลื่อนต่ำสุด	ประสิทธิภาพสูงสุด
จำนวนรุ่นสูงสุด	140	100
ขนาดของประชากร	40	40
อัตราความเป็นไปได้ของการผสมข้ามแบบจุดเดียว	0.87	0.77
อัตราความเป็นไปได้ของการกลายพันธุ์แบบกระโดด	0.008	0.016
การปิด-เปิด การผสมข้ามแบบสม่ำเสมอ	on	on
การปิด-เปิด การกลายพันธุ์แบบคืบ	on	on
อัตราความเป็นไปได้ของการกลายพันธุ์แบบคืบ	0.182	0.140
การปิด-เปิด การคัดเลือกผู้นำ	on	on
การปิด-เปิด วิธีกลุ่มเฉพาะ	on	on
ภาระการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ (CE)	4,872	3,080

CE เท่ากับ 4,872 จากนั้นคัดชุดพารามิเตอร์ที่มีค่า CE น้อยกว่าที่ยังคงให้ค่าความคลาดเคลื่อน ไม่มากจะได้ความสัมพันธ์ดังรูปที่ 10 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนเริ่มมีความเปลี่ยนแปลงน้อยลงในขณะที่ค่า CE เพิ่มขึ้นบริเวณที่มีค่า CE มากกว่า 3,080 ขึ้นไป ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าชุดพารามิเตอร์ชุดนี้มีประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากใช้การคำนวณน้อยและยังคงให้คำตอบเป็นที่น่าพอใจ สำหรับชุดพารามิเตอร์ที่มีความคลาดเคลื่อนต่ำสุดและชุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 7

ชุดพารามิเตอร์ดังกล่าวได้มีการนำไปทดสอบใช้กับข้อมูลจากการทดสอบจริงในสนาม ผลการคำนวณย้อนกลับจากข้อมูลการทดสอบในสนามแสดงดังรูปที่ 11 พบว่า ค่า RMSE ส่วนใหญ่พบว่า อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับค่าที่ใช้อยู่ทั่วไป เช่น ในโครงการ Long Term



รูปที่ 11 ค่าโมดูลัสชั้นทางที่คำนวณย้อนกลับจากข้อมูลผลการทดสอบด้วยเครื่อง FWD บริเวณทางวิ่งของสนามบินเพชรบูรณ์

Pavement Performance (LTTP) ในประเทศสหรัฐอเมริกา ใช้ค่า RMSE=3% [7] ในกรณีของผิวทางที่มีค่าความคลาดเคลื่อนมากอาจมีผลมาจากหลายปัจจัย เช่น ความคลาดเคลื่อนจากการหาความหนาชั้นทาง ความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของชั้นทาง รวมถึงปัจจัยอื่น ๆ ที่ไม่เป็นไปตามทฤษฎียืดหยุ่นของชั้นทาง เป็นต้น

5. สรุป

การเลือกชุดพารามิเตอร์สำหรับ GA มีผลกระทบโดยตรงต่อการคำนวณย้อนกลับหาค่าโมดูลัสชั้นทาง ดังนั้น การเลือกชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก จากการวิจัยเพื่อเลือกชุดพารามิเตอร์สำหรับโปรแกรมแกมเล็ทที่มีความเหมาะสม มีการเลือก 2 ครั้ง โดยใช้แบบจำลองชั้นทางที่แตกต่างกัน มีระดับความถูกต้องของคำตอบและค่า CE เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือก ได้ชุดพารามิเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดคือ มีจำนวนรุ่นสูงสุด 100 รุ่น ขนาดประชากรเท่ากับ 40 ใช้อัตราการผสมข้ามแบบสม่ำเสมอ การกลายพันธุ์แบบกระโดดและการกลายพันธุ์แบบคืบ เท่ากับ 0.77, 0.016 และ 0.140 ตามลำดับ และมีการเปิดใช้การคัดเลือกผู้นำและวิธีกลุ่มเฉพาะ

สำหรับค่าพารามิเตอร์ชุดดังกล่าวได้มีการนำไปตั้งค่าเพื่อคำนวณย้อนกลับหาค่าโมดูลัสชั้นทาง ทั้งจากแบบจำลองโครงสร้างชั้นทางที่สมมุติขึ้น และจากข้อมูลการทดสอบจริงในสนามด้วยเครื่อง FWD ผลที่ได้ชี้ให้เห็นว่าค่าพารามิเตอร์ชุดนี้มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ เนื่องจากค่า RMSE อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับกันส่วนใหญ่ เช่นในโครงการ LTTP ในประเทศสหรัฐอเมริกา ใช้ค่า RMSE=3% ดังนั้นสรุปได้ว่าสามารถนำค่าพารามิเตอร์ชุดนี้มาตั้งค่าให้กับโปรแกรมแกมเล็ทเพื่อคำนวณย้อนกลับหาค่าโมดูลัสชั้นทางแอสฟัลต์คอนกรีตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมทางหลวง. *รายงานประจำปี 2555*, สำนักงานประชาสัมพันธ์ กรมทางหลวง, 2555. หน้า 41-130.

[2] พุทธพล ทองอินทร์ดำ. 2556. "ผลกระทบจากความคลาดเคลื่อนของความหนาชั้นทางต่อค่าการประเมินค่าโมดูลัสยืดหยุ่นชั้นทางของโครงสร้างผิวทางคอนกรีต," การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี, ครั้งที่ 9, 2556.

[3] Reddy, M. Amarnatha Reddy, K. Sudhakar and Pandey, B.B. "Selection of Genetic Algorithm Parameters for Backcalculation of Pavement Moduli," International Journal of Pavement Engineering (Electronic), 2004, pp. 37-44.

[4] พุทธพล ทองอินทร์ดำ. "วิศวกรรมงานทางแบบบูรณาการในการประเมินสภาพถนนลาดยางไทยแบบมีชีวิต." **การประกวดบทความวิชาการด้านวิศวกรรมขนส่งและการจราจร.** ปทุมธานี: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.2553.

[5] Puttapon Thongindam. "Enhancement of Backcalculation Techniques for Assessing Flexible Pavement Layer Moduli Using Genetic Algorithms," Doctoral Dissertation, Gottfried Wilhelm Leibniz University of Hannover, Hannover, Germany, 2009.

[6] Maria Angelova, and Tania Pencheva, "Tuning Genetic Algorithm Parameters to Improve Convergence Time," International Journal of Chemical Engineering (Electronic), 2011.

[7] Alkasawneh, W. "Backcalculation of Pavement Moduli Using Genetic Algorithms." Ph.D. Thesis, The University of Akron, Akron. 2007.

[8] Grefenstette, J.J. "Optimization of Control Parameters for Genetic Algorithms," IEEE Trans. Systems (Electronic), Vol. SMC-16, No. 1, 1986, pp. 122-128.

[9] De jong, K.A. and Spears, W.M. "An Analysis of the Interacting Roles Population Size and Crossover in Genetic Algorithms," Parallel Problem Solving from Nature (Electronic), 1990, pp. 38-47.

[10] Goldberg, D.E., Deb, K. and Clark, J.H. "Genetic algorithms noise, and the sizing of populations", Complex Systems 6, 1992, pp. 333–362.

[11] Harik, G.R., Cantu-Paz, E., Goldberg, D.E. and Miller, B.L. "The gambler's ruin problem genetic algorithms, and the sizing of populations", In: Back, T., ed., Proceedings of 1997 IEEE International Conference on Evolutionary Computation (IEEE Press, New York), 1997, pp. 7–12.

[12] Muhlenbein, H. "How genetic algorithms really work: I. mutation and hill climbing", In: Manner, R. and Manderick, B., eds, Parallel Problem Solving from Nature (Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands), Vol. 2, 1992 pp. 15–25.

[13] Back, T. "Optimal mutation rates in genetic search", In: Forrest,S., ed., Proceedings of the Fifth International Conference on Genetic Algorithms (Morgan Kaufmann, San Mateo, CA), 1993, pp 2–8.

[14] De Jong, K.A. "An analysis of the behavior of a class of genetic adaptive systems", Doctoral Dissertation, University of Michigan, Ann Arbor, 1975.

[15] Grefenstette, J.J. "Optimization of control parameters for genetic algorithms", In: Sage, A.P., ed., IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics (New York), Vol. SMC-16 (1), 1986, pp. 122–128.

[16] Schaffer, J.D., Caruana, R.A., Eshelman, L.J. and Das, R. "A study of control parameters affecting online performance of genetic algorithms for function optimization", In: Schaffer, J.D., ed., Proceedings of International Conference on Genetic Algorithms (Morgan Kaufmann, San Mateo, CA), 1989, pp. 51–60.

[17] A. Gabriel. "Can we make genetic algorithms work in high dimensionality problems?". [Online]. Available : http://sepwww. stanford.edu/public/docs/sep112/gabriel1/paper_html/, 2002.

[18] Ernian Pan, Ali Sangghaleh, Amirhossein Molavi, Yanfei Zhao, and Ping Yi "An Efficient and Accurate Genetic Algorithm for Backcalculation of Flexible Pavement Layer Moduli". 2012

[19] Fwa, T.F., Tan, C.Y. and Chan, W.T. "Backcalculation analysis of pavement layer moduli using genetic algorithms", Transportation Research Record 1570 (TRB, National Research Council, Washington DC), 1997, pp. 134–142.

[20] Kameyama, S., Himeno, K., Kasahara, A. and Maruyama, T. "Backcalculation of pavement layer moduli using genetic algorithms", 8th International conference on Asphalt Pavements (University of Washington, Seattle, Washington), 1998, pp. 1375–1385.

[21] Osama Hunaidi, "Evolution-based genetic algorithms for analysis of non-destructive surface wave tests on pavements". NDT&E International, Vol. 31, No. 4, 1998, pp. 273-280.

[22] Tsai, B., Kannekanti, V., and Harvey, J.T. "Application of Genetic Algorithm in Asphalt Pavement Design", Transportation Research Board, No. 1891, National Research Council, Washington, D.C., 2004, pp. 112-120.

[23] Christopher T. Senseney, Richard A. Krahenbuhl, and Michael A. Mooney. "Genetic Algorithm to Optimize Layer Parameters in Light Weight Deflectometer Backcalculation," International Journal of Geomechanics, Vol. 13, No. 4, 2013, pp. 473-476.

[24] Raddy, M.A., Murthy, M.S., Reddy, K.S. and pendey, B.B. "Backcalculation of Pavement Layer Moduli Using Genetic Algorithms". Journal of Highway Research Board 66, 2002, pp. 1-10.

[25] Park, H.M., Park, S.W. and Hwang, J.J. "Use of Genetic Algorithm and Finite Element for Backcalculating Layer Moduli in Asphalt Pavements". Transportation Research Record No. 07-2614, Washington D.C. 2006.

[26] Goldberg, D.E. and Deb, K., "Comparative Analysis of Selection Schemes used in Genetic Algorithms". Foundations of Genetic Algorithms, 1991, pp. 66-93.

[27] Syswerda, G. "Uniform Crossover in Genetic Algorithm" 3rd International Conference on Genetic Algorithms. 1989, pp. 2-9, Morgan Kaufmann.

[28] Puttapon Thongindam. "Alternative for Pavement Model in Backcalculation Process". The 5th PSU-UNS International Conference on Engineering and Technology (ICET-2011), 2011, pp. 154.

[29] Deb, K. (1995) "Optimization for Engineering Design" (Prentice-Hall, New Delhi), pp. 310.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายจักรพงษ์ นามหาไชย
วัน เดือน ปีเกิด	7 ธันวาคม 2532
ที่อยู่	223 หมู่ 18 ตำบลเกษตรวิสัย อำเภอเกษตรวิสัย จังหวัดร้อยเอ็ด 45150
การศึกษา	
พ.ศ.2541	ปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ. 2555 ถึงปัจจุบัน	ผู้ช่วยนักวิจัยและวิศวกรประจำศูนย์วิจัยเทคโนโลยีผิวทางถนนและท่าอากาศยาน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
เบอร์โทรศัพท์	08-3672-7866
อีเมล์	n.chakrapong@gmail.com

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี