



ร่างรายงานวิจัยฉบับแก้ไข

โครงการ กลุ่มโครงการวิจัยขนาดเล็การประยุกต์ใช้น้ำยางพารา
ในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง-ม.ส.(1)

ชื่อโครงการ การศึกษาการสูญเสียน้ำเนื่องจากการรั่วซึมในแบบ
จำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา

โดย นายพีรวัฒน์ ปลาเงิน

กันยายน 2549

สัญญาเลขที่ RDG4850062

ร่างรายงานวิจัยฉบับแก้ไข

โครงการ กลุ่มโครงการวิจัยขนาดเด็กการประยุกต์ใช้น้ำยางพารา
ในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง-ม.ส.(1)

คณะผู้วิจัย

- | | |
|-----------------|-----------|
| 1. นายพีรวัฒน์ | ปลาเงิน |
| 2. นายสราวุธ | บัวคำ |
| 3. นายกฤษณรักษ์ | ทองประกอบ |

ชื่อโครงการ การศึกษาการสูญเสียน้ำเนื่องจากการรั่วซึมในแบบ
จำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

บทสรุปย่อสำหรับผู้บริหาร

สัญญาเลขที่ RDG4850062 ชื่อโครงการ การศึกษาการสูญเสียน้ำเนื่องจากการรั่วซึมในแบบจำลองคลองชลประทานมีส่วนผสมที่น้ำยางธรรมชาติ

หัวหน้าโครงการ นายพีรวัฒน์ ปลายิน สถาบัน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม มหาวิทยาลัยสยาม กรุงเทพฯ

โทรศัพท์ โทร. 02-4570068 ต่อ 128 E-mail pheerawat.p@siamu.ac.th

ปัญหาที่ทำการวิจัยและความสำคัญของปัญหา

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศและชีวิตความเป็นอยู่ของเกษตรกร หรือร้อยละ 10 ของประชากรทั้งประเทศ และทำรายได้เข้าประเทศปีละกว่าแสนล้านบาท บางปีก็เกิดปัญหาราคายางตกต่ำ จึงจำเป็นต้องพัฒนาการวิจัยเพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่ เพื่อนำไปสู่การพัฒนาตลอดจนการสร้างนวัตกรรมที่เกี่ยวกับอุตสาหกรรมยางพารา จึงเป็นเหตุผลให้เกิงานวิจัยหลายงานเพื่อแปรรูปยางธรรมชาติให้เป็นผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติเพื่อเพิ่มมูลค่าของยางพารา

ประเทศไทยจัดเป็นประเทศเกษตรกรรม ทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่อย่างอุดมสมบูรณ์ในอดีตถูกนำไปใช้อย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันทรัพยากรธรรมชาติมีปริมาณลดลงเนื่องจากจำนวนประชากรเพิ่มขึ้น น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญประการหนึ่งที่มนุษย์จำเป็นต้องใช้ในการดำเนินชีวิต เป็นต้นว่า ใช้ในการเกษตร อุปโภคบริโภค การอุตสาหกรรมและอื่นๆ และที่สำคัญประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ซึ่งจะเห็นได้ว่าระบบการชลประทานนั้นมีความสำคัญอย่างมาก ดังนั้นจึงได้พยายามหาวิธีในการดำเนินการเกี่ยวกับการจัดการน้ำชลประทานที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด จะเห็นได้ว่าปัญหาที่สำคัญสำหรับระบบคลองชลประทานนั้น คือ การสูญเสียเนื่องจากการซึมผ่านของน้ำจากคลองชลประทาน

สำหรับคลองชลประทานต่างๆ ไปนั้นเป็นคลองคอนกรีตซึ่งจะมีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการรั่วซึม ทำให้น้ำที่ส่งเข้าพื้นที่เกษตรกรรมบางส่วนสูญเสียไปเนื่องจากการรั่วซึม

จากคุณสมบัติของยางพาราที่สามารถป้องกันการซึมน้ำได้ดี ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดว่าหากนำน้ำยางผสมกับคอนกรีต โดยจำลองเป็นแบบคลองชลประทานจะช่วยลดการสูญเสียน้ำเนื่องจากการรั่วซึมของคลองชลประทานได้ดี

วัตถุประสงค์โครงการ

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติการรั่วซึมน้ำของแบบจำลองคลองชลประทาน ที่มีส่วนผสมที่น้ำยางพารา
2. เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของปริมาณน้ำยางพาราที่ใช้เป็นส่วนผสมในแบบจำลองคลองชลประทานที่ทำให้เกิดการรั่วซึมน้อยที่สุด
3. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการรั่วซึมของน้ำกับปริมาณน้ำยางพาราที่ใช้เป็นส่วนผสมใน แบบจำลองคลองชลประทาน

ผลที่ได้รับ	บรรลุลักษณะประสงค์ ข้อที่	โดยทำให้
1.พัฒนาสูตรน้ำยางพาราเพื่อนำไปใช้เป็นส่วนผสม ของคอนกรีตสำหรับหล่อแบบจำลองคลองส่งชล ประทานเพื่อใช้ศึกษาลักษณะการรั่วซึมของน้ำ	1	ได้สูตรของส่วนผสมคอนกรีตและน้ำ ยางพาราที่ใช้ผสม โดยใช้อัตราส่วน ของน้ำยางที่ 7.5% 10% 12.5% และ 15%
2.ทราบการสูญเสียเนื่องจากการรั่วซึมของแบบจำลอง คลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา	2	เลือกวิธีระบบบ่อเก็บกักน้ำ โดยใช้วิธี ของ Horton คำนวณหาการรั่วซึม โดย การคำนึงถึงความลาดชันของแบบ จำลอง เพื่อทำการคำนวณความยาวของ บ่อเก็บกักน้ำ
3.ทราบ ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการรั่วซึมของน้ำ กับปริมาณน้ำยางพาราที่ใช้เป็นส่วนผสมใน แบบ จำลองคลองชลประทาน	3	ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการ รั่วซึมมีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อวัน (mm/day)กับปริมาณน้ำยางที่ใช้ผสม คอนกรีต

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ -

การประชาสัมพันธ์

-เผยแพร่ผลงาน โดยเตรียมเป็น manuscript เพื่อตีพิมพ์ในวารสารเชิงวิชาการระดับชาติ

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสูญเสียน้ำเนื่องจากการรั่วซึมในแบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการวัดอัตราการรั่วซึมของแบบจำลองคลองชลประทาน ซึ่งประกอบไปด้วยแบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยางธรรมชาติ 7.5% , 10% , 12.5% , 15% และไม่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา จากผลการวัดอัตราการรั่วซึมและคำนวณค่าคงที่ของการซึม (k) จะได้สมการปริมาณการซึมทั้งหมด (F) ดังต่อไปนี้

1. แบบจำลองคลองชลประทานที่ไม่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา
$$F = 0.0049T + \frac{0.5451}{1.29} - \frac{0.5451}{1.29} e^{-1.29t}$$
2. แบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา 7.5%
$$F = 0.0019T + \frac{0.4381}{1.47} - \frac{0.4381}{1.47} e^{-1.47t}$$
3. แบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา 10%
$$F = 0.0021T + \frac{0.3979}{1.60} - \frac{0.3979}{1.60} e^{-1.60t}$$
4. แบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา 12.5%
$$F = 0.0022T + \frac{0.3678}{1.60} - \frac{0.3678}{1.60} e^{-1.60t}$$
5. แบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา 15%
$$F = 0.0057T + \frac{0.9143}{1.26} - \frac{0.9143}{1.26} e^{-1.26t}$$

จากสมการปริมาณการซึม (F) จะได้ค่าอัตราการรั่วซึมของแบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยางธรรมชาติ 7.5% , 10% , 12.5% , 15% และไม่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา มีค่าอัตราการรั่วซึมดังนี้ 5.40 มม./วัน , 3.43 มม./วัน , 2.99 มม./วัน , 2.83 มม./วัน และ 8.20 มม./วัน จากทดลองพบว่าแบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา 7.5% , 10% และ 12.5% สามารถลดอัตราการรั่วซึมของน้ำได้

คำสำคัญ: การซึม , คลองชลประทาน , น้ำยางพารา

Abstract

The objective of this research were to the study seepage water losses in irrigation canal model mixed with latex. In the study measure infiltration rate of irrigation canal model is measured latex mixing rate 7.5% , 10% , 12.5% , 15% and 0% . The result show infiltration rate (F) and recession constant (k) in equation form as follows.

- | | |
|--|--|
| 1. irrigation canal model mixed with latex 0% | $F = 0.0049T + \frac{0.5451}{1.29} - \frac{0.5451}{1.29} e^{-1.29t}$ |
| 2. irrigation canal model mixed with latex 7.5% | $F = 0.0019T + \frac{0.4381}{1.47} - \frac{0.4381}{1.47} e^{-1.47t}$ |
| 3. irrigation canal model mixed with latex 10% | $F = 0.0019T + \frac{0.4381}{1.47} - \frac{0.4381}{1.47} e^{-1.47t}$ |
| 4. irrigation canal model mixed with latex 12.5% | $F = 0.0022T + \frac{0.3678}{1.60} - \frac{0.3678}{1.60} e^{-1.60t}$ |
| 5. irrigation canal model mixed with latex 15% | $F = 0.0057T + \frac{0.9143}{1.26} - \frac{0.9143}{1.26} e^{-1.26t}$ |

. From the equation , the infiltration rate of irrigation canal model with latex mixing rate 7.5% , 10% , 12.5% , 15% and 0%. As follows infiltration rate 5.40 mm./day , 3.43 mm./day , 2.99 mm./day, 2.83 mm./day and 8.20 mm./day . It concluded that irrigation canal model mixed with latex 7.5% , 10% and 12.5% could reduce infiltration rate.

Keywords: infiltration, irrigation canal , latex

สารบัญ

		หน้า
บทที่ 1	บทนำ	
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	5-1
	1.2 วัตถุประสงค์	5-1
	1.3 ขอบเขตของการศึกษา	5-2
	1.4 แนวทางการแก้ไขปัญหา	5-2
	1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	5-2
บทที่ 2	แนวคิด หลักการ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
	2.1 ประวัติยางพารา	5-3
	2.2 คุณสมบัติของยาง	5-3
	2.3 น้ำยางข้น	5-3
	2.4 คุณสมบัติของ Latex, Latex Modified Mortar และ Latex Modified Concrete	5-4
	2.5 เทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์จากยางพารา	5-7
	2.6 การใช้สารเคมีสำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ยาง	5-7
	2.7 อัตราการสูญเสียน้ำขณะส่ง	5-8
	2.8 การสูญเสียน้ำเนื่องจากการซึมผ่าน	5-8
	2.9 ปริมาณน้ำที่สูญเสียในคลองส่งน้ำ	5-9
	2.10 การวัดการสูญเสียน้ำโดยวิธีระบบบ่อเก็บกักน้ำ (Ponding Method)	5-9
	2.11 สมการสำหรับหาอัตราการซึมและปริมาณการซึม	5-10
บทที่ 3	อุปกรณ์และวิธีการศึกษา	
	3.1 อุปกรณ์	5-14
	3.2 การเตรียมตัวอย่าง	5-15
	3.3 การผสมตัวอย่างการทดลองด้วยเครื่องผสม	5-16
	3.4 วิธีการและขั้นตอนการทดสอบ	5-18
บทที่ 4	วิเคราะห์ผลการทดลอง	
	4.1 ผลการทดลอง	5-20
บทที่ 5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
	5.1 สรุปผล	5-39
	5.2 ข้อเสนอแนะ	5-42
	เอกสารอ้างอิง	5-43

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศและชีวิตความเป็นอยู่ของเกษตรกร หรือร้อยละ 10 ของประชากรทั้งประเทศ และทำรายได้เข้าประเทศปีละกว่าแสนล้านบาท บางปีก็เกิดปัญหาราคายางตกต่ำ จึงจำเป็นต้องพัฒนาการวิจัยเพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่ เพื่อนำไปสู่การพัฒนาตลอดจนการสร้างนวัตกรรมที่เกี่ยวกับอุตสาหกรรมยางพารา จึงเป็นเหตุผลให้เกิดงานวิจัยหลายงานเพื่อปรับปรุงยางธรรมชาติให้เป็นผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติเพื่อเพิ่มมูลค่าของยางพารา

ประเทศไทยจัดเป็นประเทศเกษตรกรรม ทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่อย่างอุดมสมบูรณ์ในอดีตถูกนำไปใช้อย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันทรัพยากรธรรมชาติมีปริมาณลดลงเนื่องจากจำนวนประชากรเพิ่มขึ้น น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญประการหนึ่งที่มนุษย์จำเป็นต้องใช้ในการดำเนินชีวิต เป็นต้นว่า ใช้ในการเกษตร อุปโภคบริโภค การอุตสาหกรรมและอื่นๆ และที่สำคัญประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ซึ่งจะเห็นได้ว่าการชลประทานนั้นมีความสำคัญอย่างมาก ดังนั้นจึงได้พยายามหาวิธีในการดำเนินการเกี่ยวกับการจัดการน้ำชลประทานที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด จะเห็นได้ว่าปัญหาที่สำคัญสำหรับระบบคลองชลประทานนั้น คือ การสูญเสียเนื่องจากการซึมผ่านของน้ำจากคลองชลประทาน

สำหรับคลองชลประทานต่างๆ ไปนั้นเป็นคลองคอนกรีตซึ่งจะมีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการรั่วซึม ทำให้น้ำที่ส่งเข้าพื้นที่เกษตรกรรมบางส่วนสูญเสียไปเนื่องจากการรั่วซึม

จากคุณสมบัติของยางพาราที่สามารถป้องกันการซึมน้ำได้ดี ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดว่าหากนำน้ำยางผสมกับคอนกรีต โดยจำลองเป็นแบบคลองชลประทานจะช่วยลดการสูญเสียน้ำเนื่องจากการรั่วซึมของคลองชลประทานได้ดี

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติการรั่วซึมน้ำของแบบจำลองคลองชลประทาน ที่มีส่วนผสมที่น้ำยางพารา
2. เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของปริมาณน้ำยางพาราที่ใช้เป็นส่วนผสมในแบบจำลองคลองชลประทานที่ทำให้เกิดการรั่วซึมน้อยที่สุด
3. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการรั่วซึมของน้ำกับปริมาณน้ำยางพาราที่ใช้เป็นส่วนผสมในแบบจำลองคลองชลประทาน

1.3 แนวทางการแก้ปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ระบบการชลประทานเป็นหัวใจของการเพาะปลูกเพื่อเพิ่มผลผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการอาหารของโลก หลายประเทศได้ลงทุนเป็นเงินมหาศาลนับแสนล้านบาทเพื่อพัฒนาระบบชลประทานของประเทศ

ปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่งของระบบชลประทานคือ การสูญเสียน้ำเนื่องจากการรั่วซึมในคลองส่งน้ำ คลองส่งน้ำส่วนใหญ่จะเป็นคลองคอนกรีต ในขณะที่ส่งน้ำเข้าพื้นที่เพาะปลูก น้ำส่วนหนึ่งจะสูญเสียเนื่องจากการรั่วซึม จากคุณสมบัติของยางพาราสามารถป้องกันการซึมน้ำได้ดีจึงได้นำมาผสมกับคอนกรีตทำแบบจำลองคลองชลประทานเพื่อศึกษาลักษณะ

การรั่วซึมและยังเป็นการนำประโยชน์จากผลผลิตของน้ำยางพารามาใช้ในการชลประทานของประเทศซึ่งจะเป็นประโยชน์แก่เกษตรกรและประเทศชาติเป็นอย่างมาก

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 พัฒนาสูตรน้ำยางพาราเพื่อนำไปใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตสำหรับหล่อแบบจำลองคลองส่งชลประทานเพื่อใช้ศึกษาลักษณะการรั่วซึมของน้ำ
- 1.4.2 สามารถนำไปต่อยอดการวิจัยเกี่ยวกับระบบคลองชลประทาน เช่น การคาดการณ์ที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา ซึ่งจะลดการสูญเสียน้ำเนื่องจากการรั่วซึมและสามารถใช้น้ำที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุดซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรและประเทศชาติ

บทที่ 2

แนวคิด หลักการ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประวัติยางพารา [1]

ยางพาราเป็นยางที่ได้มาจากต้นไม้นชนิดหนึ่งเรียกว่า ต้นยางพารา (เรียกตามภาษาพฤกษศาสตร์ว่า *Hevea brasiliensis*) สามีญชนทั่วไปเรียกว่า ยางพารา หรือต้นยางพารา (para rubber) ทั้งนี้เพราะว่าเมื่อประมาณ 100 ปี มาแล้ว ยางชนิดที่กล่าวนี้ซื้อขายกันที่เมืองพารา ประเทศบราซิล ทวีปอเมริกาใต้เพียงแห่งเดียวเท่านั้นเพื่อสะดวกแก่การซื้อขายกัน จึงเรียกกยางชนิดนี้ว่า "ยางพารา" ในระยะนั้นมียางที่ได้จากต้นไม้อยู่หลายชนิด เช่น ยางแคสตีลลาในอเมริกันกลาง ยางพันธุ์เมียจากแอฟริกา และยางอินเดียรับเบอร์ในเอเชียตอนใต้ ถิ่นเดิมของต้นยางพาราอยู่ในทวีปอเมริกาใต้ ส่วนใหญ่อยู่ในประเทศบราซิล ต้นยางพาราเป็นไม้ป่าขึ้นกระจัดกระจายอยู่ห่าง ๆ กัน ทั้งในที่ดอนและที่ลุ่มของแม่น้ำอะเมซอน จนถึงประเทศเปรูชาวพื้นเมืองคือ ชาวอินเดียนแดงในอเมริกาใต้และอเมริกากลางรู้จักยางมานานแล้ว และได้นำมาใช้ทำประโยชน์มาหลายร้อยปี ก่อนที่ชาวยุโรปจะไปพบโลกใหม่หรือทวีปอเมริกา ซึ่งเป็นถิ่นเดิมของต้นยางพารา ชาวอินเดียนแดงได้ใช้ยางทำลูกบอลทำผ้ากันฝนและทำถุงเก็บน้ำปากแคบ เป็นต้น

ประเทศไทยได้นำเข้ามาโดย พระยารัษฎานุประดิษฐ์ มหิศรภักดี (คอซิมบี๊ ณ ระนอง) ได้นำมาปลูกเมื่อปี พ.ศ.2442 – 2444 ที่อำเภอกันตัง จังหวัดตรัง และขยายในภาคใต้และภาคตะวันออก

2.2 คุณสมบัติของยาง [1]

ยางพารามีคุณสมบัติพิเศษกว่าวัสดุธรรมชาติอื่น ๆ คือ ยางพาราจะทำให้อ่อน นุ่ม ยืดหยุ่นหรือแข็งถึงขนาดใช้แทนโลหะบางชนิดได้ เก็บน้ำได้ อัดลมไว้ได้ไม่รั่ว และยังเป็นฉนวนไฟฟ้าอีกด้วย เนื่องจากยางพาราใช้ทำประโยชน์ได้มากมายหลายอย่างความต้องการ โดยเชื่อมกันแบบทำมูมและม้วนคดไปงอมา และปลายสุดของแต่ละโมเลกุลจะอยู่ใกล้ชิดซึ่งกันและกัน เมื่อมีแรงกระทำต่ออย่างจะทำให้ยางเปลี่ยนรูปร่าง แต่เมื่อหยุดใช้แรงยางจะกลับสู่สภาพรูปเดิมจึงเป็นประโยชน์อย่างมากในทางอุตสาหกรรม

2.3 น้ำยางข้น [2]

น้ำยางสดจากต้นยางโดยปกติมีปริมาณเนื้อยางแห้งเพียงประมาณ 25-45% หรือเฉลี่ยเพียง 35% มีส่วนของพวกสารที่ไม่ใช่ยางประมาณ 5% นอกนั้นเป็นน้ำเสียส่วนใหญ่ ซึ่งไม่เป็นการประหยัดเลยหากจะต้องทำการขนย้ายน้ำยางสดจากสวนไปสู่โรงงานที่อยู่ไกล ๆ วิธีการที่ปฏิบัติกันในกรณีต้องการ ใช้ยางในสถานะของน้ำยางไปผลิตเป็นวัตถุดิบสำเร็จรูปคือ ทำให้น้ำยางมีความเข้มข้นเป็น 60% เนื้อยางแห้ง ซึ่งการขนย้ายน้ำยางในสถานะที่เข้มข้นย่อมประหยัดและได้เปรียบกว่า และกรรมวิธีการผลิตวัตถุดิบสำเร็จรูปยางประเภทที่ต้องใช้น้ำยางเป็นวัตถุดิบ เป็นต้นว่า กรรมวิธีจุ่มแบบพิมพ์ (dipping process) เช่นการผลิตลูกโป่ง ผลิตภัณฑ์มียาง กรรมวิธีผลิตยางฟองน้ำ (latex foam process) กรรมวิธีผลิตผ้าใบฉาบด้วยยาง (coating) กรรมวิธีเหล่านี้ต้องใช้น้ำยางที่มีเนื้อยางอย่างน้อยต้องไม่ต่ำกว่า 60% และอีกประการหนึ่ง น้ำยางข้นจะให้ผลผลิตที่มีคุณภาพสม่ำเสมอดีกว่าน้ำยางสด ทั้งนี้เนื่องด้วยสารพวกที่ไม่ใช่ยางบางส่วน ได้ถูกแยกออกจากน้ำยาง

ขณะกรรมวิธีการทำให้น้ำยางเข้มข้น การกล่าวถึงน้ำยางธรรมชาติ
วัตถุดิบสำเร็จรูปมักจะหมายถึงน้ำยางในสถานะที่ทำให้ข้นแล้ว

ในความหมายของโรงงานอุตสาหกรรมผลิต

2.4 คุณสมบัติของ Latex, Latex Modified Mortar และ Latex Modified Concrete

2.4.1 ประวัติความเป็นมาของการใช้ Latex

ในปี ค.ศ. 1923 Cresson [3] เป็นบุคคลแรกในประเทศอังกฤษที่จะทะเบียนลิขสิทธิ์ (Patent) ในการนำ
น้ำยางธรรมชาติ (Natural Rubber Latex) จากต้นยางมาใช้เป็นส่วนผสมของ Mortar สด และ Concrete สด สำหรับใช้เป็น Paving
Material ต่อมาในปี ค.ศ. 1932 Bond [4] ได้ขอจดทะเบียนลิขสิทธิ์ในการนำน้ำยางที่ได้จากการสังเคราะห์ขึ้น (Synthetic
Rubber Latex) เพื่อใช้เป็นส่วนผสมของ Mortar และ Concrete ช่วงระหว่าง ค.ศ. 1940 ถึง 1950 ในประเทศสหรัฐอเมริกา
เริ่มมีผู้ขอจดทะเบียนลิขสิทธิ์ในการนำน้ำยางสังเคราะห์ เช่น Polychloroprene Rubber Latex (Neoprene) และ Polyacrylic-
Ester Latex มาใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีต Geist, et al [5] เป็นบุคคลแรกที่เริ่มศึกษาอย่างจริงจังถึง ผลของการใช้
Polyvinyl Acetate-Latex ในส่วนผสมของ Mortar และช่วยวางรากฐานที่สำคัญสำหรับ งานค้นคว้าวิจัยต่อ ๆ มาเกี่ยวกับการ
การใช้ Latex ในส่วนผสมของ Concrete และ Mortar ในปี ค.ศ. 1956 Dow Chemical Company [6] เริ่มทำการทดลองเกี่ยว
กับการใช้ Styrene-Butadiene Rubber Latex (SBR) และยังร่วมมือกับ Michigan Highway Department ในการนำ Concrete
ที่มีส่วนผสมของ SBR ไปทดสอบการใช้จริงในภาคสนาม (Field Trial) ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1960 เป็นต้นมา มีการนำ Styrene-
Butadiene Rubber Latex และ Polyacrylic-Ester Latex มาใช้ในส่วนผสมของ Concrete และ Mortar เป็นจำนวนมาก งาน
ค้นคว้าวิจัยและพัฒนา Latex มีอยู่ทั้งในประเทศสหรัฐอเมริกา รัสเซีย อังกฤษ และญี่ปุ่น โดยเฉพาะอุตสาหกรรมการ
ก่อสร้างในประเทศญี่ปุ่น มีการใช้ Latex ในส่วนผสมของ Mortar เป็นจำนวนมากจึงทำให้ Japanese Industrial Standard
(JIS) ออกมาตรฐานเกี่ยวกับการทดสอบและควบคุมคุณภาพของ Latex ที่จะนำมาใช้งานก่อสร้าง

2.4.2 Polymer Portland Cement Concrete (PPCC) หรือ Polymer Modified Concrete (PMC)

PPCC หรือ PMC [7] เกิดจากการผสมคอนกรีตสดกับ Polymer ที่อยู่รูปของเหลว หรือ
Monomer ที่สามารถเกิดปฏิกิริยา Polymerization ที่หน่วยงานก่อสร้างได้ โดยทั่วไปแล้ว Polymer ที่ใช้กับ PPCC หรือ PMC
มีอยู่หลายชนิด ซึ่งจะได้กล่าวถึงในภายหลัง แต่ในปัจจุบันนี้ Polymer ที่นิยมใช้กับ PPCC หรือ PMC มากคือ Polymer Latex ตัว
Polymer Latex ที่ใช้จะอยู่ในสภาพที่เป็น Emulsion คือมีอนุภาคของ Polymer แฉวยลอยอยู่ในน้ำหรือของเหลว
Polymer Latex เมื่อนำมาใช้เป็นส่วนผสมของ PPCC หรือ PMC มักจะทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กกระจายอยู่ภายใน
เนื้อคอนกรีต ซึ่งจะทำการกำจัดของคอนกรีตลดลง จึงมักจะมีการเติมพวก Antifoaming หรือ สารขจัดฟองอากาศลงใน
PPCC หรือ PMC เพื่อลดปริมาณฟองอากาศในเนื้อคอนกรีตให้เหลือน้อยที่สุด คุณสมบัติของ PPCC หรือ PMC จะดีมาก
เมื่อทำการบ่มขึ้นเป็นเวลอย่างน้อย 3-7 วัน แล้วทำการบ่มแห้งต่อไป การบ่มขึ้นในระยะ 3-7 วันแรกจะทำให้ปฏิกิริยา Hydration
ระหว่างน้ำกับซีเมนต์ยังคงดำเนินต่อไปได้ ส่วนสาเหตุที่ต้องมีการบ่มแห้งต่อไปเพื่อให้ น้ำที่เหลืออยู่ภายในเนื้อคอนกรีต
เกิดการระเหยออกไปโดยเร็ว เพื่อจะทำให้อนุภาคของ Polymer ที่อยู่ในส่วนผสมคอนกรีตมีโอกาสมาเกาะรวมตัวกัน (Coalesce)
ก่อตัวเป็นชั้น Film ที่ต่อเนื่องแทรกกระจาย ปนอยู่ในเนื้อคอนกรีต ซึ่งจะได้กล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

ข้อดีของ PPCC หรือ PMC เมื่อเทียบกับคอนกรีตธรรมดาทั่วไปคือ คอนกรีตประเภทนี้จะมีความทน
ทาน (Durable) สูงและมีการเกาะยึดกันดี การต้านทานแรงกระแทกดีขึ้นแต่มีข้อเสียคือ Creep จะมากกว่าปกติ สำหรับ
คอนกรีตที่มี Polymer Latex เป็นส่วนผสมมีชื่อเรียกเฉพาะว่า Latex Modified Concrete หรือ LMC ส่วน Mortar (ส่วนผสม

ของซีเมนต์ ทราย และน้ำ) ที่มี Polymer Latex เป็นส่วนผสมมีชื่อเรียกเฉพาะว่า Latex Modified Mortar หรือ LMM สำหรับ Polymer Latex ที่ใช้กัน อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ได้แก่ Thermoplastic และ Elastomeric Polymer (ในงานวิจัยครั้งนี้ ต่อไป จะเรียก Polymer Latex ว่า Latex)

คุณสมบัติของ LMC และ LMM คือ

1. ความสามารถในการรับแรงดึงและกำลังอัดสูงขึ้น
2. อัตราการซึมผ่านของน้ำ (Permeability) ลดน้อยลง
3. ความทนทานมากขึ้นสามารถต้านทานต่อการกัดกร่อนโดยสารเคมีได้ดี
4. ตัว LMC หรือ LMM มีคุณสมบัติเป็น Bonding Medium สามารถยึดเกาะติดกับคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว (Hardened Concrete) ได้ดี จึงเหมาะที่จะใช้ในงานซ่อมแซม เช่น ใช้ในงาน Thin Bond Patching โดยการเท LMC หรือ LMM ความหนาไม่เกิน 1-2 นิ้ว ลงบน Slab หรือ Pavement เพื่อซ่อมแซมหรือเพิ่มความสามารถในการรับ Load
5. Latex ที่ใช้เป็นส่วนผสมของ LMC หรือ LMM ไม่เป็นพิษ (Nontoxicity) ค่อมุขย ไม่ติดไฟ (Nonflammability) รวมทั้งขั้นตอนการผสมหรือเตรียม LMC และ LMM ก็ทำได้ง่าย
6. เนื่องจาก Latex ที่ใช้เป็นส่วนผสมของ LMC หรือ LMM อยู่ในสภาพที่เป็นของเหลวหรือ Emulsion จึงทำให้เป็นการง่ายต่อการเติมสารเคมีเพื่อปรับคุณสมบัติบางอย่างให้ดีขึ้น เช่น สาร Antifoaming หรือสารเร่งการก่อตัวของคอนกรีต
7. ราคาของ Latex ไม่สูงมากนัก

2.4.3 Mixed Proportion และคุณสมบัติของ LMM, LMC

ส่วนผสมหรือ Mixed Proportion ที่ใช้ใน LMM และ LMC ก็เป็นเช่นเดียวกับ Mortar และ Concrete ธรรมดาทั่วไป Latex ที่ผลิตขึ้นมาใช้งานส่วนใหญ่จะเป็นของเหลวอยู่ในรูป Emulsion มีอนุภาคของ Polymer แว่นลอยอยู่ใน Latex เหลว ปริมาณ Latex ที่จุดเหมาะสม (Optimum) ในส่วนผสมของ LMM หรือ LMC ควรมีค่าอัตราส่วนน้ำหนักเนื้อของแข็ง (Solid) ทั้งหมดใน Latex ต่อน้ำหนักของ Cement หรือ Polymer Cement Ratio (P/C) ใน Mixed Proportion อยู่ระหว่าง 0.1-0.2 [8, 10] จะเห็นได้ว่า จะต้องใช้ Latex ใน Mixed Proportion เป็นปริมาณสูงเมื่อเปรียบเทียบกับสารเคมีผสมคอนกรีต (Chemical Admixture) อื่น ๆ เช่น สารลดน้ำ (Water Reducing Agent) หรือ Super plasticizer การใช้ปริมาณ Latex ที่มากเกินไปจะส่งผลให้ต้นทุนของ LMC หรือ LMM สูงเกินไปและยังทำให้มีฟองอากาศขนาดเล็ก หรือ Entrained Air กักกระจายอยู่ในเนื้อคอนกรีตมากเกินไป ทำให้กำลังอัดลดต่ำลงได้ นอกจากจะใช้ Latex กับปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทหนึ่งได้แล้ว ยังสามารถใช้ Latex เป็นส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทสาม (High Strength Portland Cement) เช่น ในงาน Thin Bond Patching หรือซ่อมแซมถนนที่จะต้องรีบเปิดใช้งานโดยเร็ว คุณสมบัติของหินและทรายเหมาะที่จะนำมาใช้กับ Latex เหมือนกับหินและทรายทั่วไปที่ใช้งานคอนกรีตธรรมดาเนื่องจาก Surfactant ที่เติมลงไปในช่วงขั้นตอนการผลิต Latex จะทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กกักกระจายอยู่ใน LMM หรือ LMC ดังนั้นจึงไม่ควรใช้สารกักกระจายฟองอากาศ หรือ Air Entraining Admixture ร่วมกับ Latex

ปริมาณและคุณภาพของซีเมนต์ หิน ทราย รวมทั้งอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) นอกจากจะเป็นองค์ประกอบ (Factor) ที่กำหนดคุณสมบัติด้านกำลัง (Strength) ของ Mortar และ Concrete แล้วองค์ประกอบเหล่านี้ยังเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติด้านกำลังของ LMM และ LMC เช่นเดียวกัน เนื่องจาก Latex เหลวมีน้ำเป็นส่วนประกอบอยู่ในปริมาณที่มาก ดังนั้นในการผสมหรือทำ Mixed Proportion จะต้องคำนึงถึงปริมาณน้ำในส่วนนี้ด้วย เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง LMM หรือ LMC หรือ Mortar หรือ Concrete ธรรมดาที่มีส่วนผสมของน้ำและ W/C เท่ากัน LMM และ LMC จะมีความสามารถในการ

การเท (Workability) ดีกว่า [10] เพราะ Latex ทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กกักกระจายอยู่ในส่วนผสม ฟองอากาศเหล่านี้ทำหน้าที่เสมือนมวลรวมละเอียดขนาดเล็กยึดหยุ่นได้จึงช่วยลดแรงเสียดทานระหว่างของแข็งภายในเนื้อ LMM และ LMC เหลว นอกจากนี้การที่อนุภาคของ Polymer ใน Latex มีรูปร่างเป็นทรงกลม (Sphere) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 0.05-0.2 Micron กระจายอยู่ในส่วนผสมทำให้เกิดผลที่เรียกว่า Ball Bearing Action ช่วยลดแรงเสียดทานระหว่างของแข็งในส่วนผสมด้วย องค์ประกอบที่สำคัญอีก 2 ประการ [10] ที่เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติด้านกำลังของ LMM และ LMC คือ

1. อัตราส่วนเนื้อของแข็ง (Solid) ทั้งหมดใน Latex ต่อซีเมนต์ โดยน้ำหนักหรือ Polymer Cement Ratio (P/C) ใน Mixed Proportion

โดยทั่วไป LMM หรือ LMC ที่มี P/C สูงจะทำให้กำลังเช่น Tensile Strength, Flexural Strength เป็นต้น สูงกว่า LMM หรือ LMC ที่ค่า P/C ต่ำ แต่ปริมาณ Latex ใน Mixed Proportion ถูกจำกัดด้วยเหตุผลที่เคยกล่าวมาแล้วในข้างต้น นอกจากนี้ LMM หรือ LMC ที่มีค่า P/C ยิ่งสูงจะทำให้เวลาก่อตัวหรือ Set เวลานานกว่า Mortar หรือ Concrete ธรรมดา

2. วิธีการบ่ม (Curing Method)

Latex ในส่วนผสมของ LMM หรือ LMC ต้องการบ่มแห้งหรือบ่มในอากาศเพื่อจะให้น้ำที่อยู่ภายในเนื้อ Concrete หรือ Mortar เกิดการระเหยออกไปโดยเร็ว จึงจะทำให้อนุภาค Polymer ใน Latex มีโอกาสมาเกาะรวมตัวกัน (Coalesce) ก่อตัวเป็นชั้นฟิล์ม (Film) ที่ต่อเนื่องแทรกกระจายปนอยู่ในเนื้อ Mortar หรือ Concrete ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อกลไกการทำงานของ Latex ใน LMC และ LMM ส่วน Cement ใน LMM หรือ LMC ต้องการการบ่มชื้นเพื่อให้ปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ (Hydration) ดำเนินไปอย่างสมบูรณ์ ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปเพื่อให้ได้ LMM และ LMC มีคุณภาพดีจึงต้องใช้วิธีบ่มผสมกัน โดยทำการบ่มชื้นประมาณ 3-7 วันแรก หลังจากนั้นจึงบ่มแห้งต่อไป

ACI Committee 548 A ได้ให้ปริมาณส่วนผสม Mixed Proportion ที่ควรใช้สำหรับ LMM ที่ใช้ Styrene-Butadiene Rubber Latex (SBR) ไว้ดังนี้

ซีเมนต์	100 lb. (45.4 k.g.)
ทราย	290 lb. (131.5 k.g.)
Latex	3.7 Gal. (14.1 Litres) โดยใช้ Latex ที่มี Solid Content เท่ากับ 48%
น้ำ	2.6 Gal. (10.0 Litres)

สำหรับ LMM ที่ใช้ Latex ชนิดอื่น ปริมาณส่วนผสมใน Mixed Proportion ควรมีค่าดังนี้

ซีเมนต์ต่อทรายโดยน้ำหนักอยู่ระหว่าง 0.2-0.5 ขึ้นอยู่กับงานที่นำไปใช้

W/C อยู่ระหว่าง 0.3-0.6 (โดยรวมปริมาณน้ำที่มีอยู่ใน Latex ด้วย)

P/C อยู่ระหว่าง 0.05-0.2

Ohama [10] ยังได้ให้ Mixed Proportion ของ LMM สำหรับงานชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.7

นอกจากนี้ ACI Committee 548 A ยังได้ให้ปริมาณส่วนผสม Mixed Proportion สำหรับ LMC ที่ใช้

SBR ไว้ดังนี้

ซีเมนต์	685 lb. (311 k.g.)
ทราย	1710 lb. (776 k.g.)
หิน	1140 lb. (517 k.g.)
Latex	24.5 Gal. (92.8 Litres) โดยใช้ Latex ที่มี Solid Content เท่ากับ 48%

น้ำ

19.0 Gal. (72.0 Litres)

จะสังเกตเห็นได้ว่า Mixed Proportion ข้างต้นมีมวลรวมละเอียดหรือทรายมากกว่ามวลรวมทรายหรือหินทั้งนี้ก็เพราะ LMC มักถูกใช้ในงานทำ Overlay ลงบนพื้น (Slab) หรือผิวทาง (Pavement) เพื่อซ่อมแซมหรือเพิ่มความสามารถในการรับ Load หรือน้ำหนักบรรทุก Mixed Proportion ที่มีปริมาณของทรายมากกว่าหิน จะช่วยป้องกันไม่ให้ LMC สดเกิดการแยกตัว (Segregation) และ เกิดการเอี่ยม (Bleeding) ขณะนำไป Overlay บนผิวทางที่มีความชันมาก (High Slope)

2.5 เทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์จากยางพารา

สำหรับน้ำยางพาราที่นำมาผสมคอนกรีต โดยการนำน้ำยางที่ปรับแต่งด้วยสารเคมีเป็นส่วนแบ่งของน้ำในการผสมคอนกรีตจะใช้อัตราส่วน 7.5% 10% 12.5% และ 15%

ตารางที่ 2.1 สูตรน้ำยางที่ใช้ผสมคอนกรีต

รายการสารเคมี	น้ำหนักเปียก
60% น้ำยางข้น (HA หรือ LA)	167
25% สารละลายช่วยความเสถียรให้น้ำยาง	4
20% สารละลายโปดัสเซียมไฮดรอกไซด์	2
50% ดิสเพนเซอร์ป้องกันยางเสื่อม Antioxidant 2246	3
50% ดิสเพนเซอร์ ZDEC	2
50% ดิสเพนเซอร์ ZMBT	3
50% ดิสเพนเซอร์ซิลเฟอร์	5
50% ดิสเพนเซอร์ซิงค์ออกไซด์	10
น้ำ (เพื่อปรับความเข้มข้นเป็น 50% - 55%)	33

2.6 การใช้สารเคมีสำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ยาง

สารเคมีสำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ยางว่าหมายถึง สารเคมีต่าง ๆ ที่ผสมลงไปในยางเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติตามต้องการ โดยผ่านปฏิกิริยาทางเคมี สารเคมีดังกล่าวจำแนกได้ 7 ประเภทดังนี้

1. สารทำให้ยางคงรูป (Vulcanizing agent) ได้แก่ กำมะถัน
2. สารเร่ง (Accelerator) ได้แก่ สารเร่งกาเกิดปฏิกิริยา
3. สารกระตุ้น (Activator) ได้แก่ กรดสเตียริก และซิงค์ออกไซด์
4. สารช่วยในการแปรรูป (plasticizer) ได้แก่ สารที่ทำให้ยางนุ่มทางเคมีหรือทางกายภาพ
5. สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ (Protective agent) ได้แก่ สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Antioxidant) และสารต้านปฏิกิริยาโอโซน (Antiozonant)
6. สารตัวเติม (Filter) ได้แก่ clay, whiting, silica, calcium, carbonate, เหมาดำ
7. สารอื่น ๆ (Miscellaneous ingredient) ได้แก่ สารทำให้เกิดสี สารทำให้เกิดฟอง สารหน่วง สารทำให้ยางเป็นเจล สารเพิ่มความเสถียร

ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางประเภทต่าง ๆ จะใช้สัดส่วนของสารเคมีโดยน้ำหนักต่อยาง 100 ส่วน (part per hundred of rubbers, phr) ต่างกัน โดยทั่วไปจะมีสัดส่วนอยู่ในช่วงที่แสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.2 สูตรพื้นฐานทั่วไปของผลิตผลิตภัณฑ์ยาง

สารเคมี	สัดส่วนโดยน้ำหนักต่อยาง 100 ส่วน (phr)
กำมะถัน	2.5 – 3.5
สารเร่ง	0.5 – 1.5
สารกระตุ้น	1.0 – 5.0
สารช่วยในการแปรรูป	1.0 – 2.0
สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ	5.0 – 10.0
สารตัวเติม	ตามต้องการ

2.7 อัตราการสูญเสียน้ำขณะส่ง [12]

อัตราการส่วนเสียน้ำขณะส่งน้ำ (Conveyance loss) ที่เกิดจากการรั่วซึมของน้ำในคลองส่งน้ำ สามารถทำการตรวจวัดได้หลายวิธีการ และหนึ่งในหลายวิธีการนั้น คือ วิธี Inflow – Outflow ซึ่งได้แก่ การตรวจวัดปริมาณน้ำที่จุดต้นทางกับที่จุดปลายทาง แสดงผลการตรวจวัดได้ดังนี้ คือ

$$\text{อัตราการรั่วซึม} = \frac{\text{อัตราการไหลที่จุดต้นทาง} - \text{อัตราการไหลที่จุดปลายทาง}}{\text{ระยะทางระหว่างจุดต้นทางกับปลายทาง}}$$

อัตราการรั่วซึมจะมีหน่วยเป็นอัตราความสูญเสียของการส่งน้ำต่อหน่วยระยะทางซึ่งกรณี ดังกล่าวนี้นี้ สามารถตรวจวัดเป็นอัตราความสูญเสียของการน้ำต่อระยะทาง 1000 เมตรได้ดังนี้ คือ

$$\text{อัตราการสูญเสียขณะส่งน้ำต่อระยะทาง 1000 เมตร} \\ \text{อัตราการรั่วซึม} = \frac{\text{อัตราการไหลที่จุดต้นทาง} - \text{อัตราการไหลที่จุดปลายทาง}}{\text{ระยะทางระหว่างจุดต้นทางกับปลายทาง}} \times 1000$$

2.8 การสูญเสียน้ำเนื่องจากการซึมผ่าน [13]

การคำนวณอัตราการสูญเสียเนื่องจากการซึมผ่านในหน่วยของลิตรต่อวินาทีต่อ 100 เมตรของความยาวทางน้ำซึ่ง เท่ากับความแตกต่างของอัตราการไหลในหน่วยลิตรต่อวินาทีระหว่างตำแหน่ง ในด้านเหนือหน้าและด้านท้ายน้ำหาร ด้วยความยาวในทุกระยะทางที่เพิ่มขึ้น 100 เมตร

$$Q_l = \frac{100(Q_u - Q_d)}{L}$$

2.9 ปริมาณน้ำที่สูญเสียในคลองส่งน้ำ [13]

ประสิทธิภาพการส่งน้ำของคลองซอยและคลองส่งน้ำสายใหญ่มีค่าเฉลี่ยเปลี่ยนแปลง ตามปริมาณนี้ สูญเสียไปจากคลองส่งน้ำขึ้นอยู่กับลักษณะคลองความจุและความยาวคลองโดยปริมาณการสูญเสียต่อความยาวคลองหนึ่งกิโลเมตรโดยประมาณ มีค่าสำหรับนำไปคำนวณหาประสิทธิภาพการส่งน้ำของคลองขนาดต่างๆ ได้ แสดงดังตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.3 ปริมาณน้ำที่สูญเสียในคลองส่งน้ำโดยประมาณ

ความจุของคลองส่งน้ำ ลบ.ม./วินาที	ลักษณะคลอง	ปริมาณน้ำที่สูญเสียต่อความยาวคลอง หนึ่งกิโลเมตร – ลบ.ม./วินาที
20 – 100	คาคอนกรีต	0.10 – 0.60
	คลองดิน	0.12 – 0.20
5 – 20	คาคอนกรีต	0.04 – 0.06
	คลองดิน	0.08 – 0.10
1 – 5	คาคอนกรีต	0.03 – 0.04
	คลองดิน	0.06 – 0.08

2.10 การวัดการสูญเสียน้ำโดยวิธีระบบบ่อเก็บกักน้ำ (Ponding Method) [12]

การทดสอบโดยวิธีระบบบ่อเก็บกักน้ำ (Ponding Method) จุดประสงค์เพื่อเรียนรู้ถึงประสิทธิภาพของวิธีการคาดหรือวัสดุที่นำมาคาด เพื่อหาอัตราการสูญเสียน้ำที่เกิดขึ้นในคลองส่งน้ำ

การก่อสร้างบ่อเก็บกักซึ่งคันน้ำถูกสร้างขึ้นมาได้อย่างไรก็ขึ้นอยู่กับขนาดของคลองและวัสดุที่มีอยู่ เชื่อกันน้ำอาจจะสร้างมาจากผ้าใบหรือพลาสติกที่วางบนพื้น โดยมีขอบไม้วางทับข้างบน และมีเศษวัสดุวางตามมุมขอบของหน้าตัดนั้น โดยทั่วไป เชื่อกันน้ำเหล่านี้จะถูกจำกัดในคลองขนาดเล็กที่มีความลึกของน้ำน้อยกว่า 1 เมตร ผ้าใบขนาดใหญ่ที่มีน้ำหนักมากที่สามารถกันน้ำได้โดยทั่วไปแล้วจะมีรอยรั่วซึมมาก หรืออาจจะนำวัสดุที่เป็นพลาสติกที่มีน้ำหนักมากมาใช้ได้เช่นกัน

การทดสอบบ่อเก็บกักน้ำสามารถทำได้โดยใช้อุปกรณ์ เช่น ไม้วัดระดับน้ำและเครื่องบันทึกระดับน้ำเพื่อหาระดับความสูงของผิวน้ำ การเติมน้ำลงในบ่อเก็บกักน้ำที่ใช้ทดลองอาจจะทำได้โดยการปล่อยน้ำลงตามแรงโน้มถ่วงของโลก หรือโดยการสูบน้ำซึ่งวิธีการที่ใช้จะขึ้นกับสถานที่ตั้งและขนาดของคลอง

การอ่านค่าระดับ การวัดอัตราการรั่วไหลของผิวน้ำจะเริ่มขึ้นหลังจากที่มีการเติมน้ำลงไป ในบ่อเก็บกักน้ำเรียบร้อยแล้วโดยการติดตั้งเครื่องมือวัดระดับน้ำ และเครื่องบันทึกระดับน้ำจะเริ่มทำงาน ข้อมูลที่ควรบันทึก เวลาในการอ่านแต่ละครั้งควรจะอยู่ในช่วงเวลา 5 นาที หมายความว่า การทำเช่นนี้ จะยอมให้ผู้สังเกตอ่านค่าระดับจากเครื่องมือที่อยู่บริเวณปลายสุดทั้งสองข้างของบ่อเก็บกักน้ำภายในช่วงเวลา 5 นาที สำหรับบ่อน้ำขนาดเล็กที่มีอัตราการซึมผ่านสูงจะเป็นการดีที่จะทำการบันทึกข้อมูลภายในช่วงเวลา 1 นาที

การคำนวณการสูญเสีย ข้อมูลการสูญเสียนี้เนื่องจากการซึมผ่านจะสามารถคำนวณได้ โดยคอมพิวเตอร์หรือด้วยมือก็ได้และขึ้นอยู่กับความกว้างของผิวน้ำ และเส้นรอบรูปเปียกที่ทราบของ บ่อเก็บกักน้ำเพื่อวัดระดับน้ำในคลองนั้น

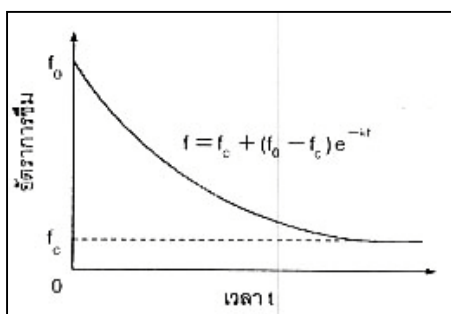
2.11 สมการสำหรับหาอัตราการซึมและปริมาณการซึม

สมการสำหรับหาอัตราการซึมและปริมาณการซึมได้มีอยู่หลายสมการ เช่น สมการของ Kostakov (พ.ศ. 2475) สมการของ Horton (พ.ศ. 2483) สมการของ J.R. Philip (พ.ศ. 2497) และสมการของ Huggins-Monke (พ.ศ. 2509) เป็นต้น ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงทุกสมการ แต่จะเน้นสมการที่นิยมใช้และรู้จักกันโดยทั่วไปคือ สมการของ Horton ดังนี้

2.11.1 สมการของ Horton (พ.ศ. 2483) มีความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการซึม (f) ที่เวลา t ใด ๆ กับอัตราการซึมที่เวลาเริ่มต้น (f_0) อัตราการซึมที่สถานะสมดุล (f_c) ค่าคงที่ของการซึม k และเวลา (t) ดังสมการ

$$\text{อัตราการซึม } f = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt} \quad \dots\dots\dots(1.1)$$

สมการที่ 1.1 สามารถเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการซึม (f) กับเวลา (t) ได้ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่เวลาเริ่มต้นมีอัตราการซึม $f = f_0$ ที่มีค่ามากที่สุด เพราะดินมีช่องว่างอยู่มาก ทำให้น้ำซึมลงดินได้เร็ว และเมื่อเวลาผ่านไป เมื่อดินเริ่มเปียกน้ำและช่องว่างลดลง ทำให้อัตราการซึม ลดลงตามเวลาจนกระทั่งถึงสถานะสมดุลจะมีอัตราการซึม f เท่ากับอัตราการซึมที่สถานะสมดุล f_c



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการซึมกับเวลาตามสมการของ Horton

สำหรับค่า f_0 , f_c และ k ของดินร่วม ดินเหนียวปนทราย และดินเพาะปลูกทั่วไป มีค่าโดยประมาณดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ค่า f_o , f_c และ k ของดินร่วน ดินเหนียวปนทราย และดินเพาะปลูกทั่วไป

ชนิดและลักษณะดิน	f_o (mm/hr)	f_c (mm/hr)	K (min ⁻¹)
ดินร่วน (loam)	325	2-20	1.8
ดินเหนียวปนทราย			
- มีหญ้าปกคลุม	670	10-30	1.4
- ไม่มีพืชปกคลุม	210	2-25	2.0
ดินเพาะปลูกทั่วไป			
- มีหญ้าปกคลุม	900	20-290	0.8
- ไม่มีพืชปกคลุม	280	6-220	1.6

จากตารางที่ 2.4 จะเห็นได้ว่าเมื่อมองรวม ๆ แล้ว ดินที่มีหญ้าปกคลุมจะมีอัตรา การซึมมากกว่าดินที่ไม่มีพืชปกคลุมแสดงว่าดินไม่มีส่วนช่วยให้น้ำผิวดินซึมลงดินได้มากขึ้นซึ่งถ้าหาก จะมองภาพการปลูกป่า หรือการอนุรักษ์ป่าไม้แล้ว จะเห็นได้ว่าพื้นที่ที่มีป่าหรือต้นไม้ปกคลุม จะช่วยดูดซับน้ำได้ผิวดินไว้ ทำให้ช่วยเก็บสะสม แหล่งน้ำได้ผิวดิน ลดปริมาณน้ำผิวดินรักษาหน้าดิน และช่วยบรรเทาการเกิดอุทกภัยได้เป็นอย่างดี

2.11.2 การหาค่าคงที่ของการซึม k

ถ้ารู้ข้อมูลอัตราการซึม f ที่เวลา t ต่างๆ จะสามารถหาค่าคงที่ของการซึม k ได้จากผลการพิสูจน์สมการและการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log_{10}(f-f_c)$ กับเวลา t ดังนี้

จากสมการการซึมของ Horton

$$f = f_c + (f_o - f_c)e^{-kt}$$

$$\text{หรือ } f - f_c = (f_o - f_c)e^{-kt} \quad \dots\dots\dots(1.2)$$

ใส่ $\log_{10}$ ลงในสมการที่ 1.2 ทั้ง 2 ข้างจะได้

$$\log_{10}(f - f_c) = \log_{10}(f_o - f_c) - kt \log_{10} e$$

$$\text{หรือ } -kt \log_{10} e = \log_{10}(f - f_c) - \log_{10}(f_o - f_c)$$

$$\therefore t = -\frac{1}{k \log_{10} e} [\log_{10}(f - f_c) - \log_{10}(f_o - f_c)]$$

$$\text{หรือ } t = -\frac{1}{k \log_{10} e} \log_{10}(f - f_c) + \frac{1}{k \log_{10} e} (f_o - f_c) \quad \dots\dots\dots(1.3)$$

จากสมการที่ 1.3 จะเห็นได้ว่า k , e , f_c และ f_o เป็นค่าคงที่ ดังนั้นสามารถเทียบสมการที่ 1.3 กับสมการเส้นตรงได้ดังนี้

$$Y = mX + C \quad \dots\dots\dots(1.4)$$

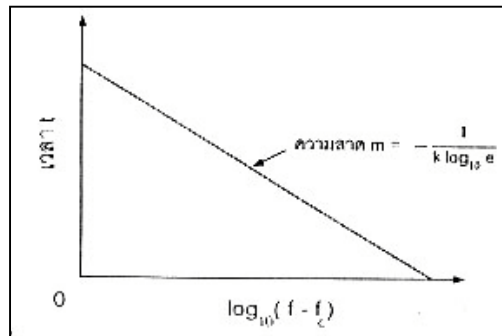
$$\text{โดยที่ } Y = t$$

$$m = -\frac{1}{k \log_{10} e}$$

$$X = \log_{10}(f - f_c)$$

และ
$$C = \frac{1}{k \log_{10} e} \log(f_0 - f_c)$$

ดังนั้น ถ้ามีข้อมูล f ที่เวลา t ต่าง ๆ และรู้ค่า f_c จะสามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log_{10}(f - f_c)$ กับเวลา t ได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log_{10}(f - f_c)$ กับเวลา t

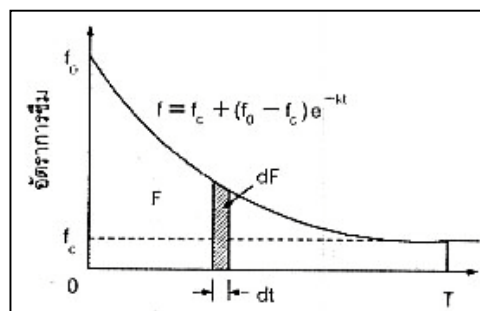
จะเห็นได้ว่าได้กราฟเส้นตรงเอียงลง เพราะความลาด m มีค่าเป็นลบ ซึ่งจากกราฟ จะสามารถหาความลาด m ได้ และเมื่อรู้ความลาด m ก็สามารถค่าคงที่ของการซึม k ได้ดังนี้

จากความลาด $m = -\frac{1}{k \log_{10} e}$

หรือ $k = -\frac{1}{m \log_{10} e} \dots\dots(1.5)$

เมื่อแทนค่า k , f_c และ f_0 ในสมการการซึมของ Horton จะสามารถหาสมการ ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการซึม f กับเวลา t ได้ตามต้องการ

2.11.3 ปริมาณการซึมทั้งหมด (F) ในช่วงเวลา 0 ถึง T สามารถหาได้จากพื้นที่ใต้กราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการซึมกับเวลาดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การหาปริมาณการซึมทั้งหมด F

ในช่วงเวลา dt มี ปริมาณการซึม $dF = f dt$ (1.6)

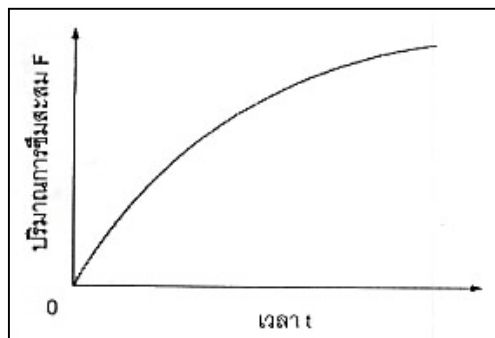
ปริมาณการซึมทั้งหมดในช่วงเวลา 0 ถึง T สามารถหาได้จาก

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณการซึมทั้งหมด} \quad F &= \int_0^T dF \\ &= \int_0^T f dt \end{aligned} \quad \text{.....(1.7)}$$

แทนค่า f จากสมการที่ 1.1 ในสมการที่ 1.7 จะได้

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณการซึมทั้งหมด} \quad F &= \int_0^T [f_c + (f_o - f_c)e^{-kt}] dt \\ &= f_c T + \left[\frac{(f_o - f_c)e^{-kt}}{-k} \right]_0^T \\ &= f_c T + \frac{f_o - f_c}{-k} (e^{-kt} - e^0) \\ \text{ปริมาณการซึมทั้งหมด} \quad F &= f_c T + \frac{f_o - f_c}{k} - \frac{f_o - f_c}{k} e^{-kt} \quad \text{....(1.8)} \end{aligned}$$

จากสมการที่ 1.8 เมื่อพิจารณาที่เวลา T เท่ากับเวลา t ใด ๆ สามารถเขียนกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการซึมสะสม F กับเวลา t ได้ดังรูปที่ 2.4



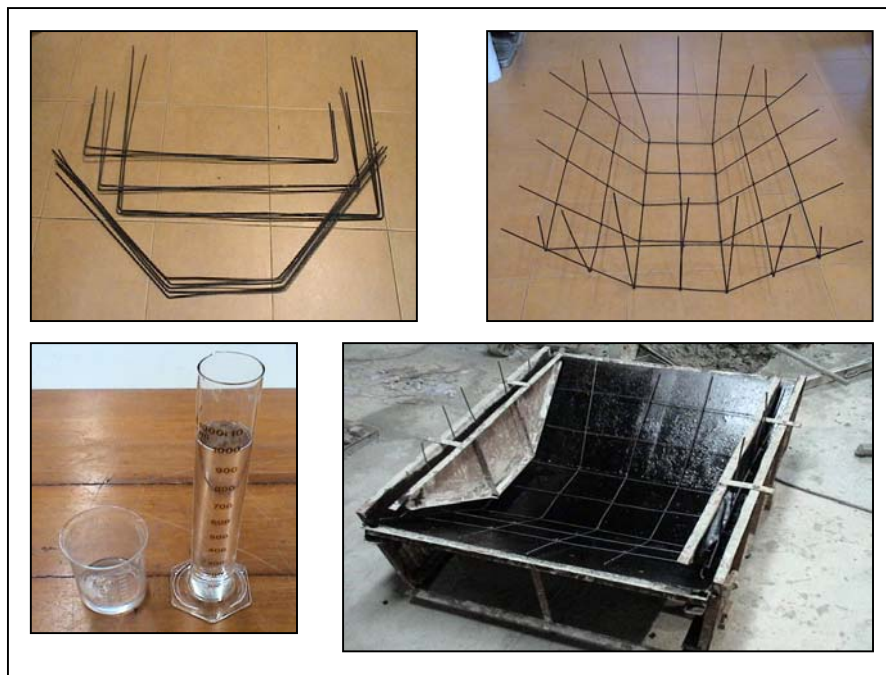
รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการซึมสะสม F กับเวลา t

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการศึกษา

3.1 อุปกรณ์

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่หนึ่ง
2. ทรายหยาบ
3. หิน เบอร์ 2
4. น้ำยางข้น 60% รักษาสภาพแอมโมเนียมาก
5. โมผสมคอนกรีตชนิดผสมเอียง
6. เครื่องชั่งอ่านค่าละเอียดได้ถึง 0.1 กรัม
7. แบบหล่อตัวอย่างคลองชลประทาน รูปสี่เหลี่ยมคางหมู
8. กระบอกตวง
9. ถาดวัดการระเหย
10. อุปกรณ์วัดความลึกของน้ำประเภทขอและเข็ม



รูปที่ 3.1 อุปกรณ์

3.2 การเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่างคอนกรีตสำหรับการออกแบบส่วนผสมโดยปริมาตร สำหรับงานก่อสร้างขนาดเล็ก ส่วนใหญ่จะกำหนดสัดส่วนผสมโดยปริมาตร เช่น 1:2:4 อัตราส่วนที่กล่าวถึงนี้คือ ใช้ปูนซีเมนต์ 1 ส่วน ทราย 2 ส่วน หิน 4 ส่วน โดยปริมาตรการที่จะเปลี่ยนส่วนผสมโดยปริมาตรดังกล่าวให้เป็นส่วนผสมโดยน้ำหนักสามารถทำได้ดังนี้

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ

1. หน่วยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ = 1400 กก./ลบ.ม.

2. หน่วยน้ำหนักของหินทราย = 1450 กก./ลบ.ม.

การคำนวณ

- ปูน 1 ถัง 50 กก. มีปริมาตร	= $50/1400$	= 0.036 ลบ.ม.
- ทราย 2 ส่วน มีปริมาตร	= 0.036×2	= 0.072 ลบ.ม.
- น้ำหนักทราย	= 0.072×1450	= 104 กก.
- หิน 4 ส่วน มีปริมาตร	= 0.036×4	= 0.144 ลบ.ม.
- น้ำหนักหิน	= 0.144×1450	= 209 กก.

ปริมาณน้ำที่ใช้โดยทั่วไปสำหรับปูน 1 ถัง เพื่อให้ได้ค่ายุบตัวประมาณ 10 ซม. เท่ากับ 30 ลิตร

ดังนั้นน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมดเมื่อใช้ปูน 1 ถัง = $50 + 104 + 209 + 30 = 393$ กก.

หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต 1 ลบ.ม. เท่ากับ 2340 กก.

สรุป ส่วนผสมใน 1 ลบ.ม.

- ปูนซีเมนต์	370 กก./ลบ.ม.
- ทราย	775 กก./ลบ.ม.
- หิน	995 กก./ลบ.ม.
- น้ำ	200 กก./ลบ.ม.
- ค่ายุบตัวประมาณ	10 ซม.

จากผลการคำนวณจะได้ปริมาณน้ำที่ใช้ในผสมคอนกรีต 1 ลบ.ม. เท่ากับ 200 กก./ลบ.ม. หรือเท่ากับ 200 ลิตร เตรียมน้ำยางข้น 60% รักษาสภาพแอมโมเนียมาก + น้ำสะอาด เท่ากับปริมาณน้ำ ที่ทำให้เกิดความชื้นเหลวปกติในส่วนผสมคอนกรีต 1 ลบ.ม. แบ่งกรณีศึกษาเป็น 4 กรณีคือ

1. น้ำยางข้น 60% รักษาสภาพแอมโมเนียมาก 7.5%	คือ น้ำยางข้น 15 ลิตร + น้ำสะอาด 185 ลิตร
2. น้ำยางข้น 60% รักษาสภาพแอมโมเนียมาก 10%	คือ น้ำยางข้น 20 ลิตร + น้ำสะอาด 180 ลิตร
3. น้ำยางข้น 60% รักษาสภาพแอมโมเนียมาก 12.5%	คือ น้ำยางข้น 25 ลิตร + น้ำสะอาด 175 ลิตร
4. น้ำยางข้น 60% รักษาสภาพแอมโมเนียมาก 15%	คือ น้ำยางข้น 30 ลิตร + น้ำสะอาด 170 ลิตร

3.3 การผสมตัวอย่างการทดลองด้วยเครื่องผสม

1. ใส่ส่วนผสม (หินและทราย) ลงไปก่อน แล้วตามด้วยปูนซีเมนต์ เเท(น้ำ+น้ำยางชั้น60% รักษาสภาพแอมโมเนียมาก) ประมาณ 1 ใน 10 ส่วนของน้ำที่จะต้องใช้น้ำทั้งหมดตามลงไป
2. ดินเครื่องผสมแล้วจึงค่อย ๆ เติมน้ำ+น้ำยางชั้น 60% รักษาสภาพแอมโมเนียมาก) ที่เหลือลงไปซึ่งบางครั้งอาจต้องเติมน้ำเพิ่มเข้าไปอีกในระหว่างการผสมเพื่อให้ได้ความชื้นเหลวตามต้องการ
3. เวลาที่ใช้ในการผสมไม่ควรสั้นกว่า 3 นาที
4. เทคอนกรีตออกจากเครื่องแล้วผสมลงในภาชนะที่ไม่ดูดซึมน้ำและไม่มีรอยร้าว ขนาดของภาชนะต้องมีขนาดใหญ่พอให้ใช้พลั่วตักพลิกคอนกรีตไปมาได้เพื่อป้องกันการแยกตัว
5. ควรทำการเทคอนกรีตลงแบบทันทีหลังจากที่ออกจากเครื่องผสม



รูปที่ 3.2 การผสมตัวอย่างการทดลองด้วยเครื่องผสม

การเตรียมแบบจำลองคลองชลประทาน

สำหรับตัวอย่างแบบจำลองคลองชลประทาน เตรียมทั้งหมด 5 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 1 แบบจำลอง ประกอบไปด้วย 5 แบบจำลอง

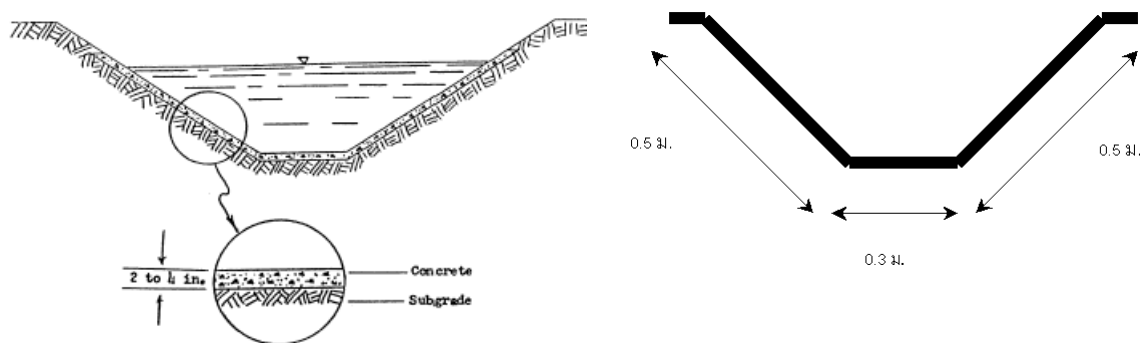
ตัวอย่างที่ 1 มีส่วนผสมของน้ำยางขึ้น 60% รักษาสภาพแอมโมเนียมมาก 7.5% 1 แบบจำลอง

ตัวอย่างที่ 2 มีส่วนผสมของน้ำยางขึ้น 60% รักษาสภาพแอมโมเนียมมาก 10% 1 แบบจำลอง

ตัวอย่างที่ 3 มีส่วนผสมของน้ำยางขึ้น 60% รักษาสภาพแอมโมเนียมมาก 12.5% 1 แบบจำลอง

ตัวอย่างที่ 4 มีส่วนผสมของน้ำยางขึ้น 60% รักษาสภาพแอมโมเนียมมาก 15% 1 แบบจำลอง

ตัวอย่างที่ 5 ที่ไม่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา 1 แบบจำลอง



รูปที่ 3.3 หน้าตัดแบบจำลองคลองชลประทานสี่เหลี่ยมคางหมู

สำหรับแบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบเป็นแบบจำลองคลองส่งน้ำรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ขนาดความกว้างที่ฐาน 0.30 เมตร ด้านข้าง 0.5 เมตร ความยาว 1 เมตร



รูปที่ 3.4 การเตรียมแบบจำลองคลองชลประทาน

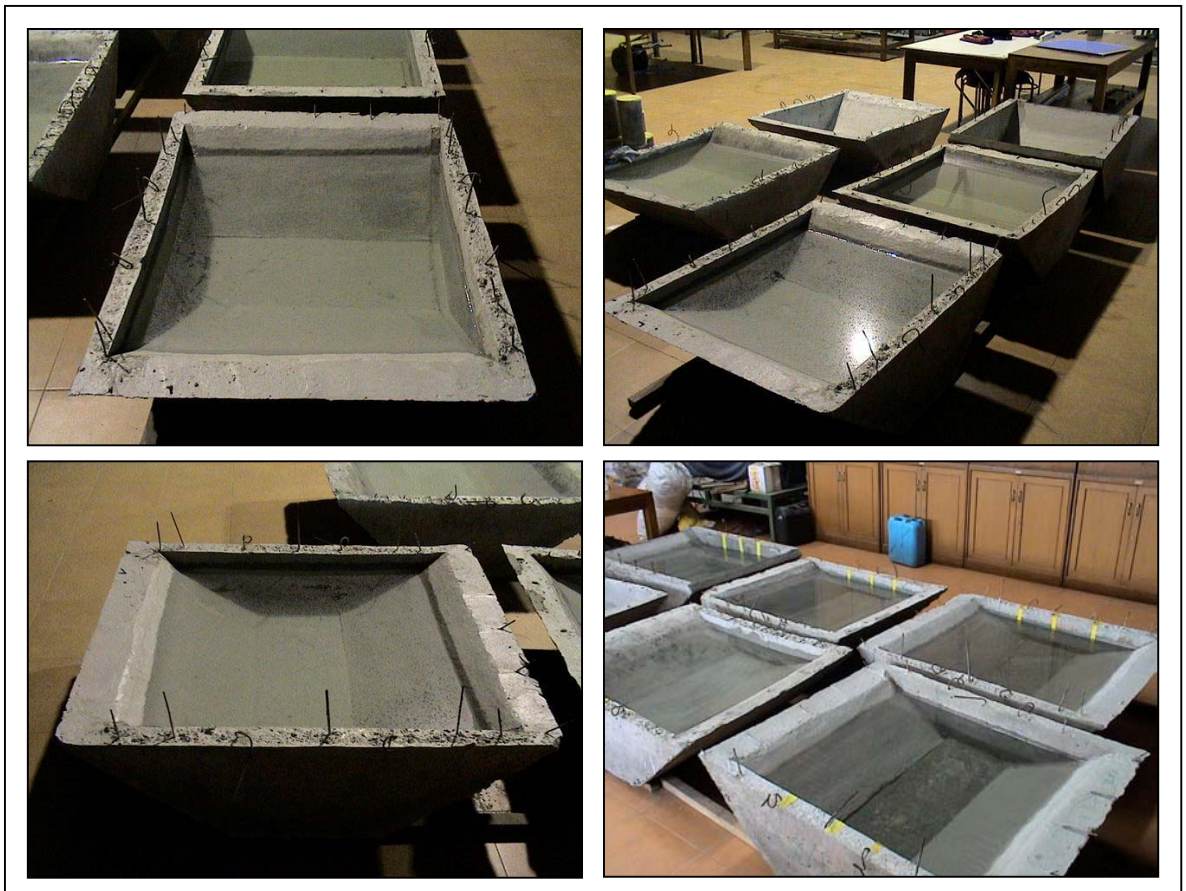
3.4 วิธีการและขั้นตอนการทดสอบ

1. นำแบบจำลองคลองชลประทานที่ได้เตรียมไว้สำหรับทำการทดสอบมาทำการทดสอบ ใช้วิธีระบบบ่อเก็บกักน้ำ โดยใช้วิธี ของ Horton โดยการคำนึงถึงความลาดชันของแบบจำลอง เพื่อทำการคำนวณความยาวของบ่อเก็บกักน้ำ
2. ติดตั้งไม้วัดระดับน้ำใกล้กับปลายของแบบจำลอง สำหรับวัดความลึกของน้ำ
3. เติมน้ำลงในแบบจำลองคลองชลประทานจนกระทั่งถึงระดับที่กำหนดไว้
4. บันทึกเวลาและระดับที่อ่านได้จากไม้วัดระดับน้ำเป็นระยะตามอัตราความลึกของน้ำ ที่ลดลงในแบบจำลองคลองชลประทาน
5. วัดความกว้างของผิวน้ำ และเส้นรอบรูปเปียกที่ระดับความลึกระดับต่าง ๆ ในแบบจำลองคลองชลประทานตามความยาวของแบบจำลอง และคำนวณความกว้างของผิวน้ำเฉลี่ยและเส้นรอบรูปเปียกเฉลี่ย
6. คำนวณอัตราการสูญเสียเนื่องจากการรั่วซึม และสมการการซึมของแต่ละแบบจำลอง โดยใช้สมการของ Horton ในหน่วยมิลลิเมตรต่อวัน รูปแบบของสมการดังนี้

$$f = f_c + (f_o - f_c)e^{-kt}$$

$$F = f_c T + \frac{f_o - f_c}{k} - \frac{f_o - f_c}{k} e^{-kt}$$

7. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการซึม (f) กับ (t) และหาค่าคงที่ของการซึม ของแต่ละแบบจำลอง
8. วิเคราะห์ผลการทดสอบและเปรียบเทียบอัตราการสูญเสียเนื่องจากการรั่วซึมของแบบจำลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยาง ในอัตราส่วน 7.5% 10% 12.5% 15% และแบบจำลองที่ไม่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา
9. สรุปผลของโครงการ



รูปที่ 3.5 แบบจำลองคลองชลประทานที่ใช้ในการทดสอบ

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์

4.1 ผลการวิเคราะห์

ผลการศึกษาการสูญเสียน้ำเนื่องจากการรั่วซึมในแบบจำลองคลองชลประทานมีส่วนผสมที่น้ำยางพารา ทั้งหมดจำนวน 5 แบบจำลอง ซึ่งแต่ละแบบจำลองประกอบด้วย

- ตัวอย่างที่ 1 ที่ไม่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา
- ตัวอย่างที่ 2 มีส่วนผสม ของน้ำยางขึ้น 60% รักษาสภาพแอมโมเนียมาก 7.5%
- ตัวอย่างที่ 3 มีส่วนผสม ของน้ำยางขึ้น 60% รักษาสภาพแอมโมเนียมาก 10%
- ตัวอย่างที่ 4 มีส่วนผสม ของน้ำยางขึ้น 60% รักษาสภาพแอมโมเนียมาก 12.5%
- ตัวอย่างที่ 5 มีส่วนผสม ของน้ำยางขึ้น 60% รักษาสภาพแอมโมเนียมาก 15%

สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ ทำการทดสอบโดยวิธีระบบบ่อเก็บกัก ทำการวัดปริมาณการรั่วซึมและอัตราการรั่วซึม โดยใช้วิธีของ Horton ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการซึม (f) ที่เวลา t ใดๆ กับอัตราการซึมที่เวลาเริ่มต้น (f_0) และอัตราการซึมที่สภาวะสมดุล (f_c) ได้ผลการทดลองดังแสดงไว้ดัง ตาราง 4.1 ถึง ตารางที่ 4.15 และ ตารางที่ 4.16 ถึง ตารางที่ 4.20 อัตราการรั่วซึมเฉลี่ยของแบบจำลองคลองชลประทาน

ตารางที่ 4.1 อัตราการซึมที่เวลาต่างๆ ของแบบจำลองคลองชลประทานที่ไม่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา
สำหรับการทดสอบ ครั้งที่ 1

เวลาที่ผ่านไป (min)	Dt (hr)	ปริมาณน้ำที่เติมน้ำสะสม (cc)	(cm)	dF (cm)	F (cm/hr)
0	0	0	0	0	0
5	0.083	550	0.0423	0.0423	0.5078
10	0.167	1130	0.0869	0.0446	0.2677
20	0.333	1750	0.1346	0.0477	0.1431
30	0.500	2250	0.1731	0.0385	0.0769
45	0.750	2670	0.2054	0.0323	0.0431
60	1.000	2890	0.2223	0.0169	0.0169
90	1.500	3045	0.2343	0.0119	0.0079
120	2.000	3165	0.2435	0.0092	0.0046
พื้นที่ที่น้ำไหลซึม 12998 cm ²					

ตารางที่ 4.2 อัตราการซึมที่เวลาต่างๆ ของแบบจำลองคลองชลประทานที่ไม่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา
สำหรับการทดสอบ ครั้งที่ 2

เวลาที่ผ่านไป (min)	Dt (hr)	ปริมาณน้ำที่เติมน้ำสะสม (cc) (cm)		dF (cm)	F (cm/hr)
0	0	0	0	0	0
5	0.083	450	0.0346	0.0346	0.4154
10	0.167	1040	0.0800	0.0454	0.2723
20	0.333	1740	0.1339	0.0539	0.1616
30	0.500	2350	0.1808	0.0469	0.0939
45	0.750	2850	0.2193	0.0385	0.0513
60	1.000	3000	0.2308	0.0115	0.0115
90	1.500	3100	0.2385	0.0077	0.0051
120	2.000	3250	0.2500	0.0115	0.0058
พื้นที่ที่น้ำไหลซึม 12998 cm ²					

ตารางที่ 4.3 อัตราการซึมที่เวลาต่างๆ ของแบบจำลองคลองชลประทานที่ไม่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา
สำหรับการทดสอบ ครั้งที่ 3

เวลาที่ผ่านไป (min)	Dt (hr)	ปริมาณน้ำที่เติมน้ำสะสม (cc) (cm)		dF (cm)	F (cm/hr)
0	0	0	0	0	0
5	0.083	460	0.0354	0.0354	0.4247
10	0.167	1035	0.0796	0.0442	0.2654
20	0.333	1750	0.1346	0.0550	0.1650
30	0.500	2440	0.1877	0.0531	0.1062
45	0.750	2965	0.2281	0.0404	0.0539
60	1.000	3150	0.2423	0.0142	0.0142
90	1.500	3250	0.2500	0.0077	0.0051
120	2.000	3360	0.2585	0.0085	0.0042
พื้นที่ที่น้ำไหลซึม 12998 cm ²					

ตารางที่ 4.4 อัตราการซึมที่เวลาต่างๆ ของแบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา 7.5% สำหรับการทดสอบ ครั้งที่ 1

เวลาที่ผ่านไป (min)	Dt (hr)	ปริมาณน้ำที่เติมน้ำสะสม (cc)	(cm)	dF (cm)	F (cm/hr)
0	0	0	0	0	0
5	0.083	420	0.0355	0.0355	0.4265
10	0.167	880	0.0745	0.0389	0.2336
20	0.333	1140	0.0965	0.0220	0.0660
30	0.500	1312	0.1110	0.0146	0.0291
45	0.750	1477	0.1250	0.0140	0.0186
60	1.000	1547	0.1309	0.0059	0.0059
90	1.500	1599	0.1353	0.0044	0.0029
120	2.000	1621	0.1372	0.0019	0.0009
พื้นที่ที่น้ำไหลซึม 11815.75 cm ²					

ตารางที่ 4.5 อัตราการซึมที่เวลาต่างๆ ของแบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา 7.5% สำหรับการทดสอบ ครั้งที่ 2

เวลาที่ผ่านไป (min)	Dt (hr)	ปริมาณน้ำที่เติมน้ำสะสม (cc)	(cm)	dF (cm)	F (cm/hr)
0	0	0	0	0	0
5	0.083	356	0.0301	0.0301	0.3616
10	0.167	755	0.0639	0.0338	0.2026
20	0.333	1078	0.0912	0.0273	0.0820
30	0.500	1291	0.1093	0.0180	0.0361
45	0.750	1403	0.1187	0.0095	0.0126
60	1.000	1498	0.1268	0.0080	0.0080
90	1.500	1570	0.1329	0.0061	0.0041
120	2.000	1626	0.1376	0.0047	0.0024
พื้นที่ที่น้ำไหลซึม 11815.75 cm ²					

ตารางที่ 4.6 อัตราการซึมที่เวลาต่างๆ ของแบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา 7.5% สำหรับการทดสอบ ครั้งที่ 3

เวลาที่ผ่านไป (min)	Dt (hr)	ปริมาณน้ำที่เติมน้ำสะสม (cc) (cm)		dF (cm)	F (cm/hr)
0	0	0	0	0	0
5	0.083	350	0.0296	0.0296	0.3555
10	0.167	653	0.0553	0.0256	0.1539
20	0.333	843	0.0713	0.0161	0.0482
30	0.500	1018	0.0862	0.0148	0.0296
45	0.750	1218	0.1031	0.0169	0.0226
60	1.000	1355	0.1147	0.0116	0.0116
90	1.500	1432	0.1212	0.0065	0.0043
120	2.000	1487	0.1258	0.0047	0.0023
พื้นที่ที่น้ำไหลซึม 11815.75 cm ²					

ตารางที่ 4.7 อัตราการซึมที่เวลาต่างๆ ของแบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา 10% สำหรับการทดสอบ ครั้งที่ 1

เวลาที่ผ่านไป (min)	Dt (hr)	ปริมาณน้ำที่เติมน้ำสะสม (cc) (cm)		dF (cm)	F (cm/hr)
0	0	0	0	0	0
5	0.083	372	0.0307	0.0307	0.3686
10	0.167	682	0.0563	0.0256	0.1536
20	0.333	950	0.0784	0.0221	0.0664
30	0.500	1102	0.0910	0.0126	0.0251
45	0.750	1247	0.1030	0.0120	0.0160
60	1.000	1409	0.1163	0.0134	0.0134
90	1.500	1484	0.1225	0.0062	0.0041
120	2.000	1540	0.1272	0.0046	0.0023
พื้นที่ที่น้ำไหลซึม 11815.75 cm ²					

ตารางที่ 4.8 อัตราการซึมที่เวลาต่างๆ ของแบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา 10% สำหรับการทดสอบ ครั้งที่ 2

เวลาที่ผ่านไป (min)	Dt (hr)	ปริมาณน้ำที่เติมน้ำสะสม (cc)	(cm)	dF (cm)	F (cm/hr)
0	0	0	0	0	0
5	0.083	295	0.0244	0.0244	0.2923
10	0.167	725	0.0599	0.0355	0.2130
20	0.333	1040	0.0859	0.0260	0.0780
30	0.500	1250	0.1032	0.0173	0.0347
45	0.750	1373	0.1134	0.0102	0.0135
60	1.000	1563	0.1291	0.0157	0.0157
90	1.500	1650	0.1362	0.0072	0.0048
120	2.000	1682	0.1389	0.0026	0.0013
พื้นที่ที่น้ำไหลซึม 11815.75 cm ²					

ตารางที่ 4.9 อัตราการซึมที่เวลาต่างๆ ของแบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา 10% สำหรับการทดสอบ ครั้งที่ 3

เวลาที่ผ่านไป (min)	Dt (hr)	ปริมาณน้ำที่เติมน้ำสะสม (cc)	(cm)	dF (cm)	F (cm/hr)
0	0	0	0	0	0
5	0.083	320	0.0264	0.0264	0.3171
10	0.167	608	0.0502	0.0238	0.1427
20	0.333	1018	0.0841	0.0339	0.1016
30	0.500	1293	0.1068	0.0227	0.0454
45	0.750	1446	0.1194	0.0126	0.0168
60	1.000	1591	0.1314	0.0120	0.0120
90	1.500	1673	0.1381	0.0068	0.0045
120	2.000	1738	0.1435	0.0054	0.0027
พื้นที่ที่น้ำไหลซึม 11815.75 cm ²					

ตารางที่ 4.10 อัตราการซึมที่เวลาต่างๆ ของแบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา 12.5% สำหรับการทดสอบ ครั้งที่ 1

เวลาที่ผ่านไป (min)	Dt (hr)	ปริมาณน้ำที่เติมน้ำสะสม (cc)	(cm)	dF (cm)	F (cm/hr)
0	0	0	0	0	0
5	0.083	325	0.0287	0.0287	0.3442
10	0.167	705	0.0622	0.0335	0.2012
20	0.333	953	0.0841	0.0219	0.0657
30	0.500	1118	0.0987	0.0146	0.0291
45	0.750	1258	0.1110	0.0124	0.0165
60	1.000	1418	0.1252	0.0141	0.0141
90	1.500	1463	0.1291	0.0040	0.0026
120	2.000	1494	0.1319	0.0027	0.0014
พื้นที่ที่น้ำไหลซึม 11329.25 cm ²					

ตารางที่ 4.11 อัตราการซึมที่เวลาต่างๆ ของแบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา 12.5% สำหรับการทดสอบ ครั้งที่ 2

เวลาที่ผ่านไป (min)	Dt (hr)	ปริมาณน้ำที่เติมน้ำสะสม (cc)	(cm)	dF (cm)	F (cm/hr)
0	0	0	0	0	0
5	0.083	292	0.0258	0.0258	0.3093
10	0.167	647	0.0571	0.0313	0.1880
20	0.333	987	0.0871	0.0300	0.0900
30	0.500	1215	0.1072	0.0201	0.0402
45	0.750	1527	0.1348	0.0275	0.0367
60	1.000	1715	0.1514	0.0166	0.0166
90	1.500	1832	0.1617	0.0103	0.0069
120	2.000	1910	0.1686	0.0069	0.0034
พื้นที่ที่น้ำไหลซึม 11329.25 cm ²					

ตารางที่ 4.12 อัตราการซึมที่เวลาต่างๆ ของแบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา

12.5% สำหรับการทดสอบ ครั้งที่ 3

เวลาที่ผ่านไป (min)	Dt (hr)	ปริมาณน้ำที่เติมน้ำสะสม (cc)	(cm)	dF (cm)	F (cm/hr)
0	0	0	0	0	0
5	0.083	265	0.0234	0.0234	0.2807
10	0.167	675	0.0596	0.0362	0.2171
20	0.333	1147	0.1012	0.0417	0.1250
30	0.500	1377	0.1215	0.0203	0.0406
45	0.750	1547	0.1365	0.0150	0.0200
60	1.000	1662	0.1467	0.0102	0.0102
90	1.500	1737	0.1533	0.0066	0.0044
120	2.000	1777	0.1569	0.0035	0.0018
พื้นที่ที่น้ำไหลซึม 11329.25 cm ²					

ตารางที่ 4.13 อัตราการซึมที่เวลาต่างๆ ของแบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา

15% สำหรับการทดสอบ ครั้งที่ 1

เวลาที่ผ่านไป (min)	Dt (hr)	ปริมาณน้ำที่เติมน้ำสะสม (cc)	(cm)	dF (cm)	F (cm/hr)
0	0	0	0	0	0
5	0.083	865	0.0766	0.0766	0.9194
10	0.167	1453	0.1287	0.0521	0.3125
20	0.333	1865	0.1652	0.0365	0.1095
30	0.500	2120	0.1878	0.0226	0.0452
45	0.750	2243	0.1987	0.0109	0.0145
60	1.000	2338	0.2071	0.0084	0.0084
90	1.500	2463	0.2182	0.0111	0.0074
120	2.000	2598	0.2301	0.0120	0.0060
พื้นที่ที่น้ำไหลซึม 11290.25 cm ²					

ตารางที่ 4.14 อัตราการซึมที่เวลาต่างๆ ของแบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา

15% สำหรับการทดสอบ ครั้งที่ 2

เวลาที่ผ่านไป (min)	Dt (hr)	ปริมาณน้ำที่เติมน้ำสะสม (cc)	(cm)	dF (cm)	F (cm/hr)
0	0	0	0	0	0
5	0.083	655	0.0580	0.0580	0.6962
10	0.167	1378	0.1221	0.0640	0.3842
20	0.333	2000	0.1771	0.0551	0.1653
30	0.500	2445	0.2166	0.0394	0.0788
45	0.750	2690	0.2383	0.0217	0.0289
60	1.000	2820	0.2498	0.0115	0.0115
90	1.500	2992	0.2650	0.0152	0.0102
120	2.000	3126	0.2769	0.0119	0.0059
พื้นที่ที่น้ำไหลซึม 11290.25 cm ²					

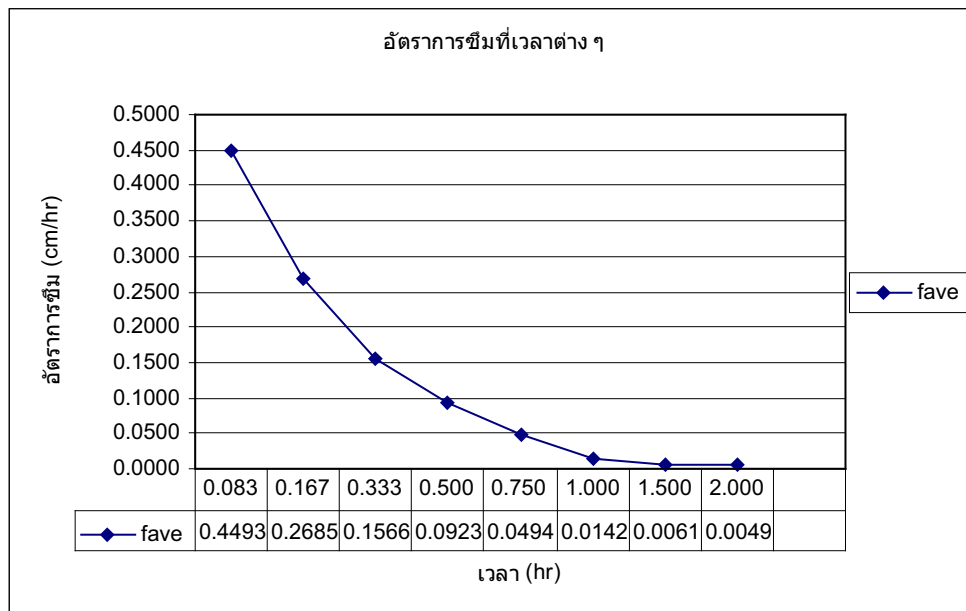
ตารางที่ 4.14 อัตราการซึมที่เวลาต่างๆ ของแบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา

15% สำหรับการทดสอบ ครั้งที่ 3

เวลาที่ผ่านไป (min)	Dt (hr)	ปริมาณน้ำที่เติมน้ำสะสม (cc)	(cm)	dF (cm)	F (cm/hr)
0	0	0	0	0	0
5	0.083	670	0.0593	0.0593	0.7121
10	0.167	1452	0.1286	0.0693	0.4156
20	0.333	2102	0.1862	0.0576	0.1727
30	0.500	2542	0.2252	0.0390	0.0779
45	0.750	2827	0.2504	0.0252	0.0337
60	1.000	2952	0.2615	0.0111	0.0111
90	1.500	3062	0.2712	0.0097	0.0065
120	2.000	3176	0.2813	0.0101	0.0050
พื้นที่ที่น้ำไหลซึม 11290.25 cm ²					

ตารางที่ 4.16 ค่าเฉลี่ยอัตราการซึม ของแบบจำลองคลองชลประทานที่ไม่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา

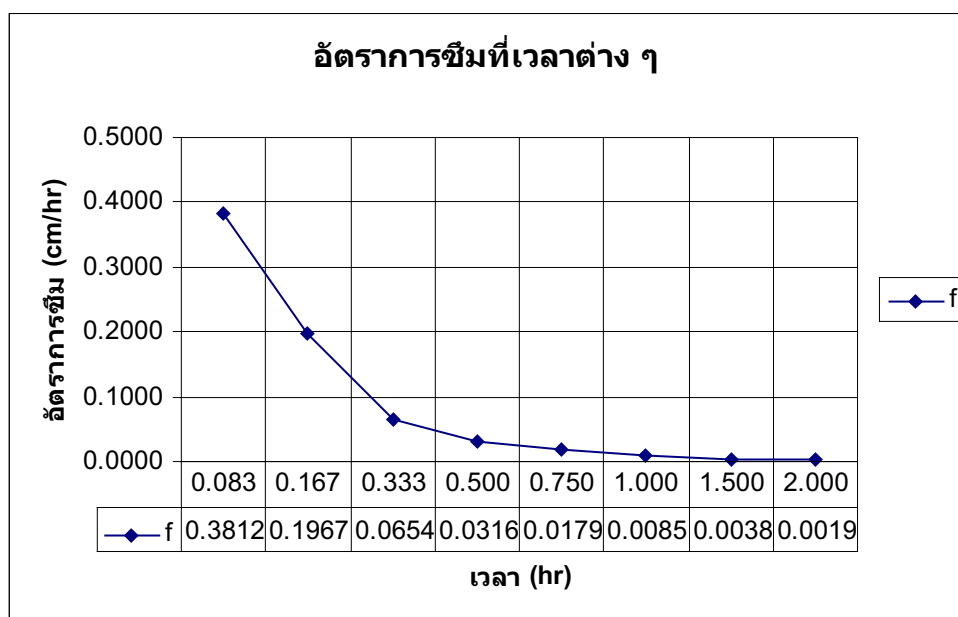
เวลาที่ผ่านไป	Dt	f1	f2	f3	f _{ave}
(min)	(hr)	(cm/hr)	(cm/hr)	(cm/hr)	(cm/hr)
0	0	0	0	0	0
5	0.083	0.5078	0.4154	0.4247	0.4493
10	0.167	0.2677	0.2723	0.2654	0.2685
20	0.333	0.1431	0.1616	0.1650	0.1566
30	0.500	0.0769	0.0939	0.1062	0.0923
45	0.750	0.0431	0.0513	0.0539	0.0494
60	1.000	0.0169	0.0115	0.0142	0.0142
90	1.500	0.0079	0.0051	0.0051	0.0061
120	2.000	0.0046	0.0058	0.0042	0.0049



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยอัตราการซึมกับเวลาแบบจำลองคลองชลประทานที่ไม่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา

ตารางที่ 4.17 ค่าเฉลี่ยอัตราการซึม ของแบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา 7.5%

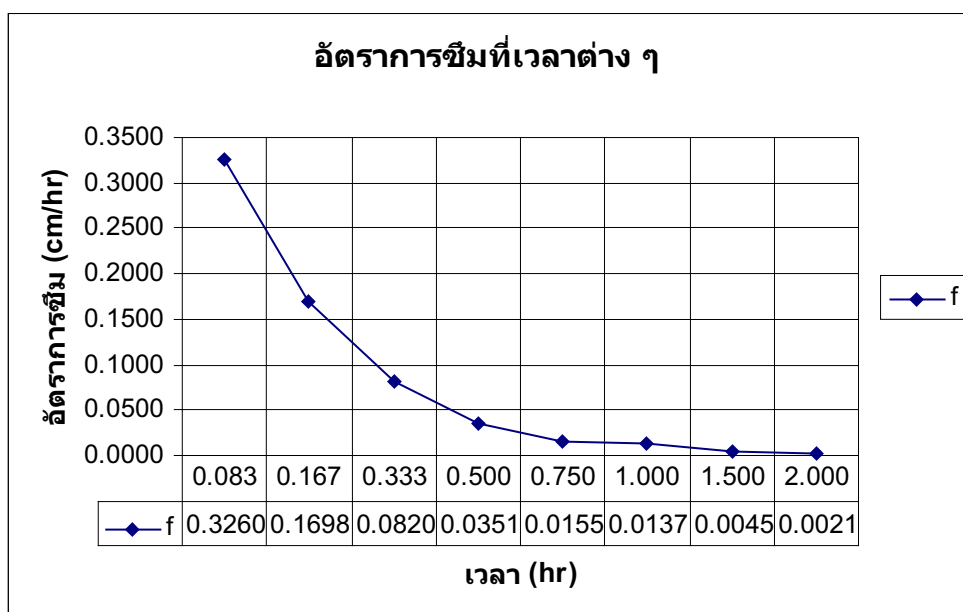
เวลาที่ผ่านไป	Dt	f1	f2	f3	f _{ave}
(min)	(hr)	(cm/hr)	(cm/hr)	(cm/hr)	(cm/hr)
0	0	0	0	0	0
5	0.083	0.4265	0.3616	0.3555	0.3812
10	0.167	0.2336	0.2026	0.1539	0.1967
20	0.333	0.0660	0.0820	0.0482	0.0654
30	0.500	0.0291	0.0361	0.0296	0.0316
45	0.750	0.0186	0.0126	0.0226	0.0179
60	1.000	0.0059	0.0080	0.0116	0.0085
90	1.500	0.0029	0.0041	0.0043	0.0038
120	2.000	0.0009	0.0024	0.0023	0.0019



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยอัตราการซึมกับเวลา
แบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา 7.5%

ตารางที่ 4.18 ค่าเฉลี่ยอัตราการซึม ของแบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา 10%

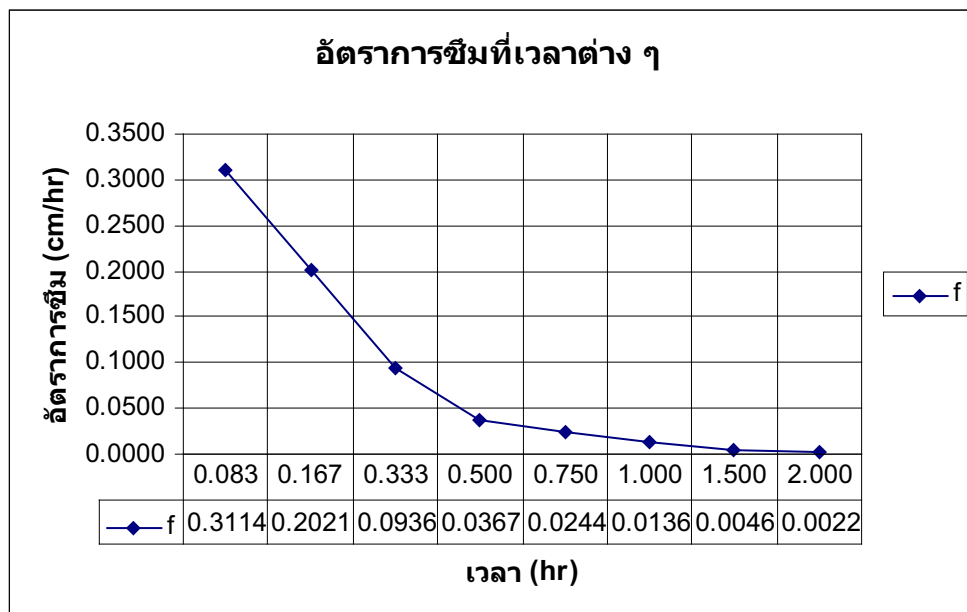
เวลาที่ผ่านไป	Dt	f1	f2	f3	f _{ave}
(min)	(hr)	(cm/hr)	(cm/hr)	(cm/hr)	(cm/hr)
0	0	0	0	0	0
5	0.083	0.3686	0.2923	0.3171	0.3260
10	0.167	0.1536	0.2130	0.1427	0.1698
20	0.333	0.0664	0.0780	0.1016	0.0820
30	0.500	0.0251	0.0347	0.0454	0.0351
45	0.750	0.0160	0.0135	0.0168	0.0155
60	1.000	0.0134	0.0157	0.0120	0.0137
90	1.500	0.0041	0.0048	0.0045	0.0045
120	2.000	0.0023	0.0013	0.0027	0.0021



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยอัตราการซึมกับเวลา
แบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา 10%

ตารางที่ 4.19 ค่าเฉลี่ยอัตราการซึม ของแบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา 12.5%

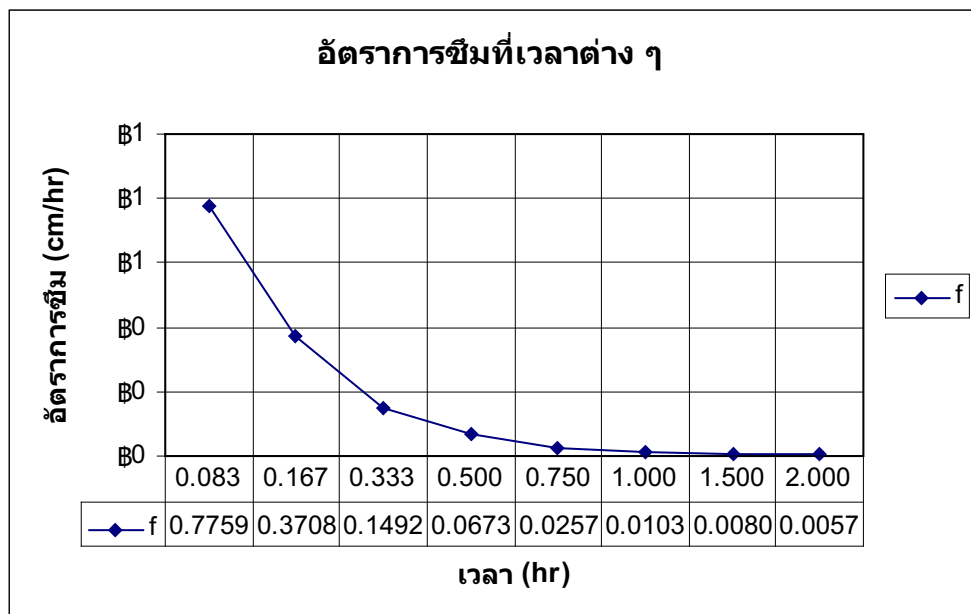
เวลาที่ผ่านไป	Dt	f1	f2	f3	f _{ave}
(min)	(hr)	(cm/hr)	(cm/hr)	(cm/hr)	(cm/hr)
0	0	0	0	0	0
5	0.083	0.3442	0.3093	0.2807	0.3114
10	0.167	0.2012	0.1880	0.2171	0.2021
20	0.333	0.0657	0.0900	0.1250	0.0936
30	0.500	0.0291	0.0402	0.0406	0.0367
45	0.750	0.0165	0.0367	0.0200	0.0244
60	1.000	0.0141	0.0166	0.0102	0.0136
90	1.500	0.0026	0.0069	0.0044	0.0046
120	2.000	0.0014	0.0034	0.0018	0.0022



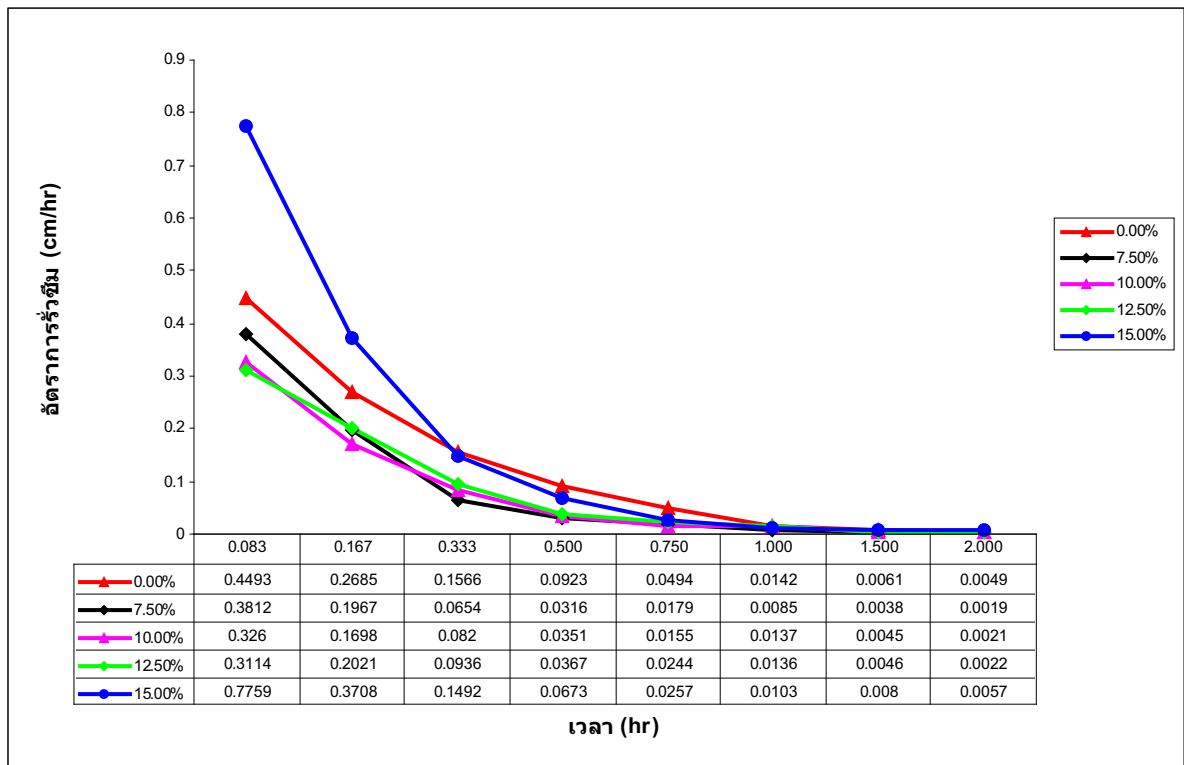
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยอัตราการซึมกับเวลา
แบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา 12.5%

ตารางที่ 4.20 ค่าเฉลี่ยอัตราการซึม ของแบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา 15%

เวลาที่ผ่านไป	Dt	f1	f2	f3	f _{ave}
(min)	(hr)	(cm/hr)	(cm/hr)	(cm/hr)	(cm/hr)
0	0	0	0	0	0
5	0.083	0.9194	0.6962	0.7121	0.7759
10	0.167	0.3125	0.3842	0.4156	0.3708
20	0.333	0.1095	0.1653	0.1727	0.1492
30	0.500	0.0452	0.0788	0.0779	0.0673
45	0.750	0.0145	0.0289	0.0337	0.0257
60	1.000	0.0084	0.0115	0.0111	0.0103
90	1.500	0.0074	0.0102	0.0065	0.0080
120	2.000	0.0060	0.0059	0.0050	0.0057



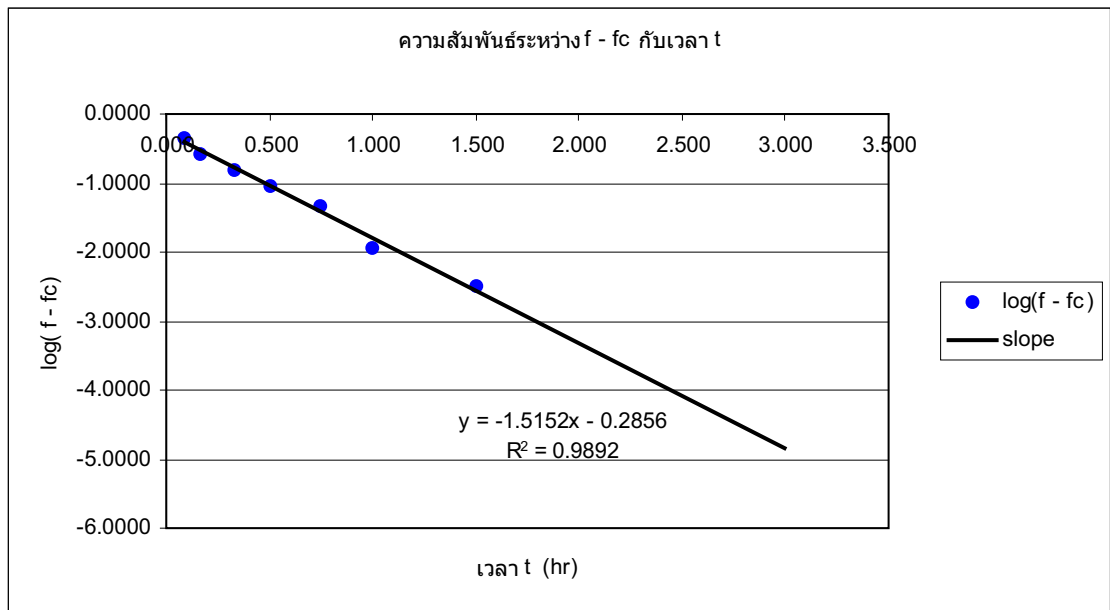
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยอัตราการซึมกับเวลา
แบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา 15%



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยอัตราการซึมกับเวลา
แบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา 0% 7.5% 10% 12.5% และ 15%

ตารางที่ 4.21 ผลการคำนวณ $f - f_c$ และ $\log(f - f_c)$ ของแบบจำลองคลองชลประทานที่มีไม่ส่วนผสมของน้ำยาง

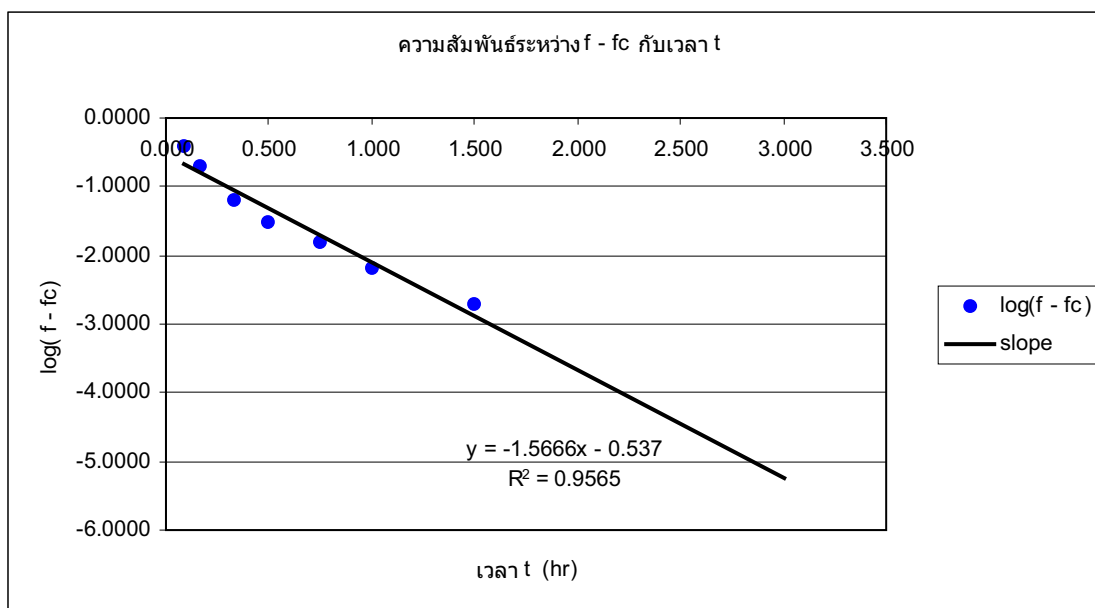
เวลา t		f	f - f _c	log(f - f _c)
(min)	(hr)	(cm/hr)	(cm/hr)	
0	0	0	0	0
5	0.083	0.4493	0.4464	-0.3503
10	0.167	0.2685	0.2656	-0.5758
20	0.333	0.1566	0.1537	-0.8134
30	0.500	0.0923	0.0894	-1.0486
45	0.750	0.0494	0.0465	-1.3325
60	1.000	0.0142	0.0113	-1.9457
90	1.500	0.0061	0.0032	-2.4990
120	2.000	0.0049	0.0020	0.0000



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log(f - f_c)$ กับเวลา t ของแบบจำลองคลองชลประทานที่ไม่มีส่วนผสมของน้ำยาง

ตารางที่ 4.22 ผลการคำนวณ $f - f_c$ และ $\log(f - f_c)$ ของแบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยาง 7.5%

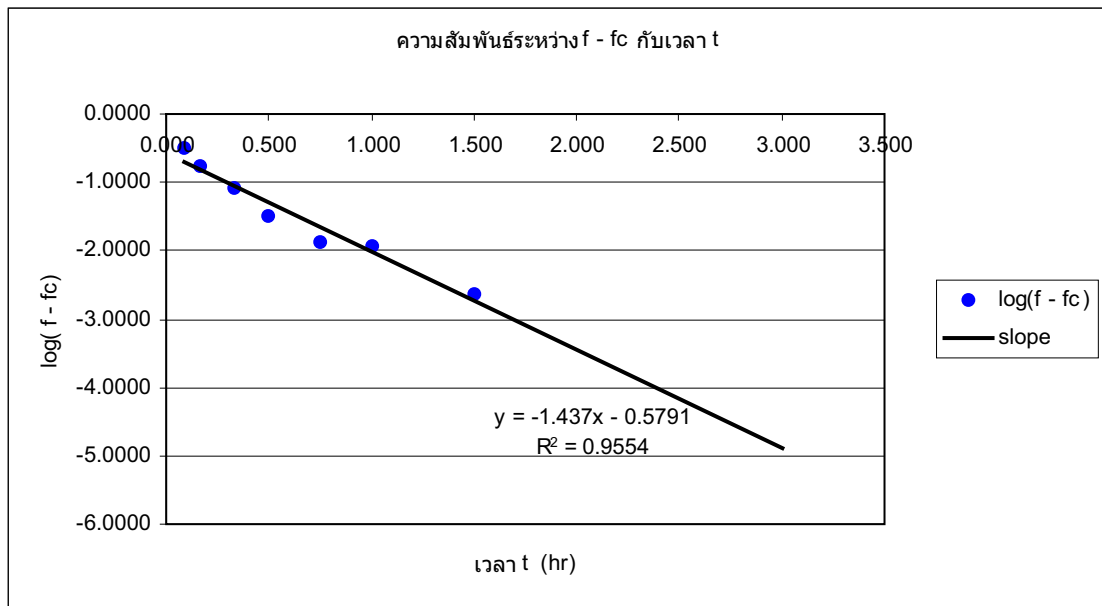
เวลา t		f	$f - f_c$	$\log(f - f_c)$
(min)	(hr)	(cm/hr)	(cm/hr)	
0	0	0	0	0
5	0.083	0.3812	0.3793	-0.4210
10	0.167	0.1967	0.1948	-0.7104
20	0.333	0.0654	0.0635	-1.1969
30	0.500	0.0316	0.0297	-1.5269
45	0.750	0.0179	0.0161	-1.7941
60	1.000	0.0085	0.0066	-2.1776
90	1.500	0.0038	0.0019	-2.7203
120	2.000	0.0019	0.0000	0.0000



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log(f - f_c)$ กับเวลา t ของแบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของ
น้ำยาง 7.5%

ตารางที่ 4.23 ผลการคำนวณ $f - f_c$ และ $\log(f - f_c)$ ของแบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของ
น้ำยาง 10%

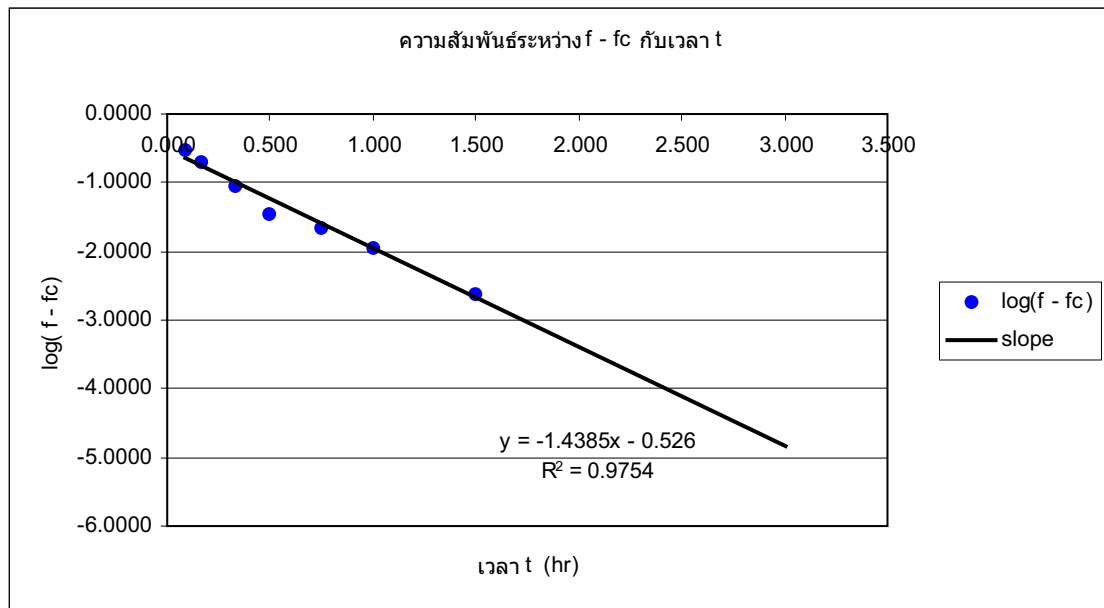
เวลา t		f	$f - f_c$	$\log(f - f_c)$
(min)	(hr)	(cm/hr)	(cm/hr)	
0	0	0	0	0
5	0.083	0.3260	0.3239	-0.4896
10	0.167	0.1698	0.1677	-0.7756
20	0.333	0.0820	0.0799	-1.0975
30	0.500	0.0351	0.0330	-1.4820
45	0.750	0.0155	0.0133	-1.8747
60	1.000	0.0137	0.0116	-1.9365
90	1.500	0.0045	0.0024	-2.6249
120	2.000	0.0021	0.0000	0.0000



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log(f - f_c)$ กับเวลา t ของแบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยาง 10%

ตารางที่ 4.24 ผลการคำนวณ $f - f_c$ และ $\log(f - f_c)$ ของแบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยาง 12.5%

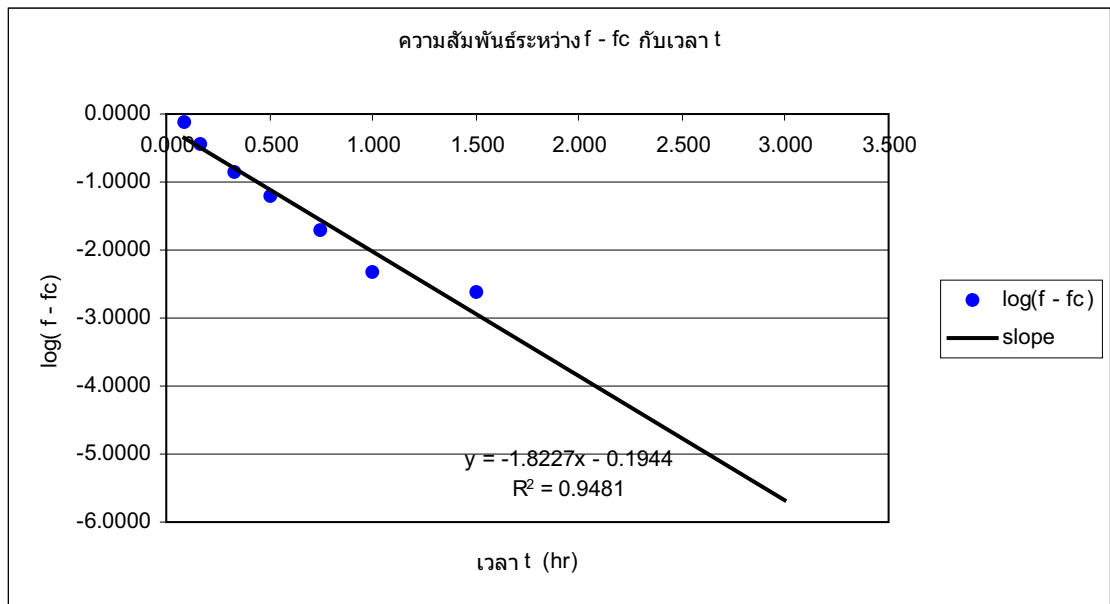
เวลา t		f	$f - f_c$	$\log(f - f_c)$
(min)	(hr)	(cm/hr)	(cm/hr)	
0	0	0	0	0
5	0.083	0.3114	0.3092	-0.5097
10	0.167	0.2021	0.1999	-0.6991
20	0.333	0.0936	0.0914	-1.0392
30	0.500	0.0367	0.0345	-1.4626
45	0.750	0.0244	0.0222	-1.6535
60	1.000	0.0136	0.0114	-1.9419
90	1.500	0.0046	0.0025	-2.6096
120	2.000	0.0022	0.0000	0.0000



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log(f - f_c)$ กับเวลา t ของแบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของ
น้ำยาง 12.5%

ตารางที่ 4.25 ผลการคำนวณ $f - f_c$ และ $\log(f - f_c)$ ของแบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของ
น้ำยาง 15%

เวลา t		f	$f - f_c$	$\log(f - f_c)$
(min)	(hr)	(cm/hr)	(cm/hr)	
0	0	0	0	0
5	0.083	0.7759	0.7702	-0.1134
10	0.167	0.3708	0.3651	-0.4376
20	0.333	0.1492	0.1435	-0.8431
30	0.500	0.0673	0.0617	-1.2100
45	0.750	0.0257	0.0201	-1.6978
60	1.000	0.0103	0.0047	-2.3298
90	1.500	0.0080	0.0024	-2.6276
120	2.000	0.0057	0.0000	0.0000



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log(f - f_c)$ กับเวลา t ของแบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยาง 15%

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากผลการทดลองและรูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยอัตราการซึม (f) กับเวลา (t) ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่เวลาเริ่มต้นมีอัตราการซึมมีค่ามาก ($f = f_0$) เพราะช่วงในแบบจำลองคลองชลประทาน ที่ทำให้ปริมาณน้ำซึมเข้าไปได้เร็ว และเมื่อเวลาผ่านไป ผ้นกคลองเริ่มเปียกและช่องว่างลดลง ทำให้อัตราการซึมลดลงตามเวลาจนกระทั่งถึงสถานะสมดุลจะมีอัตราการซึม (f) เท่ากับอัตราการซึมที่สถานะสมดุล (f_c)

จากผลการทดลองวัดอัตราการซึม 3 ครั้งในแต่ละแบบจำลอง จะได้ค่าเฉลี่ยของอัตราการซึมของแต่ละแบบจำลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.16 ถึง ตารางที่ 4.20 นำค่าอัตราการซึม (f) ที่เวลา (t) ต่าง ๆ จากตารางที่ 4.21 ถึง ตารางที่ 4.25 เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log_{10}(f - f_c)$ กับเวลา t ได้กราฟดังแสดงดังรูปที่ 4.7 ถึง รูปที่ 4.11 จะเห็นว่ากราฟเส้นตรงเอียงลง เพราะความลาด m มีค่าเป็นลบ ซึ่งกราฟจะสามารถหาความลาด m ได้ และเมื่อรู้ m ก็สามารถหาค่าคงที่ของการซึม k ได้จาก

$$k = -\frac{1}{m \log_{10} e}$$

ตารางที่ 5.1 ค่าคงที่ของการซึม k ของแบบจำลองคลองชลประทาน

แบบจำลองคลองชลประทาน	ค่าคงที่ของการซึม k (hr ⁻¹)
ไม่ผสมน้ำยาง	1.29
ผสมน้ำยาง 7.5%	1.47
ผสมน้ำยาง 10%	1.60
ผสมน้ำยาง 12.5%	1.60
ผสมน้ำยาง 15%	1.26

จากข้อมูลตารางที่ 4.21 ถึง ตารางที่ 4.25 และตารางที่ 5.1 สามารถหาสมการการซึม (f) และปริมาณการซึมทั้งหมด (F) ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์หามีความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

- 1) แบบจำลองคลองชลประทานที่ไม่มีส่วนผสมของน้ำยาง

$$\text{สมการอัตราการซึม } f = 0.0049 + 0.5451e^{-1.29t}$$

$$\text{สมการปริมาณการซึมทั้งหมด } F = 0.0049T + \frac{0.5451}{1.29} - \frac{0.5451}{1.29}e^{-1.29t}$$

- 2) แบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยาง 7.5%

$$\text{สมการอัตราการซึม} \quad f = 0.0019 + 0.4381e^{-1.47t}$$

$$\text{สมการปริมาณการซึมทั้งหมด} \quad F = 0.0019T + \frac{0.4381}{1.47} - \frac{0.4381}{1.47}e^{-1.47t}$$

- 3) แบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยาง 10%

$$\text{สมการอัตราการซึม} \quad f = 0.0021 + 0.3979e^{-1.60t}$$

$$\text{สมการปริมาณการซึมทั้งหมด} \quad F = 0.0021T + \frac{0.3979}{1.60} - \frac{0.3979}{1.60}e^{-1.60t}$$

- 4) แบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยาง 12.5%

$$\text{สมการอัตราการซึม} \quad f = 0.0022 + 0.3678e^{-1.60t}$$

$$\text{สมการปริมาณการซึมทั้งหมด} \quad F = 0.0022T + \frac{0.3678}{1.60} - \frac{0.3678}{1.60}e^{-1.60t}$$

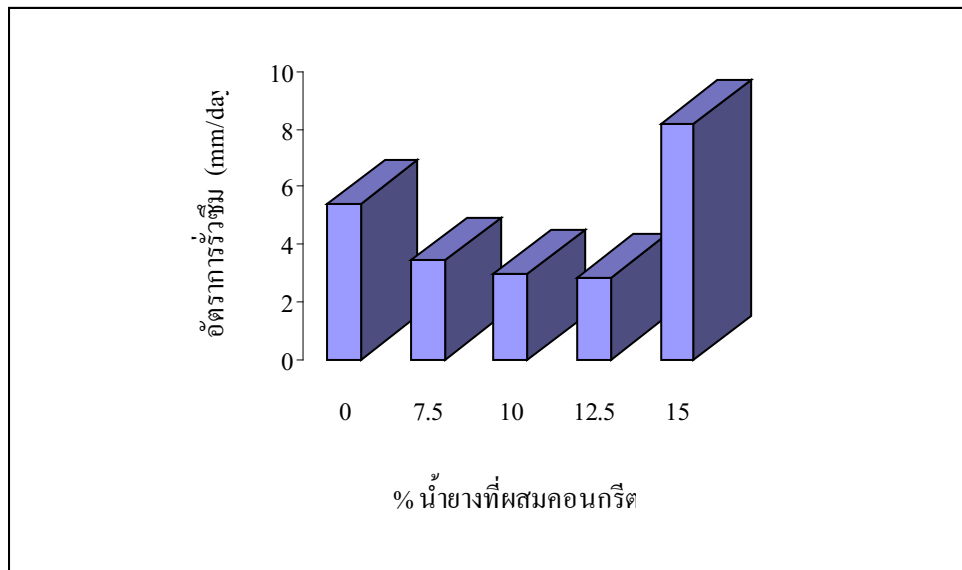
- 5) แบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยาง 15%

$$\text{สมการอัตราการซึม} \quad f = 0.0057 + 0.9143e^{-1.26t}$$

$$\text{สมการปริมาณการซึมทั้งหมด} \quad F = 0.0057T + \frac{0.9143}{1.26} - \frac{0.9143}{1.26}e^{-1.26t}$$

ตารางที่ 5.2 ผลคำนวณการสูญเสียเนื่องจากรั่วซึมในแบบจำลองคลองชลประทาน

แบบจำลองคลองชล ประทาน	อัตราการซึม มม./วัน	อัตราการซึมต่อความยาว คลองหนึ่งเมตร ลบ.ม./วัน
ไม่ผสมน้ำยาง	5.40	0.0070
ผสมน้ำยาง 7.5%	3.43	0.0040
ผสมน้ำยาง 10%	2.99	0.0036
ผสมน้ำยาง 12.5%	2.83	0.0032
ผสมน้ำยาง 15%	8.20	0.0093



รูปที่ 5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการซึมกับปริมาณน้ำยาง

จากตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.1 พบว่าอัตราการซึมของแบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยาง 7.5% 10% และ 12.5% มีค่าอัตราการซึมต่ำกว่าแบบจำลองคลองชลประทานที่ไม่มีส่วนผสมของน้ำยาง และแบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยาง 15% มีค่าอัตราการซึมสูงกว่าแบบจำลองคลองชลประทานที่ไม่มีส่วนผสมของน้ำยาง แสดงให้เห็นว่า การใช้น้ำยางที่ผสมในคอนกรีตในเปอร์เซ็นต์ที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 7.5% - 12.5% สามารถลดอัตราการรั่วซึมของน้ำในคลองชลประทานได้ ถ้าหากใช้น้ำยางที่ผสมในคอนกรีตในเปอร์เซ็นต์มากกว่า 12.5% สำหรับการทดลองใช้ที่ 15% จากผลการวิเคราะห์พบว่า อัตราการรั่วซึมในแบบจำลองคลองชลประทานมีค่าสูงกว่าแบบจำลองที่ไม่มีส่วนผสมของน้ำยาง ซึ่งน่าจะเกิดจากปริมาณเนื้อยางแห้งในเนื้อคอนกรีตที่มากเกินไป เมื่อคอนกรีตแข็งตัวทำให้มีรูพรุนเป็นผลทำให้ปริมาณน้ำซึมผ่านได้มากกว่า และที่สำคัญจากการทดลองพบว่าการใช้ปริมาณน้ำยาง 15% ที่ใช้ผสมในคอนกรีตทำให้คอนกรีตแข็งตัวช้ากว่าปกติใช้เวลาถึง 3 วัน สามารถถอดแบบได้ ปกติจะใช้เวลาเพียงหนึ่งวันสามารถที่จะถอดแบบได้ ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำยางที่เหมาะสม ที่ใช้ผสมคอนกรีตควรมีค่าไม่เกิน 12.5% แต่ทั้งนี้ควรที่จะมีการศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังอื่นๆ เช่น กำลังดึง กำลังอัด และกำลังดัด ของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของน้ำยางด้วย เพื่อที่จะได้อัตราส่วนที่เหมาะสมที่มีคุณสมบัติป้องกันการรั่วซึมและความคงทนของการใช้งาน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของคุณสมบัติด้านกำลังอื่นๆ เช่น กำลังดึง กำลังอัด และกำลังดัด ของคอนกรีต ซึ่งควรจะนำน้ำยางที่ได้จากการทดลองที่มีอัตราการซึมต่ำกว่าแบบจำลองคลองชลประทานที่ไม่มีส่วนผสมของน้ำยาง คือปริมาณน้ำยาง 7.5% 10% และ 12.5% มาทำการทำสอบในด้านคุณสมบัติด้านกำลัง เพื่อที่จะได้ตัวแทนอัตราส่วนของน้ำยางที่เหมาะสม
2. ปริมาณน้ำยางที่ใช้ผสมคอนกรีต ไม่ควรเกิน 12.5% ถ้าใช้ปริมาณน้ำยางมากกว่านี้จะทำให้การแข็งตัวของคอนกรีตช้ากว่าปกติและอัตราการซึมก็จะสูงกว่าปกติด้วย
3. สมควรที่จะมีการวิจัยต่อยอดเพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับงานด้านการบำรุงรักษาระบบคลองชลประทานเพื่อป้องกันการรั่วซึม

เอกสารอ้างอิง

- [1] เกษม อินทรสกุล. 2521. การผลิตยางดิบและอุตสาหกรรมยาง งานอุตสาหกรรมยาง ศูนย์วิจัยการยาง เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 9
- [2] ธนาคารกสิกรไทย. 2525. ยางพารา. ส่วนวิชาการสำนักบริหาร เอกสารวิชาการ ปีที่ 2. ฉบับที่ 4
- [3] Cresson, L; British Patent 191, 474; (12 January 1923)
- [4] Critchley Ltd., and A.E. Bond; British Patent 369, 561; (17 March 1932)
- [5] Geist, J.M.; S.V. Amagna; and B.B. Mellor; "IMPROVED PORTLAND CEMENT MORTARS WITH POLYVINYL ACETATE EMULSIONS", Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 45, No. 4, 1953, PP. 759 - 767
- [6] Kunlman, L.A.; "LATEX - MODIFIED CONCRETE FOR REPAIR AND REHABILITATION OF BRIDGES", THE INTERNATIONAL JOURNAL OF CEMENT COMPOSITES & LIGHT WEIGHT CONCRETE, Vol. 7, No. 4, 1985, PP. 217 - 233
- [7] Neville, A.M.; Brooks, JJ.; 1990 Concrete Technology
- [8] Ohama, Y.; "PRINCIPLE OF LATEX MODIFICATION AND SOME TYPICAL PROPERTIES OF LATEX-MODIFIED MORTARS AND CONCRETES", ACI MATERIALS JOURNAL (November - December 1987), Title No. 84-M45, PP. 511 - 518
- [9] Zdanowski, R.E.; Brown, G.L., "FILM FORMING CHARACTERISTICS OF EMULSION POLYMERS", 44th MID-YEAR PROCEEDINGS, CHEMICAL SPECIALTIES MANUFACTURES ASSOCIATION, Washington, D.C., May 1958, PP. 1 - 6
- [10] Ohama, Y.; "POLYMER-MODIFIED MORTAR & CONCRETES", CONCRETE ADMIXTURES HANDBOOK : PROPERTIES, SCIENCE AND TECHNOLOGY, NOYES PUBLICATION, PARK RIDGE (1984) PP. 337-429
- [11] ชัชวาล เศรษฐบุตร. 2540. คอนกรีตเทคโนโลยี. บริษัท ผลิตภัณฑ์และวัตถุก่อสร้าง จำกัด
- [12] กอบเกียรติ ผ่องบุผิ. 2542. การบำรุงรักษาและปฏิบัติการชลประทาน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ
- [13] วราวุธ วุฒินิชย์. 2537. วรรณคดีแสดงผลการทำงานในการจัดการชลประทาน. วิศวกรรมสาร มก.