เล่มที่1

มาตรฐานการคำนวณออกแบบระบบส่งน้ำและระบายน้ำ

คำนำ

ตามที่กรมชลประทาน ได้แต่งตั้งคณะทำงานจัดทำแบบมาตรฐานระบบส่งน้ำและระบายน้ำ เพื่อดำเนินการจัดทำแบบมาตรฐานดังกล่าว คณะทำงานได้จัดทำเอกสารเป็น 2 ส่วน คือ

1. มาตรฐานการคำนวณออกแบบระบบส่งน้ำและระบายน้ำ

2. แบบมาตรฐาน คลองส่งน้ำ คลองระบายน้ำ และระบบท่อส่งน้ำรับแรงดันสูง

มาตรฐานชุดนี้ คณะทำงานได้สรุปรวบรวมจากเอกสารทางวิชาการต่าง ๆ และเลือกส่วนที่จะใช้ประกอบการพิจารณาออกแบบไว้ โดยใช้ประสบการณ์ของคณะทำงานเป็นที่ตั้ง ในปัจจุบันระบบส่งน้ำในประเทศไทยได้ใช้งานแล้วมากมาย จึงเห็นสมควรให้มีการตรวจวัด ประเมินผลค่าต่าง ๆ ที่กรมชลประทานได้ประยุกต์ใช้ของต่างประเทศอยู่ เพื่อที่จะนำมาเป็นบรรทัดฐานสำหรับการปรับปรุงมาตรฐานของกรมชลประทานให้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

ระบบส่งน้ำและระบายน้ำ

สารบัญ

หน้า

คำนำ

สารบัญ ก

สารบัญรูป ค

สารบัญตาราง ง

บทที่ 1 การออกแบบระบบส่งน้ำแบบคลองเปิด

1.1 บทนำ 1-1

1.2 คลองส่งน้ำชลประทาน 1-1

1.3 ประเภทคลองส่งน้ำ 1-2

1.4 หลักการวางแนวคลองส่งน้ำ 1-4

1.5 หน้าที่และคุณสมบัติของคลองส่งน้ำ 1-5

1.6 การกำหนดปริมาณน้ำที่จะส่งให้แก่พืช 1-6

1.7 การกำหนดค่าชลภาระ 1-7

1.8 การออกแบบคลองส่งน้ำ 1-7

1.9 เกณฑ์กำหนดขนาดคลองส่งน้ำดาดคอนกรีต 1-9

1.10 อาคารชลประทานในระบบส่งน้ำ 1-13

1.11 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 1-14

บทที่ 2 วิธีการออกแบบท่อส่งน้ำชลประทานรับแรงดัน

2.1 การคำนวณปริมาณน้ำที่จะส่ง 2-1

2.2 การคำนวณขนาดท่อ 2-2

2.3 การคำนวณการสูญเสียพลังงานในเส้นท่อ 2-3

2.4 การคำนวณลาด Hydraulic Grade Line 2-3

2.5 การคำนวณและออกแบบอาคารประกอบในระบบท่อ 2-5

2.6 การคำนวณหาค่า Water Hammer 2-5

2.7 การคำนวณชั้นคุณภาพของท่อ 2-7

2.8 การคำนวณขนาดเครื่องสูบน้ำ 2-7

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
บทที่ 3	**การคำนวณค่าชลภาระในการออกแบบระบบส่งน้ำ**	
	3.1 หลักเกณฑ์การคำนวณหาปริมาณน้ำหรือค่าชลภาระสำหรับข้าวในกรณีส่งน้ำแบบหมุนเวียน	3-1
	3.2 หลักเกณฑ์การคำนวณหาปริมาณน้ำหรือค่าชลภาระสำหรับพืชไร่	3-3
	3.3 ประสิทธิภาพการชลประทาน	3-4
บทที่ 4	**การออกแบบระบบส่งน้ำในระบบฟาร์มแบบไร่นาสวนผสมตามแนวทฤษฎีใหม่**	
	4.1 ข้อมูลที่ใช้ประกอบการออกแบบ	4-1
	4.2 เกณฑ์การออกแบบสระเก็บน้ำ	4-1
บทที่ 5	**การออกแบบคลองระบายน้ำ**	
	5.1 ข้อมูลที่ใช้ประกอบการออกแบบระบบระบายน้ำ	5-1
	5.2 หลักเกณฑ์การวางแนวคลองระบายน้ำ	5-1
	5.3 หลักเกณฑ์การกำหนดตำแหน่งของอาคารในคลองระบายน้ำ	5-1
	5.4 เกณฑ์การออกแบบคลองระบายน้ำ	5-2
บรรณานุกรม		

ระบบส่งน้ำและระบายน้ำ

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 2.1	Moody Diagram	2-4
รูปที่ 2.2	แสดงจุดที่ควรติดตั้งวาวล์ไล่อากาศ (Air Valve)	2-10
รูปที่ 2.3	แสดงรูปแบบอย่างง่ายของเครื่องสูบน้ำ และแรงดัน (Head) ต่าง ๆ	2-11
รูปที่ 3.1	แสดงปริมาณน้ำเพื่อการเตรียมแปลงและปักดำ	3-2
รูปที่ 3.2	แสดงพื้นที่ที่ใช้ในการเตรียมแปลง	3-2
รูปที่ 4.1	แสดงปัจจัยเกี่ยวข้องในการประเมินความต้องการน้ำชลประทาน	4-5
รูปที่ 5.1	แสดงค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า C ที่ใช้ในสูตร Rational's Formula	5-4
รูปที่ 5.2	แสดงระยะเวลาการไหลรวมตัวของน้ำท่า	5-5

ระบบส่งน้ำและระบายน้ำ

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1.1	แสดงค่า Freeboard ของคลองส่งน้ำ	1-12
ตารางที่ 1.2	แสดงความหนาของคอนกรีตดาดและความยาวแผ่นคอนกรีต	1-12
ตารางที่ 2.1	แสดงคุณสมบัติกลของน้ำที่ความกดดันบรรยากาศ	2-12
ตารางที่ 3.1	แสดงค่า Ratio of Moisture Extraction	3-4
ตารางที่ 3.2	แสดงค่าโดยประมาณสำหรับประสิทธิภาพชลประทาน	3-5
ตารางที่ 4.1	แสดงปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยไหลลงสระ	4-2
ตารางที่ 4.2	แสดงความต้องการน้ำของพืชไร่และพืชสวนฤดูแล้ง	4-3
ตารางที่ 5.1	แสดงค่า Area Reduction Factor	5-3

บทที่ 1

การออกแบบระบบส่งน้ำแบบคลองเปิด

1.1 บทนำ

วัตถุประสงค์หลักของการส่งน้ำในระบบชลประทานก็คือ การนำน้ำไปสู่พื้นที่เพาะปลูกเพื่อให้ได้ผลผลิตทางการเกษตรสูง เปิดโอกาสให้เกษตรกรได้รับประโยชน์จากผลผลิตอย่างเต็มเม็ดเต็มหน่วย

คลองส่งน้ำถือว่าเป็นระบบส่งน้ำชลประทานประเภทหนึ่ง เป็นโครงสร้างพื้นฐานของการพัฒนาให้ได้ผลตามเป้าหมาย การใช้เทคโนโลยีใหม่ ๆ ในการเกษตรกรรม จะต้องดำเนินการให้สอดคล้องกับการส่งน้ำให้แก่พื้นที่เพาะปลูกของโครงการชลประทานต่าง ๆ รวมทั้งต้องควบคุมปริมาณน้ำและความชื้นของดินในอาณาเขตของรากพืชให้เหมาะสม ซึ่งเป็นสิ่งท้าทายสำหรับการริเริ่มทดลองใช้พันธุ์ข้าวชนิดใหม่ รวมทั้งพันธุ์ข้าวชนิดต่าง ๆ และพืชไร่

ด้วยเหตุนี้ การวางแผนและออกแบบระบบส่งน้ำ จึงจำเป็นต้องมีมาตรฐานและหลักเกณฑ์ในการวางแผนและออกแบบ ซึ่งอาจต้องนำราคางานก่อสร้างมาพิจารณาด้วยว่าคุ้มกับการลงทุนหรือไม่ ในบางครั้งการออกแบบโดยใช้ทฤษฎีอย่างเดียวไม่คำนึงในเชิงเศรษฐกิจ จะทำให้ระบบการส่งน้ำมีความจุสูงและสิ้นเปลืองงบประมาณมากไป ดังนั้น การลดขนาดของระบบการส่งน้ำลงอย่างเหมาะสม จึงจำเป็นต้องวางหลักเกณฑ์ในการวางแผนและออกแบบให้รัดกุม

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะมีการกำหนดหลักเกณฑ์ในการออกแบบอย่างรัดกุมแล้ว ก็ยังมีตัวแปรต่าง ๆ อีกมากมายที่ก่อให้เกิดปัญหาและอุปสรรค เป็นสาเหตุทำให้ระบบส่งน้ำเสื่อมสภาพลง ตัวแปรต่าง ๆ เหล่านี้ ได้แก่ ปริมาณน้ำต้นทุน งบประมาณในการลงทุน ปัญหาความขัดแย้งระหว่างผู้ใช้น้ำ ปัญหาสังคม – เศรษฐกิจ และการเมือง เป็นต้น ดังนั้น ผู้วางแผนและออกแบบจึงต้องเป็นผู้ที่มีความเชี่ยวชาญ มีประสบการณ์ในการทำงานสูง มีมนุษยสัมพันธ์ที่ดีมีการประสานงานที่ดีระหว่างหน่วยงานต่าง ๆ มิฉะนั้นแล้วผลกระทบต่าง ๆ ที่ตามมาจะก่อให้เกิดปัญหา สร้างความเสียหายอย่างใหญ่หลวงให้กับระบบการส่งน้ำได้ในอนาคต

1.2 คลองส่งน้ำชลประทาน

การส่งน้ำจากหัวงานเข้าไปในเขตโครงการชลประทาน ตามปกติต้องขุดคลองส่งน้ำเข้าไป แต่คลองบางตอนจะต้องสร้างเป็นอาคารส่งน้ำแทนการขุดคลอง เช่น สร้างเป็นอุโมงค์ ท่อส่งน้ำ รางน้ำ หรือท่อเชื่อม เป็นต้น

คลองส่งน้ำเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นที่สุดของโครงการชลประทาน และสิ้นเงินค่าก่อสร้างมากกว่างานอย่างอื่น เพราะโครงการชลประทานหนึ่งมีคลองหลายสาย รวมกันแล้วมีความยาวมาก ต้องเสียเงินค่าซื้อที่ดินและค่าขุดคลองมาก

คลองส่งน้ำเป็นรางเปิด หรือร่องน้ำขนาดใหญ่ซึ่งขุดขึ้นในดินหรือถมขึ้นบนดิน เพื่อส่งน้ำให้แก่พื้นที่เพาะปลูก

คลองส่งน้ำมี 2 ชนิดคือ

1.2.1 คลองดิน เป็นคลองที่ขุดดินหรือถมดินให้เป็นรูปคลองดังที่เห็นทั่วไป

1.2.2 คลองดาด เป็นคลองที่มีการดาดผิวคลองเป็นเปลือกด้วยวัสดุต่าง ๆ เช่น คอนกรีตล้วน คอนกรีตเสริมเหล็ก เพื่อไม่ให้น้ำรั่วออกจากคลอง

1.3 ประเภทคลองส่งน้ำ

คลองส่งน้ำแบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ ตามลักษณะและหน้าที่ได้ ดังนี้

1.3.1 คลองสายใหญ่

1.3.2 คลองซอย

1.3.3 คลองแยกซอย

1.3.1 คลองสายใหญ่

เป็นคลองส่งน้ำที่ขุดแยกออกมาจากแหล่งน้ำต้นทุน เพื่อรับน้ำเข้าไปในเขตโครงการชลประทาน เนื่องจากคลองจะต้องรับน้ำไปให้เนื้อที่เพาะปลูกทั้งหมดในโครงการ หรือเนื้อที่เพาะปลูกอันกว้างใหญ่ ปริมาณน้ำที่ส่งไปในคลองมีมาก คลองมีขนาดใหญ่ และมีความสำคัญมากกว่าคลองสายอื่น จึงเรียกว่า คลองสายใหญ่

คลองสายใหญ่นี้จะมีเพียงสายเดียวหรือสองสาย จะขุดออกทางฝั่งเดียว หรือทั้งสองฝั่งของลำน้ำหลักก็ได้ ทั้งนี้ แล้วแต่เขตส่งน้ำของโครงการและแผนผังการส่งน้ำ ตามปกติคลองสายใหญ่จะมีแนวคลองอยู่บนพื้นที่ซึ่งสูงที่สุดในเขตโครงการ

1.3.2 คลองซอย

เป็นคลองส่งน้ำที่ขุดแยกออกมาจากคลองสายใหญ่ เพื่อรับน้ำไปส่งให้แก่พื้นที่เพาะปลูก ซึ่งคลองซอยสายนั้นควบคุมอยู่ คลองซอยจะมีแนวคลองอยู่บนที่สูงเช่นเดียวกัน

ตามข้างคลองซอยจะมีท่อส่งน้ำเข้านา ฝังไว้เป็นระยะ ๆ ไปตลอดคลอง เพื่อส่งน้ำเข้าแปลงเพาะปลูก ซึ่งทำได้ 2 วิธี คือ

1. ปล่อยน้ำออกจากท่อส่งน้ำเข้านาแล้วให้ไหลบ่าท่วมไปบนผิวดิน
2. ปล่อยน้ำออกจากท่อส่งน้ำเข้านาลงสู่คูนา ให้คูนารับน้ำไปแจกจ่ายแก่พื้นที่เพาะปลูกอีกทีหนึ่ง เพื่อให้น้ำแพร่กระจายไปสู่พื้นที่เพาะปลูกทั่วถึงกันดีขึ้น

คลองสายใหญ่อาจจะมีคลองซอยแยกออกไปหลายสาย และคลองซอยเหล่านี้อาจแยกออกจากคลองสายใหญ่ทางฝั่งเดียวกันหรือสองฝั่งก็ได้ ทั้งนี้แล้วแต่เขตส่งน้ำและสภาพของพื้นที่ดินในเขตโครงการ

ตามปกติการเรียกชื่อคลองซอย จะเรียกตามลำดับที่คลองซอยแยกออกจากคลองสายใหญ่ เช่น

คลองซอย 1R คือคลองซอยสายแรกที่แยกออกทางฝั่งขวาของคลองสายใหญ่ (R =Right)

คลองซอย 5R คือคลองซอยสายที่ 5 ที่แยกออกทางฝั่งขวาของคลองสายใหญ่

คลองซอย 3L คือคลองซอยสายที่ 3 ที่แยกออกทางฝั่งซ้ายของคลองสายใหญ่ (L = Left)

บางแห่งอาจเรียกชื่อคลองซอยตามระยะทางของคลองสายใหญ่ ที่คลองซอยสายนั้นแยกออกมา เช่น คลองซอยฝั่งขวาแยกที่ กม. 1+100 เรียก คลอง 1.1 R

ในกรณีที่คลองส่งน้ำสายใหญ่ มี 2 ฝั่งของหัวงานนิยมเรียก คลองสายใหญ่ ฝั่งขวาเป็น MR. และ ฝั่งซ้ายเป็น ML. ซึ่งคลองซอยก็จะมีชื่อคลองสายใหญ่กำกับดังตัวอย่าง

1R - ML คือ คลองซอยแยกที่ 1 ฝั่งขวาของคลองส่งน้ำสายใหญ่ฝั่งซ้าย

หรือ 1.1 R – ML คือ คลองซอยแยกที่ กม. 1+ 100 ฝั่งขวาของคลองสายใหญ่ฝั่งซ้าย

1.3.3 คลองแยกซอย

เป็นคลองส่งน้ำขนาดเล็ก ซึ่งแยกออกจากคลองซอยอีกทีหนึ่ง เพื่อรับน้ำไปส่งให้พื้นที่เพาะปลูกทั่วเขตโครงการ คลองแยกซอยมีลักษณะและหน้าที่เช่นเดียวกับคลองซอย คลองซอยสายหนึ่งจะมีคลองแยกซอยกี่สายก็ได้ และจะแยกออกจากทางฝั่งไหนหรือทั้งสองฝั่งของคลองซอยก็ได้

ตามคลองแยกซอยอาจมีคลองส่งน้ำเล็ก ๆ แตกแยกออกไปอีก แต่ก็เรียกคลองส่งน้ำเล็ก ๆ เหล่านี้ว่า คลองแยกซอย เหมือนกัน

การเรียกชื่อคลองแยกซอย ก็ถือหลักเช่นเดียวกับการเรียกชื่อคลองซอย เช่น

คลองแยกซอย 1L – 2R คือ คลองแยกซอยสายแรกที่แยกออกมาทางฝั่งซ้ายของคลองซอย 2R

คลองแยกซอย 1L – 1L – 2R คือ คลองแยกซอยสายแรกที่แยกออกทางฝั่งซ้ายของคลองแยกซอย 1L – 2R

นอกจากจะแบ่งประเภทคลองส่งน้ำตามลักษณะและหน้าที่ดังกล่าวมาแล้ว ยังสามารถแบ่งประเภทคลองตามความสัมพันธ์ระหว่างระดับผิวดินกับระดับน้ำสูงสุด ได้อีก 3 ประเภท คือ

- คลองประเภทจมดิน เป็นคลองประเภทที่ระดับน้ำสูงสุดในคลองอยู่เสมอหรือต่ำกว่าระดับผิวดินเดิม มักเป็นคลองส่งน้ำประเภทที่ทำหน้าที่เก็บกักน้ำ หรือเป็นช่วงตอนของคลองส่งน้ำที่ผ่านที่เนินหรือที่สูง และไม่ต้องส่งน้ำออกจากคลองส่งน้ำ คลองชนิดนี้มีความแข็งแรงดี ก่อสร้างง่ายเพราะตัวคลองวางอยู่บนดินเดิมทั้งหมด
- คลองประเภทกึ่งลอย เป็นคลองประเภทที่ระดับน้ำสูงสุดอยู่สูงกว่าระดับผิวดินเดิมเล็กน้อย และเป็นคลองที่นิยมออกแบบใช้งานอยู่ในปัจจุบัน เพราะให้ประสิทธิภาพในการส่งน้ำได้ดี ส่งน้ำออกจากคลองได้ง่าย ไม่มีปัญหาในการส่งน้ำ คลองแบบนี้ตัวคลองส่วนใหญ่วางอยู่บนพื้นดินเดิม

- คลองลอยหรือเหมืองฟู เป็นคลองประเภทที่ระดับก้นคลองสูงกว่าหรือใกล้เคียงกับระดับผิวดินเดิม ดังนั้นตัวคลองทั้งหมดจะวางอยู่บนดินถม มีปัญหาในด้านการก่อสร้างและรั่วซึมมาก คลองประเภทนี้มักเป็นช่วงตอนของคลองส่งน้ำที่วางแนวผ่านที่ลุ่ม ในกรณีที่ระดับก้นคลองสูงกว่าระดับดินเดิมมาก อาจหลีกเลี่ยงไปก่อสร้างเป็นสะพานน้ำจะปลอดภัยและบำรุงรักษาง่ายกว่า

1.4 หลักการวางแนวคลองส่งน้ำ

หลักการวางแนวคลองส่งน้ำที่สำคัญก็คือ พยายามให้คลองได้วางอยู่บนแนวที่มีระดับดินสูงที่สุดในเขตส่งน้ำ เมื่อส่งน้ำออกจากคลอง น้ำจะได้ไหลไปสู่พื้นที่เพาะปลูกที่มีระดับต่ำกว่าได้สะดวก แต่จะทำได้เพียงใดนั้น ย่อมแล้วแต่ลักษณะภูมิประเทศ คือ

1.4.1 ถ้าเป็นที่ราบอยู่ระหว่างชายเขา 2 ฟากแม่น้ำ แนวคลองสายใหญ่ควรพยายามให้ไต่เลาะไปตามชายเขา 2 ฟากแม่น้ำ ให้สูงหรือให้ห่างแม่น้ำมากที่สุดเท่าที่จะทำได้โดยกำหนดให้ F.S.L. ในคลอง สูงกว่าระดับดินเล็กน้อย

ในทำเลเช่นนี้ ควรวางแนวคลองสายให้เกือบจะขนานไปกับเส้น Contour ส่วนคลองซอยต่าง ๆ จะวางอยู่บนสันเนินดิน ซึ่งยื่นเป็นพูออกมาจากชายเขานั้น และตามปกติจะแยกออกได้ทางฝั่งเดียวของคลองสายใหญ่ ริมเขตส่งน้ำของคลองซอยทุกสายเป็นที่ลุ่ม หรือเป็นร่องน้ำ หรือลำน้ำซึ่งใช้เป็นทางระบายน้ำได้ในตัว ถ้าไม่มีร่องระบายน้ำเหล่านี้อยู่ตามธรรมชาติ ก็จะต้องขุดคลองระบายน้ำขึ้น

พื้นที่ส่งน้ำของคลองซอย แบ่งเป็นส่วน ๆ เรียกว่าแฉกส่งน้ำ เพราะฉะนั้น เนื้อที่ทั้งหมดของโครงการชลประทาน ก็คือผลรวมของเนื้อที่แฉกส่งน้ำทั้งหมดของคลองทุกสายนั่นเอง

1.4.2 ถ้าเป็นที่ราบกว้างใหญ่ และมีส่วนลาดเทพอสมควร แต่ไม่ปรากฏมีแนวเชิงเขาหรือสันเนินให้เห็นเด่นชัด การวางแนวคลองสายใหญ่ก็คงถือหลักเดียวกัน คือต้องวางแนวคลองให้อยู่บนแนวที่มีระดับแผ่นดินสูงที่สุด และกำหนดให้ F.S.L. ในคลองสูงกว่าระดับดินตามแนวคลองให้มาก ส่วนคลองซอยจะแยกออกมาตามแนวที่มีระดับดินต่ำกว่า

ในทำเลเช่นนี้ แนวคลองสายใหญ่และคลองซอยจะตัดขวางเส้น Contour ของดิน และคลองซอยจะแยกออกได้ทั้งสองฝั่งของคลองสายใหญ่

ก่อนวางแผนระบบการส่งน้ำจะต้องสำรวจระดับแผ่นดิน ทำแผนที่ระดับแสดงเส้น Contour โดยละเอียดให้ทั่วเขตโครงการเสียก่อน แล้วจึงพิจารณาวางแนวคลองลงบนแผนที่ได้ แผนที่ระดับที่ใช้วางแนวคลองส่งน้ำมีมาตราส่วน 1 : 10,000 หรือ 1 : 20,000 ไม่ควรใช้แผนที่ซึ่งมีมาตราส่วนเล็กกว่านี้ การวางแนวคลองส่งน้ำลงในแผนที่ในชั้นนี้ เรียกว่า Paper Location

ช่างสำรวจจะถือแนวคลองส่งน้ำใน Paper Location เป็นหลักออกไปวางแนวคลองในภูมิประเทศจริง การวางแนวคลองจริงในสนามนี้ อาจต้องเปลี่ยนแนวคลองบ้างบางตอน

เพราะอาจพบอุปสรรคที่ไม่ปรากฏในแผนที่ และไม่อาจขุดคลองผ่านบริเวณนั้นไปได้ จึงต้องหลบแนวคลองให้พ้นเสีย แต่ช่างสำรวจจะต้องแจ้งการแก้ไขแนวคลองในแผนที่ซึ่งวางไว้เดิมให้ตรงกับแนวคลองจริงในสนาม การแก้ไขแนวคลองให้ถูกต้องขั้นนี้ เรียกว่า Final Location และใช้แนวคลองใน Final Location เป็นหลักในการคำนวณและออกแบบคลองต่อไป

1.4.3 วัตถุประสงค์

โดยทั่วไป คลองส่งน้ำทุกชนิด และทุกสาย จะมีแนวคลองลดเลี้ยวไปตามความลาดเทของแผ่นดิน การวางแนวคลองส่งน้ำให้ลดเลี้ยวนี้มีวัตถุประสงค์ 3 ประการคือ

1. เพื่อความสะดวกในการส่งน้ำ
2. เพื่อความมั่นคงแข็งแรงของตัวคลองส่งน้ำ
3. เพื่อประหยัดเงินค่าขุดคลองส่งน้ำ

1.5 หน้าที่และคุณสมบัติของคลองส่งน้ำ

คลองส่งน้ำมีหน้าที่รับน้ำจากต้นน้ำไปสู่พื้นที่ดินในเขตโครงการ เพื่อให้คลองส่งน้ำทำหน้าที่ได้ดี คลองส่งน้ำทุกประเภท ทุกสาย และทุกตอน จะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1.5.1 มีขนาดใหญ่พอที่จะส่งน้ำไปได้ตามที่ต้องการ ซึ่งปริมาณน้ำที่ต้องส่งเข้าคลองจะมีค่าเท่ากับชลภาระคูณด้วยเนื้อที่ชลประทานซึ่งคลองสายนั้นควบคุมอยู่ ปริมาณน้ำดังกล่าวนี้เป็นปริมาณน้ำที่จะต้องส่งให้เนื้อที่เพาะปลูกตลอดเวลา แต่ถ้าเป็นการส่งน้ำแบบรอบเวร ระยะเวลาส่งน้ำหรือเวลาที่น้ำไหลในคลองจะน้อยลง ฉะนั้น ปริมาณน้ำที่จะต้องส่งเข้าคลองให้พอใช้ภายในระยะเวลาอันสั้น จะต้องเพิ่มมากขึ้นกว่าปกติบ้าง กล่าวโดยทั่วไป ขนาดคลองส่งน้ำมีความสัมพันธ์กับวิธีการส่งน้ำ

เมื่อคลองส่งน้ำสายใหญ่พาน้ำผ่านเนื้อที่เพาะปลูก คลองก็จะแจกจ่ายน้ำผ่านท่อส่งน้ำเข้านาไปตามทางเรื่อย ๆ รวมทั้งจ่ายน้ำเข้าคลองซอยสายต่าง ๆ ด้วย ซึ่งคลองซอยและคลองแยกซอยก็จะแจกจ่ายน้ำด้วยวิธีการเดียวกัน ฉะนั้น ปริมาณน้ำในคลองแต่ละสายจะลดน้อยลงไปทุกที จนกระทั่งหมดน้ำที่ท่อส่งน้ำเข้านาท่อสุดท้าย ขนาดคลองส่งน้ำจึงค่อย ๆ เรียวเล็กลงไปสู่ปลายคลอง การที่จะกำหนดให้แน่นอนว่า คลองส่งน้ำตอนใดจะต้องจ่ายน้ำเท่าใดนั้น ต้องอาศัยแผนที่แสดงระดับแผ่นดิน ซึ่งได้แบ่งเขตส่งน้ำไว้ เพราะเราต้องทราบแน่นอนว่าพื้นที่ในเขตโครงการบริเวณใดจะรับน้ำจากคลองสายไหนได้สะดวกที่สุด แล้วจึงคำนวณขนาดคลองสายนั้น

สรุปได้ว่า ขนาดของคลองส่งน้ำขึ้นอยู่กับ

- ชลภาระ
- วิธีการส่งน้ำ
- พื้นที่ส่งน้ำ

1.5.2 มีระดับน้ำใช้การ (F.S.L.) สูงพอที่จะส่งน้ำได้ทั่วถึง ทั้งนี้ ระดับน้ำใช้การเต็มที่ (F.S.L.) ในคลองจะสูงพอที่จะส่งไปท่วมพื้นดินซึ่งต้องการใช้น้ำได้สะดวกเพียงไรนั้น ย่อมแล้วแต่การเลือกใช้ลาดผิวน้ำในคลองให้เหมาะสมกับความลาดเทของแผ่นดิน

ถ้าจะให้น้ำในคลองขึ้นถึงระดับพื้นดินตามแนวคลองได้ตลอดคลอง หรือแทบตลอดคลองแล้ว ลาดผิวน้ำในคลองต้องราบมาก แต่บางคราวเราจะให้ลาดผิวน้ำในคลองราบเกินไปไม่ได้เพราะกระแสน้ำในคลองจะอ่อน ตะกอนจะตกจมได้มาก การเลือกใช้ลาดผิวน้ำในคลองจึงอยู่ที่การพิจารณาแล้วตัดสินใจว่าจะยอมให้น้ำในคลองขึ้นถึงระดับพื้นดินตามแนวคลองได้ตลอดแนวคลอง แต่คลองจะตื้นเขินบ้าง (คือใช้ลาดผิวน้ำค่อนข้างราบ) หรือจะยอมให้น้ำในคลองขึ้นถึงระดับพื้นดินตามแนวคลองได้ไม่ตลอดคลอง แต่คลองไม่ตื้นเขิน (คือใช้ลาดผิวน้ำค่อนข้างชัน) อย่างไรก็ดี ลาดผิวน้ำในคลองจะราบกว่าลาดแผ่นดินตามแนวคลองเสมอ

ตามปกติระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลอง (F.S.L.) ต้องสูงกว่าระดับพื้นดินตามแนวคลองพอสมควร จึงจะส่งน้ำไปยังพื้นที่ข้างคลองได้สะดวก เกณฑ์ที่กำหนดใช้มีดังนี้

1. ในทำเลซึ่งเป็นทุ่งราบอยู่ระหว่างเชิงเขา 2 ฟากข้างแม่น้ำซึ่งคลองสายใหญ่จะไต่เลาะไปตามเชิงเขา แต่คลองซอยจะแยกออกมาตามสันเนินย่อย สภาพของพื้นที่จะมีความลาดเทมากจากคลองสายใหญ่ลงมาหาแม่น้ำ ระดับน้ำใช้การเต็มที่ (F.S.L.) ในคลองสายใหญ่ ให้อยู่เสมอกับระดับพื้นดินตามแนวคลองก็พอแล้ว แต่ระดับน้ำใช้การเต็มที่ (F.S.L.) ในคลองซอยควรจะสูงกว่าระดับพื้นดินบ้างเล็กน้อย

2. ในทำเลซึ่งเป็นที่ราบกว้างใหญ่มีความลาดเทของพื้นดินน้อย ระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลอง (F.S.L.) ต้องอยู่สูงกว่าระดับพื้นดินมาก ถ้าเป็นคลองสายใหญ่อาจต้องสูงกว่าอย่างน้อย 0.80 – 1.00 ม. หรือมากกว่านี้ สำหรับคลองซอย 0.30 – 0.50 ม.

1.5.3 คลองส่งน้ำจะต้องไม่ตื้นเขินหรือถูกกัดทำลายเนื่องจากความเร็วของกระแสน้ำ นอกจากนี้ สิ่งที่ต้องระวังในการวางแนวคลองส่งน้ำ คือ

1. การใช้โค้งแนวคลองแคบเกินไปหรือใช้รัศมีสั้นเกินไปจะทำให้ กระแสน้ำกัดตลิ่งคลองด้านท้องคุ้งของโค้ง

2. การใช้ลาดตลิ่งคลอง (Side Slope) ชันเกินไปจนดินตลิ่งทรงตัวอยู่ไม่ได้ก็จะเลื่อนพังลงคลอง

3. เวลาฝนตกหนัก น้ำฝนจะไหลเซาะคันคลองและลาดตลิ่งคลองพังลงคลองได้

1.6 การกำหนดปริมาณน้ำที่จะส่งให้แก่พืช

ปริมาณน้ำที่จะส่งให้แก่พืช หมายถึง ปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้ในการเจริญเติบโตและให้ผลิตผลอย่างเต็มที่ โดยเริ่มตั้งแต่การเพาะชำ จนกระทั่งเก็บเกี่ยว รวมถึงปริมาณน้ำที่ระเหยรั่วซึมบนแปลงเพาะปลูก และปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในการเตรียมแปลงเพาะปลูกอีกด้วย

การปลูกข้าว ถือว่าเป็นการเกษตรกรรมใช้น้ำมากที่สุดและช่วงเวลาที่ต้องการน้ำมากที่สุดคือช่วงเตรียมแปลงปักดำ จะใช้ค่าการใช้น้ำสำหรับการปลูกข้าวช่วงนี้เป็นตัวกำหนดหลักในการหาค่าชลภาระ

1.7 การกำหนดค่าชลภาระ

1.7.1 ชลภาระ หมายถึง ปริมาณน้ำซึ่งส่งไปใน 1 หน่วยเวลา ใช้ทำการชลประทานบน 1 หน่วยเนื้อที่ได้

ค่าของชลภาระมีได้ต่าง ๆ กัน สิ่งที่ทำให้ค่าของชลภาระผันแปรหรือเปลี่ยนไปนั้น จะมีตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ประกอบการคำนวณหาค่าชลภาระคือ

1. พืช
2. ฤดูกาล
3. ฝน
4. ลักษณะเนื้อดิน
5. วิธีจัดแปลงเพาะปลูก
6. การเขตกรรม
7. วิธีการส่งน้ำ
8. ความชำนาญและความประหยัดของผู้ใช้น้ำ
9. การรั่วซึมต่าง ๆ
10. การควบคุมประสิทธิภาพของการชลประทาน

1.7.2 ความสำคัญของค่าชลภาระ

การกำหนดค่าชลภาระคลาดเคลื่อนจะเกิดผลเสียคือ

1. การกำหนดค่าชลภาระน้อยไป ทำให้คลองส่งน้ำและอาคารชลประทานต่าง ๆ มีขนาดเล็กเกินไป เกษตรกรจะได้น้ำไม่เพียงพอ ทำให้เกิดกรณีพิพาทแบ่งน้ำกันขึ้น

2. การกำหนดค่าชลภาระสูงเกินไป ทำให้คลองส่งน้ำและอาคารชลประทานต่าง ๆ มีขนาดใหญ่ สิ้นเปลืองน้ำและค่าก่อสร้างจะสูงกว่าที่จำเป็นจะต้องใช้

ดังนั้น ในการคำนวณค่าชลภาระจะต้องพยายามเก็บข้อมูลต่าง ๆ ให้มากที่สุดเพื่อให้ค่าชลภาระใกล้เคียงกับความต้องการ และได้ผลอย่างสมบูรณ์ ซึ่งจะดูรายละเอียดและวิธีการคำนวณค่าชลภาระในการออกแบบระบบส่งน้ำได้จากบทที่ 3

1.8 การออกแบบคลองส่งน้ำ

1.8.1 คลองดิน

คลองดิน คือ ทางน้ำเปิดซึ่งขุดหรือเปิดขึ้นในเนื้อดิน ไม่ว่าจะเป็นดินเดิมหรือดินที่ถมขึ้นใหม่ก็ตาม ให้เป็นรูปร่างหน้าตัดตามความต้องการ

แนวทางการออกแบบ จะคำนวณสัดส่วนของคลองโดยใช้สูตรของเชสซี (Chezy's Formular) ซึ่งมีรูปสูตรดังนี้

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

และจาก $Q = AV$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำ (ม.^{3}/วินาที)

A = พื้นที่หน้าตัดของคลองส่งน้ำ (ม.^{2})

V = อัตราเร็วเฉลี่ยของน้ำในคลอง (ม./วินาที)

C = สัมประสิทธิ์ความเร็วของน้ำ

R = ค่า Hydraulic Radius

$$= \frac{A}{P} \text{ (ม.)}$$

P = ความยาวเส้นขอบเปียกของหน้าตัดน้ำ (ม.)

S = ส่วนลาดเทของก้นคลองในค่าของ Tangent

คลองดินส่วนใหญ่จะใช้หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู โดยให้ค่าความลาดด้านข้าง (S.S.) เปลี่ยนไปตามสภาพของดินที่ใช้ทำตัวคลอง ในปัจจุบันการก่อสร้างคลองดินส่วนใหญ่จะใช้เป็นคลองระบายน้ำ เนื่องจากการใช้คลองดินเป็นคลองส่งน้ำจะมีปัญหาด้านการบำรุงรักษามาก

รายละเอียดของคลองดิน จะอยู่ในบทที่ 5 เรื่องคลองระบายน้ำ

1.8.2 คลองดาด

คลองดาด คือ คลองส่งน้ำที่เสริมคลองส่วนที่สัมผัสกับน้ำด้วยวัสดุที่มีความแข็งแรง ที่นิยมใช้กันคือการดาดผิวคลองด้วยคอนกรีต เพราะมีความแข็งแรง และก่อสร้างได้ง่าย ซึ่งจะช่วยลดการรั่วซึมผ่านตัวคลองส่งน้ำ ลดการพังทลายของลาดด้านข้างคลองส่งน้ำ ป้องกันวัชพืชและลดขนาดของตัวคลองลง ทำให้ประหยัดพื้นที่สำหรับการก่อสร้างด้วย

การคำนวณหาขนาดคลองส่งน้ำในปัจจุบันของกรมชลประทาน ในกรณีที่การไหลเป็นแบบ Uniform flow จะใช้สูตร Manning's Formula คือ

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

และจาก $Q = AV$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำ (ม.^{3}/วินาที)

A = พื้นที่หน้าตัดของคลองส่งน้ำ (ม.^{2})

V = อัตราเร็วเฉลี่ยของน้ำในคลอง (ม./วินาที)

n = ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (กำหนดได้ตามสภาพพื้นที่ผิวคลอง)

= 0.018 (สำหรับคลองดาดคอนกรีต)

R = ค่า Hydraulic Radius

$= \frac{A}{P}$ (ม.)

P = ความยาวเส้นขอบเปียกของหน้าตัดน้ำ (ม.)

S = ความลาดชันของท้องคลอง

สำหรับคลองส่งน้ำที่จัดทำเป็นมาตรฐาน จะเป็นคลองส่งน้ำที่ใช้สำหรับโครงการชลประทานขนาดเล็กและขนาดกลาง แนวคลองจะผ่านพื้นที่สูง ๆ ต่ำ ๆ มีโอกาสที่จะเป็นคลองลอยค่อนข้างมาก ที่ดินตามแนวคลองจะมีมูลค่าค่อนข้างสูง และคุณภาพของดินที่จะใช้เป็นตัวคลองก็ไม่แน่นอน จึงเลือกกำหนดเป็นคลองดาดคอนกรีตไปทั้งหมด

1.9 เกณฑ์กำหนดขนาดคลองส่งน้ำดาดคอนกรีต

1.9.1 ลาดท้องคลอง (S)

การคำนวณอัตราเร็วของน้ำ (V) ในรางเปิดทุกชนิด ลาดผิวน้ำ (S) ในรางเป็นสิ่งที่สำคัญ และมีอิทธิพลทำให้น้ำไหลไปได้โดย gravity ถ้าไม่มีลาดผิวน้ำ น้ำจะไม่ไหล ลาดผิวน้ำนี้ถ้ายิ่งชันน้ำยิ่งไหลแรง แต่ถ้ายิ่งราบน้ำจะไหลช้าลง จึงต้องเลือกใช้ลาดผิวน้ำให้เหมาะเพื่อให้กระแสน้ำในคลองใกล้เคียง Critical velocity ซึ่งจะเห็นความสัมพันธ์ของ V กับ S ได้จากสูตรของเชสซี (Chezy's Formular) คือ

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

และสูตรของแมนนิ่ง (Manning's Formula) คือ

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

ตามปกติคลองที่ขุดจะมีลาดท้องคลองขนานกับลาดผิวน้ำ เพราะฉะนั้นเมื่อกล่าวถึงลาดท้องคลอง จะหมายถึงลาดผิวน้ำนั่นเอง การแสดงค่าของความลาดเทของคลองนี้ จึงมักจะเขียนไว้ที่เส้นลาดท้องคลอง

ลาดท้องคลองไม่จำเป็นต้องมีค่าเดียวกันตลอดคลอง คือ จะชันบางตอน แล้วราบบางตอนก็ได้ แต่ถ้าสามารถทำได้แล้วเราควรใช้ลาดท้องคลองที่มีค่าเดียวกันตลอดคลอง ถ้าลาดท้องคลองตอนใดไม่เหมาะกับลาดแผ่นดินตามแนวคลอง ควรใช้วิธีลดระดับน้ำในคลองลงด้วยการสร้างน้ำตก (drop) หรือรางเท (chute)

นอกจากนั้นลาดท้องคลองยังสัมพันธ์กับระดับน้ำใช้การเต็มที่ (F.S.L) ในคลองอีกด้วย คือ ถ้าลาดท้องคลองชัน น้ำจะขึ้นถึงระดับพื้นดินสองฝั่งคลองได้ยาก แต่คลองมักไม่ค่อย

ตื้นเพราะตะกอนตกจม เนื่องจากน้ำไหลแรงนั่นเอง ถ้าลาดท้องคลองราบ น้ำจะขึ้นถึงระดับพื้นดินสองฝั่งได้เร็วและสะดวก แต่คลองมักจะมีรูปตัดกว้างใหญ่และตื้นเขินเพราะตะกอนตกจมเนื่องจากน้ำไหลช้า

โดยปกติลาดท้องคลองส่งน้ำ (S) จะอยู่ระหว่าง 1 : 1,000 ถึง 1 : 10,000 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ

- ลาดแผ่นดินตามแนวคลองส่งน้ำ
- ลักษณะและปริมาณตะกอนที่ไหลมากับน้ำ
- ตามพินิจพิจารณาของผู้ออกแบบ

ในท้องถิ่นที่มีตะกอนไหลมากับน้ำมาก ถ้าไม่ป้องกันตะกอนจะหลุดเข้าคลองแล้วทำให้คลองตื้นอย่างรวดเร็ว เกิดความเสียหายหลายประการ คือ

1. เนื้อที่รูปตัดขวางของคลองเล็กลงทำให้ส่งน้ำไม่ได้ตามจำนวนน้ำที่ต้องการ
2. เสียค่าขุดลอกคลอง

วิธีป้องกันตะกอนกรวดทรายเข้าคลองนั้น อาจทำได้เป็นลำดับไปดังนี้

1. สร้างประตูระบายทรายประกอบไว้ที่อาคารทดน้ำ
2. ใช้ประตูระบายปากคลองส่งน้ำประเภท Overpour type คือมีบานระบายชนิดให้น้ำไหลข้ามบานเข้าคลอง
3. ยกระดับธรณีประตูระบายปากคลองให้สูงกว่าระดับพื้นร่องระบายทรายให้มาก หรือ เสริมระดับธรณีประตูระบายปากคลองให้สูงขึ้น
4. ถ้ามีตะกอนมากจริง ๆ ก็ทำบ่อดักทราย (Sand trap) ไว้ในคลองตอนท้ายประตูระบายปากคลองส่งน้ำ
5. ทำให้อัตราเร็วของน้ำในคลองสูงพอที่จะทำให้ตะกอนละเอียดลอยตัวอยู่ได้ตลอดคลอง แล้วปล่อยให้ไหลผ่านท่อส่งน้ำเข้านาสู่แปลงเพาะปลูก ก็จะเป็นประโยชน์แก่พืชซึ่งดีกว่าจะปล่อยให้ตกจมในคลอง ทำให้คลองตื้น

1.9.2 รูปตัดขวางของคลองส่งน้ำ

การเลือกรูปตัดขวางของคลองส่งน้ำนั้น จะพิจารณาจากรูปตัดที่เล็กที่สุดและสามารถรับปริมาณน้ำได้มากที่สุด ซึ่งจะใช้อัตราส่วน $\frac{B}{D}$ และค่า S.S. เป็นตัวกำหนด

โดยที่ B = ความกว้างท้องคลอง (bed width of canal) ไม่น้อยกว่า 0.50 ม.

D = ความลึกของน้ำในคลอง (depth of water in canal)

S.S. = ลาดข้างคลอง (side slope) จะอยู่ระหว่าง 1:1 ถึง 1:2

สำหรับคลองส่งน้ำที่เป็นคลองดาดคอนกรีต อัตราส่วน $\frac{B}{D}$ ที่เหมาะสมจะอยู่ระหว่าง 0.5 – 2.0

1.9.3 คันคลองส่งน้ำ

- ความกว้างคันคลอง

ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการใช้ และความจำเป็นด้านการจราจร โดยจะกำหนดดังนี้

1. คันคลองที่ไม่ได้ใช้เป็นถนนจะมีความกว้าง 2.00 ม.
2. คันคลองที่ใช้เฉพาะการบำรุงรักษาจะมีความกว้าง 4.00 ม.
3. เป็นถนนลูกรังหรือราดยางชั้นเดียวจะใช้ 6.00 ม.
4. สำหรับคันคลองที่เป็นทางเชื่อมระหว่างถนนหลัก หรือมีผู้ใช้ถนนหนาแน่น จะกำหนดการราดยางตามมาตรฐานกรมทางหลวง และกำหนดความกว้างคันคลองไว้ 9.00 ม.

- ความสูงของคันคลองส่งน้ำ

ความสูงของคันคลองส่งน้ำ หรือ Freeboard ของคันคลอง คือ ระยะที่วัดจากระดับน้ำสูงสุดจนถึงระดับคันคลองส่งน้ำ จะกำหนดตามความจุของคลอง โดยดูรายละเอียดได้จากตารางที่ 1.1 หัวข้อ ระยะเผื่อพ้นน้ำ

- ความลาดคันคลองส่งน้ำ

ถ้าคันคลองสูงกว่าดินเดิมไม่เกิน 2.00 ม. กำหนดให้ลาดด้านข้าง ตั้ง : ราบ = 1 : 1.5 แต่ถ้าเกิน 2.00 ม. กำหนดให้ลาดด้านข้าง = 1 : 2.0

1.9.4 ชานคลอง (Berm)

สำหรับคลองที่ขุดลึกมาก ๆ หรือบริเวณเชิงเขาที่จะต้องมีการตัดดิน จะมีชานคลองเป็นชั้น ๆ ทุกความลึก 3.00 ม. เพื่อป้องกันการพังทลายของลาดดิน อีกทั้งจะสามารถใช้เป็นทางเพื่อทำการบำรุงรักษา ค่าความกว้างชานคลองกำหนดไว้ ระหว่าง 1 - 2 ม. ตามขนาดของคลอง และให้ลาด (Slope) ของชานคลองเท่ากับ 12%

1.9.5 ระยะเผื่อพ้นน้ำ (Freeboard)

ระยะเผื่อพ้นน้ำ (Freeboard) สำหรับคลองดาดคอนกรีต จะมี 2 ค่า คือ

1. ค่าความสูงของคันคลอง
2. ค่าของขอบคอนกรีตดาด คือ ระยะที่วัดจากระดับน้ำสูงสุดจนถึงขอบคอนกรีตดาด กำหนดตามเกณฑ์ดังนี้

ตารางที่ 1.1 แสดงค่า Freeboard ของคลองส่งน้ำดาดคอนกรีต

ปริมาณน้ำ ($ม.^3$/วินาที)	Freeboard ของขอบคอนกรีตดาด (ม.)	Freeboard ของคันคลอง (ม.)
< 1.00	0.15	0.45
1.00 – 2.50	0.20	0.60
2.50 – 5.00	0.25	0.70
5.00 – 10.00	0.35	0.85
> 10.00	0.50	1.00

1.9.6 ความโค้งของคลองส่งน้ำ

ค่ารัศมีความโค้งสำหรับคลองดาดคอนกรีต โดยทั่วไปกำหนดไว้ไม่น้อยกว่า 3 เท่าของความกว้างหน้าตัดผิวน้ำในคลองที่ระดับน้ำใช้การเต็มที่ (F.S.L.) ถ้าคันคลองเป็นถนนราดยางจะต้องกำหนดให้ปลอดภัยตามมาตรฐานของกรมทางหลวง

แต่ถ้ามีความจำเป็นต้องวางแนวคลองให้มีรัศมีน้อยกว่าที่กำหนด ในการออกแบบอาจจะต้องเพิ่ม guide vane เพื่อกระจายการไหลของน้ำให้มากที่สุด และจะต้องเพิ่ม head loss บริเวณโค้งนี้ด้วย

1.9.7 รายละเอียดอื่น ๆ

- ความหนาของคอนกรีตดาดคลอง ได้ปรับมาจากมาตรฐานของกรมชลประทานสหรัฐดังตารางที่ 1.2 ในความยาวของแผ่นคอนกรีตแต่ละช่วง จะต้องมีการเซาะร่องป้องกันการแตกร้าวไว้ด้วย โดยจะกำหนดความหนาของคอนกรีตดาด และความยาวของแผ่นคอนกรีต (Groove spacing) ดังนี้

ตารางที่ 1.2 แสดงความหนาของคอนกรีตดาด และความยาวของแผ่นคอนกรีต

ปริมาณน้ำ ($ม.^3$. / วินาที)	ความหนาของแผ่นคอนกรีต (ซม.)	ความยาวของแผ่นคอนกรีต (ม.)	ปีกข้างคลอง (ซม.)
< 1.00	6	3.00	15
1.00 – 2.50	6	3.00	20
2.50 – 5.00	7	3.00	20
5.00 – 15.00	7	3.50	30
15.00 – 40.00	8	4.50	30

- สำหรับคลองส่งน้ำดาดคอนกรีตขนาดใหญ่ ที่มีความลึกของน้ำตั้งแต่ 1.00 ม. ขึ้นไป และเป็นคลองจม จะต้องพิจารณาเพิ่ม Flap valve weephole ที่บริเวณลาดของคลองส่งน้ำด้วย สำหรับคลองที่ใหญ่มาก ๆ ควรมีการคำนวณแรงดันน้ำและเพิ่ม weephole ที่ท้องคลองด้วย

1.10 อาคารชลประทานในระบบส่งน้ำ

ในระบบส่งน้ำชลประทาน จะมีอาคารชลประทานเป็นองค์ประกอบหลายชนิด ทำหน้าที่ควบคุมระดับน้ำ จ่ายน้ำ อาคารตัดผ่าน และอาคารประกอบอื่น ๆ ซึ่งการพิจารณาออกแบบอาคารชลประทานจะหารายละเอียดได้จากมาตรฐานอาคารชลประทาน ในที่นี้จะอธิบายเพียงหน้าที่และตำแหน่งที่ควรอยู่ของอาคารแต่ละชนิด ดังนี้

1.10.1 อาคารควบคุม และอาคารจ่ายน้ำในระบบส่งน้ำ

1. ปตร.ปากคลอง หรือ ทรบ.ปากคลอง จะอยู่ต้นทางของคลองส่งน้ำ ทำหน้าที่ ควบคุม ปริมาณ และระดับน้ำ ที่จะเข้าคลองส่งน้ำ
2. อาคารทดน้ำ ใช้ควบคุมระดับน้ำเพื่อจ่ายน้ำเข้าคลองแยกหรือพื้นที่ส่งน้ำ ซึ่งอาจทำเป็นบานระบาย ประกอบเข้ากับอาคารตัดผ่านอื่นๆได้
3. น้ำตก หรือ รางเท ใช้ในตำแหน่งที่ระดับพื้นดินที่คลองผ่านมีความแตกต่างกันมาก
4. สะพานน้ำ ใช้ในกรณีที่คลองส่งน้ำตัดผ่านพื้นที่ที่ทำการก่อสร้างตัวคลองยาก เช่น พื้นดินที่มีระดับต่ำกว่าระดับคลองส่งน้ำมากหรือพื้นที่เชิงเขาที่ตัดและจมมาก
5. อาคารทิ้งน้ำ กำหนดในจุดที่มีคลองแยก หรือจ่ายน้ำออกไปและมีการลดขนาดคลองส่งน้ำ
6. ท่อส่งน้ำเข้านา ใช้จ่ายน้ำให้แก่พื้นที่เพาะปลูกโดยกำหนดให้วางท่อส่งน้ำในจุดที่สูงที่สุดของพื้นที่
7. ทรบ.ปลายคลอง กำหนดไว้ที่จุดสุดท้ายที่จะทำการส่งน้ำ เพื่อควบคุมการระบายน้ำทิ้งลงทางน้ำธรรมชาติ หรือ คลองระบายน้ำ

1.10.2 อาคารตัดผ่านต่าง ๆ

1. ตัดผ่านทางสัญจร

เมื่อคลองส่งน้ำตัดผ่านทางสัญจร ผู้ออกแบบสามารถกำหนดอาคารรูปแบบต่าง ๆ ตามความจำเป็น และขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศนั้น ๆ เป็นสำคัญ โดยคำนึงถึงความปลอดภัย ความประหยัด และประโยชน์ใช้สอย ที่นิยมใช้จะมี ท่อลอดถนน ไซฟอน และสะพานต่าง ๆ

2. ตัดผ่านทางน้ำธรรมชาติ

จะกำหนดอาคารตัดผ่านตามสภาพของลำน้ำธรรมชาติ ถ้าทางน้ำธรรมชาติขนาดเล็ก ปริมาณน้ำผ่านไม่มากนัก จะกำหนดอาคารเป็น ท่อลอดคลองส่งน้ำ อาคารรับน้ำป่า

สำหรับการตัดผ่านทางน้ำธรรมชาติขนาดใหญ่ จะสร้างเป็นอาคารส่งน้ำลอด หรือข้ามทางน้ำธรรมชาติ ตามลักษณะพื้นที่

1.11 บทสรุป และข้อเสนอแนะ

การออกแบบระบบชลประทานนั้น การวางแนวและการออกแบบคลองส่งน้ำจะเป็นจุดสำคัญ ถ้าผิดพลาดจะทำให้สิ้นเปลืองค่าก่อสร้าง การบำรุงรักษาลำบาก และการส่งน้ำจะได้ผลไม่เต็มที่ วิศวกรชลประทานที่จะออกแบบระบบ ควรที่จะค้นคว้าเพิ่มเติมด้านรายละเอียดของแต่ละเรื่องโดยเฉพาะที่มีผู้เขียนหลายท่าน

ในการออกแบบมาตรฐานของคลองส่งน้ำ คณะทำงานได้ใช้ค่าตัวแปรต่าง ๆ จากหนังสือต่างประเทศมาประยุกต์ใช้ รวมทั้งจากประสบการณ์ในการทำงาน โดยมิได้มีการค้นคว้าเพิ่มขึ้น ถ้าในลำดับต่อไปได้มีการทดลอง วิเคราะห์เกี่ยวกับการส่งน้ำในระบบเปิด ก็ให้นำค่าตัวแปรเหล่านั้นมาใช้แทนในแบบมาตรฐานได้ตามความเหมาะสม

บทที่ 2

วิธีการออกแบบท่อส่งน้ำชลประทานรับแรงดัน

การออกแบบระบบท่อส่งน้ำชลประทานของโครงการชลประทานนั้น โดยทั่วไปวิศวกรผู้ออกแบบมักจะพิจารณาวางแผนขั้นตอนต่าง ๆ ในการคำนวณออกแบบ หลังจากได้พิจารณาวางแนวระบบท่อส่งน้ำไว้เรียบร้อยแล้ว ดังต่อไปนี้

2.1 คำนวณปริมาณน้ำที่จะส่งให้ทั้งหมด พร้อมประมาณน้ำต้นทุนเฉลี่ย

2.2 คำนวณขนาดท่อที่จะใช้ในแต่ละสายทั้งระบบ

2.3 คำนวณการสูญเสียพลังงานในเส้นท่อของระบบทั้งหมด

2.4 คำนวณลาด Hydraulic Grade Line ตามแนวท่อทั้งระบบ

2.5 คำนวณ และออกแบบอาคารประกอบในระบบท่อที่จำเป็นในสายท่อนั้น ๆ เช่น Thrust Block ตอม่อและคานรับท่อกรณีไม่สามารถฝังท่อลงดินได้ บ่อดักตะกอน ข้อต่อคอนกรีตรับแรงดัน ฯลฯ

2.6 คำนวณหาค่า Water Hammer หรือความดัน Surge ในเส้นท่อแต่ละช่วงท่อ เพื่อนำไปพิจารณาชั้นคุณภาพของท่อรับแรงดันที่เหมาะสม

2.7 คำนวณชั้นคุณภาพของท่อที่ใช้ในระบบส่งน้ำรับแรงดันทุก ๆ สาย

2.8 คำนวณขนาดของเครื่องสูบน้ำพอสังเขป หากต้องใช้อาคารควบคุมระดับน้ำหรือจำเป็นต้องสูบน้ำเข้าระบบท่อส่งโดยตรง

2.9 ควบคุมการเขียนแบบระบบท่อส่งน้ำ พร้อมตรวจสอบอาคารประกอบในระบบท่อทั้งระบบว่าได้วางถูกต้องตามหลักวิชาการหรือไม่ เช่น ประตูน้ำ ประตูระบายอากาศ (Air Valve) บ่อดักตะกอน พร้อมจุดที่ตั้งแนวเส้นท่อทุก ๆ สายว่าต่ำกว่าแนว Hydraulic Grade Line หรือไม่

2.10 ตรวจสอบความถูกต้องของแบบก่อนที่จะนำไปใช้ก่อสร้าง เพื่อให้ถูกต้องตามขั้นตอนข้างต้น

ในที่นี้จะขอกล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อ 2.1 ถึง 2.10 บางหัวข้อพอเป็นแนวทางประกอบวิธีการคำนวณออกแบบดังนี้

2.1 การคำนวณปริมาณน้ำที่จะส่ง

เมื่อทราบความต้องการน้ำทั้งหมดของพืชที่ต้องส่ง รวมถึงน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคของคนและสัตว์เลี้ยงทั้งหมดแล้ว ก็จะได้ปริมาณน้ำเพื่อใช้ในการออกแบบทั้งระบบ ในขณะเดียวกันจำเป็นที่จะต้องประมาณปริมาณน้ำต้นทุนด้วยว่าเพียงพอหรือไม่ เพราะหากปริมาณน้ำต้นทุนมีจำนวนจำกัด ก็จะต้องส่งน้ำได้เท่าปริมาณน้ำต้นทุนเท่านั้น ฉะนั้น ผู้ออกแบบและ

คำนวณทุกคนจึงต้องพิจารณาเป็นพิเศษไว้ด้วย เพื่อจะระบุบอกไปในแบบก่อสร้างได้ว่า สามารถส่งน้ำให้ได้มากน้อยแค่ไหน เป็นพื้นที่เพาะปลูกกี่ครัวเรือนที่จะได้รับน้ำเหล่านี้ เป็นต้น

สำหรับข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการหาความต้องการใช้น้ำจะขอกล่าวพอสังเขป ดังนี้:-

1. น้ำอุปโภค - บริโภค

- คน (ชนบทและท้องถิ่นที่ต้องการประหยัดน้ำ)	= 30 – 60	ลิตร/วัน/คน
- คน (ท้องถิ่นที่มีน้ำอุดมสมบูรณ์)	= 75 – 300	ลิตร/วัน/คน
- วัว ควาย	= 50	ลิตร/วัน/ตัว
- หมู	= 20	ลิตร/วัน/ตัว
- ไก่	= 1	ลิตร/วัน/ 6 ตัว

2. น้ำใช้ปลูกพืช

- ปลูกผักหน้าแล้ง	= 7	ม.^{3}/ไร่/วัน
- ปลูกข้าวหน้าแล้ง	= 13	ม.^{3}/ไร่/วัน
- น้ำตกกล้า - เตรียมแปลง ต่อการปลูกข้าวครั้งหนึ่ง	= 240	มม.

2.2 การคำนวณขนาดท่อ

เมื่อได้วางแนวท่อแต่ละสายไปตามความเหมาะสมของภูมิประเทศแล้ว ผู้ออกแบบก็สามารถคำนวณหาปริมาณน้ำในแต่ละช่วงของท่อสายแยกซอย สายซอย ตลอดจนสายท่อประธาน ซึ่งครอบคลุมพื้นที่โครงการได้ในลักษณะรวมทบขึ้นมา ดังนั้น ท่อจึงมีขนาดใหญ่ลดหลั่นกันเป็นลำดับ จากท่อประธาน ท่อสายซอย และท่อสายแยกซอย สำหรับวิธีการคำนวณขนาดท่อ จะพิจารณาจากปริมาณน้ำที่จะต้องไหลผ่านท่อนั้น ๆ พร้อมกับกำหนดค่าความเร็วจำกัดของท่อแต่ละชนิดในแต่ละสาย เช่น สายประธาน สำหรับท่อ PVC ความเร็วไม่ควรเกิน 0.60 ม./วินาที เป็นต้น

2.3 การคำนวณการสูญเสียพลังงานในเส้นท่อ

การสูญเสียพลังงานในท่อเนื่องจากความต้านทานต่าง ๆ จะแบ่งออกเป็นสองประเภทด้วยกัน คือ

1. การสูญเสียหลัก (Major Loss) โดยปกติการสูญเสียหลักจะเกิดขึ้นจากความเสียดทานของผิวท่อ ขนาดของท่อ ความเร็วในการไหล และความยาวท่อ ถ้าผิวท่อขรุขระ ความยาวท่อ และความเร็วในการไหลสูง การสูญเสียพลังงานจะสูงตามไปด้วย แต่การสูญเสียพลังงานจะลดลงถ้าท่อมีขนาดโตขึ้น

2. การสูญเสียรอง (Minor Loss) หมายถึงการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการไหลในท่อเมื่อของไหลผ่าน ทางเข้า ข้อต่อชนิดต่าง ๆ ข้องอ ประตูน้ำ ฯลฯ ปกติถ้าท่อมีความยาวมาก

เช่น ในระบบท่อประปา การชลประทานระบบท่อ ค่าการสูญเสียรองนี้จะมีค่าของการสูญเสียน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับการสูญเสียหลัก แต่ถ้าท่อที่มีความยาวไม่มากนัก มีข้อต่อ ข้องอ หลายแห่งตามสภาพภูมิประเทศแล้ว ค่าการสูญเสียรองก็จะมีค่ามากเช่นกัน

2.3.1 การหาค่าการสูญเสียหลัก (Major Loss)

การสูญเสียหลักในท่อกลม ท่อกลมเป็นท่อที่ใช้ในงานวิศวกรรมเป็นส่วนใหญ่ ค่าการสูญเสียหลักในท่อชนิดดังกล่าวสามารถหาได้จากสูตร

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

เมื่อ h_f = การสูญเสียหลัก (ม.)

f = แฟคเตอร์ของความเสียดทาน จาก Moody Diagram (รูปที่ 2.1)

L = ความยาวท่อ (ม.)

D = เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อ (ม.)

V = ความเร็วในการไหล (ม./วินาที)

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (ม./วินาที^{2})

2.3.2 การหาค่าการสูญเสียรอง (Minor Loss)

ดังได้กล่าวมาแล้วว่า การสูญเสียรองเกิดขึ้นเนื่องจากการไหลของน้ำผ่านทางเข้า ข้อต่อ ข้องอ ประตูน้ำ (Valve) และอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบท่อ ค่าการสูญเสียรองหาได้จากสูตร

$$h_m = K \frac{V^2}{2g}$$

เมื่อ h_m = การสูญเสียรอง

K = สัมประสิทธิ์ของการสูญเสีย

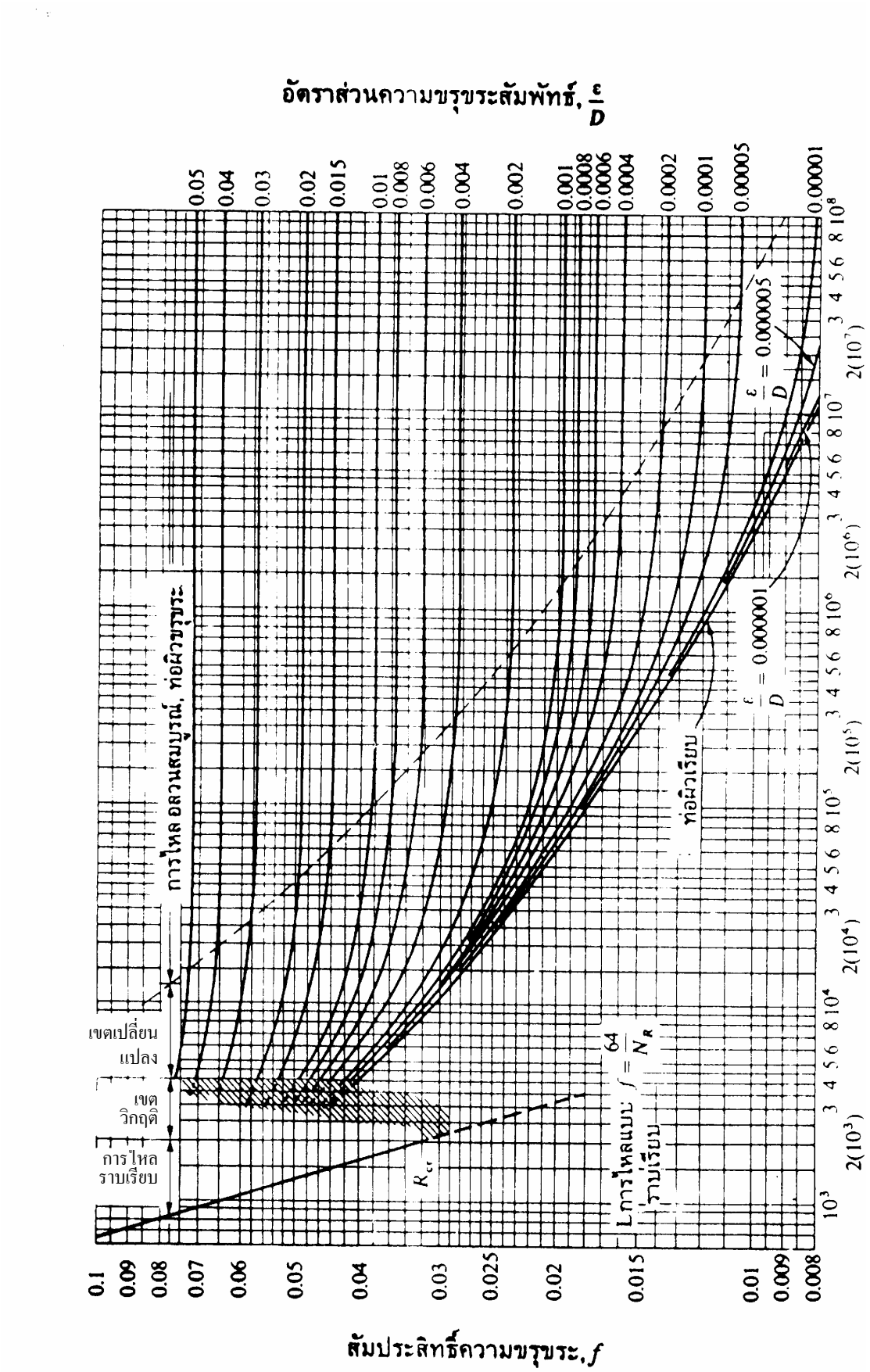
V = ความเร็วในการไหล (ม./วินาที)

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (ม./วินาที^{2})

สำหรับค่า K สามารถหาได้จากในตำราชลศาสตร์ระบบท่อโดยทั่ว ๆ ไป

2.4 การคำนวณลาด Hydraulic Grade Line

Hydraulic Grade Line หรือ ค่าความลาดชันทางชลศาสตร์ คือ เส้นความลาดชันซึ่งเกิดจากอัตราส่วนระหว่างความสูญเสียพลังงานรวมของระบบต่อความยาวท่อ



รูปที่ 2.1 Moody Diagram

การคำนวณลาด Hydraulic Grade Line นั้น ควรจะเพิ่มค่าการสูญเสียพลังงานรวมของท่อทั้งระบบอีก ประมาณ 5 – 10 % ของค่าการสูญเสียทั้งหมด เพื่อให้แน่ใจว่าน้ำมีแรงดันพออย่างทั่วถึง

ถ้าหากกำหนดให้ กม. 0+000 ของระบบท่อส่งน้ำ เป็นจุดหลักในการคำนวณ ก็จะถือว่าที่จุดนี้ ค่าการสูญเสียเริ่มต้นเท่ากับศูนย์สำหรับระบบท่อ ฉะนั้น หากแนวศูนย์กลางท่อที่ตำแหน่งนี้อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำหน้าอ่างเท่าไหร่ จะถือว่าค่า Pressure Head ของเส้นท่อที่จุดนั้นมีค่าเท่ากับระยะระหว่างศูนย์กลางท่อถึงระดับน้ำใช้การเฉลี่ย เช่น ถ้าศูนย์กลางท่อที่ กม. 0+000 อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใช้การเฉลี่ยเท่ากับ 4 ม. ค่า Pressure Head เฉลี่ยจะเท่ากับ 4 ม. ด้วย

สำหรับ Head ที่จุดปลายสุดของระบบท่อส่งน้ำ จะขึ้นอยู่กับค่าระดับที่จุดนั้นอยู่ต่ำกว่าระดับเหนืออ่างเท่าไหร่ แล้วหักค่าการสูญเสียในท่อทั้งระบบของโครงการ หรือหมายถึงระดับที่แนวศูนย์กลางท่อที่จุดนั้นอยู่ต่ำกว่า Hydraulic Grade Line เท่าไหร่ ซึ่งค่าที่ได้ไม่ควรน้อยกว่า Velocity head ของปริมาณน้ำที่ต้องการ

ในทำนองเดียวกัน แนวศูนย์กลางท่อที่ตำแหน่งใด ๆ จะต้องอยู่ต่ำกว่า Hydraulic Grade Line ที่ตำแหน่งนั้นเสมอ โดยมักจะวางให้ต่ำกว่าประมาณ 3.50 ม. เพื่อให้มีแรงดันมากพอที่น้ำจะไหลผ่านไปได้

2.5 การคำนวณและออกแบบอาคารประกอบในระบบท่อ

อาคารประกอบในสายท่อที่จำเป็น เช่น Thrust Block อ่างควบคุมระดับน้ำ บ่อดักตะกอน ข้อต่อคอนกรีตรับแรงดัน เป็นต้น จะต้องคำนวณให้อาคารตัวนั้น ๆ มีความมั่นคงแข็งแรงและถูกต้องตามหลักวิศวกรรม

2.6 การคำนวณหาค่า Water Hammer

การกระแทกของน้ำอันเนื่องมาจากความดันที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำที่เคลื่อนตัวอยู่ภายในถูกทำให้หยุดลงอย่างกระทันหัน เช่น เมื่อประตูน้ำ (Valve) ที่ปลายท่อซึ่งมีน้ำอยู่เต็ม ถูกปิดโดยทันที น้ำที่ไหลอยู่ในท่อจะหยุดอย่างกระทันหัน และความเร็วในการไหลลดลงอย่างรวดเร็ว พลังงานจลน์ที่สะสมไว้ในน้ำ จะแปลงรูปเป็นความดันสูงที่ด้านหลังของประตูน้ำ และน้ำจะอัดตัวพยายามขยายตัวท่อให้กว้างขึ้น ความดันที่สูงขึ้นเรื่อย ๆ จะวนเวียนอยู่ด้วยความเร็วคงที่ระดับหนึ่งในขณะที่คลื่นความดันวิ่งขึ้นสู่ตอนบน ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Water Hammer

หรืออีกนัยหนึ่ง Water Hammer จะเกิดขึ้นในระบบท่อ เมื่อน้ำที่เคลื่อนตัวอยู่ภายในเกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็ว เพื่อที่จะรักษา Momentum ภายในเส้นท่อให้มีค่าคงเดิม ดังนั้นส่วนหนึ่งของพลังงานจลน์ของน้ำจะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานศักย์ และในที่สุดจะสูญไปกับความเสียดทานในน้ำ หรือ ผนังท่อ เพื่อที่จะทำให้ความดันมีค่าคงเดิม

โดยหลักทั่วไป Water Hammer เกิดจากสาเหตุต่าง ๆ ดังนี้

- การเปิด และ ปิด (สนิทหรือเป็นบางส่วน) ของประตูน้ำ (Valve)

- การเริ่มต้น และการหยุดของเครื่องสูบน้ำ
- การเปลี่ยนแปลงความเร็วของ Turbine
- การเปลี่ยนระดับของแหล่งน้ำ
- ปฏิกิริยาลูกคลื่นของแหล่งน้ำ (Reservoir Water Action)

ฯลฯ

ความดัน Water Hammer นี้ อาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. Transient คือ สภาวะระหว่างกลาง (Intermediate Condition) ซึ่งจะเกิดขึ้นในระบบ เมื่อน้ำเคลื่อนตัวจากสถานะคงตัวหนึ่งไปยังอีกสถานะคงตัวหนึ่ง ตัวอย่างที่เห็นได้ง่าย เช่น การปิดประตูน้ำเพียงตัวเดียว

2. Oscillatory คือ สภาวะที่เกิดขึ้นสม่ำเสมอในช่วงเวลาหนึ่ง ความดันประเภทนี้มีความเกี่ยวพันกับปฏิกิริยาของเครื่องสูบน้ำประเภทที่ใช้ลูกสูบ และประตูน้ำลดความดัน (Relief Valve) ความดันเพียงเล็กน้อยที่เกิดขึ้น สามารถขยายตัวได้อย่างรวดเร็ว และทำให้เกิดความเสียหายอย่างร้ายแรงที่สุด ถ้าความถี่เพิ่มขึ้นจนใกล้เคียงกับกำทอนธรรมชาติ (Natural Resonant) ของระบบท่อ

ทฤษฎี Elastic Wave ซึ่งวิเคราะห์ความดัน Water Hammer นี้ ได้รับการปรับปรุงและพัฒนาโดยนักวิจัยหลายท่าน โดยใช้เวลาหลายปี และเทคนิคที่ค้นพบก็จะนำซึ่งคำตอบที่น่าพอใจ เมื่อประยุกต์เข้ากับสภาวะการอย่างถูกต้อง ตัวอย่างซึ่งง่ายแก่การเข้าใจ คือการคำนวณเกี่ยวกับความดันที่เพิ่มขึ้นในท่อ เนื่องจากการปิดประตูน้ำอย่างรวดเร็ว แนวท่อซึ่งประกอบด้วยข้อต่อซึ่งขยายตัวได้ จะถูกยึดเพื่อต่อต้านการเคลื่อนตัวในแนวนอน ความดัน Water Hammer ที่มีค่ามากที่สุดนั้น มีความสัมพันธ์กับความเร็วเปลี่ยนแปลงสูงสุดของการเคลื่อนตัวของน้ำ ในขณะที่อัตราการเคลื่อนตัวของ Pressure Wave มีความสัมพันธ์กับความเร็วของเสียงในน้ำนั้น (แปรเปลี่ยนไปตามวัสดุที่ใช้ในการผลิตท่อ)

ความเร็วคลื่น สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$c = \frac{4{,}660}{\sqrt{1 + \frac{bd}{et}}}$$

เมื่อ c = ความเร็วคลื่น (ฟุต/วินาที)

b = Bulk Modulus ของน้ำ มีค่า 300,000 ปอนด์/นิ้ว^2

d = เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน (ID) ของท่อ (นิ้ว)

e = พิกัดความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ของท่อ มีค่า 400,000 ปอนด์/นิ้ว^2 สำหรับท่อ พี.วี.ซี

มีค่า 4,125,000 ปอนด์/นิ้ว^2 สำหรับท่อซีเมนต์ใยหิน

มีค่า 29,000,000 ปอนด์/นิ้ว^2 สำหรับท่อเหล็กเหนียว

t = ความหนาของท่อ (นิ้ว)

สูตรนี้อาจเปลี่ยนแปลงใหม่โดยใช้ Dimensional Ratio (DR) ได้ดังนี้

$$c = \frac{4,660}{\sqrt{1+\frac{b}{e}\left(DR-2\right)}}$$

เมื่อ $DR = \frac{OD}{t}$ (OD = Outside Diameter)

ความดัน Water Hammer สูงสุด อาจจะคำนวณได้จากสมการ

$$P = \frac{cV}{2.31g}$$

เมื่อ V = ความเร็วที่แปรรูปสูงสุด (ฟุต/วินาที)

g = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างวัตถุ (Acceleration of Gravity) มีค่า 32.2 ฟุต/วินาที^{2}

P = ความดัน Water Hammer (ปอนด์/นิ้ว^2)

2.7 การคำนวณชั้นคุณภาพของท่อ

เมื่อนำค่า Water Hammer ที่คำนวณได้ไปรวมกับค่า Pressure Head สูงสุดของท่อสายนั้น ๆ ก็จะทราบว่าท่อจะต้องรับความดันสูงสุดเท่าใด อยู่ Class ใด เช่น ถ้าแนวศูนย์กลางท่ออยู่ต่ำกว่าแนวเส้น Hydrualic Grade Line = 35 ม. นั่นคือ คิดเป็นความดันน้ำ 3.5 กก./ซม.^{2} (ค่าแรงดันน้ำ 1 กก./ซม.^{2} จะเท่ากับค่าความสูงของน้ำ 10 ม.) เมื่อค่าความดัน Water Hammer เท่ากับ 1.427 กก./ ซม.^{2} ฉะนั้น ท่อจะต้องรับแรงดันได้ไม่น้อยกว่า 4.927 กก./ ซม.^{2}

จากตัวอย่างที่ผ่านมานี้เมื่อใช้ท่อ PVC และใช้ค่าความปลอดภัยเป็น 1.5 เท่าของ Working Pressure จะได้ค่าความดันที่ท่อต้องรับอย่างน้อย = 7.39 กก./ ซม.^{2} ฉะนั้น ชั้นคุณภาพท่อที่ใช้ Class 8.5 หรือ 13.5 กก./ซม.^{2} เป็นต้น ในทำนองเดียวกันเราก็ใช้วิธีการคำนวณค่าชั้นคุณภาพเหล่านี้กับท่อทุก ๆ สายทั้งระบบ ก็จะได้ชั้นคุณภาพของท่อส่งน้ำรับแรงดันทุกสาย ซึ่งโดยทั่วไป มักจะเอาค่าสูงสุดของแต่ละสายมาคำนวณดังกล่าว

2.8 การคำนวณขนาดเครื่องสูบน้ำ

ในบางกรณีอาจต้องสูบน้ำสู่อาคารควบคุมก่อนปล่อยสู่ระบบท่อ หรือบางโครงการอาจใช้ระบบการสูบน้ำเข้าระบบท่อโดยตรง ดังนั้น ผู้ออกแบบจำเป็นต้องมีความรู้เรื่องเครื่องสูบน้ำด้วย

การบอกขนาดของเครื่องสูบน้ำสามารถบอกได้ด้วยแรงดัน (Head) และอัตราการไหลในขณะที่ทำงาน การคำนวณหาขนาดของเครื่องสูบน้ำ จำเป็นต้องคำนวณหาแรงดันทั้งหมดในระบบของเครื่องสูบน้ำเสียก่อน ชนิดของความดันในรูปความสูงของน้ำมีคำจำกัดความต่าง ๆ ดังนี้

1. เฮดสถิตย์ (Static Head) คือ ความสูงซึ่งวัดระหว่างผิวของแหล่งน้ำไปจนถึงระดับที่ปล่อยน้ำออก

2. เฮดการดูด (Suction Head) คือ ความสูงซึ่งวัดระหว่างผิวของแหล่งน้ำไปจนถึงแนวศูนย์กลางของเครื่องสูบน้ำ เฮดการดูดนี้จะมีได้ก็ต่อเมื่อผิวของแหล่งน้ำอยู่สูงกว่าเครื่องสูบน้ำ และเป็นแรงดันของน้ำในการสูบน้ำของเครื่องสูบน้ำ ในกรณีที่เครื่องสูบน้ำต่อโดยตรงกับท่อประธาน หรือท่อเมนที่มีความดันอยู่ ความดันของท่อเมนที่คิดเป็นความสูง (Pressure Head) ของน้ำเป็นเมตร ก็คือ เฮดการดูดนั่นเอง

3. เฮดดูดยก (Suction Lift) คือ ความสูงซึ่งวัดระหว่างแนวศูนย์กลางของเครื่องสูบน้ำ และผิวของแหล่งน้ำอยู่ต่ำกว่าเครื่องสูบน้ำ หรือระยะทางในแนวดิ่งที่เครื่องสูบน้ำจะต้องยกขึ้นมานั่นเอง

4. เฮดสถิตย์รวม (Total Static Head) คือ ผลต่างทางพีชคณิตของเฮดสถิตย์ด้านจ่าย (Static Discharge Head) กับเฮดสถิตย์ด้านดูด (Static Suction Head) ค่าเฮดสถิตย์รวมนี้จะเป็นเฮดต่ำสุดที่เครื่องสูบน้ำจะต้องเพิ่มให้แก่น้ำก่อนที่จะมีการไหลเกิดขึ้น

ในขณะที่น้ำไหลไปภายในท่อย่อมจะเกิดความดันลด อันเนื่องมาจากความเสียดทานภายในท่อ และความดันลดอื่น ๆ เช่น ความดันลดที่เครื่องกรองผง (Strainer) ความดันลดเนื่องจากการเปลี่ยนทิศทางการไหล เป็นต้น ความดันลดเหล่านี้ต้องนำไปรวมกับแรงดันอื่น ๆ ในการหาขนาดของเครื่องสูบน้ำ และเรียกแรงดันทั้งหมดเหล่านี้รวมกันว่า แรงดันสุทธิ (Net Head) หรือบางครั้งเรียกว่า เฮดรวมของเครื่องสูบน้ำ (Total Dynamic Head หรือ Total Discharge head) คือ

Static Head + ความดันลดอื่น ๆ

เมื่อทราบแรงดันสุทธิและอัตราการสูบน้ำที่ต้องการแล้ว ก็จะสามารถคำนวณหาค่าขนาดมอเตอร์ที่ใช้กับเครื่องสูบน้ำได้

$$HP = \frac{Q.H}{273\eta}$$

เมื่อ HP = แรงม้าของมอเตอร์

Q = อัตราการไหล (ม.^{3})

H = แรงดันสุทธิ (ม.)

η = ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ

หรือ $HP = \frac{r.Q.H}{550\eta}$

เมื่อ Q = อัตราการไหล (ฟุต^3/วินาที)

H = แรงดันสุทธิ (ฟุต)

r = น้ำหนักจำเพาะของของเหลว (ปอนด์/ฟุต^3)

ในกรณีที่ต้นกำลังเป็นมอเตอร์ พลังงานไฟฟ้าที่มอเตอร์ต้องการเป็นกิโลวัตต์ (KW) จะคำนวณได้จาก

$$KW = \frac{0.746HP}{\text{ประสิทธิภาพของมอเตอร์}}$$

หรือ $KW = \frac{QH}{102\eta}$

เมื่อ KW = กิโลวัตต์ของมอเตอร์

Q = อัตราการไหล (ลิตรต่อวินาที)

H = แรงดันสุทธิ (ม.)

สำหรับการเลือกขนาดของมอเตอร์ จะต้องเลือกจากขนาดมาตรฐานที่มีการผลิตออกมา ซึ่งมีพอสังเขปดังนี้ :-

0.37 KW (0.5 HP)	0.75 KW (1 HP)	1.12 KW (1.5 HP)
1.49 KW (2 HP)	2.24 KW (3HP)	3.73 KW (5 HP)
5.60 KW (7.5 HP)	7.46 KW (10 HP)	11.19 KW (15 HP)
14.92 KW (20 HP)	18.65 KW (25 HP)	22.38 KW (30 HP)
29.84 KW (40 HP)	37.30 KW (50 HP)	44.76 KW (60 HP)
55.95 KW (75 HP)	74.60 KW (100 HP)	

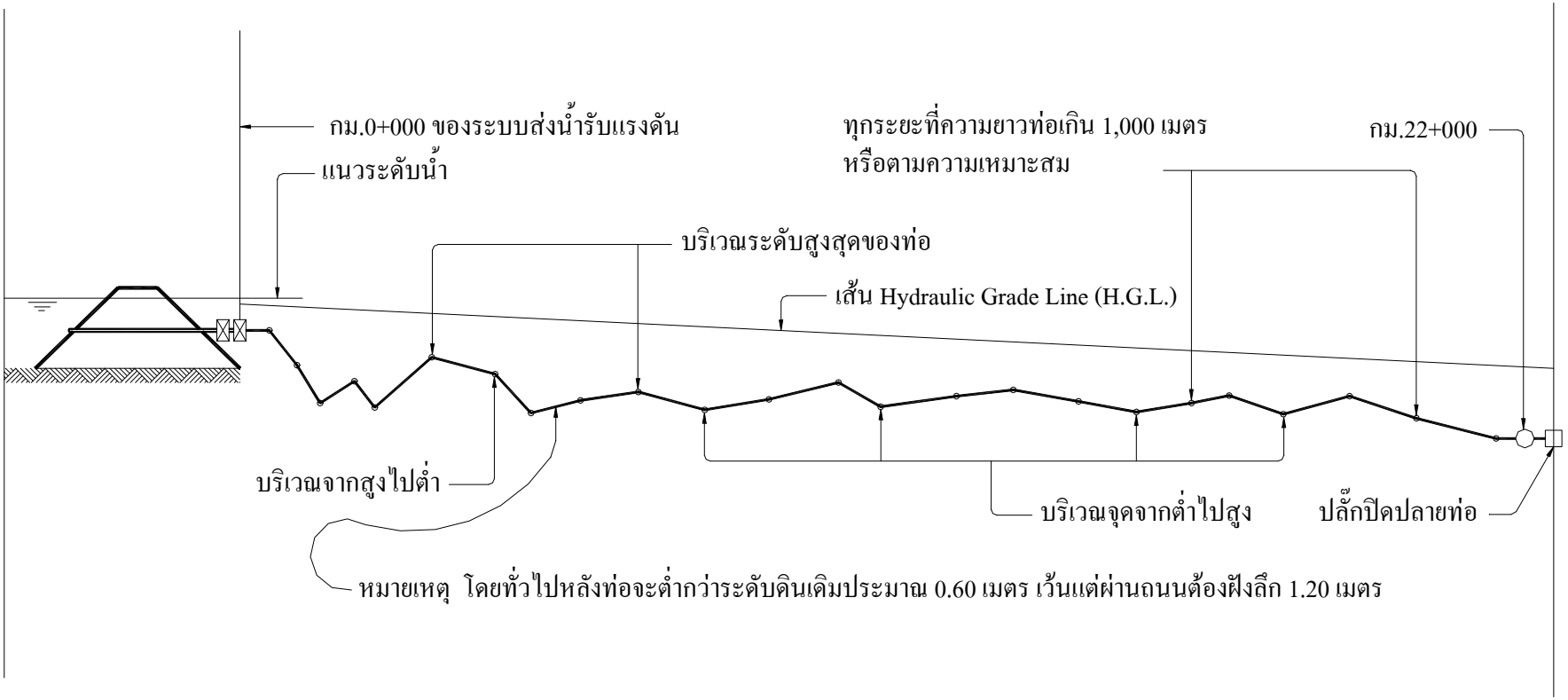
และจะคำนวณหาประสิทธิภาพรวมได้จาก

ประสิทธิภาพรวม = ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ x ประสิทธิภาพของมอเตอร์

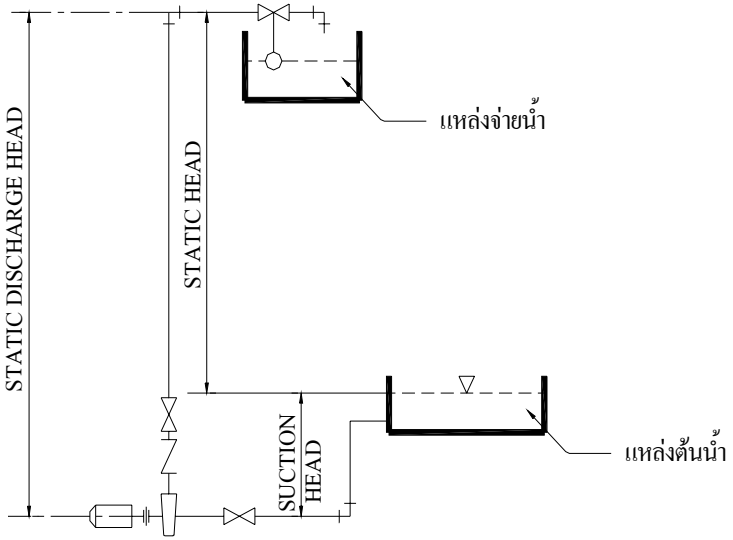
สำหรับรายละเอียดแสดงจุดที่ควรติดตั้งวาวล์ไล่อากาศ (Air Valve) รูปแบบอย่างง่ายของเครื่องสูบน้ำ และแรงดัน (Head) ต่าง ๆ คุณสมบัติกลของน้ำที่ความกดดันบรรยากาศ ดูได้จากรูปที่ 2.2 รูปที่ 2.3 และ ตารางที่ 2.1

รายละเอียดเพิ่มเติมนอกจากที่ได้กล่าวมานี้ หาดูได้จากหนังสือ Hydraulic ทั่วไป ในหัวข้อที่เกี่ยวข้องและสัมพันธ์กัน

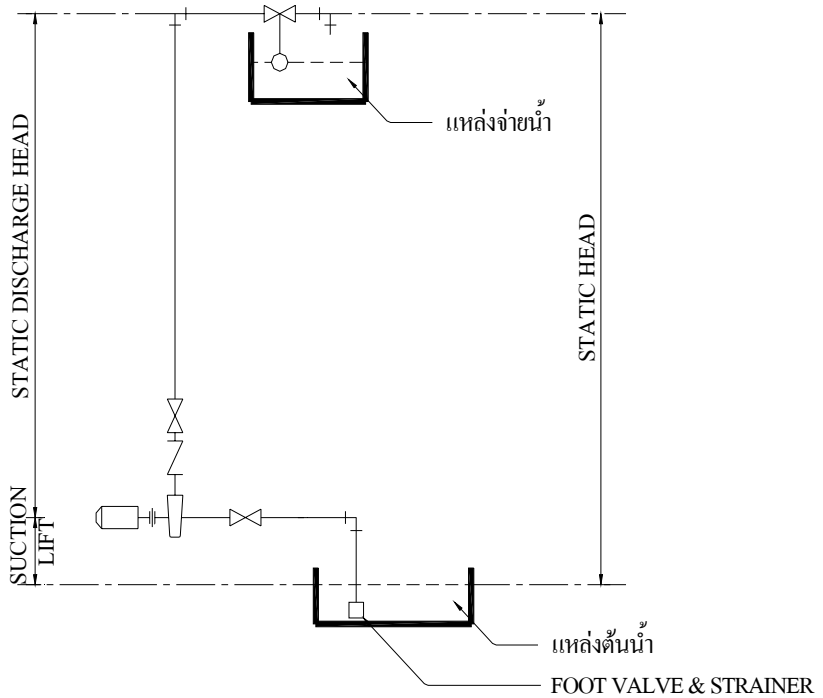
จุดที่ควรติดตั้ง Air Valve



รูปที่ 2.2 แสดงจุดที่ควรติดตั้งวาวล์ไล่อากาศ Air Valve



ระบบท่อเมื่อผิวแหล่งน้ำสูงกว่าเครื่องสูบน้ำ



ระบบท่อเมื่อผิวแหล่งน้ำต่ำกว่าเครื่องสูบน้ำ

รูปที่ 2.3 แสดงรูปแบบอย่างง่ายของเครื่องสูบน้ำ และแรงดัน (Head) ต่าง ๆ

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติกลของน้ำที่ความกดดันบรรยากาศ

Temperature T (^{o}F)	Density ρ (slug / ft)	Specific Weight γ (lb / ft^3)	Dynamic Viscosity μ ($lb / sec/ft^2$)	Kinematic Viscosity υ ($ft^{2/sec}$)	Surface Tension O (lb / ft)	Vapor Pressure Pv (psia)	Elastic Modulus E (psi)
32	1.94	62.40	$3.75X10^{-5}$	$1.93X10^{-5}$	0.00518	0.08	289,000
40	1.94	62.40	$3.24X10^{-5}$	$1.67X10^{-5}$	0.00514	0.11	296,000
50	1.94	62.40	$2.74X10^{-5}$	$1.41X10^{-5}$	0.00508	0.17	305,000
60	1.94	62.40	$2.34X10^{-5}$	$1.21X10^{-5}$	0.00503	0.26	312,000
70	1.94	62.30	$2.04X10^{-5}$	$1.05X10^{-5}$	0.00497	0.36	319,000
80	1.93	62.20	$1.80X10^{-5}$	$0.930X10^{-5}$	0.00492	0.51	325,000
90	1.93	62.10	$1.59X10^{-5}$	$0.823X10^{-5}$	0.00486	0.70	329,000
100	1.93	62.00	$1.42X10^{-5}$	$0.736X10^{-5}$	0.00479	0.96	331,000
120	1.92	61.70	$1.17X10^{-5}$	$0.610X10^{-5}$	0.00466	1.70	333,000
150	1.90	61.20	$0.906X10^{-5}$	$0.476X10^{-5}$	0.00446	3.70	328,000
180	1.88	60.60	$0.726X10^{-5}$	$0.385X10^{-5}$	0.00426	7.50	318,000
212	1.86	59.80	$0.594X10^{-5}$	$0.319X10^{-5}$	0.00403	14.70	303,000

บทที่ 3

การคำนวณค่าชลภาระในการออกแบบระบบส่งน้ำ

ก่อนที่จะทำการคำนวณออกแบบขนาดคลองส่งน้ำหรือขนาดท่อส่งน้ำดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จะต้องทราบค่าความต้องการน้ำของพืชหรือค่าชลภาระเสียก่อน เพื่อจะได้ทราบค่าปริมาณน้ำที่ต้องส่งให้แก่พืช ปกติค่าชลภาระ จะขึ้นอยู่กับวิธีการส่งน้ำเป็นหลัก ซึ่งโดยทั่วไปแล้ววิธีการส่งน้ำ มีอยู่ 3 วิธี ด้วยกันดังนี้

1. การส่งน้ำแบบตลอดเวลา
2. การส่งน้ำแบบหมุนเวียน ได้แก่
   - หมุนเวียนในคลองส่งน้ำสายใหญ่
   - หมุนเวียนในคลองส่งน้ำสายซอย
   - หมุนเวียนในคูน้ำ
3. การส่งน้ำตามความต้องการของผู้ใช้น้ำ

ในที่นี้จะขอกล่าวเฉพาะการคำนวณหาค่าชลภาระแบบหมุนเวียนในระบบคูน้ำเท่านั้น

3.1 หลักเกณฑ์การคำนวณหาปริมาณน้ำหรือค่าชลภาระสำหรับข้าวในกรณีส่งน้ำแบบหมุนเวียน

การคำนวณปริมาณน้ำสำหรับการส่งน้ำแบบหมุนเวียน โดยการกำหนดให้ค่าความต้องการน้ำชลประทานสูงสุดของข้าวอยู่ในระยะการเตรียมแปลงและปักดำในระยะสั้นๆ ดังนี้

สำหรับคูน้ำ	30	วัน
สำหรับคลองซอย	42	วัน
สำหรับคลองสายใหญ่	60	วัน

สำหรับการคำนวณหาปริมาณน้ำแบบหมุนเวียนในคูน้ำนั้น จะไม่คำนึงถึงปริมาณฝนใช้การมาคำนวณ ซึ่งการคำนวณหาค่าชลภาระนี้ ได้มีผู้เชี่ยวชาญคิดและดัดแปลงแก้ไขสูตรต่างๆ มากมาย แต่สูตรที่น่าจะให้ผลใกล้เคียงและนิยมใช้กันมากจะเป็นสูตรของ L.J Wen ดังนี้

$$q = \frac{D_t}{54} + \left[1 - e^{-(D_t/D_s)N}\right]\frac{C_i}{E_a E_c}$$

เมื่อ q = ค่าชลภาระ (ลิตร/วินาที/ไร่)

D_t = ความต้องการใช้น้ำของข้าวในแปลงนา (มม./วัน)

D_s = ความต้องการน้ำเตรียมแปลง (มม.)

N = จำนวนวันที่ใช้เตรียมแปลง (วัน)

C_i = Crop intensity factor = 1.00 (สำหรับคูน้ำ)

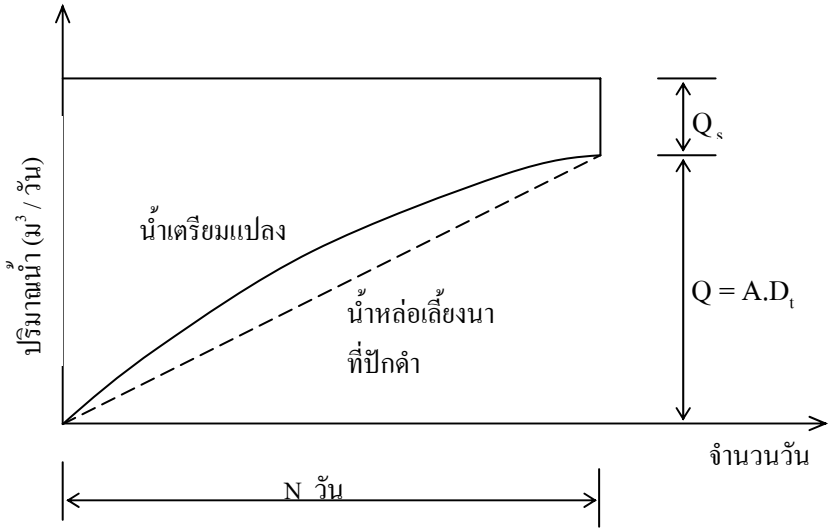
E_a = Application efficiency

E_c = Conveyance efficiency

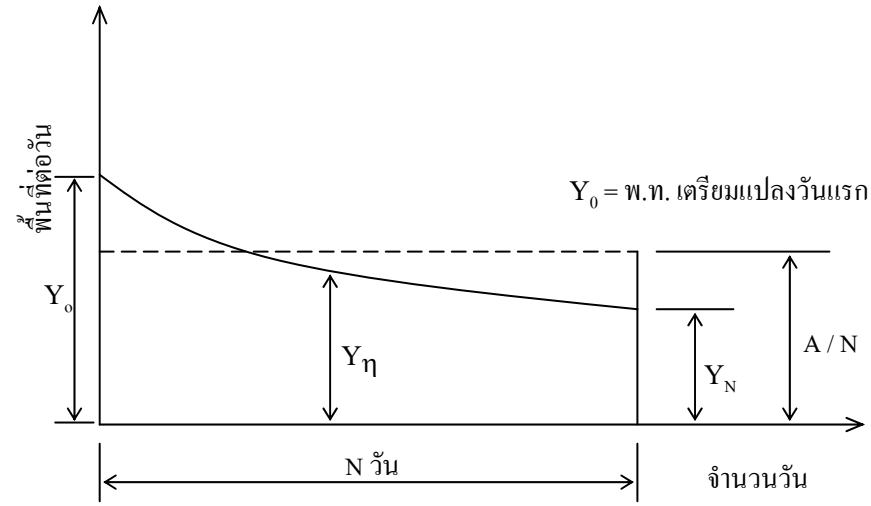
e = ฐานรากล็อกการิธึม = 2.718282

สูตรของ L.J Wen ยึดหลักการที่ว่า ปริมาณน้ำที่ส่งไปมีจำนวนเท่ากันตลอด เพื่อหมุนเวียนให้แก่พื้นที่ที่กำหนด โดยปริมาณน้ำที่ส่งนี้ จะเป็นน้ำใช้เพื่อการเตรียมแปลงและปักดำ ดังแสดงตามรูปที่ 3.1

อย่างไรก็ดี วิธีการดังกล่าวนี้ ก็มีข้อเสียอยู่ที่ว่า ผู้ที่จะจัดสรรน้ำจะต้องเข้าใจหลักเกณฑ์ของสูตร คือ ส่งน้ำเท่ากันตลอด ตามลักษณะของการส่งน้ำแบบหมุนเวียนพื้นที่ โดยกำหนดให้พื้นที่เตรียมแปลงลดลงทุกวัน ดังแสดงตามรูปที่ 3.2 ถ้าหากว่ามีการเตรียมแปลงเพิ่มขึ้นเมื่อใดจะทำให้ขาดน้ำได้



รูปที่ 3.1 แสดงปริมาณน้ำเพื่อการเตรียมแปลงและปักดำ



รูปที่ 3.2 แสดงพื้นที่ที่ใช้ในการเตรียมแปลง

3.2 หลักเกณฑ์การคำนวณหาปริมาณน้ำหรือค่าชลภาระสำหรับพืชไร่

มีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

3.2.1 กำหนดวิธีการส่งน้ำส่วนมากใช้เป็นลักษณะร่องคู

3.2.2 กำหนดชนิดของพืชไร่ และพื้นที่ที่จะเพาะปลูก

3.2.3 สำรวจคุณสมบัติทางกายภาพของดินในพื้นที่โครงการ

3.2.4 วิเคราะห์อัตราการรั่วซึมของดิน

3.2.5 คำนวณความลึกและช่วงเวลาสำหรับการส่งน้ำ โดยการใช้ข้อมูลจากการสำรวจดินหาค่าต่างๆ ดังนี้

1. หาค่าเขตรากพืช (Depth of Effective Root Zone)
2. หาค่าความชื้นในดิน (Moisture Extraction Pattern)
3. คำนวณหาความชื้นในดินที่พืชสามารถนำมาใช้ได้แต่ละชั้น (Available Moisture in Each Soil Layer within Effective Root Zone)
4. คำนวณค่าความชื้นทั้งหมดที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ (Total Readily Available Moisture หรือ TRAM)

จากข้อมูลสำรวจดินที่ได้ในข้อ 1 และ 2 สามารถนำมาคำนวณหาค่าในข้อ 3 ได้จากสมการ ดังนี้

$$AM = \frac{1}{100}\left(F_c - W_p\right)S_a D$$

เมื่อ AM = Available Moisture, (cm.)

F_c = Water holding capacity after 24 hrs. for soil saturation, (%)

W_p = Moisture ratio at wilting point, (%)

S_a = Apparent specific gravity, (g/cm^3)

D = Depth of soil in each soil layer, (mm.)

และจะนำไปหาค่าความชื้นทั้งหมดที่พืชสามารถนำไปใช้ได้

จาก $$TRAM = \frac{AM}{\text{Ratio of Moisture Extraction}}$$

เมื่อ TRAM = ผลรวมความชื้นทั้งหมดที่พืชใช้

AM = ความชื้นในแต่ละชั้นที่พืชนำมาใช้

Ratio of Moisture Extraction = อัตราส่วนความชื้นในดิน

สำหรับค่า Ratio of Moisture Extraction ถ้าไม่มีผลสำรวจดินสามารถนำค่าประยุกต์ต่อไปนี้มาใช้ได้

ตารางที่ 3.1 แสดงค่า Ratio of Moisture Extraction

Percent of Depth(%)	Ratio of Moisture Extraction(%)
0 – 25	40
25 – 50	30
50 – 75	20
75 – 100	10

ช่วงเวลาสำหรับการส่งน้ำให้แก่พืชไร่ จะคำนวณโดยการหารค่า TRAM ด้วยค่าความต้องการใช้น้ำสูงสุดของพืช (Maximum Crop Evapotranspiration)

$$\text{Irrigation Interval} = \frac{\text{TRAM}}{\text{Etc.}}$$

เมื่อ Irrigation Interval = ช่วงเวลาการส่งน้ำสำหรับพืชไร่ (วัน)

TRAM = ผลรวมความชื้นทั้งหมดที่พืชนำมาใช้ได้ (มม.)

Etc. = ค่าการใช้น้ำของพืชสูงสุด (มม./วัน)

3.3 ประสิทธิภาพการชลประทาน (Irrigation Efficiency)

หมายถึง อัตราส่วนที่คิดเป็นเปอร์เซนต์ระหว่างปริมาณน้ำสุทธิที่พืชต้องการใช้ (Net Water Requirement) ต่อปริมาณน้ำชลประทานที่ต้องจัดส่งให้ทั้งหมด (Gross Water Requirement) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ คูณด้วย 100 สำหรับค่าประสิทธิภาพการชลประทาน จะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

3.3.1 Application Efficiency หมายถึง ประสิทธิภาพของการใช้น้ำของพืชในแปลงนา ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น คุณสมบัติทางกายภาพของดิน และชนิดของพืช เป็นต้น

3.3.2 Operation Efficiency หมายถึง ประสิทธิภาพในการส่งน้ำ ซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการส่งน้ำ ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

3.3.3 Conveyance Efficiency หมายถึง ประสิทธิภาพในระบบส่งน้ำ ขึ้นอยู่กับอัตราการรั่วซึมและการระเหยในคลองส่งน้ำ โดยทั่วไปจะเป็นอัตราส่วนกับความยาวของคลองส่งน้ำ

3.3.4 Overall Efficiency หมายถึง ประสิทธิภาพทั้งหมดที่กล่าวข้างต้น หรือประสิทธิภาพของโครงการนั้นเอง

Overall Eff. = Application Eff. x Operation Eff. x Conveyance Eff.

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าโดยประมาณสำหรับประสิทธิภาพชลประทาน

ค่าโดยประมาณสำหรับ ประสิทธิภาพการชลประทาน	ข้าว %	พืชไร่ %
Application Efficiency	95	80
Operation Efficiency	80	80
Conveyance Efficiency	85	80
Overall Efficiency	65	51

บทที่ 4

การออกแบบระบบส่งน้ำ ในระบบฟาร์มแบบไร่นาสวนผสมตามแนวทฤษฎีใหม่

ตามแนวพระราชดำริในการทำการเกษตรระบบฟาร์มแบบไร่นาสวนผสมตามแนวทฤษฎีใหม่ จะกำหนดให้แต่ละครัวเรือนมีพื้นที่ถือครองประมาณ 15 ไร่ โดยแบ่งพื้นที่ตามรูปแบบไร่นาสวนผสมตามแนวทฤษฎี ดังนี้

- พื้นที่สระเก็บน้ำ 10% เท่ากับ 1.5 ไร่
- พื้นที่พืชสวน 30% เท่ากับ 4.5 ไร่
- พื้นที่นาข้าวฤดูฝน 50% เท่ากับ 7.5 ไร่
- พื้นที่อยู่อาศัยและพืชสวนครัว 10% เท่ากับ 1.5 ไร่

4.1 ข้อมูลที่ใช้ประกอบการออกแบบ

4.1.1 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเกี่ยวกับสภาพภูมิอากาศ จะประกอบด้วย ข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ปริมาณแสงแดด การระเหย และปริมาณน้ำฝน

4.1.2 ข้อมูลน้ำฝน ได้แก่ สถิติข้อมูลน้ำฝนรายเดือน

4.1.3 ข้อมูลน้ำท่า ได้แก่ ปริมาณน้ำท่ารายเดือน และรายปีเฉลี่ย

4.1.4 ข้อมูลการใช้น้ำของพืช ได้แก่ ข้อมูลความต้องการน้ำของข้าว พืชไร่ และไม้ผล

4.1.5 ข้อมูลการใช้น้ำเพื่ออุปโภค - บริโภค และเลี้ยงสัตว์

4.1.6 ค่าชลภาระของโครงการฯ

4.2 เกณฑ์การออกแบบสระเก็บน้ำ

4.2.1 การประเมินน้ำท่าไหลลงสระเก็บน้ำ

กำหนดให้พื้นที่รับน้ำฝน (Watershed Area) เฉลี่ยเท่ากับ 15 ไร่ สำหรับปริมาณน้ำที่ไหลลงสระแต่ละสระ โดยทำการประเมินหาน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ย จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยกับปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย ของสถานีใกล้เคียงโครงการ และอาศัยรูปแบบการแผ่กระจายปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยของสถานีน้ำท่านั้น ได้แสดงผลการคำนวณหาปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยไหลลงสระดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยไหลลงสระ

เดือน	น้ำท่า (ม.^{3})	น้ำท่าสะสม (ม.^{3})	น้ำฝน (มม.)	น้ำท่า (มม.)
เม.ย.	0	0	67.65	0
พ.ค.	186	186	184.57	7.75
มิ.ย.	1,082	1,268	262.95	45.08
ก.ค.	2,309	3,577	256.24	96.21
ส.ค.	4,103	7,680	339.48	170.96
ก.ย.	2,217	9,897	243.13	92.37
ต.ค.	642	10,539	86.54	26.75
พ.ย.	61	10,600	4.98	0.54
ธ.ค.	0	10,600	2.40	0
ม.ค.	0	10,600	2.03	0
ก.พ.	0	10,600	12.27	0
มี.ค.	0	10,600	35.28	0
รวม	10,600		1,498	441.67

4.2.2 การกำหนดความจุของสระเก็บน้ำ

วิธีกำหนดขนาดความจุของสระเก็บน้ำ จะพิจารณาจากปริมาณน้ำต้นทุน ความต้องการใช้น้ำของโครงการ การสูญเสียเนื่องจากการระเหยและรั่วซึม และประสิทธิภาพของโครงการ สำหรับสระเก็บน้ำของโครงการนี้ ได้กำหนดขนาดไว้ 5,000 ม.^{3} โดยจะเติมน้ำลงสระทุก 2 เดือน ในฤดูแล้ง ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน ถึงเดือน พฤษภาคม โดยมีรายละเอียดการศึกษา ดังนี้

1. ปริมาณน้ำต้นทุนรายปีเฉลี่ยเท่ากับ 10,600 ม.^{3}
2. อัตราการระเหยและรั่วซึมเฉลี่ยเดือนละ 112.5 ม.^{3}
3. ความต้องการใช้น้ำของพืชไร่ฤดูแล้ง (พ.ย. - พ.ค.) เท่ากับ 10,416 ม.^{3} ได้แสดงปริมาณความต้องการใช้น้ำของพืชไร่ฤดูแล้งไว้ดังตารางที่ 4.2
4. สำรองเลี้ยงปลาและอุปโภคบริโภค 1,250 ม.^{3} ต่อครั้งที่เติมน้ำ ประสิทธิภาพของโครงการ ได้กำหนดไว้เท่ากับ 0.56

ตารางที่ 4.2 แสดงความต้องการน้ำของพืชไร่และพืชสวนฤดูแล้ง

เดือน	พืชไร่ (5ไร่) (ม.^{3})	พืชสวน (4.5ไร่) (ม.^{3})	รวม (ม.^{3})	รวมสะสม (ม.^{3})
พ.ย.	362	1,369	1,731	1,731
ธ.ค.	1,160	1,402	2,562	4,293
ม.ค.	1,376	1,206	2,582	6,875
ก.พ.	508	1,109	1,617	8,492
มี.ค.		913	913	9,405
เม.ย.		652	652	10,057
พ.ค.		359	359	10,416
รวม	3,406	7,010	10,416	10,416

4.2.3 ระบบการจัดการน้ำ

ในการส่งน้ำจากอ่างเก็บน้ำลงสระน้ำ จะกระทำ 2 เดือนต่อครั้ง สำหรับเดือน มิ.ย. และเดือน ก.ค. เป็นช่วงเตรียมแปลงและตกกล้าเพื่อการปลูกข้าวฤดูฝน จะให้รับน้ำจากอ่างเก็บน้ำ หลังจากนั้นให้ใช้น้ำจากสระเก็บน้ำ จากข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้พบว่า น้ำจะไหลเต็มสระเก็บน้ำเมื่อถึงต้นเดือน ส.ค. ในกรณีที่ไม่มีการใช้น้ำจากสระ น้ำจะเต็มสระถึงต้นเดือน พ.ย. จากข้อมูลความต้องการน้ำของพืชไร่และพืชสวนช่วงเดือน พ.ย. ถึงเดือน ธ.ค. พืชใช้น้ำ 4,293 ม.^{3} แต่มีน้ำในสระเก็บน้ำเพื่อการเพาะปลูกเพียง 3,525 ม.^{3} ดังนั้น ช่วงระหว่างเดือน พ.ย. ถึงเดือน ธ.ค. จะต้องส่งน้ำเติมให้กับสระเก็บน้ำอีกประมาณ 768 ม.^{3} และเดือน ม.ค. ถึงเดือน ก.พ. พืชใช้น้ำ 4,199 ม.^{3} จะต้องส่งน้ำเติมให้กับสระเก็บน้ำอีกประมาณ 674 ม.^{3} สำหรับรอบเวรต่อไปก็ส่งน้ำไปให้เต็มสระตามปกติ เพราะเดือน มี.ค. ถึงเดือน พ.ค. พืชต้องการใช้น้ำเพียง 1,924 ม.^{3} เท่านั้น ดังนั้น การขุดสระความจุ 5,000 ม.^{3} มีน้ำเพียงพอสำหรับพืชไร่ฤดูแล้ง 5 ไร่ สวนผลไม้ 4.5 ไร่ และเหลือน้ำเพื่อการเลี้ยงปลาที่ระดับความลึก 1 ม. โดยการส่งน้ำลงสระแต่ละรอบเวร ประมาณ 3,750 ม.^{3}

4.2.4 การคำนวณค่าชลภาระ

การคำนวณค่าชลภาระในการออกแบบระบบส่งน้ำ ได้จากค่าปริมาณการใช้น้ำสูงสุดของโครงการฯเป็นหลัก ปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการคำนวณปริมาณความต้องการน้ำชลประทาน(Irrigation Water Requirement) ได้แก่

1. การวางแผนการปลูกพืช (Cropping Pattern) ในพื้นที่แต่ละโครงการฯ จะมี Cropping Pattern แตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการแผ่กระจายของฝนและลักษณะการใช้พื้นที่ดินให้เหมาะสมกับชนิดของพืชที่จะปลูก

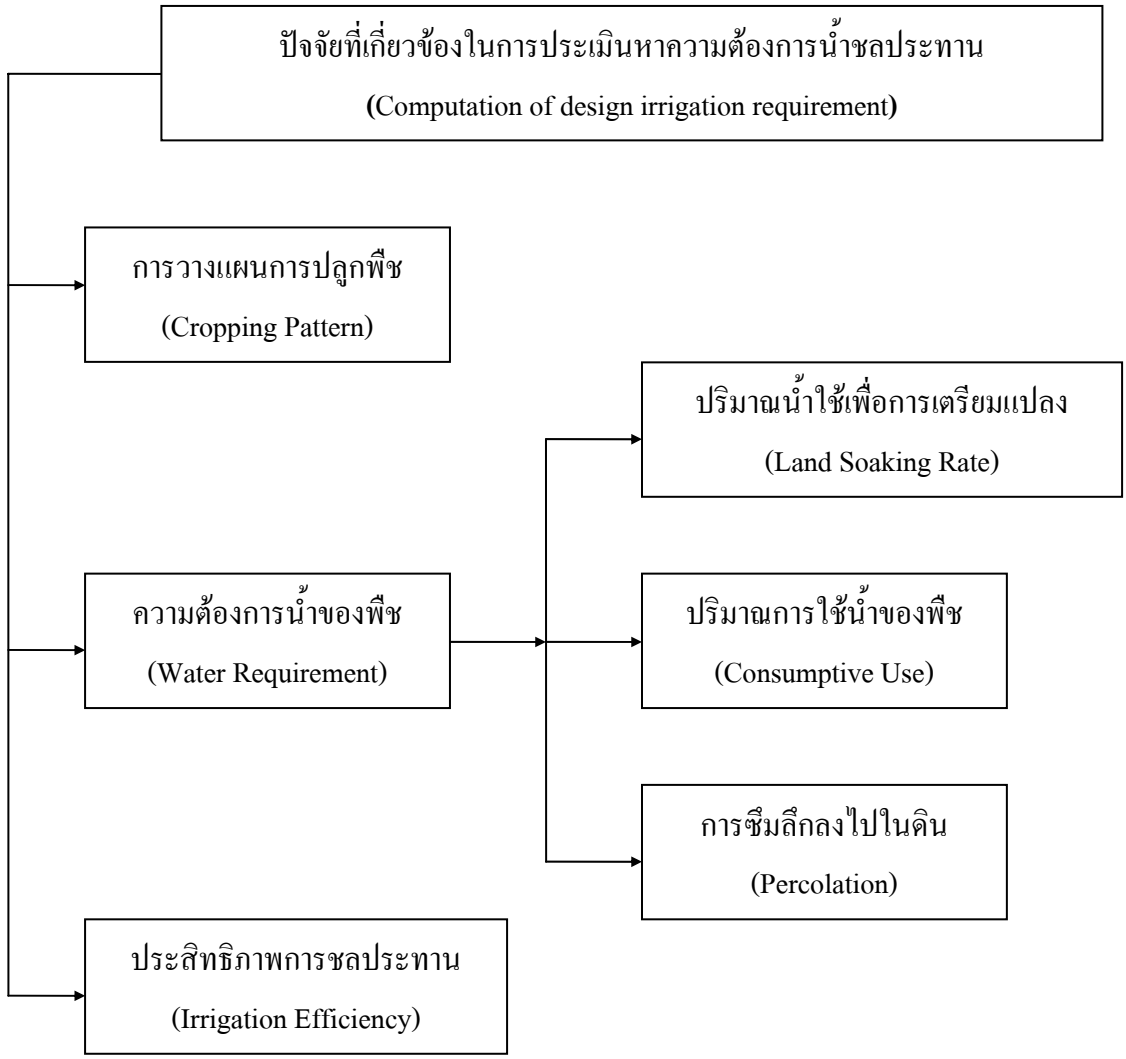
2. ความต้องการใช้น้ำของพืช (Consumptive Use) ค่าการใช้น้ำของพืชจะแปรเปลี่ยนไปตามชนิดของพืช ช่วงเวลาการเจริญเติบโต และข้อมูลภูมิอากาศของแต่ละพื้นที่

3. ปริมาณฝนใช้การ (Effective Rainfall) ค่าฝนที่พืชสามารถนำไปใช้เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตได้ ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญของความต้องการใช้น้ำชลประทาน

4. ลักษณะดิน หมายถึง ลักษณะโครงสร้างของดิน ซึ่งจะแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ และจะมีผลกับปริมาณการสูญเสียน้ำไปในการซึมลึกลงในดิน (Percolation) และการระเหยของน้ำจากผิวดินด้วย

5. ประสิทธิภาพการชลประทาน (Irrigation Efficiency) ค่าประสิทธิภาพการชลประทานจะขึ้นอยู่กับประเภทและวิธีการส่งน้ำ โดยทั่วไปการส่งน้ำตามแนวทฤษฎีใหม่มักจะใช้ระบบท่อในการส่งน้ำทำให้ประสิทธิภาพในการส่งน้ำค่อนข้างสูง ดังนั้น จึงช่วยลดปริมาณน้ำชลประทานลงได้บ้าง

โดยทั่วไปค่าชลภาระของโครงการฯ จะคิดจากค่าความต้องการน้ำสูงสุด การปลูกข้าวในฤดูฝน ซึ่งจะอยู่ในช่วงของการเตรียมแปลง ระหว่างเดือนมิ.ย. ถึงเดือน ก.ค.



รูปที่ 4.1 แสดงปัจจัยเกี่ยวข้องในการประเมินความต้องการน้ำชลประทาน

บทที่ 5

การออกแบบระบบระบายน้ำ

ขั้นตอนการออกแบบระบบระบายน้ำ

5.1 ข้อมูลที่ใช้ประกอบการออกแบบระบบระบายน้ำ

5.1.1 รายงานความเหมาะสมด้านวางโครงการฯ

5.1.2 แผนที่ 1:50,000 ครอบคลุมพื้นที่โครงการฯ

5.1.3 แผนที่ 1:20,000 1:10,000 หรือ 1:4,000 ที่แสดงระบบส่งน้ำของโครงการฯ

5.1.4 ปริมาณฝนสูงสุด 3 วัน ในคาบการย้อนกลับ 5 ปี

5.1.5 สถิติฝนสูงสุด ในคาบการย้อนกลับ 10 ปี

5.2 หลักเกณฑ์การวางแนวคลองระบายน้ำ

ภายหลังจากได้แผนที่โครงการฯ ซึ่งวางระบบส่งน้ำไว้เรียบร้อยแล้ว ก็นำแผนที่นั้นมาวางระบบระบายน้ำ โดยหลักการวางแนวคลองระบายน้ำนั้น จะวางไปตามแนวร่องน้ำเดิมหรือทางน้ำธรรมชาติเป็นหลัก นอกจากนั้น คลองระบายน้ำสายซอย (Secondary Drain Canal) ซึ่งอาจจำเป็นต้องวางเพิ่มเติม ก็จะวางแนวคลองระบายน้ำในบริเวณที่ต่ำสุดหรือลุ่มสุด แล้วให้เชื่อมกับคลองระบายน้ำสายหลัก (Main Drain Canal) เมื่อวางระบบระบายน้ำเรียบร้อยแล้ว จึงนำแผนที่นี้ส่งสำนักสำรวจด้านวิศวกรรมและธรณีวิทยา เพื่อทำการสำรวจแนวคลองระบายน้ำต่อไป

5.3 หลักเกณฑ์การกำหนดตำแหน่งของอาคารในคลองระบายน้ำ

อาคารประกอบในคลองระบายน้ำจะมีน้อยกว่าอาคารประกอบในคลองส่งน้ำ ซึ่งส่วนใหญ่จะประกอบด้วยอาคารดังนี้

5.3.1 อาคารรับน้ำเข้าคลองระบาย หรือช่องเปิดรับน้ำเข้าคลองระบาย จะกำหนดไว้ในบริเวณซึ่งแนวคลองระบายตัดผ่านที่ลุ่ม หรือทุกๆ ระยะประมาณ 200 ม.

5.3.2 อาคารระบายน้ำออก (Outflow Structure) จะกำหนดไว้บริเวณ กม. 0+000 ของคลองระบายน้ำที่จะไหลลงลำน้ำธรรมชาติ หรือคลองระบายน้ำสายหลัก เป็นบริเวณจุดบรรจบของคลองระบายน้ำสองสาย

5.3.3 น้ำตก (Drop Structure) กำหนดไว้ในคลองระบายน้ำตรงบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับท้องคลองอย่างมาก หรือในกรณีที่ท้องคลองมีค่าความลาดชันมากเกินกว่า 1:500 หรือเกินกว่า Critical Slope

5.3.4 ท่อลอดถนน (Road Culvert) หรือสะพาน คสล. (Concrete Bridge) กำหนดไว้ในตำแหน่งที่คลองระบายน้ำตัดกับถนนหรือทางหลวง ซึ่งส่วนใหญ่มักจะกำหนดเป็น Box Culvert หรือสะพาน แล้วแต่กรณี

5.4 เกณฑ์การออกแบบคลองระบายน้ำ

จุดประสงค์ในการออกแบบระบบระบายน้ำ ก็เพื่อที่จะระบายน้ำส่วนเกินจากการใช้ของพืชในพื้นที่เพาะปลูก หรือปริมาณน้ำหลาก (Flood) ที่เกิดจากฝนลงสู่คลองระบายน้ำ ทั้งนี้โดยยึดกฎเกณฑ์ไว้ว่า ปริมาณน้ำหลากจำนวนหนึ่งจะยอมให้ขังอยู่ในพื้นที่เพาะปลูก โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อพืช และสามารถระบายออกไปได้หมดภายใน 3 วัน

ในการออกแบบคลองระบายแต่ละสายนั้น จะแบ่งการดำเนินการออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

5.4.1 การคำนวณหาปริมาณน้ำเพื่อการออกแบบ

ปริมาณน้ำเพื่อจะใช้ในการคำนวณหาขนาดคลองระบายนั้น ได้จากผลรวมของปริมาณน้ำจากพื้นที่ภายในโครงการฯ และปริมาณน้ำหลากจากพื้นที่ภายนอกโครงการฯ

1. การคำนวณหาปริมาณน้ำหลากจากพื้นที่ภายนอกโครงการฯ

ปริมาณน้ำหลากซึ่งเกิดจากพื้นที่รับน้ำฝนนอกโครงการฯ ซึ่งมีไม่มากกว่า 25 ตร.กม. จะใช้สถิติฝนมากที่สุดในรอบ 10 ปี ของสถานีวัดน้ำฝนใกล้เคียงกับพื้นที่โครงการฯ มาใช้ในการคำนวณโดยใช้สูตร Rational's Formula ดังนี้

$$Q = 0.278\ CIA$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำหลาก (ม.^{3}/วินาที)

C = สัมประสิทธิ์แสดงอัตราส่วนระหว่างน้ำท่า และน้ำฝน (Coefficient of Runoff) ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศ และค่า Rainfall Intensity (I)

I = ความแรงของฝน (Rainfall Intensity) (มม./ชม.)

A = พื้นที่ระบายน้ำ (Catchment Area) (ตร.กม.)

ในการหาค่า I ใช้ค่าช่วงเวลา (Duration) เท่ากับ Time of Concentration (T_C) ซึ่งขึ้นอยู่กับความยาวร่องน้ำ (L) และความสูงของร่องน้ำระหว่างต้นน้ำกับจุดพิจารณา (H) มีสมการดังนี้

$$T_C = (0.87\ L^3/H)^{0.385}$$

เมื่อ T_C = Time of Concentration (ชม.)

L = ความยาวของร่องน้ำ (กม.)

H = ความแตกต่างระดับของร่องน้ำจากต้นน้ำถึงจุดที่พิจารณา (ม.)

สมการนี้คิดขึ้นโดย California Division of Highway ซึ่งแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง L H และ T_C ค่า T_C นี้ เป็นค่า Rainfall Duration เพื่อไปหาค่า I หรือ Rainfall Intensity จากกราฟ Rainfall Intensity – Duration – Frequency Curve ได้

ในการคำนวณใช้ Rainfall Intensity – Duration – Frequency Curve ของสถานีวัดน้ำฝนซึ่งอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับโครงการฯ แล้วแต่ความเหมาะสมของพื้นที่

สำหรับพื้นที่รับน้ำฝนที่มีขนาดใหญ่กว่า 25 ตร.กม. จะใช้วิธีคำนวณกราฟน้ำนองจากข้อมูลพายุฝนด้วยเทคนิคกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า ซึ่งจะได้พิจารณารายละเอียดให้เหมาะสมสำหรับพื้นที่แต่ละขนาด

2. การคำนวณหาปริมาณน้ำจากพื้นที่ภายในโครงการฯ

การคำนวณหาปริมาณน้ำที่จะระบายออกจากพื้นที่ปลูกข้าว จะใช้ค่าของฝนสูงสุด 3 วัน ในรอบ 5 ปี โดยยอมให้มีน้ำขังอีก 70 มม. ดังนั้นการคำนวณค่า Drainage Modulus จะคำนวณได้จากสูตร

$$q_d = \frac{(R - 70) \times 1{,}600}{86{,}400 \times T}$$

เมื่อ q_d = Drainage Modulus (ลิตร/วินาที/ไร่)

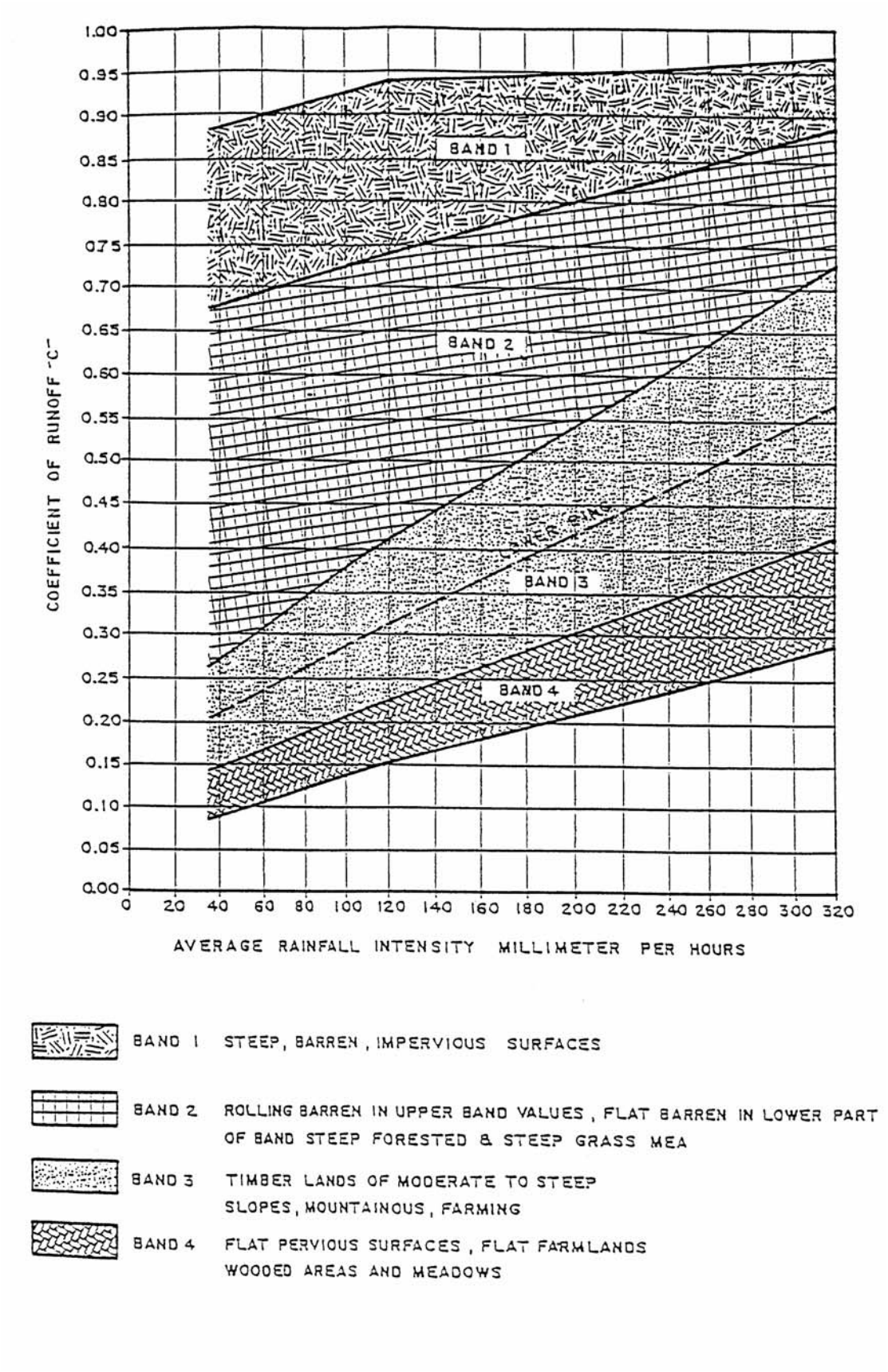
R = ปริมาณฝน (มม.)

T = ระยะเวลาที่ยอมให้แปลงนามีน้ำท่วมขัง (วัน)

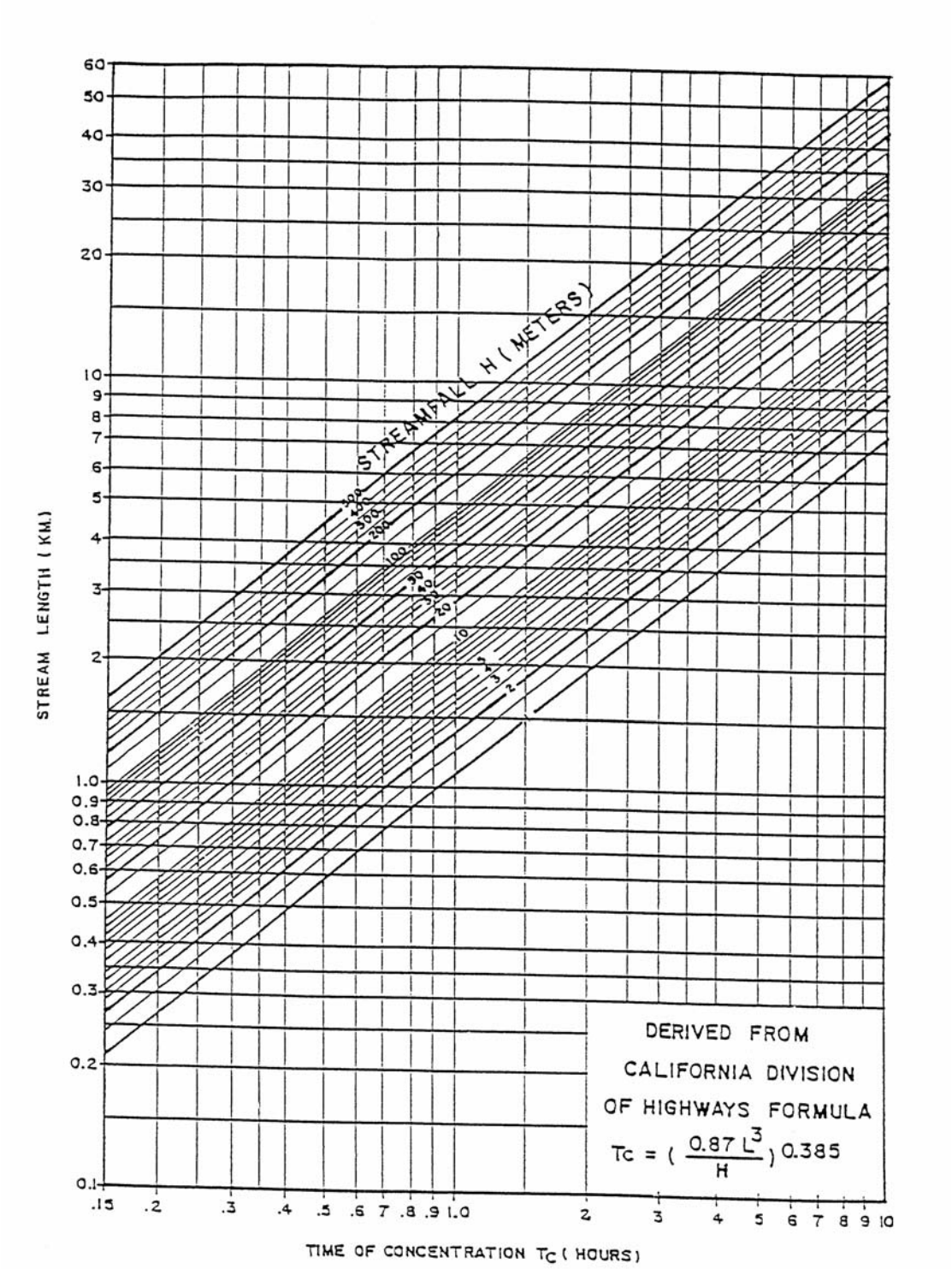
ค่า Drainage Modulus และค่า Area Reduction Factor ของพื้นที่ระบายน้ำจะกำหนดตามที่ได้ศึกษาไว้แล้วในรายงานความเหมาะสมของแต่ละโครงการฯ

ตารางที่ 5.1 แสดงค่า Area Reduction Factor

พื้นที่ระบายน้ำ (ไร่)	Reduction Factor, μ
น้อยกว่า 2,000	1.00
2,000 – 5,000	0.95
5,000 – 10,000	0.90
10,000 – 20,000	0.86
20,000 – 50,000	0.76
50,000 – 100,000	0.72
100,000 – 200,000	0.68
200,000 – 500,000	0.64



รูปที่ 5.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า C ที่ใช้ในสูตร Rational's Formula



รูปที่ 5.2 แสดงระยะเวลาการไหลรวมตัวของน้ำท่า

$Q = q_d \mu A/1000$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำที่ต้องระบาย (ม.^{3}/วินาที)

q_d = Drainage Modulus (ลิตร/วินาที/ไร่)

A = พื้นที่ระบายน้ำ (ไร่)

μ = Reduction Factor

ปริมาณน้ำเพื่อการออกแบบ (Q_{design}) จะหาได้จากการนำผลรวมของปริมาณน้ำทั้งหมดมาคูณด้วย 1.1 แล้วนำมาปรับขนาดตามความเหมาะสมอีกที ในขั้นตอนการคำนวณหาขนาดคลอง

5.4.2 การคำนวณหาขนาดคลอง

ขนาดคลองระบายน้ำจะต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะระบายน้ำได้ตาม Q_{design} ที่ได้กล่าวข้างต้น เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับพื้นที่เพาะปลูก โดยที่ขนาดของคลองระบายน้ำจะเกี่ยวพันถึงการเลือกใช้ลาดผิวน้ำในคลองระบายน้ำ รูปตัดขวางคลอง ลาดด้านข้างคลอง และอัตราความเร็วของน้ำ เพื่อป้องกันการกัดเซาะ การตกตะกอน ซึ่งจะทำให้ก้นคลองตื้นเขินเร็วเกินไป

การคำนวณหาขนาดคลอง จะหาโดยใช้สูตร

$Q_{design} = AV$

เมื่อ Q_{design} = ปริมาณน้ำเพื่อการออกแบบ (ม.^{3}/วินาที)

A = พื้นที่หน้าตัดของน้ำที่ไหลในคลองระบาย (ม.^{2})

V = ความเร็วของน้ำในคลองระบาย (ม./วินาที)

V จะหาได้จากสูตร Manning's Formula ดังนี้

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

เมื่อ V = ความเร็วของน้ำในคลองระบาย (ม./วินาที)

n = Manning's Roughness Coefficient

= 0.030 - 0.035

R = รัศมีชลศาสตร์ (Hydraulic Radius) = A/P (ม.)

A = พื้นที่หน้าตัดของน้ำที่ไหลในคลองระบาย (ม.^{2})

P = ความยาวของเส้นขอบเปียก (Wetted Perimeter) (ม.)

S = ความลาดของ Energy Gradient

= ความลาดของลำน้ำหรือระดับดินธรรมชาติตามความเหมาะสมขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศ

หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบมีดังต่อไปนี้

1. ลาดผิวน้ำในคลองระบายน้ำ

กำหนดให้ลาดผิวน้ำทำให้เกิดการไหลโดย Gravity ด้วยอัตราความเร็วของน้ำไม่ก่อให้เกิดการกัดเซาะ และตกตะกอนในคลอง กำหนดลาดผิวน้ำมีค่าระหว่าง 1:1,000 ถึง 1:8,000 ในการเลือกใช้ค่าของลาดผิวน้ำแต่ละค่า จะพิจารณาให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ โดยที่ลาดผิวน้ำจะเท่ากับลาดก้นคลอง

2. รูปตัดตามขวางของคลองระบายน้ำ

รูปตัดขวางมีลักษณะเป็นคลองเปิดรูปสี่เหลี่ยมคางหมู โดยสัดส่วนระหว่างความกว้างของก้นคลอง (Bed Width of Canal = b) กับความลึกของน้ำในคลอง (Depth of Water in canal = d) ให้อยู่ระหว่างค่า 1 ถึง 5 (b/d) โดยกำหนดให้ความกว้างของก้นคลองไม่น้อยกว่า 1.00 ม.

ลาดด้านข้างคลองระบายน้ำ กำหนดตามสภาพดินของตลิ่งคลองเพื่อป้องกันตลิ่งคลองเลื่อนพังลงมา โดยทั่วไปกำหนดให้ลาดด้านข้างคลองมีค่าเท่ากับ 1:2

3. คันคลองระบายน้ำ (Spoil Bank)

ลาดด้านข้างคันคลองกำหนดใช้ความลาดเอียง 1:2 ปริมาณดินขุดจากคลองระบายมาเป็นคันคลองนี้ บางแห่งอาจจะมีมากหรือน้อยตามสภาพภูมิประเทศ อย่างไรก็ตาม จะกำหนดความสูงของคันคลองไม่เกิน 1.50 ม. และทุก ๆ ช่วงระยะไม่เกิน 200 ม. จะกำหนดให้มีช่องว่างที่น้ำจะสามารถระบายลงสู่คลองระบายได้ โดยมีความกว้างของช่องเปิดไม่น้อยกว่า 5.00 ม.

ความกว้างของคันคลอง พิจารณาจากปริมาณดินขุด กำหนดความกว้างของคันคลองระบายไว้อย่างน้อย 1.50 ม. หรือแล้วแต่สภาพภูมิประเทศนั้น ๆ

4. ชานคลอง (Berm)

พิจารณาคลองระบายน้ำที่ต้องมีการขุดลอกคลองด้วยเครื่องจักร เครื่องมือ เช่น คลองระบายน้ำสายใหญ่ กำหนดชานคลองกว้าง 4.00 ม. ด้านที่จะใช้เป็นทางวิ่งของรถขุด ส่วนด้านที่ไม่ให้รถขุดวิ่ง กำหนดความกว้างอย่างน้อย 1.50 ม.

กรณีคลองระบายสายซอยและแยกซอย ซึ่งสามารถใช้แรงคนในการขุดลอกบำรุงรักษาได้ กำหนดให้ Berm กว้างอย่างน้อย 1.50 ม. ทั้งสองด้าน

5. เขตคลอง (Right of Way)

เพื่อการบำรุงรักษาและซ่อมแซมคลองระบายน้ำ จึงกำหนดให้เขตคลองห่างจากตีนลาดของคันคลองระบายน้ำด้านนอกออกไปอย่างน้อย 2.00 ม. แต่จะยกเว้นในกรณีชนิดคลองระบายขนาดเล็ก หรือมีแนวคลองอยู่ตามแนวเขตของการแบ่งแฉก

6. ระดับน้ำในคลองระบายน้ำ

ระดับน้ำในคลอง F.D.L. (Full Drain Level) กำหนดให้ต่ำกว่าระดับ N.G.L. ประมาณ 0.30 ม. และระดับน้ำที่ปลายคลองระบายน้ำสายใหญ่ ให้ระดับสูงกว่าระดับน้ำสูงสุดในคลองธรรมชาติ หรืออย่างน้อยเสมอระดับน้ำสูงสุดในคลองธรรมชาตินั้น ๆ ในกรณีน้ำในคลองธรรมชาติอยู่ระดับปกติ ระดับน้ำปลายคลองระบายสายซอยและแยกซอย กำหนดให้สูงกว่าระดับน้ำในคลองระบายน้ำสายใหญ่ หรืออย่างน้อยเสมอระดับน้ำในคลองสายใหญ่นั้น ๆ เพื่อให้การระบายน้ำเกิดประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

7. ความเร็วของน้ำในคลองระบายน้ำ

กำหนดให้ความเร็วในคลองระบายน้ำ ไม่เกินความเร็วสูงสุดที่ทำให้เกิดการกัดเซาะ ซึ่งประมาณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$V = C.D^{m}$$

เมื่อ V = ความเร็วสูงสุดที่ทำให้เกิดการกัดเซาะ (ม./วินาที)

C = สัมประสิทธิ์การกัดเซาะขึ้นกับชนิดดิน ≈ 0.547

สำหรับดินเหนียวปนทราย

D = ความลึกของน้ำในคลอง (ม.)

$$m = \frac{2}{3}$$

นอกจากหลักเกณฑ์ต่าง ๆ แล้ว ยังได้พิจารณาถึงความสัมพันธ์ของความโค้งที่ศูนย์กลางต่อความกว้างผิวน้ำที่ระดับน้ำสูงสุดจะต้องไม่น้อยกว่า 5 เท่า ตลอดจนกรณีที่จำเป็นต้องลดระดับก้นคลองระบายน้ำ จะกำหนดให้ลดช่วงละไม่เกิน 0.20 ม. เป็นต้น

บรรณานุกรม

1. Irrigation Principles and Practices : Israelsen
2. Irrigation Engineering Vol.I , II : Houk
3. Design textbooks in civil Eng. Vol.I , II , III : Letiasky
4. Irrigation Practices and Eng. Vol.I-IV : Etcheverry
5. ความต้องการน้ำของพืช และค่าชลภาระในการออกแบบระบบส่งน้ำ
   โดย ดิเรก ทองอร่าม
6. การวางแผนและออกแบบระบบการส่งน้ำชลประทาน ชลกรณีบับพิเศษ 72 ปี
   อ.อรุณ อินทรปาลิต
   โดย อ.อรุณ อินทรปาลิต