46

ลงทะเบียนวันที่ 12 ก.พ. 2558
เลขทะเบียน 072824
เลขหมู่ ก๗
TH
4911
ป2015
หัวเรื่อง การระบายน้ำ

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

รางระบายน้ำสำเร็จรูปหน้าตัดการไหลแบบประสม

(Pre-cast Gutter Combined to Section Area)

คณะผู้วิจัย

นายประชุม คำพุฒ (หัวหน้าโครงการ)

นายสัจจะชาญ พรัดมะลิ (ผู้ร่วมงานวิจัย)

นายอมเรศ บกสุวรรณ (ผู้ร่วมงานวิจัย)

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาหาอัตราการไหลของรางระบายน้ำสำเร็จรูปหน้าตัดการไหลแบบประสม เพื่อจะหาอัตราการไหลของน้ำที่อยู่ในรางระบายโดยเป็นการนำหน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมูที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันมาประยุกต์ใช้ทำให้หน้าตัดที่ออกแบบขึ้นมาใหม่นั้นมีอัตราการไหลที่ดีขึ้น. โดยได้ออกแบบรางระบายน้ำคอนกรีตเสริมเหล็กให้มีรูปร่างลักษณะ เป็นการผสมผสานระหว่างสี่เหลี่ยมคางหมูและครึ่งวงกลม ซึ่งมีความสามารถในการระบายน้ำและอัตราการไหลที่ดี ใช้คอนกรีตเสริมเหล็กในการสร้างเพื่อให้มีความทนทาน มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ใช้งานได้ง่ายสะดวกและรวดเร็วสามารถนำไปใช้งานได้ทันที ทำการทดลองโดยใช้ตัวอย่างของรางระบายน้ำโดยที่รางระบายน้ำมีความยาวท่อนละ 1.00 เมตร เป็นจำนวน 10 ท่อน รวมความยาวทั้งหมดทั้งหมด 10.00 เมตร สำหรับการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต ก็จะใช้การคำนวณ R/C Mix Design โดยจะใช้มาตราส่วน 1: 2: 4 จากผลการทดลองปรากฏว่า อัตราการไหลของรางระบายน้ำหน้าตัดแบบประสมมีอัตราการไหลที่ดีกว่ารางระบายน้ำปัจจุบันที่มีอยู่ และง่ายต่อการนำไปติดตั้ง เมื่อพิจารณาโดยรวมแล้วสามารถที่จะนำรางระบายสำเร็จรูปหน้าตัดการไหลแบบประสมมาใช้งานได้จริง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดินประจำปี พ.ศ. 2549 ผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือ อุปกรณ์ และสถานที่ทำการทดสอบในครั้งนี้

ขอบคุณบริษัท นิรมิต ก่อสร้าง พัฒนาการ 50 เขตพัฒนาการ จังหวัดกรุงเทพฯ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์จัดทำแบบเหล็กรางระบายน้ำสำเร็จรูป

และขอขอบคุณนักศึกษากลุ่ม 45541 CNM ที่ได้ช่วยเหลือในด้านต่างๆ ในขณะทำการหล่อคอนกรีตรางระบายน้ำ

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อ		ก
กิตติกรรมประกาศ		ข
สารบัญ		ค
สารบัญรูป		จ
สารบัญตาราง		ฉ
บทที่ 1	บทนำ	1
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
	1.2 วัตถุประสงค์	2
	1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
	1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ	2
	1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2	ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
	2.1 การไหลในทางน้ำเปิด	4
	2.2 การวัดอัตราการไหล	12
	2.3 รางระบายน้ำ	18
	2.4 การตกตะกอน	34
	2.5 หน้าตัดที่ดีที่สุดทางชลศาสตร์	39
	2.6 การวิเคราะห์หาส่วนผสมของคอนกรีต	52
บทที่ 3	ขั้นตอนและวิธีการทดสอบ	54
	3.1 ขั้นตอนและวิธีการคำนวณหาอัตราการไหลในรางระบายน้ำ	54
	3.2 การเปรียบเทียบอัตราการไหลทั้ง 2 หน้าตัด	56
	3.3 การวิเคราะห์หาส่วนผสมของคอนกรีต	57
	3.4 การวิเคราะห์โครงสร้างของรางระบายน้ำ	58
	3.5 การทดสอบหาค่าอัตราการไหลในรางระบายน้ำ	59
	3.6 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่ง	60

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
บทที่ 4	ผลการทดสอบ	62
	4.1 ผลการวิเคราะห์หาขนาดหน้าตัดของรางระบายน้ำ	62
	4.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของรางระบายน้ำ	64
	4.3 ผลการวิเคราะห์หาส่วนผสมของคอนกรีต	65
	4.4 ผลการหาอัตราการไหลในรางระบายน้ำ	66
	4.5 ผลการคำนวณหาสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่ง	70
บทที่ 5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ	71
บรรณานุกรม		72
ภาคผนวก		73
	ภาคผนวก ก ลักษณะของรางระบายน้ำและรายละเอียด	74
	ภาคผนวก ข ลักษณะของโครงเหล็กที่ใช้รองรับรางระบายน้ำ	77
	ภาคผนวก ค ลักษณะของถังสลายพลังงานและรายละเอียด	79
	ภาคผนวก ง ลักษณะของถังหาปริมาณของของไหล	81
	ภาคผนวก จ รูปแสดงขั้นตอนการสร้างรางระบายน้ำ คสล. สำเร็จรูป	83

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	การไหลในทางน้ำเปิด	4
2.2	เส้นลาดพลังงาน	5
2.3	การไหลในทางน้ำเปิดแบบรางระบายน้ำ	6
2.4	ชนิดของอาคารชลประทานที่สามารถปรับเทียบในสนามเพื่อวัดการไหล	12
2.5	ชนิดเครื่องมือที่ใช้วัดอัตราการไหลในคลองชลประทาน	13
2.6	การวัดอัตราการไหลโดยวิธีปริมาตร	14
2.7	ไม้วัดระดับชนิดต่างๆ	15
2.8	หมุดหลักฐานของประตูน้ำที่ทำการวัดความลึกการไหลในสนาม	16
2.9	เครื่องมือวัดระดับใต้ดินที่ติดตั้งสำหรับการวัดความลึกของระดับน้ำ	17
2.10	รางน้ำแบบต่างๆ	18
2.11	รางน้ำคอนกรีต	18
2.12	รางน้ำที่สร้างในประเทศชนิดต่างๆ	20
2.13	ลักษณะทางน้ำเข้าข้างถนน	24
2.14	การจัดวางตำแหน่งทางน้ำเข้าข้างถนน	25
2.15	ทางน้ำเข้าและบ่อพัก	26
2.16	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล ความลึกน้ำ และขนาดของทางน้ำเข้า	27
2.17	ตัวอย่างแนวการระบายน้ำตามแนวยาวถนน	32
2.18	รางหักเลี้ยวบริเวณจุดออก	33
2.19	ลักษณะคลองดาดคอนกรีตที่มีการสะสมของตะกอนเกิดขึ้น	35
2.20	คันคลองที่ถูกทำลายซ้ำ ทำให้ง่ายต่อการเกิดตะกอนลงในคลอง	35
2.21	รางระบายน้ำแบบสี่เหลี่ยม	39
2.22	รางระบายน้ำแบบสี่เหลี่ยมคางหมู	41
2.23	รางระบายน้ำแบบทรงกลม	43
2.24	การหาอัตราการไหลในแบบทรงกลม	45
2.25	ทางน้ำเปิดหน้าตัดใดๆ	48
2.26	ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานจำเพาะกับความลึกของการไหล	49
2.27	เส้นค่าสำหรับหาความลึกวิกฤติ (Critical Depth)	51
4.1	ค่าการเปรียบเทียบอัตราการไหลของทั้ง 2 หน้าตัดที่ระดับความสูงต่างๆ	68

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของเมนนิ่ง	9
2.2	รอบปีการเกิดซ้ำในการออกแบบรางระบายน้ำของถนนท่อลอดและสะพาน	31
2.3	Grain Size Classification	38
2.4	มิติขั้นพื้นฐานทางเรขาคณิตของหน้าตัดทางน้ำ	47
2.5	ประเภทของการไหลในทางน้ำเปิดหน้าตัดใด ๆ	50
4.1	การคำนวณหาเหล็กเสริมของรางระบายน้ำ	64
4.2	การหาอัตราการไหลในรางระบายน้ำหน้าตัดประยุกต์ที่ความสูงต่างๆ	67
4.3	การหาอัตราการไหลในรางระบายน้ำหน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมูที่ความสูงต่างๆ	67
4.4	การหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่งที่อัตราการต่างๆ ของรางระบายน้ำทั้ง 2 หน้าตัด	69

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการสร้างถนนส่วนใหญ่ในชนบทหรือในเมืองบางส่วน ไม่ได้สร้างรางระบายน้ำมาพร้อมกับการสร้างถนน จึงมีปัญหาในการระบายน้ำซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดน้ำขัง หรือน้ำท่วมได้ รวมไปถึงการสร้างทางระบายน้ำแบบหล่อในที่อาจมีปัญหาในเรื่องพื้นที่ไม่เพียงพอ ทำงานยาก และใช้เวลาในการทำงานเยอะทางผู้จัดทำจึงได้ศึกษาเพื่อหาวิธีการแก้ไข การสร้าง การออกแบบรางระบายน้ำที่สามารถใช้งานได้ดี ประหยัดทั้งระยะเวลาการทำงานและค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง

รางระบายน้ำเป็นรางเปิดชนิดหนึ่งวางอยู่บนพื้นดิน หรือวางไว้สูงกว่าพื้นดินโดยที่มีโครงสร้างรองรับ ตามปกติรางระบายน้ำทั่วไปเป็นรางระบายน้ำเปิดและไม่มีฝาปิด แต่อาจมีรางระบายน้ำบางแห่งที่มีฝาปิด เพราะสร้างขึ้นมาเพื่อวัตถุประสงค์อื่นด้วย รางระบายน้ำส่วนมากจะออกแบบไว้สำหรับการไหลอิสระไม่มีประตูน้ำสำหรับขังน้ำ

รางระบายน้ำมีรูปร่างต่างๆ กัน เช่น มีรูปตัดขวางเป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก, สี่เหลี่ยมคางหมู และรูปสามเหลี่ยม สร้างด้วยแผ่นโลหะ ไม้ คอนกรีตล้วน คอนกรีตเสริมเหล็กหรือวัสดุเหล่านี้รวมกัน รางระบายน้ำที่เห็นกันทั่วไปหลายชนิดไม่ว่าจะเป็น รางไม้ รางน้ำเหล็ก รางน้ำคอนกรีต แต่ถ้าได้คำนวณและออกแบบจริงๆ แล้วรางน้ำคอนกรีตเป็นรางน้ำที่ดีที่สุดในบรรดารางน้ำทั้งหมด และเป็นที่นิยมใช้กันทั่วไป เนื่องจากสามารถระบายน้ำได้ดี แข็งแรง แต่เนื่องจากรางระบายน้ำคอนกรีตเสริมเหล็กใช้ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างค่อนข้างเยอะ เพราะมีราคาแพงที่สุดในบรรดารางระบายน้ำทุกชนิด ด้วยเหตุนี้จึงได้ศึกษาค้นคว้าเพื่อหาวิธีการที่จะช่วยลดค่าใช้จ่ายและเวลาในการทำงานก่อสร้างรางระบายน้ำขึ้นเมื่อทำการเปรียบเทียบอัตราการไหลการระบายน้ำ ระยะเวลาในการก่อสร้างรวมไปถึงการทำความสะอาดเมื่อได้ใช้งานไปแล้ว จึงได้คิดค้นและทำการออกแบบ รางระบายน้ำขึ้นมาโดยได้ใช้ชื่อว่า "รางระบายน้ำคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดประยุกต์"

รางระบายน้ำคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดประยุกต์ มีลักษณะรูปทรง เป็นการผสมระหว่างสี่เหลี่ยมคางหมูกันรูปครึ่งวงกลม เพื่อวัตถุประสงค์ในการระบายน้ำได้ดีที่สุด เกิดการตกตะกอนน้อย อัตราการไหลดี ในการออกแบบได้ทำการออกแบบขนาดของรางระบายน้ำ ให้มีขนาดใกล้เคียงกับบุ้งกี๋ของรถแบ็คโฮเล็ก เพื่อให้ง่ายต่อการก่อสร้างโดยสามารถนำไปวางประกอบได้ทันทีหลังจากที่แบ็คโฮได้ขุดไว้แล้ว โดยให้เกิดการเสียเวลาปรับแต่งหลุมที่ขุดน้อยที่สุด เป็นการประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้ง่ายในการก่อสร้าง สำหรับร่องน้ำภายในรางระบายน้ำนั้น

ได้ออกแบบให้มีขนาดใกล้เคียงกับขนาดของเสียมที่ใช้ตามบ้านเรือนทั่วๆ ไป ซึ่งในเวลาที่จะทำความสะอาดสามารถให้เสียมตักสิ่งปฏิกูลที่ตกตะกอนในรางระบายน้ำได้ง่าย สะดวก และรวดเร็ว

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อออกแบบรางระบายน้ำที่สามารถระบายน้ำได้ดี และมีอัตราการไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดมากกว่ารางระบายน้ำที่มีอยู่ในปัจจุบัน

1.2.2 เพื่อออกแบบรางระบายน้ำให้สามารถทำความสะอาดได้ง่าย

1.2.3 เพื่อออกแบบรางระบายน้ำที่ใช้ระยะเวลาในการก่อสร้างน้อย และประหยัดเวลาที่ใช้ในการติดตั้ง

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 เพื่อเปรียบเทียบหาอัตราการไหลสูงสุดภายในรางระบายน้ำหน้าตัดประยุกต์กับรางระบายน้ำสี่เหลี่ยมคางหมูที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน

1.3.2 เพื่อออกแบบให้การทำความสะอาดรางระบายน้ำเป็นไปอย่างง่ายโดยใช้วิธีการที่ไม่ยุ่งยาก

1.3.3 เพื่อเป็นการศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่ง จากการหล่อคอนกรีตกับแบบเหล็กเนื่องจากเมื่อถอดแบบเหล็กออกมาแล้วผิวหน้าของคอนกรีตมีลักษณะเรียบจึงทำให้ค่าที่คำนวณออกมาอาจจะมีการคลาดเคลื่อนได้

1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

การศึกษาและดำเนินการโครงการนี้ได้แบ่งขั้นตอนของการศึกษาและจัดทำโครงการออกไว้เป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

1.4.1 ขั้นตอนการวางแผนและศึกษาหาข้อมูล

เริ่มจากการค้นคว้าศึกษาข้อมูล ที่เกี่ยวข้องกับโครงการ หาข้อมูลทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับคำนวณหาหน้าตัดที่เหมาะสมในทางชลศาสตร์ การระบายน้ำ อัตราการไหล หาขนาดที่เหมาะสมของรางระบายน้ำ ศึกษาหาข้อมูลของวัสดุที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุในการสร้าง ศึกษาความแข็งแรงทนทานในการก่อสร้าง, การเคลื่อนย้ายรวมไปถึงการติดตั้งเมื่อได้ข้อมูลที่ต้องการคำนวณหาขนาดของหน้าตัด, ขนาดของรางระบายน้ำและเลือกวัสดุที่ตรงกับความต้องการ โดยคำนึงถึงความเป็นไปได้ในการใช้งานจริง ประสิทธิภาพและค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมกับ ข้อมูลทางทฤษฎีสามารถหาได้จากแหล่งข้อมูลหลายๆ แหล่ง เช่น หนังสือ อินเตอร์เน็ท บทความผลงานวิจัยและวิทยานิพนธ์

1.4.2 ขั้นตอนการดำเนินงานและทดสอบ เก็บข้อมูลในการทดสอบ

เริ่มเตรียมดำเนินโครงการโดยทำการออกแบบชิ้นงานโครงการ ให้มีรูปร่างลักษณะเป็นไปตามทฤษฎีที่ได้ค้นคว้าและคำนวณไว้ จากนั้นทำการสร้างแบบหล่อขึ้นมาจากแบบที่ได้ออกแบบและเขียนไว้แล้ว หลังจากนั้นทำการสร้างชิ้นงานขึ้นมาเพื่อทำการทดสอบอัตราการไหล การตกตะกอน ความแข็งแรงทนทานต่อการเคลื่อนย้าย และการติดตั้ง ซึ่งในการทดสอบทำการเก็บข้อมูลหาค่าอัตราการไหล ความทนทานต่อแรงต่างๆ เปรียบเทียบหาค่าที่ดีที่สุด นำไปเลือกใช้งานจริงเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์และดีเหมาะสมในการใช้งาน

1.4.3 ขั้นตอนการสรุปผล

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบชิ้นงานเพื่อหาคุณสมบัติของชิ้นงาน จุดเด่น จุดด้อยของชิ้นงาน เปรียบเทียบกับชิ้นงานชนิดอื่น รวมทั้งหาข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น ระบุปัญหาอุปสรรคในการดำเนินงาน วิธีแก้ไข เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาต่อไป

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ช่วยในการระบายน้ำให้มีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อไม่ให้น้ำเอ่อล้นเวลาที่ต้องการระบายน้ำปริมาณมาก ๆ ภายในเวลาอันรวดเร็วเวลาฝนตกหนัก ลดปัญหาการตกตะกอนเพื่อป้องกันการอุดตันของรางระบายน้ำ

1.5.2 สามารถนำไปใช้งานได้อย่างสะดวก ก่อสร้างได้ง่าย เพียงแค่ขุดหลุมตามขนาดของรางระบายน้ำ แล้วทำรางระบายน้ำสำเร็จรูปไปประกอบตามร่องที่ขุดไว้

1.5.3 สามารถทำความสะอาดได้ง่ายเพราะ ใช้เสียมทำความสะอาดได้ ทันที เพราะได้ทำการออกแบบขนาดบริเวณท้องของรางระบายน้ำให้มีขนาด ใกล้เคียงกับเสียมตักดิน เพียงแค่ใช้เสียมตักดินเซาะไปตามรางระบายน้ำ สิ่งที่ตกตะกอนก็จะหลุดออกมา รวมถึงท้องของรางระบายน้ำนี้ได้ออกแบบให้มีลักษณะโค้งมน จึงไม่มีสิ่งปฏิกูลที่ตกตะกอนและตกค้างตามมุมของรางระบายน้ำเหมือนกับรางระบายน้ำที่มีเหลี่ยมมีมุม

บทที่2

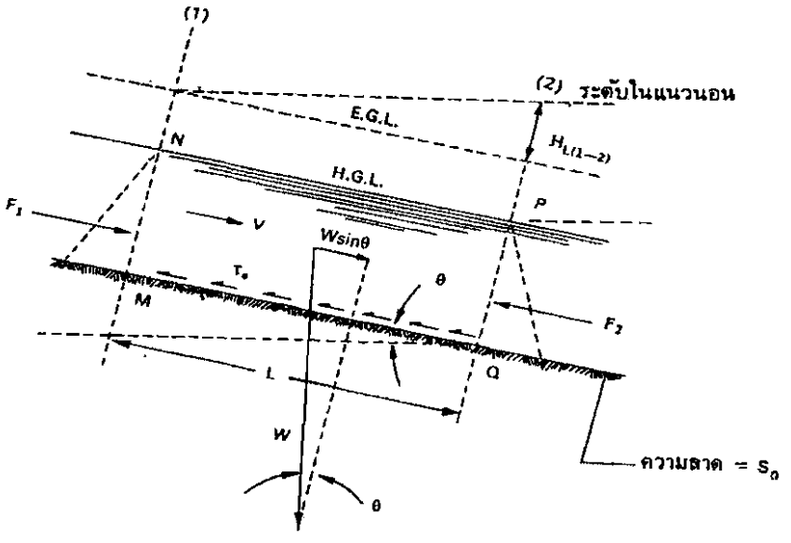
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 การไหลในทางน้ำเปิด

เป็นคำที่ใช้กับทางน้ำที่มีผิวน้ำสัมผัสกับอากาศ เช่น คู คลอง แม่น้ำ ฯลฯ การไหลในทางน้ำดังกล่าวเรียกว่า การไหลในทางน้ำแบบเปิด (Open Channel Flow) จึงเห็นได้ว่ามวลน้ำที่ไหลนั้นจะอยู่ภายใต้ความกดดันของบรรยากาศ น้ำที่ไหลในท่อ ถ้าไหลไม่เต็มท่อผิวน้ำจะสัมผัสกับอากาศ การไหลของน้ำในท่อแบบนี้ก็เรียกว่า การไหลในทางน้ำแบบเปิด แต่ถ้ามวลน้ำไหลเต็มท่อก็ไม่เรียกว่าการไหลในทางน้ำไหลแบบเปิด หากแต่เรียกว่าการไหลในท่อ (Pipe Flow) ท่อระบายน้ำทิ้งก็เช่นกันถ้าน้ำไหลไม่เต็มท่อก็เรียกว่า การไหลในทางน้ำแบบเปิด แต่ถ้าน้ำไหลเต็มท่อก็เรียกสภาพการไหลนั้นว่า การไหลในท่อ

1. เส้นลาดไฮดรอลิกส์ (Hydraulic Grade Line) ใช้อักษรย่อกว่า H.G.L.

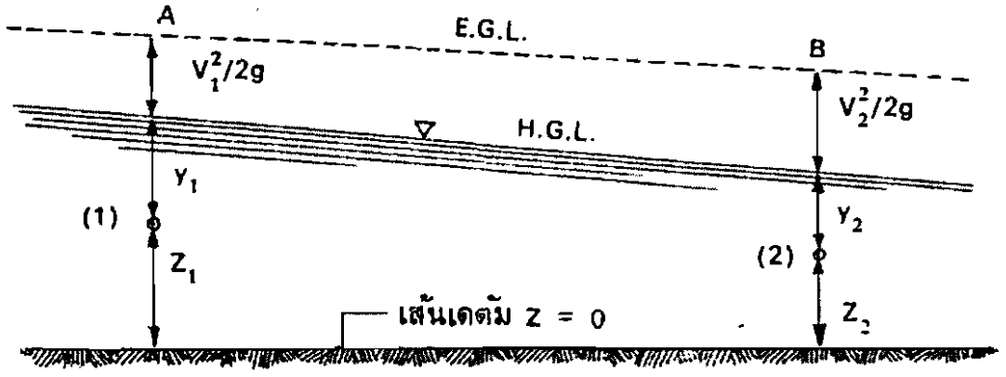


รูปที่ 2.1 การไหลในทางน้ำเปิด

จากรูปที่ 2.1 เมื่อน้ำไหลในท่อจากจุด (1) ไปยังจุด (2) ความกดดันที่จุด (1) และจุด (2) จะดันให้น้ำขึ้นไปในหลอดพิโซมิเตอร์จนถึงระดับที่สมดุล จะได้ $h_1 = p_1/\gamma$ และ $h_2 = p_2/\gamma$ เส้นที่โยงจุดต่าง ๆ ของระดับน้ำ(วัดที่จุดต่ำสุดหรือจุดสูงสุดของวงเสี้ยวพระจันทร์) ในหลอดพิโซมิเตอร์ เรียกว่า เส้นลาดไฮดรอลิกส์ จุดต่าง ๆ ของระดับน้ำในหลอดพิโซมิเตอร์นี้จะสัมผัสกับอากาศ เพราะฉะนั้นในกรณีของทางน้ำไหลแบบเปิด เส้นลาดไฮดรอลิกส์ก็คือเส้นที่ทับผิวน้ำนั่นเอง (ดูรูปที่ 2.2)

2. เส้นลาดพลังงาน (Energy Grade Line)

เฮดรวมหรือพลังงานรวมที่จุดหนึ่งจุดใดเมื่อเทียบกับเส้นเดตัม จะมีค่าเท่ากับผลรวมของเดตัมเฮด เฮดความกดดันและเฮดความเร็ว เส้นที่โยงจุดเฮดรวมหรือพลังรวม ณ จุด (1) จุด (2) และจุดอื่น ๆ (จากรูปที่ 2.1) เรียกว่าเส้นลาดพลังงาน สำหรับทางน้ำไหลแบบเปิด เส้น AB จากรูปที่ 2.2 คือ เส้นลาดพลังงานที่กล่าวถึง



รูปที่ 2.2 เส้นลาดพลังงาน

การไหลในทางน้ำเปิดเป็นการไหลที่มีผิวอิสระสัมผัสกับอากาศ และปัจจัยในการไหลไม่ได้ขึ้นอยู่กับความดันเหมือนการไหลในท่อ แต่จะขึ้นอยู่กับความดันบรรยากาศที่ผิวอิสระ และน้ำหนักของของไหลเอง เช่น การไหลในร่องน้ำ คลอง แม่น้ำ รางระบายน้ำ หรือท่อระบายน้ำที่มีน้ำไหลไม่เต็มท่อ

พิจารณาการไหลในรูปที่ 2.1 พลังงานรวมที่หน้าตัดใด ๆ ของการไหลคือ

$$H = \frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + z$$

เมื่อ H คือ พลังงานรวมที่หน้าตัดต่าง ๆ

$\frac{P}{\gamma}$ คือ พลังงานความดัน ของของไหล (ในที่นี้คือ ความดันบรรยากาศ เมื่อพิจารณาความดันเกจ พลังงานส่วนนี้จึงมีค่าเป็นศูนย์)

$\frac{v^2}{2g}$ คือ พลังงานจลน์ อันเนื่องมาจากความเร็วของของไหล

z คือ พลังงานศักย์ อันเนื่องมาจากระดับของของไหล

เส้นที่เขียนขึ้นเพื่อใช้แสดงค่าพลังงานรวมที่หน้าตัดต่าง ๆ เรียกว่าเส้นพลังงาน (Energy Grade Line, E.G.L) ส่วนใหญ่ Hydraulic Grade Line (H.G.L.) เส้น H.G.L. จะอยู่ใต้เส้น E.G.L เสมอ

3. ลักษณะการไหล (Type of Flow)

ลักษณะการไหลของน้ำในทางน้ำแบบเปิด มีอยู่หลายลักษณะ เช่น

ก. ลักษณะการไหลสม่ำเสมอ (Steady Flow) คือ การไหลที่ ณ จุดหนึ่งจุดใด ความลึกของสายน้ำ ไม่เปลี่ยนไปตามเวลา หรือพูดอีกนัยหนึ่ง ความลึกมีค่าคงที่ในช่วงเวลาที่กำหนดให้

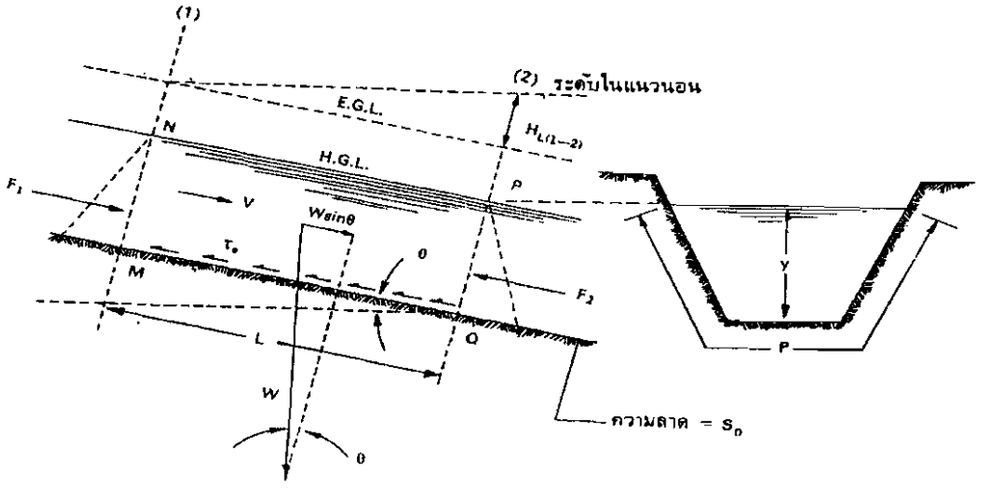
ข. ลักษณะการไหลไม่สม่ำเสมอ (UnsteadyFlow) คือ การไหลที่ ณ จุดหนึ่งจุดใด ความลึกของสายน้ำเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

ค. ลักษณะการไหลที่มีรูปแบบเดียว (Uniform Flow) คือ การไหลที่มีความลึกของสายน้ำความลาดของท้องน้ำ ความเร็วของกระแสน้ำ ตลอดจนพื้นที่หน้าตัดของทางน้ำมีค่าคงที่ตลอดช่วงความยาวของทางน้ำที่กำหนดให้

ง. ลักษณะการไหลที่มิใช่รูปแบบเดียว (Nonuniform Flow) คือ การไหลที่มีสภาพตรงกันข้ามกับการไหลที่มีรูปแบบเดียว

จ. ลักษณะการไหลที่เปลี่ยนไปต่าง ๆ กัน (Varied Flow) คือ การไหลที่มีความลึกเปลี่ยนแปลงตลอดความยาวของทางน้ำ การไหลแบบนี้มีทั้งที่ไหลเชี่ยวอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนความลึกอย่างกะทันหันและการไหลที่ค่อย ๆ เปลี่ยนความเร็ว

2.1.2 สมการที่ใช้หาปริมาณน้ำไหลในทางน้ำไหลแบบเปิด



รูปที่ 2.3 การไหลในทางน้ำเปิดแบบรางระบายน้ำ

จากรูป ใช้สมการโมเมนตัมในทิศทางที่ขนานกับท้องแม่น้ำระหว่างตอน (1) และตอน (2) ให้ MNPQ เป็นลำน้ำอิสระ

$$\sum F = (\text{โมเมนตัมออก})_2 - (\text{โมเมนตัมเข้า})_1$$

$$= pQ_2V_2 - pQ_1V_1 \qquad \text{.....(a)}$$

เนื่องจากหน้าตัดของทางน้ำที่ตอน (1) และตอน (2) เท่ากัน Q_1 และ Q_2 ก็เท่ากัน จึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมระหว่างตอน (1) และตอน (2) สมการ (a) เขียนได้เป็น

$$\sum F = 0$$

หรือ $$F_1 + W\sin\theta - F_2 - F_3 = 0 \qquad \text{.....(b)}$$

ในเมื่อ F_1 = แรงกดดันรวมของน้ำที่ตอน (1)

F_2 = แรงกดดันรวมของน้ำที่ตอน (2)

W = น้ำหนักของมวลน้ำ MNPQ

F_3 = แรงเฉือนที่มีแนวสัมผัสกับพื้น

$= PL\tau_0$

เนื่องจากความลึกของน้ำที่ตอน (1) และตอน (2) เท่ากัน จะได้ $F_1 = F_2$ สมการ (b) เขียนใหม่ได้เป็น

$$W\sin\theta - PL\tau_0 = 0$$

$$\gamma AL\sin\theta - PL\tau_0 = 0$$

$$\frac{\lambda ALH_L(1-2)}{L} - PL\tau_0 = 0 \qquad \text{(แทนค่า } \sin\theta\text{)}$$

$$\gamma AH_L(1-2) - PL\tau_0 = 0$$

$$\tau_0 = \frac{\gamma AH_L(1-2)}{PL}$$

$$= \gamma RS \qquad \text{.....(c)}$$

ในเมื่อ R $= \frac{A}{P}$ = รัศมีไฮดรอลิกส์ (hydraulic radius)

$\frac{H_L}{L}$ = S = ความลาดของเส้นลาดไฮดรอลิกส์ (H.G.L.)

จาก Elementary Mechanics of Fluids โดย HUNTER ROUSE

$$\tau'_0 = fp\frac{V^2}{8} \qquad \text{.....(d)}$$

สมการ (c) = (d)

$$fp\frac{V^2}{8} = \gamma RS$$

$$V^2 = \frac{8\gamma RS}{pf}$$

$$= \frac{8pgRS}{pf} \qquad \text{(แทนค่า } \gamma = pg\text{)}$$

$$V = \sqrt{\frac{8gRS}{f}}$$

$$= \sqrt{\frac{8g}{f}}\sqrt{RS}$$

ถ้าให้ $C = \sqrt{\frac{8g}{f}}$

$$V = C\sqrt{RS} \qquad \text{....(2.1)}$$

สมการที่ (2.1) เป็นที่ทราบกันโดยทั่ว ๆ ไปว่าเป็นสมการของเชซี (Chezy) สำหรับค่า C นี้ แมนนิง (Manning) ได้ทำการค้นคว้าและทดลอง พบว่า

$$C = \frac{1.49R^{1/6}}{n} \qquad \text{....(2.2)}$$

สรุปคือการพิจารณาปัญหาการไหลในทางน้ำเปิดสามารถที่จะคำนวณได้โดยใช้สมการการไหลดังต่อไปนี้คือ

ก) สมการของ Chezy (Chezy Formula)

$$V = C\sqrt{RS}$$

เมื่อ V คือ ความเร็วเฉลี่ยของการไหล (m/S)

C คือ สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Chezy

R คือ รัศมีชลศาสตร์ (Hyduaulic Radius)

S คือ ความลาดของเส้นพลังงาน สำหรับกรณีที่เป็นการไหลแบบสม่ำเสมอสามารถใช้ความลาดของท้องน้ำ S_o หรือความลาดของผิวน้ำ, S_w แทนได้เลย

ข) สมการของ Manning (Manning Formula)

$$v = \frac{k}{n}R^{2/3}S^{1/2}$$

เมื่อ V คือ ความเร็วเฉลี่ยของการไหล (m/S)

n คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning

k = 1.0 สำหรับการคำนวณด้วยหน่วยเอสไอ

= 1.486 สำหรับการคำนวณด้วยหน่วยอังกฤษ

ค่า n ในสมการของแมนนิ่ง จะมีค่าแตกต่างกันไปตามสภาพของพื้นผิว ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่ง (Manning's n)สำหรับชนิดของพื้นผิวทางน้ำชนิดต่างๆ

ชนิดของผิวทางน้ำ	สภาพ			
	ดีมาก	ดี	ปานกลาง	แย่
. คลองส่งน้ำและคูน้ำ .				
คลองดินที่มีแนวตรงและรูปตัดสม่ำเสมอ	0.017	0.020	0.0225*	0.025
คลองดินที่ลาดตลิ่งเป็นดินปนกรวดปนหิน	0.028	0.030	0.033	0.035
คลองดินที่ก้นคลองมีดินปนกรวด ตลิ่งมีหญ้าขึ้น	0.025	0.030	0.035	0.040
คลองที่ขุดผ่านหินและตกแต่งผิวเรียบ	0.025	0.030	0.033*	0.035
คลองขุดผ่านหินขรุขระและรูปตัดไม่สม่ำเสมอ	0.035	0.040	0.045	.
คลองดินที่คดเคี้ยวมาก	0.0225	0.025*	0.0275	0.030
คลองดาดคอนกรีต	0.012	0.014*	0.016	0.018
. รางน้ำหรือสะพานน้ำ .				
คอนกรีตผิวเรียบ	0.012	0.014*	0.016*	0.018
ไม้ผิวขัดเรียบ	0.010	0.012*	0.013	0.014
ไม้ผิวไม่เรียบ	0.011	0.013*	0.014	0.015
โลหะรูปครึ่งวงกลมผิวเรียบ	0.011	0.012	0.013	0.015
โลหะรูปครึ่งวงกลมผิวเป็นลอน	0.0225	0.025	0.0275	0.030
. ท่อชนิดต่างๆ .				
เหล็กหล่อไม่ฉาบผิว	0.012	0.013	0.014	0.015
เหล็กหล่อฉาบผิวเรียบ	0.011	0.012*	0.013*	.
เหล็กดำไม่ฉาบผิว	0.012	0.013	0.014	0.015
เหล็กดำอาบสังกะสี	0.013	0.014	0.015	0.017
ทองเหลืองผิวเรียบ หรือหลอดแก้ว	0.009	0.010	0.011	0.013
ดินเผาใช้ทำท่อน้ำโสโครก	0.011	0.012	0.014	0.017
อิฐก่อ ใช้เป็นท่อน้ำโสโครก	0.012	0.013	0.015	0.017
คอนกรีต	0.012	0.013	0.015*	0.016
ไม้	0.010	0.011	0.012	0.013

หมายเหตุ : * เป็นค่าที่แนะนำให้ใช้ในการออกแบบทางน้ำ

2.1.3 การเลือกใช้ลาดผิวน้ำในคลอง

การคำนวณอัตราเร็วของน้ำ (V) ในรางเปิดทุกชนิด ลาดผิวน้ำ (S) ในรางน้ำเป็นสิ่งสำคัญและมีอิทธิพลที่จะทำให้น้ำไหลไปได้โดยแรงโน้มถ่วงของโลก ไม่มีลาดผิวน้ำ น้ำก็จะไม่ไหล ถ้าลาดผิวน้ำยิ่งชันน้ำจะยิ่งไหลแรงขึ้น ถ้ายิ่งราบก็จะยิ่งไหลช้าลง ตามปกติคลองที่ขุดจะมีลาดก้นคลองขนานกับลาดผิวน้ำ การแสดงค่าของความลาดเทของคลองบางทีจะเขียนไว้ที่เส้นลาด ก้นคลอง ลาดผิวน้ำในคลองไม่จำเป็นต้องมีค่าเดียวกันตลอดคลอง จะชันในบางตอนแล้วราบในบางตอนก็ได้ เช่น ตอนต้นคลองใช้ลาดผิวน้ำ 1 : 8,000 ตอนกลางคลองใช้ลาดผิวน้ำ 1 : 10,000 และตอนปลายคลองใช้ลาดผิวน้ำ 1 : 12,000 เช่นนี้ก็ได้ แต่ถ้าสามารถทำได้แล้วควรใช้ลาดผิวน้ำในคลองค่าเดียวกันตลอดคลอง ถ้าลาดผิวน้ำในคลองตอนใดไม่เหมาะกับลาดผิวดินตามแนวคลองควรใช้วิธีลดระดับน้ำในคลองลงโดยการสร้างอาคารน้ำตก (Drops) หรือรางเท (Chutes) ลาดผิวน้ำในคลองมีความสัมพันธ์กับอัตราเร็วของน้ำในคลอง กล่าวคือ ถ้าลาดผิวน้ำชันความเร็ว จะมีค่ามากหรือน้ำไหลแรง ถ้าลาดผิวน้ำราบ ความเร็วจะมีค่าน้อยหรือน้ำไหลช้า ดังนั้นจึงต้องเลือกใช้ลาดผิวน้ำให้เหมาะ เพื่อให้ความเร็วของกระแสน้ำในคลองเท่ากับความเร็ววิกฤต

นอกจากนั้นลาดผิวน้ำในคลองยังมีความสัมพันธ์กับระดับน้ำใช้การเต็มที่ (F.S.L.) ในคลองด้วย คือถ้าลาดผิวน้ำชัน น้ำจะขึ้นสูงกว่าระดับพื้นดินตามแนวคลองได้ช้าแต่คลองไม่ค่อยตื้นเขินเพราะตะกอนตกจม ถ้าลาดผิวน้ำราบน้ำจะขึ้นสูงกว่าระดับพื้นดินตามแนวคลองได้เร็วแต่คลองจะมีรูปตัดค่อนข้างใหญ่และมักจะตื้นเขินเพราะตะกอนตกจม

กล่าวได้ว่าการเลือกใช้ลาดผิวน้ำในคลองไม่มีกฎเกณฑ์แน่นอน ทั้งนี้แล้วแต่

- ลาดพื้นดินตามแนวคลองส่งน้ำ
- ลักษณะและปริมาณของตะกอนที่ไหลมากับน้ำ
- ลักษณะเนื้อดินตามแนวคลองที่น้ำจะพัดพาไปได้
- ความพินิจพิจารณาของผู้ออกแบบ

2.2 การวัดอัตราการไหล

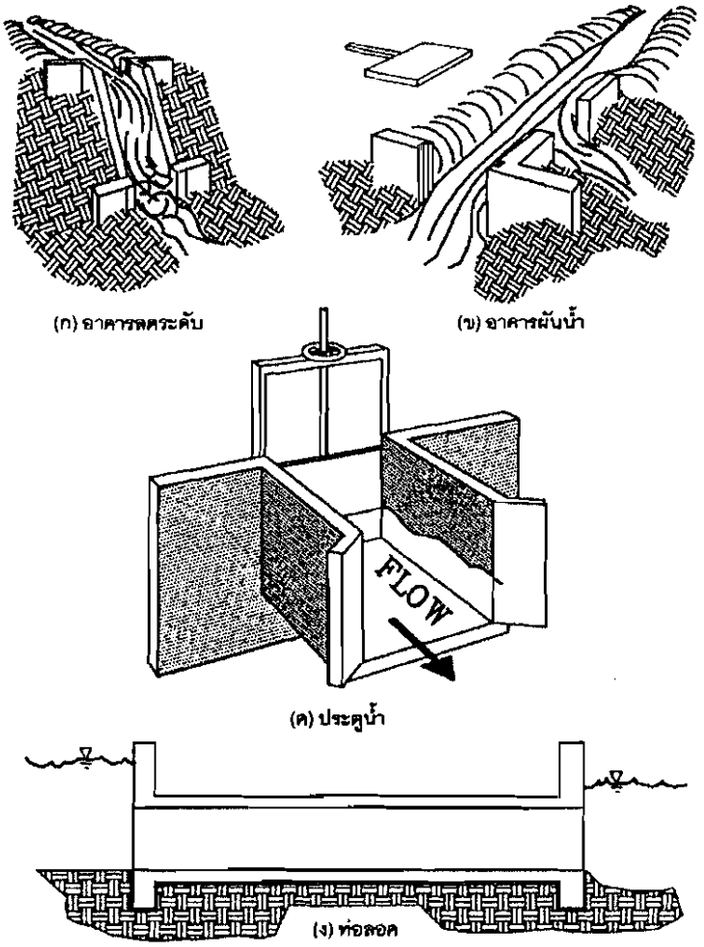
การปรับปรุงการจัดการน้ำให้เป็นผลสำเร็จนั้นมีจุดสำคัญอยู่ที่ความสามารถในการวัดอัตราไหลและปริมาตรของน้ำที่ตำแหน่งที่สำคัญของระบบชลประทาน การวัดน้ำเป็นพื้นฐานที่สำคัญในการประเมินผลการดำเนินงานของการจัดการน้ำให้เป็นผลสำเร็จ ซึ่งข้อมูลอัตราการไหลสามารถใช้คำนวณหาค่าต่างๆ ที่บ่งบอกถึงคุณภาพในการดำเนินงาน เช่น การวัดประสิทธิภาพ

ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการเปรียบเทียบผลการดำเนินงานระหว่างปี กับผลการดำเนินงานของระบบชลประทานของโครงการอื่น

ในโครงการชลประทานขนาดใหญ่ส่วนใหญ่ มีการวัดอัตราการไหลของน้ำเฉพาะที่หัวงานเท่านั้น ซึ่งหัวงานนั้นอาจจะเป็นอาคารระบายน้ำ (Outlet Structure) ทางด้านท้ายของเขื่อน หรืออาคารผันน้ำจากแม่น้ำ อย่างไรก็ตาม ยังมีบางโครงการที่วัดอัตราการไหลของน้ำตามจุดที่ปล่อยไปยังผู้ใช้ (เกษตรกร) เทคนิคในการวัดน้ำชลประทานนี้เป็นเทคนิคที่ค่อนข้างธรรมดาและมีใช้กันมานานแล้ว แต่ก็ยังมีโครงการชลประทานอีกหลายโครงการที่ไม่เคยนำเทคนิคนี้มาใช้ในงานบำรุงรักษาและปฏิบัติการชลประทาน

ในระบบชลประทานส่วนใหญ่ จะประกอบด้วยอาคารประกอบอยู่หลายประเภท ซึ่งสามารถปรับเทียบและทำเป็นอาคารวัดน้ำได้ (รูปที่ 2.4) โดยทั่วไปแล้ว อาคารประกอบที่จะพบได้มากในระบบการส่งน้ำคือประตูน้ำ ซึ่งในบางระบบมีประตูน้ำนับร้อยประตูเพื่อใช้ในการควบคุมการไหลของน้ำ ส่วนอาคารประกอบอื่น ๆ สามารถนำมาปรับเทียบได้ เช่น ท่อลอด ท่อเชื่อมโค้งลง (Inverted Siphons) อาคารลดระดับ ฝาย และอาคารทิ้งน้ำในความเป็นจริงแล้ว อาคารประกอบใดก็ตามที่ควบคุมการไหลของน้ำสามารถปรับเทียบมาใช้ในการวัดอัตราการไหลของน้ำได้

การติดตั้งเครื่องมือวัดอัตราการไหลมาตรฐาน เช่น รางวัดน้ำและฝายที่ได้รับการปรับเทียบจากห้องทดลองแล้ว ก็ไม่จำเป็นที่จะต้องใช้การปรับเทียบในสนามนอกจากว่า (1) ขนาดของเครื่องมือไม่ถูกต้องหรือ (2) มีปัจจัยอื่นที่แตกต่างจากการวัดในห้องทดลอง ข้อเสีย ที่สำคัญในการใช้เครื่องมือเหล่านี้ ประการแรกคือ ค่าใช้จ่าย และบ่อยครั้งจะมีการสูญเสียพลังงานเพิ่มขึ้นเนื่องจากการไหลในคลอง ซึ่งเป็นผลให้ระดับน้ำด้านเหนือน้ำสูงขึ้นและทำให้ความจุของคลองลดลง ในบางกรณี เครื่องมือวัดอัตราการไหลปิดกั้นลำน้ำได้ไม่เต็มพื้นที่ ทำให้ความจุของคลองชลประทานที่คำนวณได้ต่ำกว่าที่ออกแบบไว้ ส่วนหนึ่งเนื่องจากอิทธิพลของการเกิดน้ำ ย้อนกลับจากทางน้ำเปิดแบบคอคอด แต่ส่วนใหญ่แล้วจะเนื่องมาจากการขาดการบำรุงรักษา ทางน้ำนั้น ซึ่งการขาดการบำรุงรักษาจะทำให้เกิดผลกระทบที่สำคัญต่ออัตราการไหลในอาคารประกอบต่าง ๆ ได้



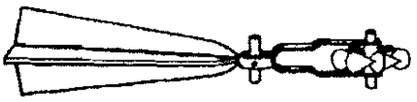
รูปที่ 2.4 ชนิดของอาคารชลประทานที่สามารถทำการปรับเทียบในสนามเพื่อวัดอัตราการไหล

2.2.1 การวัดอัตราการไหลในสนาม

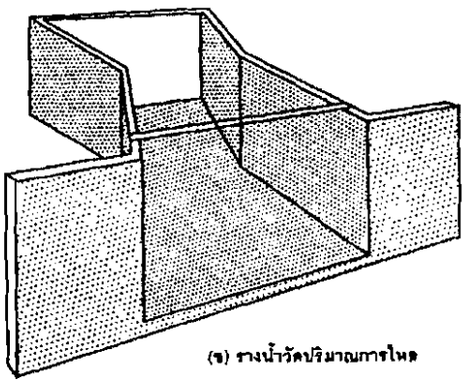
สำหรับอาคารประกอบทั้งหมดที่กล่าวถึงในที่นี้ สามารถเขียนสมการอัตราการไหลได้ในรูปหนึ่งหรือสองค่าของความลึกการไหลของน้ำและขนาดการเปิดบาน ดังนั้น ในระหว่างการปรับเทียบในสนาม ผู้วัดจะต้องวัดความลึกการไหลของน้ำ 1.2 จุด ควบคู่ไปกับอัตราการไหลและขนาดการเปิดบาน หลังจากการปรับเทียบภาคสนามเสร็จสิ้นลงแล้ว จะวัดเพียงความลึกการไหลของน้ำและขนาดการเปิดบาน และจะสามารถคำนวณอัตราการไหลได้โดยตรง

2.1 การวัดอัตราการไหลสำหรับการปรับเทียบในสนาม

วิธีวัดอัตราการไหล ซึ่งเป็นที่นิยมในระบบชลประทานมี 2 วิธี ได้แก่ (1) มาตรวัดกระแสน้ำและ (2) การวัดอัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำ เช่น รางน้ำแบบพาร์แชล หรือรางน้ำแบบไม่มีคอ (รูปที่ 2.4) มาตรวัดกระแสน้ำมักจะถูกใช้ในการวัดอัตราการไหลมากกว่า 500 ลิตรต่อวินาที ในทางตรงกันข้าม รางวัดน้ำชั่วคราวจะถูกใช้ในการวัดอัตราการไหลที่น้อยกว่าประมาณ 300.500 ลิตรต่อวินาที



(ก) มาตรวัดกระแสน้ำ

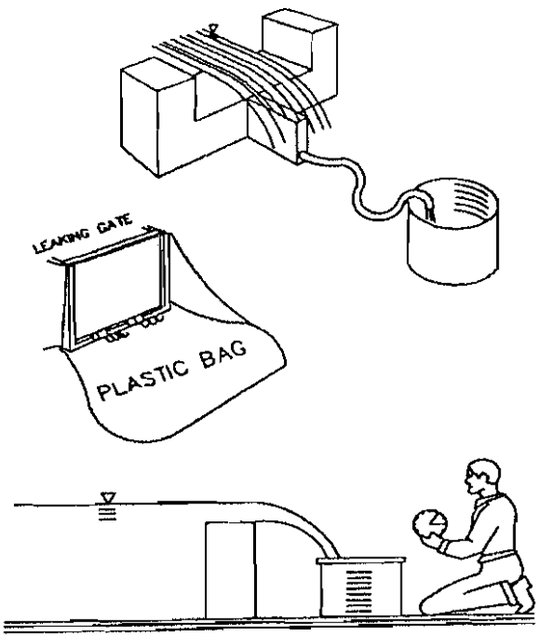


(ข) รางน้ำวัดปริมาณการไหล

รูปที่ 2.5 ชนิดของเครื่องมือที่ใช้วัดอัตราการไหลในคลองชลประทาน

บางครั้ง สำหรับอัตราการไหลที่มีค่าสูง (มากกว่า 20 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) เราสามารถใช้เทคนิคการเจือน้ำด้วยสีได้ (Dye Dilution Technigue) ด้วยเครื่องมือและสีที่ทันสมัย สามารถวัดได้ในหน่วยของส่วนต่อพันล้านส่วน (Parts Per Billion, Ppb) แทนที่จะเป็นหน่วยของส่วนต่อล้านส่วน (Parts Permillion, Ppm) ความยากของเทคนิคนี้อยู่ตรงที่การผสมสีลงไปในน้ำอย่างทั่วถึง ดังนั้น การฉีดสีด้วยอัตราคงที่ลงไปทางด้านเหนือน้ำของท่อเชื่อมโค้งลง หรืออาคารลดระดับก็จะสามารถช่วยได้

เทคนิคที่เป็นประโยชน์สำหรับการวัดอัตราการไหลอีกอันหนึ่งก็คือ การวัดปริมาตรน้ำ ยกตัวอย่างเช่น ถังหรือกระป๋องน้ำสามารถใช้ในการวัดอัตราการไหลของน้ำผ่านฝายเล็ก ๆ ได้ โดยการวัดในทำนองนี้หลาย ๆ ครั้งตลอดความกว้างของฝายก็จะทำให้เราสามารถบอกอัตราการไหลทั้งหมดได้ จะเห็นว่า เครื่องมือหลายอย่างสามารถนำมาใช้ในการวัดปริมาตรน้ำได้ (รูปที่ 2.6)



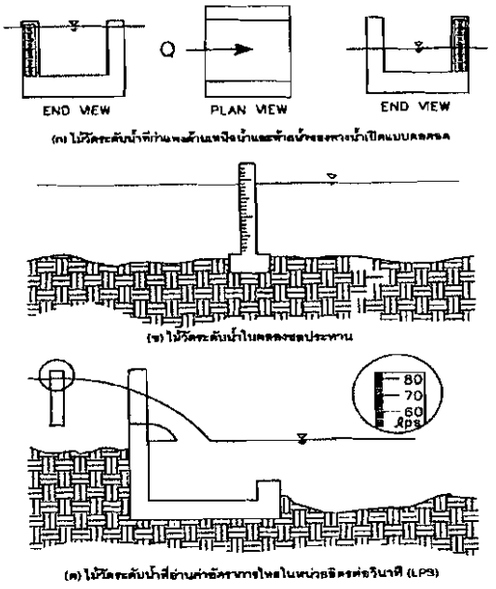
รูปที่ 2.6 การวัดอัตราการไหลโดยวิธีวัดปริมาตร

สำหรับการวัดอัตราการไหลที่มีค่าต่ำ (น้อยกว่า 1 ลิตรต่อวินาที) เราสามารถใช้ถุงพลาสติกในการวัดได้ หลังจากที่ปล่อยให้น้ำไหลเข้าไปในถุงเป็นเวลาหลายวินาทีหรือหลายนาที น้ำในถุงจะถูกนำไปตวง เพื่อที่จะได้ทราบปริมาตรน้ำในถุงพลาสติก ซึ่งเป็นวิธีการที่มีประโยชน์ที่ใช้สำหรับการวัดการรั่วซึมจากประตูน้ำ เมื่อปิดบานประตูเรียบร้อยแล้ว

หนังสือและคู่มือในการวัดปริมาณน้ำสามารถให้คำแนะนำได้มากมายทั้งในเรื่องของเทคนิค และเครื่องมือที่นำมาใช้ในการวัดอัตราการไหลของน้ำในช่วงที่มีการปรับเทียบในสนาม ถึงแม้ว่ามาตรวัดกระแสน้ำและรางวัดน้ำ จะเป็นที่นิยมใช้ในการวัดอัตราการไหลในระบบชลประทาน แต่ก็ยังมีเครื่องมือและเทคนิคอีกมากมายที่จะสามารถนำมาใช้ได้

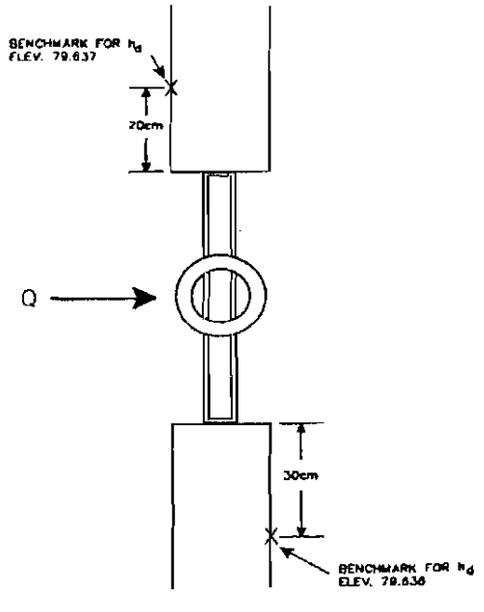
2.2 การวัดความลึกการไหล

ไม้วัดระดับน้ำมักจะนำมาใช้ในการวัดความลึกการไหลของน้ำ โดยจะวางไว้ติดกับผนังของอาคารชลประทาน หรือบนเสาที่ตั้งอยู่ตรงกลางคลองชลประทาน ข้อได้เปรียบเบื้องต้นของไม้วัดระดับน้ำก็คือง่ายต่อการอ่านค่า (รวมไปถึงเกษตรกรด้วย) ด้วยเหตุนี้ ไม้วัดระดับน้ำจึงมักทำให้อ่านค่าในหน่วยของลิตรต่อวินาที (lps) โดยตรงมากกว่าจะเป็นความลึกการไหลของน้ำ แต่ (1) วิธีนี้ใช้ได้ผลสำหรับการไหลอิสระ และ (2) แผ่นวัดระดับน้ำจะต้องถูกทำมาพิเศษสำหรับอาคารประกอบแต่ละชนิด (รูปที่ 2.7) และการวัด ก็จะต้องเปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาผ่านไป



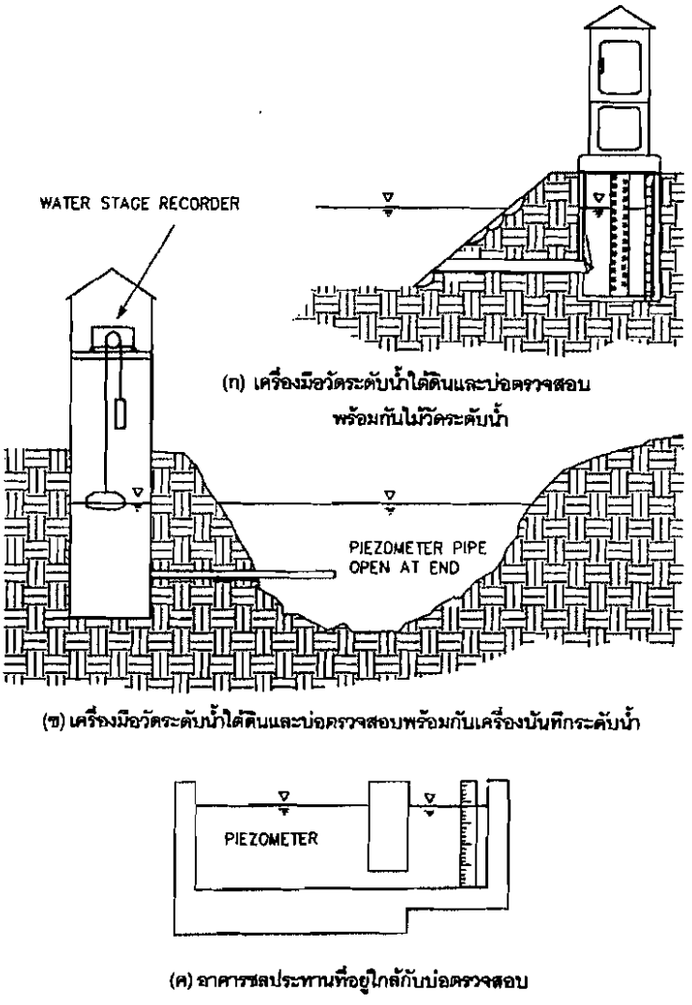
รูปที่ 2.7 ไม้วัดระดับน้ำชนิดต่าง ๆ

ข้อเสียที่สำคัญของไม้วัดระดับน้ำก็คือต้องทาสีใหม่ทุกปีหรือทุกสองปี เพราะว่าขีดระดับที่อยู่ในน้ำจะจางลงจนอ่านค่าไม่ได้ ด้วยเหตุนี้นอกจากการลงทุนติดตั้งไม้วัดระดับน้ำแล้ว ทางเลือกอื่นก็คือ การวัดจากหมุดหลักฐานที่อยู่บนผนังของอาคารประกอบนั้นลงไปถึงระดับผิวน้ำ โดยการใช้แถบวัดระยะ หมุดหลักฐานบนผนังจะต้องอ้างอิงกับระดับความลึกการไหลที่ศูนย์ (หมุดหลักฐานอ้างอิง) ในอาคารที่จะวัดนั้น เพื่อที่แถบวัดระยะจะสามารถให้ค่าความลึกการไหลที่ถูกต้องได้ โดยทั่วไป หมุดหลักฐานจะต้องทำสัญลักษณ์ลงบนพื้นดิน โดยการสลักผิวหรือทาสีก็ได้ ดังนั้น ในช่วงที่มีการปรับเทียบในสนาม สมุดบันทึกข้อมูลในสนามจะต้องถูกนำมาใช้ในการวาดรูปประกอบของตำแหน่งที่ตั้งหมุดหลักฐานแต่ละจุด (รูปที่ 2.8) ดังนั้น ข้อแนะนำในการบันทึกข้อมูลลงในสมุดบันทึกนั้นก็คือ ควรจะระลึกไว้เสมอว่า ผู้ที่จะอ่านสมุดเล่มนี้ในอีกหลายปีข้างหน้าควรจะเข้าใจถึงรายละเอียดต่างๆ ได้โดยง่าย และสามารถทำงานภาคสนามในลักษณะเดียวกันได้ โดยรวมไปถึงการทราบตำแหน่งของหมุดหลักฐานแต่ละจุดได้



รูปที่ 2.8 รูปภาพประกอบตำแหน่งของหมุดหลักฐานบริเวณด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำของประตูน้ำที่ทำการวัดความลึกการไหลในสนาม

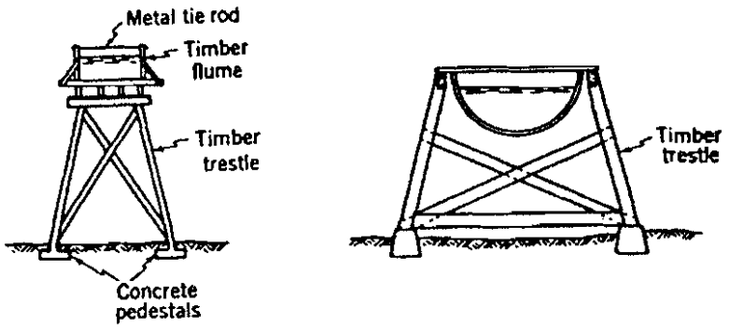
ถ้าหากระดับผิวน้ำ ณ จุดที่ทำการวัดความลึกการไหลไม่เรียบ มีการกระเพื่อมของผิวน้ำ ผู้วัดควรจะใช้ท่อเล็ก ๆ หรือเครื่องมือวัดระดับน้ำใต้ดิน (Piezometer) ต่อเข้ากับบ่อตรวจสอบ (Stilling Well) ท่อนี้สามารถต่อทะลุจากกำแพงของอาคารประกอบ หรือสามารถต่อเข้ากับคลองชลประทาน (รูปที่ 2.9) โดยทั่วไปแล้ว ท่อมักจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5.10 มิลลิเมตร ยิ่งกระแสน้ำปั่นป่วนมาก หรือยิ่งผิวน้ำมีการกระเพื่อมมากเท่าไร ขนาดของท่อจะต้องเล็กลง แต่ข้อเสียเปรียบในการใช้ท่อขนาดเล็กมากคือ (1) ท่ออุดตันได้ง่าย (2) ระดับน้ำในบ่อ ตรวจสอบเปลี่ยนแปลงช้ากว่าระดับน้ำจริงที่ต้องการวัด



รูปที่ 2.9 ชนิดของเครื่องมือวัดระดับใต้ดินที่ติดตั้งสำหรับการวัดความลึกของน้ำ

2.3 รางระบายน้ำ

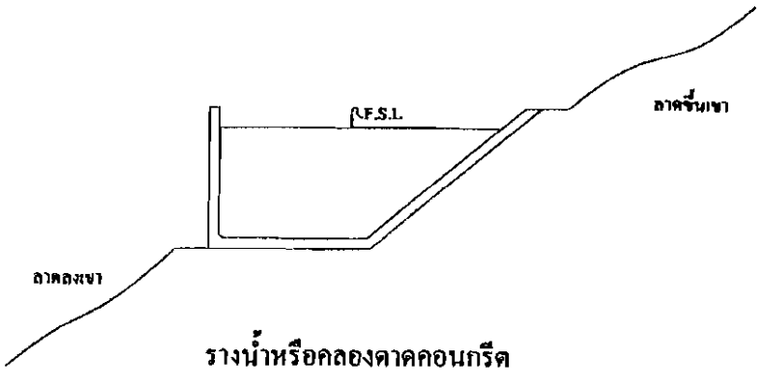
รางน้ำ คือ ทางน้ำเปิดที่สร้างด้วยไม้ คอนกรีต หรือโลหะ ซึ่งปกติมีฐานเหนือดิน รางน้ำจะใช้สำหรับลำเลียงน้ำข้ามลำธารหรือแม่น้ำธรรมชาติ หรือแนวที่เป็นหุบเขา เป็นต้น ซึ่งในการออกแบบรางน้ำจะต้องสามารถรับน้ำหนักตัวเองและน้ำหนักน้ำโดยมีพื้นและคานเป็นฐานรองรับ ซึ่งจะถ่ายแรงต่อไปยังตอม่อ (Piers) หรือโครงไม้ (Timber Trestle) และในบางครั้งยังจะต้องคิดแรงลมและน้ำหนักหิมะเข้าไปด้วย รางน้ำที่ใช้ไม้ก่อสร้างมักจะมีหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สามเหลี่ยมหรือครึ่งวงกลม ขนิดของไม้ที่ใช้ก็แตกต่างกัน แต่ที่ใช้กันมากมักจะใช้ไม้แดงหรือไม้จากต้นสน (Cypress) สำหรับรูปตัดทั่วไปของรางน้ำแสดงอยู่ในรูปที่ 2.1 และรางน้ำคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังรูปที่ 2.2



(ก) รางไม้ (ข) รางเหล็ก

รูปที่ 2.10 รางน้ำแบบต่าง ๆ

ในบางครั้งอาจจะมีฝาปิดรางน้ำ และคลองส่งน้ำเพื่อลดการระเหย มลภาวะ และการเยือกแข็งต่ำสุด และฝาปิดที่ดีจะต้องอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด เพื่อให้เกิดสภาพการไหลในทางน้ำเปิดตลอดเวลา



รางน้ำหรือคลองดาดคอนกรีต

รูปที่ 2.11 รางน้ำคอนกรีต

2.3.1 รางน้ำคอนกรีต (Concrete Flumes)

ถ้าได้คำนวณออกแบบและก่อสร้างได้ดีจริง ๆ แล้ว รางน้ำคอนกรีตเป็นรางน้ำที่ดีที่สุดในบรรดารางน้ำทุกชนิด แต่รางน้ำคอนกรีตก็มีราคาแพงที่สุด จึงเหมาะที่จะสร้างในคลองสายใหญ่ซึ่งส่งน้ำตลอดเวลาในฤดูชลประทาน

โดยทั่วไปรางน้ำคอนกรีตมีรูปตัดขวางเป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากที่ดัดแปลงเป็นรูปครึ่งวงกลมหรือรูปสามเหลี่ยมก็มีเหมือนกัน รางน้ำคอนกรีตขนาดใหญ่ต้องเป็นรางคอนกรีตเสริมเหล็กการสร้างรางน้ำคอนกรีตทำได้ 2 วิธี คือจะหล่อตัวรางโดยเทคอนกรีตลงในแบบ ณ ที่ก่อสร้าง (Cast in Place) หรือจะหล่อตัวรางไว้ก่อนเป็นท่อน ๆ (Precast Units) ก็ได้ เมื่อจะสร้างจึงค่อยนำไปประกอบกัน ณ ที่ก่อสร้าง การสร้างรางน้ำคอนกรีตโดยใช้คอนกรีตหล่อสำเร็จ มีข้อดีอยู่ประการหนึ่งคือ เมื่อรางท่อนใดชำรุดจะซ่อมแซมได้ง่ายและรวดเร็ว คือหยุดส่งน้ำผ่านรางน้ำเสียชั่วขณะ แล้วรีบนำเอารางท่อนที่หล่อไว้แล้วไปเปลี่ยนท่อนที่ชำรุดรางน้ำคอนกรีตรูปครึ่งวงกลมก็อาจใช้ส่วนที่หล่อสำเร็จซึ่งนำไปวางบนฐานคอนกรีตได้เช่นเดียวกัน

2.3.2 รางน้ำที่วางบนพื้นดิน (Bench Flumes)

รางน้ำทุกชนิดอาจสร้างขึ้นบนฐานรองรับไปตามพื้นดินที่มีความลาดเทได้ รางน้ำเหล่านี้ถ้ามีขนาดใหญ่จะทำด้วยคอนกรีต และโดยมากมีรูปตัดขวางเป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก แต่ที่ทำเป็นรูปครึ่งวงกลมก็มีบ้างเหมือนกัน รางน้ำบางแห่งมีพื้นเป็นคอนกรีต ลาดข้างรางด้านขึ้นเขา (Uphill Side) ดาดด้วยคอนกรีต ทางด้านลงเขา (Downhill Side) เป็นกำแพงคอนกรีตตั้งตรงรางน้ำซึ่งมีลักษณะดังกล่าวนี้บางทีเรียกว่าคลองดาดคอนกรีต เราอาจออกแบบรางน้ำที่วางบนพื้นดินให้มีพื้นเป็นคอนกรีตและมีกำแพงคอนกรีตตั้งตรงสองข้างรางก็ได้ ตามปกติข้างหลังกำแพงคอนกรีตด้านขึ้นเขาของรางน้ำประเภทนี้เป็นดินถมอัดแน่น ส่วนกำแพงคอนกรีตด้านลงเขาตั้งไว้เฉย ๆ แต่บางทีอาจมีดินถมอัดแน่นข้างหลังกำแพงคอนกรีตทั้งสองข้าง หรือไม่ถมดินเลยก็ได้ รางน้ำที่ตั้งบนพื้นดินเหล่านี้ควรสร้างไว้บนพื้นดินตามธรรมชาติที่ขุดหรือแต่งไว้อย่างดีบนดินถมอัดแน่น หรือบนฐานรองรับอย่างอื่น

2.3.3 ส่วนหรือระยะเผื่อล้นรางน้ำ (Freeboard in Flumes)

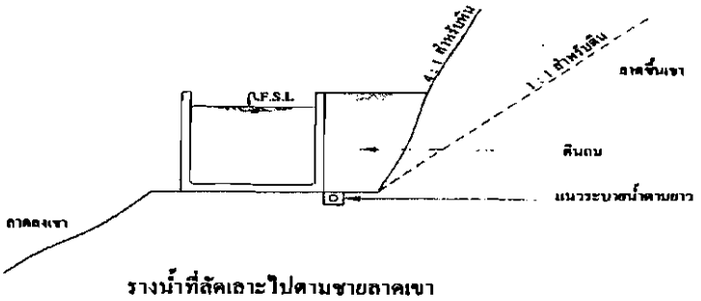
ระยะเผื่อล้นของรางน้ำคือระยะจากระดับน้ำสูงสุดในรางถึงระดับยอดกำแพงข้างรางระยะเผื่อล้นนี้ ต้องสูงพอที่น้ำจะไม่ล้นข้ามกำแพงข้างรางในขณะส่งน้ำผ่านรางเต็มที่ ตามปกติระยะเผื่อล้นของรางน้ำจะมีค่าต่าง ๆ กัน จาก 0.05 เมตร (สำหรับรางน้ำขนาดเล็ก) ถึง 0.60 เมตร (สำหรับรางน้ำขนาดใหญ่)

รางน้ำบางแห่งมีระยะเผื่อล้นสูงเป็นพิเศษเช่น รางน้ำที่มีน้ำไหลในรางแรงมาก รางน้ำที่มีโค้งของรางแคบ รางน้ำที่มีเศษสิ่งของไหลลอยน้ำมามากและตัวรางมีคานขวาง ซึ่งเศษสิ่งของอาจจะลอยมาติดไว้ รางน้ำที่สร้างในท้องถิ่นที่มีลมพัดแรงมาก รางน้ำที่มีการอัดน้ำ ในคลองหรือมีสภาพอื่นซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ระดับน้ำในรางสูงขึ้นกว่าปกติมาก ถ้าน้ำไหลล้นข้ามกำแพงข้างรางได้อาจทำความเสียหายแก่ตอม่อ ฐานราก หรือฐานที่รองรับรางเพราะฉะนั้นรางน้ำดังกล่าวนี้จึงต้องมี ระยะพ้นน้ำสูงกว่าธรรมดา อย่างไรก็ดีถ้ามีทางน้ำล้นอัตโนมัติ (Automatic Spillway) หรือทางทิ้งน้ำ (Wasteway) สร้างไว้ด้านหน้าปากทางเข้ารางแล้ว ก็ไม่จำเป็นต้องใช้ระยะเผื่อล้นของรางน้ำสูงเป็นพิเศษแต่อย่างใด

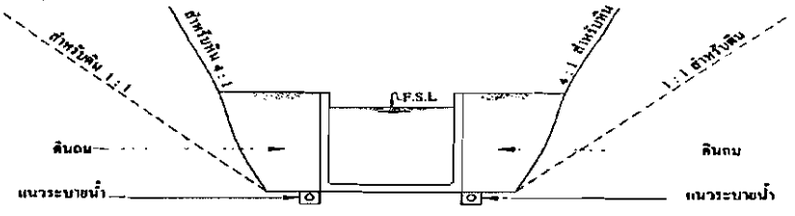
ผู้ออกแบบรางน้ำรูปครึ่งวงกลมบางคนใช้ระยะเผื่อล้นเท่ากับ1นิ้วสำหรับความลึกของน้ำในรางทุก 1 ฟุต + 2 นิ้ว ดังนั้น ถ้าน้ำในรางลึก 3 ฟุต

ระยะเผื่อล้น = 3 (1 นิ้ว) + 2 นิ้ว

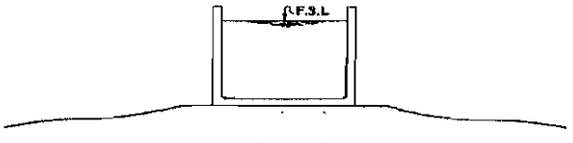
= 5 นิ้ว หรือ 0.125 เมตร



รางน้ำที่ลัดเลาะไปตามชายลาดเขา



รางน้ำผ่านภูเขาเตี้ยหรือที่เนิน



รางน้ำผ่านพื้นที่ต่ำ

รูปที่ 2.12 รางน้ำที่สร้างในภูมิประเทศชนิดต่าง ๆ

ผู้ออกแบบบางคนใช้สูตรคำนวณระยะเผื่อล้นโดยมีเฮดความเร็ว (Velocity Head) เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย สมการทั่วไปที่ใช้หาระยะเผื่อล้นที่น้อยที่สุดสำหรับรางน้ำโลหะรูปครึ่งวงกลม (United Nations , 1973) คือ

$$F = 0.10\,D(0.90 + 0.10h_v) \quad .....(2.3)$$

ในเมื่อ F = ระยะเผื่อล้นน้อยสุด

D = เส้นผาศูนย์กลางของรางน้ำ

h_v = เฮดความเร็ว

เนื่องจากความลึกของรางน้ำรูปครึ่งวงกลมเท่ากับครึ่งหนึ่งของเส้นผ่าศูนย์กลาง จึงเขียนสมการ (3.1) ได้ใหม่ดังนี้ (United Nations , 1973)

$$F = 0.20d'(0.90 + 0.10h_v) \quad .....(2.4)$$

ในเมื่อ d' = ความลึกที่ไม่ถูกกีดขวางจากขอบรางน้ำลงไป หรือจากท้องคานขวางของรางน้ำลงไปจนถึงก้นราง

ดังนั้นความลึกของน้ำในราง (d) ขณะส่งน้ำเต็มที่จึงเท่ากับความลึกที่ไม่ถูกขีดขวาง (d') ลบด้วยระยะเผื่อล้น (F) ของรางน้ำ สมการ (2.4) นี้อาจใช้กับรางน้ำรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากและรางน้ำไม้ที่มีเหล็กรัดได้ด้วยกรมชลประทานมีสูตรหาระยะเผื่อล้นของรางน้ำและของอาคารชลประทานทุกชนิดดังนี้

$$F = 0.15\,d + 0.20 \text{ เมตร} \quad .....(2.5)$$

ในเมื่อ F = ระยะเผื่อล้นน้อยสุดเป็นเมตร

d = ความลึกมากที่สุดของน้ำในรางหรือของน้ำด้านเหนืออาคารชลประทานทุกชนิดเป็นเมตร

เรื่องที่เกี่ยวกับรางน้ำนอกจากนี้ก็คงมีแต่การพิจารณาเกี่ยวกับความมั่นคงของราง เช่น การรับน้ำหนัก การป้องกันการทรุดตัว การคำนวณความแข็งแรงของพื้นและกำแพงด้านข้างของรางระบายน้ำ

ได้กล่าวมาแล้วว่าเราอาจจะสร้างรางน้ำให้คลองส่งน้ำไหลข้ามลำน้ำธรรมชาติหรือให้ลำน้ำธรรมชาติไหลข้ามคลองส่งน้ำก็ได้ คือถ้าฝายใดมีระดับท้องน้ำสูงกว่าระดับน้ำสูงสุดของอีกฝายหนึ่ง และมีปริมาณน้ำน้อยกว่าอีกฝายหนึ่งแล้วควรสร้างรางน้ำให้ฝายนั้นไหลข้ามอีกฝายหนึ่งไป

แต่ถ้าระดับท้องน้ำของทั้งสองฝายต่างก็ไม่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุดของอีกฝายหนึ่ง ก็ไม่ควรสร้างราง น้ำควรจะสร้างท่อเชื่อม (Siphons) แทนจะปลอดภัยกว่า

หลักการคำนวณขนาดและความมั่นคงของรางน้ำก็คล้ายกับของคลองส่งน้ำ คือ

1. รางน้ำจะต้องโตพอที่จะให้ปริมาณน้ำมากที่สุดของคลองส่งน้ำ หรือของลำน้ำธรรมชาติ (แล้วแต่กรณี) ไหลไปตามรางได้โดยน้ำไม่ล้นข้ามกำแพงข้างราง

2.การคำนวณอัตราเร็วของน้ำที่ไหลในรางคงใช้สูตรกัตเตอร์หรือสูตรแมนนิ่ง แต่จะใช้ลาดผิวน้ำในรางหรือลาดตามยาวของราง (S') ซันกว่าลาดตามยาวของคลองส่งน้ำหรือของลำน้ำธรรมชาติ (แล้วแต่กรณี) ที่ส่งน้ำไหลไปตามรางนั้นมาก คือใช้ลาด 1:100 ถึง 1:500 เท่านั้น และสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n) ของรางน้ำจะมีค่าต่างกันตามชนิดของวัสดุที่ใช้ทำรางตามที่ได้ให้ไว้แล้วใน ตารางที่ 2.1

3.ระดับท้องคานหรือระดับใต้พื้นรางน้ำจะต้องสูงกว่าระดับน้ำสูงสุดของลำน้ำธรรมชาติหรือของคลองส่งน้ำ (แล้วแต่กรณี) ที่รางนั้นทอดข้ามไป

4.ช่วงต่อเชื่อมตัวรางน้ำกับคลองส่งน้ำหรือกับลำน้ำธรรมชาติ (แล้วแต่กรณี) ทางด้านข้างราง (Inlet Transition) และทางด้านออกจากราง (Outlet Transition) ต้องทำให้สอบเรียบเข้ามาและผายออกไปทีละน้อยตามสมควรเพื่อให้น้ำไหลเข้ารางและไหลออกจากรางได้สะดวก ถ้าสร้างเป็นกำแพงขวางตั้งฉากกับทางน้ำไหลไว้ที่ปากทางเข้าแล้วน้ำอาจจะเอ่อล้นและเกิดกระแสน้ำปั่นป่วนที่ปากทางเข้ารางได้

2.3.4 สิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการระบายน้ำสำหรับพื้นที่เมือง

สิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการระบายน้ำสำหรับพื้นที่ในเมืองประกอบด้วยรางระบายน้ำข้างถนน ทางน้ำเข้าข้างถนน บ่อพักน้ำ และอาคารทางออก ซึ่งมีรายละเอียดของสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. รางระบายน้ำข้างถนน (Street Gutter)

ขีดความสามารถของรางระบายน้ำที่จะระบายน้ำได้ด้วยอัตราการไหลเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับ รูปร่างความลาด และความขรุขระของรางระบาย ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการไหลได้โดยใช้สมการของ Manning อย่างไรก็ตามค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n) จะต้องได้รับการปรับแก้โดยรวมผลของการไหลนองจากถนนเข้าสู่รางระบายน้ำข้างถนนด้วย ซึ่งเป็นการไหลในแนวกว้างความลึกน้อย และมีการเปลี่ยนแปลงความลึกของผืนน้ำ ทำให้รูปแบบการไหลไม่สมมาตร และขอบเขตของความเค้นเฉือน (Boundary Shear Stresses) มีการกระจายไม่แน่นอน

สำหรับรางระบายน้ำคอนกรีตที่มีการปรับสภาพผิวที่ดีนั้น จะมีสัมประสิทธิ์ ความขรุขระประมาณ 0.016 แต่ถ้ารางระบายน้ำคอนกรีตที่ไม่มีการปรับผิวหรือมีรอยแตกต่าง ๆ จะทำให้ค่า n สูงขึ้นตามสภาพ โดยปกติแล้วรางระบายน้ำจะสร้างเป็นรางที่มีความลาดด้านข้าง (Transverse slope) 1 ต่อ 20 โดยมีความสูงของขอบทางเท้าประมาณ 6 in (15 cm) ซึ่งจะมี ความกว้างของรางระบายน้ำประมาณ 10 ft (3 m) เมื่อไม่คิดระยะเผื่อน้ำล้น

สมมติฐานของการไหลแบบสม่ำเสมอในรางระบายน้ำ จะไม่ถูกต้องทีเดียว ทั้งนี้เพราะในสภาพจริงแล้วตลอดแนวยาวของรางระบายน้ำจะมีน้ำที่ไหลสะสมที่ไม่สม่ำเสมอ ทำให้ความลึกและความเร็วเพิ่มขึ้นตามความลาดลงของรางระบายน้ำ และความลาดของเส้นระดับ พลังงานค่อนข้างราบเมื่อเทียบกับความลาดของรางระบายน้ำ ซึ่งโดยทั่วไปพบว่า ถ้ารางระบายน้ำมีความลาด 0.01 จะมีผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนของผลคำนวณอัตราการไหลประมาณ 3% และความคลาดเคลื่อนจะเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อความลาดน้อยลง ซึ่งอัตราการไหลในรางระบายน้ำจะน้อยกว่าที่คำนวณได้จากสมการของ Manning มาก สำหรับในบริเวณทางเข้า (Inlet) จะมีน้ำจากรางระบายน้ำไหลลงมารวมสะสมเกิดเป็นแอ่งน้ำในรางระบายน้ำ ความลึกของผืนน้ำจะถูกควบคุมด้วยคุณลักษณะของทางเข้ามากกว่าลักษณะทางชลศาสตร์ของรางระบายน้ำ

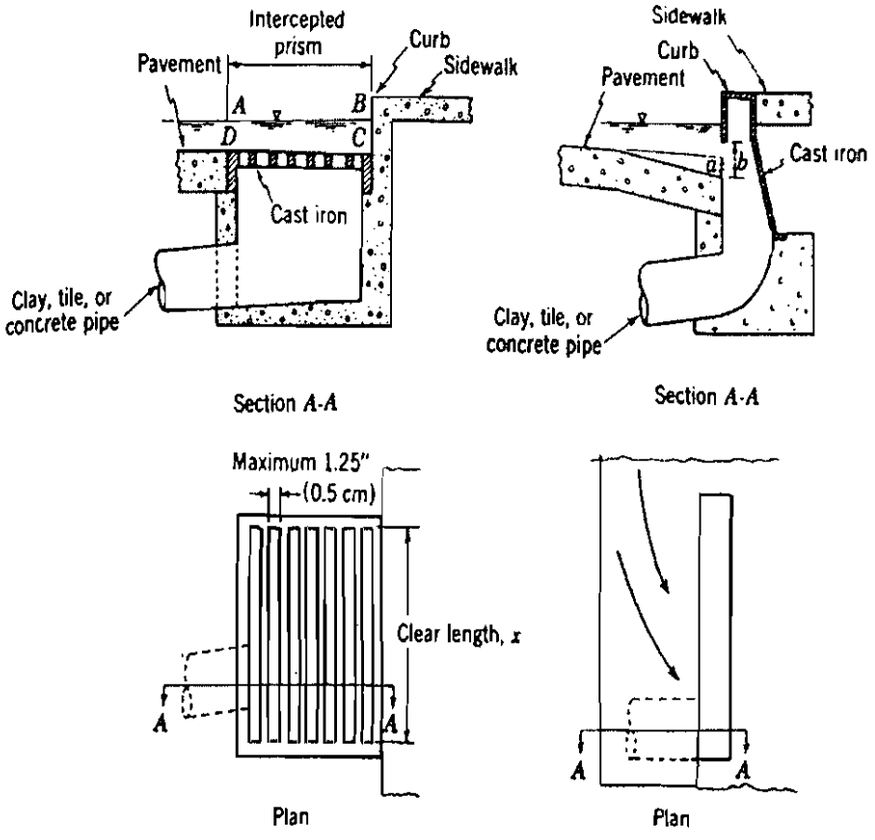
2. ทางน้ำเข้าข้างถนน (Street Inlet)

น้ำที่ไหลจะระบายจากถนนลงมารวมยังทางน้ำเข้าข้างถนนซึ่งจะไหลลงสู่ท่อหรือรางระบายน้ำที่อยู่ใต้ดินต่อไป โดยลักษณะทางเข้าสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

- ทางน้ำเข้าแบบตะแกรงที่พื้นถนน (Grated Inlet) มีลักษณะเป็นช่องเปิดที่มีตะแกรงดักดังรูปที่ 3.4 (ก)

- ทางน้ำเข้าแบบช่องเปิดที่ขอบทาง (A Curb.Opening Inlet) มีลักษณะดังรูปที่ 2.13 (ข) โดยจะเป็นผิวขอบทางเปิดช่องให้น้ำไหลลงสู่ระบบท่อในลักษณะคล้าย ๆ กับ ฝายน้ำล้น ที่มีการไหลเข้าด้านข้าง

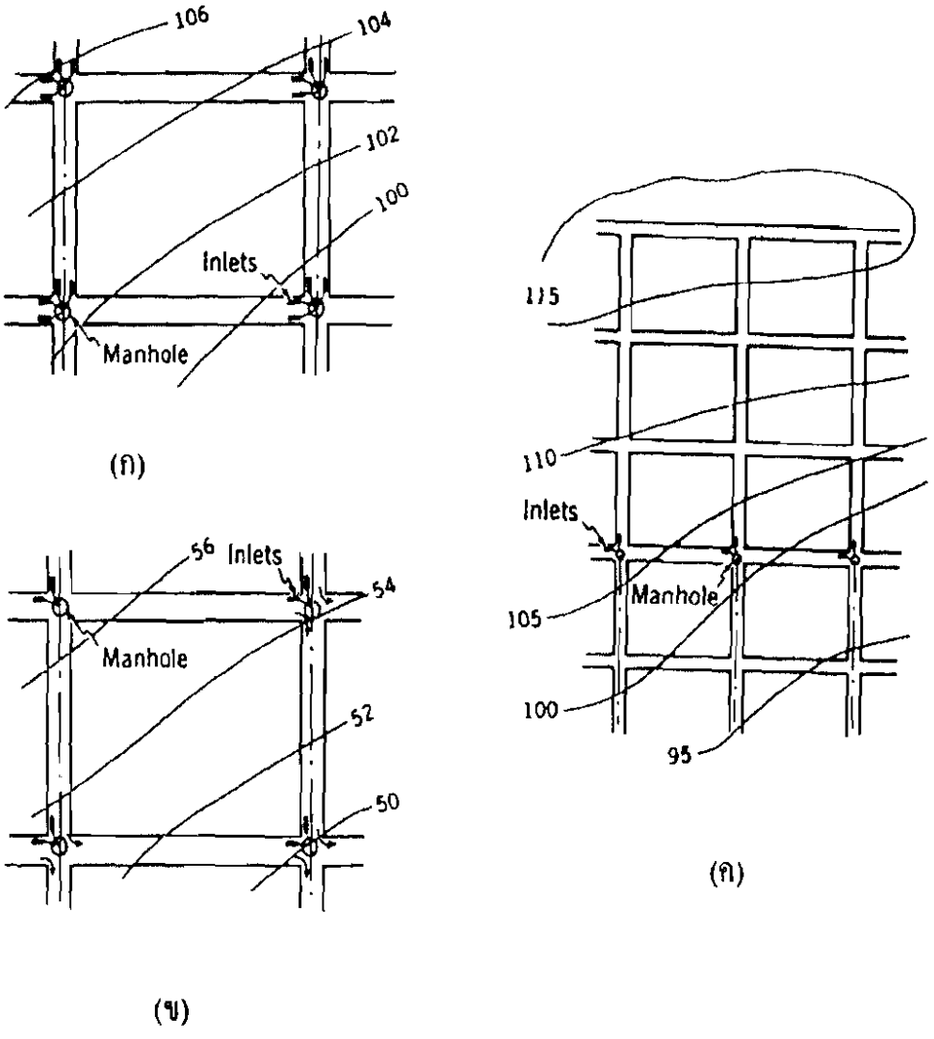
ตำแหน่งของทางน้ำเข้าข้างถนน มีแนวทางในการพิจารณากว้างมาก โดยจะขึ้นอยู่กับการตัดสินใจของผู้ออกแบบ ดังเช่น ในกรณีวางถนนที่สำคัญจะกำหนดให้ความกว้างสูงสุดของการไหลในรางระบายน้ำ 6 ft (1.8 m) ในทางตัด 4 แยก ควรจะมีทางเข้า 4 แห่ง ดังรูปที่ 3.5 (ก)



(ก) ทางน้ำเข้าแบบตะแกรง (ข) ทางน้ำเข้าแบบช่องเปิดที่ขอบทาง

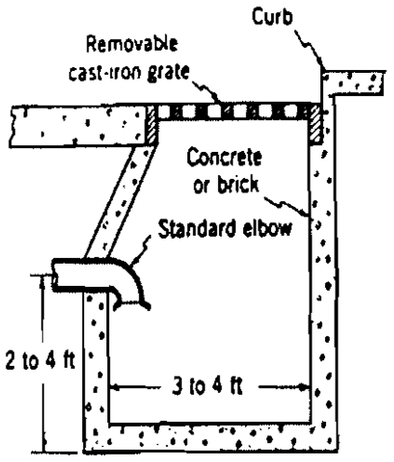
รูปที่ 2.13 ลักษณะทางน้ำเข้าข้างถนน

โดยการไหลจะรวมมายังจุดรวม 1 จุด ก่อนจะไหลในระบบท่อใต้ดินต่อไป และถ้าเป็นที่เชิงเขาก็อาจจะเหลือทางเข้าเพียง 2 จุด ดังรูปที่ 2.14 (ข) เพราะถือว่าน้ำส่วนหนึ่งจะระบายบนผิวดินแล้วและในบางพื้นที่ ก็อาจจะออกแบบทางเข้าเฉพาะในพื้นที่ที่เป็นที่อยู่อาศัยหรือพื้นที่ที่สำคัญเท่านั้น ดังรูปที่ 2.14 (ค)



รูปที่ 2.14 การจัดวางตำแหน่งทางน้ำเข้าข้างถนน

ในบางครั้งจะออกแบบทางน้ำเข้าเป็นลักษณะของจุดรวมของพื้นที่รับน้ำหรือบ่อพัก (Catch Basins) ดังรูปที่ 2.15 ซึ่งจะเห็นได้ว่าทางน้ำเข้าจะมีตะแกรงดักขยะ และที่บ่อพักน้ำจะวางท่อเหนือระดับท้องบ่อ เพื่อดักขยะและตะกอนที่ไหลเข้ามาทำให้สามารถทำความสะอาดได้ง่าย



รูปที่ 2.15 ทางน้ำเข้าและบ่อพัก

1. ทางน้ำเข้าแบบตะแกรงที่พื้นถนน (Grated Inlet)

ทางน้ำเข้าแบบตะแกรงที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดนั้น จะต้องมีตะแกรงเหล็กขนานกับขอบถนน และมีความยาวของช่องเปิดที่ห่างพอที่จะให้น้ำไหลตกลงไปได้ ซึ่งจากการทดลองพบว่าความยาวของช่องเปิด (Clear Length : x) สามารถหาได้จาก

ระบบหน่วย SI $x = 0.94\ Vy^{1/2}$ 2.6

ระบบหน่วยอังกฤษ $x = \frac{V}{2}y^{1/2}$ 2.7

โดยที่ V คือ ความเร็วเฉลี่ยของปริมาตรการไหลที่ตะแกรงจะรับได้ (ช่วง ABCD ในรูปที่ 3.4 (ก)

และ y คือ ระยะจากผิวน้ำถึงขอบล่างของตะแกรง

การวางตะแกรงมักจะวางในแนวขนานกับขอบทางและมีความกว้างของช่องเปิดแต่ละช่อง ไม่เกิน 1 in หรือ 2.5 cm เพื่อป้องกันไม่ให้ล้อรถจักรยานหล่นลงไป

ถ้ามีน้ำขังอยู่เหนือตะแกรงไม่มาก เช่น มีน้ำสูงไม่เกิน 0.4 ft หรือ 12 cm การไหลของน้ำลงผ่านช่องเปิดของตะแกรงจะมีพฤติกรรมเป็นการไหลผ่านฝายน้ำล้น (Weir) ที่มีความยาว L เท่ากับผลรวมของเส้นขอบตะแกรงที่น้ำจะไหลลงและมีสัมประสิทธิ์การไหล C_w ประมาณ 3.0

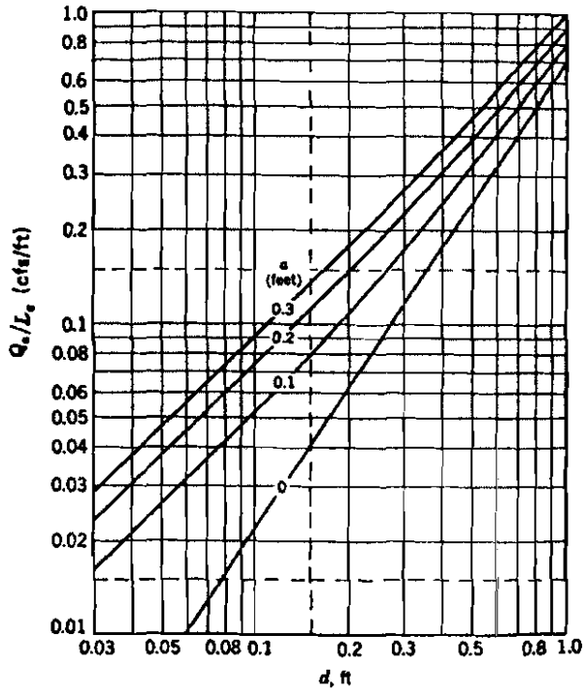
ถ้ามีน้ำขังอยู่เหนือตะแกรงมาก เช่น มีน้ำสูงเกินกว่า 1.4 ft หรือ 0.4 m การไหลของน้ำลงผ่านช่องเปิดของตะแกรงจะมีพฤติกรรมเป็นการไหลผ่านรูระบาย (Orifice) ที่มีพื้นที่หน้าตัดการไหลเท่ากับพื้นที่ระหว่างช่องเปิดของตะแกรงโดยมีความสูงน้ำ h เท่ากับความลึกของน้ำ ตั้งแต่ขอบบนของตะแกรงจนถึงผิวน้ำและมีสัมประสิทธิ์อัตราการไหล C_d ประมาณ 0.6

สำหรับในกรณีที่มีน้ำขังอยู่เหนือตะแกรงปานกลาง เช่น ประมาณ 0.4 ft ถึง 1.4 ft หรือ 0.1m ถึง 0.4 m จะมีพฤติกรรมการไหลผ่านช่องเปิดของตะแกรงแบบผสมระหว่างฝายน้ำล้น กับการไหลแบบรูระบาย

2.ทางน้ำเข้าแบบช่องเปิดที่ขอบทาง (Curb – Opening Inlet)

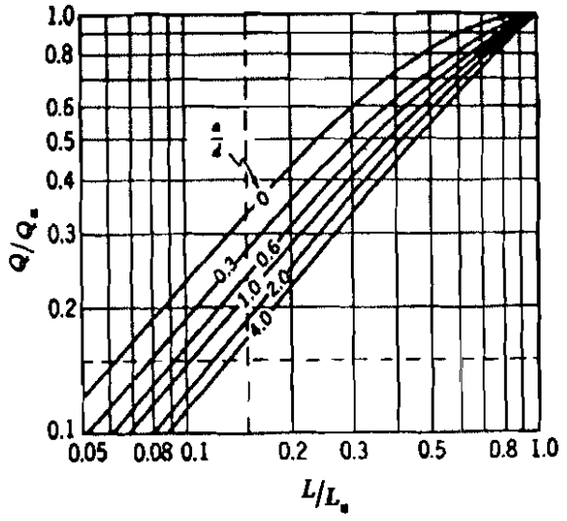
ทางน้ำเข้าแบบช่องเปิดที่ขอบทาง เป็นทางน้ำเข้าที่รับน้ำที่ไหลมาจากถนนเพื่อส่งต่อลงรางหรือท่อระบายน้ำที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปในพื้นที่เมือง ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 2.13 โดยรูปที่ 2.16 ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกน้ำที่ขอบทาง (d) ระยะ (a) และอัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลในราง (Q_a) กับความยาวของทางน้ำเข้า (L_a) ที่มีอัตราการไหล (Q_a) โดยที่ระยะ a ปกติมีค่าประมาณ 0.2 ft หรือ 6 cm

ถ้าความยาวของทางน้ำเข้าจริงเป็น L ซึ่งน้อยกว่า L_a จะทำให้ทางน้ำเข้ารับน้ำได้น้อยลง คือสามารถรับน้ำได้ด้วยอัตราการไหล Q ซึ่งรูปที่ 2.17 ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Q/Q_a กับ L/L_a และ a/d



ความสัมพันธ์ระหว่าง d , a และ Q_a / L_a

รูปที่ 2.16 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล ความลึกน้ำ และขนาดของทางน้ำเข้าแบบ ช่องเปิดที่ขอบทาง (ใช้เฉพาะระบบหน่วยอังกฤษที่มีอัตราการไหลเป็น cfs และขนาดระยะต่าง ๆ เป็น ft เท่านั้น)



ความสัมพันธ์ระหว่าง L/L_a , a/d และ Q/Q_a

รูปที่ 2.16(ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล ความลึกน้ำ และขนาดของทางน้ำเข้าแบบช่องเปิดที่ขอบทาง (ใช้เฉพาะระบบหน่วยอังกฤษที่มีอัตราการไหลเป็น cfs และขนาดระยะต่าง ๆ เป็น ft เท่านั้น)

ถ้าการไหลเกิดแอ่งน้ำสะสมที่ทางเข้า และความสูงน้ำน้อยกว่าความสูงช่องเปิดที่ขอบทาง สภาพการไหลจะมีลักษณะเหมือนกับการไหลผ่านฝายน้ำล้น โดยมีสัมประสิทธิ์อัตราการไหลประมาณ 3.1 แต่ถ้าความสูงน้ำในแอ่งน้ำมากกว่าความสูงของช่องเปิดเกินกว่า 2 เท่า สภาพการไหลจะมีลักษณะเหมือนกับการไหลผ่านรูระบายที่มี C_d = 0.7 ซึ่งสามารถหาอัตราการไหลได้

ระบบหน่วย SI $Q = 3.1Lbh^{0.5}$ .....(2.8)

ระบบหน่วยอังกฤษ $Q = 5.62Lbh^{0.5}$ .....(2.9)

โดยที่ b คือ ความสูงของช่องเปิด

และ h คือ ความลึกน้ำเหนือระดับกึ่งกลางของช่องเปิด

2.3.5 หลักการออกแบบขนาดของท่อระบายหรือรางระบายน้ำ

เมื่อคำนวณหาปริมาณน้ำที่จะต้องระบาย คือ ปริมาณน้ำท่า ปริมาณน้ำเสียหรือน้ำทิ้ง และปริมาณน้ำซึมเข้าท่อได้แล้ว ขั้นต่อไปก็คือนำค่าที่ได้ไปออกแบบขนาดหน้าตัดของ รางระบายน้ำแต่ละประเภท เพื่อให้รับรองอัตราการไหลทั้งหมดได้ตามต้องการ

072824

โดยปกติการไหลในท่อระบายน้ำจะมีอยู่ 2 กรณี คือ การไหลเต็มท่อซึ่งถือว่า เป็นการไหลภายใต้แรงดัน อีกกรณีคือ การไหลไม่เต็มท่อซึ่งถือว่าเป็นการไหลในรางระบายเปิด ดังนั้นการออกแบบจึงต้องอาศัย การประยุกต์สมการของการไหลแต่ละแบบมาใช้ให้ถูกต้อง ดังการออกแบบรางระบายน้ำแบบเปิด (Open Channel) จะอาศัยสมการของ Manning ที่ใช้กับการไหลสม่ำเสมอ

2.3.6 เกณฑ์และข้อกำหนดในการออกแบบระบายระบาย

ในการออกแบบท่อระบายน้ำ นอกจากจะต้องออกแบบหน้าตัดของท่อหรือ รางระบายให้สามารถรองรับอัตราการระบายรวมทั้งหมดได้แล้วยังมีสิ่งอื่น ๆ ที่จะต้องพิจารณาและคำนึงถึงดังนี้

1.ความเร็วต่ำสุดของการไหล เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการตกตะกอนรวมทั้ง ป้องกันและลดการเกิดก๊าซไข่เน่า โดยเมื่อน้ำไหลเกินครึ่งท่อ ค่าที่แนะนำใช้สำหรับท่อน้ำเสียคือ 0.6 m/sec และ 0.9 m/sec สำหรับท่อน้ำฝนที่เป็นคอนกรีต

2.ความเร็วสูงสุดของการไหล เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการกัดกร่อนผนังท่อค่าที่แนะนำคือไม่เกิน 3m/sec สำหรับท่อคอนกรีต

3.ขนาดเส้นผ่าศูนย์ต่ำสุดของท่อระบายไม่ควรน้อยกว่า 20 cm

4.ความลึกของระดับน้ำในท่อระบาย จะต้องไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของท่อ แต่ในการออกแบบทั่วไปมักออกแบบให้เป็นการไหลเต็มท่อพอดีโดยถือว่าการไหล ณ จุดนั้นยังคงเป็นการไหลในรางเปิด ได้ว่า R = A/P = D/4 แล้วนำไปแทนค่าในสมการของ Manning มาใช้หาขนาดของท่อ

5.ความลาดของท่อ โดยปกติมักกำหนดค่าความลาดของท่อให้น้อยที่สุดเพื่อให้งานขุดดินน้อยที่สุด แต่ขณะเดียวกันจะต้องไม่ลืมว่าความเร็วของการไหลในท่อก็จะต้องไม่น้อยเกินไปจนทำให้เกิดการตกตะกอนในท่อได้ ค่าความลาดที่น้อยที่สุดที่ยอมให้ต้องไม่น้อยกว่า 0.0008 หรือ 1:1250

ตามข้อกำหนดของพระราชบัญญัติการจัดสรรที่ดิน พ.ศ. 2535 กำหนดไว้ว่า ท่อระบายน้ำรวมที่มีขนาด Ø 0.40 m จะต้องวางให้มีความลาดไม่น้อยกว่า 1:500 ส่วนท่อที่มีขนาดโตกว่านี้ให้ใช้ความลาด 1:1000

2.3.7 การระบายน้ำสำหรับถนน (Highway Drainage)

ในหัวข้อนี้จะได้กล่าวถึงการระบายน้ำสำหรับถนน ประกอบด้วยการออกแบบอัตราการไหลสำหรับการระบายน้ำของถนน การระบายน้ำตามแนวยาวของถนน (Longitudinal Drainage) การระบายน้ำข้ามถนน (Cross Drainage) ท่อลอด (Culverts) ทางเข้าและทางออกของท่อลอด

(Culvert Inlets And Outlets) โครงสร้างดักวัตถุ (Debris Barriers) ชลศาสตร์การไหลผ่านท่อลอด (Culvert Hydraulics) และชลศาสตร์การไหลลอดสะพาน (Bridge Hydraulics) ซึ่งมีรายละเอียดในแต่ละหัวข้อ

2.3.8 การออกแบบอัตราการไหลสำหรับการระบายน้ำบนถนน (Design Flowe For Highway Drainage)

ในการออกแบบอัตราการไหลสำหรับการระบายน้ำบนถนน มักจะกำหนดเวลาที่น้ำไหลตามขวางของผิวถนนโดยใช้สมการของ Izzard ที่ได้เคยกล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2.19.3 จากหนังสือวิศวกรรมชลศาสตร์เล่มที่ 1 โดยอัตราการไหลสูงสุดต่อ 1 หน่วยความยาวของถนน (Peak Flow Per Unit Length Of Pavement) สามารถหาได้จาก

$$\text{อัตราการไหลสูงสุด } q = \frac{iL}{43{,}200} \qquad \text{.....(2.10)}$$

โดยที่ q คืออัตราการไหลสูงสุดต่อ 1 หน่วยความยาว (Cfs/ft)

i คือ ความเข้มฝน (in/hr) สำหรับช่วงเวลา (Duration) เท่ากับเวลาถึงสมดุลย์ (Time To Equilibrium, t_e) ตามรอบปีการเกิดซ้ำ (Retum Period) ที่ออกแบบ

และ L คือ ความยาวตามทิศทางการไหล (ft) ซึ่งปกติจะมีทิศทางการไหลตั้งฉากกันเส้นระดับขั้นความสูง (Contours)

ในกรณีที่ i มีหน่วยเป็น mm/hr, L มีหน่วยเป็น m และ q มีหน่วยเป็น cms/m สามารถหาอัตราการไหลสูงสุดต่อความยาว 1 m ได้จาก

$$\text{อัตราการไหลสูงสุด } q = \frac{iL}{3.6\times10^{6}} \qquad \text{.....(2.11)}$$

ความยาวของการไหลบนพื้นผิว L สามารถวัดได้จากเส้นที่ตั้งฉากกับเส้นระดับขั้นความสูงหรือคำนวณได้จาก

$$L \approx \frac{w\left(r^2+1\right)^{1/2}}{r} \qquad \text{.....(2.12)}$$

เมื่อ w คือ ความกว้างของพื้นผิวจากจุดสูงสุดของพื้นผิวไปยังขอบทางที่น้ำไหลออก

และ r คือ อัตราส่วนระหว่างความลาดตามขวาง (Cross Slope) ต่อความลาดตามแนวยาวของพื้นผิว (Longitudinal Slope)

ถ้าพิจารณาพื้นผิวที่มีระยะทางไม่มากและมีความลาดชัน (Steep Slopes) สามารถหาอัตราการไหล เพื่อออกแบบคูข้างถนนได้โดยการคูณ q ด้วยความยาวพื้นผิวส่วนในกรณีที่ความยาวคูข้างถนนมีความยาวมาก และความลาดไม่มากควรจะมีการคำนวณ ในลักษณะของการไหลหลาก (Routing)

เกณฑ์ทั่วไปสำหรับกำหนดรอบปีการเกิดซ้ำ ที่ใช้ในการออกแบบระบบระบายน้ำของถนน ท่อลอด และสะพาน ได้สรุปไว้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.2 รอบปีการเกิดซ้ำในการออกแบบระบบระบายน้ำของถนนท่อลอด และสะพาน

ประเภทของโครงสร้าง	รอบปีการเกิดซ้ำ (ปี)
ผิวจราจร	5
ท่อลอดถนน	
- มีการสัญจรน้อย	5 – 10
- มีการสัญจรปานกลาง	10 – 25
- มีการสัญจรมาก	50 – 100
สะพาน	10 – 50
- ระบบย่อย	50 . 100
- ระบบหลัก	

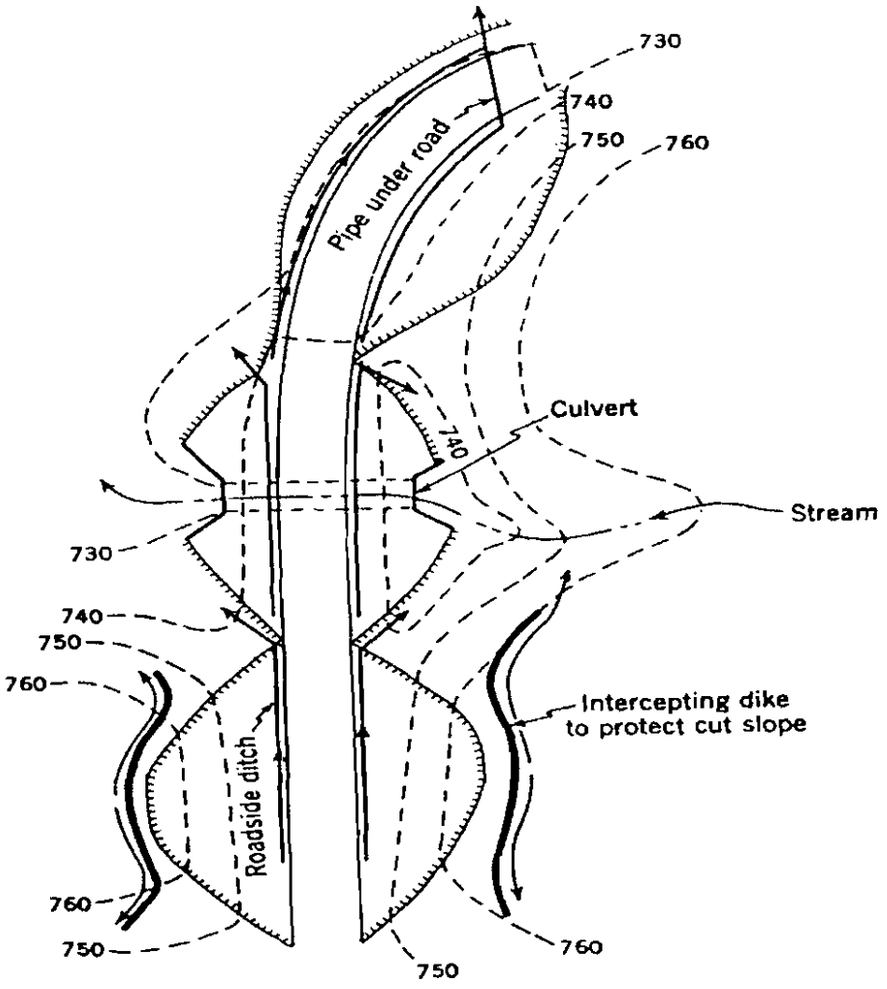
ที่มา : Chow, [32]

2.3.9 การระบายน้ำตามแนวยาวของถนน (Longitudinal Drainage) การระบายน้ำตามแนวยาวของถนน สามารถแยกออกตามพื้นที่ได้ 2 ลักษณะ คือ

- พื้นที่ในเมือง ส่วนมากจะออกแบบระบบระบายน้ำ โดยใช้ท่อและมีบ่อพักน้ำเป็นช่วง ๆ ทั้ง 2 ฝั่งของถนน ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในเรื่องการระบายน้ำสำหรับพื้นที่เมือง โดยบางบริเวณที่มีพื้นที่มากพอ ก็จะใช้ทั้งระบบท่อและระบบรางระบายน้ำข้างถนนประกอบกัน

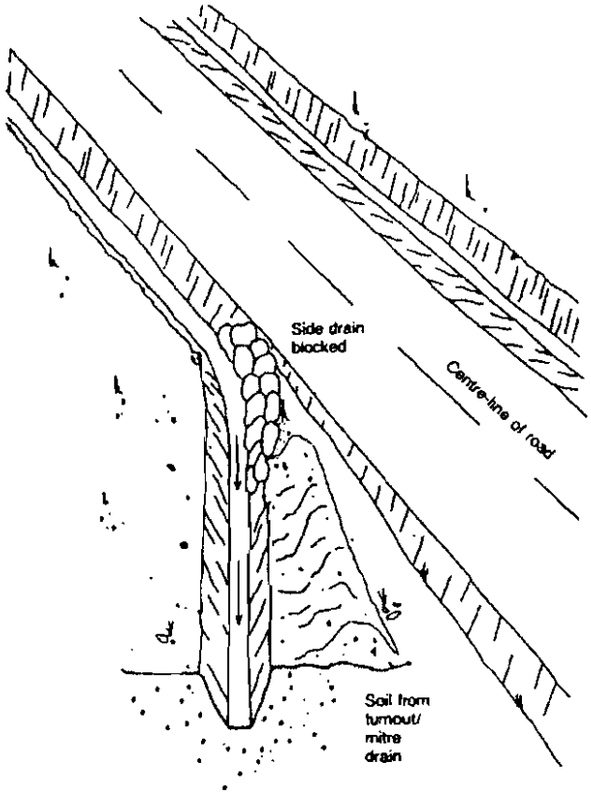
- พื้นที่นอกเมือง ส่วนมากจะออกแบบระบบระบายน้ำเป็นทางน้ำเปิดในลักษณะของคูหรือรางระบายน้ำข้างถนน (Roadside Ditch) ทั้งนี้เพราะสะดวกในการขุดลอกตะกอนต่าง ๆ ที่ถูกพัดพามาจากกระแสน้ำที่กัดเซาะหน้าดินลงมา ซึ่งในบางพื้นที่จะใช้วิธีปลูกหญ้าปิดหน้าดินเข้าช่วยเพื่อลดความเร็วของกระแสน้ำและลดการกัดเซาะหน้าดินลงและในกรณีที่เป็นถนนที่ตั้งอยู่

ตามความลาดของภูเขา ดังรูปที่ 2.17 มีโอกาสที่ลาดเขาจะถูกกระแสน้ำกัดเซาะลงมาได้มาก ดังนั้นวิธีการป้องกันการกัดเซาะและรักษาเสถียรภาพของลาดเขา นอกจากจะทำการปลูกหญ้าหรือทำเป็นขั้นบันไดแล้ว ก็อาจจะใช้วิธีสร้างเขื่อนดักน้ำ (Intercepting Dike) หรือคูดักน้ำ (Intercepting Ditches) เพื่อผันน้ำไปลงที่ต่ำทางอื่น



รูปที่ 2.17 ตัวอย่างแนวการระบายน้ำตามยาวของถนน

สำหรับบริเวณจุดออก (Outlet) ของรางหรือคูระบายน้ำข้างถนนที่น้ำจะไหลลงแม่น้ำ ลำคลอง สามารถลดความเร็วและลดความเสี่ยงต่อการกัดเซาะได้โดยใช้วิธีหักเลี้ยว (Turnouts Of Mitre Drain) รางระบายน้ำข้างถนน ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.18 รางหักเลี้ยวที่บริเวณจุดออก

2.3.10 ข้อกำหนดทั่วไปของการระบายน้ำตามแนวยาวของถนน

1.การสร้างถนนจะต้องสร้างให้มีลักษณะคล้ายหลังเต่า เพื่อที่เมื่อเวลาฝนตก จะทำให้มีการระบายน้ำได้เร็วขึ้นและการสร้างถนนจะต้องยกระดับให้สูงกว่าระดับน้ำใต้ดิน

2.ทางเท้าจะต้องมีความกว้างเพื่อให้มีพื้นที่รับน้ำมากขึ้น ดังนั้นปริมาณน้ำ ที่เพิ่มขึ้นจะไหลไปตามพื้นที่ราบ ทั้งตามขวางและตามแนวยาวของถนน

3.การระบายน้ำจากคันทาง โดยเฉพาะในช่วงทางแนวตรง และความลาดชันหลังทางน้อย ๆ (ใกล้ศูนย์) ทำได้โดยการยกเส้นกลางถนนให้สูงกว่าขอบ ให้น้ำไหลลงสู่คูระบายน้ำข้างทางอย่างรวดเร็ว ลดโอกาสที่น้ำจะซึมเข้าไปในทางเท้า อย่างไรก็ตาม การปลูกหญ้าตามแนวทางเท้าจะช่วยสกัดกั้นการไหลของน้ำได้ดี

4.ความลาดชันตามแนวยาว ควรจะไม่น้อยกว่า 0.3% สำหรับขอบทาง และ ไม่น้อยกว่า 0.2% ในพื้นที่แบนราบมาก ๆ

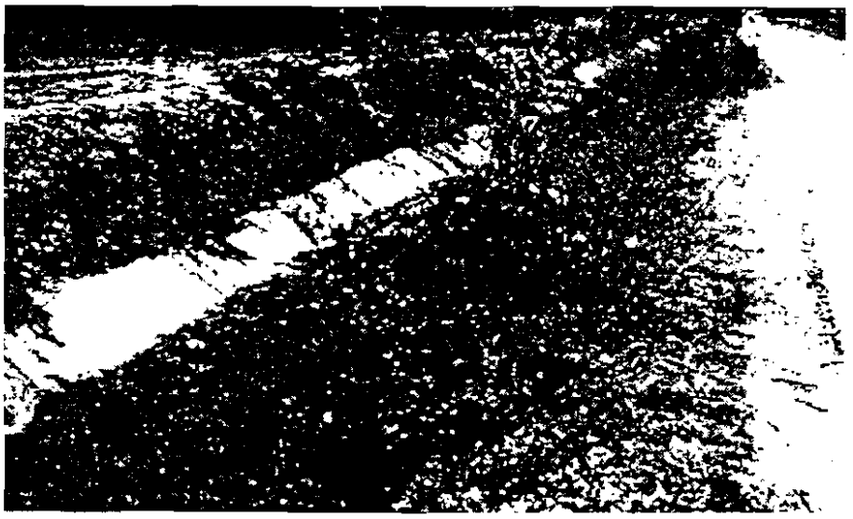
5.บริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงความลาดของรางหรือท่อระบายน้ำทันทีทันใด ควรจะออกแบบให้มีบ่อพักเพื่อสลายพลังงานของกระแสน้ำก่อนที่จะไหลต่อไป ดังรูปที่ 2.15

2.4 การตกตะกอน

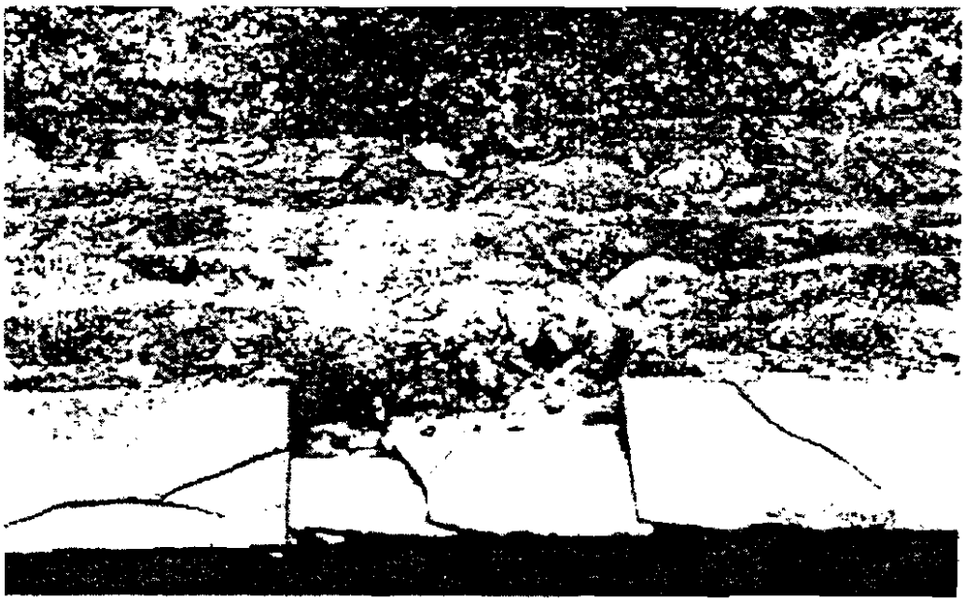
จะสังเกตเห็นว่า มีปริมาณตะกอนเป็นจำนวนมากในคลองชลประทาน ซึ่งตะกอนเหล่านี้เกิดจากปริมาณน้ำที่ไหลบนผิวดินเข้าสู่คลองชลประทาน (รูปที่ 2.19 และ 2.20) ซึ่งบางส่วนได้มีการป้องกันโดยใช้อาคารรับน้ำเป็นคอนกรีตแต่ยังเกิดตะกอนเป็นปริมาณมากอันเนื่องมาจาก

1.ตะกอนถูกพัดพามากับน้ำและไหลเข้าสู่คลอง
2.เกิดการกัดเซาะบริเวณถนนและคันคลอง
3.เกิดการกัดเซาะบริเวณตลิ่ง
4.น้ำไหลจากจุดเชื่อมคลองระหว่างคลองดินหรือบ่อเก็บกักเข้าไปในคลอง
5.สัตว์เดินข้ามคลองหรือคลองตาด ทำให้เกิดการพังทลายของดินบริเวณนั้น

ปัญหาเหล่านี้สามารถขจัดได้โดยการกำจัดแหล่งที่มาของตะกอนไม่ให้มีตะกอนไหลเข้าไปใน คลองชลประทานซึ่งในทางปฏิบัติถือว่าเป็นไปได้ยาก แต่ก็ควรที่จะต้องลดปริมาณ (จำเป็นจะต้องมีการลดปริมาณตะกอนในคลองชลประทานซึ่งก็ยากและแพง) การเกิดของตะกอนในคลองให้มีน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้



รูปที่ 2.19 ลักษณะของคลองดาดคอนกรีตที่มีการตกสะสมของตะกอนเกิดขึ้น



รูปที่ 2.20 คันคลองที่ถูกทำลายซ้ำ ทำให้ง่ายต่อการเกิดปริมาณตะกอนลงสู่คลองชลประทาน

การที่จะป้องกันไม่ให้ตะกอนเข้าไปในคลองได้ ควรกำหนดความเร็วการไหลในคลองเร็วพอที่จะไม่ทำให้เกิดการตกตะกอน โดยจะกำหนดการไหลที่ปริมาณน้ำสูงสุด (FSL) ซึ่งจะพบการสะสมตะกอนในคลองซอย เนื่องจากความเร็วในคลองน้อยเกินไป เมื่อปริมาณน้ำในคลองน้อยกว่าปริมาณน้ำสูงสุด (FSL) ที่ออกแบบไว้ ทำให้มีการจ่ายน้ำออกทางด้านเหนือน้ำมากเกินกว่าปกติ หรืออาจเกิดจากการสูญเสียเนื่องจากการรั่วซึมในปริมาณสูงกว่าที่ออกแบบไว้ (เช่น 8 ลูกบาศก์ฟุตต่อวินาทีต่อ 1,000,000 ตารางฟุตของเส้นขอบเปียก ในประเทศอินเดีย) หรือทั้งสองสาเหตุรวมกัน ดังนั้น จึงต้องมีการจัดระบบชลประทานด้านท้ายน้ำให้สามารถรับน้ำได้ตามที่ ออกแบบ แต่หากว่ายังมีการตกตะกอนเกิดขึ้นอีก อาจเป็นเพราะการออกแบบไม่ถูกต้องตาม สมมุติฐานที่ใช้

โดยทั่วไปแล้วการเดินทางผ่านของสัตว์ไม่ได้เป็นปัญหาใหญ่แต่ก็มีส่วนในการทำให้เกิดการพังทลายและการตกตะกอนบริเวณที่สัตว์เดินทางผ่าน ทำให้ไม่มีการเจริญเติบโตของหญ้า ดินสึกกร่อนง่ายในช่วงฤดูฝน และตะกอนจะถูกพัดพาลงสู่คลองชลประทาน การเดินทางผ่านของสัตว์เป็นการทำลายคันดิน และส่งผลให้เกิดการสูญเสียจากการรั่วซึมสูง นอกจากนี้ยังเป็นสาเหตุของการเกิดโพรงด้านหลังคลองดาด

2.4.1 ชนิดของตะกอนในลำน้ำ

โดยปกติตะกอนที่เคลื่อนย้ายไปตามลำน้ำ มี 2 ประเภท คือ

1. ตะกอนท้องน้ำ (Bed Load) คือ ตะกอนที่มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก เคลื่อนที่โดยการกลิ้ง เลื่อนไถล หรือการกระโดดไปตามท้องน้ำตามทิศทาง และความเร็วของการไหลอัตราการเคลื่อนย้ายของตะกอนท้องน้ำจะมีค่าประมาณ 5.25 % ของปริมาณตะกอนแขวนลอย

2. ตะกอนแขวนลอย (Suspended Load) คือ ตะกอนที่มีขนาดเล็กและปะปนอยู่ในน้ำได้เป็นเวลานาน ในลำน้ำธรรมชาติทั่ว ๆ ไป ปริมาณตะกอนมักเกิดจากตะกอนแขวนลอยเป็นหลักหากรวมปริมาณของตะกอนท้องน้ำและตะกอนแขวนลอยเข้าด้วยกันเรียกว่า ปริมาณตะกอนรวมหรือ Total Load

2.4.2 การเคลื่อนที่ของปริมาณตะกอน

ในการพิจารณาชลศาสตร์ของแม่น้ำจะกำหนดให้ลำน้ำมีลักษณะมั่นคงเพื่อให้ง่ายต่อการประเมินขณะปริมาณน้ำน้อยและตะกอนทรายเคลื่อนที่ผ่านไปบนผิวของลำน้ำที่มีพื้นท้องน้ำเป็นกรวด ส่วนแม่น้ำที่พื้นท้องน้ำเป็นทรายจะเกิดการถ่ายแรงระหว่างการไหลกับพื้นท้องน้ำ เช่น การกัดเซาะและทับถมอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเกิดน้ำหลากท่วม หรือ การเคลื่อนที่ของตะกอนในปริมาณน้ำน้อย ก่อให้เกิด เนินทรายรอยริ้วคลื่นที่ขอบน้ำ ซึ่งมีผลโดยตรงกับ ความ

ขรุขระท้องน้ำ พลังงาน ที่หายไป และลาดชันของความเร็ว การเคลื่อนที่ของปริมาณตะกอนมีความสำคัญต่อกรรมวิธีการเกิดเนินตะกอนแม่น้ำ (Fluvial Process) ดังนั้นปัญหาที่ต้องพิจารณาได้แก่ คำจำกัดความของการเริ่มต้นการเคลื่อนที่ของปริมาณตะกอน สาเหตุสำคัญของการกำหนดรูปร่าง พื้นท้องน้ำ และการประเมินปริมาณตะกอนที่เคลื่อนที่ผ่านรูปตัดขวางในระยะเวลาหนึ่ง การเคลื่อนที่ของปริมาณตะกอนแบ่งได้เป็นสองประเภทคือ

1. การเคลื่อนที่ของปริมาณตะกอนท้องน้ำ (Bed Load) สามารถประเมินได้จาก สมการคำนวณซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมาก เนื่องจากการสำรวจในสถานที่จริงทำได้ยากมาก เนื่องจากการสำรวจในสถานที่จริงทำได้ยากมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขณะเกิดปริมาณน้ำหลาก จะมีการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำเป็นส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตามการทดลองในห้องปฏิบัติการ (Flume Test) ก็สามารถทดแทนได้

2. การเคลื่อนที่ของปริมาณตะกอนแขวนลอย (Suspended Sediment) สามารถคำนวณจากสมการที่ใช้ทฤษฎีการไหลแบบ turbulence ร่วมกับการคำนวณการกระจายความเข้มข้นของตะกอนตามความลึกของลำน้ำ ตามข้อมูลการสำรวจภาคสนามของตะกอนแขวนลอยสามารถกระทำได้โดยง่าย ดังนั้นการประมวลข้อมูลจากการสำรวจเก็บตัวอย่าง ร่วมกับการคำนวณ (Empirical Or Semi.Empirical Methods) ย่อมทำให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องสูง ส่วนการทดลองในห้องปฏิบัติการสำหรับปริมาณตะกอนแขวนลอยกลับทำได้ยากกว่าปริมาณตะกอนท้องน้ำ จึงทำให้ไม่เป็นที่นิยม

ความยากของการคำนวณการเคลื่อนที่ของปริมาณตะกอนในแม่น้ำเนื่องมาจากแม่น้ำมักมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ ตะกอนมีหลายขนาด และสภาพทางอุทกวิทยาที่เปลี่ยนแปลงเสมอเป็นตัวแปรที่สำคัญ ดังนั้นการใช้แบบจำลองการเคลื่อนที่ของปริมาณตะกอน (ทางกายภาพและทางคณิตศาสตร์) ต้องใช้ทักษะและประสบการณ์ในการตัดสินใจร่วมกับการจัดการแม่น้ำ จึงจะได้ผลดี

2.4.3 ลักษณะของตะกอน

ตะกอนท้องน้ำ และตะกอนแขวนลอย สามารถแบ่งเป็นสองกลุ่มตามลักษณะขององค์ประกอบที่สำคัญคือ

แบบสัมพันธ์กัน (Cohesive) ประกอบด้วยทรายและกรวดเป็นส่วนใหญ่ ความต้านทานการกัดเซาะเนื่องมาจากแรงดึงผิวระหว่างกันและกัน

แบบไม่สัมพันธ์กัน (Non.Cohesive) ประกอบด้วยทรายละเอียดและ ดินเหนียวความต้านทานการกัดเซาะเนื่องมาจากน้ำหนักของตะกอน และแรงโน้มถ่วงของโลก

นอกจากนั้นยังมีแรงที่สำคัญอันเนื่องมาจากคุณภาพของเหลว คุณสมบัติของแรงที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา และลักษณะตะกอนแขวนลอยทางกลศาสตร์ของไหล คุณสมบัติทางกายภาพซึ่งมีผลทำให้ตะกอนเคลื่อนที่ได้แก่ ขนาด รูปร่าง และความหนาแน่นรวมทั้ง ความเร็วในการตกตะกอน ขนาด (Grain Size) มีผลกระทบโดยตรงดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 Grain Size Classification

Class name	Size range in mm.
Boulders	≥ 256
Cobbles	64 ÷256
Gravel	2 ÷64
Sand	0.064 ÷2
Silt	0.004 ÷0.064
Clay	≥ 0.004

ข้อกำหนดสำหรับขนาดของตะกอนที่นิยมใช้คือ

เส้นผ่าศูนย์กลางของตะแกรง (Sieve Diameter Or Sieve Opening Size) เส้นผ่าศูนย์กลางของทรงกลมที่มีขนาดเท่ากับตะกอน (Nominal Diameter Or Sphere Diameter) และเส้นผ่าศูนย์กลางของทรงกลมที่มีความหนาแน่น และความเร็วในการตกตะกอนเท่ากับตะกอน ในของไหล (Sedimentation Diamenter)

2.4.4 ปริมาณของตะกอน

ในการคำนวณหรือคาดคะเนปริมาณของตะกอนที่ไหลอยู่ในลำน้ำ สามารถทำได้หลายวิธี เช่น

1. คำนวณโดยอาศัยสมการการเคลื่อนย้ายตะกอน (Sediment Transport equations) เช่น ปริมาณตะกอนแขวนลอยคำนวณได้จากสมการเบื้องต้น

$$q_{sw} = \int_a^D \overline{uc}\,dy \qquad \text{.....(2.13)}$$

หรือ

$$q_{sw} = \gamma_s \int_a^b \overline{uc}\,dy \qquad \text{.....(2.14)}$$

เมื่อ $\overline{u}$ = ความเร็วเฉลี่ยของการไหลในลำน้ำ

$\overline{c}$ = ความเข้มข้นของปริมาณตะกอนที่ระยะ y จากท้องน้ำ

a = ชั้นความหนาของตะกอนท้องน้ำ

D = ความลึกของการไหล

γ_s = น้ำหนักจำเพาะของตะกอน

2. โดยอาศัยการเก็บตัวอย่างของน้ำที่มีตะกอนปะปน และไหลในลำน้ำที่สถานีวัดน้ำและทำการแยกปริมาณของตะกอนออกจากน้ำด้วยการอบตัวอย่างน้ำนั้น หน่วยที่ใช้เรียกปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำ คือ ppm (Parts Per Million) คำนวณได้จาก

$$ppm = \frac{\text{น้ำหนักตะกอนแขวนลอยอบแห้ง} \times 10^6}{\text{น้ำหนักของน้ำและตะกอนตัวอย่าง}} \qquad .....(2.15)$$

2.5 หน้าตัดที่ดีที่สุดทางชลศาสตร์

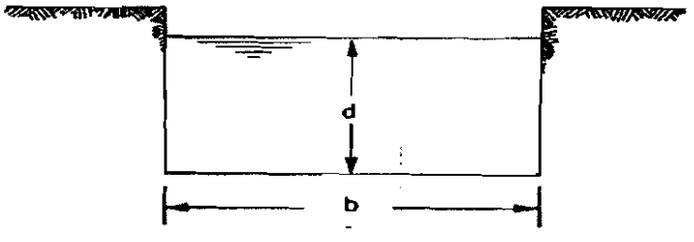
2.5.1 การพิจารณารูปตัดขวางของคลองส่งน้ำ

ได้กล่าวมาแล้วว่า รูปตัดขวางของคลองส่งน้ำประกอบด้วย

- ความกว้างของก้นคลอง (b)
- ความลึกของน้ำในคลอง (d)
- ลาดตลิ่งคลอง (SS)
- ความลึกของดินขุด (E)

2.5.2 ทางน้ำไหลที่มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular Channel)

ความลึกที่ให้ค่าปริมาณน้ำไหลมากที่สุด



รูปที่ 2.21 รางระบายน้ำแบบสี่เหลี่ยม

จากรูป ถ้า b = ความกว้างของหน้าตัด

d = ความลึกของน้ำ

สมมติให้พื้นที่หน้าตัดคงที่ตลอด จะได้

$$Q = AV$$

$$= AC\sqrt{RS}$$

$$= AC\sqrt{\frac{A}{p}S}$$

จากสมการ เพราะว่า A C S มีค่าคงที่ เพราะฉะนั้นค่า Q จะมีค่ามากที่สุดก็ต่อเมื่อค่า P มีค่าน้อยที่สุด

$$\because \quad A = bd \rightarrow b = \frac{A}{d}$$

และ $P = b + 2d$

$$= \frac{A}{d} + 2d$$

โดยวิธีดิฟเฟอเรนชิเอต $\frac{dP}{dd}$ $= A\frac{dd^{-1}}{dd} + 2$

$$= -Ad^{-2} + 2$$

ให้ $\frac{dP}{dd} = 0$ สำหรับค่ามากที่สุดและค่าน้อยที่สุด

$$-Ad^{-2} + 2 = 0$$

$$A = 2d^2$$

$$bd = 2d^2$$

$$b = 2d$$

$$d = \frac{b}{2}$$

นั่นคือ ปริมาณการไหลจะมากที่สุดก็ต่อเมื่อความลึกของน้ำเท่ากับครึ่งหนึ่งของความกว้างของทางน้ำไหล

2.5.3 ทางน้ำไหลที่มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapazoidal Channel)

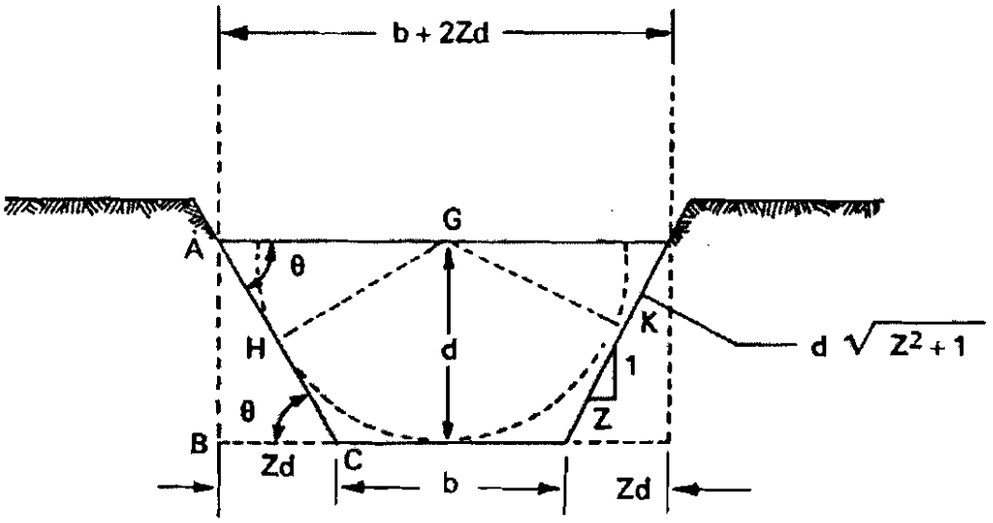
1.1 เงื่อนไขที่จะทำให้ได้หน้าตัดที่ประหยัดที่สุด

ให้ b = ความกว้างของหน้าตัดที่ฐาน

d = ความลึกของน้ำ

$\frac{1}{Z}$ = ความลาดเอนด้านข้าง

จาก Q = AC $\sqrt{\frac{A}{P}S}$



รูปที่ 2.22 รางระบายน้ำแบบสี่เหลี่ยมคางหมู

จะพบว่า Q จะมากที่สุดเมื่อตัวหาร P น้อยที่สุด

$\because$ $P = b + 2d\sqrt{Z^2+1}$ ....(a)

$A = \frac{(b+2zd+b)}{2}d$ ....(b)

จะได้ $b = \frac{A}{d} + zd$

แทนค่า b ใน (a)

$P = \frac{A}{d} + zd + 2d\sqrt{z^2+1}$

โดยวิธีดิฟเฟอเรนชิเอตเทียบกับตัวแปรค่า d

$$\frac{dP}{dd} = -Ad^{-2} - Z + 2\sqrt{z^2} + 1$$

ค่า P จะน้อยที่สุด เมื่อ $\frac{dP}{dd} = 0$

จะได้ $-Ad^{-2} - Z + 2\sqrt{z^2} + 1 = 0$

$$\frac{A}{d^2} + Z = 2\sqrt{Z^2} + 1$$

แทนค่า A จาก (b) $\frac{(b+Zd)d}{d^2} + Z = 2\sqrt{Z^2} + 1$

$$\frac{(b+Zd)d}{d} + Z = 2\sqrt{Z^2} + 1$$

$$\frac{(b+2Zd)d}{d} + Z = 2\sqrt{Z^2} + 1$$

$$\frac{(b+2Zd)d}{2} + Z = d\sqrt{Z^2} + 1$$

จาก Δ AHG Sin $\theta = \frac{HG}{\frac{b}{2} + Zd} = \frac{HG}{\frac{b+2Ad}{2}}$ ....(c)

จาก Δ ABC Sin $\theta = \frac{AB}{AC} = \frac{d}{d\sqrt{Z^2+1}}$

จะพบว่า สวนของสมการ (c) = เศษของสมการ (d) ซึ่งได้จากสมการที่ 1.4 นั่นคือ

$$\frac{b+2Zd}{2} = d\sqrt{Z^2+1}$$

$\because$ เศษของสมการ (c) = เศษของสมการ (d) ด้วย นั่นคือ

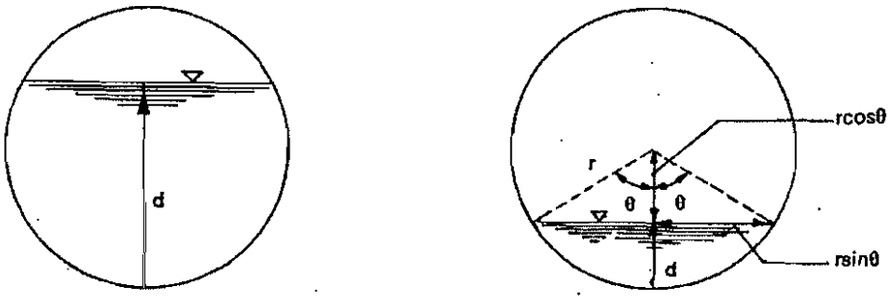
HG = d

ในทำนองเดียวกันก็สามารถพิสูจน์ได้ว่า GK = d หมายความว่า ถ้าใช้ G เป็นจุดศูนย์กลางรัศมี d สร้างวงกลม ด้านทั้งสามของหน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมูจะสัมผัสกับวงกลมดังกล่าว

เพราะฉะนั้น จึงสรุปได้ว่า หน้าตัดของทางน้ำไหลรูปสี่เหลี่ยมคางหมูจะเป็นหน้าตัดที่ประหยัดที่สุดก็ต่อเมื่อด้านทั้งสามของหน้าตัดสัมผัสกับครึ่งวงกลม ที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ระดับผิวน้ำ

2.5.4 ทางน้ำไหลที่มีหน้าตัดเป็นวงกลม (Circular Section)

1. ความลึกที่ให้ค่าความเร็วสูงสุด (Depth For Maximum Velocity)



รูปที่ 2.23 รางระบายน้ำแบบทรงกลม

ให้ d = ความลึกของน้ำ

r = รัศมีของท่อ

$$A = \tfrac{1}{2}(2\theta r)r - \tfrac{1}{2}(2r\sin\theta)r\cos\theta$$

$$= \theta r^2 - r^2\sin\theta\cos\theta$$

$$= \theta r^2 - r^2\frac{\sin 2\theta}{2} \quad \text{....(a)}$$

$$= r^2\left(\theta - \frac{\sin 2\theta}{2}\right) \quad \text{....(b)}$$

$$P = 2\theta r$$

จาก $R = \frac{A}{P}$

$$R = \frac{r^2\left(\theta - \frac{\sin 2\theta}{2}\right)}{2\theta r}$$

จาก $V = C\sqrt{RS}$

$\because$ C และ S มีค่าคงที่ $\because$ V จะมีค่ามากที่สุดก็ต่อเมื่อ R มีค่ามากที่สุด

จาก R = $\frac{A}{P}$

$$\frac{dR}{d\theta} = \frac{P\frac{dA}{d\theta} - A\frac{dP}{d\theta}}{P^2} \quad \text{....(c)}$$

จากสมการ $A = r^2\left(\theta - \frac{\sin 2\theta}{2}\right)$

$$\frac{dA}{d\theta} = r^2\frac{d\theta}{d\theta} - \frac{1}{2}r^2\cos 2\theta(2)\frac{d\theta}{d\theta}$$

$$= r^2(1-\cos 2\theta) \quad \text{....(d)}$$

จากสมการ (b) $P = 2\theta r$

$$\frac{dp}{d\theta} = 2r \quad \text{....(e)}$$

แทนค่า $\frac{dA}{d\theta}$ และ $\frac{dP}{d\theta}$ ใน (c)

$$\frac{dR}{d\theta} = \frac{2\theta r r^2(1-\cos 2\theta) - r^2(\theta - \sin 2\theta)2r}{4\theta^2 r^2}$$

ค่า R จะมากที่สุด ก็ต่อเมื่อ $\frac{dR}{d\theta}$ ใน (c)

$$\because \quad 2\theta r^3(1-\cos 2\theta) - \left(\theta - \frac{\sin 2\theta}{2}\right) - 0$$

หารตลอดด้วย $2r^3$

$$\theta(1-\cos 2\theta) - \left(\theta - \frac{\sin 2\theta}{2}\right) = 0$$

$$-\theta\cos 2\theta + \frac{\sin 2\theta}{2} = 0$$

$$\frac{\sin 2\theta}{2} = \theta\cos 2\theta$$

$$\tan 2\theta = 2\theta$$

แก้สมการ จะได้ $2\theta = 257\frac{1^c}{2}$

$$d = r - r\cos\theta$$

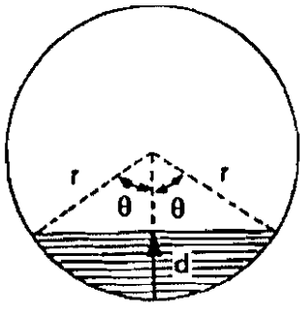
$$= r - r\cos\left(\frac{257\frac{1^{c}}{2}}{2}\right)$$

$$= 1.62\,r$$

$$= 0.81\,D$$

นั่นคือ เมื่อน้ำไหลในท่อที่หน้าตัดเป็นวงกลม ความลึกที่ให้ค่าความเร็วของกระแสน้ำมากที่สุดจะเท่ากับ 0.81 ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ

2. ความลึกที่ให้ค่าปริมาณน้ำไหลมากที่สุด (Depth For Maximunm Discharge)



$$Q = AC\sqrt{RS}$$

$$= AC\sqrt{\frac{A}{P}S}$$

$$= C\sqrt{\frac{A^3}{P}S}$$

รูปที่ 2.24 แสดงการหาอัตราการไหลในแบบทรงกลม

จากสมการจะพบว่า เมื่อค่า C และค่า S คงที่ Q จะมีค่ามากที่สุดก็ต่อเมื่อค่า $\frac{A^3}{P}$ มีค่ามากที่สุด ค่า $\frac{A^3}{P}$ จะมีค่ามากที่สุดก็ต่อเมื่อ

$$\frac{d\left(\frac{A^3}{P}\right)}{d\theta} = 0$$

$$\frac{d\left(\frac{A^3}{P}\right)}{d\theta} = \frac{P3A^2\frac{dA}{d\theta} - A^3\frac{dP}{d\theta}}{P^2} \qquad \text{....(a)}$$

จากสมการ (a) ในข้อ 1 ได้ $A = r^2\left(\theta - \frac{\sin 2\theta}{2}\right)$

จากสมการ (b) ในข้อ 1 ได้ $P = 2\theta r$

จากสมการ (d) ในข้อ 1 ได้ $\frac{dA}{d\theta} = r^2(1-\cos 2\theta)$

จากสมการ (e) ในข้อ 1 ได้ $\frac{dP}{d\theta} = 2r$

จากสมการ (a) $$\frac{d\left(\frac{A^3}{P}\right)}{d\theta} = \frac{P3A^2\frac{dA}{d\theta} - A^3\frac{dP}{d\theta}}{P^2} = 0$$

$$3A^2P\frac{dA}{d\theta} - A^3\frac{dP}{d\theta} = 0$$

หารตลอดด้วย A^2 ได้ $$3P\frac{dA}{d\theta} - A\frac{dP}{d\theta} = 0$$

เมื่อแทนค่าจะได้ $$3(2\theta r)r^2(1-\cos 2\theta) - r^2\left(\theta - \frac{\sin 2\theta}{2}\right)2r = 0$$

$$6\theta r^2(1-\cos 2\theta) - 2r^2\left(\theta - \frac{\sin 2\theta}{2}\right) = 0$$

หารตลอดด้วย $2r^3$ ได้ $$3\theta(1-\cos 2\theta) - \left(\theta - \frac{\sin 2\theta}{2}\right) = 0$$

แก้สมการ จะได้ $\theta = 154^\circ$

Q จะมีค่ามากที่สุดเมื่อ $d = r - r\cos\theta$

$= 1.9r$

$= 0.95\ D$

นั่นคือ เมื่อน้ำไหลในท่อที่หน้าตัดเป็นวงกลม ความลึกที่ให้ค่า Q มากที่สุดจะเท่ากับ 0.95 ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ

บทที่ 3
ขั้นตอนและวิธีการทดสอบ

3.1 ขั้นตอนและวิธีการคำนวณหาอัตราการไหลในรางระบายน้ำ

สูตรการคำนวณหาอัตราการไหลในรางระบายน้ำของแมนนิ่ง

$$Q = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} \sqrt{S_0}$$

เนื่องจากข้อกำหนดขององค์การบริหารส่วนตำบล กำหนดให้ระยะ Slope ไม่น้อยกว่า 0.0008 ดังนั้นจึงขอใช้ระยะ Slope = 0.008 (1 : 125)

- หน้าตัดผสม

$$A = \frac{T^2}{4z} - \frac{r^2}{z}(1 - z\cot^{-1} z)$$

$$P = \frac{T}{z}\sqrt{1+z^2} - \frac{2r}{z}(1 - z\cot^{-1} z)$$

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

- หน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมู

$$A = (b + zy)y$$

$$P = b + 2y\sqrt{1+z^2}$$

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

เพราะว่าต้องการจะเปรียบเทียบระหว่าง 2 หน้าตัดที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัด และเส้นขอบเปียก ว่ามีค่าอัตราการไหลมากหรือน้อยกว่ากันเพียงใด ในขณะที่ความสูงของน้ำต่างๆ กัน โดยที่เราจะนำค่าที่ทำการทดลองมาได้มาเปรียบเทียบกับค่าทฤษฎีว่ามีค่า Error มากหรือน้อยเพื่อที่จะ

นำมาทำการปรับปรุงคุณภาพของรางระบายน้ำต่อไปเพื่อที่จะนำไปใช้ในหน้างานจริง ซึ่งโดยที่ปกติส่วนใหญ่ตามเส้นทางหลวงชนบทหรือ ตามเส้นทางในต่างจังหวัด จะเป็นรางระบายน้ำที่มีหน้าตัดเป็นแบบสี่เหลี่ยมคางหมู, สามเหลี่ยม, สี่เหลี่ยมและวงกลม แต่เนื่องจากหน้าตัดที่กล่าวมานั้นมีอัตราการไหลที่ยังไม่ดีและการทำความสะอาดเป็นไปได้ยาก ดังนั้นจึงออกแบบหน้าตัดให้มีการระบายน้ำที่ดีและง่ายต่อการทำความสะอาด

เนื่องจากเราไม่สามารถหาอัตราการไหลสูงสุดในขณะที่น้ำไหลเต็มหน้าตัดได้เพราะอาจจะมีค่า Error เกิดขึ้นได้ เพราะน้ำอาจจะมีความนิ่งไม่พอเนื่องจากบ่อสลายพลังงานอาจจะระบายน้ำออกไม่ทันดังนั้นจึงคำนวณระดับน้ำที่การไหลวิกฤติ โดยที่

$$H = y_c + \frac{v^2}{2g}$$ ที่การไหลวิกฤติ

เงื่อนไขการไหลวิกฤติ $\frac{v^2}{2g} = \frac{D_c}{2} = \frac{y_c}{2}$

หรือ $H = 1.5y_c$ และ $y_c = \frac{H}{1.5}$

เนื่องจากเป็นการหาการไหลที่สภาวะวิกฤติจึงกำหนดให้ $y = y_c$

- สูตการคำนวณหาอัตราการไหลของรางระบายน้ำหน้าตัดประยุกต์

$$Z = A\sqrt{\frac{A}{T}}$$

$$T = 2\left[z(y-r) + r\sqrt{1+z^2}\right]$$

เมื่อเรานำค่า H ที่ได้จากการทดลองมาแทนลงในสูตรก็จะหาค่า T ได้ นำค่า T ไปแทนในสมการ ก็จะได้ค่า Z แล้วนำค่า Z ไปเข้าสมการเพื่อหาค่า Q ที่คำนวณได้

$$Q = Z\sqrt{g}$$

เมื่อแทนค่าต่างๆ แล้ว จะได้ค่าอัตราการไหลในรางระบายน้ำที่ระดับความสูงการไหลนั้นๆ

- สูตการคำนวณหาอัตราการไหลของรางระบายน้ำหน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมู

$$Z = \frac{[(b + zy)y]^{1.5}}{\sqrt{b + 2zy}}$$

เมื่อเรานำค่า H ที่ได้จากการทดลองมาแทนลงในสูตรก็จะหาค่า T ได้ นำค่า T ไปแทนในสมการ ก็จะได้ค่า Z แล้วนำค่า Z ไปเข้าสมการเพื่อหาค่า Q ที่คำนวณได้

$$Q = Z\sqrt{g}$$

เมื่อแทนค่าต่างๆ แล้ว จะได้ค่าอัตราการไหลในรางระบายน้ำที่ระดับความสูงการไหลนั้นๆ

3.2 การเปรียบเทียบอัตราการไหลทั้ง 2 หน้าตัด

3.2.1 การหาอัตราการไหล

การทดสอบจะต้องทำให้น้ำที่ได้จากปั๊มน้ำมีอัตราการไหลสม่ำเสมอ ซึ่งในการทดสอบนี้ทำได้โดยสร้างบ่อสลายพลังงานขึ้นเพื่อปรับสภาพอัตราการไหลที่ได้จากปั๊มน้ำให้อัตราการไหลและความเร็วคงที่สม่ำเสมอไหลผ่านรางระบายน้ำที่มีหน้าตัดคงที่ตลอดแนวการไหล เพื่อให้มีลักษณะการไหลผ่านรางระบายน้ำที่เป็นการไหลแบบสม่ำเสมอ (Steady Flow) เพื่อใช้สมการการไหลหาอัตราการไหลผ่านรางระบายน้ำโดยให้มีความผิดพลาดเกิดขึ้นน้อยที่สุด

ในการทดสอบจะสร้างบ่อสลายพลังงานขึ้นที่ต้นน้ำเพื่อสลายพลังงานที่ได้จากปั๊มน้ำและด้านท้ายน้ำ จะติดตั้งบ่อวัดปริมาณค่า Q เป็นจำนวน 3 บ่อเพื่อสลายพลังงานของน้ำที่ระบายออกจากรางระบายน้ำบ่อสลายพลังงานจะทำหน้าที่ให้อัตราการไหลของน้ำที่ออกมาจากปั๊มช้าลง ลดความแรงของน้ำและปริมาณการไหลให้มีอัตราการไหลที่คงที่

ลักษณะของบ่อสลายพลังงานจะเป็นลักษณะแบบกระทบ กล่าวคือน้ำที่ไหลมาจากปั๊มจะถูกบังคับให้พุ่งออกมากระทบผนังบ่อและภายในบ่อจะมีลูกแก้วซึ่งจะช่วยในการสลายพลังงาน ซึ่งจากการกระทบนั้นน้ำก็จะกระจายออกไปทุกทิศทางมีผลทำให้พลังงานของน้ำที่ถูกปั๊มสูบขึ้นมาถูกสลายไปและในบ่อยังกั้นช่องอีก 2 ช่องเพื่อให้การสลายพลังงานของน้ำที่ผ่านปั๊มมาเป็นไปได้มากที่สุดโดยให้น้ำไหลล้นข้ามที่กั้นเพื่อทำให้น้ำนั้นนิ่งมากที่สุด และในส่วนทางด้านท้ายน้ำซึ่งรองรับการไหลของน้ำที่ถูกสลายพลังงานไปบ้างแล้วจึงออกแบบให้มีลักษณะเป็นเพียงพนังกั้นการกระทบของน้ำเพื่อปรับสภาพการไหลของน้ำให้นิ่งเพื่อทำการวัดค่าอัตราการไหล (Q)

ในระหว่างการทดสอบจะต้องหาค่าตัวแปรต่างๆที่ได้จากการทดสอบซึ่งจะอยู่ในกรณีของการไหลสม่ำเสมอซึ่งจะต้องวัดค่าต่างๆดังนี้

1. อัตราการไหล (Q) โดยวัดอัตราการไหลจากถังตวงปริมาณน้ำในบ่อสลายพลังงานด้านท้ายน้ำ ซึ่งภายในถังจะมีขีดบอกระดับปริมาณความจุไว้อ่านค่าความจุได้จากเส้นบอกระดับน้ำเพื่อคำนวณหาค่าQ

2. พื้นที่หน้าตัดการไหล(A) โดยใช้เทปวัดระยะและไม้ระดับประกอบกันหรือใช้ไม้ระดับเพียงอย่างเดียวก็ได้แล้วค่อยมาคำนวณหาค่า(A) จากแบบ

3. เส้นขอบเปียก (P) โดยใช้เทปวัดระยะหรือไม้ระดับประกอบกันทำเช่นเดียวกันกับการหาค่าพื้นที่หน้าตัดการไหล(A)

4. ระยะความลาด (S) หาได้จากการใช้กล้องระดับประกอบกับเทปวัดระยะทาง

3.3 การวิเคราะห์หาส่วนผสมของคอนกรีต

ขั้นตอนในการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต สามารถที่จะแบ่งออกได้เป็น 9 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 รวบรวมความต้องการของผู้ออกแบบ เช่น กำลังอัด, ค่ายุบตัว, ขนาดที่ใหญ่ที่สุดของหิน, ใส่น้ำยาผสมคอนกรีตหรือไม่ เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 2 หาปริมาณน้ำที่ใช้เพื่อให้ได้ค่าการยุบตัวที่ต้องการ, หาค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพื่อให้ได้ค่ากำลังอัดตามต้องการจากกราฟอัตราสวนน้ำต่อซีเมนต์, ค่ากำลังอัด และหาค่าน้ำหนักซีเมนต์ = ปริมาณน้ำ / ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

ขั้นตอนที่ 3 หาปริมาตรซีเมนต์ = น้ำหนักของปูนซีเมนต์ / ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์

ขั้นตอนที่ 4 หาปริมาตรทราย = (380 หรือ 400) – ปริมาตรปูนซีเมนต์

ขั้นตอนที่ 5 หาน้ำหนักทราย = ปริมาตรของทราย x ความถ่วงจำเพาะของทราย

ขั้นตอนที่ 6 หาปริมาตรหิน = (ปริมาตรของคอนกรีต = 1,000) – ปริมาตรซีเมนต์ – ปริมาตรน้ำหรือน้ำหนักของน้ำ – ปริมาตรทราย

ขั้นตอนที่ 7 น้ำหนักหิน = ปริมาตรหิน x ความถ่วงจำเพาะของหิน

ขั้นตอนที่ 8 หาปริมาตรน้ำยาที่ใช้

ขั้นตอนที่ 9 สรุปส่วนผสมที่ใช้ทั้งหมด

หมายเหตุ ค่าและตารางส่วนใหญ่ให้อ้างอิงมาจากหนังสือคอนกรีตเทคโนโลยีของ บริษัท ซีแพค

3.4 การวิเคราะห์โครงสร้างของรางระบายน้ำ

เนื่องจากเป็นการทดลองในครั้งแรกสมมุติพฤติกรรมการรับแรงของรางระบายน้ำให้เหมือนกับการคิดพื้นสองทาง โดยที่มีดินรองรับแรงบางส่วนในด้านล่างและด้านข้างของรางระบายน้ำ และเนื่องจากไม่มีน้ำหนักบรรทุกที่มาก มากระทำตลอดเวลา จึงออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน เหมือนกับการคำนวณพื้น 2 ทาง รายการคำนวณมีรายละเอียดดังนี้

$$m = \frac{S}{L}$$

$$D = \frac{\Sigma M_0}{180}$$

ΣM_0 = เส้นรอบรูปของพื้น (เมตร, m)

กำหนดให้ระยะหุ้มคอนกรีต = 2.50 ซม. (Covering)

d = D – Covering

w = DL. + LL. + etc.

d = ความหนาประสิทธิผล

w = น้ำหนักรวมของแผ่นพื้น

DL = น้ำหนักบรรทุกตายตัวหรือน้ำหนักคอนกรีตของตัวโครงสร้าง

LL = น้ำหนักบรรทุกจรหรือน้ำหนักที่โครงสร้างแบกรับแบบชั่วคราว

etc. = น้ำหนักอื่นๆ ที่กระทำต่อโครงสร้าง

หาค่า n, k, j, R, fc' ต่างๆ ตามมาตรฐานของ วสท.

คำนวณหาค่า Moment ช่วงสั้น และช่วงยาว

$$M^- = CwS^2$$

$$M^+ = CwS^2$$

C = ค่าสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์

S = ด้านสั้นของโครงสร้าง

ตรวจสอบความหนาประสิทธิผลของโครงสร้าง

$$d = \sqrt{\frac{M_{max}}{R_b}}$$

การคำนวณหาเหล็กเสริมสำหรับช่วงสั้น

$$\text{เหล็กเสริมรับโมเมนต์ลบ } As^- = \frac{M^-}{f_s \times j \times d}$$

เลือกใช้ขนาดเหล็กที่มีพื้นที่หน้าตัดไม่เกิน A_s^- ที่คำนวณหาได้

$$\text{เหล็กเสริมรับโมเมนต์บวก } As^+ = \frac{M^+}{f_s \times j \times d}$$

เลือกใช้ขนาดเหล็กที่มีพื้นที่หน้าตัดไม่เกิน A_s^+ ที่คำนวณหาได้

การคำนวณหาเหล็กเสริมสำหรับช่วงยาว

$$\text{เหล็กเสริมรับโมเมนต์ลบ } As^- = \frac{M^-}{f_s \times j \times d}$$

เลือกใช้ขนาดเหล็กที่มีพื้นที่หน้าตัดไม่เกิน A_s^- ที่คำนวณหาได้

$$\text{เหล็กเสริมรับโมเมนต์บวก } As^+ = \frac{M^+}{f_s \times j \times d}$$

เลือกใช้ขนาดเหล็กที่มีพื้นที่หน้าตัดไม่เกิน A_s^+ ที่คำนวณหาได้

3.5 การทดสอบหาค่าอัตราการไหลในรางระบายน้ำ

<u>ขั้นตอนการทดสอบ</u>

1. ติดตั้งชุดทดสอบหาอัตราการไหลโดยใช้กล้องระดับปรับระยะลาดระหว่างด้านหัวและด้านท้ายของรางระบายน้ำ 10 ท่อน โดยที่ใช้โครงเหล็กแบกรางระบายน้ำไว้และที่ขาตั้งของโครงเหล็กนั้นสามารถที่จะปรับเลื่อนขึ้นลงได้ บันทึกค่าระยะลาด (S)

2. ปล่อยน้ำจากปั๊มให้ไหลผ่านบ่อสลายพลังงานที่ด้านต้นน้ำเพื่อปรับให้น้ำมีอัตราการไหลคงที่สม่ำเสมอและไหลต่อไปยังรางระบายน้ำยาว 10 เมตร ผ่านไปยังบ่อพักสลายพลังงานด้านท้ายน้ำโดยที่ควบคุมการไหลของน้ำให้อยู่ในระดับความสูงที่กำหนดไว้ ทำการบันทึกค่า

3. วัดค่าอัตราการไหล (Q) จากบ่อสลายพลังงานด้านท้ายน้ำซึ่งจะมีขีดบอกปริมาตรความจุของน้ำที่ไหลผ่านรางระบายน้ำลงไปยังบ่อพักด้านท้ายน้ำ บันทึกค่าความจุของน้ำ

4. หาพื้นที่หน้าตัดการไหล (A) วัดค่าเส้นขอบเปียก (P) โดยใช้ไม้ระดับประกอบกับเทปวัดระยะ หรือใช้การคำนวณหาจากแบบที่ทำการหล่อรางระบายน้ำ

<u>การสรุปผลการทดลอง</u>

1. สรุปหาอัตราการไหล (Q) เพื่อเปรียบเทียบอัตราการไหลของรางระบายน้ำระหว่าง 2 หน้าตัดหาปริมาตรน้ำต่อหนึ่งหน่วยเวลาที่น้ำไหลผ่านหน้าตัด เพื่อเปรียบเทียบอัตราการไหลของรางระบายน้ำระหว่าง 2 หน้าตัด (หน้าตัดประยุกต์และหน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมู)

2. สรุปความเร็วเฉลี่ยของการไหล (V) จากสมการ $Q=\frac{V}{A}$ ซึ่งเป็นตัวแทนของความเร็วของการไหลเฉลี่ยตลอดพื้นที่หน้าตัด เปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ยของการไหลผ่านระหว่าง 2 หน้าตัด เพื่อใช้เป็นแนวทางศึกษาการกัดเซาะและการตกตะกอนในภายหลัง

3. สรุปค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n) ของหน้าตัดการไหล โดยคำนวณจากสมการ $V=\frac{1}{n}AR^{2/3}S^{1/2}$ เพื่อเปรียบเทียบค่า n ของทั้งสองหน้าตัดและรวมถึงเปรียบเทียบกับค่า n ของเมนนิ่งที่ได้ในตารางข้างต้นว่าอยู่ในเกณฑ์ดีมากน้อยเพียงใด ซึ่งหากรางระบายน้ำมีอัตราการไหลไม่ดีหรือมีอัตราการไหลน้อยกว่าหน้าตัดที่ใช้อยู่ในปัจจุบันก็จะได้ค่า n ใหม่เพราะผิวหน้าของรางระบายน้ำนั้นเป็นสภาพผิวที่ไม่ใช่คอนกรีตดาดผิวเรียบ

3.6 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่ง

แต่เนื่องจากแบบที่ใช้ในการหล่อรางระบายน้ำสำเร็จรูปนั้นจะใช้ค่า n ที่ได้จากคารางของแมนนิ่งไม่ได้ เนื่องจากไม่ใช่คอนกรีตที่ดาดผิวเรียบ ดังนั้นเราจึงต้องคำนวณหาค่า n ที่ได้จากการทดลองจริงด้วย คำนวณได้จากสูตร

$$Q=\frac{1}{n}AR^{\frac{2}{3}}\sqrt{S_0}$$

จะได้ $$n=\frac{AR^{2/3}}{Q}\sqrt{S_0}$$

เมื่อเราแทนค่าไปแล้วเราเราก็จะได้ค่า n ที่ได้มาจากการทดลองจริง เราก็จะนำค่าที่ได้มานั้นเปรียบเทียบกับค่า n ที่ได้จากการคำนวณจากสูตรด้านบน ซึ่งอาจจะได้ค่า n ออกมาใหม่ซึ่งไม่ตรงกับตารางของแมนนิ่งเพราะเนื่องจากผิวหน้าไม่ใช่คอนกรีตดาดผิวเรียบอาจจะทำให้เราสามารถนำค่าที่ทดลองได้นั้น ไปใช้ในชีวิตประจำวันได้

บทที่ 4
ผลการทดสอบ

4.1 ผลการวิเคราะห์หาขนาดหน้าตัดของรางระบายน้ำ

จากสูตรการคำนวณหาอัตราการไหลในรางระบายน้ำของแมนนิ่ง

$$Q = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} \sqrt{S_0}$$

เนื่องจากข้อกำหนดขององค์การบริหารส่วนตำบล กำหนดให้ระยะ Slope ไม่น้อยกว่า 0.0008 ดังนั้นจึงขอใช้ระยะ Slope = 0.008

- หน้าตัดผสม

$$A = \frac{T^2}{4z} - \frac{r^2}{z}(1 - z\cot^{-1} z)$$

$$P = \frac{T}{z}\sqrt{1+z^2} - \frac{2r}{z}(1 - z\cot^{-1} z)$$

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

แทนค่าขนาดหน้าตัดที่ได้ลงในสูตร จะได้

$$A = \frac{0.4^2}{4(0.34)} - \frac{0.05^2}{0.34}(1 - 0.34x\cot^{-1} 0.34)$$

$A = 0.111 \ m^2$

$$P = \frac{0.4}{0.34}\sqrt{1+0.34^2} - \frac{2(0.05)}{0.34}(1 - 0.34x\cot^{-1} 0.34)$$

$P = 0.948 \ m$

ดังนั้น $$R = \frac{A}{P} = \frac{0.111}{0.948} = 0.117$$

เนื่องจากพื้นที่ผิวของรางระบายน้ำเป็นคอนกรีต ดังนั้นจึงกำหนดให้ค่า n = 0.013 (เป็นค่าที่สมมุติขึ้นเพื่อต้องการหาอัตราการไหลสูงสุดเมื่อน้ำไหลเต็มพื้นที่หน้าตัด)

ดังนั้นค่า $$Q_{max} = \frac{1}{0.013}(0.111)(0.117)^{2/3}\sqrt{0.0008}$$

$$= 0.183 \ m^3/s$$

- หน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมู

$$A = (b + zy)y$$

$$P = b + 2y\sqrt{1 + z^2}$$

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

แทนค่าขนาดหน้าตัดที่ได้ลงในสูตร จะได้

$$A = [0.157 + 0.212(0.50)]x(0.50)$$

$$A = 0.111 \ m^2$$

$$P = 0.157 + 2(0.50)\sqrt{1 + 0.212^2}$$

$$P = 0.948 \ m$$

ดังนั้น $$R = \frac{A}{P} = \frac{0.111}{0.948} = 0.117$$

เนื่องจากพื้นที่ผิวของรางระบายน้ำเป็นคอนกรีต ดังนั้นจึงกำหนดให้ค่า n = 0.013 (เป็นค่าที่สมมุติขึ้นเพื่อต้องการหาอัตราการไหลสูงสุดเมื่อน้ำไหลเต็มพื้นที่หน้าตัด)

ดังนั้นค่า $$Q_{max} = \frac{1}{0.013}(0.111)(0.117)^{2/3}\sqrt{0.0008}$$

$$= 0.183 \ m^3/s$$

4.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของรางระบายน้ำ

ตารางที่ 4.1 การคำนวณหาเหล็กเสริมในรางระบายน้ำ

ออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทาง			Two Way Slab		ชื่อพื้น :	
จำนวนด้านที่ต่อเนื่อง	0					
CASE SLAB	กรณีที่ :		5	Four edges discontinuous		
					m.	
Short Span	1.00	M	Thick =	0.075	Req'd=	0.056
Long Span	1.80	M	Conc. fc'	173	ksc.	
Live Load	800	kg/m^2	Steel fs	1,200	ksc.	
Finish	0	kg/m^2	Covering	0.025	m.	
m = Short/Long	0.56		Bars dia.	9	mm.	
W (DL+Finish)	180	kg/m^2	N =	10	j =	0.869
W (DL+Finish+LL)	980	kg/m^2	k =	0.393	R =	11.09
			d =	0.027		
Max. Moment =	80	kg-m	d' =	0.030	(Main Reinf.)	
Resisting Moment =	230	kg-m	d' =	0.034	(Second. Reinf.)	

SHORT SPAN			REINFORCEMENT			
LOCATION	COEFF.	MOMENT	REINF.	9 mm.@	6 mm.@	Remark
-M Cont.	0.000	0	0.00	-----	-----	
-M Disc.	0.054	53	1.12	0.570	0.253	
+M	0.082	80	1.68	0.378	0.168	RB 6mm @ 0.15 m
LONG SPAN			REINFORCEMENT			
LOCATION	COEFF.	MOMENT	REINF.	9 mm.@	6 mm.@	Remark
-M Cont.	0.000	0	0.00	-----	-----	
-M Disc.	0.033	32	0.68	0.933	0.415	
+M	0.050	49	1.15	0.555	0.247	
		Min. As	1.88	0.339	0.151	RB 9mm @ 0.30 m

4.3 ผลการวิเคราะห์หาส่วนผสมของคอนกรีต

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

ขั้นตอนที่ 1 รวบรวมความต้องการของผู้ออกแบบ

- กำลังอัด 210 ksc.
- ค่ายุบตัว 7.5 ± 2.5 cm.
- ขนาดใหญ่ที่สุดของหินที่ใช้ 3/4" - # 4
- ไม่ใส่น้ำยาผสมคอนกรีต

ขั้นตอนที่ 2 ปริมาณน้ำที่ใช้และน้ำหนักซีเมนต์

- ปริมาณน้ำที่ใช้ = 190 ลิตร / ลบ.ม. คอนกรีต
- หาอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์จากกราฟจะได้ค่า = 0.70
- น้ำหนักซีเมนต์ 190 / 0.70 = 271 kg.

ขั้นตอนที่ 3 หาปริมาตรซีเมนต์

- ปริมาตรซีเมนต์ = น้ำหนักซีเมนต์ / ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์

  = 271 / 3.15

  = 86 ลิตร

ขั้นตอนที่ 4 หาปริมาตรทราย

- เนื่องจากใช้หินขนาด 3/4" - # 4
- ปริมาตรซีเมนต์ + ปริมาตรทราย = 40 % หรือ 400 ลิตร
- ปริมาตรทราย = 400 – 86 = 314 ลิตร

ขั้นตอนที่ 5 หาน้ำหนักทราย

น้ำหนักทราย = ปริมาตรทราย x ความถ่วงจำเพาะของทราย

= 314x2.65

= 832 kg

ขั้นตอนที่ 6 หาปริมาตรหิน

ปริมาตรหิน = 1000 – ปริมาตรซีเมนต์ – ปริมาตรน้ำ - ปริมาตรทราย

= 1000-86-190-314

= 410 ลิตร

ขั้นตอนที่ 7 หาน้ำหนักหิน

น้ำหนักของหิน = ปริมาตรหินxความถ่วงจำเพาะของหิน

= 410 x 2.70

= 1107 kg

ในการหาสัดส่วนผสมความละเอียดส่วนผสมควรเป็นดังนี้

ซีเมนต์	ความละเอียดถึง	5 kg
น้ำ	ความละเอียดถึง	5 ลิตร
หินและกรวด	ความละเอียดถึง	5 kg

สรุป ส่วนผสมใน 1 ลูกบาศก์เมตร คอนกรีตเป็นดังนี้

ซีเมนต์	271 kg
น้ำ	190 ลิตร
ทราย	832 kg
หิน	1107 kg

4.4 ผลการหาอัตราการไหลในรางระบายน้ำ

ขั้นตอนการทดสอบ

1.ติดตั้งชุดทดสอบหาอัตราการไหลโดยใช้กล้องระดับปรับระยะลาดระหว่างหัวและท้ายของรางระบายน้ำ 10 ท่อน โดยที่ใช้โครงเหล็กแบกรางระบายน้ำไว้และที่ขาตั้งของโครงเหล็กนั้นสามารถที่จะปรับเลื่อนขึ้นลงได้ บันทึกค่าระยะลาด (S)

2.ปล่อยน้ำจากปั๊มให้ไหลผ่านบ่อสลายพลังงานที่ด้านต้นน้ำเพื่อปรับให้น้ำมีอัตราการไหลคงที่สม่ำเสมอและไหลต่อไปยังรางระบายน้ำยาว 10 เมตร ผ่านไปยังบ่อพักสลายพลังงานด้านท้ายน้ำโดยที่ควบคุมการไหลของน้ำให้อยู่ในระดับความสูงที่กำหนดไว้ ทำการบันทึกค่า

3.วัดค่าอัตราการไหล (Q) จากบ่อสลายพลังงานด้านท้ายน้ำซึ่งจะมีขีดบอกปริมาตรความจุของน้ำที่ไหลผ่านรางระบายน้ำลงไปยังบ่อพักด้านท้ายน้ำ บันทึกค่าความจุของน้ำ

4.หาพื้นที่หน้าตัดการไหล (A) วัดค่าเส้นขอบเปียก (P) โดยใช้ไม้ระดับประกอบกับเทปวัดระยะ หรือใช้การคำนวณหาจากแบบที่ทำการหล่อรางระบายน้ำ

ตารางที่ 4.2 การหาอัตราการไหลในรางระบายน้ำหน้าตัดประยุกต์ที่ความสูงต่างๆ

รางน้ำหน้าตัดประยุกต์		
Q(cms)	h(m)	A(m.^{2})
0.0495	0.250	0.0977
0.0413	0.225	0.0894
0.0350	0.200	0.0782
0.0245	0.175	0.0675
0.0153	0.150	0.0426
0.0098	0.125	0.0257
0.0056	0.100	0.0169
0.0040	0.075	0.0105
0.0025	0.050	0.0075
0.0016	0.025	0.0015

ตารางที่ 4.3 การหาอัตราการไหลในรางระบายน้ำหน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมูที่ความสูงต่างๆ

รางน้ำหน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมู		
Q(cms)	h(m)	A(m.^{2})
0.0315	0.250	0.0977
0.0223	0.225	0.0894
0.0195	0.200	0.0782
0.0128	0.175	0.0675
0.0098	0.150	0.0426
0.0065	0.125	0.0257
0.0048	0.100	0.0169
0.0035	0.075	0.0105
0.0021	0.050	0.0075
0.0010	0.025	0.0015

จากตารางที่ได้จากการทดลองนี้ สามารถที่จะวิเคราะห์หาความเร็วการไหล ระหว่างหน้าตัดประยุกต์และหน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมู

การวิเคราะห์หาความเร็วการไหล(V)ในรางระบายน้ำ ได้เริ่มทำการทดลองและวิเคราะห์หาที่อัตราการไหล (Q) ต่างๆ กัน จากอัตราการไหล (Q) ค่าน้อยๆไปจนถึงอัตราการไหล (Q) ค่ามากที่ทำให้มีน้ำไหลเต็มหน้าตัดของหน้าตัดประยุกต์ก่อน แล้วใช้ค่าอัตราการไหล (Q) ค่าเดียวกันนี้ไปเทียบกับหน้าตัดสี่เหลี่ยมสี่เหลี่ยมคางหมู และทำการเพิ่มอัตราการไหลไปจนถึงอัตราการไหลที่ทำให้น้ำไหลเต็มหน้าตัดของหน้าตัดประยุกต์ ในระหว่างการทดลองแต่ละอัตราการไหลจะบันทึกค่า h (ความสูงของน้ำ) ของแต่ละอัตราการไหล (Q) ไว้ เพื่อนำไปคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดการไหล (A) และนำพื้นที่หน้าตัดการไหล (A) ไปหาค่าความเร็วการไหล (V) อีกที โดยผลการวิเคราะห์หาความเร็วการไหล (V) ในรางระบายน้ำสามารถที่จะทำการคำนวณได้จากสูตรของแมนนิ่ง

$$v = \frac{k}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

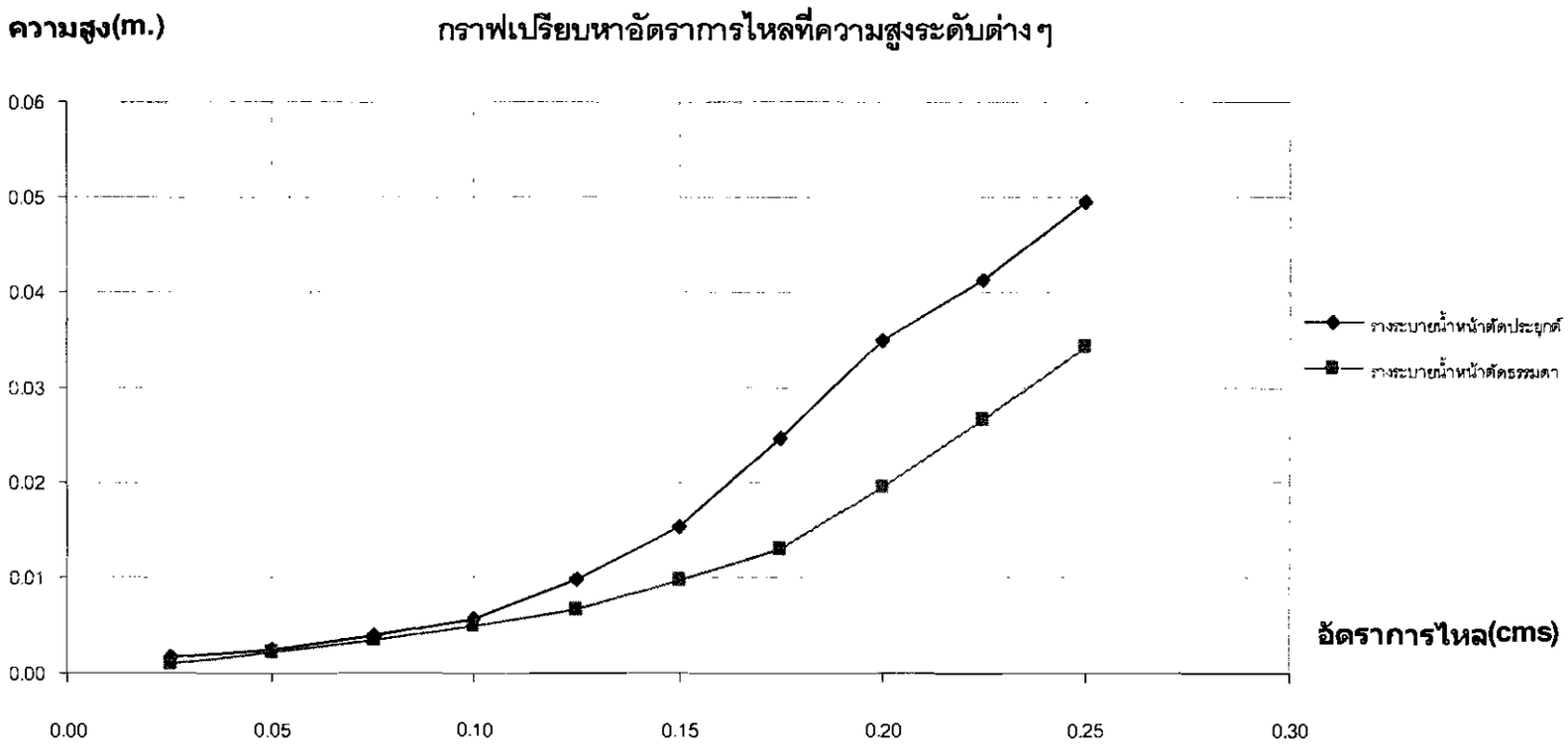
เมื่อ V คือ ความเร็วเฉลี่ยของการไหล (m/S)

n คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning

k = 1.0 สำหรับการคำนวณด้วยหน่วยเอสไอ

= 1.486 สำหรับการคำนวณด้วยหน่วยอังกฤษ

โดยที่เราสามารถที่จะคำนวณหารัศมีทางชลศาสตร์ (R) ได้จากสูตรของแมนนิ่งในตารางที่ 2.4 มิติขั้นพื้นฐานทางเรขาคณิตของหน้าตัดทางน้ำในบทที่ 2 และสามารถที่จะหาอัตราการไหล (Q) ได้จากสูตรของแมนนิ่ง Q = AV เมื่อทำการคำนวณแล้วก็จะสามารถนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองพบว่ารางระบายน้ำหน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมูมีอัตราการระบายน้ำที่น้อยกว่ารางระบายน้ำหน้าตัดประยุกต์ ซึ่งสามารถนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.1 เปรียบเทียบอัตราการไหลของรางระบายน้ำทั้ง 2 หน้าตัด



รูปที่ 4.1 ค่าการเปรียบเทียบอัตราการไหลของทั้ง 2 หน้าตัดที่ระดับความสูงต่างๆ

4.5 ผลการคำนวณหาสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่ง

จากสูตรการคำนวณหาค่า n ของแมนนิ่ง จะได้สมการ

$$Q = \frac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}} \sqrt{S_0}$$

เมื่อทำการย้ายข้างสมการ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n)

จะได้ $$n = \frac{AR^{2/3}}{Q} \sqrt{S_0}$$

ตารางที่ 4.4 การหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่งที่อัตราการต่างๆ ของรางระบายน้ำทั้ง 2 หน้าตัด

ค่า n หน้าตัดประยุกต์	
Q(cms)	n
0.0495	0.0174
0.0413	0.0129
0.0350	0.0105
0.0245	0.0150
0.0153	0.0140
0.0098	0.0135
0.0056	0.0156
0.0040	0.0118
0.0025	0.0169
0.0016	0.0126
ค่าเฉลี่ย	**0.0140**

ค่า n หน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมู	
Q(cms)	n
0.0315	0.0157
0.0223	0.0167
0.0195	0.0158
0.0128	0.0155
0.0098	0.0175
0.0065	0.0165
0.0048	0.0160
0.0035	0.0150
0.0021	0.0149
0.0010	0.0130
ค่าเฉลี่ย	**0.0156**

สถาบัน

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลที่ได้จากการทดลอง

จากผลการทดลองการวิเคราะห์หาความเร็วการไหล(V)ในรางระบายน้ำจะเห็นว่า ที่อัตราการไหล(Q)เดียวกันแต่ความสูงของน้ำ(h)ที่ไหลผ่านหน้าตัดเกิดขึ้นไม่เท่ากัน โดยที่รางระบายน้ำหน้าตัดประยุกต์จะมีความสูงของน้ำมากกว่าเมื่อใช้อัตราการไหลที่เท่ากันแต่จะเท่ากันเมื่อมีน้ำไหลเต็มหน้าตัด ซึ่งเป็นผลมาจากการออกแบบหน้าตัดที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากันแต่มี Slope ด้านข้างที่ต่างกัน และลักษณะรูปร่างของท้องรางที่ต่างกัน และจากการคำนวณความเร็วการไหล(V)จะเห็นได้ว่า ที่อัตราการไหล(Q)เดียวกันความเร็วการไหล(V)ที่ไหลผ่านรางน้ำหน้าตัดประยุกต์มีค่ามากกว่ารางน้ำหน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมู โดยที่ค่าความเร็วการไหลจะแตกต่างกันเมื่อใช้ค่าอัตราการไหล(Q)ค่าน้อยมีความสูงของน้ำไม่มากและจะเท่ากันเมื่อใช้ค่าอัตราการไหลค่ามากค่าหนึ่งที่ทำให้มีน้ำไหลเต็มหน้าตัดทั้งสองหน้าตัด

เมื่อนำค่าที่ได้จากการทดลองไปเขียนกราฟเพื่อเปรียบเทียบความเร็วการไหล(V)ของทั้ง 2 หน้าตัด จะเห็นได้ว่าความเร็วการไหล(V)ที่อัตราการไหล(Q)เริ่มต้นที่เท่ากันนั้น หน้าตัดประยุกต์จะมีค่าความเร็วการไหล(V)ที่มากกว่าหน้าตัดแบบสี่เหลี่ยมคางหมู เมื่อนำกราฟทั้ง 2 มาเปรียบเทียบกัน จะเห็นว่า Slope ของอัตราการไหลที่หน้าตัดผสมนั้นจะมีน้อยกว่าอัตราการไหลที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมู ซึ่งเป็นผลมาจากการออกแบบที่ออกแบบให้ขนาดของรางระบายน้ำทั้ง 2หน้าตัดนั้นมีอัตราการไหล(Q)และความเร็วการไหล(V)ที่เท่ากันเมื่อน้ำไหลผ่านรางระบายน้ำเต็มหน้าตัด เพื่อที่จะเปรียบเทียบความเร็วการไหล(V)โดยควบคุมอัตราการไหล(Q) แต่ลักษณะและรูปร่างต่างกันเล็กน้อย จึงทำให้ความเร็วการไหล(V)ในรางระบายหน้าตัดประยุกต์เริ่มต้นนั้นมีค่าที่แตกต่างกัน เนื่องจากรูปร่างของรางระบายน้ำที่แตกต่างกัน แต่ในความเป็นจริงโอกาสที่น้ำจะไหลผ่านเต็มรางระบายน้ำมีความเป็นไปได้น้อยมาก ดังนั้นรางระบายน้ำหน้าตัดผสมจึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานระบายน้ำตามทางชนบท เนื่องจากเมื่อทำการทดลองแล้วสามารถทำให้รับรู้ถึงปัญหาในระหว่างทำการทดลองก็คือ ตัวรางระบายน้ำนั้นมีน้ำหนักที่มาก ทำให้การขนย้ายตัวรางระบายน้ำ คสล.สำเร็จรูปเป็นไปได้อย่างยากลำบาก ทำให้ต้องมีการพัฒนาสำหรับผู้ที่จะนำไปทำการใช้งานหรือทำการศึกษาต่อๆ ไป

บรรณานุกรม

กอบเกียรติ ผ่องพุฒิ. กระบวนการเรียนรู้การบำรุงรักษาและปฏิบัติการชลประทาน. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2542

กีรติ ลีวัจนกุล. วิศวกรรมชลศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรังสิต, 2543

คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน. การวางแผนและออกแบบระบบส่งน้ำชลประทาน. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546

โชติไกร ไชยวิจารณ์. วิศวกรรมชลศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น), 2546

วราวุธ วุฒิวณิชย์. การออกแบบระบบชลประทานในไร่นา. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2545

วรุณ คุณวาสี. ไฮดรอลิกส์. พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช, 2534

สายสุนีย์ พุทธาคุณเจริญ. ชลศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ : LIBRARY – NINE PUBLISHING, 2540

หรรษา วัฒนานุกิจ. วิศวกรรมแม่น้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, 2541

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ลักษณะของรางระบายน้ำและรายละเอียด

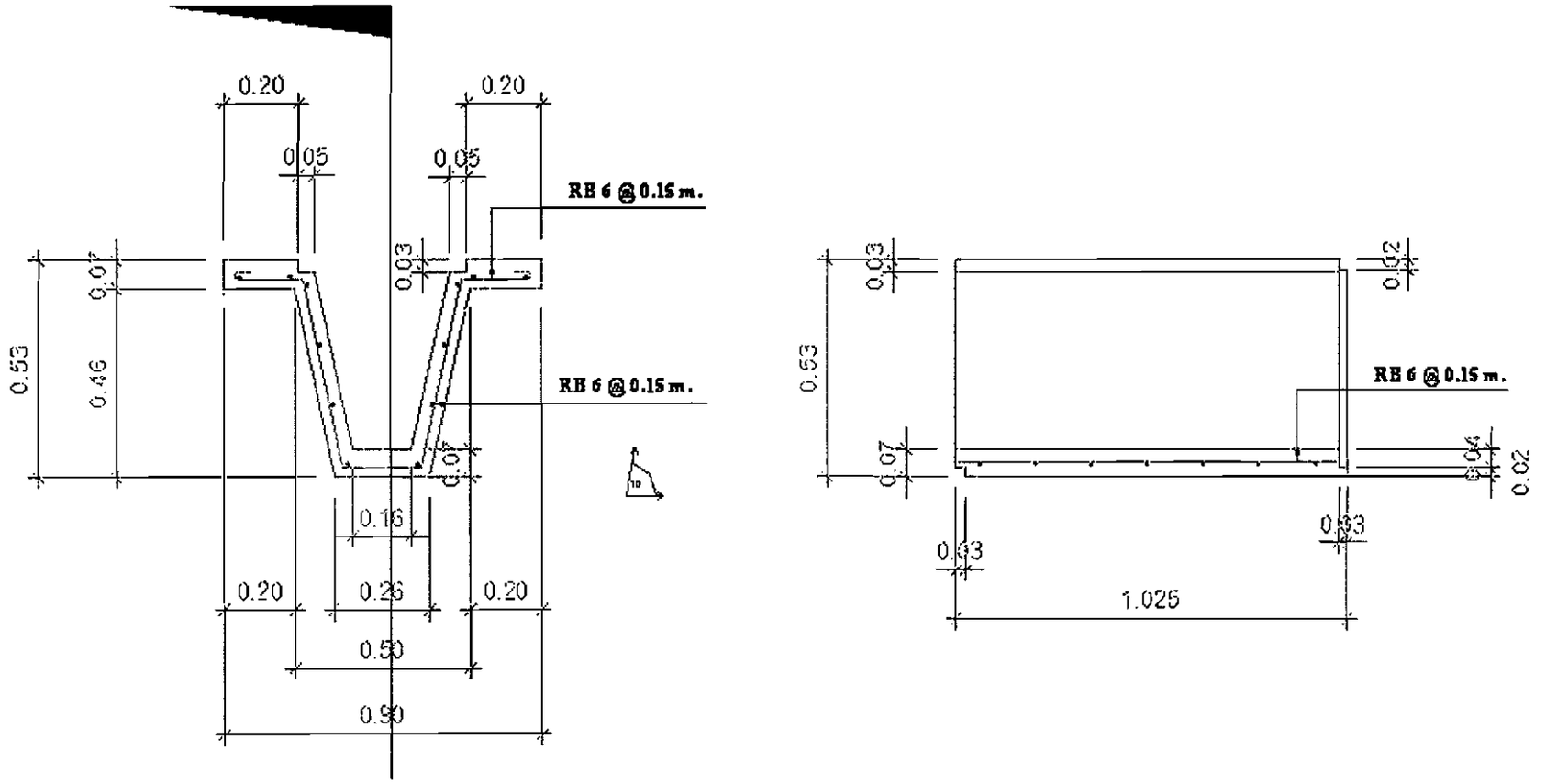
ภาคผนวก ข ลักษณะของโครงเหล็กที่ใช้รองรับรางระบายน้ำ

ภาคผนวก ค ลักษณะของถังสลายพลังงานและรายละเอียด

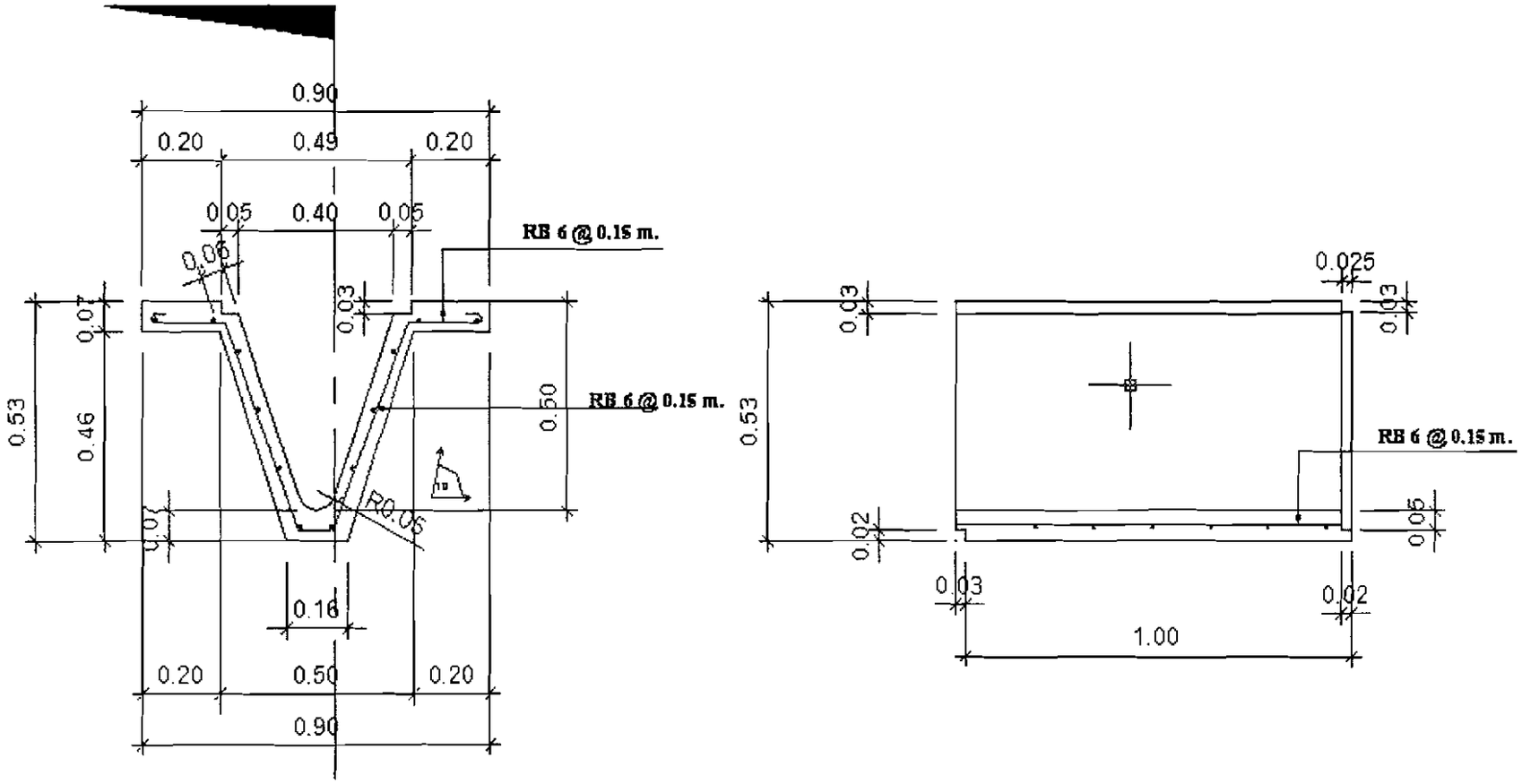
ภาคผนวก ง ลักษณะของถังหาปริมาณของของไหล

ภาคผนวก ก

ลักษณะของรางระบายน้ำและรายละเอียด



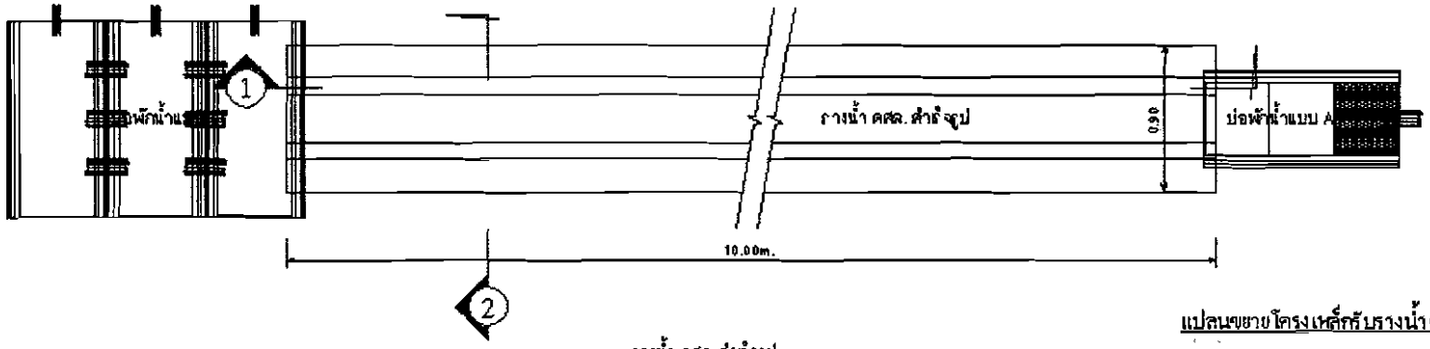
รายละเอียดและขนาดรางระบายน้ำหน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมู



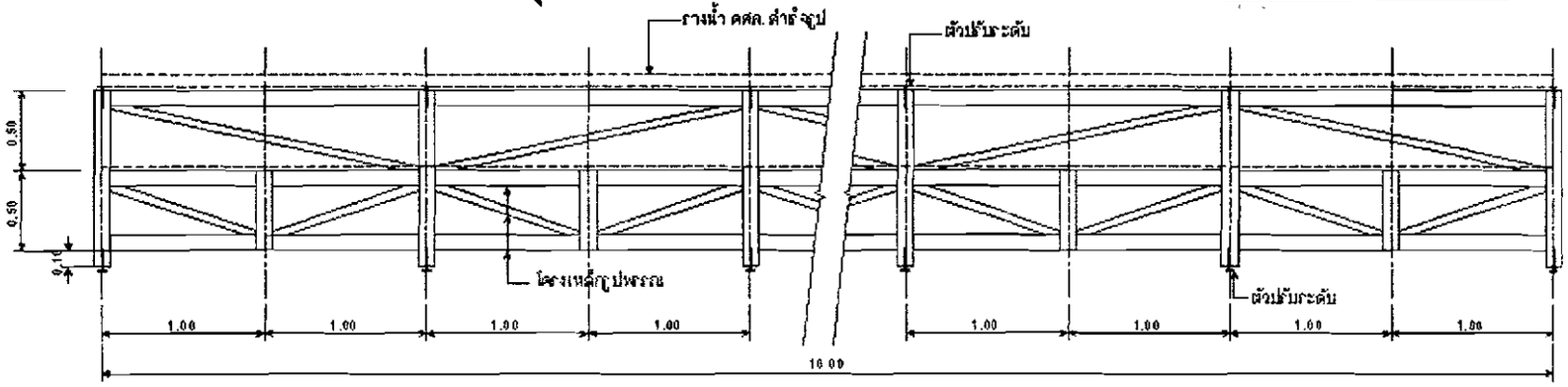
รายละเอียดและขนาดรางระบายน้ำหน้าตัดประยุกต์

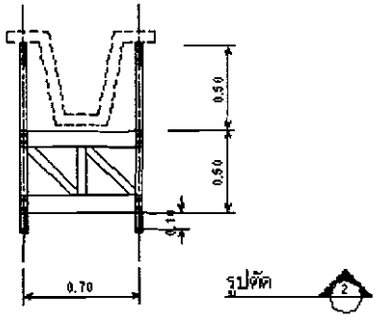
ภาคผนวก ข

ลักษณะของโครงเหล็กที่ใช้รองรับรางระบายน้ำ



แปลนขยายโครงเหล็กรับรางน้ำ คสล.





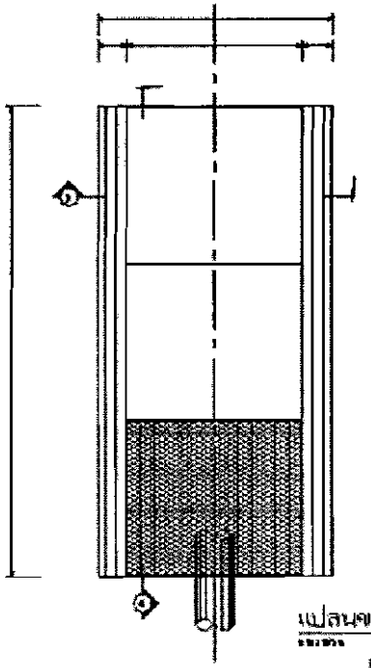
รูปตัด 2

รูปตัด 1

รายละเอียดและขนาดของโครงเหล็กที่ใช้รับรางระบายน้ำ

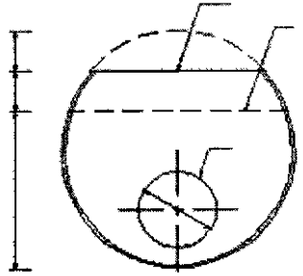
ภาคผนวก ค

ลักษณะของถังสลายพลังงานและรายละเอียด

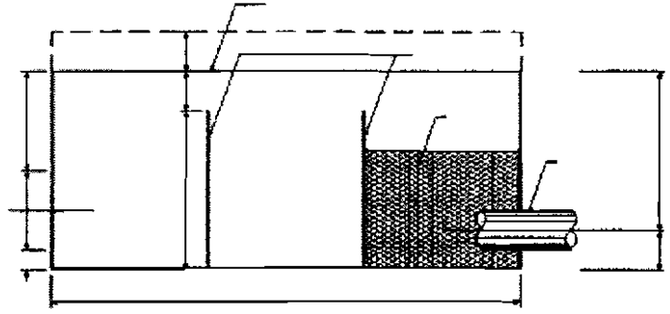


แปลนขยายบ่อพักน้ำแบบ A

(บ่อสลายพลังงาน)



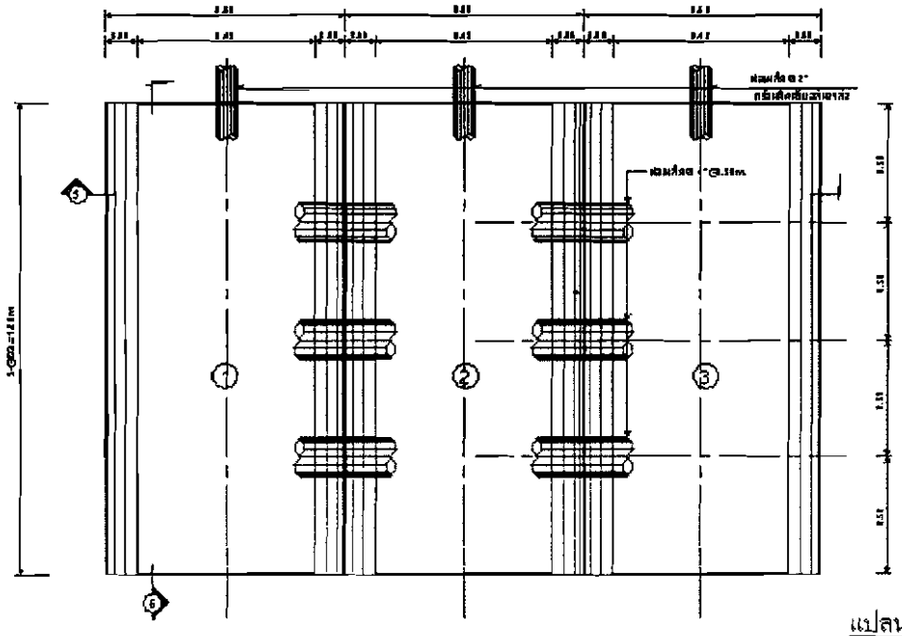
รูปตัด 3



รูปตัด 4

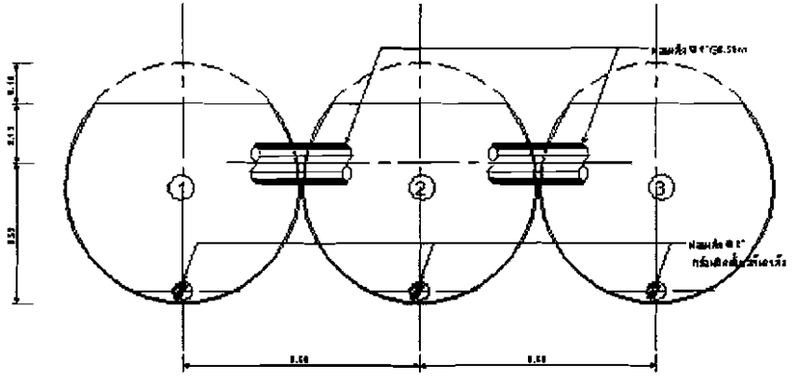
ภาคผนวก ง

ลักษณะของถังหาปริมาณของของไหล

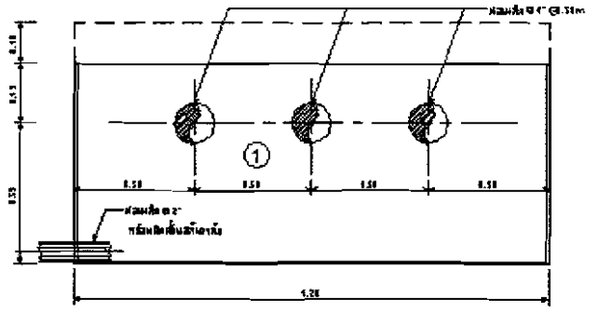


แปลนขยายบ่อพักน้ำแบบ B

(บ่อวัดอัตราการไหล)



รูปตัด 5



รูปตัด 6

ภาคผนวก จ

รูปแสดงขั้นตอนการสร้างรางระบายน้ำ คสล. สำเร็จรูป