

การศึกษาการป้องกันการรั่วซึมน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จด้วยยางบิวไทล์

นางสาวเพ็ญพิชชา กฤตยากรนงศ์



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

STUDY OF WATER LEAK PREVENTION AT CONNECTIONS OF PRECAST CONCRETE
PANELS WITH BUTYL RUBBER

Miss Penpitcha Krittayakornnupong



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2015

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาการป้องกันการใช้วุ้นน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จด้วยยางบิวไทล์
โดย	นางสาวเพ็ญพิชชา กฤตยากรนุพงษ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. วิฑิต ปานสุข
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ดร. พงศ์ศักดิ์ วิศวกรรมะเดช

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. พูลศักดิ์ เพียรสุด)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. วิฑิต ปานสุข)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(อาจารย์ ดร. พงศ์ศักดิ์ วิศวกรรมะเดช)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. พิชชา จงวิวัฒน์สกุล)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทงพล จารุวิศิษฎ์)

เพ็ญพิชชา กฤตยากรนุพงศ์ : การศึกษาการป้องกันการรั่วซึมน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จด้วยยางบิวไทล์ (STUDY OF WATER LEAK PREVENTION AT CONNECTIONS OF PRECAST CONCRETE PANELS WITH BUTYL RUBBER) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. วิจิต ปานสุข, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: อ. ดร. พงศ์ศักดิ์ วิวรรณะเดช, 217 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาการป้องกันการรั่วซึมน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จด้วยยางบิวไทล์ โดยทำการศึกษาคุณสมบัติของแผ่นยางบิวไทล์ในการกันน้ำซึมผ่านที่รอยต่อคอนกรีต ประดิษฐ์รูปแบบการติดตั้งยางบิวไทล์ที่รอยต่อคำนึงจากความเป็นไปได้ในขั้นตอนการผลิตและการติดตั้งแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ วิเคราะห์หาค่าการเคลื่อนที่แบบสัมพัทธ์ที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จในช่วงการใช้งานด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อเปรียบเทียบค่าความเครียดที่เกิดขึ้นกับค่าความเครียดเนื่องจากการแตกร้าวของคอนกรีต รวมทั้งเปรียบเทียบค่าความเครียดเนื่องจากการหดตัวกับค่าความเครียดเนื่องจากการแตกร้าวของคอนกรีต โดยใช้ค่ามากที่สุดที่ครอบคลุมค่าความเครียดทุกกรณีไปทำการหาค่าการเคลื่อนที่กับตัวอย่างทดสอบการป้องกันการรั่วซึมน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จในระดับห้องปฏิบัติการ จากการศึกษาพบว่ายางบิวไทล์มีคุณสมบัติทางเคมีที่ยึดติดกับคอนกรีตได้เป็นอย่างดี โดยที่ลักษณะความเสียหายของยางบิวไทล์เป็นแบบโคฮีซีฟ ทำให้เมื่อยางบิวไทล์ขาดออกจากกัน สามารถนำมายึดติดกันได้ใหม่ รูปแบบการติดตั้งยางบิวไทล์ที่ประดิษฐ์ขึ้นนั้นสามารถกันน้ำซึมผ่านได้ นอกจากนี้การหาค่าการเคลื่อนที่กับตัวอย่างทดสอบ พบว่าตัวอย่างที่ใช้ยางบิวไทล์เป็นวัสดุกันน้ำมีความสามารถในการช่วยลดรอยร้าวที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จในสภาวะใช้งาน

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2558

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

5670322521 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORDS: WATER LEAK PREVENTION / PRECAST CONCRETE PANELS / PRECAST CONNECTIONS / BUTYL RUBBER

PENPITCHA KRITTAYAKORNNUPONG: STUDY OF WATER LEAK PREVENTION AT CONNECTIONS OF PRECAST CONCRETE PANELS WITH BUTYL RUBBER.
ADVISOR: ASSOC. PROF. WITHIT PANSUK, Ph.D., CO-ADVISOR: PHONGSAK WIWATTANADATE, Ph.D., 217 pp.

In this research, a study of water leakage prevention of precast concrete panel with butyl rubber is introduced. Performance of butyl rubber installed at construction joint of the panel was studied and innovated in consideration of manufacturing possibility and in-site installation. Finite element analysis is used to determine relative displacement at service stage between connections of precast concrete panels and to compare resulting strain from the analysis with cracking strain. In addition, shrinkage strain is also compared with cracking strain. Relative displacement control calculated from maximum strain is applied to the connection of specimens in laboratory. The experimental results show that butyl rubber is well connected with concrete due to chemical bonding, the bonding mechanism failure of rubber is cohesive and can be reattached after the failure. The results also show that the butyl rubber is a water leakage prevention material and is able to reduce cracking of connection of precast concrete panel.

Department: Civil Engineering

Student's Signature

Field of Study: Civil Engineering

Advisor's Signature

Academic Year: 2015

Co-Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วิฑิต ปานสุข อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และอาจารย์ ดร. พงศ์ศักดิ์ วิวรรณเดชะ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่สละเวลาและช่วยเหลือในการให้คำปรึกษา การให้คำแนะนำในการแก้ปัญหาและแนวทางการดำเนินงาน อีกทั้งข้อคิดเห็นที่มีประโยชน์ ทำให้การจัดทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่แนะนำสั่งสอนและให้ความรู้แก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาการศึกษา

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. พูลศักดิ์ เพียรสุขสม ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร. พิชชา จงวิวัฒน์กุล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทรวงพล จารุวิศิษฎ์ ที่กรุณาให้แนวคิดและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ตั้งแต่โครงร่างวิทยานิพนธ์จนดำเนินงานวิจัยแล้วเสร็จ

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจาก "ทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิต" บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ขอขอบคุณบริษัท ฮายาคาว่า จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์วัสดุ และทุนสนับสนุนวิทยานิพนธ์นี้ คุณธนบดี ฤทธิยถาวร ผู้จัดการส่วนวิศวกรรมและออกแบบบริษัทเอสซีจี ซีเมนต์ จำกัด คุณอนุวัฒน์ ต่อณี ผู้ช่วยผู้จัดการใหญ่อาวุโส คุณภณวัฒน์ ศิรินันท์ทวกุล ผู้ช่วยผู้จัดการใหญ่ และคุณบรรหาร สุขสมัย หัวหน้าส่วนวิศวกรรมการผลิต โรงงานพุกซาพีรคาสท์ คอนกรีต ลำลูกกา ที่ให้ความอนุเคราะห์วัสดุและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ และนายสุวัชร ต้นวัฒน์ประทีป วิศวกรเทคนิคบริษัทเอสซีจี ซีเมนต์ จำกัด ที่ให้ความช่วยเหลือในการติดต่อและให้ข้อมูลในการทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณ นายชโนดม หนูแก้ว วิศวกรผู้วางข้อกำหนด และนายนพดล กลิ่นจกกล วิศวกรสนาม บริษัทฮิลติ (ไทยแลนด์) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์วัสดุและติดตั้งอุปกรณ์กับชิ้นส่วนตัวอย่าง และนายอดิศร ชนวนปี เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการหน่วยทดสอบ ภาควิชาวิศวกรรมโยธาที่ช่วยเหลือในการหล่อตัวอย่างคอนกรีตและดำเนินการทดสอบ

ขอขอบคุณ นายธีรภัทร สิงห์ประเสริฐ นายศักรย์เกษม สุวรรณรัตน์ และเพื่อนนิสิตปริญญาโท ที่ให้คำปรึกษา ช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจ

สุดท้ายนี้กราบขอบพระคุณบิดา มารดา และน้ำ ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่ให้ความอุปการะ และเป็นกำลังใจแก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.5 แนวทางดำเนินงานวิจัย.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ยางบิวไทล์	5
2.1.1 คุณสมบัติของยางบิวไทล์	5
2.1.2 คุณสมบัติของแผ่นยางบิวไทล์เมื่อทำงานร่วมกับคอนกรีต	6
2.2 การซึมผ่านของน้ำสู่คอนกรีต.....	7
2.3 ผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ	9
2.3.1 การออกแบบผนังรับน้ำหนักคอนกรีตหล่อสำเร็จ.....	10
2.3.2 การออกแบบรอยต่อของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จด้านการรับแรง	16
2.3.3 วัสดุซีเมนต์นอนซิ่งเกอร์้าท์	18
2.4 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์	19

2.4.1 การสร้างแบบจำลองระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ	20
2.4.2 แบบจำลองกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต	21
2.4.3 แบบจำลองกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต.....	23
2.4.4 แบบจำลองของเหล็กเสริม	25
2.4.5 แบบจำลองของแรงยึดเหนี่ยว.....	26
2.5 ชนิดแบบจำลองวัสดุ	27
2.5.1 แบบจำลองการกระจายรอยร้าว (Smearred Cracking Model)	27
2.5.2 แบบจำลองการแตกร้าว (Cracking Model)	28
2.5.3 แบบจำลองการเสียหายแบบพลาสติก (Concrete Damage Plasticity Model)	28
2.6 ข้อกำหนดเกี่ยวกับโครงสร้างหล่อสำเร็จตามมาตรฐาน ACI-318.....	30
2.6.1 การถ่ายแรงระหว่างชิ้นส่วนโครงสร้าง	30
2.6.2 การออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้าง	31
2.7 คู่มือแนะนำสำหรับผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ ตาม ACI 533	31
2.7.1 แรงที่ใช้ในการออกแบบ	31
2.7.2 สภาพะด้านการใช้งาน	31
2.7.3 รอยต่อและการยึดติดรอยต่อ	33
2.7.4 วัสดุยาแนวรอยต่อและวัสดุรองรับและปรับระดับความลึก	33
2.7.5 วัสดุยาแนวอุดรอยร้าว.....	34
2.8 ข้อกำหนดเกี่ยวกับค่าความเครียดเนื่องจากการหดตัวในคอนกรีตตามมาตรฐาน ACI-209	35
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย.....	36
3.1 การทดสอบกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางบิวไทล์ทำงานร่วมกับคอนกรีต	38

3.1.1	ตัวแปรที่ศึกษา	38
3.1.2	วัสดุและอัตราส่วนผสม.....	38
3.1.3	การเตรียมตัวอย่าง	39
3.1.4	การทดสอบกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางบิวไทล์ทำงานร่วมกันกับคอนกรีต	40
3.2	การทดสอบการกันน้ำซึมผ่านคอนกรีตร่วมกับแผ่นยางบิวไทล์	41
3.2.1	ตัวแปรที่ศึกษา	41
3.2.2	วัสดุและอัตราส่วนผสม.....	47
3.2.3	การเตรียมตัวอย่าง	48
3.2.4	การทดสอบการกันน้ำซึมผ่านของคอนกรีตเมื่อทำงานร่วมกับแผ่นยางบิวไทล์.....	49
3.3	การประดิษฐ์รูปแบบการติดตั้งยางบิวไทล์.....	50
3.3.1	การสำรวจและทำแบบสอบถาม	50
3.3.2	การประดิษฐ์รูปแบบการติดตั้งยางบิวไทล์ที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ.....	50
3.3.3	ตัวแปรที่ศึกษา	53
3.3.4	วัสดุและอัตราส่วนผสม.....	55
3.3.5	การเตรียมตัวอย่าง	56
3.4	การสร้างแบบจำลองโครงสร้างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จเพื่อหาค่าการเคลื่อนที่แบบสัมผัสที่รอยต่อในช่วงสภาวะการใช้งาน	57
3.4.1	รอยต่อแบบกรูฟ (Groove joint) เชื่อมยึดติดกันด้วย Steel Wire Rope Loops.....	57
3.4.2	รอยต่อแบบเรียบ เชื่อมยึดติดกันด้วยเหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร	58

3.4.3 รอยต่อแบบกรูฟ (Groove joint) เชื่อมยึดติดกันด้วย C-line	59
3.4.4 รูปแบบแรงที่กระทำกับแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ	60
3.5 การให้ค่าการเคลื่อนที่ที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ	62
3.6 การทดสอบการให้น้ำซึมผ่านตัวอย่างทดสอบ	64
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์.....	66
4.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางบิวไทล์ทำงานร่วมกันกับคอนกรีต	66
4.2 ผลการทดสอบการกั้นน้ำซึมผ่านของคอนกรีตเมื่อทำงานร่วมกันกับแผ่นยางบิวไทล์	67
4.3 ผลการสำรวจแบบสอบถาม	74
4.4 ชิ้นส่วนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ	92
4.5 ผลการวิเคราะห์ค่าการเคลื่อนที่ที่รอยต่อระหว่างผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์	96
4.5.1 ตรวจสอบความถูกต้องของ ABAQUS ซอฟต์แวร์ จากงานวิจัยในอดีต	96
4.5.2 ผลการวิเคราะห์ค่าการเคลื่อนที่แบบสัมพัทธ์ที่รอยต่อระหว่างผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จในสภาวะการใช้งานด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์	97
4.6 ค่าการเคลื่อนที่ที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ.....	100
4.7 ผลการทดสอบการกั้นน้ำซึมผ่าน.....	101
บทที่ 5.....	105
สรุปผลการวิจัย	105
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	105
5.2 ข้อเสนอแนะ	107
รายการอ้างอิง.....	108
ภาคผนวก ก การคำนวณแรงที่กระทำกับผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ	111
ภาคผนวก ข ลักษณะความเสียหายของยางบิวไทล์เมื่อทำงานร่วมกันกับคอนกรีต	116

ภาคผนวก ค ผลการทดสอบการกั้นน้ำซึมผ่านของคอนกรีตร่วมกันกับแผ่นยางบิวไทล์.....	118
ภาคผนวก ง ผลการสำรวจแบบสอบถาม.....	123
ภาคผนวก จ ผลการหล่อชิ้นส่วนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ.....	196
ภาคผนวก ฉ ค่าการเคลื่อนที่แบบสัมพัทธ์ที่รอยต่อของตัวอย่างคอนกรีตหล่อสำเร็จ.....	207
ภาคผนวก ช ผลการทดสอบการกั้นน้ำซึมผ่าน.....	210
ภาคผนวก ซ ผลงานสิ่งประดิษฐ์ที่ได้รับการจดอนุสิทธิบัตร.....	213
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	217



สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1	ค่าการโก่งตัวที่ยอมให้สำหรับผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ	32
ตารางที่ 3.1	จำนวนตัวอย่างทดสอบ	47
ตารางที่ 3.2	การประดิษฐ์รูปแบบการติดตั้งยางบิวไทล์ที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ	51
ตารางที่ 3.3	จำนวนตัวอย่างทดสอบ	54
ตารางที่ 3.4	แสดงคุณสมบัติของวัสดุ	57
ตารางที่ 3.5	รูปแบบแรงกระทำและเงื่อนไขขอบเขตของแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ	61
ตารางที่ 4.1	แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของยางบิวไทล์เมื่อยึดติดกับมอร์ตาร์	66
ตารางที่ 4.2	แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของยางบิวไทล์เมื่อยึดติดกับวัสดุอ่อนซึ่งเงรัวท์	67
ตารางที่ 4.3	ผลการทดสอบการกันน้ำซึมผ่านของคอนกรีตเมื่อทำงานร่วมกันกับแผ่นยางบิวไทล์	70
ตารางที่ 4.4	ลำดับความเป็นไปได้ในการก่อสร้าง ติดตั้งวัสดุ และการป้องกันการรั่วซึมน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ	89
ตารางที่ 4.5	รูปแบบของรอยต่อและวัสดุที่ใช้ในการกันน้ำซึมผ่านที่สามารถนำไปทดสอบได้	95
ตารางที่ 4.6	ค่าการเคลื่อนที่แบบสัมพัทธ์ที่รอยต่อระหว่างผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ	98
ตารางที่ 4.7	ผลการทดสอบการซึมผ่านน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ	101

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1	ยางบิวไทล์และโครงสร้างของยางบิวไทล์.....	5
รูปที่ 2.2	อินฟราเรด สเปคโตรสโคปี ของยางบิวไทล์ และส่วนผสมของซีเมนต์และน้ำ	7
รูปที่ 2.3	การสร้างพันธะยึดเหนี่ยวกันของคอนกรีตและแผ่นยางบิวไทล์	7
รูปที่ 2.4	การทดสอบการอัดน้ำสู่คอนกรีต	9
รูปที่ 2.5	แบบรายละเอียดของผนังหล่อสำเร็จแบบแผ่นตัน.....	10
รูปที่ 2.6	ผนังหล่อสำเร็จแบบแผ่นตันเมื่อติดตั้งหน้างาน.....	10
รูปที่ 2.7	ตัวอย่างการรับน้ำหนักของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จขณะถอดแบบ	12
รูปที่ 2.8	ตัวอย่างการรับน้ำหนักของผนังคอนกรีตขณะยกขนย้าย.....	14
รูปที่ 2.9	ตัวอย่างการรับน้ำหนักของผนังขณะรับน้ำหนักจริง	15
รูปที่ 2.10	แบบรายละเอียดรอยต่อผนังแบบเก๋ารท์	17
รูปที่ 2.11	การออกแบบรอยต่อแนวตั้งทางด้านสถาปัตยกรรม.....	18
รูปที่ 2.12	การจำลองโมเดลของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จและรายละเอียดเหล็กเสริม	19
รูปที่ 2.13	เงื่อนไขขอบเขตของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ.....	19
รูปที่ 2.14	แบบจำลองผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ.....	20
รูปที่ 2.15	แบบรายละเอียดเหล็กเสริมของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ.....	21
รูปที่ 2.16	แสดงแบบจำลองของ Hognestad ในการประมาณความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีต	22
รูปที่ 2.17	แสดงแบบจำลองของ Todeschi ในการประมาณความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีต	23
รูปที่ 2.18	แสดงการจำลอง Tension stiffening ภายใต้แรงดึงแกนเดียว	24
รูปที่ 2.19	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีตเทียบเท่ากับการจำลอง Tension Stiffening ภายใต้แรงอัดแกนเดียว	24

รูปที่ 2.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของเหล็กเสริม	25
รูปที่ 2.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของเหล็กเสริมในอุดมคติ .	26
รูปที่ 2.22 พฤติกรรมในแนวแกนของคอนกรีตปกติ	27
รูปที่ 2.23 แบบจำลองแรงดึงในแนวแกน.....	29
รูปที่ 2.24 แบบจำลองแรงอัดในแนวแกน	30
รูปที่ 3.1 รายละเอียดขั้นตอนการศึกษา	37
รูปที่ 3.2 ยางบิวไทล์ความหนา 7 มิลลิเมตร	38
รูปที่ 3.3 เครื่องผสมมอร์ตาร์	39
รูปที่ 3.4 ตัวอย่างสำหรับการทดสอบกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางบิวไทล์ทำงานร่วมกันกับ คอนกรีต.....	39
รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบแรงดึง 1000 N	40
รูปที่ 3.6 แสดงทิศทางรอยต่อแนวราบและติดตั้งแผ่นยางบิวไทล์แนวตั้ง.....	42
รูปที่ 3.7 แสดงทิศทางของรอยต่อแนวราบ ทิศทางติดตั้งแผ่นยางบิวไทล์แนวตั้งและทิศ ทางการให้แรงดันน้ำ.....	42
รูปที่ 3.8 แสดงทิศทางรอยต่อแนวตั้งและติดตั้งแผ่นยางบิวไทล์แนวตั้ง.....	43
รูปที่ 3.9 แสดงทิศทางของรอยต่อแนวตั้ง ทิศทางติดตั้งแผ่นยางบิวไทล์แนวตั้ง	43
รูปที่ 3.10 แสดงทิศทางรอยต่อแนวตั้งและติดตั้งแผ่นยางบิวไทล์แนวราบ.....	44
รูปที่ 3.11 แสดงทิศทางของรอยต่อแนวตั้ง ทิศทางติดตั้งแผ่นยางบิวไทล์แนวราบ	44
รูปที่ 3.12 แผนการทดสอบ	45
รูปที่ 3.13 แผนผังการทดสอบการกันน้ำ	46
รูปที่ 3.14 แผ่นยางโพลีไวนิลคลอไรด์ แผ่นยางบิวไทล์ W-0615, W-0415, W-0620 และ W- 0420.....	48
รูปที่ 3.15 เครื่องผสมคอนกรีต	48
รูปที่ 3.16 แบบหล่อสำหรับตัวอย่างทดสอบการกันน้ำซึมผ่าน	49

รูปที่ 3.17 แสดงเครื่องอัดน้ำที่พัฒนาให้เหมาะสมกับก้อนตัวอย่าง	50
รูปที่ 3.18 แผนการทดสอบ	53
รูปที่ 3.19 ยางบีวไทล์ที่ใช้ในการทดสอบ.....	56
รูปที่ 3.20 แบบหล่อเหล็กขนาด 400x400x100 มิลลิเมตร	56
รูปที่ 3.21 แสดงแบบจำลองโครงสร้างและรายละเอียดการเสริมเหล็กของแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ.....	58
รูปที่ 3.22 แสดงแบบจำลองโครงสร้างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จและเสริม Steel Wire Rope Loops ตามความยาวรอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ.....	58
รูปที่ 3.23 แสดงแบบจำลองโครงสร้างและรายละเอียดการเสริมเหล็กของแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ.....	59
รูปที่ 3.24 แสดงแบบจำลองโครงสร้างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จและเสริมเหล็ก RB9 ทุกระยะ 300 มม. ที่รอยต่อตลอดความยาว	59
รูปที่ 3.25 แสดงแบบจำลองโครงสร้างและรายละเอียดการเสริมเหล็กของแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ.....	60
รูปที่ 3.26 แสดงแบบจำลองโครงสร้างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จเชื่อมยึดติดกันด้วย C-line ตามความยาวรอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ.....	60
รูปที่ 3.27 เครื่องมือให้การเคลื่อนที่ที่รอยต่อตัวอย่างทดสอบ	63
รูปที่ 3.28 ทิศทางการให้แรงดึงกับตัวอย่างทดสอบ.....	63
รูปที่ 3.29 บรรทัดเปรียบเทียบ.....	64
รูปที่ 3.30 ติดตั้งแผ่นเหล็กขนาด 250X250X25 มิลลิเมตร กับตัวอย่างทดสอบ.....	64
รูปที่ 3.31 ทิศทางการให้แรงดันน้ำคงที่ 5 kgf/cm ² กับตัวอย่างทดสอบ	65
รูปที่ 4.1 พบน้ำรั่วซึมที่บริเวณด้านล่างของตัวอย่างที่ไม่มีแผ่นยาง	68
รูปที่ 4.2 พบน้ำรั่วซึมที่บริเวณด้านล่างของตัวอย่างที่ใช้แผ่นยางโพลีไวนิลคลอไรด์ ในรอยต่อก่อสร้าง	69

รูปที่ 4.3 ไม่พบน้ำซึมผ่านบริเวณด้านล่างของตัวอย่างที่ใช้แผ่นยางบิวไทล์ ในรอยต่อ ก่อสร้าง.....	69
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการรั่วซึมน้ำและแรงดันน้ำของแผ่นยางโพลีไวนิลคลอไรด์.....	73
รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบปริมาณการรั่วซึมน้ำของแผ่นยางบิวไทล์และแผ่นยางโพลีไวนิลคลอไรด์ ในทิศทางรอยต่อและทิศทางการติดตั้งแผ่นยางแบบต่างๆ ที่แรงดันน้ำ 5 กก./ตร.ซม.	74
รูปที่ 4.6 แสดงรูปแบบรอยต่อและวัสดุที่ใช้กันน้ำซึมผ่านประเภทที่ 1.....	92
รูปที่ 4.7 แสดงรูปแบบรอยต่อที่ใช้ยางบิวไทล์เป็นวัสดุกันน้ำซึมผ่าน.....	92
รูปที่ 4.8 แสดงรูปแบบของรอยต่อและวัสดุที่ใช้ในการกันน้ำซึมผ่านประเภทที่ 3.....	93
รูปที่ 4.9 แสดงรูปแบบของรอยต่อและวัสดุที่ใช้ในการกันน้ำซึมผ่านประเภทที่ 6.....	93
รูปที่ 4.10 แสดงรูปแบบของรอยต่อและวัสดุที่ใช้ในการกันน้ำซึมผ่านประเภทที่ 7.....	94
รูปที่ 4.11 แสดงค่าความจุของค่าการเคลื่อนที่มากที่สุดกับแรงปฏิกิริยา.....	97
รูปที่ 4.12 แสดงฐานรองรับแบบยึดแน่น และแรงกระทำด้านข้าง ของแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ รอยต่อแบบกึ่งู๊ฟ RB6.....	100
รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบปริมาณการรั่วซึมน้ำของวัสดุกันน้ำแบบเดิมและการประดิษฐ์การ ติดตั้งยางบิวไทล์ที่รอยต่อ ที่แรงดันน้ำ 5 กก./ตร.ซม.	104
รูปที่ ก. 1 แสดงตัวอย่างโครงสร้างที่ใช้ในการคำนวณแรงรูปแบบที่ 1 กระทำแวนวดิ่งกับผนัง คอนกรีตหล่อสำเร็จ.....	111
รูปที่ ก. 2 แสดงตัวอย่างโครงสร้างที่ใช้ในการคำนวณแรงรูปแบบที่ 2 กระทำทางข้างกับผนัง คอนกรีตหล่อสำเร็จ.....	112
รูปที่ ก. 3 แสดงตัวอย่างโครงสร้างที่ใช้ในการคำนวณแรงรูปแบบที่ 3 กระทำกับแวนวดิ่งและ ด้านข้างผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ.....	113
รูปที่ ก. 4 แสดงตัวอย่างโครงสร้างที่ใช้ในการคำนวณแรงรูปแบบที่ 4 กระทำกับแวนวดิ่งผนัง คอนกรีตหล่อสำเร็จ.....	114

รูปที่ ก. 5 แสดงตัวอย่างโครงสร้างที่ใช้ในการคำนวณแรงรูปแบบที่ 5 กระทำด้านข้างผนัง คอนกรีตหล่อสำเร็จ	115
รูปที่ ข. 1 ลักษณะการวิบัติของยางบิวไทล์กับมอร์ตาร์เมื่อรับแรงดึง.....	116
รูปที่ ข. 2 ลักษณะการวิบัติของยางบิวไทล์กับวัสดุนอนจริงแก่ราท์เมื่อรับแรงดึง	117
รูปที่ ค. 1 การเตรียมตัวอย่างคอนกรีตรอยต่อแนวราบ ติดตั้งแผ่นยางแนวตั้ง	118
รูปที่ ค. 2 การเตรียมตัวอย่างคอนกรีตรอยต่อแนวตั้ง ติดตั้งแผ่นยางแนวตั้ง	119
รูปที่ ค. 3 การเตรียมตัวอย่างคอนกรีตรอยต่อแนวตั้ง ติดตั้งแผ่นยางแนวราบ	120
รูปที่ ค. 4 การทดสอบการกันน้ำซึมผ่านของคอนกรีตร่วมกันกับแผ่นยางบิวไทล์	121
รูปที่ ค. 5 เครื่อง AMSLER 500ตัน ที่ใช้ในการผ่าแยกคอนกรีต	122
รูปที่ ค. 6 ผลการผ่าแยกของตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ยางโพลีไวนิลคลอไรด์ที่รอยต่อ	122
รูปที่ ค. 7 ผลการผ่าแยกของตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ยางบิวไทล์ไม่พบน้ำรั่วซึมที่รอยต่อ	122
รูปที่ ง. 1 การติดตั้งแผ่นยางกันน้ำโพลีไวนิลคลอไรด์ก่อนการเทคอนกรีตชั้นแรก.....	123
รูปที่ ง. 2 การเตรียมแผ่นยางโพลีไวนิลคลอไรด์ก่อนการเทคอนกรีตชั้นถัดไป	124
รูปที่ ง. 3 ขั้นตอนการผลิตแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ	124
รูปที่ ง. 4 ขั้นตอนการติดตั้งแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จหน้างาน	125
รูปที่ ง. 5 วางเหล็กเสริมและเทคอนกรีตแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ	126
รูปที่ ง. 6 การเก็บและรอขนส่งแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ.....	126
รูปที่ ง. 7 การก่อสร้างบ้านพักอาศัย 3 ชั้น ด้วยระบบคอนกรีตหล่อสำเร็จ	127
รูปที่ จ. 1 การหล่อตัวอย่างประเภทที่ 1.....	196
รูปที่ จ. 2 การเสริมเหล็ก DB12 เทวัสดุเชื่อมประสาน และติดตั้งวัสดุยาแนวกันน้ำซึมของ ตัวอย่างประเภทที่ 1	197
รูปที่ จ. 3 การหล่อตัวอย่างประเภทที่ 2.....	198
รูปที่ จ. 4 การหล่อตัวอย่างประเภทที่ 3.....	199
รูปที่ จ. 5 คอนกรีตไม่หุ้มแผ่นยางบิวไทล์ ในรูปแบบรอยต่อประเภทที่ 3	200

รูปที่ จ. 6	ติดตั้งแผ่นยางบิวไทล์ที่แบบหล่อของรอยต่อประเภทที่ 4	200
รูปที่ จ. 7	การหล่อตัวอย่างประเภทที่ 4.....	201
รูปที่ จ. 8	การหล่อตัวอย่างประเภทที่ 5.....	202
รูปที่ จ. 9	หล่อตัวอย่างคอนกรีตประเภทที่ 6.....	203
รูปที่ จ. 10	คอนกรีตไม่หุ้มแผ่นยางบิวไทล์ ในรูปแบบรอยต่อประเภทที่ 6	203
รูปที่ จ. 11	การหล่อตัวอย่างคอนกรีตประเภทที่ 7.....	204
รูปที่ จ. 12	คอนกรีตไม่หุ้มแผ่นยางบิวไทล์ ในรูปแบบรอยต่อประเภทที่ 7	204
รูปที่ จ. 13	การหล่อตัวอย่างคอนกรีตประเภทที่ 8.....	205
รูปที่ จ. 14	การหล่อตัวอย่างคอนกรีตประเภทที่ 9.....	206
รูปที่ ฉ. 1	การเคลื่อนที่แบบสัมพัทธ์ที่รอยต่อของตัวอย่างประเภทที่ 1	207
รูปที่ ฉ. 2	การเคลื่อนที่แบบสัมพัทธ์ที่รอยต่อของตัวอย่างประเภทที่ 2	207
รูปที่ ฉ. 3	การเคลื่อนที่แบบสัมพัทธ์ที่รอยต่อของตัวอย่างประเภทที่ 4	208
รูปที่ ฉ. 4	การเคลื่อนที่แบบสัมพัทธ์ที่รอยต่อของตัวอย่างประเภทที่ 5	208
รูปที่ ฉ. 5	การเคลื่อนที่แบบสัมพัทธ์ที่รอยต่อของตัวอย่างประเภทที่ 8	209
รูปที่ ฉ. 6	การเคลื่อนที่แบบสัมพัทธ์ที่รอยต่อของตัวอย่างประเภทที่ 9	209
รูปที่ ช. 1	การทดสอบการกันน้ำซึมผ่านประเภทที่ 1	210
รูปที่ ช. 2	การทดสอบการกันน้ำซึมผ่านประเภทที่ 4.....	211
รูปที่ ช. 3	การทดสอบการกันน้ำซึมผ่านประเภทที่ 5.....	211
รูปที่ ช. 4	การทดสอบการกันน้ำซึมผ่านประเภทที่ 8	212
รูปที่ ช. 5	การทดสอบการกันน้ำซึมผ่านประเภทที่ 9	212

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันการก่อสร้างอาคารมีการเพิ่มจำนวนมากขึ้นเรื่อย ๆ ไม่ว่าจะเป็นโครงการก่อสร้างขนาดเล็กหรือขนาดใหญ่ก็ตาม นอกจากความแข็งแรงทนทาน หลายโครงการได้ให้ความสำคัญต่อระยะเวลาการก่อสร้างและเทคโนโลยีที่ทันสมัยด้วย แผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast Concrete Panels) เป็นอีกเทคโนโลยีหนึ่งที่ตอบสนองความต้องการทางด้านนี้ได้เป็นอย่างดี เพราะด้วยแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ มีข้อดีคือ สามารถควบคุมคุณภาพของชิ้นส่วนโครงสร้างแต่ละชิ้นได้ดีกว่าการหล่อโครงสร้างในที่ ลดจำนวนแรงงานในการปฏิบัติงานทำให้ลดต้นทุนในการบริหารจัดการในส่วนที่เกี่ยวข้องกับแรงงาน ลดระยะเวลาในการก่อสร้างรวมถึงการลดต้นทุนในการก่อสร้างโดยรวม และลดความสูญเสียของวัสดุในการผลิตซึ่งเป็นการรักษาสิ่งแวดล้อมอีกทางหนึ่งด้วย ในเรื่องของความแข็งแรงทนทาน วิศวกรสามารถออกแบบให้โครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จมีความแข็งแรงได้ แต่การใช้ระบบแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จยังมีข้อด้อยอยู่ด้วยเช่นกัน เนื่องจากการนำชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จมาประกอบกันขึ้นเป็นโครงสร้าง ดังนั้นจึงมีรอยต่อระหว่างชิ้นส่วน ถ้าหากไม่มีการควบคุมคุณภาพที่ดีพอก็อาจเกิดการรั่วซึมน้ำได้ ซึ่งเป็นปัญหาที่พบได้บ่อยในระบบแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ ด้านปัญหาที่เกิดจากสภาพแวดล้อมเช่น การทนทานต่อแสงแดดและน้ำที่รอยต่อของแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จถือเป็นเรื่องสำคัญอีกเรื่องหนึ่ง จึงจำเป็นต้องมีวัสดุที่มีความยืดหยุ่นดี ทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่สามารถกันน้ำได้ ในขณะที่โครงสร้างคอนกรีตเกิดการเคลื่อนที่หรือแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากอุณหภูมิหรือความชื้น บริเวณรอยต่ออาจเกิดรอยร้าว และหากวัสดุกันน้ำไม่มีประสิทธิภาพมากพอ ทำให้น้ำสามารถซึมผ่านรอยร้าวบริเวณรอยต่อ ส่งผลให้เหล็กที่ยื่นผ่านรอยต่อเกิดสนิมและสูญเสียกำลังในที่สุด

อีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำที่รอยต่อของแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ คือการใช้วัสดุรองรับและปรับระดับความลึกของวัสดุยาแนวประเภทโพลีเอทิลีน (Polyethylene) หรือโฟมเส้นอุดร่อง (Backing Rod) ร่วมกันกับวัสดุยาแนวรอยต่อ (Sealant) ประเภทโพลียูรีเทน (Polyurethane) ซึ่งวัสดุยาแนวยึดเกาะดีกับพื้นผิวคอนกรีต ทนต่อสภาพอากาศ ทนทานต่อแรงฉีกขาด และสามารถรองรับการเคลื่อนไหวได้ในระดับต่ำ ในส่วนของโฟมเส้นอุดร่องเป็นวัสดุรองรับและปรับระดับความลึกของวัสดุยาแนว เพื่อให้การใช้งานของวัสดุยาแนวเป็นไปตาม

มาตรฐาน และสามารถทำให้รอยต่อมีประสิทธิภาพในการใช้งานที่ดี โดยที่โฟมเส้นอุดร่องมีคุณสมบัติที่ทนแน่น ไม่ยึดติดกับวัสดุยาแนวประเภทหยอดเย็นจำพวกโพลียูรีเทน (Polyurethane) หรือซิลิโคน (Silicone) มีหลากหลายขนาด ยึดหยุ่นได้สูง ทนทานน้ำได้ดี และไม่มึลื่น ในส่วนของวิธีการติดตั้งนั้นต้องระวังไม่ให้ผิวถูกตัด หรือถูกกดทับ และระหว่างการทำงานต้องหลีกเลี่ยงการดึงที่มีความยาวมากเกินไป และไม่สามารถใช้ร่วมกับวัสดุยาแนวชนิดร้อนได้ [1] ถ้าในขณะที่ติดตั้งวัสดุยาแนวและโฟมเส้นอุดร่องทำได้ไม่มีประสิทธิภาพมากพอ น้ำจะซึมผ่านที่บริเวณนี้เป็นจุดแรกทำให้เกิดจุดอ่อนที่รอยต่อของแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ อีกทั้งยังต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการติดตั้ง ซึ่งปัญหาในเรื่องของการติดตั้งและวัสดุทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพตลอดอายุการใช้งานเป็นปัญหาที่พบได้บ่อยในแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ ทำให้มีความจำเป็นต้องซ่อมแซมรอยต่ออยู่เสมอ เป็นการนำมาซึ่งการเสียค่าใช้จ่ายที่เพิ่มมากขึ้นอีกด้วย ถ้าหากไม่พบปัญหาในขณะที่ติดตั้ง อย่งไรก็ตามระยะเวลาในการใช้งานของวัสดุยาแนวประเภทโพลียูรีเทนยังมีข้อจำกัด และการยึดหดตัวของวัสดุยาแนวทำให้มองเห็นแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จเป็นรอยร้าว ซึ่งรอยร้าวดังกล่าวเกิดเฉพาะภายนอก ในขณะที่รอยต่อภายในไม่เกิดความเสียหาย [2]

ปัจจุบันวัสดุที่มีคุณสมบัติในการกันน้ำซึมผ่านนั้นมีอยู่มากมายหลายประเภท แต่วัสดุชนิดหนึ่งที่มีความน่าสนใจนั้นคือ ยางสังเคราะห์บิวไทล์ (Butyl Rubber) ซึ่งเป็นยางสังเคราะห์ที่ได้จากโคโพลิเมอร์ (Copolymer) ระหว่างไอโซพรีน (Isoprene) และไอโซบิวทีลีน (Isobutylene) ยางบิวไทล์มีสมบัติทนทานต่อการเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากสารเคมี ความร้อน แสงแดด ได้เป็นอย่างดี นอกจากสมบัติการทนต่อออกซิเจน ความร้อน และสภาพอากาศแล้ว ยางบิวไทล์ยังมีความทนทานต่อกรดและด่าง รวมถึงทนต่อการถูกออกซิไดซ์โดยสารเคมีต่างๆ และยางบิวไทล์ยังมีความพิเศษคือ มีการซึมผ่านของก๊าซต่ำมาก ทำให้ยางบิวไทล์เหมาะสมในอุตสาหกรรมผลิตยางรถยนต์ และแผ่นยางใช้ภายนอกอาคาร เป็นต้น [3] ซึ่งนอกจากนี้แผ่นยางบิวไทล์ยังมีความเหมาะสมที่โดนเด่นและเหมาะสมจะนำมาใช้ในงานกันน้ำซึมผ่านระหว่างรอยต่อคอนกรีตคือ การที่ยางชนิดนี้สามารถสร้างพันธะยึดเหนี่ยวกับคอนกรีตที่ยังไม่แข็งตัวโดยการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างคอนกรีตและยางซึ่งทำให้เกิดการยึดเหนี่ยวกันทางเคมีได้ดี [4] จากคุณสมบัติดังกล่าวมาจึงมีความเป็นไปได้ที่จะทำการศึกษาการนำยางบิวไทล์มาใช้ทดแทนโฟมเส้นอุดร่องและวัสดุยาแนวรวมถึงการใช้ยางบิวไทล์ในการเป็นวัสดุกันน้ำซึมผ่านที่รอยต่อแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จซึ่งมีความจำเป็นต้องศึกษาคุณสมบัติการกันน้ำของยางประเภทนี้ร่วมกับคอนกรีตทั้งจากการรวบรวมเอกสารในอดีตและการทดสอบในห้องปฏิบัติการ วิเคราะห์หาค่าการเคลื่อนที่แบบสัมพัทธ์ที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จในสภาวะการใช้งานด้วยระเบียบวิธี

ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อเปรียบเทียบค่าความเครียดที่เกิดขึ้นกับค่าความเครียดเนื่องจากการแตกร้าวของคนกรีต รวมทั้งเปรียบเทียบค่าความเครียดเนื่องจากการหดตัวกับค่าความเครียดเนื่องจากการแตกร้าวของคนกรีต โดยใช้ค่ามากที่สุดที่ครอบคลุมค่าความเครียดทุกกรณีไปทำการทดสอบการป้องกันการรั่วซึมน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จในระดับห้องปฏิบัติการ รวมถึงทำการประดิษฐ์รูปแบบการติดตั้งยางบิวไทล์ที่รอยต่อค้ำเนื่องจากความเป็นไปได้ในขั้นตอนการผลิตและการติดตั้งแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของแผ่นยางบิวไทล์ในการกั้นน้ำซึมผ่านที่รอยต่อคอนกรีต
2. เพื่อวิเคราะห์หาค่าการเคลื่อนที่แบบสัมพัทธ์ที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จในช่วงการใช้งานด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์
3. เพื่อประดิษฐ์รูปแบบการติดตั้งยางบิวไทล์ที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จในการป้องกันการรั่วซึมน้ำ
4. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการกั้นน้ำของรูปแบบต่าง ๆ ที่ประดิษฐ์ขึ้นมา โดยใช้ค่าการเคลื่อนที่แบบสัมพัทธ์ที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จเป็นตัวแปรควบคุม

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. แผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จใช้จำลองโครงสร้างสำหรับอาคารพักอาศัย 2 ชั้น ขนาดความกว้าง 4.00 เมตร ความสูง 3.50 เมตร ความหนา 100 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างรอยต่อของแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ 100 มิลลิเมตร และทำการจำลองโดยใช้ ABAQUS ซอฟต์แวร์ ในการวิเคราะห์เท่านั้น
2. รูปแบบของรอยต่อทางด้านการรับแรงที่ใช้ในการจำลองและทำการศึกษาเป็นรอยต่อแบบยึดแน่น (Rigid Joints) และเชื่อมรอยต่อด้วยวัสดุเกร้าท์ (Grout Materials) เป็นรอยต่อแบบเปียก (Wet Joints)
3. น้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับโครงสร้างเป็น แรงกระทำแบบสถิตกระทำในแนวตั้งและด้านข้าง โดยไม่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ
4. ขนาดของยางที่ใช้ในการศึกษาและทำการทดสอบใช้ความยาวที่ 400 มิลลิเมตร ความหนา 4 มิลลิเมตร, 6 มิลลิเมตร, 15 มิลลิเมตร และ 25 มิลลิเมตร
5. การทดสอบการซึมผ่านของน้ำให้แรงดันน้ำคงที่ที่รอยต่อ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถอธิบายคุณสมบัติการกั้นน้ำของแผ่นยางบิวไทล์ที่ใช้ในรอยต่อแผ่นคอนกรีต
2. ทราบคุณสมบัติและผลที่ได้จากการป้องกันการรั่วซึมน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จด้วยการติดตั้งยางบิวไทล์ในรูปแบบต่าง ๆ
3. ทราบรูปแบบที่เหมาะสมและความเป็นไปได้ในการนำยางบิวไทล์ไปใช้จริงในงานระบบคอนกรีตหล่อสำเร็จ

1.5 แนวทางดำเนินงานวิจัย

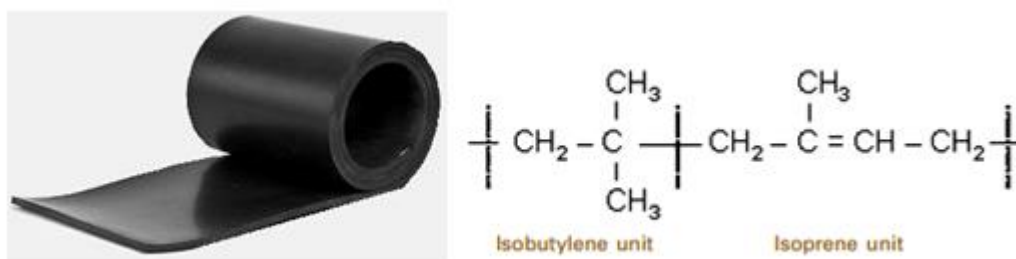
1. ศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาที่เกี่ยวข้องกับแผ่นยางบิวไทล์และรอยต่อในแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จรวมทั้งคุณสมบัติการกั้นน้ำซึมผ่านของยางบิวไทล์
2. ศึกษาการสร้างแบบจำลอง ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับรอยต่อ และตัวแปรที่มีผลต่อการประดิษฐ์รูปแบบรอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ
3. ทดสอบกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางบิวไทล์ทำงานร่วมกันกับคอนกรีต
4. หล่อขึ้นตัวอย่างเพื่อศึกษาคุณสมบัติการกั้นน้ำของแผ่นยางบิวไทล์ที่ใช้ในรอยต่อก่อสร้าง และทดสอบการกั้นน้ำซึมผ่านคอนกรีตร่วมกันกับแผ่นยางบิวไทล์
5. ประดิษฐ์รูปแบบการติดตั้งยางบิวไทล์ที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ
6. ทำแบบสอบถามการศึกษาการป้องกันการรั่วซึมน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จด้วยยางบิวไทล์
7. สร้างแบบจำลองโครงสร้างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จเพื่อหาค่าการเคลื่อนที่แบบสัมพัทธ์ที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จในช่วงสภาวะการใช้งาน และทำการเปรียบเทียบค่าการเคลื่อนที่แบบสัมพัทธ์ทุกกรณี และหล่อขึ้นตัวอย่าง
8. ให้ค่าการเคลื่อนที่ที่รอยต่อกับขึ้นตัวอย่าง และทดสอบการกั้นน้ำซึมผ่านที่รอยต่อ
9. เก็บข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ
10. สรุปผลการวิจัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ยางบิวไทล์

ยางบิวไทล์ (Butyl Rubber) เป็นยางสังเคราะห์จากโคโพลิเมอร์ (Copolymer) ระหว่างโมโนเมอร์ (Monomer) ของไอโซพรีน (Isoprene) และไอโซบิวทีลีน (Isobutylene) ดังรูปที่ 2.1 โดยมีไอโซพรีนในปริมาณไม่มากเพราะในไอโซพรีนมีพันธะคู่ของไวในการทำปฏิกิริยา เพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลด้วยกำมะถันระหว่างทำปฏิกิริยาวัลคาไนเซชัน ยางชนิดนี้ถูกเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า "Synthetic Natural Rubber" เนื่องจากยางบิวไทล์มีโครงสร้างทางเคมีใกล้เคียงกับยางธรรมชาติ ทำให้คุณสมบัติโดยทั่วไปไม่แตกต่างจากยางธรรมชาติมากนัก [3]



รูปที่ 2.1 ยางบิวไทล์และโครงสร้างของยางบิวไทล์ [3]

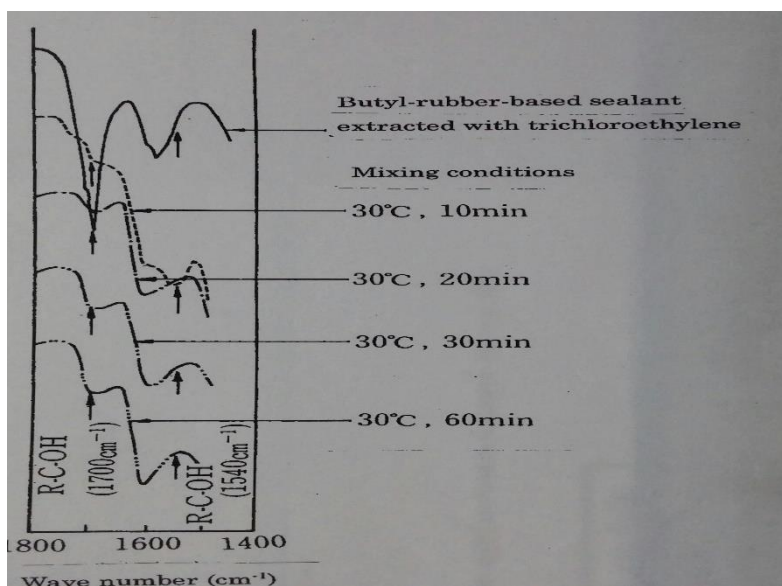
2.1.1 คุณสมบัติของยางบิวไทล์

ยางบิวไทล์มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน เนื่องจากมีคุณสมบัติทนต่อการเสื่อมสภาพ เนื่องจากออกซิเจน โอโซน ความร้อน และสภาพอากาศได้ดี ยางบิวไทล์ยังทนทานต่อน้ำมันพืช และน้ำมันสัตว์ได้ดีมาก ทนต่อการกัดและต่าง รวมถึงทนต่อการถูกออกซิไดซ์โดยสารเคมีต่างๆอีกด้วย ความยืดหยุ่น (Elasticity) มีค่าค่อนข้างสูง ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) มีค่าค่อนข้างสูง ความต้านทานต่อการขีดถู (Abrasion Resistance) จะมีค่าค่อนข้างสูงเมื่อเกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล (Crosslink) ความต้านทานการแอนตัวและการแยกออกจากกันมีค่าค่อนข้างสูง สามารถทนความร้อนได้ถึง 150 องศาเซลเซียสและทนความเย็นได้ถึง -55 องศาเซลเซียส [5] คุณสมบัติพิเศษอีกอย่างหนึ่งของยางบิวไทล์คือ มีการซึมผ่านของก๊าซต่ำมาก (ต่ำกว่ายางธรรมชาติประมาณ 8-10 เท่า) ทำให้ยางบิวไทล์เหมาะสมในการใช้เป็นแผ่นยางสำหรับงานภายนอกอาคารอีกด้วย [3]

2.1.2 คุณสมบัติของแผ่นยางบิวไทล์เมื่อทำงานร่วมกันกับคอนกรีต

เมื่อนำแผ่นยางบิวไทล์มาใช้งานร่วมกับคอนกรีตพบว่า มีการยึดติดกันกับคอนกรีตด้วยคุณสมบัติทางเคมี เนื่องจากสารประกอบหลักของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประกอบด้วยออกไซด์หลัก (Major Oxide) ได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซิลิกา (SiO₂) อลูมินา (Al₂O₃) และเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe₂O₃) ในขณะที่ปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยากับน้ำจะเกิดการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion) [6] ซึ่งแผ่นยางบิวไทล์มีองค์ประกอบหลักอยู่ในหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิล (Carboxyl Group) ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างกันเกิดการยึดเหนี่ยวกันทางเคมีได้เป็นอย่างดี

จากที่ Ochi et al., (2001) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกลของการยึดเหนี่ยวกันระหว่างยางที่ถูกปรับสภาพ (วัสดุอุดรอยต่อ) หรือยางบิวไทล์ และซีเมนต์มอร์ตาร์ (Cement Mortar) ได้ทำการเตรียมตัวอย่างและทดสอบตามมาตรฐาน JIS-R-5201 (1997) พบว่ากำลังการยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ตาร์และยางปรับสภาพจะมีค่าคงที่หลังจากบ่มมอร์ตาร์ได้ 1 วัน และลักษณะความเสียหายเป็นแบบโคฮีซีฟ (Cohesive failure) จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของวัสดุประกอบที่บริเวณผิวหน้าระหว่างซีเมนต์และยางบิวไทล์ โดยใช้การวิเคราะห์อินฟราเรด สเปคโตรสโคปี และเครื่องวิเคราะห์โครงสร้างทางผลึก (Infrared spectroscopic analysis and X-ray diffraction) พบว่ายางบิวไทล์ดูดกลืนรังสีที่เลขคลื่น 1700 ซม⁻¹ ขณะที่ส่วนผสมอื่น ๆ ดูดกลืนรังสีลดลง และพบการดูดกลืนรังสีของคาร์บอกซิเลตไอออน (Carboxylate ion) ที่เลขคลื่น 1540 ซม⁻¹ ผลการทดสอบดังกล่าวชี้ให้เห็นว่ามีการไอออไนเซชัน (Ionization) ของกลุ่มคาร์บอกซิลในยางบิวไทล์เกิดขึ้น เนื่องจากการยึดติดกันกับซีเมนต์มอร์ตาร์ ดังรูปที่ 2.2 ดังนั้นการยึดเหนี่ยวกันระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และยางบิวไทล์เกิดสายโซ่โมเลกุลของกลุ่มคาร์บอกซิลเป็นจำนวนมาก สร้างพันธะยึดเหนี่ยวกัน ดังรูปที่ 2.3 [4]



รูปที่ 2.2 อินฟราเรด สเปคโตรสโคปี ของยางบิวไทล์ และส่วนผสมของซีเมนต์และน้ำ [4]



รูปที่ 2.3 การสร้างพันธะยึดเหนี่ยวกันของคอนกรีตและแผ่นยางบิวไทล์ [5]

2.2 การซึมผ่านของน้ำสู่คอนกรีต

การซึมผ่านของน้ำสู่คอนกรีต (Permeability) คือ ความสะดวกในการที่ของเหลวหรือก๊าซสามารถซึมผ่านคอนกรีต ซึ่งการซึมผ่านของคอนกรีตนั้นเป็นตัวบ่งชี้ถึงค่าความคงทนและความทนทานของคอนกรีตอีกวิธีหนึ่ง แม้ว่าจะไม่มีการกำหนดวิธีการทดสอบการซึมผ่านของน้ำสู่คอนกรีตตามมาตรฐาน แต่สามารถวัดค่าการซึมผ่านของน้ำได้โดยการให้แรงดันน้ำดันผ่านคอนกรีตเมื่อถึงสภาพที่คอนกรีตอิ่มตัวด้วยน้ำ จะเกิดการซึมผ่านของน้ำผ่านคอนกรีตออกมา จากนั้นจึงทำการวัดปริมาณน้ำที่ซึมผ่านออกมาจากคอนกรีต ซึ่งความสามารถในการซึมผ่านของน้ำสู่คอนกรีตนั้นสามารถแสดงในรูปของสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ ดังสมการ (2.1) ของ Dracy ดังนี้ [7]

$$\frac{dq}{dt} = \frac{K\Delta h A}{L} \quad (2.1)$$

เมื่อ $\frac{dq}{dt}$ = อัตราการไหลของน้ำ (ml/sec)
 K = ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ (mm/sec)

Δh = การลดลงของ Hydraulic head (mm)

A = ขนาดหน้าตัดของตัวอย่าง (mm²)

L = ความหนาของตัวอย่าง (mm)

Terauchi and Sakuramoto (1998) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของแผ่นยางกันน้ำต่างชนิดกันในรอบต่อก่อสร้าง และทำการทดสอบการซึมผ่านของน้ำสู่คอนกรีต ดังรูปที่ 2.4 โดยการให้แรงดันน้ำที่รอยต่อ ใช้สมการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ดังสมการที่ (2.1) การซึมผ่านระหว่างแผ่นยางกันน้ำและคอนกรีต เพื่อให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบการรั่วซึมของคอนกรีตและรอยต่อ โดยมีสมมติฐานที่ว่าแรงดันน้ำที่ให้กับคอนกรีตแพร่กระจายเต็มหน้าตัดของตัวอย่างทดสอบ ดังนั้นในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านสมมติว่าน้ำไหลผ่านในชั้นบางๆของคอนกรีตไปสัมผัสกับผิวของแผ่นยางกันน้ำ ดังสมการที่ (2.2) และ (2.3) [8]

$$q = K \cdot \frac{P}{h} \cdot \frac{A}{\rho} \quad (2.2)$$

ดังนั้น

$$K = \rho \cdot \frac{h}{P} \cdot \frac{q}{A} \quad (2.3)$$

เมื่อ K = สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ (cm/sec)

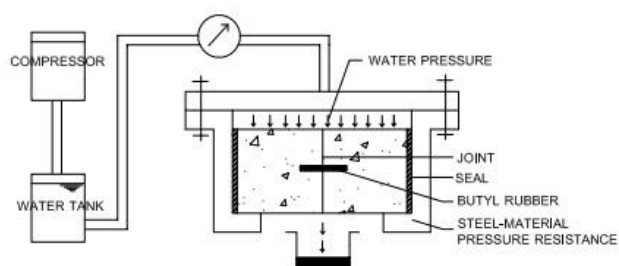
ρ = หน่วยน้ำหนักของน้ำ (kg/cc)

h = ความยาวของเส้นทางที่น้ำรั่วซึมผ่าน (cm)

q = ปริมาณน้ำที่ซึมผ่านต่อหนึ่งหน่วยเวลา (cc/sec)

P = แรงดันน้ำ (kgf/cm²)

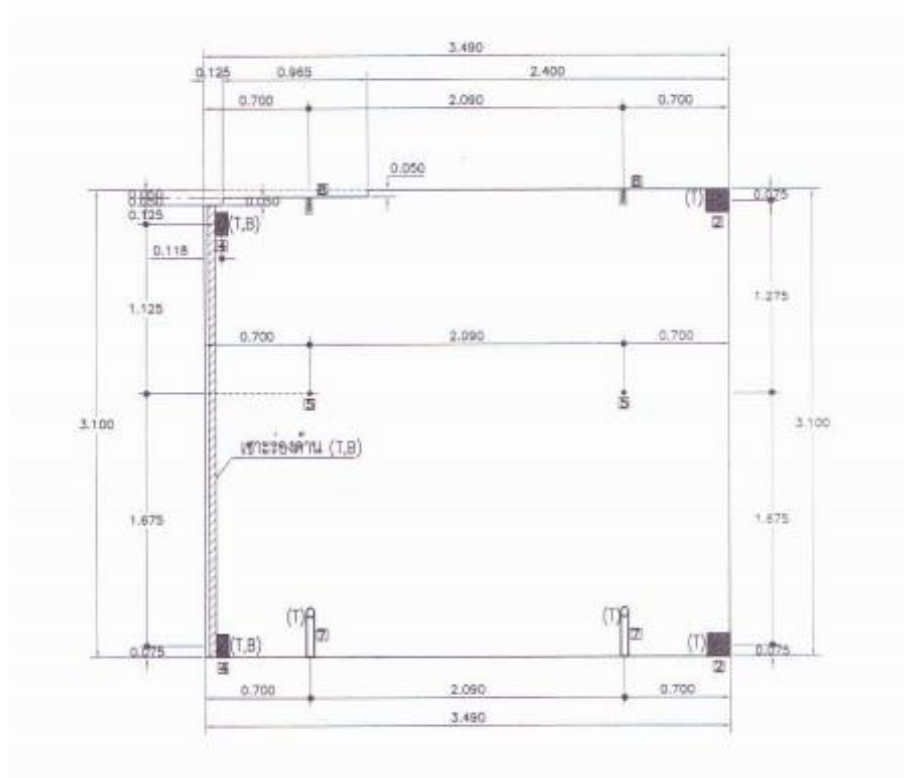
A = พื้นที่หน้าตัดที่น้ำรั่วซึมผ่าน (cm²)



รูปที่ 2.4 การทดสอบการอัดน้ำสู่คอนกรีต [8]

2.3 ผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ

โครงสร้างหล่อสำเร็จระบบผนังรับแรง (Load Bearing Wall Structure) เป็นโครงสร้างหล่อสำเร็จที่ใช้ผนังในการถ่ายน้ำหนักลงสู่ฐานรากแทนเสาและคาน ส่วนแรงด้านข้างจะถูกถ่ายจากพื้นเพื่อให้ผนังรับแรงเฉือนที่เกิดขึ้น การวิเคราะห์โครงสร้างประเภทนี้ใช้สมมติฐานการออกแบบให้ผนังรับแรงเฉือน (Shear Wall) ส่วนการวิเคราะห์แรงกระทำในแผ่นผนังควรใช้ทฤษฎีแผ่นเปลือก (Plate and Shell) ในการออกแบบรอยต่อควรคำนึงถึงความแข็งแรงของรอยต่อในแนวตั้งเป็นพิเศษ ดังรูปที่ 2.5 และ 2.6 [9]



รูปที่ 2.5 แบบรายละเอียดของผนังหล่อสำเร็จแบบแผ่นตัน [9]



รูปที่ 2.6 ผนังหล่อสำเร็จแบบแผ่นตันเมื่อติดตั้งหน้างาน [9]

2.3.1 การออกแบบผนังรับน้ำหนักคอนกรีตหล่อสำเร็จ

การก่อสร้างระบบผนังรับน้ำหนักคอนกรีตหล่อสำเร็จ ผนังจะเป็นโครงสร้างหลักในการรับน้ำหนักของอาคารโดยไม่มีเสาและคานเป็นส่วนประกอบ

- ข้อพิจารณาในการออกแบบผนังรับน้ำหนักคอนกรีตหล่อสำเร็จประกอบไปด้วย 4 ข้อหลักดังต่อไปนี้

1. น้ำหนักบรรทุก ข้อพิจารณาเป็นการกำหนดชนิดและลักษณะของแรงที่มากระทำต่อชิ้นส่วนผนังรับน้ำหนักคอนกรีตหล่อสำเร็จตลอดอายุการใช้งาน นั่นก็คือ น้ำหนักบรรทุกตายตัว น้ำหนักบรรทุกจร แรงลม แรงแผ่นดินไหว และแรงสั่นสะเทือน โดยอาจมีลักษณะของการกระทำที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงของการก่อสร้างและการใช้งาน

2. ขั้นตอนการก่อสร้าง ในกระบวนการก่อสร้างระบบผนังรับน้ำหนักคอนกรีตหล่อสำเร็จสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอนได้แก่ ขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ ขั้นตอนการขนส่งและยกขนย้าย และขั้นตอนการประกอบและติดตั้ง

3. ระยะเวลาการก่อสร้าง

4. เสถียรภาพของโครงสร้าง เป็นข้อพิจารณาในส่วนของความมั่นคงแข็งแรงทั้งในขณะที่ยังทำการก่อสร้างและในขณะรับน้ำหนักบรรทุกใช้งาน

- หลักเกณฑ์ของการคำนวณออกแบบโดยวิธีกำลัง

ในภาวะที่ส่วนโครงสร้างจะเกิดการวิบัติจากการกระทำของน้ำหนักบรรทุกใช้งานที่เพิ่มค่าแล้ว (Factored load) หรือกำลังที่ต้องการ (Required strength) ต้องมีค่าไม่เกินกว่ากำลังที่ใช้ออกแบบ (Design strength) ซึ่งเป็นกำลังต้านทานสูงสุดของส่วนโครงสร้างนั้น หรือกำลังต้านทานที่ระบุ (Nominal strength) ที่ถูกลดค่าลงด้วยตัวคูณลดกำลังต้านทาน (Strength reduction faction) คือ [10]

$$\text{กำลังที่ใช้ออกแบบ (Design strength)} \geq \text{กำลังที่ต้องการ (Required strength)}$$

ในภาวะที่ส่วนโครงสร้างรับน้ำหนักบรรทุกใช้งาน ค่าการโก่งตัวหรือความกว้างของรอยร้าวเนื่องจากโมเมนต์ดัด (Flexural cracks) ต้องไม่มากเกินกว่าพิกัดที่กำหนด

มาตรฐาน ACI-318 (2008) กำหนดให้พิจารณาน้ำหนักประลัย U เนื่องจากน้ำหนักหรือแรงกระทำต่าง ๆ ที่เพิ่มค่าแล้ว ดังนี้

$$U = 1.4D$$

$$U = 1.2D + 1.6L + 0.5L_r$$

$$U = 1.2D + 1.6L_r + (1.0L \text{ หรือ } 0.8W)$$

$$U = 1.2D + 1.6W + 1.0L + 0.5L_r$$

เมื่อ U = น้ำหนักประลัยสูงสุดที่ได้จากการรวมน้ำหนักหรือแรงที่เพิ่มค่าแล้ว

$$D = \text{น้ำหนักบรรทุกคงที่ใช้งาน}$$

L = น้ำหนักบรรทุกจรใช้งานที่กำหนด บวกด้วยแรงกระทำ (ถ้ามี)

L_r = น้ำหนักบรรทุกจรจากหลังคา

W = แรงลม

มาตรฐาน ACI-318 (2008) กำหนดค่าตัวคูณลดกำลัง (Strength reduction factors: ϕ) ดังนี้

$\phi = 0.90$ สำหรับแรงดัด (ไม่มีแรงตามแนวแกนกระทำ)

$\phi = 0.90$ สำหรับแรงดึงตามแนวแกน หรือแรงดึงตามแนวแกนร่วมกับแรงดัด

$\phi = 0.75$ สำหรับแรงเฉือน และแรงบิด

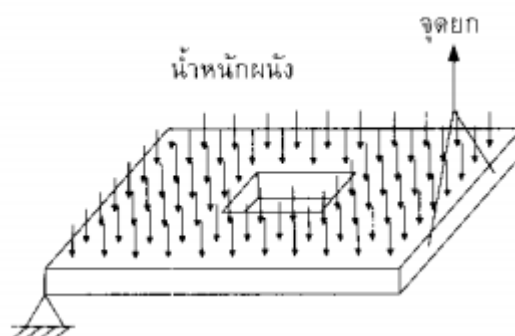
$\phi = 0.65$ สำหรับแรงอัด หรือแรงอัดร่วมกับแรงดัดที่เสริมด้วยเหล็กปลอกเดี่ยว

$\phi = 0.65$ สำหรับแรงกดหรือแรงแบกทานบนคอนกรีต

แนวทางการวิเคราะห์และออกแบบ

การวิเคราะห์พฤติกรรมการรับน้ำหนักของชิ้นส่วนผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอนคือ [11]

1. พฤติกรรมขณะถอดแบบ ในกรณีที่แบบหล่อไม่สามารถหมุนตั้งขึ้นได้ ผนังคอนกรีตจะถูกยกตั้งขึ้นในแนวตั้งเพื่อเตรียมขนย้าย ดังนั้น ผนังคอนกรีตจะรับน้ำหนักเฉพาะน้ำหนักบรรทุกตัวเอง โดยมีลักษณะคล้ายคานกว้าง มีจุดรองรับที่ปลายด้านหนึ่งเป็นจุดหมุนและอีกด้านหนึ่งเป็นจุดยก ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างการรับน้ำหนักของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จขณะถอดแบบ [11]

พฤติกรรมการรับน้ำหนักของผนังในชั้นตอนนี้จะรับแรงตัดเนื่องจากน้ำหนักตัวเองเป็นหลัก โดยการออกแบบจะพิจารณาถึงหน่วยแรงดึง กำลังรับโมเมนต์ดัด และกำลังรับแรงเฉือน การตรวจสอบหน่วยแรงดึงสูงสุด (σ_t) ที่เกิดจากการดัดดงสมการที่ 2.4 จะทำให้สามารถหาค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีต (f_c') ที่ต้องการขณะถอดแบบที่ป้องกันการแตกร้าวในผนัง

$$\sigma_t \leq f_r \quad (2.4)$$

เมื่อ f_r = ค่าโมดูลัสการแตกร้าวหรือกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตมีค่าเท่ากับ $2.0\sqrt{f_c'}$
(kg/cm²)

สำหรับการตรวจสอบด้านกำลัง ต้องตรวจสอบกำลังรับโมเมนต์ดัด และกำลังรับแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในขณะถอดแบบเพื่อป้องกันการแตกหักของผนังดงสมการที่ 2.5 และสมการที่ 2.6

$$\phi M_n \geq M_u \quad (2.5)$$

เมื่อ $\phi = 0.90$

M_n = กำลังรับโมเมนต์ดัดระบุ

M_u = โมเมนต์ดัดประลัยที่เกิดจากน้ำหนักผนังซึ่งคูณตัวเพิ่มน้ำหนักแล้ว

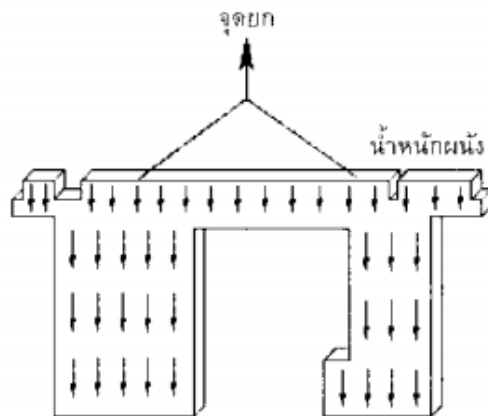
$$\phi V_c \geq V_u \quad (2.6)$$

เมื่อ $\phi = 0.75$

V_c = กำลังรับแรงเฉือนของคอนกรีตมีค่าเท่ากับ $0.53bd\sqrt{f_c'}$ (kg)

V_u = แรงเฉือนประลัยที่เกิดจากน้ำหนักผนังซึ่งคูณตัวคูณเพิ่มน้ำหนักแล้ว

2. พฤติกรรมขณะยกขนย้าย ผนังจะรับน้ำหนักเฉพาะน้ำหนักตัวเองในแนวตั้ง โดยมีจุดรองรับที่ตำแหน่งจุดยกเท่านั้น ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการรับน้ำหนักของผนังคอนกรีตขณะยกขนย้าย [11]

ในกรณีนี้เพื่อป้องกันการเกิดการแตกร้าว จะต้องตรวจสอบหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้น (σ_t) โดยต้องมีค่าไม่เกินกว่ากำลังรับแรงดึงภายใต้แรงดึงตรงของคอนกรีต (Direct tensile strength) ดังสมการที่ 2.7 และต้องตรวจสอบกำลังของเหล็กเสริมให้สามารถรับแรงดึงที่เกิดขึ้นได้ในกรณีหน้าตัดเกิดรอยร้าวดังสมการ 2.8 โดยใช้ค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ได้จากการออกแบบ

$$\sigma_t \leq f_{ct} \quad (2.7)$$

เมื่อ f_{ct} = กำลังรับแรงดึงตรงของคอนกรีต มีค่าอยู่ในช่วง $0.1f_c' - 0.15f_c'$ (kg/cm^2)

$$\phi P_n \geq P_u \quad (2.8)$$

เมื่อ $\phi = 0.90$

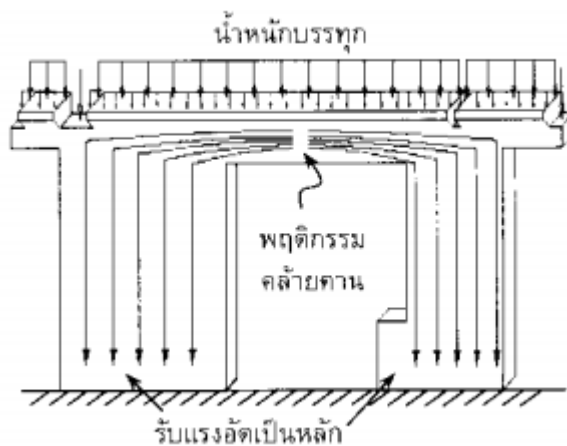
P_n = กำลังรับแรงดึงระบุของเหล็กเสริมมีค่าเท่ากับ $A_s f_y$

P_u = แรงดึงประลัยที่เกิดจากน้ำหนักผนังซึ่งคุณตัวคุณเพิ่มน้ำหนักแล้ว

3. พฤติกรรมการรับน้ำหนักจริง

ขณะรับน้ำหนักจริง ผนังคอนกรีตจะรับน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ นอกเหนือจากน้ำหนักตัวเองได้แก่ น้ำหนักจากหลังคา น้ำหนักจากพื้น น้ำหนักจากผนังชั้นบน และน้ำหนักบันได เป็นต้น ซึ่งประกอบด้วยน้ำหนักบรรทุกตายตัวและน้ำหนักบรรทุกจรดังรูปที่ 2.9 โดยปกติสำหรับอาคารสูงหรือปานกลางอาจต้องพิจารณาผลของแรงลมด้วย และในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงของแผ่นดินไหว จำเป็นต้องพิจารณาแรงแผ่นดินไหวร่วมด้วย

พฤติกรรมการรับน้ำหนักในขั้นนี้คือพฤติกรรมที่เกิดจากการใช้อาคารหลังการก่อสร้างเสร็จสมบูรณ์ โดยผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จจะรับแรงตามแกนเป็นหลัก แต่อาจมีหน่วยแรงดึงเกิดขึ้นในกรณีที่รับแรงเยื้องศูนย์หรือการใช้หูช้างในการรับพื้น



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างการรับน้ำหนักของผนังขณะรับน้ำหนักจริง [11]

ดังนั้นในขั้นตอนการรับน้ำหนักจริงจะมีข้อพิจารณาในการออกแบบเพื่อให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกที่มากกระทำได้อย่างปลอดภัย โดยใช้การตรวจสอบหน่วยแรงประกอบกับการออกแบบด้านหน่วยแรงใช้งานไปพร้อมกัน ได้แก่ การตรวจสอบกำลังรับแรงอัดของหน้าตัดผนังคอนกรีต การตรวจสอบหน่วยแรงอัดและการตรวจสอบหน่วยแรงดึงของคอนกรีต ซึ่งการตรวจสอบกำลังรับแรงอัดของหน้าตัดผนังคอนกรีตมาตรฐาน ACI ดังสมการที่ (2.8) เมื่อ $\phi = 0.65$ และ P_n คือกำลังรับแรงอัดของผนังคอนกรีตหาได้จากสมการที่ (2.9) โดย P_u คือแรงอัดประลัยที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกทั้งหมดซึ่งคูณตัวเพิ่มน้ำหนักแล้ว

$$P_n = 0.55f_c'A_g \left[1 - \left(\frac{kl_c}{32h} \right)^2 \right] \quad (2.9)$$

เมื่อ A_g = เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมดของคอนกรีตในผนังที่รับแรงอัด (cm^2)

l_c = ความสูงของผนัง (cm)

h = ความหนาของผนัง (cm)

k = ตัวคูณความยาวประสิทธิผล

- = 0.8 เมื่อกำแพงมีการยึดรั้งด้านการหมุนที่ปลายข้างใดข้างหนึ่งหรือทั้งสองข้าง
- = 1.0 เมื่อกำแพงไม่มีการยึดรั้งด้านการหมุนที่ปลายทั้งสองข้าง
- = 2.0 เมื่อกำแพงไม่มีการค้ำยันเพื่อต้านการเซทางข้าง

สำหรับการตรวจสอบหน่วยแรงอัดสามารถทำได้โดยตรวจสอบหน่วยแรงสูงสุด (σ_c) ที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกทั้งหมดที่ไม่คูณตัวเพิ่มน้ำหนักดั่งสมการที่ (2.10) จากนั้นใช้สมการที่ 2.7 ในการตรวจสอบหน่วยแรงดึงในกรณีที่มีหน่วยแรงดึงเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกเยื้องศูนย์เกิดขึ้น ในกรณีที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่ เช่น ช่องเปิดสำหรับการติดตั้งหน้าต่างหรือประตูจะต้องพิจารณาเหล็กเสริมพิเศษเพื่อต้านทานแรงดึงในบริเวณที่มีพฤติกรรมคล้ายคาน โดยเสริมเหล็กขนาด 16 มิลลิเมตร จำนวน 2 เส้น ตามที่กำหนดในมาตรฐานการออกแบบ หรือใช้การวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อออกแบบหาปริมาณเหล็กเสริมที่เหมาะสม [11]

$$\sigma_c \leq f_c \quad (2.10)$$

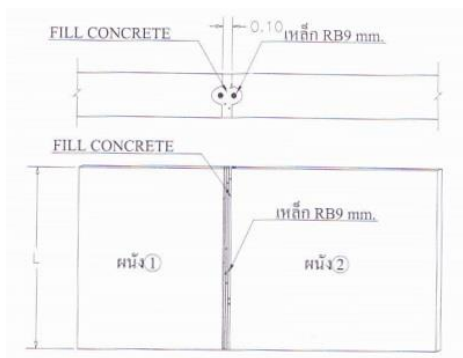
เมื่อ f_c = หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของคอนกรีตมีค่าเท่ากับ $0.45 f'_c$ (kg/cm^2)

สำหรับชิ้นส่วนรับแรงอัด การออกแบบผนังรับน้ำหนักแนวตั้งตามมาตรฐาน ACI กำหนดให้ใช้วิธีการออกแบบเสาสั้นและเสายาวหรือใช้วิธีการออกแบบตามมาตรฐาน ACI ในหัวข้อที่ 14 ความจุของชิ้นส่วนคอนกรีตเสริมเหล็กที่รับแรงอัดเยื้องศูนย์สามารถคำนวณหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดกับแรงดัด (Interaction Diagrams) [12]

2.3.2 การออกแบบรอยต่อของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จด้านการรับแรง

การออกแบบรอยต่อของผนังหล่อสำเร็จแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

- รอยต่อแบบยึดแน่น (Rigid Joints) บางครั้งอาจเรียกรอยต่อแบบต่อเนื่อง (Continuous Joints) เป็นรอยต่อที่ออกแบบให้มีการถ่ายแรงระหว่างชิ้นส่วนของโครงสร้างอย่างสมบูรณ์ ทั้งแรงเฉือน แรงในแนวแกนและแรงจากการดัด รอยต่อประเภทนี้เกิดจากการก่อสร้างรอยต่อโดยการเสริมเหล็กแล้วเทคอนกรีต (Wet Joints) ดังรูปที่ 2.10 การฝังแผ่นเหล็กในชิ้นส่วนโครงสร้างแล้วต่อกันด้วยการเชื่อม (Weld Joints หรือ Dry Joints) และการต่อเชื่อมรอยต่อด้วยสลักเกลียว (Bolt Joints) [9]



รูปที่ 2.10 แบบรายละเอียดรอยต่อผนังแบบเก็ร่าท์ [9]

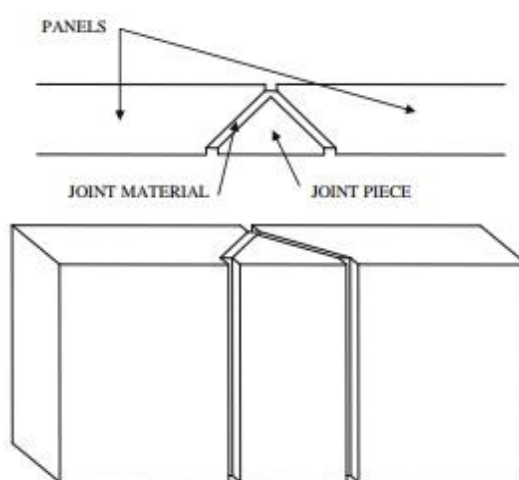
- รอยต่อแบบไม่ยึดแน่น (Pinned Joints) เป็นรอยต่อที่ออกแบบให้มีการถ่ายแรงเฉพาะแรงเฉือนและแรงในแนวแกน ไม่มีการถ่ายโมเมนต์ที่เกิดจากการตัด รอยต่อประเภทนี้เกิดขึ้นในรอยต่อที่ใช้การก่อสร้างโดยการใส่เหล็กรับแรงเฉือน (Dowel Sleeve Joint) หรือรอยต่อแบบซองเสียบ (Socket Joints) [9]

การยึดแน่นรอยต่อผนัง สำหรับผนังที่มีรอยต่อเป็นแบบเชื่อมยึด จะทำการเชื่อมยึด Plate เหล็กของผนังเข้ากับ Plate เหล็กของผนังหรือโครงสร้างที่ใช้ยึดผนังนั้น และสำหรับผนังที่มีรอยต่อแบบเทคอนกรีตยึดแน่น ให้ผูกเหล็กเข้าแบบเทคอนกรีตรอยต่อด้านข้างที่ต่อกับแผ่นผนังหรือโครงสร้างข้างเคียงให้เรียบร้อย สำหรับผนังรับแรงให้เทคอนกรีตรอยต่อในส่วนที่เหลือที่ไม่ใช่รอยต่อยึดแน่นทั้งหมด เช่น รอยต่อระหว่างพื้นกับผนัง รอยต่อชนระหว่างผนังกับผนัง และสำหรับผนังภายนอกที่ไม่รับแรงให้อุดรอยต่อผนังด้วยวัสดุที่กันน้ำและสามารถยืดหยุ่นได้ เช่น โพลียูรีเทนซิลิโคน เป็นต้น [9]

เมื่อรอยต่อระหว่างผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จมีความกว้างมากกว่า 3.80 เซนติเมตร มีขนาดใหญ่ มีการเคลื่อนที่มาก หรือมีการค้ำเนื่องถึงเรื่องการรับแรงทางโครงสร้าง การติวัสดุกันน้ำบริเวณรอยต่อก่อนนำไปติดตั้งเป็นเรื่องที่ทำได้สะดวกและประหยัดค่าใช้จ่ายมากกว่าการติวัสดุกันน้ำในหน้างาน วัสดุกันน้ำที่ใช้สำหรับผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จเป็นแบบชนิดแผ่นหรือชนิดกลมที่ทำมาจากวัสดุนี้โอพรีนหรือยางบิวไทล์ โดยออกแบบวัสดุกันน้ำค้ำเนื่องถึงการโค้งงอแต่ไม่ยืดขยายออก [13]

จากการออกแบบนวัตกรรมของรอยต่อแนวตั้งวี-เชพ (V-shaped joint piece) เป็นการศึกษาการออกแบบการยึดเหนี่ยวของรอยต่อตามยาวชนิดใหม่โดยใช้แผ่นเหล็กรูปตัววีเชื่อมประสานด้วยอีพ็อกซีเรซินสำหรับผนังภายนอกอาคารทางด้านสถาปัตยกรรม (Façade

Architectural Panel) ดังรูปที่ 2.11 รอยต่อแนวตั้งวี-เชพ สามารถปรับปรุงพฤติกรรมและพัฒนาความคงทนของผนังภายใต้แรงสถิตยและแรงพลศาสตร์ อีกทั้งยังส่งผลดีทางด้านความสวยงามอีกด้วย ทำการทดสอบแรงเฉือนตามมาตรฐาน ASTM D 3175-73 (1973) และทดสอบการแยกออกจากกันตามมาตรฐาน ASTM D 1062-78 (1978) จากการทดสอบดังกล่าวพบว่าการเพิ่มความหนาของอีพ็อกซีในการเชื่อมประสานทำให้กำลังรับแรงเฉือนมีค่าลดลงเล็กน้อยและจะลดลงอย่างมากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแต่จะไม่เพิ่มค่าการเคลื่อนตัวของ การแยกออกจากกัน และสติฟเนสมีค่าลดลงเมื่อโมดูลัสของแรงเฉือนมีค่าเพิ่มขึ้น [14]



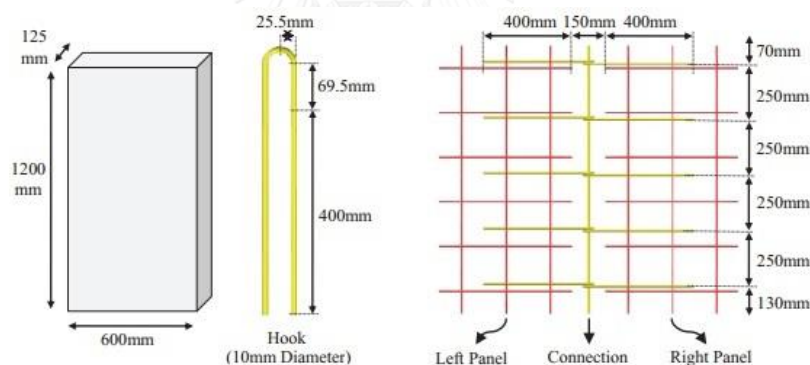
รูปที่ 2.11 การออกแบบรอยต่อแนวตั้งทางด้านสถาปัตยกรรม [14]

2.3.3 วัสดุซีเมนต์นอนซริงเกอร์้าท์

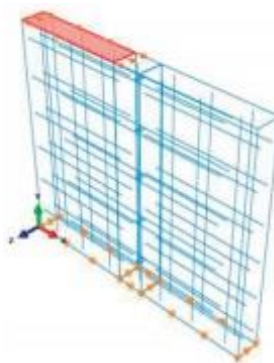
วัสดุซีเมนต์นอนซริงเกอร์้าท์ (Non-Shrink Grout) คือวัสดุซีเมนต์ผสมพิเศษที่ให้ค่ากำลังอัดสูง มีการไหลตัวดีและไม่มีการหดตัว คุณสมบัติโดยทั่วไปคือ มีความเหลวและไหลตัวได้ดี ทำให้การก่อสร้างง่ายและสะดวก มีความคงทนทางด้านการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และสามารถปรับแต่งความชื้นเหลวได้ มีความทนต่อการสั่นสะเทือนและแรงกระแทกได้ดี วัสดุซีเมนต์นอนซริงค์เกอร์้าท์นี้ยังสามารถรับกำลังอัดได้สูง (Compressive Strength) ค่ากำลังรับแรงอัดที่ 28 วันมีค่า 51.7 MPa ค่ากำลังรับแรงดึงแยก (Tensile Splitting Strength) ที่ 28 วันมีค่า 4.1 MPa กำลังต้านทานแรงดัด (Flexural Strength) ที่ 28 วัน มีค่า 9.6 MPa ค่าการยึดเหนี่ยว (Bond Strength) ระหว่างคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วกับพลาสติกเกอร์้าท์ ที่ 28 วัน มีค่า 13.7 MPa ส่วนใหญ่จะไม่เกิดน้ำเยิ้ม (Bleeding) ไม่ก่อให้เกิดสนิม หลังจากเทซีเมนต์นอนซริงเกอร์้าท์เสร็จเรียบร้อยแล้วควรบ่มด้วยน้ำและใช้กระสอบคลุมอย่างน้อย 3 วัน เพื่อป้องกันแสงแดดและอากาศที่เย็น แต่อย่างไรก็ดีวัสดุซีเมนต์นอนซริงเกอร์้าท์มีราคาสูงกว่าวัสดุซีเมนต์มอร์ต้าร์ประมาณ 20 เท่า [1]

2.4 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

Vaghei et al. (2013) ได้ทำการประเมินพฤติกรรมของรอยต่อระหว่างผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จของ Industrialized Building System (IBS) ในประเทศมาเลเซีย โดยส่วนประกอบทางโครงสร้างของ IBS ประกอบด้วย พื้น ผนัง เสา คาน และ หลังคา ซึ่งส่วนประกอบดังกล่าวผลิตจากโรงงาน (Prefabricated) และนำมาติดตั้งหน้างานโดยการเชื่อมยึดรอยต่อเข้าด้วยกัน Vaghei และคณะทำการจำลองโมเดลผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จและรอยต่อด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์แบบ 3 มิติ ดังรูปที่ 2.12 จำลองโมเดลพฤติกรรมของคอนกรีตหล่อในพื้นที่บริเวณรอยต่อ และคอนกรีตหล่อสำเร็จ ประกอบด้วยเหล็กเสริมและคอนกรีตซึ่งเป็นพฤติกรรมความเค้นและความเครียดแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear stress-strain behavior) แบบจำลองโครงสร้างรับแรงทางด้านข้างในแนวระนาบเนื่องจากการเคลื่อนตัวของพื้น เงื่อนไขขอบเขตในการวิเคราะห์เป็นจุดหมุน (Pinned support) ที่ฐานด้านล่าง ดังรูปที่ 2.13 และทำการประเมินพฤติกรรมรอยต่อในรูปแบบของความเค้น (Stress) การเสียรูป (Deformation) และความเครียดแบบพลาสติก (Plastic strain) [15]



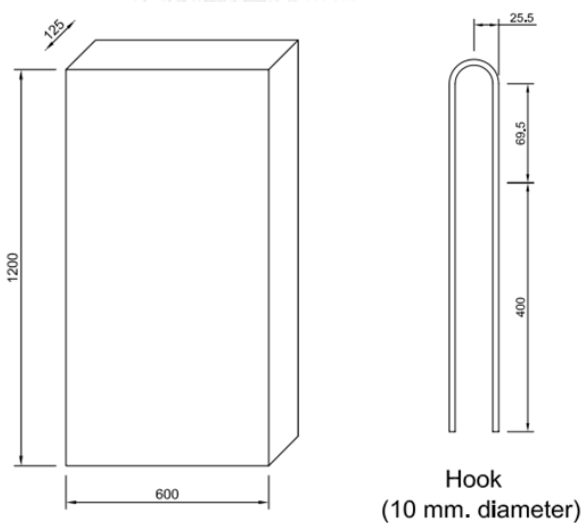
รูปที่ 2.12 การจำลองโมเดลของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จและรายละเอียดเหล็กเสริม [15]



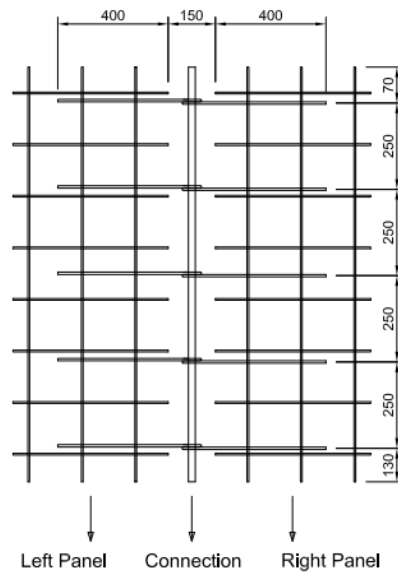
รูปที่ 2.13 เงื่อนไขขอบเขตของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ [15]

2.4.1 การสร้างแบบจำลองระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

การสร้างแบบจำลองของรอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จและหน้าสัมผัสด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ใน 3 มิติ เพื่อตรวจสอบผลการวิเคราะห์ของ ABAQUS ซอฟต์แวร์ จะทำการจำลองโมเดลผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ โดยให้การเคลื่อนที่กับโครงสร้างทางด้านบนซ้ายของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ จำลองรูปร่างไอโซเมตริก (Isometric) ของแบบจำลองผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จสมมติให้มีความสูง 1.20 เมตร ความกว้าง 0.60 เมตร ความหนา 100 มิลลิเมตร รอยต่อของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จให้มีความสูง 1.20 เมตร ความกว้าง 0.15 เมตร และความหนา 0.125 เมตร โดยมีฐานรองรับของโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จเป็นฐานชนิดหมุน (Pinned support) ความยาวของเหล็กเสริมแบบข้องอ (Hook) สมมติให้มีความยาว 469.5 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2.14 แบบรายละเอียดเหล็กเสริมภายในผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จแสดงดังรูปที่ 2.15 สร้างแบบจำลองโดยจำลองชิ้นส่วนคอนกรีตเป็นเอลิเมนต์ของของแข็งชนิด C3D8 และจำลองชิ้นส่วนเหล็กเสริมและข้องอเป็นเอลิเมนต์โครงถัก ชนิด T3D2 ชนิด 3 มิติ ให้แรงกระทำเพิ่มขึ้นทุก 2 วินาที จาก 0 ถึง 10 มิลลิเมตร จนกระทั่งถึง 20 วินาที



รูปที่ 2.14 แบบจำลองผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ



รูปที่ 2.15 แบบรายละเอียดเหล็กเสริมของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ

2.4.2 แบบจำลองกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

คอนกรีตเป็นวัสดุที่ใช้กันมาอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบันในงานวิศวกรรม โดยทั่วไปการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กใช้กำลังอัดของคอนกรีตเป็นเกณฑ์ พฤติกรรมของคอนกรีตจากกราฟความเค้นและความเครียด (Stress and Strain Relationship) พบว่า คอนกรีตมีพฤติกรรมรับแรงอัดในแนวแกนแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear) แบบจำลองกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตได้มีผู้เสนอในหลากหลายงานวิจัย ซึ่งแบบจำลองส่วนใหญ่เป็นไปในทิศทางเดียวกันคือ แบบจำลองไม่เชิงเส้น ซึ่งเป็นไปตามผลการทดสอบจริงโดยใช้ระเบียบวิธีทางคณิตศาสตร์ในการหาสมการและอธิบายความสัมพันธ์ความเค้นและความเครียดของกำลังรับแรงอัดคอนกรีต

จากแบบจำลองที่พัฒนาโดย Hognestad (1951) ได้ทำการหาความสัมพันธ์ของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดถึง 41 MPa จากการทดสอบ โดยใช้ระเบียบวิธีการทางคณิตศาสตร์ในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของกำลังรับแรงอัดคอนกรีต จากรูปที่ 2.16 ในช่วงแรกของความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดเป็นแบบพาราโบลาและในช่วงหลังเป็นแบบเชิงเส้น โดยสามารถอธิบายได้ดังสมการ (2.11) และ (2.12) [16]

$$f_c = f''_c \left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_0} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0} \right)^2 \right] \quad \text{สำหรับ } 0 < \varepsilon < \varepsilon_0 \quad (2.11)$$

$$f_c = f'_c \left[1 - \frac{Z}{1000} \left(\frac{\varepsilon_c - \varepsilon_0}{\varepsilon_0} \right) \right] \quad \text{สำหรับ } \varepsilon_0 < \varepsilon < 0.0038 \quad (2.12)$$

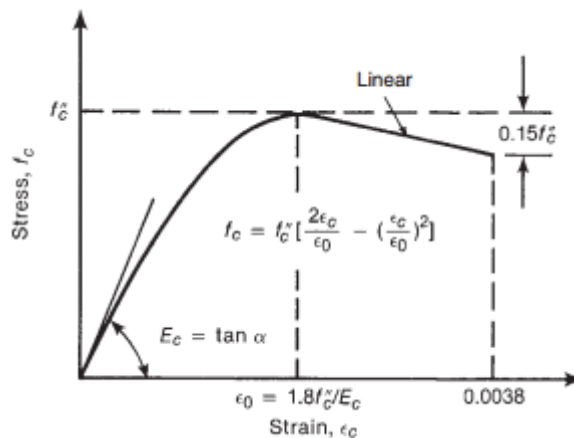
เมื่อ f_c = ความเค้นอัดของคอนกรีต

f''_c = การลดกำลังรับแรงอัดอัดของคอนกรีต มีค่าเท่ากับ $0.9 f'_c$

ϵ_0 = ความเครียดที่กำลังรับแรงอัดสูงสุดของคอนกรีต

ϵ_c = ความเครียดที่เกิดการวิบัติแบบแตกร้าว (Crushing Failure) ของคอนกรีต

z = ค่าคงที่ในการควบคุมความชันของกราฟ



รูปที่ 2.16 แสดงแบบจำลองของ Hognestad ในการประมาณความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีต [16]

แบบจำลองคอนกรีตของ Todeschini (1964) อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดดังรูปที่ 2.17 ซึ่งมีความสะดวกในการศึกษาและวิเคราะห์คอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดถึง 41 MPa เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างกราฟความเค้นและความเครียดอธิบายโดยใช้ฟังก์ชันที่ต่อเนื่องกัน ช่วงกราฟเป็นแบบพาราโบลาทั้งสองช่วงซึ่งมีความเสมือนจริงในพฤติกรรมการทดสอบของกำลังรับแรงอัดคอนกรีตมากกว่า Hognestad โดยมีสมการดัง (2.13) [16]

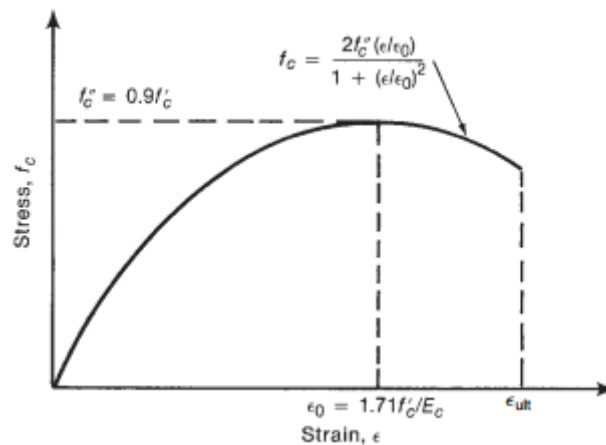
$$f_c = \frac{2f''_c(\epsilon/\epsilon_0)}{1 + (\epsilon/\epsilon_0)^2} \quad (2.13)$$

เมื่อ f_c = ความเค้นอัดของคอนกรีต

f''_c = การลดกำลังรับแรงอัดอัดของคอนกรีต มีค่าเท่ากับ $0.9 f'_c$

ϵ_0 = ความเครียดที่กำลังรับแรงอัดสูงสุดของคอนกรีต มีค่าเท่ากับ $1.17 f'_c / E_c$

ϵ_{ult} = ความเครียดที่เกิดการวิบัติแบบแตกร้าว (Crushing Failure) ของคอนกรีต



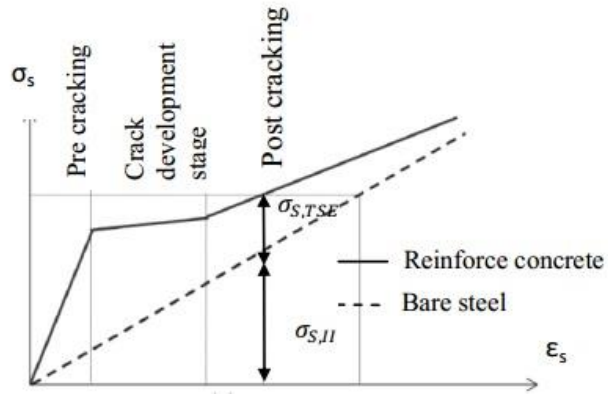
รูปที่ 2.17 แสดงแบบจำลองของ Todeschi ในการประมาณความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีต [16]

2.4.3 แบบจำลองกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต

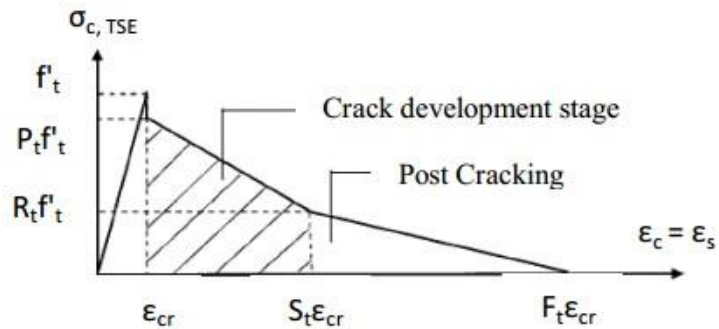
คอนกรีตเป็นวัสดุเปราะและรับกำลังแรงดึงได้ต่ำมาก แต่เพื่อให้การจำลองพฤติกรรมของโครงสร้างเป็นไปอย่างสมบูรณ์แบบ การจำลองกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตจึงนำมาพิจารณาด้วย โดยทั่วไปแล้วกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตมีค่าประมาณร้อยละ 10 ของกำลังอัดประลัย สำหรับแบบจำลองพฤติกรรมของกำลังรับแรงดึงคอนกรีตต้องครอบคลุมจุดที่กำลังรับแรงดึงมากที่สุดถึงจุดที่กำลังรับแรงดึงลดลง โดยช่วงจุดที่กำลังรับแรงดึงลดลง เป็นช่วงที่คอนกรีตเกิดรอยร้าวเนื่องจากไม่สามารถต้านทานแรงดึงได้ ในปัจจุบันแบบจำลองในการวิเคราะห์หมีให้เลือกตามความเหมาะสมของปัญหาที่พิจารณา

Alih and Khelil (2012) ได้เสนอแบบจำลองและตัวแปรของกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตที่ใช้วิเคราะห์ได้ทั้งในคอนกรีตปกติและคอนกรีตเสริมเส้นใยโดยตรวจสอบความถูกต้องด้วยการทดสอบจริงในระดับห้องปฏิบัติการ พบว่ากราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงกระทำแกนเดียวสามารถแบ่งเป็นได้เป็นสามช่วง โดยช่วงแรกเป็นช่วงก่อนเกิดการแตกร้าวของคอนกรีต (Pre Cracking) ในช่วงนี้คอนกรีตสามารถรับแรงดึงที่เกิดขึ้นได้ ช่วงที่สองเป็นช่วงพัฒนาการแตกร้าวของคอนกรีต (Crack Development Stage) เมื่อคอนกรีตเกิดการแตกร้าว คอนกรีตเริ่มสูญเสียความสามารถในการรับแรงดึง และช่วงที่สามเป็นช่วงหลังจากการแตกร้าว (Post Cracking) คอนกรีตไม่สามารถรับแรงดึงได้อีกต่อไป เป็นช่วงที่เหล็กเสริมรับแรงดึงที่เกิดขึ้นในคอนกรีตเกิด Tension Stiffening นั่นคือให้แรงกระทำมากขึ้น ความเครียดมีค่าเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.18 และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและ

ความเครียดของคอนกรีตเทียบเท่ากับการจำลอง Tension Stiffening ภายใต้แรงอัดแกนเดียว แสดงดังรูปที่ 2.19 [17]



รูปที่ 2.18 แสดงการจำลอง Tension stiffening ภายใต้แรงดึงแกนเดียว [17]



รูปที่ 2.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีตเทียบเท่ากับการจำลอง Tension Stiffening ภายใต้แรงอัดแกนเดียว [17]

เมื่อคอนกรีตได้รับแรงกระทำคุณสมบัติของวัสดุคอนกรีตจะมีการเปลี่ยนแปลง แรงกระทำจะถูกถ่ายผ่านเหล็กเสริมในคอนกรีต ซึ่งทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าว โดยสามารถอธิบายได้ดังสมการที่ (2.14) และ (2.15)

$$f'_t = 0.3 f_{cu} \left(\frac{2}{3}\right) \tag{2.14}$$

และ
$$\epsilon_{cr} = \frac{f'_t}{E} \tag{2.15}$$

เมื่อ f'_t = กำลังรับแรงดึงของคอนกรีต

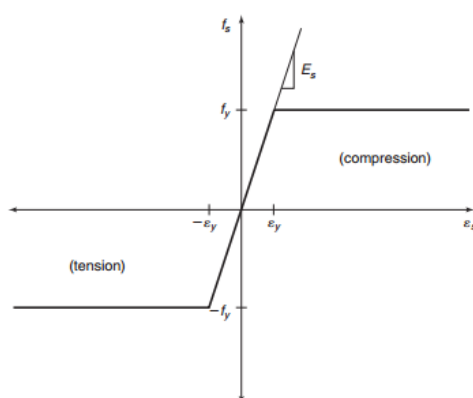
f_{cu} = กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

ϵ_{cr} = ความเครียดแตกร้าว (cracking strain)

$E =$ โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (Elasticity modulus of concrete)

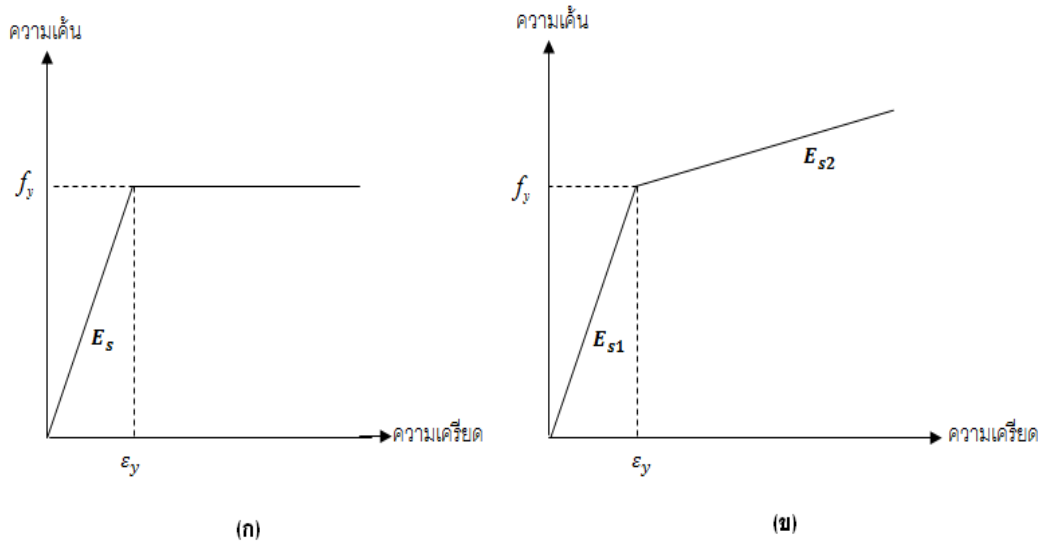
2.4.4 แบบจำลองของเหล็กเสริม

โดยทั่วไปแล้วความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของเหล็กเสริมเป็นแบบอิลาสติก-พลาสติกโดยสมบูรณ์ (โดยไม่พิจารณาถึงพฤติกรรมของการแข็งตัวเพิ่ม) ดังรูปที่ 2.20 ซึ่งหน่วยแรงดึงหรือหน่วยแรงอัดสูงสุดของเหล็กเสริมมีค่าเท่ากับกำลังที่จุดคราก (f_y) และโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริมมีค่าเท่ากับ 200 GPa [16]



รูปที่ 2.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของเหล็กเสริม [16]

ในงานวิจัยส่วนใหญ่นิยมใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของเหล็กเสริมแบบอุดมคติแสดงดังรูปที่ 2.21 ซึ่งการนำไปใช้นั้นขึ้นอยู่กับระดับความถูกต้องและเหมาะสมกับงานวิจัย โดยรูปที่ 2.21(ก.) เป็นไปตามสมมติฐานการออกแบบสำหรับมาตรฐานของ ACI ที่ว่ากำลังที่เพิ่มขึ้นในช่วงการแข็งตัวของเหล็กนั้นไม่นำมาพิจารณา การจำลองเหล็กเสริมเป็นแบบยืดหยุ่นเชิงเส้น และมีค่าของความเค้นพลาสติกเพียงค่าเดียวเท่านั้น ซึ่งการออกแบบนี้เหมาะสมสำหรับใช้ในเหล็กที่มีส่วนผสมคาร์บอนต่ำและมีกำลังครากต่ำ แต่ถ้าคิดผลของพฤติกรรมหลังจากจุดครากที่เหล็กแข็งตัวเพิ่มไม่สามารถใช้กราฟและสมมติฐานนี้ได้ เนื่องจากความเค้นจะมีค่าน้อยกว่าความเป็นจริงเมื่อความเครียดมีค่ามากขึ้น ในรูปที่ 2.21 (ข.) แบบจำลองพฤติกรรมของเหล็กมีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานมากกว่าและเหมาะสำหรับการประเมินกำลังของชิ้นส่วนโครงสร้างที่มีการเสียรูปมาก ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของเหล็กเสริมเป็นความสัมพันธ์แบบยืดหยุ่น (Linear Elastic) ในช่วงแรก และความสัมพันธ์แบบพลาสติกเชิงเส้น (Linear Plastic Hardening) ในช่วงหลังจากจุดครากของเหล็กเสริม [18]



รูปที่ 2.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของเหล็กเสริมในอุดมคติ [18]

2.4.5 แบบจำลองของแรงยึดเหนี่ยว

- แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีต

สมมติฐานโดยทั่วไปให้การยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีตเป็นไปอย่างสมบูรณ์ ไม่คำนึงถึงผลการลื่นไถลระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสเหล็กเสริมกับคอนกรีต เนื่องจากเหล็กเสริมที่ใช้งานจริงส่วนใหญ่ใช้เหล็กข้ออ้อย ซึ่งที่ผิวตามความยาวของเหล็กมีลักษณะเป็นบั้งหรือปล้องหรือครีบกี้ยวทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวเพียงพอที่จะไม่ทำให้เหล็กลื่นไถลหลุดออกจากคอนกรีต หรืออาจเกิดการลื่นไถลได้น้อยมาก แต่ในการวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองจำเป็นต้องคำนึงถึงผลของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีตเพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือและความแม่นยำในการคำนวณมากยิ่งขึ้น [19]

- แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับวัสดุอนซิ่งเกอร์้าท์

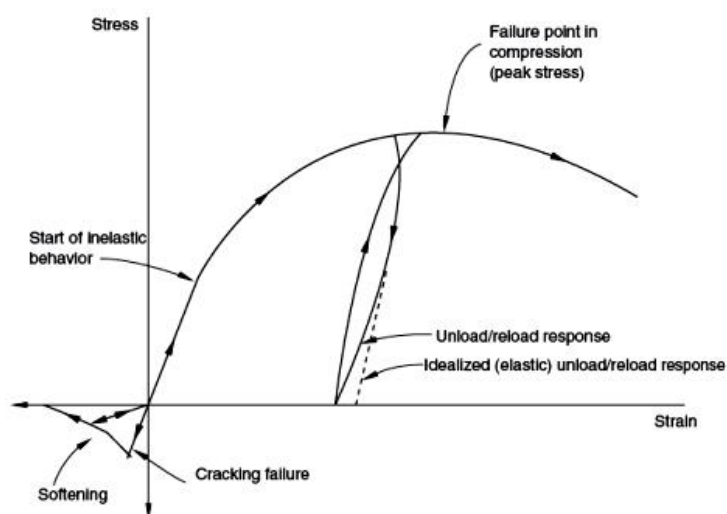
แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับวัสดุอนซิ่งเกอร์้าท์เป็นไปอย่างสมบูรณ์ ไม่คำนึงถึงผลการลื่นไถลระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสเหล็กเสริมกับคอนกรีต เนื่องจากเหล็กเสริมที่ใช้งานจริงส่วนใหญ่ใช้เหล็กข้ออ้อย ซึ่งที่ผิวตามความยาวของเหล็กมีลักษณะเป็นบั้งหรือปล้องหรือครีบกี้ยวทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวเพียงพอที่จะไม่ทำให้เหล็กลื่นไถลหลุดออกจากคอนกรีต หรืออาจเกิดการลื่นไถลได้น้อยมาก เช่นเดียวกับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีต

2.5 ชนิดแบบจำลองวัสดุ

ในการสร้างแบบจำลองวัสดุใน ABAQUS ซอฟต์แวร์ เพื่อวิเคราะห์และอธิบายพฤติกรรมของคอนกรีต สามารถเลือกใช้แบบจำลองคอนกรีตปกติ (Plain Concrete) และคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete) ซึ่งแบบจำลองขึ้นอยู่กับตัวแปรและค่าของวัสดุมีทั้งหมด 3 แบบ ประกอบด้วย 1.แบบจำลองการกระจายรอยร้าว (Smearred Cracking Model) 2.แบบจำลองการแตกร้าว (Cracking Model) และ 3.แบบจำลองการเสียหายแบบพลาสติก (Concrete Damage Plasticity Model) [20]

2.5.1 แบบจำลองการกระจายรอยร้าว (Smearred Cracking Model)

แบบจำลองการกระจายรอยร้าวเป็นแบบจำลองที่มีความเหมาะสมกับการจำลองพฤติกรรมโครงสร้างคอนกรีตที่มีการให้แรงกระทำอย่างต่อเนื่อง (Monotonic Loading) สมมติกลไกหลักของการพังเสียหายจากการกระจายตัวรอยร้าว โดยไม่ได้พิจารณาถึงรอยร้าวที่มีขนาดเล็กมาก ๆ (Microcracking) ของแต่ละตำแหน่ง Integration Point และการแตกร้าวจะเกิดขึ้นเมื่อความเค้นถึงจุดพื้นผิวการพัง (Failure Surface) โดยมีนิยามในระนาบ p - q หรือพื้นผิวการร้าว (Crack Detection Surface) พารามิเตอร์ p คือความเค้นเบี่ยงเบนไม่แปรเปลี่ยนอันดับหนึ่ง (First Deviatoric Stress Invariant) และ q คือความเค้นเบี่ยงเบนไม่แปรเปลี่ยนอันดับสอง (Second Deviatoric Stress Invariant) ซึ่งแบบจำลองนี้ส่งผลต่อค่าความเค้นและค่าความแข็ง (Stiffness) ของวัสดุแต่ละตำแหน่ง Integration Point ในแบบจำลอง และแบบจำลองยังครอบคลุมแรงอัดหลายแกน (Multi-Axial) เพื่อให้พฤติกรรมของวัสดุมีความถูกต้องมากที่สุด ดังรูปที่ 2.22 [18, 20]



รูปที่ 2.22 พฤติกรรมในแนวแกนของคอนกรีตปกติ [20]

แบบจำลองการกระจายรอยร้าวอธิบายพฤติกรรมในแนวแกนของคอนกรีตปกติเป็นแบบยืดหยุ่น (Elastic) เมื่อได้รับแรงอัดขั้นแรก และจะเปลี่ยนพฤติกรรมเป็นแบบไม่ยืดหยุ่น (Inelastic) เมื่อมีค่าความเค้นมากขึ้น จนถึงจุดที่มีความเค้นมากที่สุดคอนกรีตจะเสียกำลังไม่สามารถรับกำลังที่เพิ่มขึ้นหลังจากจุดนี้ได้ และจะหลังจากจุดนี้กำลังคอนกรีตจะมีค่าลดลง ทางด้านพฤติกรรมการรับแรงดึงของคอนกรีตเมื่อคอนกรีตได้รับแรงดึงจนกระทั่งถึงจุดต้านทานแรงดึงมากที่สุด รอยร้าวในคอนกรีตจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ไม่สามารถอธิบายพฤติกรรมการรับแรงดึงของคอนกรีตได้อย่างแท้จริงได้ ในแบบจำลองจึงทำการสมมติรอยร้าว มีผลให้โครงสร้างมีกำลังต้านทานน้อยลง เนื่องจากคอนกรีตเกิดความเสียหายจากการเปิดของรอยร้าวที่สมมติขึ้นทำให้สูญเสียความแข็งแรงยืดหยุ่น (Elastic Stiffness) [18, 20]

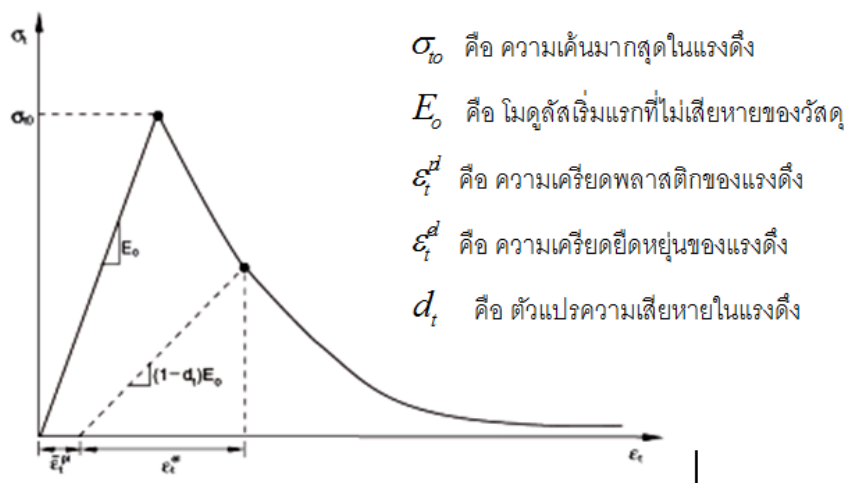
2.5.2 แบบจำลองการแตกร้าว (Cracking Model)

แบบจำลองการแตกร้าวถูกพัฒนาขึ้นเพื่อการจำลองโครงสร้างคอนกรีตที่ได้รับแรงพลศาสตร์ (Dynamic Loading) เท่านั้น กลไกการเสียหายของคอนกรีตจะเสียหายจากการร้าวด้วยแรงดึง ในส่วนของแรงอัดแบบจำลองจะอธิบายพฤติกรรมแบบยืดหยุ่นเชิงเส้น การพังของคอนกรีตนั้นถูกกำหนดให้มีความคล้ายกันกับแบบจำลองการกระจายรอยร้าวในรูปแบบการแตกร้าว เพื่อหาความไม่ต่อเนื่องของพฤติกรรมของคอนกรีต โดยใช้เกณฑ์ของ Rankine ในการอธิบายแบบจำลองและแสดงสถานะของการสร้างรอยร้าว แบบจำลองจะแสดงพฤติกรรมการแตกร้าวในคอนกรีต หลังจากที่มีความเค้นจากแรงดึงถึงจุดที่คอนกรีตต้านทานแรงดึงสูงสุดได้ ในการนำแบบจำลองมาวิเคราะห์นั้นพฤติกรรมการแตกร้าวของคอนกรีตเสริมเหล็กจะวิเคราะห์แยกกัน โดยผลกระทบจากส่วนที่ยึดกันระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีต จะประมาณโดย Tension Stiffening เข้าสู่แบบจำลอง และแรงกระทำจะถูกถ่ายผ่านรอยร้าวไปสู่เหล็กเสริมในคอนกรีต นอกจากนี้แบบจำลองยังสามารถจำลองวัสดุอื่น เช่น หิน และเซรามิก เป็นต้น แต่พฤติกรรมยังคงเป็นการแตกร้าวจากแรงดึงเช่นเดียวกับคอนกรีต ดังนั้นแบบจำลองการแตกร้าวนี้เหมาะสมในการอธิบายการเปราะแตก (Brittle Cracking) ของวัสดุใด ๆ ภายใต้เงื่อนไขความสัมพันธ์ของแรงอัดแบบเชิงเส้น [18, 20]

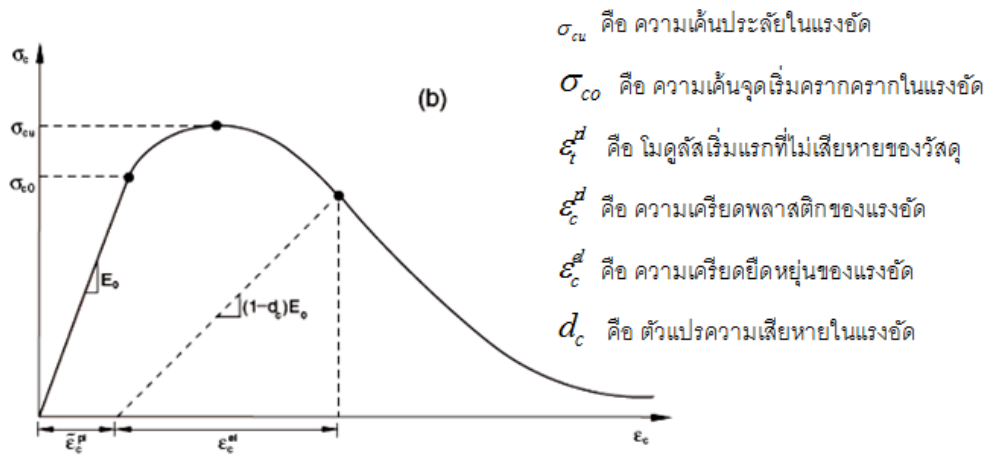
2.5.3 แบบจำลองการเสียหายแบบพลาสติก (Concrete Damage Plasticity Model)

แบบจำลองการเสียหายแบบพลาสติกเหมาะสมในการอธิบายและทำนายพฤติกรรมของคอนกรีตในหลากหลายด้านได้เป็นอย่างดี ทั้งในรูปแบบการให้แรงอย่างต่อเนื่อง (Monotonic Loading) แรงแบบวัฏจักร (Cyclic Loading) หรือแรงแบบพลศาสตร์ (Dynamic Loading)

แบบจำลองนี้พัฒนาจากแบบจำลองของ Drucker-Prager และใช้แนวคิดของการเสียหายไอโซทรอปิกแบบยืดหยุ่น (Isotropic Damage Elasticity) และในการอธิบายพฤติกรรมของคอนกรีตแบบไม่ยืดหยุ่นได้รวมผลของไอโซทรอปิกแบบพลาสติกทั้งแรงดึงและแรงอัดของคอนกรีต (Isotropic Tensile and Compressive Plasticity) ด้วย ในส่วนของแรงอัดและแรงดึงใช้รูปแบบการคิดแรงในหลายแกน (Multi-Axial) พิจารณากลไกพฤติกรรมของคอนกรีตเป็นแบบต่อเนื่องบนพื้นฐานการอธิบายแบบพลาสติก สมมติความเสียหายหลักจากสองส่วนคือ กลไกการเสียหายจากการแตกร้าวด้วยแรงดึง (Tensile Cracking) และการอัดแตก (Crushing) ด้วยแรงอัดของคอนกรีต ขอบเขตพื้นที่การเสียหาย (Yield Surface of Failure Surface) ถูกควบคุมโดยตัวแปรของการแข็งเพิ่ม (Hardening Variables) โดยที่กลไกจะมีการเชื่อมโยงกันกับการเสียหายภายใต้การให้แรงอัดและแรงดึง ในรูปของความเครียดเทียบเท่าแบบพลาสติก (Equivalent Plastic Strain) สำหรับแรงอัดและแรงดึงตรงศูนย์ในแนวแกน (Uni-Axial Compression and Tension) ความเสียหายจะขึ้นอยู่กับตัวแปรความเสียหายทั้งในแรงอัดและแรงดึง ดังรูปที่ 2.23 และรูปที่ 2.24 [18, 20]



รูปที่ 2.23 แบบจำลองแรงดึงในแนวแกน [20]



รูปที่ 2.24 แบบจำลองแรงอัดในแนวแกน [20]

2.6 ข้อกำหนดเกี่ยวกับโครงสร้างหล่อสำเร็จตามมาตรฐาน ACI-318

มาตรฐาน ACI-318 (2008) เสนอข้อกำหนดและค่าที่เหมาะสมของการออกแบบสำหรับอาคารโครงสร้างคอนกรีต รวมถึงเสนอข้อกำหนดเกี่ยวกับระบบคอนกรีตหล่อสำเร็จด้วย ซึ่งในที่นี้พิจารณาในส่วนที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้ [21]

2.6.1 การถ่ายแรงระหว่างชิ้นส่วนโครงสร้าง

- การหาแรงกระจายตั้งฉากกับชิ้นส่วนโครงสร้างควรคำนวณจากการวิเคราะห์โครงสร้างหรือการทดสอบ ชิ้นส่วนโครงสร้างที่รับแรงกระทำต้องสามารถรับแรงบิดได้ (Torsional Stiffness) และสามารถถ่ายแรงเฉือนผ่านรอยต่อได้
- ในระบบพื้นหล่อสำเร็จหรือผนังหล่อสำเร็จ พฤติกรรมของโครงสร้างต้องการให้แรงในระนาบ (In-Plane Force) สามารถถ่ายผ่านระหว่างชิ้นส่วนได้ แรงในระนาบในระบบผนังหล่อสำเร็จเป็นผลมาจากแรงปฏิกิริยาของไดอะแฟรม (Diaphragm Reactions) และแรงด้านข้างภายนอก (External Lateral Loads)
- รอยต่อควรออกแบบให้เหมาะสมในการรับแรงและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่เกิดจากการหดตัว (Shrinkage) การคืบ (Creep) และผลจากอุณหภูมิ (Thermal Effects) โดยออกแบบรอยต่อให้มีกำลังและความเหนียวที่เพียงพอ

2.6.2 การออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้าง

- ในการออกแบบพื้นหล่อสำเร็จทางเดียว พื้นหลังคา และผนังหล่อสำเร็จ ความกว้างจำกัดที่ 3.7 เมตร และเมื่อชิ้นส่วนไม่เชื่อมต่อกันเชิงกลจำเป็นต้องวางเหล็กเสริมทางขวาง
- สำหรับผนังหล่อสำเร็จที่เสริมเหล็กปกติควรออกแบบเหล็กเสริมแนวนอนและแนวตั้งไม่น้อยกว่า $0.001A_g$ เมื่อ A_g คือพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของผนังหล่อสำเร็จ ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมไม่เกินกว่า 5 เท่าของความหนาผนังหล่อสำเร็จ หรือไม่เกินกว่า 750 มิลลิเมตร สำหรับผนังภายใน และ 450 มิลลิเมตร สำหรับผนังภายนอก

2.7 คู่มือแนะนำสำหรับผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ ตาม ACI 533

คู่มือแนะนำ ACI 533 เสนอข้อแนะนำสำหรับผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จดังต่อไปนี้ [22]

2.7.1 แรงที่ใช้ในการออกแบบ

ผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จควรออกแบบให้สามารถต้านทานแรงดังกล่าวต่อไปนี้

- แรงที่เกิดจากการทรุดตัวของฐานรองรับ และการดึงออกจากการคืบและการหดตัว โครงสร้างต้องสามารถต้านทานผลที่เกิดจากอุณหภูมิและสภาพแวดล้อมได้
- แรงเนื่องจากการก่อสร้าง การยกขนย้าย การเก็บ การขนส่ง การติดตั้ง การปะทะ น้ำหนักบรรทุกทุกตายตัว และน้ำหนักบรรทุกจร แรงกระทำด้านข้างจากแรงดันดินด้านข้าง แรงลม และแรงแผ่นดินไหว
- แรงที่กระทำและความเข้มของความเค้นที่กระทำบริเวณรอยต่อ
- แรงที่เกิดจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป หรือปริมาตรของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากฐานรองรับของโครงสร้าง

2.7.2 สภาวะด้านการใช้งาน

- โดยทั่วไปพิจารณาการดัดงอตั้งฉากและขนานกับผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จที่เกิดจากแรงกระทำในสภาวะการใช้งาน รวมถึงจำเป็นต้องพิจารณา ความล้า การปะทะ (ถ้ามี) การร้าว และความมีเสถียรภาพด้วย
- การโก่งตัวที่ยอมให้ในสภาวะการใช้งานไม่ควรเกินค่าที่แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าการโก่งตัวที่ยอมให้สำหรับผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ [22]

ประเภทของชิ้นส่วน	ข้อพิจารณาการโก่งตัว	ค่าการโก่งตัวที่ยอมให้
ผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จรับน้ำหนัก	การโก่งตัวทันทีเนื่องจากผลของการอัดแรงคอนกรีต รวมถึงน้ำหนักบรรทุกคงที่ น้ำหนักบรรทุกคงที่เพิ่มเติม	1/240 แต่ไม่มากกว่า 19.05 มิลลิเมตร
	การโก่งตัวทันทีเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจร	1/360 แต่ไม่มากกว่า 19.05 มิลลิเมตร
ผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จไม่รับน้ำหนัก ซึ่งคาดว่าจะเกิดความเสียหายเนื่องจากการแอ่นตัวมาก	การโก่งตัวทั้งหมดหลังจากติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จไม่รับน้ำหนักของอาคาร (คิดผลของการโก่งตัวระยะยาวจากแรงค้ำและ การโก่งตัวทันทีเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจร	1/480 แต่ไม่มากกว่า 19.05 มิลลิเมตร

- การร้าว แม้ว่าผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จจะเกิดการร้าวน้อยกว่าการหล่อในที่ แต่ไม่ได้หมายความว่าผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จจะไม่พบการเกิดรอยร้าวเลย การคำนวณการเกิดรอยร้าวขึ้นขึ้นอยู่กับวิศวกรเป็นคนออกแบบโดยส่วนใหญ่แล้วการร้าวในผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จจะไม่สามารถมองเห็นได้ ซึ่งการประเมินควบคุมและค่าที่ยอมรับได้ของรอยร้าว นั้น ค่าความกว้างของรอยร้าวที่แคบมาก ไม่เกิน 0.254 มิลลิเมตร และมีการป้องกันการเกิดสนิมที่ตัวเหล็กเสริม ถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้กับตัวโครงสร้าง ดังนั้นถ้าเหล็กเสริมมีการป้องกันการเกิดสนิมความกว้างรอยแตกร้าวของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จที่ผิวสัมผัสอากาศมีค่าไม่เกิน 0.127 มิลลิเมตร ความกว้างรอยแตกร้าวของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จที่ผิวไม่สัมผัสอากาศมีค่าไม่เกิน 0.254 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้
- รอยแตกร้าวในผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จอาจแบ่งได้เป็นแบบ Hairline, Cleavage, or Fracture cracks

Hairline cracks เป็นการร้าวบริเวณผิว ซึ่งความกว้างของรอยร้าวสามารถมองเห็นได้ แต่ไม่สามารถวัดค่าความกว้างรอยร้าวได้

Cleavage cracks คือการร้าวไม่เกิน 0.254 มิลลิเมตร ความกว้างรอยแตกร้าว สามารถวัดได้ด้วยเครื่องมือตรวจสอบเห็นเหล็กเสริมที่อยู่ใกล้ที่สุด

Fractures คือการร้าวแบบ Cleavages ทั้งหมดที่สามารถวัดได้ โดยที่น้ำสามารถผ่าน รอยร้าวนี้ได้อย่างอิสระ

Crazing ประกอบด้วย การร้าวแบบ Hairline cracks ในรูปแบบหกเหลี่ยมและแปดเหลี่ยมที่ผิวของคอนกรีต อาจเกิดได้ในผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ แต่ไม่เผยให้เห็นผิวของมวลรวมหยาบหรือเมื่อคอนกรีตมีสีดำ จะพบเห็นได้ในผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีสีขาว ผิวบาง และคอนกรีตทับหน้าผิวเรียบ

- การป้องกันและการควบคุมการเกิดรอยร้าว การลดความกว้างรอยร้าวสามารถทำได้ โดยการจัดวางเหล็กเสริมให้เพียงพอและเหมาะสม เหล็กเสริมช่วยลดการร้าวได้ด้วยการวางเหล็กกรัดรอบ ใช้เหล็กขนาดเล็ก หรือตะแกรงบาง

2.7.3 รอยต่อและการยึดติดรอยต่อ

- ผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จควรมีความสามารถในการรับแรงและความเค้นที่กระทำกับผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ รวมถึงแรงลม และแรงแผ่นดินไหว ตามที่มาตรฐานกำหนด
- การเคลื่อนที่ของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ ที่รอยต่อของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จควรจะสามารถออกแบบให้ผนังสามารถเคลื่อนที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรในคอนกรีตเนื่องมาจากอุณหภูมิ ความชื้นที่แตกต่างกัน และการล้า ของการอัดแรงให้กับเหล็กเสริมในผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ รวมถึงการเกิดการเคลื่อนที่ไปด้านข้างด้วย

2.7.4 วัสดุยาแนวรอยต่อและวัสดุรองรับและปรับระดับความลึก

- มอร์ตาร์ ซีเมนต์มอร์ตาร์ไม่สามารถยึดขยายตัวและรองรับการเคลื่อนที่ของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จได้ แม้ว่าซีเมนต์มอร์ตาร์ไม่มีความเหมาะสมในการนำมาใช้งานโดยตรง แต่สามารถนำมาใช้งานที่บริเวณรอยต่อรวมกันกับวัสดุยาแนว

- วัสดุยาแนวประเภทอีลาสโตเมอร์ริค (Elastomeric sealants) หรือวัสดุที่มีความยืดหยุ่นคล้ายยาง มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ในผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ วัสดุยาแนวประเภทอีลาสโตเมอร์ริค ประกอบด้วย โพลีซัลไฟด์ (Polysulfides) ซิลิโคน (Silicone) และยูรีเทน (Urethanes) จะประกอบด้วยสารคอมพาวด์หนึ่งหรือสองส่วน ซึ่งไม่มีน้ำมันเป็นส่วนประกอบ ในการติดตั้งครั้งแรกจะมีราคาสูง แต่วัสดุยาแนวประเภทอีลาสโตเมอร์ริคมีความสามารถในการกันน้ำซึมผ่านได้ดีกว่าและอายุการใช้งานยาวนานกว่า
- วัสดุรองรับและปรับระดับความลึกที่รอยต่อ ใช้ในการควบคุมและปรับระดับความลึกที่รอยต่อ ใช้เพื่อป้องกันวัสดุยาแนวยึดติดไปกับรอยต่อโดยตรง วัสดุรองรับสามารถรองรับการเคลื่อนที่ไปของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ วัสดุรองรับที่มีหน้าตัดกลมให้การยึดติดกันกับวัสดุยาแนวได้ดีกว่า และวัสดุรองรับที่ทำจากโฟมหรือฟองน้ำสามารถป้องกันความชื้นได้ดีกว่า

2.7.5 วัสดุยาแนวอุดรอยรั่ว

- การเตรียมพื้นผิวรอยต่อ ก่อนที่จะใช้วัสดุอุดรอยรั่ว พื้นผิวคอนกรีตต้องสะอาด เรียบ และปราศจากมอร์ตาร์ ฝุ่น หรือสิ่งปนเปื้อนอื่น ๆ เช่น ตัวทำละลายที่อาจมีผลกับการยึดเหนี่ยว วัสดุยาแนวอุดรอยต่อบางประเภทไม่สามารถใช้กับพื้นผิวที่เปียกได้ การใช้ผงเหล็ก และทรายบดละเอียด กับการอัดอากาศ สามารถกำจัดสิ่งปนเปื้อนที่ผิวได้ หลังจากทำความสะอาดบริเวณพื้นที่รอยต่อแล้ว รอยต่อควรทำให้ชื้นและปราศจากตัวทำละลายที่เป็นน้ำมัน หรือตามที่ผลิตภัณฑ์แนะนำ เพื่อให้การยึดเหนี่ยวกันระหว่างวัสดุยาแนวและพื้นผิวคอนกรีตหล่อสำเร็จยึดเหนี่ยวกันได้ดี วัสดุยาแนวบางประเภทแนะนำให้ทาวัสดุทับหน้าก่อน
- การติดตั้งวัสดุยาแนว ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และความชื้น ในสภาวะอากาศที่เย็น รอยต่อและวัสดุยาแนวควรได้รับความร้อนก่อนการติดตั้งตามที่ผลิตภัณฑ์แนะนำ การใช้วัสดุรองรับแบบกลมและขนาดเล็กจะดีกว่าการใช้ขนาดใหญ่ เนื่องจากสามารถเปลี่ยนรูปไปในทิศทางเดียวกัน สำหรับความกว้างรอยต่อ 12.7 มิลลิเมตร ความลึกของวัสดุยาแนวควรมีค่าเท่ากับความกว้างของรอยต่อ สำหรับความกว้างรอยต่อที่

มากกว่านั้น ความลึกของวัสดุยาแนวควรมีค่าครึ่งหนึ่งของความกว้างรอยต่อ แต่ไม่มากกว่า 12.7 มิลลิเมตร

2.8 ข้อกำหนดเกี่ยวกับค่าความเครียดเนื่องจากการหดตัวในคอนกรีตตามมาตรฐาน ACI-209

มาตรฐาน ACI-209 (1992) เสนอสมการการคำนวณค่าความเครียดเนื่องจากการหดตัวในคอนกรีตที่บ่มขึ้นเป็นเวลา 7 วัน และทำให้แห้งในอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 40 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังสมการที่ 2.16 สำหรับคอนกรีตบ่มด้วยไอน้ำเป็นเวลา 1 วัน ถึง 3 วัน แสดงดังสมการที่ 2.17 [23]

$$(\varepsilon_{sh})_t = \frac{t}{35+t} (\varepsilon_{sh})_u \quad (2.16)$$

$$(\varepsilon_{sh})_t = \frac{t}{55+t} (\varepsilon_{sh})_u \quad (2.17)$$

เมื่อ $(\varepsilon_{sh})_t$ = ค่าความเครียดเนื่องจากการหดตัวหลังจากการแห้งเป็น t วัน

$(\varepsilon_{sh})_u$ = ค่าความเครียดเนื่องจากการหดตัวแห้งมากที่สุด (mm/mm)

สำหรับสภาวะมาตรฐานของมวลรวมสภาพปกติ และบ่มที่ความชื้นสัมพัทธ์ 40 เปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ยของค่าความเครียดเนื่องจากการหดตัวมากที่สุด แสดงดังสมการที่ 2.18

$$\varepsilon_{shu} = 780 \times 10^{-6} \quad (2.18)$$

สำหรับสภาวะอื่นๆ ค่าเฉลี่ยความเครียดเนื่องจากการหดตัวมากที่สุด ต้องทำการปรับแก้ค่าตัวแปร ดังสมการที่ 2.19

$$\varepsilon_{shu} = 780 \gamma_{sh} \times 10^{-6} \quad (2.19)$$

เมื่อ γ_{sh} = ค่าสะสมของการปรับแก้ตัวแปร มีค่าเท่ากับ $\gamma_{sh,tc}$ $\gamma_{sh,RH}$ $\gamma_{sh,vs}$ $\gamma_{sh,s}$ $\gamma_{sh,\phi}$ $\gamma_{sh,c}$ $\gamma_{sh,\alpha}$

ค่าการเคลื่อนที่ระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จสามารถหาได้จาก สมการที่ 2.20

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{L} \quad (2.20)$$

เมื่อ ε = ความเครียด

Δ = ความยาวที่เปลี่ยนแปลงไป, มม.

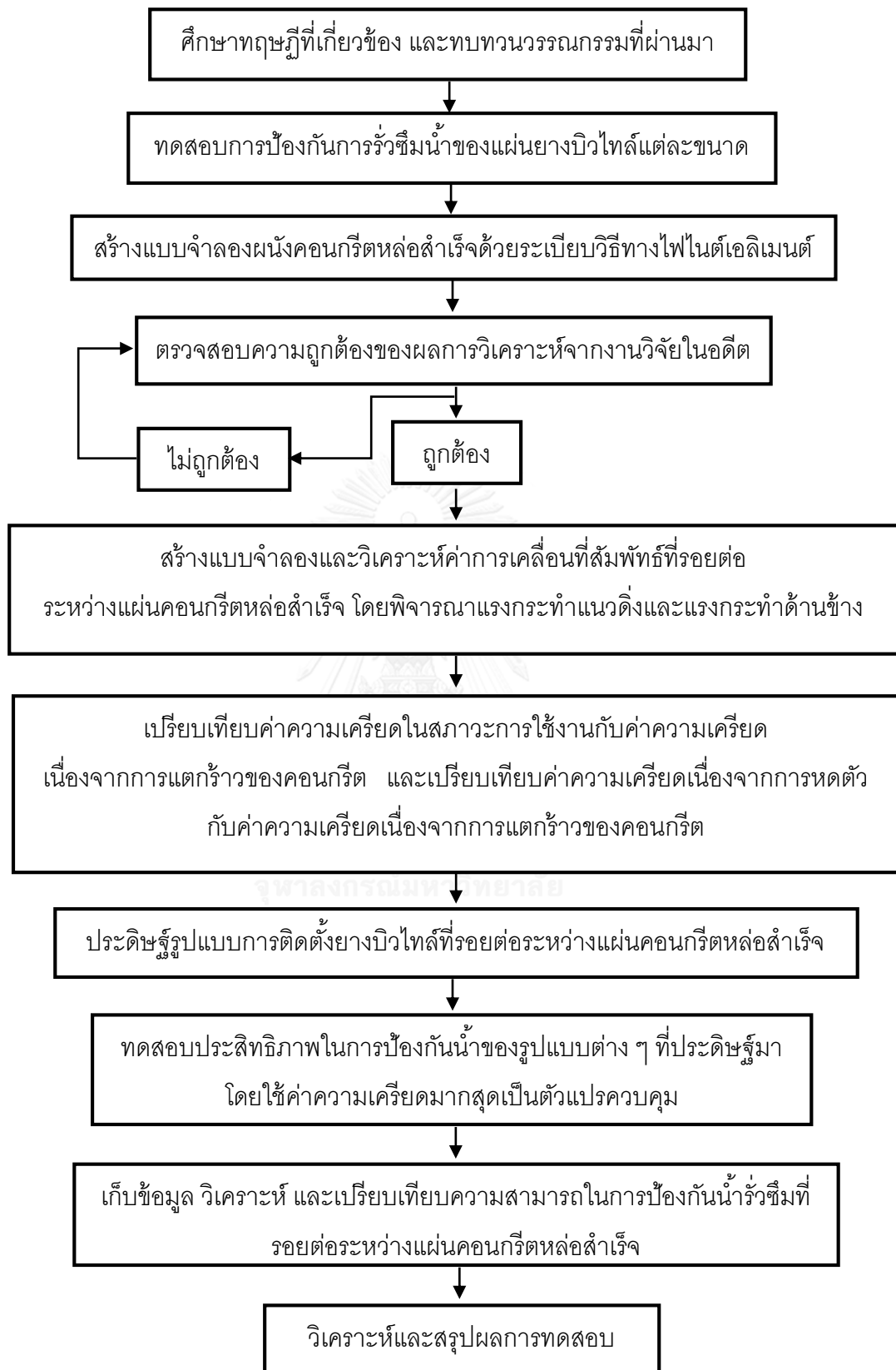
L = ความยาวแรกเริ่ม, มม.

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

จากการทบทวนทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและงานวิจัยที่ผ่านมา ได้ทำการวางแผนและแบ่งขั้นตอนการศึกษางานวิจัยออกเป็นทั้งหมดสามส่วนได้แก่ ส่วนแรกทำการทดสอบกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางบิวไทล์ทำงานร่วมกันกับคอนกรีต และการกันน้ำซึมผ่านคอนกรีตร่วมกันกับแผ่นยางบิวไทล์ ส่วนที่สองทำการวิเคราะห์หาค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จในช่วงการใช้งานด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์รวมถึงประดิษฐ์รูปแบบการติดตั้งยางบิวไทล์ที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จในการป้องกันการรั่วซึมน้ำ ส่วนที่สามทดสอบประสิทธิภาพในการกันน้ำของรูปแบบต่าง ๆ ที่ประดิษฐ์มา โดยใช้ค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์มากที่สุดเป็นตัวแปรควบคุมความกว้างที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ทำการสร้างแบบจำลองโครงสร้างด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ใน ABAQUS ซอฟต์แวร์เพื่อวิเคราะห์หาค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จในช่วงการใช้งาน จำลองแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จความกว้าง 4.00 เมตร ความสูง 3.50 เมตร ความหนา 100 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างรอยต่อของแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ 100 มิลลิเมตร เป็นรอยต่อแบบยึดแน่น และเชื่อมรอยต่อด้วยวัสดุเกร้าท์ รับแรงกระทำแนวตั้งจากน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร พิจารณาแรงกระทำด้านข้างจากแรงลมเท่านั้น เพื่อเปรียบเทียบค่าความเครียดที่เกิดขึ้นกับค่าความเครียดเนื่องจากการแตกร้าวของคอนกรีต รวมทั้งเปรียบเทียบค่าความเครียดเนื่องจากการหดตัวกับค่าความเครียดเนื่องจากการแตกร้าวของคอนกรีต โดยใช้ค่าความเครียดมากที่สุดเป็นตัวแปรควบคุมการให้ค่าการเคลื่อนที่กับตัวอย่างในการทดสอบจริงในระดับห้องปฏิบัติการ และทำการทดสอบการป้องกันน้ำรั่วซึมที่รอยต่อ โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการศึกษาเป็นไปตามรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 รายละเอียดขั้นตอนการศึกษา

3.1 การทดสอบกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางบิวไทล์ทำงานร่วมกับคอนกรีต

ในกรณีที่แผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จเกิดการเคลื่อนตัวไป มีความจำเป็นต้องทดสอบกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางบิวไทล์ทำงานร่วมกับคอนกรีต เพื่อศึกษาคุณสมบัติของกำลังรับแรงดึงของยางบิวไทล์เมื่อหล่อติดกับมอร์ตาร์ และวัสดุซีเมนต์นอนซริงเกอร์้าท์

3.1.1 ตัวแปรที่ศึกษา

- ยางบิวไทล์
- มอร์ตาร์
- วัสดุคอนกรีต

3.1.2 วัสดุและอัตราส่วนผสม

วัสดุที่ใช้ในการผสมมอร์ตาร์ในการทดสอบนี้ ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ผสมกับมวลรวมละเอียดที่เป็นทราย กำลังรับแรงอัดออกแบบที่ 24 MPa ยางบิวไทล์มีความหนา 7 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.2

วัสดุที่ใช้ในการผสมนอนซริงเกอร์้าท์ในการทดสอบนี้ ประกอบด้วยวัสดุคอนกรีตกำลังรับแรงอัดออกแบบที่ 70 MPa ยางบิวไทล์มีความหนา 7 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ยางบิวไทล์ความหนา 7 มิลลิเมตร

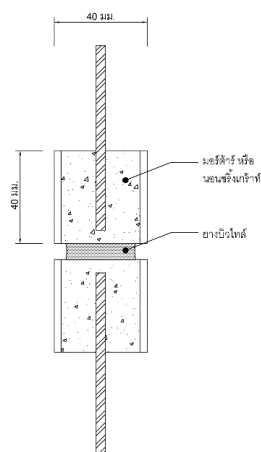
3.1.3 การเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมวัสดุการผสมและการหล่อตัวอย่างมอร์ต้าร์และวัสดุคอนกรีตจริงแก่ร่าที่ทั้งหมดจะทำในห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย การผสมมอร์ต้าร์และวัสดุคอนกรีตจริงแก่ร่าที่ใช้เครื่องผสมมอร์ต้าร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 เครื่องผสมมอร์ต้าร์

ตัวอย่างสำหรับการทดสอบกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางบิวไทล์ทำงานร่วมกับคอนกรีต ใช้แบบหล่อท่อพีวีซีทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มิลลิเมตร สูง 40 มิลลิเมตร จำนวน 6 ตัวอย่างต่อการทดสอบ จะได้ตัวอย่างสำหรับการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างสำหรับการทดสอบกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางบิวไทล์ทำงานร่วมกับคอนกรีต

การเตรียมตัวอย่างทำได้โดยการติดตั้งยางบิวไทล์ก่อนที่จะเทส่วนผสมมอร์ตาร์ทหรือวัสดุ
นอนซริงเกอร์้าที่ด้านหนึ่งของแบบหล่อ จากนั้นบ่มในอากาศเป็นเวลา 1 วัน เมื่อมอร์ตาร์ทหรือวัสดุ
นอนซริงเกอร์้าที่แข็งตัวแล้วนั้น ทำการเทมอร์ตาร์ทหรือวัสดุนอนซริงเกอร์้าที่ส่วนที่เหลือจนเต็มแบบ
หล่ออีกหนึ่งด้าน นำตัวอย่างทดสอบบ่มขึ้นโดยการแช่น้ำเป็นเวลา 14 วัน จากนั้นนำตัวอย่างขึ้น
จากน้ำ ทำการทดสอบกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางบิวไทล์ทำงานร่วมกันกับคอนกรีต

3.1.4 การทดสอบกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางบิวไทล์ทำงานร่วมกันกับคอนกรีต

การทดสอบกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางบิวไทล์ทำงานร่วมกันกับคอนกรีตนั้น ทำการ
ทดสอบที่คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง 1000 N ติดตั้ง
อุปกรณ์การให้แรงดึงกับตัวอย่างทดสอบ ดังรูปที่ 3.5 จากนั้นให้แรงดึงกับตัวอย่างทดสอบ
จนกระทั่งเกิดความเสียหาย



รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบแรงดึง 1000 N

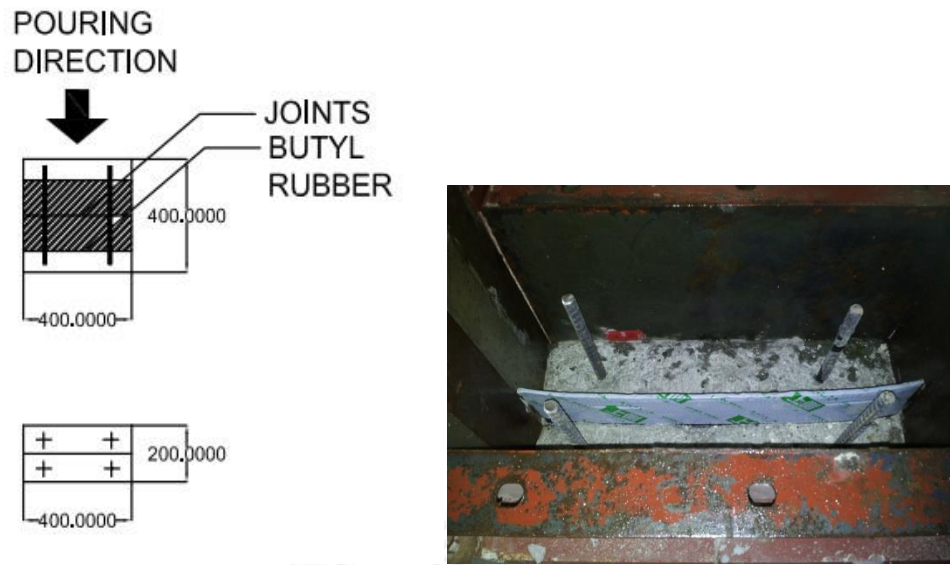
3.2 การทดสอบการกันน้ำซึมผ่านคอนกรีตร่วมกันกับแผ่นยางบิวไทล์

การทดสอบการกันน้ำซึมผ่านคอนกรีตโดยใช้แผ่นยางบิวไทล์ในการเป็นวัสดุกันน้ำ เพื่อทดสอบความสามารถการกันน้ำซึมผ่าน และทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นยางบิวไทล์ก่อนที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในงานคอนกรีตหล่อสำเร็จ โดยทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุกันน้ำระหว่างแผ่นยางบิวไทล์และแผ่นยางโพลีไวนิลคลอไรด์ในรอยต่อก่อสร้าง

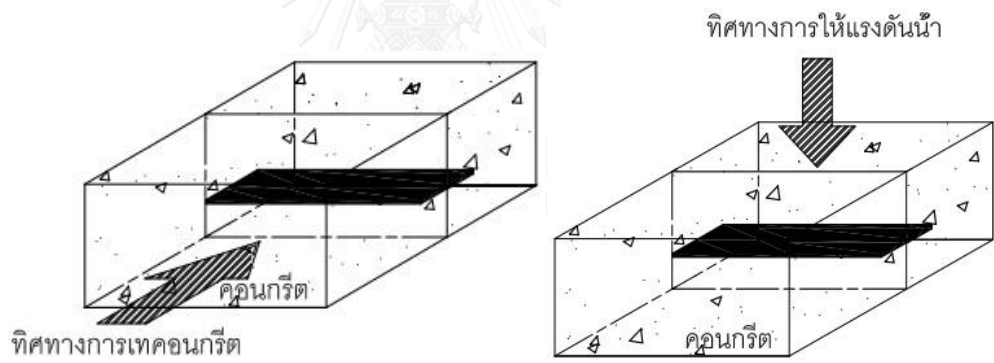
3.2.1 ตัวแปรที่ศึกษา

- ทิศทางของรอยต่อ ได้แก่ รอยต่อแนวราบ และรอยต่อแนวตั้ง
- ทิศทางของการติดตั้งแผ่นยางบิวไทล์ ได้แก่ แนวนอน และแนวตั้ง
- ความสูงของการติดตั้งแผ่นยางบิวไทล์ ได้แก่ 0.35 เมตร 1.50 เมตร และ 2.65 เมตร
- การให้แรงดันน้ำ ได้แก่ 0.5 MPa ระยะเวลา 3 วัน 0.3 MPa ระยะเวลา 1 วัน และ 0.1 MPa ระยะเวลา 1 วัน

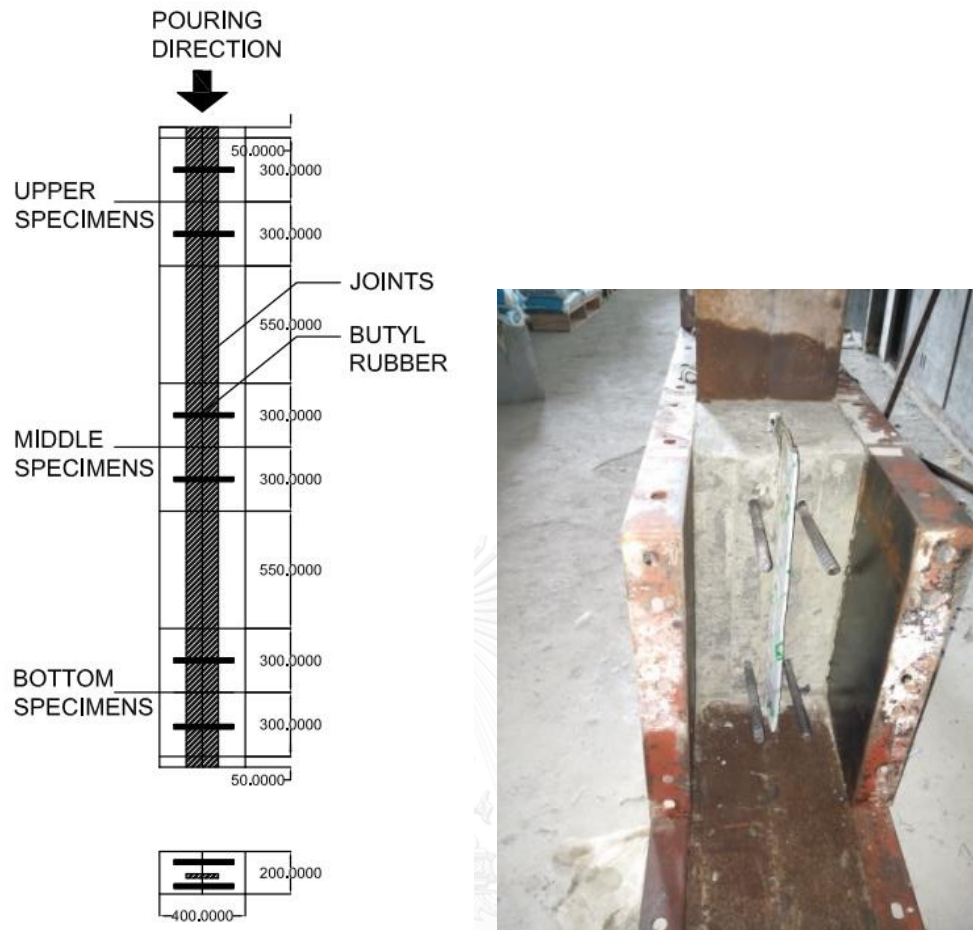
โดยทิศทางของรอยต่อ และทิศทางการติดตั้งยางบิวไทล์ แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้คือ ทิศทางของรอยต่อแนวราบ ทิศทางติดตั้งแผ่นยางบิวไทล์แนวตั้ง (กลุ่มที่ 1) แสดงดังรูปที่ 3.6 โดยมีทิศทางการให้แรงดันน้ำแสดงดังรูปที่ 3.7 ทิศทางของรอยต่อแนวตั้ง ทิศทางติดตั้งแผ่นยางบิวไทล์แนวตั้ง (กลุ่มที่ 2) แสดงดังรูปที่ 3.8 โดยมีทิศทางการให้แรงดันน้ำแสดงดังรูปที่ 3.9 ทิศทางของรอยต่อแนวตั้ง ทิศทางติดตั้งแผ่นยางบิวไทล์แนวราบ (กลุ่มที่ 3) แสดงดังรูปที่ 3.10 โดยมีทิศทางการให้แรงดันน้ำแสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.6 แสดงทิศทางการรอยต่อแนวราบและติดตั้งแผ่นยางบิวทิลแนวตั้ง

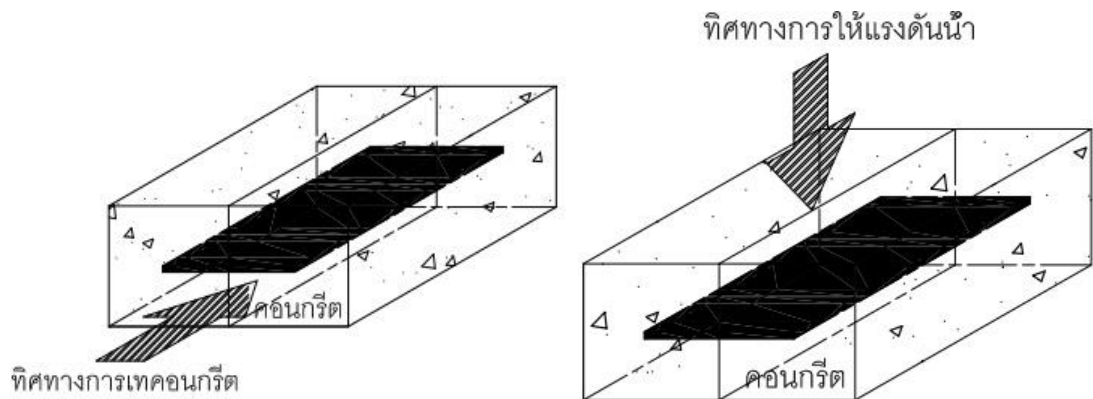


รูปที่ 3.7 แสดงทิศทางของรอยต่อแนวราบ ทิศทางติดตั้งแผ่นยางบิวทิลแนวตั้งและทิศทางการให้แรงดันน้ำ

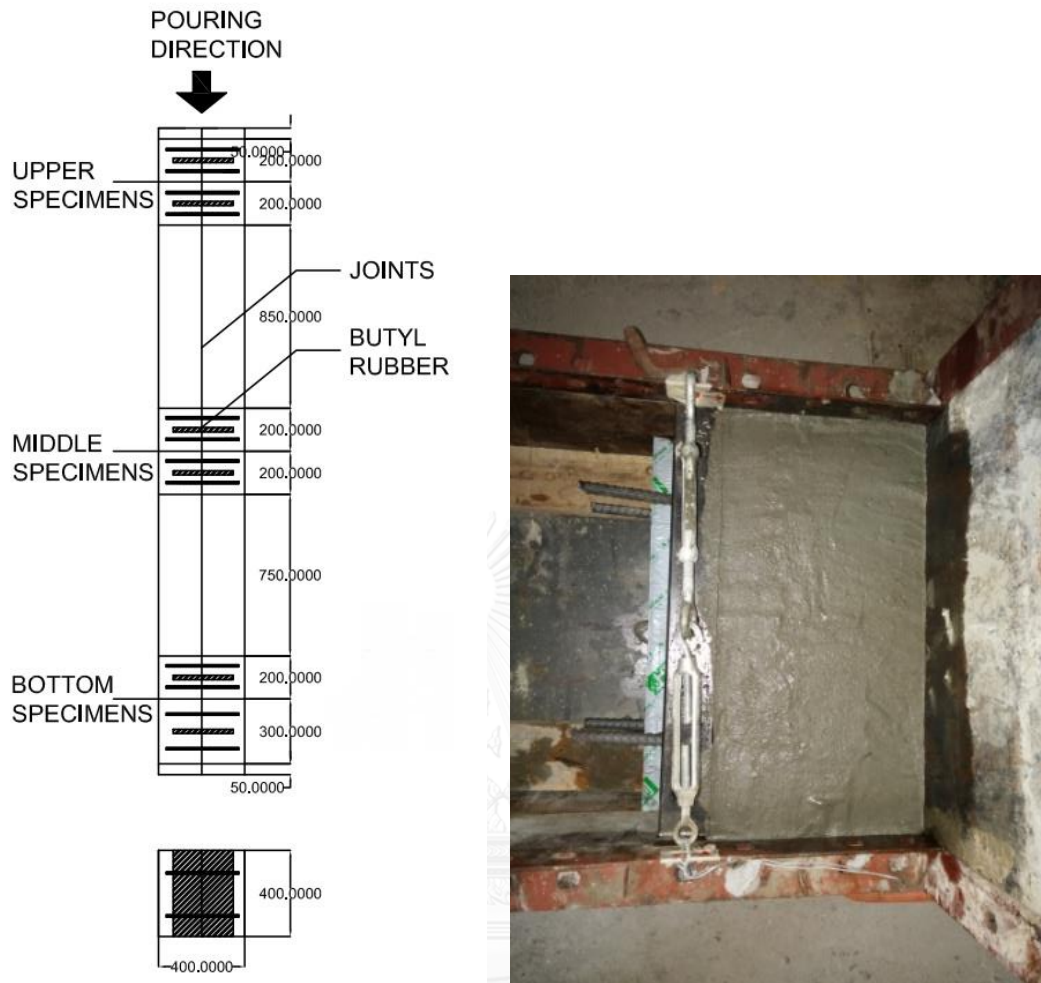


รูปที่ 3.8 แสดงทิศทางรอยต่อแนวตั้งและติดตั้งแผ่นยางบิวทิลแนวตั้ง

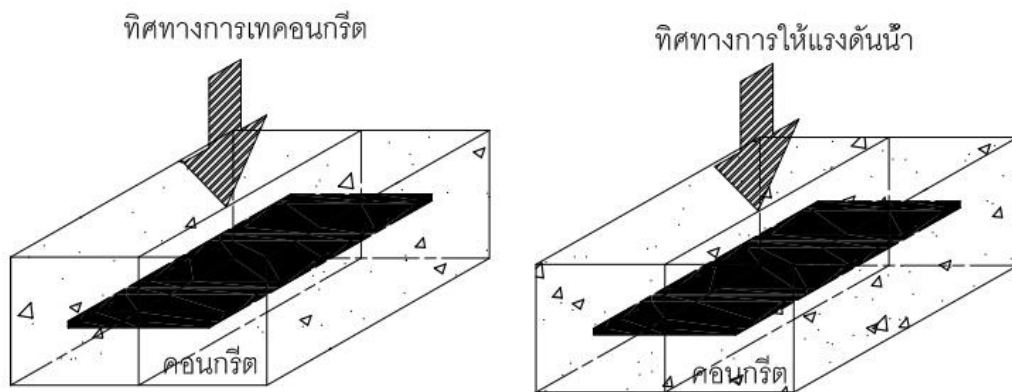
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 3.9 แสดงทิศทางของรอยต่อแนวตั้ง ทิศทางติดตั้งแผ่นยางบิวทิลแนวตั้งและทิศทางการให้แรงดันน้ำ

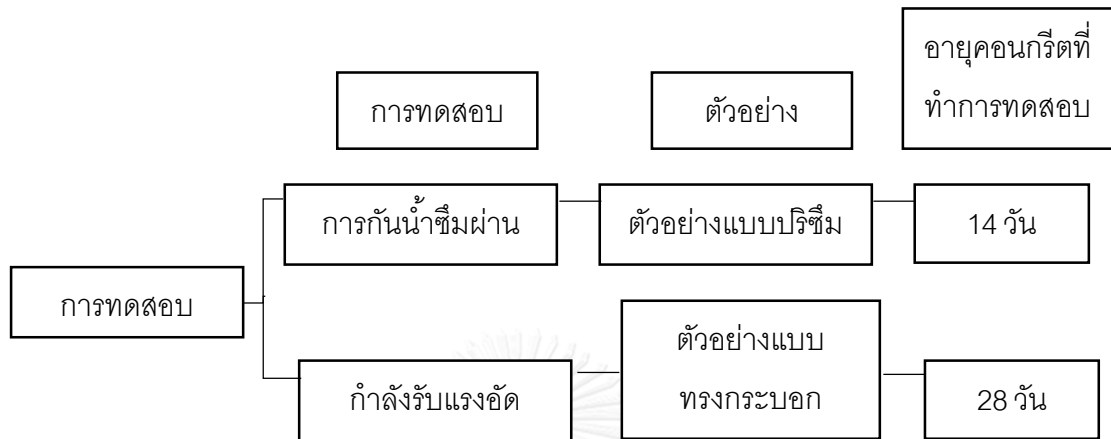


รูปที่ 3.10 แสดงทิศทางรอยต่อแนวตั้งและติดตั้งแผ่นยางบิวทิลแนวราบ

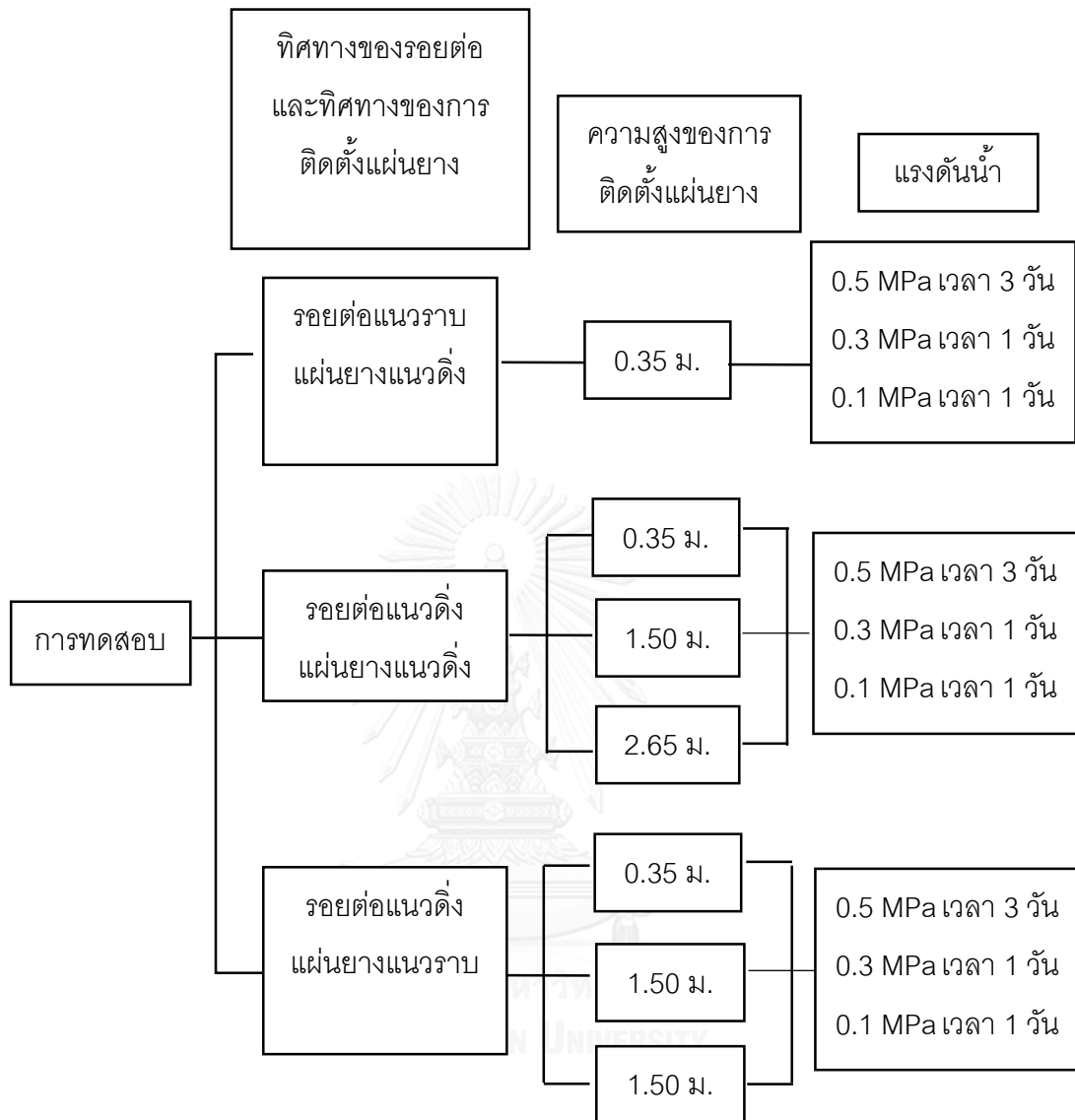


รูปที่ 3.11 แสดงทิศทางของรอยต่อแนวตั้ง ทิศทางติดตั้งแผ่นยางบิวทิลแนวราบและทิศทางการให้แรงดันน้ำ

การทดสอบการกั้นน้ำซึมผ่าน จะทำที่อายุ 14 วัน และการทดสอบแรงอัด จะทำที่อายุ 28 วัน แผนการทดสอบแสดงดังรูปที่ 3.12 และแผนผังการทดสอบการกั้นน้ำแสดงไว้ดังรูปที่ 3.13 จำนวนตัวอย่างทดสอบแสดงตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.12 แผนการทดสอบ



รูปที่ 3.13 แผนผังการทดสอบการกันน้ำ

ตารางที่ 3.1 จำนวนตัวอย่างทดสอบ

กลุ่ม	ทิศทางของรอยต่อและ ทิศทางของการติดตั้ง แผ่นยาง	ประเภทแผ่นยาง	ความสูงของการ ติดตั้งแผ่นยาง	จำนวน ตัวอย่าง ทดสอบ
กลุ่มที่ 1	รอยต่อแนวราบ ติดตั้งแผ่นยางแนวตั้ง	ไม่มีแผ่นยาง	-	6 (6x1)
		แผ่นยางโพลีไวนิล คลอไรด์		
		แผ่นยางบิวไทล์		
กลุ่มที่ 2	รอยต่อแนวตั้ง ติดตั้งแผ่นยางแนวตั้ง	แผ่นยางโพลีไวนิล คลอไรด์	บน 2.65 เมตร กลาง 1.5 เมตร	15 (5x3)
		แผ่นยางบิวไทล์	ล่าง 0.35 เมตร	
กลุ่มที่ 3	รอยต่อแนวตั้ง ติดตั้งแผ่นยางแนวราบ	แผ่นยางโพลีไวนิล คลอไรด์	บน 2.65 เมตร กลาง 1.5 เมตร	15 (5x3)
		แผ่นยางบิวไทล์	ล่าง 0.35 เมตร	

3.2.2 วัสดุและอัตราส่วนผสม

วัสดุที่ใช้ในการผสมคอนกรีตในการทดสอบนี้ ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ผสมกับมวลรวมหยาบขนาด 20 มิลลิเมตร มวลรวมละเอียดที่เป็นทราย กำลังรับแรงอัดออกแบบที่ 24 MPa

แผ่นยางกั้นน้ำที่ใช้ทดสอบประกอบด้วยแผ่นยางกั้นน้ำ 2 ประเภทได้แก่ แผ่นยางบิวไทล์ 4 ขนาด ได้แก่ ที่ความหนา 4 มิลลิเมตร ความกว้างของแผ่นยาง 150 มิลลิเมตร (W-0415) และ 200 มิลลิเมตร (W-0420) ที่ความหนา 6 มิลลิเมตร ความกว้างของแผ่นยาง 150 มิลลิเมตร (W-0615) และ 200 มิลลิเมตร (W-0620) และแผ่นยางโพลีไวนิลคลอไรด์ ที่ความหนา 8 มิลลิเมตร ความกว้างของแผ่นยาง 203 มิลลิเมตร (PVC) ดังแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แผ่นยางโพลีเอทิลีนคลอไรด์ แผ่นยางบิวทิล W-0615, W-0415, W-0620 และ W-0420

3.2.3 การเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมวัสดุการผสมและการหล่อตัวอย่างคอนกรีตทั้งหมดจะทำในห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย การผสมคอนกรีตใช้ เครื่องผสม 1.2 ลูกบาศก์เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.15 และภาคผนวก ค



รูปที่ 3.15 เครื่องผสมคอนกรีต

ตัวอย่างสำหรับการทดสอบการกันน้ำซึมผ่าน ใช้ตัวอย่างแบบหล่อเหล็กประกอบขนาด 40x40x20 มิลลิเมตร จำนวน 36 ตัวอย่างต่อการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.16 โดยภายในแบบหล่อจะมีการวางเหล็กเสริม 4 เส้นเพื่อกันตัวอย่างทดสอบแยกออกจากกัน และใช้กระดาษหนา 0.10 มิลลิเมตร เพื่อสร้างรอยต่อระหว่างคอนกรีต



รูปที่ 3.16 แบบหล่อสำหรับตัวอย่างทดสอบการกันน้ำซึมผ่าน

การเตรียมตัวอย่างทำได้โดยการติดตั้งแผ่นยางบิวไทล์และเหล็กเสริมก่อนที่จะเทส่วนผสมคอนกรีตลงครึ่งหนึ่งของแบบหล่อ จากนั้นบ่มในอากาศเป็นเวลา 1 วัน เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วนั้นทำการวางกระดาษความหนา 0.10 มิลลิเมตร และทำการเทคอนกรีตส่วนที่เหลือจนเต็มแบบหล่อ เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วทำการแกะแบบหล่อ และบ่มขึ้นโดยใช้กระสอบคลุมเป็นเวลา 14 วัน จากนั้นนำตัวอย่างขึ้นทำการทดสอบการกันน้ำซึมผ่านของคอนกรีตเมื่อทำงานร่วมกันกับแผ่นยางบิวไทล์ตามหัวข้อที่ 3.2.4

3.2.4 การทดสอบการกันน้ำซึมผ่านของคอนกรีตเมื่อทำงานร่วมกันกับแผ่นยางบิวไทล์

การทดสอบการกันน้ำซึมผ่านนั้นทำได้โดยการนำตัวอย่างทดสอบขึ้นแทนการทดสอบติดตั้งอุปกรณ์การให้แรงดันกับตัวอย่างทดสอบพร้อมทั้งยาแนวบริเวณที่น้ำอาจเกิดการรั่วซึมในจุดที่ไม่ต้องการโดยใช้ซิลิโคน (Silicone) หรืออีพ็อกซี่ (Epoxy) ร่วมด้วย จากนั้นทำการทดสอบการกันน้ำซึมผ่าน ดังแสดงในรูปที่ 3.17 โดยให้แรงดันน้ำที่ 0.5 MPa ระยะเวลา 3 วัน ทำการลดแรงดันน้ำลงที่ 0.3 MPa ระยะเวลา 1 วัน และทำการลดแรงดันน้ำลงที่ 0.1 MPa ระยะเวลา 1 วัน เก็บปริมาณน้ำเพื่อหาค่าการซึมผ่านของคอนกรีตเมื่อทำงานร่วมกันกับแผ่นยางบิวไทล์ ดังสมการที่ 2.3 [8]



รูปที่ 3.17 แสดงเครื่องอัดน้ำที่พัฒนาให้เหมาะสมกับก้อนตัวอย่าง

3.3 การประดิษฐ์รูปแบบการติดตั้งยางบิวไทล์

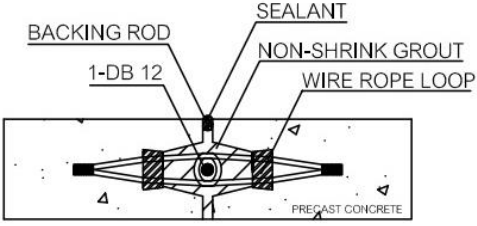
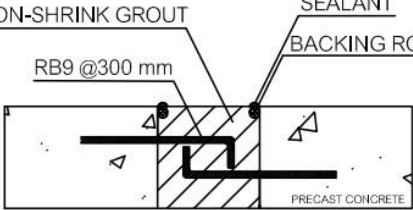
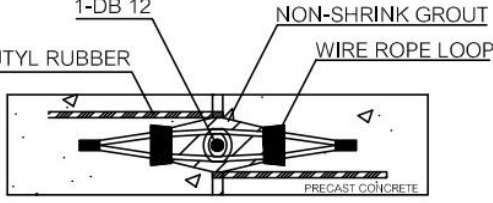
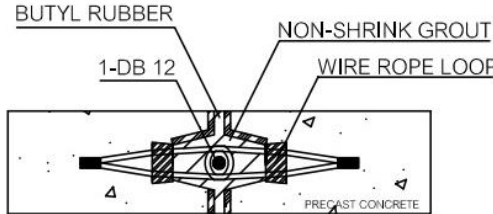
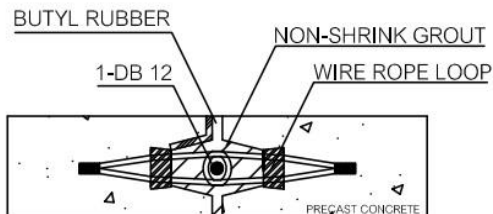
3.3.1 การสำรวจและทำแบบสอบถาม

ในการศึกษาการป้องกันการรั่วซึมน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จด้วยยางบิวไทล์นั้น ได้ทำการสำรวจและศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำยางบิวไทล์มาใช้ในการคอนกรีตหล่อสำเร็จ เพื่อศึกษาหารูปแบบที่เหมาะสมรวมถึงรูปแบบที่ควรนำมาใช้งานมากที่สุด โดยที่คำนึงถึงระบบการผลิตแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ ตั้งแต่การผลิต การยกขนย้ายและการขนส่ง และความเหมาะสมในการนำมาใช้งาน

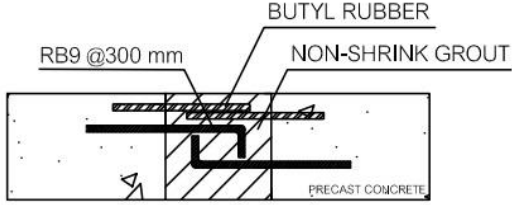
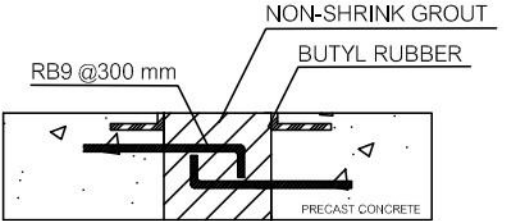
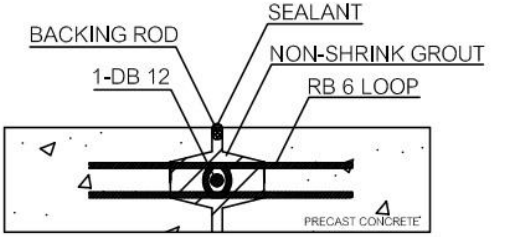
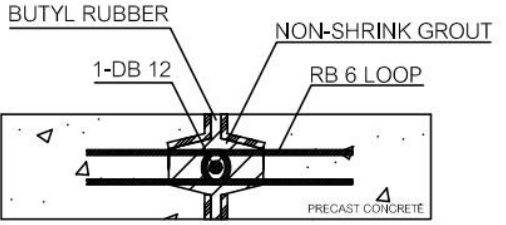
3.3.2 การประดิษฐ์รูปแบบการติดตั้งยางบิวไทล์ที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

จากการศึกษาระบบแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ ทำให้ได้รูปแบบที่มีความเป็นไปได้ในการติดตั้งที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การประดิษฐ์รูปแบบการติดตั้งยางบิวไทล์ที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ประเภท ที่	รูปแบบ	วัสดุที่เชื่อม รอยต่อ	วัสดุกันน้ำ
1.		นอนซริง เก็ร่าท์	โฟมเส้นอุด ร่องและ วัสดุยาแนว กันน้ำซีม
2.		นอนซริง เก็ร่าท์	โฟมเส้นอุด ร่องและ วัสดุยาแนว กันน้ำซีม
3.		นอนซริง เก็ร่าท์	แผ่นยาง บิวไทล์ ความหนา 4 มม.
4.		นอนซริง เก็ร่าท์	ยางบิวไทล์ ความหนา 15 มม.
5.		นอนซริง เก็ร่าท์	ยางบิวไทล์ ความหนา 25 มม.

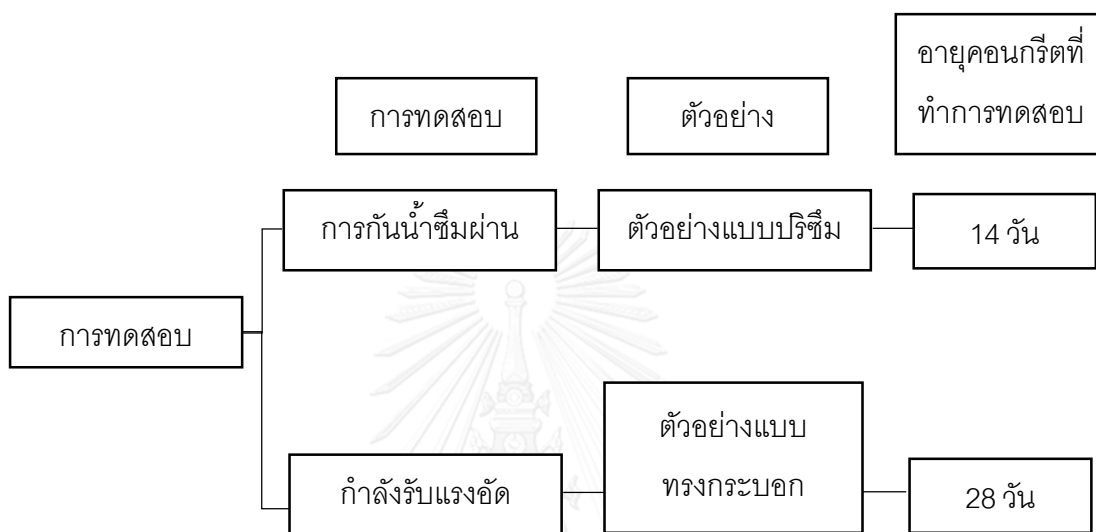
ตารางที่ 3.2 (ต่อ) การประดิษฐ์รูปแบบการติดตั้งยางบิวไทล์ที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ประเภท ที่	รูปแบบ	วัสดุที่เชื่อม รอยต่อ	วัสดุกันน้ำ
6.		นอนซริง เกอร์ท์	แผ่นยาง บิวไทล์ ความหนา 6 มม.
7.		นอนซริง เกอร์ท์	ยางบิวไทล์ ความหนา 4 มม.
8.		นอนซริง เกอร์ท์	โฟมเส้นอุด ร่องและ วัสดุยาแนว กันน้ำซึม
9.		นอนซริง เกอร์ท์	ยางบิวไทล์ ความหนา 15 มม.

3.3.3 ตัวแปรที่ศึกษา


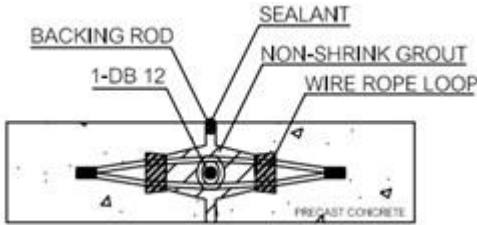
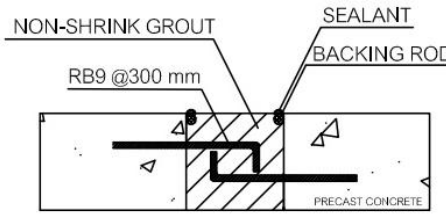
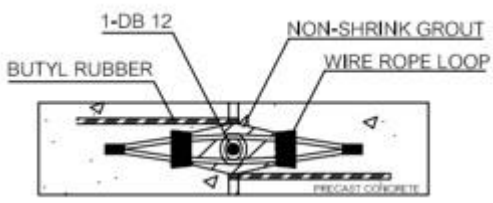
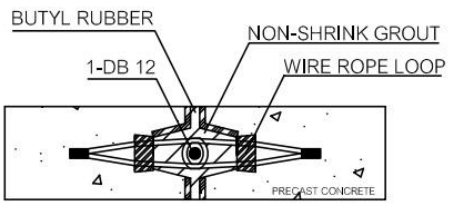
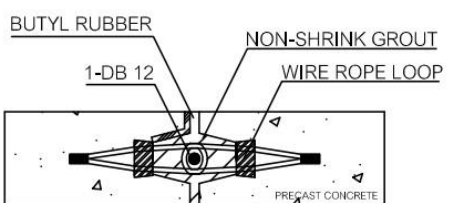
ในการศึกษาประสิทธิภาพในการป้องกันน้ำรั่วซึมที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จศึกษารูปแบบการติดตั้งยางบิวไทล์ ดังตารางที่ 3.2

การทดสอบการกันน้ำซึมผ่าน จะทำที่อายุ 14 วัน และการทดสอบแรงอัด จะทำที่อายุ 28 วัน แผนการทดสอบแสดงดังรูปที่ 3.18 จำนวนตัวอย่างทดสอบแสดงดังตารางที่ 3.3

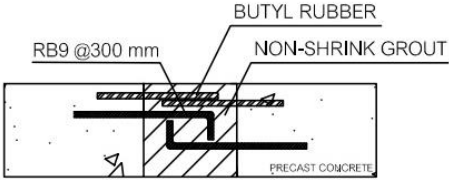
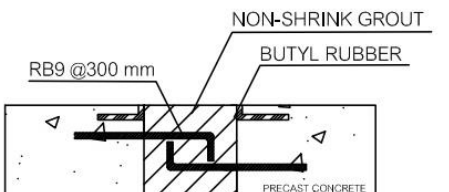
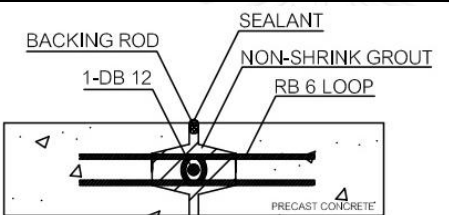
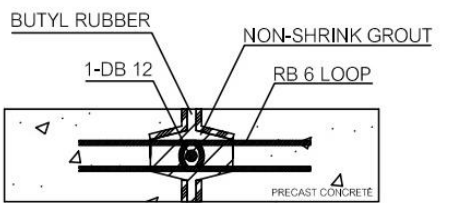


รูปที่ 3.18 แผนการทดสอบ

ตารางที่ 3.3 จำนวนตัวอย่างทดสอบ

ประเภท ที่	รูปแบบ	วัสดุที่เชื่อมรอยต่อ และวัสดุกันน้ำซึมผ่าน	จำนวน ตัวอย่าง
0.		-	1
1.		นอนซีริงเกอร์วาท์ และโฟมเส้นอุดร่องกับ วัสดุยาแนวกันน้ำซึม	1
2.		นอนซีริงเกอร์วาท์ และโฟมเส้นอุดร่องกับ วัสดุยาแนวกันน้ำซึม	1
3.		นอนซีริงเกอร์วาท์ และแผ่นยางบิวไทล์ ความหนา 4 มม.	1
4.		นอนซีริงเกอร์วาท์ และยางบิวไทล์ ความหนา 15 มม.	1
5.		นอนซีริงเกอร์วาท์ และยางบิวไทล์ ความหนา 25 มม.	1

ตารางที่ 3.3 (ต่อ) จำนวนตัวอย่างทดสอบ

ประเภท ที่	รูปแบบ	วัสดุที่เชื่อมรอยต่อ และวัสดุกันน้ำซึมผ่าน	จำนวน ตัวอย่าง
6.		นอนซีริงเกอร์ท์ และยางบิวไทล์ ความหนา 6 มม.	1
7.		นอนซีริงเกอร์ท์ และยางบิวไทล์ ความหนา 4 มม.	1
8.		นอนซีริงเกอร์ท์ และโฟมเส้นอุดร่องกับ วัสดุยาแนวกันน้ำซึม	1
9.		นอนซีริงเกอร์ท์ และยางบิวไทล์ ความหนา 15 มม.	1

3.3.4 วัสดุและอัตราส่วนผสม

วัสดุที่ใช้ในการผสมคอนกรีตในการทดสอบนี้ ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ผสมกับมวลรวมละเอียดที่เป็นทราย กำลังรับแรงอัดประลัยออกแบบที่ 35 MPa

ยางบิวไทล์ที่ใช้ทดสอบประกอบด้วยแผ่นยางกันน้ำ 4 ขนาด ได้แก่ ที่ความหนา 4 มิลลิเมตร, 6 มิลลิเมตร, 15 มิลลิเมตร และ 25 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 ยางบิวไทล์ที่ใช้ในการทดสอบ

3.3.5 การเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่างวัสดุการผสมและการหล่อตัวอย่างคอนกรีตทั้งหมดจะทำในห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย การผสมคอนกรีตใช้เครื่องผสม 1.2 ลูกบาศก์เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.15 และภาคผนวก จ

ตัวอย่างที่ใช้สำหรับการทดสอบการกันน้ำซึมผ่าน ใช้ตัวอย่างแบบหล่อเหล็กขนาด 400x400x100 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.20 จำนวน 10 ตัวอย่างการทดสอบ ดังตารางที่ 3.2 โดยที่รอยต่อจะมีการเชื่อมยึดแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จทั้งสองแผ่นเข้าด้วยกันตามหัวข้อที่ 3.4 ขึ้นอยู่กับรูปแบบของรอยต่อ



รูปที่ 3.20 แบบหล่อเหล็กขนาด 400x400x100 มิลลิเมตร

3.4 การสร้างแบบจำลองโครงสร้างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จเพื่อหาค่าการเคลื่อนที่แบบสัมพัทธ์ที่รอยต่อในช่วงสภาวะการใช้งาน

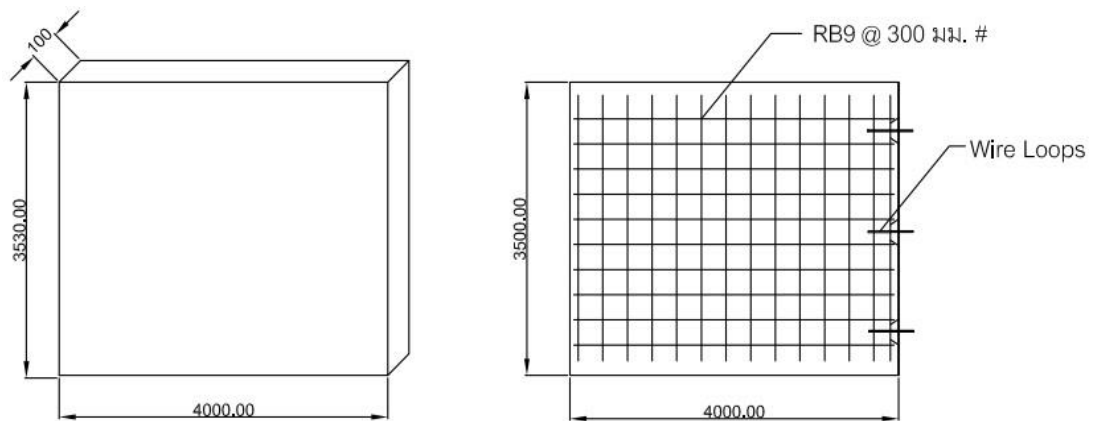
จากการศึกษาโครงสร้างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ พบว่ารอยต่อที่ใช้ในการเชื่อมยึดติดกันระหว่างแผ่นมี 3 รูปแบบ ซึ่งจะนำมาทำการสร้างแบบจำลองใน ABAQUS ซอฟต์แวร์ เพื่อวิเคราะห์หาค่าการเคลื่อนที่แบบสัมพัทธ์ที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จในช่วงการใช้งานภายใต้แรงกระทำแนวดิ่งและแรงกระทำด้านข้างด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ทำการจำลองโครงสร้างขนาดความกว้าง 4.00 เมตร ความสูง 3.50 เมตร ความหนา 100 มิลลิเมตร โดยมีรอยต่อที่แตกต่างกัน 3 รูปแบบ ได้แก่ 1. รอยต่อแบบกรูฟ (Groove joint) เชื่อมยึดติดกันด้วย Steel Wire Rope Loops 2. รอยต่อแบบเรียบ เชื่อมยึดติดกันด้วยเหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร ตลอดความยาวแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ และ 3. รอยต่อแบบกรูฟ (Groove joint) เชื่อมยึดติดกันด้วย C-line ยึดเหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร

ในการจำลองผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ใน ABAQUS ซอฟต์แวร์นั้น คุณสมบัติของวัสดุแสดงดังตารางที่ 3.4 เงื่อนไขขอบเขตในการวิเคราะห์ การให้แรงกระทำแบบสถิตย์กับแบบจำลองโครงสร้างในแนวดิ่งและแรงด้านข้างในสภาวะการใช้งาน แสดงดังตารางที่ 3.5 วิเคราะห์หาค่าการเคลื่อนที่แบบสัมพัทธ์ที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ ตารางที่ 3.4 แสดงคุณสมบัติของวัสดุ

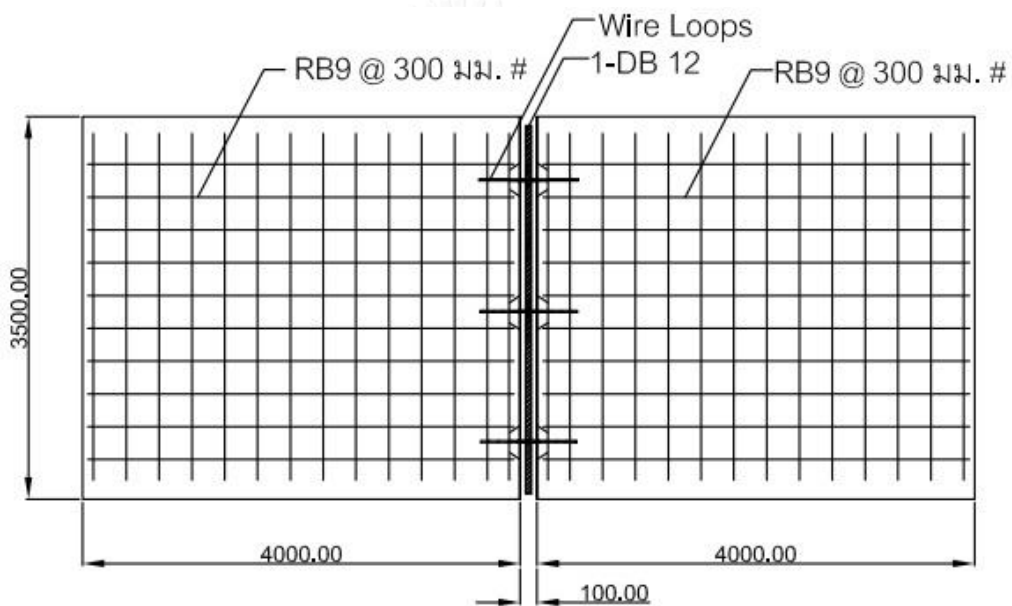
วัสดุ	โมดูลัสยืดหยุ่น (เมกะปาสคาล)	หน่วยการหดตัว
คอนกรีต	27740	0.19
วัสดุเกร้าท์	37000	0.10
เหล็ก	196000	0.30
Wire rope loop	199948	0.30

3.4.1 รอยต่อแบบกรูฟ (Groove joint) เชื่อมยึดติดกันด้วย Steel Wire Rope Loops

แผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีรอยต่อแบบกรูฟเชื่อมยึดติดกันด้วย Steel Wire Rope Loop มีระยะห่างระหว่างรอยต่อ 100 มิลลิเมตร เสริม Steel Wire Rope Loops ตามความยาวของแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จระยะห่าง 1 เมตร และจำลองเหล็กข้ออ้อยเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ในการยึด Steel Wire Loops เข้าด้วยกัน โดยรายละเอียดของแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จแสดงดังรูปที่ 3.21 และรูปที่ 3.22



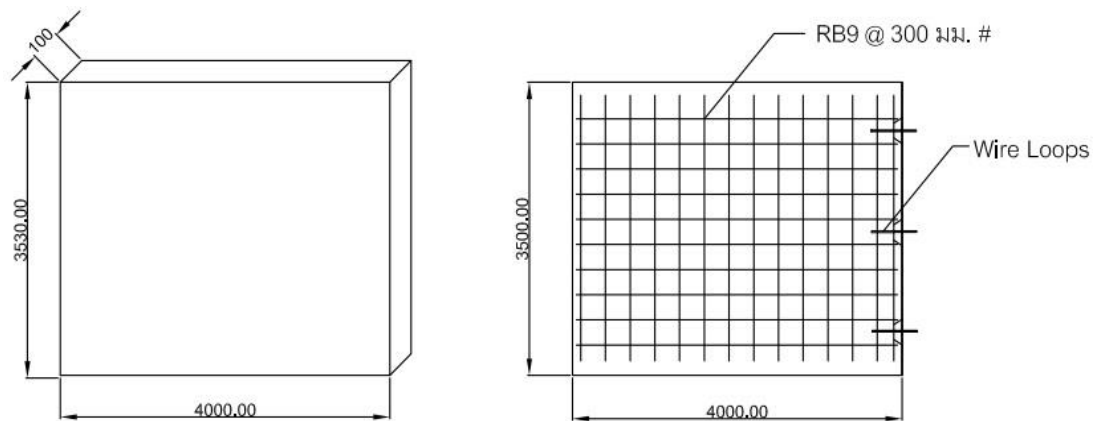
รูปที่ 3.21 แสดงแบบจำลองโครงสร้างและรายละเอียดการเสริมเหล็กของแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ



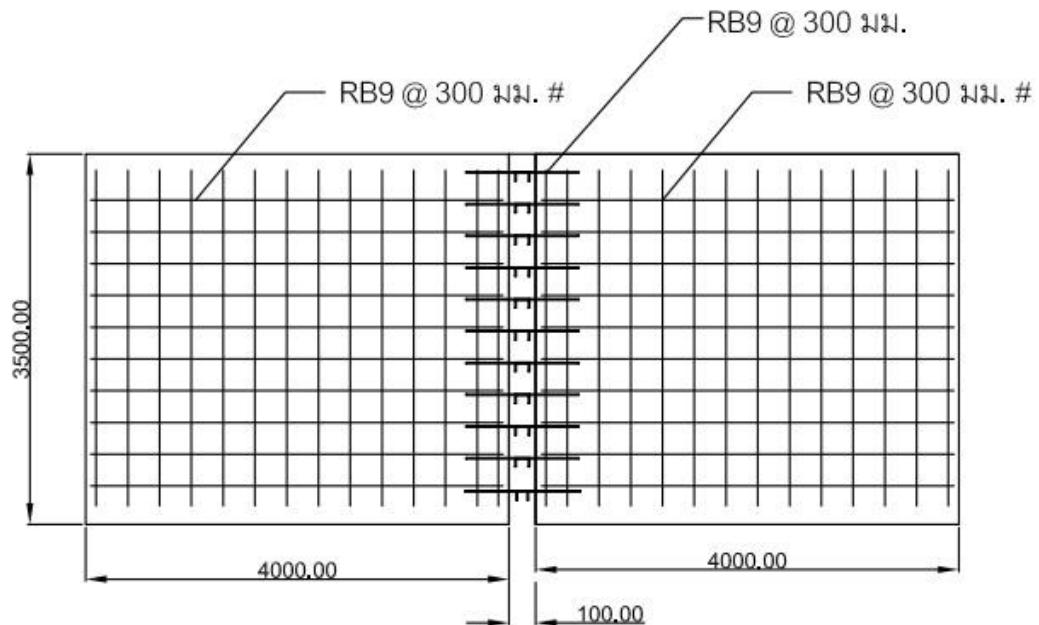
รูปที่ 3.22 แสดงแบบจำลองโครงสร้างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จและเสริม Steel Wire Rope Loops ตามความยาวรอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

3.4.2 รอยต่อแบบเรียบ เชื่อมยึดติดกันด้วยเหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร

แผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีรอยต่อแบบเรียบเชื่อมยึดติดกันด้วยเหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร ตลอดความยาวแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ มีระยะห่างระหว่างรอยต่อ 100 มิลลิเมตร เสริมเหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร หรือ RB 9 ทุกระยะ 300 มิลลิเมตร ตลอดความยาวแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ โดยรายละเอียดของแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จแสดงดังรูปที่ 3.23 และรูปที่ 3.24



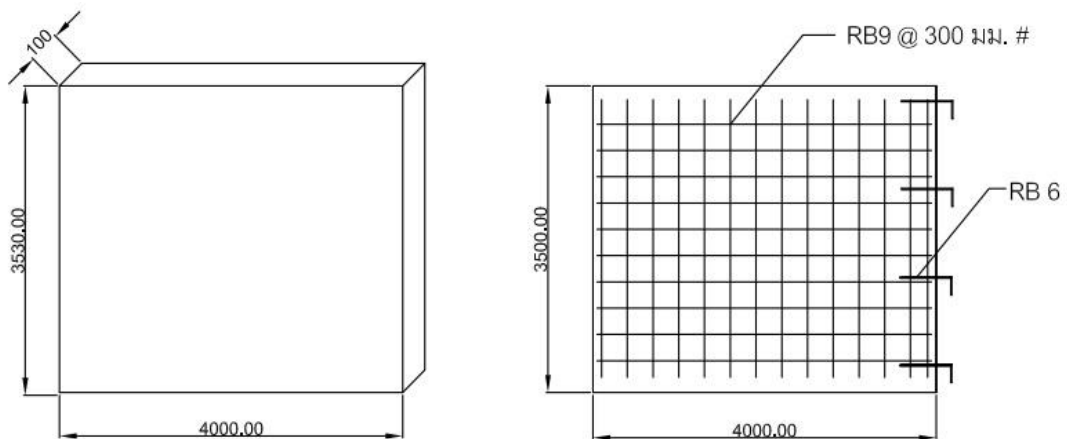
รูปที่ 3.23 แสดงแบบจำลองโครงสร้างและรายละเอียดการเสริมเหล็กของแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ



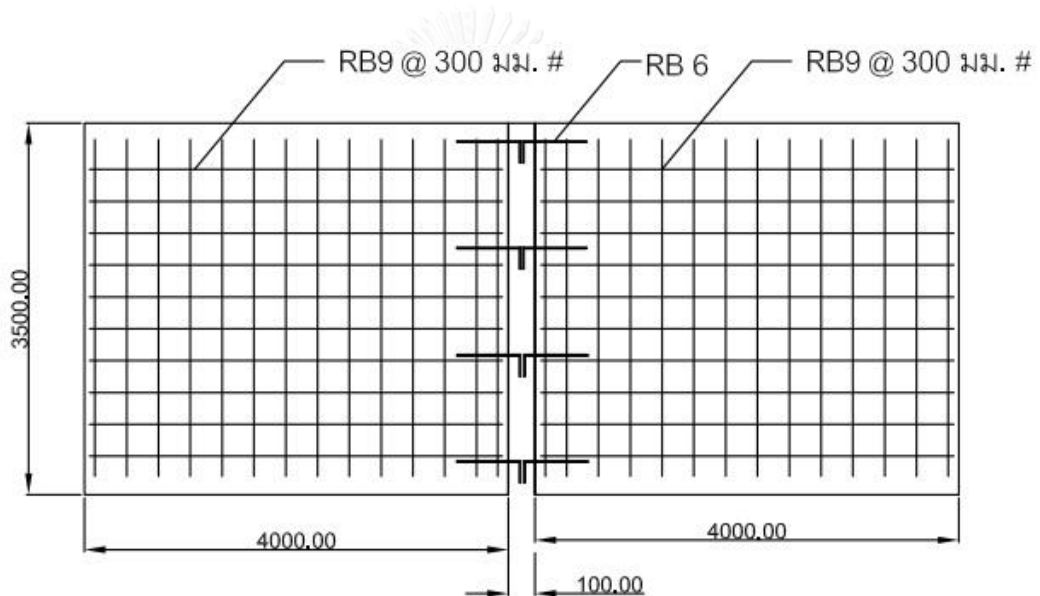
รูปที่ 3.24 แสดงแบบจำลองโครงสร้างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จและเสริมเหล็ก RB9 ทุกระยะ 300 มม. ที่รอยต่อตลอดความยาว

3.4.3 รอยต่อแบบกรู๊ฟ (Groove joint) เชื่อมยึดติดกันด้วย C-line

แผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีรอยต่อแบบกรู๊ฟเชื่อมยึดติดกันด้วย C-line มีระยะห่างระหว่างรอยต่อ 100 มิลลิเมตร เสริมเหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร หรือ RB 6 ตามความยาวของแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จระยะห่าง 1 เมตร และจำลองเหล็กข้ออ้อยเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ในการยึด C-line เข้าด้วยกัน โดยรายละเอียดของแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จแสดงดังรูปที่ 3. 25 และรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.25 แสดงแบบจำลองโครงสร้างและรายละเอียดการเสริมเหล็กของแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

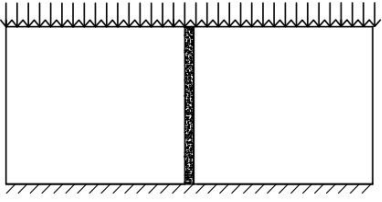
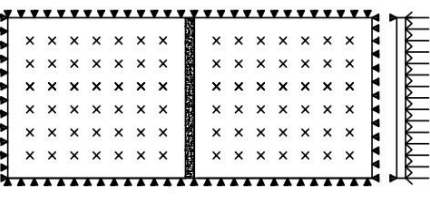
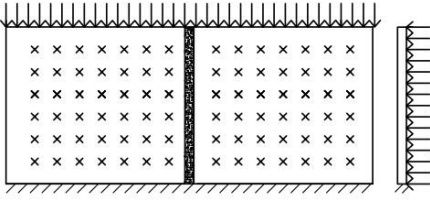
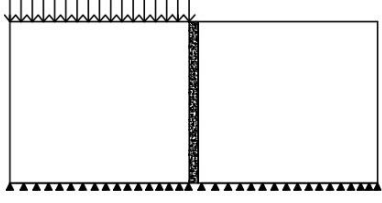


รูปที่ 3.26 แสดงแบบจำลองโครงสร้างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จเชื่อมยึดติดกันด้วย C-line ตามความยาวรอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

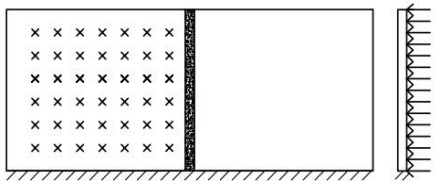
3.4.4 รูปแบบแรงที่กระทำกับแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ในการจำลองรูปแบบของแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จใน ABAQUS ซอฟต์แวร์ ทำการจำลองรูปแบบแรงสถิตยในรูปแบบและทิศทางต่าง ๆ ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นกับบ้านพักอาศัย 2 ชั้น แสดงดังตารางที่ 3.5 โดยขนาดแรงที่กระทำกับโครงสร้างแสดงในภาคผนวก ก

ตารางที่ 3.5 รูปแบบแรงกระทำและเงื่อนไขขอบเขตของแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

รูปแบบที่	รูปแบบ	เงื่อนไขขอบเขต	ลักษณะแรงที่กระทำ
1.		ฐานแบบยึดแน่น (Fixed Support) ที่ด้านล่าง	แรงกระทำคงที่ในแนวตั้งที่บริเวณด้านบนของโครงสร้าง
2.		ยึดรั้งการเคลื่อนที่ด้านข้างโดยรอบของผนังทั้งสองด้วยฐานรองรับแบบจุดหมุน (Hinged support)	แรงดันด้านข้างคงที่ตลอดพื้นที่ผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ
3.		ฐานแบบยึดแน่น (Fixed Support) ที่ด้านล่าง	แรงกระทำคงที่ในแนวตั้งที่บริเวณด้านบนของโครงสร้างและแรงดันด้านข้างคงที่ตลอดพื้นที่ผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ
4.		ฐานรองรับแบบจุดหมุน (Hinged support) ที่ด้านล่าง	แรงกระทำคงที่ในแนวตั้งที่บริเวณด้านบนของโครงสร้างหนึ่งด้าน

ตารางที่ 3.5 (ต่อ) รูปแบบแรงกระทำและเงื่อนไขขอบเขตของแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

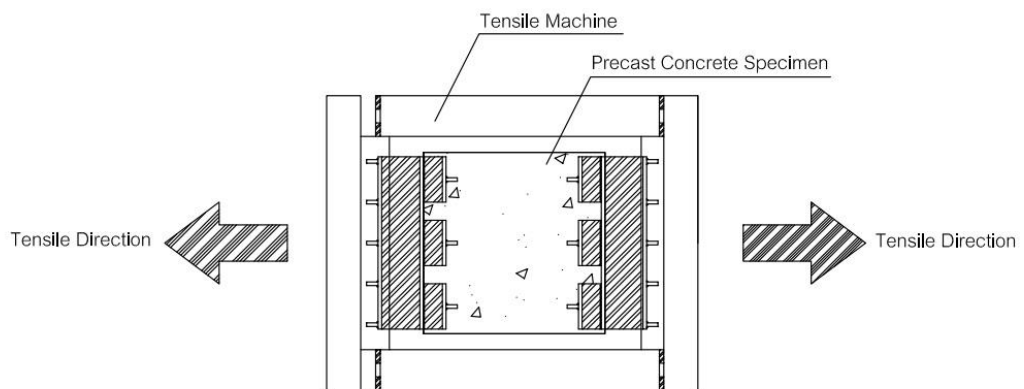
รูปแบบที่	รูปแบบ	เงื่อนไขขอบเขต	ลักษณะแรงที่กระทำ
5.		ฐานรองรับแบบยึดแน่น(Fixed support) ที่ด้านล่าง	แรงดันด้านข้างคงที่ตลอดพื้นที่ผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จหนึ่งด้าน

3.5 การให้ค่าการเคลื่อนที่ที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

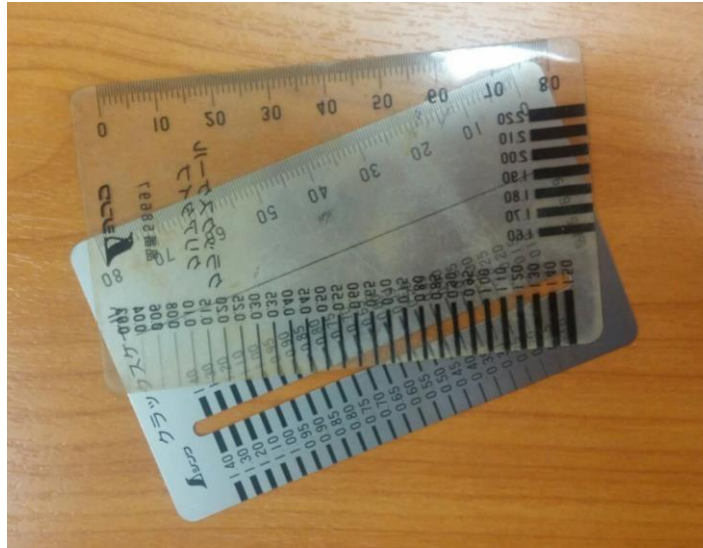
หลังจากการหล่อตัวอย่างแล้วเสร็จ ทำการเทวัสดุเชื่อมประสานและติดตั้งวัสดุป้องกันการรั่วซึมน้ำที่รอยต่อตามตารางที่ 3.2 ทำการวิเคราะห์ค่าการเคลื่อนที่แบบสัมพัทธ์ที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จในสถานะการใช้งานด้วยระเบียบทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ในหัวข้อ 3.4 เพื่อเปรียบเทียบค่าความเครียดที่เกิดขึ้นกับค่าความเครียดเนื่องจากการแตกร้าวของคอนกรีต รวมทั้งเปรียบเทียบค่าความเครียดเนื่องจากการหดตัวกับค่าความเครียดเนื่องจากการแตกร้าวของคอนกรีต ใช้ค่ามากที่สุดที่ครอบคลุมค่าความเครียดทุกกรณีไปทำการดึงตัวอย่างทดสอบให้แยกออกจากกัน โดยเครื่องมือที่ใช้ในการให้ค่าการเคลื่อนที่ที่รอยต่อกับตัวอย่างทดสอบเป็นแบบการให้ค่าการเคลื่อนที่เชิงกล แสดงดังรูปที่ 3.27 โดยให้ทิศทางการดึงตัวอย่างตัวอย่างทดสอบดังรูปที่ 3.28 จนกระทั่งได้ความกว้างที่รอยต่อครอบคลุมทุกค่าการเคลื่อนที่ทุกกรณี ทำการวัดความกว้างที่รอยต่อโดยใช้บรรทัดเปรียบเทียบ (Crack Comparator) ดังแสดงในรูปที่ 3.29 เตรียมตัวอย่างทดสอบพร้อมทดสอบการกันน้ำซึมต่อไป



รูปที่ 3.27 เครื่องมือให้การเคลื่อนที่ที่รอยต่อตัวอย่างทดสอบ



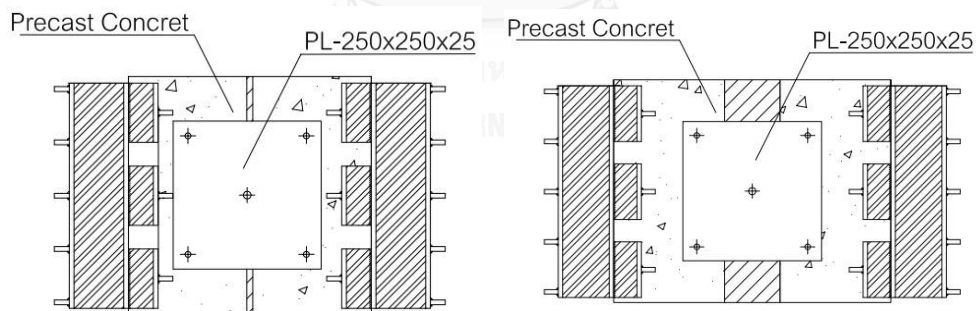
รูปที่ 3.28 ทิศทางการให้แรงดึงกับตัวอย่างทดสอบ



รูปที่ 3.29 บรรทัดเปรียบเทียบ

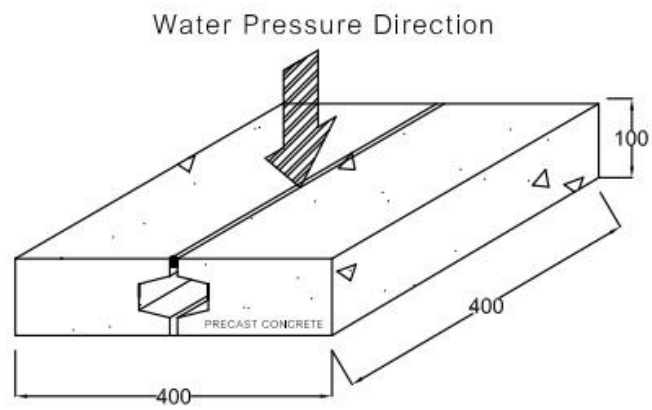
3.6 การทดสอบการให้น้ำซึมผ่านตัวอย่างทดสอบ

ในการทดสอบการให้น้ำซึมผ่านตัวอย่างทดสอบนั้น ใช้ตัวอย่างรูปแบบที่ 0 เป็นตัวอย่างอ้างอิงในกาวิเคราะห์ผลน้ำซึมผ่าน วิธีการทดสอบทำได้โดยการติดตั้งแผ่นเหล็กขนาด 250X250X25 มิลลิเมตร ที่รอยต่อของตัวอย่างดังรูปที่ 3.30 ต่อท่อให้แรงดันเข้ากับแผ่นเหล็กขนาด 250X250X25 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.30 ติดตั้งแผ่นเหล็กขนาด 250X250X25 มิลลิเมตร กับตัวอย่างทดสอบ

ใช้เครื่องทดสอบการให้แรงดันน้ำ ให้แรงดันน้ำคงที่ 5 kgf/cm^2 ผ่านท่อที่ต่อกับแผ่นเหล็กขนาด 200X200X25 มิลลิเมตร ที่รอยต่อทิศทางดังรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.31 ทิศทางการให้แรงดันน้ำคงที่ 5 kgf/cm^2 กับตัวอย่างทดสอบ



บทที่ 4

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์

4.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางบิวไทล์ทำงานร่วมกันกับคอนกรีต

ผลการทดสอบการกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางบิวไทล์ทำงานร่วมกันกับคอนกรีต สำหรับยางบิวไทล์เมื่อยึดติดกับมอร์ตาร์แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของยางบิวไทล์เมื่อยึดติดกับมอร์ตาร์

ตัวอย่าง	หน่วยแรงกระทำ สูงสุด (kPa)	ความเครียด ณ จุดแตกหัก (%ความเครียด)	ความเครียดที่แรงกระทำ สูงสุด (%ความเครียด)
1	104	305.0	35.5
2	94	302.0	33.0
3	100	303.0	34.0
ค่าเฉลี่ย	99	303.3	34.2
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	5	1.5	1.3

พบว่าค่าเฉลี่ยหน่วยแรงกระทำสูงสุดของแผ่นยางบิวไทล์มีค่า 99 kPa แรงยึดเหนี่ยวระหว่างแผ่นยางบิวไทล์และปูนซีเมนต์มีค่ามากกว่า 99 kPa ค่าความเครียดเฉลี่ยที่แรงกระทำสูงสุดมีค่าร้อยละ 34.2 ของความเครียด และค่าความเครียด ณ จุดแตกหักมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 303.3 ของความเครียด ลักษณะความเสียหายเป็นแบบโคฮีซีฟ คือกำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างยางบิวไทล์กับซีเมนต์มีค่ามากกว่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของยางบิวไทล์เอง ผลการทดสอบการรับกำลังแรงดึงของแผ่นยางบิวไทล์ทำงานร่วมกันกับคอนกรีต แสดงดังภาคผนวก ข

ในส่วนของการทดสอบการกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางบิวไทล์ทำงานร่วมกันกับคอนกรีต สำหรับยางบิวไทล์เมื่อยึดติดกับวัสดุอนซริงเกอร์ที่แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของยางบิวไทล์เมื่อยึดติดกับวัสดุนอนจริงเกร้าท์

ตัวอย่าง	หน่วยแรงกระทำ สูงสุด (kPa)	ความเครียด ณ จุดแตกหัก (%ความเครียด)	ความเครียดที่แรงกระทำ สูงสุด (%ความเครียด)
1	58	406.0	32.5
2	74	399.9	32.0
3	60	402.2	32.2
ค่าเฉลี่ย	64	402.7	32.2
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	8	3.1	0.25

พบว่าค่าเฉลี่ยหน่วยแรงกระทำสูงสุดของแผ่นยางบิวไทล์เมื่อยึดติดกับวัสดุนอนจริงเกร้าท์มีค่า 64 kPa แรงยึดเหนี่ยวระหว่างแผ่นยางบิวไทล์และปูนซีเมนต์มีค่ามากกว่า 64 kPa ค่าความเครียดเฉลี่ยที่แรงกระทำสูงสุดมีค่าร้อยละ 32.2 ของความเครียด และค่าความเครียด ณ จุดแตกหักมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 402.7 ของความเครียด ลักษณะความเสียหายเป็นแบบโคฮีซีฟเช่นกัน ผลการทดสอบการรับกำลังแรงดึงของแผ่นยางบิวไทล์ทำงานร่วมกันกับคอนกรีต แสดงดังภาคผนวก ข

จากผลการทดสอบตามตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 พบว่าค่าเฉลี่ยหน่วยแรงกระทำสูงสุดของยางบิวไทล์เมื่อยึดติดกับมอร์ต้าร์มีค่ามากกว่าเมื่อยึดติดกับวัสดุนอนจริงเกร้าท์หรือร้อยละ 54 ค่าความเครียดเฉลี่ยที่แรงกระทำสูงสุดเมื่อยึดติดกับมอร์ต้าร์มีค่าน้อยกว่าเมื่อยึดติดกับวัสดุนอนจริงเกร้าท์หรือร้อยละ 25 และค่าความเครียดเฉลี่ย ณ จุดแตกหักมีค่ามากกว่าร้อยละ 0.6 ทั้งนี้ การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบเป็นคนละช่วงเวลา ตัวอย่างยางบิวไทล์ที่นำมาใช้ไม่ได้มาจาก รุ่นเดียวกัน ส่งผลให้ผลการทดสอบที่ได้อาจมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น

4.2 ผลการทดสอบการกันน้ำซึมผ่านของคอนกรีตเมื่อทำงานร่วมกันกับแผ่นยางบิวไทล์

จากการทดสอบพบว่า ผลการทดสอบการกันน้ำซึมผ่านของแผ่นยางบิวไทล์และแผ่นยางโพลีไวนิลคลอไรด์ในรอยต่อก่อสร้างแสดงดังตารางที่ 4.3 พบว่าในรอยต่อก่อสร้างที่ไม่มีแผ่นยางเกิดการรั่วซึมน้ำดังรูปที่ 4.1 ในส่วนของผลการทดสอบแผ่นยางโพลีไวนิลคลอไรด์ พบว่ามีการรั่วซึมน้ำเกิดขึ้นดังรูปที่ 4.2 เนื่องจากแผ่นยางโพลีไวนิลคลอไรด์ใช้คุณสมบัติทางกลในการป้องกัน

น้ำรั่วซึมผ่านที่รอยต่อก่อสร้างของคอนกรีต อีกทั้งการติดตั้งแผ่นยางโพลีไวนิลคลอไรด์ต้องติดตั้งให้จุดกึ่งกลางความกว้างของแผ่นยางโพลีไวนิลคลอไรด์อยู่ที่จุดรอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตพอดี และตัวแผ่นยางโพลีไวนิลคลอไรด์ต้องอยู่กึ่งกลางความหนาของแผ่นคอนกรีต และใช้ลวดเหล็กเจาะยึดที่ขอบแผ่นเป็นระยะตามความเหมาะสม รวมทั้งในขณะที่เทคอนกรีตชั้นแรกลงไป แผ่นยางโพลีไวนิลคลอไรด์จะถูกฝังครึ่งหนึ่งก่อนการเทคอนกรีตชั้นที่สองซึ่งมีความจำเป็นต้องทำความสะอาดแผ่นยางโพลีไวนิลคลอไรด์ให้สะอาดก่อน เนื่องจากหากแผ่นยางโพลีไวนิลคลอไรด์ไม่ได้ทำความสะอาด การยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตและแผ่นยางโพลีไวนิลคลอไรด์จะไม่สามารถทำงานร่วมกันได้ดี และในขณะที่เทคอนกรีตจากที่สูงมากแผ่นยางโพลีไวนิลคลอไรด์จะเกิดการพับ ส่งผลให้เกิดรูและรอยร้าวในโครงสร้างคอนกรีต ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการซึมผ่านน้ำ

ในส่วนของผลการทดสอบแผ่นยางบิวไทล์ พบว่าไม่พบน้ำรั่วซึมผ่านที่บริเวณด้านล่างของตัวอย่างทดสอบดังรูปที่ 4.3 แผ่นยางบิวไทล์แต่ละขนาด รวมถึงทิศทางการวางแผ่นยางบิวไทล์ ความสูงในการติดตั้งแผ่นยางบิวไทล์ มีความสามารถในการกันน้ำซึมผ่านที่รอยต่อก่อสร้างของคอนกรีตได้ในแรงดันที่กระทำที่ 0.5 MPa, 0.3 MPa และ 0.1 MPa เทียบเท่ากับระดับความลึกของแรงดันน้ำที่ 50 เมตร 30 เมตร และ 10 เมตร ตามลำดับ ดังนั้นแผ่นยางบิวไทล์มีประสิทธิภาพในการกันน้ำซึมผ่านของรอยต่อคอนกรีตในการติดตั้งแนวราบและแนวตั้ง แสดงไว้ในภาคผนวก ค



รูปที่ 4.1 พบน้ำรั่วซึมที่บริเวณด้านล่างของตัวอย่างที่ไม่มีแผ่นยาง (ด้านล่างของตัวอย่างทดสอบ)



รูปที่ 4.2 พบน้ำรั่วซึมที่บริเวณด้านล่างของตัวอย่างที่ใช้แผ่นยางโพลีไวนิลคลอไรด์ ในรอยต่อ
ก่อสร้าง



รูปที่ 4.3 ไม่พบน้ำซึมผ่านบริเวณด้านล่างของตัวอย่างที่ใช้แผ่นยางบิวไทล์ ในรอยต่อก่อสร้าง

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการกั้นน้ำซึมผ่านของคอนกรีตเมื่อทำงานร่วมกับแผ่นยางบิวไทล์

		ปริมาณการซึมผ่าน, Q (มล./ม.ซม.)			ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน, K ($\times 10^{-7}$ ซม./วินาที)		
		1 กก. / ตร.ซม.	3 กก. / ตร.ซม.	5 กก. / ตร.ซม.	1 กก. / ตร.ซม.	3 กก. / ตร.ซม.	5 กก. / ตร.ซม.
แรงดันน้ำ							
กลุ่มที่ 1							
ไม่มีแผ่นยาง		-	-	666.8	-	-	N. A.
แผ่นยางโพลีไวนิลคลอไรด์		19.88	69.05	87.86	11.2	12.98	9.91
แผ่นยาง บิวไทล์	W-0415	0	0	0	0	0	0
	W-0420	0	0	0	0	0	0
	W-0615	0	0	0	0	0	0
	W-0620	0	0	0	0	0	0
กลุ่มที่ 2							
แผ่นยาง โพลีไวนิล คลอไรด์	บน	82.26	187.74	234.05	46	35.29	26.4
	กลาง	46.31	147.02	240	26.1	27.63	27.1
	ล่าง	65.12	195.83	257.14	39.7	36.81	29
แผ่นยาง บิวไทล์ W-0415	บน	0	0	0	0	0	0
	กลาง	0	0	0	0	0	0
	ล่าง	0	0	0	0	0	0

หมายเหตุ: - หมายถึงไม่มีการทดสอบ

N. A. เนื่องจากค่า K ต้องคำนวณจากพื้นที่หน้าตัดแผ่นยางที่น้ำรั่วซึมผ่าน

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) ผลการทดสอบการกั้นน้ำซึมผ่านของคอนกรีตเมื่อทำงานร่วมกับแผ่นยางบิวไทล์

แรงดันน้ำ		ปริมาณการซึมผ่าน, Q (มล./ม.ซม.)			ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน, K ($\times 10^{-7}$ ซม./วินาที)		
		1 กก. / ตร.ซม.	3 กก. / ตร.ซม.	5 กก. / ตร.ซม.	1 กก. / ตร.ซม.	3 กก. / ตร.ซม.	5 กก. / ตร.ซม.
แผ่นยาง บิวไทล์ W-0420	บน	0	0	0	0	0	0
	กลาง	0	0	0	0	0	0
	ล่าง	0	0	0	0	0	0
แผ่นยาง บิวไทล์ W-0615	บน	0	0	0	0	0	0
	กลาง	0	0	0	0	0	0
	ล่าง	0	0	0	0	0	0
แผ่นยาง บิวไทล์ W-0620	บน	0	0	0	0	0	0
	กลาง	0	0	0	0	0	0
	ล่าง	0	0	0	0	0	0
กลุ่มที่ 3							
แผ่นยาง โพลีไวนิล คลอไรด์	บน	15.36	55.24	82.26	8.66	10.38	9.28
	กลาง	9.08	32.26	57.02	5.13	6.06	6.43
	ล่าง	14.88	75.83	134.17	8.39	14.25	15.1
แผ่นยาง บิวไทล์ W-0415	บน	0	0	0	0	0	0
	กลาง	0	0	0	0	0	0
	ล่าง	0	0	0	0	0	0

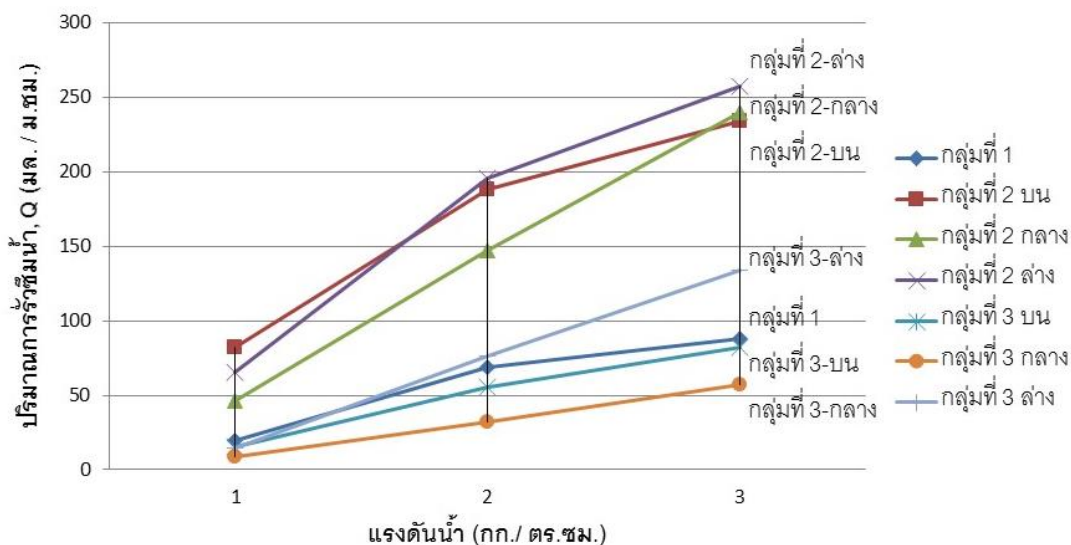
หมายเหตุ: - หมายถึงไม่มีการทดสอบ

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) ผลการทดสอบการกั้นน้ำซึมผ่านของคอนกรีตเมื่อทำงานร่วมกันกับแผ่นยางบิวไทล์

แรงดันน้ำ		ปริมาณการรั่วซึม, Q (มล./ม.ซม.)			ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน, K ($\times 10^{-7}$ ซม./วินาที)		
		1 กก./ ตร.ซม.	3 กก./ ตร.ซม.	5 กก./ ตร.ซม.	1 กก./ ตร.ซม.	3 กก./ ตร.ซม.	5 กก./ ตร.ซม.
แผ่นยาง บิวไทล์ W-0420	บน	0	0	0	0	0	0
	กลาง	0	0	0	0	0	0
	ล่าง	0	0	0	0	0	0
แผ่นยาง บิวไทล์ W-0615	บน	0	0	0	0	0	0
	กลาง	0	0	0	0	0	0
	ล่าง	0	0	0	0	0	0
แผ่นยาง บิวไทล์ W-0620	บน	0	0	0	0	0	0
	กลาง	0	0	0	0	0	0
	ล่าง	0	0	0	0	0	0

หมายเหตุ: - หมายถึงไม่มีการทดสอบ

จากตารางผลการทดสอบการกั้นน้ำซึมผ่านของแผ่นยางบิวไทล์และแผ่นยางโพลีไวนิลคลอไรด์ในรอยต่อก่อสร้างสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการรั่วซึมและแรงดันน้ำของแผ่นยางโพลีไวนิลคลอไรด์ดังรูปที่ 4.4 ปริมาณน้ำที่รั่วซึมเป็นสัดส่วนกับแรงดันน้ำ ทำการเปรียบเทียบปริมาณการรั่วซึมที่ทิศทางรอยต่อและทิศทางการติดตั้งแผ่นยางต่างกลุ่มกัน พบว่าปริมาณการรั่วซึมของทิศทางรอยต่อแนวตั้ง ทิศทางการติดตั้งแผ่นยางแนวตั้ง (กลุ่มที่ 2) มากกว่า ทิศทางรอยต่อแนวราบ ทิศทางการติดตั้งแผ่นยางแนวตั้ง (กลุ่มที่ 1) และทิศทางรอยต่อแนวตั้ง ทิศทางการติดตั้งแผ่นยางแนวราบ (กลุ่มที่ 3) เนื่องจากการเกิดน้ำซึมตามทิศทางการวางตัวของแผ่นยางในแนวตั้ง ทำให้เกิดจุดอ่อนบริเวณดังกล่าว ส่งผลให้เกิดการรั่วซึมที่รอยต่อขณะได้รับแรงดันน้ำ ปริมาณการรั่วซึมของทิศทางรอยต่อแนวตั้ง ทิศทางการติดตั้งแผ่นยางแนวราบ (กลุ่มที่ 3) มีค่าน้อยสุดเนื่องจากการเกิดน้ำซึมไปเกิดที่ด้านล่างของแผ่นยาง

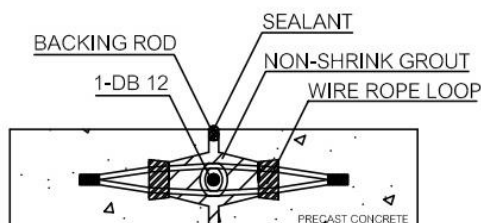


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการรั่วซึมน้ำและแรงดันน้ำของแผ่นยางโพลีไวนิลคลอไรด์

เปรียบเทียบปริมาณการรั่วซึมน้ำของแผ่นยางบิวไทล์และแผ่นยางโพลีไวนิลคลอไรด์ ที่แรงดันน้ำ 5 กก./ตร.ชม. ดังรูปที่ 4.5 จากรอยต่อที่ไม่มีแผ่นยางพบว่าเกิดปริมาณน้ำรั่วซึม 666.8 มล./ม.ชม. และเมื่อติดตั้งแผ่นยางโพลีไวนิลคลอไรด์ทิศทางแนวตั้ง ในรอยต่อก่อสร้างแนวราบนั้น (กลุ่มที่ 1) พบว่าปริมาณการรั่วซึมน้ำอยู่ที่ 87.86 มล./ม.ชม. ในการติดตั้งแผ่นยางโพลีไวนิลคลอไรด์แนวตั้งตามความสูงของตัวอย่างทดสอบที่ 2.65 เมตร (บน) 1.50 เมตร (กลาง) และ 0.35 เมตร (ล่าง) ในรอยต่อก่อสร้างแนวตั้ง (กลุ่มที่ 2) พบว่าปริมาณการรั่วซึมน้ำอยู่ที่ 234.05 มล./ม.ชม. 240 มล./ม.ชม. และ 257.14 มล./ม.ชม. และในการติดตั้งแผ่นยางโพลีไวนิลคลอไรด์แนวราบตามความสูงของตัวอย่างทดสอบที่ 2.65 เมตร (บน) 1.50 เมตร (กลาง) และ 0.35 เมตร (ล่าง) ในรอยต่อก่อสร้างแนวตั้ง (กลุ่มที่ 3) พบว่าปริมาณการรั่วซึมน้ำอยู่ที่ 82.26 มล./ม.ชม. 57.02 มล./ม.ชม. และ 134.17 มล./ม.ชม. ในส่วนของการติดตั้งแผ่นยางบิวไทล์ทิศทางแนวตั้งและแนวราบ ในรอยต่อก่อสร้างแนวตั้งและแนวราบ พบว่าปริมาณการรั่วซึมน้ำอยู่ที่ 0 มล./ม.ชม.

รูปแบบการติดตั้งวัสดุกันการรั่วซึมน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ประเภทที่ 1 : Non-shrink grout with backing rod and sealant



1. การติดตั้ง

การผลิตในโรงงาน	จำนวน	เหตุผล
ง่าย	III	1. ใช้แบบด้านข้างมาตรฐานการผลิตชิ้นส่วน Precast Concrete ได้เลย 2. มีแบบหล่อสำเร็จ เป็นแบบเหล็กอยู่แล้ว 3. สามารถผลิตได้ด้วยระบบนำหมุน เพียงใช้ Shuttering วางแล้ว ใช้แม่เหล็กเกาะระหว่าง Shuttering กับ Wire-loop
ปานกลาง	I	
ยาก		

การติดตั้งหน้างาน	จำนวน	เหตุผล
ง่าย	I	1. มีระยะห่างระหว่างแผ่น สามารถปรับแก้ระยะได้ สามารถทำงานเท Non-shrink grout ได้สะดวกรวมถึงงาน Sealant เพราะมีช่องว่างเพียงพอ
ปานกลาง	III	1. เหล็ก DB 12 เสียบบลงยาก 2. ตั้งไม้แบบเท Non-Shrink Grout แล้วต้องวาง Backing Rod และ Sealant อาจใช้ PU, Silicone และ Modified Silicone
ยาก		

2. การขนส่ง

การขนส่ง	จำนวน	เหตุผล
ง่าย	IIII	1. ไม่ค่อยเป็นประเด็นในการขนส่ง เนื่องจากรูปทรงชิ้นส่วน Precast Concrete มีความเสถียร มั่นคงแข็งแรง อาจเกิดรอยร้าวที่ขอบแผ่นบริเวณรอยหยัก ขึ้นอยู่กับการจัดวางชิ้นงานในช่วงการขนส่ง และการยกย้ายแผ่น 2. ตอนขนส่ง wire-loop เก็บไว้ด้านในอยู่แล้ว
ปานกลาง		
ยาก		

3. การใช้งาน

การใช้งาน	จำนวน	เหตุผล
ง่าย		
ปานกลาง	IIII	1. ขึ้นอยู่กับการติดตั้ง วัสดุอุดปิดรอยต่อทั้ง Non-shrink grout และ Sealant ควรมีคุณสมบัติ อุดปิดรอยต่อได้เต็ม และป้องกันรั่วซึมได้ 2. มี Non-shrink grout ที่อาจจะไหลเข้าไป แล้วไม่เต็มเพราะไม่มีแบบข้าง 3. Sealant มีอายุการใช้งานที่จำกัด ถ้า Non-Shrink Grout เป็น Non-Shrink Grout จริงแล้ว น้ำอาจไม่เข้าได้
ยาก		

4. ปัญหาที่คาดว่าจะพบ

ในขณะติดตั้ง

- การยกย้ายชิ้นส่วน Precast Concrete ทั้งในช่วงหลังการผลิตยกไปเก็บเข้า Stock การย้ายในช่วงการขนส่ง และติดตั้ง อาจทำให้ขอบแผ่นบริเวณรอยหยักที่มีความเปราะบางเกิดรอยร้าวหรือปิ่นแตกหักได้
- แผ่น Precast Concrete เป็นไปได้ที่จะเกิดการหลวมกัน

ในหน้างาน

- การ Control ระยะห่างระหว่างแผ่น ถ้ามากกว่าหรือน้อยกว่าระยะที่ทำการวางแบบสำหรับรูปแบบ Joint Detail อาจใส่ Backing Rod และ Sealant ไม่ลง

2. Non-Shrink Grout และ Sealant ที่ใช้ควรเป็นวัสดุที่มีคุณภาพดี อุดปิดได้เต็มช่องว่างของรอยต่อ และป้องกันรั่วซึมได้ดี

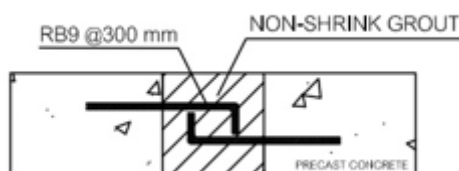
3. ฐ Wire-loop ไม่ตรงกัน

5. ข้อเสนอแนะ

ไม่มี

รูปแบบการติดตั้งวัสดุกันการรั่วซึมของน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ประเภทที่ 2 : Non-shrink grout



1. การติดตั้ง

การผลิตในโรงงาน	จำนวน	เหตุผล
ง่าย	II	1. ขอบแผ่นเรียบไม่ต้องจัดทำแบบด้านข้างสำเร็จรูป ใช้แบบข้างไม้หรือเหล็ก ขอบตรงเรียบก็สามารถผลิตได้
ปานกลาง		
ยาก	II	1. ไม่รู้ติดตั้งอย่างไร 2. โรงงานไม่สามารถมีเหล็กไหลออกมาจากด้านข้างได้ เว้นเสียแต่ต้องเจาะแบบ

การผลิตหน้างาน	จำนวน	เหตุผล
ง่าย	III	1. ด้วยขอบแผ่นที่เรียบตรงสามารถ Adjust ระยะห่างระหว่างแผ่นได้ แต่การใช้ Non-Shrink Grout จะสิ้นเปลืองไปสักหน่อย เนื่องจากช่องว่างของรอยต่อมีมาก
ปานกลาง	I	1. ต้องหาแบบหล่อด้านข้าง
ยาก		

2. การขนส่ง

การขนส่ง	จำนวน	เหตุผล
ง่าย	II	1. รูปทรงแผ่นเสถียร
ปานกลาง	II	1. ต้องมีการชนกันของเหล็กตอนชน
ยาก		

3. การใช้งาน

การใช้งาน	จำนวน	เหตุผล
ง่าย	I	
ปานกลาง	II	1. ใช้ Non-Shrink Grout ปริมาณมาก แม้จะเป็น Non-Shrink Grout ที่มีคุณภาพดี แต่เมื่อเทในปริมาณมาก อาจเกิดการหดตัว ทำให้เกิดการร้าวซึมได้ และรอยต่อไม่มีการออกแบบรอยหยักด้านข้าง และไม่มี Sealant ดังนั้น การป้องกันการร้าวซึมของ Joint Detail รูปแบบนี้ จะพึ่งพา Non-Shrink Grout แต่อย่างเดียว
ยาก	I	1. ถ้าแบบหล่อไม่ดี Non-Shrink Grout จะไหลออกมา

4. ปัญหาที่คาดว่าจะพบ

ในขณะติดตั้ง

ไม่มี

ในหน้างาน

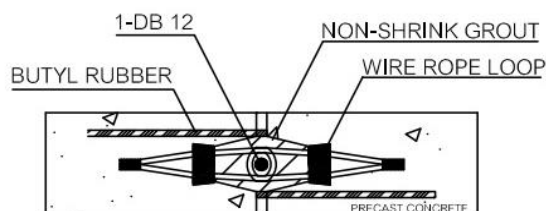
1. สิ้นเปลือง Non-Shrink Grout
2. Non-Shrink Grout อาจหดตัว หรือมีคุณภาพไม่ดี ทำให้ไม่ช่วยในการป้องกันการร้าวซึม
3. เป็นไปได้ที่จะเกิดการร้าวซึม

5. ข้อเสนอแนะ

1. ถ้าจำเป็นต้องใช้รูปแบบ Joint Detail แบบนี้ควรเพิ่ม Backing Rod และ Sealant
2. ใช้ Area ต่อ Joint สูงมากเกินไป

รูปแบบการติดตั้งวัสดุกันการรั่วซึมของน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ประเภทที่ 3 : Non-shrink grout with butyl rubber



1. การติดตั้ง

การผลิตในโรงงาน	จำนวน	เหตุผล
ง่าย	I	
ปานกลาง	II	<ol style="list-style-type: none"> 1. ในกรณีผลิตแบบเครื่องจักร Automatic ที่มีแบบด้านข้างมาตรฐาน การยื่นปลายออกมาของ Rubber ทำได้ลำบากพอสมควร 2. การจัดวางระยะของ Rubber ให้ปรากฏพอดีตามรูปแบบ Joint Detail ที่ออกแบบยิ่งยากไปกว่า เพราะในการผลิตชิ้นส่วน Precast Concrete จะเกิดความคลาดเคลื่อนอยู่แล้วเป็นปกติ
ยาก	I	<ol style="list-style-type: none"> 1. ต้องเจาะแบบหล่อที่เป็นเหล็กหนา

การผลิตหน้างาน	จำนวน	เหตุผล
ง่าย	I	
ปานกลาง	I	
ยาก	II	<ol style="list-style-type: none"> 1. แม้จะผลิตแผ่น Precast Concrete จนไม่เกิดความคลาดเคลื่อน (ซึ่งเป็นไม่ได้) แต่การติดตั้งให้ Rubber มาอุดปิดรอยต่อได้พอดีตาม Joint Detail นั้นไม่ใช่เรื่องง่าย ยิ่งถ้าเพิ่มปัจจัยความคลาดเคลื่อนจากการผลิตเข้าไปอีกยิ่งยากเข้าไปใหญ่ สุดท้ายรอยต่อพึ่งพา Non-Shrink Grout แต่อย่างเดียว 2. แผ่นยางจะเกิดการพับไปมา ในขณะที่จับแผ่นยางมาชนกัน

2. การขนส่ง

การขนส่ง	จำนวน	เหตุผล
ง่าย	II	1. ไม่มีผลการขนส่ง
ปานกลาง	II	1. ปลายของ Rubber ที่ยื่นออกมาจากขอบแผ่น Precast Concrete อาจเกิดความเสียหายฉีกขาด ขณะยกย้ายและขนส่ง ซึ่งการซ่อมแซมไม่สามารถทำได้
ยาก		

3. การใช้งาน

การใช้งาน	จำนวน	เหตุผล
ง่าย	I	
ปานกลาง	III	1. ถ้าทุกอย่างเป็นไปตามรูป Joint Detail การป้องกันการรั่วซึมดูจะ ได้ผล แต่ถ้าคิดปัจจัยเหล่านี้คือ ความเสียหายของแผ่น Rubber จาก การยกย้าย และขนส่ง ความคลาดเคลื่อนจากการผลิต ติดตั้ง และ คุณภาพของ Non-Shrink Grout การป้องกันการรั่วซึมเป็นสิ่งที่ควรให้ ความสำคัญ
ยาก		

4. ปัญหาที่คาดว่าจะพบ

ในขณะติดตั้ง

1. ความคลาดเคลื่อนในการผลิตแผ่น Precast Concrete และการติดตั้งแผ่น Rubber ที่ขอบแผ่น
2. เท Non-Shrink Grout เต็มยาก และต้องเท 3 ครั้ง

ในหน้างาน

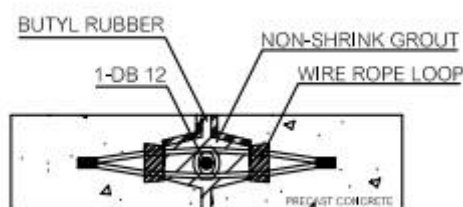
1. ความคลาดเคลื่อนในการติดตั้ง
2. ความเสียหายของแผ่น Rubber จากการยกย้าย และขนส่ง
3. คุณภาพ Non-Shrink Grout ที่ใช้

5. ข้อเสนอแนะ

1. ใช้วัสดุ Backing Rod และ Sealant อุดปิดบริเวณรอยต่อด้านนอก

รูปแบบการติดตั้งวัสดุกันการรั่วซึมของน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ประเภทที่ 4 : Non-shrink grout with butyl rubber



1. การติดตั้ง

การผลิตในโรงงาน	จำนวน	เหตุผล
ง่าย	I	
ปานกลาง	II	<ol style="list-style-type: none"> 1. ในกรณีผลิตแบบเครื่องจักร Automatic ที่มีแบบด้านข้างมาตรฐาน การยื่นปลายออกมาของ Rubber ทำได้ลำบากพอสมควร 2. การจัดวางระยะของ Rubber ให้ปรากฏพอดีตามรูปแบบ Joint Detail ที่ออกแบบยิ่งยากไปกว่า เพราะในการผลิตชิ้นส่วน Precast Concrete จะเกิดความคลาดเคลื่อนอยู่แล้วเป็นปกติ
ยาก	I	<ol style="list-style-type: none"> 1. ต้องเจาะแบบหล่อเหล็ก

การผลิตหน้างาน	จำนวน	เหตุผล
ง่าย		
ปานกลาง	II	<ol style="list-style-type: none"> 1. ไม่ต่างจากประเภทที่ 1 มากนัก
ยาก	II	<ol style="list-style-type: none"> 1. แม้จะผลิตแผ่น Precast Concrete จนไม่เกิดความคลาดเคลื่อน (ซึ่งเป็นไม่ได้) แต่การติดตั้งให้ Rubber มาอุดปิดรอยต่อได้พอดีตาม Joint Detail นั้นไม่ใช่เรื่องง่าย ยิ่งถ้าเพิ่มปัจจัยความคลาดเคลื่อนจากการผลิตเข้าไปอีกยิ่งยากเข้าไปใหญ่ สุดท้ายรอยต่อพึงพา Non-Shrink Grout แต่อย่างเดียว 2. ยากที่จะใช้ Butyl Rubber จากรูปดังกล่าว เนื่องจากวัสดุติดกันได้ ทำให้วัสดุติดกัน

2. การขนส่ง

การขนส่ง	จำนวน	เหตุผล
ง่าย	III	
ปานกลาง	I	1. ปลายของ Rubber ที่ยื่นออกมาจากขอบแผ่น Precast Concrete อาจเกิดความเสียหายฉีกขาด ขณะยกย้ายและขนส่ง ซึ่งการซ่อมแซมไม่สามารถทำได้
ยาก		

3. การใช้งาน

การใช้งาน	จำนวน	เหตุผล
ง่าย	I	
ปานกลาง	III	1. ถ้าทุกอย่างเป็นไปตามรูป Joint Detail การป้องกันการรั่วซึมดูจะได้ผล แต่ถ้าคิดปัจจัยเหล่านี้คือ ความเสียหายของแผ่น Rubber จากการยกย้าย และขนส่ง ความคลาดเคลื่อนจากการผลิต ติดตั้ง และคุณภาพของ Non-Shrink Grout การป้องกันการรั่วซึมเป็นสิ่งที่ควรให้ความสำคัญ
ยาก		

4. ปัญหาที่คาดว่าจะพบ

ในขณะติดตั้ง

1. ความคลาดเคลื่อนในการผลิตแผ่น Precast Concrete และการติดตั้งแผ่น Rubber ที่ขอบแผ่น
2. ติดตั้งยาก ใช้เวลานาน ทำให้หมดข้อได้เปรียบของ Precast Concrete

ในหน้างาน

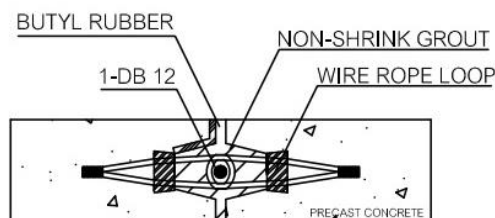
1. ความคลาดเคลื่อนในการติดตั้ง
2. ความเสียหายของแผ่น Rubber จากการยกย้าย และขนส่ง
3. คุณภาพ Non-Shrink Grout ที่ใช้

5. ข้อเสนอแนะ

1. ใช้วัสดุ Backing Rod และ Sealant อุดปิดบริเวณรอยต่อด้านนอก

รูปแบบการติดตั้งวัสดุกันการรั่วซึมของน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ประเภทที่ 5 : Non-shrink grout with butyl rubber



1. การติดตั้ง

การผลิตในโรงงาน	จำนวน	เหตุผล
ง่าย	I	
ปานกลาง	II	1. ต้องเจาะแบบเหล็ก
ยาก		

การผลิตหน้างาน	จำนวน	เหตุผล
ง่าย	I	
ปานกลาง	II	
ยาก		

2. การขนส่ง

การขนส่ง	จำนวน	เหตุผล
ง่าย	II	
ปานกลาง	I	
ยาก		

3. การใช้งาน

การใช้งาน	จำนวน	เหตุผล
ง่าย		
ปานกลาง	III	1. อาจเกิดการรั่วซึมได้
ยาก		

4. ปัญหาที่คาดว่าจะพบ

ในขณะติดตั้ง

ไม่มี

ในหน้างาน

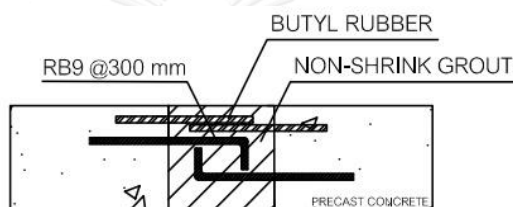
1. อาจเกิดการรั่วซึมจากทางด้านที่ไม่ได้ติดแผ่นยาง

5. ข้อเสนอแนะ

1. รูปแบบนี้ไม่มีประสิทธิภาพ ประเภทที่ 3 และ 4 ดีกว่า

รูปแบบการติดตั้งวัสดุกันการรั่วซึมของน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ประเภทที่ 6 : Non-shrink grout with butyl rubber



1. การติดตั้ง

การผลิตในโรงงาน	จำนวน	เหตุผล
ง่าย	I	
ปานกลาง	II	<ol style="list-style-type: none"> 1. ในกรณีผลิตแบบเครื่องจักร Automatic ที่มีแบบด้านข้างมาตรฐาน การยื่นปลายออกมาของ Rubber ทำได้ลำบากพอสมควร 2. การจัดวางระยะของ Rubber ให้ปรากฏพอดีตามรูปแบบ Joint Detail ที่ออกแบบยิ่งยากไปกว่า เพราะในการผลิตชิ้นส่วน Precast Concrete จะเกิดความคลาดเคลื่อนอยู่แล้วเป็นปกติ
ยาก	I	<ol style="list-style-type: none"> 1. ต้องเจาะแบบหล่อให้เหล็กโผล่

การผลิต หน้างาน	จำนวน	เหตุผล
ง่าย	II	
ปานกลาง	II	1. ด้วยขอบแผ่นที่เรียบตรงสามารถ Adjust ระยะห่างระหว่างแผ่นได้ แต่การใช้ Non-Shrink Grout จะลึนเปลี่ยนไปเล็กน้อย เนื่องจาก ช่องว่างของรอยต่อมีมาก
ยาก		

2. การขนส่ง

การขนส่ง	จำนวน	เหตุผล
ง่าย	I	
ปานกลาง	III	1. ปลายของ Rubber ที่ยื่นออกมาจากขอบแผ่น Precast Concrete อาจเกิดความเสียหายฉีกขาด ขณะยกย้ายและขนส่ง ซึ่งการ ซ่อมแซมไม่สามารถทำได้
ยาก		

3. การใช้งาน

การใช้งาน	จำนวน	เหตุผล
ง่าย		
ปานกลาง	III	1. ถ้าทุกอย่างเป็นไปตามรูป Joint Detail การป้องกันการรั่วซึม ดูจะได้ผล แต่ถ้าคิดปัจจัยเหล่านี้คือ ความเสียหายของแผ่น Rubber จากการยกย้าย และขนส่ง ความคลาดเคลื่อนจากการ ผลิต ติดตั้ง และคุณภาพของ Non-Shrink Grout การป้องกันการ รั่วซึมเป็นสิ่งที่ควรให้ความสำคัญ
ยาก		

4. ปัญหาที่คาดว่าจะพบ

ในขณะที่ติดตั้ง

1. ความยากในการติดตั้งแผ่น Rubber ที่ขอบแผ่น

ในหน้างาน

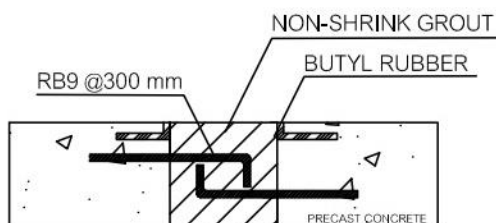
1. สิ้นเปลือง Non-Shrink Grout
2. Non-Shrink Grout อาจหดตัว หรือมีคุณภาพไม่ดี ทำให้ไม่ช่วยในการป้องกันการรั่วซึม

5. ข้อเสนอแนะ

1. ไม่จำเป็นต้องเสริม Rubber ให้ยาว แต่ควรเสริมให้มีจำนวนพอสมควร

รูปแบบการติดตั้งวัสดุกันการรั่วซึมของน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ประเภทที่ 7 : Non-shrink grout with butyl rubber



1. การติดตั้ง

การผลิตใน โรงงาน	จำนวน	เหตุผล
ง่าย	II	
ปานกลาง	I	<ol style="list-style-type: none"> 1. ในกรณีผลิตแบบเครื่องจักร Automatic ที่มีแบบด้านข้างมาตรฐาน การยื่นปลายออกมาของ Rubber ทำได้ลำบากพอสมควร 2. การจัดวางระยะของ Rubber ให้ปรากฏพอดีตามรูปแบบ Joint Detail ที่ออกแบบยิ่งยากไปกว่า เพราะในการผลิตชิ้นส่วน Precast Concrete จะเกิดความคลาดเคลื่อนอยู่แล้วเป็นปกติ
ยาก	I	

การผลิต หน้างาน	จำนวน	เหตุผล
ง่าย	III	

การผลิต หน้างาน	จำนวน	เหตุผล
ปานกลาง	I	1. ด้วยขอบแผ่นที่เรียบตรงสามารถ Adjust ระยะห่างระหว่างแผ่นได้ แต่การใช้ Non-Shrink Grout จะสิ้นเปลืองไปสักหน่อย เนื่องจากช่องว่างของรอยต่อมีมาก
ยาก		

2. การขนส่ง

การขนส่ง	จำนวน	เหตุผล
ง่าย	II	
ปานกลาง	II	1. ปลายของ Rubber ที่ยื่นออกมาจากขอบแผ่น Precast Concrete อาจเกิดความเสียหายฉีกขาด ขณะยกย้ายและขนส่ง ซึ่งการซ่อมแซมไม่สามารถทำได้
การขนส่ง	จำนวน	เหตุผล
ยาก		

3. การใช้งาน

การใช้งาน	จำนวน	เหตุผล
ง่าย	I	
ปานกลาง	III	1. ถ้าทุกอย่างเป็นไปตามรูป Joint Detail การป้องกันการรั่วซึมดูจะ ได้ผล แต่ถ้าคิดปัจจัยเหล่านี้คือ ความเสียหายของแผ่น Rubber จากการยกย้าย และขนส่ง ความคลาดเคลื่อนจากการผลิต ติดตั้ง และคุณภาพของ Non-Shrink Grout การป้องกันการรั่วซึมเป็นสิ่งที่ ควรให้ความสำคัญ
ยาก		

4. ปัญหาที่คาดว่าจะพบ

ในขณะที่ติดตั้ง

1. ความยากในการติดตั้งแผ่น Rubber ที่ขอบแผ่น

ในหน้างาน

1. สิ้นเปลือง Non-Shrink Grout
2. Non-Shrink Grout อาจหดตัว หรือมีคุณภาพไม่ดี ทำให้ไม่ช่วยในการป้องกันการรั่วซึม
3. เป็นไปได้ที่จะเกิดการรั่วซึม เนื่องจากไม่มีแผ่นยางขวางกันผ่านรอยต่อ

5. ข้อเสนอแนะ

1. ไม่จำเป็นต้องเสริม Rubber ให้ยาว แต่ควรเสริมให้มีจำนวนพอสมควร
2. ยางบิวไทล์มีความเหมาะสมกับรูปแบบรอยต่อประเภทนี้

รายละเอียดเพิ่มเติม

การออกแบบรอยต่อของชิ้นส่วน Precast Concrete มีหลายปัจจัยที่จะต้องนำมาพิจารณา โดยทั่วไปได้แก่

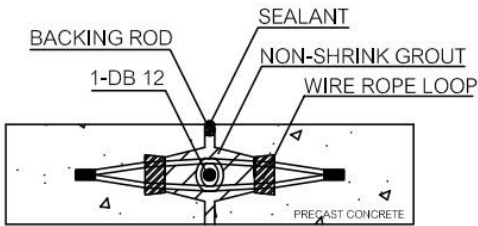
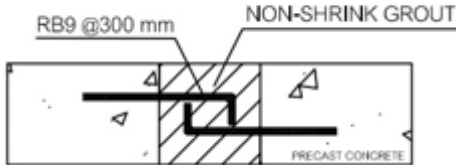
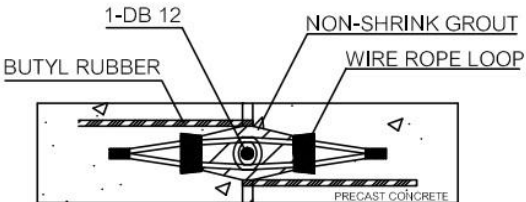
- ความแข็งแรงของโครงสร้างโดยรวม ได้แก่ บ้าน อาคาร สามารถรับน้ำหนักได้ตามที่ออกแบบ ได้แก่ น้ำหนักจรใช้งาน แรงลม แผ่นดินไหว เป็นต้น
- ข้อจำกัดในการขนส่ง ได้แก่ พาหนะที่ใช้ขนส่ง กฎหมายข้อจำกัด truck ในการบรรทุกชิ้นส่วน precast concrete เป็นต้น
- การผลิต มีทั้งระบบ Manual คือผลิตกับ mold ในแนวราบหรือตั้ง โดยใช้แรงงานคนเป็นหลัก และระบบเครื่องจักร Automatic ซึ่งมีวิธีการทำงาน และเงื่อนไขข้อจำกัดที่แตกต่างกัน

*ในการตอบข้อสอบถามนี้ ขอตอบด้วยการอิงพื้นฐานการผลิตในระบบ Automatic ที่ SCG มีกับรูปแบบ Joint detail ที่ทางนิสิตทำการออกแบบขึ้นมา

การติดตั้ง พิจารณาการยกย้ายชิ้นส่วนเพื่อทำการติดตั้ง การออกแบบต้องสามารถทำงานได้ และอำนวยความสะดวกในการทำงานติดตั้ง (practical)

การเรียงลำดับความเป็นไปได้ในการก่อสร้างและติดตั้งวัสดุป้องกันการรั่วซึมน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ (1 ง่ายที่สุด – 7 ยากที่สุด) และลำดับความเป็นไปได้ในการป้องกันการรั่วซึมน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ (1 มากที่สุด - 7 น้อยที่สุด) แสดงดังตารางที่ 4.4

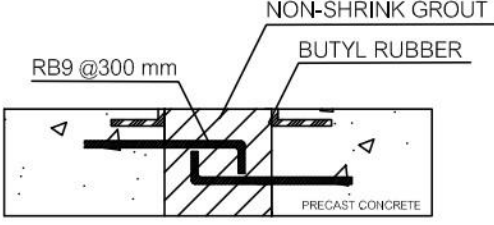
ตารางที่ 4.4 ลำดับความเป็นไปได้ในการก่อสร้าง ติดตั้งวัสดุ และการป้องกันการรั่วซึมน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ประเภท ที่	รูปแบบ	ลำดับความเป็นไปได้			
		การก่อสร้าง		การป้องกันการรั่วซึมน้ำ	
1.		1	I	1	II
		2	III	2	I
		3		3	I
		4		4	
		5		5	
		6		6	
		7		7	
2.		1	II	1	
		2		2	
		3		3	
		4		4	I
		5	I	5	
		6		6	
		7	I	7	III
3.		1	I	1	I
		2		2	II
		3		3	
		4	I	4	
		5		5	I
		6	II	6	
		7		7	

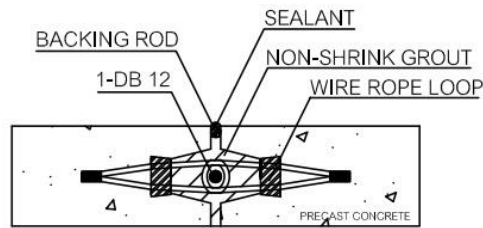
ตารางที่ 4.4 (ต่อ) ลำดับความเป็นไปได้ในการก่อสร้าง ติดตั้งวัสดุ และการป้องกันการรั่วซึมน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ประเภท ที่	รูปแบบ	ลำดับความเป็นไปได้			
		การก่อสร้าง		การป้องกันการรั่วซึมน้ำ	
4.		1		1	I
		2		2	
		3	II	3	II
		4		4	
		5		5	
		6		6	I
		7	II	7	
5.		1		1	
		2	I	2	
		3		3	
		4	I	4	I
		5	II	5	I
		6		6	I
		7		7	I
6.		1		1	
		2		2	I
		3	I	3	
		4	I	4	III
		5	I	5	
		6		6	
		7	I	7	

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) ลำดับความเป็นไปได้ในการก่อสร้าง ติดตั้งวัสดุ และการป้องกันการรั่วซึมน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

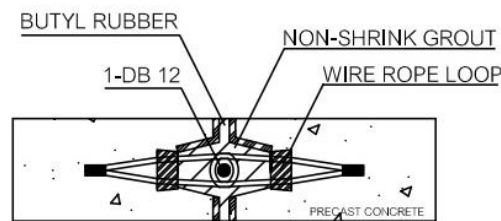
ประเภท ที่	รูปแบบ	ลำดับความเป็นไปได้			
		การก่อสร้าง		การป้องกันการรั่วซึมน้ำ	
7.		1		1	
		2		2	
		3	I	3	I
		4	I	4	
		5		5	I
		6	II	6	II
		7		7	

จากการทำแบบสอบถามในหัวข้อการศึกษาการป้องกันการรั่วซึมน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จด้วยยางบิวไทล์ พบว่า รูปแบบการติดตั้งยางบิวไทล์ที่รอยต่อและวัสดุที่ใช้ป้องกันการซึมผ่านในขณะก่อสร้างที่ง่ายที่สุดคือประเภทที่ 1 รูปแบบแสดงดังรูปที่ 4.6 ซึ่งเป็นรูปแบบที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากการผลิตในโรงงานมีความง่าย โดยสามารถใช้แบบด้านข้างมาตรฐานทางการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จได้โดยไม่มีความจำเป็นต้องติดตั้งวัสดุที่ใช้ป้องกันน้ำซึมผ่าน ในส่วนของการติดตั้งหน้างานอยู่ในระดับปานกลาง เนื่องจากมีความจำเป็นต้องตั้งไม้แบบที่ติดตั้งโฟมเส้นอุดร่องเพื่อปรับระดับความลึกของยางแนว ก่อนทำการเทวัสดุคอนกรีตเพื่อเชื่อมประสานรอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ และมีความจำเป็นต้องใช้วัสดุยาแนวรอยต่อประเภทโพลียูรีเทนร่วมด้วย การขนส่งแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จมีความง่ายเนื่องจากรูปทรงของแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จไม่มีวัสดุกันน้ำหล่อติดไปกับแผ่น มีความเสถียรมั่นคงแข็งแรง แต่อาจเกิดรอยร้าวที่บริเวณรอยหยักของกึ่งูฟ ขึ้นอยู่กับการจัดวางชิ้นงานในช่วงการขนส่ง และการยกขนย้าย ในส่วนของการใช้งานอยู่ในระดับปานกลางขึ้นอยู่กับการติดตั้ง และวัสดุอุดปิดรอยต่อทั้งวัสดุคอนกรีตและวัสดุยาแนวควรมีคุณสมบัติ อุดปิดรอยต่อได้เต็ม และมีประสิทธิภาพป้องกันการรั่วซึมน้ำได้จริง ในบางกรณีพบว่าวัสดุคอนกรีตที่ผสมไม่ดีไม่สามารถไหลเต็มแบบรอยต่อ รวมถึงวัสดุยาแนวมีอายุการใช้งานที่จำกัดอีกด้วย



รูปที่ 4.6 แสดงรูปแบบรอยต่อและวัสดุที่ใช้กันน้ำซึมผ่านประเภทที่ 1

รูปแบบของรอยต่อที่ใช้ยางบิวไทล์เป็นวัสดุกันน้ำซึมผ่านที่มีความเป็นไปได้จากการเสนอแนะของผู้ตอบแบบสอบถามแสดงดังรูปที่ 4.7 ซึ่งเป็นรูปแบบที่มีความง่ายต่อการติดตั้งยางบิวไทล์ที่แบบหล่อมากที่สุด รวมถึงง่ายต่อการติดตั้งหน้างาน อาจใช้วัสดุอนุอนซริงค์เกอร์ท์หรือมอร์ตาร์ฉาบบริเวณพื้นผิวรอยต่อด้านนอกของรอยต่อเพิ่มเติม เพื่อเสริมสร้างความแข็งแรงและความสวยงาม



รูปที่ 4.7 แสดงรูปแบบรอยต่อที่ใช้ยางบิวไทล์เป็นวัสดุกันน้ำซึมผ่าน

4.4 ชิ้นส่วนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

จากการหล่อคอนกรีต แสดงไว้ในภาคผนวก จ พบว่า รูปแบบของรอยต่อและวัสดุที่ใช้ในการกันน้ำซึมผ่านประเภทที่ 3 ประเภทที่ 6 และประเภทที่ 7 ตามตารางที่ 3.1 ไม่สามารถใช้งานได้จริง เนื่องจากการติดตั้งแผ่นยางบิวไทล์ไม่มีความเหมาะสม ติดตั้งยาก ขนาดของมวลรวมหยาบส่งผลให้คอนกรีตไม่สามารถไหลลงแบบด้านข้างได้ ทำให้เห็นแผ่นยางบิวไทล์ที่ด้านนอกของตัวอย่างคอนกรีต ดังรูปที่ 4.8 ถึง 4.10



รูปที่ 4.8 แสดงรูปแบบของรอยต่อและวัสดุที่ใช้ในการกันน้ำซึมผ่านประเภทที่ 3



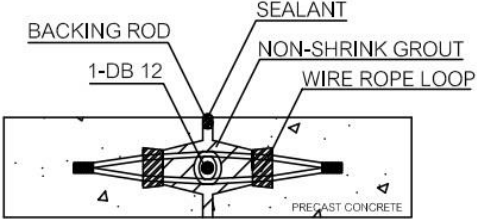
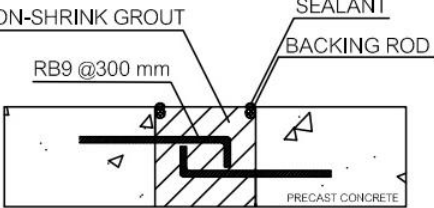
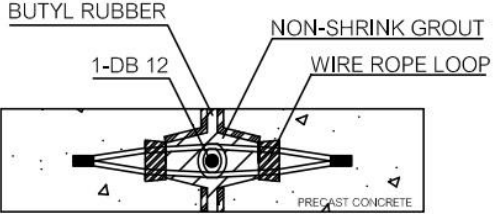
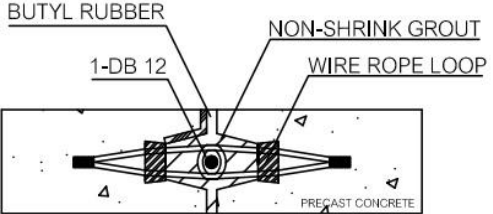
รูปที่ 4.9 แสดงรูปแบบของรอยต่อและวัสดุที่ใช้ในการกันน้ำซึมผ่านประเภทที่ 6



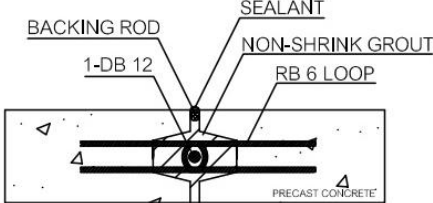
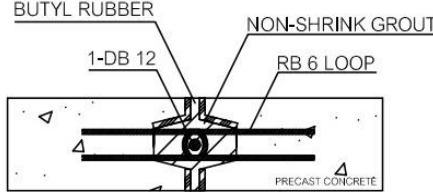
รูปที่ 4.10 แสดงรูปแบบของรอยต่อและวัสดุที่ใช้ในการกันน้ำซึมผ่านประเภทที่ 7

ดังนั้นรูปแบบที่สามารถทดสอบการกันน้ำซึมที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ ได้แก่ประเภทที่ 1 ประเภทที่ 2 ประเภทที่ 4 ประเภทที่ 5 ประเภทที่ 8 และประเภทที่ 9 แสดงดังตารางที่ 4.5 ทำการเชื่อมประสานรอยต่อด้วยวัสดุอนุชนริงเกอร์ท์ และให้ค่าการเคลื่อนที่แบบสัมพัทธ์ที่รอยต่อของตัวอย่างทดสอบก่อนการทดสอบการกันน้ำซึมผ่าน

ตารางที่ 4.5 รูปแบบของรอยต่อและวัสดุที่ใช้ในการกันน้ำซึมผ่านที่สามารถนำไปทดสอบได้

ประเภท ที่	รูปแบบ	วัสดุที่เชื่อม รอยต่อ	วัสดุกันน้ำ
1.		นอนซีริง เก็ร่าท์	โฟมเส้นอุด ร่องและ วัสดุยาแนว กันน้ำซึม
2.		นอนซีริง เก็ร่าท์	-
4.		นอนซีริง เก็ร่าท์	ยางบิวไทล์ ความหนา 15 มม.
5.		นอนซีริง เก็ร่าท์	ยางบิวไทล์ ความหนา 25 มม.

ตารางที่ 4.5 (ต่อ) รูปแบบของรอยต่อและวัสดุที่ใช้ในการกันน้ำซึมผ่านที่สามารถนำไปทดสอบได้

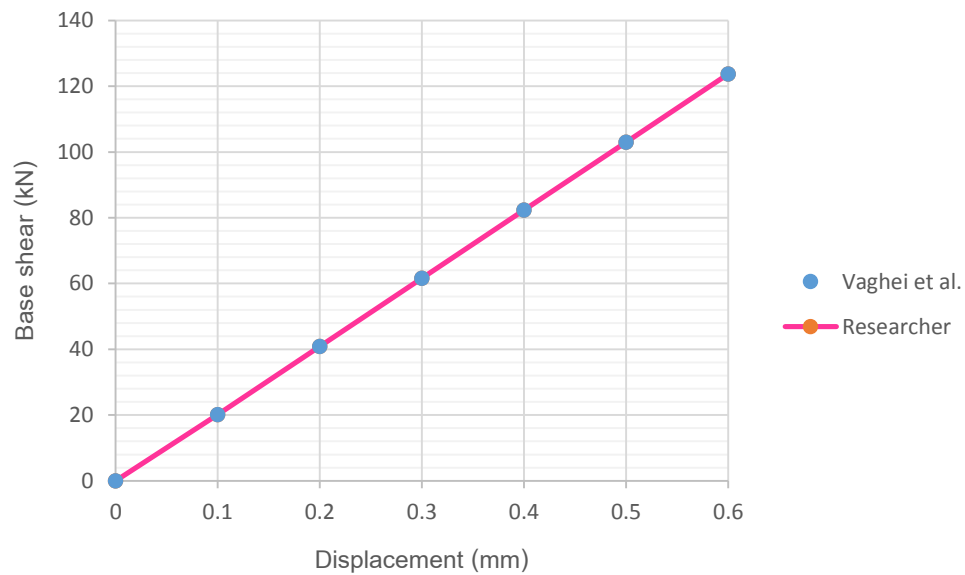
ประเภทที่	รูปแบบ	วัสดุที่เชื่อมรอยต่อ	วัสดุกันน้ำ
8.		นอนซริง เก็ร่าท์	โฟมเส้นอุด ร่องและ วัสดุยาแนว กันน้ำซึม
9.		นอนซริง เก็ร่าท์	ยางบิวไทล์ ความหนา 15 มม.

4.5 ผลการวิเคราะห์ค่าการเคลื่อนที่ที่รอยต่อระหว่างผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จด้วย ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เลิเมนต์

4.5.1 ตรวจสอบความถูกต้องของ ABAQUS ซอฟต์แวร์ จากงานวิจัยในอดีต

จากการตรวจสอบความถูกต้องของการสร้างแบบจำลองของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จตามหัวข้อที่ 2.4 โดยพิจารณาในช่วงอิลาสติก หรือช่วงกราฟเส้นตรงเท่านั้น เนื่องจากในงานวิจัยนี้ศึกษาโครงสร้างในสภาวะใช้งาน (Serviceability) จากผลการทดสอบของ Vaghei et al. เปรียบเทียบกับการสร้างแบบจำลองตาม Vaghei et al. โดยใช้ ABAQUS ซอฟต์แวร์ แสดงดังรูปที่

4.11



รูปที่ 4.11 แสดงค่าความจุของค่าการเคลื่อนที่มากที่สุดกับแรงปฏิกิริยา [15]

เมื่อเปรียบเทียบค่าความจุของค่าการเคลื่อนที่มากที่สุดกับแรงปฏิกิริยาจากรูปที่ 4.11 พบว่าในช่วงเวลาที่มีค่าเท่ากัน ที่ค่าการเคลื่อนที่ตัวจาก 0 ถึง 0.6 มิลลิเมตร ค่าแรงเฉือนอยู่ที่ 0 ถึง 124 กิโลนิวตัน แสดงให้เห็นว่าการสร้างแบบจำลองตาม Vaghei et al. ได้ผลการวิเคราะห์ค่าความจุของค่าการเคลื่อนที่มากที่สุดกับแรงปฏิกิริยามีค่าเท่ากัน นั่นคือการตรวจสอบความถูกต้องของ ABAQUS ซอฟต์แวร์ เป็นไปอย่างถูกต้อง

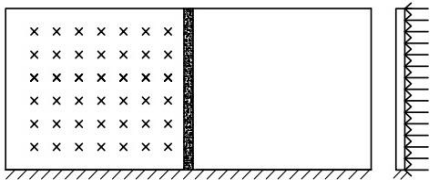
4.5.2 ผลการวิเคราะห์ค่าการเคลื่อนที่แบบสัมผัสที่รอยต่อระหว่างผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จในสภาวะการใช้งานด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์

จากการวิเคราะห์ค่าการเคลื่อนที่แบบสัมผัสที่รอยต่อระหว่างผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จในสภาวะการใช้งานด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ABAQUS ซอฟต์แวร์ แสดงค่าการเคลื่อนที่แบบสัมผัสที่รอยต่อระหว่างผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ โดยที่ลักษณะแรงกระทำ และเงื่อนไขขอบเขต แสดงดังตารางที่ 4.6

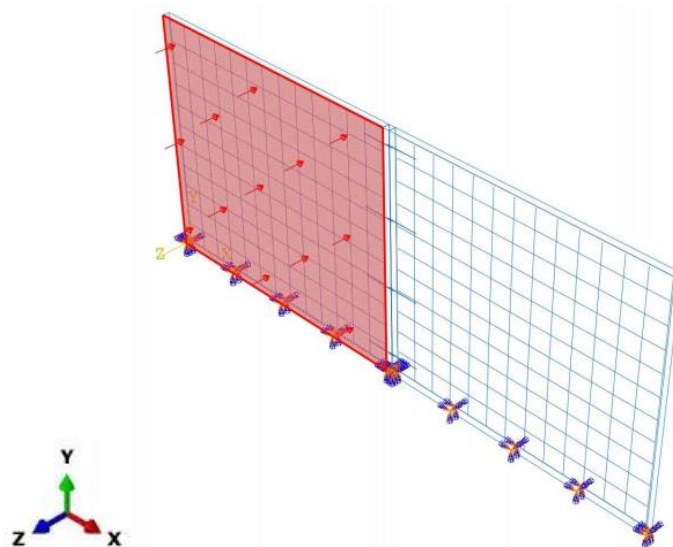
ตารางที่ 4.6 ค่าการเคลื่อนที่แบบสัมผัสที่รอยต่อระหว่างผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ

รูปแบบ ที่	รูปแบบ	ค่าการเคลื่อนที่แบบสัมผัสมากที่สุด (มิลลิเมตร)		
		Wire Rope Loops	เหล็กเส้น กลม RB 9	เหล็กเส้น กลม RB 6
1.		0.00340	0.000802	0.000863
2.		0.000351	0.000318	0.000217
3.		0.00346	0.00144	0.00252
4.		0.000734	0.000151	0.000168

ตารางที่ 4.6 (ต่อ) ค่าการเคลื่อนที่แบบสัมผัสที่รอยต่อระหว่างผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ

รูปแบบ ที่	รูปแบบ	ค่าการเคลื่อนที่แบบสัมผัสมากที่สุด (มิลลิเมตร)		
		Wire Rope Loops	เหล็กเส้น กลม RB 9	เหล็กเส้น กลม RB 6
5.		0.0245	0.00259	0.00356

พิจารณาค่าการเคลื่อนที่แบบสัมผัสมากที่สุดจากทุกรูปแบบที่ใช้ในการวิเคราะห์ เพื่อเปรียบเทียบค่าความเครียดที่เกิดขึ้นกับค่าความเครียดเนื่องจากการแตกร้าวของคอนกรีต รวมทั้งเปรียบเทียบค่าความเครียดเนื่องจากการหดตัวกับค่าความเครียดเนื่องจากการแตกร้าวของคอนกรีต พบว่าค่าการเคลื่อนที่แบบสัมผัสที่มากที่สุดระหว่างรอยต่อมีค่า 0.0245 มิลลิเมตร ซึ่งคำนวณเป็นความเครียดเท่ากับ 0.000245 และลักษณะรูปแบบแรงที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบสัมผัสมากที่สุดที่รอยต่อคือ แรงดันด้านข้างคงที่ตลอดพื้นที่ผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จหนึ่งด้าน มีเงื่อนไขขอบเขตเป็นฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed Support) ที่ด้านล่าง และรอยต่อแบบกรีฟยึดผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จด้วยเหล็กข้ออ้อยเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แสดงฐานรองรับแบบยึดแน่น และแรงกระทำด้านข้าง ของแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ รอยต่อแบบกรู๊ฟ RB6

4.6 ค่าการเคลื่อนที่ที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

หลังจากการหล่อตัวอย่างคอนกรีตเสร็จสิ้นทำการบ่มเป็นเวลา 14 วัน จากนั้นทำการเทวัสดุเชื่อมประสานระหว่างรอยต่อ และทำการบ่มเป็นเวลา 1 วัน ในการให้ค่าการเคลื่อนที่แบบสัมพัทธ์ที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จในระดับห้องปฏิบัติการจริงนั้น ทำการเปรียบเทียบค่าความเครียดเนื่องจากการหดตัวตามหัวข้อที่ 2.8 มีค่าเท่ากับ 0.00153 มากกว่าค่าความเครียดเนื่องจากการแตกร้าวของคอนกรีตที่มีค่า 0.00124 ใช้ค่าความเครียดเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีตเป็นตัวควบคุม เมื่อเปรียบเทียบค่าความเครียดในสภาวะการใช้งานจากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ที่มีค่า 0.000245 ซึ่งน้อยกว่าค่าความเครียดเนื่องจากการแตกร้าวของคอนกรีตที่มีค่า 0.00124 ใช้ค่าความเครียดจากการแตกร้าวของคอนกรีตเป็นตัวควบคุม จากการเปรียบเทียบข้างต้นพบว่าค่าความเครียดเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีตมีค่ามากกว่าค่าความเครียดเนื่องจากการแตกร้าวของคอนกรีต ดังนั้นใช้ค่าความเครียดเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีตเป็นตัวควบคุมการให้ค่าเคลื่อนที่แบบสัมพัทธ์ที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จในระดับห้องปฏิบัติการจริง


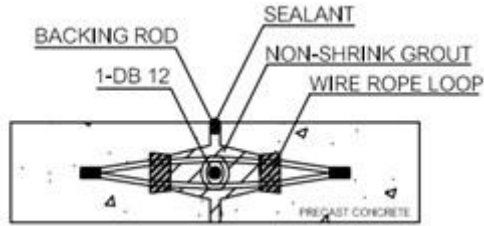
ในการให้ค่าการเคลื่อนที่แบบสัมพัทธ์ที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ ใช้เครื่องมือแสดงดังรูปที่ 3.27 โดยควบคุมให้ค่าการเคลื่อนที่กับเครื่องมือให้การเคลื่อนที่ที่รอยต่อ 1.00 เซนติเมตร ทำให้ที่รอยต่อของตัวอย่างทดสอบเกิดการเคลื่อนที่ไป 1.00 มิลลิเมตร ครอบคลุมค่าความเครียดเนื่องจากการแตกร้าวของคอนกรีต และครอบคลุมค่าการความเครียดทุกกรณี

เมื่อให้ค่าการเคลื่อนที่ที่รอยต่อ 1.00 เซนติเมตร ทำให้ตัวอย่างคอนกรีตประเภทที่ 1 ประเภทที่ 2 ประเภทที่ 8 และประเภทที่ 9 เกิดการเคลื่อนที่ไป 1.00 มิลลิเมตร และในกรณีของ ตัวอย่างคอนกรีตประเภทที่ 4 และประเภทที่ 5 เมื่อให้ค่าการเคลื่อนที่กับเครื่องมือที่ใช้สร้างความกว้างที่รอยต่อเท่าเดิม พบว่าต้องใช้แรงมากขึ้นเพื่อดึงตัวอย่างคอนกรีตให้เกิดการเคลื่อนที่ไป 1.00 มิลลิเมตร จนกระทั่งที่รอยต่อระหว่างตัวอย่างคอนกรีตเกิดการแตกร้าววัดค่าการเคลื่อนที่ไปได้ 1.40 มิลลิเมตร แสดงให้เห็นว่าเมื่อรอยต่อของแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จเกิดการเคลื่อนที่ไป การติดตั้งรูปแบบยางประเภทที่ 4 และประเภทที่ 5 มีความยืดหยุ่นและช่วยให้ที่รอยต่อไม่เกิดการแตกร้าวในช่วงสภาวะการใช้งาน แสดงดังภาคผนวก ข

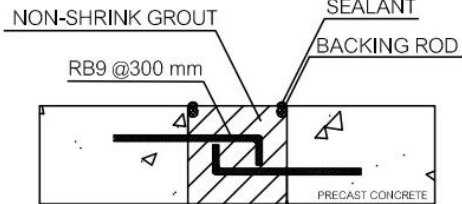
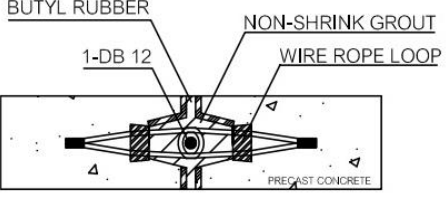
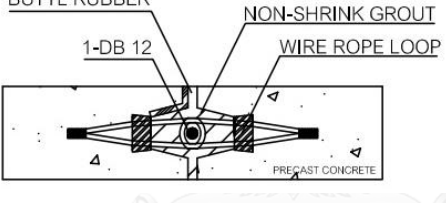
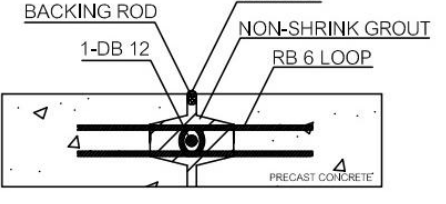
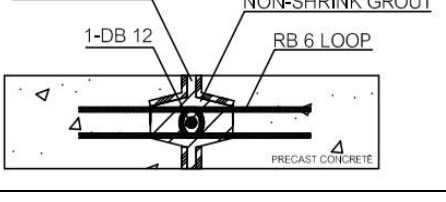
4.7 ผลการทดสอบการกันน้ำซึมผ่าน

หลังจากให้ค่าการเคลื่อนที่กับตัวอย่างคอนกรีตแล้ว ทำการเตรียมตัวอย่างขึ้นทดสอบการอัดน้ำ เพื่อศึกษาผลของการกันน้ำซึมผ่านที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จด้วยยางบิวไทล์ โดยวิธีการทดสอบเป็นไปตามหัวข้อ 3.3 ผลการทดสอบการซึมผ่านน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ แสดงดังตารางที่ 4.7 และภาคผนวก ฉ

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบการซึมผ่านน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ประเภท ที่	รูปแบบ	ปริมาณน้ำที่ซึมผ่าน (มล./ชม.) ที่แรงดัน 5 (กก./ตร.ซม.)
0.		1.05
1.		1.84×10^4

ตารางที่ 4.7 (ต่อ) ผลการทดสอบการซึมผ่านที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

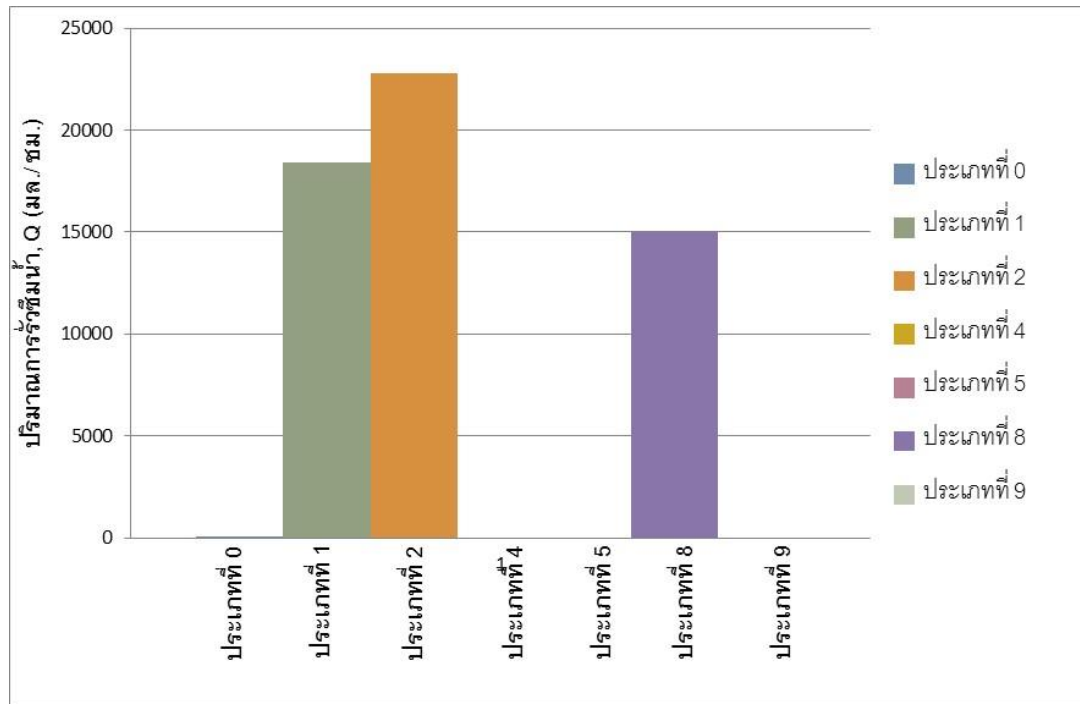
ประเภท ที่	รูปแบบ	ปริมาณน้ำที่ซึมผ่าน (มล./ชม.) ที่แรงดัน 5 (กก./ตร.ซม.)
2.	 <p>NON-SHRINK GROUT SEALANT BACKING ROD RB9 @300 mm PRECAST CONCRETE</p>	2.28×10^4
4.	 <p>BUTYL RUBBER NON-SHRINK GROUT WIRE ROPE LOOP 1-DB 12 PRECAST CONCRETE</p>	0
5.	 <p>BUTYL RUBBER NON-SHRINK GROUT WIRE ROPE LOOP 1-DB 12 PRECAST CONCRETE</p>	0
8.	 <p>BACKING ROD SEALANT NON-SHRINK GROUT RB 6 LOOP 1-DB 12 PRECAST CONCRETE</p>	1.50×10^4
9.	 <p>BUTYL RUBBER NON-SHRINK GROUT RB 6 LOOP 1-DB 12 PRECAST CONCRETE</p>	0

จากตารางผลการทดสอบการซึมผ่านน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ สามารถเปรียบเทียบปริมาณการรั่วซึมน้ำที่แรงดันน้ำ 5 กก./ตร.ซม. ดังรูปที่ 4.13 ปริมาณการซึมผ่านน้ำที่ได้จากการทดสอบประเภทที่ 0 รูปแบบอ้างอิง ตัวอย่างคอนกรีตไม่มีรอยต่อ ปริมาณการรั่วซึมน้ำเท่ากับ 1.05 มล./ชม. ประเภทที่ 2 ใช้วัสดุโฟมเส้นอุดร่องและวัสดุยาแนวกันน้ำซึมผ่านใน

รอยต่อแบบเรียบปริมาณการรั่วซึมน้ำเท่ากับ 2.28×10^4 มล./ชม. ซึ่งมีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับประเภทอื่น เนื่องจากรูปแบบรอยต่อของประเภทที่ 2 ที่ผิวหน้ารอยต่อเป็นแบบเรียบ เมื่อให้ค่าการเคลื่อนที่ที่รอยต่อทำให้คอนกรีตและซีเมนต์นอนซริงเกร้าท์แยกออกจากกัน วัสดุโพลีเมอร์อุดร่องเกิดการฉีกขาด ไม่มีแรงยึดเหนี่ยวกับคอนกรีตและซีเมนต์นอนซริงเกร้าท์ วัสดุยาแนวกันน้ำซึมผ่านมีความยืดหยุ่นแต่เมื่อเกิดการเคลื่อนที่ที่รอยต่อการยึดเกาะกับผิวคอนกรีตและซีเมนต์นอนซริงเกร้าท์หลุดออกจากกันบางส่วน อีกทั้งในขณะที่ยกขนย้ายขึ้นส่วนตัวอย่างขึ้นทำการทดสอบและติดตั้งเครื่องมือให้แรงดันน้ำที่รอยต่ออาจส่งผลให้ความกว้างของรอยแตกกว้างมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ในขณะที่ให้แรงดันน้ำที่รอยต่อ น้ำจึงรั่วซึมผ่านรอยแตกกว้างไปได้โดยง่าย

ประเภทที่ 1 ใช้วัสดุโพลีเมอร์อุดร่องและวัสดุยาแนวกันน้ำซึมผ่านในรอยต่อแบบกรีพ เชื่อมยึดติดกันด้วย Steel Wire Rope Loops ปริมาณการรั่วซึมน้ำเท่ากับ 1.84×10^4 มล./ชม. มีค่าน้อยกว่าประเภทที่ 2 เมื่อให้ค่าการเคลื่อนที่ที่รอยต่อ วัสดุโพลีเมอร์อุดร่องและวัสดุยาแนวกันน้ำซึมผ่านมีคุณลักษณะเช่นเดียวกันกับประเภทที่ 2 แต่ปริมาณการรั่วซึมน้ำน้อยกว่าเป็นผลมาจากรอยต่อแบบกรีพมีลักษณะที่หยักทำให้น้ำซึมผ่านได้ยากกว่า เช่นเดียวกับประเภทที่ 8 ใช้วัสดุโพลีเมอร์อุดร่องและวัสดุยาแนวกันน้ำซึมผ่านในรอยต่อแบบกรีพ เชื่อมยึดติดกันด้วย C-line ปริมาณการรั่วซึมน้ำเท่ากับ 1.50×10^4 มล./ชม. ซึ่งมีค่าน้อยกว่าประเภทที่ 1 และประเภทที่ 2

ประเภทที่ 4 ประเภทที่ 5 และประเภทที่ 9 ไม่พบน้ำรั่วซึมผ่านที่รอยต่อเนื่องจากยางบิวไทล์มีคุณสมบัติทางเคมียึดเหนี่ยวกับคอนกรีตและซีเมนต์นอนซริงเกร้าท์ได้เป็นอย่างดี และมีความยืดหยุ่น การติดตั้งยางบิวไทล์ในรูปแบบข้างต้นสามารถป้องกันการรั่วซึมน้ำในขณะตัวอย่างเกิดการเคลื่อนที่



รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบปริมาณการรั่วซึมน้ำของวัสดุกันน้ำแบบเดิมและการประดิษฐ์การติดตั้งยางบิวไทล์ที่รอยต่อ ที่แรงดันน้ำ 5 กก./ตร.ซม.

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการป้องกันการรั่วซึมน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ ด้วยยางบิวไทล์ จากการทดสอบกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางบิวไทล์ทำงานร่วมกันกับคอนกรีต ผลการทดสอบพบว่า หน่วยแรงกระทำสูงสุดของแผ่นยางบิวไทล์เมื่อยึดติดกับมอร์ตาร์มีค่าเฉลี่ย 99 kPa มีค่าความเครียดเฉลี่ย ณ แรงดึงสูงสุดร้อยละ 34.2 ของความเครียด และมีค่าความเครียดเฉลี่ย ณ จุดแตกหักร้อยละ 303.3 ของความเครียด ลักษณะความเสียหายเป็นแบบโคฮีซีฟ ส่วนหน่วยแรงกระทำสูงสุดของแผ่นยางบิวไทล์เมื่อยึดติดกับอนชริงเกอร์มีค่าเฉลี่ย 64 kPa มีค่าความเครียดเฉลี่ย ณ แรงดึงสูงสุดร้อยละ 32.2 ของความเครียด และมีค่าความเครียดเฉลี่ย ณ จุดแตกหักร้อยละ 402.7 ของความเครียด ลักษณะความเสียหายเป็นแบบโคฮีซีฟเช่นกัน ทั้งนี้การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบเป็นคนละช่วงเวลา ตัวอย่างยางบิวไทล์ที่นำมาใช้ไม่ได้มาจากรุ่นเดียวกัน ส่งผลให้ผลการทดสอบที่ได้อาจมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น

การทดสอบการกันน้ำซึมผ่านของคอนกรีตเมื่อทำงานร่วมกันกับแผ่นยางบิวไทล์ ผลการทดสอบการกันน้ำซึมผ่านของรอยต่อด้วยการให้แรงดันน้ำที่ 5 กก./ตร.ซม. 3 กก./ตร.ซม. และที่ 1 กก./ตร.ซม. ซึ่งเทียบเท่ากับระดับความลึกของแรงดันน้ำที่ 5 เมตร 3 เมตร และ 1 เมตร ตามลำดับพบว่า ในรอยต่อที่ไม่มีแผ่นยางป้องกันการซึมผ่านของน้ำและในรอยต่อที่ใช้แผ่นยางโพลีไวนิลคลอไรด์พบว่าการรั่วซึมของน้ำ ส่วนในรอยต่อที่ใช้แผ่นยางบิวไทล์ไม่พบว่าการรั่วซึมน้ำ

การสำรวจแบบสอบถามในหัวข้อเรื่องการศึกษาการป้องกันการรั่วซึมน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จด้วยยางบิวไทล์สอบถามจากผู้จัดการวิศวกรรมและออกแบบ ผู้ช่วยผู้จัดการใหญ่ วิศวกรออกแบบ และวิศวกรเทคนิค จำนวนผู้ทำแบบสอบถาม 6 คน พบว่า รูปแบบการติดตั้งยางบิวไทล์ที่รอยต่อและวัสดุที่ใช้ป้องกันน้ำซึมผ่านในขณะก่อสร้างที่ง่ายที่สุดคือประเภทที่ 1 รอยต่อแบบกึ่งูฟ ใช้วัสดุอนชริงเกอร์ที่เชื่อมรอยต่อ และใช้โฟมเส้นอุดร่องและวัสดุยาแนวกันน้ำซึมเป็นวัสดุกันน้ำ ซึ่งเป็นรูปแบบที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากการผลิตในโรงงานมีความง่าย โดยสามารถใช้แบบด้านข้างมาตรฐานทางการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จได้โดยไม่มีความจำเป็นต้องติดตั้งวัสดุที่ใช้ป้องกันน้ำซึมผ่าน รูปแบบของรอยต่อที่ใช้ยางบิวไทล์

เป็นวัสดุกันน้ำซึมผ่านจากการเสนอแนะของผู้ตอบแบบสอบถาม รูปที่ 4.7 มีความเป็นไปได้ มีความง่ายต่อการติดตั้งยางบิวไทล์ที่แบบหล่อมากที่สุด

ชิ้นส่วนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ จากจำนวนของรอยต่อทั้งหมด 9 รูปแบบ เมื่อนำมาทำการหล่อคอนกรีตพบว่า รูปแบบการติดตั้งยางบิวไทล์เป็นวัสดุกันน้ำประเภทที่ 3 ใช้แผ่นยางบิวไทล์ความหนา 4 มิลลิเมตร รูปแบบการติดตั้งยางบิวไทล์ประเภทที่ 6 ใช้ยางบิวไทล์ความหนา 6 มิลลิเมตร และประเภทที่ 7 ใช้ยางบิวไทล์ความหนา 4 มิลลิเมตร จำนวนสามรูปแบบ ไม่สามารถใช้งานได้จริง เนื่องจากการติดตั้งแผ่นยางบิวไทล์ไม่มีความเหมาะสม ติดตั้งยาก คอนกรีตไม่สามารถไหลลงแบบด้านข้างได้

การวิเคราะห์ค่าการเคลื่อนที่ที่รอยต่อระหว่างผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ แผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จขนาดความกว้าง 4.00 เมตร ความสูง 3.50 เมตร และความหนา 100 มิลลิเมตร คำนวณได้ค่าความเครียดเนื่องจากการหดตัวเท่ากับ 0.00153 ซึ่งมากกว่าค่าความเครียดเนื่องจากการแตกร้าวของคอนกรีตที่มีค่าเท่ากับ 0.00124 และค่าที่ได้จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความเครียดในสภาวะการใช้งานด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ มีค่าเท่ากับ 0.000245 ดังนั้นใช้ค่าความเครียดเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีตเป็นตัวควบคุมการให้ค่าการเคลื่อนที่กับทุกตัวอย่างทดสอบ โดยให้ค่าการเคลื่อนที่กับทุกตัวอย่างทดสอบที่ 1.00 มิลลิเมตร ซึ่งครอบคลุมค่าความเครียดทุกกรณีไปทำการทดสอบการป้องกันการรั่วซึมน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จในระดับห้องปฏิบัติการเพื่อใช้จำลองการแตกร้าวที่รอยต่อ ผลการทดสอบการกันน้ำซึมผ่านที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จพบว่า รูปแบบการติดตั้งยางบิวไทล์ที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จในการป้องกันการรั่วซึมน้ำประเภทที่ 4 ใช้ยางบิวไทล์ความหนา 15 มิลลิเมตรเป็นวัสดุกันน้ำ ติดเข้ากับแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จทั้งสอง แผ่นที่รอยต่อกรุ๊ปเชื่อมยึดติดกันด้วย Steel Wire Rope Loops รูปแบบการติดตั้งยางบิวไทล์ประเภทที่ 5 ใช้ยางบิวไทล์ความหนา 25 มิลลิเมตรเป็นวัสดุกันน้ำติดเข้ากับแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จหนึ่งด้าน และรูปแบบการติดตั้งยางบิวไทล์ประเภทที่ 9 ใช้ยางบิวไทล์ความหนา 15 มิลลิเมตรเป็นวัสดุกันน้ำ ติดเข้ากับแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จทั้งสองแผ่นที่รอยต่อแบบกรุ๊ปเชื่อมยึดติดกันด้วย C-line การติดตั้งทั้งสามประเภทดังกล่าวมีความสามารถในการป้องกันการรั่วซึมน้ำ

ด้วยคุณสมบัติทางเคมีของยางบิวไทล์ที่ยึดติดกันกับคอนกรีตได้เป็นอย่างดี ลักษณะความเสียหายของยางบิวไทล์เป็นแบบโคฮีซีฟ เมื่อยางบิวไทล์ขาดออกจากกันจะสามารถนำมายึดติดกันได้ใหม่ นอกจากนี้การทดสอบการป้องกันการรั่วซึมน้ำหลังการให้ค่าการเคลื่อนที่กับตัวอย่างทดสอบ แสดงให้เห็นว่ายางบิวไทล์ซึ่งนำมาประยุกต์และติดตั้งที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อ

สำเร็จสามารถป้องกันการรั่วซึมของน้ำ และช่วยลดรอยร้าวที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จในสถานะใช้งาน รูปแบบการติดตั้งยางบิวไทล์ที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จดังประเภทที่ 4 และประเภทที่ 9 มีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้งานจริง

5.2 ข้อเสนอแนะ

ระบบแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จในหน่วยงานจริงนั้น ยังพบปัญหาบนอนชิ่งเกร้าท์ที่ไม่สามารถไหลเข้าได้เต็มรอยต่อ ซึ่งทำให้ยางบิวไทล์ไม่มีประสิทธิภาพในการยึดติดกับกับคอนกรีตและบนอนชิ่งเกร้าท์ เป็นสาเหตุทำให้ไม่สามารถป้องกันการรั่วซึมน้ำที่รอยต่อได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

ทั้งนี้การประยุกต์ใช้ยางบิวไทล์กับรอยต่อประเภทอื่น เช่น รอยต่อพื้นกับผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ ก็เป็นอีกรูปแบบหนึ่งที่จะควรจะทำการศึกษาต่อไปในอนาคต รวมถึงการเปลี่ยนวัสดุเชื่อมรอยต่อจากบนอนชิ่งเกร้าท์เป็นวัสดุเชื่อมรอยต่อประเภทอื่น ๆ



รายการอ้างอิง

1. บริษัทซีก้า(ประเทศไทย)จำกัด. วัสดุซีเมนต์นอนซิ่งกร้าท์. 2557; Available from: http://tha.sika.com/th/solutions_products/02/02a005.html.
2. โฮมบายเออร์ไกด์. เทคโนโลยี"พุกษา พรีคาสท์". 2557; Available from: [http://www.home.co.th/hometips/detail/76155-เทคโนโลยี"พุกษาพรีคาสท์"](http://www.home.co.th/hometips/detail/76155-เทคโนโลยี).
3. พงษ์ธร แซ่คูย. ชนิดของยางและการใช้งาน. 2547; Available from: <http://www.rubbercenter.org/files/technologys.pdf>.
4. O. Mitsukazu, K. Takashi และ S. Masaki, *Bonding Mechanism between Rubber-Based Sealant and Cement Mortar*, in *Adhesive Society of Japan*. 1977: Japan.
5. Ltd. Hayakawa Rubber Co., *Comparison of Waterstop Plates, "Span Seal" and Vinyl Chloride Resin*. Japan.
6. บริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, ปูนซีเมนต์ ปอซีไลลาน และคอนกรีต. 5 ed. 2551, กรุงเทพมหานคร: สมาคมคอนกรีตไทย.
7. พีรชต์ เลขขำ และอิสรา ชนะสุนน. ความทนทานของคอนกรีต. 2552; Available from: www.ce.eng.psu.ac.th/civil/lec-Doc/.../14ความทนทานของคอนกรีต.pptx.
8. Terauchi. Fumitoshi Sakuramoto. Shin, *Performance of Waterstops*. 1970.
9. เทอดธรรม ยอดพฤติการณ์, การก่อสร้างโดยใช้ระบบโครงสร้างคอนกรีตสำเร็จรูป. 2555: เทอดธรรม ยอดพฤติการณ์.
10. วินิต ช่อวิเชียร, การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง. 2554, 12/1 ชอยทองหล่อ ถ.วิภาวดีรังสิต จตุจักร กรุงเทพมหานคร: ดร.วรรณิตี ช่อวิเชียร.
11. เกียรติศักดิ์ แก้วกุลชัยและคณะ, การออกแบบผนังรับน้ำหนักคอนกรีตสำเร็จรูป: กรณีศึกษา. วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ., 2551. 1: p. 62-76.
12. F.A. Shaikhและคณะ, *PCI Design Handbook Precast and Prestressed Concrete*. Fifth ed. 1999, U.S.A.
13. R.J. Schutz, *Design of Joints in Precast Concrete Wall Panels*. PCI Journal, 1967: p. 60-67.
14. G. Barluengaและคณะ, *A new bonded vertical joint design for architectural panels*. Construction and Building Materials, 2010. 24(6): p. 918-926.

15. R. Vaghei และคณะ, *Evaluate Performance of Precast Concrete wall to wall Connection*. Elsevier B.V., 2014. 9: p. 285-290.
16. J.K. Wight และ J.G. Macgregor, *Reinforced Concrete Mechanics and Design*. Sixth ed. 2012, United States of America.
17. S. Alih และ A. Khelil, *Tension Stiffening Parameter in Composite Concrete Reinforced with Inoxydable Steel: Laboratory and Finite Element Analysis*. World Academy of Science, Engineering and Technology, 2012. 6(2): p. 495-500.
18. วรจักร จันทน์แว่น, อิทธิพลของการจัดเรียงเหล็กรูปพรรณต่อความต้านทานของเสาเชิงประกอบ. 2556, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
19. N.W. Hanson, *Design and Construction of Large-Panel Concrete Structures*. 1979, Portland Cement Association: the United State of America. p. 3-5.
20. S.V. Chaudhari และ M.A. Chakrabarti, *Modeling of Concrete for Nonlinear Analysis Using Finite Element Code ABAQUS*. International Journal of Computer Applications (0975-8887), 2012. 44-No.7: p. 14-18.
21. American Concrete Institute, *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary*. 2008, American Concrete Institute: Farmington Hills, MI. 48331 U.S.A.
22. American Concrete Institute, *Guide for Precast Concrete Wall Panels*, in *ACI 533R-93*. 1993.
23. American Concrete Institute, *Guide for Modeling and Calculating Shrinkage and Creep in Hardend Concrete*. 2008: Farmington Hills, MI 48331 U.S.A.



ภาคผนวก

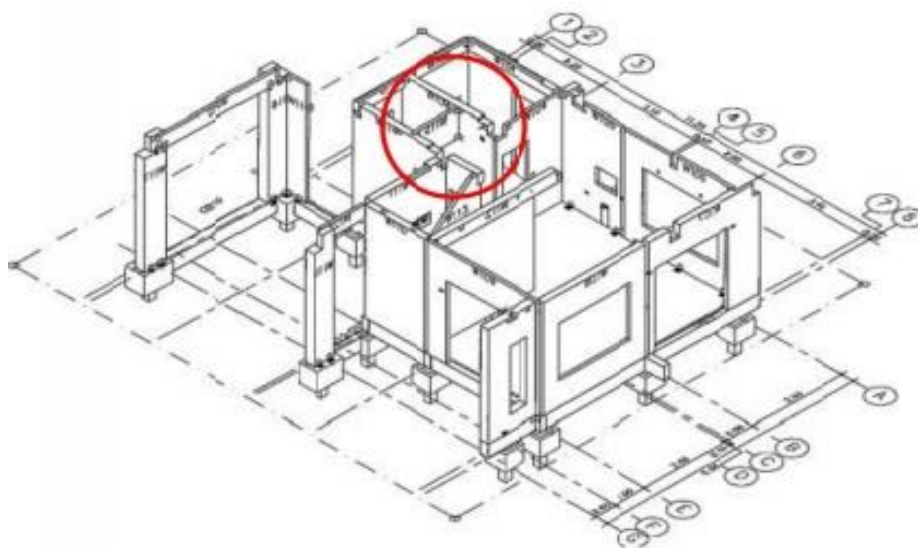
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

การคำนวณแรงที่กระทำกับผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ

รูปแบบแรงที่กระทำกับผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จมีทั้งหมด 5 รูปแบบดังนี้

1. รูปแบบที่ 1 สมมติฐานคำนวณแรงที่กระทำกับผนังชั้น 1 ความสูง 3.5 เมตร หนา 100 มิลลิเมตร รับพื้นสองด้านความยาว 6 เมตร หนา 150 มิลลิเมตร และรับผนังชั้น 2 ความสูง 3.5 เมตร หนา 100 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ ก.1



รูปที่ ก. 1 แสดงตัวอย่างโครงสร้างที่ใช้ในการคำนวณแรงรูปแบบที่ 1 กระทำแนวตั้งกับผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ

น้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ

$$\text{น้ำหนักหลังคา } 50 \text{ กก./ม.}^2 = 50 \times 4 = 200 \text{ กก./ม.}$$

$$\text{น้ำหนักพื้นคอนกรีตหนา } 150 \text{ มม.} = 6 \times 0.15 \times 2400 = 2160 \text{ กก./ม.}$$

$$\text{น้ำหนักพื้นคอนกรีตทับหน้าหนา } 50 \text{ มม.} = 0.05 \times 6 \times 2400 = 720 \text{ กก./ม.}$$

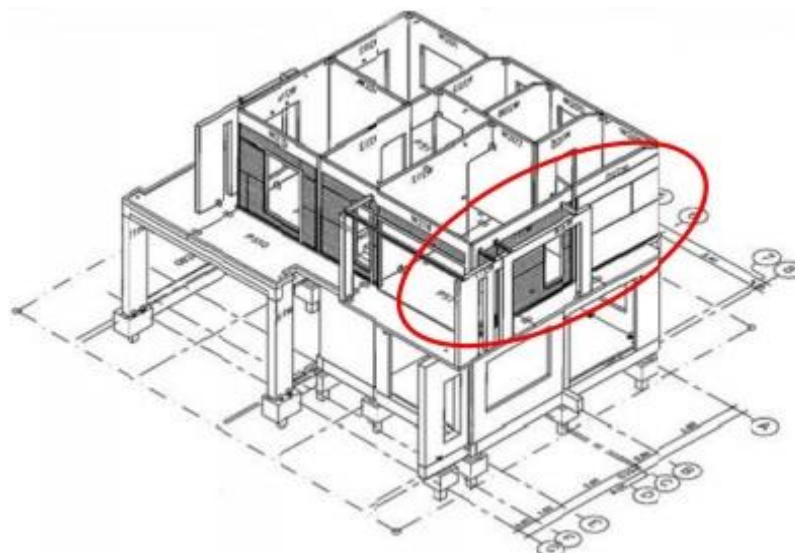
$$\text{น้ำหนักผนังคอนกรีตหนา } 100 \text{ มม. ของชั้นที่ } 2 = 0.10 \times 3.5 \times 2400 = 840 \text{ กก./ม.}$$

$$\text{น้ำหนักผนังคอนกรีตหนา } 100 \text{ มม.} = 0.10 \times 3.5 \times 2400 = 840 \text{ กก./ม.}$$

$$\text{น้ำหนักบรรทุกจร } 150 \text{ กก./ม.}^2 = 150 \times 6 = 900 \text{ กก./ม.}$$

$$\text{น้ำหนักบรรทุกรวม} = 200 + 2160 + 720 + 840 + 840 + 900 = 5660 \text{ กก./ม.}$$

2. รูปแบบที่ 2 สมมติฐานคำนวณแรงที่กระทำกับผนังชั้น 2 ความสูง 3.5 เมตร หน้า 100 มิลลิเมตร รับแรงด้านข้างเนื่องจากแรงลม แสดงดังรูปที่ ก.2



รูปที่ ก. 2 แสดงตัวอย่างโครงสร้างที่ใช้ในการคำนวณแรงรูปแบบที่ 2 กระทำทางข้างกับผนัง
คอนกรีตหล่อสำเร็จ

น้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ
แรงลมสำหรับส่วนของอาคารที่สูงกว่า 10 เมตร แต่ไม่เกิน 20 เมตร = 80 กก./ม.^2

3. รูปแบบที่ 3 สมมติฐานคำนวณแรงที่กระทำกับผนังชั้น 1 ความสูง 3.5 เมตร หน้า 100 มิลลิเมตร รับพื้นที่สองด้านความยาว 6 เมตร หน้า 150 มิลลิเมตร รับผนังชั้น 2 ความสูง 3.5 เมตร หน้า 100 มิลลิเมตร และรับแรงด้านข้างเนื่องจากแรงลม แสดงดังรูปที่ ก.3



รูปที่ ก. 3 แสดงตัวอย่างโครงสร้างที่ใช้ในการคำนวณแรงรูปแบบที่ 3 กระทำกับแนวดิ่งและ
ด้านข้างผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ

น้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ

$$\text{น้ำหนักหลังคา } 50 \text{ กก./ม.}^2 = 50 \times 4 = 200 \text{ กก./ม.}$$

$$\text{น้ำหนักพื้นคอนกรีตหนา } 150 \text{ มม.} = 6 \times 0.15 \times 2400 = 2160 \text{ กก./ม.}$$

$$\text{น้ำหนักพื้นคอนกรีตทับหน้าหนา } 50 \text{ มม.} = 0.05 \times 6 \times 2400 = 720 \text{ กก./ม.}$$

$$\text{น้ำหนักผนังคอนกรีตหนา } 100 \text{ มม. ของชั้นที่ } 2 = 0.10 \times 3.5 \times 2400 = 840 \text{ กก./ม.}$$

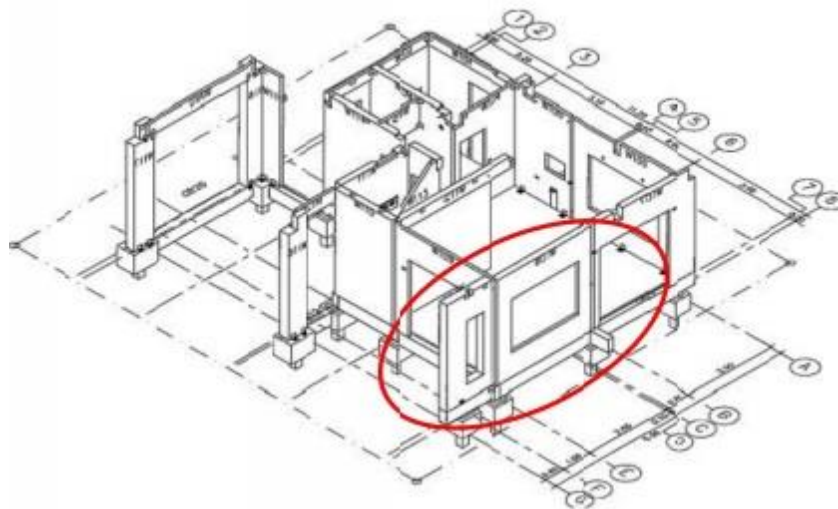
$$\text{น้ำหนักผนังคอนกรีตหนา } 100 \text{ มม.} = 0.10 \times 3.5 \times 2400 = 840 \text{ กก./ม.}$$

$$\text{น้ำหนักบรรทุกจร } 150 \text{ กก./ม.}^2 = 150 \times 6 = 900 \text{ กก./ม.}$$

$$\text{น้ำหนักบรรทุกรวม} = 200 + 2160 + 720 + 840 + 840 + 900 = 5660 \text{ กก./ม.}$$

$$\text{แรงลมสำหรับส่วนของอาคารที่สูงกว่า } 10 \text{ เมตร แต่ไม่เกิน } 20 \text{ เมตร} = 80 \text{ กก./ม.}^2$$

4. รูปแบบที่ 4 สมมติฐานคำนวณแรงที่กระทำกับผนังชั้น 1 ความสูง 3.5 เมตร หนา 100 มิลลิเมตร รับพื้นหนึ่งด้านความยาว 6 เมตร หนา 150 มิลลิเมตร และรับผนังชั้น 2 ความสูง 3.5 เมตร หนา 100 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ ก.4



รูปที่ ก. 4 แสดงตัวอย่างโครงสร้างที่ใช้ในการคำนวณแรงรูปแบบที่ 4 กระทำกับแนวตั้งผนัง
คอนกรีตหล่อสำเร็จ

น้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ

$$\text{น้ำหนักหลังคา } 50 \text{ กก./ ม.}^2 = 50 \times 4 = 200 \text{ กก./ ม.}$$

$$\text{น้ำหนักพื้นคอนกรีตหนา } 150 \text{ มม.} = 3 \times 0.15 \times 2400 = 1080 \text{ กก./ ม.}$$

$$\text{น้ำหนักพื้นคอนกรีตทับหน้าหนา } 50 \text{ มม.} = 0.05 \times 3 \times 2400 = 360 \text{ กก./ ม.}$$

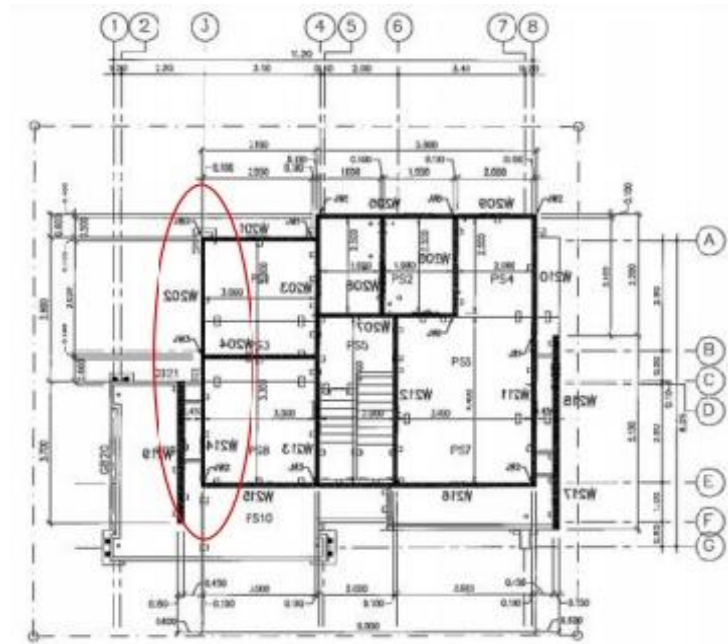
$$\text{น้ำหนักผนังคอนกรีตหนา } 100 \text{ มม. ของชั้นที่ } 2 = 0.10 \times 3.5 \times 2400 = 840 \text{ กก./ ม.}$$

$$\text{น้ำหนักผนังคอนกรีตหนา } 100 \text{ มม.} = 0.10 \times 3.5 \times 2400 = 840 \text{ กก./ ม.}$$

$$\text{น้ำหนักบรรทุกจร } 150 \text{ กก./ ม.}^2 = 150 \times 3 = 450 \text{ กก./ ม.}$$

$$\text{น้ำหนักบรรทุกรวม} = 200 + 1080 + 360 + 840 + 840 + 450 = 3770 \text{ กก./ ม.}$$

5. รูปแบบที่ 5 สมมติฐานคำนวณแรงที่กระทำกับผนังชั้น 2 ความสูง 3.5 เมตร หนา 100 มิลลิเมตร ผนังรับแรงด้านข้างเนื่องจากแรงลมเพียงหนึ่งด้านเท่านั้น แสดงดังรูปที่ ก.5



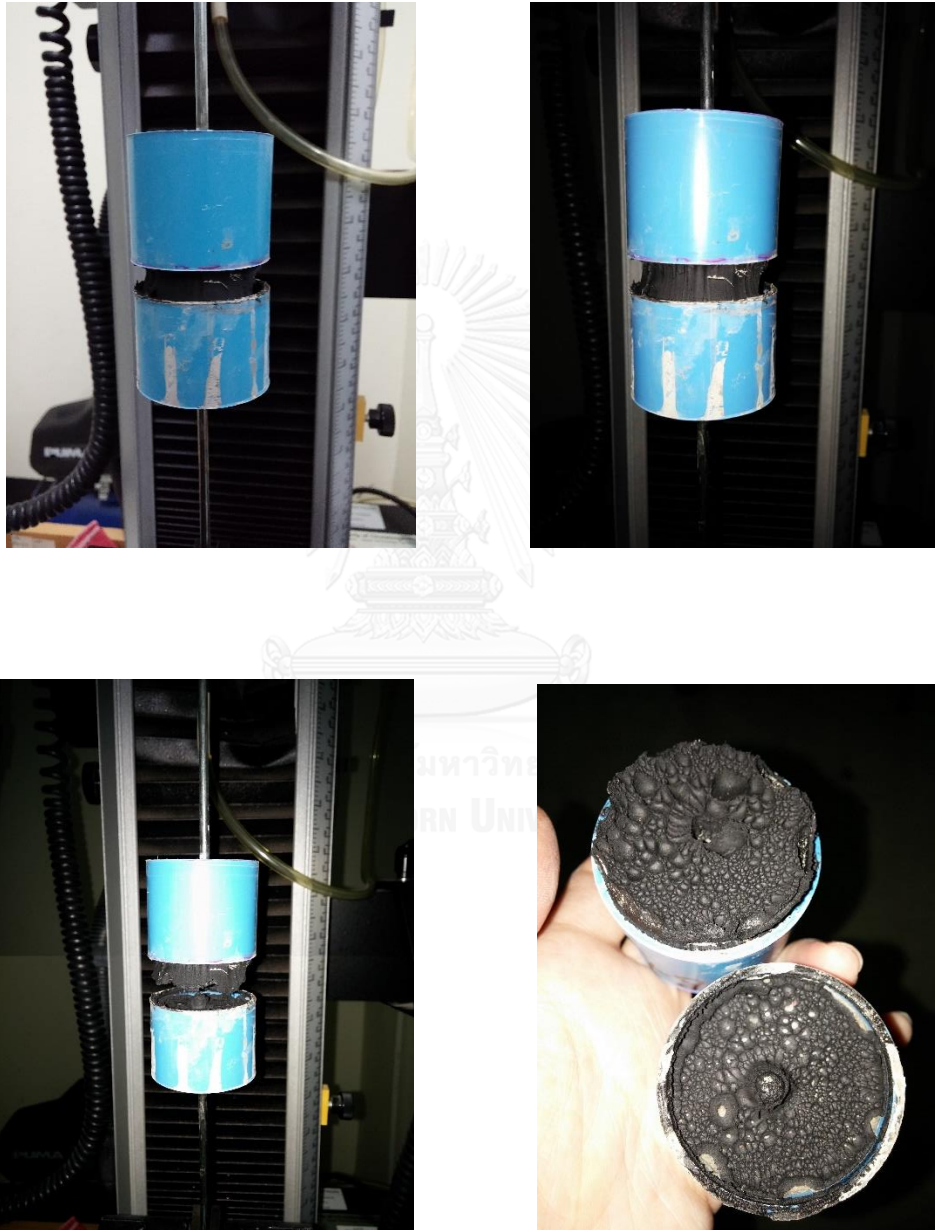
รูปที่ ก. 5 แสดงตัวอย่างโครงสร้างที่ใช้ในการคำนวณแรงรูปแบบที่ 5 กระทำด้านข้างผนังคอนกรีต
หล่อสำเร็จ

น้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ
แรงลมสำหรับส่วนของอาคารที่สูงกว่า 10 เมตร แต่ไม่เกิน 20 เมตร = 80 กก./ม.²

ภาคผนวก ข

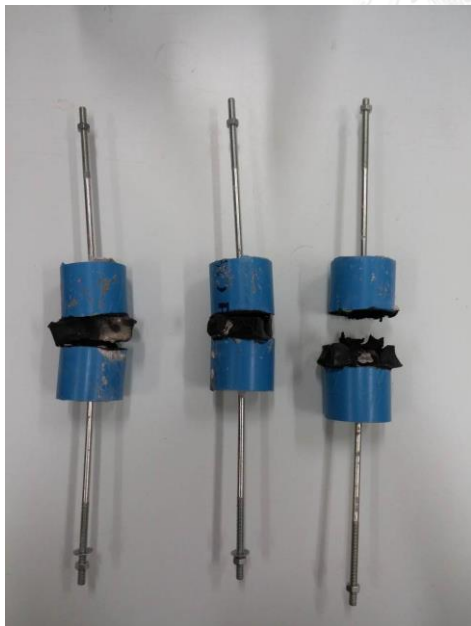
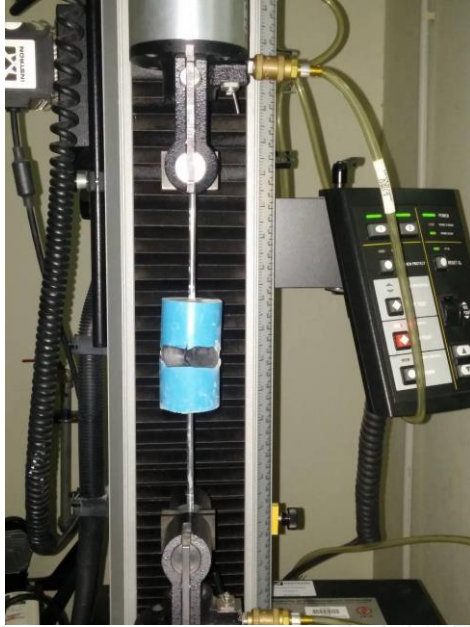
ลักษณะความเสียหายของยางบิวไทล์เมื่อทำงานร่วมกันกับคอนกรีต

สำหรับมอร์ตาร์และยางบิวไทล์



รูปที่ ข. 1 ลักษณะการวิบัติของยางบิวไทล์กับมอร์ตาร์เมื่อรับแรงดึง

สำหรับวัสดุอ่อนจริงเกร้าท์และยางบิวไทล์



รูปที่ ข. 2 ลักษณะการวิบัติของยางบิวไทล์กับวัสดุอ่อนจริงเกร้าท์เมื่อรับแรงดึง

ภาคผนวก ค

ผลการทดสอบการกันน้ำซึมผ่านของคอนกรีตร่วมกันกับแผ่นยางบิวไทล์

การเตรียมตัวอย่างคอนกรีต: กลุ่มที่ 1 รอยต่อแนวราบ ติดตั้งแผ่นยางแนวตั้ง



(ก) เทคอนกรีตครึ่งหนึ่งของตัวอย่างทดสอบ



(ข) ฝังแผ่นยางแนวตั้งและเหล็กเสริม



(ค) หลังจากคอนกรีตแข็งตัว



(ง) วางกระดาษที่รอยต่อ และเทคอนกรีตจนเต็มแบบหล่อ

รูปที่ ค. 1 การเตรียมตัวอย่างคอนกรีตรอยต่อแนวราบ ติดตั้งแผ่นยางแนวตั้ง

การเตรียมตัวอย่างคอนกรีต: กลุ่มที่ 2 รอยต่อแนวตั้ง ติดตั้งแผ่นยางแนวตั้ง



(ก) เทคอนกรีตครึ่งหนึ่งของตัวอย่างทดสอบ



(ข) ฝังแผ่นยางแนวตั้งและเหล็กเสริม



(ค) วางกระดาษที่รอยต่อและเทคอนกรีตจนเต็ม



(ง) หลังจากเทคอนกรีตจนเต็มแบบหล่อ

แบบหล่อ

รูปที่ ค. 2 การเตรียมตัวอย่างคอนกรีตรอยต่อแนวตั้ง ติดตั้งแผ่นยางแนวตั้ง

การเตรียมตัวอย่างคอนกรีต: กลุ่มที่ 3 รอยต่อแนวตั้ง ติดตั้งแผ่นยางแนวราบ



(ก) ติดตั้งแผ่นยางแนวราบในรอยต่อแนวตั้ง



(ข) เทคอนกรีตครึ่งหนึ่งของตัวอย่างทดสอบ



(ค) วางกระดาษที่รอยต่อและเทคอนกรีตส่วนที่เหลือจนเต็มแบบหล่อ

รูปที่ ค. 3 การเตรียมตัวอย่างคอนกรีตรอยต่อแนวตั้ง ติดตั้งแผ่นยางแนวราบ

ผลการทดสอบการกันน้ำซึมผ่านของคอนกรีตร่วมกันกับแผ่นยางบิวไทล์



(ก) PVC



(ข) W-0415



(ค) W-0420



(ง) W-0615

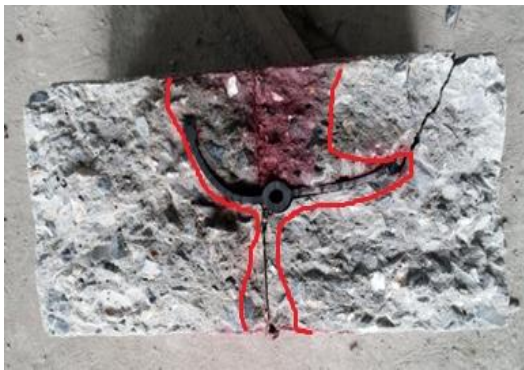


(จ) W-0620

รูปที่ ค. 4 การทดสอบการกันน้ำซึมผ่านของคอนกรีตร่วมกันกับแผ่นยางบิวไทล์



รูปที่ ค. 5 เครื่อง AMSLER 500ตัน ที่ใช้ในการผ่าแยกคอนกรีต



รูปที่ ค. 6 ผลการผ่าแยกของตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ยางโพลีไวนิลคลอไรด์ที่รอยต่อ
(ทิศทางการให้แรงดันน้ำ จากบนลงล่างของตัวอย่างทดสอบ)



รูปที่ ค. 7 ผลการผ่าแยกของตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ยางบิวทิลไม่พบน้ำรั่วซึมที่รอยต่อ
(ทิศทางการให้แรงดันน้ำ จากบนลงล่างของตัวอย่างทดสอบ)

ภาคผนวก ง
ผลการสำรวจแบบสอบถาม

จากการสำรวจแบบสอบถามนั้น ได้ทำการสำรวจหน้าไซต์งานก่อสร้างและกระบวนการผลิตแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จของบริษัทดังต่อไปนี้

- บริษัท ไทยทาเคเนคาคา สาขา ก่อสร้าง จำกัด การก่อสร้างถึงเก็บน้ำเสีย ใช้วัสดุแผ่นยางโพลีไวนิลคลอไรด์ในการเป็นวัสดุกันน้ำที่รอยต่อก่อสร้าง เมื่อวันที่ 10 มิถุนายน พ.ศ. 2557 จังหวัดชลบุรี



(ก) การก่อสร้างถึงเก็บน้ำเสีย



(ข) ทำการติดตั้งแผ่นยาง PVC ก่อนเทคอนกรีต



(ค) แผ่นยาง PVC ถูกผูกเข้ากับเหล็กเส้น ก่อนการเทคอนกรีตชั้นแรก



รูปที่ ง. 1 การติดตั้งแผ่นยางกันน้ำโพลีไวนิลคลอไรด์ก่อนการเทคอนกรีตชั้นแรก



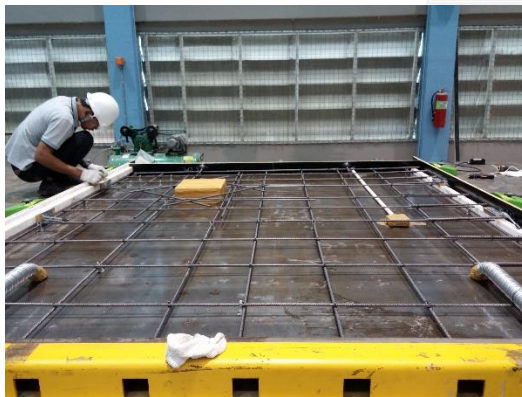
(ก) หลังจากเทคอนกรีตชั้นแรกแล้ว จำเป็นต้อง
ทำความสะอาดแผ่นยาง PVC ก่อนการเท
คอนกรีตชั้นถัดไป



(ข) หลังจากทำความสะอาดแผ่นยาง PVC

รูปที่ ง. 2 การเตรียมแผ่นยางโพลีไวนิลคลอไรด์ก่อนการเทคอนกรีตชั้นถัดไป

- บริษัท เอสซีจี ซีเมนต์ จำกัด การก่อสร้างป้อมยาม ใช้ระบบการก่อสร้างแบบคอนกรีตหล่อสำเร็จ ใช้วัสดุโฟมเส้นอุดร่องและยาแนวในการเป็นวัสดุกันน้ำที่รอยต่อ เมื่อวันที่ 18 สิงหาคม พ.ศ. 2557 จังหวัด สระบุรี



(ก) วางเหล็กเสริมก่อนเทคอนกรีต



(ข) เทคอนกรีตผสมเสร็จ

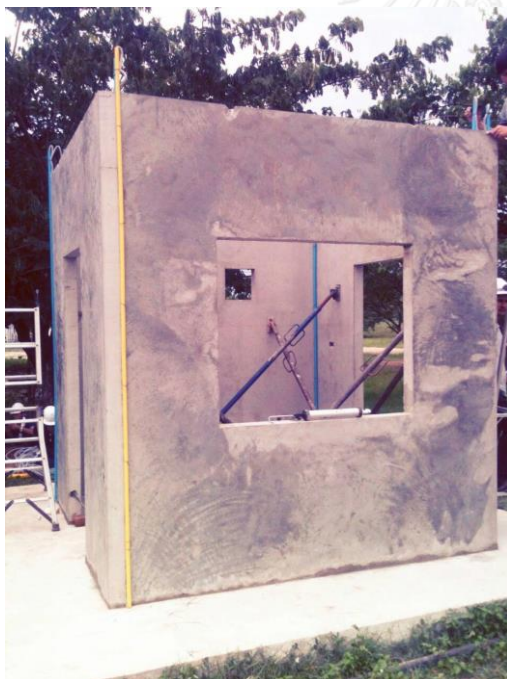
รูปที่ ง. 3 ขั้นตอนการผลิตแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ



(ก) หลังจากคอนกรีตแข็งตัว ยกขนย้ายแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ



(ข) ขั้นตอนการติดตั้งแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ



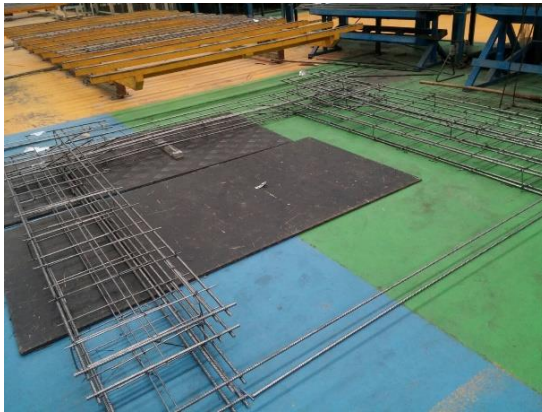
(ค) ขั้นตอนการติดตั้งแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ



(ง) เตรียมติดตั้งวัสดุกันน้ำที่รอยต่อ

รูปที่ ง. 4 ขั้นตอนการติดตั้งแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จหน้างาน

- บริษัท พกษา เรียดเอสเตท จำกัด (มหาชน) เมื่อวันที่ 28 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 ณ
โรงงานพุกษาพีริคาสท์ ลำลูกกา จังหวัด ปทุมธานี



รูปที่ ง. 5 วางเหล็กเสริมและเทคอนกรีตแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ



รูปที่ ง. 6 การเก็บและรอกขนส่งแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

- บริษัท ชูสินคอนกรีต จำกัด ก่อสร้างบ้านพักอาศัย 3 ชั้น ด้วยระบบคอนกรีตหล่อสำเร็จ หมู่บ้านโนเบิลนิโธ เมื่อวันที่ 11 สิงหาคม 2558 จังหวัด กรุงเทพมหานคร



(ก) บันไดคอนกรีตหล่อสำเร็จ



(ข) เสาคอนกรีตหล่อสำเร็จ



(ค) เครนยกชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ



(ง) เครนยกเสาหล่อสำเร็จติดตั้งที่ชั้น 2

รูปที่ ง. 7 การก่อสร้างบ้านพักอาศัย 3 ชั้น ด้วยระบบคอนกรีตหล่อสำเร็จ

จากการสำรวจแบบสอบถามในหัวข้อการศึกษาการป้องกันน้ำรั่วซึมที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จด้วยยางปิวไทลีนัน ข้อมูลการสำรวจเป็นไปดังต่อไปนี้



แบบสอบถามนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์

ในหัวข้อ : การศึกษาการป้องกันการรั่วซึมน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จด้วยยางนินิวไทล์

สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บริษัท..... SCG Precast Concrete Businessตำแหน่ง..... ผู้จัดการวิศวกรรม/และ/ออกแบบ

ประสบการณ์การทำงานทางด้านคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast concrete construction) 3ปี

ผู้ช่วย..... วิศวกร 6666-0011111 Precast Concrete

รายละเอียดเพิ่มเติม

มีออกแบบรอยต่อของชิ้นส่วน precast concrete ยันลวดข้อจี้ หรือ ข้อจี้เสริม
พิจารณา โดยที่รูปข้างล่าง

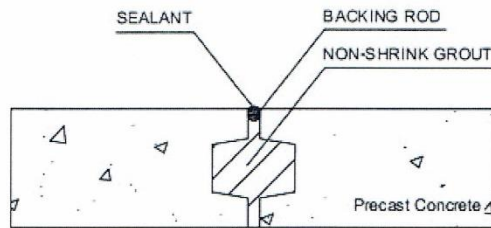
- ความแข็งแรงของโครงสร้างโดยรวม โดยที่ ข้อจี้ ยันลวด สามารถรับน้ำหนักได้ตามข้อกำหนด โดยที่ พื้นผิวของข้อจี้เสริม, แกลม, แผ่นดินไหว เป็นต้น
- ข้อจี้ติดตั้งโดยวิธีใด โดยที่ ยันลวด ข้อจี้เสริม ลักษณะข้อจี้ติดตั้ง back ในคอนกรีตชิ้นส่วน precast concrete เป็นต้น
- การผลิต มีทั้งระบบ manual ด้วยลวดเหล็ก mould ในโรงงาน หรือใช้ระบบอัตโนมัติ และ ระบบเครื่องจักร automatic ซึ่งมีวิธีการทำงาน และ เงื่อนไขข้อจี้ติดตั้งที่แตกต่างกัน

* ในกรณีที่ข้อจี้เสริมแบบนี้ จะต้องเลือกใช้ยันลวดที่ผลิตจากระบบ automatic ที่ sct มีลักษณะแบบ joint detail ที่ทนต่อการกัดกร่อนของคอนกรีต

- การติดตั้ง พิจารณาตามข้อจี้เสริมเพื่อที่การผลิต, หรือออกแบบต้องสามารถใช้งานได้ และ อำนวยความสะดวกในการติดตั้ง (practical)

รูปแบบการติดตั้งวัสดุกันการรั่วซึมน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ประเภทที่ 1 : Non-shrink grout with backing rod and sealant



1. การติดตั้ง

การผลิต การติดตั้งในโรงงาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ ไร้แรงดันแข็งมาค้ำยันจากตัวการผลิต ซึ่งล้น precast concrete ไปด้วย

การติดตั้งหน้างาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ มีระบุน้ำที่ระนองแผ่น สามารถปรับแก้ระดับได้ สามารถทำออก Non-shrink grout ได้สะดวก รวมถึงมี sealant เพราะมีร่องว่างเพียงพอ

2. การขนส่ง

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ ปลอดภัยตั้งแต่ต้นทางขนส่ง เนื่องจากรูปทรงที่ล้น precast concrete มีค้ำยันยึด มีแรงดึงแรง อาจเกิดรอยร้าวที่ขอบแผ่น บริเวณรอยต่อ ซึ่งไปกลับที่ติดตั้งหน้างานในช่องว่างที่ขนส่ง และแตกหักง่าย

3. การใช้งาน

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ ใช้น้อยกับอาคารติดตั้ง วิธีดูจุดจี้รอยร้าว ทั้ง non-shrink grout และ sealant ควรมิดชิดเรียบร้อย จุดจี้รอยร้าวได้เต็ม และป้องกันรั่วซึมได้จริง

4. ปัญหาที่คาดว่าจะพบ

ในขณะติดตั้ง กระทบกับชั้นรับน้ำหนัก precast concrete ทั้งในช่องรอยร้าวและบริเวณสภาพเก็บน้ำ stack, กระทบกับในช่องระบายน้ำ และติดตั้ง อาจทำให้ขอบแผ่นบริเวณรอยร้าวเกิดความเสียหาย เกิดรอยร้าว หรือป็นแอ่งกะกักน้ำ



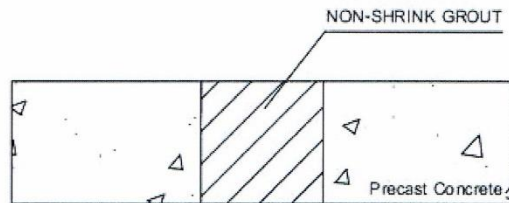
ในหน้างาน Mr control ระวังน้ำระเหยผ่าน ต่ำมากกว่าหรือสูงกว่าระดับที่ติดตั้งแบบลิ้นรับรูปแบบ joint detail อาจใช้ backing rod และ sealant ปลาย

non-shrink grout และ sealant ที่มีการเป็นวัสดุแห้งคุณภาพดี จุดปิดได้เต็มช่องว่างของรอยร้าว และป้องกันรั่วซึมได้

5. ข้อเสนอแนะ

รูปแบบการติดตั้งวัสดุกันการรั่วซึมของน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ประเภทที่ 2 : Non-shrink grout



1. การติดตั้ง

การติดตั้งในโรงงาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ ขอบแผ่นเรียบ ไม่ต้องฉีดที่, แบบด้านข้าง ถ้าเอกรูป ใช้แบบจ้งไม้หรือเหล็ก ขอบตารองรับ ก็สามารถทำได้

การติดตั้งหน้างาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ ต้องขอบแอ่งน้ำรับตรง สามารถ Adjust ระยะห่างระหว่างแผ่นได้ แต่การเท Non-shrink grout จะใช้แบบฉีดไปสักหน่อย แล้วจากนั้นจะเอามือประคบด้วยมาก

2. การขนส่ง

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ อุปกรณ์แผ่นสี่เหลี่ยม

3. การใช้งาน

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ

ใช้ non-shrink grout ปริมาณมาก หมายถึงเป็น non-shrink grout ที่มีคุณสมบัติ 110 ไม่น่าเกิดปัญหา อาจเกิดการบวมหรือ ที่ในกรณี ร้าวร้าวได้ และสองตัวไม่สัมพันธ์กันแบบสองตัวที่บวม และไม่ใช่ sealant ดังนั้นการก่อตัวการก่อตัวของ joint วัสดุแบบนี้ จะใช้ non-shrink grout แต่อย่างใด

4. ปัญหาที่คาดว่าจะพบ

ในขณะที่ติดตั้ง -

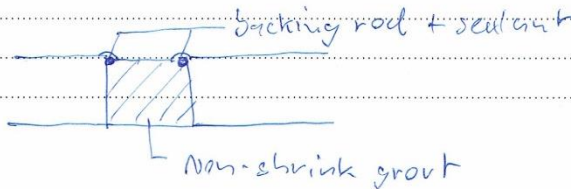
ในหน้างาน

สันเปลี่ยน non-shrink grout

non-shrink grout สองตัวแล้ว แล้วมีคุณสมบัติที่นี้ ไม่ก่อปัญหาการบวมกันหรืออื่น

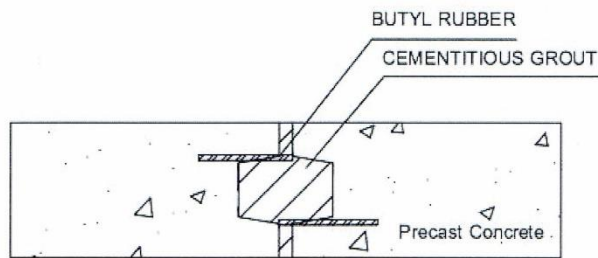
5. ข้อเสนอแนะ

ถ้าจำเป็นคือใช้รูปแบบ joint detail แบบนี้ ควรเพิ่ม backing rod และ sealant



รูปแบบการติดตั้งวัสดุกันการรั่วซึมของน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ประเภทที่ 3 : Cementitious grout with butyl rubber



1. การติดตั้ง

การติดตั้งในโรงงาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ ใ้ข้กดน้ำอัตโนมัติแบบรีว้อจิก Automatic ทั้ง ๒ แบบดันข้างมาลงบน
 ทำขึ้นปลายออกมาของ rubber ทำได้คือแบบผสมคอน
 การวัดระยะของ rubber ให้บ้บทุกจุดตามรูปใน joint detail
 ที่ออกแบบไว้ยกไปกรำ เพราะในกรณีนี้ ชั้นของ precast concrete
 จะเกิดตามเวลาเดียวกันอยู่แล้ว เป็นปกติ

การติดตั้งหน้างาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ แม้จะผลิตเป็น precast concrete จะไม่เกิดความเค้น ความเค้น
 ครึ่งเงินไฟฟ้าได้ แต่การติดตั้งให้ rubber มาจุดที่รอยต่อข้างตาม
 joint detail ชั้นน้ำไม่ถ่าย ซึ่งถ้าเพียงข้อข้อความเวลาได้ชั้นจากเค้น
 ฝั่งอีกฝั่งจากฝั่งบ้าน' สักทีจะรอยต่อฝั่งๆ non-shrink grout
 แต่อย่างได้ข้อ

2. การขนส่ง

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ ปลายของ rubber ที่ยื่นออกมาจากของแผ่น precast concrete
 อาจเกิดตามรอยแยกแยก ขนบกอย่างและขนบ่อ ซึ่งในกรณีนี้
 ไม่สามารถทำได้

3. การใช้งาน

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ กิ่งท่อนเป็นไปตามรูป joint detail ที่ข้อกันหรือมีรูจะโด้พอ
แต่ถ้าใช้ข้ออื่นแล้วนี้ คือ ความเสียหายของแผ่น rubber จากทราย
และขี้ผึ้ง , ความเสียหายจากเหล็กและคอนกรีต เพราะคอนกรีต
Non-shrink grout ที่ข้อกันหรือมีรูจะโด้พอเกิดความเสียหาย

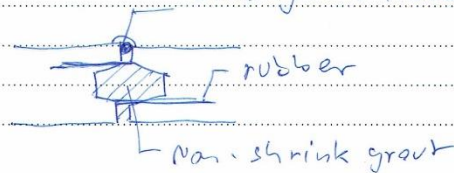
4. ปัญหาที่คาดว่าจะพบ

ในขณะติดตั้ง ความเสียหายเนื่องมาจากแผ่น precast concrete
และ คอนกรีตแข็ง แผ่น rubber ที่ขอบแผ่น

ในหน้างาน ความเสียหายเนื่องมาจาก
ความเสียหายของแผ่น rubber จากทรายและขี้ผึ้ง
คอนกรีต Non-shrink grout ที่ข้อ

5. ข้อเสนอแนะ

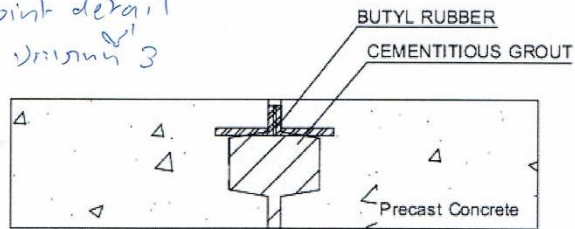
ใช้วัสดุ backing rod และ sealant ออกซิเจนที่เชื่อมต่อกัน
backing rod + sealant



รูปแบบการติดตั้งวัสดุกันการรั่วซึมของน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ประเภทที่ 4 : Cementitious grout with butyl rubber

* ดัดแปลงข้อ
joint detail
ประเภทที่ 3



1. การติดตั้ง

การติดตั้งในโรงงาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....
.....
.....
.....

การติดตั้งหน้างาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....
.....
.....
.....

2. การขนส่ง

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....
.....
.....
.....

3. การใช้งาน

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....
.....
.....
.....
.....

4. ปัญหาที่คาดว่าจะพบ

ในขณะที่ติดตั้ง.....
.....
.....
.....
.....

ในหน้างาน.....
.....
.....
.....
.....

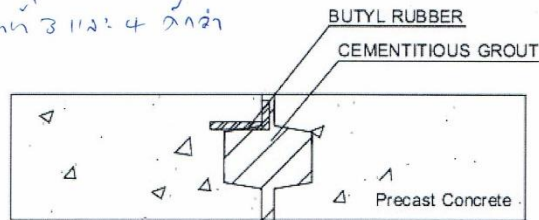
5. ข้อเสนอแนะ

.....
.....
.....
.....
.....

รูปแบบการติดตั้งวัสดุกันการรั่วซึมของน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ประเภทที่ 5 : Cementitious grout with butyl rubber

* รูปแบบนี้ไม่ effective
 ปร.เกณฑ์ 3 และ 4 ด้กล่าว



1. การติดตั้ง

การติดตั้งในโรงงาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

การติดตั้งหน้างาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

2. การขนส่ง

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

3. การใช้งาน

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....
.....
.....
.....
.....

4. ปัญหาที่คาดว่าจะพบ

ในขณะติดตั้ง.....
.....
.....
.....
.....

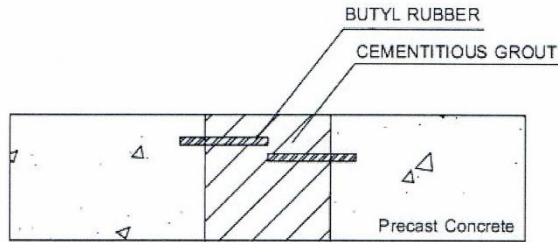
ในหน้างาน.....
.....
.....
.....
.....

5. ข้อเสนอแนะ

.....
.....
.....
.....
.....

รูปแบบการติดตั้งวัสดุกันการรั่วซึมของน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ประเภทที่ 6 : Cementitious grout with butyl rubber



1. การติดตั้ง

การติดตั้งในโรงงาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ ดูตัวอย่าง joint detail ประเภทที่ 3

การติดตั้งหน้างาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ ดูตัวอย่าง joint detail ประเภทที่ 2

2. การขนส่ง

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ ดูตัวอย่าง joint detail ประเภทที่ 3

3. การใช้งาน

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ... ดูตัวอย่าง joint detail ประเภทที่ 3

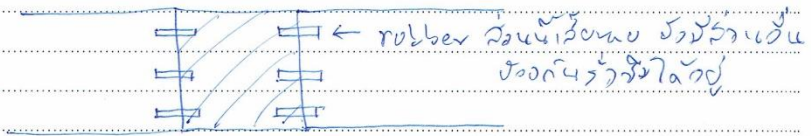
4. ปัญหาที่คาดว่าจะพบ

ในขณะที่ติดตั้ง... ตามหลักในกรณีศึกษาแผ่น rubber ที่ขอบผนัง

ในหน้างาน... ดูตัวอย่าง joint detail ประเภทที่ 2

5. ข้อเสนอแนะ

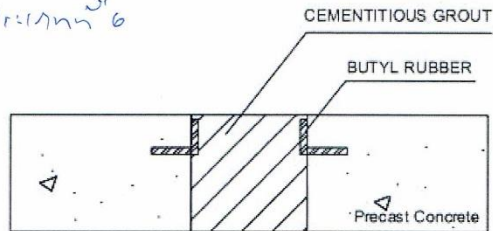
ลองใช้เป็นตัวอย่างวิธี rubber ในชั้น แต่สามารถรวมใบไม้ลงในแนวพอลิเอทิลีน



รูปแบบการติดตั้งวัสดุกันการรั่วซึมของน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ประเภทที่ 7 : Cementitious grout with butyl rubber

* คัดลอกเนื้อ joint detail
ประเภทที่ 6



1. การติดตั้ง

การติดตั้งในโรงงาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....
.....
.....
.....

การติดตั้งหน้างาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....
.....
.....
.....

2. การขนส่ง

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....
.....
.....
.....

3. การใช้งาน

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

4. ปัญหาที่คาดว่าจะพบ

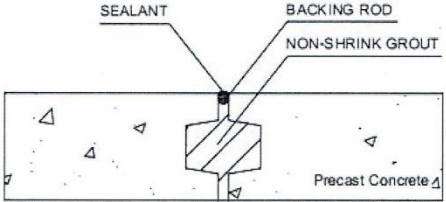
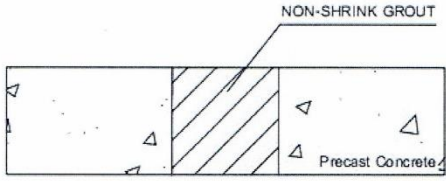
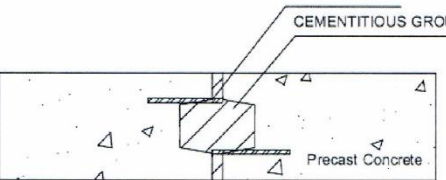
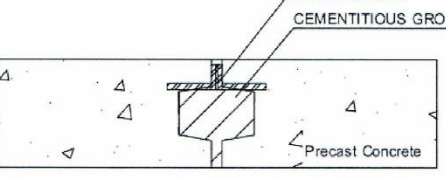
ในขณะติดตั้ง.....

ในหน้างาน.....

5. ข้อเสนอแนะ

.....

- เรียงลำดับความเป็นไปได้ในการป้องกันกรั่วซึมน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ จากป้องกันได้มากที่สุดไปน้อยที่สุด (1 มากที่สุด - 7 น้อยที่สุด)
- เรียงลำดับความเป็นไปได้ในการก่อสร้างและติดตั้งวัสดุป้องกันกรั่วซึมน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ จากก่อสร้างง่ายที่สุดไปก่อสร้างยากที่สุด (1 ง่ายที่สุด - 7 ยากที่สุด)

ประเภท ที่	รูปแบบ	วัสดุที่เชื่อม รอยต่อ	วัสดุกันน้ำ	ลำดับความเป็นไปได้	
				การ ก่อสร้าง	การ ป้องกัน การ รั่วซึมน้ำ
1.	 <p>SEALANT BACKING ROD NON-SHRINK GROUT Precast Concrete</p>	นอนซีริง- เกร้าท์ (Non-shrink grout)	โฟมเส้นอุดร่อง และ วัสดุยาแนวกัน น้ำซึม (Backing rod and sealant)	2	1
2.	 <p>NON-SHRINK GROUT Precast Concrete</p>	นอนซีริง- เกร้าท์ (Non-shrink grout)	-----	1	4
3.	 <p>BUTYL RUBBER CEMENTITIOUS GROUT Precast Concrete</p>	วัสดุเกร้าท์ (Cementitious grout)	แผ่นยาง บิวไทล์ (Butyl rubber)	6	5
4.	 <p>BUTYL RUBBER CEMENTITIOUS GROUT Precast Concrete</p>	วัสดุเกร้าท์ (Cementitious grout)	แผ่นยาง บิวไทล์ (Butyl rubber)	7	6

ประเภท ที่	รูปแบบ	วัสดุที่เชื่อม รอยต่อ	วัสดุกันน้ำ	ลำดับความเป็นไปได้	
				การ ก่อสร้าง	การ ป้องกัน การ รั่วซึมน้ำ
5.		วัสดุเกร้าท์ (Cementitious grout)	แผ่นยาง บิวทิล (Butyl rubber)	5	7
6.		วัสดุเกร้าท์ (Cementitious grout)	แผ่นยาง บิวทิล (Butyl rubber)	3	2
7.		วัสดุเกร้าท์ (Cementitious grout)	แผ่นยาง บิวทิล (Butyl rubber)	4	3



แบบสอบถามนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์

ในหัวข้อ : การศึกษาการป้องกันการรั่วซึมน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จด้วยยางนิวไทล์

สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บริษัท..... SCG Precast Concrete Business ตำแหน่ง..... วิศวกรเทคนิค.....

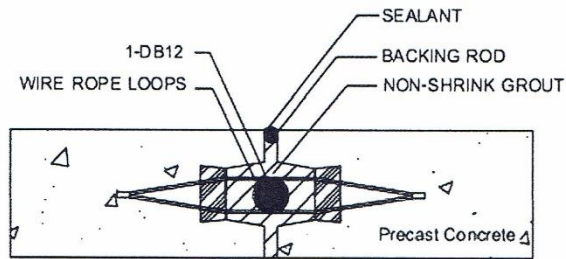
ประสบการณ์การทำงานทางด้านคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast concrete construction) 1 ปี

ฝ่าย..... วิศวกรรมโยธา.....

รายละเอียดเพิ่มเติม

รูปแบบการติดตั้งวัสดุกันการรั่วซึมของน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ประเภทที่ 1 : Non-shrink grout with backing rod and sealant



1. การติดตั้ง

การติดตั้งในโรงงาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ..... สีโองหล่อ ลึกลับ เป็นโองเหล็ก ดูปัญ

การติดตั้งหน้างาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ..... เหล็ก 1-DB12 สิ่งบดขยี้

2. การขนส่ง

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ..... ตอน ล้อ wire loop เก็บไว้กับของเดิม

3. การใช้งาน

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ... มี Nonshrink ที่อาจใช้ในกรณี แล้ว ไม่คุ้ม เพราะ ไม่คุ้มกับ

4. ปัญหาที่คาดว่าจะพบ

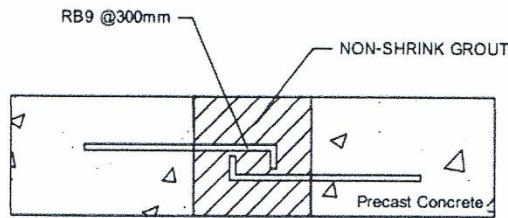
ในขณะที่ติดตั้ง... คนไม่สนใจ

ในหน้างาน...

5. ข้อเสนอแนะ

รูปแบบการติดตั้งวัสดุกันการรั่วซึมของน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ประเภทที่ 2 : Non-shrink grout



1. การติดตั้ง

การติดตั้งในโรงงาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ..... ใช้งานไม่สะดวก ไม่รู้จักไหลออกมาจากด้านข้างได้
 1 วัน สิ่งที่ได้ต้องใจ: 11/11

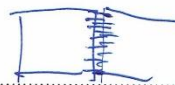
การติดตั้งน้างาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ..... ติดตั้ง 1/11 หน้า 1/11

2. การขนส่ง

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ..... หนัก มี การยก ที่ 1/11 หน้า 1/11



3. การใช้งาน

- ง่าย
- ปานกลาง
- ยาก

เพราะ.....
 รั้วแบบวงกลม มีไม้ Manshnik k. ๗๒๐๐๖๖๖

.....

.....

.....

4. ปัญหาที่คาดว่าจะพบ

ในขณะที่ติดตั้ง.....

.....

.....

.....

ในหน้างาน.....

.....

.....

.....

5. ข้อเสนอแนะ

.....

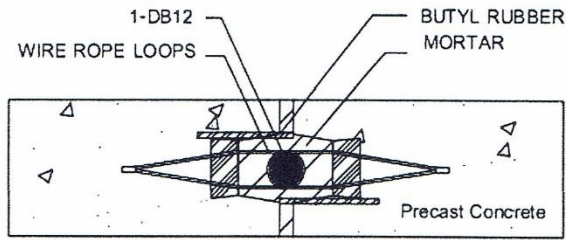
.....

.....

.....

รูปแบบการติดตั้งวัสดุกันการรั่วซึมของน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ประเภทที่ 3 : Mortar with butyl rubber



1. การติดตั้ง

การติดตั้งในโรงงาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ..... ข้อ 107: 1100 น้อย ที่เงิน 1000 บาท

การติดตั้งหน้างาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ..... ข้อ 71-27 204 สิบแปด ล้าน

2. การขนส่ง

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ..... ไม่สะดวกการขนส่ว

3. การใช้งาน

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....
.....
.....
.....

4. ปัญหาที่คาดว่าจะพบ

ในขณะที่ติดตั้ง.....
.....
.....
.....

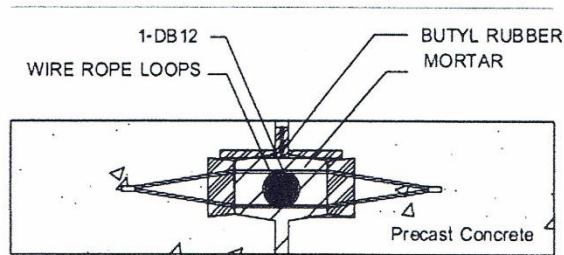
ในหน้างาน.....
.....
.....
.....

5. ข้อเสนอแนะ

.....
.....
.....
.....

รูปแบบการติดตั้งวัสดุกันการรั่วซึมของน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ประเภทที่ 4 : Mortar with butyl rubber



1. การติดตั้ง

การติดตั้งในโรงงาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

การติดตั้งหน้างาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

2. การขนส่ง

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

3. การใช้งาน

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

4. ปัญหาที่คาดว่าจะพบ

ในขณะที่ติดตั้ง.....

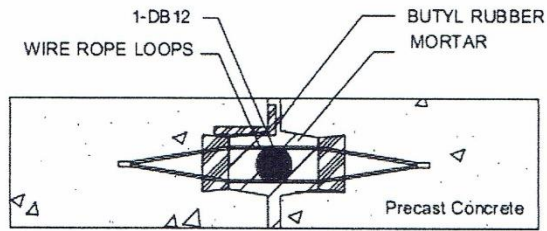
ในหน้างาน.....

5. ข้อเสนอแนะ

.....

รูปแบบการติดตั้งวัสดุกันการรั่วซึมของน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ประเภทที่ 5 : Mortar with butyl rubber



1. การติดตั้ง

การติดตั้งในงาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

การติดตั้งในงาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

2. การขนส่ง

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

3. การใช้งาน

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

4. ปัญหาที่คาดว่าจะพบ

ในขณะติดตั้ง.....

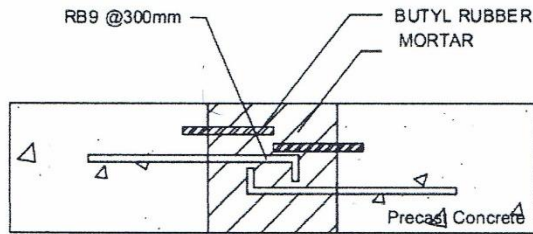
ในหน้างาน.....

5. ข้อเสนอแนะ

.....

รูปแบบการติดตั้งวัสดุกันการรั่วซึมของน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ประเภทที่ 6 : Mortar with butyl rubber



1. การติดตั้ง

การติดตั้งในโรงงาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ..... ๓.๖๐.๑๐๖ : ไนลิกไนต์ไนลิกไนต์
 100%

การติดตั้งหน้างาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

2. การขนส่ง

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

3. การใช้งาน

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....
.....
.....
.....

4. ปัญหาที่คาดว่าจะพบ

ในขณะติดตั้ง.....
.....
.....
.....

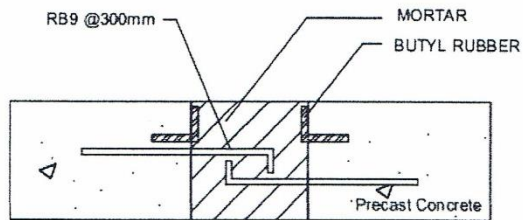
ในหน้างาน.....
.....
.....
.....

5. ข้อเสนอแนะ

.....
.....
.....
.....

รูปแบบการติดตั้งวัสดุกันการรั่วซึมของน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ประเภทที่ 7 : Mortar with butyl rubber



1. การติดตั้ง

การติดตั้งในงาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

การติดตั้งหน้างาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

2. การขนส่ง

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

3. การใช้งาน

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....
.....
.....
.....

4. ปัญหาที่คาดว่าจะพบ

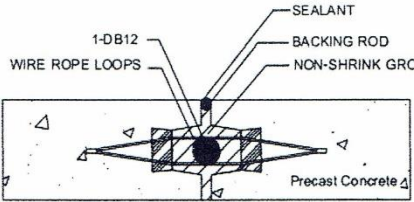
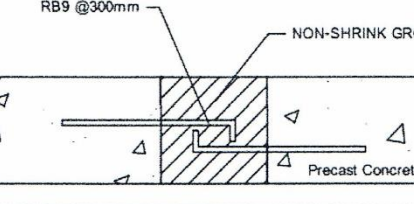
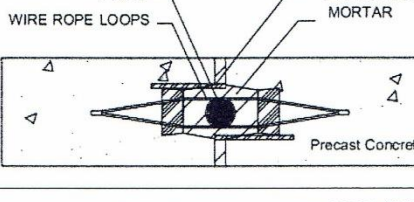
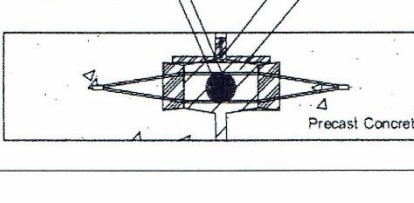
ในขณะที่ติดตั้ง.....
.....
.....
.....

ในการทำงาน.....
.....
.....
.....

5. ข้อเสนอแนะ

.....
.....
.....
.....

- เรียงลำดับความเป็นไปได้ในการป้องกันการรั่วซึมน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ จากป้องกันได้มากที่สุดไปน้อยที่สุด (1 มากที่สุด - 7 น้อยที่สุด)
- เรียงลำดับความเป็นไปได้ในการก่อสร้างและติดตั้งวัสดุป้องกันการรั่วซึมน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ จากก่อสร้างง่ายที่สุดไปก่อสร้างยากที่สุด (1 ง่ายที่สุด - 7 ยากที่สุด)

ประเภท ที่	รูปแบบ	วัสดุที่เชื่อม รอยต่อ	วัสดุกันน้ำ	ลำดับความเป็นไปได้	
				การ ก่อสร้าง	การ ป้องกัน การ รั่วซึมน้ำ
1.		นอนซีริง- เกร้าท์ (Non-shrink grout)	โฟมเส้นดัดร่อง และ วัสดุยาแนวกัน น้ำซีม (Backing rod and sealant)	1	1
2.		นอนซีริง- เกร้าท์ (Non-shrink grout)	---	5	7
3.		มอร์ต้าร์ (Mortar)	แผ่นยาง บิวไทล์ (Butyl rubber)	4	2
4.		มอร์ต้าร์ (Mortar)	แผ่นยาง บิวไทล์ (Butyl rubber)	3	3

ประเภท ที่	รูปแบบ	วัสดุที่เชื่อม รอยต่อ	วัสดุกันน้ำ	ลำดับความเป็นไปได้	
				การ ก่อสร้าง	การ ป้องกัน การ รั่วซึมน้ำ
5.		มอร์ตาร์ (Mortar)	แผ่นยาง บิวทิล (Butyl rubber)	2	4
6.		มอร์ตาร์ (Mortar)	แผ่นยาง บิวทิล (Butyl rubber)	7	5
7.		มอร์ตาร์ (Mortar)	แผ่นยาง บิวทิล (Butyl rubber)	6	6



แบบสอบถามนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์

ในหัวข้อ : การศึกษาการป้องกันการรั่วซึมน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จด้วยยางบิวไทล์

สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บริษัท..... SCG Precast Business ตำแหน่ง..... Design Engineer

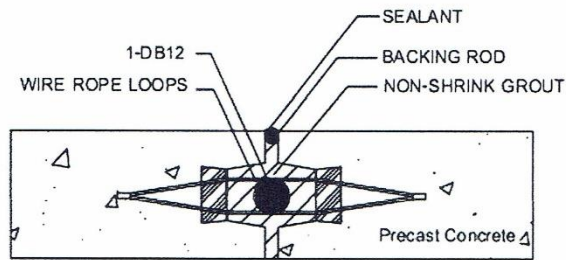
ประสบการณ์การทำงานทางด้านคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast concrete construction) 1 ปี

ฝ่าย..... วิศวกรรม โทร. ๐๐๓๓๓๓

รายละเอียดเพิ่มเติม

รูปแบบการติดตั้งวัสดุกันการรั่วซึมของน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ประเภทที่ 1 : Non-shrink grout with backing rod and sealant



1. การติดตั้ง

การติดตั้งในโรงงาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ... ปริมาณเหล็ก ใช้ด้วย ราว ช่างงาน เพื่อใช้ Shuttering ราว หรือ ไม้ 1/2 นิ้ว
 177. ราง Shuttering กับ Wire loops

การติดตั้งหน้างาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ... ทั่วไปใน Non Shrink Grout รางห้อง ราว Backing Rod + Sealant
 ราง PU, Silicone, Modified Silicone

2. การขนส่ง

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

3. การใช้งาน

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ Sealant มีอายุการใช้งานที่จำกัด ถ้า Nonshrink Grot เป็น Non-shrink
จนแล้ว น้ำอาจไม่ติดได้

4. ปัญหาที่คาดว่าจะพบ

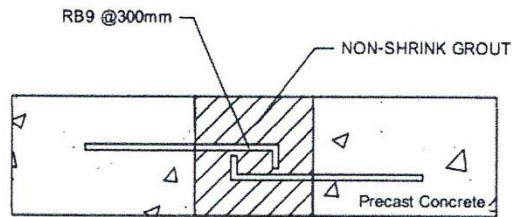
ในขณะที่ติดตั้ง.....

ในหน้างาน.....

5. ข้อเสนอแนะ

รูปแบบการติดตั้งวัสดุกันการรั่วซึมของน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ประเภทที่ 2 : Non-shrink grout



1. การติดตั้ง

การติดตั้งในโรงงาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ *ไม่ติด อ่างน้ำ*

.....

.....

.....

.....

การติดตั้งหน้างาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ

.....

.....

.....

.....

2. การขนส่ง

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ

.....

.....

.....

.....

3. การใช้งาน

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

4. ปัญหาที่คาดว่าจะพบ

ในขณะที่ติดตั้ง.....

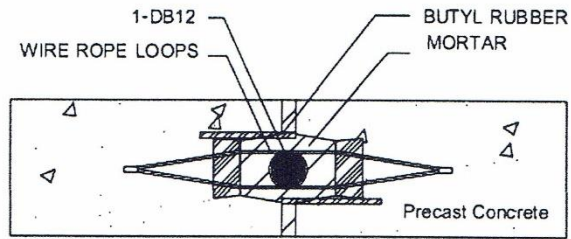
ในโรงงาน.....

5. ข้อเสนอแนะ

1. Area to joint มีวงกลมเกิน 70

รูปแบบการติดตั้งวัสดุกันการรั่วซึมของน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ประเภทที่ 3 : Mortar with butyl rubber



1. การติดตั้ง

การติดตั้งในโรงงาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

การติดตั้งหน้างาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

2. การขนส่ง

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

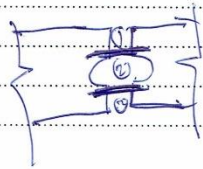
3. การใช้งาน

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....
.....
.....
.....

4. ปัญหาที่คาดว่าจะพบ

ในขณะติดตั้ง In Non Shrink ปะปนกัน มีสี ผก ใน 3 ครั้ง ✓



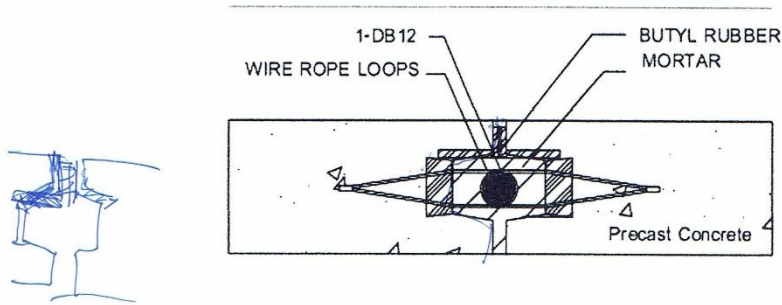
ในหน้างาน.....
.....
.....
.....

5. ข้อเสนอแนะ

.....
.....
.....
.....

รูปแบบการติดตั้งวัสดุกันการรั่วซึมของน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ประเภทที่ 4 : Mortar with butyl rubber



1. การติดตั้ง

การติดตั้งในโรงงาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

.....

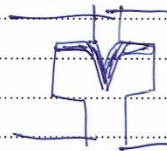
.....

.....

.....

การติดตั้งหน้างาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ..... ยากที่จะได้ Butyl Rubber เข้ารูปตรงภาพ เนื่องจาก ฉันทัดได้
จ.เชิงรูป สีเทาขาว



2. การขนส่ง

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

.....

.....

.....

.....

3. การใช้งาน

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....
.....
.....
.....

4. ปัญหาที่คาดว่าจะพบ

ในขณะติดตั้ง..... ติดตั้งยาก วัสดุไม่เหมาะสม ทำได้ นานเกินไป ประสิทธิภาพ
Precast.....
.....
.....

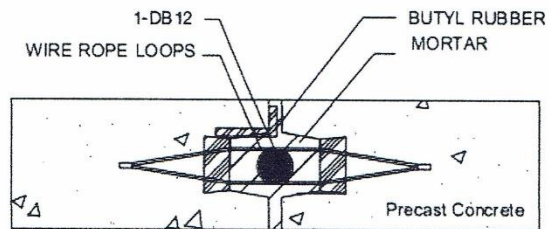
ในหน้างาน.....
.....
.....

5. ข้อเสนอแนะ

.....
.....
.....

รูปแบบการติดตั้งวัสดุกันการรั่วซึมของน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ประเภทที่ 5 : Mortar with butyl rubber



1. การติดตั้ง

การติดตั้งในโรงงาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

การติดตั้งหน้างาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

2. การขนส่ง

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

3. การใช้งาน

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....
.....
.....
.....
.....

4. ปัญหาที่คาดว่าจะพบ

ในขณะที่ติดตั้ง.....
.....
.....
.....
.....

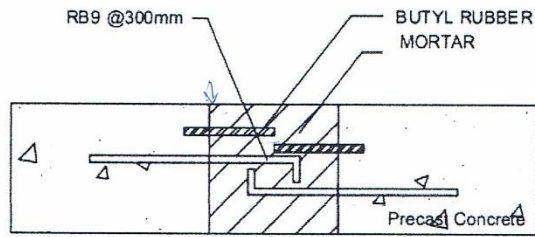
ในหน้างาน.....
.....
.....
.....
.....

5. ข้อเสนอแนะ

.....
.....
.....
.....
.....

รูปแบบการติดตั้งวัสดุกันการรั่วซึมของน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ประเภทที่ 6 : Mortar with butyl rubber



1. การติดตั้ง

การติดตั้งในโรงงาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

การติดตั้งหน้างาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

2. การขนส่ง

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

3. การใช้งาน

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

ไม่สนใจในเรื่อง กั้น รื้อ

4. ปัญหาที่คาดว่าจะพบ

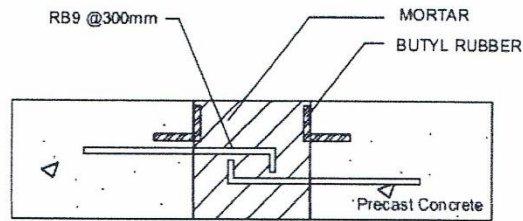
ในขณะที่ติดตั้ง.....

ในหน้างาน.....

5. ข้อเสนอแนะ

รูปแบบการติดตั้งวัสดุกันการรั่วซึมของน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ประเภทที่ 7 : Mortar with butyl rubber



1. การติดตั้ง

การติดตั้งในโรงงาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

การติดตั้งหน้างาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

2. การขนส่ง

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

3. การใช้งาน

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....
.....
.....
.....

4. ปัญหาที่คาดว่าจะพบ

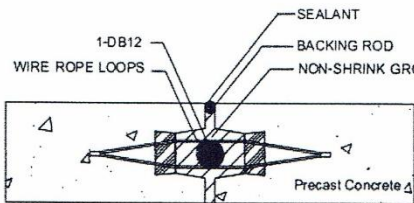
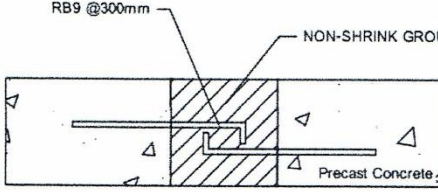
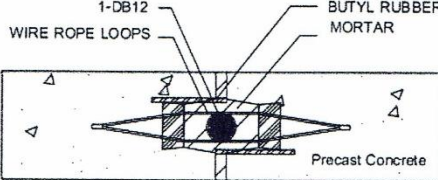
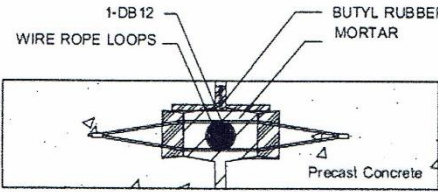
ในขณะที่ติดตั้ง.....
.....
.....
.....

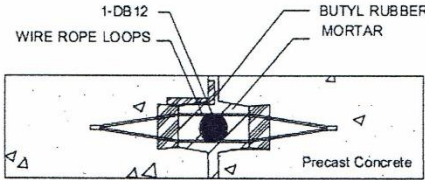
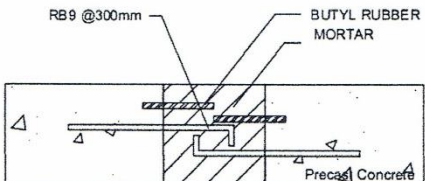
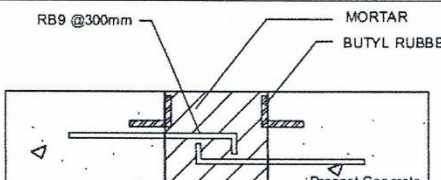
ในหน้างาน.....
.....
.....
.....

5. ข้อเสนอแนะ

1. มุม joint 1/2 นิ้ว ✓
.....
.....
.....

- > เรียงลำดับความเป็นไปได้ในการป้องกันการรั่วซึมน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ จากป้องกันได้มากที่สุดไปน้อยที่สุด (1 มากที่สุด - 7 น้อยที่สุด)
- > เรียงลำดับความเป็นไปได้ในการก่อสร้างและติดตั้งวัสดุป้องกันการรั่วซึมน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ จากก่อสร้างง่ายที่สุดไปก่อสร้างยากที่สุด (1 ง่ายที่สุด - 7 ยากที่สุด)

ประเภท ที่	รูปแบบ	วัสดุที่เชื่อม รอยต่อ	วัสดุกันน้ำ	ลำดับความเป็นไปได้	
				การ ก่อสร้าง	การ ป้องกัน การ รั่วซึมน้ำ
1.		นอนซริง- เกอร์ท์ (Non-shrink grout)	โฟมเส้นดัดร่อง และ วัสดุยาแนวกัน น้ำซีม (Backing rod and sealant)	2	3
2.		นอนซริง- เกอร์ท์ (Non-shrink grout)	-----	1	7
3.		มอร์ตาร์ทาร์ (Mortar)	แผ่นยาง บิวไทล์ (Butyl rubber)	6	2
4.		มอร์ตาร์ทาร์ (Mortar)	แผ่นยาง บิวไทล์ (Butyl rubber)	7	1

ประเภท ที่	รูปแบบ	วัสดุที่เชื่อม รอยต่อ	วัสดุกันน้ำ	ลำดับความเป็นไปได้	
				การ ก่อสร้าง	การ ป้องกัน การ รั่วซึมน้ำ
5.	 <p>1-DB12 WIRE ROPE LOOPS BUTYL RUBBER MORTAR Precast Concrete</p>	มอร์ตาร์ (Mortar)	แผ่นยาง บิวทิล (Butyl rubber)	4	6
6.	 <p>RB9 @300mm BUTYL RUBBER MORTAR Precast Concrete</p>	มอร์ตาร์ (Mortar)	แผ่นยาง บิวทิล (Butyl rubber)	5	4
7.	 <p>RB9 @300mm MORTAR BUTYL RUBBER Precast Concrete</p>	มอร์ตาร์ (Mortar)	แผ่นยาง บิวทิล (Butyl rubber)	3	5



แบบสอบถามนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์

ในหัวข้อ : การศึกษาการป้องกันการรั่วซึมน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จด้วยยางบิวไทล์

สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บริษัท.....SCC Cement.....ตำแหน่ง.....วิศวกรเทคนิค.....

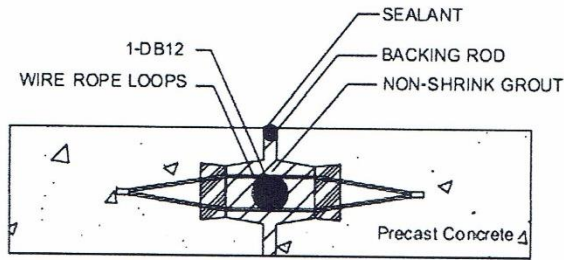
ประสบการณ์การทำงานทางด้านคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast concrete construction)0.5.....ปี

ฝ่าย.....ออกแบบ.....

รายละเอียดเพิ่มเติม

รูปแบบการติดตั้งวัสดุกันการรั่วซึมของน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ประเภทที่ 1 : Non-shrink grout with backing rod and sealant



1. การติดตั้ง

การติดตั้งในโรงงาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

การติดตั้งในสนาม ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

2. การขนส่ง

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

3. การใช้งาน

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

4. ปัญหาที่คาดว่าจะพบ

ในขณะที่ติดตั้ง.....

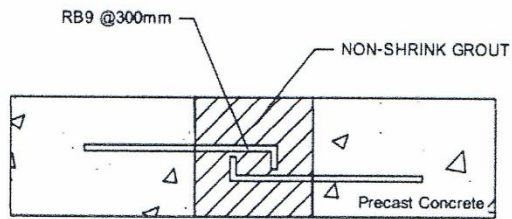
ในหน้างาน..... รู้ wire loop ไม่ตรงที่ห

5. ข้อเสนอแนะ

.....

รูปแบบการติดตั้งวัสดุกันการรั่วซึมของน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ประเภทที่ 2 : Non-shrink grout



1. การติดตั้ง

การติดตั้งในโรงงาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

การติดตั้งหน้างาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

2. การขนส่ง

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

3. การใช้งาน

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....
.....
.....
.....

4. ปัญหาที่คาดว่าจะพบ

ในขณะที่ติดตั้ง.....
.....
.....
.....

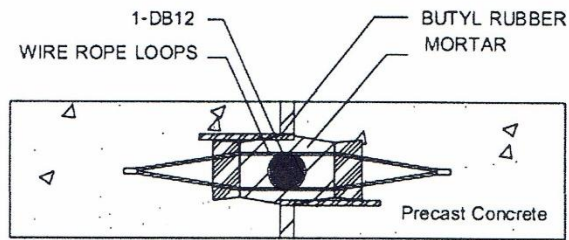
ในหน้าจอ.....^{ช้าเร็ว}
.....
.....
.....

5. ข้อเสนอแนะ

.....
.....
.....
.....

รูปแบบการติดตั้งวัสดุกันการรั่วซึมของน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ประเภทที่ 3 : Mortar with butyl rubber



1. การติดตั้ง

การติดตั้งในโรงงาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

การติดตั้งหน้างาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

2. การขนส่ง

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

3. การใช้งาน

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....
.....
.....
.....

4. ปัญหาที่คาดว่าจะพบ

ในขณะที่ติดตั้ง.....
.....
.....
.....

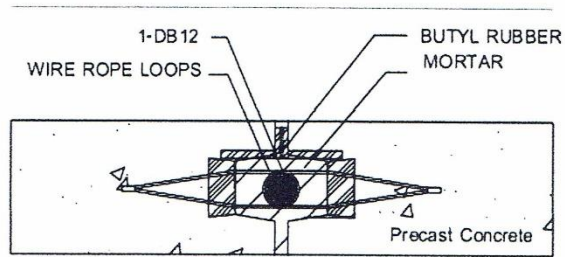
ในหน้างาน.....*การเชื่อมโยงข้อมูล*
.....
.....
.....

5. ข้อเสนอแนะ

.....
.....
.....
.....

> รูปแบบการติดตั้งวัสดุกันการรั่วซึมของน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ประเภทที่ 4 : Mortar with butyl rubber



1. การติดตั้ง

การติดตั้งในโรงงาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

การติดตั้งหน้างาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

2. การขนส่ง

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

3. การใช้งาน

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....
.....
.....
.....
.....

4. ปัญหาที่คาดว่าจะพบ

ในขณะที่ติดตั้ง.....
.....
.....
.....
.....

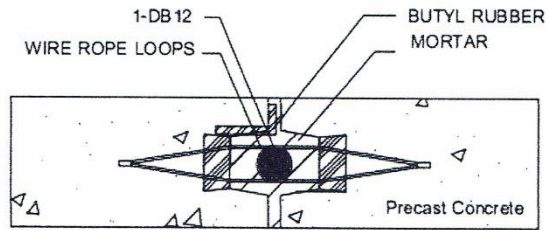
ในหน้างาน.....
.....
.....
.....
.....

5. ข้อเสนอแนะ

.....
.....
.....
.....
.....

รูปแบบการติดตั้งวัสดุกันการรั่วซึมของน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ประเภทที่ 5 : Mortar with butyl rubber



1. การติดตั้ง

การติดตั้งในโรงงาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

การติดตั้งหน้างาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

2. การขนส่ง

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

3. การใช้งาน

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....
.....
.....
.....

4. ปัญหาที่คาดว่าจะพบ

ในขณะติดตั้ง.....
.....
.....
.....

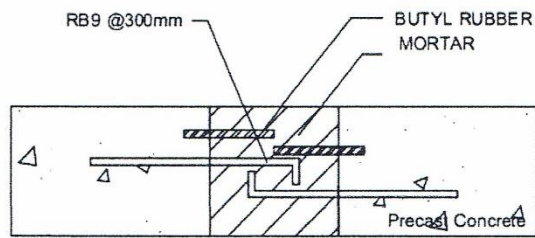
ในหน้างาน..... ลาว้อจากอีกฝั่งเรือ.....
.....
.....
.....

5. ข้อเสนอแนะ

.....
.....
.....
.....

รูปแบบการติดตั้งวัสดุกันการรั่วซึมของน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ประเภทที่ 6 : Mortar with butyl rubber



1. การติดตั้ง

การติดตั้งในโรงงาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

การติดตั้งหน้างาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

2. การขนส่ง

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

3. การใช้งาน

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....
.....
.....
.....

4. ปัญหาที่คาดว่าจะพบ

ในขณะติดตั้ง.....
.....
.....
.....

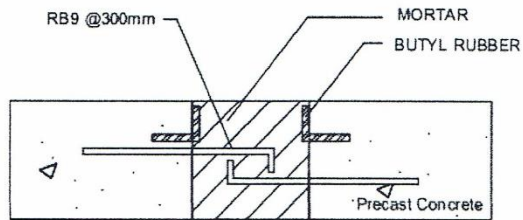
ในหน้างาน.....
.....
.....
.....

5. ข้อเสนอแนะ

.....
.....
.....
.....

รูปแบบการติดตั้งวัสดุกันการรั่วซึมของน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

ประเภทที่ 7 : Mortar with butyl rubber



1. การติดตั้ง

การติดตั้งในโรงงาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

การติดตั้งหน้างาน ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

2. การขนส่ง

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....

3. การใช้งาน

ง่าย ปานกลาง ยาก

เพราะ.....
.....
.....
.....

4. ปัญหาที่คาดว่าจะพบ

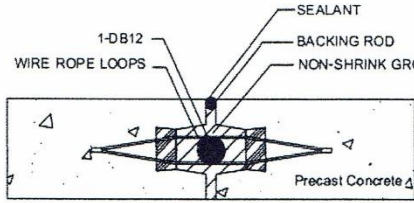
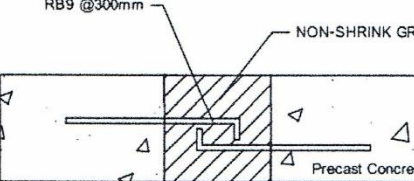
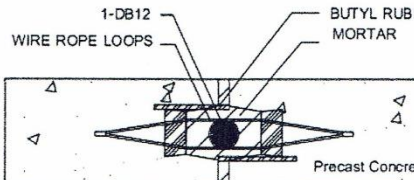
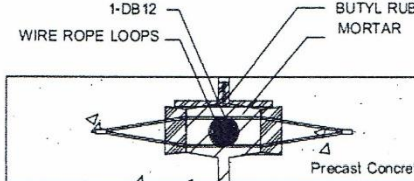
ในขณะติดตั้ง.....
.....
.....
.....

ในการทำงาน.....
.....
.....
.....

5. ข้อเสนอแนะ

.....
.....
.....
.....

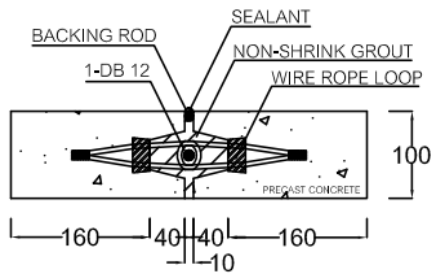
- > เรียงลำดับความเป็นไปได้ในการป้องกันการรั่วซึมน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ จากป้องกันได้มากที่สุดไปน้อยที่สุด (1 มากที่สุด - 7 น้อยที่สุด)
- > เรียงลำดับความเป็นไปได้ในการก่อสร้างและติดตั้งวัสดุป้องกันการรั่วซึมน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ จากก่อสร้างง่ายที่สุดไปก่อสร้างยากที่สุด (1 ง่ายที่สุด - 7 ยากที่สุด)

ประเภท ที่	รูปแบบ	วัสดุที่เชื่อม รอยต่อ	วัสดุกันน้ำ	ลำดับความเป็นไปได้	
				การ ก่อสร้าง	การ ป้องกัน การ รั่วซึมน้ำ
1.		นอนซริง- เกร้าท์ (Non-shrink grout)	โฟมเส้นดัดร่อง และ วัสดุยาแนวกัน น้ำซีม (Backing rod and sealant)	2	2
2.		นอนซริง- เกร้าท์ (Non-shrink grout)	----	7	7
3.		มอร์ตาร์ (Mortar)	แผ่นยาง บิวไทล์ (Butyl rubber)	1	1
4.		มอร์ตาร์ (Mortar)	แผ่นยาง บิวไทล์ (Butyl rubber)	3	3

ประเภท ที่	รูปแบบ	วัสดุที่เชื่อม รอยต่อ	วัสดุกันน้ำ	ลำดับความเป็นไปได้	
				การ ก่อสร้าง	การ ป้องกัน การ รั่วซึมน้ำ
5.	<p>1-DB12 WIRE ROPE LOOPS BUTYL RUBBER MORTAR Precast Concrete</p>	มอร์ตาร์ (Mortar)	แผ่นยาง บิวทิล (Butyl rubber)	5	5
6.	<p>RB9 @300mm BUTYL RUBBER MORTAR Precast Concrete</p>	มอร์ตาร์ (Mortar)	แผ่นยาง บิวทิล (Butyl rubber)	4	4
7.	<p>RB9 @300mm MORTAR BUTYL RUBBER Precast Concrete</p>	มอร์ตาร์ (Mortar)	แผ่นยาง บิวทิล (Butyl rubber)	6	6

ภาคผนวก จ
 ผลการหล่อชิ้นส่วนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

การหล่อชิ้นส่วนตัวอย่างประเภทที่ 1



(ก) รายละเอียดรูปแบบรอยต่อประเภทที่ 1

(ข) แบบหล่อเหล็กของตัวอย่างประเภทที่ 1



(ค) หลังจากเทคอนกรีต

(ง) หลังจากถอดแบบเหล็ก

รูปที่ จ. 1 การหล่อตัวอย่างประเภทที่ 1



(ก) นำชิ้นส่วนคอนกรีตมายึดติดกัน



(ข) วาง DB12 ผ่าน Wire rope loop



(ค) ติดตั้งโคมเส้นลวดร่อนที่รอยต่อ



(ง) เทนอนจริงเก่าที่รอยต่อ

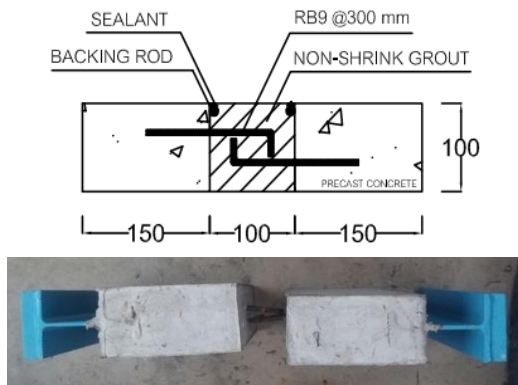


(จ) หลังจากนอนจริงเก่าที่แข็งตัวแล้ว ยิงวัสดุยาแนวกันน้ำซีมบนโคมเส้นลวดร่อนที่รอยต่อ



รูปที่ ๑. 2 การเสริมเหล็ก DB12 เทวัสดุเชื่อมประสาน และติดตั้งวัสดุยาแนวกันน้ำซีมของตัวอย่างประเภทที่ 1

การหล่อชิ้นส่วนตัวอย่างประเภทที่ 2



(ก) รายละเอียดรูปแบบรอยต่อประเภทที่ 2

(ข) แบบหล่อเหล็กของตัวอย่างประเภทที่ 2



(ค) หลังจากเทคอนกรีตเตรียมเทนอนซริงเกอร์ที่รอยต่อ

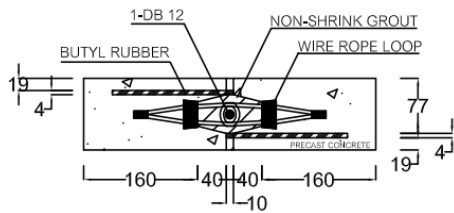


(ง) ติดวัสดุโฟมเส้นอุดร่องในร่องรอยต่อ

(จ) ยิงวัสดุยาแนวกันน้ำซีเมนบนโฟมเส้นอุดร่อง

รูปที่ ๑. 3 การหล่อตัวอย่างประเภทที่ 2

การหล่อชิ้นส่วนตัวอย่างประเภทที่ 3



(ก) รายละเอียดรูปแบบรอยต่อประเภทที่ 3

(ข) แบบหล่อเหล็กของตัวอย่างประเภทที่ 3



(ค) ติดตั้งแผ่นยางบิวไทล์ที่แบบหล่อเหล็กก่อนการเทคอนกรีตประเภทที่ 3



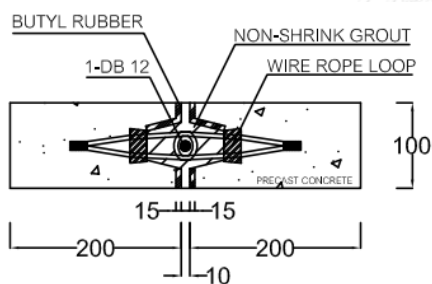
(ง) หลังจากคอนกรีตแข็งตัวแล้ว ถอดแบบเหล็กออก เผยให้เห็นแผ่นยางบิวไทล์

รูปที่ ๑. 4 การหล่อตัวอย่างประเภทที่ 3



รูปที่ ๑. 5 คอนกรีตไม่หุ้มแผ่นยางบิวไทล์ ในรูปแบบรอยต่อประเภทที่ 3

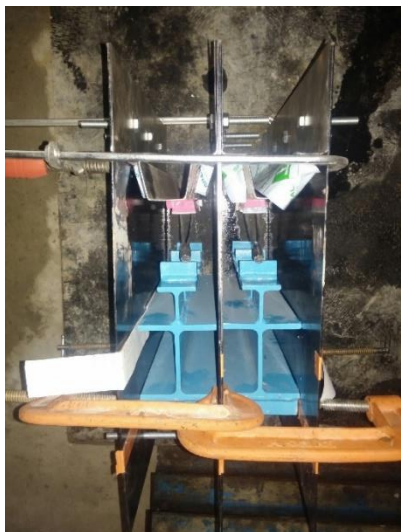
การหล่อชิ้นส่วนตัวอย่างประเภทที่ 4



(ก) รายละเอียดรูปแบบรอยต่อประเภทที่ 4

(ข) ติดตั้งแผ่นยางที่รอยต่อประเภทที่ 4

รูปที่ ๑. 6 ติดตั้งแผ่นยางบิวไทล์ที่แบบหล่อของรอยต่อประเภทที่ 4



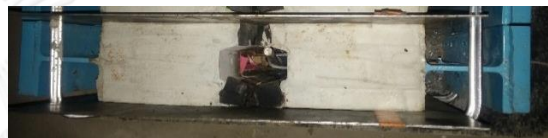
(ก) แบบหล่อเหล็กของตัวอย่างประเภทที่ 4



(ข) ยางบิวไทล์ที่รอยต่อเมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว



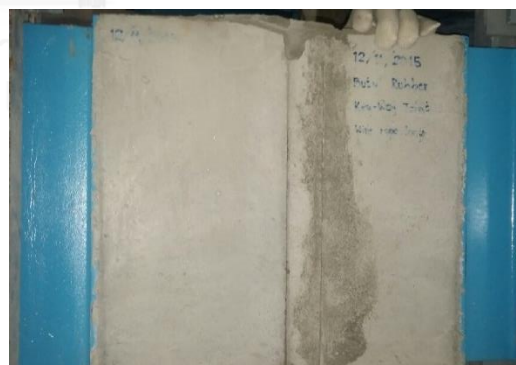
(ค) นำคอนกรีตมายึดติดกัน



(ง) วาง DB12 ผ่าน Wire rope loop



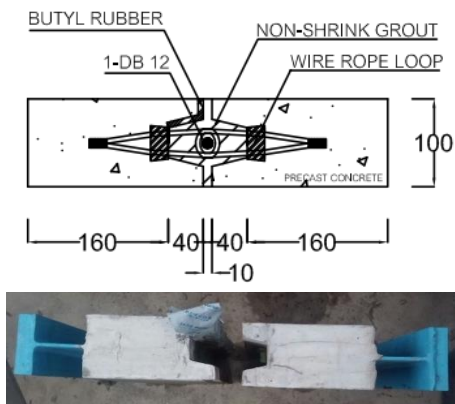
(จ) เทนอนซิ้งเกอร์ที่รอยต่อ



(ฉ) หลังจากเทนอนซิ้งเกอร์ที่แข็งตัวแล้ว

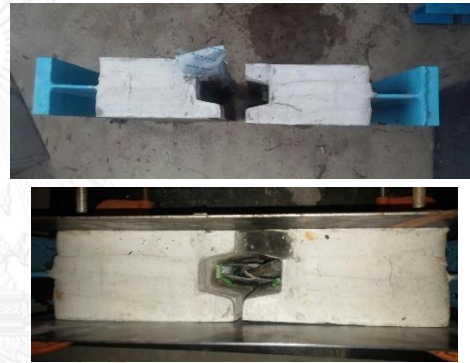
รูปที่ ๑. 7 การหล่อตัวอย่างประเภทที่ 4

การหล่อชิ้นส่วนตัวอย่างประเภทที่ 5

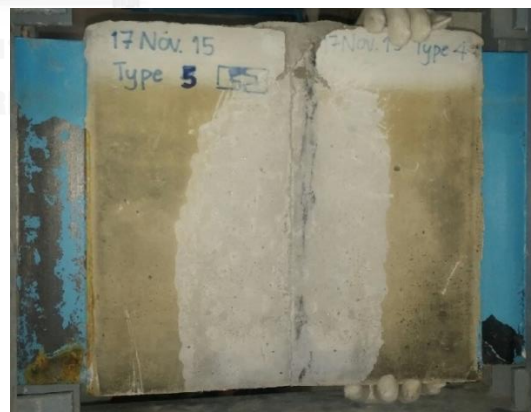


(ก) รายละเอียดรูปแบบรอยต่อประเภทที่ 5

(ข) ยางบิวไทล์ที่รอยต่อ



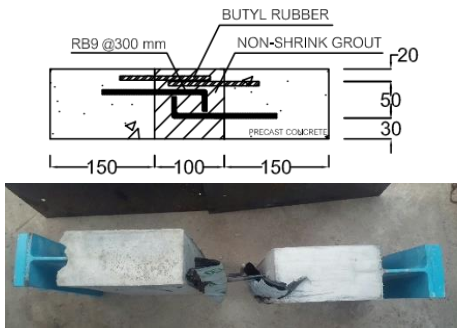
(ค) หลังจากคอนกรีตแข็งตัว วางเหล็ก DB12 ผ่าน Wire rope loop



(ง) หลังจากนอนชั่งไถ่รื้อที่แข็งตัวแล้ว

รูปที่ ๑. 8 การหล่อตัวอย่างประเภทที่ 5

การหล่อชิ้นส่วนตัวอย่างประเภทที่ 6



(ก) รายละเอียดรูปแบบรอยต่อประเภทที่ 6

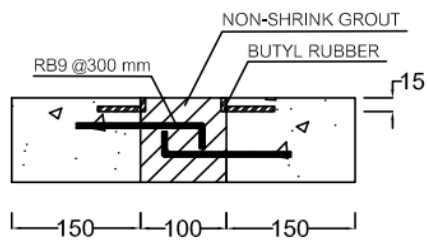
(ข) หลังจากคอนกรีตแข็งตัว

รูปที่ ๑. 9 หล่อตัวอย่างคอนกรีตประเภทที่ 6



รูปที่ ๑. 10 คอนกรีตไม่หุ้มแผ่นยางบิวทิล ในรูปแบบรอยต่อประเภทที่ 6

การหล่อชิ้นส่วนตัวอย่างประเภทที่ 7



(ก) รายละเอียดรูปแบบรอยต่อประเภทที่ 7

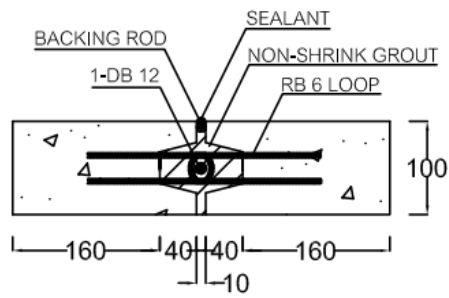
(ข) แบบหล่อเหล็กของตัวอย่างประเภทที่ 7

รูปที่ ๑. 11 การหล่อตัวอย่างคอนกรีตประเภทที่ 7



รูปที่ ๑. 12 คอนกรีตไม่หุ้มแผ่นยางบิวทิล ในรูปแบบรอยต่อประเภทที่ 7

การหล่อชิ้นส่วนตัวอย่างประเภทที่ 8



(ก) รายละเอียดรูปแบบรอยต่อประเภทที่ 8



(ข) หลังจากคอนกรีตแข็งตัวแล้ว



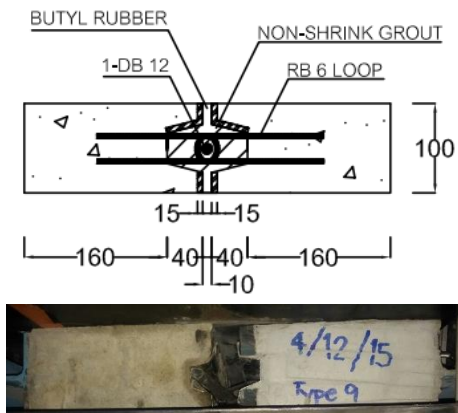
(ค) วางเหล็ก DB12 ผ่าน C-line ติดตั้งโฟมเส้นอุดร่อง และเทนอนชิ่งเกร้าท์



(ง) ยิงวัสดุยาแนวบนโฟมเส้นอุดร่องที่รอยต่อ

รูปที่ ๑. 13 การหล่อตัวอย่างคอนกรีตประเภทที่ 8

การหล่อชิ้นส่วนตัวอย่างประเภทที่ 9



(ก) รายละเอียดรูปแบบรอยต่อประเภทที่ 9

(ข) ติดตั้งยางบิวไทล์ ที่แบบหล่อเหล็ก



(ค) หลังจากคอนกรีตแข็งตัวแล้ว วางเหล็ก DB12 ผ่าน C-line และเทนอนซิ่งเกอร์ท์

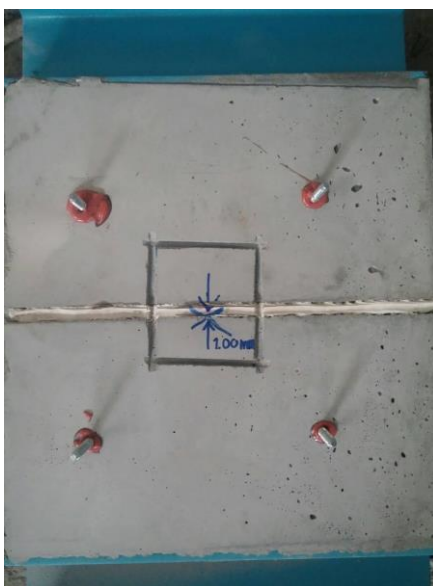


(ง) หลังจากนอนซิ่งเกอร์ท์แข็งตัวแล้ว

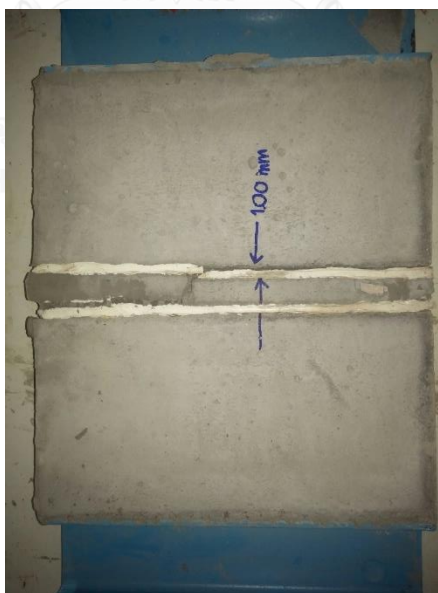
รูปที่ ๑. 14 การหล่อตัวอย่างคอนกรีตประเภทที่ 9

ภาคผนวก ฉ

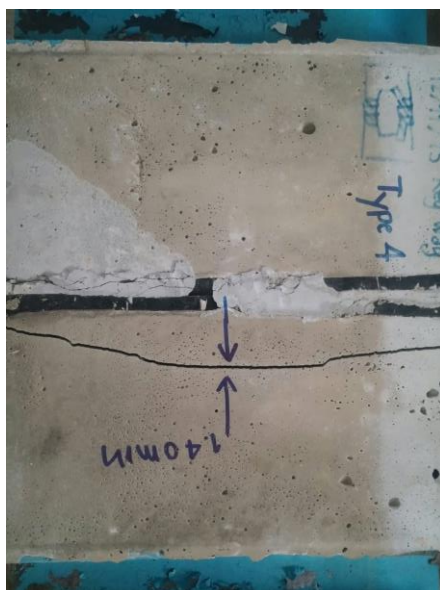
ค่าการเคลื่อนที่แบบสัมพัทธ์ที่รอยต่อของตัวอย่างคอนกรีตหล่อสำเร็จ



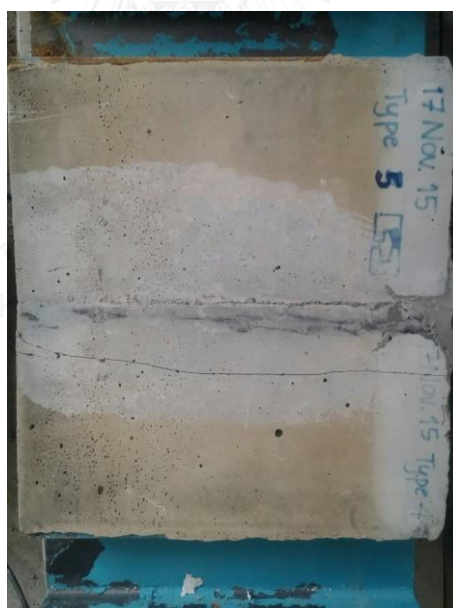
รูปที่ ฉ. 1 การเคลื่อนที่แบบสัมพัทธ์ที่รอยต่อของตัวอย่างประเภทที่ 1



รูปที่ ฉ. 2 การเคลื่อนที่แบบสัมพัทธ์ที่รอยต่อของตัวอย่างประเภทที่ 2



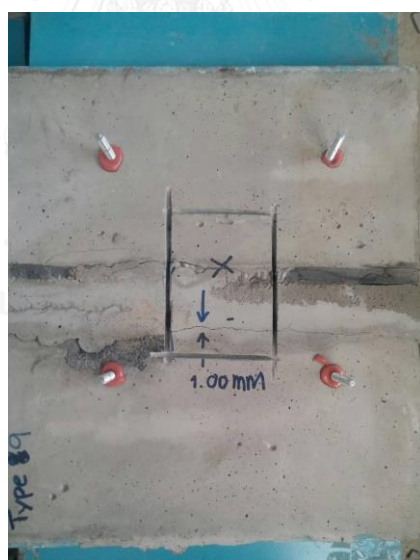
รูปที่ ฉ. 3 การเคลื่อนที่แบบสัมพันธ์ที่รอยต่อของตัวอย่างประเภทที่ 4



รูปที่ ฉ. 4 การเคลื่อนที่แบบสัมพันธ์ที่รอยต่อของตัวอย่างประเภทที่ 5



รูปที่ ๕. การเคลื่อนที่แบบสัมผัสพัทธ์ที่รอยต่อของตัวอย่างประเภทที่ ๘



รูปที่ ๖. การเคลื่อนที่แบบสัมผัสพัทธ์ที่รอยต่อของตัวอย่างประเภทที่ ๙

ภาคผนวก ช
ผลการทดสอบการกันน้ำซึมผ่าน



รูปที่ ช. 1 การทดสอบการกันน้ำซึมผ่านประเภทที่ 1



รูปที่ ช. 2 การทดสอบการกั้นน้ำซึมผ่านประเภทที่ 4



รูปที่ ช. 3 การทดสอบการกั้นน้ำซึมผ่านประเภทที่ 5



รูปที่ ข. 4 การทดสอบการกั้นน้ำซึมผ่านประเภทที่ 8



รูปที่ ข. 5 การทดสอบการกั้นน้ำซึมผ่านประเภทที่ 9

ภาคผนวก ข
ผลงานสิ่งประดิษฐ์ที่ได้รับการจดอนุสิทธิบัตร

ผลงานสิ่งประดิษฐ์ที่ได้รับการจดทะเบียนจากสถาบันทรัพย์สินทางปัญญาแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับงานวิจัยการศึกษาการป้องกันการรั่วซึมน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จด้วยยางบิวไทล์ มีดังต่อไปนี้

1. เลขที่อนุสิทธิบัตร: 11125 เลขที่คำขอ: 153000684 ขอรับอนุสิทธิบัตร: 12 พฤษภาคม 2558
ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์: ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีการเชื่อมต่อกับแผ่นยางบิวไทล์แบบไม่พบในการกันน้ำซึมที่รอยต่อคีย์เวย์และกรรมวิธีการผลิต

เลขที่อนุสิทธิบัตร 11125 อสป/200 - ข



อนุสิทธิบัตร

อาศัยอำนาจตามความในพระราชบัญญัติสิทธิบัตร พ.ศ. 2522
แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2542
กระทรวงพาณิชย์ สังกัดกรมทรัพย์สินทางปัญญาออกอนุสิทธิบัตรฉบับนี้ให้แก่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
บริษัท ฮายากาวา จำกัด

สำหรับการประดิษฐ์ตามรายละเอียดการประดิษฐ์ ข้อถ้อยสิทธิ และรูปเขียน (ถ้ามี)
ที่ปรากฏในอนุสิทธิบัตรนี้

เลขที่คำขอ	1503000684
ขอรับอนุสิทธิบัตร	12 พฤษภาคม 2558
ผู้ประดิษฐ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิฑิต ปานสุข และคณะ
ชื่อแสดงถึงการประดิษฐ์	ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีการเชื่อมต่อกับแผ่นยางบิวไทล์แบบไม่พบในการกันน้ำซึมที่รอยต่อคีย์เวย์และกรรมวิธีการผลิต

ให้ผู้ทรงอนุสิทธิบัตรและหน้าที่ตามกฎหมายว่าด้วยสิทธิบัตรทุกประการ

ออกให้	ณ วันที่	5	เดือน	กุมภาพันธ์	พ.ศ. 2559
หมดอายุ	ณ วันที่	11	เดือน	พฤษภาคม	พ.ศ. 2564

(ลงชื่อ).....
รองอธิบดีกรมทรัพย์สินทางปัญญา ปฏิบัติราชการแทน
อธิบดีกรมทรัพย์สินทางปัญญา
ผู้ออกอนุสิทธิบัตร

พนักงานเจ้าหน้าที่

หมายเหตุ

1. ผู้ทรงอนุสิทธิบัตรต้องชำระค่าธรรมเนียมรายปีเริ่มตั้งแต่ปีที่ 5 ของอายุสิทธิบัตร มิฉะนั้น อนุสิทธิบัตรจะสิ้นสุดอายุ
2. ผู้ทรงอนุสิทธิบัตรจะขอชำระค่าธรรมเนียมรายปีล่วงหน้าโดยชำระทั้งหมดในคราวเดียวก็ได้
3. ภายใน 90 วันก่อนวันสิ้นสุดอายุอนุสิทธิบัตร ผู้ทรงอนุสิทธิบัตรมีสิทธิขอต่ออายุอนุสิทธิบัตรได้ 2 ครั้ง มีกำหนดคราวละ 2 ปี โดยยื่นคำขอต่ออายุ ต่อพนักงานเจ้าหน้าที่
4. การอนุญาตให้ใช้สิทธิตามอนุสิทธิบัตรและการโอนอนุสิทธิบัตรต้องทำเป็นหนังสือและจดทะเบียนต่อพนักงานเจ้าหน้าที่

023393

2. เลขที่อนุสิทธิบัตร: 11126 เลขที่คำขอ: 153000685 ขอรับอนุสิทธิบัตร: 12 พฤษภาคม 2558

ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์: ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีการเชื่อมต่อด้วยยางบิวไทล์แบบพับชนในการกั้นน้ำซึมที่รอยต่อคีย์เวย์และกรรมวิธีการผลิต

เลขที่อนุสิทธิบัตร 11126



อสป/200 - ข

อนุสิทธิบัตร

อาศัยอำนาจตามความในพระราชบัญญัติสิทธิบัตร พ.ศ. 2522

แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2542

ประกาศกรมทรัพย์สินทางปัญญาออกอนุสิทธิบัตรฉบับนี้ให้แก่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บริษัท ฮายากาวา จำกัด

สำหรับการประดิษฐ์ตามรายละเอียดการประดิษฐ์ ข้อถือสิทธิ และรูปเขียน (ถ้ามี) ดังแสดงในอนุสิทธิบัตรนี้

เลขที่คำขอ 153000685

ขอรับอนุสิทธิบัตร 12 พฤษภาคม 2558

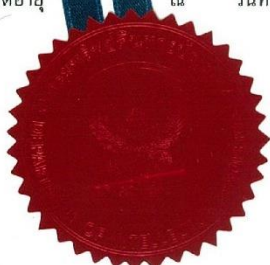
ผู้ประดิษฐ์ รองศาสตราจารย์ ดร.พูลศักดิ์ เพียรสุดม และคณะ

ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์ ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีการเชื่อมต่อด้วยยางบิวไทล์แบบพับชนในการกั้นน้ำซึมที่รอยต่อคีย์เวย์และกรรมวิธีการผลิต

ให้ผู้ทรงอนุสิทธิบัตรและหน้าที่ตามกฎหมายว่าด้วยสิทธิบัตรทุกประการ

ออกให้ ณ วันที่ 5 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559

หมดอายุ ณ วันที่ 11 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2564



(ลงชื่อ).....

(นายสุภาคม สว่างฤกษ์)

รองอธิบดีกรมทรัพย์สินทางปัญญา ปฏิบัติราชการแทน

อธิบดีกรมทรัพย์สินทางปัญญา

ผู้อำนวยการศูนย์

พนักงานเจ้าหน้าที่

- หมายเหตุ
1. ผู้ทรงอนุสิทธิบัตรต้องชำระค่าธรรมเนียมรายปีเริ่มแต่ปีที่ 5 ของอายุสิทธิบัตร มิฉะนั้น อนุสิทธิบัตรจะสิ้นอายุ
 2. ผู้ทรงอนุสิทธิบัตรจะขอชำระค่าธรรมเนียมรายปีล่วงหน้าโดยชำระทั้งหมดในคราวเดียวกันได้
 3. ภายใน 90 วันก่อนวันสิ้นอายุอนุสิทธิบัตร ผู้ทรงอนุสิทธิบัตรมีสิทธิขอต่ออายุอนุสิทธิบัตรได้ 2 ครั้ง มีกำหนดคราวละ 2 ปี โดยยื่นคำขอต่ออายุ ต่อพนักงานเจ้าหน้าที่
 4. การอนุญาตให้ใช้สิทธิตามอนุสิทธิบัตรและการโอนอนุสิทธิบัตรต้องทำเป็นหนังสือและจดทะเบียนต่อพนักงานเจ้าหน้าที่

023394

3. เลขที่อนุสิทธิบัตร: 11124 เลขที่คำขอ: 153000686 ขอรับอนุสิทธิบัตร: 12 พฤษภาคม 2558
 ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์: ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีการเชื่อมต่อด้วยแผ่นยางบิวไทล์แบบไม่
 พับชนในการกั้นน้ำซึมที่รอยต่อแบบเรียบและกรรมวิธีการผลิต


 เลขที่อนุสิทธิบัตร 11124 อสป/200 - ข

อนุสิทธิบัตร

อาศัยอำนาจตามความในพระราชบัญญัติสิทธิบัตร พ.ศ. 2522
 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2542
 ประกาศกระทรวงพาณิชย์ลงปัญหาออกอนุสิทธิบัตรฉบับนี้ให้แก่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 บริษัท ฮายากาวา จำกัด

สำหรับการประดิษฐ์ตามรายละเอียดการประดิษฐ์ ข้อถือสิทธิ และรูปเขียน (ถ้ามี)
 ในอนุสิทธิบัตรนี้

ที่คำขอ	153000686		
ขอรับอนุสิทธิบัตร	12 พฤษภาคม 2558		
ประดิษฐ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิฑิต ปานสุข และคณะ		
ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์	ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีการเชื่อมต่อด้วยแผ่นยางบิวไทล์แบบไม่		
	พับชนในการกั้นน้ำซึมที่รอยต่อแบบเรียบและกรรมวิธีการผลิต		

ให้ผู้ทรงสิทธิและหน้าที่ตามกฎหมายว่าด้วยสิทธิบัตรทุกประการ

ออกให้	ณ	วันที่	5	เดือน	พฤษภาคม	พ.ศ.	2559
หมดอายุ	ณ	วันที่	11	เดือน	พฤษภาคม	พ.ศ.	2564

(ลงชื่อ).....
 นายศุภมิตร สว่างดีกุล
 รองอธิบดีกรมทรัพย์สินทางปัญญา ปฏิบัติราชการแทน
 อธิบดีกรมทรัพย์สินทางปัญญา
 ผู้อำนวยการ

พนักงานเจ้าหน้าที่

- หมายเหตุ
1. ผู้ทรงอนุสิทธิบัตรต้องชำระค่าธรรมเนียมรายปีเริ่มแต่ปีที่ 5 ของอายุสิทธิบัตร มิฉะนั้น อนุสิทธิบัตรจะสิ้นสุดอายุ
 2. ผู้ทรงอนุสิทธิบัตรจะขอชำระค่าธรรมเนียมรายปีล่วงหน้าโดยชำระทั้งหมดในคราวเดียวกันได้
 3. ภายใน 90 วันก่อนวันสิ้นอายุอนุสิทธิบัตร ผู้ทรงอนุสิทธิบัตรมีสิทธิขอต่ออายุอนุสิทธิบัตรได้ 2 ครั้ง มีกำหนดคราวละ 2 ปี โดยยื่นคำขอต่ออายุ ต่อพนักงานเจ้าหน้าที่
 4. การอนุญาตให้ใช้สิทธิตามอนุสิทธิบัตรและการโอนอนุสิทธิบัตรต้องทำเป็นหนังสือและจดทะเบียนต่อพนักงานเจ้าหน้าที่ **023392**

4. เลขที่อนุสิทธิบัตร: 11127 เลขที่คำขอ: 153000687 ขอรับอนุสิทธิบัตร: 12 พฤษภาคม 2558
ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์: ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีการเชื่อมต่อด้วยยางบิวไทล์แบบพับใน
การกันน้ำซึมที่รอยต่อแบบเรียบและกรรมวิธีการผลิต

เลขที่อนุสิทธิบัตร 11127



อสป/200 - ข

อนุสิทธิบัตร

อาศัยอำนาจตามความในพระราชบัญญัติสิทธิบัตร พ.ศ. 2522
แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2542
อธิบดีกรมทรัพย์สินทางปัญญาออกอนุสิทธิบัตรฉบับนี้ให้แก่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
บริษัท ฮายากาวา จำกัด

สำหรับการประดิษฐ์ตามรายละเอียดการประดิษฐ์ ข้อถ้อยสิทธิ และรูปเขียน (ถ้ามี)
ตามกฎหมายในอนุสิทธิบัตรนี้

เลขที่คำขอ 153000687
ขอรับอนุสิทธิบัตร 12 พฤษภาคม 2558
ประดิษฐ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิฑิต ปานสุข และคณะ
ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์ ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีการเชื่อมต่อด้วยยางบิวไทล์แบบพับใน
การกันน้ำซึมที่รอยต่อแบบเรียบและกรรมวิธีการผลิต

ให้ผู้ทรงสิทธิและหน้าที่ตามกฎหมายว่าด้วยสิทธิบัตรทุกประการ

ออกให้ ณ วันที่ 5 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559
หมดอายุ ณ วันที่ 11 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2564



(ลงชื่อ).....
นายสุคนธ์ สว่างตุ้ม
รองอธิบดีกรมทรัพย์สินทางปัญญา ปฏิบัติราชการแทน
อธิบดีกรมทรัพย์สินทางปัญญา
ผู้อำนวยการ
ผู้ออกอนุสิทธิบัตร

พนักงานเจ้าหน้าที่

- หมายเหตุ
1. ผู้ทรงอนุสิทธิบัตรต้องชำระค่าธรรมเนียมรายปีเริ่มแต่ปีที่ 5 ของอายุสิทธิบัตร มิฉะนั้น อนุสิทธิบัตรจะสิ้นสุดอายุ
 2. ผู้ทรงอนุสิทธิบัตรจะขอชำระค่าธรรมเนียมรายปีล่วงหน้าโดยชำระทั้งหมดในคราวเดียวก็ได้
 3. ภายใน 90 วันก่อนวันสิ้นสุดอายุอนุสิทธิบัตร ผู้ทรงอนุสิทธิบัตรมีสิทธิขอต่ออายุอนุสิทธิบัตรได้ 2 ครั้ง มีกำหนดคราวละ 2 ปี โดยยื่นคำขอต่ออายุ ต่อพนักงานเจ้าหน้าที่
 4. การอนุญาตให้ใช้สิทธิตามอนุสิทธิบัตรและการโอนอนุสิทธิบัตรต้องทำเป็นหนังสือและจดทะเบียนต่อพนักงานเจ้าหน้าที่
- 023432**

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวเพ็ญพิชชา กฤตยากรนุพงศ์ เกิดเมื่อวันที่ 4 พฤศจิกายน 2533 ที่ กรุงเทพมหานคร เป็นบุตรคนที่ 2 จากทั้งหมด 2 คนของคุณพ่อสุรเกียรติ์ กฤตยากรนุพงศ์ และคุณแม่ประภา กฤตยากรนุพงศ์ เข้ารับการศึกษาในระดับอนุบาลที่โรงเรียนเปี่ยมสุวรรณวิทยาระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนวัดกำแพง ระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนวัดประดู่ในทองธรรม จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ในปีการศึกษา 2555 เข้ารับการศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา (โครงสร้าง) คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2556 จนถึงปัจจุบัน และเข้ารับการศึกษาระดับปริญญาเอกที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ประเทศอิตาลี