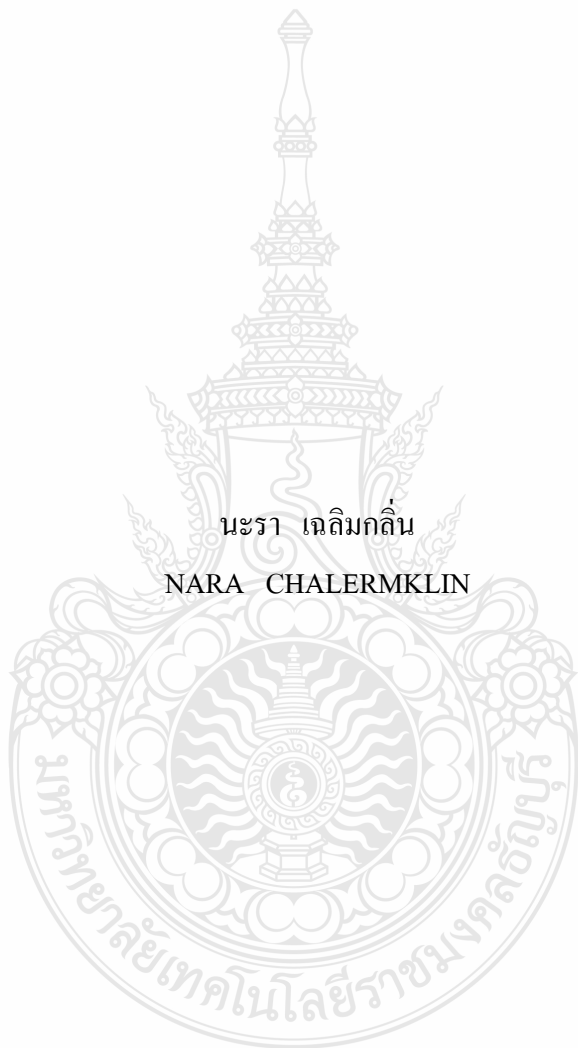


การออกแบบชุดวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน

**THE DESIGNING OF FORCE DISTRIBUTION MEASURING SET FOR
ARMOR TESTING**

นระา เณลลลลลล

NARA CHALERMKLIN



วลยณลพณรณนลเป็นส่วนหนลของการศลลษาตามหลกสูตรปรลญญาवलศวกรรมศาสตรมหาบัณทลต

สาขาवलชาवलศวกรรมฟลฟฟา ภาควลชาवलศวกรรมฟลฟฟา

คณละवलศวกรรมศาสตร

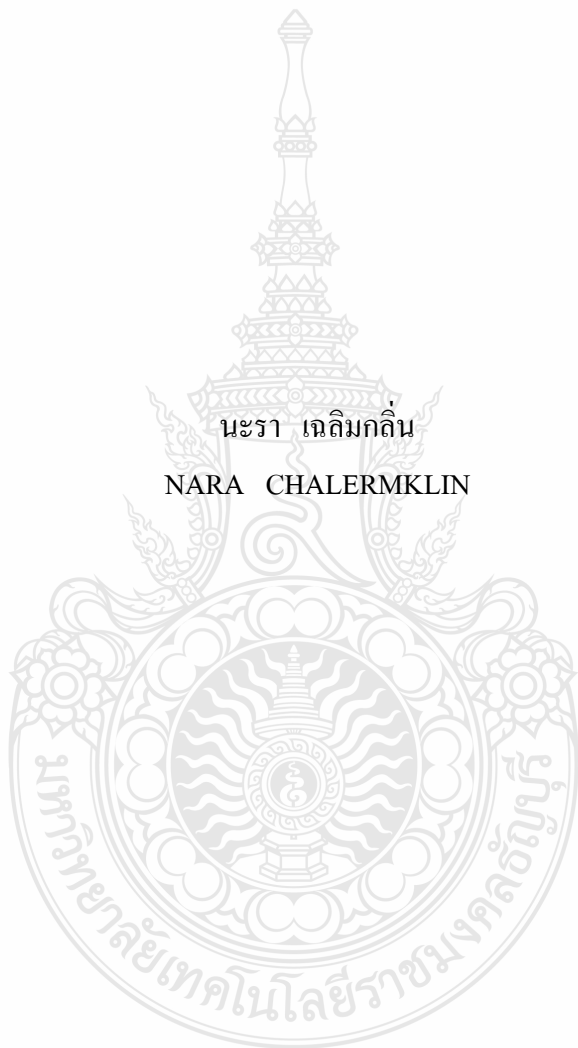
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

พ.ศ. 2554

การออกแบบชุดวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบเสื่อเกราะกันกระสุน

นารา เกลิมกลิน

NARA CHALERMKLIN



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

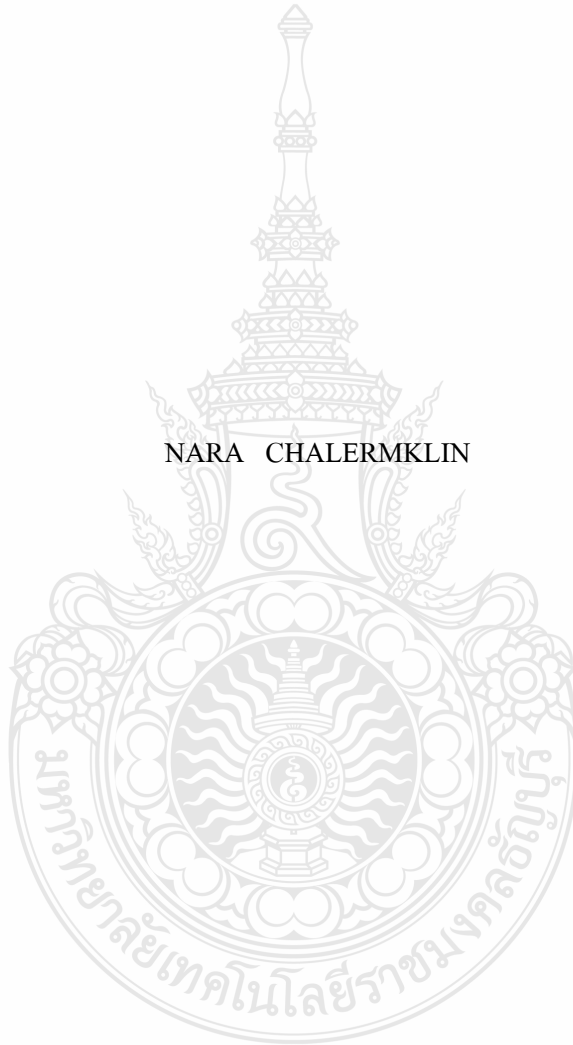
คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

พ.ศ. 2554

**THE DESIGNING OF FORCE DISTRIBUTION MEASURING SET FOR
ARMOR TESTING**

NARA CHALERMKLIN



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT OF THE REQUIREMENTS FOR
THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
IN ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI

2011

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นงานวิจัยที่เกิดจากการค้นคว้าและวิจัยขณะที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ในคณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังนั้นงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถือเป็น
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีและข้อความต่างๆในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอ
รับรองว่าไม่มีการคัดลอกหรือนำงานวิจัยของผู้อื่นมานำเสนอในชื่อของข้าพเจ้า

นระรา เกลิมกลิ่น





ใบรับรองวิทยานิพนธ์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การออกแบบชุดวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบเสื้อเกราะกัน
กระสุน

THE DESIGNING OF FORCE DISTRIBUTION MEASURING
SET FOR ARMOR TESTING

ชื่อนักศึกษา

นายชนะรา เถลิ้มกลิ่น

รหัสประจำตัว

114960402011-9

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

แขนงวิชา

วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ดร.ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล

วัน เดือน ปี ที่สอบ

6 มีนาคม 2554

สถานที่สอบ

ห้องประชุมภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ณรงค์ บวบทอง)

..... กรรมการ
(ดร. จักรี ศรีนนท์นัตร)

..... กรรมการ
(ดร. อำนวย เรืองวาริ)

..... กรรมการ
(ดร. ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล)

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมหมาย ผิวสอาด)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ เดือน

พ.ศ.

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบชุดวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบลึงเกอร์กันกระสุน
นักศึกษา	นายชนะรา เฉลิมกลิ่น
รหัสประจำตัว	114960402011-9
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า แขนงวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม
ปีการศึกษา	2553
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ดร.ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบชุดวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบลึงเกอร์กันกระสุนประเภทเกราะอ่อนที่ระดับ IIA ในการป้องกันกระสุน ขนาด 9 มิลลิเมตร มวล 8.0 กรัม ที่ความเร็วกระสุน 341 เมตรต่อวินาที ตามมาตรฐานของ National Institute of Justice-0101.04 (NIJ Standard-0101.04)

โดยใช้ทรานสดิวเซอร์วัดแรงที่ได้ออกแบบ ซึ่งประกอบด้วยกระบอกสูบทำหน้าที่รับแรงร่วมกับฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ (Hall Effect Sensor) ที่มีราคาถูก ตอบสนองเร็ว และเป็นเชิงเส้นในส่วนการรับรู้ทำหน้าที่ในการแปลงค่าแรงกระทำให้เป็นแรงดันไฟฟ้า โดยแรงดันไฟฟ้าจากทรานสดิวเซอร์ที่เป็นสัญญาณอะนาลอกจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิทัลด้วยระบบดักแอกควิชชัน (Data Acquisition) และส่งผ่านไปยังส่วนบันทึกค่าของโปรแกรม LabVIEW ประมวลผล และแสดงผลในคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม MATLAB ซึ่งการกระจายแรงกระทำของลึงเกอร์ที่เกิดจากกระสุนจะแสดงในรูปของกราฟสองและสามมิติ เพื่อแสดงการกระจายแรงและการยุบตัวของลึงเกอร์ โดยอาศัยการเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน NIJ Standard-0101.04 ที่ทำการทดสอบบนดินน้ำมันชนิด Roma Plastilina No.1

ผลที่ได้จากการทดลองยังด้วยกระสุนปืนจริง ชุดวัดการกระจายแรงที่ออกแบบสามารถแสดงผลกราฟิกของการกระจายแรง และการยุบตัวของลึงเกอร์กันกระสุนได้เป็นที่น่าพอใจ

คำสำคัญ : NIJ Standard-0101.04, ประเภทที่ IIA, Roma Plastilina No.1, ลึงเกอร์กันกระสุน, ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์, ทรานสดิวเซอร์วัดแรง, LabVIEW, MATLAB

Thesis Title : THE DESIGNING OF FORCE DISTRIBUTION
MEASURING SET FOR ARMOR TESTING

Student Name : Mr. Nara Chalermklin

Student ID : 114960402011-9

Degree Award : Master of Engineering

Study Program : Electrical Engineering
(Electronics and Telecommunications Engineering)

Academic Year : 2010

Thesis Advisor : Dr. Chatchai Suppitaksakul

ABSTRACT

This paper presents a designing of force distribution measuring set for testing of the soft body armor type IIA (9 mm, 8.0 g, 341 m/s) by refer to the tradition method according to National Institute of Justice-0101.04 standard.

The employed transducers are designed for this purpose. The designed transducer consists of an air cylinder and the moving permanent magnet bar in order to transfer input force to voltage with Hall Effect sensor. The Hall Effect with low-cost provides a linear output voltage and quick respond. The obtained analog voltage from the transducers are converted to digital signal data with the Data Acquisition card then passed to record at the computer by LabVIEW program. The recorded data is computed and plotted in two and three dimensions with MATLAB program.

The experiments are carried on to measure the impact force from the gun fire. Then the results are compared to the tradition method according to NIJ standard-0101.04 which employs Roma Plastilina No.1 clay. From the experiments, the satisfactory results are provided.

Keywords : NIJ Standard-0101.04, Type IIA, Roma Plastilina #1 clay, body armor, Hall Effect Sensor, Force Transducer, LabVIEW, MATLAB.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล ที่ให้คำปรึกษาคำแนะนำความรู้ และประสบการณ์ที่เป็นแนวทางทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามจุดประสงค์ที่ตั้งไว้ด้วยดี และขอขอบคุณคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ารวมทั้งเจ้าหน้าที่สำนักงานบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ช่วยเหลือแนะนำอีกทั้งอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยฉบับนี้ ขอขอบคุณสถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอแห่งประเทศไทย (Thailand Textile Institute) ที่สนับสนุนทุนวิจัย สัญญาเลขที่ สสท. ๐๕๓/๒๕๕๑ ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการสอบเทียบเครื่องมือวัด ศูนย์ปิโตรเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่สนับสนุนเครื่องสอบเทียบทรานสดิวเซอร์ ขอขอบคุณทีมวิจัยเชื้อเพลิงแก๊ส กระสุน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ในการสนับสนุนตัวอย่างแผ่นกระเบื้องในการทดสอบ รวมไปถึงกองพลาธิการ สำนักงานตำรวจแห่งชาติที่อำนวยความสะดวกสถานที่ อุปกรณ์ และบุคลากรในการยิงทดสอบ ขอขอบพระคุณคณะกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านเป็นอย่างสูงที่กรุณาตรวจสอบและให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา รวมทั้ง ครูบาอาจารย์ ที่ให้วิชาความรู้อบรมสั่งสอน ขอขอบคุณ ภรรยา และเพื่อนๆ ที่ให้กำลังใจเสมอมา

นระรา เฉลิมกลิ่น

6 มีนาคม 2554

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์	2
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา	2
1.4 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.5 ขั้นตอนการศึกษา	2
1.6 ข้อจำกัดของการศึกษา	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 เลื่อนเกราะป้องกันกระสุนปืนและมาตรฐาน U.S. National Institute of Justice	4
2.2 ทฤษฎีฟิสิกส์	9
2.3 ฮอลล์เอฟเฟกต์ (Hall Effect)	17
2.4 คำนิยามที่ใช้ในการวัดทางอุตสาหกรรม	22
2.5 ดาต้าแอคควิซิชัน (Data Acquisition)	27
2.6 วงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัล	36
2.7 การประมาณค่าในช่วง	40
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)	45
2.9 สรุปทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	47
บทที่ 3 การออกแบบทรานสดิวเซอร์วัดแรงโดยใช้ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์	48
3.1 ทดสอบความเป็นเชิงเส้นของฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์	48
3.2 ออกแบบชุดตรวจจับความเข้มนามแม่เหล็กฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์	51
3.3 ออกแบบทรานสดิวเซอร์วัดแรงโดยใช้ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์	53
3.4 ทดสอบความเป็นเชิงเส้นของทรานสดิวเซอร์วัดแรง	55
3.5 สรุปการออกแบบทรานสดิวเซอร์วัดแรงโดยใช้ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์	60

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การออกแบบชุดวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบเสื่อเกราะกันกระสุน	61
4.1 สร้างชุดตรวจจับความเข้มนามแม่เหล็กฮอลล์เอฟเฟคทเซ็นเซอร์	62
4.2 ชุดรับแรง	67
4.3 ชุดเปลี่ยนค่าแรงเป็นลม	68
4.4 ชุดสร้างแรงดัน	69
4.5 ส่วนรับข้อมูล (Data Acquisition)	74
4.6 ส่วนบันทึกค่าและแสดงผล	75
4.7 ชุดวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบเสื่อเกราะกันกระสุน	76
4.8 สรุปการออกแบบชุดวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบเสื่อเกราะกันกระสุน	78
บทที่ 5 การทดลองชุดวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบเสื่อเกราะกันกระสุน	79
5.1 การทดลองครั้งที่ 1	79
5.2 การทดลองครั้งที่ 2	82
5.3 การทดลองครั้งที่ 3	88
บทที่ 6 สรุปและข้อเสนอแนะ	92
6.1 สรุป	92
6.2 ข้อเสนอแนะ	92
เอกสารอ้างอิง	93
ภาคผนวก	95
ก Data Sheet of Hall Effect Sensors	95
ข ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	104
ประวัติผู้เขียน	162

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 มาตรฐาน U.S. NIH.0101.04 กำหนดค่าระดับการป้องกัน	6
2.2 โปรแกรม MATLAB สำหรับการประมาณค่าในช่วงเชิงเส้น	42
2.3 โปรแกรม MATLAB สำหรับการประมาณค่าในช่วงเส้นโค้งกำลังสาม	44
2.4 โปรแกรม MATLAB สำหรับการประมาณค่าในช่วงกำลังสาม	44
2.5 โปรแกรม MATLAB สำหรับการประมาณค่าใน 2 มิติ	45
3.1 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของฮอลเอ็ฟเฟกต์เซ็นเซอร์แบบ Unipolar head-on mode	50
3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างชุดรับ-ส่งแรงกับชุดตรวจจับความเข้มสนามแม่เหล็ก ฮอลเอ็ฟเฟกต์เซ็นเซอร์	54
3.3 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของทรานสดิวเซอร์วัดแรงกับเทคนิคการตรวจจับ ความเข้มสนามแม่เหล็กแบบ Unipolar head-on mode	56
3.4 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของทรานสดิวเซอร์วัดแรงกับเทคนิคการตรวจจับ ความเข้มสนามแม่เหล็กแบบ Bipolar slide-by	57
3.5 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของทรานสดิวเซอร์วัดแรงกับเทคนิคการตรวจจับ ความเข้มสนามแม่เหล็กแบบ Push-push approach	58
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะการยุบตัวของชุดรับแรงกับแรงดันไฟฟ้าที่ได้จาก ฮอลเอ็ฟเฟกต์เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ถึง 10	64
4.2 การสอบเทียบชุดปรับแรงดันลมตัวที่ 1 ถึง 8	72

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 จุดยิงทดสอบ 6 จุด	7
2.2 กระบะวัสดุหนุน	8
2.3 อุปกรณ์สำหรับทดสอบยิง	8
2.4 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่	9
2.5 กราฟระหว่างการกระจัดกับเวลา	10
2.6 กราฟความเร็วกับเวลา	11
2.7 แรงในแนวแกน x, y	12
2.8 แรงในแต่ละแกน	13
2.9 ความเสียดทาน	14
2.10 ลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของ Hall Effect	17
2.11 การเบี่ยงเบนของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน Hall Generator	18
2.12 ลักษณะรูปร่างของ Hall Generator โดยทั่วไป	18
2.13 การติดตั้ง Hall Generator เพื่อวัดการกระจัดของเพลลาหมุน	20
2.14 การวัดความเข้มของสนามแม่เหล็ก	21
2.15 การเปรียบเทียบลักษณะความแตกต่างระหว่างความแม่นยำและความเที่ยงตรงของจุดแต่ละจุดบนแผ่นเป้าหมาย	24
2.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่วัดกับค่าที่อ่านได้	26
2.17 ไดอะแกรมการทำงานเบื้องต้นของระบบดาต้าแอกควิชชัน	29
2.18 ตัวอย่างสัญญาณที่เกิดขึ้นในระบบดาต้าแอกควิชชัน	31
2.19 รูปแบบพื้นฐานของการวัดสัญญาณในระบบดาต้าแอกควิชชัน	33
2.20 ไดอะแกรมการวัดสัญญาณ แบบดิฟเฟอเรนเชียล	34
2.21 การวัดสัญญาณแบบซิงเกิล-เอนด์ เทียบกราวด์ในระบบดาต้าแอกควิชชัน	34
2.22 การวัดสัญญาณแบบซิงเกิล-เอนด์ ไม่เทียบกราวด์ในระบบดาต้าแอกควิชชัน	35
2.23 ลักษณะของแหล่งกำเนิดสัญญาณที่ป้อนเข้ามาทางอินพุต	36
2.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตกับข้อมูลดิจิตอลเอาต์พุต	37
2.25 ผลของการรบกวนสัญญาณด้วยอัตราที่แตกต่างกัน	38
2.26 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์	40
2.27 การประมาณค่าในช่วงเชิงเส้น	42
2.28 การประมาณค่าในช่วงกำลังสอง	43

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.1 วิธีการตรวจจับความเข้มของสนามแม่เหล็กแบบ Unipolar head-on mode	49
3.2 การจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์	49
3.3 การทดสอบความเป็นเชิงเส้นของฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์แบบ Unipolar head-on mode	49
3.4 กราฟความเป็นเชิงเส้นของฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์แบบ Unipolar head-on mode	50
3.5 ภาพตัดขวางชุดฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์	52
3.6 ชุดฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์	52
3.7 บล็อกไดอะแกรมทรานสดิวเซอร์วัดแรง	53
3.8 ชุดรับ-ส่งแรง	53
3.9 อัตราส่วนการเคลื่อนที่ระหว่างชุดรับ-ส่งแรงกับแกนที่ติดตั้งแม่เหล็กถาวร	55
3.10 อุปกรณ์สำหรับทดสอบความเป็นเชิงเส้นของทรานสดิวเซอร์วัดแรง	56
3.11 กราฟความเป็นเชิงเส้นของทรานสดิวเซอร์วัดแรงกับเทคนิคการตรวจจับความ เข้มสนามแม่เหล็กแบบ Unipolar head-on mode	57
3.12 กราฟความเป็นเชิงเส้นของทรานสดิวเซอร์วัดแรงกับเทคนิคการตรวจจับความ เข้มสนามแม่เหล็กแบบ Bipolar slide-by	58
3.13 กราฟความเป็นเชิงเส้นของทรานสดิวเซอร์วัดแรงกับเทคนิคการตรวจจับความ เข้มสนามแม่เหล็กแบบ Push-push approach	59
3.14 เปรียบเทียบความเป็นเชิงเส้นในแต่ละแบบของเทคนิคการตรวจจับความเข้ม สนามแม่เหล็ก	59
4.1 บล็อกไดอะแกรมการออกแบบชุดวัดการกระจายแรง	61
4.2 ชุดตรวจจับความเข้มสนามแม่เหล็กฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์แบบ Push-push approach	62
4.3 ชุดตรวจจับความเข้มสนามแม่เหล็กฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์แบบ Push-push approach ทั้งหมด 25ชุด	62
4.4 ย่านวัดชุดตรวจจับความเข้มสนามแม่เหล็กด้วยฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ทั้ง 25 ชุด	63
4.5 ชุดรับแรงสร้างจากเหล็กเพลตันจำนวน 25 ชุด	68
4.6 ชุดเปลี่ยนค่าแรงเป็นลมกับชุดสร้างแรงดัน	69
4.7 การสอบเทียบชุดปรับแรงดันลม (Pressure Regulator)	71
4.8 บล็อกไดอะแกรมสำหรับโปรแกรม LabVIEW	75

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 ผลของโปรแกรม LabVIEW	76
4.10 ด้านหน้าของชุดวัดการกระจายแรง	76
4.11 ด้านข้างของชุดวัดการกระจายแรง	77
4.12 ด้านหลังของชุดวัดการกระจายแรง	77
4.13 ชุดวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบสื่อเกราะกันกระสุนที่สมบูรณ์แบบ	78
5.1 ชุดวัดการกระจายแรงที่ใช้ชุดรับแรงเป็นแกนของกระบอกสูบจำนวน 5 ชุด	80
5.2 การทดลองยิงด้วยกระสุนปืนจริงขนาด 9 มิลลิเมตร	80
5.3 แรงดันไฟฟ้าจากทรานสดิวเซอร์ทั้ง 5 ชุดจากการทดสอบด้วยกระสุนปืน ขนาด 9 มิลลิเมตร	81
5.4 ชุดรับแรงตัวที่ 1, 2 และ 5 เสียหายหลังทดสอบด้วยกระสุนปืนขนาด .44 Magnum	82
5.5 ทำการทดสอบดินน้ำ Roma Plastilina No.1 ด้วยลูกตุ้มเหล็ก	83
5.6 ผลหลังทดสอบปล่อยลูกตุ้มเหล็กที่ความสูง 2 เมตร	83
5.7 การกระจายแรงจากการสอบเทียบด้วยลูกตุ้มเหล็ก	84
5.8 การกระจายแรงจากการสอบเทียบด้วยลูกตุ้มเหล็กหลังใช้วิธีการประมาณค่าใน 2 มิติ	85
5.9 ชุดทดสอบสื่อเกราะกันกระสุนปืน	86
5.10 สื่อเกราะกันกระสุนวางบนชุดวัดการกระจายแรง	86
5.11 การกระจายแรงบนสื่อเกราะชนิด “ผ้าไม่ทอ”	87
5.12 การกระจายแรงบนสื่อเกราะชนิด “ผ้าถักแนวเส้นยืน”	87
5.13 การกระจายแรงบนสื่อเกราะชนิด “ผ้าทอ”	88
5.14 การทดสอบด้วยลูกตุ้มเหล็กครั้งที่ 1 (ความลึกเท่ากับ 21 มิลลิเมตร)	89
5.15 การทดสอบด้วยลูกตุ้มเหล็กครั้งที่ 2 (ความลึกเท่ากับ 21 มิลลิเมตร)	90
5.16 การทดสอบด้วยลูกตุ้มเหล็กครั้งที่ 3 (ความลึกเท่ากับ 2 มิลลิเมตร)	90
5.17 การกระจายแรงบนสื่อเกราะสำหรับการยิงครั้งที่ 1 (ความลึกเท่ากับ 25 มิลลิเมตร)	91
5.18 การกระจายแรงบนสื่อเกราะสำหรับการยิงครั้งที่ 2 (ความลึกเท่ากับ 24 มิลลิเมตร)	91

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการทดสอบเสื้อเกราะป้องกันกระสุนถือว่าเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญในการออกแบบและพัฒนาเสื้อเกราะให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น เพื่อให้สามารถเป็นเกราะป้องกันอาวุธสมัยใหม่ที่มีความซับซ้อนสูงได้ และมีราคาที่ถูกลง แต่หนึ่งปัจจัยที่ทำให้ต้นทุนมีราคาสูงคือ การทดสอบยิงกระสุนปืนในห้องปฏิบัติการทดสอบเสื้อเกราะ สำหรับประเทศไทยใช้มาตรฐานการทดสอบยิงกระสุนของ NIJ Standard-0101.04 Bullet Resistance of Personal Body Armor (Revision A - June 2001) ซึ่งแบ่งระดับการทดสอบตามระดับความรุนแรงของกระสุนปืนจากน้อยไปมาก คือระดับ I, IIA, II, IIIA, III และ IV ตามลำดับ โดยมีหลักการเบื้องต้นคือ ระยะการยิงเท่ากับ 5 เมตร จากปลายลำกล้องปืนถึงเสื้อเกราะ ทดสอบยิงกระสุนบนเสื้อเกราะจำนวน 6 จุด ที่มุม 0 องศา 4 จุด และที่ 30 องศา 2 จุด โดยที่เสื้อเกราะถูกรองด้วยกระเบาะที่มีวัสดุหนุนเป็นดินน้ำมันยี่ห้อ Roma Plastilina No.1 ที่ผ่านการทดสอบมาตรฐานความหนาแน่นแล้ว จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลการทดสอบตามข้อกำหนดคือ กระสุนต้องไม่ทะลุเสื้อเกราะ และการยุบตัวต้องไม่เกิน 44 มิลลิเมตร แต่ปัญหาที่พบในปัจจุบันคือ ประเทศไทยมีสถานที่สำหรับการทดสอบน้อย ในการทดสอบแบบนี้ต้องทำการเปลี่ยนตำแหน่งการยิงทดสอบบนดินน้ำมันทุกครั้ง เพราะดินน้ำมันจะเสียรูปร่างหลังจากถูกยิง และต้องทำการวัดความลึกด้วยเครื่องมือวัดละเอียด

จากข้อมูลเบื้องต้นพบว่าการทดสอบคุณสมบัติของเสื้อเกราะป้องกันกระสุนปืนในปัจจุบัน เพื่อทดสอบว่าเสื้อเกราะป้องกันกระสุนปืนสามารถต้านทานไม่ให้กระสุนปืนทะลุผ่านไปได้ และผลการยุบตัวของเสื้อเกราะหลังถูกยิงด้วยกระสุนปืน โดยที่การแสดงผลการทดสอบในปัจจุบันนั้นยังไม่สามารถแสดงค่าออกมาในรูปแบบของตัวเลขในทันที หรือเป็นกราฟที่เข้าใจได้ง่าย ด้วยเหตุนี้เองนำมาสู่แนวความคิดของงานวิจัยในครั้งนี้คือ การออกแบบชุดวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุนที่สามารถแสดงการกระจายแรง และการยุบตัวของเสื้อเกราะในรูปแบบของกราฟิกสอง และสามมิติ เพื่อให้มีการใช้งานที่สะดวก โดยใช้เซ็นเซอร์ทั้งหมด 25 ชุด โดยเซ็นเซอร์แต่ละชุดมีพื้นที่รับแรง 1.0 ตารางนิ้ว โดยวางเรียงกันเป็น 5 ตัวต่อแถว ทั้งหมด 5 แถว ครอบคลุมพื้นที่ทดสอบการประมาณ 25 ตารางนิ้ว

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาหาเทคนิคและอุปกรณ์ ที่ใช้ในการวัดแรงกระแทก
- 1.2.2 เพื่อทำการวิจัยหาแนวทางในการออกแบบการวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน
- 1.2.3 เพื่อออกแบบสร้างชุดวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน สำหรับใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการพัฒนาการออกแบบเสื้อเกราะกันกระสุน

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ตั้งสมมติฐานของการศึกษา โดยพิจารณาจากการที่ชุดวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน มีความสามารถในการทดสอบเสื้อเกราะอ่อนที่มมยิง 0 องศาครอบคลุมกระสุนปืนระดับ IIA ซึ่งมีความถูกต้องใกล้เคียงกับวิธีการทดสอบในปัจจุบันตามมาตรฐาน NIJ Standard-0101.04 Bullet Resistance of Personal Body Armor (Revision A - June 2001) และคิดว่าเมื่อผลการทดสอบสามารถแสดงเป็นกราฟสอง และสามมิติ ที่แสดงถึงการกระจายแรงและขอบตัวของเสื้อเกราะป้องกันกระสุนปืน ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบจะมีความถูกต้องดี หากทำการสอบเทียบชุดวัดการกระจายแรงให้มีค่าแรงด้านที่ใกล้เคียงกับดินน้ำมัน Roma Plastilina No.1 ตามมาตรฐานของ NIJ Standard-0101.04

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.4.1 ออกแบบทรานสดิวเซอร์โดยใช้ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ เพื่อสร้างอุปกรณ์รับแรงกระแทกโดยอ้างอิงจากข้อมูลของการทดสอบด้วยกระสุนปืนในระดับ II-A ตามมาตรฐานของ NIJ standard-0101.04
- 1.4.2 ออกแบบชุดวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน โดยสามารถแสดงผลการวิเคราะห์ภายในพื้นที่ 25 ตารางนิ้ว
- 1.4.3 ทำการทดสอบกับเสื้อเกราะป้องกันกระสุนที่มมยิง 0 องศา
- 1.4.4 ผลการทดสอบถูกบันทึกด้วยโปรแกรม LabVIEW ผ่านระบบ Data Acquisition
- 1.4.5 แสดงผลการกระจายแรงบนคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม MATLAB

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

- 1.5.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทำวิจัย
ก. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับมาตรฐาน NIJ Standard-0101.04

ข. ศึกษาข้อมูลทางฟิสิกส์

ค. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์

ง. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับระบบค่าตัวเอกวิชัน (Data Acquisition)

1.5.2 การออกแบบทรานสดิวเซอร์วัดแรงโดยใช้ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์

ก. ทดสอบความเป็นเชิงเส้นของฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์

ข. ออกแบบชุดตรวจจับความเข้มนามแม่เหล็กฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์

ค. ออกแบบทรานสดิวเซอร์วัดแรงโดยใช้ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์

ง. ทดสอบความเป็นเชิงเส้นของทรานสดิวเซอร์วัดแรงโดยใช้ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์

1.5.3 การออกแบบชุดวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบเสื่อเกราะกันกระสุน

ก. ประกอบทรานสดิวเซอร์วัดแรงโดยใช้ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์จำนวน 25 ชุด

ข. ออกแบบชุดรับแรงให้มีความแข็งแรง เพื่อใช้รับแรงของกระสุนปืน

ค. ออกแบบชุดเปลี่ยนค่าแรงเป็นลม

ง. ออกแบบชุดสร้างแรงดัน

จ. ออกแบบส่วนรับข้อมูล (Data Acquisition)

ฉ. ส่วนบันทึกค่าและแสดงผล

ช. สร้างเป็นชุดวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบเสื่อเกราะกันกระสุน

1.5.4 ผลการทดสอบชุดวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบเสื่อเกราะกันกระสุน

ก. การทดสอบมาตรฐานของดินน้ำมัน Roma Plastilina No.1 ด้วยลูกตุ้มเหล็ก

ข. การทดสอบมาตรฐานของชุดวัดการกระจายแรง ด้วยลูกตุ้มเหล็ก

ค. ทดสอบชุดวัดการกระจายแรงกับเสื่อเกราะป้องกันกระสุนปืน

1.5.5 สรุปและข้อเสนอแนะ

ก. สรุปผลการทำวิจัย

ข. ข้อเสนอแนะเพื่อการปรับปรุง

1.6 ข้อจำกัดของการศึกษา

ในการศึกษาวิจัยนี้เป็นการออกแบบชุดวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบเสื่อเกราะอ่อนกันกระสุน ทำการทดสอบยิงด้วยกระสุนปืนจริงขนาด 9 มิลลิเมตร (8.0 กรัม, 341 เมตรต่อวินาที) โดยมุ่งเน้นให้แสดงผลการวัดเป็นภาพกราฟิกสอง และสามมิติ ที่แสดงถึงการกระจายแรงและรอยชูบนเสื่อเกราะที่มีความถูกต้องเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานของ NIJ Standard-0101.04 แต่ผลจากการทดสอบในแต่ละครั้งมีความคลาดเคลื่อน อันเนื่องมาจากความเร็วของกระสุนแต่ละนัดมีค่าไม่เท่ากัน

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาของบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยเรียงลำดับตั้งแต่ความเป็นมาของเสื้อเกราะกันกระสุนรวมถึงมาตรฐานสากลที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ความรู้พื้นฐานทางด้านฟิสิกส์สำหรับการออกแบบชุดรับแรงกระแทก ทฤษฎีเกี่ยวกับฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ (Hall Effect Sensor) เพื่อแปลงค่าแรงกระแทกให้เป็นแรงดันไฟฟ้าพร้อมกับนิยามที่ใช้ในการวัดทางอุตสาหกรรม และระบบการเก็บข้อมูล (Data Acquisition) สำหรับแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าที่เป็นสัญญาณอะนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลและส่งผ่านไปยังส่วนบันทึกค่า ประมวลผล และแสดงผลในคอมพิวเตอร์ สุดท้ายเป็นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงและพัฒนาสำหรับงานวิจัยนี้

2.1 เสื้อเกราะป้องกันกระสุนปืนและมาตรฐาน U.S. National Institute of Justice [1]

เสื้อเกราะกันกระสุนหมายถึง เสื้อหรือสิ่งใดๆ ที่ผลิตหรือประกอบขึ้นด้วยแผ่นเกราะเพื่อป้องกันหรือลดอันตรายจากกระสุนปืนที่ยิงบริเวณลำตัวของผู้ที่สวมใส่ ส่วนประกอบของเสื้อเกราะนั้น โดยทั่วไปจะประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือ

1. เสื้อนอก (Outside Shell Carrier) เป็นส่วนที่ใช้สำหรับรับแรงกระแทกอาจจะมีส่วนที่ใช้แผ่นเหล็ก หรือเซรามิกเพื่อเพิ่มความสามารถในการรับแรงกระแทก
2. ส่วนยึดรั้ง (Fastening System) ใช้ยึดเสื้อเกราะกับร่างกายทำให้เกิดความกระชับ
3. แผ่นรับแรงกระแทก (Ballistic Panel) ลักษณะเป็นใย ทอจากใยสังเคราะห์ เมื่อถูกแรงกระแทกจะเกิดการยืดตัว ช่วยดูดซับพลังงานเพื่อลดความเร็วของกระสุนที่ผ่านเข้ามา

ปัจจุบันมีการนำเอาวัสดุประเภทใยสังเคราะห์มาผลิตเสื้อเกราะเพิ่มมากขึ้น เพราะมีน้ำหนักเบา และมีความแข็งแรงกว่าโลหะ วัสดุที่ใช้ในปัจจุบัน คือ เส้นใย อะราไมด์ (Aramid Fiber) เป็นเส้นใยประเภทโพลิเอไมด์ หรือไนลอน มีความแข็งแรง และแข็งแรงสูง สามารถคงรูปได้ดี ทนต่ออุณหภูมิสูงถึง 370 องศาเซลเซียส หรืออาจจะเป็นเส้นใยโพลิเอทิลีนชนิดความแข็งแรงสูงยิ่งยวด (Ultra High Strength Polyethylene Fiber) เป็นเส้นใยโพลิเอทิลีน ซึ่งกระบวนการผลิตต้องใช้เทคนิคพิเศษทำให้มีความแข็งแรงสูง น้ำหนักเบาและราคาถูกกว่าเส้นใยอะราไมด์ แต่อุณหภูมิที่ใช้งานต่ำกว่า เมื่อกระสุนวิ่งมากระทบกับเสื้อเกราะจะถูกยึดจับไว้ด้วยเส้นใยที่แข็งแรงมาก เรียกกันว่าเว็บ (Web) เส้นใยเหล่านี้ จะดูดซับและกระจายพลังงานการกระแทกของกระสุนที่ส่งผ่านมายังตัวเสื้อ เป็นผลให้กระสุนนั้นเกิดการบิดเบี้ยวหรือเสียรูปไป พลังงานที่เกิดขึ้นนั้นจะถูกดูดซับไว้ด้วยแต่ละชั้นของเส้นใยจนกระทั่งกระสุนนั้นหยุดลงในที่สุด ดังนั้นการทอเส้นใยให้ยังหนาแน่นมากเท่าไรก็จะยังมี

ความทนทานต่อ แรงกระสุนมากขึ้นเท่านั้นนี่คือลักษณะการทำงานของเสื้อเกราะ ในขณะที่กระสุนมากระทบกับเสื้อเกราะ พลังงานจากกระสุนจะถูกดูดซับและแพร่กระจายไปตามชั้นของเส้นใยเรื่อยๆ จนท้ายที่สุดคือ ร่างกาย การกระแทกร่างกายจะเรียกว่า บลันท์ ทรอม่า (Blunt Trauma) หมายถึง อาการฟกช้ำ ซึ่งอาการดังกล่าวจะต้องอยู่ในระดับที่ไม่ปรากฏอาการออกมาให้เห็น ร่างกายของคนเราจะสามารถทนทานต่ออาการ บลันท์ ทรอม่า ได้ปริมาณหนึ่ง ซึ่งเราสามารถทดสอบ และคิดค่าออกมาได้เรียกว่า Back Face Signature (BFS) มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

2.1.1 มาตรฐานการทดสอบเสื้อเกราะป้องกันกระสุนปืน

ในปัจจุบันมีมาตรฐานการทดสอบเสื้อเกราะอยู่หลายมาตรฐาน ที่นิยมใช้กันโดยมาตรฐานที่เก่าแก่ที่สุดได้แก่ มาตรฐานของ NIJ (U.S. National Institute of Justice) เรียกว่ามาตรฐาน U.S. NIJ.0101.03 มาตรฐานนี้กำหนดค่า Back Face Signature เท่ากับ 44 มิลลิเมตร ในปัจจุบันมีการปรับปรุงเป็น U.S. NIJ.0101.04 นอกจากนี้ยังมีมาตรฐาน U.S. PPAA1989-05 กำหนดค่า 44 มิลลิเมตร เช่นเดียวกัน แต่จำนวนนัดของกระสุนที่ยิงใส่เสื้อเกราะน้อยกว่า ดังนั้นเสื้อเกราะบางชนิดสามารถผ่านมาตรฐาน PPAA ได้ แต่ไม่ผ่านมาตรฐาน NIJ จึงถือได้ว่ามาตรฐาน NIJ เป็นมาตรฐานที่ใช้กันอย่างกว้างขวางที่สุด ทั้งในสหรัฐ ออสเตรเลีย เอเชีย ตะวันออกกลาง และประเทศในยุโรปบางประเทศ เช่น ฟินแลนด์ และอังกฤษ

สำหรับประเทศไทยมีร่างมาตรฐานยุทธโธปกรณ์ ที่จัดทำโดยคณะกรรมการกำหนดมาตรฐานยุทธโธปกรณ์กระทรวงกลาโหม ว่าด้วยเกราะกันกระสุน ซึ่งได้แปล วิเคราะห์ ประยุกต์ และเรียบเรียง ให้เหมาะสมกับประเทศไทย โดยอิงมาตรฐาน U.S. NIJ.0101.04 ตามความจำเป็น และเหมาะสม

2.1.2 ระดับการป้องกันของเสื้อเกราะป้องกันกระสุนปืน

มาตรฐาน U.S. NIJ.0101.04 นั้นได้กำหนดค่าระดับการป้องกันกระสุนปืนซึ่ง แบ่งออกเป็น 6 ระดับดังนี้

ก. ระดับ 1, Type 1 (ชนิด 1) คือเสื้อที่สามารถป้องกันกระสุนในขนาด .22 LR ที่มีหัวกระสุนหนัก 2.6 กรัม และมีความเร็วไม่เกิน 329 เมตรต่อวินาที และกระสุนขนาด .380ACP ที่มีหัวกระสุนหนัก 6.2 กรัม และมีความเร็วไม่เกิน 322 เมตรต่อวินาที

ข. ระดับ 2, Type 2A (ชนิด 2A) คือเสื้อที่สามารถป้องกันกระสุนในขนาด 9 มิลลิเมตร แบบ FMJ ที่มีหัวกระสุนหนัก 8 กรัม และมีความเร็วไม่เกิน 341 เมตรต่อวินาที และกระสุนขนาด .40 S&W แบบ FMJ ที่มีหัวกระสุนหนัก 11.7 กรัม และมีความเร็วไม่เกิน 322 เมตรต่อวินาที รวมไปถึงป้องกันกระสุนในระดับ 1 ด้วย

ตารางที่ 2.1 มาตรฐาน U.S. NIJ.0101.04 กำหนดค่าระดับการป้องกัน [1]

Armor Type	Test Variables				Performance Requirements						
	Test Round	Test Bullet	Bullet Weight	Reference Velocity (± 30 ft/s)	Hits Per Armor Part at 0° Angle of Incidence	BFS Depth Maximum	Hits Per Armor Part at 30° Angle of Incidence	Shots Per Panel	Shots Per Sample	Shots Per Threat	Total Shots Req'd
I	1	.22 caliber LR LRN	2.6 g 40 gr.	329 m/s (1080 ft/s)	4	44 mm (1.73 in)	2	6	12	24	48
	2	.380 ACP FMJ RN	6.2 g 95 gr.	322 m/s (1055 ft/s)	4	44 mm (1.73 in)	2	6	12	24	
IIA	1	9 mm FMJ RN	8.0 g 124 gr.	341 m/s (1120 ft/s)	4	44 mm (1.73 in)	2	6	12	24	48
	2	.40 S&W FMJ	11.7 g 180 gr.	322 m/s (1055 ft/s)	4	44 mm (1.73 in)	2	6	12	24	
II	1	9 mm FMJ RN	8.0 g 124 gr.	367 m/s (1205 ft/s)	4	44 mm (1.73 in)	2	6	12	24	48
	2	.357 Mag JSP	10.2 g 158 gr.	436 m/s (1430 ft/s)	4	44 mm (1.73 in)	2	6	12	24	
IIIA	1	9 mm FMJ RN	8.2 g 124 gr.	436 m/s (1430 ft/s)	4	44 mm (1.73 in)	2	6	12	24	48
	2	.44 Mag SJHP	15.6 g 240 gr.	436 m/s (1430 ft/s)	4	44 mm (1.73 in)	2	6	12	24	
III	1	7.62 mm NATO FMJ	9.6 g 148 gr.	847 m/s (2780 ft/s)	6	44 mm (1.73 in)	0	6	12	12	12
IV	1	.30 caliber M2 AP	10.8 g 166 gr.	878 m/s (2880 ft/s)	1	44 mm (1.73 in)	0	1	2	2	2
Special	*	*	*	*	*	44 mm (1.73 in)	*	*	*	*	*

*These items must be specified by the user.

Panel = Front or back component of typical armor sample.
Sample = Full armor garment, including all component panels (F&B).
Threat = Test ammunition round by caliber.

Notes: Armor parts covering the torso front and torso back, with or without side coverage, shall each be impacted with the indicated number of fair hits. Armor parts covering the groin and coccyx shall each be impacted with three fair hits at 0° angle of incidence. The deformation due to the first fair hit shall be measured to determine compliance. No fair hit bullet or one impacting at a velocity lower than the minimum required bullet velocity shall penetrate the armor.

Abbreviations: AP—Armor Piercing
FMJ—Full Metal Jacket
JSP—Jacketed Soft Point
LRHV—Long Rifle High Velocity
RN—Round Nose
SJHP—Semi-Jacketed Hollow Point
SWC—Semi-Wadcutter

ค. ระดับ 3, Type 2 (ชนิด 2) คือเสื้อที่สามารถป้องกันกระสุนในขนาด 9 มิลลิเมตร แบบ FMJ ที่มีหัวกระสุนหนัก 8 กรัมและมีความเร็วไม่เกิน 367 เมตรต่อวินาที และกระสุนในขนาด .357 แม็กนัม แบบ Jacketed Soft Point (JSP) ที่มีหัวกระสุนหนัก 10.2 กรัม และมีความเร็วไม่เกิน 436 เมตรต่อวินาที รวมไปถึงป้องกันกระสุนในระดับ 1 และ 2 ด้วย

ง. ระดับ 4, Type 3A (ชนิด 3A) คือเสื้อที่สามารถป้องกันกระสุนขนาด 9 มิลลิเมตร แบบ FMJ ที่มีหัวกระสุนหนัก 8.2 กรัม และมีความเร็วไม่เกิน 346 เมตรต่อวินาที และกระสุนในขนาด

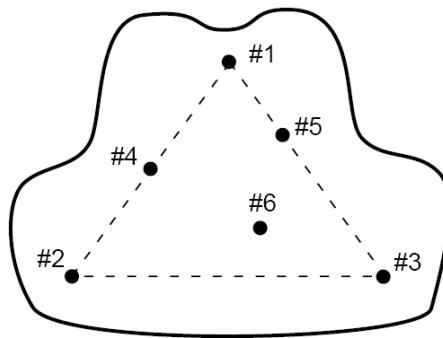
.44 แม็กนั่ม แบบ SJHP ที่มีหัวกระสุนหนัก 25.6 กรัม และมีความเร็วไม่เกิน 436 เมตรต่อวินาที รวมไปถึงป้องกันกระสุนในระดับ 1, 2 และ 3 ด้วย

จ. ระดับ 5, Type 3 (ชนิด 3) คือเสื้อที่สามารถป้องกันกระสุนจากปืนเล็กยาวในขนาด 7.62 มิลลิเมตร แบบ FMJ หรือแบบ M80 ของกองทัพอเมริกา ที่มีหัวกระสุนหนัก 9.6 กรัม และมีความเร็วไม่เกิน 847 เมตรต่อวินาที รวมไปถึงป้องกันกระสุนในระดับ 1, 2, 3 และ 4 ด้วย

ฉ. ระดับ 6, Type 4 (ชนิด 4) คือเสื้อที่สามารถป้องกันกระสุนแบบเจาะเกราะขนาด .30-06 แบบ M2AP ของกองทัพอเมริกา ที่มีหัวกระสุนหนัก 10.8 กรัม และมีความเร็วไม่เกิน 878 เมตรต่อวินาที รวมไปถึงป้องกันกระสุนในระดับ 1, 2, 3, 4 และ 5 ด้วย

2.1.3 จุดยืนสำหรับทดสอบเสื้อเกราะป้องกันกระสุนปืน

มาตรฐาน U.S. NIJ.0101.04 นั้นได้กำหนดจุดยืนเพื่อทดสอบไว้ 6 จุดบนเสื้อเกราะคือ ยิงที่มุม 0 องศา 4 จุด (#1, #2, #3 และ #6) ที่มุม 30 องศา 2 จุด (#4 และ #5) ดังรูปที่ 2.1

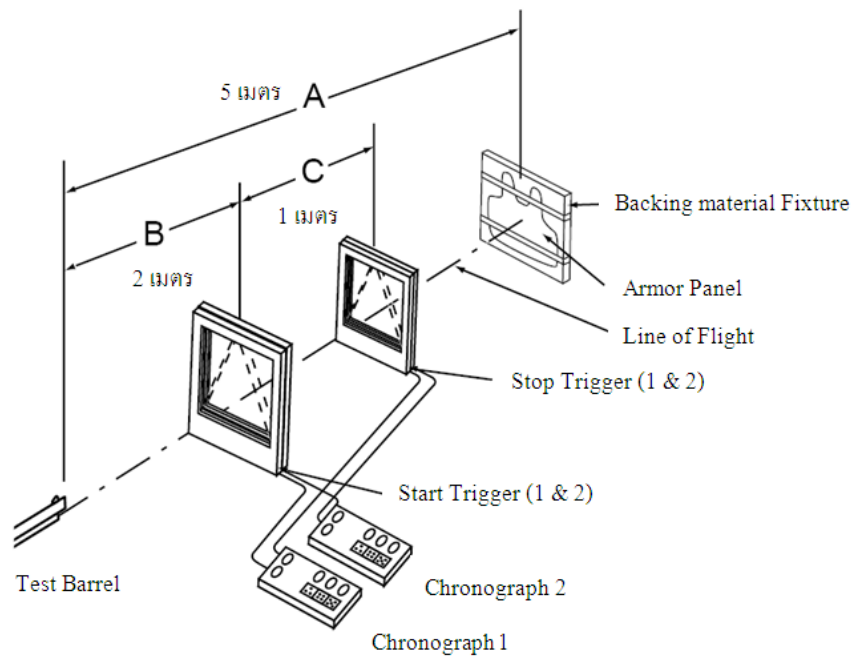


รูปที่ 2.1 จุดยืนทดสอบ 6 จุด

2.1.4 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับทดสอบเสื้อเกราะป้องกันกระสุนปืน

ด้านล่างคือเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับทดสอบเสื้อเกราะป้องกันกระสุนปืนตามมาตรฐาน U.S. NIJ.0101.04 และดังแสดงรูปที่ 2.2

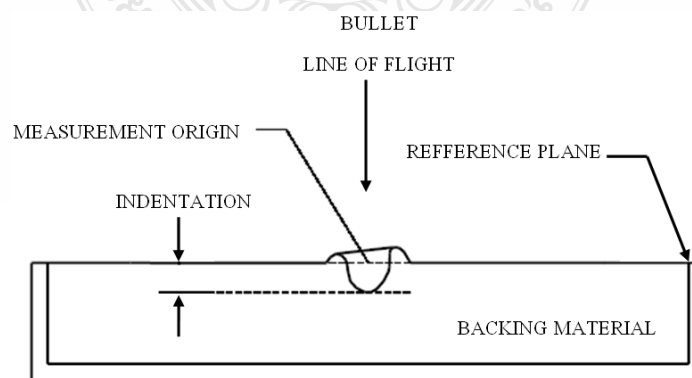
- ก. เครื่องยิงกระสุนปืน (Test Barrel)
- ข. นาฬิกาจับเวลา 1 (Chronograph1)
- ค. นาฬิกาจับเวลา 2 (Chronograph2)
- ง. กระบะวัสดุหนุน (Backing Material Fixture)
- จ. อุปกรณ์ช่วยระบุตำแหน่งการยิง (Line of Flight)



รูปที่ 2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับทดสอบเสื้อเกราะป้องกันกระสุนปืน

2.1.5 การเตรียมกระเบาะวัสดุหนูน (Backing Material Fixture)

การเตรียมวัสดุหนูนดินน้ำมันยี่ห้อ Roma Plastilina No.1 ใส่กระเบาะขนาด 610 x 610 x 140 มิลลิเมตร ทดสอบความหนาแน่นโดยใช้ลูกตุ้มเหล็กกล้ารูปทรงกลม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 63.5 ± 0.05 มิลลิเมตร มีน้ำหนัก $1,043 \pm 5$ กรัม ทิ้งที่ความสูง 2 เมตร ปล่อยลูกตุ้มเหล็กทิ้งอย่างอิสระบนวัสดุหนูน ให้ทิ้งห่างจากขอบกระเบาะอย่างน้อย 76 มิลลิเมตร และห่างจากจุดศูนย์กลางตำแหน่งที่ทิ้งเดิมไม่น้อยกว่า 156 มิลลิเมตร ทำการทิ้งลูกตุ้มเพื่อทดสอบความแน่นของวัสดุหนูน จำนวน 5 ครั้ง นำรอยยุบทั้งห้าครั้งนั้นมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย ซึ่งค่าเฉลี่ยต้องได้ตามเกณฑ์ 19 ± 2 มิลลิเมตร



รูปที่ 2.3 กระเบาะวัสดุหนูน (Backing Material Fixture)

2.1.6 การทดสอบและเกณฑ์การตัดสินตามมาตรฐาน U.S. NIJ.0101.04

ตั้งเสื่อเกราะที่ถูกรองด้วยวัสดุหนุน (Backing Material Fixture) ห่างจากปลายกระบอกปืน เป็นระยะห่าง 5 เมตรดังรูปที่ 2.2 ทำการยิงตามข้อกำหนดของมาตรฐาน U.S. NIJ.0101.04 จากนั้นทำการตรวจสอบกระสุนปืนต้องไม่ทะลุผ่านเสื่อเกราะป้องกันกระสุนปืนและรอยยุบตัวของดินน้ำมัน (Back Face Signature) ต้องไม่เกิน 44 มิลลิเมตร ถือว่าผ่านการทดสอบตามมาตรฐาน U.S. NIJ.0101.04

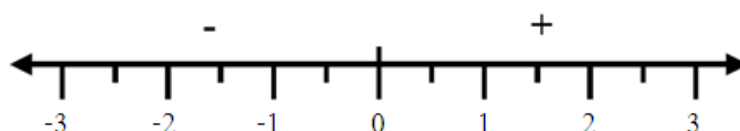
2.2 ทฤษฎีฟิสิกส์ [2]

ทฤษฎีทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณหาค่าแรงถือว่าเป็นสิ่งที่จำเป็นที่ควรรู้ เพื่อนำไปสู่การออกแบบโครงสร้างของชุดวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบเสื่อเกราะกันกระสุนอย่างมีประสิทธิภาพ

2.2.1 การเคลื่อนที่ในแนวตรง

การเคลื่อนที่ของวัตถุแบ่งเป็นสองส่วนคือ จลนศาสตร์ (Kinematics) ศึกษาการเคลื่อนที่ และ พลศาสตร์ (Dynamics) ศึกษาสาเหตุของการเคลื่อนที่ การเคลื่อนที่ของวัตถุ มีการเคลื่อนที่อยู่ 3 แบบคือ การเลื่อน (Translation) การหมุน (Rotation) และการสั่น (Vibration) การอธิบายการเคลื่อนที่แบบเลื่อน สามารถพิจารณาวัตถุเป็นอนุภาค (Particle) ไม่พิจารณารูปร่าง ขนาด และโครงสร้าง

การเคลื่อนที่หนึ่งมิติ หรือแนวเส้นตรง จำเป็นต้องกำหนดกรอบอ้างอิง เป็นจุดกำเนิดบนเส้นตรง และกำหนดทิศทางที่เป็น บวก ทิศทางตรงข้ามจะต้องเป็น ลบ เช่น เส้นจำนวน ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ทิศทางการเคลื่อนที่

จะเห็นว่า บนเส้นจำนวน จาก 0 ไปยัง 1 ขนาดจะเท่ากับ 0 ไปยัง -1 เพียงแต่ทิศสวนทางกัน หรือ จาก 1 ไปยัง 2 มีระยะเท่ากับ 2 ไปยัง 3 และมีทิศเดียวกัน เพราะฉะนั้นจะได้ว่า การกำหนดกรอบอ้างอิง สามารถบอกได้ทั้งขนาดและทิศทาง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณเวกเตอร์

ก. ระยะทาง (Distance), s คือระยะทางทั้งหมด ที่วัตถุเคลื่อนที่ได้เป็นสเกลาร์

ข. อัตราเร็วเฉลี่ย (Average Speed), v คือการเปลี่ยนแปลงระยะทางทั้งหมดในหนึ่งหน่วยเวลาเป็นสเกลาร์ (m/s)

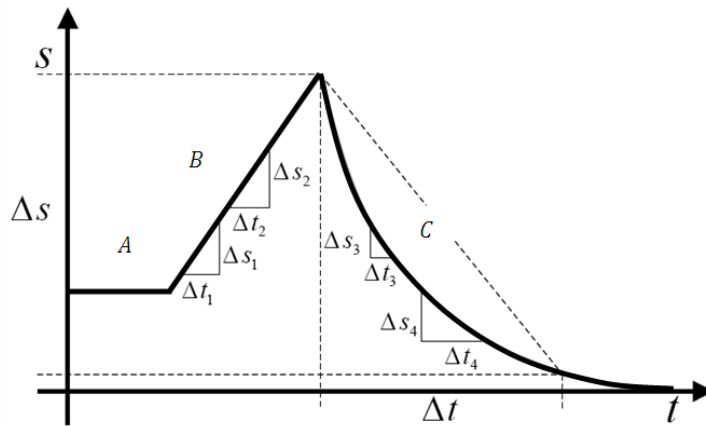
$$v = \frac{s}{t} \quad (2.1)$$

ค. การกระจัด (Displacement), Δx คือระยะที่สั้นที่สุดในการเปลี่ยนตำแหน่งจากจุดเริ่มต้น x_1 ไปยังจุดสุดท้าย x_2 เป็นปริมาณเวกเตอร์ มีทิศจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสุดท้าย

$$\Delta x = x_2 - x_1 \quad (2.2)$$

ง. ความเร็วเฉลี่ย (Average Velocity), $\vec{v}_{av}$ คือการเปลี่ยนแปลงการกระจัดในหนึ่งหน่วยเวลา เป็นปริมาณเวกเตอร์ในทิศของการเคลื่อนที่

$$\vec{v}_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (2.3)$$



รูปที่ 2.5 กราฟระหว่างการกระจัดกับเวลา

จากกราฟ แบ่งการเคลื่อนที่ออกเป็น 3 ช่วง A, B และ C ตามลำดับ

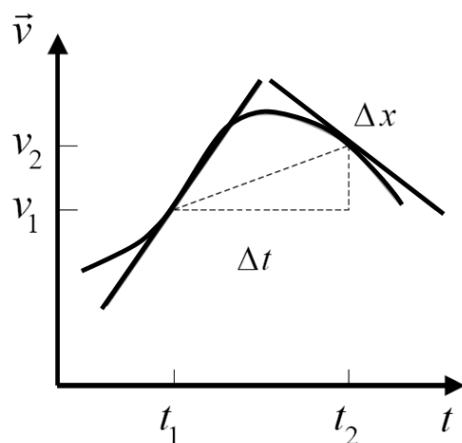
- ช่วง A จะเห็นว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงการกระจัด $\vec{v}_{av} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = 0$ ดังนั้นความเร็วเป็นศูนย์

- ช่วง B กราฟเป็นเส้นตรงมีความชันเท่ากันทุกจุดและมีค่าเป็นค่าบวกเท่ากับ $\vec{v}_{av} = \frac{\Delta s_1}{\Delta t_1} = \frac{\Delta s_2}{\Delta t_2} = \text{Constant}$ ดังนั้นได้ว่าความเร็วของการเคลื่อนที่เท่ากันทุกจุดเป็นค่าคงที่

- ช่วง C กราฟเป็นเส้นโค้งลงความชันของกราฟไม่คงที่ และได้ความชันเป็นค่าลบ หมายถึงทิศทางตรงข้ามกับทิศทางเดิม ดังนั้น ความเร็วของการเคลื่อนที่ไม่คงที่ และสวนทิศเดิม และได้ความสัมพันธ์ว่า $\frac{\Delta s_3}{\Delta t_3} > \frac{\Delta s_4}{\Delta t_4}$ และสามารถพิจารณาความเร็วเฉลี่ยตลอดเส้นทาง C ดังนี้ $\vec{v}_{av} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$

2.2.2 ความเร่ง (Acceleration)

ความเร่ง คือการที่วัตถุมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วไปจากความเร็วเดิมเป็นปริมาณ
เวกเตอร์ พิจารณากราฟความเร็วกับเวลาดังรูป 2.6



รูปที่ 2.6 กราฟความเร็วกับเวลา

ความเร่งเฉลี่ย (Average Acceleration), a_{av} คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วต่อหนึ่ง
หน่วยเวลา มีหน่วยเป็น (m/s^2) เขียนได้เป็น

$$\vec{a}_{av} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \quad (2.4)$$

2.2.3 สมการจลนศาสตร์เมื่อความเร่งคงตัว

ถ้าอนุภาคเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงด้วยความเร่งคงที่ ความเร็วจะเปลี่ยนแปลงสม่ำเสมอเมื่อ
เทียบกับเวลา

$$v = v_0 + 2a(x - x_0) \quad (2.5)$$

โดยที่ v คือความเร็วปลาย มีหน่วยเป็น (m/s)

v_0 คือความเร็วต้น มีหน่วยเป็น (m/s)

x คือตำแหน่งเริ่มต้น มีหน่วยเป็น (m)

x_0 คือตำแหน่งสุดท้าย มีหน่วยเป็น (m)

2.2.4 การตกอิสระตามแนวดิ่ง

วัตถุตกอย่างอิสระในแนวดิ่ง มีกรอบอ้างอิงหนึ่งมิติในแนวดิ่ง โดยมีแกนขึ้นเป็นบวก ขณะที่สนามโน้มถ่วงโลกดึงดูดวัตถุให้เข้าหาโลกด้วยความเร่ง $\vec{g} = 9.8 \text{ m/s}^2$ ซึ่งทิศสวนทางกับกรอบอ้างอิงดังนั้น $\vec{a} = -\vec{g}$

$$v = v_0 - gt \quad (2.6)$$

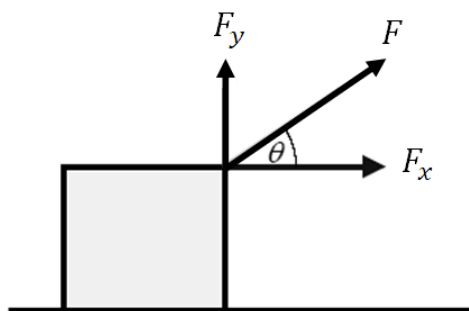
$$v^2 = v_0^2 - 2g(y - y_0) \quad (2.7)$$

โดยที่ y คือตำแหน่งเริ่มต้น มีหน่วยเป็น (m)

y_0 คือตำแหน่งสุดท้าย มีหน่วยเป็น (m)

2.2.5 แรง

แรงคือแนวคิด สำหรับอธิบายผลที่เกิดขึ้นจากการกระทำต่อวัตถุ หรือแรงเป็นอำนาจอย่างหนึ่ง ที่สามารถเปลี่ยนสภาพของวัตถุได้ แรงเป็นปริมาณเวกเตอร์ มีหน่วยเป็นนิวตัน ดังนั้นจึงสามารถแยกองค์ประกอบให้เข้าสู่พิกัด x, y, z ได้ เช่น ดึงกล่องด้วยแรง $\vec{F}$ ทำมุมกับแกน x เป็นมุม θ จากเวกเตอร์สามารถแยกองค์ประกอบของแรงให้อยู่ในแนวแกน x และ y ดังความสัมพันธ์

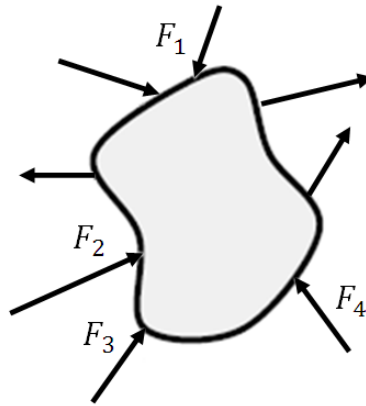


รูปที่ 2.7 แรงในแนวแกน x, y

$$F_x = F \cos \theta \quad (2.8)$$

$$F_y = F \sin \theta \quad (2.9)$$

เมื่อมีจำนวนแรงหลายแรงกระทำต่ออนุภาคหนึ่ง ที่จุดเดียวกัน ในสเปซสามมิติ สามารถแยกองค์ประกอบของแรงแต่ละแรงออกมา แล้วทำการรวมเวกเตอร์ลัพธ์ของแรงในแต่ละแกนได้ เช่น



รูปที่ 2.8 แรงในแต่ละแกน

เวกเตอร์ลัพธ์ ที่กระทำต่ออนุภาคจากแรงภายนอก แรง คือ

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \cdots + \vec{F}_n = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i \quad (2.10)$$

2.2.6 กฎข้อที่หนึ่งของนิวตัน

วัตถุจะรักษาสภาพหยุดนิ่งหรือสภาพเคลื่อนที่อย่างสม่ำเสมอเป็นเส้นตรง นอกจากจะมีแรงลัพธ์ที่มีค่าไม่เป็นศูนย์มากระทำ

2.2.7 กฎข้อที่สองของนิวตัน

เมื่อมีแรงลัพธ์ไม่เป็นศูนย์มากระทำต่อวัตถุ จะทำให้เกิดความเร่งในทิศเดียวกับแรงลัพธ์ที่มากระทำ และขนาดของความเร่งนี้จะแปรผันตรงกับขนาดของแรงลัพธ์ และแปรผกผันกับมวลของวัตถุ

มวลคือ สภาพต่อต้านการเคลื่อนที่ หรือสภาพต้านทานแรงเฉื่อย $a \propto \frac{1}{m}$

สำหรับวัตถุหนึ่ง อัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็ว ขึ้นกับแรงภายนอกที่กระทำต่อวัตถุ

$$a \propto F$$

ฉะนั้นกฎข้อที่สองของนิวตัน จึงนิยามแรงภายนอกมากระทำต่อวัตถุเท่ากับ มวลคูณความเร่งของวัตถุ มีหน่วยเป็น นิวตัน (N), ($1 \text{ N} = 1 \text{ kg.m/s}^2$)

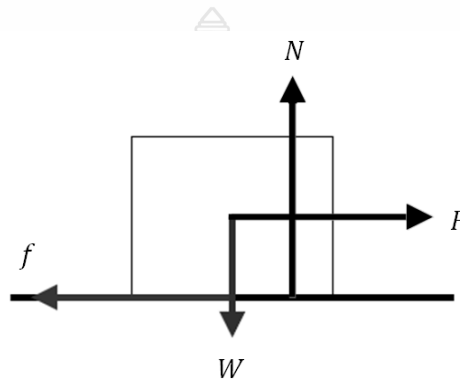
$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (2.11)$$

2.2.8 กฎข้อที่สามของนิวตัน

ทุกแรงกิริยา ย่อมมีแรงปฏิกิริยาขนาดเท่ากันกระทำในทิศตรงข้ามเสมอ หรือแรงกระทำซึ่งกันและกันของวัตถุสองก้อนย่อมมีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศทางตรงข้ามกัน

2.2.9 ความเสียดทาน

เมื่อพื้นผิวหนึ่งสัมผัสกับอีกพื้นผิวหนึ่ง จะเกิดความเสียดทาน (Friction) ระหว่างพื้นผิว แรงที่เกิดจากความเสียดทานเรียกว่า แรงเสียดทาน (Force of Friction)



รูปที่ 2.9 ความเสียดทาน

ความเสียดทานในขณะวัตถุไม่เคลื่อนที่ เรียกว่า ความเสียดทานสถิต (Static Friction) ความเสียดทานขณะวัตถุเคลื่อนที่เรียกว่า ความเสียดทานจลน์ (Kinetic Friction) ผลของการทดลองแสดงกฎของความเสียดทานดังนี้

- ก. แรงเสียดทานแปรโดยตรงกับแรงกดระหว่างพื้นผิว
- ข. แรงเสียดทานไม่ขึ้นกับพื้นที่ผิวสัมผัส
- ค. แรงเสียดทานไม่ขึ้นกับอัตราเร็วของผิวสัมผัส ที่อัตราเร็วสูงแรงเสียดทานอาจมีค่าลดลง
- ง. แรงเสียดทาน มีค่าขึ้นกับขนาดของแรงปฏิกิริยาตั้งฉากกับพื้น

$$f = \mu N \quad (2.12)$$

โดยที่ f คือแรงเสียดทาน มีหน่วยเป็นนิวตัน (N)

μ คือสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

2.2.10 งาน

งานในความหมายทางฟิสิกส์ เกี่ยวข้องกับงานเชิงกล เช่นออกแรงกระทำต่อวัตถุ ส่งผลให้วัตถุย้ายตำแหน่ง เรียกว่า ทำงาน พลังงานเป็นความสามารถที่จะทำงาน วัตถุที่มีพลังงานสามารถทำงานได้ พลังงานเป็นปริมาณอนุรักษ์ พลังงานอยู่ได้หลายรูป เช่น พลังงานกล พลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อน พลังงานเคมี พลังงานนิวเคลียร์ อื่นๆ พลังงานสามารถเปลี่ยนรูปได้ ไม่สามารถสร้างใหม่หรือทำลายให้หายไปได้

งานหมายถึงผลของการออกแรงกระทำ กำหนดให้มีค่าเท่ากับ แรง คูณกับการกระจัดตามแนวแรง งานเป็นปริมาณสเกลาร์ เขียนเป็นแบบเวกเตอร์ได้ เป็นผลคูณสเกลาร์

$$W = \vec{F} \cdot \vec{S} \quad (2.13)$$

โดยที่ W คืองาน มีหน่วยเป็น จูล (Joule)

2.2.11 งานและพลังงานจลน์

ออกแรง F กระทำกับมวล m จากกฎข้อที่สอง $F = ma$ เกิดความเร่งทำให้เกิดความเร็วเพิ่มขึ้นจาก v_A เป็น v_B มวล m เคลื่อนที่ได้ระยะกระจัด s งานทั้งหมดเมื่อวัตถุเคลื่อนที่จากจุด A ไปสู่จุด B คือ

$$W = \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 \quad (2.14)$$

$$k_1 = \frac{1}{2}mv_A^2 \quad (2.15)$$

$$k_2 = \frac{1}{2}mv_B^2 \quad (2.16)$$

โดยที่ k_1 คือพลังงานจลน์ตำแหน่งเริ่มต้น

k_2 คือพลังงานจลน์ตำแหน่งสุดท้าย

2.2.12 การคลและโมเมนตัม

พิจารณาอนุภาคมวล m กำลังเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรง มีแรง F คงที่ กระทำกับอนุภาคในแนวการเคลื่อนที่ ดังนั้นความเร็ว ณ เวลาใดๆ

$$v = v_0 + at \quad (2.17)$$

คูณสมการทั้งสองข้างด้วย m และแทน ma ด้วย F ผลก็คือ

$$Ft = mv - mv_0 \quad (2.18)$$

โดยที่ Ft คือมีชื่อเรียกว่า การคล มีหน่วยเป็น 1นิวตัน.วินาที (1 N.S)

ผลต่างของมวลคูณกับความเร็ว เรียกปริมาณนี้ว่า โมเมนตัม ให้ใช้สัญลักษณ์ P แทน โมเมนตัมเชิงเส้นมีหน่วยเป็น 1 กิโลกรัมเมตรต่อวินาที (1 kg.m/s)

$$P = mv \quad (2.19)$$

การคลคือการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม ให้ v_1 เป็นความเร็วอนุภาคที่ $t = t_1$ และ v_2 คือความเร็วที่ $t = t_2$ ดังนี้

$$F(t_2 - t_1) = mv_2 - mv_1 \quad (2.20)$$

2.2.13 ความดัน [3]

ความดันหมายถึง แรงกดดันของอากาศที่กระทำต่อพื้นที่ 1 ตารางหน่วย และเครื่องมือที่ใช้วัดความดันบรรยากาศ คือ มาโนมิเตอร์ หรือเกจวัดความดัน โดย

$$P = \frac{F}{A} \quad (2.21)$$

โดยที่ F คือแรง มีหน่วยเป็นนิวตัน (N) หรือ (kg.m/s²)

A คือพื้นที่ มีหน่วยเป็นตารางเซนติเมตร (cm²)

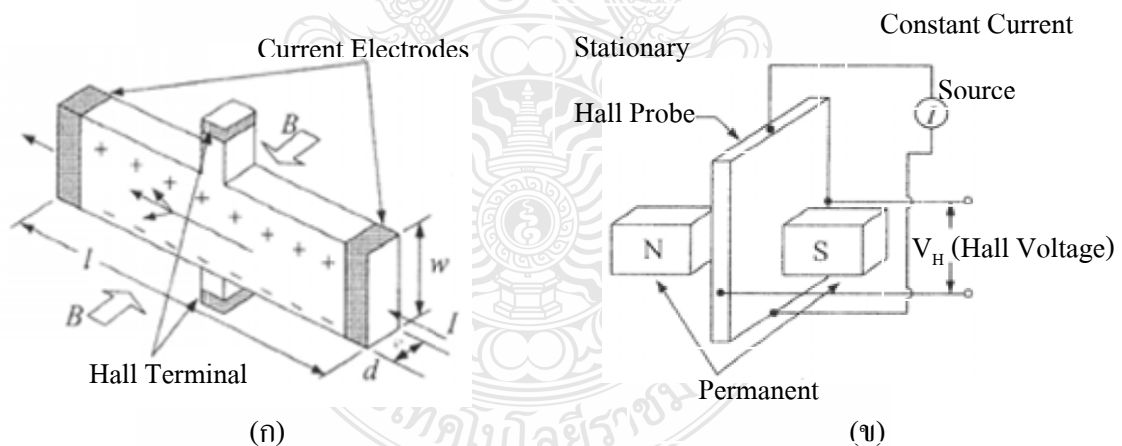
P คือความดัน มีหน่วยเป็นปาสกาล (Pa)

2.3 ฮอลล์เอฟเฟกต์ (Hall Effect) [4, 5, 6, 7]

ฮอลล์เอฟเฟกต์ เป็นอุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์อีกชนิดหนึ่ง ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มของ Proximity Sensor ชนิด Passive Transducer ที่มีขนาดเล็กและสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เช่น ใช้สำหรับวัดตำแหน่ง ระยะทาง ความเร็วในการเคลื่อนที่ ความเร็วรอบ (rpm) หรือการวัดการกระจัดเชิงมุมของเพลต เป็นต้น

2.3.1 โครงสร้างและพื้นฐานการทำงาน

แรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตที่ได้จากฮอลล์เอฟเฟกต์ จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีการเบี่ยงเบนของกระแสไฟฟ้าคงที่ ที่ไหลผ่านอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่เรียกว่า “ฮอลล์เอฟเฟกต์” ดังแสดงทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในรูปที่ 2.10 (ก) ทั้งนี้การเบี่ยงเบนของกระแสไฟฟ้านั้นจะเกิดขึ้นอยู่กับสนามแม่เหล็กที่ติดตั้งอยู่ทั้งสองด้านของ Hall Generator ดังรูปที่ 2.10 (ข) เป็นตัวนำพากระแสไฟฟ้า (Current Carrying Conductor) ที่ไหลผ่าน Hall Generator ผลที่เกิดขึ้นจากสนามแม่เหล็กที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าจะมีขนาดเป็นสัดส่วนของผลคูณระหว่างความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กกับกระแสไฟฟ้า ทั้งนี้การกำหนดแบบแผนของตัวนำไฟฟ้า สนามไฟฟ้า และการไหลของกระแสไฟฟ้าแสดงในรูปที่ 2.11 ส่วนรูปที่ 2.12 แสดงลักษณะของ Hall Generator ที่ใช้งานทั่วไปในอุตสาหกรรม



รูปที่ 2.10 ลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของฮอลล์เอฟเฟกต์

(ก) ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่าน Hall Generator

(ข) การเกิดแรงดันไฟฟ้าจากฮอลล์เอฟเฟกต์

เมื่อประจุของอิเล็กตรอน (e) ซึ่งเป็นกระแสไฟฟ้าสุทธิที่เคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก (B) ด้วยความเร็ว (v) ได้แรงลอเรนทซ์ (Lorentz force; F) สามารถเขียนความสัมพันธ์ดังสมการ 2.22

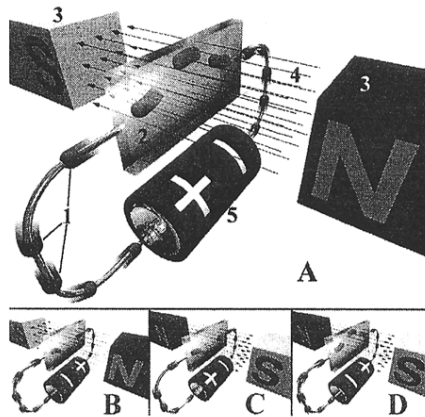
$$F = e(vB) \quad (2.22)$$

โดยที่ F คือแรงลอเรนทซ์

e คือ ประจุของอิเล็กตรอน

v คือ ความเร็ว

B คือสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 2.11 การเบี่ยงเบนของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน Hall Generator



รูปที่ 2.12 ลักษณะรูปร่างของ Hall Generator โดยทั่วไป

ลักษณะพื้นฐานการทำงาน คือ กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน Hall Generator จะถูกบังคับด้วยโครงสร้างของสารกึ่งตัวนำที่ใช้เป็นตัว Hall Generator และอิเล็กตรอนที่ถูกทำให้เกิดการหักเหจากค่าความเข้มของฟลักซ์แม่เหล็ก อย่างไรก็ตามการสร้างประจุที่เพิ่มมากขึ้นของ Hall Generator ก็จะเป็นการสร้างสนามไฟฟ้าให้เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วยที่เรียกว่า “Hall Field” (E_H) และการไหลของกระแสไฟฟ้าจะเป็นไปในทิศทางเดิมอย่างต่อเนื่อง ถ้าไม่มีผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก โดยกำหนดให้สนามไฟฟ้าเท่ากับ

$$E_H = vB \quad (2.23)$$

ถ้า ρ และ e หมายถึง ความหนาแน่นและประจุของตัวนำตามลำดับ ดังนั้นความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า (i) จะได้

$$i = \rho v \quad (2.24)$$

เมื่อ Hall Field (E_H) ถูกแสดงโดยความเร็วของอิเล็กตรอนเดี่ยว ดังนั้นจะได้

$$E_H = \frac{1}{\rho} iB \quad (2.25)$$

ค่าตัวประกอบ $\frac{1}{\rho}$ ซึ่งอยู่ในรูปของ Hall Coefficient (R_H) จะเป็นส่วนกลับของความหนาแน่นของพาหะตัวนำตามชนิดสารกึ่งตัวนำที่ใช้ทำเป็น Hall Generator ด้วยเหตุนี้ Hall Effect จึงได้ถูกสร้างมาจากสารกึ่งตัวนำมากกว่าสร้างจากโลหะ

จากรูปที่ 2.10 (ก) จะเห็นว่า $V_H = wE_H$ และ $I = iwd$ ดังนั้นระดับแรงดันไฟฟ้าของ Hall (Hall Voltage) จึงหาได้จาก

$$V_H = \frac{R_H}{d} IB \quad (2.26)$$

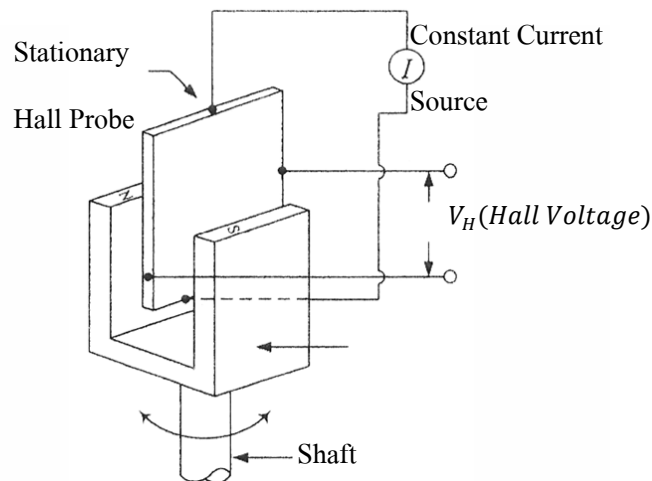
โดยที่ w คือความกว้างของตัว Hall Generator

d คือความหนาของตัว Hall Generator

ความสมดุลระหว่างแรงลอเรนทซ์กับ Hall Field จะเกิดขึ้นได้เฉพาะกับตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านด้วยความเร็วคงที่ ทั้งนี้กระแสไฟฟ้าใน Hall Element จะถูกกำหนดโดยความร้อนที่แผ่กระจายและความสามารถในการทนต่ออุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นที่กำลังงานสูงสุดของเอาต์พุตส่วนใหญ่แล้ว Hall Element จะทำมาจากวัสดุชนิด อินเดียม แอนติโมนไนด์ (Indium Antimonide) และ อินเดียม อาร์ซีนไนด์ (Indium Arsenide) ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ของ Hall Effect คือกระแสรบกวนที่เกิดจากเครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุต หรือสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากสภาวะรอบข้าง ซึ่งจะมีผลทำให้ค่าที่ได้จากการตรวจวัดมีความคลาดเคลื่อนได้

ตัวอย่างของทรานส์ดิวเซอร์ที่ใช้ปรากฏการณ์ Hall Effect สำหรับสร้างสัญญาณทางด้านเอาต์พุตที่เป็นสัดส่วน โดยตรงกับการกระจัดของเพลอาหมุนขนาดเล็ก ดังรูปที่ 2.13 ซึ่ง Hall Probe

จะถูกแขวนไว้อย่างแน่นหนาระหว่างขั้วแม่เหล็กถาวรที่ยึดติดกับเพลลา ขณะที่โพรบยังคงอยู่นิ่งแต่มีการหมุนของเพลลา (ที่มีแม่เหล็กติดอยู่) กระแสที่มีการควบคุมอย่างคงที่ จะถูกจ่ายให้กับหน้าสัมผัสทางไฟฟ้าที่ปลายโพรบ และแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้น (V_H) ในแนวขวางโพรบจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับสัญญาณรูปไซน์ (Sine Wave) ของการกระจัดเชิงมุมที่ได้จากการหมุนของเพลลา ดังนั้นสัดส่วนเชิงเส้นระหว่างการหมุนและแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตจะสามารถใช้ได้ถึง $\pm 6^\circ$ ของการหมุน



รูปที่ 2.13 การติดตั้ง Hall Generator เพื่อวัดการกระจัดของเพลลาหมุน

2.3.2 คำนวณหาความเข้มของสนามแม่เหล็กสำหรับฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์

ฮอลล์เอฟเฟกต์ ใช้ในการตรวจวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กซึ่งอาศัยปรากฏการณ์ฮอลล์ทำให้เกิดความต่างศักย์ค่าหนึ่งที่เปลี่ยนแปลงตามความเข้มของสนามแม่เหล็ก ถ้านำขั้วเหนือเข้าใกล้ค่าความต่างศักย์จะเพิ่มขึ้นทางด้านลบ (-) แต่ถ้านำขั้วใต้เข้าใกล้ค่าความต่างศักย์จะเพิ่มขึ้นทางด้านบวก (+) ความต่างศักย์ที่เปลี่ยนไปมีความสัมพันธ์กับความเข้มของสนามแม่เหล็กหรือความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กดังนี้

$$B = \frac{V_{out(B)} - V_{out(o)}}{S} \quad (2.27)$$

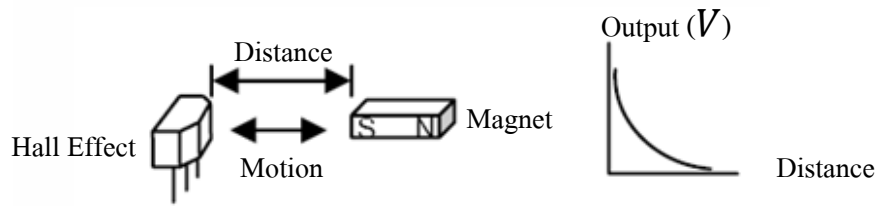
โดยที่ $V_{out(o)}$ เป็นความต่างศักย์ขณะไม่มีสนามแม่เหล็ก

$V_{out(B)}$ เป็นความต่างศักย์ขณะมีสนามแม่เหล็ก

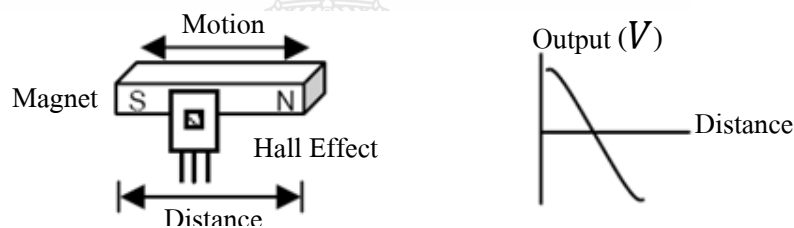
S เป็นสัมประสิทธิ์ความไว มีหน่วยเป็นโวลต์ต่อเกาส์ (V/G)

B เป็นความเข้มของสนามแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นเกาส์ (G)

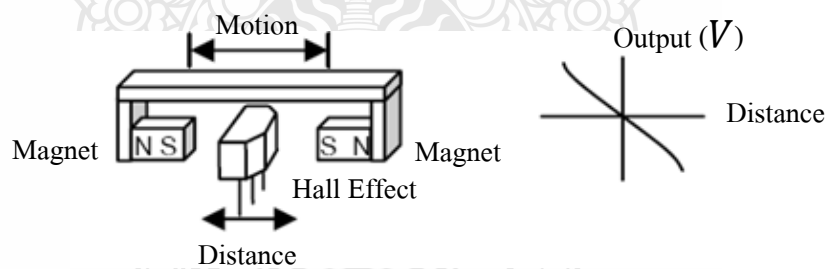
ค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างสนามแม่เหล็กที่เข้าใกล้บริเวณตัวนำกระแสไฟฟ้าภายในฮอลล์เอฟเฟกต์ ถ้าอยู่ใกล้ค่าความต่างศักย์ที่ได้จะสูง แต่ถ้าอยู่ไกลค่าความต่างศักย์จะต่ำลงจนเหลือเท่ากับครึ่งหนึ่งของความต่างศักย์ที่จ่ายให้ การใช้ฮอลล์เอฟเฟกต์ สำหรับการตรวจสอบตำแหน่งหรือการเคลื่อนที่ วิธีพื้นฐานที่ง่ายที่สุด คือ การวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กแบบ Unipolar Head-on Mode ดังรูปที่ 2.14 (ก) ส่วนวิธีแบบ Bipolar Slide-by และ Push-Push Approach ดังรูปที่ 2.14 (ข) และ (ค)



(ก) Unipolar Head-on Mode



(ข) Bipolar Slide-by



(ค) Push-Push approach

รูปที่ 2.14 การวัดความเข้มของสนามแม่เหล็ก

ประโยชน์หลักๆ ของทรานส์ดิวเซอร์ชนิดนี้ คือ เป็นอุปกรณ์ที่ทำงานโดยไม่สัมผัสกับชิ้นงานที่ต้องการเซนเซอร์โดยตรง ไม่มีการเสียดสีจึงไม่เกิดการสึกหรอจากการใช้งาน มีความสามารถในการเซนเซอร์สูง และมีขนาดเล็ก จึงเป็นที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางในปัจจุบัน

2.4 คำนิยามที่ใช้ในการวัดทางอุตสาหกรรม [7]

คำนิยามที่ใช้ในการวัดทางอุตสาหกรรมหมายถึงคำศัพท์ที่ใช้อธิบายค่าที่มีผลต่อการวัดด้วยวิธีการต่างๆ ที่เกิดขึ้นเนื่องจากโครงสร้างของเครื่องมือวัดได้แก่

2.4.1 ย่านการวัด (Range)

ย่านวัดหรือพิสัยการวัด หมายถึงขีดความสามารถ หรือขีดจำกัดที่เครื่องมือวัดสามารถตรวจวัดหรือบันทึกค่าได้ โดยแบ่งออกเป็น 2 ระดับคือ

ก. ค่าต่ำสุดของย่านการวัด (Lower Range Value, LRV)

คือค่าต่ำสุดที่เครื่องมือวัดตัวนั้นๆ จะสามารถปรับลงมาอ่านหรือบันทึกค่าได้ ยกตัวอย่างเช่น ในเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าทั่วๆ ไปจะมีค่าต่ำสุดของย่านวัดเป็นศูนย์ แต่เครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรมเช่น เครื่องมือวัดความดันอาจมีค่าต่ำสุดของย่านวัดเริ่มต้นที่ค่าใดๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของความดันที่ใช้ในระบบ ถ้าความดันที่ต้องการตรวจวัดในระบบนั้นมีค่าสูงมากๆ ค่าต่ำสุดของย่านวัดก็อาจจะเริ่มต้นที่ค่าใดๆ ก็ได้ที่ไม่ใช่ศูนย์

ข. ค่าสูงสุดของย่านการวัด (Upper Range Value, URV)

คือค่าสูงสุดที่เครื่องมือวัดตัวนั้นๆ สามารถปรับขึ้นไปอ่านหรือบันทึกค่าได้ ซึ่งในเครื่องมือวัดตัวหนึ่งๆ อาจมีค่าสูงสุด (URV) อยู่หลายระบบหน่วย (Multi – Range) ของการวัดก็ได้

2.4.2 สเปน (Span)

คำว่า “สเปน” หมายถึงผลต่างระหว่างค่าสูงสุดของย่านวัด (URV) กับย่านต่ำสุดของย่านวัด (LRV) ซึ่งในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงสเปนของเครื่องมือวัด ย่านวัดจะต้องเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย แต่ในกรณีที่ย่านวัดเปลี่ยนแปลงไม่จำเป็นที่สเปนต้องเปลี่ยนแปลงตาม ถ้าค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของย่านวัดมีการเปลี่ยนแปลง ในระดับที่เท่ากันหรือสมมาตรกันทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง แต่นอกเหนือจากกรณีดังกล่าวแล้วจะทำให้สเปนเปลี่ยนแปลงตามย่านวัดด้วย

$$Span = URV - LRV \quad (2.28)$$

2.4.3 ความแม่นยำ (Accuracy)

ในการตรวจวัดปริมาณใดๆ สิ่งต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการวัดเป็นอย่างมากคือ ความคลาดเคลื่อนทางสถิติ (Static Error) ความคลาดเคลื่อนทางพลวัต (Dynamic Error) การเลื่อน (Drift) ความสามารถในการถ่ายทอด (Reproducibility) และความไม่เป็นเชิงเส้น (Non-Linearity) ความแม่นยำของการวัดและความถูกต้องในการอ่านค่า นั้น จะมีความเกี่ยวข้องกันโดยตรง ความถูกต้องแม่นยำในที่นี้หมายถึงค่าที่อ่านได้จะต้องมีความใกล้เคียงกันกับค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้หรือค่าจริง แต่ในความเป็นจริงแล้วความถูกต้องแม่นยำอย่างสมบูรณ์นั้นไม่มีความจำเป็นในการวัดปริมาณทาง

ฟิสิกส์ เพราะในทุกๆ การทดลองความถูกต้องแม่นยำของการวัดจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับข้อจำกัด อันเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนภายในของตัวเอง (Intrinsic Error) ข้อจำกัดที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอยู่เสมอขณะทำการวัด ความไม่เสถียรทางไฟฟ้า (Electrical Zero) และข้อจำกัดจากสิ่งแวดล้อม ซึ่งข้อจำกัดต่างๆ ที่กล่าวมานี้ล้วนแล้วแต่มีผลกระทบโดยตรงต่อค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากการวัด

นอกจากนี้ความแม่นยำจะขึ้นอยู่กับการสอบเทียบ (Calibration) ภายใต้สภาวะการทำงานที่ถูกต้องเหมาะสม โดยอาจจะกำหนดค่าความแม่นยำได้จากการที่ค่าที่วัดได้อยู่ในช่วงบวกหรือลบของค่าตัวเลขหรือเปอร์เซ็นต์ที่ต้องการ ซึ่งอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ จะถูกแบ่งประเภทตามความถูกต้องแม่นยำของอุปกรณ์นั้นๆ

ความแม่นยำของระบบที่สมบูรณ์นั้นมีความสัมพันธ์กับความถูกต้องแม่นยำเฉพาะตัวของอุปกรณ์เซนเซอร์ขั้นปฐมภูมิ (Primary Sensing Element) อุปกรณ์เซนเซอร์ขั้นทุติยภูมิ (Secondary Sensing Element) และอุปกรณ์ที่ใช้งานอุปกรณ์แต่ละชนิดจะมีความถูกต้องแม่นยำในขอบเขตของตนเองถ้า $\pm a_1$, $\pm a_2$ และ $\pm a_3$ เป็นหน่วยความแม่นยำของอุปกรณ์แต่ละชนิดในระบบ และ A เป็นค่าความแม่นยำโดยรวมแล้ว ค่าขอบเขตของความแม่นยำต่ำสุดสามารถเขียนได้ว่า $A = \pm(a_1 + a_2 + a_3)$ และรากที่สองของความแม่นยำสามารถเขียนได้ว่า $A = \sqrt{(a_1^2 + a_2^2 + a_3^2)}$ แต่ในทางปฏิบัติ รากที่สองของความแม่นยำมักจะถูกกำหนดขึ้นมาเนื่องเป็นไปไม่ได้ที่อุปกรณ์ทุกตัวในระบบ จะมีความคลาดเคลื่อนทางสถิติมากที่สุด ณ ตำแหน่งและช่วงเวลาเดียวกัน

โดยทั่วไปแล้ว ค่าความแม่นยำจะอยู่ในรูปของค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ในหน่วยของการวัดที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังสมการที่ 2.29

$$A = 1 - \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right| \times 100 \quad (2.29)$$

โดยที่ A คือเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำ

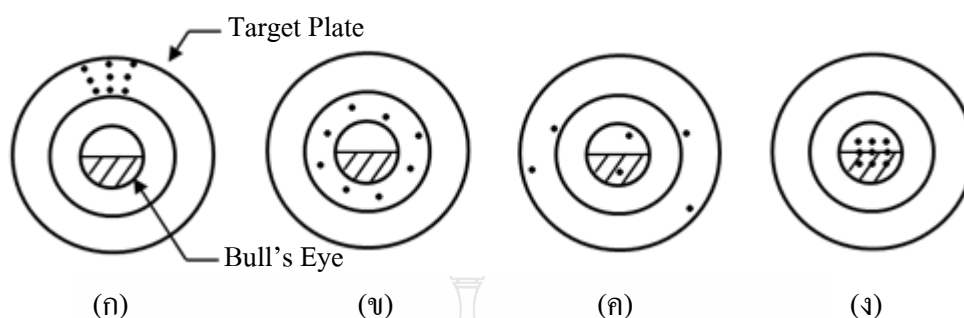
Y_n คือค่าที่แท้จริงของสิ่งที่วัด

X_n คือค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัด

2.4.4 ความเที่ยงตรง (Precision)

คุณสมบัติอีกประการหนึ่งซึ่งมักจะกล่าวถึงของการวัดคือความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัด ในขณะที่ความเที่ยงตรงนั้นสามารถแบ่งการพิจารณาออกได้เป็นสองความหมายความหมายแรกคือความใกล้เคียงกันของค่าที่ได้จากการวัดปริมาณเดียวกัน โดยค่าที่ได้จะต้องอยู่ในช่วงค่าเฉลี่ยของการวัดทั้งหมด ซึ่งหมายความว่าเครื่องมือวัดมีความคงเส้นคงวา หรือมีความสามารถซ้ำค่าเดิม

(Repeatability) นั่นเอง เครื่องมือวัดที่มีความเที่ยงตรงสูงผลลัพธ์ที่ได้จากการวัดจะมีการกระจายน้อยกว่าเครื่องมือที่มีความเที่ยงตรงต่ำ ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 การเปรียบเทียบลักษณะความแตกต่างระหว่างความแม่นยำและความเที่ยงตรงของจุดแต่ละจุดบนแผ่นเป้าหมาย

- (ก) ความเที่ยงตรงสูงแต่ความแม่นยำต่ำ
- (ข) ความแม่นยำมีการกระจายที่ดีแต่มีความเที่ยงตรงต่ำ
- (ค) ความแม่นยำต่ำอีกทั้งยังมีความเที่ยงตรงที่ต่ำด้วยเช่นกัน
- (ง) ความแม่นยำสูงและมีความเที่ยงตรงสูงด้วยเช่นกัน

จากรูปที่ 2.15 แสดงให้เห็นว่าเครื่องมือที่ใช้สำหรับตรวจวัดนั้นมีความน่าเชื่อถือเพียงใด ส่วนในความหมายที่สองของคำว่า “เที่ยงตรง” คือความละเอียดของการวัดซึ่งอาจจะหมายถึงความถี่ เครื่องมือวัดมีสเกล (Scale) ที่ละเอียดมาก ๆ ทำให้สามารถอ่านค่าที่ได้จากการวัดได้อย่างละเอียด โดยจะสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนจากสเกลของเครื่องมือวัดที่เป็นแบบอะนาล็อก ส่วนเครื่องมือวัดที่เป็นแบบดิจิตอลก็มีจุดทศนิยมหลายๆ ตำแหน่งเป็นต้น

$$P = 1 - \left| \frac{X_n - \bar{X}_n}{\bar{X}_n} \right| \quad (2.30)$$

โดยที่ P คือความเที่ยงตรง

X_n คือค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัด

$\bar{X}_n$ คือค่าเฉลี่ยของการวัด

2.4.5 ความคลาดเคลื่อน (Errors)

ความคลาดเคลื่อนหมายถึง ค่าความแตกต่างระหว่างปริมาณที่แท้จริงของค่าตัวแปรที่ต้องการวัดกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัด ซึ่งอาจจะอยู่ในลักษณะของปริมาณตัวเลข หรือเปอร์เซ็นต์ ค่าเอาต์พุตที่ได้จากอุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์ทุกชนิดนั้นทั้งในทางอุดมคติหรือในทางทฤษฎี จากค่าเอาต์พุตที่ได้จากการวัดจะมีความสัมพันธ์กัน สำหรับการออกแบบทรานสดิวเซอร์ทางอุดมคติ ทรานสดิวเซอร์จะถูกสร้างจากวัสดุที่มีความเหมาะสมและให้ค่าเอาต์พุตจากการวัดที่ถูกต้องอย่างต่อเนื่องหรือเป็นเชิงเส้นตรงกับค่าเอาต์พุตในทางทฤษฎีความสัมพันธ์ของเอาต์พุตกับค่าของการวัดจากการใช้งานทรานสดิวเซอร์จะอยู่ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ กราฟ หรือตาราง โดยที่เอาต์พุตในทางอุดมคติจะไม่มีการคำนึงถึงสภาพแวดล้อมและสภาวะการทำงานของเครื่องมืออื่นๆ

2.4.6 ความสามารถซ้ำค่าเดิม (Repeatability)

ความสามารถซ้ำค่าเดิมหมายถึงการวัดปริมาณของตัวแปรชนิดเดียวกันหลายๆ ครั้งจากอุปกรณ์หรือเครื่องมือวัดตัวเดียวกัน โดยค่าที่อ่านได้จากการวัดในแต่ละครั้งนั้นเท่ากันหรือมีความใกล้เคียงกัน

2.4.7 ความเป็นเชิงเส้น (Linearity)

ความเป็นเชิงเส้นหมายถึงค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดมีความใกล้เคียงกับเส้นตรงมากที่สุด ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณในการวัดตลอดทั้งย่านการวัด ทรานสดิวเซอร์ส่วนใหญ่จะถูกออกแบบมาเพื่อให้ค่าเอาต์พุตที่วัดได้มีความเป็นเชิงเส้นที่มีความสัมพันธ์กันและเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเสมอเป็นอันดับแรก เพราะจะทำให้จำนวนของการเก็บข้อมูลลดลง แต่มีความถูกต้องมากขึ้น ความเป็นเชิงเส้นนั้นพิจารณาจากความสามารถในการสร้างคุณสมบัติของอินพุต โดยสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการที่ 2.31

$$y = mx + C \quad (2.31)$$

โดยที่ y คือค่าเอาต์พุต

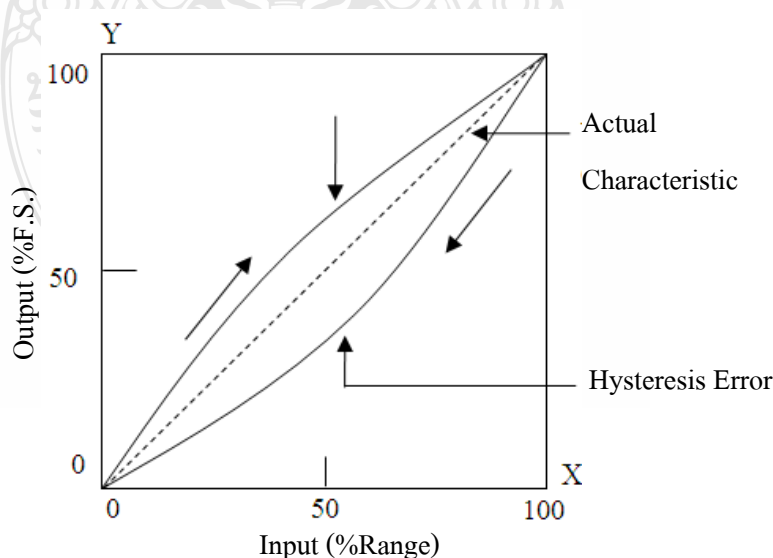
x คือค่าอินพุต

m คือความชัน

C คือค่าตัดแกนในกรณีที่จุดเริ่มต้นไม่เป็นศูนย์

2.4.8 ฮิสเตอร์รีซิส (Hysteresis)

ฮิสเตอร์รีซิสหมายถึงผลต่างสูงสุดของค่าแท้จริงที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดในช่วงระหว่างขาขึ้น (จุดเริ่มต้นถึงจุดสูงสุด) กับขาลง (จุดสูงสุดสู่จุดเริ่มต้น) ที่จุดๆ เดียวกัน โดยพิจารณาเฉพาะในส่วนของบริษัทที่กว้างที่สุดของวงรอบ (Loop) การใช้เครื่องมือวัดในการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ นั้นสิ่งที่มีจะพบอยู่บ่อยๆ คือ การเพิ่มค่าขึ้นและลดค่าลงของสัญญาณทางเอาต์พุตที่ได้จากการวัดจะมีความแตกต่างกันอยู่เสมอ สาเหตุสำคัญอาจเกิดขึ้นจากการเสียดทานภายในหรือภายนอกอันเนื่องจากการตอบสนองของอุปกรณ์เช่นเซอร์ชัสนะทำการวัด ค่าสูงสุดของความแตกต่างในทุกส่วนของเอาต์พุตที่อ่านได้จะปรากฏทุกๆ หนึ่งรอบของการสอบเทียบซึ่งเป็นฮิสเตอร์รีซิสของอุปกรณ์ จากกราฟรูปที่ 2.15 เครื่องมือจะค่อยๆ แสดงผลการวัดตามปริมาณจริงที่เปลี่ยนแปลงไป โดยในช่วงจังหวะหนึ่งค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดจะล้าหลังค่าจริงมากที่สุดในช่วงขาขึ้นและช่วงขาลง ค่านี้อาจพบมากในอุปกรณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงเชิงกลโดยมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบต่างๆ เช่น การป้อนอินพุตย้อนกลับ เวลาที่ใช้ในรอบก่อนหน้า น้ำหนักของเฟือง ค่าความฝืด การเคลื่อนที่ การเชื่อมต่อของเข็มวัดและความยืดหยุ่นของวัสดุ ซึ่งจะมีความคล้ายคลึงกับฮิสเตอร์รีซิสของแม่เหล็ก ความคลาดเคลื่อนชนิดนี้สามารถสามารถแก้ไขได้ที่ตัวเซนเซอร์เช่นเดียวกับในการวัดแบบอะนาล็อก และอุปกรณ์บันทึกค่า ความคลาดเคลื่อนจะลดลงเมื่อมีการออกแบบและมีการเลือกส่วนประกอบของเครื่องมือที่เหมาะสมมีความยืดหยุ่นที่ดีและมีการสะสมของความร้อนที่เหมาะสมกับวัสดุ ฮิสเตอร์รีซิสจะอยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์ของค่าเต็มสเกลและมักจะเกิดขึ้นที่ระดับ 50% F.S. ของการวัดสัญญาณด้านเอาต์พุต



รูปที่ 2.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่วัดกับค่าที่อ่านได้

2.4.9 การสอบเทียบ (Calibration)

การสอบเทียบเป็นหัวใจสำคัญอย่างหนึ่งของเครื่องมือวัดและการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรม การสอบเทียบคือการปรับเทียบระหว่างค่าที่ต้องการของอินพุตและเอาต์พุตของเครื่องมือซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับมาตรฐานของตัวอ้างอิง (Reference Standard) เพื่อรับรองอุปกรณ์หรือเครื่องมือวัดว่าทำงานด้วยความถูกต้องแม่นยำและอยู่ในขอบเขตที่ต้องการภายใต้สภาพแวดล้อมที่กำหนด เครื่องมือสอบเทียบทำให้โรงงานและกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ต่างๆ มีคุณภาพตามความต้องการตลอดจนสามารถแสดงจุดบกพร่องและความคลาดเคลื่อนต่างๆ ให้เห็นได้

การสอบเทียบจะต้องกระทำเป็นระยะๆ เพื่อทดสอบความถูกต้องในการทำงานของเครื่องมือหรือระบบและกำหนดการใช้งานที่เป็นมาตรฐาน การสอบเทียบจะเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือวัดให้มีมาตรฐานและเป็นที่ยอมรับตามมาตรฐานของตัวสอบเทียบและมาตรฐานของสภาพแวดล้อม การสอบเทียบไม่ได้เป็นการรับประกันการทำงานของเครื่องมือแต่จะทำให้การวัดมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้นหรือทำให้การทำงานที่ต้องใช้อุปกรณ์เหล่านี้มีความถูกต้องแม่นยำ น่าเชื่อถือและอยู่ในขอบเขตที่กำหนด ถ้าอุปกรณ์หรือเครื่องมือวัดมีการปรับตั้งค่าใหม่ ซ่อมแซม เปลี่ยนแปลง หรือมีการใช้งานผิดๆ ควรจะต้องทำการสอบเทียบเครื่องมือเหล่านั้นใหม่เสมอ

2.5 ระบบดักข้อมูล (Data Acquisition) [8]

ระบบดักข้อมูล (Data Acquisition System : DAQ) เป็นการเก็บรวบรวมวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยทดลองวิทยาศาสตร์และทดสอบงานวิศวกรรมเชิงคุณภาพและประสิทธิภาพผ่านคอมพิวเตอร์โดยมีความแตกต่างจากงานระบบคอมพิวเตอร์ทั่วไปตรงที่มีฮาร์ดแวร์พิเศษเพื่อตรวจจับสัญญาณทางกายภาพทางวิทยาศาสตร์ อาทิ อุณหภูมิ ความดันอากาศ หรืออัตราการไหล แล้วแปลงสู่ระบบคอมพิวเตอร์ผ่านซอฟต์แวร์ประยุกต์ที่พัฒนาตามคุณลักษณะของงานวิจัยทดลองนั้นๆ ในลักษณะเวลาจริง (Real-Time) ซึ่งในอดีตมักใช้เป็นระบบเฉพาะเจาะจงลงไปตามประเภทงานไม่สามารถใช้งานร่วมกับงานวิจัยอื่นได้ทั้งยังมีราคาที่สูงมาก ทว่าด้วยความสามารถของคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลในปัจจุบัน ประกอบกับการใช้งานที่ง่ายขึ้นของซอฟต์แวร์ระบบปฏิบัติการในลักษณะที่เป็นวินโดวส์หรือเป็นกราฟิก ทำให้การประยุกต์เพื่อนำคอมพิวเตอร์มาใช้ในงานด้านดักข้อมูลวิชานี้มีความเป็นไปได้โดยไม่ยุ่งยาก และให้ความคล่องตัวกับนักวิทยาศาสตร์ นักวิจัยทดลองและวิศวกร เพื่อพัฒนาระบบงานดังกล่าวได้เองจากฮาร์ดแวร์พิเศษและซอฟต์แวร์งานด้านดักข้อมูลวิชานี้ที่มีให้เลือกมากมายหลากหลายผู้ผลิต และสามารถใช้งานร่วมกันได้โดยส่วนใหญ่ทำให้ราคาระบบโดยรวม มีราคาไม่สูง และให้ประสิทธิผลในการพัฒนาประเทศเชิงเทคโนโลยีได้ดีกว่า

2.5.1 การประยุกต์ใช้งานกับระบบดาต้าแอ็กควิซิชัน

การนำเอาระบบดาต้าแอ็กควิซิชันมาประยุกต์ใช้ในงานวัดและทดสอบอัตโนมัติเพื่องานวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมนั้นสามารถกระทำได้หลากหลายมาก เนื่องจากผู้พัฒนาระบบหรือผู้วิจัยสามารถเพิ่มเติมปรับแต่งและกำหนดค่าได้ตามแต่ลักษณะของซอฟต์แวร์ประยุกต์นั้นๆ ในหน้าที่หลักของซอฟต์แวร์คือเก็บรวบรวมข้อมูลจากอุปกรณ์วัดหรือตัวตรวจจับ (Sensor) มาเก็บไว้เป็นฐานข้อมูลแล้วทำการแสดงผลข้อมูลที่ได้รับตามเวลาจริงที่หน้าจอแสดงผล ในลักษณะภาพกราฟิก สามารถป้อนข้อมูลตั้งค่าวัดและทดสอบได้ นำข้อมูลที่รวบรวมได้มาประมวลผลวิเคราะห์ตามเงื่อนไขฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ออกมาเป็นกราฟสรุป คุณลักษณะของกลุ่มข้อมูลจากการสุ่ม การประยุกต์ใช้งานในระบบงานดาต้าแอ็กควิซิชัน พอยกเป็นตัวอย่างได้ดังนี้

ก. ในงานวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

ระบบวัดทางไฟฟ้าเบื้องต้น, วัดการสื่อสารข้อมูลดิจิทัล, การทดลองทฤษฎีงานควบคุม, งานประมวลผลสัญญาณ (Signal Processing), ทดลองหลักการคอมพิวเตอร์และการเชื่อมโยงข้อมูลภายนอก

ข. ในงานวิศวกรรมเครื่องกล

ระบบวัดและทดสอบอัตโนมัติ, งานทดลองกลศาสตร์ของไหล, งานทดสอบการส่งถ่ายความร้อนและมวลสาร, ระบบควบคุมอัตโนมัติ

ค. ในงานวิทยาศาสตร์ฟิสิกส์

ระบบวัดค่ากายภาพวิทยาศาสตร์ ได้แก่ แรง, ความดัน, น้ำหนัก และอุณหภูมิ, ระบบวัดสนามแม่เหล็กและทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้า, เลเซอร์

ง. ในงานชีวภาพ

งานทดสอบโมเดลถ่ายทอดพันธุ์, ระบบงานรวบรวมข้อมูลการเคลื่อนไหวทางกายภาพ, การวัดการขยายตัวของออกซิเจน, มิเตอร์วัดค่าความเป็นกรด – ด่าง (ph), การวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (ECG, EKG: Electro Cardiogram), งานทดสอบโครงสร้างและสมรรถภาพกล้ามเนื้อ

จ. ในงานวิศวกรรมเคมี

การวัดแคลอรีเผาผลาญ, งานวิเคราะห์สารทางเคมีแบบดิจิทัล, การวัดไอโซโทป (Half-life of Isotopes), งานพัฒนาสเปกโตรโฟโตมิเตอร์, งานวิเคราะห์ผังโมเลกุลโทโปกราฟี (Topography), งานทดสอบการเชื่อมผ่านถ่ายความร้อนสาร

ฉ. ในงานประมวลผลคณิตศาสตร์

การคำนวณเชิงพีชคณิต, การจัดวางค่าที่ให้ผลดีที่สุด, การอินทิเกรต และดิฟเฟอเรนเชียล, การแปลงรูปสมการคณิตศาสตร์

ดังนั้นด้วยการใช้ระบบดาต้าแอ็กควิซิชัน จึงสามารถพัฒนาระบบการวัดและทดสอบอัตโนมัติหลากหลาย ที่สามารถครอบคลุมไปถึงการพัฒนากระบวนการผลิต และระบบการทดสอบ

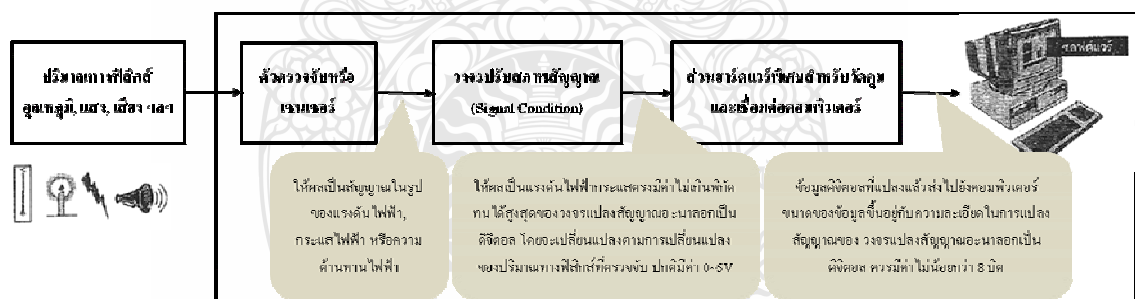
อัตโนมัติในอุตสาหกรรมต่างๆ อีกด้วย ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมอาหาร, อุตสาหกรรมอุปกรณ์สื่อสาร, อุตสาหกรรมรถยนต์, อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจอย่างยิ่งที่จะต้องทำความเข้าใจในการทำงาน ไปจนถึงสามารถที่จะพัฒนาระบบดาต้าแอกควิซชันอย่างง่ายขึ้นใช้เอง

2.5.2 ส่วนประกอบสำคัญของระบบดาต้าแอกควิซชัน

ในรูปที่ 2.17 แสดงไคอะแกรมการทำงานเบื้องต้นของระบบดาต้าแอกควิซชัน มีส่วนประกอบสำคัญ 4 ส่วนคือ

ก. ส่วนชุดตรวจจับสัญญาณกายภาพ

ชุดตรวจจับสัญญาณกายภาพ หรือ ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) คือ ตัวแปลงสัญญาณทางกายภาพ เช่น อุณหภูมิ ความดัน ระดับของไหล ความยาว ตำแหน่งการเคลื่อนที่ ฯลฯ ให้เป็นในรูปสัญญาณทางไฟฟ้านั่นเอง หรือบางครั้งเรียกอุปกรณ์เหล่านี้ว่า ตัวตรวจจับ (Sensor) ซึ่งมีด้วยกันหลายรูปแบบ อาทิ เทอร์มิสเตอร์ (Thermistor), ตัวตรวจจับอุณหภูมิให้ผลเป็นค่าความต้านทานไฟฟ้า (RTDs : Resistance Temperature Detectors), ตัวตรวจจับการไหล (Flow Sensor), ตัวตรวจจับความดัน (Pressure Sensor), สเตรนเกจวัดแรงเค้น (Strain Gauges), โหลดเซลล์น้ำหนัก (Load Cell) และ LVDT ซึ่งใช้วัดค่าของอัตราการไหล การเปลี่ยนความดัน แรงกด หรือ ระยะทาง เป็นต้น



รูปที่ 2.17 ไคอะแกรมการทำงานเบื้องต้นของระบบดาต้าแอกควิซชัน

ข. ส่วนปรับสภาพสัญญาณ

หน้าที่หลักของส่วนปรับสภาพสัญญาณนี้คือ ปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากชุดตรวจจับก่อนส่งสัญญาณต่อไปยังฮาร์ดแวร์ ที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ ซึ่งอาจมีความจำเป็นต้องปรับสเกลสัญญาณ, ขยายขนาดสัญญาณ, แปลงรูปสัญญาณให้เป็นเชิงเส้น (Linearization), กรองคลื่นสัญญาณ, การแยกกราวด์ของสัญญาณ (Common-Mode Rejection) และทำการกระตุ้นสัญญาณ

หน้าที่เด่นของส่วนปรับสภาพสัญญาณคือ ขยายขนาดสัญญาณ (Amplify) เพราะโดยส่วนใหม่สัญญาณที่ได้จากชุดตรวจจับจะมีขนาดสัญญาณที่ต่ำมาก มีขนาดแรงดันไฟฟ้าในหน่วยมิลลิโวลต์ (Millivolt : mV) หรือ 1/1000 V และมักมีสัญญาณรบกวนจากแหล่งจ่ายไฟปะปนมา ซึ่งอาจรบกวนสัญญาณด้านอินพุต ในขณะที่สัญญาณเข้าสู่ระบบ ทำให้ค่าสัญญาณที่วัดไม่ถูกต้องและไม่เที่ยงตรง

นอกจากนั้นวงจรปรับสภาพสัญญาณยังใช้ในการแปลงสัญญาณไฟฟ้าที่ไม่ได้อยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้า เช่น กระแสไฟฟ้า หรือ ความต้านไฟฟ้ามาอยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอก เป็นดิจิทัลที่อยู่ในฮาร์ดแวร์พิเศษสำหรับวัดค่า อาทิ แปลงค่ากระแสไฟฟ้า 4-20 mV จากตัวตรวจจับที่ให้ผลแบบกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้าตรง 0-5 V หรือปรับแรงดันไฟฟ้าตรงจากตัวตรวจจับที่ให้ผลเป็นแรงดัน -10 V ถึง +10 V เป็น 0-5 V เป็นต้น

ค. ส่วนฮาร์ดแวร์พิเศษเพื่อวัดค่าและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

ฮาร์ดแวร์ที่ใช้วัดค่าและเชื่อมต่อเพื่อส่งผ่านสัญญาณเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์นั้น มีอยู่ 2 แบบหลักๆ คือ แบบการ์ดเสียบ (Plug-in DAQ Cards) และ แบบเชื่อมต่อภายนอก (External DAQ System) โดยในแบบการ์ดเสียบติดตั้งลงบนสล็อตขยายของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีไว้สำหรับติดตั้งฮาร์ดแวร์พิเศษเพิ่มเติม ซึ่งการติดต่อของการ์ดเสียบนี้จะกระทำผ่านบัส ISA สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์รุ่นเก่า หรือผ่านบัส PCI สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์สมัยใหม่ ส่วนแบบเชื่อมต่อภายนอกจะใช้พอร์ตสื่อสารมาตรฐาน ซึ่งได้แก่พอร์ตอนุกรม RS-232, พอร์ตขนาน IEEE1284 (ซึ่งก็คือ พอร์ตขนานสำหรับติดต่อกับเครื่องพิมพ์หรือพอร์ตเครื่องพิมพ์นั่นเอง), พอร์ตขนาน IEEE488 หรือบัส GPIB รวมถึงบัสแบบ VXI แทนการเสียบการ์ด มักใช้กับงานสนามที่ต้องพกพาแยกส่วนอุปกรณ์ เพื่อความสะดวกและถอดเปลี่ยน

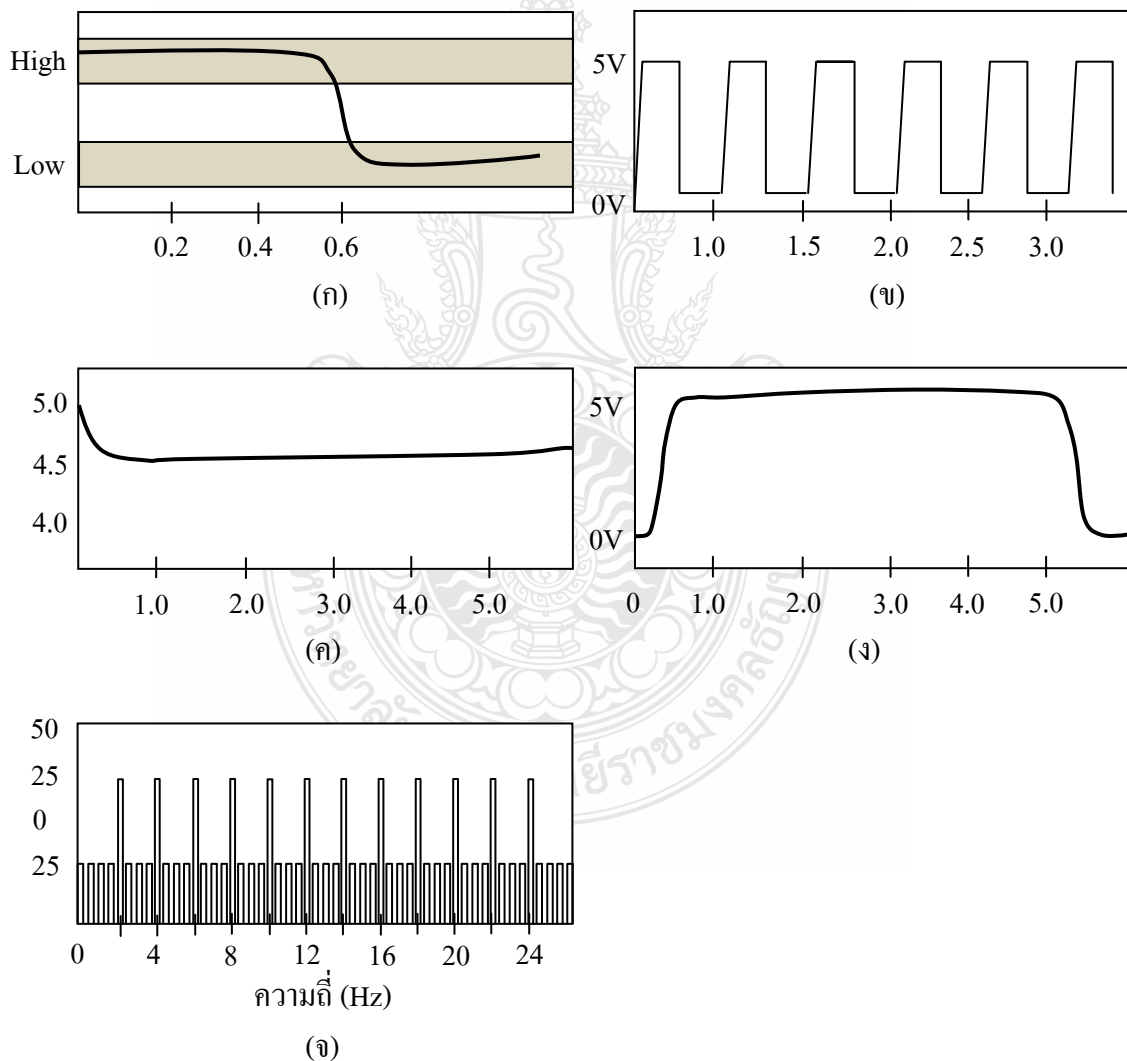
ในส่วนฮาร์ดแวร์พิเศษเพื่อวัดค่าและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์นี้ อาจกำหนดให้ทำหน้าที่เพียงอย่างเดียว หรือมากกว่านั้น เพื่อรับค่าสัญญาณอะนาลอกอินพุต (Analog Input) ส่งค่าสัญญาณอะนาลอกเอาต์พุต (Analog Output) รับค่าสัญญาณดิจิทัลอินพุต (Digital Input) ส่งค่าสัญญาณดิจิทัลเอาต์พุต (Digital Output) และทำการนับจำนวนหรือจับเวลา (Counter/Time) แล้วแต่ผู้ผลิตฮาร์ดแวร์น่าจะกำหนดให้มีฟังก์ชันใดบ้าง และมีความละเอียดหรือตอบสนองได้เร็วเพียงไร

ง. ซอฟต์แวร์ในระบบดาต้าแอกควิชชัน

ส่วนประกอบนี้จะขึ้นอยู่กับผู้พัฒนาระบบเป็นหลัก นั่นคือ ความถนัดในการใช้งานของซอฟต์แวร์และการเขียนโปรแกรม โดยปัจจุบันผู้ผลิตฮาร์ดแวร์สำหรับงานดาต้าแอกควิชชัน มักรองรับทั้งการเลือกใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูป และมีไดรเวอร์สนับสนุนหรือทูลซอฟต์แวร์อย่าง OCX สำหรับภาษาพัฒนาโปรแกรมต่างๆ อาทิ เช่น ภาษา Visual BASIC, Visual C หรือ Delphi เพื่อให้สามารถพัฒนาโปรแกรมเองได้อีกด้วย

2.5.3 ลักษณะสัญญาณในระบบดาต้าแอกควิชชัน

เพื่อให้่ายต่อการทำความเข้าใจ อาจเปรียบเทียบระบบดาต้าแอกควิชชัน เป็นเหมือนบล็อกจำนวนทางฟิสิกส์หรือโมเดลทางคณิตศาสตร์ ที่เมื่อมีอินพุตใดๆ ส่งเข้ามาที่บล็อกนี้ จะได้ข้อมูลเอาต์พุต 5 ลักษณะ คือค่าสถานะดิจิทัล (State), อัตราส่วน (Rate), ระดับสัญญาณ (Level), รูปร่าง (Shape) และ ความถี่ (Frequency Content) ดังแสดงที่มาของข้อมูลจากสัญญาณตามรูปที่ 2.18 ค่าสถานะดิจิทัลได้มาจากสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณลอจิก ดังในรูปที่ 2.18 (ก) อัตราส่วนของสัญญาณสามารถพิจารณาจากสัญญาณขบวนพัลส์ ดังในรูปที่ 2.18 (ข) ระดับสัญญาณพิจารณาได้จากสัญญาณไฟตรง ดังในรูปที่ 2.18 (ค) รูปร่างพิจารณาได้จากสัญญาณที่เกิดขึ้นโดยอ้างอิงกับเวลา (Time Domain) ดังในรูปที่ 2.18 (ง) ข้อมูลความถี่พิจารณาได้จากสัญญาณที่เกิดขึ้นโดยอ้างอิงในเชิงของความถี่ (Frequency Domain) ดังในรูปที่ 2.18 (จ)



รูปที่ 2.18 ตัวอย่างสัญญาณที่เกิดขึ้นในระบบดาต้าแอกควิชชัน ซึ่งสามารถให้ข้อมูล 5 ประเภท สำหรับประมวลผล

อย่างไรก็ตามในระบบค้ำาแอกควิชชัน ได้กำหนดลักษณะสัญญาณทั้งด้านอินพุต และ เอาต์พุต เป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ สัญญาณแบบดิจิทัล และสัญญาณแอนะล็อก

2.5.4 สัญญาณแบบดิจิทัล

สัญญาณดิจิทัลในระบบค้ำาแอกควิชชันมี 2 แบบ คือค่าสถานะ (State) และ อัตราส่วน (Rate) โดยค่าสถานะด้านอินพุต คือการอ่านค่าสถานะเปิดหรือปิด (อาจพิจารณาเป็น “1” หรือ “0” แทนการ “เปิด” และ “ปิด” ก็ได้) จากอุปกรณ์ประเภทสวิตช์ และถ้าพิจารณาทางด้าน เอาต์พุตก็จะเป็นการส่งค่าเปิด/ปิด ไปยังอุปกรณ์อย่างรีเลย์ หรือ วาล์ว

สัญญาณอีกแบบหนึ่ง คือ สัญญาณแบบอัตราส่วน มักเป็นการอ่านค่าพัลส์จากอุปกรณ์ จำพวก เอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder) หรือตัวเข้ารหัสและอ่านค่าสัญญาณนาฬิกาจากอุปกรณ์ หรือวงจร กำเนิดสัญญาณภายนอก ถ้าพิจารณาทางด้านเอาต์พุตก็จะเป็นสัญญาณควบคุมความกว้างพัลส์ และความถี่เพื่อใช้ในการควบคุมการเคลื่อนตำแหน่งของมอเตอร์

2.5.5 สัญญาณอะนาล็อก

แบ่งได้ 3 แบบ คือ แบบสัญญาณไฟตรง (Analog DC Signals), แบบเปลี่ยนค่าตามเวลา (Time-Domain) และแบบเปลี่ยนค่าตามความถี่ (Frequency-Domain) ซึ่งตรงกับลักษณะของข้อมูลที่ต้องการวิเคราะห์ในแต่ละลักษณะ คือระดับสัญญาณ (Level) สำหรับสัญญาณไฟตรง, รูปลักษณ์ (Shape) สำหรับสัญญาณที่เปลี่ยนค่าตามเวลา และความถี่ (Frequency Content) สำหรับสัญญาณอะนาล็อกที่เปลี่ยนค่าตามความถี่

สัญญาณอะนาล็อกไฟตรง มักเป็นค่าที่ได้จากการวัดขนาดหรือระดับของสัญญาณ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณในเวลาที่ไม่เร็วมากนัก อาทิ ค่าอุณหภูมิ, ระดับของไหล, ความดัน, อัตราการไหล, น้ำหนัก เป็นต้น สามารถใช้วงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัล (ADC: Analog to Digital Converter) ที่มีอัตราการสุ่มสัญญาณไม่เร็วมากได้

สัญญาณอะนาล็อกแบบเปลี่ยนค่าตามเวลา เป็นสัญญาณที่วัดเพื่อพิจารณาลักษณะรูปสัญญาณเป็นหลัก อาทิ สัญญาณคลื่นหัวใจมนุษย์ (ECG) ซึ่งมีความจำเป็นต้องใช้วงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัลที่มีความเร็วในการสุ่มสัญญาณสูง และอาจต้องมีฮาร์ดแวร์พิเศษเพื่อให้ค่าเวลาที่ได้จากรูปสัญญาณมีความเที่ยงตรง

สัญญาณอะนาล็อกแบบเปลี่ยนค่าตามความถี่ ได้แก่สัญญาณความถี่วิทยุ (Radio Frequency: RF) และสัญญาณคลื่นเสียง เป็นต้น ในการวิเคราะห์จำเป็นต้องมีฮาร์ดแวร์พิเศษเพื่อช่วยวิเคราะห์อย่าง DSP (Digital Signal Processing) ทำงานร่วมกับวงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัลด้วย

2.5.6 การวัดสัญญาณในระบบดาต้าแอกควิชชัน

หลักการวัดสัญญาณแสดงดังในรูปที่ 2.19 สามารถทำได้ 3 ลักษณะ คือ

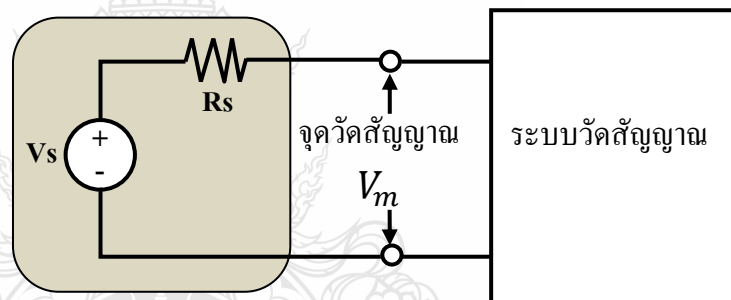
- ก. ดิฟเฟอเรนเชียล (Differential)
- ข. ซิงเกิล-เอนด์แบบเทียบกราวด์ (Referenced Single-Ended : RSE)
- ค. ซิงเกิล-เอนด์แบบไม่เทียบกราวด์ (Non-Referenced Single-Ended : NRSE)

โดยปกติบอร์ดปรับสภาพสัญญาณ (Signal Condition Board) และฮาร์ดแวร์พิเศษในภาครับสัญญาณอะนาล็อก มักจะประกอบด้วยวงจรมัลติเพล็กซ์ (Multiplexer) และวงจรขยายสัญญาณ (Amplifier) เพื่อรองรับสัญญาณอะนาล็อกอินพุตที่มีมากกว่า 1 ช่อง ถ้าหากเป็นการจัดวงจรพื้นฐานมักใช้อินพุตอะนาล็อก 16 ช่อง เมื่อใช้กราวด์ร่วมกัน แต่ถ้าหากกำหนดให้วัดสัญญาณอะนาล็อกในแบบดิฟเฟอเรนเชียล จะสามารถแบ่งช่องสัญญาณเป็น 8 คู่สัญญาณคือช่องอินพุตบวก (+) และอินพุตลบ (-) ดังแสดงในรูปที่ 2.20 ซึ่งการเชื่อมต่อสัญญาณวัดในลักษณะนี้จะทำให้ลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากสัญญาณอินพุตในแต่ละช่องไม่มีจุดสัญญาณร่วมกันเลย

แหล่งกำเนิดสัญญาณ

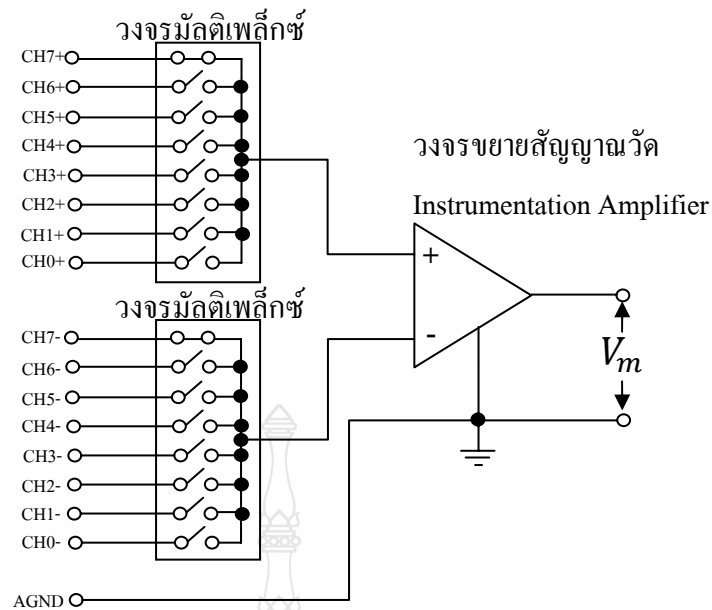
มีด้วยกัน 2 แบบ

1. แบบเทียบกราวด์
2. แบบไม่เทียบกราวด์

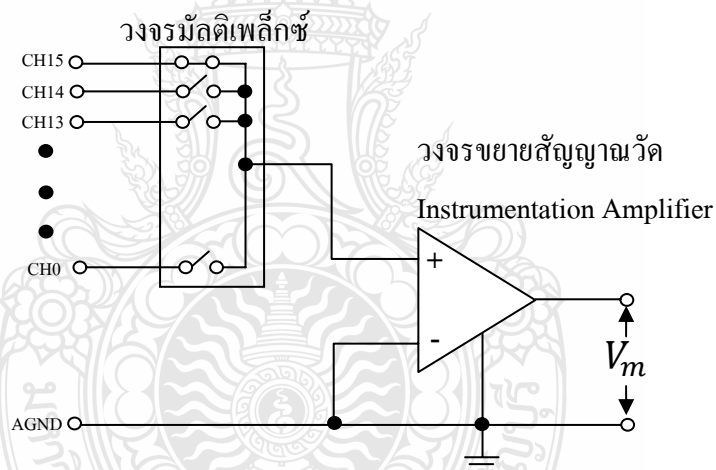


รูปที่ 2.19 รูปแบบพื้นฐานของการวัดสัญญาณในระบบดาต้าแอกควิชชัน

ส่วนการวัดแบบซิงเกิล – เอนด์เทียบกราวด์ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.21 เป็นรูปแบบการวัดพื้นฐานที่ง่าย นั่นคือ นำสัญญาณอะนาล็อกเชื่อมต่อเข้าไปในช่องอินพุตอะนาล็อก แต่ละช่องเลยโดยมีจุดกราวด์เป็นจุดเทียบ ด้วยวิธีการนี้อาจมีโอกาสเกิดกราวด์ลูป (Ground Loop) และมีสัญญาณรบกวนได้ จึงต้องพึงระมัดระวังและมั่นใจว่าสัญญาณอินพุตเป็นแบบกราวด์ลอยและสายสัญญาณวัดควรตีเกลียวมีความยาวไม่เกิน 15 ฟุต และมีสายชีลด์หุ้มสายสัญญาณไว้ด้วย

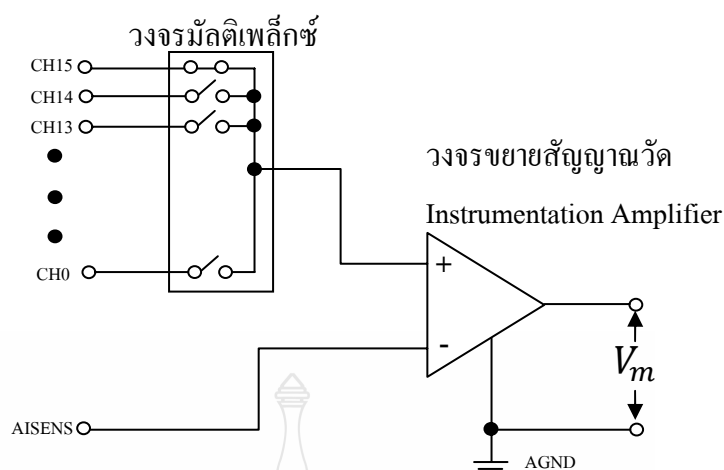


รูปที่ 2.20 โค้ดแกรมการวัดสัญญาณ แบบดิฟเฟอเรนเชียลในระบบดาต้าเอกซิชัน



รูปที่ 2.21 การวัดสัญญาณแบบซิงเกิล-เอนด์เทียบกราวด์ในระบบดาต้าเอกซิชัน

ในขณะที่การวัดแบบซิงเกิล-เอนด์ที่ไม่เทียบกราวด์ เป็นการแยกสัญญาณชั่วลบ ของภาคขยายออกจากกราวด์ของระบบ ดังรูปที่ 2.22 อันเป็นการช่วยให้ปัญหาจากกราวด์ลูปลดลง แต่แบบนี้ไม่เป็นที่นิยม จึงมีผู้ผลิตฮาร์ดแวร์น้อยรายที่ทำให้การรองรับการวัดสัญญาณแบบนี้ ผู้พัฒนาระบบ จำเป็นต้องตรวจสอบจากคู่มือของฮาร์ดแวร์ของผู้ผลิตด้วย



รูปที่ 2.22 การวัดสัญญาณแบบซิงเกิล-เอนด์ ไม่เทียบกราวด์ในระบบคานาแอกควิซชัน

2.5.7 กราวด์กับการวัดค่าสัญญาณ

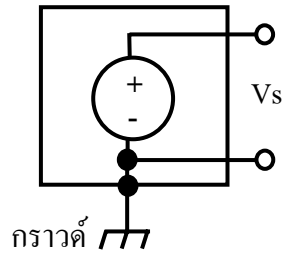
สัญญาณรบกวนในระบบคานาแอกควิซชัน สามารถเกิดขึ้นได้เสมอ ในส่วนประกอบหลักของระบบ ไม่ว่าจะเป็นสัญญาณอินพุตที่เข้ามาจากตัวทรานสดิวเซอร์ หรือตัวตรวจจับ และวงจรขยายในส่วนปรับสภาพสัญญาณ สัญญาณรบกวน โดยส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับกราวด์ของระบบ ซึ่งพอจะแยกประเด็นในการพิจารณาได้ 3 ประการคือ

ก. ธรรมชาติของแหล่งจ่ายสัญญาณนั้นกำหนดให้ใช้สายกราวด์ร่วม หรือสายกราวด์ลอย

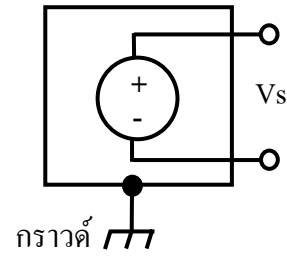
ข. กำหนดการวัดและขยายสัญญาณไว้ในลักษณะใด ระหว่างแบบดิฟเฟอเรนเชียล (Differential) หรือแบบซิงเกิล-เอนด์ (Single-Ended)

ค. จัดการเชื่อมต่อสายกราวด์ในระบบเป็นแบบต่อถึงกันหมด หรือแยกระหว่างภาครับและวงจรขยายสัญญาณ

กำหนดลักษณะของสัญญาณเพื่อเปรียบเทียบมีด้วยกัน 2 ลักษณะ คือสัญญาณเทียบกราวด์และแบบกราวด์ลอย ดังแสดงในรูปที่ 2.23 สัญญาณเทียบกราวด์เป็นสัญญาณที่วัดค่าได้เมื่อเปรียบเทียบกับกราวด์ มักเป็นอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเพื่อจ่ายสัญญาณ อาทิ แหล่งจ่ายไฟ และอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณ ส่วนสัญญาณกราวด์ลอยมักเป็นสัญญาณที่มีค่าสัมบูรณ์ในตัวเอง ไม่จำเป็นต้องเทียบกับกราวด์ เช่น แรงดันของแบตเตอรี่, เทอร์โมคัปเปิล, หม้อแปลง, ภาคขยายแบบแยกส่วน เป็นต้น



(ก) แหล่งกำเนิดสัญญาณแบบมีกราวด์



(ข) แหล่งกำเนิดสัญญาณแบบกราวด์ลอย

รูปที่ 2.23 ลักษณะของแหล่งกำเนิดสัญญาณที่ป้อนเข้ามาทางอินพุต

2.6 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล [8]

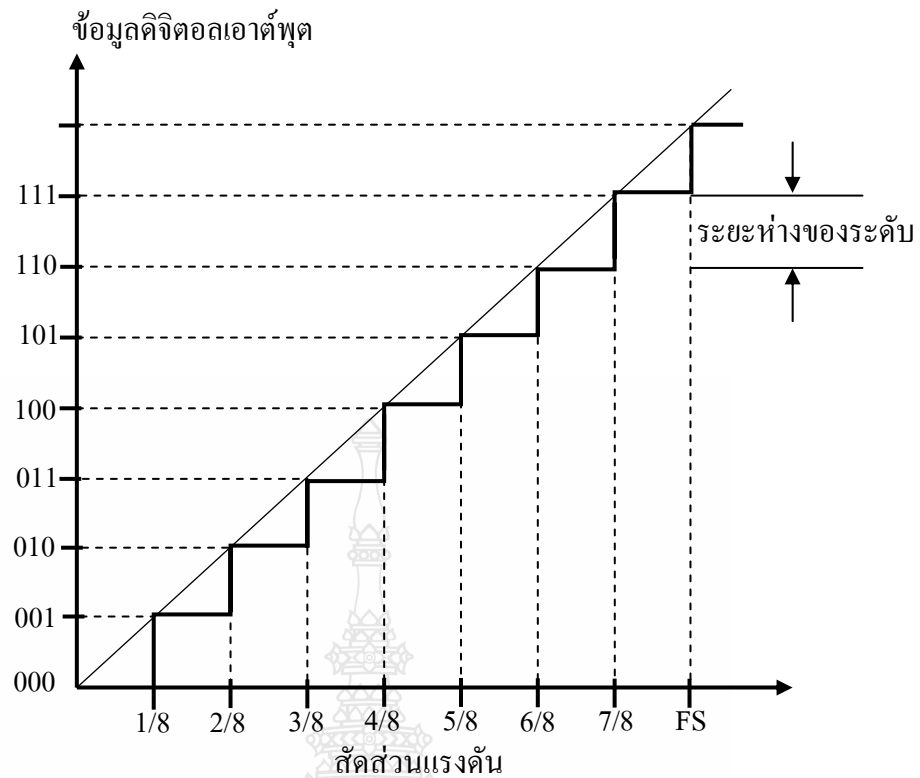
กระบวนการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสัญญาณไฟฟ้าที่เป็นสัญญาณอนาลอกกับข้อมูลตัวเลขที่ใช้แทนสัญญาณดิจิทัล ความแม่นยำของการแปลงจะขึ้นอยู่กับจำนวนบิตของข้อมูลดิจิทัล วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลขนาด n บิต จะเกิดข้อมูลดิจิทัลจำนวน 2^n ข้อมูล ยกตัวอย่างวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล 3 บิต ก็จะทำให้เกิดข้อมูลดิจิทัลทางเอาต์พุตทั้งสิ้น 8 ข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 2.24 ระยะห่างของแต่ละข้อมูลจะเป็นตัวกำหนดความแม่นยำของการแปลงสัญญาณ กระบวนการที่ทำหน้าที่ตีความระดับสัญญาณอนาลอกว่าตรงกับข้อมูลดิจิทัลใดเรียกว่า กระบวนการควอนไทซ์ (Quantizing)

ระยะห่างของระดับข้อมูลดิจิทัลในวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$\text{ระยะห่างของระดับแรงดัน} = V_{LSB} = \frac{V_{FS}}{2^n} \quad (2.32)$$

โดยที่ V_{FS} คือแรงดันเต็มสเกล หรือแรงดันสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ในวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล ปกติมีค่าเท่ากับไฟเลี้ยง

ถ้าหาก V_{FS} ของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกดิจิทัล 3 บิต มีค่าเท่ากับ 5 V ระยะห่างของระดับข้อมูลดิจิทัลเท่ากับ $5/8 = 0.625$ V ข้อมูลดิจิทัลสูงสุดในรูปที่ 2.24 คือ 1112 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 710 ดังนั้นที่ข้อมูลดิจิทัลสูงสุดของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล 3 บิต จะมีค่าเทียบกับแรงดันอนาลอกทางอินพุตเท่ากับ $(7/8) \times 5 \text{ V} = 4.37 \text{ V}$



รูปที่ 2.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตกับข้อมูลดิจิทัลเอาต์พุต

เมื่อเป็นเช่นนี้จึงสามารถที่จะกำหนดความสัมพันธ์ของแรงดันอะนาล็อกอินพุตกับข้อมูลดิจิทัลสูงสุดในวงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัล ไม่ว่าจะเป็นที่บิตก็ตามได้ดังนี้

$$\text{แรงดันอะนาล็อกอินพุตที่ทำให้เกิดข้อมูลดิจิทัลสูงสุด} = V_{FS} - V_{LSB} \quad (2.33)$$

โดยที่ V_{FS} คือแรงดันเต็มสเกลหรือแรงดันสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ในวงจร

แปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัล ปกติมีค่าเท่ากับไฟเลี้ยง

V_{LSB} คือระยะห่างของระดับแรงดันที่ข้อมูล 1 บิต หรือค่าแรงดันที่ข้อมูลดิจิทัลเท่ากับ 1

ในวงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัล 3 บิต ค่าแรงดัน V_{LSB} เท่ากับ 0.625 V ถ้าหากจำนวนบิตของวงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัลมีมากขึ้นค่าของแรงดัน V_{LSB} จะลดลงทำให้ความแม่นยำของการแปลงสัญญาณมีมากขึ้น และส่งผลให้ที่ข้อมูลดิจิทัลสูงสุด เมื่อเทียบกับแรงดันอะนาล็อกทางอินพุต จะมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น ยกตัวอย่างวงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัล 8 บิต จะมีค่า V_{LSB} เท่ากับ $(5/2^8) \times 5 = 0.0195$ V

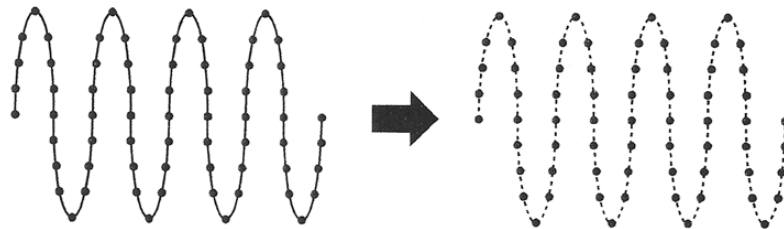
ดังนั้นที่ข้อมูลดิจิทัลสูงสุดคือ 11111112 หรือ FFH จะมีค่าเทียบเท่ากับแรงดันอะนาลอกเป็น $5 - 0.0195 = 4.9805 \text{ V}$ ถ้าเพิ่มเป็น 10 บิต แรงดันอะนาลอกที่ข้อมูลดิจิทัลสูงสุดจะเป็น 4.9951 V

2.6.1 ความเที่ยงตรงของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัล

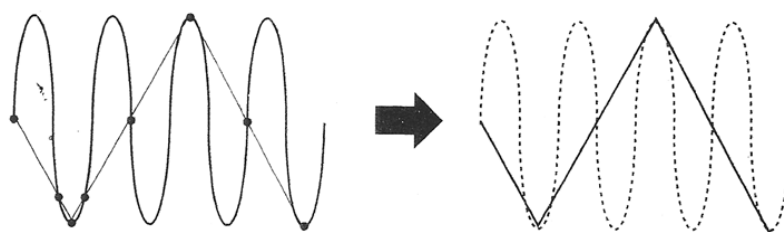
เป็นการเปรียบเทียบแรงดันอะนาลอกของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัลกับแรงดันที่ควรเกิดขึ้นจริง ยกตัวอย่าง ที่ข้อมูลดิจิทัลสูงสุดของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัลขนาด 8 บิต เมื่อเทียบเป็นแรงดันอะนาลอกควรมีค่าเท่ากับ 5.0000 V แต่จากการคำนวณตัวอย่างก่อนหน้านี้ได้ค่าแรงดัน 4.9804 V คือเกิดความผิดพลาดไป 0.0195 V หรือ 19.5 mV แต่การบอกค่าความเที่ยงตรงของวงจร แปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัล มักระบุเป็นจำนวนที่เทียบกับ V_{LSB} ดังนั้นในวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัลขนาด 8 บิต ที่ยกเป็นตัวอย่างนี้จึงมีค่าความเที่ยงตรง (หรือบางทีเรียกเป็นค่าความผิดพลาด) เป็น $\pm 0.5LSB$

2.6.2 อัตราการสุ่มสัญญาณ

การสุ่มสัญญาณอะนาลอกตามทฤษฎีบทของไนควิสต์นั้น (Nyquist Theorem) กล่าวไว้ว่าอัตราการสุ่มสัญญาณจะต้องมีค่าสูงกว่าความถี่สูงสุดของสัญญาณวัดอย่างน้อย 2 เท่า อาทิเช่น การวัดความถี่เสียง ซึ่งมีย่านความถี่สูงสุดที่ 20 kHz ดังนั้นต้องใช้วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัลที่มีอัตราสุ่มสัญญาณอย่างน้อย 2 เท่าของสัญญาณวัด คือ มากกว่า 40 kHz ซึ่งหากการสุ่มของสัญญาณไม่เร็วพอก็อาจทำให้การอ่านข้อมูลที่เกิดขึ้นผิดพลาดได้ ดังรูปที่ 2.25



(ก) ถ้าอัตราการสุ่มสัญญาณสูงมากเพียงพอสัญญาณที่ได้จะใกล้เคียงกับสัญญาณอินพุตมาก



(ข) แต่ถ้าอัตราการสุ่มสัญญาณต่ำ สัญญาณที่ได้จะผิดเพี้ยนไปจากสัญญาณอินพุตมาก

รูปที่ 2.25 ผลของการสุ่มสัญญาณด้วยอัตราที่แตกต่างกัน

2.6.3 ความสามารถในการวัดสัญญาณด้วยวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล

การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลเป็นการนำเอาค่าจำนวนบิตมาแทนค่าวัดอนาลอก ดังนั้นความละเอียดของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลจึงแปรผันตรงขึ้นอยู่กับจำนวนบิตของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลนั่นเอง ในวงจร ADC แบบ 3 บิต จะสามารถสร้างข้อมูลแทนค่าแรงดันอนาลอกได้ 8 ค่า ความละเอียดจะขึ้นอยู่กับค่าของแรงดันอินพุตด้วย ในกรณีที่สัญญาณอนาลอกอินพุตมีค่าสูงสุด 10 V ความละเอียดจะอยู่ที่ 1.25 V ต่อ 1 ค่า ดังนั้นวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลขนาด 8 บิต จึงมีละเอียด 256 ค่า, ขนาด 12 บิต มีความละเอียด 4,096 ค่า และขนาด 16 บิต มีความละเอียด 65,536 ค่า จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าถ้าจำนวนบิตของวงจรแปลงสัญญาณมากเท่าไรก็จะทำให้ความละเอียด ในการแทนค่าแต่ละค่าได้ละเอียดมากขึ้น

2.6.4 ย่านวัดค่าสัญญาณ

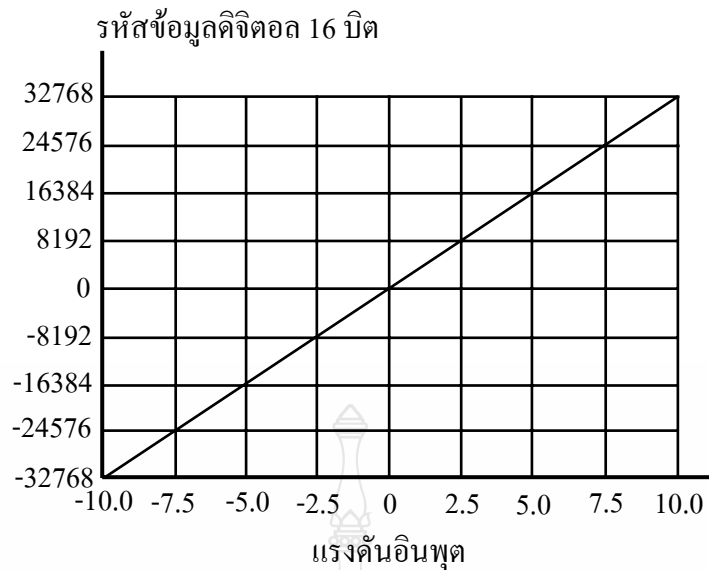
คือช่วงแรงดันของสัญญาณที่วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลรับและวัดค่าได้ ซึ่งมักเลือกย่านวัดได้ทางโปรแกรม (Programmable Range) จากไลบรารีไดรเวอร์ซอฟต์แวร์ของผู้ผลิตฮาร์ดแวร์ นอกจากนี้สามารถเลือกย่านวัดสัญญาณได้ทั้งแบบไบโพลาร์ (Bipolar) คือ มีย่านวัดแรงดันทั้งบวกและลบ เช่น ± 10 V, ± 20 mV หรือแบบยูนิโพลาร์ (Unipolar) คือ มีย่านวัดเป็นบวกเทียบกราวด์อย่างเดียว เช่น 0-5 V, 0-20 mV

2.6.5 ความเที่ยงตรงในการวัดสัญญาณ

แม้ว่าคุณสมบัติพื้นฐานของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลมีลักษณะตามที่กล่าวไว้ข้างต้น เช่นในภาครับอนาลอก 16 ช่องสัญญาณ ใช้วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกและดิจิทัล ขนาด 16 บิต อัตราสุ่ม 100 kHz ไม่ได้หมายความว่า ทั้ง 16 ช่องสัญญาณจะสุ่มรับสัญญาณได้ที่ 100 kHz และให้ความละเอียดได้ 16 บิต ทั้งหมดทุกช่องสัญญาณ เนื่องจากยังต้องพิจารณาถึงความเที่ยงตรง ในการวัดสัญญาณของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล ในด้านไม่เป็นเชิงเส้นของการแปลงสัญญาณ (Differential Nonlinearity: DNL), ความเที่ยงตรงในการวัดค่า (Relative Accuracy) และสัญญาณรบกวน (Noise) อีกด้วย

2.6.6 ความไม่เป็นเชิงเส้นของการแปลงสัญญาณ (Differential Nonlinearity: DNL)

การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล ADC ที่ดีนั้นต้องแปรผันตรงเมื่อเทียบระหว่างค่าช่วงแรงดันและช่วงแทนค่าดิจิทัล ดังรูปที่ 2.26 ซึ่งแสดงช่วงวัดสัญญาณแรงดัน ± 10 V กับวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล ขนาด 16 บิต ช่วงความละเอียด ± 32768 ซึ่งหากไม่มีความสัมพันธ์กันเป็นเชิงเส้นก็จะทำให้เพี้ยนได้ในค่าวัด ดังนั้นค่าผิดเพี้ยนเกี่ยวกับความเป็นเชิงเส้นของการแปลงสัญญาณในวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลต้องไม่เกิน ± 0.5 LSB



รูปที่ 2.26 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุต กับข้อมูลดิจิทัลที่มีความเป็นเชิงเส้นดีทำให้ข้อมูลดิจิทัลที่ได้จากวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัล มีความเที่ยงตรงมากขึ้น

2.6.7 ความเที่ยงตรงในการวัดค่า (Relative Accuracy)

ในการวัดค่าสัญญาณตลอดช่วงสัญญาณแรงดัน อาจมีค่าความเป็นเชิงเส้น DNL ที่ไม่เหมือนกันในแต่ละค่าสัญญาณแรงดัน ดังนั้นจึงต้องพิจารณาตลอดช่วงแรงดันไม่ให้ค่า DNL เกินกว่า 0.5LSB ตลอดย่านวัด จึงจะเป็นการแสดงให้เห็นถึงความเที่ยงตรงในการวัดค่าได้ดี ไม่ผิดเพี้ยน

2.6.8 สัญญาณรบกวน (Noise)

ค่าวัดได้ที่แตกต่างไปจากสัญญาณจริงเรียกว่า “สัญญาณรบกวน” เพราะสัญญาณรบกวนสามารถเกิดขึ้นได้ทุกจุดในการวัดค่าสัญญาณ ขึ้นอยู่กับการออกแบบทางฮาร์ดแวร์ที่มีการป้องกันการเกิดขึ้นของสัญญาณรบกวนได้แน่นอนหาเพียงใดไม่ว่าจะเป็นแผ่นพิมพ์วงจร, การชิลด์กราวด์สัญญาณ, วงจรขยายสัญญาณ (Instrumentation Amplifier) เป็นต้น ความผิดพลาดจากสัญญาณรบกวนไม่ควรเกินกว่า $\pm 3\text{LSB}$

2.7 การประมาณค่าในช่วง [9, 10]

เนื่องจากข้อมูลที่ต้องการศึกษามีจำนวนมากทำให้การหาค่าข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลเสียเวลาและเสียงบประมาณเป็นจำนวนมาก ดังนั้นเราจึงได้เลือกสุ่มข้อมูลมาจำนวนหนึ่งแล้วนำข้อมูลที่สุ่มได้มาทำการประมาณค่า การอนุมานในทางสถิติเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างหรือฟังก์ชันเพื่อใช้ในการอธิบายลักษณะของข้อมูลหรือฟังก์ชันนั้นๆ การประมาณค่าจึงเป็นส่วนหนึ่งของการอนุมานในทางสถิติ เมื่อเราต้องการทราบค่าฟังก์ชัน $f(x)$ ที่ตำแหน่ง x ใดๆ ซึ่งไม่มีในกลุ่ม

ข้อมูลก็สามารถหาค่าโดยการประมาณค่าด้วยวิธีการต่างๆ เช่นการประมาณค่าในช่วงเชิงเส้น การประมาณค่าในช่วงกำลังสอง การประมาณค่าในช่วงเส้นโค้งกำลังสาม (Cubic Spline Interpolation) เป็นต้น

2.7.1 การประมาณค่าในช่วงเชิงเส้น

การประมาณค่าในช่วงเชิงเส้น (Linear Interpolation) สามารถประมาณได้จากการเชื่อมต่อค่าข้อมูลสองข้อมูลโดยใช้เส้นตรงดังรูปที่ 2.27 และนำสมการเส้นตรงนี้ไปใช้ประมาณค่าที่ตำแหน่งใดๆ ซึ่งอยู่ระหว่างช่วงข้อมูลทั้งสอง เราสามารถหาค่าของฟังก์ชัน $f(x)$ ที่เป็นสมการเส้นตรงที่ใช้ในการประมาณค่าข้อมูลได้ดังนี้คือ

$$f(x) = S_0 + S_1(x - x_i) \quad (2.34)$$

โดยที่ S_0 และ S_1 เป็นค่าคงที่

เราสามารถคำนวณค่าคงที่ S_0 และ S_1 ได้ดังนี้

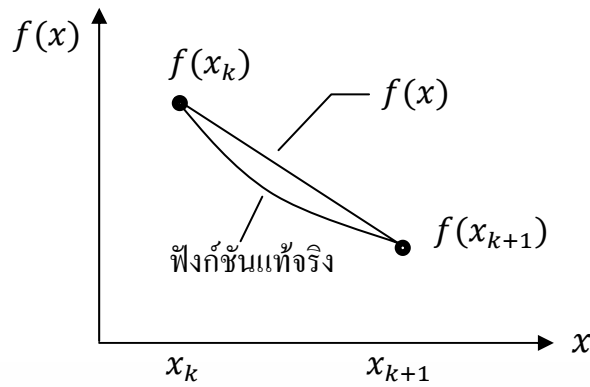
ที่ตำแหน่ง $x = x_k$ จะได้ $f(x) = S_0 + 0$

ที่ตำแหน่ง $x = x_{k+1}$ จะได้ $f(x_{k+1}) = S_0 + S_1(x_{k+1} - x_k)$

$$f(x_{k+1}) = f(x_k) + S_1(x_{k+1} - x_k)$$

ดังนั้น
$$S_1 = \frac{f(x_{k+1}) - f(x_k)}{x_{k+1} - x_k} \quad (2.35)$$

เพราะฉะนั้น
$$f(x) = f(x_k) + \frac{(x - x_k)}{x_{k+1} - x_k} \{f(x_{k+1}) - f(x_k)\} \quad (2.36)$$



รูปที่ 2.27 การประมาณค่าในช่วงเชิงเส้น

ตารางที่ 2.2 โปรแกรม MATLAB สำหรับการประมาณค่าในช่วงเชิงเส้น

คำสั่ง	รายละเอียด
YI=interp1(X,Y,XI)	การประมาณค่าในช่วงของฟังก์ชันที่จุด XI เมื่อ X เป็นเวกเตอร์ข้อมูลอินพุตและ Y เป็นเวกเตอร์ข้อมูลเอาต์พุตของฟังก์ชัน
YI=interp1(X,Y,XI,'linear')	การประมาณค่าในช่วงเชิงเส้นของฟังก์ชันที่จุด XI เมื่อ X เป็นเวกเตอร์ข้อมูลอินพุตและ Y เป็นเวกเตอร์ข้อมูลเอาต์พุตของฟังก์ชัน
Y=table1(tab,x0)	การประมาณค่าช่วงเชิงเส้นที่จุด x0 โดยใช้ข้อมูลจากตาราง tab ซึ่งมีสองหลัก โดยหลักแรกเป็นเวกเตอร์ข้อมูลอินพุต (x) และหลักที่สองเป็นเวกเตอร์ข้อมูลเอาต์พุต (y)

2.7.2 การประมาณค่าในช่วงกำลังสอง

การประมาณค่าในช่วงกำลังสอง (Quadratic Interpolation) จะมีวิธีการประมาณค่าคล้ายกับการประมาณค่าในช่วงเชิงเส้นแต่จะใช้ข้อมูล 3 ข้อมูลในการเชื่อมต่อกันดังรูปที่ 2.28 แล้วหาฟังก์ชันกำลังสองของข้อมูลที่ได้เชื่อมต่อกันเพื่อนำไปใช้ประมาณค่าที่ตำแหน่งใดๆ ซึ่งอยู่ระหว่างช่วงข้อมูล ฟังก์ชันกำลังสองที่หาได้นี้ต้องผ่านค่าข้อมูลทั้งสามซึ่งเราหาค่าของฟังก์ชัน $f(x)$ ที่เป็นฟังก์ชันกำลังสองที่ใช้ในการประมาณค่าข้อมูลได้ดังนี้

จากรูปแบบทั่วไปของฟังก์ชันกำลังสองหรือสมการกำลังสอง

$$f(x) = S_0 + S_1(x - x_k) + S_2(x - x_k)(x - x_{k-1}) \quad (2.37)$$

โดยที่ S_0, S_1 และ S_2 เป็นค่าคงที่

เราสามารถคำนวณค่าคงที่ S_0, S_1 และ S_2 จากตำแหน่งข้อมูล x_k, x_{k+1} และ x_{k+2} ได้ดังนี้

ที่ตำแหน่ง $x = x_k$ จะได้ $f(x_k) = S_0 + 0 + 0$

ที่ตำแหน่ง $x = x_{k+1}$ จะได้ $f(x_{k+1}) = S_0 + S_1(x_{k+1} - x_k)$

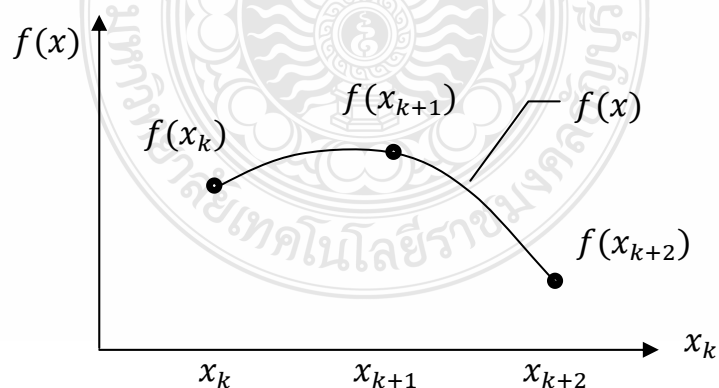
$$f(x_{k+1}) = f(x_k) + S_1(x_{k+1} - x_k)$$

ดังนั้น
$$S_1 = \frac{f(x_{k+1}) - f(x_k)}{x_{k+1} - x_k} \quad (2.38)$$

ที่ตำแหน่ง $x = x_{k+2}$ จะได้

$$f(x_{k+2}) = S_0 + S_1(x_{k+2} - x_k) + S_2(x_{k+2} - x_k)(x_{k+2} - x_{k+1})$$

$$S_2 = \frac{\frac{f(x_{k+2}) - f(x_{k+1})}{x_{k+2} - x_{k+1}} - \frac{f(x_{k+1}) - f(x_k)}{x_{k+1} - x_k}}{x_{k+2} - x_k} \quad (2.39)$$



รูปที่ 2.28 การประมาณค่าในช่วงกำลังสอง

2.7.3 การประมาณค่าในช่วงเส้นโค้งกำลังสาม

การประมาณค่าในช่วงเส้นโค้งกำลังสาม (Cubic Spline Interpolation) มีข้อดีคือมีลักษณะการกระจายแบบเว้าเข้าและเว้าออกที่ต่อเนื่องกัน ในช่วงระหว่างสองข้อมูลที่กำหนดทำให้สามารถคำนวณหาค่าประมาณข้อมูลในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงของการกระจายได้ดี

ตารางที่ 2.3 โปรแกรม MATLAB สำหรับการประมาณค่าในช่วงเส้นโค้งกำลังสาม

คำสั่ง	รายละเอียด
$YY=spline(X,Y,XX)$	การประมาณค่าในช่วงเส้นโค้งกำลังสามที่จุด xx เมื่อ X เป็นเวกเตอร์ข้อมูลอินพุตและ Y เป็นเวกเตอร์ข้อมูลเอาต์พุตของฟังก์ชัน
$YI=interp1(X,Y,XI,'spline')$	การประมาณค่าในช่วงเชิงเส้นของฟังก์ชันที่จุด XI เมื่อ X เป็นเวกเตอร์ข้อมูลอินพุตและ Y เป็นเวกเตอร์ข้อมูลเอาต์พุตของฟังก์ชัน

2.7.4 การประมาณค่าในช่วงกำลังสาม

โปรแกรม MATLAB มีฟังก์ชันสำหรับการประมาณค่าในช่วงกำลังสาม (Cubic Interpolation) คือ

ตารางที่ 2.4 โปรแกรม MATLAB สำหรับการประมาณค่าในช่วงกำลังสาม

คำสั่ง	รายละเอียด
$YI=interp1(X,Y,XI,'cubic')$	การประมาณค่าในช่วงเชิงเส้นของฟังก์ชันที่จุด XI เมื่อ X เป็นเวกเตอร์ข้อมูลอินพุตและ Y เป็นเวกเตอร์ข้อมูลเอาต์พุตของฟังก์ชัน

2.7.5 การประมาณค่าใน 2 มิติ

นอกจากการประมาณค่าในหนึ่งมิติแล้วโปรแกรม MATLAB ยังมีฟังก์ชันที่ใช้สำหรับการประมาณค่าข้อมูลใน 2 มิติด้วยวิธีการต่างๆ ซึ่งมีโครงสร้างดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.5 โปรแกรม MATLAB สำหรับการประมาณค่าใน 2 มิติ

คำสั่ง	รายละเอียด
$ZI = \text{interp2}(X,Y,Z,XI,YI,'method')$	การประมาณค่าในสองมิติ เมื่อ XI เป็นเวกเตอร์แถวและ YI เป็นเวกเตอร์หลักของฟังก์ชัน โดย method เป็นวิธีที่ใช้สำหรับการประมาณค่าซึ่งในการใช้งานจะเลือกใช้วิธีใดวิธีหนึ่งดังนี้ 'nearest' – nearest neighbor interpolation 'linear' – bilinear interpolation 'cubic' – bicubic interpolation 'spline' – spline interpolation
$Y = \text{table2}(\text{tab},x0,y0)$	การประมาณค่าในช่วงเชิงเส้น 2 มิติโดยใช้ข้อมูลจากตาราง tab สองมิติเพื่อประมาณค่าใดๆ ที่อยู่ระหว่างแถวและหลัก เมื่อ x0 เป็นค่าข้อมูลที่ต้องการประมาณค่าที่อยู่ระหว่างหลักที่ 1 ของ tab และ y0 เป็นค่าข้อมูลที่ต้องการประมาณซึ่งอยู่ระหว่างแถวที่ 1 ของ tab

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

เนื้อหาในส่วนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนั้น เนื่องจากการทำวิจัยในครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเอาชุดวัดการกระจายแรงที่ได้ออกแบบไปใช้ทดสอบเพื่อหาการกระจายแรง และขนาดรอยยุบตัวของสีกเกอร์อ่อนป้องกันกระสุนปืน ซึ่งเป็นที่รู้จักโดยทั่วไปว่า ถ้ากล่าวถึงเรื่องของอาวุธยุทธโปกรณ์ ไม่ว่าจะเป็นการคิดค้น พัฒนาสิ่งใหม่ๆ หรือสิ่งใดๆ ที่จะช่วยส่งเสริมให้มีการพัฒนาอย่างก้าวหน้า นั้นหมายถึงความลับที่มีผลต่อความมั่นคงของประเทศ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะไม่ถูกเผยแพร่สู่สาธารณชนโดยทั่วไป ดังนั้นผู้วิจัยได้ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องในส่วนของการประยุกต์ใช้เซนเซอร์ และงานวิจัยอื่นๆ ที่เป็นประโยชน์สำหรับการทำวิจัยในครั้งนี้คือ

ธนศ อุไรเรืองพันธ์, ดารณี หอมดี [11] ได้วิจัยเรื่องการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเซนเซอร์ที่มีความเหมาะสมสำหรับตรวจจับท่าทางการเคลื่อนไหวของมือ เป็นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเซนเซอร์ระหว่าง LVDT กับฮอลล์เอฟเฟกต์เซนเซอร์เป็นอุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนที่ของมือ แขน หรือศรียะสำหรับทดแทนการใช้ถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ซึ่งในปัจจุบันมีต้นทุนสูง ผลที่ได้คือฮอลล์เอฟเฟกต์เซนเซอร์ให้ผลการวัดระยะและการงอของข้อโคนนิ้วดีกว่า LVDT เนื่องจากมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลที่น้อยกว่า และฮอลล์เอฟเฟกต์เซนเซอร์ให้ผลลัพธ์ของค่าความต่างศักย์เป็นเชิง

เส้นมากกว่า LVDT ดังนั้นฮอลล์เอฟเฟกต์เซนเซอร์จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาพัฒนาเป็นเซนเซอร์ในการตรวจจับท่าทางภาษามือ

Ferrazzin D., และคณะ [12] ได้วิจัยเรื่อง Hall Effect Sensor - Based Linear Transducer เป็นการนำเสนอรูปแบบใหม่ของทรานสดิวเซอร์บนพื้นฐานของฮอลล์เอฟเฟกต์เซนเซอร์ โดยที่ทรานสดิวเซอร์นี้มีขนาดเล็ก ราคาถูก เหมาะสำหรับการติดตั้งที่ตำแหน่งความห่างของนิ้วมือที่มีช่องว่างการเคลื่อนที่น้อย จากข้อดีของฮอลล์เอฟเฟกต์เซนเซอร์ที่มีอยู่มากมาย รูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่มีการพิสูจน์แล้ว จึงได้ตัดสินใจเลือกใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับทำเป็นต้นแบบของทรานสดิวเซอร์ ซึ่งได้ทำการทดลองจากการใช้ฮอลล์เอฟเฟกต์เซนเซอร์ของบริษัท Allegro เบอร์ UGN7032U ด้วยเทคนิคการตรวจจับความเข้มของสนามแม่เหล็กแบบ Unipolar Slide-by ผลคือได้ค่า Voltage Offset = 2.522 V, Amplification Factor = 1.817 V, Form Factor = 0.2931/mm², Displacement Offset = 0.329 mm และ Relative Percentile Error = 1.56 % การตรวจจับความเข้มของสนามแม่เหล็กแบบ Bipolar Slide-by ผลคือได้ค่า Coefficient = 0.796 V/mm, Two Magnets at Distance = 5.120 mm, Maximizes the Linear Part = 4.817 mm และ Total Effective Air Gap $\approx$ 1.1 mm จากค่าตัวแปรที่หาได้จริงในการทดลองทำให้เห็นว่าฮอลล์เอฟเฟกต์เซนเซอร์สามารถนำไปใช้เป็นเซนเซอร์ใหม่ของถุงมืออิเล็กทรอนิกส์

Lee I., Kosko B. และ Anderson W. F. [13] ได้วิจัยเรื่อง Modeling Gunshot Bruises in Soft Body Armor with an Adaptive Fuzzy System เป็นการนำเสนอเกี่ยวกับรูปแบบรอยแผลฟกช้ำที่เกิดขึ้นหลังจากถูกยิงด้วยกระสุนปืนขณะใส่เสื้อเกราะอ่อนกันกระสุน ซึ่งรอยแผลฟกช้ำที่เกิดขึ้นนั้นมีผลมาจากความลึกและความกว้างที่เกิดขึ้นบนเสื้อเกราะอ่อนกันกระสุน และสืบเนื่องจากเส้นใยที่ใช้ทำเป็นเสื้อเกราะอ่อนกันกระสุนมีความแปรปรวนที่เกิดขึ้นมาตั้งแต่ต้นเนื่องจากคุณสมบัติของเส้นใยที่สามารถเคลื่อนไหวได้ จึงทำการทดลองเพื่อหารูปแบบการจำลองการเกิดความลึกและความกว้างหลังเสื้อเกราะอ่อนถูกยิงด้วยกระสุนปืน โดยหลังการทดลองพบว่าลูกเบสบอลให้ความสัมพันธ์ที่ใกล้เคียงกับกระสุนปืนที่ส่งผลต่อความลึก และน้ำหนักของหัวกระสุนปืน ตัวอย่างเช่น การทดสอบด้วยลูกเบสบอลที่ความเร็ว 90 mph ทำให้เกิดความลึก 21.6 mm เทียบเท่ากับกระสุนปืนขนาด .357 Magnum ทำให้เกิดความลึก 21 mm การทดสอบด้วยลูกเบสบอลที่ความเร็ว 80 mph ทำให้เกิดความลึก 17 mm เทียบเท่ากับกระสุนปืนขนาด .40 Caliber ทำให้เกิดความลึก 19 mm การทดสอบด้วยลูกเบสบอลที่ความเร็ว 70 mph ทำให้เกิดความลึก 13.6 mm เทียบเท่ากับกระสุนปืนขนาด .38 Caliber ทำให้เกิดความลึก 15 mm และการทดสอบด้วยลูกเบสบอลที่ความเร็ว 40 mph ทำให้เกิดความลึก 6.5 mm เทียบเท่ากับกระสุนปืนขนาด .22 Caliber ทำให้เกิดความลึก 5 mm

2.9 สรุปทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องก็เพื่อประโยชน์ในการออกแบบของงานวิจัย โดยนำเอาหลักความรู้ และทฤษฎีต่างๆ มาประยุกต์ และพิสูจน์ใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้ ซึ่งกล่าวโดยสรุปคือ การทำวิจัยเรื่องการออกแบบชุดวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบสื่อเกราะกันกระสุน ต้องใช้ทฤษฎีทางฟิสิกส์ สำหรับการคำนวณหาปริมาณของแรงจากกระสุนปืน เพื่อนำมาใช้สำหรับการออกแบบในส่วนของอุปกรณ์รับแรง ทฤษฎีฮอลล์เอฟเฟกต์เซนเซอร์นำมาใช้ออกแบบในส่วนงานรับรู้ โดยใช้ฮอลล์เอฟเฟกต์เซนเซอร์ทำหน้าที่แปลงค่าของแรงที่เป็นปริมาณทางฟิสิกส์ให้เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า ระบบคาต้าแอกควิชชันเป็นการนำเอาสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากฮอลล์เอฟเฟกต์เซนเซอร์เปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิทัลก่อนส่งไปประมวลผลโดยคอมพิวเตอร์ อาศัยหลักทฤษฎีการประมาณค่าในช่วง สำหรับสร้างเป็นกราฟสอง สามมิติที่สมบูรณ์ สุดท้ายเป็นการประเมินความสามารถการทำงานของอุปกรณ์หลังการออกแบบได้จากทฤษฎีค่านิยมที่ใช้ในการวัดทางอุตสาหกรรม



บทที่ 3

การออกแบบทรานสดิวเซอร์วัดแรงโดยใช้ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์

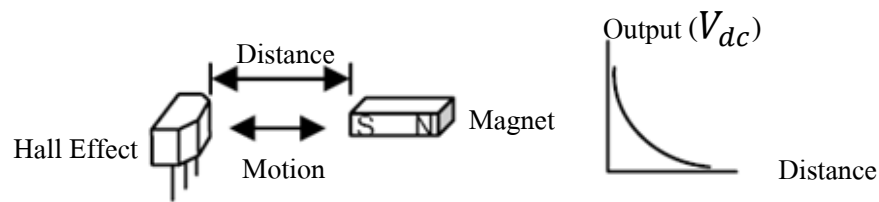
สำหรับบทนี้ ผู้ทำการวิจัยจะทำการออกแบบทรานสดิวเซอร์วัดแรงโดยใช้ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ โดยเริ่มจากการพิสูจน์ความเป็นเชิงเส้นของอุปกรณ์ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ตามทฤษฎีที่ได้ศึกษาในบทที่ 2 หัวข้อ 2.3 ออกแบบชุดตรวจวัดความเข้มสนามแม่เหล็กฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ จากนั้นทำการออกแบบทรานสดิวเซอร์วัดแรงโดยใช้อุปกรณ์รับแรงที่สร้างมาจากกระบอกสูบ (Air Cylinder) [14, 15] และส่งผ่านแรงด้วยลวดให้ชุดตรวจวัดความเข้มสนามแม่เหล็กฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ เพื่อใช้ในการแปลงค่าแรง (Force) ที่เป็นปริมาณฟิสิกส์ให้เป็นแรงดันไฟฟ้า สุดท้ายเป็นการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของทรานสดิวเซอร์ที่ออกแบบด้วยเทคนิคการตรวจวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กในรูปแบบต่างๆ ตามทฤษฎีในบทที่ 2 หัวข้อ 2.3.2

3.1 ทดสอบความเป็นเชิงเส้นของฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์

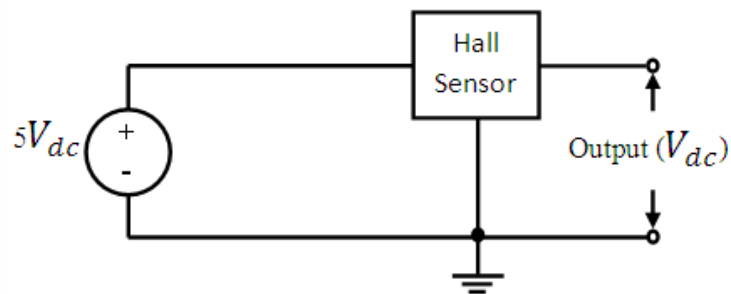
สิ่งแรกที่สำคัญและต้องทำก่อนเลือกใช้วัสดุ หรืออุปกรณ์ใดๆ ในการทดลองก็ต้องทำการพิสูจน์ถึงคุณสมบัติของวัสดุ หรืออุปกรณ์นั้นๆ ว่าเป็นไปตามหลักทฤษฎีหรือคุณสมบัติเฉพาะตัวที่ระบุไว้หรือไม่ เพื่อการออกแบบในขั้นตอนต่อไปที่ถูกต้องและผลที่ได้ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

3.1.1 อุปกรณ์และการทดสอบความเป็นเชิงเส้น

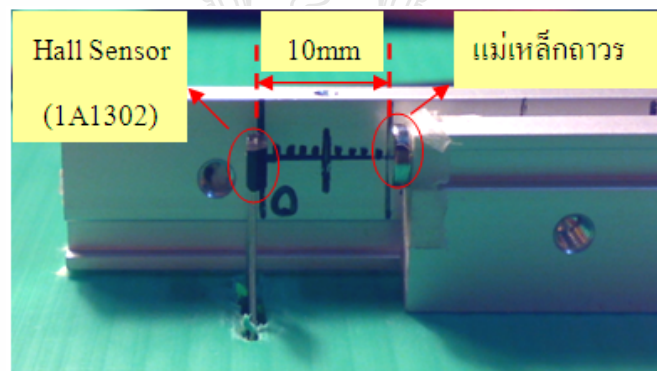
ในการทดสอบนี้เลือกใช้วิธีการตรวจวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กแบบ Unipolar head-on mode โดยการนำเอาขั้วได้ (S) ของแม่เหล็กถาวรหันเข้าหาด้านหน้าของฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ ตามทฤษฎีความต่างศักย์ที่ได้จะมีค่าที่แปรผกผันกับระยะความห่างระหว่างขั้วได้ของแม่เหล็กถาวรกับฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ กล่าวคือถ้าระยะความห่างยิ่งใกล้จะทำให้ค่าความต่างศักย์ที่ได้จากฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์เป็นบวกมากยิ่งขึ้น อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบมีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 5 V_{dc} จ่ายให้กับฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ เบอร์ดที่ใช้คือ 1A1302 ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งมีคุณสมบัติเฉพาะตัวของค่าสัมประสิทธิ์ความไวเท่ากับ 1.3 mV/G และค่าความต่างศักย์ขณะไม่มีสนามแม่เหล็กเท่ากับ 2.67 V_{dc} ที่ระยะความห่างระหว่างขั้วได้ของแม่เหล็กถาวรกับฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์เป็น 10 มิลลิเมตรดังรูปที่ 3.3 เริ่มต้นการทดสอบโดยตั้งระยะความห่างระหว่างขั้วได้ของแม่เหล็กถาวรกับฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ที่ 10 มิลลิเมตร จากนั้นทำการลดระยะความห่างลงทีละ 1 มิลลิเมตรตั้งแต่ 10, 9, 8 จนเป็น 0 มิลลิเมตร ทำการทดสอบซ้ำเช่นนี้เป็นจำนวน 5 ครั้ง พร้อมกับบันทึกค่าความต่างศักย์ของฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ที่เปลี่ยนแปลงตามระยะความห่างต่างๆ



รูปที่ 3.1 วิธีการตรวจจับความเข้มของสนามแม่เหล็กแบบ Unipolar Head-on Mode



รูปที่ 3.2 การจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์



รูปที่ 3.3 การทดสอบความเป็นเชิงเส้นของฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์แบบ Unipolar head-on mode

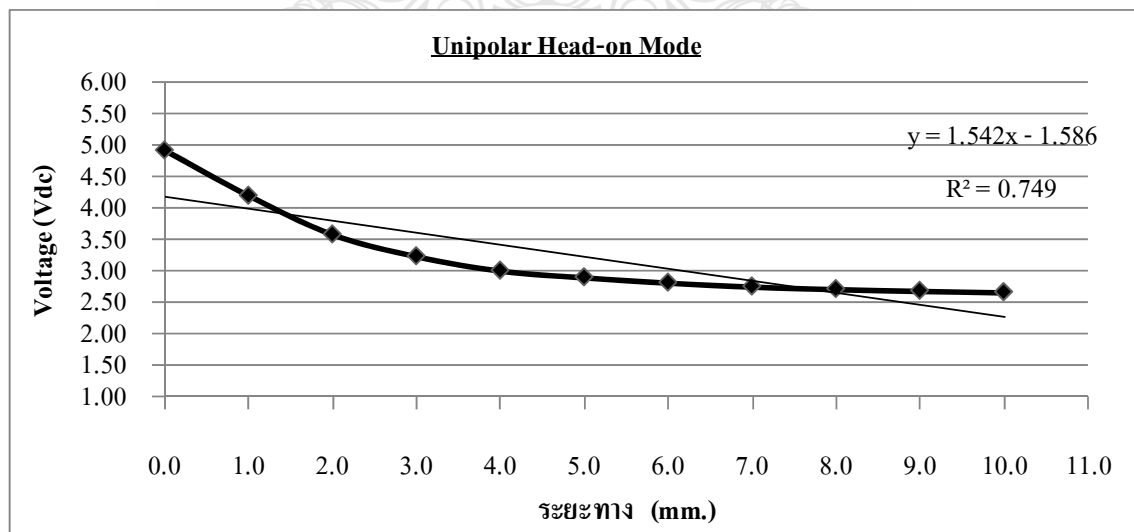
3.1.2 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้น

ผลที่ได้จากการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์คือ ถ้าระยะความห่างระหว่างขั้วใต้ของแม่เหล็กถาวรกับฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ยิ่งใกล้จะทำให้ค่าความต่างศักย์ที่ได้จากฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์เป็นบวกมากยิ่งขึ้น ดังตารางที่ 3.1 ซึ่งมีความสอดคล้องกับทฤษฎีในบทที่ 2 หัวข้อ 2.3 และความเป็นเชิงเส้นที่ได้หลังทำการทดสอบเป็น 74.9 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 3.4

ตารางที่ 3.1 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์แบบ

Unipolar head-on mode

ระยะทาง (mm)	V_{out}						
	Trial#1 (V_{dc})	Trial#2 (V_{dc})	Trial#3 (V_{dc})	Trial#4 (V_{dc})	Trial#5 (V_{dc})	AVG (V_{dc})	R (V_{dc})
10	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	0.00
9	2.69	2.70	2.69	2.69	2.69	2.69	0.01
8	2.72	2.72	2.72	2.72	2.72	2.72	0.00
7	2.76	2.76	2.76	2.76	2.76	2.76	0.00
6	2.82	2.82	2.83	2.82	2.82	2.82	0.01
5	2.90	2.91	2.91	2.91	2.90	2.91	0.01
4	3.02	3.01	3.01	3.01	3.01	3.01	0.01
3	3.26	3.23	3.23	3.23	3.25	3.24	0.03
2	3.57	3.62	3.57	3.60	3.57	3.59	0.05
1	4.24	4.24	4.14	4.24	4.14	4.20	0.10
0	4.91	4.92	4.92	4.92	4.92	4.92	0.01



รูปที่ 3.4 กราฟความเป็นเชิงเส้นของฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์แบบ Unipolar head-on mode

3.1.3 ตัวอย่างการคำนวณหาความเข้มของสนามแม่เหล็ก

สำหรับการคำนวณหาความเข้มของสนามแม่เหล็กนั้น สามารถหาได้จากการคำนวณตามสมการที่ 2.27 ในบทที่ 2

$$B = \frac{V_{out(B)} - V_{out(o)}}{S}$$

โดยที่ $V_{out(o)}$ เป็นความต่างศักย์ขณะไม่มีสนามแม่เหล็ก

$V_{out(B)}$ เป็นความต่างศักย์ขณะมีสนามแม่เหล็ก

S เป็นสัมประสิทธิ์ความไว มีหน่วยเป็นโวลต์ต่อเกาส์ (V/G)

B เป็นความเข้มของสนามแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นเกาส์ (G)

ตัวอย่างของการคำนวณหาความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ระยะความห่างระหว่างขั้วได้ของแม่เหล็กถาวรกับฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์เป็น 8 มิลลิเมตร มีค่าความต่างศักย์เท่ากับ $2.72 V_{dc}$ ค่าความต่างศักย์ขณะไม่มีสนามแม่เหล็กเท่ากับ $2.67 V_{dc}$ และค่าสัมประสิทธิ์ความไวของกับฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์เท่ากับ 1.3 mV/G แทนค่าที่ได้ลงในสมการข้างต้นจะได้ว่า

$$B = \frac{2.72 V_{dc} - 2.67 V_{dc}}{1.3 \frac{\text{mV}}{\text{G}}}$$

$$B = \frac{0.05 V_{dc}}{0.0013 \frac{V_{dc}}{\text{G}}} = 38.46 \text{ G}$$

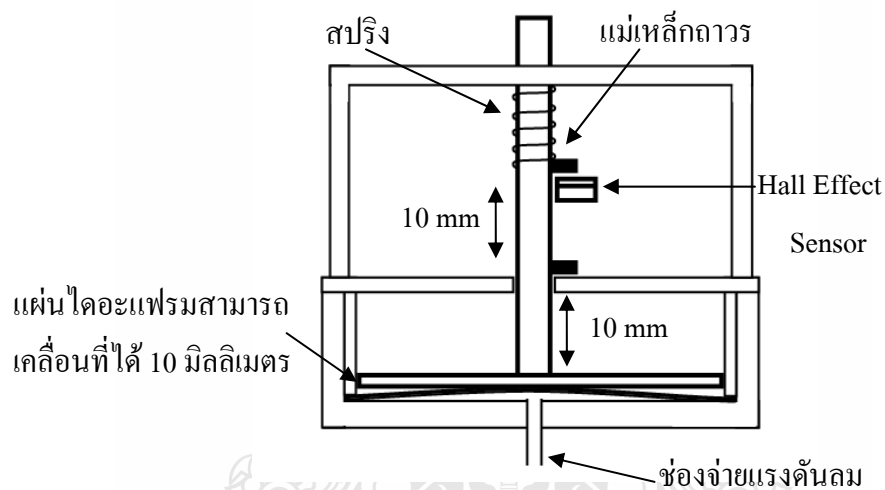
ดังนั้นความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ระยะความห่าง 8 มิลลิเมตร ระหว่างขั้วได้ของแม่เหล็กถาวรกับฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ มีค่าเท่ากับ 38.46 G เป็นต้น

3.2 ออกแบบชุดตรวจจับความเข้มสนามแม่เหล็กฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์

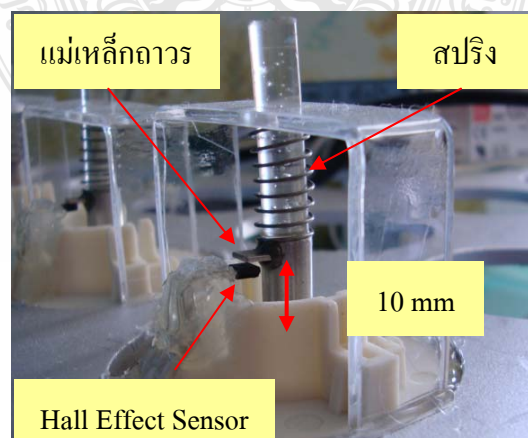
ลักษณะการตรวจจับความเข้มของสนามแม่เหล็กถาวรด้วยฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์นั้น ผู้ทำการวิจัยได้ออกแบบให้อุปกรณ์ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์มีการติดตั้งอยู่กับที่ และมีแม่เหล็กถาวรที่สามารถเคลื่อนที่ผ่านอุปกรณ์ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ ส่งผลให้เกิดความเข้มของสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกันในแต่ละตำแหน่งการเคลื่อนที่ของแม่เหล็กถาวร ในที่นี้ผู้ทำการวิจัยได้นำเอาเซ็นเซอร์ตรวจจับแรงดันน้ำของเครื่องซักผ้ามาประยุกต์ใช้เป็นชุดการเคลื่อนที่ของแม่เหล็กถาวร โดยนำเอาเฉพาะชุดโครงสร้างไดอะแฟรมที่สามารถเคลื่อนที่ได้มาใช้อย่างมีประสิทธิภาพโดยการติดตั้งแม่เหล็กถาวรลง

บนแกนที่ต่ออยู่กับชุดไดอะแฟรมที่สามารถเคลื่อนที่ได้ แต่เนื่องจากแกนที่สามารถเคลื่อนที่ได้นั้นไม่สามารถรักษาตำแหน่งการเคลื่อนที่ให้เป็นเส้นตรงได้ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของสแนมแม่เหล็กถาวรของฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ ดังนั้นผู้ทำการวิจัยจึงได้ออกแบบโดยการติดตั้งสปริงชนิดอ่อนที่บริเวณปลายของแกนเพื่อประคองให้แกนมีการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงมากขึ้น ดังรูป 3.5

หลักการทำงานเมื่อมีแรงดันลมจ่ายเข้า ทำให้แผ่นไดอะแฟรมเกิดการเคลื่อนที่ (ระยะการเคลื่อนที่สูงสุดของแผ่นไดอะแฟรมเท่ากับ 10 มิลลิเมตร) ส่งผลให้แกนที่ต่ออยู่กับชุดไดอะแฟรมที่มีการติดตั้งแม่เหล็กถาวรเกิดการเคลื่อนที่ตามไปด้วย ดังนั้นฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์จะทำการตรวจสอบความเข้มของสแนมแม่เหล็กตามตำแหน่งการเคลื่อนที่ของแม่เหล็กถาวร



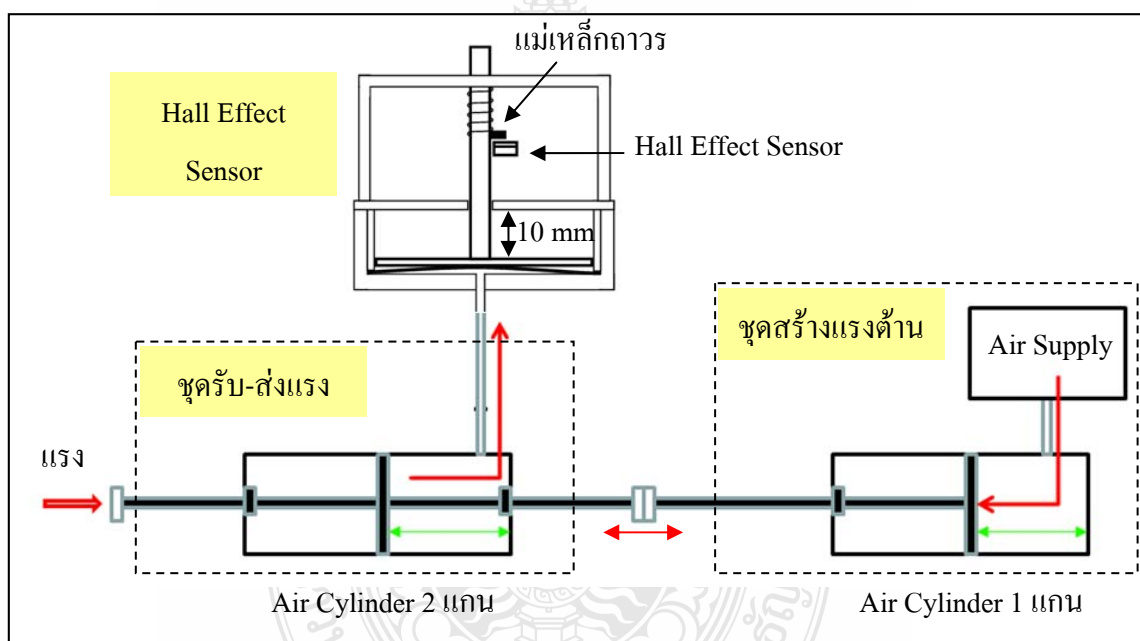
รูปที่ 3.5 ภาพตัดขวางชุดฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์



รูปที่ 3.6 ชุดฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์

3.3 ออกแบบทรานสดิวเซอร์วัดแรงโดยใช้ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์

การออกแบบในหัวข้อนี้ผู้ทำการวิจัยได้นำเอากระบอกสูบ (Air Cylinder) มาประยุกต์ใช้เป็นชุดรับ-ส่งแรงร่วมกับชุดตรวจจับความเข้มสนามแม่เหล็กฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ในข้อ 3.2 ดังแสดงในรูปที่ 3.7 และ 3.8 โดยใช้กระบอกสูบ 2 แกน ซึ่งมีระยะการเคลื่อนที่ 45 มิลลิเมตร แกนหนึ่งสำหรับทำหน้าที่รับแรง และแกนอีกข้างหนึ่งต่อพ่วงกับกระบอกสูบชนิด 1 แกนซึ่งทำหน้าที่สร้างแรงดันจากการจ่ายแรงดันลม (Air Supply) เมื่อมีแรงมากระทำโดยที่แรงนั้นมีขนาดมากกว่าชุดสร้างแรงดันจะส่งผลให้กระบอกสูบ 2 แกนเกิดการเคลื่อนที่ และมีแรงดันลมออกจากกระบอกสูบ 2 แกน ส่งผ่านไปยังชุดตรวจจับความเข้มสนามแม่เหล็กฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ส่งผลให้แกนที่ติดตั้งแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet) เคลื่อนที่ตัดผ่านอุปกรณ์ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ จากนั้นฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์จะแปลงค่าแรง (Force) ที่เป็ปริมาณฟิสิกส์ให้เป็นแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมทรานสดิวเซอร์วัดแรง



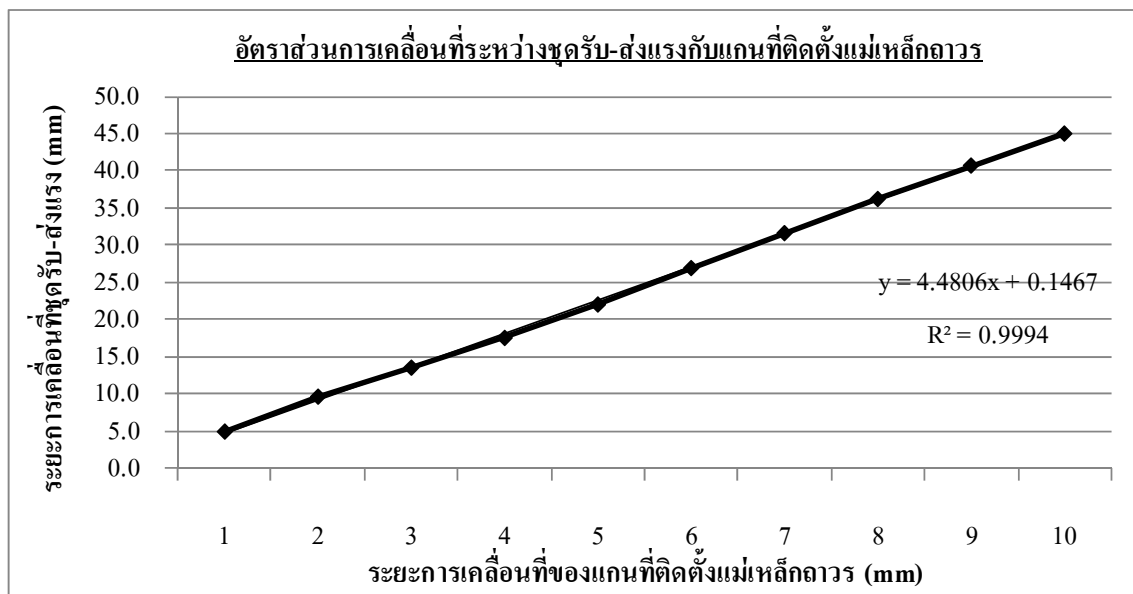
รูปที่ 3.8 ชุดรับ-ส่งแรง

3.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างชุดรับ-ส่งแรงกับชุดตรวจจับความเข้มนามแม่เหล็กฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์

ชุดรับ-ส่งแรงที่ได้ออกแบบในข้างต้น ทำมาจากกระบอกสูบชนิด 2 แกนที่มีระยะการเคลื่อนที่สูงสุดเท่ากับ 45 มิลลิเมตร กระบอกสูบมีการเคลื่อนที่เมื่อมีแรงมากระทำในขณะเดียวกันก็จะมีแรงดันลมออกมาจากกระบอกสูบ ซึ่งแรงดันลมนี้เองที่นำไปจ่ายให้กับชุดตรวจจับความเข้มนามแม่เหล็กฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ ส่งผลให้แกนที่ติดตั้งแม่เหล็กถาวรและต่ออยู่กับชุดไดอะแฟรมที่สามารถเคลื่อนที่ได้เป็นระยะสูงสุดเท่ากับ 10 มิลลิเมตร เกิดการเคลื่อนที่ตามขนาดของแรงดันลมที่ได้รับมาจากกระบอกสูบ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าระยะการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบ 2 แกนกับแกนที่ติดตั้งแม่เหล็กถาวรไม่เท่ากัน แต่จากการทดลองพบว่าการเคลื่อนที่ของทั้งสองนั้นมีความสัมพันธ์กันเป็นเชิงเส้น คืออัตราส่วนการเคลื่อนที่ระหว่างกระบอกสูบ 2 แกน กับแกนที่ติดตั้งแม่เหล็กถาวรเป็นอัตราส่วนที่ 1.0 ต่อ 0.22 มิลลิเมตร ดังแสดงในตารางที่ 3.2 และรูปที่ 3.9

ตารางที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างชุดรับ-ส่งแรงกับชุดตรวจจับความเข้มนามแม่เหล็กฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์

ระยะการเคลื่อนที่แกน ที่ติดตั้งแม่เหล็กถาวร	ระยะการเคลื่อนที่ชุดรับ-ส่งแรง						
	Trial#1	Trial#2	Trial#3	Trial#4	Trial#5	AVG	R
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1	4.5	5.0	4.5	4.5	6.0	4.9	1.5
2	9.5	9.0	10.0	10.0	9.5	9.6	1.0
3	13.0	13.0	14.0	13.5	14.0	13.5	1.0
4	17.5	17.5	17.0	18.0	17.5	17.5	1.0
5	21.5	22.0	23.0	21.5	22.0	22.0	1.5
6	27.0	26.5	27.0	27.5	26.5	26.9	1.0
7	31.5	31.0	32.0	32.0	31.5	31.6	1.0
8	37.0	36.0	36.0	35.5	36.5	36.2	1.5
9	40.5	41.5	40.5	40.0	41.0	40.7	1.5
10	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	0.0



รูปที่ 3.9 อัตราส่วนการเคลื่อนที่ระหว่างชุดรับ-ส่งแรงกับแกนที่ติดตั้งแม่เหล็กถาวร

3.4 ทดสอบความเป็นเชิงเส้นของทรานสดิวเซอร์วัดแรง

หลังทำการออกแบบทรานสดิวเซอร์วัดแรงโดยใช้ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ ขั้นตอนต่อไปเป็นการทดสอบความเป็นเชิงเส้นในแต่ละแบบของเทคนิคการตรวจวัดความเค้นสามแม่เหล็กคือ แบบ Unipolar head-on mode แบบ Bipolar slide-by และแบบ Push-push approach ตามทฤษฎีในบทที่ 2 หัวข้อ 2.2.3 ซึ่งในการทดสอบครั้งนี้จะใช้ Precision Pressure Indicator Calibrator เป็นชุดกำเนิดแรงในรูปของแรงดันลมมีหน่วยเป็น (kgf/cm^2) ซึ่ง Precision Pressure Indicator Calibrator นี้ได้ผ่านการสอบเทียบ (Calibrated) แล้วค่าอยู่ในมาตรฐานตลอดการใช้งาน

การทดสอบความเป็นเชิงเส้นนี้อาศัยการจำลองแรงดันลมแทนการใช้แรงจริง โดยปรับค่าชุดสร้างแรงดันด้วยแรงดันลมเท่ากับ 2.0 kgf/cm^2 จากนั้นทำการจำลองแรงที่เข้ามากระทำด้วยแรงดันลมซึ่งได้มาจาก Precision Pressure Indicator Calibrator ตั้งแต่ 2.4 kgf/cm^2 จนถึง 3.8 kgf/cm^2

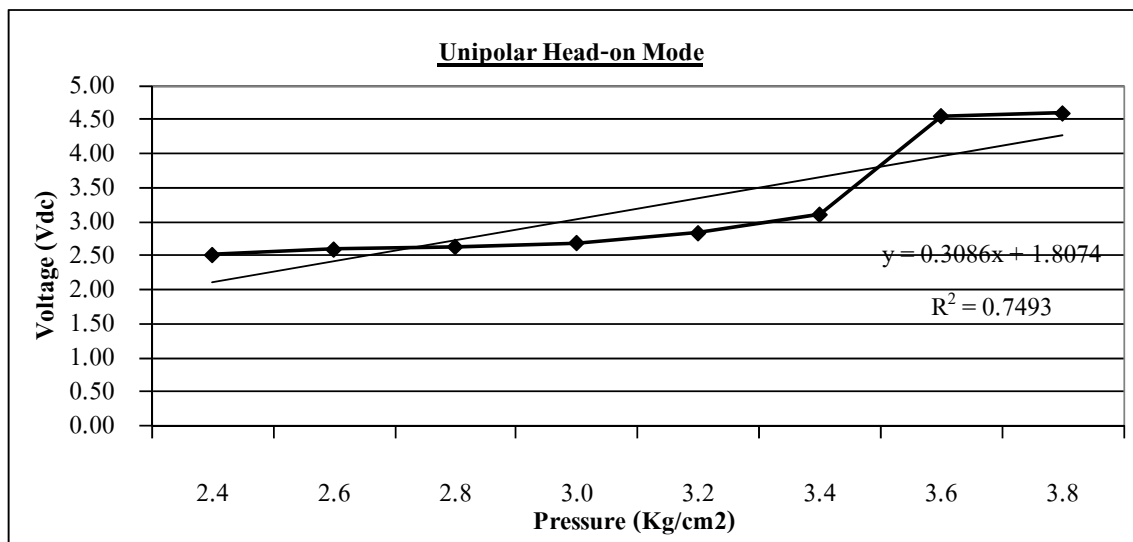


รูปที่ 3.10 อุปกรณ์สำหรับทดสอบความเป็นเชิงเส้นของทรานสดิวเซอร์วัดแรง

3.4.1 ความเป็นเชิงเส้นของทรานสดิวเซอร์วัดแรงกับเทคนิคการตรวจจับความเข้มสนามแม่เหล็กแบบ Unipolar Head-on Mode

ตารางที่ 3.3 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของทรานสดิวเซอร์วัดแรงกับเทคนิคการตรวจจับความเข้มสนามแม่เหล็กแบบ Unipolar Head-on Mode

Pressure (kgf/cm ²)	V_{out}						
	Trial#1 (V_{dc})	Trial#2 (V_{dc})	Trial#3 (V_{dc})	Trial#4 (V_{dc})	Trial#5 (V_{dc})	AVG (V_{dc})	R (V_{dc})
2.40	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	0.00
2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	0.00
2.80	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64	0.00
3.00	2.72	2.68	2.72	2.68	2.68	2.70	0.04
3.20	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	0.00
3.40	3.12	3.08	3.12	3.12	3.12	3.11	0.04
3.60	4.56	4.56	4.56	4.56	4.56	4.56	0.00
3.80	4.60	4.60	4.60	4.60	4.60	4.60	0.00

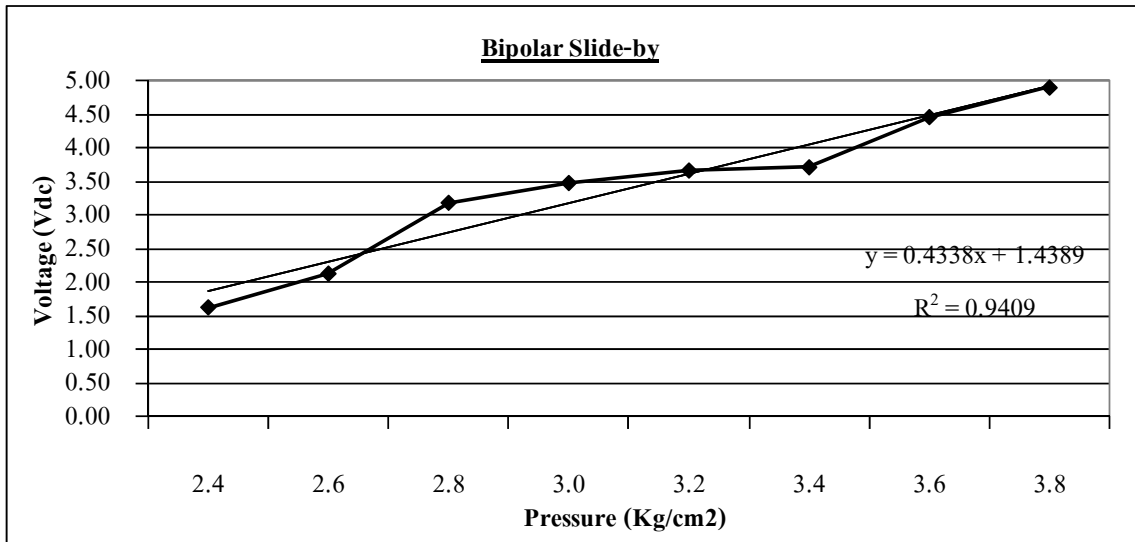


รูปที่ 3.11 กราฟความเป็นเชิงเส้นของทรานสดิวเซอร์วัดแรงกับเทคนิคการตรวจจับความเข้มสนามแม่เหล็กแบบ Unipolar head-on mode

3.4.2 ความเป็นเชิงเส้นของทรานสดิวเซอร์วัดแรงกับเทคนิคการตรวจจับความเข้มสนามแม่เหล็กแบบ Bipolar slide-by

ตารางที่ 3.4 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของทรานสดิวเซอร์วัดแรงกับเทคนิคการตรวจจับความเข้มสนามแม่เหล็กแบบ Bipolar slide-by

Pressure (kgf/cm ²)	V_{out}						
	Trial#1 (V _{dc})	Trial#2 (V _{dc})	Trial#3 (V _{dc})	Trial#4 (V _{dc})	Trial#5 (V _{dc})	AVG (V _{dc})	R (V _{dc})
2.40	1.61	1.61	1.61	1.65	1.61	1.62	0.04
2.60	2.10	2.14	2.17	2.10	2.10	2.12	0.07
2.80	3.18	3.18	3.18	3.18	3.18	3.18	0.00
3.00	3.48	3.45	3.48	3.49	3.48	3.48	0.04
3.20	3.65	3.65	3.71	3.65	3.65	3.66	0.06
3.40	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	0.00
3.60	4.46	4.46	4.46	4.46	4.46	4.46	0.00
3.80	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	0.00

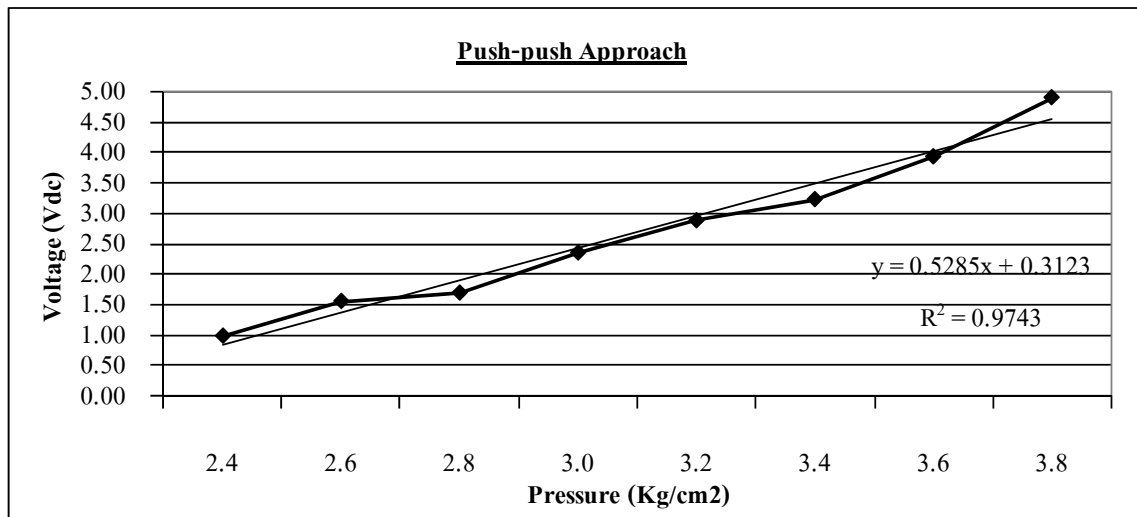


รูปที่ 3.12 กราฟความเป็นเชิงเส้นของทรานสดิวเซอร์วัดแรงกับเทคนิคการตรวจจับความเข้มสนามแม่เหล็กแบบ Bipolar slide-by

3.4.3 ความเป็นเชิงเส้นของทรานสดิวเซอร์วัดแรงกับเทคนิคการตรวจจับความเข้มสนามแม่เหล็กแบบ Push-push approach

ตารางที่ 3.5 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของทรานสดิวเซอร์วัดแรงกับเทคนิคการตรวจจับความเข้มสนามแม่เหล็กแบบ Push-push approach

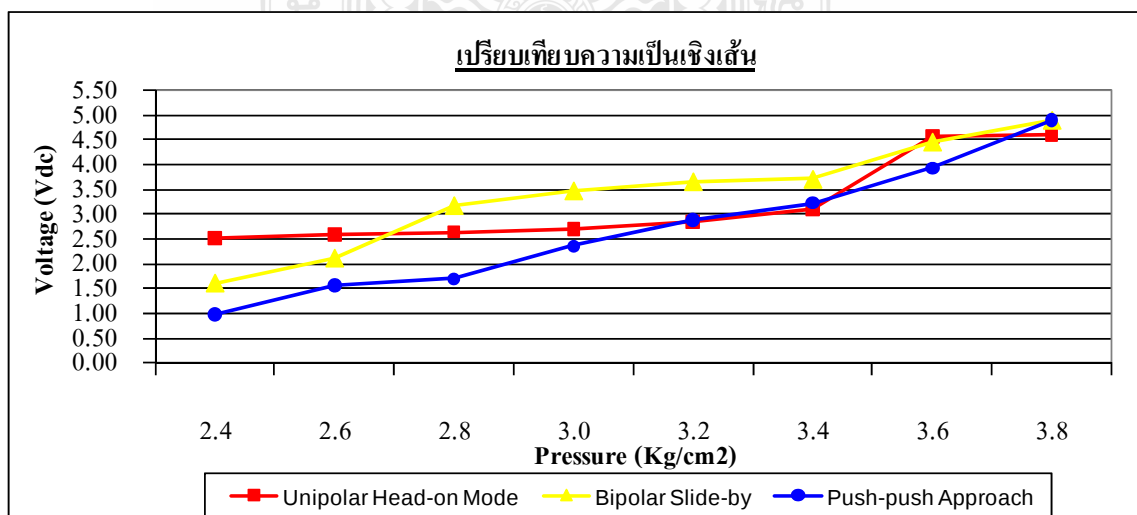
Pressure (kgf/cm ²)	V_{out}						
	Trial#1 (V _{dc})	Trial#2 (V _{dc})	Trial#3 (V _{dc})	Trial#4 (V _{dc})	Trial#5 (V _{dc})	AVG (V _{dc})	R (V _{dc})
2.40	0.99	0.96	0.99	1.00	0.99	0.99	0.04
2.60	1.56	1.54	1.56	1.56	1.56	1.56	0.02
2.80	1.69	1.68	1.69	1.72	1.69	1.69	0.04
3.00	2.36	2.32	2.36	2.36	2.36	2.35	0.04
3.20	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	0.00
3.40	3.22	3.22	3.22	3.26	3.22	3.23	0.04
3.60	3.93	3.93	3.93	3.93	3.93	3.93	0.00
3.80	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	0.00



รูปที่ 3.13 กราฟความเป็นเชิงเส้นของทรานสดิวเซอร์วัดแรงกับเทคนิคการตรวจจับความเข้มสนามแม่เหล็กแบบ Push-push approach

3.4.4 เปรียบเทียบความเป็นเชิงเส้นในแต่ละแบบของเทคนิคการตรวจจับความเข้มสนามแม่เหล็ก

เมื่อนำผลที่ได้จากการทดสอบทั้ง 3 แบบข้างต้นมาเปรียบเทียบกันจะเห็นได้ว่า การวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กแบบ Push-Push Approach นั้นมีความเป็นเชิงเส้นมากที่สุด รองลงมาคือแบบ Bipolar Slide-by และที่มีความเป็นเชิงเส้นน้อยที่สุดคือแบบ Unipolar Head-on Mode ดังรูปที่ 3.14 ด้านล่าง



รูปที่ 3.14 เปรียบเทียบความเป็นเชิงเส้นในแต่ละแบบของเทคนิคการตรวจจับความเข้มสนามแม่เหล็ก

3.5 สรุปการออกแบบทรานสดิวเซอร์วัดแรงโดยใช้ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์

ผลที่ได้จากการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์นั้นเป็นไปตามทฤษฎีที่อธิบายไว้ในบทที่ 2 คือถ้าระยะความห่างระหว่างขั้วได้ของแม่เหล็กถาวรกับฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ยิ่งใกล้จะทำให้ค่าความต่างศักย์ที่ได้จากฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์เป็นบวกมากยิ่งขึ้น และได้ความเป็นเชิงเส้นเท่ากับ 74.9 เปอร์เซ็นต์ โดยการใช้เทคนิคการตรวจจับความเข้มของสนามแม่เหล็กแบบ Unipolar head-on mode

การออกแบบชุดตรวจจับความเข้มสนามแม่เหล็กฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์โดยการประยุกต์ใช้โครงสร้างของเซ็นเซอร์ตรวจจับแรงดันน้ำของเครื่องซักผ้า ผลที่ได้เป็นที่พอใจคือสามารถนำมาใช้เป็นชุดสำหรับการเคลื่อนที่ของแท่งแม่เหล็กถาวรได้

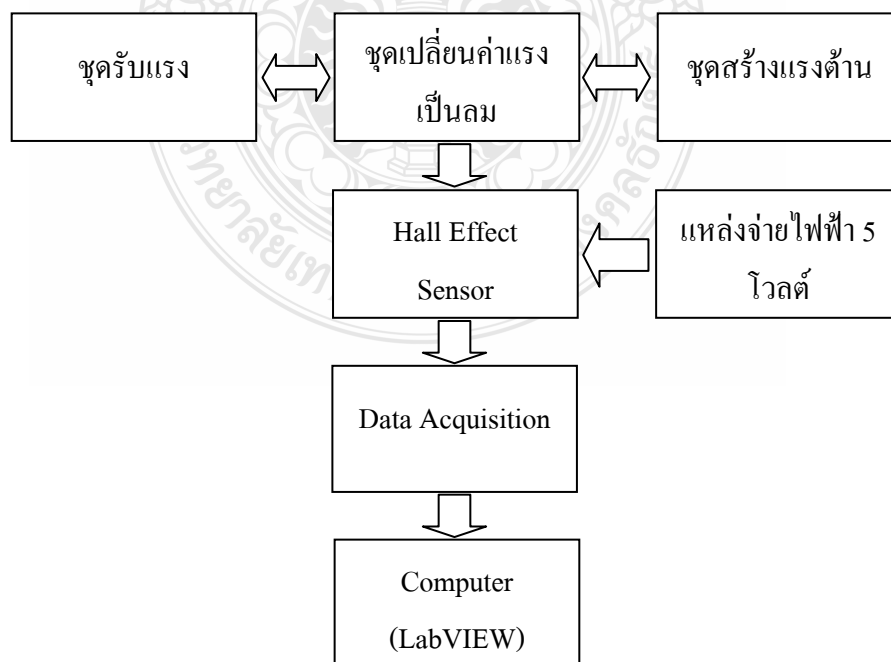
การออกแบบทรานสดิวเซอร์วัดแรงโดยใช้ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์นั้น เป็นการนำเอาชุดตรวจจับความเข้มสนามแม่เหล็กฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ที่ออกแบบก่อนหน้านี้มาใช้ร่วมกับชุดรับส่งแรงที่สร้างมาจากกระบอกสูบ ผลที่ได้คืออุปกรณ์ทั้งสองส่วนสามารถทำงานร่วมกันได้ในลักษณะที่เป็นเชิงเส้น จากนั้นทำการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของทรานสดิวเซอร์วัดแรงโดยใช้เทคนิคการตรวจจับความเข้มสนามแม่เหล็กทั้ง 3 แบบคือ Unipolar head-on mode, Bipolar slide-by และ Push-push approach ผลคือแบบ Push-push approach จะให้ความเป็นเชิงเส้นมากที่สุด ดังนั้นจึงมีความเหมาะสมที่จะนำเทคนิคการตรวจจับแบบ Push-push approach ไปพัฒนาใช้กับการออกแบบชุดวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบเสื่อเกราะกันกระสุนต่อไป



บทที่ 4

การออกแบบชุดวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบ เสื่อเกราะกันกระสุน

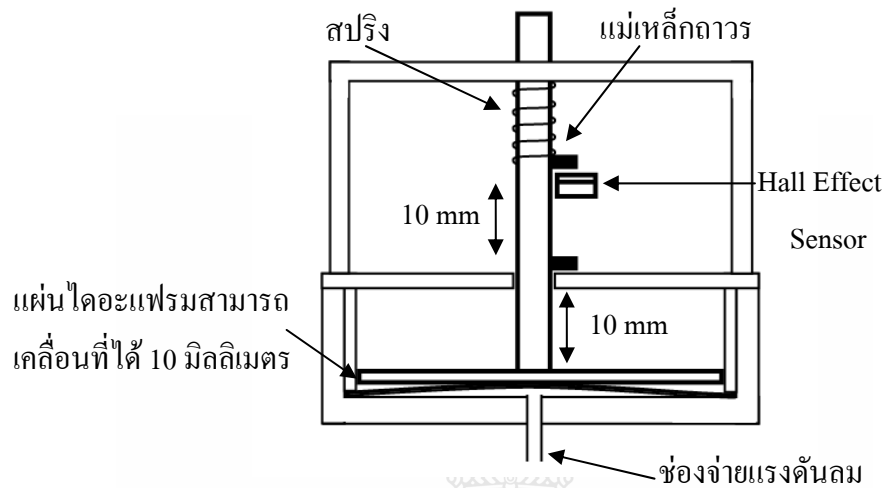
ผู้ทำการวิจัยได้ออกแบบทรานสดิวเซอร์วัดแรงโดยใช้ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ในบทที่ 3 โดยทำการเลือกวิธีการวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กแบบ Push-Push Approach เนื่องจากผลที่ได้จากการทดลองแสดงให้เห็นถึงความเป็นเชิงเส้นที่มากกว่าวิธีการอื่นๆ ซึ่งต่อจากนี้จะเป็นการออกแบบชุดวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบเสื่อเกราะกันกระสุน โดยที่เนื้อหาเป็นการนำเอาการออกแบบทรานสดิวเซอร์วัดแรงโดยใช้ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ในบทที่ 3 มาใช้ในการวัดการกระจายแรงร่วมกับชุดรับแรงที่มีการออกแบบให้แข็งแรงมากขึ้นจนสามารถทนต่อแรงกระสุนปืนได้ และชุด Data Acquisition สำหรับเชื่อมต่อข้อมูลจากทรานสดิวเซอร์วัดแรงไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลด้วยโปรแกรม LabVIEW [16] และแสดงเป็นกราฟสองและสามมิติโดยโปรแกรม MATLAB การออกแบบชุดวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบเสื่อเกราะกันกระสุนในงานวิจัยนี้ใช้ทรานสดิวเซอร์วัดแรงทั้งหมด 25 ชุด เพื่อรองรับการทำงานของชุดรับแรงจำนวน 25 ชุด โดยแต่ละชุดมีพื้นที่รับแรงประมาณ 1.0 ตารางนิ้ว โดยการวางเรียงกันเป็น 5 ตัวต่อแถว ทั้งหมด 5 แถว ครอบคลุมพื้นที่การทดสอบประมาณ 25 ตารางนิ้ว รูปที่ 4.1 เป็นบล็อกไดอะแกรมการออกแบบชุดวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบเสื่อเกราะกันกระสุน



รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมการออกแบบชุดวัดการกระจายแรง

4.1 สร้างชุดตรวจจับความเข้มข้นแม่เหล็กฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์

นำชุดตรวจจับความเข้มข้นแม่เหล็กฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ที่ได้ออกแบบในบทที่ 3 แบบ Push-Push Approach มาสร้างเพิ่มจนครบ 25 ชุด และประกอบลงบนแท่นวางดังรูปที่ 4.3



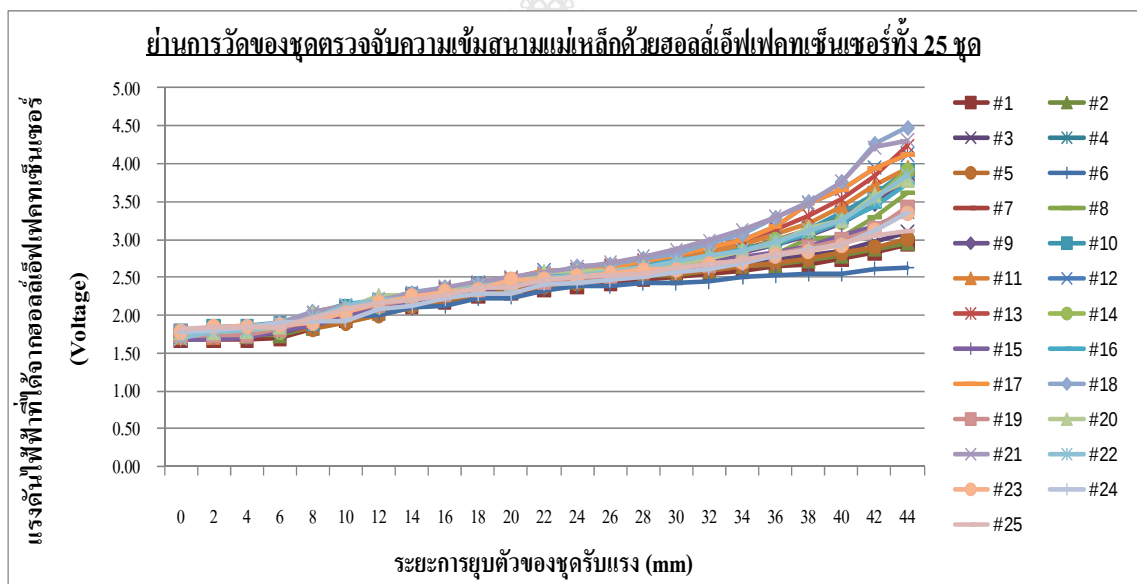
รูปที่ 4.2 ชุดตรวจจับความเข้มข้นแม่เหล็กฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์แบบ Push-Push Approach



รูปที่ 4.3 ชุดตรวจจับความเข้มข้นแม่เหล็กฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์แบบ Push-Push Approach
ทั้งหมด 25 ชุด

4.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะการยุบตัวของชุดรับแรงกับแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์

การสร้างชุดตรวจจับความเข้มนามแม่เหล็กด้วยฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ทั้ง 25 ชุดข้างต้นแล้วนั้น สิ่งที่ต้องทำเป็นลำดับต่อมาคือ การทดสอบหาย่านการวัดของเซ็นเซอร์แต่ละชุด เนื่องจากแต่ละชุดของเซ็นเซอร์ที่ทำการสร้างขึ้นนั้นมีความแตกต่างกันในเรื่องของระยะการติดตั้งแม่เหล็กถาวร จึงส่งผลให้ค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากอุปกรณ์ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ทั้ง 25 ตัวนั้น มีค่าไม่เท่ากันเมื่อเทียบกับการเคลื่อนที่ของแท่งแม่เหล็กถาวรในตำแหน่งเดียวกัน ดังนั้นผู้ทำการวิจัยได้ทำการศึกษาและทดสอบหาย่านการวัดของแต่ละชุดเซ็นเซอร์ โดยทำการทดสอบเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะการยุบตัวของชุดรับแรงกับแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ ผลที่ได้แสดงให้เห็นดังรูปที่ 4.4 และตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.4 ย่านการวัดของชุดตรวจจับความเข้มนามแม่เหล็กด้วยฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ทั้ง 25 ชุด

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะการยวบตัวของชุดรับแรงกับแรงดันไฟฟ้าที่ได้จาก
ฮอลล์เอฟเฟกเซนเซอร์ตัวที่ 1 ถึง 10

ระยะการยวบตัว ของชุดรับแรง (mm)	แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากฮอลล์เอฟเฟกเซนเซอร์ (Volt)									
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10
0	1.67	1.72	1.74	1.74	1.77	1.77	1.75	1.71	1.75	1.80
2	1.68	1.73	1.74	1.75	1.77	1.78	1.76	1.80	1.75	1.85
4	1.68	1.73	1.75	1.76	1.78	1.78	1.77	1.81	1.75	1.85
6	1.69	1.74	1.78	1.78	1.81	1.80	1.87	1.89	1.76	1.89
8	1.83	1.84	1.93	1.94	1.82	1.86	1.98	2.00	1.88	1.89
10	1.94	1.99	2.04	2.03	1.90	1.97	2.09	2.04	1.98	2.11
12	2.04	2.04	2.14	2.12	2.00	2.01	2.18	2.16	2.10	2.19
14	2.11	2.16	2.22	2.21	2.11	2.09	2.25	2.21	2.19	2.26
16	2.18	2.29	2.29	2.28	2.19	2.12	2.32	2.31	2.25	2.29
18	2.25	2.33	2.34	2.35	2.27	2.22	2.38	2.35	2.33	2.42
20	2.30	2.35	2.40	2.40	2.33	2.23	2.44	2.41	2.39	2.44
22	2.34	2.41	2.45	2.45	2.37	2.33	2.49	2.44	2.44	2.50
24	2.38	2.44	2.49	2.50	2.42	2.38	2.54	2.51	2.49	2.56
26	2.42	2.52	2.52	2.54	2.46	2.39	2.59	2.52	2.54	2.61
28	2.47	2.53	2.56	2.58	2.52	2.42	2.64	2.58	2.60	2.64
30	2.51	2.53	2.60	2.63	2.55	2.43	2.71	2.67	2.66	2.74
32	2.55	2.59	2.64	2.68	2.59	2.44	2.79	2.68	2.73	2.81
34	2.59	2.65	2.69	2.73	2.64	2.50	2.88	2.70	2.82	2.91
36	2.64	2.66	2.74	2.78	2.69	2.53	2.99	2.81	2.92	2.91
38	2.67	2.72	2.79	2.87	2.75	2.54	3.13	3.02	3.05	3.14
40	2.75	2.78	2.86	2.97	2.82	2.54	3.31	3.04	3.22	3.35
42	2.83	2.88	2.97	3.15	2.90	2.61	3.54	3.29	3.46	3.60
44	2.94	2.95	3.10	3.37	3.01	2.62	3.78	3.61	3.78	3.91
Min	1.67	1.72	1.74	1.74	1.77	1.77	1.75	1.71	1.75	1.80
Max	2.94	2.95	3.10	3.37	3.01	2.62	3.78	3.61	3.78	3.91
R	1.27	1.23	1.36	1.64	1.24	0.85	2.03	1.89	2.04	2.12

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะการยวบตัวของชุดรับแรงกับแรงดันไฟฟ้าที่ได้จาก
 สอลล์อิเล็กโทรดเซินเซอร์ตัวที่ 11 ถึง 20 (ต่อ)

ระยะการยวบตัว ของชุดรับแรง (mm)	แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากสอลล์อิเล็กโทรดเซินเซอร์ (Volt)									
	#11	#12	#13	#14	#15	#16	#17	#18	#19	#20
0	1.71	1.72	1.79	1.74	1.68	1.79	1.72	1.74	1.73	1.77
2	1.71	1.76	1.79	1.74	1.69	1.79	1.76	1.78	1.73	1.78
4	1.73	1.77	1.79	1.77	1.69	1.80	1.77	1.79	1.74	1.79
6	1.85	1.84	1.80	1.78	1.79	1.90	1.84	1.90	1.82	1.85
8	2.00	2.03	1.94	1.94	1.87	2.03	2.03	2.05	1.94	2.03
10	2.09	2.12	2.07	2.02	1.99	2.15	2.12	2.08	2.05	2.09
12	2.19	2.13	2.17	2.11	2.09	2.21	2.13	2.19	2.14	2.26
14	2.27	2.24	2.26	2.23	2.19	2.29	2.24	2.29	2.21	2.26
16	2.33	2.34	2.34	2.31	2.27	2.36	2.34	2.37	2.28	2.34
18	2.39	2.41	2.40	2.35	2.34	2.40	2.41	2.42	2.35	2.38
20	2.45	2.50	2.46	2.44	2.38	2.46	2.50	2.44	2.40	2.42
22	2.51	2.59	2.53	2.46	2.43	2.50	2.59	2.52	2.45	2.57
24	2.56	2.59	2.59	2.51	2.48	2.55	2.59	2.65	2.49	2.58
26	2.62	2.63	2.65	2.57	2.54	2.59	2.63	2.67	2.53	2.59
28	2.68	2.71	2.71	2.60	2.59	2.65	2.71	2.75	2.57	2.63
30	2.74	2.78	2.79	2.67	2.65	2.72	2.78	2.82	2.62	2.68
32	2.83	2.89	2.88	2.75	2.70	2.77	2.89	2.94	2.67	2.76
34	2.93	3.00	3.00	2.84	2.77	2.86	3.00	3.07	2.73	2.85
36	3.07	3.16	3.14	3.00	2.82	2.96	3.16	3.29	2.80	2.96
38	3.22	3.47	3.32	3.11	2.92	3.08	3.47	3.50	2.89	3.15
40	3.44	3.66	3.53	3.23	3.06	3.23	3.66	3.77	2.99	3.25
42	3.72	3.95	3.84	3.53	3.17	3.44	3.95	4.27	3.13	3.58
44	3.95	4.12	4.23	3.91	3.38	3.74	4.12	4.48	3.43	3.78
Min	1.71	1.72	1.79	1.74	1.68	1.79	1.72	1.74	1.73	1.77
Max	3.95	4.12	4.23	3.91	3.38	3.74	4.12	4.48	3.43	3.78
R	2.24	2.40	2.45	2.18	1.70	1.95	2.40	2.74	1.70	2.00

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะการยุบตัวของชุดรับแรงกับแรงดันไฟฟ้าที่ได้จาก
ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ตัวที่ 21 ถึง 25 (ต่อ)

ระยะการยุบตัว ของชุดรับแรง (mm)	แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ (Volt)				
	#21	#22	#23	#24	#25
0	1.79	1.70	1.78	1.78	1.83
2	1.79	1.79	1.85	1.79	1.83
4	1.83	1.80	1.85	1.85	1.84
6	1.88	1.87	1.87	1.89	1.85
8	2.03	1.96	1.89	1.91	1.96
10	2.13	2.12	2.04	1.93	2.08
12	2.21	2.20	2.17	2.09	2.17
14	2.29	2.23	2.25	2.13	2.21
16	2.37	2.28	2.31	2.22	2.27
18	2.44	2.39	2.34	2.28	2.36
20	2.50	2.40	2.47	2.28	2.36
22	2.56	2.48	2.47	2.41	2.47
24	2.63	2.53	2.50	2.43	2.51
26	2.69	2.57	2.54	2.47	2.53
28	2.77	2.62	2.60	2.50	2.55
30	2.86	2.70	2.60	2.56	2.63
32	2.99	2.79	2.68	2.61	2.67
34	3.13	2.85	2.71	2.69	2.72
36	3.30	2.98	2.79	2.79	2.82
38	3.48	3.11	2.84	2.87	2.86
40	3.76	3.26	2.92	2.94	2.95
42	4.21	3.53	3.12	3.11	3.05
44	4.31	3.85	3.35	3.35	3.11
Min	1.79	1.70	1.78	1.78	1.83
Max	4.31	3.85	3.35	3.35	3.11
R	2.51	2.15	1.57	1.57	1.28

4.2 ชูตรับแรง

ในการออกแบบชูตรับแรงมีวัตถุประสงค์หลักคือ ต้องทนรับกับแรงที่รวดเร็วและรุนแรงได้ โดยไม่เกิดความเสียหายขึ้น ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงความแข็งแรงของอุปกรณ์เป็นหลัก ซึ่งทำมาจาก เหล็กเพลตตันจำนวน 25 ชุด โดยแต่ละชุดมีพื้นที่รับแรงเท่ากับ 1.0 ตารางนิ้ว และระยะการเคลื่อนที่ 50 มิลลิเมตร เพื่อรองรับการทดสอบสูงสุดที่ 44 มิลลิเมตร ตามมาตรฐานของ NIJ Standard-0101.04 [1] สำหรับการออกแบบชูตรับแรงนั้นได้ทำการประเมินปริมาณแรง จากแรงที่กระทำด้วยกระสุนปืน ขนาด 9 มิลลิเมตร, น้ำหนัก 8.0 กรัม ที่ความเร็ว 341 เมตรต่อวินาที ในระยะยิง 5 เมตร สามารถ คำนวณได้จากสมการที่ 2.5 ในบทที่ 2 ดังนี้

$$v = v_0^2 + 2a(x - x_0)$$

โดยที่ v คือความเร็วปลาย มีหน่วยเป็น (m/s)

v_0 คือความเร็วต้น มีหน่วยเป็น (m/s)

x คือตำแหน่งเริ่มต้น มีหน่วยเป็น (m)

x_0 คือตำแหน่งสุดท้าย มีหน่วยเป็น (m)

a คือความเร่งมีหน่วยเป็น (m/s^2)

จากสมการข้างต้นให้แทนค่าลงในตัวแปรของสมการ

$$v = 0 \text{ m/s}$$

$$v_0 = 341 \text{ m/s}$$

$$(x - x_0) = 44 \text{ mm}$$

จะได้ความเร่งเท่ากับ

$$a = \frac{0 - (341 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \times 44 \times 10^{-3} \text{ m}} = -1.32 \times 10^6 \text{ m/s}^2$$

จากนั้นคำนวณหาแรงที่กระทำโดยกระสุนปืนจากสมการที่ 2.11 ในบทที่ 2

$$F = ma$$

แทนค่าน้ำหนักกระสุนปืนลงในตัวแปรของสมการเพื่อหาค่าแรงจากกระสุนปืนมีค่าเท่ากับ

$$F = 0.008 \text{ kg} \times 1.32 \times 10^6 \text{ m/s}^2$$

$$F = 10,571 \text{ kg.m/s}^2$$

ดังนั้นชุดรับแรงต้องสามารถทนรับแรงจากกระสุนปืนขนาด $10,571 \text{ kg.m/s}^2$ ได้



รูปที่ 4.5 ชุดรับแรงสร้างจากเหล็กเพลตันจำนวน 25 ชุด

4.3 ชุดเปลี่ยนค่าแรงเป็นลม

เพื่อเป็นการป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดกับชุด สอลต์เฮ้ฟเฟทเซนเซอร์ จึงต้องเปลี่ยนค่าแรงที่มีปริมาณมากให้เป็นลมด้วยกระบอกสูบชนิดสองแกนรุ่น CJ2W16-45 จำนวน 25 ชุด หลักการคือเมื่อกระบอกสูบเคลื่อนที่就会有ปริมาณลมออกมาตามระยะการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบ จากนั้นนำลมที่ได้ไปควบคุมการเคลื่อนที่ของแท่งยึดแม่เหล็กถาวร ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ ในอัตราส่วน 1.0 ต่อ 0.22 มิลลิเมตร (ชุดรับแรงต่อแท่งยึดแม่เหล็กถาวร) ดังรายละเอียดในบทที่ 3 หัวข้อ 3.3.1 เพื่อใช้ในการแปลงค่าแรง ที่เป็นปริมาณฟิสิกส์ให้เป็นแรงดันไฟฟ้าด้วยสอลต์เฮ้ฟเฟทเซนเซอร์ อีกหน้าที่หนึ่งคือเป็นตัวกลางสำหรับรับและส่งแรงระหว่างชุดรับแรงกับชุดสร้างแรงดัน



รูปที่ 4.6 ชุดเปลี่ยนค่าแรงเป็นลมกับชุดสร้างแรงดัน

4.4 ชุดสร้างแรงดัน

สำหรับชุดวิศวกรรมการกระจายแรงนี้สามารถสร้างแรงดันทานได้โดยใช้ กระจบอกลูกสูบชนิดแกนเดี่ยวรุ่น CDJ2B16-60 ร่วมกับ Pressure Regulator ทำหน้าที่แปลงค่าลมให้เป็นแรงดัน สำหรับการประเมินค่าแรงดันนั้น ผู้ทำการวิจัยอาศัยข้อมูลในบทที่ 2 หัวข้อ 2.2.4 มาคำนวณหาค่าแรงดันของชุดวิศวกรรมการกระจายแรงได้จากสมการที่ 2.7 ในบทที่ 2 ร่วมกับข้อมูลการเตรียมกระเบาะวัสดุหนุนในบทที่ 2 หัวข้อ 2.1.5

$$v^2 = v_0^2 - 2g(y - y_0)$$

โดยที่ y คือตำแหน่งเริ่มต้น มีหน่วยเป็น (m)

y_0 คือตำแหน่งสุดท้าย มีหน่วยเป็น (m)

จากสมการข้างต้นให้แทนค่าลงในตัวแปรของสมการ

$$v = 0 \text{ m/s}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$(y - y_0) = 2 \text{ m} \text{ คือค่าระยะทางการปล่อยลูกตุ้มเหล็ก}$$

จะได้ความเร็วเริ่มต้นขณะลูกตุ้มเหล็กเริ่มสัมผัสดินน้ำมันกับ

$$V_0 = \sqrt{2 \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 2 \text{ m}} = 6.26 \text{ m/s}$$

จากนั้นทำการหาความเร่งของลูกตุ้มเหล็กขณะอยู่ในดินน้ำมันจากสมการที่ 2.5 ในบทที่ 2

$$a = \frac{(6.26 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \times 0.019 \text{ m}} = 1,031.25 \text{ m/s}^2$$

จากนั้นคำนวณหาแรงที่ลูกตุ้มเหล็กกระทำกับดินน้ำมันจากสมการที่ 2.11 ในบทที่ 2

$$F = 1.043 \text{ kg} \times 1,031.25 \text{ m/s}^2$$

$$F = 1,075.59 \text{ kg.m/s}^2$$

ดังนั้นชุดสร้างแรงต้านทั้ง 25 ชุดต้องสามารถทนรับแรงขนาด $1,075.59 \text{ kg.m/s}^2$ ได้

ต่อไปเป็นการคำนวณหาค่าแรงดันลมสำหรับจ่ายให้กับชุดสร้างแรงต้านในแต่ละชุดซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.21 ในบทที่ 2

$$P = \frac{F}{A}$$

โดยที่ F คือแรง มีหน่วยเป็นนิวตัน (N) หรือ (kg.m/s^2)

A คือพื้นที่ มีหน่วยเป็นตารางเซนติเมตร (cm^2)

P คือความดัน มีหน่วยเป็นปาสคาล (Pa)

A คือพื้นที่รับแรงของกระบอกสูบที่ทำหน้าที่สร้างแรงต้าน [10] ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$A = 2.0096 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$$

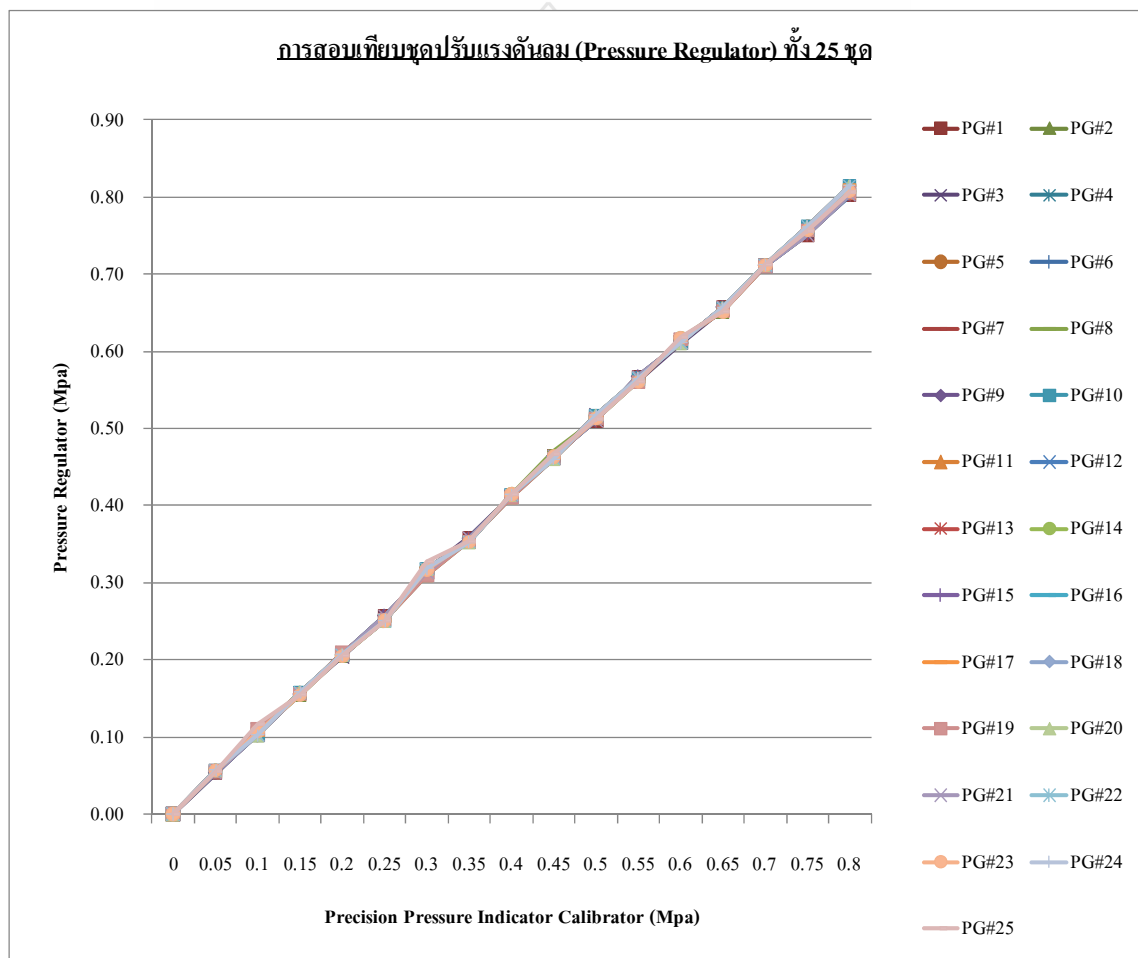
หาค่าแรงดันลมสำหรับจ่ายให้ชุดสร้างแรงต้านโดยแทนค่าลงในสมการที่ 2.21 จะได้

$$P = \frac{1,075.59 \text{ kg.m/s}^2}{2.0096 \times 10^{-4} \text{ cm}^2} = 5.35 \text{ Mpa}$$

ดังนั้นค่าแรงดันลมสำหรับจ่ายให้ชุดสร้างแรงต้านแต่ละชุดเท่ากับ $5.35/2 \text{ Mpa} = 0.2 \text{ Mpa}$

4.1.1 การสอบเทียบชุดปรับแรงดันลม (Pressure Regulator)

หลักการทำงานของชุดสร้างแรงดันนั้น สิ่งที่สำคัญที่จะทำให้ชุดสร้างแรงดันมีความถูกต้องในการทำงานแต่ละครั้งคือ ปริมาณแรงดันลมที่ป้อนให้ระบบทดสอบแต่ละชุดต้องมีความถูกต้อง ดังนั้นสิ่งที่จำเป็นต้องทำคือการสอบเทียบชุดปรับแรงดันลมทั้ง 25 ชุด โดยที่ผู้ทำการวิจัยได้ทำการสอบเทียบชุดปรับแรงดันลมทั้ง 25 ชุด ผลที่ได้คือชุดปรับแรงดันลมทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานดังแสดงในรูปที่ 4.7 และตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.7 การสอบเทียบชุดปรับแรงดันลม (Pressure Regulator)

ตารางที่ 4.2 การสอบเทียบชุดปรับแรงดันลมตัวที่ 1 ถึง 8

Precision Pressure Indicator Calibrator (Mpa)	Pressure Regulator (Mpa)							
	PG#1	PG#2	PG#3	PG#4	PG#5	PG#6	PG#7	PG#8
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.05	0.0541	0.0562	0.0532	0.0558	0.0571	0.0541	0.0571	0.0542
0.10	0.1022	0.1072	0.1045	0.1105	0.1023	0.1022	0.1023	0.1072
0.15	0.1560	0.1548	0.1572	0.1565	0.1581	0.1580	0.1581	0.1578
0.20	0.2070	0.2053	0.2034	0.2089	0.2066	0.2070	0.2066	0.2053
0.25	0.2576	0.2512	0.2546	0.2521	0.2507	0.2576	0.2507	0.2512
0.30	0.3130	0.3174	0.3177	0.3100	0.3183	0.3130	0.3183	0.3174
0.35	0.3577	0.3533	0.3586	0.3531	0.3527	0.3577	0.3527	0.3533
0.40	0.4125	0.4146	0.4124	0.4109	0.4143	0.4125	0.4143	0.4146
0.45	0.4640	0.4637	0.4609	0.4604	0.4608	0.4640	0.4608	0.4697
0.50	0.5101	0.5128	0.5174	0.5134	0.5169	0.5101	0.5169	0.5128
0.55	0.5674	0.5603	0.5614	0.5605	0.5644	0.5664	0.5644	0.5603
0.60	0.6113	0.6175	0.6102	0.6156	0.6108	0.6113	0.6108	0.6175
0.65	0.6571	0.6509	0.6535	0.6522	0.6565	0.6571	0.6565	0.6539
0.70	0.7110	0.7120	0.7119	0.7107	0.7122	0.7110	0.7122	0.7120
0.75	0.7512	0.7568	0.7542	0.7569	0.7614	0.7522	0.7614	0.7568
0.80	0.8031	0.8071	0.8087	0.8054	0.8147	0.8021	0.8147	0.8071

ตารางที่ 4.2 การสอบเทียบชุดปรับแรงดันลมตัวที่ 9 ถึง 16 (ต่อ)

Precision Pressure Indicator Calibrator (Mpa)	Pressure Regulator (Mpa)							
	PG#9	PG#10	PG#11	PG#12	PG#13	PG#14	PG#15	PG#16
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.05	0.0541	0.0571	0.0558	0.0571	0.0541	0.0562	0.0571	0.0541
0.10	0.1022	0.1023	0.1105	0.1023	0.1022	0.1072	0.1023	0.1022
0.15	0.1560	0.1581	0.1565	0.1581	0.1560	0.1548	0.1581	0.1560
0.20	0.2070	0.2066	0.2089	0.2066	0.2070	0.2053	0.2066	0.2070
0.25	0.2576	0.2507	0.2521	0.2507	0.2576	0.2512	0.2507	0.2576
0.30	0.3130	0.3183	0.3100	0.3183	0.3130	0.3174	0.3183	0.3130
0.35	0.3577	0.3527	0.3531	0.3527	0.3577	0.3533	0.3527	0.3577
0.40	0.4125	0.4143	0.4109	0.4143	0.4125	0.4146	0.4143	0.4125
0.45	0.4640	0.4608	0.4604	0.4608	0.4640	0.4637	0.4608	0.4640
0.50	0.5101	0.5169	0.5134	0.5169	0.5101	0.5128	0.5169	0.5101
0.55	0.5674	0.5644	0.5605	0.5644	0.5674	0.5603	0.5644	0.5674
0.60	0.6113	0.6108	0.6156	0.6108	0.6113	0.6175	0.6108	0.6113
0.65	0.6571	0.6565	0.6522	0.6565	0.6571	0.6509	0.6565	0.6571
0.70	0.7110	0.7122	0.7107	0.7122	0.7110	0.7120	0.7122	0.7110
0.75	0.7512	0.7614	0.7569	0.7614	0.7512	0.7568	0.7614	0.7512
0.80	0.8031	0.8147	0.8054	0.8147	0.8031	0.8071	0.8147	0.8031

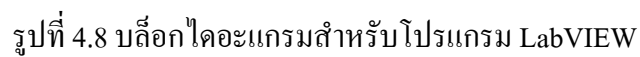
ตารางที่ 4.2 การสอบเทียบชุดปรับแรงดันลมตัวที่ 17 ถึง 25 (ต่อ)

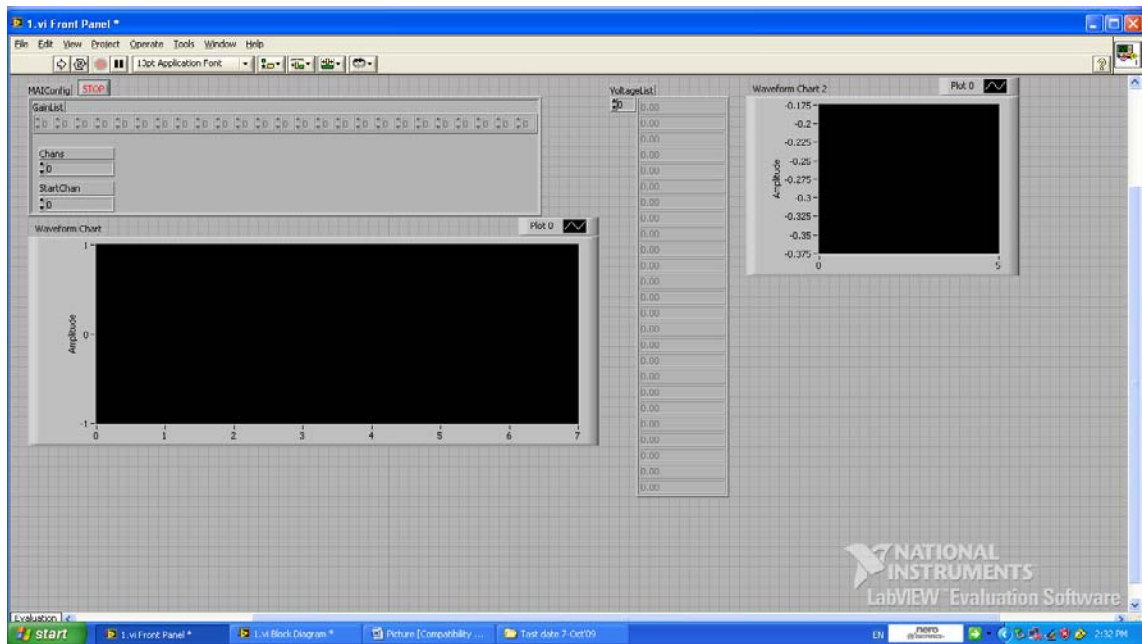
Precision Pressure Indicator Calibrator (Mpa)	Pressure Regulator (Mpa)								
	PG#17	PG#18	PG#19	PG#20	PG#21	PG#22	PG#23	PG#24	PG#25
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.05	0.0571	0.0562	0.0558	0.0571	0.0541	0.0571	0.0562	0.0571	0.0562
0.10	0.1023	0.1072	0.1105	0.1023	0.1022	0.1023	0.1072	0.1023	0.1172
0.15	0.1581	0.1548	0.1565	0.1581	0.1560	0.1581	0.1548	0.1581	0.1548
0.20	0.2066	0.2053	0.2089	0.2066	0.2070	0.2066	0.2053	0.2066	0.2053
0.25	0.2507	0.2512	0.2521	0.2507	0.2576	0.2507	0.2512	0.2507	0.2512
0.30	0.3183	0.3174	0.3100	0.3183	0.3130	0.3183	0.3174	0.3183	0.3274
0.35	0.3527	0.3533	0.3531	0.3527	0.3577	0.3527	0.3533	0.3527	0.3533
0.40	0.4143	0.4146	0.4109	0.4143	0.4125	0.4143	0.4146	0.4143	0.4146
0.45	0.4608	0.4637	0.4604	0.4608	0.4640	0.4608	0.4637	0.4608	0.4677
0.50	0.5169	0.5128	0.5134	0.5169	0.5101	0.5169	0.5128	0.5169	0.5128
0.55	0.5644	0.5603	0.5605	0.5644	0.5674	0.5644	0.5603	0.5644	0.5603
0.60	0.6108	0.6175	0.6156	0.6108	0.6113	0.6108	0.6175	0.6108	0.6178
0.65	0.6565	0.6509	0.6522	0.6565	0.6571	0.6565	0.6509	0.6565	0.6509
0.70	0.7122	0.7120	0.7107	0.7122	0.7110	0.7122	0.7120	0.7122	0.7120
0.75	0.7614	0.7568	0.7569	0.7614	0.7512	0.7614	0.7568	0.7614	0.7568
0.80	0.8147	0.8071	0.8054	0.8147	0.8031	0.8147	0.8071	0.8147	0.8071

4.5 ส่วนรับข้อมูล (Data Acquisition)

ส่วนรับข้อมูลทำหน้าที่รับสัญญาณไฟฟ้า ที่ได้จากทรานสดิวเซอร์ทั้ง 25 ตัว ซึ่งเป็นสัญญาณต่อเนื่องหรือที่เรียกว่า “สัญญาณอนาล็อก” ทำการแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อประโยชน์ในการบันทึกค่าของแรงที่แปลงอยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้า เพื่อใช้ในการคำนวณและแสดงผลต่อไป ซึ่งในส่วนนี้ต้องทำงานด้วยความเร็วสูง เนื่องจากต้องทำการเก็บค่าสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในเวลาเดียวกันจากทรานสดิวเซอร์ทั้ง 25 ชุด ในส่วนนี้ใช้ Data Acquisition PCI-Card รุ่น CI1715U ของบริษัท AdvanTech ที่มีช่องรับสัญญาณอนาล็อก 32 ช่อง มีอัตราการเก็บตัวอย่างของสัญญาณ (Sampling rate) 500 ks/s

ในส่วนนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์ตัวเครื่องคอมพิวเตอร์ และส่วนที่เป็นซอฟต์แวร์โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ในการติดต่อและรับค่าจากส่วนรับข้อมูลมาบันทึก เพื่อใช้ในการคำนวณ และแสดงผลกราฟิกสอง สามมิติโดยใช้โปรแกรม MATLAB ในบทที่ 2 หัวข้อ 2.7.5





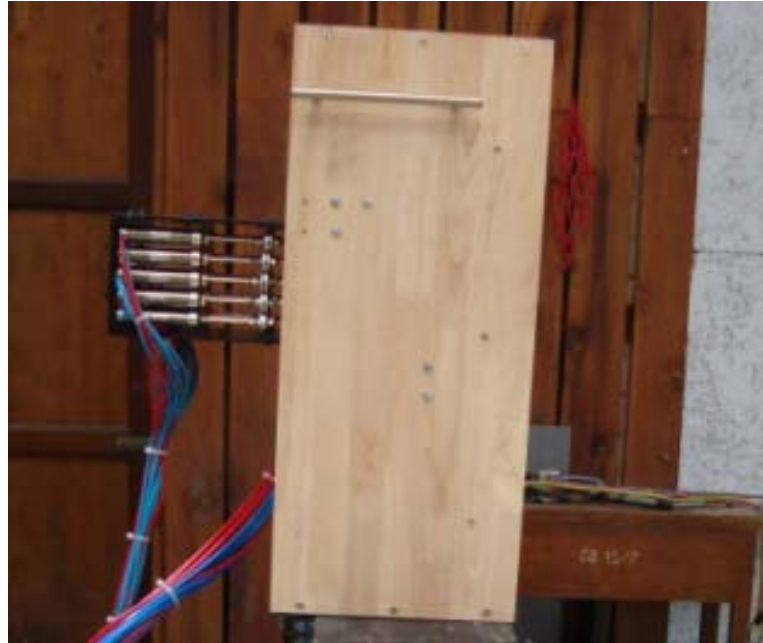
รูปที่ 4.9 การแสดงผลของโปรแกรม LabVIEW

4.7 การออกแบบชุดวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบเสื่อเกราะกันกระสุน

หลังจากการออกแบบส่วนประกอบต่างๆ ของชุดวัดการกระจายแรงจึงทำให้ได้ชุดวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบเสื่อเกราะกันกระสุนที่สมบูรณ์แบบดังรูปที่ 4.13



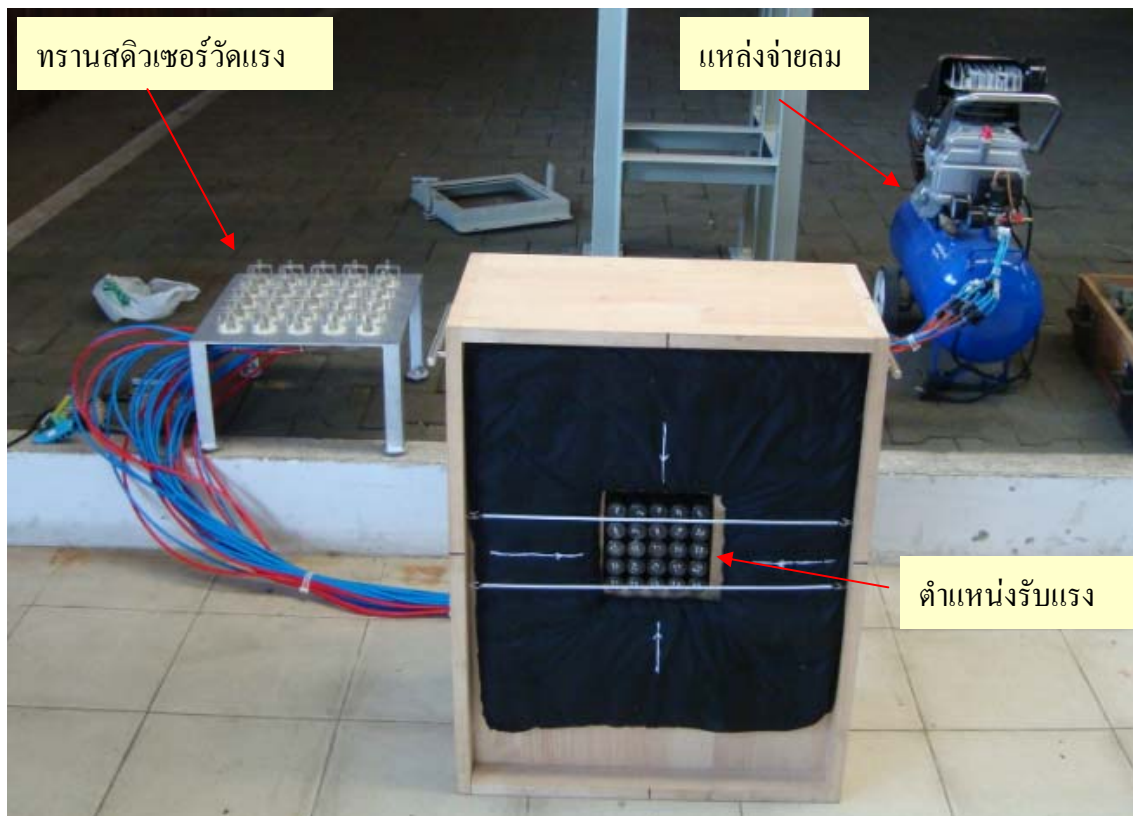
รูปที่ 4.10 ด้านหน้าของชุดวัดการกระจายแรง



รูปที่ 4.11 ด้านข้างของชุดวัดการกระจายแรง



รูปที่ 4.12 ด้านหลังของชุดวัดการกระจายแรง



รูปที่ 4.13 ชุดวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุนที่สมบูรณ์แบบ

4.8 สรุปการออกแบบชุดวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน

สำหรับการออกแบบชุดวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน ผู้วิจัยได้นำเอาผลที่ได้จากการออกแบบทรานสดิวเซอร์วัดแรงโดยใช้โซลล์เอ็ฟเฟคทเซ็นเซอร์ในบทที่ 3 มาประกอบเข้ากับชุดรับแรงซึ่งมีการออกแบบขึ้นใหม่เพื่อเสริมความแข็งแรงจำนวน 25 ชุดในพื้นที่รับแรง 25 ตารางนิ้ว พร้อมด้วยชุดสร้างแรงด้านปรับขนาดแรงค้ำค้มเท่ากับ 0.2 Mpa ต่อชุด ทั้งหมด 25 ชุด และหลังจากทำการประกอบในส่วนต่างๆ พร้อมแล้ว ในบทต่อไปจะเป็นการทดสอบชุดวัดการกระจายแรงกับเสื้อเกราะป้องกันกระสุน ด้วยการยิงจากกระสุนปืนจริง

บทที่ 5

การทดลองชุดวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบ

เสื่อเกราะกันกระสุน

หลังจากการออกแบบจนได้ ชุดวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบเสื่อเกราะกันกระสุนขั้นตอนต่อไปเป็นการนำเอาชุดวัดการกระจายแรงไปทดสอบกับเสื่อเกราะกันกระสุนด้วยการยิงจากกระสุนปืนจริง แต่อย่างไรก็ตามต้องทำการเปรียบเทียบระหว่างชุดวัดการกระจายแรงกับวิธีการตามมาตรฐานของ NIJ-Standard ก่อนที่จะทำการทดสอบกับกระสุนปืนจริงเพื่อที่จะได้ถึงความถูกต้องหรือผลลัพธ์จะได้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน สำหรับการทดสอบในบทนี้ผู้ทำการวิจัยได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 หัวข้อหลักโดยเริ่มจากการทดสอบความเป็นไปได้ของชุดรับแรงในการตรวจจับแรงจากกระสุนปืนจริงในกรณีที่ใช้กระบอกสูบเป็นชุดรับแรงโดยตรง การทดลองครั้งที่สองเป็นการทดสอบชุดวัดการกระจายแรงในกรณีที่มีการออกแบบชุดรับแรงขึ้นใหม่เพื่อเพิ่มความสามารถทนต่อแรงจากกระสุนปืนได้ และสุดท้ายเป็นการทดลองชุดวัดการกระจายแรงที่มีการปรับเทียบค่าให้ใกล้เคียงกับมาตรฐานของ NIJ-Standard

5.1 การทดลองครั้งที่ 1

สำหรับการทดลองครั้งนี้วัตถุประสงค์หลักคือ การศึกษาความเป็นไปได้ของชุดวัดการกระจายแรงที่สามารถตรวจจับแรงที่เกิดขึ้นบนเสื่อเกราะกันกระสุนหลังถูกกระทำด้วยแรงจากกระสุนปืนจริง โดยผู้ทำการวิจัยได้ทำการติดตั้งชุดรับแรงจำนวน 5 ชุด ที่ใช้แกนของกระบอกสูบชนิดสองแกนเป็นตัวรับแรงจากกระสุนปืนโดยตรงพร้อมกับชุดทรานสดิวเซอร์จำนวน 5 ชุด เช่นกันเพื่อใช้สำหรับการแปลงค่าแรงที่เกิดขึ้นให้อยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้า การทดลองครั้งนี้ก็เพื่อพิสูจน์ว่าชุดรับแรงสามารถทนต่อแรงจากกระสุนปืนจริงได้ และทรานสดิวเซอร์มีการตอบสนองหลังจากที่ชุดรับแรงเกิดการเคลื่อนที่



รูปที่ 5.1 ชุดวัดการกระจายแรงที่ใช้ชุดรับแรงเป็นแกนของกระบอกสูบจำนวน 5 ชุด

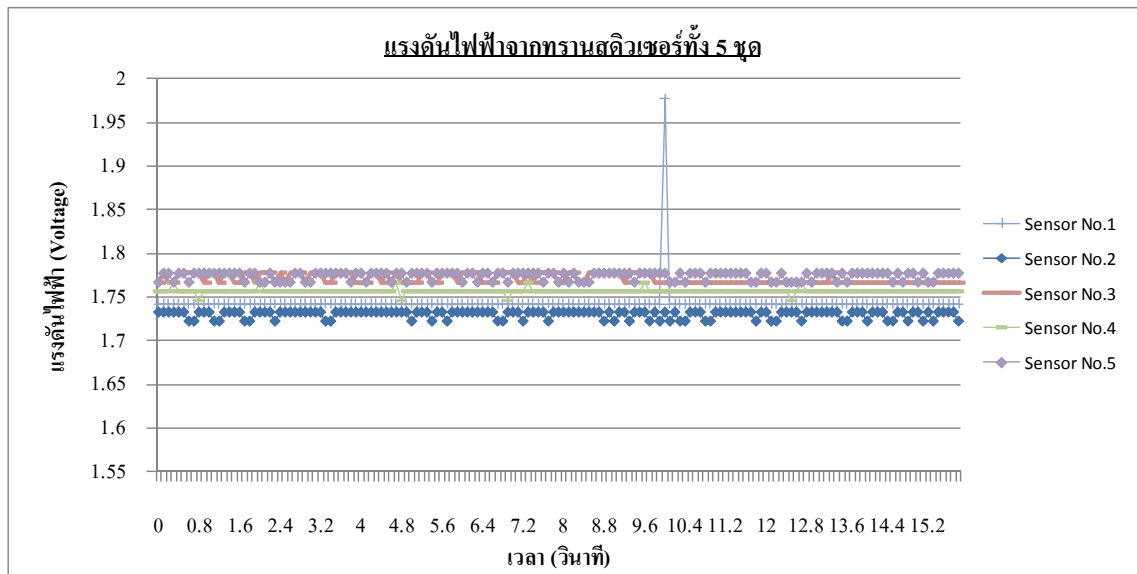
5.1.1 การทดลองยิงด้วยกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตร

การทดลองเริ่มจากการปรับค่าแรงดันลมให้กับชุดสร้างแรงดันมีค่าเท่ากับ 0.2 Mpa จากนั้นนำเสื้อเกราะกันกระสุนวางบนชุดวัดการกระจายแรงดังรูปที่ 5.2 ทำการปรับแสงเลเซอร์เพื่อเร่งการยิงกระสุนปืนไปยังเซ็นเซอร์หมายเลข 1 หรือก็คือตรงกลางของชุดรับแรงนั่นเอง และทำการยิงด้วยกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตร (8.0 กรัม, 341 เมตรต่อวินาที)



รูปที่ 5.2 การทดลองยิงด้วยกระสุนปืนจริงขนาด 9 มิลลิเมตร

ผลที่ได้จากการยิงด้วยกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตร (8.0 กรัม, 341 เมตรต่อวินาที) ทำให้เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ซึ่งอยู่ตรงกลางสามารถตรวจจับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงได้ เนื่องจากเป็นตำแหน่งตรงกลางของการยิงทดสอบ ซึ่งเป็นจุดที่มีแรงมากที่สุด แต่เซ็นเซอร์ตัวที่เหลือคือ เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ถึง 5 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 แรงดันไฟฟ้าจากทรานสดิวเซอร์ทั้ง 5 ชุดจากการทดสอบด้วยกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตร

ดังนั้นเป็นการพิสูจน์แล้วว่าทรานสดิวเซอร์มีความสามารถในการตรวจจับความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับชุดรับแรงเมื่อถูกกระทำด้วยแรงจากกระสุนปืน แต่ผลที่ได้ในข้างต้นทำให้มีการตั้งข้อสมมุติฐานไว้สองประการคือ หนึ่งการที่เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ทำงานเพียงตัวเดียวอาจเป็นเพราะว่าเพราะว่าเสื่อเกราะกันกระสุนสามารถดูดซับแรงได้ดี จึงทำให้แรงที่กระจายออกมีค่าน้อยจนเซ็นเซอร์ตัวอื่นตรวจจับไม่ได้ หรือเป็นเพราะว่าในการทดลองมีการปรับค่าแรงดันลมให้กับชุดสร้างแรงดันมากเกินไป

5.1.2 การทดลองยิงด้วยกระสุนปืนขนาด .44 Magnum

การทดลองเป็นการเปลี่ยนขนาดของกระสุนปืนจากเดิมใช้ขนาด 9 มิลลิเมตร (8.0 กรัม, 341 เมตรต่อวินาที) เปลี่ยนเป็นขนาด .44 Magnum (15.6 กรัม, 436 เมตรต่อวินาที) ซึ่งมีความรุนแรงกว่าเดิม จากนั้นทำการทดลองเหมือนกับข้อ 5.1.1 ผลที่ได้เซ็นเซอร์ทั้ง 5 ชุด ไม่สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับชุดรับแรงได้เป็นเพราะว่าชุดรับแรงตัวที่ 1, 2 และ 5 เกิดความเสียหายโดยที่แกนของเซ็นเซอร์ทั้ง 3 ตัว เกิดงอจนใช้งานไม่ได้ดังรูปที่ 5.4

5.1.3 สรุปสำหรับการทดลองครั้งที่ 1

จากการทดลองทั้งหมดในครั้งที่ 1 ทำให้ทราบว่าชุดวัดการกระจายแรงที่ทำการออกแบบนั้นสามารถตรวจจับความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นบนเสื่อเกราะกันกระสุนได้หลังถูกกระทำด้วยแรงของกระสุนปืนจากการทำงานของทรานสดิวเซอร์ทั้ง 5 ชุด ที่ทำการติดตั้งไว้ แต่ชุดรับแรงที่ทำมาจากแกนของกระบอกสูบทั้ง 5 ตัวนั้นไม่สามารถทนต่อแรงของกระสุนปืนขนาด .44 Magnum ได้ จึงเกิดความเสียหายขึ้นที่ชุดรับแรงดังรูปที่ 5.4



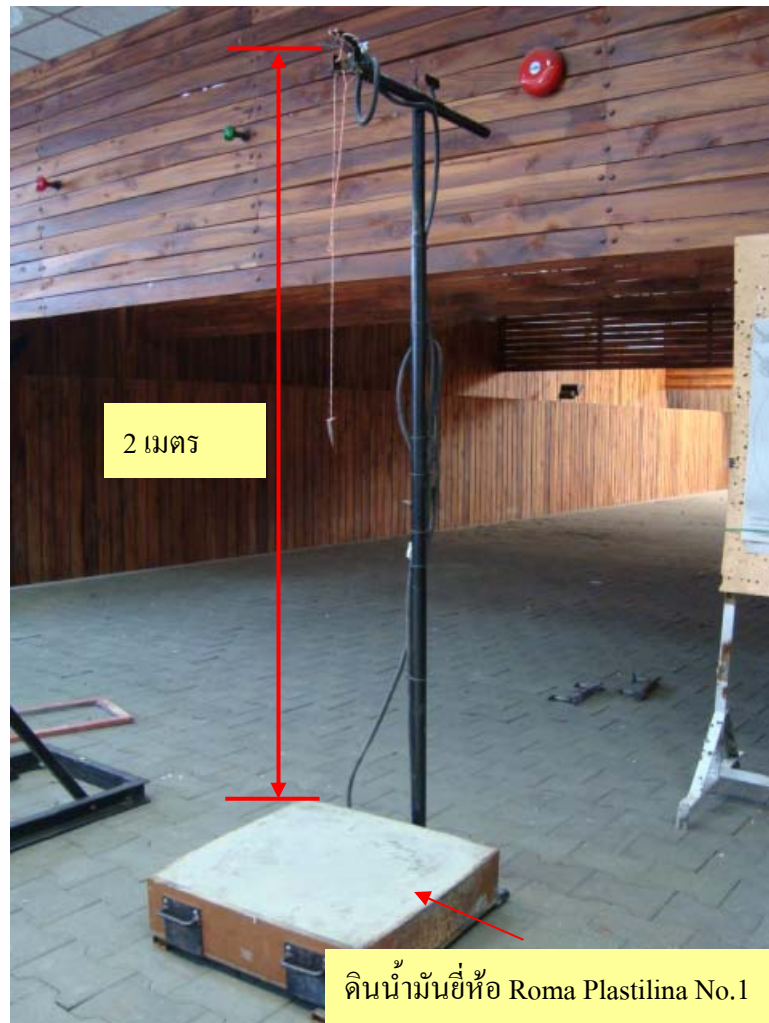
รูปที่ 5.4 ชุดรับแรงตัวที่ 1, 2 และ 5 เสียหายหลังทดสอบด้วยกระสุนปืนขนาด .44 Magnum

5.2 การทดลองครั้งที่ 2

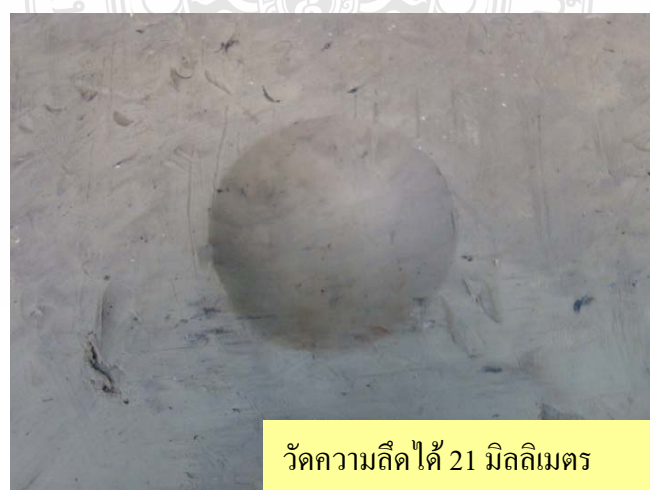
ในครั้งนี้มีการออกแบบชุดรับแรงขึ้นใหม่ โดยเพิ่มความแข็งแรงมากกว่าเดิมดังที่ได้แสดงวิธีการออกแบบไว้ในบทที่ 4 หัวข้อ 4.2 ทำการทดลองโดยเริ่มจากการสอบเทียบค่าระหว่างชุดวัดการกระจายแรงกับวิธีตามมาตรฐาน NIJ-Standard จากนั้นทำการทดสอบด้วยกระสุนปืนจริงขนาด 9 มิลลิเมตร (8.0 กรัม, 341 เมตรต่อวินาที) กับเสื้อเกราะกันกระสุนประเภทต่างๆ โดยทำการปรับแรงดันลมของชุดสร้างแรงด้านทานไว้ที่ 0.2 Mpa

5.2.1 การทดสอบ ดินน้ำ Roma Plastilina No.1 ตามมาตรฐาน NIJ Standard-0101.04 ด้วย ลูกตุ้มเหล็ก

ตามมาตรฐานของ NIJ Standard-0101.04 ได้ทำการทดสอบดินน้ำ Roma Plastilina No.1 ด้วยลูกตุ้มเหล็กขนาด $1,043 \pm 5$ กรัม ที่ความสูง 2 เมตร รอยยุบที่เกิดขึ้นต้องอยู่ระหว่าง 19 ± 2 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 5.5 และ 5.6 หรือถ้าคำนวณหาค่าแรงด้านของดินน้ำมันจะได้เท่ากับ $1,075.59 \text{ kg.m/s}^2$ จากการคำนวณที่ผ่านมาในบทที่ 4 หลังการทดสอบได้ความลึกของดินน้ำมันจากการปล่อยลูกตุ้มเหล็กที่ความสูง 2 เมตรวัดความลึกได้เท่ากับ 21 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.5 ทำการทดสอบดินน้ำมัน Roma Plastilina No.1 ด้วยลูกตุ้มเหล็ก

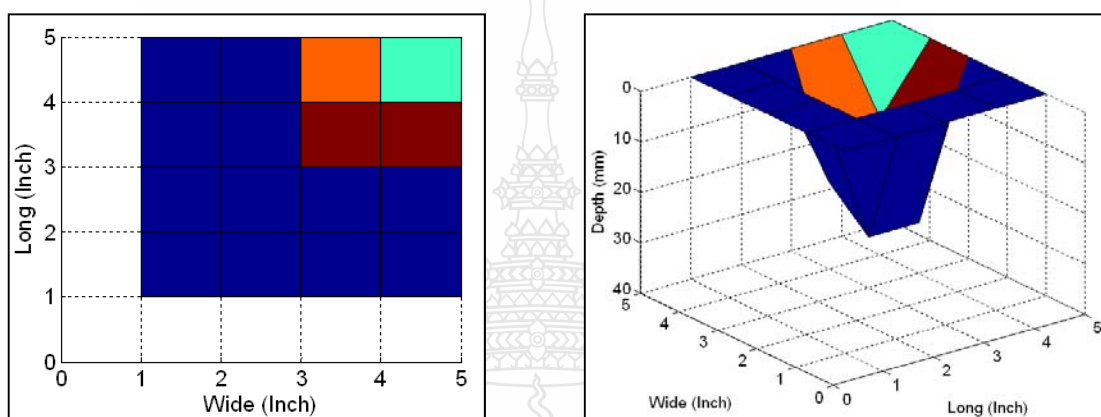


รูปที่ 5.6 ผลหลังทดสอบปล่อยลูกตุ้มเหล็กที่ความสูง 2 เมตร

5.2.2 การสอบเทียบชุดวัดการกระจายแรงตามมาตรฐาน NIJ Standard-0101.04 ด้วยลูกตุ้ม

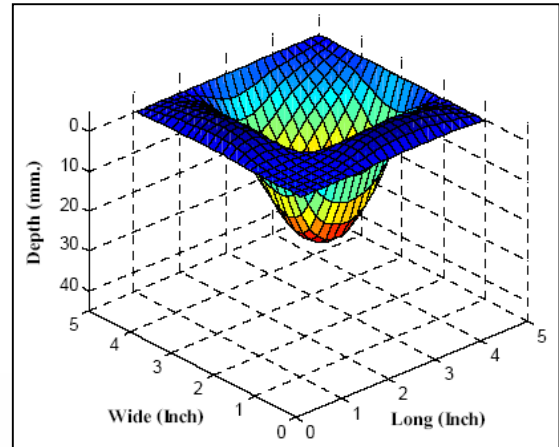
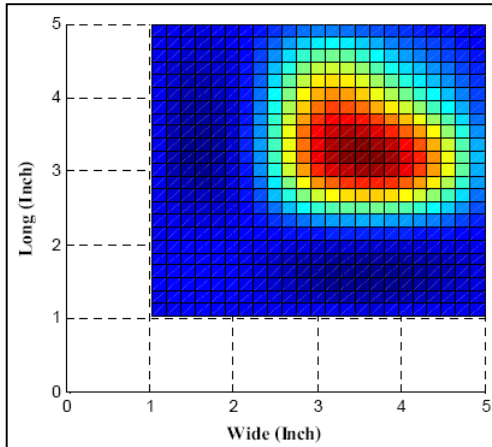
เหล็ก

ก่อนที่จะทำการทดสอบชุดวัดการกระจายแรงด้วยกระสุนปืนจริง ต้องทำการสอบเทียบชุดวัดการกระจายแรงกับมาตรฐาน NIJ Standard-0101.04 เสียก่อน เพื่อให้การแสดงผลค่าหลังการวัดมีความใกล้เคียง เท่ากัน หรือมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน ตามทฤษฎีในบทที่ 2 หัวข้อ 2.1 และกระทำเหมือนข้อ 5.2.1 แต่เพียงแค่เปลี่ยนจากดินน้ำมันมาเป็นชุดวัดการกระจายแรงแทน ซึ่งชุดวัดการกระจายแรงสามารถวัดความลึกได้เท่ากับ 30 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 การกระจายแรงจากการสอบเทียบด้วยลูกตุ้มเหล็ก

หลังจากทำการทดสอบชุดวัดการกระจายแรงด้วยลูกตุ้มเหล็กโปรแกรม LabVIEW จะทำการบันทึกค่าที่วัดได้ทั้งหมดจากชุดทรานสดิวเซอร์ทั้ง 25 ชุด จากนั้นนำค่าที่ได้ไปแสดงเป็นกราฟสอง และสามมิติด้วยโปรแกรม MATLAB ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 5.7 โดยสังเกตว่าค่าที่แสดงเป็นกราฟสอง และสามมิตินั้นมีความละเอียดน้อยมาก ดังนั้นผู้ทำการวิจัยจึงได้ทำการเพิ่มความละเอียดของข้อมูลเพื่อแสดงเป็นกราฟสอง และสามมิติที่มีความละเอียดมากขึ้นโดยใช้หลักการทางคณิตศาสตร์เรื่องการประมาณค่าในช่วง (Interpolation Method) ตามทฤษฎีในบทที่ 2 หัวข้อ 2.7.5 การประมาณค่าใน 2 มิติ จากนั้นทำการสร้างกราฟสอง และสามมิติขึ้นใหม่ด้วยโปรแกรม MATLAB จากผลการทดลองในข้อนี้ ผลที่ได้ดังรูปที่ 5.8 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงกราฟสอง และสามมิติที่มีความละเอียดมากขึ้นกว่าเดิม และต่อจากนี้ไปทุกการทดลองก็จะใช้หลักการเดียวกันนี้สำหรับสร้างเป็นกราฟสอง และสามมิติ



รูปที่ 5.8 การกระจายแรงจากการสอบเทียบด้วยลูกตุ้มเหล็กหลังใช้วิธีการประมาณค่าใน 2 มิติ

5.2.3 สรุปผลการสอบเทียบระหว่างชุดวัดการกระจายแรงกับดินน้ำมัน Roma Plastilina

No.1 ตามมาตรฐาน NIJ Standard-0101.04 ด้วยลูกตุ้มเหล็ก

การทดสอบดินน้ำมันด้วยลูกตุ้มเหล็กให้ผลที่ความลึกเท่ากับ 21 มิลลิเมตร ส่วนการทดสอบชุดวัดการกระจายแรงให้ผลที่ความลึกเท่ากับ 30 มิลลิเมตร ดังนั้นสามารถหาความแม่นยำของชุดวัดการกระจายแรงได้จากสมการที่ 2.29 ในบทที่ 2 มีค่าเท่ากับ 57.14%

$$A = 1 - \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right| \times 100$$

โดยที่ A คือเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำ

Y_n คือค่าที่แท้จริงของสิ่งที่วัด

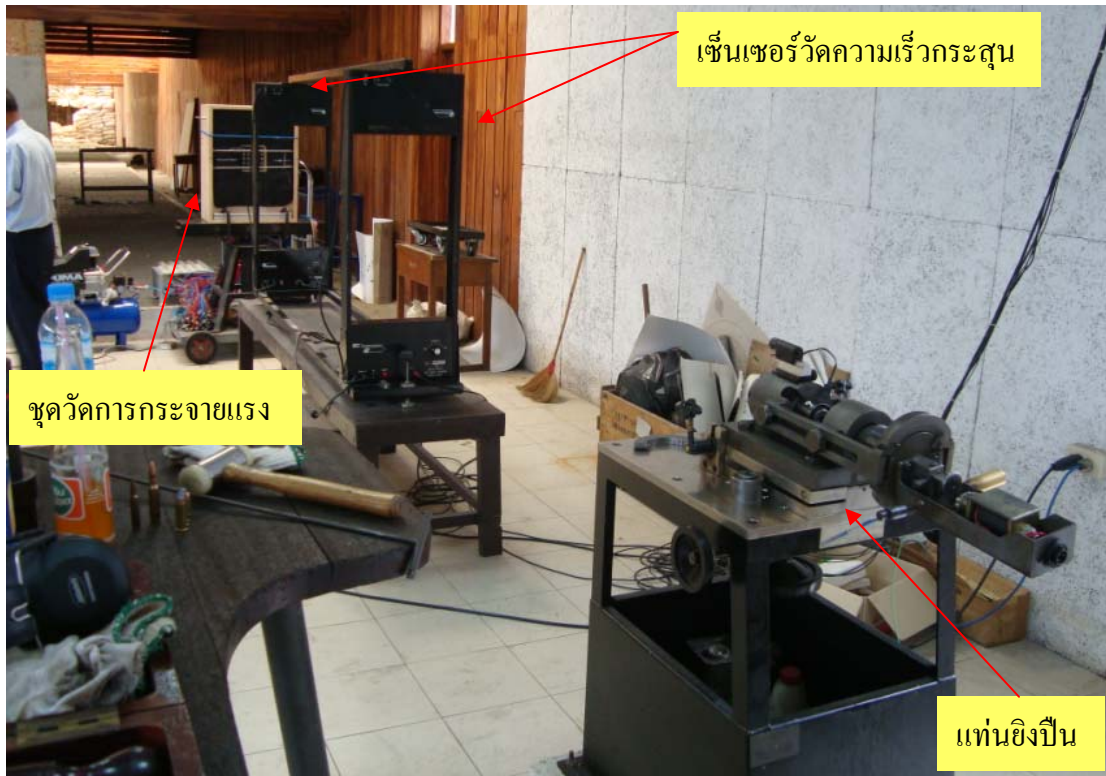
X_n คือค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัด

$$A = 1 - \left| \frac{21 - 30}{21} \right| \times 100$$

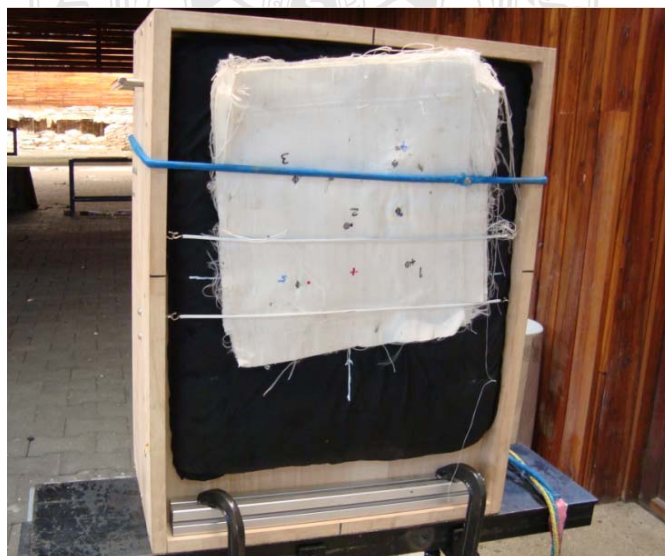
$$A = 57.14 \%$$

5.2.4 ทดสอบชุดวัดการกระจายแรงกับเสื้อเกราะป้องกันกระสุนปืน

หลังทำการสอบเทียบชุดวัดการกระจายแรงในข้างต้นแล้ว ต่อไปเป็นการทดสอบชุดวัดการกระจายแรงด้วยกระสุนปืนจริงกับเสื้อเกราะป้องกันกระสุนปืนชนิดต่างๆ



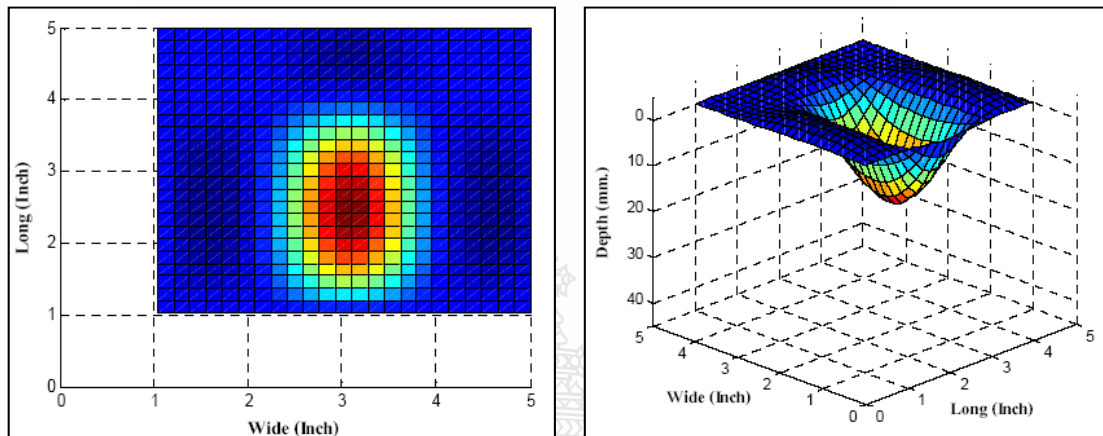
รูปที่ 5.9 ชุดทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุนปืน



รูปที่ 5.10 เสื้อเกราะกันกระสุนวางบนชุดวัดการกระจายแรง

ก. ทดสอบเสื่อเกราะป้องกันกระสุนปืนชนิด “ผ้าไม่ทอ”

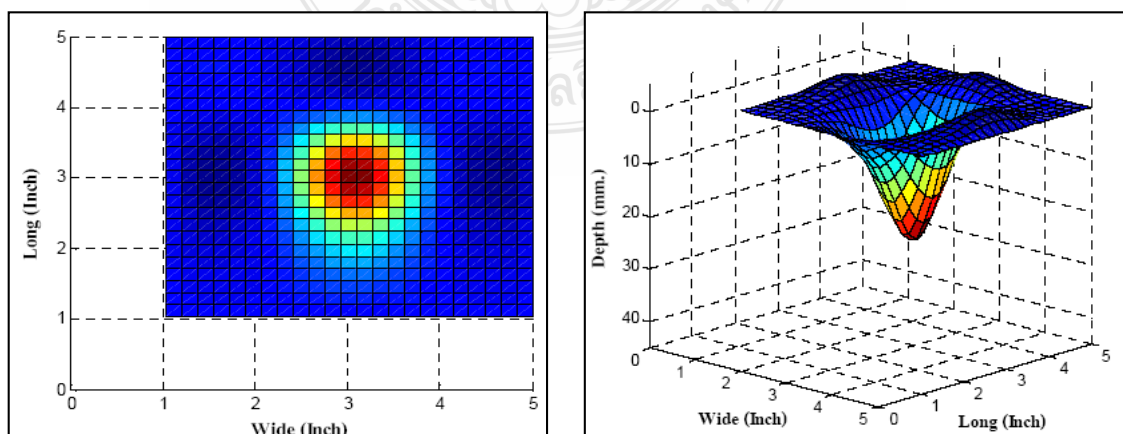
ทดสอบกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตร (8.0 กรัม, 335.87 เมตรต่อวินาที) บนดินน้ำมัน Roma Plastilina No.1 ได้ความลึก 15 มิลลิเมตร จากนั้นทำการทดสอบด้วยเครื่องวัดการกระจายแรงกับกระสุนขนาด 9 มิลลิเมตร (8.0 กรัม, 336.75 เมตรต่อวินาที) เพื่อทำการเปรียบเทียบ โดยสามารถวัดความลึกได้เท่ากับ 18 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 5.11 ดังนั้นความแม่นยำของชุดวัดการกระจายแรงมีค่าเท่ากับ 80%



รูปที่ 5.11 การกระจายแรงบนเสื่อเกราะชนิด “ผ้าไม่ทอ”

ข. ทดสอบเสื่อเกราะป้องกันกระสุนปืนชนิด “ผ้าถักแนวเส้นยืน”

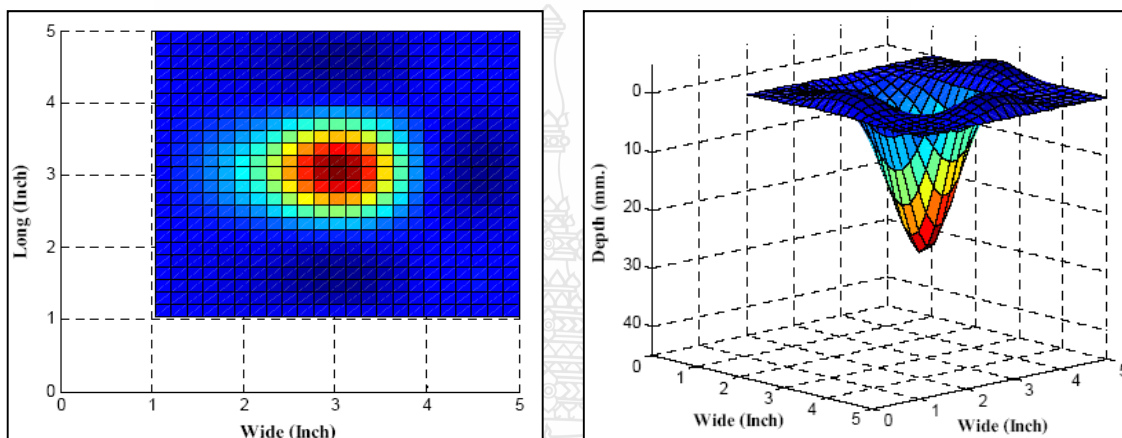
ทดสอบด้วยกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตร (8.0 กรัม, 346.03 เมตรต่อวินาที) บนดินน้ำมัน Roma Plastilina No.1 ได้ความลึก 22.2 มิลลิเมตร จากนั้นทำการทดสอบด้วยเครื่องวัดการกระจายแรงกับกระสุนขนาด 9 มิลลิเมตร (8.0 กรัม, 335.35 เมตรต่อวินาที) เพื่อทำการเปรียบเทียบ โดยสามารถวัดความลึกได้เท่ากับ 25 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 5.12 ดังนั้นความแม่นยำของชุดวัดการกระจายแรงมีค่าเท่ากับ 87.3%



รูปที่ 5.12 การกระจายแรงบนเสื่อเกราะชนิด “ผ้าถักแนวเส้นยืน”

ค. ทดสอบเสื่อเกราะป้องกันกระสุนปืนชนิด “ผ้าทอ”

ทดสอบกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตร (8.0 กรัม, 343.73 เมตรต่อวินาที) บนดินน้ำมัน Roma Plastilina No.1 ให้ความลึก 25 มิลลิเมตร จากนั้นทำการทดสอบด้วยเครื่องวัดการกระจายแรงกับกระสุนขนาด 9 มิลลิเมตร (8.0 กรัม, 340.98 เมตรต่อวินาที) เพื่อทำการเปรียบเทียบ โดยสามารถวัดความลึกได้เท่ากับ 27 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 5.13 ดังนั้นความแม่นยำของชุดวัดการกระจายแรงมีค่าเท่ากับ 92%



รูปที่ 5.13 การกระจายแรงบนเสื่อเกราะชนิด “ผ้าทอ”

5.3 การทดลองครั้งที่ 3

เนื่องจากการทดสอบในครั้งที่ 2 ได้พบว่าเกิดความแตกต่างขึ้นระหว่างชุดวัดการกระจายแรงกับวิธีการของ NIJ-Standard ในขั้นตอนการสอบเทียบถึง 42.86% ดังนั้นผู้ทำการวิจัยจึงได้ทำการทดสอบใหม่อีกครั้ง โดยครั้งนี้ได้ทำการปรับค่าแรงดันลมที่จ่ายให้กับชุดสร้างแรงดันเพิ่มขึ้นจากเดิมอยู่ที่ 0.2 Mpa เป็น 0.25 Mpa จากนั้นทำการทดลองเหมือนกับขั้นตอนในข้อ 5.2 เพียงแต่ใช้เสื่อเกราะในการทดลองที่แตกต่างกันรวมถึงขนาดของกระสุนปืนที่มีความแตกต่างกันดังต่อไปนี้

5.3.1 การทดสอบ ดินน้ำมัน Roma Plastilina No.1 ตามมาตรฐาน NIJ Standard-0101.04 ด้วยลูกตุ้มเหล็ก

ครั้งนี้ทำการทดสอบดินน้ำมันด้วยลูกตุ้มเหล็กจำนวน 3 ครั้งผลที่ได้คือ มีความลึกเท่ากับ 20, 18 และ 20 มิลลิเมตรตามลำดับ ดังนั้นค่าเฉลี่ยความลึกเท่ากับ 19.33 มิลลิเมตร

5.3.2 การสอบเทียบชุดวัดการกระจายแรงตามมาตรฐาน NIJ Standard-0101.04 ด้วยลูกตุ้มเหล็ก

จากการทดสอบชุดวัดการกระจายแรงด้วยลูกตุ้มเหล็กจากการทำซ้ำสามครั้งผลของความลึกที่วัดได้คือ 21, 21 และ 22 มิลลิเมตรตามลำดับ ดังนั้นมีค่าเฉลี่ยของความลึกที่วัดได้เท่ากับ 21.33 มิลลิเมตร ซึ่งผลที่ได้นั้นมีความใกล้เคียงกับมาตรฐาน NIJ-Standard มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ การทดสอบในครั้งแรก โดยที่การทดสอบในครั้งนี้ให้ความแม่นยำที่มากขึ้นคือเท่ากับ 89.65 % (เดิม ความแม่นยำเท่ากับ 57.14%) และได้ความเที่ยงตรงของการวัดอยู่ที่ 96.85% ซึ่งความเที่ยงตรงหาได้จากสมการที่ 2.30 ในบทที่ 2

$$P = 1 - \left| \frac{X_n - \bar{X}_n}{\bar{X}_n} \right| \times 100$$

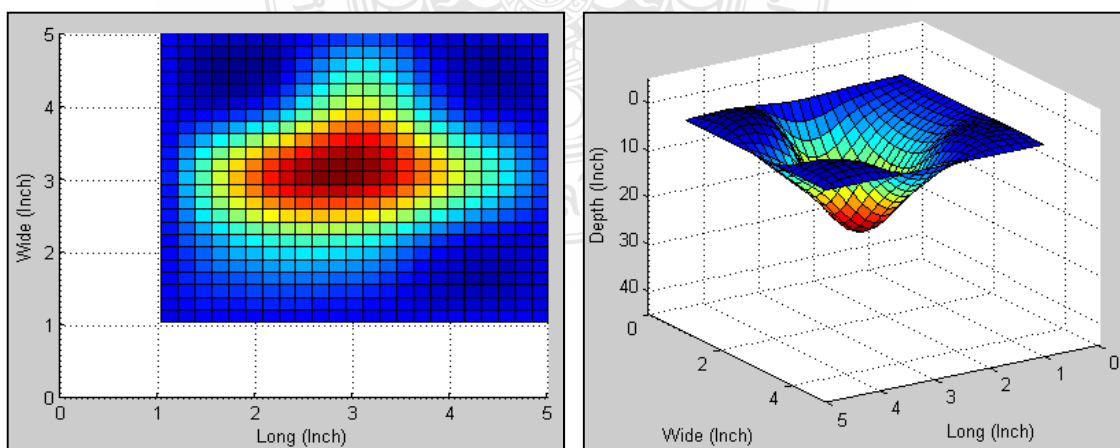
โดยที่ P คือเปอร์เซ็นต์ความเที่ยงตรง

X_n คือค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัด

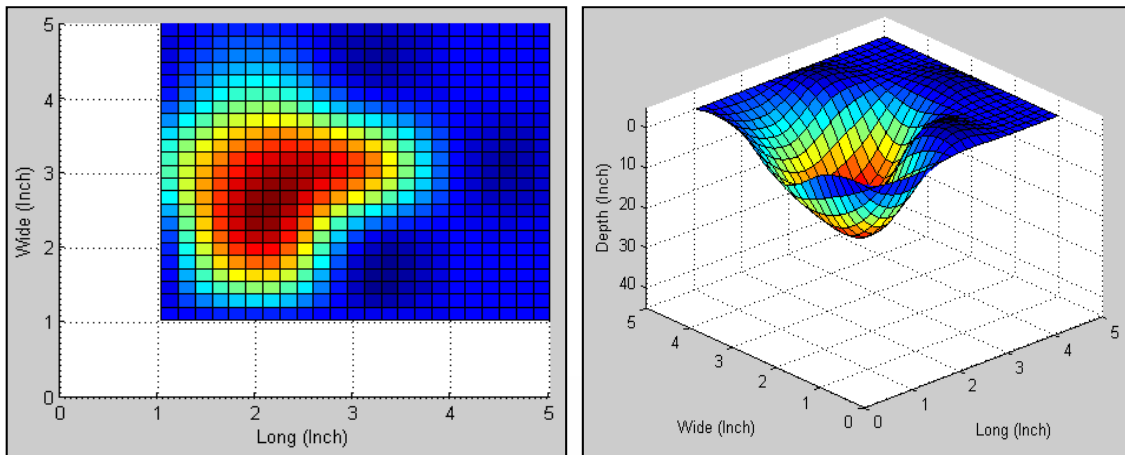
$\bar{X}_n$ คือค่าเฉลี่ยของการวัด

$$P = 1 - \left| \frac{22 - 21.33}{21.33} \right| \times 100$$

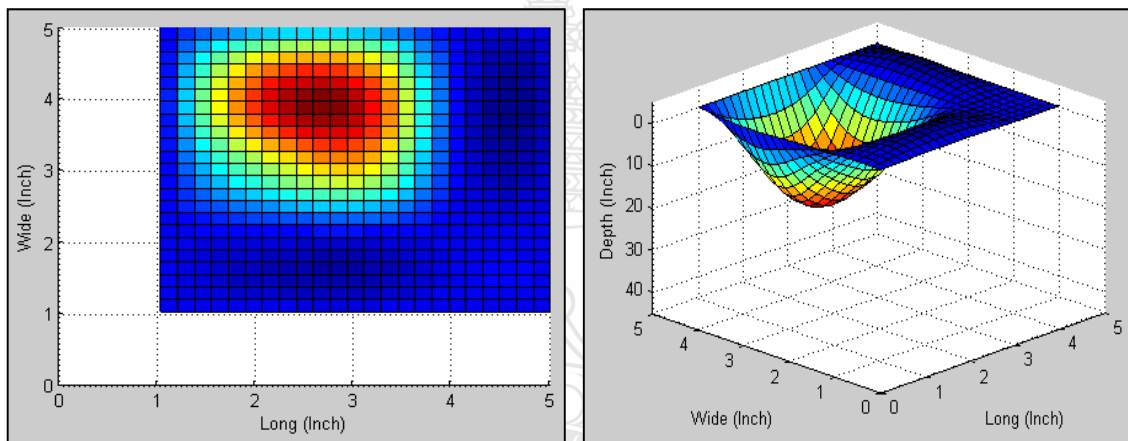
$$P = 96.85\%$$



รูปที่ 5.14 การทดสอบด้วยลูกตุ้มเหล็กครั้งที่ 1 (ความลึกเท่ากับ 21 มิลลิเมตร)



รูปที่ 5.15 การทดสอบด้วยลูกตุ้มเหล็กครั้งที่ 2 (ความลึกเท่ากับ 21 มิลลิเมตร)

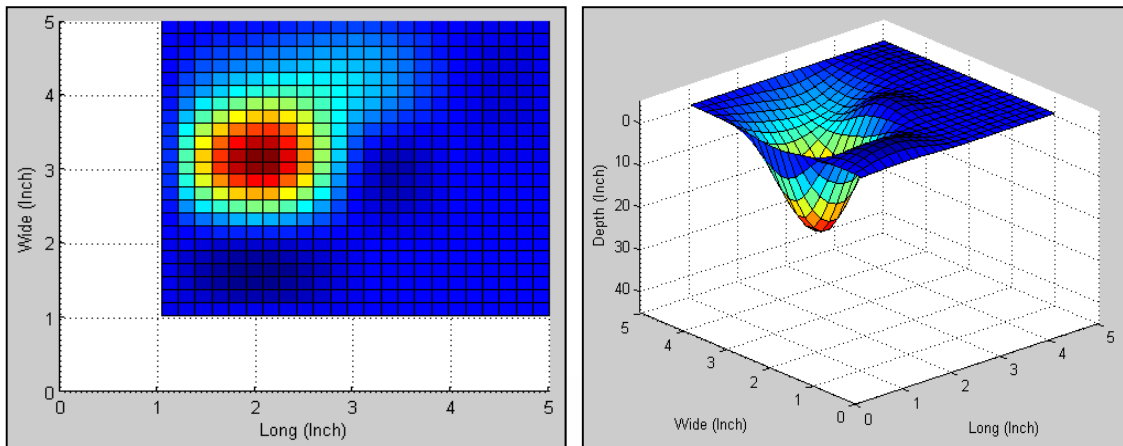


รูปที่ 5.16 การทดสอบด้วยลูกตุ้มเหล็กครั้งที่ 3 (ความลึกเท่ากับ 22 มิลลิเมตร)

5.3.3 ทดสอบชุดวัดการกระจายแรงกับสื่อเกราะป้องกันกระสุนปืน

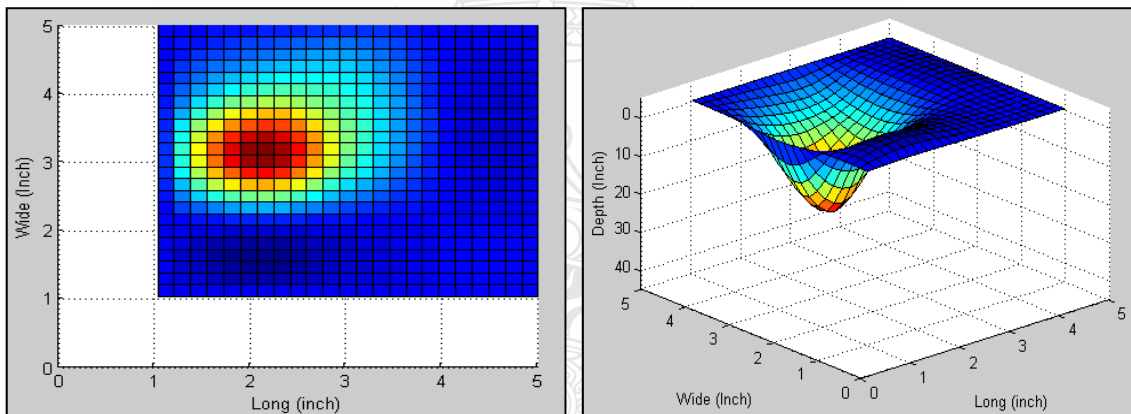
ทดสอบด้วยกระสุนปืนขนาด 0.38 มิลลิเมตร (6.2 กรัม, 265.48 เมตรต่อวินาที) บนดินน้ำมัน Roma Plastilina No.1 ได้ความลึก 26.25 มิลลิเมตร จากนั้นทำการทดสอบกับชุดวัดการกระจายแรงโดยทำการทดสอบยิงด้วยกระสุนปืนเป็นจำนวน 2 ครั้งดังต่อไปนี้

ก. ทดสอบยิงครั้งที่ 1 : ยิงด้วยกระสุนขนาด 0.38 มิลลิเมตร (6.2 กรัม, 271.08 เมตรต่อวินาที) เครื่องวัดความลึกได้เท่ากับ 25 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 5.17



รูปที่ 5.17 การกระจายแรงบนเสื้อเกราะสำหรับการยิงครั้งที่ 1 (ความลึกเท่ากับ 25 มิลลิเมตร)

ข. ทดสอบยิงครั้งที่ 2 : ยิงด้วยกระสุนขนาด 0.38 มิลลิเมตร (6.2 กรัม, 268.12 เมตรต่อวินาที) เครื่องวัดความลึกได้เท่ากับ 24 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 5.18



รูปที่ 5.18 การกระจายแรงบนเสื้อเกราะสำหรับการยิงครั้งที่ 2 (ความลึกเท่ากับ 24 มิลลิเมตร)

จากผลการทดสอบด้วยเครื่องทั้งสองครั้งพบว่าผลที่ได้มีความใกล้เคียงกับวิธีการของ NIJ-Standard มากขึ้น โดยเฉลี่ยความลึกเท่ากับ 24.5 มิลลิเมตร และถ้าคิดเป็นความแม่นยำจะได้เท่ากับ 93.33% และค่าความเที่ยงตรงเท่ากับ 97.95%

บทที่ 6

สรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุป

ชุดวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบเสื่อเกราะกันกระสุนที่ได้ออกแบบมาทั้งหมดนั้นมีเหมาะสมสำหรับใช้ทดสอบกับเสื่อเกราะกันกระสุนที่มีคุณสมบัติเบื้องต้นคือ กระสุนต้องไม่ทะลุผ่านเสื่อเกราะและใช้ทดสอบกับกระสุนปืนที่มียิง 0 องศาเท่านั้น โดยจากการทดลองในบทที่ 5 ได้ข้อสรุปดังนี้

1. การสอบเทียบระหว่างชุดวัดการกระจายแรงกับวิธีของ NIJ-Standard ในการทดลองครั้งที่ 2 ให้ผลความความแม่นยำเท่ากับ 57.14%
2. ก่อนการสอบเทียบในการทดลองครั้งที่ 3 ระหว่างชุดวัดการกระจายแรงกับวิธีของ NIJ-Standard ผู้ทำการวิจัยได้ทำการปรับเทียบโดยปรับแรงดันลมที่จ่ายให้ชุดสร้างแรงด้านทานจากเดิมอยู่ที่ 0.2 Mpa เป็น 0.25 Mpa ซึ่งผลที่ได้จากการสอบเทียบในการทดลองครั้งที่ 3 นั้นแสดงถึงความแม่นยำเท่ากับ 89.65% และความเที่ยงตรงเท่ากับ 96.85% (ผลการสอบเทียบได้จากการทำซ้ำสามรอบ)
3. การทดลองในครั้งที่ 2 ด้วยเครื่องวัดการกระจายแรงกับเสื่อเกราะป้องกันกระสุนปืนชนิดผ้าไม่ทอ, ผ้าถักแนวเส้นยืน และผ้าทอ ผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงความแม่นยำมีค่าเท่ากับ 80%, 87.3% และ 92% ตามลำดับ ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วมีความแม่นยำเท่ากับ 86.43%
4. การทดลองในครั้งที่ 3 ด้วยเครื่องวัดการกระจายแรงกับเสื่อเกราะป้องกันกระสุนปืนชนิดเดียวกันโดยเป็นการทำซ้ำสองครั้ง ผลที่ได้แสดงถึงความแม่นยำเท่ากับ 93.33% และความเที่ยงตรงเท่ากับ 97.95%

6.2 ข้อเสนอแนะ

สิ่งที่ต้องทำการปรับปรุง คือ การติดตั้งชุดแม่เหล็กถาวรสำหรับฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ ควรติดตั้งให้มีความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กในปริมาณที่เท่ากันทุกตัว เพื่อให้มีย่านการวัดเดียวกันจะเป็นการสะดวก ความถูกต้องและแม่นยำของชุดวัดการกระจายแรงเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องการทำทดสอบเพิ่ม อีกทั้งความละเอียดของชุดเซ็นเซอร์ที่ต้องมีมากขึ้นกว่าเดิมเพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์ผลที่ดีขึ้น

ท้ายที่สุดสำหรับผลงานวิจัยที่น่าเสนอ คือ ได้เครื่องต้นแบบในการวัดการกระจายแรง และการยุบตัวของเสื่อเกราะกันกระสุน ซึ่งถ้านำไปพัฒนาให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นจะเป็นส่วนช่วยสำหรับการวิเคราะห์เพื่อการพัฒนาและการสร้างเสื่อเกราะป้องกันกระสุนปืนในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- [1] John, A., Deborah, J. D. and Sarah, V. H., **Selection and Application Guide to Personal Body Armor**. Rockville: The National Institute of Justice's National Law Enforcement and Corrections Technology Center Lance Miller, 2001, pp. 1-115.
- [2] จรัส บุญยธรรมา, **ฟิสิกส์ระดับมหาวิทยาลัยภาคกลศาสตร์**. กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น, 2543. หน้า 267-297.
- [3] สมศักดิ์ กิรติวุฒิสเรษฐ, **หลักการและการใช้งานเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม**. พิมพ์ครั้งที่ 18. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2546. หน้า 17-1~17-8.
- [4] วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน, **เซนเซอร์และทรานสดิวเตอร์ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้ในระบบการวัดและระบบควบคุม**. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2548. หน้า 51-63.
- [5] David, S. N., **Linear Position Sensors Theory and Applications**. USA: Wiley-Interscience, 2004.
- [6] Joe G., **Linear Hall-Effect Sensors** (Online), 2002. Available: <http://www.allegromicro.com> (20 March 2010).
- [7] วิศรุต ศรีรัตนะ, **เซนเซอร์และทรานสดิวเตอร์ในงานอุตสาหกรรม**. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2550. หน้า 137-150.
- [8] ชีรบูลย์ หล่อวิเชียรรุ่ง, อรรถพล บุญยะโกศา และชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, **ระบบดาต้าแอกควิชั่น**. กรุงเทพฯ: อินโนเวติฟ อีเกเพอร์เมนส์, 2548. หน้า 7-38.
- [9] มนัส สังวรศิลป์ และวรรณ ภัทรอมรกุล, **คู่มือการใช้งาน MATLAB ฉบับสมบูรณ์**. นนทบุรี: อินโฟเพรส, 2543. หน้า 217-229.
- [10] Steven C. C., Raymond P. C., **Numerical Methods for Engineers**. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, 2006, pp. 447-505.
- [11] ชเนศ อุไรเรืองพันธ์, ดารณี หอมดี, “การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเซนเซอร์ที่มีความเหมาะสมสำหรับตรวจจับท่าทางการเคลื่อนไหวของมือ,” **การประชุมวิชาการเทคโนโลยี และนวัตกรรมสำหรับการพัฒนาอย่างยั่งยืน**, 28-29 มกราคม 2551, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2551. หน้า 168-175.
- [12] Ferrazzin D., et al., “Hall Effect Sensor-Based Linear Transducer,” **International Workshop on Robot and Human Interaction** (Electronic), 1999, pp. 219-224. Available: IEEE Organization / IEEE Xplore (20 March 2010).

- [13] Lee I., Kosko B. and Anderson W. F., “Modeling Gunshot Bruises in Soft Body Armor with an Adaptive Fuzzy System,” **IEEE Transaction on System** (Electronic), Vol. 35, NO. 6, 2005, pp. 1374-1390. Available: IEEE Organization / IEEE Xplore (20 March 2010).
- [14] Majumdar, S. R., **Pneumatic Systems Principles and Maintenance**. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, 1995, pp. 85–100.
- [15] S.M.C CO LTD, Air Cylinder catalog.
- [16] กิจไพบูลย์ ชิวพันธุ์ศรี, การออกแบบแอปพลิเคชันในระบบกราฟิกด้วย LabVIEW. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2550. หน้า 135-158.



ภาคผนวก ก

Data Sheet of Hall Effect Sensors

“A1302”



Continuous-Time Ratiometric Linear Hall Effect Sensors

Features and Benefits

- Low-noise output
- Fast power-on time
- Ratiometric rail-to-rail output
- 4.5 to 6.0 V operation
- Solid-state reliability
- Factory-programmed at end-of-line for optimum performance
- Robust ESD performance

Packages: 3 pin SOT23W (suffix LH), and 3 pin SIP (suffix UA)



Not to scale

Description

The A1301 and A1302 are continuous-time, ratiometric, linear Hall-effect sensors. They are optimized to accurately provide a voltage output that is proportional to an applied magnetic field. These devices have a quiescent output voltage that is 50% of the supply voltage. Two output sensitivity options are provided: 2.5 mV/G typical for the A1301, and 1.3 mV/G typical for the A1302.

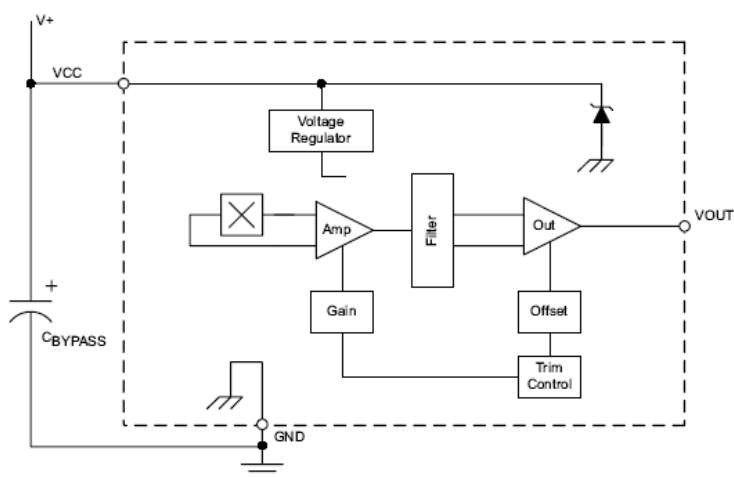
The Hall-effect integrated circuit included in each device includes a Hall sensing element, a linear amplifier, and a CMOS Class A output structure. Integrating the Hall sensing element and the amplifier on a single chip minimizes many of the problems normally associated with low voltage level analog signals.

High precision in output levels is obtained by internal gain and offset trim adjustments made at end-of-line during the manufacturing process.

These features make the A1301 and A1302 ideal for use in position sensing systems, for both linear target motion and rotational target motion. They are well-suited for industrial applications over extended temperature ranges, from -40°C to 125°C .

Two device package types are available: LH, a 3-pin SOT23W type for surface mount, and UA, a 3-pin ultramini SIP for through-hole mount. They are lead (Pb) free (suffix, -T) with 100% matte tin plated leadframes.

Functional Block Diagram



A1301 and A1302

Continuous-Time Ratiometric Linear Hall Effect Sensors

Selection Guide					
Part Number	Pb-free ¹	Packing ²	Package	Ambient, T _A	Sensitivity (Typical)
A1301ELHLT-T	Yes	7-in. tape and reel, 3000 pieces/reel	Surface Mount	-40°C to 85°C	2.5 mV/G
A1301EUA-T	Yes	Bulk, 500 pieces/bag	SIP		
A1301KLHLT-T	Yes	7-in. tape and reel, 3000 pieces/reel	Surface Mount	-40°C to 125°C	
A1301KUA-T	Yes	Bulk, 500 pieces/bag	SIP		
A1302ELHLT-T	Yes	7-in. tape and reel, 3000 pieces/reel	Surface Mount	-40°C to 85°C	1.3 mV/G
A1302EUA-T	Yes	Bulk, 500 pieces/bag	SIP		
A1302KLHLT-T	Yes	7-in. tape and reel, 3000 pieces/reel	Surface Mount	-40°C to 125°C	
A1302KUA-T	Yes	Bulk, 500 pieces/bag	SIP		

¹Pb-based variants are being phased out of the product line. Certain variants cited in this footnote are no longer in production. The variants should not be purchased for new design applications. Samples are no longer available. Status change: May 1, 2006. These variants include: A1301ELHLT, A1301EUA, A1301KLHLT, A1301KUA, A1302ELHLT, A1302EUA, A1302KLHLT, and A1302KUA.

²Contact Allegro for additional packing options.



Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V _{CC}		8	V
Output Voltage	V _{OUT}		8	V
Reverse Supply Voltage	V _{RCC}		-0.1	V
Reverse Supply Voltage	V _{RCC}		-0.1	V
Output Sink Current	I _{OUT}		10	mA
Operating Ambient Temperature	T _A	Range E	-40 to 85	°C
		Range K	-40 to 125	°C
Maximum Junction Temperature	T _{J(max)}		165	°C
Storage Temperature	T _{stg}		-65 to 170	°C



Allegro Microsystems, Inc.
115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01815-0036 (508) 853-6000
www.allegromicro.com

2

A1301 and A1302

Continuous-Time Ratiometric Linear Hall Effect Sensors

DEVICE CHARACTERISTICS over operating temperature range, T_A , and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise noted

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Electrical Characteristics						
Supply Voltage	V_{CC}	Running, $T_J < 165^\circ\text{C}$	4.5	–	6	V
Supply Current	I_{CC}	Output open	–	–	11	mA
Output Voltage	$V_{OUT(High)}$	$I_{SOURCE} = -1\text{ mA}$, Sens = nominal	4.65	4.7	–	V
	$V_{OUT(Low)}$	$I_{SINK} = 1\text{ mA}$, Sens = nominal	–	0.2	0.25	V
Output Bandwidth	BW		–	20	–	kHz
Power-On Time	t_{PO}	$V_{CC(min)}$ to $0.95 V_{OUT}$; $B = \pm 1400\text{ G}$; Slew rate = $4.5\text{ V}/\mu\text{s}$ to $4.5\text{ V}/100\text{ ns}$	–	3	5	μs
Output Resistance	R_{OUT}	$I_{SINK} \leq 1\text{ mA}$, $I_{SOURCE} \geq -1\text{ mA}$	–	2	5	Ω
Wide Band Output Noise, rms	V_{OUTN}	External output low pass filter $\leq 10\text{ kHz}$; Sens = nominal	–	150	–	μV
Ratiometry						
Quiescent Output Voltage Error with respect to ΔV_{CC} ¹	$\Delta V_{OUTQ(V)}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	–	± 3.0	%
Magnetic Sensitivity Error with respect to ΔV_{CC} ²	$\Delta \text{Sens}_{(V)}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	–	± 3.0	%
Output						
Linearity	Lin	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	–	± 2.5	%
Symmetry	Sym	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	–	± 3.0	%
Magnetic Characteristics						
Quiescent Output Voltage	V_{OUTQ}	$B = 0\text{ G}$; $T_A = 25^\circ\text{C}$	2.4	2.5	2.6	V
Quiescent Output Voltage over Operating Temperature Range	$V_{OUTQ(\Delta T_A)}$	$B = 0\text{ G}$	2.2	–	2.8	V
Magnetic Sensitivity	Sens	A1301; $T_A = 25^\circ\text{C}$	2.0	2.5	3.0	mV/G
		A1302; $T_A = 25^\circ\text{C}$	1.0	1.3	1.6	mV/G
Magnetic Sensitivity over Operating Temperature Range	$\text{Sens}_{(\Delta T_A)}$	A1301	1.8	–	3.2	mV/G
		A1302	0.85	–	1.75	mV/G

¹Refer to equation (4) in Ratiometric section on page 4.

²Refer to equation (5) in Ratiometric section on page 4.



Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cutoff, Box 15038
Worcester, Massachusetts 01615-0038 (508) 853-6000
www.allegromicro.com

3

Characteristic Definitions

Quiescent Output Voltage. In the quiescent state (no significant magnetic field: $B = 0$), the output, V_{OUTQ} , equals one half of the supply voltage, V_{CC} , throughout the entire operating ranges of V_{CC} and ambient temperature, T_A . Due to internal component tolerances and thermal considerations, there is a tolerance on the quiescent output voltage, ΔV_{OUTQ} , which is a function of both ΔV_{CC} and ΔT_A . For purposes of specification, the quiescent output voltage as a function of temperature, $\Delta V_{OUTQ}(\Delta T_A)$, is defined as:

$$\Delta V_{OUTQ}(\Delta T_A) = \frac{V_{OUTQ}(T_A) - V_{OUTQ}(25^\circ\text{C})}{Sens(25^\circ\text{C})} \quad (1)$$

where $Sens$ is in mV/G, and the result is the device equivalent accuracy, in gauss (G), applicable over the entire operating temperature range.

Sensitivity. The presence of a south-polarity (+B) magnetic field, perpendicular to the branded face of the device package, increases the output voltage, V_{OUT} , in proportion to the magnetic field applied, from V_{OUTQ} toward the V_{CC} rail. Conversely, the application of a north polarity (-B) magnetic field, in the same orientation, proportionally decreases the output voltage from its quiescent value. This proportionality is specified as the magnetic sensitivity of the device and is defined as:

$$Sens = \frac{V_{OUT(-B)} - V_{OUT(+B)}}{2B} \quad (2)$$

The stability of the device magnetic sensitivity as a function of ambient temperature, $\Delta Sens(\Delta T_A)$ (%) is defined as:

$$\Delta Sens(\Delta T_A) = \frac{Sens(T_A) - Sens(25^\circ\text{C})}{Sens(25^\circ\text{C})} \times 100\% \quad (3)$$

Ratiometric. The A1301 and A1302 feature a ratiometric output. This means that the quiescent voltage output, V_{OUTQ} , and the magnetic sensitivity, $Sens$, are proportional to the supply voltage, V_{CC} .

The ratiometric change (%) in the quiescent voltage output is defined as:

$$\Delta V_{OUTQ}(\Delta V) = \frac{V_{OUTQ}(V_{CC}) / V_{OUTQ}(5V)}{V_{CC} / 5V} \times 100\% \quad (4)$$

and the ratiometric change (%) in sensitivity is defined as:

$$\Delta Sens(\Delta V) = \frac{Sens(V_{CC}) / Sens(5V)}{V_{CC} / 5V} \times 100\% \quad (5)$$

Linearity and Symmetry. The on-chip output stage is designed to provide linear output at a supply voltage of 5 V. Although the application of very high magnetic fields does not damage these devices, it does force their output into a nonlinear region. Linearity in percent is measured and defined as:

$$Lin+ = \frac{V_{OUT(+B)} - V_{OUTQ}}{2(V_{OUT(+B/2)} - V_{OUTQ})} \times 100\% \quad (6)$$

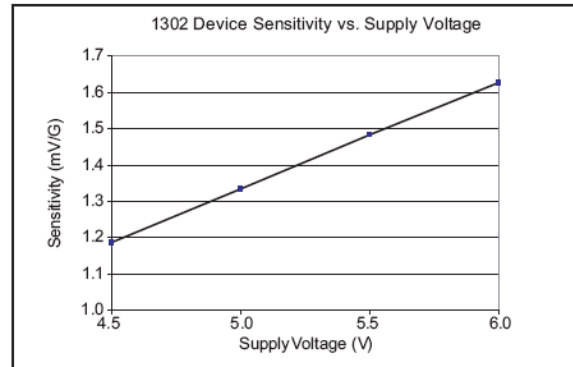
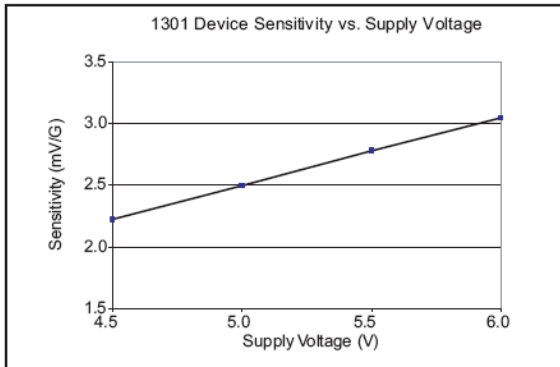
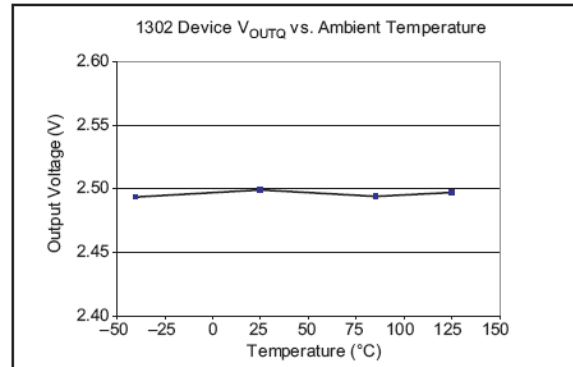
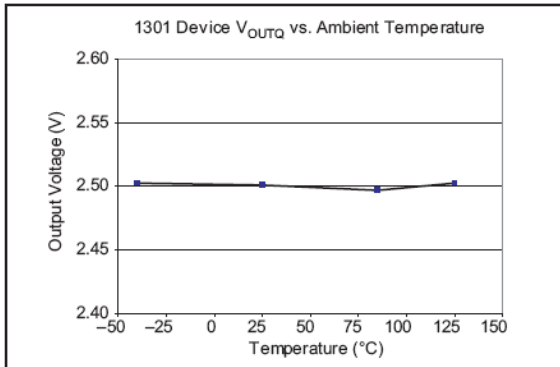
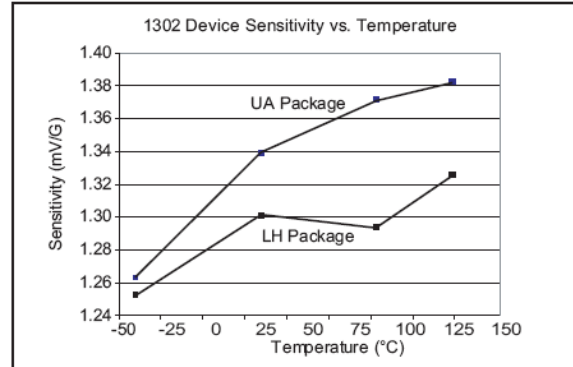
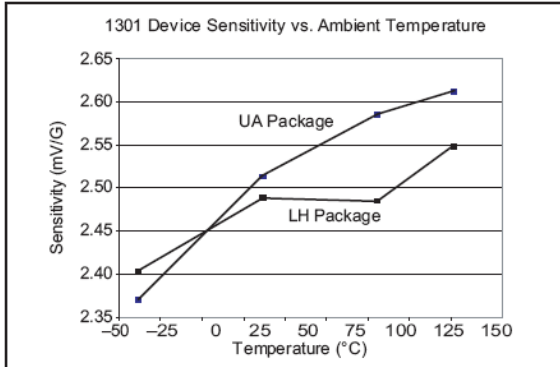
$$Lin- = \frac{V_{OUT(-B)} - V_{OUTQ}}{2(V_{OUT(-B/2)} - V_{OUTQ})} \times 100\% \quad (7)$$

and output symmetry as:

$$Sym = \frac{V_{OUT(+B)} - V_{OUTQ}}{V_{OUTQ} - V_{OUT(-B)}} \times 100\% \quad (8)$$



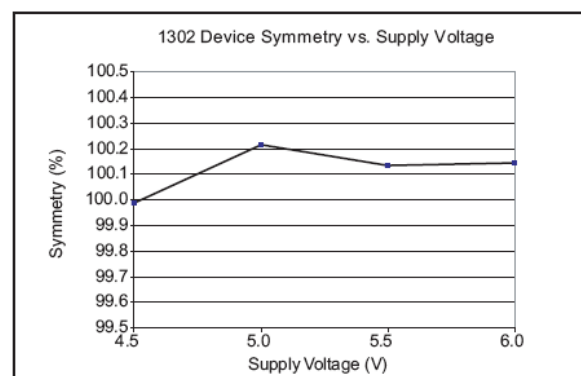
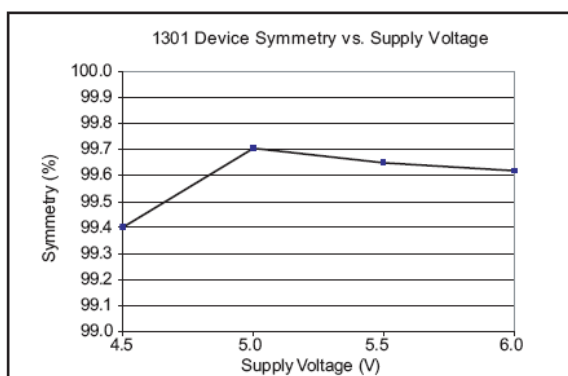
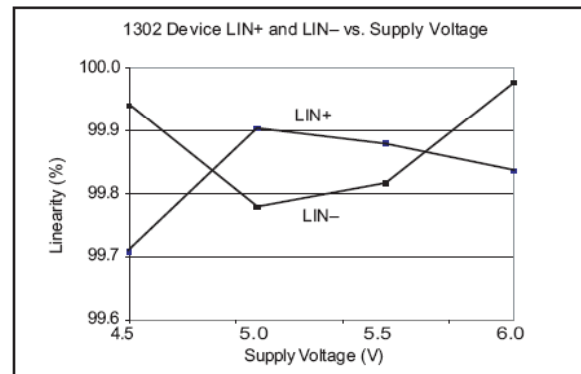
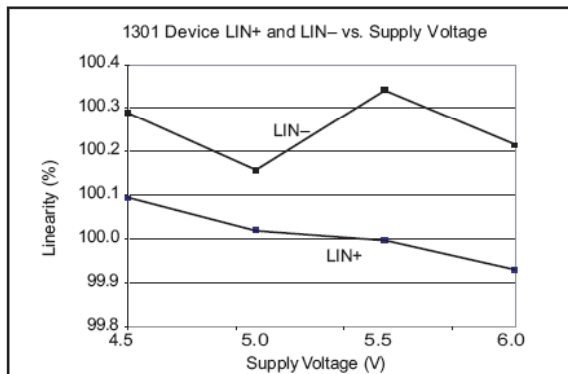
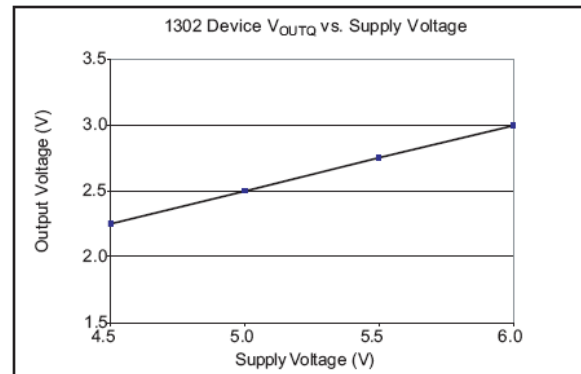
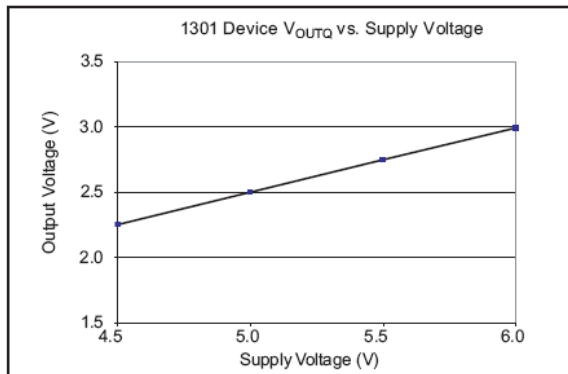
**Typical Characteristics
(30 pieces, 3 fabrication lots)**



Continued on the next page...



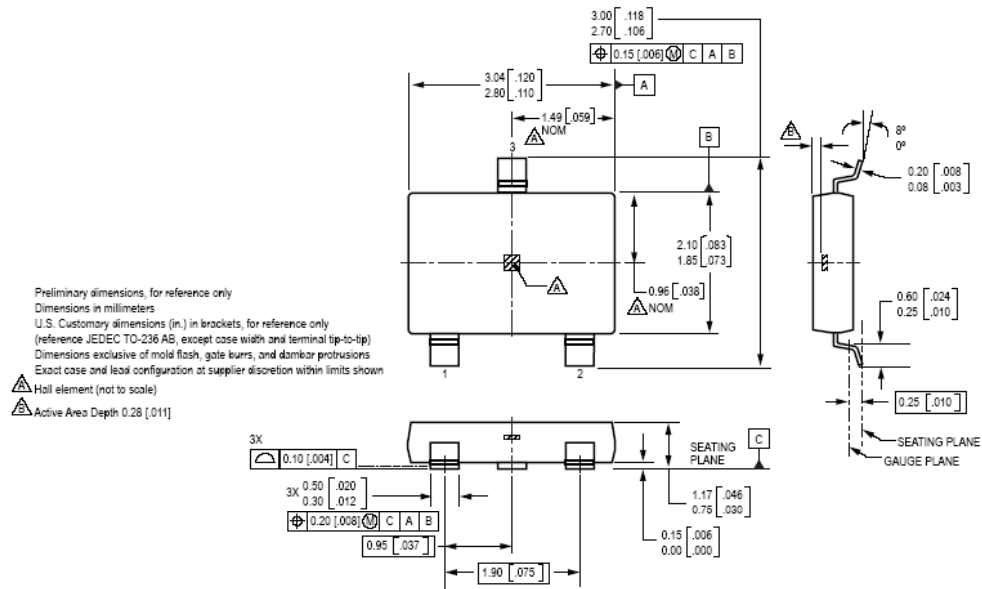
Typical Characteristics, continued
(30 pieces, 3 fabrication lots)



A1301 and A1302

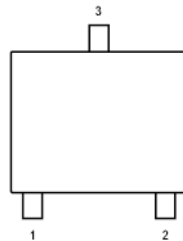
Continuous-Time Ratiometric Linear Hall Effect Sensors

Package LH, 3-Pin; (SOT-23W)

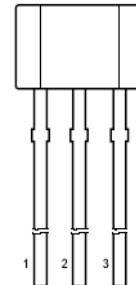


Pin-out Drawings

Package LH



Package UA



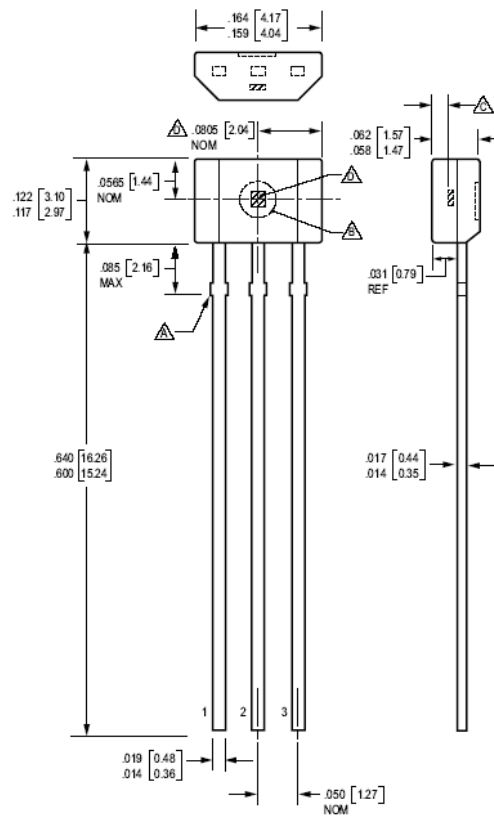
Terminal List

Symbol	Number		Description
	Package LH	Package UA	
VCC	1	1	Connects power supply to chip
VOUT	2	3	Output from circuit
GND	3	2	Ground



Allegro MicroSystems, Inc.
 115 Northeast Cutoff, Box 15038
 Worcester, Massachusetts 01815-0038 (508) 853-6000
www.allegromicro.com

Package UA, 3-Pin SIP



The products described herein are manufactured under one or more of the following U.S. patents: 5,045,920; 5,264,783; 5,442,283; 5,389,889; 5,581,179; 5,517,112; 5,619,137; 5,621,319; 5,650,719; 5,686,894; 5,694,038; 5,729,130; 5,917,320; and other patents pending.

Allegro MicroSystems, Inc. reserves the right to make, from time to time, such departures from the detail specifications as may be required to permit improvements in the performance, reliability, or manufacturability of its products. Before placing an order, the user is cautioned to verify that the information being relied upon is current.

Allegro products are not authorized for use as critical components in life-support devices or systems without express written approval.

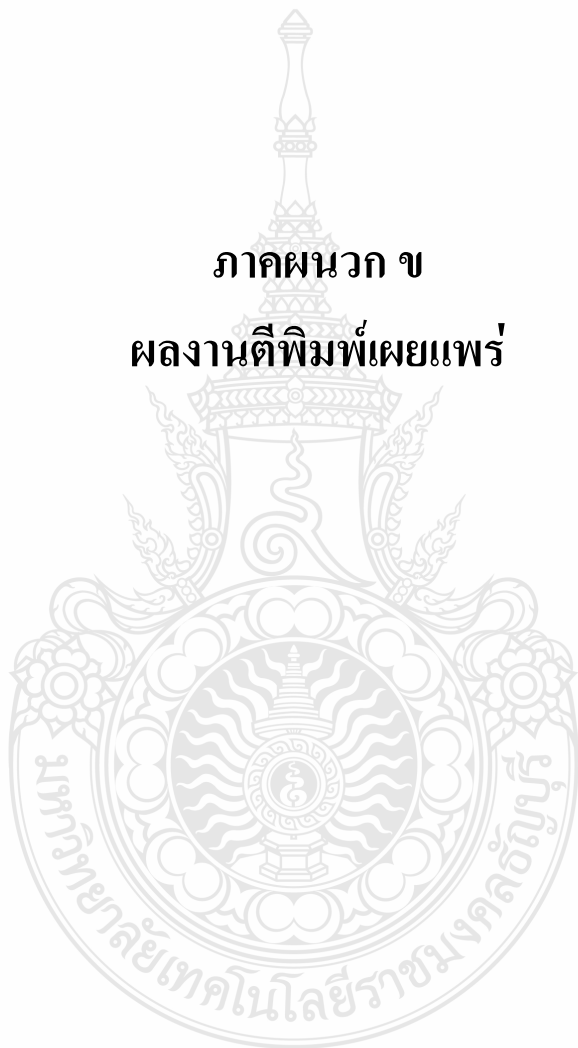
The information included herein is believed to be accurate and reliable. However, Allegro MicroSystems, Inc. assumes no responsibility for its use; nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use.

Copyright © 2005, 2006 Allegro MicroSystems, Inc.



Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-6000
www.allegromicro.com

ภาคผนวก ข
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่



EENET2008 EENET2008 EENET2008 EENET2008

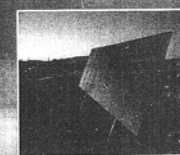
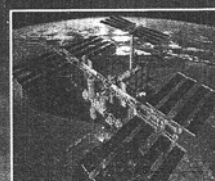
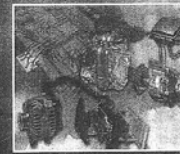


การประชุมเครือข่ายวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ประจำปี 2551

ELECTRICAL ENGINEERING NETWORK 2008

- วิศวกรรมระบบไฟฟ้ากำลัง
- วิศวกรรมเครื่องจักรกลไฟฟ้า
- วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์กำลัง
- วิศวกรรมการขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า
- วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง
- วิศวกรรมพลังงาน
- วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
- วิศวกรรมโทรคมนาคม
- วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
- บทความวิชาการที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า



19-21 พฤศจิกายน 2551 ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา 5 ธันวาคม 2550

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

EENET2008 EENET2008 EENET2008 EENET2008 E



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ

การประชุมเครือข่ายวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล

ชื่อ	นามสกุล	มหาวิทยาลัย/สถาบัน
กิตติพงษ์	มีสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
เผ่าแก้ว	ศิริสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
สมยศ	เกียรติวินิจไธ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง
เวทิน	ปิยรัตน์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
บุญเลิศ	สื่อเฉย	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
สันติ	อัครวิงศ์ธร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
โกสินทร์	จันทน์ไทย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
อริคม	ฤกษ์บุตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ณรงค์	บวบทอง	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
วิจิตร	กิมเรศ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง
พินิจ	เทพสาธร	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง
วิบูลย์	ชื่นแจก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ชนพงศ์	สุวรรณศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อาทิตย์	โตตร โยม	การไฟฟ้าผลิตแห่งประเทศไทย



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ

การประชุมเครือข่ายวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล

ชื่อ	นามสกุล	มหาวิทยาลัย/สถาบัน
เกษม	เนื้อแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
เจษฎา	พรหมเกษ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
เติมศักดิ์	แสนเพียง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
เอกพล	อนุสุเรนทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
เอกวิทย์	หายักวงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
โกศล	โอฬารไพโรจน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ไพศาล	บุญเยี่ยม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
กิตติวงศ์	สุธรรมโน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ขอบคุณ	ไชยวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
จงเจริญ	คุ้มบุญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
จตุรงค์	จตุรเชิดชัยสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
จักรี	ศรีนนท์ฉัตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
จัดจุฑาธิ	ทองปรอน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ฉัตรชัย	ศุภพิทักษ์สกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ชัยณรงค์	วิเศษศักดิ์วิชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ชาญชัย	เดชธรรมรงค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ชาญฤทธิ์	ธราสันติสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ชูศักดิ์	กมลขันดิตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ณรงค์	นันทกุศล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ณรงค์ฤทธิ์	พิมพ์คำวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ตาก
ฉัฐวุฒิ	โสเมะเกษมรินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดุสิต	อุทิศสุนทร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ทอง	ลานธารทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
ทัศนะ	อมทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ตาก
ธงชัย	คล้ายคลึง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ธนวัฒน์	ฉลาดสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
ธวัช	เกิดขึ้น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ธวัชชัย	สิมมา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ธีระพล	เหมือนขาว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นคร	ทองเล็ก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
นครินทร์	ศรีปัญญา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
นราวิทย์	กิจเจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
นรินทร์	หลักทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ

การประชุมเครือข่ายวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล

ชื่อ	นามสกุล	มหาวิทยาลัย/สถาบัน
นิติพงศ์	ปานกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นิธิโรจน์	พรสุวรรณเจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
นิพนธ์	สุนทรหุศ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
นิพนธ์	วงศ์ทา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
บุญช่วย	เจริญผล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
บุญยัง	ปลั่งกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ประเสริฐ	ผื่อนหมื่นไวย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ประทีป	แสงด้วง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ประวิช	เปรียบเหมือน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ปราโมทย์	อนันต์วราพงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
พงษ์ศักดิ์	อำภา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
พันธ์	พิริยะวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
พิชัย	อยู่เปล่า	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
พินิจ	จิตจริง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
พูนศรี	วรรณการ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
ภาณุมาศ	แสนพวง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
มนตรี	จาเดช	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
มังกร	ศิริจันทร์ชื่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
มาณพ	ธนะคำดี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
มีชัย	แจ่มใส	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
ยุทธนา	ข้าสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ตาก
รัก	สกุลพงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
วันชัย	ทรัพย์สิงห์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
วิเชียร	หทัยรัตน์ศิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
วิโรจน์	เพชรพันธุ์ศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
วิชัย	ผดุงศิลป์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
วิจิต	สุทธิพร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
วินัย	เมธาวิทิศ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
วิรัตน์	นักรองดี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
วิวัฒน์	เจริญสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
วีระ	ธัญภิรักษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
วีระชัย	จรัมรมย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
ศรีศักดิ์	น้อยไธภูมิ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ

รายชื่อผู้พิจารณาบทความ

การประชุมเครือข่ายวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล

ชื่อ	นามสกุล	มหาวิทยาลัย/สถาบัน
ศักดิ์ระวี	ระวีกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ศิริชัย	แดงอม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ศิริชัย	ลาภาสร้อย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ศุภวุฒิ	เนตร โพธิ์แก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
สมเกียรติ	ทองแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
สมชัย	หิรัญว โรคม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
สมชาย	เบียนสูงเนิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
สมนึก	เครือสอน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ตาก
สยาม	ประจุกะศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
สรรพพล	คุ้มทรัพย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
สันติภาพ	โคตรทะเล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ตาก
สาคร	ปิ่นดา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
สามารถ	ยะเชียงคำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
สามารถ	ยะเชียงคำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
สายชล	ชุดเจือเงิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
สุภูมิ	จุฬาดุรศิริรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
สุชาติ	จันทร์จรมานิชย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
สุทธินันท์	คันโพธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
สุรศักดิ์	อยู่สวัสดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
สุรสิทธิ์	แสนทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ตาก
สุรินทร์	แห่งมงาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
สุริยา	แก้วอาษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
สุวิไลยา	ศิริศิลป์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
อโนชา	รุ่งโรจน์วัฒนศิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
องอาจ	แสงใหม่	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อนันต์	โสภิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
อัศวิน	แก้วสิงห์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาภาพล	มหาวิระ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
อำนวย	เรืองวารี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อุเทน	คำน่าน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อุดม	เครือเทพ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ตาก
อุรา	คันมีแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร

การออกแบบทรานสดิวเซอร์วัดแรงโดยใช้ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ Force transducer designing using Hall Effect sensing device

นระรา เจริญกลิ่น และ จักรชัย คุปทิพัทธ์สกุล

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ถนนรังสิต-นครนายก กิโลเมตรที่ 12 ทุ่งธัญบุรี ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์ 02 549-3420 โทรสาร 02 549-3422

E-mail : nara_ch@yahoo.co.th and chatchais@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบทรานสดิวเซอร์วัดแรง (Force transducer) โดยใช้ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ (Hall effect sensor) ในการรับรู้ ซึ่งมีราคาถูก ตอบสนองเร็ว และเป็นเชิงเส้น หลักการของการวัดโดยใช้การตรวจวัดความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก ทรานสดิวเซอร์ที่ออกแบบประกอบด้วยกระบอกสูบ (Air cylinder) ทำหน้าที่รับแรง และส่งผ่านแรงด้วยลมให้กับแท่งยึดแม่เหล็กถาวร (Permanent magnet) ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ เพื่อใช้ในการแปลงค่าแรง (Force) ที่เป็นปริมาณฟิสิกส์ให้เป็นแรงดันไฟฟ้าด้วยฮอลล์เอฟเฟกต์ เซ็นเซอร์ที่ติดตั้งอยู่กับที่ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับแรงดันไฟฟ้าเป็นเชิงเส้น โดยที่ขนาดของแรงจะแปรผันตรงกับขนาดความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก ซึ่งถูกตรวจวัดโดยฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์

คำสำคัญ: ทรานสดิวเซอร์วัดแรง, ฮอลล์เอฟเฟกต์

Abstract

This paper presents the designing of force transducer using Hall Effect sensing device. The Hall Effect sensor which is low-cost provides a linear output voltage and quick respond. The designed transducer consists of an air cylinder and the moving permanent magnet bar in order to transfer input force to voltage with Hall Effect sensor. The experimental results show the output voltage from the sensor tends proportional to the input force.

Keywords: Force transducer, Hall Effect sensor

1 บทนำ

ในปัจจุบันอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดแรง (Force measurement) นั้นเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับหลายๆอุตสาหกรรม เพื่อใช้ตรวจสอบและทดสอบมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ รวมถึงการพัฒนาที่จะเกิดขึ้นในอนาคต โดยทั่วไปที่นิยมใช้กันคือ Force gauge equipment ซึ่งอุปกรณ์ประเภทนี้

จะใช้หลักการของทรานสดิวเซอร์ ประเภทสเตรนเกจ (Strain gauge) ในการตรวจวัดปริมาณความเปลี่ยนแปลงของแรง โดยที่ขนาดของแรงจะแปรผันตรงกับโครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงไปของสเตรนเกจ ซึ่งปัจจุบันเครื่องมือประเภทนี้ยังมีราคาที่สูงมาก รวมถึงปัญหาที่พบได้บ่อยครั้งคือ ความถูกต้อง (Accuracy) ในการวัดที่เปลี่ยนแปลงไปเพราะว่าสเตรนเกจ เซ็นเซอร์เกิดการชำรุดเสียหาย อันเนื่องมาจากการใช้วัดแรงในลักษณะที่รุนแรง

บทความนี้จึงนำเสนอการออกแบบทรานสดิวเซอร์วัดแรง (Force transducer) โดยใช้เทคนิคของฮอลล์เอฟเฟกต์ (Hall-effect technique) ตรวจวัดปริมาณความเปลี่ยนแปลงของแรง โดยลักษณะที่แรงจะไม่ได้สัมผัสโดยตรงกับฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ ซึ่งจะใช้ลมเป็นตัวกลางในการส่งผ่านแรงมาที่ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ เพื่อป้องกันมิให้ฮอลล์ เซ็นเซอร์เกิดความเสียหายอันเนื่องมาจากรวมสัมผัสโดยตรงกับฮอลล์ เซ็นเซอร์ในกรณีที่แรงที่กระทำต่อเซ็นเซอร์มากเกินไปกำหนด

2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

มีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับบทความนี้ 2 ส่วนคือ ความรู้พื้นฐานทางด้านฟิสิกส์ [1] ซึ่งเป็นส่วนสำคัญสำหรับการออกแบบระบบส่งผ่านแรงด้วยลมให้กับแท่งยึดแม่เหล็กถาวร ส่วนที่สองคือ ฮอลล์เอฟเฟกต์ เซ็นเซอร์

2.1 พื้นฐานทางฟิสิกส์

2.1.1 แรง (Force, F)

แรง หมายถึง การกระทำของวัตถุหนึ่งต่ออีกวัตถุหนึ่ง ซึ่งแรงจะพยายามผลักหรือดึงให้วัตถุเคลื่อนที่ไปตามทิศทางของแรงนั้น โดยที่แรงเป็นปริมาณทางเวกเตอร์ และการบอกคุณลักษณะเฉพาะอย่างสมบูรณ์ของแรงจะต้องประกอบด้วยขนาด ทิศทาง และจุดที่แรงกระทำ โดย

$$F = ma \quad (1)$$

โดยที่ F : แรง มีหน่วยเป็นนิวตัน (N) หรือ (kg-m/s²)

a : ความเร่ง มีหน่วยเป็น (m/s²)

m : มวล มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (Kg)

2.1.2 ความดัน (Pressure, P)

ความดัน หมายถึง แรงกดดันของอากาศที่กระทำต่อพื้นที่ 1 ตารางหน่วย และเครื่องมือที่ใช้วัดความดันบรรยากาศ คือ มาโนมิเตอร์ หรือเกจวัดความดัน โดย

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{N/m}^2 \quad (2)$$

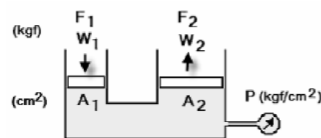
โดยที่ F : แรง มีหน่วยเป็นนิวตัน (N) หรือ (kg-m/s²)

A : พื้นที่ มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m²)

หน่วย N/m² คือ ค่าของปาสกาล (Pascal) เขียนย่อว่า Pa

2.1.3 กฎของปาสกาล (กฎส่งผ่านความดัน)

การส่งผ่านความดันสถิต หรือความดันที่ไม่เคลื่อนที่ (Static pressure) กฎนี้กล่าวว่า ความดันที่กระทำต่อส่วนหนึ่งส่วนของไหลที่อยู่หนึ่งในภาชนะปิด จะกระทำต่อทุกส่วนของภาชนะ ในแนวตั้งฉาก



รูปที่ 1 กฎของปาสกาล

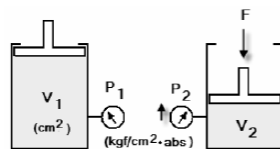
$$\frac{W_1}{A_1} = \frac{W_2}{A_2} = P(\text{kgf/cm}^2) \quad (3)$$

$$W_2 = \frac{W_1 \cdot A_2}{A_1} \quad (\text{kgf}) \quad (4)$$

จากรูปที่ 1 ในกรณีที่ลูกสูบมีพื้นที่หน้าตัด $A_1(\text{cm}^2)$ และ $A_2(\text{cm}^2)$ ถ้ามีแรง F_1 หรือน้ำหนัก $W_1(\text{kgf})$ กระทำบนลูกสูบ A_1 แล้วจะเกิดแรงถ่ายเท $W_2(\text{kgf})$ หรือ F_2 ขึ้นที่ลูกสูบซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด A_2 ดังแสดงในรูปที่ 1

2.1.4 กฎของบอยล์

กล่าวว่า ถ้ากดลูกสูบในกระบอกซึ่งมีก๊าซบรรจุอยู่ภายใน ปริมาตรก๊าซจะลดลงในขณะที่ความดันก๊าซเพิ่มขึ้น กล่าวอีกนัยหนึ่งว่า ณ อุณหภูมิคงที่ ปริมาตรก๊าซจะเปลี่ยนแปลงเป็นอัตราส่วนผกผันกับความดันก๊าซนั้นดังแสดงในรูปที่ 2

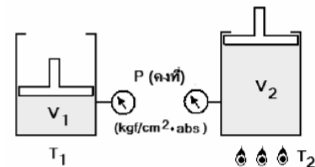


รูปที่ 2 กฎของบอยล์

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 = \text{ค่าคงที่} \quad (5)$$

2.1.5 กฎของชาร์ลส์

กล่าวว่า ค่าความดันอากาศคงที่ค่าหนึ่ง ปริมาตรของอากาศจำนวนหนึ่งจะแปรผันเป็นสัดส่วนกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ของอากาศหมายความว่า เมื่ออากาศจำนวนหนึ่งซึ่งมีปริมาตร V_1 และอุณหภูมิ T_1 ถูกทำให้ร้อนขึ้นหรือถูกทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิ T_2 ภายใต้ความดันคงที่ ปริมาตรอากาศจะเปลี่ยนแปลงเป็น V_2 ตามความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 กฎของชาร์ลส์

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \text{ค่าคงที่} \quad (6)$$

2.2 Hall Effect

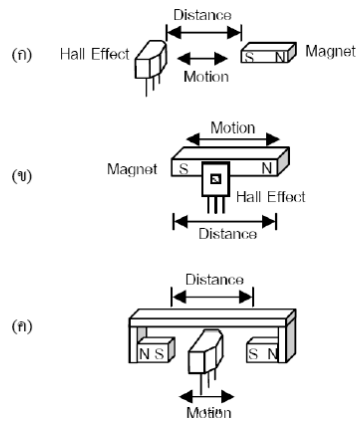
Hall Effect ใช้ในการตรวจวัดความเข้มของสนามแม่เหล็ก ซึ่งอาศัยปรากฏการณ์ฮอลล์ทำให้เกิดความต่างศักย์ค่าหนึ่งที่เปลี่ยนแปลงตามความเข้มของสนามแม่เหล็ก ถ้านำขั้วเหนือเข้าใกล้ค่าความต่างศักย์จะเพิ่มขึ้นทางด้านลบ (-) แต่ถ้านำขั้วใต้เข้าใกล้ค่าความต่างศักย์จะเพิ่มขึ้นทางด้านบวก (+) ความต่างศักย์ที่เปลี่ยนไปมีความสัมพันธ์กับความเข้มของสนามแม่เหล็กหรือความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กดังนี้ [2]

$$B = (V_B - V_O) K^{-1} \quad (7)$$

โดยที่ V_O คือความต่างศักย์ขณะไม่มีสนามแม่เหล็ก; V_B คือความต่างศักย์ขณะมีสนามแม่เหล็ก; K คือสัมประสิทธิ์ความไว มีหน่วยเป็นโวลต์ต่อเทสลา(V/T); B คือความเข้มของสนามแม่เหล็กหรือความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก มีหน่วยเป็นเทสลา (T) ค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างสนามแม่เหล็กที่เข้าใกล้บริเวณตัวนำกระแสไฟฟ้าภายใน Hall Effect ถ้าอยู่ใกล้ค่าความต่างศักย์ที่ได้จะสูง แต่ถ้าอยู่ไกลค่าความต่างศักย์จะต่ำลงจนเหลือเท่ากับครึ่งหนึ่งของความต่างศักย์ที่จ่ายให้ การใช้ Hall Effect สำหรับการตรวจสอบตำแหน่งหรือการเคลื่อนที่ วิธีพื้นฐานที่ง่ายที่สุด คือ การวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กแบบ Unipolar Head-on Mode ดังรูปที่ 4(ก) ส่วนวิธีแบบ Bipolar Slide-by และ Push-push Approach ดังรูปที่ 4(ข) และ (ค) [2,3]

3 การทดลอง

การทดลองนี้เลือกใช้วิธีการตรวจวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กแบบ Unipolar head-on Mode ดังรูปที่ 4(ก)



รูปที่ 4 (ก) Unipolar head-on Mode (ข) Bipolar slide-by และ
(ค) Push-Push approach

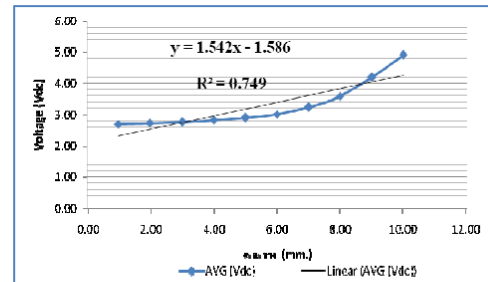
โดยการนำเอาขั้วได้ (S) ของแม่เหล็กถาวรหันเข้าหาด้านหน้าของฮอลล์เอฟเฟกต์ และแหล่งจ่าย 5 Vdc ซึ่งความต่างศักย์ที่ได้จะมีค่าที่แปรผกผันกับระยะความห่างระหว่างขั้วได้ของแม่เหล็กถาวรกับฮอลล์เอฟเฟกต์ กล่าวคือถ้าระยะความห่างยิ่งใกล้จะทำให้ความต่างศักย์เป็นบวกมากยิ่งขึ้น ในการทดลองนี้จะแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง ได้แก่ การทดลองความเป็นเชิงเส้นของฮอลล์เอฟเฟกต์ และความเป็นเชิงเส้นของฮอลล์เอฟเฟกต์เมื่อประกอบรวมกับกระบอกสูบทำหน้าที่รับแรง และส่งผ่านแรงด้วยลมให้กับแท่งยึดแม่เหล็กถาวร ซึ่งผลดังนี้

3.1 การทดลองความเป็นเชิงเส้นของฮอลล์เอฟเฟกต์

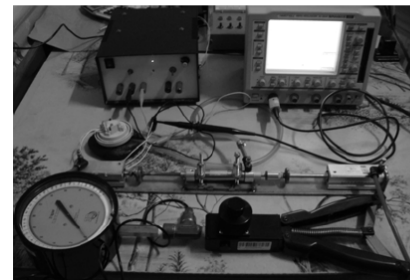
การทดลองนี้เป็นการทดสอบประสิทธิภาพของฮอลล์เอฟเฟกต์ในการวัดระยะทางว่ามีความถูกต้องหรือใกล้เคียงกับคุณสมบัติที่ได้กล่าวมาในหัวข้อเรื่องทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมากน้อยแค่ไหน ซึ่งผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 1 และรูปที่ 5

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบความต่างศักย์จากการวัดระยะ

ระยะทาง (mm)	Vout						
	Trial#1 (Vdc)	Trial#2 (Vdc)	Trial#3 (Vdc)	Trial#4 (Vdc)	Trial#5 (Vdc)	AVG (Vdc)	R (Vdc)
10	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	4.92	0.00
9	2.69	2.70	2.69	2.69	2.69	4.20	0.01
8	2.72	2.72	2.72	2.72	2.72	3.59	0.00
7	2.76	2.76	2.76	2.76	2.76	3.24	0.00
6	2.82	2.82	2.83	2.82	2.82	3.01	0.01
5	2.90	2.91	2.91	2.91	2.90	2.91	0.01
4	3.02	3.01	3.01	3.01	3.01	2.82	0.01
3	3.26	3.23	3.23	3.23	3.25	2.76	0.03
2	3.57	3.62	3.57	3.60	3.57	2.72	0.05
1	4.24	4.24	4.14	4.24	4.14	2.69	0.10
0	4.91	4.92	4.92	4.92	4.92	2.67	0.01



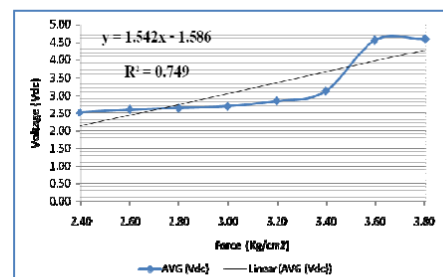
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างกับความต่างศักย์ของฮอลล์เอฟเฟกต์



รูปที่ 6 การจัดเครื่องมือสำหรับการตรวจวัดแรงโดยใช้ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์

3.2 การทดลองความเป็นเชิงเส้นของฮอลล์เอฟเฟกต์ ร่วมกับกระบอกสูบ

การทดลองนี้ใช้ชุดรับแรงเป็นกระบอกสูบประเภท 2 แกน โดยที่แกนด้านหนึ่งทำหน้าที่รับแรง ส่วนอีกด้านหนึ่งทำหน้าที่ปรับระดับแรง เพื่อป้องกันความเสียหายกรณีมีแรงเข้ามาเกินขีดความสามารถในการตรวจวัดแรงได้ ในการทดลองจะใช้ Hand pump calibrator เป็นชุดกำเนิดแรงในรูปของแรงดันลมมีหน่วยเป็น (kg/cm²) ซึ่ง Hand pump calibrator นี้ได้ผ่านการสอบเทียบ (Calibrated) แล้วค่าอยู่ในมาตรฐาน ซึ่งผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2 และรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับความต่างศักย์กรณีต่อฮอลล์เอฟเฟกต์ร่วมกับกระบอกสูบ

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าของแรง กับความต่างศักย์

Force (Kg/cm ²)	Vout						
	Trial#1 (Vdc)	Trial#2 (Vdc)	Trial#3 (Vdc)	Trial#4 (Vdc)	Trial#5 (Vdc)	AVG (Vdc)	R (Vdc)
2.40	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	0.00
2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	0.00
2.80	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64	0.00
3.00	2.72	2.68	2.72	2.68	2.68	2.70	0.04
3.20	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	0.00
3.40	3.12	3.08	3.12	3.12	3.12	3.11	0.04
3.60	4.56	4.56	4.56	4.56	4.56	4.56	0.00
3.80	4.60	4.60	4.60	4.60	4.60	4.60	0.00

4 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

เนื่องจากกระบอกสูบที่ผู้วิจัยนำมาใช้นั้นเป็นของที่เคยผ่านการใช้งานมาแล้ว ดังนั้นอาจจะทำให้เกิดความไม่สมบูรณ์ขึ้น เช่น ระบบหล่อลื่นไม่ดี, มีลมรั่ว ซึ่งเกิดจากซีลยางที่ชำรุด ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อเคลื่อนที่ของแกนกระบอกสูบในลักษณะความเป็นเชิงเส้นที่น้อยลง สำหรับฮอลล์เอฟเฟกต์ ที่พัฒนาขึ้นเป็นแบบ Unipolar head-on Mode ซึ่งมีระยะในการตรวจจับความเข้มของสนามแม่เหล็กที่สั้น ซึ่งอาจจะไม่เพียงพอต่อระยะที่ต้องการตรวจจับที่เพิ่มขึ้น

การแก้ไขความเป็นเชิงเส้นที่น้อยลงของกระบอกสูบ สิ่งหนึ่งคือการใช้สารหล่อลื่นที่ได้มาตรฐาน อีกทั้งจะช่วยให้การทำงานในสภาวะความต่างของอุณหภูมิ ไม่มีผลกระทบต่อความเป็นเชิงเส้นมากนัก และเพื่อเพิ่มระยะในการตรวจจับความเข้มของสนามแม่เหล็ก อาจเลือกใช้การพัฒนาเป็นแบบ Bipolar slide-by

5 สรุปผลการทดลอง

ผลจากการทดลองออกแบบทรานสดิวเซอร์เพื่อวัดแรง โดยใช้เทคนิคของฮอลล์เอฟเฟกต์นั้น แสดงให้เห็นว่ามีความเหมาะสมที่จะนำมาพัฒนาเป็นอุปกรณ์ในการวัดแรง แต่อุปกรณ์อื่นๆ เช่น ชุดรับแรง และชุดขับเคลื่อนแม่เหล็กถาวร ที่นำมาใช้ร่วม จะส่งผลกระทบต่อความเป็นเชิงเส้นโดยตรงต่อภาพรวมของระบบ จึงเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องทำการพัฒนาชุดรับแรง และชุดขับเคลื่อนแม่เหล็กถาวร ให้เป็นเชิงเส้นอย่างสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] วรพงศ์ ตั้งศิริวัฒน์. 2548. เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์:ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้ในระบบการวัดและระบบควบคุมสมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) กรุงเทพฯ หน้า 51-63.
- [2] David S. Nyce, Linear Position Sensors Theory and Applications, Wiley-interscience, USA, 2004.
- [3] Joe Gilbert and Ray Dewey, LINEAR HALL-EFFECT SENSORS, Allegro Micro Systems, Inc.

http://www.allegromicro.com/en/Products/Design/Tech_Pubs.asp#B.



วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏธนบุรี Journal of Engineering, RMUTT

• ปีที่ 6 • ฉบับที่ 12 • เดือนกรกฎาคม - ธันวาคม 2551

ISSN 1685-5280

- ♦ การพัฒนาระบบควบคุมเครื่องตีหม้อร้อน 1
The Developing of Hot-Stamping Controller
โดย ธนะพงศ์ นพวงศ์ ณ อยุธยา
- ♦ การบริหารความสัมพันธ์ผู้ส่งมอบและลูกค้า จากมุมมองของผู้ผลิตในอุตสาหกรรมยานยนต์ 9
Supplier - Customer Relationship Management: Perspectives from Manufacturers in Automotive Industry
โดย นุญกุล ศรีเมืองแก้ว, ระพี กาญจนะ
- ♦ การพัฒนาเครื่องตัดท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง 19
Development of a Cassava Stem Cutting Machine
โดย จตุรงค์ ลังกาพินธุ์, สุทิน เหล่าไกรง, ภูวนาท ลินสวัสดิ์, ชัยยงค์ ศรีประเสริฐ
- ♦ การศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้ทางจักรยานเลียบคลองรังสิต (คลอง 3 - คลอง 5) 27
A Satisfaction Study for Bikeway Users along Klong Rungsit (Klong 3 - 5)
โดย คชาวุธ สุวรรณสังข์, ชาศริส ไชยยศ, วินัย ริมเขตร, นิรชร นกแก้ว
- ♦ การศึกษาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงก้อนจากของผสมระหว่างกากไขมันกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร 41
The study of heating value of fuel mass mixing between fat dregs and agricultural wastes.
โดย สำรวม ไกลานันท์, ณัฐกานต์ นิตยพันธ์, ทิพัฒน์ ปราโมทย์, ณัฐสิทธิ์ พัฒนะอิม
- ♦ การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของภาพพิมพ์ กรณีศึกษาการทดสอบขั้นสุดท้ายของการผลิตเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ท 49
A Study of Factors that Affect Image Quality A Case Study : a Final Inspection of Inkjet Printer Production
โดย ชีวิน จันทร์สุนทร, ณฐา คุปต์ชูชัย
- ♦ ชุดวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน 59
The Distributed Force Measuring Set for Personal Body Armor Testing
โดย นระา เกลิมกลิ่น, ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์กุล
- ♦ ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของตะเข็บที่เชื่อมติดด้วยอัลตราโซนิค 71
The Factor Affecting Seam Strength Sewn With Ultrasonic Sewing Machine
โดย ทิษณุ แสงวัฒนะ, ปลื้มจิตต์ เดชธรรมรักษ์
- ♦ ออกแบบและพัฒนาเครื่องแกะเมล็ดกระเจี๊ยบแดง 77
Design and Development of Roselle Seed Peeling Machine
โดย รุ่งเรือง กาลศิริศิลป์, พุวงค์ นาทอง, วิไลพร คำงาม

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิผู้พิจารณาบทความ

รศ.มานพ ตันตระกูล	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รศ.ดร.วันชัย ธีรวัณ	คณะวิศวกรรมศาสตร์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.ปานมณัส ศิริสมบุรณ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.จิราภรณ์ เบญจประกายรัตน์	คณะวิศวกรรมศาสตร์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ณรงค์ บวบทอง	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รศ.นาฬิกอ์ อนันตรศิริชัย	คณะวิศวกรรมศาสตร์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผศ.ดร.กานต์ พนาศุภมัส	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.บรรยงค์ รุ่งเรืองด้วยบุญ	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
ผศ.ดร.ทวีชัย สำราญวานิช	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยบูรพา
ผศ.ดร.ปิติกานต์ กร้ามาตร	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร.กัณวรัช พลุพราชน์	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)
ผศ.ดร.อังคณา พันธุ์หล่อ	วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยรังสิต
ผศ.ดร.อาทิตย์ โสทรโยม	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยสยาม
ผศ.ดร.ปฐมทัศน์ จิระเดชะ	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)
ผศ.ดร.นำคุณ ศรีสนิท	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)
ผศ.มิ่ง โลกิจแสงทอง	คณะวิศวกรรมศาสตร์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.อิสริย์ หารราชเจริญโรจน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์	
รศ.ดร.เข้มชัย เหมะจันทร์	คณะวิทยาศาสตร์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.ชัยยุทธ ช่างสาร	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รศ.สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.ก้องเกียรติ พูลสวัสดิ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
ผศ.ดร.ณฐา คุปต์ชัย	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร.ศิวกร อย่างทอง	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รศ.ดร.ยุทธชัย บันเทิงจิตร	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.รุ่งเรือง กาลศิริศิลป์	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร.จงจันต์ ผลประเสริฐ	คณะสาธารณสุขศาสตร์	มหาวิทยาลัยมหิดล
ดร.ประเทืองทิพย์ ปานบำรุง	คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
รศ.ดร.เจียรนัย เล็กอุทัย	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
รศ.เวทิน ปิยรัตน์	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)
รศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ	คณะวิศวกรรมศาสตร์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.ธัญญา นิยมภา	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

.....

ชุดวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน

The Distributed Force Measuring Set for Personal Body Armor Testing

นระา เณิมกลิ่น¹ และฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล²

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบชุดวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุนประเภทเกราะอ่อนที่ระดับ IIA ในการป้องกันกระสุน ขนาด 9 มิลลิเมตร มวล 8.0 กรัม ที่ความเร็วกระสุน 314 เมตรต่อวินาที ตามมาตรฐานของ National Institute of Justice-0101.04 (NIJ Standard-0101.04) โดยใช้ทรานสดิวเซอร์วัดแรงที่ได้ออกแบบ ซึ่งประกอบด้วยกระบอกสูบทำหน้าที่รับแรง ร่วมกับฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ (Hall Effect Sensor) ที่มีราคาถูก ตอบสนองเร็ว และเป็นเชิงเส้นในส่วนการรับรู้ ทำหน้าที่ในการแปลงค่าแรงกระแทกให้เป็นแรงดันไฟฟ้า โดยแรงดันไฟฟ้าจากทรานสดิวเซอร์ที่เป็นสัญญาณอนาล็อกจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิทัลด้วย Data Acquisition และส่งผ่านไปยังส่วนบันทึกค่า ประมวลผล และแสดงผลในคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม LabVIEW ซึ่งการกระจายแรงกระแทกของเสื้อเกราะที่เกิดจากกระสุนจะแสดงในรูปของกราฟสองและสามมิติ เพื่อแสดงการกระจายแรง และการยุบตัวของเสื้อเกราะ โดยอาศัยการเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน NIJ Standard-0101.04 ที่ทำการทดสอบบนดินน้ำมันชนิด Roma Plastilina No.1 ผลที่ได้จากการทดลองยังด้วยกระสุนปืนจริง ชุดวัดการกระจายแรงที่ออกแบบสามารถ แสดงผลกราฟิกของการกระจายแรง และการยุบตัวของเสื้อเกราะกันกระสุนได้เป็นที่น่าพอใจ

คำสำคัญ: NIJ Standard-0101.04, ประเภทที่ IIA, Roma Plastilina No.1, เสื้อเกราะกันกระสุน, ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์, ทรานสดิวเซอร์วัดแรง, LabVIEW

Abstract

This paper presents a designing of distributed force measuring set for testing of the personal body armor type IIA (9 mm, 8.0g, 314m/s). The employed transducers are designed for this purpose. The designed transducer consists of an air cylinder and the moving permanent magnet bar in order to transfer input force to voltage with Hall Effect sensor. The Hall Effect with low-cost provides a linear output voltage and quick respond. The obtained analog voltage from the transducers are converted to digital signal data

¹นักศึกษาระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

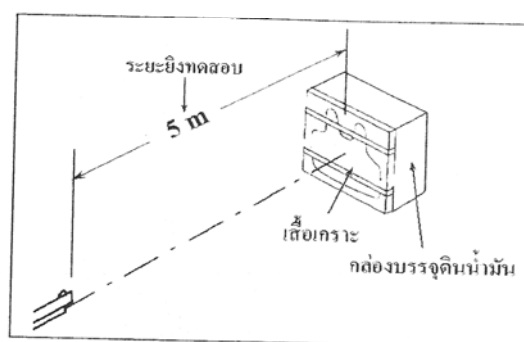
²อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

with the Data Acquisition card then passed to record at the computer. The recorded data is computed and plotted in 2 and 3 dimensions with LabVIEW program. The experiments are carried on to measure the impact force from the gun fire. Then the results are compared to the tradition method according to NIJ standard 0101.04 which employs Roma Plastilina No.1 clay. From the experiments, the satisfactory results are provided.

Keywords: NIJ Standard-0101.04, Type IIA, Roma Plastilina #1 clay, body armor, Hall Effect Sensor, Force Transducer, LabVIEW

1. บทนำ

การทดสอบเสื้อเกราะอ่อนป้องกันกระสุนในประเทศไทยนั้น อ้างอิงวิธีการทดสอบมาตรฐานของ NIJ Standard-0101.04 [1] ซึ่งแบ่งระดับการทดสอบตามระดับความรุนแรงของกระสุนปืน คือ ระดับ I, IIA, II, IIIA, III และ IV ตามลำดับ ซึ่งมีวิธีการทดสอบด้วยการยิงเสื้อเกราะในระยะ 5 เมตร (จากปลายกระบอกปืนถึงเสื้อเกราะ ดังรูปที่ 1) โดยที่เสื้อเกราะถูกรองด้วยกระบะดินน้ำมันชนิด Roma Plastilina No.1 ผลที่ดีว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน คือ กระสุนต้องไม่ทะลุเสื้อเกราะ และรอยบุบตัวของเสื้อเกราะที่วัดได้จากความลึกของดินน้ำมันไม่เกิน 44 มิลลิเมตร แต่ปัญหาที่พบอันดับแรกในปัจจุบันคือ ในประเทศไทยมีสถานที่ ที่ใช้ในการทดสอบมีน้อย ในการทดสอบแบบนี้ต้องทำการเปลี่ยนตำแหน่งการยิงทดสอบบนดินน้ำมันทุกครั้ง เพราะดินน้ำมันจะเสียรูปร่างหลังจากถูกยิง และต้องทำการวัดความลึกด้วยเครื่องมือวัดละเอียด โดยผลที่ได้ไม่สามารถแสดงการกระจายของแรงบนเสื้อเกราะได้ ซึ่งข้อมูลดังกล่าว จะสามารถนำไปใช้ช่วยในการออกแบบ และพัฒนาเสื้อเกราะได้ อีกทั้งขั้นตอนในการทดสอบทำได้ไม่สะดวก



รูปที่ 1 วิธีการทดสอบด้วยการยิงเสื้อเกราะ



รูปที่ 2 ผลการทดสอบบนดินน้ำมัน

จากปัญหาดังกล่าว เป็นที่มาของการพัฒนาและออกแบบสร้างชุดการทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุนประเภทเกราะอ่อนเพื่อใช้ในเชิงวิเคราะห์ที่

สามารถแสดงการกระจาย และการยุบตัวของเส้น
เคาะในรูปแบบของกราฟิกสามมิติ เพื่อให้มีการใช้
งานที่สะดวก และได้ข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่ง
บทความนี้ได้นำทรานสดิวเซอร์วัดแรงที่ได้ทำการ
ศึกษาออกแบบ [2-3] มาทำการประยุกต์ใช้วัดการ
กระจายแรงบนเส้นเคาะกันกระสุน โดยใช้ทราน
สดิวเซอร์ทั้งหมด 25 ชุด โดยทรานสดิวเซอร์ 1 ตัว
จะวัดแรงครอบคลุมพื้นที่ 0.8 ตารางนิ้ว โดยวางเรียง
กันเป็น 5 ตัวต่อแถว ทั้งหมด 5 แถว ครอบคลุมพื้นที่
ทดสอบการกระจายแรงของเส้นเคาะประมาณ 25
ตารางนิ้ว

ในบทความนี้ แบ่งออกเป็นส่วนต่างๆดังนี้
คือในหัวข้อที่ 2 จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการ
คำนวณหาค่าของแรง เพื่อใช้สำหรับออกแบบชุดวัด
การกระจายแรง และประเภทของเซ็นเซอร์ที่นำมา
ใช้ในบทความนี้ ในหัวข้อที่ 3 เป็นการออกแบบชุด
วัดการกระจายแรง ในส่วนผลการทดลองนำเสนอ
ในหัวข้อที่ 4 และหัวข้อที่ 5 เป็นการสรุปผลการ
ทดสอบ

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณหา
ค่าแรง (force) และความดัน (pressure) เพื่อใช้ในการ
ออกแบบชุดรับแรงกระแทก สำหรับทดสอบเส้น
เคาะกันกระสุนอย่างมีประสิทธิภาพ

2.1 แรง (Force, F)

แรงหมายถึง การกระทำของวัตถุหนึ่งต่ออีก
วัตถุหนึ่ง ซึ่งแรงจะพยายามผลักหรือดึงให้วัตถุ
เคลื่อนที่ไปตามทิศทางของแรงนั้น โดยที่แรงเป็น
ปริมาณทางเวกเตอร์ และการบอกคุณลักษณะ

เฉพาะอย่างสมบูรณ์ของแรงจะต้องประกอบด้วย
ขนาด ทิศทาง และจุดที่แรงกระทำ สามารถคำนวณ
แรงจากในสมการ (1) [4]

$$F = ma \quad (1)$$

โดย F: แรง มีหน่วยเป็นนิวตัน (N) หรือ (kg-m/s²)

a: ความเร่ง มีหน่วยเป็น (m/s²)

m: มวล มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg)

2.2 การเคลื่อนที่เมื่อความเร่งคงที่

ถ้าอนุภาคเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงด้วยความเร่ง
คงที่ ความเร็วจะเปลี่ยนแปลงสม่ำเสมอเมื่อเทียบกับ
เวลา [4]

$$V^2 = V_0^2 + 2a(x - x_0) \quad (2)$$

โดยที่ V : ความเร็วปลาย มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที
(m/s)

V₀ : ความเร็วต้น มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s)

x₀ : ตำแหน่งเริ่มต้น มีหน่วยเป็น เมตร (m)

x: ตำแหน่งสุดท้าย มีหน่วยเป็น เมตร (m)

2.3 การคลและโมเมนตัม

การคลคือ การเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม [4]

$$P = mv \quad (3)$$

โดยที่ P: โมเมนตัม

$$F(t - t_0) = mv - mv_0 \quad (4)$$

โดยที่ F: แรงมีหน่วยเป็นนิวตัน (N) หรือ (kg-m/s²)

v₀ : เป็นความเร็วของอนุภาคที่ t = t₀

v: เป็นความเร็วที่ t = t

2.4 ความดัน (Pressure, P)

ความดันหมายถึง แรงกดดันของอากาศที่กระทำต่อพื้นที่ 1 ตารางหน่วย [4]

$$P = F/A \quad (5)$$

โดยที่ F: แรงมีหน่วยเป็นนิวตัน (N) หรือ (kg-m/s²)

A: พื้นที่ มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m²)

P: ความดัน หน่วยเป็น N/m² คือ ค่าของปาสคาล (Pascal) เขียนย่อว่า Pa

2.5 ค่าความดันมาตรฐาน

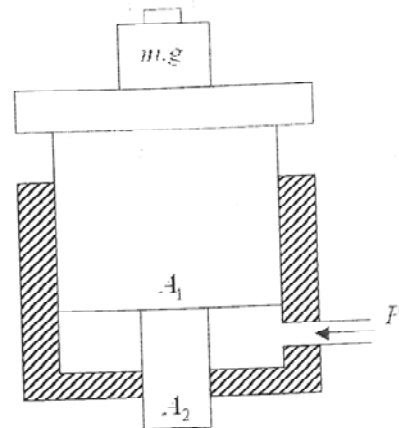
ในรูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันมาตรฐาน P (Kg/cm²) กับน้ำหนักที่กดทับ mg (N) โดยมีตัวแปรคือ พื้นที่หน้าตัดของกระบอกสูบ A₁ - A₂ (cm²) [4]

$$P = mg/(A_1 - A_2) \quad (6)$$

2.6 ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ (Hall Effect Sensing device)

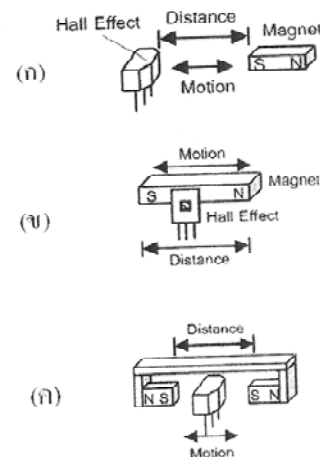
ฮอลล์เอฟเฟกต์ใช้ในการตรวจจับความเข้มของสนามแม่เหล็กซึ่งอาศัยปรากฏการณ์ฮอลล์ทำให้เกิดความต่างศักย์ค่าหนึ่งที่เปลี่ยนแปลงตามความเข้มของ สนามแม่เหล็ก [8] ถ้านำขั้วเหนือเข้าใกล้ค่าความต่างศักย์จะเพิ่มขึ้นทางด้านลบ (-) แต่ถ้านำขั้วใต้เข้าใกล้ค่าความต่างศักย์จะเพิ่มขึ้นทางด้านบวก (+) ความต่างศักย์ที่เปลี่ยนไปมีความสัมพันธ์กับความเข้มของ สนามแม่เหล็ก หรือความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กดังนี้

$$B = (V - V_0) \cdot K^{-1} \quad (7)$$



รูปที่ 3 เทคนิคการวัดพื้นที่หน้าตัดของกระบอกสูบ

โดยที่ V₀ คือความต่างศักย์ขณะไม่มีสนามแม่เหล็ก; V คือความต่างศักย์ขณะมีสนามแม่เหล็ก; K⁻¹ คือสัมประสิทธิ์ความไว มีหน่วยเป็นโวลต์ต่อเทสลา (V/T); B คือความเข้มของสนามแม่เหล็กหรือความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก มีหน่วยเป็นเทสลา (T) ค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างสนามแม่เหล็กที่เข้าใกล้บริเวณ

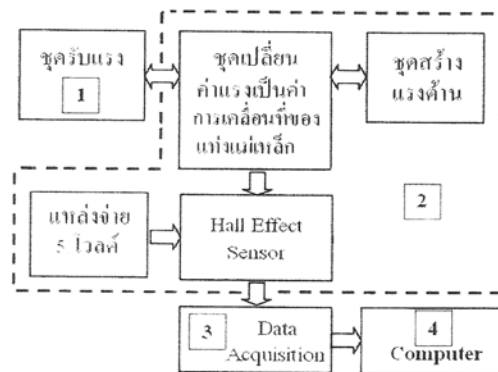


รูปที่ 4 (ก) Unipolar head-on Mode (ข) Bipolar slide-by และ (ค) Push-Push approach

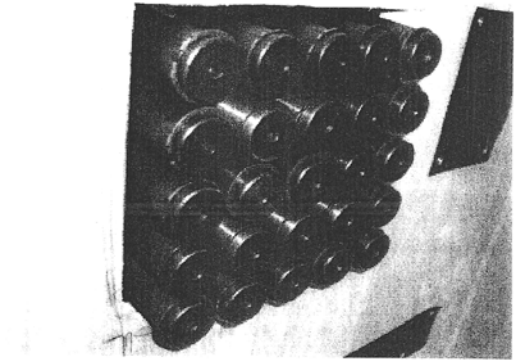
ตัวนำกระแสไฟฟ้าภายในฮอลล์เอฟเฟกต์ ถ้าอยู่ใกล้ค่าความต่างศักย์ที่ได้จะสูง แต่ถ้าอยู่ไกลค่าความต่างศักย์จะต่ำลงจนเหลือเท่ากับครึ่งหนึ่งของความต่างศักย์ที่จ่ายให้ การใช้ฮอลล์เอฟเฟกต์สำหรับการตรวจสอบตำแหน่งหรือการเคลื่อนที่วิธีพื้นฐานที่ง่ายที่สุดคือ การวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กแบบ Unipolar Head-on Mode ดังรูปที่ 4 (ก) ส่วนวิธีแบบ Bipolar Slide-by และ Push-push Approach ดังรูปที่ 4 (ข) และ (ค) [5-8]

3. การออกแบบชุดวัดการกระจายแรง

วัตถุประสงค์ในการออกแบบชุดวัดการกระจายแรงคือ สามารถรับแรงของกระสุนปืนในระดับ IIA (ประมาณ 186 นิวตัน) ที่มีความรุนแรงและรวดเร็วได้ พร้อมทั้งแสดงผลในกราฟฟอสกอสโคปและสามมิติ เพื่อแสดงการกระจายแรง และรอยยุบตัวของเสื้อเกราะ โดยชุดวัดการกระจายแรงประกอบไปด้วย 4 ส่วนคือ 1. ส่วนรับแรงกระแทก 2. ทรานสดิวเซอร์วัดแรง 3. ส่วนรับสัญญาณไฟฟ้าจากทรานสดิวเซอร์ และ 4. ส่วนบันทึกค่าประมวลผลและแสดงผล ดังบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 5



รูปที่ 5 บล็อกไดอะแกรมชุดวัดการกระจายแรง



รูปที่ 6 ชุดรับแรงกระแทก

3.1 ส่วนรับแรงกระแทก

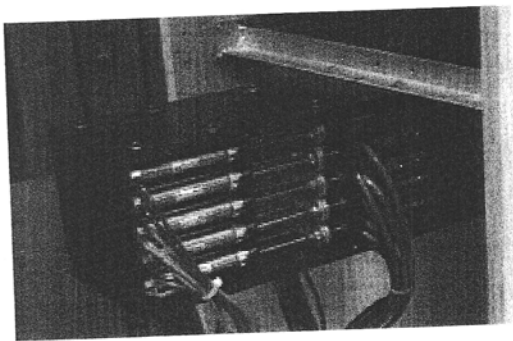
ในการออกแบบชุดรับแรงกระแทกต้องคำนึงถึงความแข็งแรงของอุปกรณ์เป็นหลัก เนื่องจากแรงที่เกิดจากการกระแทกของกระสุนปืนมีความเร็ว และรุนแรง ซึ่งส่วนรับแรงทำมาจากเหล็กเพลตชุบแข็งจำนวน 25 ชุด ดังรูปที่ 6 แต่ละชุดมีพื้นที่รับแรงเท่ากับ 0.8 ตารางนิ้ว ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 25 ตารางนิ้ว หรือประมาณ 4,032.3 ตารางเซนติเมตร ระยะการเคลื่อนที่ 50 มิลลิเมตร ค่าที่กำหนดได้มาจากการวัดความกว้างของรอยยุบตัวของเสื้อเกราะที่ทดสอบด้วยการใช้ดินน้ำมันมาตรฐาน

3.2 ทรานสดิวเซอร์วัดแรง

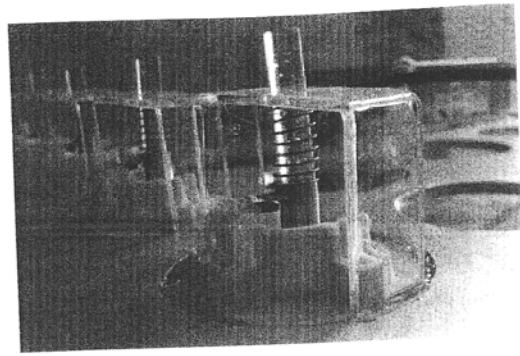
ทรานสดิวเซอร์วัดแรง เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงแรงที่ได้รับจากชุดรับแรงกระแทกให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า (แรงดันไฟฟ้า) เนื่องจากทรานสดิวเซอร์ที่มีในท้องตลาดมีราคาแพง ซึ่งในงานวิจัยต้องใช้ทรานสดิวเซอร์จำนวนมากประมาณ 25 ตัว อีกทั้งการประยุกต์ใช้งานไม่เหมาะสมกับความต้องการ ดังนั้นจึงต้องทำการศึกษาและ

ออกแบบทรานสดิวเซอร์ขึ้นมาเองโดยมีส่วนประกอบ ดังแสดงในบล็อกไดอะแกรมส่วนที่ 2 ทรานสดิวเซอร์ ที่ออกแบบจะอาศัยหลักการของตัวรับรู้ หรือเซน เซอร์แบบฮอลล์เอฟเฟกต์ ที่มีราคาถูก ตอบสนอง เร็ว และเป็นเชิงเส้น ทำงานร่วมกับกระบอกสูบชนิด สองแกนรุ่น CJ2W16-45 หลักการคือ เมื่อกระบอก สูบเคลื่อนที่จะมีปริมาณลมออกมาตามระยะการ เคลื่อนที่ของกระบอกสูบ จากนั้นนำลมที่ได้ไปควบคุมการเคลื่อนที่ของแท่งยึดแม่เหล็กถาวร ที่สามารถ เคลื่อนที่ได้ในอัตราส่วน 1.0 : 0.2 มิลลิเมตร (ชุดรับ แรงต่อแท่งยึดแม่เหล็กถาวร) เพื่อใช้ในการแปลงค่า แรงที่เป็นปริมาณฟิสิกส์ให้เป็นแรงดันไฟฟ้าด้วย ฮอลล์เอฟเฟกต์

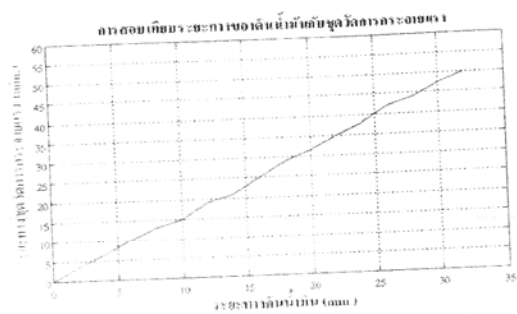
การออกแบบชุดสร้างแรงต้านแทนการใช้ ดินน้ำมันจะส่งผลกับแรงที่ตกกระทบบจะไม่ สามารถทำให้วัตถุเคลื่อนที่ได้ระยะทางตาม ผลของแรง เนื่องจากวัตถุมีความเฉื่อย ดังนั้นจึงต้อง ทำการสอบเทียบระยะทางของดินน้ำมันกับชุดวัด การกระจายแรง ดังรูปที่ 9



รูปที่ 7 ชุดเปลี่ยนค่าแรงเป็นลม และชุดสร้างแรงต้าน



รูปที่ 8 ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ที่ออกแบบ



รูปที่ 9 การสอบเทียบระยะทางของดินน้ำมันกับชุดวัดการกระจายแรง

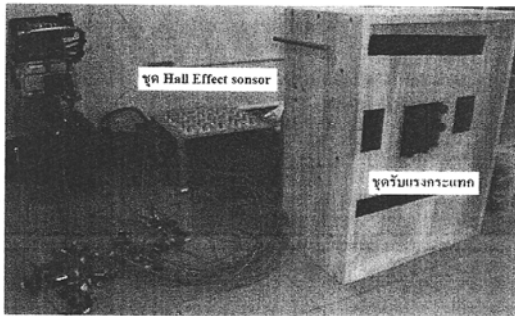
3.3 ส่วนรับข้อมูล (Data Acquisition)

ส่วนรับข้อมูลทำหน้าที่รับสัญญาณไฟฟ้า ที่ได้จากทรานสดิวเซอร์ทั้ง 25 ตัว ซึ่งเป็นสัญญาณ ต่อเนื่อง หรือที่เรียกว่า “สัญญาณ อนุalog” ทำการ แปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อประโยชน์ ในการ บันทึกค่าของแรงที่แปลงอยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้า เพื่อใช้ในการคำนวณ และแสดงผลต่อไป ซึ่งใน ส่วนนี้ต้องทำงานด้วยความเร็วสูง เนื่องจากต้อง ทำการเก็บค่าสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ในเวลาเดียวกันจากทรานสดิวเซอร์ทั้ง 25 ตัว ในส่วนนี้ ใช้ Data

Acquisition PCI-Card รุ่น CI1715U ของบริษัท AdvanTech ที่มีช่องรับสัญญาณอนาล็อก 32 ช่อง มีอัตราการเก็บตัวอย่างของสัญญาณ (Sampling rate) 500 ks/s

3.4 ส่วนบันทึกค่า ประมวลผล และแสดงผล

ในส่วนนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์ ตัวเครื่องคอมพิวเตอร์ และส่วนที่เป็นซอฟต์แวร์ โดยใช้โปรแกรม LabView ในการติดต่อและรับค่าจากส่วนรับข้อมูล มาบันทึกเพื่อใช้ในการคำนวณ และแสดงผลกราฟฟิคสำหรับการวิเคราะห์การกระจายแรงของสื่อเกราะกันกระสุนต่อไป



รูปที่ 10 ชุดวัดการกระจายแรง

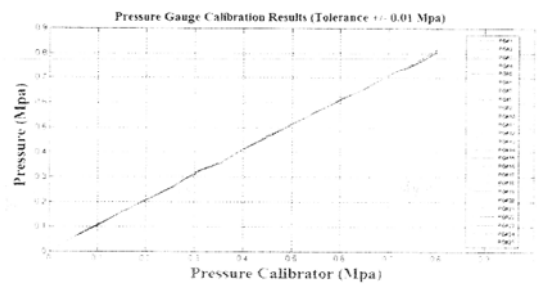
4. ผลการทดลอง

จากการศึกษาที่นำเสนอไปแล้ว [3] ได้ข้อสรุปเกี่ยวกับเทคนิคที่ใช้ในการตรวจจับเส้นแรงแม่เหล็กของฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ร่วมกับชุดรับ-ส่งแรง ที่เป็นเชิงเส้นที่สุดคือ แบบ Push-Push Approach จึงได้นำมาประยุกต์ใช้ในการทดลองนี้ประกอบไปด้วยชุดเซ็นเซอร์วัดการกระจายแรง 25 ชุด

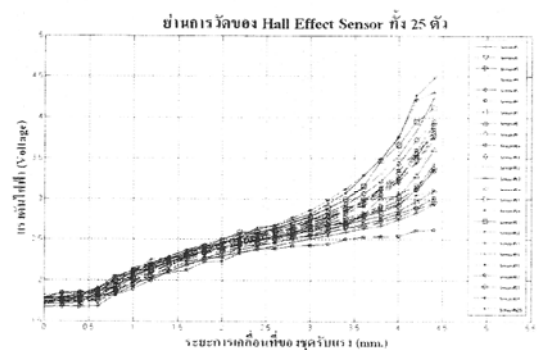
การสอบเทียบ Pressure Regulator กับเครื่องปรับเทียบแรงดันมาตรฐานนั้นเป็นสิ่งที่จำเป็น เพื่อ

ความแน่นอนของชุดสร้างแรงด้านทั้ง 25 ตัวซึ่งได้แยกการทำงานอย่างอิสระ โดยใช้ Precision Pressure Calibrator Druck DPI 605 ที่ผ่านการสอบเทียบมาตรฐานแล้ว ที่ย่านการวัด 0.0 ถึง 0.8 Mpa ที่ความละเอียด 0.05 Mpa ผลคือ เซ็นเซอร์ทั้ง 25 ตัวอยู่ในมาตรฐานตลอดย่านการใช้งานดังรูปที่ 11

ในส่วนของฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ที่ใช้ทั้ง 25 ตัวนั้น มีความแตกต่างกันสำหรับความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กเนื่องจากขาดความแน่นอนในการติดตั้ง จึงทำให้แต่ละตัวมีย่านการวัดที่แตกต่างกันไป แต่ยังคงรักษาความเป็นเชิงเส้นเอาไว้ ดังรูปที่ 12

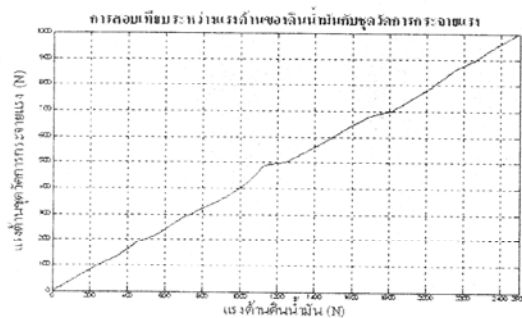


รูปที่ 11 ผลการสอบเทียบ Pressure Gauge

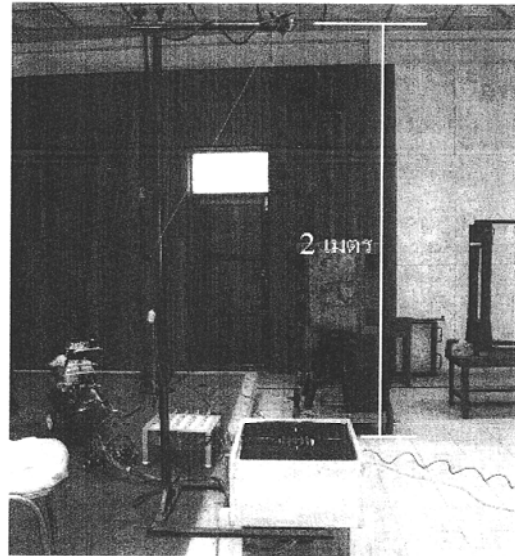


รูปที่ 12 ย่านการวัดของ Hall Effect Sensor

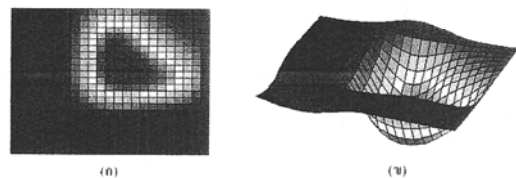
ตามมาตรฐานของ NIJ Standard-0101.04 ได้ทำการทดสอบดินน้ำมัน Roma Plastilina No.1 ด้วยลูกตุ้มเหล็กขนาด 1.043 ± 5 กรัม ที่ความสูง 2 เมตร รอยยุบที่เกิดขึ้นต้องอยู่ระหว่าง 19 ± 2 มิลลิเมตร หรือถ้าคำนวณหาค่าแรงต้านของดินน้ำมันจะได้เท่ากับ 1,076 นิวตัน จากนั้นทำการทดสอบด้วยวิธีเดียวกันกับชุดวัดการกระจายแรง สามารถวัดความลึกได้เท่ากับ 30 มิลลิเมตร หรือเท่ากับเครื่องวัดการกระจายแรงมีค่าแรงต้านเท่ากับ 682 นิวตัน ทั้งสองแตกต่างกันประมาณ 57% ดังนั้นต้องทำการสอบเทียบระหว่างแรงต้านของดินน้ำมันกับชุดวัดการกระจายแรงดังรูปที่ 13 หลังจากทำการทดสอบด้วยลูกตุ้มเหล็กพบว่าเครื่องสามารถแสดงผลกราฟฟีกของการกระจายแรง และการยุบตัวได้ดังรูปที่ 15 หลังจากทำการปรับเทียบกับวิธีมาตรฐานแล้วจึงนำเครื่องวัดการกระจายแรงไปทำการทดสอบด้วยการยิงกับแผ่นเกราะ โดยในเบื้องต้นต้องยิงกับดินน้ำมันด้วยวิธีมาตรฐานก่อนให้แน่ใจว่าเสื้อเกราะไม่ทะลุ เพื่อป้องกันความเสียหายกับเครื่องวัดการกระจายแรง



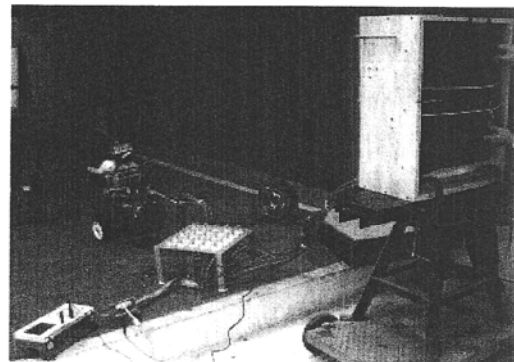
รูปที่ 13 การสอบเทียบระหว่างแรงต้านของดินน้ำมันกับชุดวัดการกระจายแรง



รูปที่ 14 การสอบเทียบด้วยลูกตุ้มเหล็ก



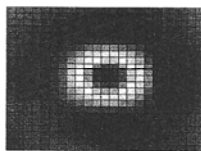
รูปที่ 15 กราฟฟีกสองและสามมิติ ของการกระจายแรง และการยุบตัว จากการปล่อยลูกตุ้มเหล็ก



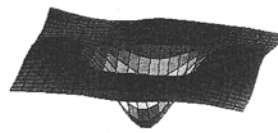
รูปที่ 16 ชุดวัดการกระจายแรงทำการทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน

ในการทดสอบนั้นใช้แผ่นเกราะอ่อนที่มีความเหนียว ยืดหยุ่น และ โครงสร้างต่างกัน 3 ชนิด คือ 1. ผ้าไม้ทอ 2. ผ้าฉักแนวเส้นยืน และ 3. ผ้าทอ โดยทำการยิงชนิดละ 3 ครั้ง ครั้งที่ 1 ยิงทดสอบกับ ดินมาตรฐานดูการทะลุ ครั้งที่ 2 และ 3 ยิงโดยใช้ เครื่องวัดการกระจายแรง โดยวางแผ่นเกราะทดสอบ โดยตรงกับชุดรับแรงกระแทก และการเล็งปืนต้อง เล็งให้เข้าจุดที่ตรงกับตำแหน่งของตัวรับแรงตรง กลาง เพื่อลดโอกาสที่กระสุนจะเข้าไปในบริเวณ ช่องว่างระหว่างตัวรับแรงแต่ละตัว ซึ่งถ้ากระสุนเข้า ไม่ตรงเป้าจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการวัดได้

ผลการทดสอบแผ่นเกราะป้องกันกระสุนปืน ชนิดผ้าไม้ทอ ด้วยกระสุนปืนขนาด 9 mm. (8.0g, 335.87m/s) บนดินน้ำมัน Roma Plastilina No.1 ได้ ความลึก 15 มิลลิเมตร จากนั้นทำการทดสอบด้วย เครื่องวัดการกระจายแรงกับกระสุนขนาด 9 mm. (8.0g, 336.75m/s) เพื่อทำการเปรียบเทียบ โดย สามารถวัดความลึกได้ประมาณ 18 มิลลิเมตร รูปการกระจายแรง และการยุบตัวของผ้าไม้ทอ แสดงในรูปที่ 17 และ 18

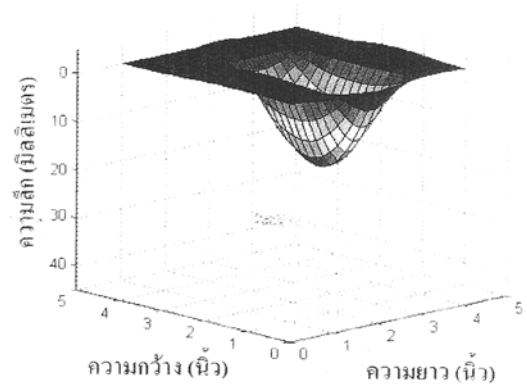


(ก)



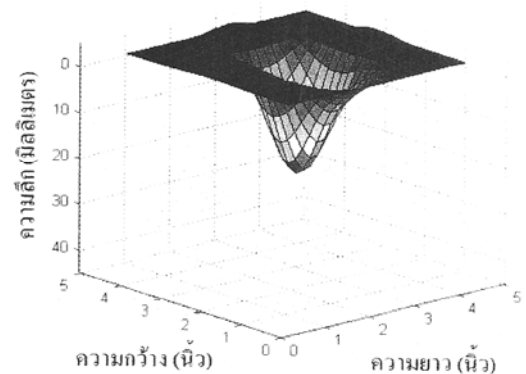
(ข)

รูปที่ 17 กราฟฟิคสองและสามมิติ ของการกระจายแรง และการยุบตัว จากการยิงแผ่นเกราะชนิดผ้าไม้ทอ

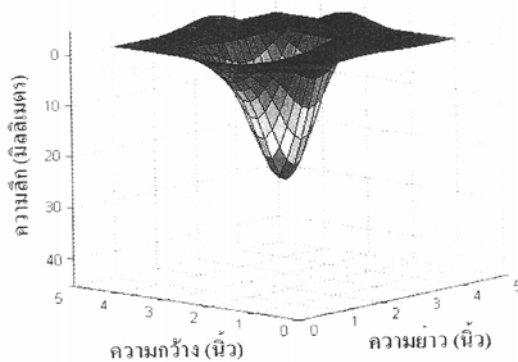


รูปที่ 18 การยุบตัวของแผ่นเกราะชนิดผ้าไม้ทอ

ทดสอบเสื้อเกราะป้องกันกระสุนปืนชนิด ผ้าฉักแนวเส้นยืน ด้วยกระสุนปืนขนาด 9 mm. (8.0g, 346.03m/s) บนดินน้ำมัน Roma Plastilina No.1 ได้ ความลึก 22.2 มิลลิเมตร จากนั้นทำการทดสอบด้วย เครื่องวัดการกระจายแรงกับกระสุนขนาด 9 mm. (8.0g, 335.35m/s) เพื่อทำการเปรียบเทียบ โดย สามารถวัดความลึกได้ประมาณ 25 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 19



รูปที่ 19 การยุบตัวของแผ่นเกราะชนิดผ้าฉักแนวเส้นยืน



รูปที่ 20 การขูดตัวของแผ่นเกราะชนิดผ้าทอ

ทดสอบเสื้อเกราะป้องกันกระสุนปืนชนิด “ผ้าทอ” ด้วยกระสุนปืนขนาด 9 mm. (8.0g, 343.73m/s) บนดินน้ำมัน Roma Plastilina No.1 ได้ความลึก 25 มิลลิเมตร จากนั้นทำการทดสอบด้วยเครื่องวัดการกระจายแรงกับกระสุนขนาด 9 mm. (8.0g, 340.98m/s) เพื่อทำการเปรียบเทียบ โดยสามารถวัดความลึกได้ประมาณ 27 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 20

5. สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบเปรียบเทียบชุดวัดการกระจายแรงกับดินน้ำมัน Roma Plastilina No.1 ด้วยลูกตุ้มเหล็ก ผลที่ได้คือดินน้ำมันขูดตัวเท่ากับ 19 มิลลิเมตร ส่วนชุดวัดการกระจายแรงขูดตัวเท่ากับ 30 มิลลิเมตร หมายความว่า ดินน้ำมันมีค่าแรงต้านทานมากกว่าชุดวัดการกระจายแรง

การทดสอบยิงแผ่นเกราะป้องกันกระสุนปืนทั้งสามประเภทคือ ผ้าไม่ทอ ผ้าฉีกแนวเส้นยืน และผ้าทอ ด้วยกระสุนปืนขนาด 9 mm. บนดินน้ำมัน Roma Plastilina No.1 ได้ความลึกเท่ากับ 15, 22.2 และ 25 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ส่วนการทดสอบแผ่นเกราะกันกระสุนทั้งสามประเภทในข้างต้นกับชุดวัดการกระจายแรงนั้น ผลที่ได้สามารถแสดงกราฟฟีกสอง และสามมิติของการกระจายแรง และการขูดตัวของแผ่นเกราะ และสามารถแสดงความแตกต่างกันทั้งสามประเภทของการทดสอบข้างต้นได้ โดยมีความลึกเท่ากับ 18, 25, และ 27 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำผลที่ได้ระหว่างการทดสอบด้วยดินน้ำมันมาเปรียบเทียบกับผลของชุดวัดการกระจายแรงนั้นผลปรากฏว่าค่าที่ได้เป็นไปในแนวทางเดียวกันคือ ผ้าไม่ทอมีความสามารถในการป้องกันกระสุนปืนได้ดีที่สุด รองลงมาคือ ผ้าฉีกแนวเส้นยืน และผ้าทอตามลำดับ ที่ความถูกต้องเท่ากับ 82.5%

สิ่งที่ต้องทำการปรับปรุง คือ การติดตั้งชุดแม่เหล็กถาวรสำหรับฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ ควรติดตั้งให้มีความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กในปริมาณที่เท่ากันทุกตัว เพื่อให้มีย่านการวัดเดียวกัน จะเป็นการสะดวก ความถูกต้องของชุดวัดการกระจายแรงเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องปรับปรุงให้ดีขึ้น อีกทั้งความละเอียดของชุดเซ็นเซอร์ที่ต้องมีมากขึ้นเพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์ผลที่ดีกว่าเดิม

ท้ายที่สุดสำหรับผลงานวิจัยที่น่าเสนอ คือได้เครื่องต้นแบบในการวัดการกระจายแรง และการขูดตัวของเสื้อเกราะกันกระสุนชนิดเกราะอ่อน ซึ่งยังสามารถนำไปพัฒนาให้มีความแม่นยำและศักยภาพสูงขึ้นได้ อีกทั้งเครื่องต้นแบบที่น่าเสนอสามารถปรับปรุงให้เหมาะสมกับงานทดสอบที่มีลักษณะคล้ายกับประเภทอื่นได้

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอแห่งประเทศไทย (Thailand Textile Institute) สัญญาเลขที่ สสท. ๐๕๓/๒๕๕๑ และสนับสนุนเครื่องสอบเทียบทรานสดิวเซอร์จากห้องปฏิบัติการสอบเทียบเครื่องมือวัดศูนย์ปิโตรเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นอกจากนี้ขอขอบคุณทีมวิจัยเสียสละกัน กระสุน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ในการสนับสนุนตัวอย่างแผ่นเกราะในการทดสอบ รวมไปถึงกองพลธิการ สำนักงานตำรวจแห่งชาติที่อำนวยความสะดวกสถานที่ อุปกรณ์ และบุคลากรในการยิงทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] John Ashcroft, Deborah J. Daniels and Sarah V. Hart, 2001. **Selection and Application Guide to Personal Body Armor**. The National Institute of Justice's National Law Enforcement and Corrections Technology Center Lance Miller.
- [2] นระา เฉลิมกลิ่น และ จัตรชัย สุภพิทักษ์สกุล, 2551. การออกแบบทรานสดิวเซอร์วัดแรงโดยใช้ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์. การประชุมเครือข่ายวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 1 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี
- [3] นระา เฉลิมกลิ่น และ จัตรชัย สุภพิทักษ์สกุล, 2552. การประยุกต์ใช้อัลลเอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ในการออกแบบทรานสดิวเซอร์วัดแรง. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
- [4] ผศ.จรัส บุญยธรรมา, 2543. **ฟิสิกส์ระดับมหาวิทยาลัยภาคกลศาสตร์**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์สุวีริยาสาส์น. หน้า 267-297.
- [5] วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์, 2548. **เซ็นเซอร์และทรานสดิวเซอร์: ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้ในระบบการวัดและระบบควบคุม**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). หน้า 51-63.
- [6] สมศักดิ์ กิรดิฐนิเศรษฐ์, 2546. **หลักการและการใช้งานเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). หน้า 17-1~17-8.
- [7] David S. Nyce, 2004. **Linear Position Sensors Theory and Applications**. USA: Wiley-interscience.
- [8] Joe Gilbert and Ray Dewey. **Linear Hall-Effect Sensors**. Allegro Micro Systems, Inc.



FACULTY OF ENGINEERING
PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY

PEC-7

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 7

The 7th PSU-Engineering Conference

21-22 พฤษภาคม 2552

ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ประกาศเกียรติคุณผู้ทรงคุณวุฒิปัทมพจน์
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7
วันที่ 21 - 22 พฤษภาคม 2552 ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ด้วยการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7 (PEC-7) ได้รับความกรุณาจากผู้ทรงคุณวุฒิหลายท่าน จากหลายสถาบัน/ หน่วยงานที่ได้ใช้ความรู้และประสบการณ์ทางวิชาการในการพิจารณาบทความที่ส่งเข้ารับการประชุมนานาชาติ PEC-7 ด้วยความอุตสาหะยังผลให้การประชุมนานาชาติ PEC-7 ดำเนินการไปด้วยความสมบูรณ์และมีคุณภาพ นอกจากนี้แล้วความร่วมมือจากผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านยังก่อให้เกิดคุณภาพการทางวิชาการ อีกทั้งได้ร่วมสร้างบรรยากาศทางวิชาการ และเป็นการเผยแพร่ชื่อเสียงของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อีกด้วย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จึงใคร่ขอขอบพระคุณและประกาศเกียรติคุณผู้ทรงคุณวุฒิ ดังรายนามต่อไปนี้ ไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ก.ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกมหาวิทยาลัย

1. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

1. รศ.ดร.เสนีย์	กาญจนวงศ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
2. รศ.ดร.ขจรศักดิ์	โสภณจารย์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
3. รศ.สุรนนท์	น้อยมณี	คณะวิศวกรรมศาสตร์
4. รศ.สมใจ	กาญจนวงศ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
5. ผศ.ดร.เสริมศักดิ์	เอื้อตรงจิตต์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
6. ผศ.ดร.นิวิทย์	เจริญใจ	คณะวิศวกรรมศาสตร์
7. ดร.นงคัมภ์	เรืองจิตต์	คณะวิทยาศาสตร์

2. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

1. รศ.ดร.วิโรจน์	บุญอำนวยวิทยา	คณะวิศวกรรมศาสตร์
2. รศ.ดร.เชาวลิต	ลิมมณีวิจิตร	คณะวิศวกรรมศาสตร์
3. ผศ.ดร.สุรัชย์	สนธิใจ	คณะวิศวกรรมศาสตร์
4. ผศ.ดร.ยงยุทธ	เสริมสุขอินทร์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
5. ดร.จุลเทพ	ขจรไชยกูล	คณะวิศวกรรมศาสตร์

3. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ศ.ดร. ฉัตรชัย	ไวยาพัฒน์กร	คณะวิศวกรรมศาสตร์
2. รศ.ดร.มานะ	ศรียุทธศักดิ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
3. รศ.ดร.จิตรา	รู้จักการพานิช	คณะวิศวกรรมศาสตร์
4. ผศ.ดร.ประเสริฐ	เรียบร้อยเจริญ	คณะวิทยาศาสตร์
5. ดร.ตะวัน	ลิมปิยากร	คณะวิศวกรรมศาสตร์



4. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. รศ.ดร.พึงผาย	พรรณวดี	คณะวิทยาศาสตร์
2. รศ.ดร.ชาติ	เจียมไชยศรี	คณะวิศวกรรมศาสตร์
3. รศ.ดร.สุวิมล	สัจจวานิชย์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
4. ผศ.ดร.อนันต์	พลเพิ่ม	คณะวิศวกรรมศาสตร์
5. ผศ.ดร.ภูงค์	อุทัยภาส	คณะวิศวกรรมศาสตร์

5. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

1. ผศ.ดร.ศุภชัย	วรพจน์พิศุทธิ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
2. ผศ.ดร.ศุภสิทธิ์	รอดขวัญ	คณะวิศวกรรมศาสตร์
3. ผศ.ดร.วาทิต	ภักดี	คณะวิศวกรรมศาสตร์

6. มหาวิทยาลัยขอนแก่น

1. รศ.ดร.พรเทพ	ขอขยายเกียรติ	คณะวิศวกรรมศาสตร์
2. ผศ.ดร.ชาญณรงค์	สายแก้ว	คณะวิศวกรรมศาสตร์
3. ผศ.ดร.สุรสิทธิ์	ปิยะศิลป์	คณะวิศวกรรมศาสตร์

7. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1. รศ.ดร.สุวัฒนา	จิตตลดากร	คณะวิศวกรรมศาสตร์
2. รศ.ดร.มนัส	สังวรศิลป์	คณะวิศวกรรมศาสตร์

8. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1. ผศ.ดร.สุธรรม	ปทุมสวัสดิ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
2. ดร.วิบูลย์	เลิศวิมลนันท์	คณะวิศวกรรมศาสตร์

9. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1. รศ.ดร.สุขสันต์	ทอพิบูลสุข	คณะวิศวกรรมศาสตร์
2. ผศ.ดร.เจษฎา	ตันทนุช	คณะวิทยาศาสตร์

10. มหาวิทยาลัยมหิดล

1. รศ.ดร.ดวงพรรณ	ศฤงคารินทร์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
2. ผศ.ดร.สุกัญญา	พงษ์สุภาพ	คณะวิทยาศาสตร์

11. มหาวิทยาลัยบูรพา

1. ผศ.ดร.สยาม	ยัมศิริ	คณะวิศวกรรมศาสตร์
---------------	---------	-------------------

12. มหาวิทยาลัยรังสิต

1. ดร.พิษณุ	มนัสปิติ	วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์
-------------	----------	------------------------



13. มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

1. **ดร.ปกรณ์** **ดิษฐกิจ**

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร

14. มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

1. ดร.วรพจน์ กนกกันทพงษ์

คณะสาธารณสุขศาสตร์และสิ่งแวดล้อม

15. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

1. ผศ.ดร.สมบัติ ลินธุ์เชาวน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

ข. ผู้ทรงคุณวุฒิภายในมหาวิทยาลัย

1. คณะวิศวกรรมศาสตร์

- | | |
|---------------------|----------------|
| 1. รศ.บุญเจริญ | วงศ์กิตติศึกษา |
| 2. ผศ.ดร.ณัฐรา | จินดาเพชร |
| 3. ผศ.คนติ | เจริญพัฒนานนท์ |
| 4. ผศ.ดร.วิกรม | ธีรภาพจรเดช |
| 5. ผศ.สาวิตรี | ตันทนุช |
| 6. ผศ.ดร.พรชัย | พลกษัทรานนท์ |
| 7. รศ.ดร.จรัญ | บุญกาญจน์ |
| 8. ดร.สุธรรม | สุขมณี |
| 9. ผศ.ดร.ราม | แย้มแสงสังข์ |
| 10. ผศ.ดร.จุไรวัลย์ | รัตนทิลัฐ |
| 11. ผศ.ดร.จันทิมา | ขังลิพร |
| 12. ผศ.ดร.กุลชนาฐ | ประเสริฐสิทธิ์ |
| 13. ผศ.ดร.พามาศ | เจริญพัฒนานนท์ |
| 14. ผศ.ดร.ชญาณุช | แสงวิเชียร |
| 15. ผศ.ดร.ลือพงศ์ | แก้วศรีจันทร์ |
| 16. รศ.ดร.สันต์ชัย | กลั่นพิกุล |
| 17. รศ.วนิดา | รัตนมณี |
| 18. ผศ.ดร.อรุณ | สังขพงศ์ |
| 19. ผศ.ดร.สุภาพรรณ | ไชยประพัทธ์ |
| 20. ผศ.ดร.ธเนศ | รัตนวิไล |
| 21. ดร.รัชนีนา | สินธวาลย์ |
| 22. ผศ.ดร.นภิสพร | มีมงคล |
| 23. ผศ.ดร.กลางเดือน | โพชนา |
| 24. รศ.ดร.พิษณุ | บุญนวล |
| 25. รศ.ดร.เล็ก | สีคง |
| 26. รศ.กัลยาณี | คุปตานนท์ |

- [illegible]



- | | |
|----------------------|-----------------|
| 27. ผศ.ดร.เจษฎา | วรรณสินธุ์ |
| 28. ผศ.ดร.วีรวรรณ | สุทธิศรีปิก |
| 29. ดร.ประภาศ | เมืองจันทร์บุรี |
| 30. รศ.ดร.อุดมพล | พิชนไพบูลย์ |
| 31. ผศ.สราวุธ | จรีตงาม |
| 32. ดร.ชัยศรี | สุขสาโรจน์ |
| 33. ดร.จรงค์พันธ์ | มุสิกะวงศ์ |
| 34. ดร.ธนิยา | เกาศล |
| 35. อ.จรีรัตน์ | สกุลรัตน์ |
| 36. รศ.ดร.วราวุธ | วิสุทธิเมธางกุล |
| 37. รศ.กำพล | ประทีปชัยกูร |
| 38. รศ.สมาน | เสนงาม |
| 39. รศ.ปัญญารักษ์ | งามศรีตระกูล |
| 40. ผศ.ดร.สุธรรม | นิยมวาส |
| 41. ผศ.ดร.วิริยะ | ทองเรือง |
| 42. ดร.สมชาย | แซ่ฮ้าง |
| 43. ดร.พุทธิพงศ์ | แสนสบาย |
| 44. ดร.ฐานันดรศักดิ์ | เทพญา |
| 45. ดร.กิตตินันท์ | มลิวรรณ |
| 46. ผศ.ดร.พฤทธิกร | สมิตโมตรี |
| 47. รศ.ดร.สินชัย | กมลภักดิ์ |
| 48. รศ.ดร.มิตรชัย | จงเขียวชำนาญ |
| 49. ผศ.ดร.มนตรี | กาญจนะเดชะ |
| 50. ผศ.ดร.พิชญา | ตันทัยย์ |
| 51. ผศ.ดร.สุนทร | วิทูรพจน์ |
| 52. ดร.อนันท์ | ชกสุริวงศ์ |
| 53. ดร.นิคม | สุวรรณวร |
| 54. อ.วีระพันธุ์ | มุสิกสาร |

2. คณะวิทยาศาสตร์

- | | |
|-------------------|-------------|
| 1. ผศ.ดร.จิราภรณ์ | ไชยบัณฑิตย์ |
| 2. ดร.วิรัช | ทวีปรีดา |
| 3. อ.อดุลย์ | เที่ยงจรรยา |

3. คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม

- | | |
|----------------|---------------|
| 1. ผศ.ดร.บรรจง | วิทย์วิศักดิ์ |
| 2. ดร.ธันวดี | เดชะภัททวรกุล |

ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ
 ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ
 ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ
 ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
 ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
 ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
 ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
 ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
 ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
 ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
 ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
 ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
 ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
 ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
 ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
 ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
 ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
 ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
 ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
 ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
 ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
 ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
 ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
 ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
 ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
 ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

หลักสูตรสาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์
 หลักสูตรสาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์
 ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป

4. คณะทรัพยากรธรรมชาติ

1. รศ.ดร.จำเริญ อ่อนทอง ภาควิชาธรณีศาสตร์

5. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี)

1. ผศ.ดร.สมทิพย์ ด้านธีรวันชัย สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม

6. คณะอุตสาหกรรมเกษตร

1. ดร.ปิยะรัตน์ บุญแสง ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพอุตสาหกรรม

ประกาศ ณ วันที่ 21 พฤษภาคม 2552

รองศาสตราจารย์ ดร.จรัญ บุญกาญจน์
ประธานคณะกรรมการวิชาการและการประชุม PEC-7

การประยุกต์ใช้ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ในการออกแบบทรานสดิวเซอร์วัดแรง The Application of Hall Effect Sensing Device for Force Transducer designing

นารา เฉลิมกลิ่น จัตรชัย สุภพิทักษ์สกุล

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ถนนรังสิต-นครนายก คลองหก ธัญบุรี ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์ 02 549-3420 โทรสาร 02 549-3422
E-mails: nara_ch@yahoo.co.th and schai910@yahoo.co.uk

Nara Chalermklin Chatchai Supitaksakul

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi,
Rangsit-Nakhonnayok Rd. Klong 6, Thanyaburi Pathumthani 12110, Tel : 02 549-3420, Fax : 02 549-3422
E-mails: nara_ch@yahoo.co.th and schai910@yahoo.co.uk

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบทรานสดิวเซอร์วัดแรง (Force transducer) โดยใช้ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ (Hall effect sensor) ในการรับรู้ ซึ่งมีราคาถูก ตอบสนองเร็ว และเป็นเชิงเส้น หลักการของการวัดโดยใช้การตรวจวัดความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก ทรานสดิวเซอร์ที่ออกแบบประกอบด้วยกระบอกสูบ (Air cylinder) ทำหน้าที่รับแรง และส่งผ่านแรงด้วยลมให้กับแท่งยึดแม่เหล็กถาวร (Permanent magnet) ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ เพื่อใช้ในการแปลงค่าแรง (Force) ที่เป็นปริมาณฟิสิกส์ให้เป็นแรงดันไฟฟ้าด้วยฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ที่ติดตั้งอยู่กับที่ โดยสามารถปรับย่านการวัดให้เหมาะสมกับการใช้งานได้ ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ย่านการวัดอยู่ที่ 414 N ถึง 656 N (2.4 kg/cm^2 ถึง 3.8 kg/cm^2) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับแรงดันไฟฟ้ามีแนวโน้มเป็นเชิงเส้น โดยที่ขนาดของแรงจะแปรผันตรงกับขนาดความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก ซึ่งถูกตรวจวัดโดยฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ และมีความแม่นยำอยู่ในระดับที่น่าพอใจ

คำหลัก ทรานสดิวเซอร์วัดแรง, ฮอลล์เอฟเฟกต์

Abstract

This paper presents the designing of force transducer using Hall Effect sensing device. The Hall Effect sensor which is low-cost provides a linear output voltage and quick respond. The designed transducer consists of an air cylinder and the moving permanent magnet bar in order to transfer input force to voltage with Hall Effect sensor. The force range for this testing is 414-656 Newton (2.4 kg/cm^2 to 3.8 kg/cm^2). The experimental results show the output voltage from the sensor tends proportional to the input force with a satisfactory

accurate.

Keywords: Force transducer, Hall Effect sensor

1 บทนำ

ในปัจจุบันนี้โลกของเราได้มีการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีอย่างรวดเร็วในทุกๆด้าน เพื่อใช้เป็นสิ่งอำนวยความสะดวกให้กับมนุษย์เรา ไม่ว่าจะเป็นทางด้าน การติดต่อสื่อสาร การคมนาคมขนส่ง ทางแพทย์ และอื่นๆ อีกมากมาย รวมไปถึงการพัฒนาทางด้านอาวุธปืน ซึ่งเป็นที่มาของแนวคิดในการทำงานวิจัยในครั้งนี้ โดยเป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าอาวุธปืนนั้นมีสมรรถภาพในการทำลายสูงและยากต่อการป้องกัน ดังนั้นจึงมีหลายสถาบันได้ทำการคิดค้นและออกแบบเสื้อเกราะ (Body Armor) ป้องกันกระสุนปืน รวมถึงการพัฒนาทางด้านการเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันและต้นทุนในการผลิตเพื่อให้มีราคาถูกลง แต่ทั้งนี้ปัจจัยที่ทำให้ต้นทุนมีราคาสูงคือการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ทดสอบเสื้อเกราะ

บทความนี้จึงนำเสนอการปรับปรุงการออกแบบทรานสดิวเซอร์วัดแรง โดยใช้เทคนิคของฮอลล์เอฟเฟกต์ (Hall Effect technique) จากการศึกษาที่ได้นำเสนอไปแล้ว [1] โดยลักษณะที่แรงจะไม่ได้สัมผัสโดยตรงกับฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ ซึ่งจะใช้เป็นตัวกลางในการส่งผ่านแรงมาให้ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ เพื่อป้องกันมิให้ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์เกิดความเสียหาย ซึ่งได้ทำการปรับปรุงในเรื่องความเป็นเชิงเส้นของฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ให้มากขึ้น โดยมีเป้าหมายหลักคือ นำไปพัฒนาสำหรับวัดแรงของกระสุนปืนที่กระทำได้เสื้อเกราะพร้อมกับการวิเคราะห์การกระจายแรงบนเสื้อเกราะตัวอย่างเช่น การทดสอบเสื้อเกราะด้วยกระสุนปืนชนิด III-A ขนาด 8.2g.(124gr.) ด้วยความเร็ว 427m/s ในระยะ 5m [7] จากการคำนวณได้แรงสูงสุดที่กระทำกับเสื้อเกราะประมาณ 299N แต่ไม่สามารถทำวิเคราะห์การกระจายแรงบนเสื้อเกราะได้

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

มีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับบทความนี้ 2 ส่วนคือ ความรู้พื้นฐานทางด้านฟิสิกส์ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญสำหรับการออกแบบระบบส่งผ่านแรงด้วยลมให้กับแท่งยึดแม่เหล็กถาวร ส่วนที่สองคือ หลักการทำงานของฮอลล์เอฟเฟกต์เซนเซอร์

2.1 พื้นฐานทางฟิสิกส์

2.1.1 แรง (Force, F)

หมายถึง การกระทำของวัตถุหนึ่งต่ออีกวัตถุหนึ่ง ซึ่งแรงจะพยายามผลักหรือดึงให้วัตถุเคลื่อนที่ไปตามทิศทางของแรงนั้น โดยที่แรงเป็นปริมาณทางเวกเตอร์ และการบอกคุณลักษณะเฉพาะอย่างสมบูรณ์ของแรงจะต้องประกอบด้วยขนาดทิศทาง และจุดที่แรงกระทำ โดย [3]

$$F = ma \quad (1)$$

โดยที่ F : แรง มีหน่วยเป็นนิวตัน (N) หรือ (kg-m/s²)

a : ความเร่ง มีหน่วยเป็น (m/s²)

m : มวล มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (Kg)

2.1.2 การดลและโมเมนตัม

การดลคือ การเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม [4]

$$F(t_2 - t_1) = mv_2 - mv_1 \quad (2)$$

โดยที่ F : แรง มีหน่วยเป็นนิวตัน (N) หรือ (kg-m/s²)

v_1 : เป็นความเร็วของอนุภาคที่ $t = t_1$

v_2 : เป็นความเร็วที่ $t = t_2$

2.1.3 ความดัน (Pressure, P)

ความดันหมายถึง แรงกดดันของอากาศที่กระทำต่อพื้นที่ 1 ตารางหน่วย และเครื่องมือที่ใช้วัดความดันบรรยากาศ คือ มาโนมิเตอร์ หรือเกจวัดความดัน โดย [5]

$$P = \frac{F}{A} \quad (3)$$

โดยที่ F : แรง มีหน่วยเป็นนิวตัน (N) หรือ (kg-m/s²)

A : พื้นที่ มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m²)

หน่วย N/m² คือ ค่าของปาสคาล (Pascal) เขียนย่อว่า Pa

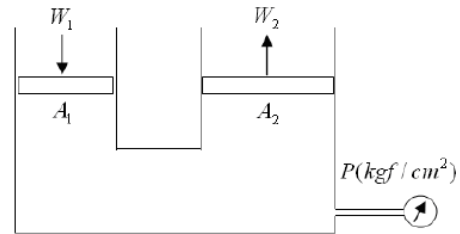
2.1.4 กฎของปาสคาล (กฎส่งผ่านความดัน)

การส่งผ่านความดันสถิต หรือความดันที่ไม่เคลื่อนที่ (Static pressure) กฎนี้กล่าวว่า ความดันที่กระทำต่อส่วนหนึ่งของไหลที่อยู่นิ่งในภาชนะปิด จะกระทำต่อทุกส่วนของภาชนะในแนวตั้งฉาก [3]

$$\frac{W_1}{A_1} = \frac{W_2}{A_2} = P \quad (4)$$

จากรูปที่ 1 ในกรณีที่ลูกสูบมีพื้นที่หน้าตัด A_1 (cm²) และ A_2

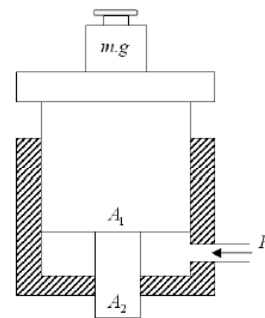
(cm²) ถ้ามีน้ำหนัก W_1 (kgf) กระทำบนลูกสูบ A_1 แล้วจะเกิดแรงถ่ายเท W_2 (kgf) ขึ้นที่ลูกสูบซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด A_2 ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 กฎของปาสคาล

2.1.5 ค่าความดันมาตรฐาน

ในรูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันมาตรฐาน P (Kgf/cm²) กับน้ำหนักที่กดทับ $m \cdot g$ (N) โดยมีตัวแปรคือ พื้นที่หน้าตัดของกระบอกสูบ $A_1 - A_2$ (cm²) [5]



รูปที่ 2 เทคนิคการลดพื้นที่หน้าตัดของกระบอกสูบ

$$P = \frac{m \cdot g}{A_1 - A_2} \quad (5)$$

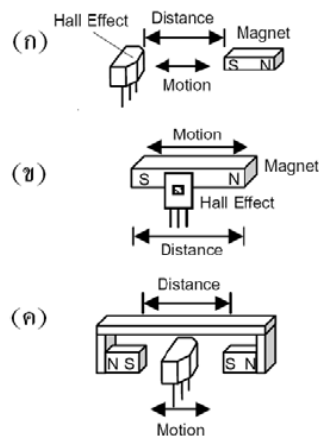
2.2 ฮอลล์เอฟเฟกต์ (Hall Effect)

Hall Effect ใช้ในการตรวจจับความเข้มของสนามแม่เหล็กซึ่งอาศัยปรากฏการณ์ฮอลล์ทำให้เกิดความต่างศักย์ค่าหนึ่งเปลี่ยนแปลงตามความเข้มของสนามแม่เหล็ก ถ้านำขั้วเหนือเข้าใกล้ค่าความต่างศักย์จะเพิ่มขึ้นทางด้านลบ (-) แต่ถ้านำขั้วใต้เข้าใกล้ค่าความต่างศักย์จะเพิ่มขึ้นทางด้านบวก (+) ความต่างศักย์ที่เปลี่ยนไปมีความสัมพันธ์กับความเข้มของสนามแม่เหล็กหรือความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กดังนี้

$$B = (V_B - V_o) K^{-1} \quad (6)$$

โดยที่ V_o คือความต่างศักย์ขณะไม่มีสนามแม่เหล็ก; V_B คือความต่างศักย์ขณะมีสนามแม่เหล็ก; K คือสัมประสิทธิ์ความไว มีหน่วยเป็นโวลต์ต่อเทสลา (V/T); B คือความเข้มของสนามแม่เหล็กหรือความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก มีหน่วยเป็นเทสลา (T) ค่าความต่าง

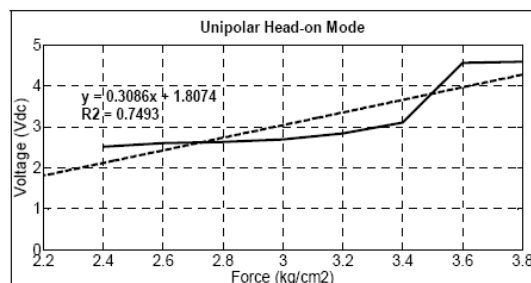
ศักย์ที่เกิดขึ้นจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างสนามแม่เหล็กที่เข้าใกล้บริเวณตัวนำกระแสไฟฟ้าภายใน Hall Effect ถ้าอยู่ใกล้ค่าความต่างศักย์ที่ได้จะสูง แต่ถ้าอยู่ไกลค่าความต่างศักย์จะต่ำลงจนเหลือเท่ากับครึ่งหนึ่งของความต่างศักย์ที่จ่ายให้ การใช้ Hall Effect สำหรับการตรวจสอบตำแหน่งหรือการเคลื่อนที่ วิธีพื้นฐานที่ง่ายที่สุด คือ การวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กแบบ Unipolar Head-on Mode ดังรูปที่ 3(ก) ส่วนวิธีแบบ Bipolar Slide-by และ Push-push Approach ดังรูปที่ 3(ข) และ (ค) [2], [5], [6]



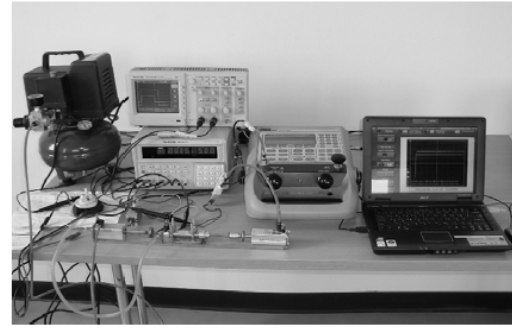
รูปที่ 3 (ก) Unipolar head-on Mode (ข) Bipolar slide-by และ (ค) Push-Push approach

3. การทดลอง

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้วว่าการทดลองนี้เป็นการพัฒนาต่อมาจากบทความที่แล้วซึ่งใช้วิธีการตรวจวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กแบบ Unipolar head-on Mode ดังรูปที่ 3(ก) โดยผลการทดลองที่ได้มีความเป็นเชิงเส้นไม่เท่าที่ควร แสดงในรูปที่ 4 [1] ดังนั้นการทดลองนี้จะทำการพัฒนาโดยเพิ่มความเข้มของชุดเซนเซอร์ให้มากขึ้น ในการทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง ได้แก่การทดลองความเข้มเชิงเส้นของฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์เมื่อประกอบร่วมกับกระบอบสูบทำหน้าที่รับแรง และส่งผ่านแรงด้วยลมให้กับแท่งยึดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีการตรวจวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กแบบ Bipolar Slide-by และแบบ Push-push Approach



รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับความต่างศักย์กรณีต่อฮอลล์เอฟเฟคพร้อมกับกระบอบสูบ (Unipolar head-on Mode)



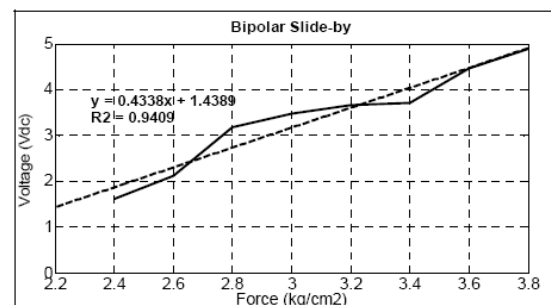
รูปที่ 5 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบทำการสำหรับการตรวจวัดแรงโดยใช้ฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์

3.1 การทดลองความเข้มเชิงเส้นของฮอลล์เอฟเฟค ร่วมกับกระบอบสูบโดยเทคนิค Bipolar Slide-by

การทดลองนี้ใช้ชุดรับแรงเป็นกระบอบสูบประเภท 2 แกน โดยที่แกนด้านหนึ่งทำหน้าที่รับแรง ส่วนอีกด้านหนึ่งทำหน้าที่ปรับระดับแรงเพื่อป้องกันความเสียหายกรณีแรงเข้ามาเกินขีดความสามารถในการตรวจวัดแรงได้ หรือต้องการวัดแรงที่มีขนาดเพิ่มขึ้นก็สามารถปรับได้ ในการทดลองนี้มีการวัดอยู่ที่ 414N ถึง 656N (2.4kg/cm² ถึง 3.8kg/cm²) โดยใช้ Precision Pressure Indicator Calibrator เป็นชุดกำเนิดแรงในรูปของแรงดันลมมีหน่วยเป็น (kg/cm²) ซึ่ง Precision Pressure Indicator Calibrator นี้ได้ผ่านการสอบเทียบ (Calibrated) แล้วค่าอยู่ในมาตรฐานตลอดอายุการใช้งาน ซึ่งผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 1 และรูปที่ 6

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบค่าของแรงกับความต่างศักย์(Bipolar slide-by)

Force (Kg/cm ²)	V_{out}						
	Trial#1 (V _{dc})	Trial#2 (V _{dc})	Trial#3 (V _{dc})	Trial#4 (V _{dc})	Trial#5 (V _{dc})	AVG (V _{dc})	R (V _{dc})
2.40	1.61	1.61	1.61	1.65	1.61	1.62	0.04
2.60	2.10	2.14	2.17	2.10	2.10	2.12	0.07
2.80	3.18	3.18	3.18	3.18	3.18	3.18	0.00
3.00	3.48	3.45	3.48	3.49	3.48	3.48	0.04
3.20	3.65	3.65	3.71	3.65	3.65	3.66	0.06
3.40	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	0.00
3.60	4.46	4.46	4.46	4.46	4.46	4.46	0.00
3.80	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	0.00



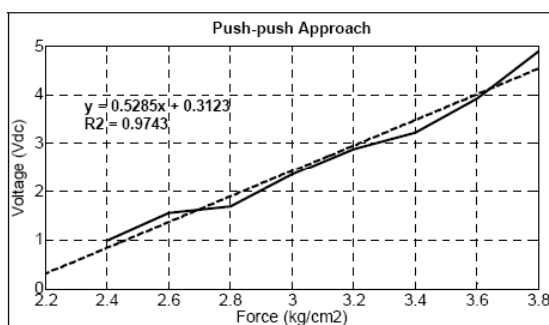
รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับความต่างศักย์กรณีต่อฮอลล์เอฟเฟคพร้อมกับกระบอบสูบ (Bipolar Slide-by Mode)

3.2 การทดลองความเป็นเชิงเส้นของฮอลล์เอฟเฟกต์ ร่วมกับ กระบอกสูบโดยเทคนิค Push-Push approach

การทดลองโดยใช้เทคนิค Push-Push approach นั้นเป็นการทดลองด้วยชุดอุปกรณ์เซนเซอร์เดียวกันกับแบบเทคนิค Bipolar Slide-by ซึ่งผลการทดลองแสดงในตารางที่ 2 และแสดงกราฟในรูปที่ 7

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าของแรงกับความต่างศักย์ Push-Push approach)

Force (Kg/cm ²)	V_{out}						
	Trial#1 (V _{dc})	Trial#2 (V _{dc})	Trial#3 (V _{dc})	Trial#4 (V _{dc})	Trial#5 (V _{dc})	AVG (V _{dc})	R
2.40	0.99	0.96	0.99	1.00	0.99	0.99	0.04
2.60	1.56	1.54	1.56	1.56	1.56	1.56	0.02
2.80	1.69	1.68	1.69	1.72	1.69	1.69	0.04
3.00	2.36	2.32	2.36	2.36	2.36	2.35	0.04
3.20	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	0.00
3.40	3.22	3.22	3.22	3.26	3.22	3.23	0.04
3.60	3.93	3.93	3.93	3.93	3.93	3.93	0.00
3.80	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	0.00



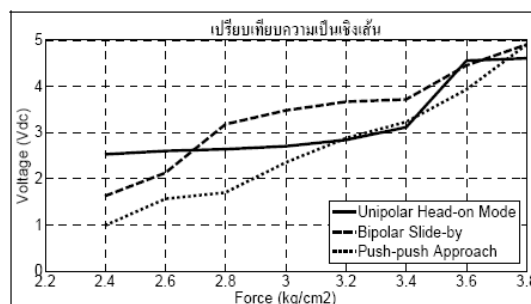
รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับความต่างศักย์กรณีต่อ ฮอลล์เอฟเฟกต์ร่วมกับกระบอกสูบ (Push-Push approach)

4. ปัญหาและแนวทางแก้ไข

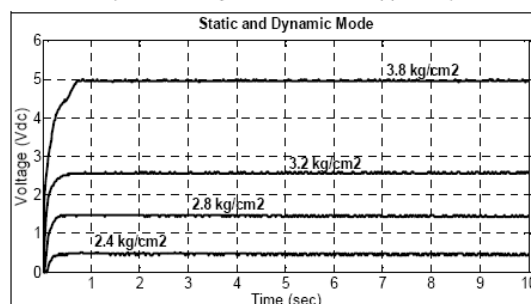
เนื่องจากในงานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำผลที่ได้จากการทดลองไปพัฒนาเป็นชุดเซนเซอร์สำหรับวัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการป้องกันกระสุนปืนของเสื้อเกราะ ซึ่งสิ่งหนึ่งที่เป็นปัญหาในงานวิจัยครั้งนี้คือ ขนาดและรูปร่างของแท่งแม่เหล็กถาวร รวมถึงปริมาณความแรงของเส้นแรงแม่เหล็กถาวรที่ยังไม่เหมาะกับโครงสร้างของชุดเซนเซอร์ ซึ่งต้องทำการปรับปรุงให้มีความสมดุลกันมากขึ้น เพื่อการนำไปใช้งานจริงมีประสิทธิภาพทั้งความถูกต้องแม่นยำและระยะในการตรวจจับกว้างขึ้น

5. สรุปผลการทดลอง

ผลจากการทดลองชุดเซนเซอร์ตรวจวัดแรง โดยใช้ฮอลล์เอฟเฟกต์เซนเซอร์ในการตรวจวัดปริมาณการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กโดยใช้เทคนิคการตรวจจับเส้นแรงแม่เหล็กทั้ง 3 แบบคือ Unipolar head-on Mode, Bipolar slide-by และ Push-Push approach ผลคือแบบ Push-Push approach จะให้ความเป็นเชิงเส้นมากที่สุด และมีความแม่นยำเท่ากับ 99.8% ดังนั้นจึงมีความ



รูปที่ 8 เปรียบเทียบความเป็นเชิงเส้น (Unipolar head-on Mode, Bipolar slide-by และ Push-Push approach)



รูปที่ 9 แสดงความเป็นเชิงเส้นในรูปของ Static และ Dynamic Mode โดยเทคนิค Push-Push approach

เหมาะสมที่จะนำเทคนิคการตรวจจับแบบ Push-Push approach ไปพัฒนาใช้กับชุดเซนเซอร์การตรวจวัดแรงกระสุนปืนต่อไป

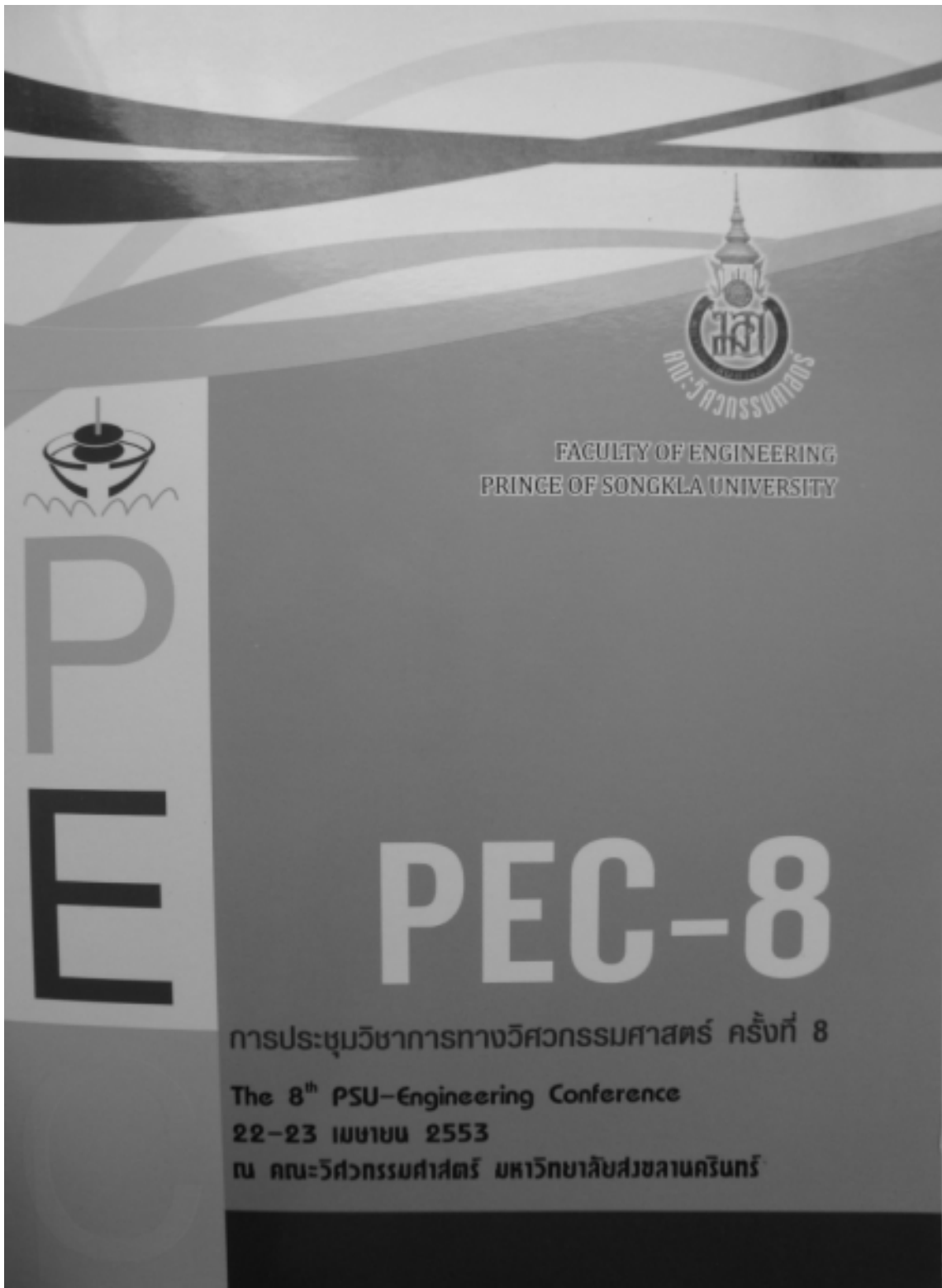
กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอแห่งประเทศไทย (Thailand Textile Institute) สัญญาเลขที่ สทท. ๐๕๓/๒๕๕๑ และสนับสนุนเครื่องสอบเทียบทรานสดิวเซอร์จากห้องปฏิบัติการสอบเทียบเครื่องมือวัดศูนย์ปิโตรเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เอกสารอ้างอิง

- [1] เนรา เฉลิมกลิ่น และ จักรชัย ศุภพิทักษ์กุล. 2551. การออกแบบทรานสดิวเซอร์วัดแรงโดยใช้ฮอลล์เอฟเฟกต์เซนเซอร์. การประชุมเครือข่ายวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 1, ปทุมธานี, ประเทศไทย, 19-21 พฤศจิกายน 2551: GEN18.
- [2] วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์. 2548. เซนเซอร์และทรานสดิวเตอร์: ฤทธิ์ และการประยุกต์ใช้ในระบบการวัดและระบบควบคุม สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) กรุงเทพฯ หน้า 51-63.
- [3] ผศ. จรัส บุญยชมรา. 2543. ฟิสิกส์ระดับมหาวิทยาลัยภาคกลศาสตร์. สำนักพิมพ์สรีวิสาสน์, กรุงเทพฯ, หน้า 267-297.
- [4] สมศักดิ์ กิตติวุฒิชัย. 2546. หลักการและการใช้งานเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม. สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) กรุงเทพฯ หน้า 17-1~ 17-8.

- [5] David S. Nyce, Linear Position Sensors Theory and Applications, Wiley-interscience, USA, 2004.
- [6] Joe Gilbert and Ray Dewey, LINEAR HALL-EFFECT SENSORS, Allegro Micro Systems, Inc.
- [7] John Ashcroft, Deborah J. Daniels and Sarah V. Hart "Selection and Application Guide to Personal Body Armor" The National Institute of Justice's National Law Enforcement and Corrections Technology Center Lance Miller, November, 2001





**ประกาศเกียรติคุณผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 8
ระหว่างวันที่ 22 - 23 เมษายน 2553 ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์**

ด้วยการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 8 (PEC-8) ได้รับความกรุณาจากผู้ทรงคุณวุฒิหลายท่าน จากหลายสถาบัน/หน่วยงาน ที่ได้ใช้ความรู้และประสบการณ์ทางวิชาการพิจารณาบทความที่ส่งเข้าร่วมการประชุมวิชาการ PEC-8 ด้วยความอุตสาหะยังผลให้การประชุมวิชาการ PEC-8 ดำเนินการไปด้วยความสมบูรณ์และมีคุณภาพ นอกจากนี้แล้วความร่วมมือจากผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านยังก่อให้เกิดคุณภาพการทางวิชาการ อีกทั้งได้ร่วมสร้างบรรยากาศทางวิชาการ และเป็น การเผยแพร่ชื่อเสียงของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อีกด้วย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จึงใคร่ขอขอบพระคุณและประกาศเกียรติคุณผู้ทรงคุณวุฒิ ดังรายนามต่อไปนี้ ไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ก. ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกมหาวิทยาลัย

1. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

1. รศ.ดร.วิโรจน์	บุญอำนาจวิทยา	คณวิศวกรรมศาสตร์
2. รศ.ดร.สมเกียรติ	ปรัชญาวรากร	คณวิศวกรรมศาสตร์
3. ผศ.ดร.สุรัชย์	สนิทใจ	คณวิศวกรรมศาสตร์
4. ดร.เตือนใจ	สมบุญวิวัฒน์	คณวิศวกรรมศาสตร์
5. ดร.ศุภกิตต์	โชติโก	คณวิศวกรรมศาสตร์

2. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

1. ผศ.ดร.เสริมศักดิ์	เอื้อตรงจิตต์	คณวิศวกรรมศาสตร์
2. ผศ.ดร.นิวิท	เจริญใจ	คณวิศวกรรมศาสตร์
3. ผศ.ดร.อภิชาติ	โสภาแดง	คณวิศวกรรมศาสตร์
4. ดร.นงศ์นุช	เรืองจิตต์	คณวิทยาศาสตร์

3. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. รศ.ดร.ผ่องผาย	พรรณวดี	คณวิทยาศาสตร์
2. รศ.ดร.สุวิมล	สัจจวานิชย์	คณวิศวกรรมศาสตร์
3. รศ.ดร.พงศ์ชนัน	เหลื่องไพบุลย์	คณวิศวกรรมศาสตร์
4. ผศ.ดร.อนันต์	ผลเพิ่ม	คณวิศวกรรมศาสตร์

4. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

- | | | |
|-------------------|--------------|-------------------|
| 1. รศ.ดร.อรรณกร | เก่งพล | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
| 2. รศ.สมนึก | วัฒนศรียกูล | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
| 3. ผศ.ดร.สมพร | สิริสำราญกุล | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
| 4. ผศ.ดร.สมศักดิ์ | อรรคหิมากุล | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |

5. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

- | | | |
|---------------------|-------------|-------------------|
| 1. ผศ.ดร.ไชยณรงค์ | จักรขรานนท์ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
| 2. ผศ.ดร.ผดุงศักดิ์ | รัตนเดโช | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
| 3. ดร.จิรวรรณ | คล้อยภยันต์ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |

6. มหาวิทยาลัยมหิดล

- | | | |
|---------------------|---------------|-------------------|
| 1. รศ.ดร.ดวงพรรณ | ศฤงคารินทร์ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
| 2. รศ.ดร.จิตต์ลัดดา | ศักดิ์ภาณีชัย | คณะวิทยาศาสตร์ |
| 3. ผศ.ดร.สุกัญญา | พงษ์สุภาพ | คณะวิทยาศาสตร์ |

7. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- | | | |
|-------------|------------|-------------------|
| 1. ดร.เกริก | ภิรมย์โสภา | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
| 2. ดร.ปวีณา | ชาวลิตวงศ์ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |

8. มหาวิทยาลัยขอนแก่น

- | | | |
|----------------|---------------|-------------------|
| 1. รศ.ดร.พรเทพ | ชอชจายเกียรติ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
| 2. ผศ.อนันต์ | เจ้าสกุล | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |

9. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

- | | | |
|--------------------|-------------|-------------------|
| 1. ผศ.ดร.สมบัติ | สินธุเชาวน์ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
| 2. ผศ.ดร.สุของค์ณา | ลี | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |

10. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

- | | | |
|---------------|------------|-------------------|
| 1. รศ.ดร.มนัส | สังวรศิลป์ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
|---------------|------------|-------------------|

11. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

- | | | |
|--------------------|------------|-------------------|
| 1. ผศ.ดร.จุไรวัลย์ | รัตนะพิสิฐ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
|--------------------|------------|-------------------|

12. มหาวิทยาลัยบูรพา

- | | | |
|---------------|---------|-------------------|
| 1. ผศ.ดร.สยาม | อัมศิริ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
|---------------|---------|-------------------|

13. มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

- | | | |
|---------------|--------|-------------------|
| 1. ผศ.สิริวิษ | ทัตสวน | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
|---------------|--------|-------------------|

14. มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

1. ผศ.วิจิตร

เพ็ชรกิจ

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร

ข. ผู้ทรงคุณวุฒิภายในมหาวิทยาลัย

1. คณะวิศวกรรมศาสตร์

1. รศ.บุญเจริญ	วงศ์กิตติศึกษา	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
2. รศ.ดร.เกริกชัย	ทองหนู	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
3. ผศ.ดร.ณัฐฐา	จินดาเพชร	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
4. ผศ.ดร.วิกรม	ธีรภาพขจรเดช	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
5. ผศ.ดร.พรชัย	พฤกษ์ภัทรานนท์	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
6. ผศ.ดร.กุศลมาลย์	เฉลิมยานนท์	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
7. ผศ.ดร.ภาณุมาศ	คำสัตย์	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
8. ผศ.คณดิฏ	เจษฎ์พัฒนานนท์	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
9. ผศ.สาวีตรี	ตันทนุช	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
10. ผศ.สุระพล	ธีรรมนตรี	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
11. ผศ.ธวัชชัย	ทางรัตนสุวรรณ	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
12. ผศ.ปริพนธ์	พัฒนสัตยวงศ์	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
13. ผศ.เลียง	อุบลรัตน์	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
14. ผศ.สมพัฒน์	รุ่งตะวันเรืองศรี	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
15. ดร.มณฑเทพ	เกียรติวีระสกุล	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
16. อ.ปราโมทย์	จุฑาพร	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
17. รศ.ดร.ชาคริต	ทองอุไร	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
18. รศ.ดร.จรัญ	บุญกาญจน์	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
19. รศ.ดร.สุภาวรรณ	ภูริระวณิชกุล	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
20. ผศ.ดร.ลือพงศ์	แก้วศรีจันทร์	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
21. ผศ.ดร.จันทิมา	ชั่งสิริพร	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
22. ผศ.ดร.กุลชนาฐ	ประเสริฐสิทธิ์	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
23. ผศ.ดร.ผกามาศ	เจษฎ์พัฒนานนท์	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
24. ผศ.ดร.สุกฤทธิรา	รัตนวิไล	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
25. ดร.สุธรรม	สุขมณี	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
26. ดร.พรศิริ	แก้วประดิษฐ์	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
27. ดร.สินินาฏ	จงคง	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
28. ดร.สุรัสวดี	กังสนันท์	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
29. รศ.ดร.สัณห์ชัย	กลั่นพิกุล	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
30. รศ.สมชาย	ชูไฉม	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

31. รศ.วนิดา	รัตน์มณี	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
32. ผศ.ดร.อุ๋น	สังขพงศ์	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
33. ผศ.ดร.นิกร	ศิริวงศ์ไพศาล	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
34. ผศ.ดร.เสกสรร	สุธรรมานนท์	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
35. ผศ.ดร.สุภาพรณ	ไชยประพัทธ์	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
36. ผศ.ดร.ธเนศ	รัตน์วิไล	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
37. ผศ.ดร.นภิสพร	มีมงคล	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
38. ผศ.ดร.รัชชนา	สินขวาลย์	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
39. ผศ.ดร.กลางเดือน	โพชนา	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
40. อ.สุริยา	จิรสถิตสิน	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
41. รศ.กัลยาณี	คุปตานนท์	ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ
42. รศ.ดร.دنุพล	ตันนโยภาส	ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ
43. ผศ.ดร.เจษฎา	วรรณสินธุ์	ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ
44. ผศ.ดร.วีรวรรณ	สุทธิศรีปิก	ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ
45. ดร.วิษณุ	ราชเพชร	ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ
46. รศ.ดร.อุดมผล	พีชนไพบูลย์	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
47. ผศ.ดร.ศักดิ์ชัย	ปรีชาวีรกุล	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
48. ผศ.ดร.สมบุญ	พรพิเนตพงศ์	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
49. ผศ.ดร.พรทิพย์	ศรีแดง	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
50. ผศ.ดร.สุเมธ	ไชยประพัทธ์	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
51. ผศ.ดร.วรพจน์	ประชาเสรี	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
52. ผศ.ดร.ภาสกร	ชัยวิริยะวงศ์	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
53. ผศ.จรีรัตน์	สกุลรัตน์	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
54. ดร.ชัยศรี	สุขสาโรจน์	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
55. ดร.ธนิยา	เกาศล	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
56. อ.วิวัฒน์	สุทธิวิภากร	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
57. รศ.กำพล	ประทีปชัยกูร	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
58. รศ.สมาน	เสนงาม	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
59. รศ.ปัญญรักษ์	งามศรีตระกูล	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
60. รศ.ดร.วรวิฑูร	วิสุทธิเมธางกูล	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
61. ผศ.ดร.วิริยะ	ทองเรือง	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
62. ผศ.ดร.พฤทธิกร	สมิตไมตรี	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
63. ผศ.ดร.จันทกานต์	ทวีกุล	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
64. ผศ.สมเกียรติ	นาคกุล	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
65. ดร.สมชาย	แซ่ฮึง	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
66. ดร.พุทธิพงศ์	แสนสบาย	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
67. ดร.ฐานันดรศักดิ์	เทพญา	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
68. ดร.กิตตินันท์	มลิวรรณ	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล



69. ดร.ชยุต	นันทดุสิต	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
70. ดร.ธีระยุทธ	หลิวจิตร	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
71. ดร.จีระภา	สุขแก้ว	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
72. ศ.ดร.สินชัย	กมลภิวศ์	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
73. ผศ.ดร.มนตรี	กาญจนะเดชะ	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
74. รศ.ดร.มิตรชัย	จงเขียวชำนาญ	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
75. รศ.ทศพร	กมลภิวศ์	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
76. ผศ.ดร.พิชญา	ตันทัยย์	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
77. ผศ.ดร.สุนทร	วิฑูรสุพจน์	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
78. ผศ.ดร.วรรณรัช	สันติอมรทัต	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
79. ผศ.ดร.ธเนศ	เคารพพงศ์	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
80. ผศ.ทวีศักดิ์	เรืองพีระกุล	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
81. ดร.แสงสุรีย์	วสุพงศ์อัยยะ	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
82. ดร.นิคม	สุวรรณวร	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
83. ดร.อนันท์	ชกสุวิงศ์	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
84. อ.ฉัตรชัย	จันทร์พริ้ม	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
85. ดร.วัชรพล	ตั้งคุปตานนท์	หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ (MI)

2. คณะวิทยาศาสตร์

1. ผศ.ดร.ภัทร	อัยรักษ์	ภาควิชาฟิสิกส์
2. ผศ.ดร.ศิริรัตน์	วณิชโยบล	ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์
3. ผศ.ดร.อรสา	ภัทรไพบุญชัย	หลักสูตรสาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์
4. ดร.ลัดดา	ปรีชาวีรกุล	ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์

3. คณะอุตสาหกรรมเกษตร

1. ผศ.ดร.อัญชลี	ศิริโชติ	ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร
-----------------	----------	-----------------------

4. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (วิทยาเขตปัตตานี)

1. รศ.ดร.เจริญ	นาคะสรรค์	ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์
----------------	-----------	---------------------------------

ประกาศ ณ วันที่ 22 เมษายน 2553

รองศาสตราจารย์ บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา
ประธานคณะกรรมการวิชาการและการประชุม PEC-8

ชุดวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุน

The Distributed Force Measuring Set for Personal Body Armor Testing

นารา เฉลิมกลิ่น จัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ถนนรังสิต-นครนายก คลองหก ธัญบุรี ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์ 02 549-3420 โทรสาร 02 549-3422

E-mails: nara_ch@yahoo.co.th and schai910@yahoo.co.uk

Nara Chalemklin Chatchai Suppitaksakul

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi,

Rangsit-Nakhonnayok Rd. Klong 6, Thanyaburi Pathumthani 12110, Tel : 02 549-3420, Fax : 02 549-3422

E-mails: nara_ch@yahoo.co.th and schai910@yahoo.co.uk

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบชุดวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุนประเภทเกราะอ่อนที่ระดับ IIA ในการป้องกันกระสุน ขนาด 9 มิลลิเมตร มวล 8.0 กรัม ที่ความเร็วกระสุน 314 เมตรต่อวินาที ตามมาตรฐานของ National Institute of Justice-0101.04 (NIJ Standard-0101.04) โดยใช้ทรานสดิวเซอร์วัดแรงที่ได้ออกแบบ ซึ่งประกอบด้วยกระบอบสูบทำหน้าที่รับแรง ร่วมกับฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ (Hall Effect Sensor) ที่มีราคาถูก ตอบสนองเร็ว และเป็นเชิงเส้นในส่วนการรับรู้ ทำหน้าที่ในการแปลงค่าแรงกระทำให้เป็นแรงดันไฟฟ้า โดยแรงดันไฟฟ้าจากทรานสดิวเซอร์ที่เป็นสัญญาณอนาล็อกจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิทัลด้วย Data Acquisition และส่งผ่านไปยังส่วนบันทึกค่า ประมวลผล และแสดงผลในคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม LabVIEW ซึ่งการกระจายแรงกระทำของเสื้อเกราะที่เกิดจากการกระสุนจะแสดงในรูปของกราฟสองและสามมิติ เพื่อแสดงการกระจายแรง และการยุบตัวของเสื้อเกราะ โดยอาศัยการเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน NIJ Standard-0101.04 ที่ทำการทดสอบบนดินน้ำมันชนิด Roma Plastilina No.1 จากผลที่ได้จากการทดลองด้วยกระสุนปืนจริง ชุดวัดการกระจายแรงที่ออกแบบสามารถ แสดงผลกราฟฟิกของการกระจายแรง และการยุบตัวของเสื้อเกราะกันกระสุนได้เป็นที่น่าพอใจ

คำหลัก NIJ Standard-0101.04, ประเภทที่ IIA, Roma Plastilina No.1, เสื้อเกราะกันกระสุน, ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์

Abstract

This paper presents a designing of distributed force measuring set for testing of the personal body armor type IIA (9 mm, 8.0g, 314m/s). The employed transducers are

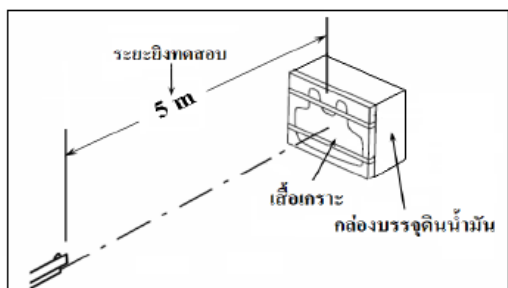
designed for this purpose. The designed transducer consists of an air cylinder and the moving permanent magnet bar in order to transfer input force to voltage with Hall Effect sensor. The Hall Effect with low-cost provides a linear output voltage and quick respond. The obtained analog voltage from the transducers are converted to digital signal data with the Data Acquisition card then passed to record at the computer. The recorded data is computed and plotted in 2 and 3 dimensions with LabView program. The experiments are carried on to measure the impact force from the gun fire. Then the results are compared to the tradition method according to NIJ standard 0101.04 which employs Roma Plastilina No.1 clay. From the experiments, the satisfactory results are provided.

Keywords: NIJ Standard-0101.04, Type IIA, Roma Plastilina #1 clay, body armor, Hall Effect Sensor

1. บทนำ

ปัจจุบันการทดสอบเสื้อเกราะกันกระสุนเป็นในประเทศไทยนั้นได้อาศัยวิธีการทดสอบมาจากมาตรฐานของ NIJ Standard-0101.04 [1] ซึ่งแบ่งระดับการทดสอบตามระดับความรุนแรงของกระสุนเป็นตามขนาดต่างๆ คือระดับความรุนแรงที่ I, IIA, II, IIIA, III, IV จากนั้นไปมากตามลำดับ ซึ่งมีวิธีการทดสอบพอสังเขปมีดังนี้คือ ทำการยิงในระยะ 5 เมตร (จากปลายกระบอกปืนถึงเสื้อเกราะ) โดยที่เสื้อเกราะถูกรองด้วยกระเบดินน้ำมันชนิด Roma Plastilina No.1 ผลที่ต้องการได้หลังการทดสอบคือ กระสุนต้องไม่ทะลุเสื้อเกราะและรอยยุบตัวของดินน้ำมันต้องไม่เกิน 44 มิลลิเมตร ถือว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน แต่ปัญหาที่พบอันดับแรกในปัจจุบันคือในประเทศไทยมีสถานที่ ที่ใช้ในการทดสอบน้อย ในการทดสอบ

แบบนี้ต้องการเปลี่ยนตำแหน่งการยิงทดสอบบนดินน้ำมันทุกครั้ง เพราะดินน้ำมันจะเสียรูปร่างหลังจากถูกยิง ต้องทำการวัดความลึกด้วย Vernier Caliper ทุกครั้ง จึงเป็นการไม่สะดวก



รูปที่ 1 การทดสอบด้วยการยิงเสือกระาะ (NIJ Standard-0101.04)



รูปที่ 2 ผลทดสอบแบบวิธี NIJ Standard-0101.04

ดังที่ได้กล่าวมาทั้งหมดข้างต้นนั้น จึงได้ขอเสนอบทความนี้เพื่อเป็นการพัฒนาและปรับปรุงวิธีในการทดสอบเสือกระาะกันกระสุนประเภทเกราะอ่อนในเชิงวิเคราะห์ ให้มีความสะดวกและสามารถแสดงลักษณะของความลึกกับแรงที่กระจายอยู่บนเสือกระาะกันกระสุนในรูปแบบกราฟิกสองและสามมิติได้ดีกว่าวิธีการแบบเดิม ซึ่งบทความนี้ได้ทำการปรับปรุงจากการศึกษาที่ได้นำเสนอไปแล้ว [2-3] ทำการปรับปรุงจนถึงการนำมาประยุกต์ใช้สำหรับทดสอบกับเสือกระาะกันกระสุน โดยใช้ทรานสดิวเซอร์ทั้งหมด 25 ชุด โดยทรานสดิวเซอร์ 1 ตัวจะวัดแรงครอบคลุมพื้นที่ 0.8 ตารางนิ้ว โดยวางเรียงกันเป็น 5 ตัวต่อกว้าง ทั้งหมด 5 แถว ครอบคลุมพื้นที่ทดสอบการกระจายแรงของเสือกระาะประมาณ 25 ตารางนิ้ว

โดยบทความแบ่งออกเป็นส่วนต่าง ๆ ดังนี้ คือในหัวข้อที่ 2 จะกล่าวถึงทฤษฎีและการออกแบบชุดวัดการกระจายแรง ในหัวข้อที่ 3 เป็นผลการทดลอง และท้ายสุดในหัวข้อที่ 4 เป็นการสรุปผล

2. ทฤษฎีและการออกแบบชุดวัดการกระจายแรง

ในการออกแบบชุดวัดการกระจายแรงมีวัตถุประสงค์หลักคือสามารถรับแรงของกระสุนปืนในระดับ IIA (9 mm.) ที่มีความรุนแรงและรวดเร็วได้ พร้อมทั้งแสดงผลเป็นภาพสามมิติเพื่อแสดงลักษณะของความลึกกับแรงที่กระจายอยู่บนเสือกระาะกันกระสุน โดยสิ่งแรกที่ต้องรู้ก่อนการออกแบบระบบวัดการกระจายแรงคือ

แรงสูงสุดของกระสุนปืนที่ใช้สำหรับทดสอบขนาด 9 mm, น้ำหนัก 8.0 กรัม ที่ความเร็ว 314 เมตรต่อวินาที ในระยะ 5 เมตร ซึ่งหาได้จาก สมการ (1) และ (2) [5]

$$F = ma \quad (1)$$

โดยที่ F : แรง มีหน่วยเป็นนิวตัน (N) หรือ (kg-m/s²)

a : ความเร่ง มีหน่วยเป็น (m/s²)

m : มวล มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg)

$$V_2^2 = V_1^2 + 2a(X_2 - X_1) \quad (2)$$

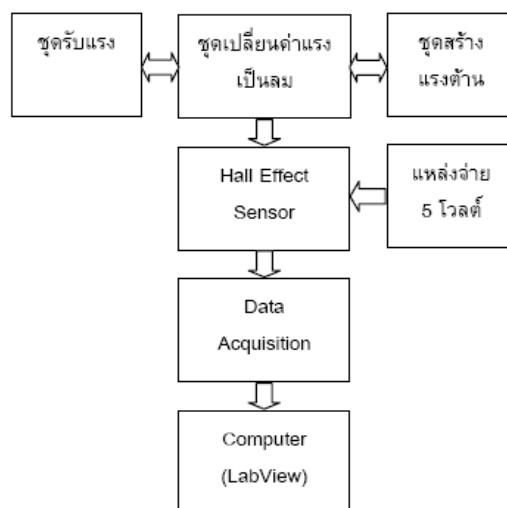
โดยที่ V_1 : ความเร็วต้น มีหน่วยเป็น (m/s)

V_2 : ความเร็วปลาย มีหน่วยเป็น (m/s)

X_1 : ตำแหน่งเริ่มต้น มีหน่วยเป็น (m)

X_2 : ตำแหน่งสุดท้าย มีหน่วยเป็น (m)

จากสมการที่ (1) และ (2) สามารถหาค่าแรงสูงสุดของกระสุนปืนขนาด 9 mm. ได้เท่ากับ 79 นิวตัน



รูปที่ 3 บล็อกไดอะแกรมชุดวัดการกระจายแรง

2.1 ชุดรับแรง

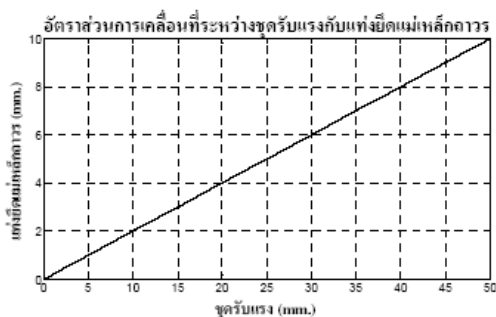
ในการออกแบบชุดรับแรง มีวัตถุประสงค์หลักคือ ต้องทนรับกับแรงที่รวดเร็วและรุนแรงได้โดยไม่เกิดความเสียหายขึ้น ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงความแข็งแรงของอุปกรณ์เป็นหลัก ซึ่งทำมาจากเหล็กเพลาดันจำนวน 25 ชุด โดยแต่ละชุดมีพื้นที่รับแรงเท่ากับ 0.8 ตารางนิ้ว และระยะการเคลื่อนที่ 50 เซนติเมตร เพื่อรองรับการทดสอบสูงสุดที่ 44 มิลลิเมตร ตามมาตรฐานของ NIJ Standard-0101.04 และส่งต่อแรงไปยังชุดเปลี่ยนค่าแรงเป็นลม



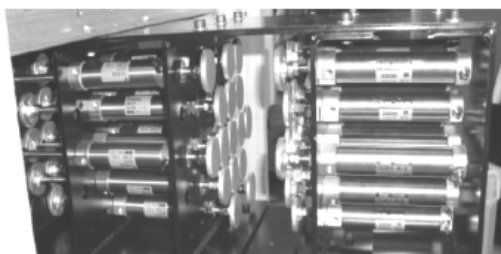
รูปที่ 4 ชุดรับแรง

2.2 ชุดเปลี่ยนค่าแรงเป็นหลุม

เพื่อเป็นการป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดกับชุด Hall Effect Sensor จึงต้องเปลี่ยนค่าแรงที่มีปริมาณมากให้เป็นหลุมด้วยกระบอกสูบชนิดสองแกนรุ่น CJ2W16-45 หลักการคือเมื่อกระบอกสูบเคลื่อนที่ก็จะมีความดันออกมาตามระยะการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบ จากนั้นนำผลที่ได้ไปควบคุมการเคลื่อนที่ของแท่งยึดแม่เหล็กถาวร ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ ในอัตราส่วน 1.0 ต่อ 0.2 มิลลิเมตร (ชุดรับแรงต่อแท่งยึดแม่เหล็กถาวร) จากรูปที่ 3 เพื่อใช้ในการแปลงค่าแรง ที่เป็นปริมาณฟิสิกส์ให้เป็นแรงดันไฟฟ้าด้วยฮอลล์เอฟเฟกต์เซนเซอร์ซึ่งได้นำเสนอไปแล้ว [2-3] อีกหน้าที่หนึ่งคือเป็นตัวกลางสำหรับรับและส่งแรงระหว่างชุดรับแรงกับชุดสร้างแรงต้าน



รูปที่ 5 อัตราส่วนการเคลื่อนที่ระหว่างชุดรับแรงกับแท่งยึดแม่เหล็กถาวร



รูปที่ 6 ชุดเปลี่ยนค่าแรงเป็นหลุม และชุดสร้างแรงต้าน

2.3 ชุดสร้างแรงต้าน

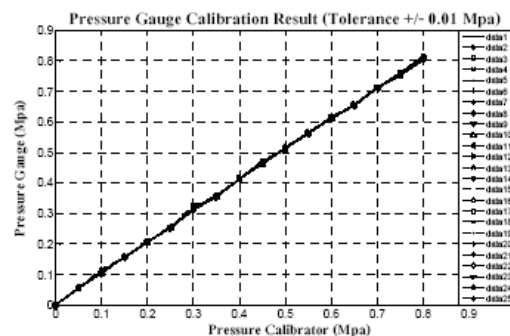
สำหรับชุดวัดการกระจายแรงนี้สามารถสร้างแรงต้านทานได้โดยใช้ กระบอกสูบชนิดแกนเดี่ยวรุ่น CDJ2B16-60 ร่วมกับ

Pressure Regulator ทำหน้าที่แปลงค่าลมให้เป็นแรงต้าน ตามหลักทฤษฎีของความดันซึ่งหมายถึงแรงกดดันของอากาศที่กระทำต่อพื้นที่ 1 ตารางหน่วย [5]

$$P = \frac{F}{A} \quad (3)$$

โดยที่ P : คือ ค่าของปาสคาล (Pascal) เขียนย่อว่า Pa
 A : พื้นที่ มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)

การสอบเทียบ Pressure Regulator กับเครื่องปรับเทียบแรงดันมาตรฐานนั้นเป็นสิ่งที่จำเป็น เพื่อความแม่นยำของชุดสร้างแรงต้านทั้ง 25 ตัวซึ่งได้แยกการทำงานอย่างอิสระ โดยใช้ Precision Pressure Calibrator Druck DPI 605 ที่ผ่านการสอบเทียบมาตรฐานแล้ว ที่ย่านการวัด 0.0 ถึง 0.8 Mpa ที่ความละเอียด 0.05 Mpa ผลคือ ทั้ง 25 ตัวอยู่ในมาตรฐานตลอดย่านการใช้งานดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ผลการสอบเทียบ Pressure Gauge

$$FS = \frac{mV_2^2}{2} - \frac{mV_1^2}{2} \quad (4)$$

โดยที่ FS : คืองานที่ทำโดยแรงสุทธิ

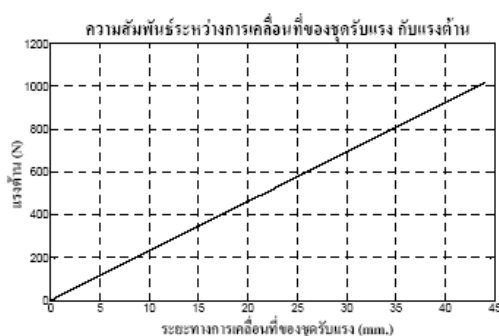
$$W = -(mgX_2 - mgX_1) \quad (5)$$

โดยที่ W : คืองานที่ใช้ในการเคลื่อนที่

$$W = -\left(\frac{kX_2^2}{2} + \frac{kX_1^2}{2}\right) \quad (6)$$

โดยที่ k : คือค่าคงที่

จากสมการที่ (4), (5) และ (6) สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่ของชุดรับแรง กับแรงต้านได้ดังรูปที่ 8

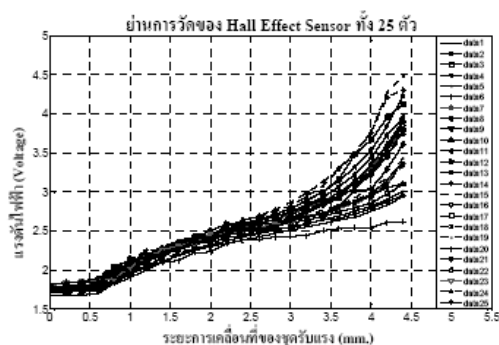


รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่ของชุดรับแรงกับแรงดัน

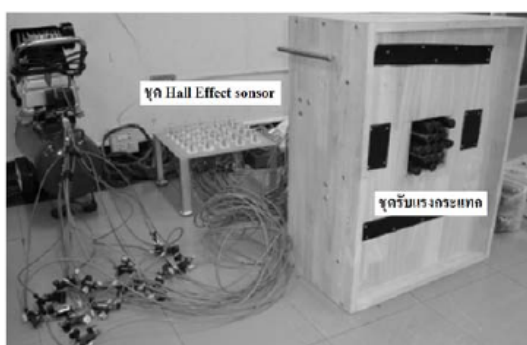
2.4 Hall Effect Sensor

จากการศึกษาที่นำเสนอไปแล้ว [2-3] ได้ข้อสรุปเกี่ยวกับเทคนิคที่ใช้ในการตรวจวัดเส้นแรงแม่เหล็กของฮอลล์เอฟเฟกต์ เซนเซอร์ร่วมกับชุดรับ-ส่งแรง ที่เป็นเชิงเส้นที่สุดคือ แบบ Push-Push Approach จึงได้นำมาประยุกต์ใช้กับการทดลองนี้ ดังรูปที่ 7

Hall Effect Sensor ที่ใช้ทั้ง 25 ตัวนั้น มีความแตกต่างกัน สำหรับความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กเนื่องจากขนาดความแน่นอน ในการติดตั้ง จึงทำให้แต่ละตัวมีผลการวัดที่ต่างกันไป แต่ยังคงรักษาความเป็นเชิงเส้นเอาไว้ [4, 6, 7, 8]



รูปที่ 9 ย่านการวัดของ Hall Effect Sensor



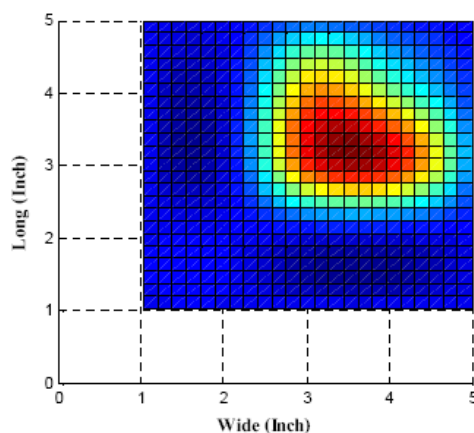
รูปที่ 10 ชุดวัดการกระจายแรง



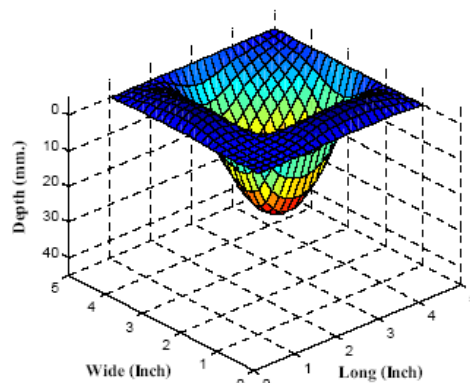
รูปที่ 11 อุปกรณ์เชิงกระสุนปืนเพื่อทดสอบชุดวัดการกระจายแรง

3. ผลการทดลอง

ตามมาตรฐานของ NIJ Standard-0101.04 ได้ทำการทดสอบดินน้ำมัน Roma Plastilina No.1 ด้วยลูกตุ้มเหล็กขนาด $1,043 \pm 6$ กรัม ที่ความสูง 2 เมตร รอยยุบที่เกิดขึ้นต้องอยู่ระหว่าง 19 ± 2 มิลลิเมตร หรือถ้าคำนวณหาค่าแรงดันของดินน้ำมันจะได้เท่ากับ 1,076 นิวตัน จากสมการที่ (1), (2) ดังนั้นต้องทำการสอบเทียบระหว่างความลึกของดินน้ำมันกับชุดวัดการกระจายแรงด้วยวิธีการและอุปกรณ์ชุดเดียวกัน ซึ่งชุดวัดการกระจายแรงสามารถวัดความลึกได้เท่ากับ 30 มิลลิเมตร หรือเท่ากับเครื่องวัดการกระจายแรงมีค่าแรงดันเท่ากับ 692 นิวตัน หาได้จากสมการที่ (5), (6)

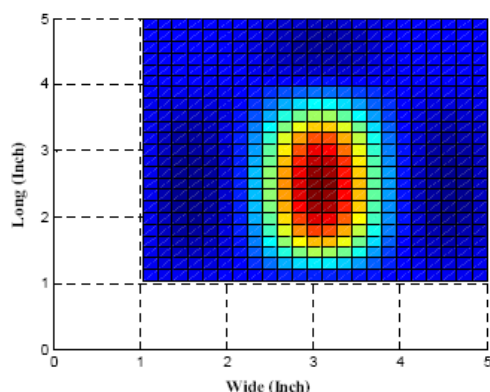


รูปที่ 12 การกระจายแรงจากการสอบเทียบด้วยลูกตุ้ม

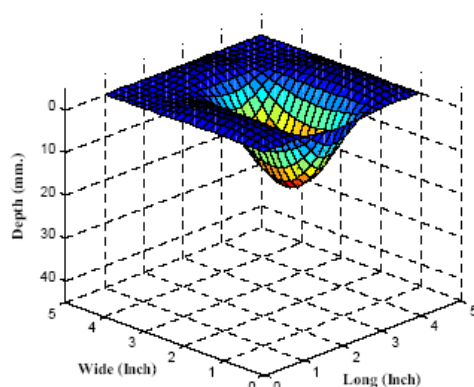


รูปที่ 13 ภาพสามมิติจากการสอบเทียบด้วยลูกตุ้ม

ทดสอบสื่อเกราะป้องกันกระสุนปืนชนิด “ผ้าไม่ทอ” ด้วยกระสุนปืนขนาด 9 mm. (8.0g, 335.87m/s) บนดินน้ำมัน Roma Plastilina No.1 ได้ความลึก 15 มิลลิเมตร จากนั้นทำการทดสอบด้วยเครื่องวัดการกระจายแรงกับกระสุนขนาด 9 mm. (8.0g, 336.75m/s) เพื่อทำการเปรียบเทียบ โดยสามารถวัดความลึกได้เท่ากับ 18 มิลลิเมตร

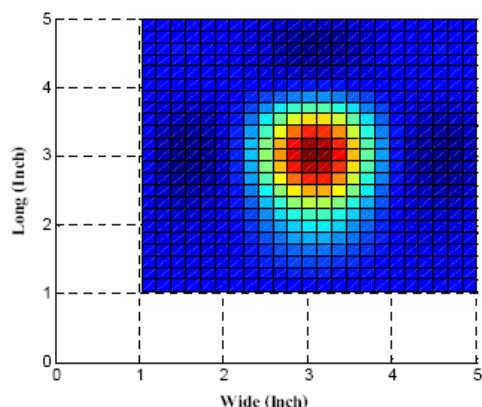


รูปที่ 14 การกระจายแรงบนสื่อเกราะชนิด “ผ้าไม่ทอ”

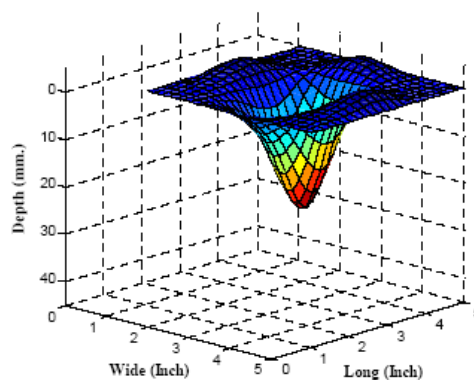


รูปที่ 15 ภาพสามมิติของสื่อเกราะชนิด “ผ้าไม่ทอ”

ทดสอบสื่อเกราะป้องกันกระสุนปืนชนิด “ผ้าถักแนวเส้นยืน” ด้วยกระสุนปืนขนาด 9 mm. (8.0g, 346.03m/s) บนดินน้ำมัน Roma Plastilina No.1 ได้ความลึก 22.2 มิลลิเมตร จากนั้นทำการทดสอบด้วยเครื่องวัดการกระจายแรงกับกระสุนขนาด 9 mm. (8.0g, 335.35m/s) เพื่อทำการเปรียบเทียบ โดยสามารถวัดความลึกได้เท่ากับ 25 มิลลิเมตร

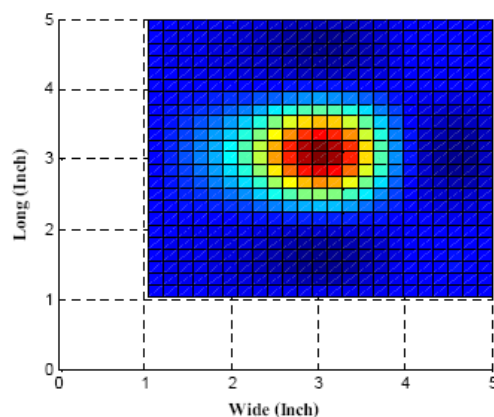


รูปที่ 16 การกระจายแรงบนสื่อเกราะชนิด “ผ้าถักแนวเส้นยืน”

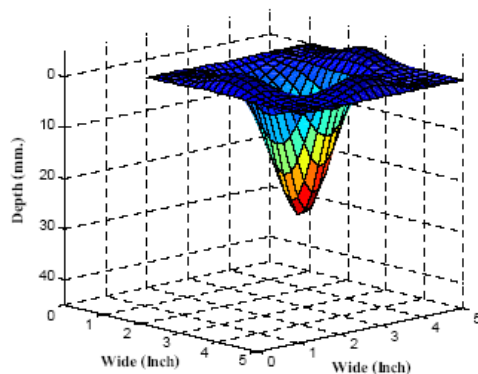


รูปที่ 17 ภาพสามมิติของสื่อเกราะชนิด “ผ้าถักแนวเส้นยืน”

ทดสอบสื่อเกราะป้องกันกระสุนปืนชนิด “ผ้าทอ” ด้วยกระสุนปืนขนาด 9 mm. (8.0g, 343.73m/s) บนดินน้ำมัน Roma Plastilina No.1 ได้ความลึก 25 มิลลิเมตร จากนั้นทำการทดสอบด้วยเครื่องวัดการกระจายแรงกับกระสุนขนาด 9 mm. (8.0g, 340.98m/s) เพื่อทำการเปรียบเทียบ โดยสามารถวัดความลึกได้เท่ากับ 27 มิลลิเมตร



รูปที่ 18 การกระจายแรงบนสื่อเกราะชนิด “ผ้าทอ”



รูปที่ 19 ภาพสามมิติของเสื้อเกราะชนิด "ผ้าทอ"

4. สรุปผลการทดลอง

สำหรับชุดวัดการกระจายแรงนี้เหมาะสำหรับใช้ทดสอบกับเสื้อเกราะกันกระสุนที่มีคุณสมบัติเบื้องต้นคือ กระสุนไม่ทะลุ เริ่มจากการสอบเทียบชุดวัดการกระจายแรงกับดินน้ำมัน Roma Plastilina No.1 ด้วยลูกตุ้มเหล็ก ผลที่ได้คือดินน้ำมันยุบตัวเท่ากับ 19 มิลลิเมตร ส่วนชุดวัดการกระจายแรงยุบตัวเท่ากับ 30 มิลลิเมตร หมายความว่า ดินน้ำมันมีค่าแรงต้านทานมากกว่าชุดวัดการกระจายแรง

การทดสอบเสื้อเกราะป้องกันกระสุนปืนทั้งสามประเภทคือ ผ้าไหมทอ, ผ้าถักแนวเส้นยืน และผ้าทอ ด้วยกระสุนปืนขนาด 9 mm. บนดินน้ำมัน Roma Plastilina No.1 ได้ความลึกเท่ากับ 15, 22.2 และ 25 มิลลิเมตรตามลำดับ ส่วนการทดสอบเสื้อเกราะป้องกันกระสุนปืนทั้งสามประเภทในข้างต้นกับชุดวัดการกระจายแรงนั้น ผลที่ได้สามารถแสดงกราฟทั้งสอง และสามมิติ ของการกระจายแรง และการยุบตัวของเสื้อเกราะป้องกันกระสุนปืน โดยสามารถแสดงความแตกต่างกันทั้งสามประเภทของการทดสอบข้างต้นได้ โดยมีค่าความลึกเท่ากับ 18, 25, และ 27 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำผลที่ได้ระหว่างการทดสอบด้วยดินน้ำมันเปรียบเทียบกับผลของชุดวัดการกระจายแรงนั้นปรากฏว่าค่าที่ได้เป็นไปในแนวทางเดียวกัน

สิ่งที่ต้องทำการปรับปรุง คือ การติดตั้งชุดแม่เหล็กถาวรสำหรับฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ ควรติดตั้งให้มีความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กในปริมาณที่เท่ากันทุกตัว เพื่อให้มีย่านการวัดเดียวกันจะเป็นการสะดวก ความถูกต้องและแม่นยำของชุดวัดการกระจายแรงเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องการทำทดสอบ อีกทั้งความละเอียดของชุดเซ็นเซอร์ก็ต้องมีมากขึ้นเพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์ผลที่ดีขึ้นกว่าเดิม

ท้ายที่สุดสำหรับผลงานวิจัยที่นำเสนอ คือได้เครื่องต้นแบบในการวัดการกระจายแรง และการยุบตัวของเสื้อเกราะกันกระสุน ซึ่งยังสามารถนำไปพัฒนาให้มีศักยภาพสูงขึ้นได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอแห่งประเทศไทย (Thailand Textile Institute) สัญญาเลขที่

สสท. ๐๕๓/๒๕๕๑ และสนับสนุนเครื่องสอบเทียบทรานสดิวเซอร์จากห้องปฏิบัติการสอบเทียบเครื่องมือวัดศูนย์บีโตร์เคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นอกจากนี้ขอขอบคุณทีมวิจัยเสื้อเกราะกันกระสุน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ในการสนับสนุนตัวอย่างเสื้อเกราะในการทดสอบ และกองพลอาชีวศึกษา สำนักงานตำรวจแห่งชาติที่อำนวยความสะดวกสถานที่และอุปกรณ์ในการทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

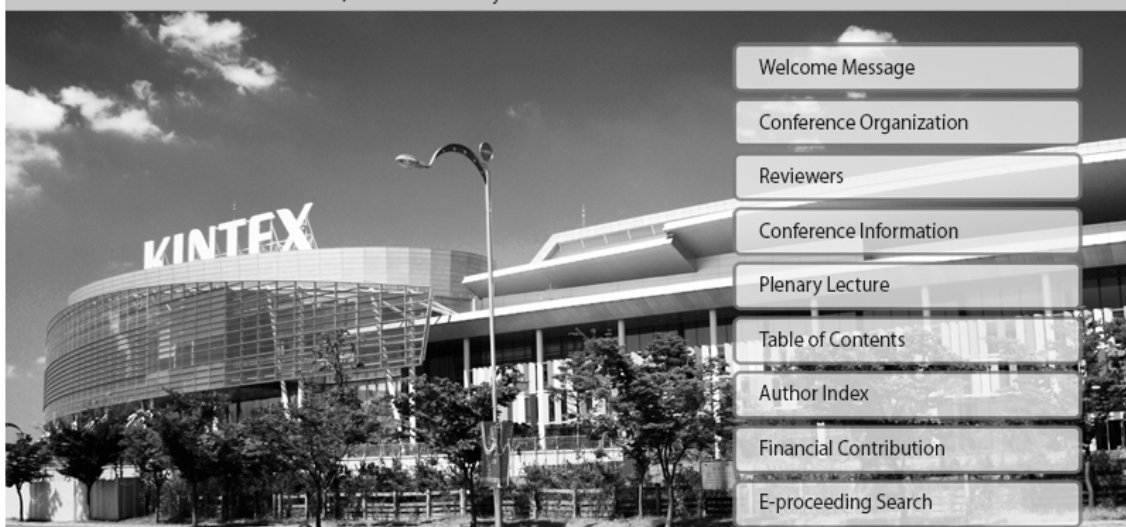
- [1] John Ashcroft, Deborah J. Daniels and Sarah V. Hart "Selection and Application Guide to Personal Body Armor" The National Institute of Justice's National Law Enforcement and Corrections Technology Center Lance Miller, November, 2001
- [2] นระ เฉลิมกลิ่น และ ฉัตรชัย คุปพิทักษ์สกุล, "การประยุกต์ใช้ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ในการออกแบบทรานสดิวเซอร์วัดแรง", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา, 21-22 พฤษภาคม 2552: PEG70R118.
- [3] นระ เฉลิมกลิ่น และ ฉัตรชัย คุปพิทักษ์สกุล, "การออกแบบทรานสดิวเซอร์วัดแรงโดยใช้ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์", การประชุมเครือข่ายวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 1 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี, 19-21 พฤศจิกายน 2551: GEN18.
- [4] วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์. 2548. เซ็นเซอร์และทรานสดิวเตอร์:ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้ในระบบการวัดและระบบควบคุม สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) กรุงเทพฯ หน้า 51-63.
- [5] ผศ. จรัส บุญยธรรมา. 2543. "ฟิสิกส์ระดับมหาวิทยาลัยภาคกลศาสตร์", สำนักพิมพ์สุวิทย์สาส์น, กรุงเทพฯ, หน้า 267-297.
- [6] สมศักดิ์ กิตติวุฒิเศรษฐ์. 2546. "หลักการและการใช้งานเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม", สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) กรุงเทพฯ หน้า 17-1~17-8.
- [7] David S. Nyce, "Linear Position Sensors Theory and Applications", Wiley-interscience, USA, 2004.
- [8] Joe Gilbert and Ray Dewey, "Linear Hall-Effect Sensors", Allegro Micro Systems, Inc.

ICCAS 2010



International Conference on Control, Automation and Systems 2010

► PROCEEDINGS



October 27-30, 2010
KINTEX, Gyeonggi-do, Korea

IEEE Catalog Number: CFP1010D-CDR
ISBN: 978-99-93215-02-1 98560 ISSN: 2093-7121

In conjunction with KRC, Robot World 2010



Reviewers for ICCAS 2010

Name	Organization	Country
Dr. Akira Abe	Asahikawa National College of Technology	Japan
Dr. Berdakh Abibullaev	Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology	Korea
Dr. SungMo Ahn	Honeywell Korea	Korea
Dr. Sang Chul Ahn	KIST	Korea
Prof. Kyoung Kwan Ahn	University of Ulsan	Korea
Prof. Heejune Ahn	Seoul National Univ. of Technology	Korea
Prof. Choon Ki Ahn	Wonkwang University	Korea
Dr. ali ajami	Azarbaijan University of Tarbiat Moallem	Iran
Dr. Adel Akbarimajd	University of Mohaghegh Ardabili	Iran
Dr. Gholamreza Arab	Shahrekord University	Iran
Prof. Juhoon Back	Kwangwoon University	Korea
Prof. Ihn-Han Bae	Catholic University of Daegu	Korea
Prof. Young-bong Bang	Seoul National University	Korea
Dr. mohammad bayati poudeh	University	Iran
Prof. Kyung Seok Byun	Mokpo National University	Korea
Dr. Seongju Chang	KAIST	Korea
Dr. Baifan Chen	Central South University, China	China
Dr. Yee-Jin Cheon	Korea Aerospace Research Institute	Korea
Prof. Joono Cheong	Korea University	Korea
Dr. Yushing Cheung	Stevens Institute of Technology	United States
Prof. Young Im Cho	Univ. of Suwon	Korea
Prof. Hye-Kyung Cho	Hansung Univ.	Korea
Prof. Changhyun Cho	Chosun University	Korea
Dr. HYUN-TAEK CHOI	Korea Ocean Research & Development Institute	Korea
Prof. Hyouk Ryeol Choi	Sungkyunkwan University	Korea
Dr. Byung-Wook Choi	Korea Institute of Industrial Technology	Korea
Prof. Woojin Chung	Korea University	Korea
Dr. Taejin Chung	KAIST	Korea
Prof. Jae Chung	Stevens Institute of Technology	United States
Dr. Carl Crane	University of Florida	United States
Prof. Mingcong Deng	Okayama Univ.	Japan

Name	Organization	Country
Dr. Azeddine DRAOU	University of Hail	Saudi Arabia
Dr. Hamid Reza Fahham	Islamic Azad University, Marvdasht Branch	Iran
Prof. Sergej Fatikow	University of Oldenburg	Germany
Prof. Anna Friesel	Copenhagen University College of Engineering	Denmark
Dr. Hiroyuki Fujioka	Fukuoka Institute of Technology	Japan
Dr. Aitor J. Garrido	University of the Basque Country	Spain
Dr. Masood Hajian	University of Aberdeen	United Kingdom
Dr. Hisashi Handa	Okayama University	Japan
Dr. Suranga Hettiarachchi	Indiana University Southeast	United States
Prof. Kohji Higuchi	UEC	Japan
Dr. Toshio Hira	Nara National College of Technology	Japan
Prof. Joseph Hitt	United States Military Academy	United States
Dr. Sheng-Ping Hsieh	Aeronautical Systems Research Division CSIST	Taiwan
Dr. Jia-Sheng Hu	National University of Tainan	Taiwan
Dr. Myun Joong Hwang	Samsung Electronics	Korea
Prof. Dong-Hwan Hwang	Chungnam National University	Korea
Prof. Kazuyuki Ito	Hosei Univ.	Japan
Prof. Hiroshi Ito	Kyushu Institute of Technology	Japan
Dr. Kiyotaka Izumi	Saga University	Japan
Dr. Eun-Hye Jang	ETRI	Korea
Prof. ryu Jee-Hwan	Korea University of Technology	Korea
Prof. Heung Seok Jeon	Konkuk Univ.	Korea
Dr. Wootae Jeong	Korea Railroad Research Institute	Korea
Dr. Juan Jiménez	University Complutense of Madrid	Spain
Dr. Seunghun Jin	Sungkyunkwan Univ.	Korea
Prof. Sungho Jo	KAIST	Korea
Prof. Kang-Hyun Jo	University of Ulsan	Korea
Dr. Hwang Jong-Gyu	Korea Railroad Research Institute	Korea
Prof. Seul Jung	Chungnam National University	Korea
Prof. Kwang Sung Jung	Chungju National University	Korea
Dr. Hyun-Deok Kang	Daegu Machinery Institute of Components & materials	Korea
Prof. Youngbok Kim	Pukyong National University	Korea
Dr. Taeho Kim	University of Ulsan	Korea

Name	Organization	Country
Prof. Sungshin Kim	Pusan National University	Korea
Dr. SeokHwan Kim	HyundaiRotem	Korea
Dr. Kihwan Kim	POSCO	Korea
Dr. Ki Hong Kim	The Attached Institute of ETRI	Korea
Prof. JungHa Kim	Kookmin University	Korea
Prof. Jong Hyeong KIM	Seoul National University of Technology	Korea
Dr. Injung Kim	LIG Nex1	Korea
Dr. Hyun Kim	ETRI	Korea
Prof. Hyoungeop Kim	Kyushu Institute of Technology	Japan
Prof. Dong W. Kim	Inha Technical College	Korea
Dr. Dohun Kim	POSCO Technical Research Laboratory	Korea
Dr. Chong Hui Kim	Agency for Defense Development	Korea
Dr. ChangHwan Kim	Korea Institute of Science and Technology	Korea
Dr. Arash Kiyomarsi	Faculty of Engineering, University of Isfahan	Iran
Prof. Jesuk Ko	Gwangju University	Korea
Prof. Yoshinori Kuno	Saitama University	Japan
Dr. Ohhoon Kwon	National Institute of Informatics, Japan	Japan
Dr. Ki Duk Kwon	University KyungHee	Korea
Prof. Young il Lee	Seoul National University of Technology	Korea
Prof. Wangheon Lee	Hansei University	Korea
Dr. Suwoong LEE	Yamagata University	Japan
Prof. SANGYOON LEE	Konkuk University	Korea
Prof. Jietae Lee	Kyungpook National University	Korea
Dr. Jae-Ho Lee	Korea Railroad Research Institute	Korea
Prof. In Soo Lee	Kyungpook National University	Korea
Dr. Hanmin Lee	Korea Railroad Research Institute	Korea
Prof. Dongik Lee	Kyungpook National University	Korea
Prof. Deok Jin Lee	Naval Postgraduate School	United States
Dr. Chang Su Lee	Edith Cowan University	Australia
Prof. Byung-Ryong Lee	University of Ulsan	Korea
Dr. Adisorn Leelasantham	University of the Thai Chamber of Commerce	Thailand
Dr. Wanchak Lenwari	King Mongkut's University of Technology Thonburi	Thailand
Prof. Feng-Li Lian	National Taiwan University	Taiwan

Name	Organization	Country
Dr. Meiyu Liang	Beijing University of Posts and Telecommunications	China
Dr. SUN JONG LIM	KIMM	Korea
Prof. Myotaeg Lim	Korea University	Korea
Dr. Chee Kian Lim	Nanyang Technological University	Singapore
Dr. Yu Liu	Beijing University of Posts and Telecommunications	China
Dr. jie liu	Beijing University of Posts and Telecommunications	China
Prof. Yu-Sheng Lu	National Taiwan Normal University	Taiwan
Dr. Amr Madkour	MTC	Egypt
Prof. Eric Matson	Purdue University	United States
Prof. Makoto Mizukawa	Shibaura Institute of Technology	Japan
Prof. Ikuro Mizumoto	Kumamoto University	Japan
Prof. Hiroshi Mizumoto	Tottori University	Japan
Dr. Khairul Salleh Mohamed Sahari	Universiti Tenaga Nasional	Malaysia
Prof. Inhyuk Moon	Dong-Eui University	Korea
Dr. Shunji Moromugi	Nagasaki University	Japan
Prof. James Morrison	KAIST	Korea
Dr. Jongkol Ngamwiwit	KMITL	Thailand
Prof. Silviu NICULESCU	CNRS	France
Dr. Michiko Nishiyama	Soka University	Japan
Dr. Kazutoshi Noda	National Institute of Advanced Industrial Science	Japan
Prof. Mohammad Noorbakhsh	IAU	Iran
Prof. Masanao Obayashi	Yamaguchi University	Japan
Dr. Shigeru Oho	Hitachi, Ltd.	Japan
Prof. Masahiro Oya	Kusyhu Institute of technology	Japan
Dr. zengxi pan	university of wollongong	Australia
Dr. POOGYEON PARK	POSTECH	Korea
Prof. Kang-Bak Park	Korea University	Korea
Dr. Juyi Park	Daewoo Shipbuilding and Marine Engineering co. Ltd.	Korea
Dr. Jong Won Park	Korea Institute of Machinery and Materials	Korea
Dr. Jaehyun Park	Inha University	Korea
Prof. Ill Woo Park	Kwang Woon University	Korea
Prof. Hong-Seok Park	University of Ulsan	Korea
Prof. Chansik Park	Chungbuk National University	Korea

Name	Organization	Country
Dr. Vanchai Riewruja	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	Thailand
Prof. Chang-Kyung Ryoo	Inha University	Korea
Dr. Nordin Saad	Universiti Teknologi PETRONAS	Malaysia
Prof. Yohei Saika	Wakayama National College of Technology	Japan
Dr. Mikko Sallinen	VTT Technical Research Centre of Finland	Finland
Dr. Kenji Sawada	The university of electro-communications	Japan
Prof. YONG-HO SEO	Mokwon University	Korea
Prof. Samjun Seo	Anyang University	Korea
Prof. Yimin Shao	Chongqing University	China
Prof. Nobuhiro Shimoi	Akita Prefectural University	Japan
Prof. Nobuhiro Shimoi	Akita Prefectural University	Japan
Prof. Seiichi Shin	University of Electro-Communications	Japan
Prof. Jin-Ho Shin	Dong-eui University	Korea
Dr. Toshihiro Shinohara	Kinki University	Japan
Prof. Jae-Bok Song	Korea University	Korea
Dr. Phinit Srithorn	Rajamangala University of Technology Isan	Thailand
Dr. Cristina Stoica	SUPELEC	France
Dr. Sangmin Suh	SamSung electronics	Korea
Prof. In-Soo Suh	KAIST	Korea
Dr. Bandit Suksawat	King Mongkut's University of Technology North Bangkok	Thailand
Prof. Zengqi Sun	Tsinghua University	China
Prof. Yoshihiko Takahashi	Kanagawa Institute of Technology	Japan
Dr. Lerdlekha Tanachaikhan	Ramkhamhaeng University	Thailand
Prof. Jin Tang	Central South University	China
Prof. Vittaya Tipsuwanporn	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	Thailand
Dr. Tatsushi Tokuyasu	Oita National College of Technology	Japan
Dr. Andrey Torgashov	Institute of automation and control processes FEB RAS	Russian Federation
Prof. Mi-Ching Tsai	National Cheng Kung University	Taiwan
Prof. Ching-Chih Tsai	National Chung Hsing University	Taiwan
Prof. Takashi Tsubouchi	University of Tsukuba	Japan
Prof. satean tunyasirut	Pathumwan Institute of Technology	Thailand
Dr. Wataru Uemura	Ryukoku University	Japan
Dr. Xiaoliang Wang	Shanghai Jiaotong University	China

Name	Organization	Country
Prof. Sheng-Guo Wang	University of North Carolina at Charlotte	United States
Dr. shaoxi wang	Northwestern Polytechnical University	China
Prof. Keigo Watanabe	Okayama University	Japan
Prof. Sangchul Won	Pohang University of Science of Technology	Korea
Dr. Jin-Myung Won	Voice Enabling Systems Technology Inc.	Canada
Dr. Licheng Wu	Minzu University of China	China
Dr. Guilfang Wu	Henan University of Science & Technology	China
Prof. Yugeng Xi	Shanghai Jiao Tong University	China
Dr. Takeshi Yamasaki	National Defense Academy	Japan
Dr. Yuehua Yang	Beijing University of Posts and Telecommunications	China
Prof. Soon yong Yang	University of Ulsan	Korea
Dr. Surapun Yimman	KMUTNB	Thailand
Dr. Thaweesak Yingthawornsuk	King Mongkut's University of Technology Thonburi	Thailand
Dr. Changsun Yoo	Korea Aerospace Research Institute	Korea
Prof. ChangKyoo Yoo	Kyung Hee University	Korea
Prof. Taesung Yoon	Changwon National University	Korea
Prof. Myung-Gon Yoon	Gangneung-Wonju Nat. Univ.	Korea
Prof. Hyun Joong Yoon	Catholic University of Daegu	Korea
Dr. In Hyeob Yu	KEPRI	Korea
Dr. ChangHo Yu	Pusan National University	Korea
Dr. Jong Pil Yun	POSCO	Korea
Dr. DukSun Yun	Korea Automotive Technology Institute	Korea
Mr. Dong Won Yun	Korea Institute of Machinery & Materials (KIMM)	Korea
Prof. Weicun Zhang	University of Science and Technology Beijing	China
Dr. Cen zhaohui	HUST	China

A Prototype Measuring Set for Capturing Dissipated Force on Soft Armor

C. Suppitaksakul¹ N. Chalermklin¹ S. Parsapratet² and S. Sungnu²

¹ Department of Electrical Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
(Tel : +662-549-3425; E-mail: chatchai.s@en.rmutt.ac.th and nara_ch@yahoo.co.th)

² Department of Textile Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
(Tel : +662-549-3459; E-mail: zoomth99@hotmail.com and somnuk.s@en.rmutt.ac.th)

Abstract: This paper presents a prototype of dissipated force measuring set for testing of soft armor in Thailand. The measuring set consists of (i) The impact absorber (ii) Transducers which were specially designed using two air cylinders, modified air pressure switch and Hall Effect sensor (iii) the Data Acquisition (DAQ) and (iv) the processing part (computer). The impact force is converted into analog voltage by the force transducers using Hall Effect sensors then passed to the Data Acquisition (DAQ). DAQ is controlled and processed by LabView program in order to collect and record the impact force data. The data is plotted in two and three dimension shapes for impact visualization. The obtained results from the measuring set are compared to the traditional testing method according to NIJ standard 0101.04 using Roma Plastilina No.1 clay. The experiments were carried on to capture the impact force from the shooting test. The satisfactory results are given and reported.

Keywords: Soft Armor, Hall Effect sensor, NIJ Standard 0101.04, DAQ

1. INTRODUCTION

Currently, the soft body armor research team at Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT), Thailand has developed the soft armour from textile architectures and fiber material that can produce in the country. The developed armor requires impact testing according to the tradition method using NIJ standard [1]. The impact tests measure two Backface Signatures (BFS) and demonstrate the armor's pass/fail penetration capability. The test series requires the use of a plastically deforming witness media (clay backing material, Roma Plastilina No.1 clay) held in direct contact with the back surface of the armor panel which is used to capture and measure the Backface Signatures (BFS) depression produced in the backing material during nonpenetrating threat round impacts.

However, the obtained result from the tradition method just provides the armor penetration capacity which is insufficient information for analyzing of the armor structure such as the dissipated force when the bullet impacts on the armor. Besides, there are a few Laboratories in Thailand that support armor testing. Moreover, it is inconvenient for running the test in some particular point. From these reasons, it is inspired in developing an instrument that can capture and visualize the dissipated force of the ammunition impact. So a prototype of the dissipated force measuring set for soft armor testing is proposed and introduced. The measuring set consists of four main parts as the follows: i) the ballistic impact absorber, ii) Transducers, iii) Data Acquisition (DAQ) and iv) the processing part (computer) as the block diagram shown in Figure 1.

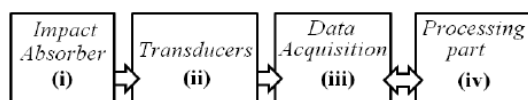


Fig. 1 The measuring set block diagram

The paper is divided into the following sections: Section 2, the physical quantities determination for transducers designing is mentioned and discussed. Sections 3, the designing of transducer is presented and described. The components of measuring set are explained in Section 4. Section 5, the experiments which were carried out on armor testing is demonstrated. Finally in Section 6, the discussion and conclusion regarding the proposed measuring set are reported.

2. PHYSICAL QUANTITIES DETERMINATION FOR TRANSDUCER DESIGNING

Originally, the measuring set is designed to capture the impact force on soft body armor at level II-A [1] which protects against 9 mm full metal jacketed round nose (FMJ RN) bullets, with nominal masses of 8.0g, impacting at a minimum velocity of 341 m/s. The acceptance criterion for BFS compliance that no measured BFS depression depth greater than 44 mm.

There are three physical quantities which are the net impact force, pressure and the return force, need to be calculated for transducer designing.

2.1 The net impact force determination

The net impact force calculates using the equation for motion in a straight line and Newton's second law [2] which express as:

$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x \quad (1)$$

$$F = ma \quad (2)$$

where a is acceleration (m/s^2).

v_0 is the initial bullet velocity (m/s).

v is the final bullet velocity (m/s).

m is the bullet mass (kg)

F is the net force (kg-m/s^2 or Newton).

Δx is the displacement (m).

2.2 The pressure calculation

The pressure P is another quantity requires calculating in order to determine the force exerted perpendicular to a given surface of area A as (3):

$$P = \frac{F}{A} \quad (3)$$

where P is the pressure (N/m²).

F is the net force (kg-m/s² or Newton).

A is the surface area (m²).

Because the pressure is defined as force per unit area, it has units of Pascal (N/m²) [2]. 1 Megapascal (Mpa) is equal to 1 Newton/mm². The pressure is used for pneumatic cylinder selecting that is discussed in the next section.

2.3 The return force determination

Due to the transducer attempt to have the same equivalent property as the backing material therefore the return force value is calculated by compared to the density resistance of the backing material. The NIJ calibration criteria for backing material (the Roma Plastilina #1 clay) [1] which will be accomplished using the drop weight with steel sphere size 63.5 mm $\pm$ 0.05mm in diameter and mass of 1043 g $\pm$ 5 g then release at height of 2.0 m. The calibration drop will consist of a free fall of the steel sphere onto the conditioned backing material with the depth of depression is 20 mm $\pm$ 3 mm. From the information above, the force resistance of the backing material can be calculated using (1) and (2). However, the velocity of the steel sphere v when reaches the surface of the backing material is required in (1). Therefore the conservation of mechanical energy theorem [2] is applied to find the velocity of the steel sphere as:

$$KE = PE \text{ or } \frac{1}{2}mv^2 = mgh \quad (4)$$

$$v = \sqrt{2gh} \quad (5)$$

where KE is kinetic energy (J).

PE is for potential energy (J).

m is the mass (kg).

v is the final velocity (m/s).

g is the acceleration of gravity (9.8 m/s²).

h is the vertical position of the mass relative

to the backing material surface.

3. TRANSDUCER DESIGN

Transducers are employed to convert the impact force into electrical signal. Due to a commercial transducer is costly and unsuitable for the application. Therefore it needs to be designed for this purpose. The designed transducer consists of three components that are: 1. two pneumatic cylinders, 2. the modified air pressure switch and 3. Hall Effect sensing device as illustrated in Fig. 2.

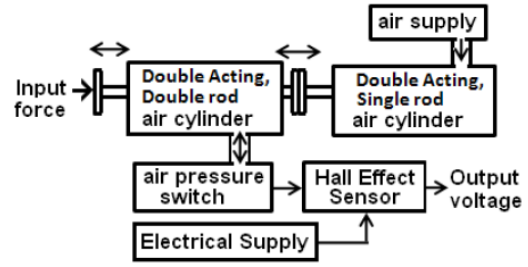


Fig. 2 Block diagram of a transducer

3.1 Pneumatic cylinder

Two types of double acting air cylinders are applied. There are a double acting-double rod (through rod cylinder) [3] that directly contacts to the impact absorber for force receiving and the double acting-single rod (normal double acting cylinder) is employed for generating return force that can be adjusted by air pressure injection.

The net impact force calculates using (1) and (2) is employed to specify the through rod cylinder. The depression depth of 44 mm from the BFS criterion is use as the displacement Δx in (1). The initial bullet velocity is 341 m/s and the final velocity is 0 m/s because the bullet embedded in the armor. So that, the acceleration a within the distance 44 mm is -1.32×10^6 m/s². Therefore, the net force F is 10,571 N. Then the force per unit area in term of pressure is defined by (3). The diameter of each impact absorber is 23.4 mm and the surface area of an impact absorber is $(\pi \times 23.4^2)/4$ or 429.83 mm² therefore the approximated pressure that will be applied to each transducer is equal to 10,571/429.83(N/mm²) or 24.59 (N/mm²). In our case, the through rod cylinder (SMC model CJ2W16-45) [4] is selected and connected to modified pressure switch. When the input force exerts to the piston rod the air volume in the cylinder is obtained and passed to the modified pressure switch.

The single rod cylinder (SMC model CDJ2B-16B) is directly contact to another end of the through rod cylinder in order to produce return force. Then (5) can be expressed as:

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 2 \text{ m}} = 6.26 \text{ m/s}$$

Hence, the velocity $v = 6.26$ m/s is set as v_0 in (1) and Δx is the depression depth of the backing material that is 20 mm therefore, the acceleration a is -980 m/s² and (2) provides the net force F is 1022.14 N. Then calculate the return force by (3) so that the area of the sphere surface is approximate 2732.58 mm². Therefore the density resistance of the backing material in term of pressure is approximate 0.374 Mpa or 0.374 bars. This value is set as the pressure for the single rod cylinder in order to generate return force that equivalent to the density resistance.

3.2 Modified air pressure switch

The function of the air pressure switch is to convert the air volume to electrical voltage. Here, the pressure switch of the washing machine is employed and modified. Two permanent magnetic bars are installed on the little piston inside the housing of the switch. When the air volume is admitted, the diaphragm extends along the inner wall of the housing and moves the piston rod upward. As the result, the magnetic bar is close and far to Hall Effect sensor. The coil spring is used for return the piston to the initial position after the releasing of air volume. The rod moving distance ratio of the trough rod cylinder and the piston rod of the pressure switch is 1.0:0.2 mm. The structure of the modified pressure switch is shown in Fig. 3.

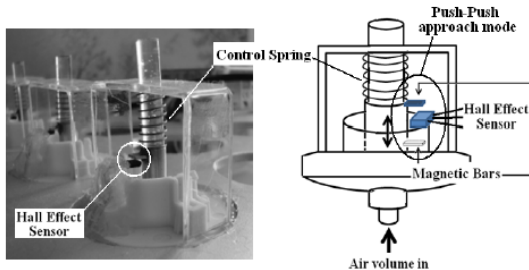


Fig. 3 The modified air pressure switch

3.3 Hall Effect sensing device

The Hall element [5] is constructed from a thin sheet of conductive material with output connections perpendicular to the direction of current flow. When subjected to a magnetic field, it responds with an output voltage proportional to the magnetic field strength. The voltage output is very small (μV) and requires additional electronics to achieve useful voltage levels. The Hall Effect sensor is considered to employ in the force transducer because it provides a linear output voltage, fast respond and cheaply. In the modified pressure switch, the Hall Effect sensor is mounted to the housing between the magnetic bars with Push-push approach mode [6] as shown in Fig. 3.

As the air volume is admitted, the piston is moved upward, it raises a magnetic bar that actuates the sensor and the output voltage is obtained. When the air releases, the coil spring causes the magnetic bar to lower thus reducing the output voltage of the sensor and it is proportional to the magnitude of magnetic field. Since the field magnitude at the particular point is proportional to the moving distance of the piston. The voltage range of the use sensor is 0-5 volts with the cylinder stroke of 0-45 mm. A transducer calibration using the precision pressure indicator calibrator Druck DPI 605 provides graph that the voltage output tend to be linear as illustrated in Fig. 4.

4. THE IMPACT FORCE MEASURING SET

Each part of the dissipated force measuring set is described and explained for more detail.

4.1 The impact absorber

The function of the impact absorber is as same as the clay backing material where the back surface of the armor is directly contacted. The impact is absorbed and passed to the transducer for converting the dissipated force on the armor into electrical potential signal. The designed absorber is made from 25 steel round bars which are arranged 5 in rows and 5 in columns put into housing of the absorber as shown in Fig. 5. Each steel bar can independently move and has diameter of 0.92 inches (23.4 mm) with horizontal moving distance of 50 mm. The absorber surface covers the approximated area of 25 in². The size of absorber surface is designed according to the biggest size of the BFS depression produced in the back material by testing with tradition method.

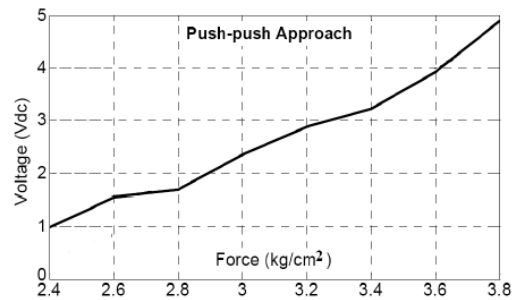


Fig. 4 A transducer calibration graph

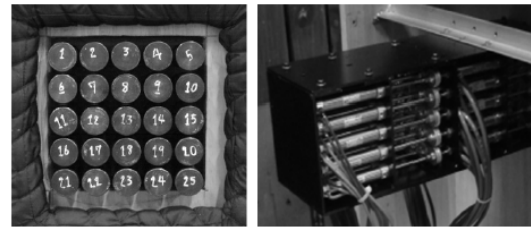


Fig. 5 The impact absorber (left) and the set of 25 Transducers (Pneumatic cylinder part)

4.2 Transducers

The principle of the designed transducer is already described in Section 3. The number of transducer is 25 as same as the number of the impact absorber shows in Fig. 5 (right). All of the transducers are calibrated with the precision pressure indicator calibrator Druck DPI 605.

4.3 Data acquisition (DAQ)

The function of DAQ is to receive the obtained analog voltage from the transducers and then converts them into digital signal for recording the data. The Advance Tech Data Acquisition product PCI-Card model C11715U is considered to use in this work. There are 32 channels for analog input with sampling rate of 500 ks/s which should be sufficient for capturing the impact force in the same time.

4.4 The processing part

This part consists of two components that are: Hardware and Software. The hardware is a computer where the DAQ card is installed. The software Labview is used for controlling and processing the DAQ in order to measure and record the impact force data. The recorded data is calculated and improved by the interpolation method in MATLAB for visualizing the graphic of the dissipated force on the testing armor.

5. EXPERIMENTS

The experiments were process follow the step of NIJ Standard-0101.04 for soft armor testing [1].

5.1 Calibration test

To test of measuring set with the drop weight by dropping free fall of the still sphere onto the measuring set detection area as shown in Fig. 6. The result from this test is compared to the tradition method. As the result, the measuring set can capture the impact of the drop weight as illustrated in Fig. 7.

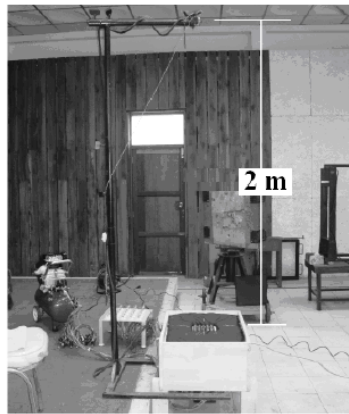


Fig. 6 Measuring set calibration with the drop weight

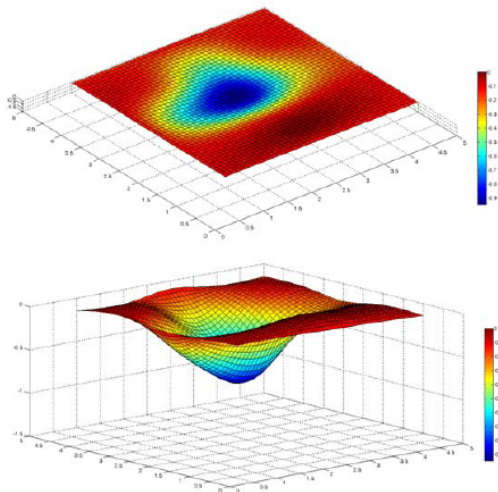


Fig. 7 The 3-D plotting of impact with the drop weight

5.2 The armor perforation test

The armor perforation is tested by firing the armor that place on the backing material (the tradition method) as shown in Fig. 8. If no perforation through the armor panel, then test by using the measuring set. A sample of fabric armor type was tested. It was shot 3 times with the 380 ACP Full Metal Jacketed Round Nose (FMJ RN) bullets by the shooting set (Fig. 9).

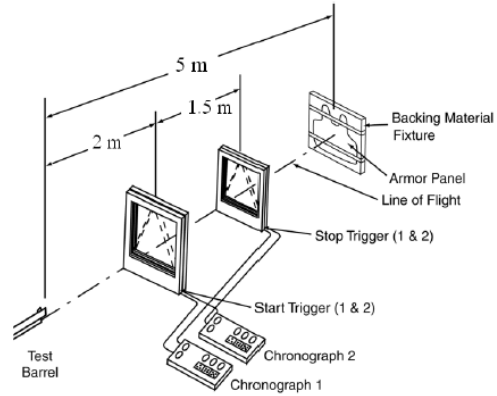


Fig. 8 Test range configuration for armor testing [1]

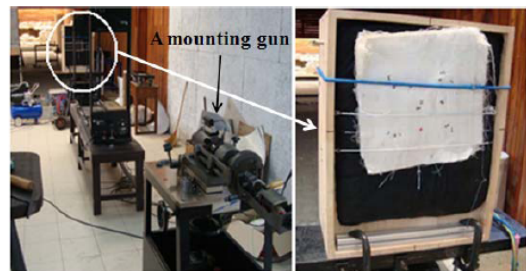
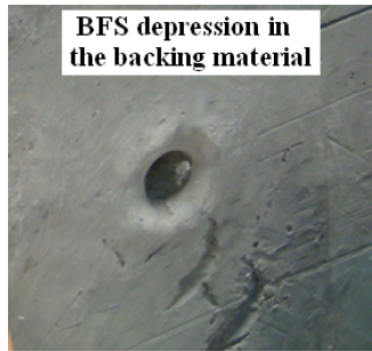


Fig. 9 The shooting set and the proposed measuring set

The first shot of the sample for the perforation test and another two for the impact visualization. The results from the shooting test are plotted as shown in Fig. 10. As the comparing the results of the first shot using the backing material to the measuring set, it is found that the shape of the BFS depression in the backing material almost the same as the graphic result from the measuring set. Due to the uncertain of bullet velocity of each shooting, therefore the depth of the bullet is not equal.

6. DISCUSSION AND CONCLUSION

The prototype of dissipated force measuring set in Thailand and experiments has presented and demonstrated. The main objective to visualize the dissipated force on the armor panel when the bullet hit the armor can be achieved. Also the experiments results tend to the same way with the results of the tradition method using the backing material. The useful information is able to help the researcher in developing of the soft armor.



- [3] S R Majumdar, *Pneumatic Systems Principles and Maintenance*, New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, 1995, pp.85–100.
- [4] S.M.C CO LTD, Air Cylinder catalog.
- [5] *Hall Effect Sensing and Application*, USA, Honeywell International Inc.
- [6] J. Gilbert and R. Dewey, *Application Note 27702A: Linear Hall-Effect Sensor ICS*, Massachusetts, USA, Allegro MicroSystems Inc.

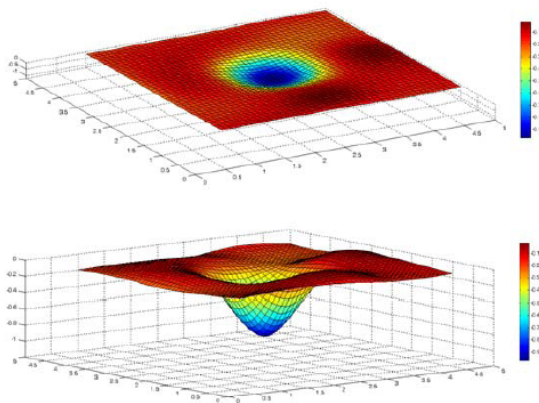


Fig. 10 Comparing results backing material and the measuring set

However, there are still errors and shortcomings need to be improved. For example there are the offset level exist at the transducer output due to each modified pressure switch cannot be calibrated to reach the same level. The accuracy of each the transducers is required to be more accurate. Moreover the programming is also required to improve for more convenient to capture the dissipate force because the program is still running in the manual mode.

ACKNOWLEDGMENT

Author would like to thank Thailand Textile institute for funding this research and also the Quartermaster Division, Royal Thai Police for supporting the officers and the place for shooting test.

REFERENCES

- [1] National Institute of Justice and the National Institute of Standards and Technology, *Ballistic Resistance of Personal Body Armor (NIJ Standard-0101.04)*, November 2000.
- [2] Hugh D., Roger A. Feedman and Lewis Ford, *University Physics with Modern Physics (12th Edition)*, San Francisco USA: Pearson Addison-Wesley, 2008.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล นายชนะรา เถลิงกลิ่น
วัน เดือน ปีเกิด 5 มิถุนายน 2523
ที่อยู่ 128/3 หมู่ 9 ตำบล บางเลน อำเภอบางเลน จังหวัด นครปฐม 73130
ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า-อิเล็กทรอนิกส์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เมื่อ พ.ศ. 2547

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2547 - 2551 ตำแหน่งวิศวกรสังกัดหน่วยประกันคุณภาพ
บริษัทโตชิบา ไสกุโตะ อิเลคทรอนิกส์ ดีไวส์ (ประเทศไทย) จำกัด
พ.ศ. 2551- ปัจจุบัน ตำแหน่งวิศวกรสังกัดหน่วยประกันคุณภาพ
บริษัทชิน-เอดิส แมกเนติกส์ (ประเทศไทย) จำกัด

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

1. การออกแบบทรานสดิวเซอร์วัดแรงโดยใช้ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์, การประชุมเครือข่ายวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า, ครั้งที่ 1, 9-21 พฤศจิกายน 2551, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล, 2551. GEN18.
2. ชุดวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบเสื่อเกราะกันกระสุน, วารสารวิศวกรรมศาสตร์ราช มงคลธัญบุรี, ปีที่ 6, ฉบับที่ 6, 2551. หน้า 59-69.
3. การประยุกต์ใช้ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ในการออกแบบทรานสดิวเซอร์วัดแรง, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์, ครั้งที่ 7, 21-22 พฤษภาคม 2552, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2552. PEC70R118.
4. ชุดวัดการกระจายแรงสำหรับทดสอบเสื่อเกราะกันกระสุน, การประชุมวิชาการทาง วิศวกรรมศาสตร์, ครั้งที่ 8, 22-23 เมษายน 2553, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2553. PEC80R069.
5. "A Prototype Measuring Set for Capturing Dissipated Force on Soft Armor" International Conference on Control, Automation and Systems 2010, Oct. 27-30, 2010 in KINTEX, Gyeonggi-do, Korea.