การซ่อมรอยรั่วของน้ำด้วยวิธีฉีดซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

นายทองสุข ภูมิฐาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2560

การซ่อมรอยรั่วของน้ำด้วยวิธีฉีดซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับโครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบโครงงาน

_____

(ศ. ดร.สุขสันติ์ หอพิบูลสุข)
ประธานกรรมการ

_____

(รศ. ดร.อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน)

_____

(รศ. ดร.ขวัญกมล ดอนขวา)
กรรมการ

_____

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ทองสุข ภูมิฐาน : การซ่อมรอยรั่วของน้ำด้วยวิธีฉีดซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (REPAIRING OF WATER LEAKAGE BY USING PORTLAND CEMENT INJECTION) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร. อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์

งานวิจัยนี้ศึกษาการซ่อมรอยรั่วของน้ำด้วยวิธีฉีดซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และออกแบบส่วนผสมวัสดุอุดรอยรั่วระหว่าง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์,น้ำยาประสานคอนกรีตและน้ำ เพื่อนำไปใช้ฉีดซ่อมรอยรั่วด้วยเครื่องฉีดซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยทำการศึกษาข้อดีและข้อเสียของการซ่อมรอยรั่วด้วยวิธีนี้ สามารถนำไปใช้งานได้ วิธีการวิจัยนี้ ได้ใช้วิธีการจำลองการรั่วซึมของน้ำด้วยการเจาะรูในแท่งคอนกรีตตัวอย่างเพื่อจำลองรอยรั่ว ทำการกำหนดให้รอยรั่วมีขนาดแตกต่างกัน 3 ขนาด โดยแต่ละขนาดใช้แท่งคอนกรีต อย่างละ 3 ตัวอย่าง ในการทดลองนี้ ผู้วิจัยได้ออกแบบจำลองสภาพแรงดันของน้ำที่ความลึกของน้ำ 7 เมตร เมื่อเตรียมแท่งตัวอย่างเสร็จแล้ว ทำการติดตั้งหัวฉีดโดยทำการเจาะฝังเข้ากับแท่งคอนกรีตตัวอย่าง ยึดด้วยพุกยางที่ออกแบบให้สามารถยึดหัวฉีดกับแท่งคอนกรีตได้ ไม่หลุดออกจากกันเมื่อทำการฉีดซีเมนต์เพสต์เข้าไปในรอยรั่ว ทำการผสมซีเมนต์เพสต์ตามอัตราส่วนที่ออกแบบ เทใส่กระบอกฉีดแล้วปิดฝากระบอกฉีดให้สนิท จากนั้นเริ่มปรับหรี่วาล์วเพื่อปล่อยซีเมนต์เพสต์ไหลเข้าไปอุดรอยรั่ว สังเกตการไหลเข้าของซีเมนต์เพสต์และทำการปิดวาล์วเพื่อให้ซีเมนต์เพสต์ก่อตัวประมาณ 3 นาที เปิดวาล์วเพื่อตรวจสอบผลการอุดรอยรั่วของน้ำ ถ้าซีเมนต์เพสต์สามารถอุดรอยรั่วได้ ก็จะไม่มีน้ำปูนไหลย้อนกลับออกมา

จากผลการศึกษาพบว่า ซีเมนต์เพสต์ที่ได้จากการผสมระหว่าง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์, น้ำยาประสานคอนกรีตและน้ำ สามารถอุดรอยรั่วของน้ำได้ทั้ง 3 ขนาด แต่ต้องปรับใช้ความข้นเหลวของซีเมนต์เพสต์ต่างกัน โดยรอยรั่วที่มีขนาดใหญ่ต้องใช้ซีเมนต์เพสต์ที่มีความข้นเหลวน้อยเข้าไปอุดรอยรั่ว เนื่องจากรอยรั่วมีขนาดใหญ่มีผลทำให้แรงดันของน้ำมีความแรงมาก ซีเมนต์เพสต์ที่ใช้อุดจึงต้องการให้แข็งตัวเร็วขึ้นเพื่อต้านทานแรงดันน้ำ ในทางกลับกันขนาดรอยรั่วที่มีขนาดเล็ก ต้องการซีเมนต์เพสที่มีความข้นเหลวสูงเพื่อให้มีความสามารถในการไหลเข้าไปในรอยร้าวขนาดเล็กได้ และเนื่องจากซีเมนต์เพสต์ที่ได้จากการผสมน้ำยาประสานคอนกรีตมีการแข็งตัวเร็วมาก ไม่สามารถทำการผสมได้ครั้งละมากๆ จึงเป็นเพียงข้อเสียเดียวของวิธีการซ่อมด้วยวิธีฉีดซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

สาขาวิชา การบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค ลายมือชื่อนักศึกษา_____

ปีการศึกษา 2560 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

TONGSUK PHUMTAN : REPAIRING OF WATER LEAKAGE BY USING PORTLAND CEMENT INJECTION. ADVISOR : ASSOC. PROF. AVIRUT CHINKULKIJNIWAT, Ph.D.

The research aims to conduct how water leakage is repaired by using Portland cement and inventing the mixture which is made of Portland cement, concrete admixture and water for injecting the leakage. To understand the adoption of this method clearly, an analysis in terms of advantages and disadvantages are employed. The method used in this research were to model the water leakage by making holes in three different sizes of concrete bars with simulating a hydro-pressure of water tanks at seven meters deep. The process of this study consisted of preparing each model, installing the nozzles by holing and screwing them into the concrete bars with special design of rubber anchors which could attach the nozzles and concrete bars properly without falling when cement paste was injected to the leak. Then, mixed and filled it into an injector and closed tightly. After that, turned on and adjusted the valve in order to allow the cement paste went along to the leaks. Subsequently, observed the flow of the water and turned off the valve, approximately three minutes, in order to wait until cement paste set it up. Afterwards, turned on the valve again for checking how the effectiveness of water leakage repairing. If cement paste can seal the leak, there will be no backflow anymore.

The findings show that even though these combinations as stated above can prevent the leak of water in all three sizes of models, it needs to adjust the intensity of cement paste in different ratios depending on the dimension of leakage. For a bigger hole must be applied by low intensity of cement paste to stop the leakage. Conversely, the smaller must be required high intensity of cement paste. Nevertheless, the disadvantage of using this technique is less amount cement paste mixing due to rapidly hardening of cement paste. Therefore, it might not be able to make these mixtures as much as we can.

School of Construction and Infrastructure Management Student's Signature_____

Academic Year 2017 Advisor's Signature_____

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ผู้วิจัยต้องขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาและบุคคลต่างๆที่กรุณาแนะนำ ให้คำปรึกษา ช่วยเหลือทั้งในด้านวิชาการ และการดำเนินงานวิจัย

ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันติ์ หอพิบูลสุข ประธานกรรมการสอบโครงงานวิจัย ที่ให้คำแนะนำ ชี้แนะข้อบกพร่องของงานวิจัย เพื่อทำให้งานวิจัยนี้สมบูรณ์แบบ

รองศาสตราจารย์ ดร.อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานวิจัย ที่ให้คำแนะนำและเป็นที่ปรึกษา คอยตรวจทานเนื้อหาของงานวิจัยจนเสร็จสมบูรณ์

รองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญกมล ดอนขวา กรรมการสอบโครงงานวิจัย ที่ให้คำแนะนำและชี้แนะข้อบกพร่อง จนทำให้การวิจัยนี้สมบูรณ์

ดร.อิทธิกร ภูมิพันธ์ อาจารย์ประจำหลักสูตรการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค ที่คอยติดตามการทำงานทุกขั้นตอน พร้อมทั้งให้คำแนะนำ คำปรึกษา และตรวจทานเนื้อหาของงานวิจัย พร้อมทั้งช่วยผลักดันในยามที่ลูกศิษย์อ่อนล้า จนได้งานวิจัยแล้วเสร็จ

คณาจารย์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและผู้ประสานงานหลักสูตรบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค ทุกท่านที่ให้คำปรึกษาและแนะนำช่วยเหลือประสานงานในด้านวิชาการและด้านกิจกรรมต่าง ๆ

ขอบคุณพี่น้องเรา ชาวหลักสูตรการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค ที่ได้ร่วมทำกิจกรรมต่าง ๆ ให้ลุล่วงและประสบความสำเร็จด้วยดีตลอด มีความเป็นหนึ่งเดียวกัน

ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อพรมมา คุณแม่คำบง ภูมิฐาน ผู้เป็นบุพการี ที่ท่านตรากตรำทำงานหนัก เพื่อให้ลูก ๆ ได้ร่ำเรียนจนจบการศึกษา สั่งสอนอบรมเลี้ยงดูมิให้ลำบาก แม้จะเหน็ดเหนื่อยยาก สายตัวแทบขาดก็ไม่ปริปากให้ลูกเสียกำลังใจ พร้อมทั้งครอบครัวและญาติพี่น้องทั้งหลายที่มีแต่ความรักความปรารถนาดีเสมอมา

ทองสุข ภูมิฐาน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ฉ

สารบัญรูปภาพ ..... ช

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ฌ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตของการศึกษา 2

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย 2

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 บทนำ 4

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 4

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 15

3 วิธีดำเนินการวิจัย 18

3.1 วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 18

3.2 รายละเอียดการศึกษา 18

3.2.1 กำหนดวัตถุประสงค์ 18

3.2.2 การเตรียมตัวอย่างและการทดลอง 18

3.2.3 ขั้นตอนการซ่อมรอยรั่ว 22

4 ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล 28

4.1 ผลการศึกษา 28

4.2 การวิเคราะห์ผล 30

5 สรุปและข้อเสนอแนะ 31

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

5.1 สรุปผล 31
5.2 ข้อเสนอแนะ 33
เอกสารอ้างอิง 35
ภาคผนวก ก รูปภาพการทดสอบรอยรั่วของน้ำโครงการก่อสร้างระบบประปา
เขตอุตสาหกรรมโรจนะ เฟส 1 38
ภาคผนวก ข รูปภาพการทดลองวิธีการซ่อมรอยรั่วของน้ำด้วยวิธีฉีดซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 45
ประวัติผู้เขียน 52

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ปริมาณสารประกอบพื้นฐานของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แต่ละประเภทและการใช้งาน 7

2.2 เกณฑ์คุณสมบัติทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ตามมาตรฐาน มอก. 15 –2514 8

2.3 ระยะเวลาการก่อตัวสำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 8

3.1 ผลการทดลองการฉีดซีเมนต์เพสต์ 21

4.1 ผลการทดลองการฉีดซีเมนต์เพสต์ซ่อมรอยรั่วของน้ำ 28

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	การเกิดปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ	12
2.2	การเก็บรักษาปูนซีเมนต์	12
2.3	แรงดันที่กระทำต่อต่อก้นภาชนะ	14
2.4	แรงต่างๆที่กระทำกับก้อนของของไหล	14
3.1	แผนผังขั้นตอนการออกแบบเครื่องฉีดซีเมนต์เพสต์	19
3.2	แผนผังขั้นตอนการผสมซีเมนต์เพสต์	20
3.3	การประกอบเครื่องฉีดซีเมนต์เพสต์	20
3.5	แผนผังขั้นตอนการซ่อมรอยรั่ว	22
3.6	จำลองขนาดรอยรั่วในแท่งคอนกรีต	23
3.7	จำลองความลึกสูงสุดในบ่อเก็บน้ำโดยใช้ท่อพีวีซี	24
3.8	ชุดฉีดซีเมนต์เพสต์	24
3.9	การติดตั้งหัวฉีดซีเมนต์เพสต์	25
3.10	การผสมซีเมนต์เพสต์	25
3.11	ฉีดซีเมนต์เพสต์โดยใช้เครื่องฉีดซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	26
3.12	ก. สังเกตการรั่วซึมของน้ำ	27
3.12	ข. สังเกตการรั่วซึมของน้ำ	27
ก.1	โครงสร้างบ่อกรองละเอียด	37
ก.2	โครงสร้างบ่อกรองละเอียด	37
ก.3	โครงสร้างบ่อกรองหยาบ	38
ก.4	โครงสร้างบ่อกรองหยาบ	38
ก.5	เติมน้ำทดสอบบ่อกรองละเอียด	39
ก.6	ลักษณะน้ำรั่วซึมบ่อกรองละเอียด	39
ก.7	ลักษณะน้ำรั่วซึมบ่อกรองละเอียด	40
ก.8	ลักษณะน้ำรั่วซึมบ่อกรองละเอียด	40
ก.9	ลักษณะน้ำรั่วซึมบ่อกรองละเอียด	41
ก.10	ลักษณะน้ำรั่วซึมบ่อกรองละเอียด	41
ก.11	ลักษณะน้ำรั่วซึมบ่อกรองละเอียด	42

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ก.12 ลักษณะน้ำรั่วซึมบ่อกรองละเอียด 42
ก.13 ลักษณะน้ำรั่วซึมบ่อรับน้ำดิบ 43
ก.14 ลักษณะน้ำรั่วซึมบ่อรับน้ำดิบ 43
ก.15 ลักษณะน้ำรั่วซึมบ่อรับน้ำดิบ 44
ก.16 ลักษณะน้ำรั่วซึมบ่อรับน้ำดิบ 44
ข.1 เจาะรูแท่งคอนกรีตตัวอย่าง 46
ข.2 ติดตั้งหัวรับแรงต้นจากน้ำ 46
ข.3 เทปูน Non-Shrink ปิดรูใส่สายเอ็นเป็นตัวกำหนดขนาดรอยรั่ว 47
ข.4 เตรียมเครื่องฉีดซีเมนต์ปอร์ตแลนต์ 47
ข.5 เตรียมชุดวัดแรงดันน้ำ 48
ข.6 จำลองแรงดันน้ำที่ความลึก 7 เมตร 48
ข.7 ติดตั้งหัวฉีดซีเมนต์เพสต์ 49
ข.8 ทดสอบการไหลซึมของน้ำ 49
ข.9 ผสมซีเมนต์เพสต์ 50
ข.10 ทดลองฉีดซีเมนต์เพสต์ 50
ข.11 ทดลองฉีดซีเมนต์เพสต์ 51
ข.12 ผลทดลองสามารถอุดรอยรั่วได้ 51

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

มอก.	มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
ASTM	American Society for Testing
ACI	American Concrete Institute
SI	The International System of Units
C_3S	Tricalcium Silicate
C_2S	Dicalcium Silicate
C_3A	Tricalcium Aluminate
C_4AF	Tetracalcium Alumino Ferrite
CaO	Calcium Oxide
SiO_2	Silicon Dioxide
Al_2O_3	Aluminium Oxide
Fe_2O_3	Ferric Oxide
Na_2o	Sodium Oxide
$CaCl_2$	Calcium Chloride
OPC	Ordinary Portland cement
MHPC	Moderate Heat Portland cement
RHC	Rapid Hardening Portland cement
HESE	High Early strength Portland cement
LHC	Low Heat Portland cement
SRC	Sulphate Resistance Portland cement
PBFSC	Portland Blast Furnace Slag Cement
PPC	Portland Pozzolana Cement
WC	White Cement
PE	Polyethylene Fiber
SC	Steel Cord Fiber
ρ	Density
m	Mass
V	Volume

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การก่อสร้างบ่อเก็บน้ำคอนกรีต,บ่อดักตะกอนและบ่อบัดน้ำเสีย ปัญหาส่วนใหญ่ที่พบในการก่อสร้างคือปัญหาการรั่วซึมของน้ำ ทั้งที่ทำระบบกันซึมป้องกันการรั่วซึมแล้วก็ตาม ทำให้ไม่สามารถส่งงานให้เจ้าของโครงการได้ บริษัทผู้รับเหมาจำเป็นต้องยอมสูญเสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมรอยรั่วในราคาสูง ซึ่งเป็นการเพิ่มต้นทุนในการก่อสร้าง สาเหตุของการรั่วซึมของน้ำมีหลายประการ ดังเช่น (ภาคผนวก ก.รูปภาพการทดสอบรอยรั่วของน้ำโครงการก่อสร้างระบบประปา เขตอุตสาหกรรมโรจนะ เฟส 1,2548)

- การควบคุมคุณภาพการทำงาน เช่นการเทคอนกรีตพื้นบ่อน้ำ,ผนังบ่อ จำเป็นต้องมีการตรวจสอบ ความสะอาดของแบบเท ความแข็งแรงของการค้ำยันไม้แบบ การตรวจสอบจำนวนเหล็กให้ถูกต้องตามแบบ ตรวจสอบการติดตั้งตำแหน่งแถบกันน้ำ (Water Stop) การควบคุมเวลาการเทคอนกรีตให้ต่อเนื่อง เตรียมเครื่องจี้คอนกรีตให้เหมาะสมกับพื้นที่การเทคอนกรีต เป็นต้น
- ผลกระทบจากโครงสร้างอาคารหรือบ่อเก็บน้ำ เช่นการแตกร้าวเนื่องจากการทรุดตัวของโครงสร้าง การแตกร้าวของผนังเนื่องจากการออกแบบให้ผนังมีความกว้างหรือความยาวมาก ทำให้เกิดการแตกร้าวตามแนวดิ่ง เป็นต้น
- แรงดันน้ำ เกิดจากแรงดันของน้ำใต้ดินและแรงดันของน้ำภายในบ่อ แรงดันจะแปรผันตรงกับค่าความสูงของการเก็บน้ำ หมายความว่า ค่าแรงดันจะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับน้ำสูงขึ้น ที่ระดับน้ำสูงสุด จะมีค่าแรงดันของน้ำมากที่สุด

วิธีการป้องกันน้ำรั่วซึม มีหลายวิธี ดังนี้คือ ระบบการทาผิวผนัง,ผิวพื้น เช่น การทาซีเมนต์กันซึม การทาอีพอกซี่ป้องกันน้ำใต้ดิน ระบบการเคลือบผิวเช่นการทำไฟเบอร์กลาส ไลน์นิ่ง เพื่อวัตถุประสงค์ในการทนเคมี การปูแผ่นยางกันซึมที่ผนังและหลังคาดาดฟ้า เป็นต้น

วิธีการซ่อมรอยรั่วซึมของน้ำ ส่วนใหญ่มักเกิดขึ้นในตอนทดสอบก่อนส่งงาน หรือหลังจากที่ใช้งานไปได้ในระยะเวลาหนึ่ง ณ ปัจจุบันมีอยู่ 2 วิธี คือ วิธีการอุดด้วยซีเมนต์แข็งตัวเร็ว (Water Plug) และวิธีการฉีดโพลียูริเทรนโฟม (Polyurethane Foam Injection) มีวิธีการติดตั้งดังนี้

1. ซีเมนต์อุดรอยรั่ว เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำให้ซีเมนแข็งตัวเร็ว ใช้ได้ในกรณีที่มีรอยรั่วขนาดใหญ่ ลักษณะไม่แตกร้าวยาว รอยรั่วอยู่ตื้น สามารถสกัดคอนกรีตเพื่อใช้ปูนอุดได้
2. วิธีฉีดโพลียูริเทรนโฟม โดยสารเคมีจะทำปฏิกิริยากับน้ำ เมื่อสารสัมผัสน้ำจะเกิดการขยายตัวอุดรอยร้าว มีความยืดหยุ่นตัวได้ดี สามารถยึดเกาะผิวที่มีสภาพแห้งและเปียกได้ ระยะเวลาทำปฏิกิริยากับน้ำ ประมาณ 3-30 วินาที วัสดุไม่เป็นพิษจึงสามารถนำมาใช้ซ่อมบ่อน้ำที่ใช้อุปโภคและบริโภคได้ การฉีดโพลียูริเทรนโฟมต้องจ้างบริษัทที่มีความชำนาญด้านการทำกันซึม มาทำการซ่อม โดยราคาซ่อมรอยรั่วเริ่มต้นขั้นต่ำ 5 กิโลกรัมแรกคิดราคาค่าซ่อม 15,000 บาท ถ้าใช้ในปริมาณที่มากกว่านี้ จะคิดราคากิโลกรัมต่อไป กิโลกรัมละ 800 บาท ซึ่งวิธีการนี้ถึงแม้ว่าจะใช้ได้ผลดี แต่ราคาซ่อมรอยรั่วก็จะสูงมากเช่นกัน ปัจจุบันการซ่อมรอยรั่วด้วยวิธีการฉีดพลียูรีเทรนโฟม ยังคงเป็นวิธีการซ่อมเพียงอย่างเดียวที่ใช้อยู่

ด้วยเหตุนี้ ผู้ศึกษาจึงมีแนวคิดที่จะออกแบบวิธีการซ่อมรอยรั่วโดยใช้วัสดุชนิดอื่นแทนการฉีดโพลียูรีเทรนโฟม ซึ่งมีประสิทธิภาพอุดรอยรั่วได้เหมือนกัน พร้อมทั้งออกแบบเครื่องมือสำหรับใช้อุดรอยรั่ว เพื่อลดต้นทุนค่าซ่อมรอยรั่วของน้ำได้

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาวิธีการซ่อมรอยรั่วของน้ำด้วยวิธีฉีดซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

1.2.2 เพื่อออกแบบเครื่องมือฉีดซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

1.2.3 เพื่อศึกษาปัญหาและข้อดี-ข้อเสียของการซ่อมด้วยวิธีฉีดซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 จำลองการรั่วซึมของบ่อเก็บน้ำคอนกรีตเพื่อกำหนดขนาดของรอยรั่วของน้ำและออกแบบส่วนผสมระหว่างซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ น้ำยาประสานคอนกรีต และน้ำ

1.3.2 พัฒนาเครื่องมือการฉีดซีเมนต์เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน

1.3.3 ตรวจสอบความสามารถในการอุดรอยรั่วของน้ำ ด้วยวิธีการฉีดซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่สามารถนำมาใช้งานจริงและทำการเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสีย

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.4.1 ได้วิธีซ่อมรอยรั่วของน้ำด้วยการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ สามารถลดค่าใช้จ่ายได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.4.2 ได้เครื่องมือใหม่ ที่ออกแบบให้เหมาะสมกับการทำงานภาคสนาม เคลื่อนย้ายสะดวก ราคาไม่แพง

1.4.3 ได้ทราบถึงข้อดี-ข้อเสียของการซ่อมรอยรั่วของน้ำด้วยวิธีฉีดซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เพื่อนำไปพัฒนาทำแผนการใช้ประโยชน์ในเชิงธุรกิจ

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ศึกษาการซ่อมรอยรั่วของน้ำ ด้วยวิธีฉีดซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Poartland cement injection) เป็นการพัฒนากรรมวิธีในการซ่อมรอยรั่ว ด้วยเครื่องมือที่ออกแบบให้มีความสะดวกและเป็นทางเลือกใหม่ โดยการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ นำมาใช้เป็นวัสดุอุดรอยรั่ว เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมรอยรั่ว สามารถนำไปพัฒนาเป็นธุรกิจการซ่อมรอยรั่วในอนาคตได้

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ซีเมนต์ (cement) เป็นสารเคมีหรือวัสดุเซรามิกส์ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาทางเคมีเกิดการรวมตัวกันระหว่างอนุภาคเกิดเป็นโครงสร้างที่ใหญ่ขึ้น ซึ่งปฏิกิริยาเคมีที่พบ คือ ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (hydration) หรือซีเมนต์อาจหมายถึงสารที่สามารถยึดหรือประสานของแข็งให้เกิดเป็นชิ้นเดียวกัน กลุ่มของวัสดุ ที่มีสมบัติเหมือนซีเมนต์ที่สำคัญมี 3 กลุ่มคือ ปูนซีเมนต์ ปูนปลาสเตอร์ และปูนขาว (อนันต์ภักดิ์ โชติมงคล , 2538) โดยปูนซีเมนต์เป็นกลุ่มที่สำคัญมากในการนำไปใช้งานด้านการก่อสร้างที่ทำหน้าที่เป็นวัสดุเชื่อมประสาน

ประเภทของปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์แบ่งเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 3 ประเภท ได้แก่ ปูนซีเมนต์ธรรมชาติ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และปูนซีเมนต์ชนิดอื่น ๆ โดยปูนซีเมนต์แต่ละชนิดมีลักษณะ สมบัติ และความเหมาะสมต่อการใช้งานตามรายละเอียดดังต่อไปนี้ (ประณต กุลประสูตร,2536; สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์, ม.ป.ป.)

1. ปูนซีเมนต์ธรรมชาติ

ปูนซีเมนต์ธรรมชาติ เป็นปูนซีเมนต์ที่ได้จากการเผาซีเมนต์ธรรมชาติ หรือหินซีเมนต์ (cement rock)โดยตรง ผลิตโดยนำหินปูนซีเมนต์ไปเผาให้ใกล้ถึงจุดหลอม (sintering) และนำไปบดให้ละเอียด ซีเมนต์ชนิดนี้สามารถแข็งตัวได้เร็วมาก โดยเฉพาะในน้ำ จึงไม่เหมาะที่จะใช้ทำงานคอนกรีตเสริมเหล็ก แต่เหมาะที่จะใช้ทำงานคอนกรีตล้วน เช่นสร้างทำนบ ฐานราก เป็นต้น ซีเมนต์ชนิดนี้เดิมมีการผลิตกันในประเทศสหรัฐอเมริกา แต่ในปัจจุบัน ไม่นิยมผลิตจะมีบ้างที่เป็นอุตสาหกรรมขนาดย่อมเท่านั้น เนื่องจากไม่ค่อยนิยมใช้เพราะมีสมบัติไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับสมบัติของหินซีเมนต์

2. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นซีเมนต์ที่ใช้กันแพร่หลายมาก ที่มีชื่อเรียกเช่นนี้เพราะทำขึ้นได้ก่อน ณ เมืองปอร์ตแลนด์ ประเทศอังกฤษ ซีเมนต์ชนิดนี้มีสารประกอบรวมกันอยู่หลายชนิดแต่มีสารประกอบพื้นฐาน 4 ชนิดคือ

ไตรแคลเซียมซิลิเกต (tricalcium silicate, $3CaO . SiO_2$) แทนด้วยสัญลักษณ์ C_3S

ไดแคลเซียมซิลิเกต (dicalcium silicate, $2CaO . SiO_2$) แทนด้วยสัญลักษณ์ C_2S

ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต (tricalcium aluminate, $3CaO . Al_2O_3$) แทนด้วยสัญลักษณ์ C_3A

เตตระแคลเซียมเฟอร์โรอะลูมิเนต (tetracalcium ferro aluminate, $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$) แทนด้วยสัญลักษณ์ C_4AF

สัญลักษณ์ที่ใช้แทนสารประกอบดังกล่าวนี้ถูกกำหนดขึ้นโดย สมาคมซีเมนต์ (Cement Association) ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ที่ผลิตมีสองสี คือสีเทาและสีขาว สีเทาเกิดจากสารพวกเหล็กและแมงกานีสออกไซด์ ถ้ามีสารทั้งสองชนิดนี้มากจะมีสีเข้ม สำหรับสีขาวหรือซีเมนต์ขาว (white Portland cement) จะมีเหล็กออกไซด์น้อยกว่าร้อยละ 0.5 และแมงกานีสออกไซด์น้อยกว่าร้อยละ 0.02 จำนวนร้อยละของสารประกอบแต่ละชนิดที่เป็นสารประกอบพื้นฐานนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงตามแต่ชนิดของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่จำแนกตามมาตรฐานของสมาคมทดสอบวัสดุอเมริกัน (ASTM) เป็น 4 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่

2.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์รหัส ซี – 150 (C – 150 Portland cement) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทนี้ เป็นปูนซีเมนต์ที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปมากที่สุดในปัจจุบัน จำแนกออกได้เป็น 5 ประเภทคือ

2.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Type – I normal Portland cement หรือ standard Portland cement หรือ ordinary Portland cement หรือ OPC) จัดเป็นปูนซีเมนต์มาตรฐานที่เหมาะสำหรับงานก่อสร้างทั่วไปที่ไม่ต้องการสมบัติพิเศษนอกเหนือไปกว่าธรรมดา ส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้กับงานคอนกรีตเสริมเหล็ก เช่น งานก่อสร้างคานคอนกรีต ทางเท้า ถนน อาคาร สะพาน ถังน้ำ บ่อน้ำ ท่อระบายน้ำ และอื่น ๆปูนซีเมนต์ประเภทนี้ ไม่เหมาะกับงานที่ต้องสัมผัสกับซัลเฟต จากดินหรือน้ำและไม่ทนทานต่อปฏิกิริยาเคมี

2.1.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Type – II modified Portland cement หรือ moderate heat Portland cement หรือ MHPC) เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ดัดแปลงให้มีความต้านทานต่อซัลเฟต ปานกลาง ความร้อนที่เกิดขึ้นจาก

ปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำจะต่ำกว่าและเพิ่มไดช้ากว่าประเภทแรก ดังนั้นจึงสามารถช่วยลดอุณหภูมิ ของคอนกรีตในอากาศร้อนได้ดี ปูนซีเมนต์ประเภทนี้เหมาะสมกับการใช้งานที่เป็นโครงสร้างขนาดใหญ่ เช่น ตอม่อขนาดใหญ่ สะพานเทียบเรือ เขื่อนหรือกำแพงกันดินในบริเวณที่สัมผัสน้ำเค็มเป็นครั้งคราว

2.1.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เกิดแรงสูงเร็ว (Type –III high – early strength Portland cement หรือ rapid hardening Portland cement หรือ RHC หรือ HESC) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทนี้ เนื้อปูนจะบดละเอียดกว่าปูนซีเมนต์แบบธรรมดา เป็นผลทำให้แข็งตัวและรับแรงได้เร็วกว่าแบบธรรมดา แต่จะต้องบ่มให้ดี โดยปกติจะสามารถรับแรงได้เมื่อคอนกรีตมีอายุเพียงประมาณ1ถึง3วัน จึงนิยมนำไปใช้กับงานเร่งด่วน ที่ต้องทำแข่งกับเวลา หรือในกรณีที่ต้องการถอดหรือรื้อแบบเร็วกว่าปกติ นอกจากนั้นยังนิยมนำไปใช้กับงานที่จำเป็นต้องทำในช่วงอากาศหนาวเย็นเนื่องจากคอนกรีตจะแข็งตัวก่อนที่น้ำซึ่งใช้ผสมจะแข็งตัวเสียก่อนและขณะเกิดปฏิกิริยาจะมีความร้อนสูง (heat of hydration) เพราะความร้อนนี้เอง จึงไม่เหมาะสมกับการก่อสร้างที่มีขนาดใหญ่ (mass concrete)

2.1.4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เกิดความร้อนต่ำ (Type – IV low – heat Portland cement หรือ LHC) จัดเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่เหมาะกับงานซึ่งต้องการควบคุมทั้งปริมาณและอัตราความร้อนให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด การเกิดกำลัง (strength) ของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ประเภทนี้จะเป็นไปอย่างช้า ๆ จึงนิยมนำไปใช้กับงานขนาดใหญ่ เช่น เขื่อนกั้นน้ำซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นในคอนกรีตถ้ามากเกินไปจะเป็นอันตรายอย่างมากกับตัวเขื่อน เนื่องจากจะทำให้เกิดการแตกหรือร้าวได้ แต่ในระยะยาว ความแข็งของคอนกรีตจะมีเท่ากับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาและทนทานต่อสารเคมีมากกว่า

2.1.5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต้านทานซัลเฟตได้สูง (Type – V Sulphate resistance Portland cement หรือ SRC) จัดเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่มีสมบัติในการต้านทานซัลเฟตได้สูงจึงเหมาะที่จะใช้กับงานก่อสร้างในบริเวณที่มีการสัมผัสกับซัลเฟตที่เข้มข้น เช่น ในบริเวณดินหรือน้ำที่มีความเป็นด่างสูง ระยะเวลาในการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ประเภทนี้จะช้ากว่า

ประเภทอื่นๆในการผสมไม่ควรใช้น้ำที่มีสารแคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride, CaCl2) หรือเกลือเพราะจะทำให้คอนกรีตไม่ทนต่อซัลเฟต

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แต่ละประเภทจะมีปริมาณสารประกอบพื้นฐานทั้ง 4 ชนิดต่างกันตามตารางที่ 2.1 ดังนี้คือ

ตารางที่ 2.1 ปริมาณสารประกอบพื้นฐานของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แต่ละประเภทและการใช้งาน

มาตรฐาน ASTM	ชนิด	องค์ประกอบ (%)				การใช้งาน
		C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	
I	ปกติ	49	25	12	8	โครงสร้างทั่วไป เช่น ทางเดินเท้า ถนน สะพาน
II	ดัดแปลง	46	29	6	12	ต้านทานซัลเฟตได้ดี ใช้ทำฐานราก ระบบท่อส่งน้ำ
III	เกิดแรงสูงเร็ว	56	15	12	8	ให้กำลังสูงหลังการหล่อและใช้งานได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ
IV	เกิดความร้อนต่ำ	30	46	5	13	แข็งตัวช้า ใช้งานหล่อโครงสร้างขนาดใหญ่ เช่นทำเขื่อน
V	ต้านทานซัลเฟต	43	36	4	12	ใช้ก่อสร้างอาคารหรือท่าเทียบเรือชายฝั่ง

ที่มา : วินิต ช่อวิเชียร (2539)

โดยทั่วไปแล้วกำลังของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์จะสูงขึ้นเมื่อมีปริมาณของไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) สูงขึ้นและถ้ามีการบ่ม (curing) กำลังก็จะเกิดขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึง 6 เดือนส่วนไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) เป็นตัวช่วยให้การทำปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ในระยะเวลานาน ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต (C_3A) เป็นตัวช่วยให้ซีเมนต์เกิดกำลังขึ้นได้ในระยะแรกตั้งแต่ซีเมนต์ถูกน้ำและจะมีปฏิกิริยารวดเร็วต่อสารซัลเฟต จึงควรมีเพียงเล็กน้อย เตตระแคลเซียมเฟอร์โรอะลูมิเนต (C_4AF) เป็นตัวที่ช่วยให้ซีเมนต์เกิดกำลังได้ก่อนคล้ายกับไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3A)

ตารางที่ 2.2 เกณฑ์คุณสมบัติทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตามมาตรฐาน มอก. 15 –2514

ส่วนประกอบทางเคมี มอก.	ประเภทหนึ่ง	ประเภทสอง	ประเภทสาม	ประเภทสี่	ประเภทห้า
1. ซิลิกอนไดออกไซด์ ต่ำสุดร้อยละ		21.0	-	-	-
2. อะลูมิเนียมออกไซด์ สูงสุดร้อยละ		6.0	-	-	-
3. เฟอร์ริกออกไซด์ สูงสุดร้อยละ	-	6.0	-	6.5	-
4. แมกเนเซียมออกไซด์ สูงสุดร้อยละ	-	5.0	5.0	5.0	5.0
5. ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ สูงสุดร้อยละ	-				
5.1 เมื่อมี $3CaO.Al_2O_3$ ร้อยละ 8 หรือน้อยกว่า	5.0	3.0	3.5	2.3	2.3
5.2 เมื่อมี $3CaO.Al_2O_3$ มากกว่าร้อยละ 8	3.0 3.5	-	4.5	2.3	-

ที่มา : กระทรวงอุตสาหกรรม (2532)

หมายเหตุ ประเภทที่ 1 ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา

ประเภทที่ 2 ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง

ประเภทที่ 3 ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เกิดแรงสูงเร็ว

ประเภทที่ 4 ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เกิดความร้อนต่ำ

ประเภทที่ 5 ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต้านทานซัลเฟตได้สูง

ตารางที่ 2.3 ระยะเวลาการก่อตัวสำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ชนิดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	ระยะเวลาเริ่มก่อตัวเสร็จ (นาที)	ระยะเวลาการก่อตัวเสร็จ
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา	110 – 162	240
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เกิดแรงสูงเร็ว	97 – 100	149
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต้านทานซัลเฟตได้สูง	154	202
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เกิดความร้อนต่ำ	157	253

ที่มา : สุพัตรา จินาวัฒน์ และพิบูลย์ จินาวัฒน์ (2539)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กักอากาศ (air-entraining Portland cement) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทนี้ ผลิตขึ้นตามมาตรฐานของสมาคมทดสอบวัสดุอเมริกัน รหัส ซี – 175 มีสมบัติหลักเหมือนกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท I, II และ III รหัส ซี – 150 ตามลำดับโดยใช้วัตถุดิบที่มีสมบัติในการกักอากาศปริมาณเล็กน้อยเติมเข้าไปและบดร่วมกับปูนเม็ดในระหว่างการผลิต ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทนี้เหมาะกับงานคอนกรีตในบริเวณที่มีอากาศหนาวจัดหรือมีหิมะเพราะคอนกรีตทนต่ออากาศหนาวซึ่งมีผลมาจากการใช้น้ำผสมน้อยกว่าปกติ ทำให้ลดการแตกร้าวจากการขยายตัวของน้ำในคอนกรีต ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่าได้ คอนกรีตที่ทำมาจากปูนซีเมนต์ประเภทนี้จะมีฟองอากาศขนาดเล็ก ที่แยกตัวออกจากกันอย่างสมบูรณ์กระจายกันอยู่อย่างสม่ำเสมอทั่วแท่งคอนกรีต แต่ปัจจุบันไม่นิยมใช้โดยจะใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาผสมกับตัวผสมให้มีสมบัติตามต้องการ ซึ่งสะดวกกว่าในการควบคุมการลดหรือเพิ่มปริมาณฟองอากาศ

2.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เตาถลุง (Portland blast – furnace slag cement หรือ PBFSC) ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ผลิตขึ้นตามมาตรฐานของสมาคมทดสอบวัสดุอเมริกัน รหัส ซี –205 สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือประเภท IS ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เตาถลุง (Portland blast – furnace slag cement) และประเภท ISA ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เตาถลุงกักอากาศ (air–entraining Portland blast–furnace slag cement) ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ผลิตได้โดยการใช้ตะกรันของโลหะที่หลอมเหลว ผ่านเข้าไปในน้ำเย็น ความเย็นจากน้ำจะทำให้ตะกรันของโลหะเปลี่ยนสภาพเป็นเม็ดเล็กๆเม็ดเหล่านี้ เมื่อแห้งแล้วนำไปบดผสมกับปูนซีเมนต์ธรรมดาโดยใช้ตะกรันไม่เกินร้อยละ 65 สแลกซีเมนต์ชนิดนี้มีระยะก่อตัวและเย็นตัวช้ามาก มีความถ่วงจำเพาะต่ำ ทนสารเคมีได้ดี จึงเหมาะสำหรับงานคอนกรีตที่ต้องการน้ำหนัก ต้องการปริมาตรมากกว่าความแข็งแรง และงานที่ต้องสัมผัสกับปฏิกิริยาเคมีต่างๆ

2.4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน (Portland Pozzolana cement หรือ Pozzolanic cement หรือ PPC) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทนี้ผลิตขึ้นตามมาตรฐานของสมาคมทดสอบวัสดุอเมริกัน รหัส ซี – 340 จำแนกออกได้เป็น 2 ประเภทคือ ประเภท IP ได้แก่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน (Portland Pozzolana cement) และประเภท IPA ไดแก่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานกักอากาศ (air

– entraining Portland Pozzolana cement) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทนี้ได้จากการนำเอาปอซโซลาน (Pozzolan) ซึ่งเป็นเถ้าภูเขาไฟที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติหรือที่ทำขึ้น โดยใช้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 40 บดผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบธรรมดา ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้กับงานโครงสร้างใต้น้ำทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม เช่น งานสะพาน เขื่อน หรือท่าเทียบเรือ เนื่องจากสามารถทนทานต่อการกัดกร่อนของซัลเฟตได้ดีพอสมควรและเกิดความร้อนต่ำขณะเกิดปฏิกิริยา

3. ซีเมนต์ประเภทอื่น ๆ

นอกจากปูนซีเมนต์ประเภทต่าง ๆ ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ยังมีปูนซีเมนต์อีกหลายประเภทซึ่งถูกนำมาใช้กับงานพิเศษต่าง ๆ แต่ละประเภทจะมีส่วนผสมตลอดจนวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์แตกตางกันออกไปเพื่อที่จะให้มีสมบัติตามความต้องการ ซึ่งปูนซีเมนต์ประเภทต่าง ๆ เหล่านี้ได้แก่

3.1 ปูนซีเมนต์ผสม (mixed cement) หรือที่เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าปูนซีเมนต์ซิลิกา (silica cement)ได้จากการนำทรายหรือหินปูนบดละเอียดผสมเข้ากับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบธรรมดาในอัตราส่วนประมาณร้อยละ 25 – 30 เพื่อเพิ่มปริมาณให้มากขึ้นและราคาถูกลงปูนซีเมนต์ประเภทนี้มีคุณภาพค่อนข้างต่ำจึงเหมาะกับงานที่ไม่สำคัญและงานที่ไม่ต้องการรับแรงมากนัก เช่น งานคอนกรีตเทพื้นบนดินถมอัดซึ่งมิได้มีการถ่ายเทน้ำหนักไปสู่โครงสร้างส่วนอื่นๆกระเบื้องมุงหลังคาโอ่ง ท่อระบายน้ำหรือถังส้วมเป็นต้น และเนื่องจากมีสมบัติแข็งตัวช้าและไม่ยืดตัวหรือหดตัวมากนักจึงนิยมนำไปใช้กับงานปูนก่อปูนฉาบและปูนตกแต่งทั่ว ๆ ไป เพราะจะสามารถช่วยลดการแตกร้าวของผิวลงได้

3.2 ไฮด์อะลูมินาซีเมนต์ (high alumina cement) ซีเมนต์ชนิดนี้ได้จากการเผาส่วนผสมของอะลูมินา (alumina) บอกไซต์ (bauxite) และหินปูน ที่อุณหภูมิประมาณ 1,450 องศาเซลเซียส แล้วบดเม็ดปูนเมื่อเย็นตัว ซึ่งส่วนผสมมีดังนี้

แคลเซียมออกไซด์ ร้อยละ 35 – 42

อะลูมิเนียมออกไซด์ ร้อยละ 38 – 48

ซิลิกอนไดออกไซด์ ร้อยละ 3 – 11

เฟอร์ริกออกไซด์ ร้อยละ 2 – 15

ไฮด์อะลูมินาซีเมนต์นี้ มีสมบัติพิเศษคือจะมีความแข็งแกร่งได้อย่างรวดเร็ว (early strength สูงและเร็ว) เพราะมี C_3A และ C_4AF ในส่วนผสมมากกว่าร้อยละ 40 แต่ถึงจะแข็งแรงได้

รวดเร็วก็จะต้องมีการบ่มด้วยน้ำอย่างน้อย 24 ชั่วโมง ไม่เช่นนั้นคอนกรีตจะแตกร้าว เพราะมีความร้อนขณะเกิดปฏิกิริยาสูงและรวดเร็ว (high heat and high rate of hydration) นอกจากสมบัติดังกล่าว ซีเมนต์ชนิดนี้ทนการกัดกร่อนของซัลเฟตได้ดีมาก และทนอุณหภูมิต่ำได้ดีกว่าซีเมนต์ธรรมดา แต่มีข้อระวัง คือถ้าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเกิน 25 องศาเซลเซียส ซีเมนต์อาจเกิดการพรุนตัวและเปราะได้ง่าย

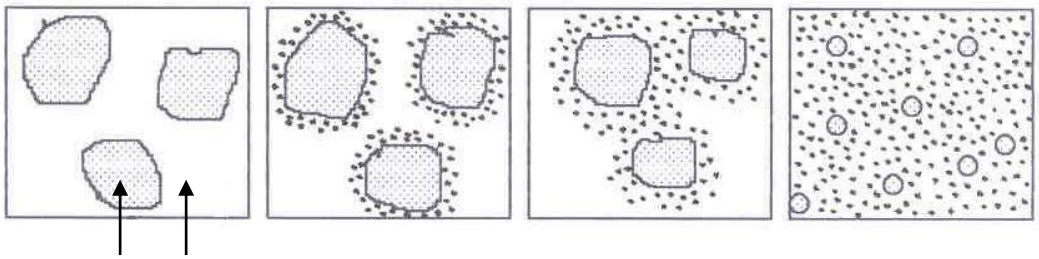
3.3 ซีเมนต์ขาว (white cement หรือ WC) เป็นซีเมนต์สำหรับงานก่อสร้าง ตกแต่งอาคารและผนังอาคาร ทำเส้นแบ่งช่องในสนามบิน และทำผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เช่น กระเบื้อง -หลังคา หินขัด หินล้าง ซีเมนต์ชนิดนี้ มีวิธีการผลิตเช่นเดียวกับปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ชนิดธรรมดา เพียงแต่กำจัดพวกเหล็กและแมงกานีสออกไซด์ออกไป

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นขณะผสมซีเมนต์เพื่อใช้งาน

ในขณะผสมซีเมนต์กับน้ำ จะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่าง องค์ประกอบของซีเมนต์กับน้ำ โดยปฏิกิริยาที่สำคัญ คือสารประกอบไตรแคลเซียม อะลูมิเนต (C_3A) จะทำปฏิกิริยาไฮเดรชันกับน้ำก่อน และทำให้เกิดเป็นสารข้นแข็งคล้ายวุ้น แต่สารประกอบชนิดนี้ไม่ช่วยให้คอนกรีตมีกำลังและหลังจากที่เกิดสารข้นแข็งไปแล้วนาน 2 – 3 ชั่วโมง ไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) จะเริ่มมีปฏิกิริยาและแข็งตัวบ้างสารชนิดนี้มีผลทำให้คอนกรีตมีกำลังในระยะแรกคือหลังจากที่ผสมแล้ว 14 วัน (เฉลียว โพธิพิรุฬห์, ม.ป.ป.)

สาระสำคัญที่ทำปฏิกิริยาอย่างช้า ๆ ก็คือไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) เป็นสาระสำคัญ ที่ทำให้คอนกรีต แข็งแรงขึ้นในระยะ 14 – 28 วัน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้ จะทำให้เกิดความร้อนในตัวของคอนกรีตอย่างมาก ถ้าเป็นสิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่ เช่นเขื่อน ซึ่งใช้งานคอนกรีตเป็นจำนวนมากนั้น จะต้องมีวิธีการ สำหรับระบายความร้อนออกจากเนื้อคอนกรีต ถ้าไม่มีการระบายความร้อน อาจทำให้เนื้อคอนกรีตมีรอยแตกร้าวได้

ปฏิกิริยาไฮเดรชัน จะเริ่มทำให้ผิวนอกของคอนกรีตแข็งตัวก่อน ส่วนเนื้อคอนกรีตภายในจะแข็งตัวภายหลัง และถึงแม้ว่าน้ำที่ผสมคอนกรีตจะแห้งแล้วก็ตาม ปฏิกิริยาก็ยังคงดำเนินต่อไป เพราะซีเมนต์จะรับโมเลกุลของน้ำในอากาศเข้าไปทำปฏิกิริยาอีก ระยะนี้จะเป็นระยะสำคัญของคอนกรีตมาก จึงจำเป็นต้องทำการบ่มโดยการให้น้ำกับคอนกรีต เช่นถ้าเป็นคานหรือเสาก็จะใช้กระสอบชุบน้ำให้ชุ่มคลุมไว้จนกว่าจะได้ที่ หากไม่บ่มด้วยน้ำแล้วซีเมนต์จะทำปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์

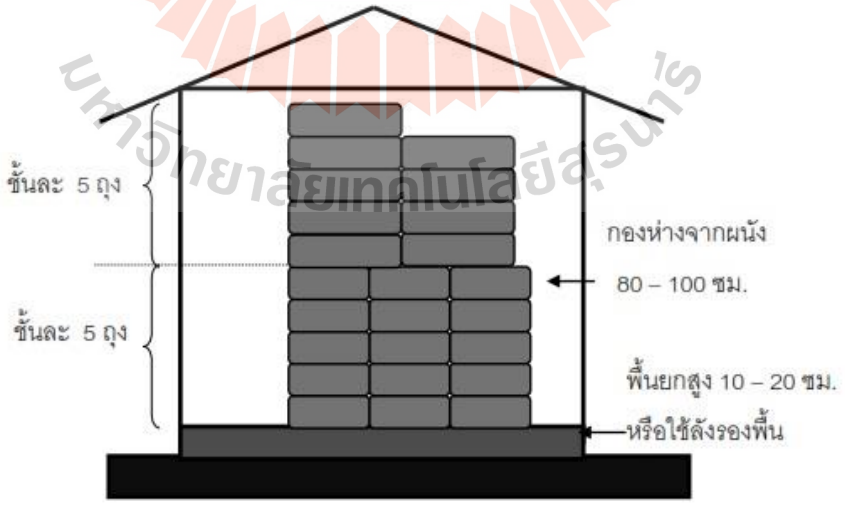


รูปที่ 2.1 การเกิดปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ

ที่มา : สุพัตรา จินาวัฒน์ และพิบูลย์ จินาวัฒน์ (2539)

การเก็บรักษาปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์จะต้องเก็บรักษาไว้เป็นอย่างดีในสถานที่ซึ่งสามารถป้องกันความชื้นและน้ำได้ การเก็บปูนซีเมนต์ไว้ในยุ้งหรือถังเก็บจะต้องมีการตรวจสภาพของยุ้งหรือถังเก็บให้ดีอย่าให้ความชื้นหรือน้ำเข้าไปได้ ส่วนปูนซีเมนต์ที่บรรจุถุงนอกจากจะเก็บไว้ในโรงเรือนหรืออาคารที่ปิดมิดชิดเพื่อป้องกันความชื้นและน้ำให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้แล้ว ถุงปูนซีเมนต์ควรวางชิดกันให้มากที่สุดเพื่อไม่ให้อากาศผ่านได้ พื้นควรทำเป็นพื้นคอนกรีตหรือพื้นไม้ยกระดับให้สูงจากพื้นดินเล็กน้อยทั้งนี้ก็เพื่อป้องกันมิให้ ปูนซีเมนต์รับความชื้นจากพื้นดินอันจะทำให้ปูนซีเมนต์เสื่อมคุณภาพเร็วขึ้น การเก็บรักษาปูนซีเมนต์ แสดงได้ดังภาพที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การเก็บรักษาปูนซีเมนต์

ที่มา : วินิต ช่อวิเชียร (2539)

น้ำยาประสานคอนกรีต

เพื่อช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวให้คอนกรีตใหม่และคอนกรีตเก่า สำหรับงานที่ใช้กับบ่อเก็บน้ำ ควรเลือกดูสูตรทางเคมีว่ามีผลทำให้น้ำเป็นพิษหรือไม่ นอกจากนี้ควรเลือกส่วนผสมที่มีสารประกอบแคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride) จะทำให้ส่วนผสมซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวได้เร็วขึ้น

คุณสมบัติของของไหล

ความหนาแน่น (density, สัญลักษณ์: ρ) เป็นอัตราส่วนของมวลต่อปริมาตรของสาร ในระบบ S.I. มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามสมการ (ธัญดร ออกวะลา , 2553)

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad \text{.....(2.1)}$$

โดยที่

ρ คือ ความหนาแน่นของวัตถุ (หน่วย กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

m คือ มวลรวมของวัตถุ (หน่วย กิโลกรัม)

V คือปริมาตรรวมของวัตถุ (หน่วย ลูกบาศก์เมตร)

– น้ำที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่น 1,000 kg/m^3 ใช้เป็นค่ามาตรฐาน

ความหนาแน่นสัมพัทธ์ หมายถึง อัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของสารนั้นกับความหนาแน่นของน้ำ

$$\text{ความหนาแน่นสัมพัทธ์} = \frac{\text{ความหนาแน่นของสาร}}{\text{ความหนาแน่นของน้ำ}} \qquad \text{.....(2.2)}$$

แรงดัน หรือ ความดัน คือ ขนาดของแรงดันที่กระทำตั้งฉากต่อพื้นที่หนึ่งหน่วย

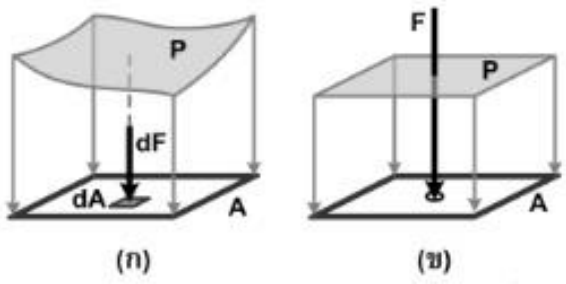
ถ้าให้ F คือ แรงดัน (N) , A คือ พื้นที่ (m^2) , P คือ ความดัน (N/m^2)

จะได้สมการ

$$P = \frac{F}{A} \qquad \text{.....(2.3)}$$

ความดันเป็นปริมาณสเกลาร์ มีหน่วย นิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2) หรือพาสคัล (Pa)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



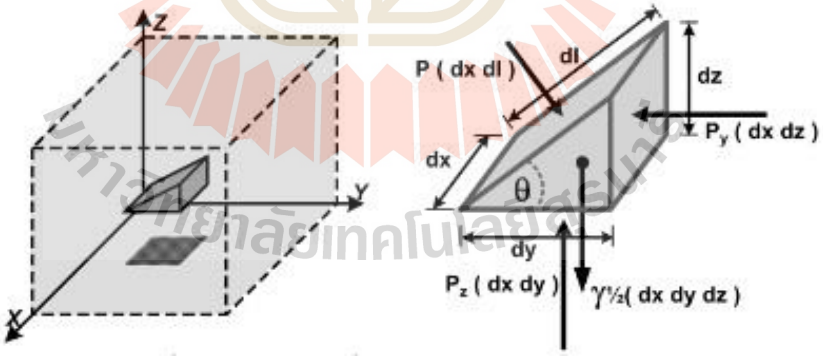
รูปที่ 2.3 แรงดันที่กระทำต่อก้นภาชนะ

ที่มา : ธัญดร ออกวะลา (2553)

แรงดันน้ำที่กระทำต่อก้นภาชนะซึ่งบรรจุน้ำลึก h มีพื้นที่ก้นภาชนะ A หาแรงดันได้จากผลคูณระหว่างความดันที่ก้นภาชนะกับพื้นที่ก้นภาชนะ

จะได้สมการ

$$F = \frac{1}{2}\rho g l h^2 \qquad \text{.....(2.4)}$$



รูปที่ 2.4 แรงต่าง ๆ ที่กระทำกับก้อนของของไหล

ที่มา : ธัญดร ออกวะลา (2553)

คุณสมบัติของแรงดันและความดันในของเหลว

1. ของเหลวที่บรรจุอยู่ในภาชนะ จะออกแรงดันต่อผนังภาชนะ ที่สัมผัสกับของเหลวในทุกทิศทาง โดยจะตั้งฉากกับผนังภาชนะเสมอ
2. ทุก ๆ จุดในของเหลว จะมีแรงดันกระทำต่อจุดนั้นทุกทิศทุกทาง

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุรชัย สุทธิธรรมมา (2549) ได้ศึกษาความสามารถ ในการต้านทานการซึมผ่านของน้ำในคอนกรีตผสมเส้นใยภายหลังรับแรงกระทำ ในงานวิจัยนี้ ศึกษาคุณสมบัติในด้านความสามารถในการต้านทานการซึมผ่าน ของ FRC เปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมเส้นใย โดยเปรียบเทียบทั้งในสภาวะที่ไม่มีแรงกระทำ และสภาวะหลังรับแรงกระทำ เส้นใยที่นำมาใช้มี 2 ชนิด คือ เส้นใยเหล็ก (Steel Fiber) และเส้นใยโพลีโพรพิลีน (Polypropylene Fiber) โดยแปรผันสัดส่วนผสมที่ 0.5% และ 1.0% โดยปริมาตรแรงกระทำที่ใช้ในการทดสอบเป็นแรงอัดที่ 25%, 50% และ 75% ผลการศึกษาพบว่า ในสภาวะที่ไม่มีแรงกระทำ คอนกรีตที่ไม่ได้ผสมเส้นใยมีความสามารถในการต้านทานการซึมผ่าน ดีกว่า คอนกรีตผสมเส้นใยทั้ง 2 ชนิด แต่เมื่อพิจารณาในสภาวะหลังรับแรงกระทำ พบว่า คอนกรีตผสมเส้นใยทั้ง 2 ชนิดให้ผลการทดสอบที่ต่างกัน โดยการผสมเส้นใยเหล็กให้ผลการทดสอบเป็นไปตามที่คาดไว้ คือ มีผลทำให้ความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านของคอนกรีตดีกว่าคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมเส้นใย ในขณะที่การผสมเส้นใยโพลีโพรพีลีนกับมีผลทำให้ความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านของคอนกรีตด้อยกว่าคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมเส้นใย ทั้งนี้เนื่องจากเส้นใยโพลีโพรพีลีนที่นำมาใช้เป็นเส้นใยขนาดเล็ก จึงไม่สามารถต้านทานรอยร้าวที่เกิดขึ้นในเนื้อคอนกรีตได้ และยังพบว่าการผสมเส้นใยเหล็กในปริมาณ 0.5% โดยปริมาตรมีผลทำให้คอนกรีตมีความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านดีกว่าการผสมเส้นใยเหล็กในปริมาณ 1.0% โดยปริมาตร ในสภาวะหลังรับแรงกระทำ

Henk M.Jonkers and Erick Schlangen (2008) ได้ศึกษาการพัฒนาคอนกรีตบำบัดตนเองด้วยแบคทีเรีย โครงสร้างคอนกรีตมักจะมีความสามารถในการบำบัดตนเองบางส่วน เช่น ความสามารถในการรักษาหรือปิดผนึกใหม่ เนื่องจากการมีอนุภาคปูนซีเมนต์ส่วนเกินที่ไม่ผ่านการเติมไฮโดรเจน ทำปฏิกิริยากับน้ำจึงเกิดการปิดผนึก ในโครงการวิจัยพัฒนาคอนกรีตชนิดใหม่ที่แบคทีเรียก่อตัวเป็นตัวกลางในการผลิตแร่ธาตุที่ผนึกรอยแตกได้อย่างรวดเร็วพร้อมลดการซึมผ่านของน้ำ จึงช่วยป้องกันการกัดกร่อนของเหล็ก ผลการเริ่มต้นแสดงให้เห็นว่าสารตั้งต้นของเร่อินทรีย์ที่เฉพาะเจาะจงและแบคทีเรีย (Alkaliphilic) เป็นตัวทำละลาย ได้ผลิตแคลไซด์แคลเซียมขนาด 100 ไมครอน สามารถเข้าไปอุดรอยแตกขนาดเล็กหรือขนาดใหญ่ได้

Daisuke Homma et. al. (2009) ศึกษาความสามารถในการรักษาด้วยตนเองของไฟเบอร์ซีเมนต์เสริมใยแก้ว (FRCC) คุณสมบัติทางกลและสมมติฐานของรอยแตกในไฟเบอร์ซีเมนต์เสริมใยแก้ว ตัวอย่างของไฟเบอร์ซีเมนต์เสริมใยแก้ว สามชนิดประกอบด้วย (1) Polyethylene fiber(PE), (2)Steel Cord fiber(SC), (3) Hybrid fibers composite (PE and SC) โดยการนำตัวอย่างที่มีรอยแตกมาทดสอบความตึงเครียดถูกเก็บรักษาไว้ในน้ำเป็นเวลา 28 วันเพื่อดูความสามารถในการรักษาตนเอง ซึ่งสังเกตได้จากกล้องจุลทรรศน์ การทดสอบความสามารถในการซึมผ่านของน้ำและการวิเคราะห์ภาพอิเล็กตรอนย้อนหลัง พบว่า เส้นใย PE ที่มีเส้นใยละเอียดมากๆ มีการตกผลึกของผลิตภัณฑ์ติดกับเส้นใย PE เป็นผลให้การซึมผ่านของน้ำลดลง เพิ่มความสามารถในการับแรงดึง ดังนั้นสรุปได้ว่า ปริมาณเส้นใย PE มีผลอย่างมากต่อการการรักษาตนเอง

เกียรติศักดิ์ โพธิ์จันทร์ (2552) ได้ศึกษาซีเมนต์กันซึมโดยใช้โซเดียมซิลิเกตเป็นส่วนประกอบ พบว่าด้วยส่วนผสมของ โซเดียมซิลิเกตต่อซีเมนต์เพสต์ต่อน้ำ อัตราส่วนที่ 1 คือ 1:2.5:5 และอัตราส่วนที่ 2 คือ 1:2.5:7 พบว่า ซีเมนต์เพสต์และโซเดียมซิลิเกตอัตราส่วนที่ 1 มีค่าการดูดซึมน้ำจากการบ่มที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 33.522 % มากกว่าซีเมนต์เพสต์และโซเดียมซิลิเกตอัตราส่วนที่ 2 ที่มีค่าการดูดซึมน้ำจากการบ่มที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 16.176 % และในด้านของกำลังอัด พบว่า มอร์ต้าในอัตราส่วน ที่ 1 และในอัตราส่วนที่ 2 มีค่าการรับกำลังอัดใกล้เคียงกันและการทดสอบการเปรียบเทียบความเหมาะสมของซีเมนต์เพสต์และ โซเดียมซิลิเกตการดูดซึมน้ำจากการบ่มก้อนตัวอย่างที่อายุ 28 วัน

สมบูรณ์ พันเลิศจำนรรจ์ และสุชาติ เอื้อไตรรัตน์ (2556) ศึกษาแถบทึบน้ำเพื่อป้องกันการรั่วซึมน้ำใต้ดิน โดยการฉีดสารละลายของโซเดียมซิลิเกตกับซีเมนต์ผงที่ผสมกันเป็นซีเมนต์เพสต์ลงในชั้นทรายหยาบที่ใส่ลงในระหว่างช่องว่างของผนังชั้นใต้ดินที่ก่อสร้างกับชั้นดินเดิม เพื่อให้ส่วนผสมเข้าอุดช่องว่างของชั้นทราย เพื่อป้องกันน้ำใต้ดินและความชื้นจากชั้นดินเดิม แทรกเข้าสู่ผนังชั้นใต้ดินที่สร้างขึ้น การวิจัยได้ทำการหาสัดส่วนที่เหมาะสมที่จะสามารถผสมและอัดลงสู่ชั้นทรายได้ ระหว่างโซเดียมซิลิเกต : ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิดที่ 1: น้ำ และได้ทำการทดลองการอัดโดยใช้แบบจำลองเสมือนจริง ในการศึกษาเกี่ยวกับค่าความชื้นและการดูดซึมน้ำของ มอร์ต้า ผลการวิจัยได้ว่า อัตราส่วนผสมระหว่างโซเดียมซิลิเกต : ซีเมนต์: น้ำ เท่ากับ 1:2:5:7 ส่วนค่าความชื้นและการดูดซึมน้ำ ของมอร์ต้าก่อนการบ่มน้ำมีค่าความชื้นและการดูดซึมน้ำที่ผิวภายในและภายนอก เท่ากับ 14.4 % ส่วนอายุบ่มที่ 7 วัน ผิวภายใน เท่ากับ 13.8% และภายนอกเท่ากับ 25.3% และอายุบ่มที่ 10 วัน ผิวภายในเท่ากับ 13.2 % และภายนอกเท่ากับ 25.8% สรุป ความชื้นและการดูดซึมน้ำภายในลดลง ส่วนภายนอกจะเพิ่มขึ้นเพราะเป็นผิวที่สัมผัสน้ำโดยตรง แสดงว่าความชื้นจากภายนอก นั้นไม่สามารถซึมผ่านเข้าถึงภายในได้

จากผลงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมดจะพบว่าเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตเพียงอย่างเดียว ยังไม่มีการวิจัยใดทำการทดลองการซ่อมรอยรั่วของน้ำ โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนี้จะศึกษาวิธีการทำให้คอนกรีตมีความทึบน้ำเพื่อป้องกันน้ำซึมผ่านได้ โดยใช้สารละลายโซเดียมซิลิเกตและการผสมเส้นใยรับแรงเป็นวัสดุในการปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีต ซึ่งเป็นแนวความคิดให้ผู้วิจัยได้ค้นหาวัสดุที่นำมาผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เพื่อทำให้แห้งเร็วสามารถต้านทานการรั่วซึมของน้ำได้ โดยได้ค้นพบผลิตภัณฑ์ที่มีสารประกอบของแคลเซียมซิลิเกตในน้ำยาประสานคอนกรีต ซึ่งจะช่วยให้เร่งปฏิกิริยาไฮเดรชันช่วยให้ซีเมนต์เพสต์แข็งตัวเร็วขึ้น จึงนำมาเป็นส่วนประกอบในการผสมซีเมนต์เพสต์ ประกอบกับมีผลการวิจัยการที่ใช้อ้างอิงเกี่ยวกับการรักษารอยแตกร้าวด้วยตนเอง เนื่องจากอนุภาคของซีเมนต์ส่วนเกินที่ไม่ผ่านการเติมไฮโดรเจนทำปฏิกิริยากับน้ำจึงเกิดการปิดผนึก นั่นหมายความว่า ปูนซีเมนต์ซึ่งมีสารประกอบของแคลเซียมซิลิเกตสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำ สามารถอุดรอยแตกร้าวขนาดเล็กได้ หากเราสังเกตตามถังเก็บน้ำคอนกรีตเก่าจะพบว่ามีคราบขาวเกิดขึ้นที่รอยรั่วซึมของน้ำ เมื่อปล่อยทิ้งไว้เป็นระยะเวลานาน การรั่วซึมก็จะหยุดเองแต่จะพบว่ามีคราบปูนหนาสีขาวมาปิดแทน นั่นจึงเป็นที่มาของการคิดค้นสูตรการผสมซีเมนต์เพสของงานวิจัยนี้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิธีการซ่อมรอยรั่วของบ่อเก็บน้ำคอนกรีต วัสดุที่ใช้ซ่อมรอยรั่วประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์,น้ำยาประสานคอนกรีตและน้ำ โดยนำมาผสมรวมกันตามอัตราส่วนและฉีดซีเมนต์เพสต์เข้าไปอุดรอยรั่วด้วยเครื่องมือฉีดซีเมนต์เพสต์ที่ออกแบบไว้สำหรับการซ่อมรอยรั่ว

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.15
2. น้ำยาประสานคอนกรีต
3. น้ำ ใช้น้ำประปา
4. เครื่องมือฉีดปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

3.2 รายละเอียดการศึกษา

เป็นการศึกษาวิธีการซ่อมรอยรั่วของบ่อเก็บน้ำคอนกรีตด้วยวิธีการฉีดปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แทนการใช้สารโพลียูรีเทรนโฟม ซึ่งมีราคาค่าซ่อมรอยรั่วสูง โดยต้องออกแบบอัตราส่วนผสมวัสดุอุดประสานคอนกรีตและเครื่องมือการฉีดปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

3.2.1 กำหนดวัตถุประสงค์

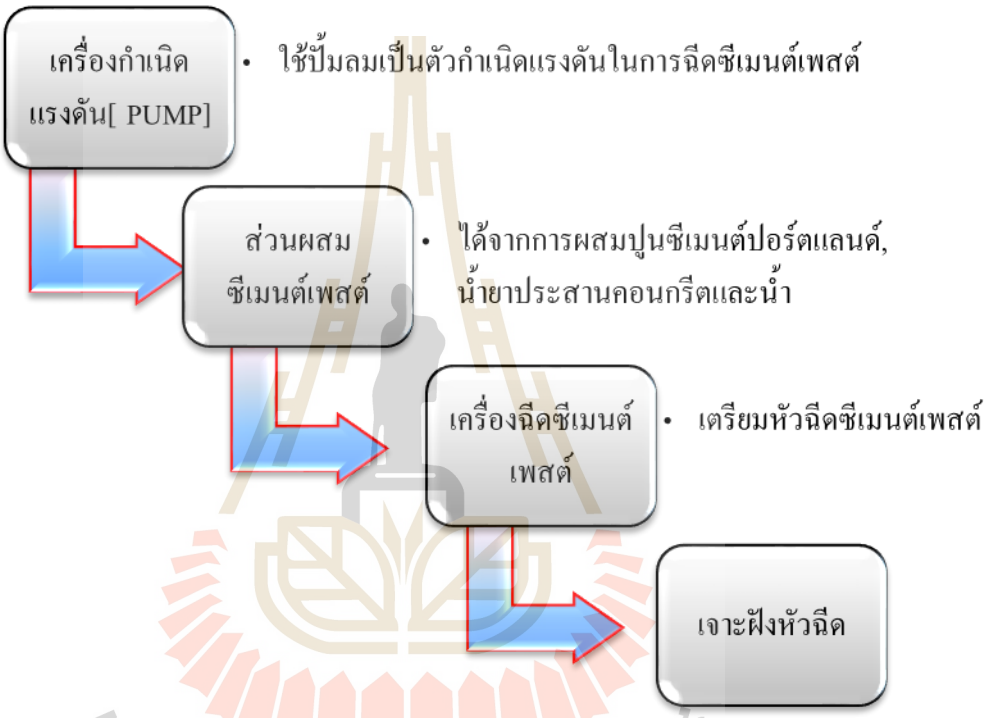
ศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ซ่อมรอยรั่วของบ่อเก็บน้ำคอนกรีตเพื่อช่วยในการลดต้นทุนในการก่อสร้าง พร้อมทั้งออกแบบเครื่องมือในการซ่อมให้ง่ายต่อการใช้งาน

3.2.2 การเตรียมตัวอย่างและการทดลอง

1. การออกแบบเครื่องอัดฉีดซีเมนต์เพสต์

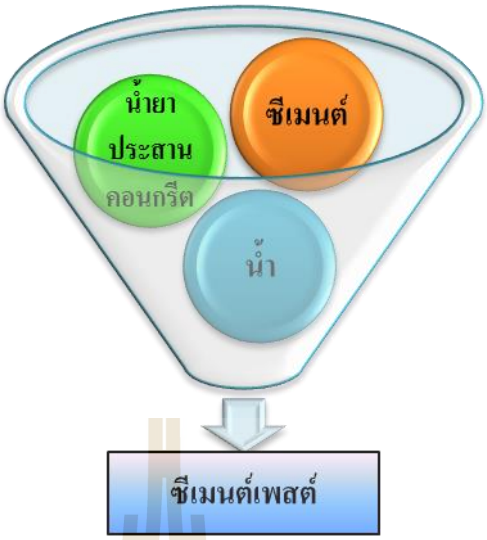
จากสมการที่ (4) หน้า 14 สามารถนำมาออกแบบเป็นเครื่องฉีดซีเมนต์เพสต์ได้ตามแผนผัง ดังนี้

เครื่องฉีดซีเมนต์เพสต์ใช้หลักการทำงานของแรงดันลมสู้กับแรงดันน้ำ โดยใช้เครื่องกำเนิดแรงดัน เป็นปั๊มลมขนาดความจุถัง 30 ลิตรเพื่อความสะดวกในการขนย้าย ปั๊มลมให้แรงดัน 6-8 บาร์ ต่อเข้ากับชุดฉีดซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เป็นกระบอกรับซีเมนต์เพสต์ความจุ 600 มิลลิลิตร มีวาล์วเปิดปิดสำหรับควบคุมการไหลของซีเมนต์เพสต์ ต่อสายฉีดเข้ากับหัวฉีดที่ฝังอยู่ในคอนกรีตโดยการใช้พุกยางเป็นตัวยึดเกาะหัวฉีด



รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการออกแบบเครื่องฉีดซีเมนต์เพสต์

ซีเมนเพสต์ได้จากการผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์,น้ำยาประสานคอนกรีตและน้ำเข้าด้วยกัน จากนั้นนำไปใส่ในเครื่องฉีดซีเมนต์เพสต์ สำหรับการออกแบบอัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์,น้ำยาประสานคอนกรีตและน้ำ จะใช้อัตราส่วน 3:1:1 โดยปริมาตร (ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 3 ส่วน:น้ำยาประสานคอนกรีต 1 ส่วน:น้ำ 1 ส่วน) เป็นอัตราส่วนเริ่มต้นความข้นเหลวของซีเมนต์เพสต์ ทำการปรับเพิ่มหรือลดความข้นเหลวของซีเมนต์เพสต์ด้วยการปรับเพิ่มหรือลดปริมาณของน้ำเพื่อให้ซีเมนต์เพสต์มีความสามารถในการไหล



รูปที่ 3.2 แผนผังขั้นตอนการผสมซีเมนต์เพสต์

การประกอบเครื่องฉีดซีเมนต์เพสต์ จากแผนผังการออกแบบ โดยใช้ชุดปั้มลมขนาดเล็กและชุดฉีดซีเมนต์เพสต์ ดังรูปที่ 3.3 ต่อเข้ากับหัวฉีดเพื่อฉีดซีเมนต์เพสต์เข้าไปในรอยรั่วคอนกรีต

รูปที่ 3.3 การประกอบเครื่องฉีดซีเมนต์เพสต์

2. การออกแบบตารางการทดลอง

เป็นการทดลองหาความสัมพันธ์ของขนาดรอยรั่วในคอนกรีตมีผลต่อการอุดรอยรั่วของซีเมนต์เพสหรือไม่ เมื่อกำหนดให้แรงดันน้ำคงที่ โดยกำหนดขนาดรอยรั่วในการทดลอง 3 ขนาด ดังนี้ รอยรั่วที่มีขนาดน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร,รอยรั่วที่มีขนาดระหว่าง 1-2 มิลลิเมตรและรอยรั่วที่มีขนาดระหว่าง 2-3 มิลลิเมตร ใช้แท่งทดสอบตัวอย่างขนาดละ 3 ตัวอย่าง ใช้อัตราส่วนการผสมซีเมนต์เพสต์ 3 สูตร ที่มีความข้นเหลวต่างกันโดยให้ปรับเพิ่มหรือลดปริมาณน้ำเป็นหลัก โดยให้อัตราส่วนของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และน้ำยาประสานคอนกรีตคงที่ ผลที่ได้ดังเช่นตัวอย่างในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ผลการทดลองการฉีดซีเมนต์เพสต์

ขนาดรอยรั่วคอนกรีต (mm.)	**แท่งปูนเลขที่**	**ส่วนผสมซีเมนต์เพสต์**			**ผลการทดลอง**	**หมายเหตุ**
		สูตรที่ 1	**สูตรที่ 2**	**สูตรที่ 3**		
1<รอยร้าว	1	☒	☐	☐	อุดรอยรั่วได้ผล	ใช้แรงดันน้ำในการทดลอง H = 7.00 ม.
	2	☒	☐	☐	อุดรอยรั่วได้ผล	
	3	☒	☐	☐	อุดรอยรั่วได้ผล	
1≤ รอยร้าว<2	4	☐	☒	☐	อุดรอยรั่วได้ผล	
	5	☐	☒	☐	อุดรอยรั่วได้ผล	
	6	☐	☒	☐	อุดรอยรั่วได้ผล	
2≤รอยร้าว≤3	7	☐	☐	☒	อุดรอยรั่วได้ผล	
	8	☐	☐	☒	อุดรอยรั่วได้ผล	
	9	☐	☐	☒	อุดรอยรั่วได้ผล	

สัดส่วนการผสมซีเมนต์เพสต์

1. สูตรที่ 1: ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 150 ml+น้ำยาประสานคอนกรีต 50 ml+น้ำ 80 ml
2. สูตรที่ 2: ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 150 ml+น้ำยาประสานคอนกรีต 50 ml+น้ำ 70 ml
3. สูตรที่ 3: ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 150 ml+น้ำยาประสานคอนกรีต 50 ml+น้ำ 50 ml

3.2.3 ขั้นตอนการซ่อมรอยรั่ว

มีขั้นตอนการซ่อมอยู่ 7 ขั้นตอน ตามรูปที่ 3.5 แสดงแผนผังขั้นตอนการซ่อมรอยรั่ว โดยการจำลองขนาดของรอยรั่วในแท่งคอนกรีตตัวอย่างและจำลองความลึกของบ่อเก็บน้ำโดยใช้ท่อพีวีซีใส่น้ำมีความสูงเท่ากับระดับน้ำสูงสุด ติดตั้งหัวฉีดในคอนกรีตและทำการผสมซีเมนต์เพสต์ตามอัตราส่วน ทำการฉีดใส่รอยรั่ว แล้วสังเกตผลการอุดรอยรั่ว หลังการฉีดเสร็จแล้ว 3 นาที

รูปที่ 3.5 แผนผังขั้นตอนการซ่อมรอยรั่ว

ขั้นตอนการซ่อมรอยรั่ว

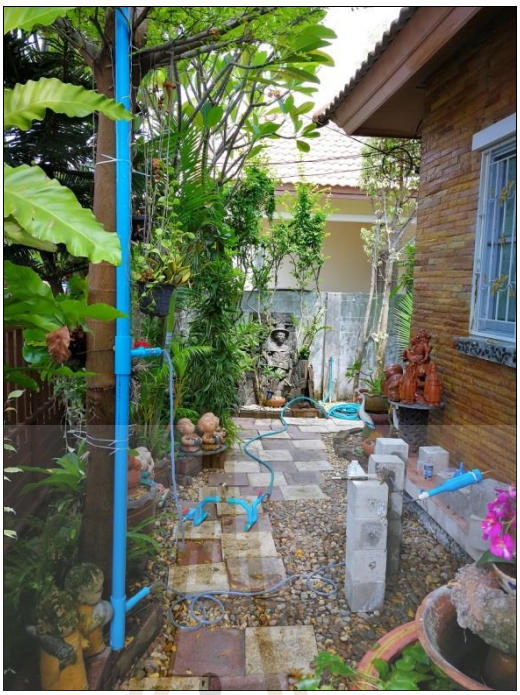
1. จำลองขนาดรอยรั่วในแท่งคอนกรีตตัวอย่าง โดยกำหนดให้ขนาดของรอยรั่วมี 3 ขนาด คือขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร, ขนาดอยู่ระหว่าง 1-2 มิลลิเมตรและขนาด

อยู่ระหว่าง 2-3 มิลลิเมตร เมื่อทดลองปล่อยน้ำที่ระดับน้ำสูงสุด พบว่าขนาดของรอยรั่วที่ใหญ่จะมีแรงดันน้ำมากกว่ารอยรั่วที่มีขนาดเล็ก ซึ่งความข้นเหลวของซีเมนต์เพสต์อาจต้องปรับใช้ให้เหมาะสมกับแรงดันน้ำเพื่อที่จะสามารถใช้อุดรอยรั่วของน้ำได้

การจำลองรอยรั่วทำได้อย่างไรถึงจะรู้ว่าขนาดของรอยรั่วเป็นไปตามข้อกำหนดที่ออกแบบการทดลองไว้ ผู้ทำวิจัยมีวิธีควบคุมดังนี้คือการใช้เส้นเอ็นเป็นตัวกำหนดขนาดของรอยรั่วทั้งสามขนาด โดยทำการเจาะรูที่แท่งคอนกรีตตัวอย่าง ให้ขนาดรูเจาะมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 12 มิลลิเมตร ทำความสะอาดรูเจาะด้วยน้ำสะอาด ใส่เส้นเอ็นตามขนาดที่ออกแบบเข้าไปในรูเจาะและใช้ดินน้ำมันทำการอุดรูเจาะไว้ด้านหนึ่ง ทำการผสมปูนยืดหดตัวต่ำเทปิดรูเจาะ ข้อควรระวังของขั้นตอนนี้คือ การควบคุมให้เส้นเอ็นตรง ปล่อยให้ปูนซีเมนต์แห้ง 1 วัน จึงทำการดึงเอาเส้นเอ็นออก ทำความสะอาดรูและทดสอบรอยรั่วด้วยการฉีดน้ำเข้าไปในรูแล้วสังเกตการไหลของน้ำ หากรูรั่วที่ทำไว้ตันต้องเตรียมตัวอย่างใหม่

รูปที่ 3.6 จำลองขนาดรอยรั่วในแท่งคอนกรีต

2. จำลองความลึกสูงสุดในบ่อเก็บน้ำโดยใช้ท่อพีวีซี เพื่อควบคุมแรงดันน้ำให้คงที่ เนื่องจากการทดลองในสถานที่จริงไม่สามารถทำได้เพราะสภาพของรอยรั่วมีรูปแบบกรณีศึกษาน้อย ดังนั้นผู้ทำการวิจัยจึงได้ออกแบบวิธีการทดลองโดยกำหนดสถานการณ์การเกิดรอยรั่ว 3 แบบ ดังที่กล่าวไว้ข้างต้นและจำลองให้ระดับน้ำมีแรงดันคงที่เหมือนสภาพหน้างานจริง โดยออกแบบใช้ท่อพีวีซีรับน้ำให้มีระดับเท่ากับความลึกของบ่อเก็บน้ำ แล้วปล่อยน้ำเข้าสู่แท่งปูนตัวอย่างด้วยแรงดันเท่ากับสภาพของบ่อน้ำจริง



รูปที่ 3.7 จำลองความลึกสูงสุดในบ่อเก็บน้ำโดยใช้ท่อพีวีซี

3. เตรียมเครื่องฉีดซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ตามรูปที่ 3.3 หน้า 18 สำหรับชุดฉีดซีเมนต์เพสต์ทำจากอุปกรณ์และท่อพีวีซี ชั้นคุณภาพ 13.5 นำมาประกอบใส่จุกเพื่อรับลมจากปั๊มและใส่บอลวาล์วเพื่อควบคุมการไหลของซีเมนต์เพสต์

รูปที่ 3.8 ชุดฉีดซีเมนต์เพสต์

4. ติดตั้งหัวฉีดซีเมนต์เพสต์ในแท่งคอนกรีต หัวฉีดซีเมนต์เพสต์ทำมาจากวัสดุทองเหลือง ติดตั้งเข้ากับปลอกยางเพื่อใช้เป็นพุกยึดหัวฉีดเข้ากับคอนกรีต

รูปที่ 3.9 การติดตั้งหัวฉีดซีเมนต์เพสต์

5. ผสมซีเมนต์เพสต์ตามอัตราส่วนที่กำหนด โดยใช้สว่านไฟฟ้า ปั่นส่วนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน เตรียมเทใส่ชุดฉีดซีเมนต์เพสต์

รูปที่ 3.10 การผสมซีเมนต์เพสต์

6. ฉีดซีเมนต์เพสด้วยเครื่องฉีดซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยเมื่อเตรียมแท่งคอนกรีตตัวอย่างเสร็จแล้ว จึงเริ่มทำการทดสอบด้วยการผสมซีเมนต์เพสต์และเทเข้ากระบอกพีวีซีทำการเปิดวาล์วลมเข้าสู่ชุดฉีดซีเมนต์เพสต์ ปล่อยน้ำจากจุดกำเนิดแรงดันที่จำลองไว้สู่แท่งคอนกรีตตัวอย่างน้ำจะไหลผ่านรูรั่วที่เตรียมไว้ออกสู่อีกด้านหนึ่ง ทำการต่อสายฉีดซีเมนต์เพสต์เข้ากับหัวฉีดที่ฝังอยู่ในคอนกรีตแล้ว

ทำการเปิดหรี่บอลวาล์วสังเกตการไหลของซีเมนต์เพสต์ ทำการปิดบอลวาล์ว ปล่อยให้ซีเมนต์เพสต์ก่อตัว 3 นาที

รูปที่ 3.11 ฉีดซีเมนต์เพสต์โดยใช้เครื่องฉีดซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

7. สังเกตการรั่วซึมหลังฉีดซีเมนต์เพส 3 นาที โดยการเปิดวาล์วตรวจสอบการไหลซึมของน้ำ สังเกตจากการไหลของซีเมนต์เพสต์ หากซีเมนต์เพสต์ไม่ไหลออกมาแสดงว่าสามารถอุดรอยรั่วของน้ำได้ แต่หากซีเมนต์เพสต์ยังไหลออกมาแสดงว่าน้ำยังสามารถซึมผ่านออกมาได้ให้ทำการฉีดซีเมนต์เพสต์ซ้ำเข้าไปใหม่แล้วปล่อยให้ ซีเมนต์เพสต์ก่อตัวและสังเกตการรั่วซึมใหม่อีกครั้ง

ข้อควรระวังในการฉีดซีเมนต์เพสต์คือสายฉีดซีเมนต์เพสต์อาจหลุดจากหัวฉีดเนื่องจากแรงดันที่ใช้ฉีด อาจทำให้ซีเมนต์เพสต์กระเด็นเข้าดวงตาหรือกระเด็นถูกส่วนต่าง ๆ ของร่างกายได้ ดังนั้นก่อนลงมือทำการซ่อมจำเป็นต้องสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคลทุกครั้งและบุคคลที่ไม่เกี่ยวข้อง ควรอยู่ให้ห่างจากจุดที่ทำการซ่อมรอยรั่ว ถ้าหากเกิดอุบัติเหตุซีเมนต์เพสต์กระเด็นเข้าดวงตา ต้องรีบล้างออกด้วยน้ำสะอาด หากมีอาการระคายเคืองดวงตาควรรีบไปพบแพทย์ทันที

รูปที่ 3.12 ก. สังเกตการรั่วซึมของน้ำ

รูปที่ 3.12 ข. สังเกตการรั่วซึมของน้ำ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล

งานวิจัยการซ่อมรอยรั่วของน้ำด้วยวิธีฉีดซีเมนต์ปอร์ตแลนด์นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานซ่อมโครงสร้างประเภทอื่น ๆ ได้ดังต่อไปนี้ งานซ่อมรอยรั่วพื้นหรือผนังชั้นใต้ดินเนื่องจากแรงดันของน้ำใต้ดินเช่นงานลานจอดรถชั้นใต้ดินและงานบ่อลิฟต์ ปัญหาที่พบคือ รอยแตกร้าวตามผนังและพื้นคอนกรีตทำให้น้ำซึมเข้ามาภายในลานจอดรถหรือบ่อลิฟต์ได้ งานซ่อมรอยร้าวของหลังคาคอนกรีตที่เป็นงานเทคอนกรีตในที่เนื่องจากรอยแตกร้าวจะไม่ขยายตัวเพิ่มมากขึ้นเหมือนพื้นคอนกรีตที่วางด้วยแผ่นพื้นสำเร็จรูป เป็นต้น สำหรับผลการวิจัยนี้ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

4.1 ผลการศึกษา

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการฉีดซีเมนต์เพสต์ซ่อมรอยรั่วของน้ำ

ขนาดรอยรั่วคอนกรีต (mm.)	แท่งปูนเลขที่	ส่วนผสมซีเมนต์			ผลการทดลอง	หมายเหตุ
		สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3		
1<รอยร้าว	1	☒	☐	☐	อุดรอยรั่วได้ผล	ใช้แรงดันน้ำในการทดลอง H = 7.00 ม.
	2	☒	☐	☐	อุดรอยรั่วได้ผล	
	3	☒	☐	☐	อุดรอยรั่วได้ผล	
1≤ รอยร้าว<2	4	☐	☒	☐	อุดรอยรั่วได้ผล	
	5	☐	☒	☐	อุดรอยรั่วได้ผล	
	6	☐	☒	☐	อุดรอยรั่วได้ผล	
2≤รอยร้าว≤3	7	☐	☐	☒	อุดรอยรั่วได้ผล	
	8	☐	☐	☒	อุดรอยรั่วได้ผล	
	9	☐	☐	☒	อุดรอยรั่วได้ผล	

อัตราส่วนการผสมวัสดุในงานวิจัย

1. สูตรที่ 1: ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 150 ml+น้ำยาประสานคอนกรีต 50 ml+น้ำ 80 ml
2. สูตรที่ 2: ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 150 ml+น้ำยาประสานคอนกรีต 50 ml+น้ำ 70 ml
3. สูตรที่ 3: ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 150 ml+น้ำยาประสานคอนกรีต 50 ml+น้ำ 50 ml

4.1.1 วิธีการซ่อมรอยรั่วของน้ำด้วยวิธีฉีดซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่าวิธีการซ่อมรอยรั่วของน้ำด้วยวิธีฉีดซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ สามารถใช้ซ่อมรอยรั่วของน้ำที่มีขนาดต่างๆกันได้ ด้วยการออกแบบอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่อน้ำยาประสานคอนกรีตและน้ำ ใช้อัตราส่วน 3:1:1 โดยปริมาตร (ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 3 ส่วน, น้ำยาประสานคอนกรีต 1 ส่วนและน้ำ 1 ส่วน)

ขนาดของรอยรั่วในคอนกรีตมีผลต่อการเพิ่มแรงดันของน้ำ เมื่อให้ระดับน้ำคงที่ตามความลึกของบ่อน้ำ ดังนั้นการใช้อัตราส่วนการผสมซีเมนต์เพสต์จะมีความแตกต่างกัน โดยรอยรั่วที่มีขนาดใหญ่แรงดันน้ำจะมากอัตราส่วนผสมซีเมนต์เพสต์ต้องมีความข้นเหลวต่ำ เพื่อให้ซีเมนต์เพสต์สามารถก่อตัวได้เร็วขึ้น ส่วนรอยรั่วที่มีขนาดเล็ก แรงดันน้ำจะน้อยแต่ต้องการให้ซีเมนต์เพสต์มีความสามารถในการไหลเข้าไปอุดรอยรั่วได้ อัตราส่วนการผสมต้องให้มีความข้นเหลวมากขึ้น

4.1.2 การออกแบบเครื่องมือฉีดซีเมนต์เพสต์

จากแผนผังขั้นตอนการออกแบบเครื่องฉีดซีเมนต์เพสต์ (ดังรูปที่ 3.1 หน้า 19) สามารถนำมาประดิษฐ์เครื่องมือฉีดซีเมนต์เพสต์ได้ (ตามรูปที่ 3.3 หน้า 20) แบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่หนึ่งเครื่องกำเนิดแรงดันลม เลือกใช้ปั๊มลมขนาดความจุถัง 30 ลิตร เพื่อให้มีน้ำหนักเบา สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก มีขนาดแรงดันใช้งาน 6-8 บาร์ และในส่วนที่สองคือชุดฉีดซีเมนต์เพสต์ ประกอบด้วยกระบอกฉีดซีเมนต์เพสต์ความจุ 600 มิลลิลิตรทำจากอุปกรณ์และท่อพีวีซี ชั้นคุณภาพ 13.5 และต่อเข้ากับหัวฉีดซีเมนต์เพสต์ ที่ฝังยึดในคอนกรีตด้วยพุกยางเพื่อฉีดซีเมนต์เพสต์เข้าไปในรอยรั่ว จากการทดลองสามารถใช้งานได้ดี เนื่องจากมีน้ำหนักเบา สะดวกต่อการทำงานในที่สูง

4.1.3 ข้อดี–ข้อเสียของวิธีฉีดซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ข้อดีของการซ่อมรอยรั่วของน้ำด้วยวิธีฉีดซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ คือสามารถอุดรอยรั่วได้ดี ประหยัดค่าใช้จ่ายในการซ่อมรอยรั่ว เนื่องจากใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และน้ำยาประสานคอนกรีต มีขายตามร้านวัสดุก่อสร้างทั่วไป สามารถจัดซื้ออุปกรณ์ได้ง่าย

ข้อเสียของการซ่อมรอยรั่วของน้ำด้วยวิธีฉีดซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ คือเสียเวลาในการผสมซีเมนต์เพสต์ เนื่องจากการผสมซีเมนต์เพสต์ไม่สามารถทำได้คราวละมากๆ เพราะซีเมนต์เพสต์จะมีอายุการใช้งานประมาณ 10 นาทีก่อนที่จะก่อตัวและเริ่มแข็งตัว ปริมาณการผสมต่อครั้งควรใช้ประมาณ 400 มิลลิลิตร สามารถทำการฉีดซีเมนต์เพสต์ได้ 3-4 รอยรั่ว

4.2 การวิเคราะห์ผล

4.2.1 การออกแบบอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่อน้ำยาประสานคอนกรีตและน้ำ

การใช้น้ำยาประสานคอนกรีต เป็นส่วนผสมเพิ่มระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และน้ำ จะทำให้ได้ซีเมนต์เพสต์ที่มีการก่อตัวและแข็งตัวเร็วขึ้นใช้ในเวลาประมาณ 10 นาที ทั้งนี้เป็นผลมาจากน้ำยาประสานคอนกรีตมีส่วนผสมของสารเคมีจำพวกแคลเซียมซิลิเกต ซึ่งเป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และน้ำ ทำให้เกิดความร้อนสูงการก่อตัวจึงเร็วขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และน้ำตามปกติใช้เวลาก่อตัว 45 นาทีขึ้นไป นำซีเมนต์เพสต์ที่ได้จากการผสมไปฉีดใส่รอยรั่วของน้ำด้วยเครื่องฉีดซีเมนต์เพสต์ โดยซีเมนต์เพสต์จะไหลเข้าไปอุดรอยรั่วในทิศทางต่างๆ และจะเริ่มก่อตัวภายในเวลาประมาณ 3-5 นาที สามารถทำการตรวจสอบผลการอุดรอยรั่วได้ โดยการเปิดวาล์วสังเกตการไหลซึมของซีเมนต์เพสต์ ถ้าหากน้ำยังซึมอยู่ซีเมนต์เพสต์จะไหลย้อนออกมาตามหัวฉีด ให้ทำการฉีดซีเมนต์เพสต์ซ้ำใหม่อีกครั้งแล้วสังเกตผลการซ่อมรอยรั่วใหม่

4.2.2 ขนาดรอยรั่วของคอนกรีตมีผลต่อการผสมอัตราส่วนของซีเมนต์เพสต์

ขนาดรอยรั่วของคอนกรีตจะแปรผันโดยตรงกับแรงดันของน้ำ กล่าวคือที่ระดับความสูงของน้ำเท่ากัน รอยรั่วที่มีขนาดใหญ่กว่าจะมีแรงดันของน้ำที่ซึมผ่านมากกว่ารอยรั่วขนาดเล็ก ทำให้ต้องปรับอัตราส่วนการผสมซีเมนต์เพสต์ให้มีความข้นเหลวต่างกัน โดยถ้าแรงดันของน้ำมากจะใช้ซีเมนเพสต์ที่มีความข้นเหลวต่ำ เพื่อให้สามารถก่อตัวได้เร็วขึ้น เช่นเดียวกันถ้าขนาดรอยรั่วมีขนาดเล็กจำเป็นต้องให้ซีเมนเพสต์ที่มีความข้นเหลวสูง เพื่อให้ซีเมนต์เพสต์สามารถไหลเข้าไปอุดตามรอยรั่วต่างๆได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

ในปัจจุบันนี้สามารถนำเอาเทคโนโลยีมาใช้ควบคุมการผลิตคอนกรีตและพัฒนาให้คอนกรีตสามารถรับกำลังอัดได้สูงขึ้น อย่างไรก็ตามยังมีโอกาสที่คอนกรีตจะเกิดการแตกร้าวเป็นจุดอ่อนให้น้ำสามารถซึมเข้าหรือรั่วออกได้ โดยมีสาเหตุหลายประการ ดังเช่น การแตกร้าวจากอุณหภูมิในการเทคอนกรีตปริมาณมากจะทำให้เกิดความร้อนสูงจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของคอนกรีต การถอดแบบเร็วกว่ากำหนดในขณะที่คอนกรีตกำลังแข็งตัวที่พบเห็นบ่อยเป็นโครงสร้างผนัง คานและท้องพื้น การเทคอนกรีตเป็นชั้นไม่ต่อเนื่องกันใช้เวลาในการเทนาน การควบคุมการจี้คอนกรีตไม่ทั่วถึงทำให้คอนกรีตเป็นโพรง การไม่ทำความสะอาดคราบน้ำมันที่ติดมากับเหล็กเสริมคอนกรีตและเหล็กรัดแบบทำให้น้ำซึมผ่านมาได้ เป็นต้น ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้ล้วนมีผลกระทบต่อการเกิดรอยร้าวในคอนกรีตทั้งสิ้น ดังนั้น งานวิจัยนี้ จึงมีความเหมาะสมกับหน่วยงานก่อสร้างทุกหน่วยงาน ที่จะนำไปใช้แก้ไขความผิดพลาดจากการทำงาน

5.1 สรุปผล

5.1.1 วิธีการซ่อมรอยรั่วของน้ำด้วยวิธีฉีดซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ สามารถใช้อุดรอยรั่วของน้ำได้ โดยการออกแบบส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์, น้ำยาประสานคอนกรีตและน้ำ ในอัตราส่วน 3:1:1 โดยปริมาตร ทำการผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันจะได้เป็นซีเมนต์เพสต์ สามารถนำไปใช้อุดรอยรั่วของน้ำได้ โดยฉีดซีเมนต์เพสต์ด้วยเครื่องมือที่ออกแบบไว้

ขนาดของรอยรั่วมีผลต่อแรงดันน้ำ รอยรั่วที่มีขนาดใหญ่เท่ากับหรือมากกว่า 3 มิลลิเมตรแรงดันของน้ำที่ไหลออกมาจากรอยรั่ว มีความแรงมาก ส่วนรอยรั่วที่มีขนาดเล็กลงมาแรงดันของน้ำที่ไหลออกมาจากรอยรั่วมีความแรงลดลงด้วยเช่นกัน ดังนั้นการใช้อัตราส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์จะใช้ต่างกัน โดยรอยรั่วที่มีขนาดใหญ่ให้ผสมซีเมนต์เพสต์มีความข้นเหลวต่ำ เพื่อต้องการให้ซีเมนต์เพสต์แข็งตัวเร็วขึ้นจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์และน้ำ เมื่อผสมแล้วต้องรีบฉีดให้หมดภายใน 10 นาที เนื่องจากซีเมนต์เพสต์จะแข็งตัวไม่สามารถทำการฉีดได้ ส่วนรอยรั่วที่มีขนาดเล็ก ให้ผสมซีเมนต์เพสต์มีความข้นเหลวสูง เพื่อต้องการให้ซีเมนต์เพสต์มีความสามารถในการไหล สามารถแทรกตัวเข้าไปอุดในรอยร้าวได้ ความข้นเหลวของซีเมนต์เพสต์ใช้การปรับเพิ่มหรือปรับลดปริมาณของน้ำเพียงอย่างเดียว ใช้ปริมาณของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

และน้ำยาประสานคอนกรีตคงที่ในอัตราส่วน 3:1 ทั้งนี้ก่อนเริ่มทำการผสมซีเมนต์เพสต์ ควรเตรียมติดตั้งหัวฉีดซีเมนต์เพสต์ไว้พร้อมกันหลายๆจุด เพื่อไม่ให้เสียเวลาในการซ่อมรอยรั่ว

5.1.2 เครื่องมือฉีดซีเมนต์เพสต์ มีส่วนประกอบ 2 ส่วน โดยส่วนที่หนึ่ง เป็นเครื่องกำเนิดแรงดันลม ออกแบบให้ใช้ปั๊มลม ขนาดความจุ 30 ลิตร มีแรงดัน 6-8 บาร์ เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีขนาดเล็กและมีล้อติดอยู่ที่ฐานถังลม เพื่อความสะดวกต่อการเคลื่อนย้าย ส่วนที่สอง เป็นชุดฉีดซีเมนต์เพสต์ กระบอกฉีดทำจากอุปกรณ์พีวีซี ชั้นคุณภาพ 13.5 รับแรงดันจากปั๊มลม ดันซีเมนต์เพสต์เข้าไปในรอยรั่วคอนกรีต โดยการต่อสายฉีดเข้าหัวฉีดซีเมนต์เพสต์ ที่เจาะฝังในคอนกรีต หัวฉีดนี้ทำมาจากทองเหลืองสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ การควบคุมการไหลของซีเมนต์เพสต์ใช้บอลวาล์วขนาด 1 ½” เป็นตัวควบคุม

5.1.3 ข้อดี–ข้อเสียของวิธีฉีดปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ข้อดีของการซ่อมรอยรั่วของน้ำด้วยวิธีฉีดปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เป็นวิธีที่สามารถลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมรอยรั่วของน้ำได้ เนื่องจากวัสดุที่นำมาใช้เป็นส่วนประกอบในการอุดรอยรั่วสามารถหาได้ง่ายตามร้านวัสดุก่อสร้างทั่วไปและมีราคาถูก เช่น ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 1 ถุง (ถุงละ 50 กิโลกรัม) ราคาขายถุงละ 150 บาท น้ำยาประสานคอนกรีต 1 แกลลอน (แกลลอนละ5 ลิตร) ราคาขายแกลลอนละ 500 บาท เมื่อนำมาผสมรวมกันตามอัตราส่วนที่กำหนดแล้ว สามารถทำการฉีดซ่อมรอยรั่วได้มากกว่า 300 ครั้ง ลักษณะของการอุดรอยรั่วของซีเมนต์เพสต์นั้นจะไม่สามารถอุดรอยรั่วให้หยุดภายในทันที แต่จะรอเวลาก่อตัวให้แห้งประมาณ 3 นาที ให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และน้ำ ถึงแม้ว่ารอยรั่วจะอุดได้แล้ว แต่การทำปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และน้ำนั้นยังคงทำอยู่ต่อไปเรื่อยๆซึ่งจะทำให้รอยร้าวถูกอุดต่อเนื่อง ดังผลงานวิจัยของ (Henk M.Jonkers and Erick Schlangen, 2008) ได้ศึกษาการพัฒนาคอนกรีตบำบัดตนเองด้วยแบคทีเรีย โครงสร้างคอนกรีตมักจะมีความสามารถในการบำบัดตนเองบางส่วน เช่น ความสามารถในการรักษาหรือปิดผนึกใหม่ เนื่องจากการมีอนุภาคปูนซีเมนต์ส่วนเกินที่ไม่ผ่านการเติมไฮโดรเจน ทำปฏิกิริยากับน้ำจึงเกิดการปิดผนึก

เครื่องมือที่ออกแบบสำหรับการฉีดซีเมนต์เพสต์ เป็นเครื่องมือขนาดเล็ก ไม่สิ้นเปลืองค่าไฟฟ้าเนื่องจากปั๊มลมมีระบบตัดไฟอัตโนมัติและมีความเหมาะสมต่อการเคลื่อนย้าย โดยเฉพาะในหน่วยงานก่อสร้าง ที่ต้องขึ้นลงในที่สูงหรือในบ่อน้ำลึก เนื่องจากกระบอกฉีดซีเมนต์เพสต์มีน้ำหนักเบา จึงไม่มีปัญหาสำหรับการพกพา งบประมาณในการจัดซื้ออุปกรณ์ประกอบเครื่องฉีดซีเมนต์เพสต์ราคาไม่แพงสามารถหาซื้อได้ตามร้านวัสดุทั่วไป โดยประกอบไปด้วย ปั๊มลมมีขนาดความจุ 30 ลิตร ราคาประมาณ 3,000 บาท กระบอกฉีดซีเมนต์เพสต์พีวีซีและบอลวาล์ว ราคา

ประมาณ 500 บาท หัวฉีดทองเหลือง 50 ชุด ราคาประมาณ 700 บาท สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ สว่านไฟฟ้าโรตารี่ 1 ตัว ราคาประมาณ 4,500 บาท ดอกสว่านเจาะปูนโรตารี่ขนาด 9,10 มิลลิเมตร ราคาประมาณ 300 บาท รวมทั้งหมดเป็นเงินประมาณ 9,000 บาท

ข้อเสียของการซ่อมรอยรั่วของน้ำด้วยวิธีฉีดปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เสียเวลาในการผสมซีเมนต์เพสต์บ่อยครั้ง เพราะว่าการผสมซีเมนต์เพสต์สามารถทำผสมได้ไม่เกิน 400 มิลลิลิตรต่อครั้ง เนื่องจากซีเมนต์เพสต์จะแข็งตัวก่อน การแข็งตัวของซีเมนต์เพสต์ใช้เวลาประมาณ 10 นาที เมื่อฉีดเสร็จแล้วต้องรอให้ซีเมนต์เพสต์ก่อตัวใช้เวลาประมาณ 3-5 นาที แล้วจึงสังเกตผลการซ่อมได้ ซึ่งมีความแตกต่างกันกับวิธีการฉีดโพลียูริเทรนโฟม โดยโพลียูริเทรนโฟมเมื่อสัมผัสกับน้ำ จะทำปฏิกิริยาขยายตัวทันที สามารถสังเกตผลการซ่อมได้เมื่อฉีดเสร็จในทันที ข้อเสียของการฉีดโพลียูริเทรนโฟม คือไม่สามารถทราบปริมาณการฉีดวัสดุเข้าไปในรอยรั่วได้ ต้องใช้การสังเกตการลอยตัวของโฟม เหนือผิวน้ำ เมื่อฉีดทะลุรอยรั่วของคอนกรีตแล้ว เกิดการสูญเสียปริมาณวัสดุและเพิ่มค่าซ่อม เนื่องจากการว่าจ้างด้วยวิธีนี้ต้องนับจำนวนการใช้โพลียูริเทรนโฟมเป็นกิโลกรัม

5.2 ข้อเสนอแนะ

การซ่อมรอยรั่วของน้ำด้วยวิธีฉีดปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวิธีการซ่อมแบบใหม่ สามารถใช้งานได้จริงและสามารถลดต้นทุนในการซ่อมรอยรั่วได้ ในปัจจุบันผู้ทำการวิจัยยังไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ในเชิงธุรกิจ เนื่องจากเป็นการคิดค้นงานวิจัยเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำงานของผู้วิจัยเองเท่านั้น ซึ่งในอนาคตอันใกล้นี้ ผู้วิจัยมีแนวความคิดที่จะนำเครื่องฉีดปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ไปจดสิทธิบัตรคุ้มครองการประดิษฐ์เครื่องมือ เพื่อนำมาใช้ในการแนะนำการเปิดตัววิธีการซ่อมรอยรั่วแบบใหม่ให้เป็นที่รู้จักก่อน โดยการแนะนำให้เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ นักศึกษาและบุคคลทั่วไปทราบผ่านทางระบบอินเตอร์เน็ต เช่นการใช้สื่อทางสังคมออนไลน์ เป็นต้น

การนำงานวิจัยนี้มาทำประโยชน์ในเชิงธุรกิจ ผู้วิจัยได้มองกลุ่มเป้าหมายไว้ 3 กลุ่ม ดังนี้

1. กลุ่มเจ้าของผลิตภัณฑ์กันซึม กลุ่มเป้าหมายนี้ถึงแม้ว่าจะเป็นกลุ่มที่สามารถคิดค้นสูตรผลิตภัณฑ์ใหม่ๆออกมาแข่งขันกันตลอดเวลาก็ตาม เมื่อทำการพิจารณาถึงลักษณะการใช้งานของผลิตภัณฑ์ที่ถูกผลิตออกมาจำหน่าย ส่วนใหญ่พบว่าเป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่นำไปใช้ในการป้องกันการรั่วซึมของน้ำ ซึ่งหมายถึง การนำผลิตภัณฑ์ไปทำการทาหรือการเคลือบผิว เช่น ซีเมนต์ทากันซึม (Cement Base Coating), อะครีลิคทากันซึม (Acrylic for Waterproofing), แผ่นยางกันซึมเมมเบรน (Waterproof Membrane), พีวีซีกันน้ำ (PVC Water Stop), เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ซ่อมรอยรั่วในปัจจุบันมีเพียงการฉีดโพลียูริเทรนโฟม เท่านั้น

ทางเลือกใหม่ที่ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมรอยรั่วให้กับลูกค้า จะสามารถสร้างความพึงพอใจทำให้ลูกค้ามั่นใจต่อผลิตภัณฑ์อื่นๆของยี่ห้อสินค้านั้นๆได้ ดังนั้นการทำธุรกิจสำหรับช่องทางนี้คือการนำเสนอขายสูตรผลิตภัณฑ์เพื่ออุดรอยรั่วของน้ำด้วยเครื่องฉีดซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ การใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์อุดรอยรั่ว จะมีความคงทนต่อทุกสภาพอากาศ และที่สำคัญคือสามารถลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมได้

2. กลุ่มบริษัทตัวแทนจำหน่ายหรือผู้รับเหมาซ่อมรอยรั่ว ในปัจจุบันมีกลุ่มบริษัทหรือผู้รับเหมาทำระบบกันซึมเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ส่วนใหญ่เป็นตัวแทนให้กับผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในการทำธุรกิจกับกลุ่มนี้ จะเหมือนกับกลุ่มแรก เพียงแต่กลุ่มนี้จะไม่ได้ประโยชน์ทางอ้อมต่อการขายสินค้าหรือผลิตภัณฑ์อื่นๆ
3. กลุ่มบุคคลทั่วไป หรือกลุ่มบริษัททั่วไป อาทิเช่น บริษัทหรือห้างหุ้นส่วนจำกัด ผู้รับเหมา เจ้าของกิจการทั่วไป ในมุมมองของผู้วิจัยกลุ่มธุรกิจกลุ่มนี้ เป็นกลุ่มที่น่าสนใจมากที่สุด เนื่องจากเป็นกลุ่มที่ใหญ่มาก มีกำลังการซื้อมากที่สุด หากสามารถสร้างความเชื่อมั่นในวิธีการซ่อมรอยรั่วให้กับลูกค้า ทำให้ลูกค้าเชื่อว่าวิธีการซ่อมนี้สามารถอุดรอยรั่วได้จริงและลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมรอยรั่วได้ โดยการประชาสัมพันธ์ทางสื่อออนไลน์และสื่อต่าง ๆ การทำธุรกิจกับลูกค้ากลุ่มนี้มีโอกาสประสบความสำเร็จมากที่สุด และในอนาคตวิธีการซ่อมรอยรั่วของน้ำด้วยวิธีการฉีดซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จะได้รับความนิยมเป็นอย่างสูง

การซ่อมรอยรั่วของน้ำด้วยวิธีฉีดปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะได้ผลดี ต้องทำการซ่อมขณะที่มีระดับน้ำสูงสุด ให้ได้แรงดันน้ำสูงที่สุด เพื่อใช้ตรวจสอบผลการซ่อมรอยรั่ว เนื่องจากวิธีการซ่อมนี้เป็นการใช้หลักของแรงดันลมสู้กับแรงดันน้ำ ในขณะที่ทำการเปิดหรี่วาล์วเพื่อปล่อยซีเมนต์เพสต์ให้ทำการสังเกตการไหลของซีเมนต์เพสต์ เพื่อหยุดการฉีด ทั้งนี้ในขณะทำการซ่อมควรสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคลทุกครั้ง เพื่อป้องกันซีเมนต์เพสต์กระเด็นถูกส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย หากกระเด็นเข้าตาให้รีบล้างออกด้วยน้ำสะอาด หากเกิดการระคายเคืองให้รีบไปพบแพทย์ทันที

เอกสารอ้างอิง

เกียรติศักดิ์ โพธิ์จันทร์. (2552). **การศึกษาซีเมนต์กันซึมโดยใช้โซเดียมซิลิเกตเป็นส่วนประกอบ**. คณะวิศวกรรมศาสตร์ และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตอุเทนถวาย.

เฉลียว โพธิพิรุฬห์. (2522). **(ม.ป.ป.), งานปูน – ก่อสร้าง**, กรุงเทพฯ.

ธัญดร ออกวะลา. (2553). **กลศาสตร์ของไหล**. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

ประณต กุลประสูติ. (2536). **เทคนิคงานปูน – คอนกรีต.** พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ .

วินิต ช่อวิเชียร. (2539). **คอนกรีตเทคโนโลยี**. พิมพ์ครั้งที่ 8, กรุงเทพฯ.

สมบูรณ์ พันเลิศจำนรรจ์ และสุชาติ เอื้อไตรรัตน์. (2556**). แถบทึบน้ำเพื่อป้องกันการรั่วซึมน้ำใต้ดิน**. คณะวิศวกรรมศาสตร์ และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตอุเทนถวาย

สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. (2529). (ม.ป.ป.). **วัสดุศาสตร์**. กรุงเทพฯ : เอกสารประกอบการศึกษาวิชาชั้น 461 ภาควิชาช่างปั้นดินเผา คณะวิชาอุตสาหกรรมศิลป์ วิทยาลัยครูพระนคร.

สุพัตรา จินาวัฒน์ และพิบูลย์ จินาวัฒน์. (2539). **Portland Cement and Concrete.** เอกสารประกอบการอบรมผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ เล่ม 1, กรุงเทพฯ: ภาควิชา วัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุรชัย สุทธิธรรมมา. (2549). **ความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านของน้ำในคอนกรีตผสมเส้นใยภายหลังรับแรงกระทำ**. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

อนันตภักดิ์ โชติมงคล. (2538). (มกราคม – เมษายน), **คุณรู้จักเซรามิกส์ดีแค่ไหน**, เซรามิกส์

อุตสาหกรรม กระทรวง. (2532). **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เล่ม 1 : ข้อกำหนดคุณภาพ (มอก. 15 – 2532)**. กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

Daisuke Homma. (2009) . **Self-Healing Capability of Fibre Reinforced Cementitious Composites**. Graduate student, Dept. of Architecture and Building Science, Tohoku University, Japan.

Henk M. Jonkers & Erik Schlangen. (2008). **Development of a bacteria-based self healing concrete**. Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering and GeoSciences/ Microlab, Delft, The Netherlands.

ภาคผนวก ก
รูปภาพการทดสอบรอยรั่วของน้ำโครงการก่อสร้างระบบประปาเขตอุตสาหกรรมโรจนะ เฟส 1, (2548)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ ก.1 โครงสร้างบ่อกรองละเอียด

รูปที่ ก.2 โครงสร้างบ่อกรองละเอียด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ ก.3โครงสร้างบ่อกรองหยาบ

รูปที่ ก.4โครงสร้างบ่อกรองหยาบ

รูปที่ ก.5 เติมน้ำทดสอบบ่อกรองละเอียด

รูปที่ ก.6 ลักษณะน้ำรั่วซึมบ่อกรองละเอียด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ ก.7 ลักษณะน้ำรั่วซึมบ่อกรองละเอียด

รูปที่ ก.8 ลักษณะน้ำรั่วซึมบ่อกรองละเอียด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ ก.9 ลักษณะน้ำรั่วซึมบ่อกรองละเอียด

รูปที่ ก.10 ลักษณะน้ำรั่วซึมบ่อกรองละเอียด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ ก.11 ลักษณะน้ำรั่วซึมบ่อกรองละเอียด

รูปที่ ก.12 ลักษณะน้ำรั่วซึมบ่อกรองละเอียด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ ก.13 ลักษณะน้ำรั่วซึมบ่อรับน้ำดิบ

รูปที่ ก.14 ลักษณะน้ำรั่วซึมบ่อรับน้ำดิบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ ก.15 ลักษณะน้ำรั่วซึมบ่อรับน้ำดิบ

รูปที่ ก.16 ลักษณะน้ำรั่วซึมบ่อรับน้ำดิบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ข
รูปภาพการทดลองวิธีการซ่อมรอยรั่วของน้ำ
ด้วยวิธีฉีดซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ ข.1 เจาะรูแท่งคอนกรีตตัวอย่าง

รูปที่ ข.2 ติดตั้งหัวรับแรงดันจากน้ำ

รูปที่ ข.3 เทปูน Non-Shrink ปิดรูใส่สายเอ็นเป็นตัวกำหนดขนาดรอยรั่ว

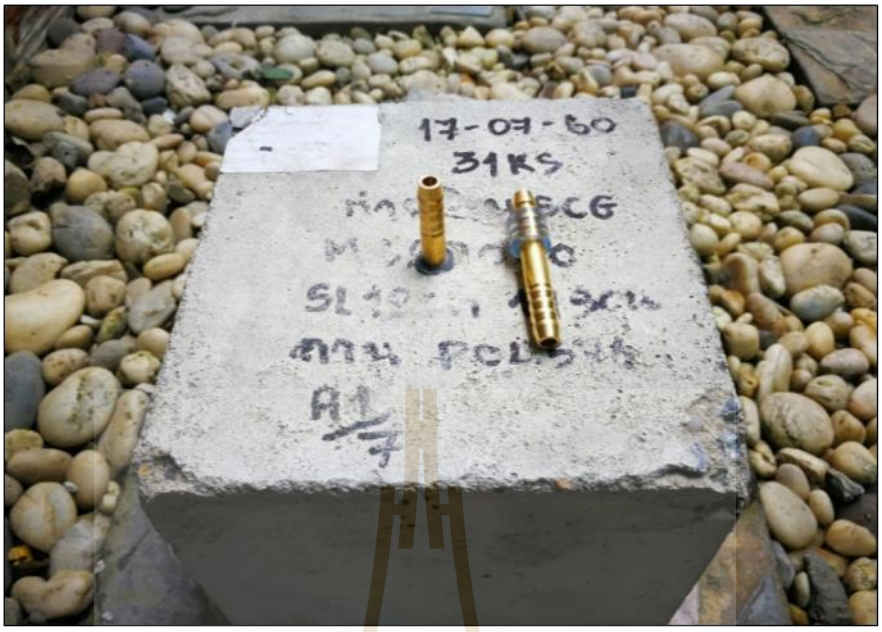
รูปที่ ข.4 เตรียมเครื่องฉีดซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ ข.5 เตรียมชุดวัดแรงดันน้ำ

รูปที่ ข.6 จำลองแรงดันน้ำที่ความลึก 7 เมตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ ข.7 ติดตั้งหัวฉีดซีเมนต์เพส

รูปที่ ข.8 ทดสอบการไหลซึมของน้ำ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ ข.9 ผสมซีเมนต์เพสต์

รูปที่ ข.10 ทดลองฉีดซีเมนต์เพสต์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ ข.11 ทดลองฉีดซีเมนต์เพสต์

รูปที่ ข.12 ผลทดลองสามารถอุดรอยรั่วได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นายทองสุข ภูมิฐาน เกิดเมื่อวันที่ 14 มกราคม 2520 จบการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนเมืองพญาแลวิทยา จังหวัดชัยภูมิ ในปีการศึกษา พ.ศ.2538 จากนั้นได้รับทุนการศึกษาเรียนดี ให้เข้ารับการศึกษาต่อในระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล จังหวัดนครราชสีมา จนสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา พ.ศ. 2542 หลังจากนั้น ได้เข้าทำงานในบริษัทเอกชน เริ่มต้นทำงานครั้งแรกในตำแหน่งโฟร์แมน เพื่อฝึกฝนตนเองให้มีความรู้พื้นฐานสามารถนำไปทำงานร่วมกับวิชาความรู้จริงได้ การที่คนเราอยากมีขีดความสามารถสูงขึ้น จึงจำเป็นต้องเป็นคนขยันใฝ่รู้ ใฝ่เรียน และศึกษาหาความรู้เพิ่มเติมตลอดเวลา นั่นคือคติประจำใจที่ทำให้ผู้เขียนเกิดแรงจูงใจที่จะศึกษาต่อในระดับปริญญาโทด้านวิศวกรรมศาสตร์ เพื่อเป็นการเพิ่มศักยภาพ ความสามารถให้ตนเอง จึงได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (การบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค) สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีในปี พ.ศ.2558

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี