

การใช้ของเสียกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์บางส่วนในการผลิตมอร์ตาร์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2564

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Uses of photovoltaic glass waste as cement replacement in mortar production



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

Department of Environmental Engineering

FACULTY OF ENGINEERING

Chulalongkorn University

Academic Year 2021

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้ของเสียกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์บางส่วนในการผลิตมอร์ตาร์
โดย	น.ส.ครองขวัญ ช่างบุญ
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัฒน์ชัย สมิตถากร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธีกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัฒน์ชัย สมิตถากร)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.มนัสกร ราชอาณาจักร)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ตระการ ประภัสพงษา)

ครองขวัญ ช่างบุญ : การใช้ของเสียกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์บางส่วนในการผลิตมอร์ตาร์. (Uses of photovoltaic glass waste as cement replacement in mortar production) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ. ดร.วัฒนชัย สมิตถากร

จากปริมาณของเสียแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่กำลังจะเกิดขึ้นภายในระยะเวลา 20-30 ปี จากการติดตั้งในช่วงพ.ศ. 2545-2558 อาจจะเป็นน้ำหนักได้ถึง 235,954 ตัน โดยส่วนใหญ่ประเทศไทยนิยมใช้แผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอน ซึ่งแผงประเภทนี้มีปริมาณกระจกมากถึงร้อยละ 70-80 โดยน้ำหนักขององค์ประกอบแผง การจัดการของเสียแผงพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทยในขณะนี้มีการกำจัดด้วยการนำไปทิ้งที่หลุมฝังกลบอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นการจัดการที่ไม่ยั่งยืนเพราะเป็นการสูญเสียทรัพยากรอย่างไร้ประโยชน์ ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นในการนำกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอนน้ำหนักกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ โดยทำการศึกษาผลกระทบต่อสมบัติต่างๆของมอร์ตาร์ที่มีการแทนที่บางส่วนของปูนซีเมนต์ด้วยกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์บดละเอียดขนาด d_{50} ที่ 4.97 ไมโครเมตร ที่ร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก จากผลการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณผงกระจกจะทำให้ ค่าการขยายตัวของซีเมนต์เพสต์มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าการก่อตัวระยะต้นและระยะปลายของซีเมนต์เพสต์ลดลง ค่าการไหลแผ่ของมอร์ตาร์มีค่าลดลง การซึมผ่านของคลอไรด์ในมอร์ตาร์ลดลง สำหรับกำลังรับแรงอัดมอร์ตาร์ช่วงอายุต้นพบว่ามอร์ตาร์ที่มีปูนซีเมนต์ที่มีการแทนที่ด้วยผงกระจกร้อยละ 0 ให้กำลังรับแรงอัดสูงที่สุด แต่ที่อายุ 90 วัน มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 10 ให้กำลังรับแรงอัดที่สูงที่สุด เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกใช้เวลานานกว่าจะเกิดปฏิกิริยา

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2564

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

6170438521 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORD: Crystalline silicon photovoltaic panel glass Portland cement Mortar
 Khrongkhwan Khuangbun : Uses of photovoltaic glass waste as cement replacement in mortar production. Advisor: Assoc. Prof. PICHAYA RACHDAWONG, Ph.D. Co-advisor: Asst. Prof. WATANACHAI SMITTAKORN, Ph.D.

The amount of photovoltaic panel waste generated during the next 20-30 years from the installation during 2002-2015 could be up to 235,954 tons. Most of them are crystalline silicon photovoltaic panel. This type of photovoltaic panel contains up to 70-80% of glass by weight. The current management of photovoltaic panel waste in Thailand is disposal in landfills, which is not sustainable since the resource is wasted, not recycled. This research focuses on the recycling of crystalline silicon photovoltaic panel glass. To study the effects on the properties of mortar whose cement contents were partially replaced by ground photovoltaic panel glass with the d_{50} of 4.97 micrometer. The replacements were performed at 0%, 10%, 20% and 30%. The results showed that when glass powder addition was increased, expansion of cement paste subsequently increased, initial setting time and final setting time of cement paste, on the other hand, shorten, and percent flow of mortar decreased, Chloride permeability in the mortar was reduced. Compressive strength of mortar at the early age of 7, 28 and 56 days showed that the mortar with 0% of glass powder had the highest compressive strength. At 90 days, the mortar with 10 % of glass powder had the highest compressive strength. This was because the pozzolanic reaction took a long time to react.

Field of Study: Environmental Engineering Student's Signature

Academic Year: 2021

Advisor's Signature

Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยและการเขียนเล่มวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ข้าพเจ้า นางสาวครองขวัญ ช่างบุญ ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัฒนชัย สมิตถากร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษาและอบรมสั่งสอนตลอดระยะเวลาการทำงานวิจัย และขอขอบคุณประธานกรรมการและคณะกรรมการสอบทุกท่าน ในการตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของเล่มวิทยานิพนธ์ตลอดจนคำแนะนำต่างๆ เพื่อให้เล่มวิทยานิพนธ์สมบูรณ์ถูกต้อง

ผู้วิจัยขอขอบคุณโครงการพัฒนาระบบการวิจัยเชิงศิลปะของเสียแฝงพลังงานแสงอาทิตย์ในการสนับสนุนวัตถุดิบในการวิจัย และสำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.) ในการสนับสนุนทุนวิจัย

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณสุเทพ จอจวรรณศิริ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการบัดตัวอย่างกระจกแฝงพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ใช้ในการทำวิจัยในครั้งนี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านเครื่องมือและสถานที่ในการทำงานวิจัย

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณครอบครัว ได้แก่ นางนงลักษณ์ อเทอร์ตัน ประกอบกับบุคคลท่านอื่นในครอบครัวของผู้วิจัย ที่คอยให้การสนับสนุนทางด้านทุนทรัพย์ และเป็นกำลังใจให้ผู้วิจัยมาโดยตลอด สุดท้ายขอขอบคุณ เพื่อนๆภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ได้แก่ นายชินวัตร ชนะปะปาโมกข์ และ นางสาวอิงฉัตร สุภาพยาม ที่คอยให้กำลังใจ ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือมาโดยตลอด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ครองขวัญ ช่างบุญ

สารบัญ

	หน้า
.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูปภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 แฉงพลังงานแสงอาทิตย์.....	3
2.1.1 ปริมาณวัสดุตามประเภทแฉง.....	3
2.1.2 ส่วนประกอบของแฉงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอน	5
2.1.3 สมบัติของกระจกแฉงพลังงานแสงอาทิตย์	5
2.2 การบริหารจัดการซากแฉงพลังงานแสงอาทิตย์	6
2.2.1 แนวทางการจัดการซากแฉงพลังงานแสงอาทิตย์.....	7
2.2.2 การบริหารจัดการซากแฉงพลังงานแสงอาทิตย์ในต่างประเทศและในประเทศไทย	8

2.2.2.1 การบริหารจัดการซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศเยอรมนี.....	8
2.2.2.2 การบริหารจัดการซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศญี่ปุ่น.....	8
2.2.2.3 การบริหารจัดการซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย.....	9
2.3 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับแก้ว.....	10
2.3.1 การจำแนกประเภทของแก้ว.....	12
2.3.1.1 ประเภทของแก้วจำแนกตามลักษณะการใช้งาน.....	12
2.3.1.2 ประเภทของแก้วจำแนกตามชนิดขององค์ประกอบ.....	13
2.3.1.3 ประเภทของกระจกจำแนกตามกระบวนการผลิต.....	14
2.3.2 องค์ประกอบทางเคมีที่มีผลต่อสมบัติของแก้ว.....	15
2.4 ปูนซีเมนต์.....	16
2.4.1 ปฏิกริยาระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์.....	16
2.5 การประเมินคุณภาพของปูนซีเมนต์.....	17
2.5.1 ความละเอียดของปูนซีเมนต์ (Fineness of cement).....	17
2.5.2 ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ (Specific gravity of cement).....	17
2.5.3 การก่อตัวและการแข็งตัว (Setting and Hardening).....	18
2.5.4 ความอยู่ตัว (Soundness).....	18
2.5.5 มาตรฐานการทดสอบกำลังรับแรงอัดมอร์ตาร์ (Compressive strength of hydraulic cement mortar).....	18
2.6 สมบัติของปอซโซลาน.....	20
2.7 คลอไรต์ในคอนกรีต.....	21
2.7.1 ประเภทของคลอไรต์ในคอนกรีต.....	21
2.7.2 การแทรกซึมของคลอไรต์เข้าสู่คอนกรีต.....	22
2.7.3 กลไกการกัดกร่อนของคลอไรต์โดยปฏิกิริยาทางเคมีในคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	25
2.7.4 วิธีการทดสอบหาคลอไรต์และความสามารถต้านทานคลอไรต์ในคอนกรีต.....	26

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	28
บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย	33
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....	33
3.2 การดำเนินงานวิจัย.....	33
3.2.1 การเตรียมวัสดุ.....	33
3.2.1.1 เตรียมผงกระจกผงพลังงานแสงอาทิตย์.....	33
3.2.1.2 เตรียมทราย.....	34
3.2.2 การส่งวิเคราะห์หาสมบัติของวัสดุ.....	35
3.2.3 ทดสอบหาส่วนคละของทราย ด้วยวิธีร่อนตะแกรง (Sieve analysis) ตามมาตรฐาน ASTM C778.....	35
3.2.4 ทดสอบหาระยะการก่อตัวของปูนซีเมนต์ (Setting time).....	37
3.2.4.1 วิธีการทดสอบเพื่อหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม ตามมาตรฐาน ASTM C187....	37
3.2.4.2 วิธีการทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์ ตามมาตรฐาน ASTM C191.....	39
3.2.5 ทดสอบการหาค่าการไหลผ่าน (Percent flow) ตามมาตรฐาน ASTM C1437 และ ทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ (Compressive strength test) ตามมาตรฐาน ASTM C109.....	41
3.2.5.1 การเตรียมมอร์ตาร์.....	41
3.2.5.2 การทดสอบหาค่าการไหล ตามมาตรฐาน ASTM C1437	42
3.2.5.3 การทดสอบหาลังรับแรงอัด ตามมาตรฐาน ASTM C109.....	44
3.2.6 ทดสอบหาค่าการซึมผ่านของคลอไรด์ในมอร์ตาร์.....	46
3.2.6.2 การเตรียมมอร์ตาร์.....	47
3.2.6.3 ทดสอบหาปริมาณคลอไรด์ทั้งหมด (Total chloride) ตามมาตรฐาน ASTM C1152.....	50

3.2.6.4 ทดสอบหาปริมาณคลอไรด์อิสระ (Free chloride) ตามมาตรฐาน ASTM C1218.....	53
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล	54
4.1. วิเคราะห์สมบัติของปูนซีเมนต์ ผงกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์และทราย.....	54
4.1.1 วิเคราะห์สีฐานและรายละเอียดพื้นผิว	54
4.1.2 วิเคราะห์ความเป็นผลึก.....	55
4.1.3 วิเคราะห์ขนาด	55
4.1.4 ค่าความละเอียด	55
4.1.5 วิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมี.....	55
4.1.6 ความถ่วงจำเพาะ.....	56
4.1.7 ส่วนคละของทราย.....	57
4.2 สมบัติซีเมนต์เพสต์.....	57
4.2.1 ความอยู่ตัว.....	57
4.2.2 ระยะเวลาก่อตัว.....	58
4.3 สมบัติมอร์ตาร์.....	59
4.3.1 ค่าการไหลแผ่.....	59
4.3.2 กำลังรับแรงอัด.....	60
4.3.3 การซึมผ่านของคลอไรด์ในมอร์ตาร์.....	61
4.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ.....	65
4.4.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ.....	65
4.4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี.....	65
4.4.3 การวิเคราะห์สมบัติซีเมนต์เพสต์.....	65
4.4.4 การวิเคราะห์สมบัติมอร์ตาร์.....	66



4.5 แนวทางการประยุกต์ใช้มัลติมีเดียที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนด้วยผงกระจกแฉงพลังงานแสงอาทิตย์.....	69
บทที่ 5 บทสรุป.....	70
5.1 สรุปผลงานวิจัย.....	70
5.2 ข้อเสนอแนะ	71
บรรณานุกรม.....	72
ภาคผนวก.....	77
ภาคผนวก ก.....	78
ประวัติผู้เขียน.....	148



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอน ชนิดฟิล์มบาง ชนิดแคดเมียมเทลลูไรด์ และชนิดคอปเปอร์อินเดียมแกลเลียมไดเซเลไนด์	4
ตารางที่ 2 ประเภทของแก้วจำแนกตามชนิดขององค์ประกอบ	13
ตารางที่ 3 ประเภทของกระจกจำแนกตามกระบวนการผลิต	14
ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีที่มีผลต่อสมบัติของแก้ว	15
ตารางที่ 5 สมบัติด้านต่างๆของสารประกอบที่สำคัญในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.....	16
ตารางที่ 6 ปริมาณของวัสดุที่ใช้ผสมmortar.....	19
ตารางที่ 7 องค์ประกอบของแก้ว GS/GE และวัสดุอื่นๆที่ใช้ทั่วไปในปูนซีเมนต์	21
ตารางที่ 8 มาตรฐานคุณภาพคอนกรีต ASTM C1202	27
ตารางที่ 9 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของซีเมนต์และแก้วสี่ประเภทต่างๆ	28
ตารางที่ 10 แสดงกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่มีการการออกแบบส่วนผสมที่ต่างกัน	31
ตารางที่ 11 อัตราส่วนผสมซีเมนต์โพสท์.....	37
ตารางที่ 12 อัตราส่วนผสมmortar.....	41
ตารางที่ 13 อัตราส่วนผสมmortar.....	47
ตารางที่ 14 องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ ผงกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ และทราย.....	56
ตารางที่ 15 ส่วนคละทราย.....	57
ตารางที่ 16 ตารางสรุปการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	67

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 หลักการทำงานของแผงพลังงานแสงอาทิตย์.....	3
รูปที่ 2 ส่วนประกอบของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอน	5
รูปที่ 3 กระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผ่านการอบแยก.....	6
รูปที่ 4 ตัวอย่างของเทคโนโลยีการรีไซเคิลแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาภายใต้ NEDO ในปี 2014	9
รูปที่ 5 ลักษณะของโครงสร้าง SiO ₂ (ก) แบบอสัณฐาน (Amorphous) (ข) แบบผลึก (Crystalline) (ค) หน่วยย่อยของ (SiO ₄) ⁴⁻	10
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างเอนทัลปีหรือปริมาตรที่อุณหภูมิต่างๆ.....	11
รูปที่ 7 การทดสอบความเป็นผลึกโดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction) (ก) วัสดุอสัณฐาน (Amorphous) (ข) วัสดุที่มีโครงสร้างแน่นอน (Crystalline).....	12
รูปที่ 8 การแพร่ของคลอไรด์จากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ	23
รูปที่ 9 การดึงดูดไอออนในคอนกรีต.....	23
รูปที่ 10 การดึงดูดแคพพิลารี.....	24
รูปที่ 11 การเคลื่อนที่ของคลอไรด์จากบริเวณที่มีแรงดันน้ำสูงไปยังบริเวณที่มีแรงดันน้ำต่ำ.....	24
รูปที่ 12 การเกิดปฏิกิริยากัดกร่อนของคลอไรด์โดยปฏิกิริยาเคมีในคอนกรีตเสริมเหล็ก	26
รูปที่ 13 การทำงานของเครื่องทดสอบความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ด้วยวิธีการเร่ง.....	27
รูปที่ 14 ผลของการทดสอบความต้านทานของการแทรกซึมคลอไรด์ด้วยวิธีการฉีดสี	28
รูปที่ 15 แสดงการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานบริเวณรอบๆขอบเม็ดแก้ว.....	29
รูปที่ 16 แสดงกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแก้วขนาด 150 ไมโครเมตร 75 ไมโครเมตร และ 38 ไมโครเมตร ในอายุ 3, 7, 28 และ 90 วัน.....	30
รูปที่ 17 แสดงกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแก้วร้อยละ 0, 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ ในอายุ 7, 14, 28, 56, 180 และ 90 วัน	30

รูปที่ 18 แสดงการแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีตระหว่างคอนกรีตที่ไม่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ คอนกรีตที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแก้วร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ และคอนกรีต ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 10 และ 20 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ ในอายุ 28, 56 และ 90 วัน	32
รูปที่ 19 แผงพลังงานแสงอาทิตย์ (ก) แผงขนาด 200.8x100.2 เซนติเมตร (ข) แผงที่ตัดให้มีขนาด 16x16 เซนติเมตร	33
รูปที่ 20 แผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผ่านการอบ.....	34
รูปที่ 21 ส่วนประกอบแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้หลังจากการอบแยก (ก) กระจก (ข) เซลล์ซิลิกอน (ค) แฉกโลหะเชื่อมระหว่างเซลล์	34
รูปที่ 22 (ก) เครื่องบดแบบลูกบอล (Ball mill) (ข) ผงกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผ่านการ บดละเอียด	34
รูปที่ 23 ทราเยมน้ำ.....	35
รูปที่ 24 อบทราเย.....	36
รูปที่ 25 ตะแกรงร่อน เบอร์ 16, 30, 50 และ 100	36
รูปที่ 26 ชั่งน้ำหนักทราเยที่ค้ำบนตะแกรง.....	36
รูปที่ 27 เครื่องทดสอบไวแคต	37
รูปที่ 28 โยนสลักมือแนวราบห่างกันประมาณ 15 เซนติเมตร จำนวน 6 ครั้ง	38
รูปที่ 29 นำซีเมนต์เพสต์ใส่ในแบบรูปกรวย G โดยใส่จากด้านบน.....	38
รูปที่ 30 ปาดซีเมนต์เพสต์ส่วนเกินออกจากแบบ G โดยใช้เกรียงปาดเพียงครั้งเดียว.....	38
รูปที่ 31 ปรับสเกลบอกระยะ F ให้อ่านค่าศูนย์	39
รูปที่ 32 คลายสกรู E เพื่อให้ก้านเข็มตอกอย่างอิสระและจมเข้าไปในเนื้อซีเมนต์เพสต์ เป็นเวลา 30 วินาที เมื่อครบ 30 วินาทีให้หมุนสกรู E เพื่อหยุดการตอกอย่างอิสระของก้านเข็ม อ่านค่าระยะจมของ เข็มไวแคต	39
รูปที่ 33 วางซีเมนต์เพสต์ไว้ในอ่างน้ำ เป็นเวลาประมาณ 30 นาที.....	40
รูปที่ 34 นำตัวอย่างไปวางบนเครื่องทดสอบไวแคต ปรับระยะเข็มไวแคตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ขนาด 1 มิลลิเมตร ให้ลงมาสัมผัสกับผิวหน้าของซีเมนต์เพสต์ ปรับสเกลระยะทาง F ให้เป็นศูนย์ ...	40

รูปที่ 35 ปลอ่ยให้เข็มไวแคตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ตกอิสระเป็นเวลา 30 วินาที เมื่อครบ 30 วินาที ให้ลือกสกรู E อ่านค่าระยะจวมของเข็มไวแคตจากสเกลระยะทาง F.....	41
รูปที่ 36 ผสมมอร์ตาร์ในเครื่องผสม.....	42
รูปที่ 37 ตักมอร์ตาร์ใส่แบบและปาดมอร์ตาร์ส่วนเกินออกทิ้ง.....	42
รูปที่ 38 ยกแบบขึ้นในแนวตั้งอย่างช้าๆ จะได้มอร์ตาร์ตามรูปทรงของแบบ.....	43
รูปที่ 39 หมุนที่หมุนของโต๊ะการไหลจำนวน 25 รอบภายใน 15 วินาที.....	43
รูปที่ 40 ใช้คาลิเปอร์วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของมอร์ตาร์ จำนวน 4 ครั้ง ตรงตำแหน่งซึ่งมีมุมห่างกัน 45 องศา.....	43
รูปที่ 41 ตักมอร์ตาร์ใส่แบบหล่อ กระทบด้วยไม้กระทบ 32 ครั้งต่อ 1 ตัวอย่าง	44
รูปที่ 42 ใช้เกรียงปาดผิวหน้าของมอร์ตาร์ให้เรียบ	44
รูปที่ 43 บ่มมอร์ตาร์ในน้ำปูนขาวอิ่มตัว	45
รูปที่ 44 นำมอร์ตาร์ขึ้นมาจากน้ำปูนขาว แล้วใช้ดตัวอย่างให้แห้ง	45
รูปที่ 45 ชั่งน้ำหนักมอร์ตาร์.....	45
รูปที่ 46 ทดสอบการรับน้ำหนักของมอร์ตาร์ด้วยเครื่องทดสอบ.....	46
รูปที่ 47 ผสมมอร์ตาร์ในเครื่องผสม.....	48
รูปที่ 48 นำมอร์ตาร์ใส่แบบหล่อ โดยแบ่งการเทเป็น 2 ชั้นเท่าๆกัน โดยใช้เหล็กกระทบจำนวน 25 ครั้งต่อชั้น.....	48
รูปที่ 49 ใช้ไม้เคาะแบบหล่อด้านนอกเบาๆจำนวน 10-15 ครั้ง จากนั้นใช้เกรียงปาดผิวหน้าให้เรียบ	48
รูปที่ 50 นำมอร์ตาร์บ่มในน้ำปูนขาวอิ่มตัว.....	49
รูปที่ 51 นำมอร์ตาร์ไปเคลือบผิวด้วยอีพอกซี โดยจะให้มิด้านหน้าวงกลม 1 หน้าที่ไม่เคลือบผิว จากนั้นวางทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ให้อีพอกซีแห้ง.....	49
รูปที่ 52 นำแท่งมอร์ตาร์ที่ผ่านการเคลือบผิวแล้ว ลงไปแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl)....	49
รูปที่ 53 ตัดมอร์ตาร์ที่ความลึกต่างๆ	50
รูปที่ 54 ตัวอย่างการตัดมอร์ตาร์ที่ความลึกต่างๆ	50

รูปที่ 55 บดตัวอย่างแต่ละชั้นให้ละเอียด.....	50
รูปที่ 56 ชั่งผงมอร์ตาร์ปริมาณ 10 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์.....	50
รูปที่ 57 เติมน้ำกลั่น 75 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ แล้วเติมกรดไนตริก (HNO ₃) ที่อัตราส่วน 1:1 ลงไป 25 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน จากนั้นปิดด้วยกระดาษฟิวส์.....	51
รูปที่ 58 ให้ความแก่บีกเกอร์โดยการต้มให้เดือด.....	51
รูปที่ 59 เทสารละลายผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1.....	51
รูปที่ 60 การปิเปตตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ แล้วเติมน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร.....	52
รูปที่ 61 ปิเปตสารละลายที่เจือจางแล้ว 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่.....	52
รูปที่ 62 เติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต (K ₂ CrO ₄) เข้มข้นร้อยละ 5 ลงไป 1 มิลลิลิตร และเติมสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (NaHCO ₃) เข้มข้นร้อยละ 2 ลงไป 13 มิลลิลิตร.....	52
รูปที่ 63 ไทเทรตด้วยสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO ₃) จนเปลี่ยนเป็นตะกอนสีส้ม.....	53
รูปที่ 64 รูปที่ ภาพถ่ายขยายกำลังขยายรายละเอียดพื้นผิวของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 โดยวิธี Scanning electronic microscope (SEM) ที่กำลังขยาย 200, 800, 1,500 และ 3,000 เท่า.....	54
รูปที่ 65 ภาพถ่ายขยายกำลังขยายรายละเอียดพื้นผิวของผงกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ โดยวิธี Scanning electronic microscope (SEM) ที่กำลังขยาย 200, 800, 1,500 และ 3,000 เท่า.....	54
รูปที่ 66 ผลการทดสอบการวิเคราะห์ความเป็นผลึกของผงกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer).....	55
รูปที่ 67 ผลการทดสอบหาค่าความอยู่ตัวของซีเมนต์เพสต์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์.....	58
รูปที่ 68 ผลการทดสอบหาค่าการก่อตัวระยะต้นและการก่อตัวระยะปลายของซีเมนต์เพสต์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์.....	59
รูปที่ 69 ผลการทดสอบค่าการไหลผ่านของมอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์.....	60
รูปที่ 70 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ ที่การบ่มอายุ 7, 28, 56 และ 90 วัน.....	61

รูปที่ 71 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ตาร์ที่แช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เป็นเวลา 28 วัน....	63
รูปที่ 72 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ตาร์ที่แช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เป็นเวลา 56 วัน....	63
รูปที่ 73 คลอไรด์อิสระในมอร์ตาร์ที่แช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เป็นเวลา 28 วัน.....	64
รูปที่ 74 ปริมาณคลอไรด์อิสระในมอร์ตาร์ที่แช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เป็นเวลา 56 วัน.....	64



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

นับตั้งแต่ปีพ.ศ.2545 ประเทศไทยได้มีการลงทุนผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มากขึ้น และมีแนวโน้มที่สูงขึ้นเรื่อยๆ เพราะได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐรวมไปถึงภาคเอกชนเองก็ได้ให้ความสนใจในเรื่องนี้ เนื่องจากความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในประเทศที่เพิ่มมากขึ้น ดังนั้น ภาครัฐจึงได้มีการส่งเสริมให้มีการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์มากขึ้น โดยตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกเดิม ภายในปีพ.ศ. 2579 จะให้มีการติดตั้งได้รวม 6,000 เมกะวัตต์ จากข้อมูล ณ ปีพ.ศ. 2560 พบว่าได้มีการดำเนินการแล้ว 2,849 เมกะวัตต์ แต่ในแผนพัฒนาใหม่จะทำให้ทำการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นอีก 12,725 เมกะวัตต์ ในช่วงปีพ.ศ.2561-2580 รวมทั้งสิ้น ปลายปีพ.ศ. 2580 จะมีการติดตั้งรวม 15,574 เมกะวัตต์ (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2562)

แม้ว่าพลังงานแสงอาทิตย์ถือเป็นพลังงานสะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม แต่ก็ยังมีประเด็นของปัญหาการกำจัดซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่หมดความคุ้มค่าในการผลิตไฟฟ้า อันได้แก่ แผงที่หมดอายุการใช้งาน (End of life) โดยแผงมีอายุการใช้งานราว 20-30 ปี ขึ้นอยู่กับประเภทสภาพแวดล้อม การบำรุงรักษา และแผงอาจเกิดความเสียหายจากอุบัติเหตุต่างๆ จากข้อมูลการติดตั้งตั้งแต่ปี พ.ศ.2545-2558 สามารถคาดการณ์ปริมาณซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่กำลังจะเกิดขึ้นในอีก 20-30 ปีข้างหน้าได้ พบว่ามีปริมาณซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์สะสมถึง 2,621.71 เมกะวัตต์ (ไม่รวมแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งหลังพ.ศ.2558) หรือคิดเป็นน้ำหนักของซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ 235,954 ตัน (พิชญ รัชฎาวงศ์ และคณะ, 2559)

ซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่หมดสภาพการใช้งานจัดเป็นขยะประเภทขยะอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic waste) ซึ่งขยะประเภทนี้จะต้องมีการจัดการอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ เนื่องจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์มีองค์ประกอบของโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว (Pb) แคดเมียม (Cd) เป็นต้น หากกำจัดอย่างไม่ถูกวิธีอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากพิษของโลหะหนัก ในปัจจุบันศักยภาพของประเทศไทยในการจัดการกับซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ยังคงไม่มีประสิทธิภาพที่ดีพอ เพราะยังไม่มีโรงงานรีไซเคิลอย่างครบวงจร โดยทำการกำจัดซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยวิธีการกำจัดอย่างง่าย ซึ่งใช้การคัดแยกอย่างง่ายแล้วนำส่วนที่เหลือไปบดย่อยเป็นชิ้นเล็กๆ ก่อนนำเข้ากระบวนการปรับเสถียรแล้วนำไปทิ้งที่หลุมฝังกลบอุตสาหกรรม (Secured landfill) (ณิชา บุรณสิงห์, 2561)

จากการคาดการณ์ปริมาณซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่จะเกิดขึ้น จึงเล็งเห็นแนวทางที่จะนำซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์นำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ โดยงานวิจัยนี้มุ่งเน้นในการนำกระจกจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอนมาใช้ประโยชน์ เนื่องจากเมื่อคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักขององค์ประกอบแผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอนพบว่า มีองค์ประกอบที่เป็นกระจกมากถึงร้อยละ 70-80 โดยน้ำหนักขององค์ประกอบ (Paiano, 2015) ดังนั้นจึงมุ่งเน้นในการนำกระจกที่ผ่านการแยกออกจากตัวเซลล์ของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอนบดละเอียดเพื่อใช้เป็นวัสดุในการผลิตมอร์ตาร์ เพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพของมอร์ตาร์และเพิ่มความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านของคลอไรด์ไอออนในมอร์ตาร์

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาสมบัติพื้นฐานของกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมี
2. ศึกษาการต้านทานการซึมผ่านของคลอไรด์ไอออนในมอร์ตาร์ที่มีองค์ประกอบของผงกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์
3. ศึกษาการเปรียบเทียบสมบัติเบื้องต้นของมอร์ตาร์ที่มีองค์ประกอบของผงกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ (ค่าความอยู่ตัว ระยะการก่อตัว ค่าการไหลแผ่ และกำลังรับแรงอัด)

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. กระจกที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้จากซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอน
2. ใช้กระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์บดละเอียดเป็นวัสดุปอซโซลานเพื่อใช้ทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์บางส่วน
3. ระยะเวลาในการทดสอบกำลังรับแรงอัดมอร์ตาร์ไม่เกิน 90 วัน
4. ทดสอบการต้านทานการซึมผ่านของคลอไรด์ไอออนในมอร์ตาร์
5. เปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับผงกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

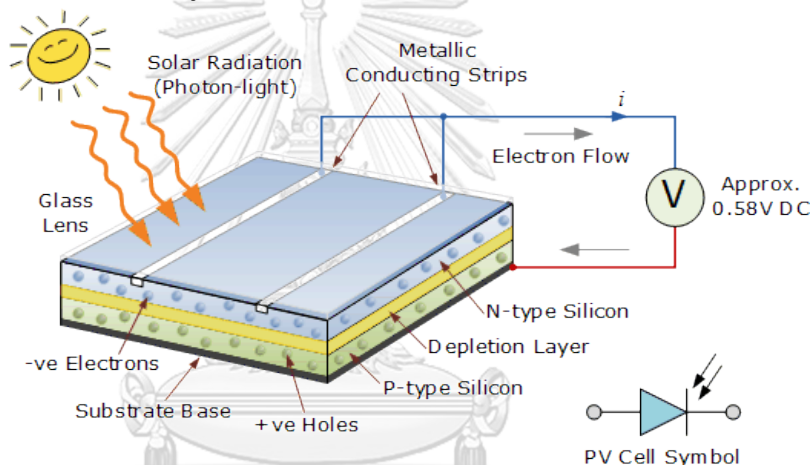
1. เป็นแนวทางในการนำกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่หมดสภาพการใช้งานแล้วมาประยุกต์ใช้ในการผลิตมอร์ตาร์
2. ช่วยลดการนำกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่หมดสภาพการใช้งานแล้วไปฝังกลบ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แผงพลังงานแสงอาทิตย์

ระบบเทคโนโลยีของแผงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นระบบไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่างๆซึ่งทำงานร่วมกัน องค์ประกอบของระบบแผงพลังงานแสงอาทิตย์ประกอบด้วย 2 กลุ่ม ได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cells) และอุปกรณ์เชื่อมต่อนระบบ (Balance of system technologies) โดยจะทำการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (Direct current) ผ่านการถ่ายทอดพลังงานจากพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำ เกิดการถ่ายทอดพลังงานระหว่างกันและเกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าทำให้ได้ไฟฟ้ากระแสตรง (Shubbak, 2019) ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 หลักการทำงานของแผงพลังงานแสงอาทิตย์

ที่มา: (www.electronics-tutorials.ws)

2.1.1 ปริมาณวัสดุตามประเภทแผง

แผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่นิยมใช้ในประเทศไทยคือแผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดผลึก (Crystalline silicon) ทำมาจากผลึกซิลิกอน โดยแผงชนิดนี้ได้รับความนิยมในการใช้งานมากที่สุดในปัจจุบัน และอีกชนิดคือ แผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง (Thin film) แผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดนี้เริ่มได้รับความนิยมรองมาจากแบบผลึกซิลิกอนเนื่องจากมีต้นทุนที่ถูกกว่าและใช้ซิลิกอนในปริมาณที่น้อยกว่าแบบผลึกซิลิกอน สัดส่วนของกำลังการผลิตไฟฟ้าสะสมจากปีพ.ศ.2552-2558 เท่ากับ ชนิดผลึกซิลิกอน (c-Si) : ชนิดฟิล์มบางซิลิกอน (a-Si) : ชนิดแคดเมียมเทลลูไรด์ (CdTe) : ชนิดคอปเปอร์อินเดียมแกลเลียมไธเซเลไนด์ (CIGS) = 85.19 : 12.76 : 0.35 : 1.71 แผงพลังงานแสงอาทิตย์แต่ละชนิดมีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีและโครงสร้างที่ใช้ใน

การผลิต โดยทำการจำแนกองค์ประกอบของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอนและชนิดฟิล์มบางออกเป็นดัง ตารางที่ 1 (Paiano, 2015) (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2560)

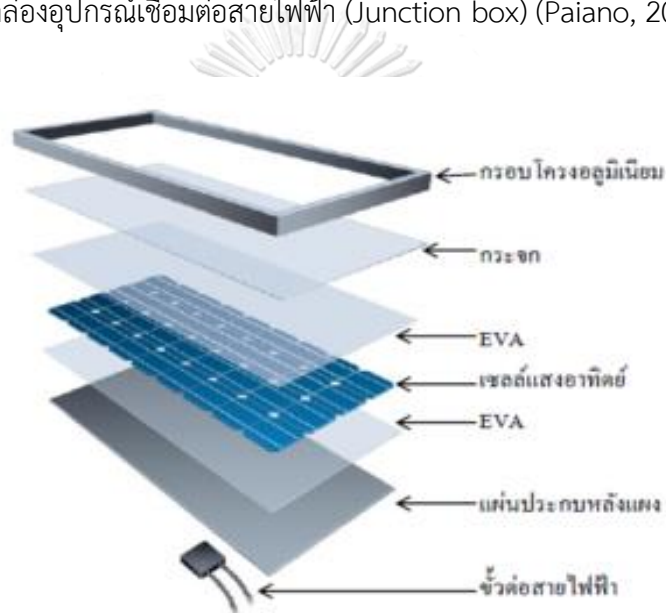
ตารางที่ 1 องค์ประกอบของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอน ชนิดฟิล์มบาง ชนิดแคดเมียมเทลลูไรด์ และชนิดคอปเปอร์อินเดียมแกลเลียมไดเซเลไนด์ (Paiano, 2015)

องค์ประกอบ (ร้อยละโดย ปริมาณ)	ชนิดผลึก ซิลิกอน (Crystalline silicon, c- Si)	ชนิดฟิล์มบาง ซิลิกอน (Amorphous silicon, a-Si)	ชนิดแคดเมียม เทลลูไรด์ (Cadmium telluride, CdTe)	ชนิดคอปเปอร์ อินเดียมแกลเลียม ไดเซเลไนด์ (Copper indium gallium diselenide, CIGS)
กระจก	74.16	86	95	84
อลูมิเนียม	10.30	0.035	0.35	12
วัสดุหุ้ม	6.55		3.5	3
เทตล้า	3.60			
กาว (เช่น ซิลิโคน)	1.16	0.02		
โพลีออล		12		
ทองแดง	0.57	0.9	1	0.8
โลหะเงิน	0.004-0.006			
ดีบุก	0.12	0.043		
สังกะสี	0.12		0.01	0.12
ซิลิกอน	3.35	0.0064		
ตะกั่ว	0.06			0.05
แคดเมียม			0.07	0.0005
เทลลูเรียม			0.07	
อินเดียม		0.5		0.02
ซีลีเนียม				0.03
แกลเลียม				0.01
เจอร์เมเนียม		0.5		

2.1.2 ส่วนประกอบของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอน

แผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอนมีส่วนประกอบดังต่อไปนี้

1. กรอบอลูมิเนียม (Aluminum frame)
2. กระจก (glass)
3. แผ่นโพลีเมอร์ห่อหุ้มเซลล์เอทิลอะซิเตต (Ethyl vinyl acetate)
4. แผงเซลล์ซิลิกอน (Silicon solar cell)
5. แถบโลหะเชื่อมระหว่างเซลล์ (Cell stringing ribbons)
6. แผ่นประกบหลังแผง (Back sheet)
7. กล่องอุปกรณ์เชื่อมต่อสายไฟฟ้า (Junction box) (Paiano, 2015)



รูปที่ 2 ส่วนประกอบของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอน

ที่มา: (<https://www.richestsupply.com>)

2.1.3 สมบัติของกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์

กระจกที่ใช้ในการผลิตแผงพลังงานแสงอาทิตย์จะเป็นกระจกที่มีธาตุเหล็กต่ำ (Low iron) และผลิตด้วยการรีดด้วยลวดลายบนพื้นผิวหนึ่งด้าน เพื่อช่วยจับแสงสะท้อนและเพิ่มการส่งผ่านแสง (Light transmission) โดยแสงอาทิตย์จะสามารถส่องผ่านได้ถึงร้อยละ 91 กระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์นั้นมียังประกอบทางเคมีที่คล้ายกับแก้วโซดาไลม์ (Soda lime glass) แต่กระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์จะมีความแข็งแรงมากกว่ากระจกทั่วไป ทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เมื่อเกิดการแตกจะแตกเป็นเม็ดเล็กๆ มีความแหลมคมไม่มาก (Humood และคณะ, 2017)



รูปที่ 3 กระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผ่านการอบแยก

2.2 การบริหารจัดการซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานหมุนเวียนที่มีข้อดีหลายประการ มีความปลอดภัย มีประสิทธิภาพ และไม่ก่อให้เกิดมลพิษ โดยเทคโนโลยีแผงพลังงานแสงอาทิตย์ได้เป็นที่สนใจของทั่วโลก การผลิตพลังงานจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับความนิยมและพุ่งสูงขึ้นในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมา ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของความพยายามในระดับโลกในการขยายการผลิตพลังงานสะอาด โดยมีการคาดการณ์ว่าพลังงานจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์จะกลายมาเป็นพลังงานที่ใช้ในทั่วโลก (Bakhiyi และคณะ, 2014) ความต้องการพลังงานจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ทั่วโลกเพิ่มขึ้นจาก 1 กิกะวัตต์ ในปี พ.ศ. 2547 เป็น 57 กิกะวัตต์ ในปี พ.ศ. 2558 ซึ่งเป็นอัตราการเติบโตมากกว่า ร้อยละ 20 ซึ่งเร็วกว่าอุตสาหกรรมพลังงานหมุนเวียนอื่นๆ (Amezquita, 2018)

อย่างไรก็ตาม แผงพลังงานแสงอาทิตย์มีข้อจำกัดในการใช้งานในเรื่องของอายุการใช้งาน โดยมีอายุการใช้งานราว 20-30 ปี เมื่อหมดอายุการใช้งานซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์เหล่านี้จะกลายเป็นของเสียอันตรายในอีกรูปแบบหนึ่ง ทำให้การจัดการซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์กลายเป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญในอีกรูปแบบหนึ่ง (Aman และคณะ, 2015) การรีไซเคิลซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากส่วนประกอบของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ประกอบด้วย ผลิตซิลิกอน ซึ่งมีมูลค่าสูง โลหะชนิดต่างๆที่มีมูลค่า อาทิเช่น โลหะเงิน และทองแดงเป็นต้น อีกทั้งยังมีส่วนประกอบของพวกโลหะหนัก อาทิเช่น ตะกั่ว ดีบุก และแคดเมียม ซึ่งโลหะหนักเหล่านี้สามารถก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและเกิดพิษต่อมนุษย์ ดังนั้นการนำแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้แล้วมา รีไซเคิล จะสามารถลดของเสียและมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมได้ (Cucchiella และคณะ, 2015)

จากความกังวลในการจัดการกับซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ทำให้สหภาพยุโรปได้กำหนดการจัดการซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้แล้วทิ้งซึ่งจะไปตามระเบียบ เศษเหลือทิ้งของผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Waste Electrical and Electronic Equipment: WEEE) โดยองค์ประกอบของซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์จะต้องรวบรวมอยู่ในระบบการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ และจะต้องรวบรวมเพื่อรีไซเคิล (Bio Intelligence service, 2011)

(McDonald และคณะ, 2010) โดยผู้ผลิตแผงพลังงานแสงอาทิตย์จะต้องชำระค่าธรรมเนียมการรีไซเคิล อย่างไรก็ตามมีเพียงไม่กี่ประเทศที่ทำตามข้อกำหนดของสหภาพยุโรป เนื่องจากปริมาณซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ยังมีปริมาณที่ต่ำ และค่าใช้จ่ายในการรีไซเคิลสูง อีกทั้งโรงงานแปรรูปและรีไซเคิลแผงพลังงานแสงอาทิตย์มีไม่กี่แห่งบนโลก ทำให้การจัดการซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์จะต้องมีการศึกษาและวิจัยเพื่อพัฒนาวิธีการจัดการให้มีประสิทธิภาพและมีความคุ้มค่า (Yamashita และคณะ, 2003) (Wambach และคณะ, 2011)

2.2.1 แนวทางการจัดการซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์

จากการศึกษางานวิจัยต่างๆ สามารถสรุปแนวทางการจัดการซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ออกมาเป็น 4 แนวทางหลักๆ ได้แก่

1. การคัดแยกเบื้องต้นและนำส่วนที่เหลือฝังกลบ

เป็นการคัดแยกเบื้องต้น โดยแยกเฉพาะวัสดุที่สามารถถอดแยกได้ง่าย ได้แก่ กรอบอลูมิเนียม ลวดทองแดง และกล่องสายไฟ แล้วนำส่วนที่เหลือไปกำจัดตามแนวทางของกรมอุตสาหกรรมกำหนด โดยการนำไปบด จากนั้นนำไปรับเสถียรเพื่อนำไปทิ้งลงหลุมฝังกลบ ซึ่งแนวทางการจัดการนี้จะนิยมใช้ในประเทศที่กำลังพัฒนาที่ไม่มีโรงงานรีไซเคิลภายในประเทศ (Latunussa และคณะ, 2016) โดยแนวทางในการจัดการด้วยวิธีนี้จะมียield ค่าใช้จ่ายหลักจากการขนส่งและค่าฝังกลบซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ในส่วนที่เหลือจากการคัดแยก (พิชญ รัชฎาวงศ์ และคณะ, 2559)

2. การคัดแยกเบื้องต้น บด คัดแยกวัสดุหลังการบด และนำส่วนที่เหลือไปฝังกลบ

เป็นการคัดแยกเบื้องต้น โดยแยกเฉพาะวัสดุที่สามารถถอดแยกได้ง่าย ได้แก่ กรอบอลูมิเนียม ลวดทองแดง และกล่องสายไฟ แล้วนำส่วนที่เหลือไปบด เพื่อคัดแยกกระจกออกมา จากนั้นนำส่วนที่เหลือปรับเสถียรเพื่อทิ้งลงหลุมฝังกลบ แต่กระจกที่ได้จากการแยกด้วยวิธีนี้จะสามารถแยกกระจกได้เพียงร้อยละ 25 ของกระจกทั้งหมด เนื่องจากส่วนที่เหลือมีสิ่งเจือปนซึ่งปนเปื้อน อาทิเช่น พลาสติก ซิลิกอนเวเฟอร์ และวัสดุหุ้ม (EVA) เป็นต้น จนไม่สามารถนำมารีไซเคิลต่อได้ (Tao และคณะ, 2020) โดยแนวทางในการจัดการด้วยวิธีนี้จะมียield ค่าใช้จ่ายหลักจากค่าไฟฟ้าของเครื่องบด ค่าแรงในการคัดแยก

3. การคัดแยกเบื้องต้น ใช้เครื่องมือในการแยกกระจก และฝังกลบส่วนที่เหลือ (พิชญ รัชฎาวงศ์ และคณะ, 2559)

เป็นแนวทางที่พัฒนาขึ้นมาจากแนวทางที่ 2 เพื่อแก้ไขปัญหาการคัดแยกกระจกออกมาได้ไม่สมบูรณ์ โดยเริ่มจากการแยกเฉพาะวัสดุที่สามารถถอดแยกได้ง่าย ได้แก่ กรอบอลูมิเนียม ลวดทองแดง และกล่องสายไฟ จากนั้นใช้กระบวนการทางความร้อนในการอบแผงพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อสลายวัสดุหุ้ม (EVA) ให้กระจกกับซิลิกอนเวเฟอร์แยกออกจากกัน กระจกมีความบริสุทธิ์มากขึ้น เนื่องจากสิ่งเจือปนที่ติดอยู่กับกระจกจะหลุดออก (Tammaro และคณะ, 2015) โดยแนวทางในการจัดการด้วยวิธีนี้จะมียield ค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแยกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ แต่

แนวทางนี้จะสามารถนำวัสดุกลับมาใช้ใหม่ได้ค่อนข้างสูง อีกทั้งยังช่วยลดปริมาณการนำซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ไปฝังกลบ (พิชญ์ รัชฎาวงศ์ และคณะ, 2559)

4. การคัดแยกเบื้องต้น และแยกวัสดุเพื่อนำกลับมาผลิตเป็นแผงพลังงานแสงอาทิตย์ใหม่

เป็นแนวทางที่พัฒนาขึ้นมาจากแนวทางที่ 3 โดยมีแนวทางในการนำวัสดุจากซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์กลับเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลให้มากที่สุด ลดปริมาณการฝังกลบให้น้อยที่สุด โดยการนำซิลิกอนเวเฟอร์มาสกัดด้วยสารเคมี ให้มีความบริสุทธิ์เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตแผงพลังงานแสงอาทิตย์ใหม่ อีกทั้งโลหะที่มีค่าที่ได้จากการสกัดด้วยสารเคมี คือ เงิน ซึ่งสามารถนำเข้าสู่กระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ (Tao และคณะ, 2020) โดยแนวทางในการจัดการด้วยวิธีนี้จะมีค่าใช้จ่ายสูงที่สุด (พิชญ์ รัชฎาวงศ์ และคณะ, 2559)

2.2.2 การบริหารจัดการซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ในต่างประเทศและในประเทศไทย

2.2.2.1 การบริหารจัดการซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศเยอรมนี

แนวทางการจัดการซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศเยอรมนีได้รับอิทธิพลจากกฎระเบียบ WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment) ซึ่งเป็นกฎระเบียบในการบริหารจัดการของเสียอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ในสหภาพยุโรป โดยมีการระบุให้ผู้ผลิตมีหน้าที่ในการรับผิดชอบในการจัดการกับซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีระบบในการเรียกคืนและรีไซเคิล ซึ่งครอบคลุมทั้งการบริหารจัดการ ทั้งการรายงานและด้านการเงิน อีกทั้งประเทศเยอรมนีมีการประกาศใช้กฎหมายว่าด้วยการจัดการซากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Act governing the sale, return and environmentally sound disposal of electrical and electronic equipment, ElektroG) โดยวัตถุประสงค์ของกฎหมายฉบับนี้คือ เพื่อลดปริมาณซากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่จะถูกกำจัด ส่งเสริมการนำกลับมาใช้ใหม่หรือรีไซเคิล หรือหาวิธีอื่นที่สามารถนำเครื่องใช้ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เหล่านั้นปรับสภาพกลับมาใช้ใหม่ได้

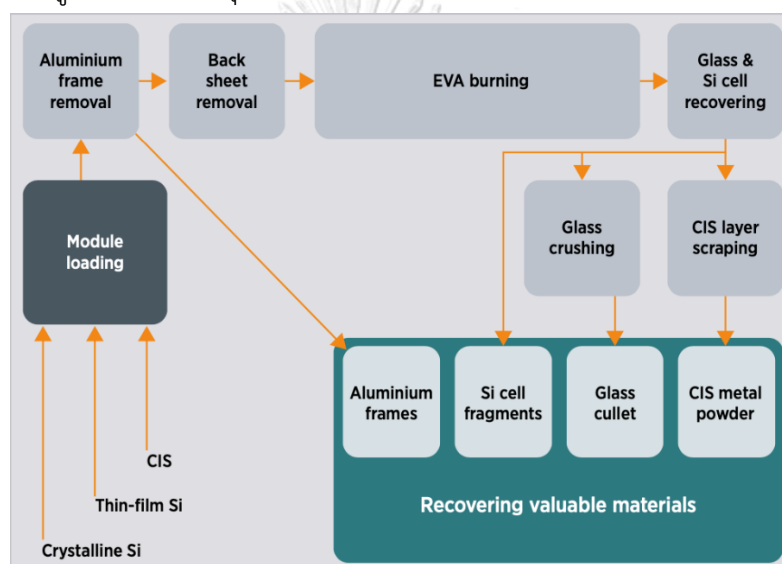
การจัดการซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศเยอรมนีอยู่ภายใต้การควบคุมของสำนักทะเบียนผู้ก่อขยะอิเล็กทรอนิกส์ National Register for Waste Electrical Equipment (Stiftung Elektro-Altgeräte Register หรือ Stiftung EAR) ซึ่งเป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบขึ้นทะเบียนและออกเลขทะเบียนให้กับผู้ผลิตซึ่งจะเป็นผู้รับผิดชอบหลังหมดอายุการใช้งาน โดยผู้ผลิตจะมีหน้าที่ในการเรียกคืนแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่หมดอายุการใช้งานนำมาถอดแยกกรีไซเคิลหรือส่งต่อไปโรงงานที่รับผิดชอบต่อ โดยผู้ผลิตเป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายในการดำเนินการทั้งหมด โดยต้องมีการจัดทำบัญชีแสดงปริมาณของขยะที่เกิดขึ้น

2.2.2.2 การบริหารจัดการซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศญี่ปุ่น

การจัดการกับซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ในญี่ปุ่นยังไม่มีกฎหมายในการบังคับ มีเพียงกฎหมายที่ใช้ในการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นกฎหมายที่ส่งเสริมให้ลดการเกิดขยะพวก

อุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ด้วย The Law for Promotion of Effective Utilization of Resources (LPUR) และ The Law for Recycling of Specified Home Appliance (LRHA) โดยญี่ปุ่นได้มีศูนย์รวบรวมจำนวน 380 แห่งทั่วประเทศ เพื่อรวบรวมและส่งไปยังสถานที่ที่สามารถทำการรีไซเคิลตามกฎหมายต่อไป

ประเทศญี่ปุ่นได้ทำการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีในการรีไซเคิลแผงพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งดำเนินการโดย The New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) โดยทำการวิจัยสร้างเทคโนโลยีการรีไซเคิลต้นทุนต่ำและตรวจสอบการจัดการที่เหมาะสมที่สุด โดยจะพยายามแยกชิ้นส่วนออกมาให้ได้มากที่สุดและนำวัสดุที่มีค่าน่ากลับมารีไซเคิล ส่วนวัสดุที่ยากต่อการแยกจะถูกส่งไปยังหลุมฝังกลบ (Weckend และคณะ, 2016)



รูปที่ 4 ตัวอย่างของเทคโนโลยีการรีไซเคิลแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาภายใต้ NEDO ในปี 2014

ที่มา: (Weckend และคณะ, 2016)

2.2.2.3 การบริหารจัดการซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย

ตามประกาศคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน เรื่องมาตรการป้องกัน แก้ไข และติดตามตรวจสอบ ผลกระทบสิ่งแวดล้อมสำหรับผู้ประกอบกิจการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จากเทคโนโลยีแผงโฟโตโวลเทอิกที่เข้าข่ายต้องได้รับใบอนุญาตประกอบกิจการผลิตไฟฟ้า พ.ศ. 2557 และประกาศคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน เรื่อง มาตรการด้านการออกแบบติดตั้งและการจัดการขยะและกากของเสียสำหรับผู้ประกอบกิจการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จากเทคโนโลยีแผงโฟโตโวลเทอิก ที่ได้รับการยกเว้นไม่ต้องขอรับใบอนุญาตประกอบกิจการผลิตไฟฟ้า พ.ศ. 2557 ที่กำหนดให้ ผู้ประกอบกิจการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 2 ประเภท ปฏิบัติตามประมวลหลักการปฏิบัติ (Code of Practice: CoP) ที่แนบท้ายประกาศแต่ละฉบับ โดยในประมวลหลักการ

ปฏิบัติที่แนบท้าย ประกาศทั้ง 2 ฉบับ ได้กำหนดวิธีการจัดการกับซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไว้ คล้ายคลึงกัน โดยจะต้องเสนอมาตรการในการจัดการกับซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์และอุปกรณ์ อื่นๆ ที่ชำรุดหรือหมดอายุการใช้งานในระยะดำเนินการให้สอดคล้องกับแนวทางในกรณีดังต่อไปนี้

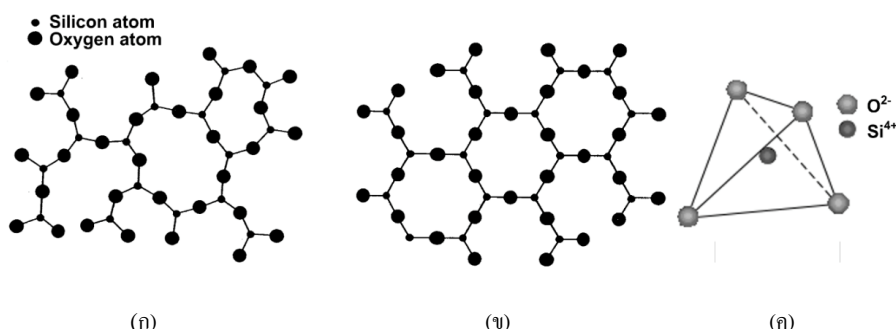
1. กรณีส่งออกจัดการนอกประเทศ ต้องปฏิบัติตามกฎหมายว่าด้วยวัตถุอันตรายและ ข้อกำหนดระหว่างประเทศ ซึ่งเมื่อดำเนินการแล้วเสร็จให้แจ้งสำนักงานทราบภายใน 30 วัน นับจากที่ มีการส่งออกไปจัดการนอกประเทศ

2. กรณีการจัดการภายในประเทศ ต้องดำเนินการฝังกลบในหลุมฝังกลบของเสียอันตราย (Secure land fill) หรือเผาทำลายด้วยเตาเผาเฉพาะของเสียอันตรายหรือจัดการด้วยวิธีอื่นที่เป็นไป ตามกฎหมายว่าด้วยโรงงาน ซึ่งต้องแจ้งต่อสำนักงานให้ทราบทุกปี

ทั้งนี้ผู้ประกอบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ จะต้องดำเนินโครงการให้เป็นไปตาม มาตรฐานและข้อกำหนด โดยเน้นมาตรการ 2 มาตรการคือ มาตรการด้านการออกแบบระบบไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์ และมาตรการด้านการจัดการขยะและกากของเสีย เพื่อจัดการขยะและกากของ เสียจากกิจกรรมการก่อสร้างโครงการ และป้องกันการปนเปื้อนกากของเสียต่อสิ่งแวดล้อม (ปัญญา จันทรล่อ, 2018)

2.3 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับแก้ว

แก้วเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างอสัณฐาน (Amorphous) หรือมีการจัดตัวของโครงสร้างที่ไม่เป็น ระเบียบของอะตอมต่างๆ ซึ่งไม่เหมือนกับวัสดุที่มีโครงสร้างผลึกแน่นอน (Crystalline solid) ซึ่งจะมี การจัดตัวอย่างเป็นระเบียบและมีระยะห่างระหว่างมุมอะตอมอย่างสม่ำเสมอ โดยอะตอมของซิลิกอน (Si) 1 อะตอมจะมีออกซิเจน (O) 4 อะตอมล้อมรอบ ซึ่งจะเหมือนกับแก้ว แต่แก้วจะมีการจัดเรียงตัว และมีระยะห่างระหว่างมุมอะตอมที่ไม่แน่นอน

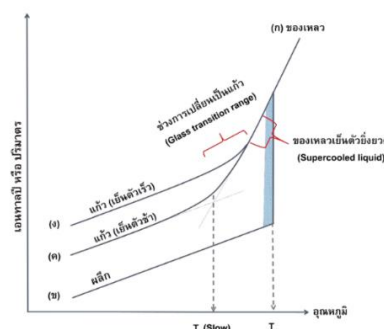


รูปที่ 5 ลักษณะของโครงสร้าง SiO_2 (ก) แบบอสัณฐาน (Amorphous) (ข) แบบผลึก (Crystalline)

(ค) หน่วยย่อยของ $(\text{SiO}_4)^{4-}$

ที่มา: (ณัฐพล เล่าห์รอดพันธุ์, 2558)

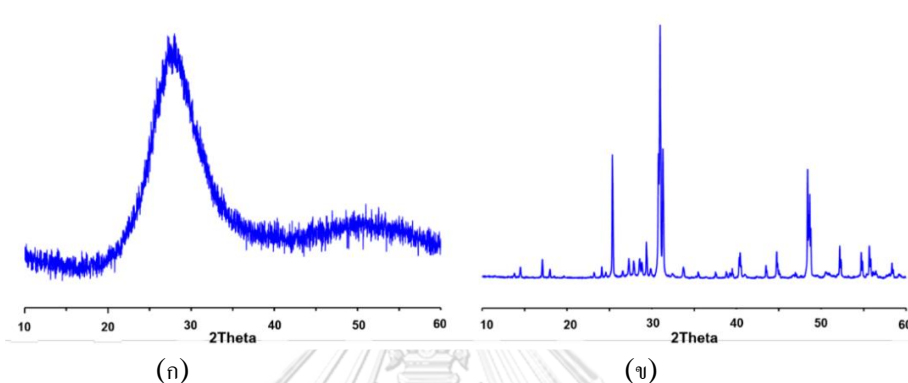
วัสดุที่ใช้หลอมแก้ว จะถูกหลอมให้อยู่ในสถานะของเหลว ณ อุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลว (Melting point, T_m) ของวัสดุนั้น ซึ่งเป็นจุดที่ของแข็งและของเหลวมีความดันไอและพลังงานอิสระของกิบส์ (Gibbs free energy) เท่ากัน ซึ่งจะเป็นจุดที่เกิดผลึก (Crystallization) ณ จุดหลอมเหลวนี้ พร้อมกับการหลอมเหลว ส่งผลให้ผลึกปริมาณน้อยเกิดสมดุลเทอร์โมไดนามิก (Thermodynamic equilibrium) กับของเหลว การเกิดเป็นผลึกจะขึ้นอยู่กับปริมาณของของเหลวที่เย็นตัวเมื่ออุณหภูมิที่ต่ำกว่า โดยผลึกจะเกิดขึ้นเมื่อ มีนิวคลีโอ (Nuclei) หรือนิวเคลียสเกิดขึ้นมาก และอัตราการโตของผลึก (Crystal growth rate) มากกว่าอัตราการหลอมเหลว หากของเหลวมีอุณหภูมิลดลงต่ำกว่าจุดหลอมเหลว (T_m) และยังคงอยู่ในช่วงที่แรงเงาเป็นเวลานาน จะทำให้เกิดของแข็งและมีการเคลื่อนที่ของอะตอมไปที่บริเวณรอยต่อระหว่างของแข็งของเหลวจะมีสูง เนื่องจากแรงขับเคลื่อนทางเทอร์โมไดนามิก (Thermodynamic driving force) สถานะที่เกิดขึ้นนี้จะทำให้นิวคลีโอไปมีมากขึ้นและเพิ่มอัตราการโตของผลึก เกิดเป็นผลึกขึ้นในระหว่างการเย็นตัวและค่าเอนทัลปีและปริมาตรของระบบลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่ออุณหภูมิต่ำลง เอนทัลปีหรือปริมาตรของระบบจะลดลงอย่างช้าๆ ขึ้นอยู่กับความจุความร้อนของผลึกหรือการขยายตัวเพราะความร้อน (Thermal expansion) ของผลึก แต่หากอัตราการเย็นตัวของของเหลวเร็วมาก จะส่งผลให้อุณหภูมิของระบบลดลงต่ำกว่าบริเวณที่แรงเงาเกิดเป็นของเหลวเย็นตัวยิ่งยวด (Supercooled liquid) เมื่อเอนทัลปีหรือปริมาตรลดลงอย่างต่อเนื่อง อะตอมต่างๆ จะเคลื่อนที่ช้าลง จนไม่สามารถจัดเรียงตัวให้มีความเป็นระเบียบเหมือนกับโครงร่างผลึกได้ โดยปริมาตรหดตัวช้าลงเนื่องจากความหนืดของระบบสูงขึ้น จนของเหลวแข็งตัวและเกิดเป็นแก้ว และเมื่ออุณหภูมิมักขึ้น อัตราการลดลงของเอนทัลปีและอัตราการหดตัวของแก้ว เท่ากับอัตราการลดลงของเอนทัลปีและปริมาตรของผลึก โดยช่วงการเปลี่ยนเป็นแก้ว (Glass transition rang) คือช่วงที่เส้นกราฟมีความโค้ง ซึ่งเป็นช่วงรอยต่อระหว่างของเหลวที่มีการเย็นตัวยิ่งยวดกับช่วงที่อะตอมหยุดเคลื่อนที่ (Fictive point) โดยอุณหภูมิที่เกิดการหยุดเคลื่อนที่ของอะตอมเรียกว่า Fictive temperature (T_f) หาได้จากจุดตัดระหว่างเส้นกราฟการหดตัวของของเหลวเย็นตัวยิ่งยวดกับเส้นกราฟการหดตัวของแก้ว



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างเอนทัลปีหรือปริมาตรที่อุณหภูมิต่างๆ

ที่มา: (ณัฐพล เลาห์รอดพันธุ์, 2558)

การผลิตแก้วนั้นสามารถผลิตได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของแก้ว ทำได้โดยการหลอมวัตถุดิบชนิดต่างๆ ตามส่วนผสมและอุณหภูมิที่กำหนดไว้ หลอมวัสดุจนกลายเป็นของเหลวหนืดหรือน้ำแก้วที่เรียกว่าของเหลวปราศจากผลึก (Crystal free melt) จากนั้นทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว กลายเป็นวัสดุแก้ว โดยแก้วจะไม่มีโครงสร้างเป็นผลึก (Crystal structure) แต่จะมีโครงสร้างเป็นอสัณฐาน (Amorphous structure) ซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction) หรือ เทคนิคการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอน (Electron diffraction)



รูปที่ 7 การทดสอบความเป็นผลึกโดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction) (ก) วัสดุอสัณฐาน (Amorphous) (ข) วัสดุที่มีโครงสร้างแน่นอน (Crystalline)

ที่มา: (ณัฐพล เล่าห์รอดพันธุ์, 2558)

2.3.1 การจำแนกประเภทของแก้ว

2.3.1.1 ประเภทของแก้วจำแนกตามลักษณะการใช้งาน

แก้วสามารถจำแนกตามประเภทการใช้งานได้ โดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

- 1.บรรจุภัณฑ์ (Container glass) คือ ขวด แก้วน้ำ ถ้วย และจาน เป็นต้น แก้วประเภทนี้จะใช้การเป่าก้อนแก้วเหลว (Gob) เพื่อให้ได้รูปร่างตามต้องการ องค์ประกอบทางเคมีของแก้วโดยทั่วไปประกอบด้วย ซิลิกา (SiO_2) ร้อยละ 72 โซเดียมออกไซด์ (Na_2O) ร้อยละ 14 แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ร้อยละ 11 และอลูมินา (Al_2O_3) ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก
2. กระจก (Flat glass) คือ กระจกเป็นวัสดุที่หลอมรวมระหว่าง ทราายแก้ว, หินปูน, หินฟิม้า, หินโดโลไมต์, เศษกระจก และโซดาแอช หลอมด้วยความร้อน 1,500-1,600 องศาเซลเซียส จนหลอมละลายเป็นน้ำแก้วผ่านกระบวนการต่างๆเพื่อขึ้นรูปเป็นแผ่น ให้ได้คุณสมบัติตามความต้องการ
3. แก้วเพื่อวัตถุประสงค์อื่นๆ คือ แก้วเพื่อการตกแต่ง (Lead crystal glass) เลนส์แก้ว (Glass lens) แก้วเส้นใย (Fiber glass) (ณัฐพล เล่าห์รอดพันธุ์, 2558) (พินัส เลิศเลื่อมใส และ บุรพล แจ้งสว่าง, 2559)

2.3.1.2 ประเภทของแก้วจำแนกตามชนิดขององค์ประกอบ

ตารางที่ 2 ประเภทของแก้วจำแนกตามชนิดขององค์ประกอบ

(The Corning Museum of Glass, 2011) (สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2560)

ประเภทของแก้ว	องค์ประกอบที่สำคัญ	สมบัติ
แก้วโซดาไลม์ (Soda-lime glass)	ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO ₂) ร้อยละ 60-70 โซเดียมออกไซด์ (Na ₂ O) ร้อยละ 12-18 แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ร้อยละ 5-12	ทนทานต่อความร้อนและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่ำและมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมีปานกลาง
แก้วตะกั่ว (Lead glass)	ตะกั่วออกไซด์ (PbO) มากกว่าร้อยละ 20	มีดัชนีหักเหสูงกว่าแก้วชนิดอื่นๆ ทำให้มีประกายแวววาวสวยงาม ใช้ทำเครื่องแก้วราคาแพง มีความทนทานต่อความร้อนและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่ำเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีเยี่ยม
แก้วบอโรซิลิเกต (Borosilicate glass)	บอริกออกไซด์ (B ₂ O ₃) อย่างน้อยร้อยละ 5	มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำ ทนทานต่อความร้อนและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูง และทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีสูง
แก้วอลูมิเนียมซิลิเกต (Aluminosilicate glass)	อะลูมิเนียมออกไซด์ (AlO ₃) มากกว่าร้อยละ 20 แคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) ปริมาณน้อย	หลอมยากและการขยายตัวต่ำเมื่อได้รับความร้อน
แก้วโอปอล (Opal glass)	โซเดียมฟลูออไรด์ (NaF) หรือ แคลเซียมฟลูออไรด์ (CaF ₂)	แก้วมีความขุ่นหรือโปร่งแสง
แก้วอัลคาไลน์เอิร์ท อลูมิเนียมซิลิเกต (Alkaline-earth aluminosilicate glass)	แคลเซียมออกไซด์ (CaO) หรือแบเรียมออกไซด์ (BaO)	มีค่าดัชนีหักเหสูงคล้ายกับแก้วตะกั่ว มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมีสูงกว่าแก้วตะกั่ว

2.3.1.3 ประเภทของกระจกจำแนกตามกระบวนการผลิต

ตารางที่ 3 ประเภทของกระจกจำแนกตามกระบวนการผลิต

(พินัส เลิศเลื่อมใส และ บุรพล แจ้งสว่าง, 2559)

ประเภทของกระจก	กระบวนการผลิต
กระจกธรรมดา (Float glass)	แบ่งออกเป็น 2 ชนิดได้แก่ กระจกใส (Clear glass) ซึ่งเป็นกระจกโปร่งแสงยอมให้แสงผ่านได้ร้อยละ 75-92 ของแสงที่ตกกระทบ ขึ้นอยู่กับความหนาของกระจก และกระจกสี (Tinted glass) ซึ่งเป็นกระจกที่ดูดกลืนความร้อน ผลิตโดยการผสมโลหะออกไซด์ ทำให้กระจกมีสีสน
กระจกอบความร้อน (Heat treated glass)	ผ่านกระบวนการปรับแต่งคุณภาพของเนื้อกระจก แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ กระจกนิรภัย (Tempered glass) ซึ่งผ่านกระบวนการเทมเปอร์ริง (Tempering) โดยให้ความร้อนกับกระจกแล้วทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้กระจกที่ผ่านกระบวนการนี้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น 4 เท่า เมื่อแตกจะมีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ และกระจกฮีตสเตรงเทน (Heat strength glass) ซึ่งผ่านกระบวนการให้ความร้อนแก่กระจกแล้วจะปล่อยให้เย็นตัวลงอย่างช้าๆ จึงมีความแข็งแรงน้อยกว่าจะกนิรภัย
กระจกเคลือบผิว (Surface coated glass)	ผ่านกระบวนการเคลือบโลหะบนผิวกระจกเพื่อให้เกิดการสะท้อนแสงและความร้อนจากแสงอาทิตย์ ได้แก่ กระจกสะท้อนแสงอาทิตย์ (Solar reflective glass) เคลือบผิวด้วยโลหะออกไซด์ ซึ่งมีคุณสมบัติในการสะท้อนแสงได้บางส่วน มีความโปร่งใสน้อย มีสีสนสวยงาม และกระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำ (Low-E glass) เป็นกระจกที่เคลือบสารโลหะเงินเป็นองค์ประกอบสำคัญ เพื่อให้ผิวที่เคลือบมีการคายรังสีต่ำ มีลักษณะใส ให้ค่าแสงส่องผ่านมากและมีค่าการสะท้อนน้อย
กระจกตัดแปลง	เป็นกระจกที่นำมาตัดแปลงด้วยกระบวนการต่างๆ เพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป ได้แก่ กระจกฉนวนกันความร้อน (Insulated glass) กระจกฮีตสโตป (Heat stop) กระจกนิรภัยหลายชั้น (Laminated glass) และกระจกอื่นๆ

2.3.2 องค์ประกอบทางเคมีที่มีผลต่อสมบัติของแก้ว
 ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีที่มีผลต่อสมบัติของแก้ว
 (ฉันทะพล เล่าห์รอดพันธุ์, 2558)

องค์ประกอบทางเคมี	ผลต่อสมบัติของแก้ว
ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO ₂)	แก้ว ให้ความแข็งแรง ทนทานต่อความร้อนและสารเคมี มีความหนืดสูง
โซเดียมคาร์บอเนต (Na ₂ CO ₃)	ช่วยลดอุณหภูมิในการหลอมเหลวแก้ว ไม่มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมี หากมีปริมาณมากจะทำให้แก้วสามารถละลายน้ำได้
แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO ₃)	ช่วยลดอัตราการละลายน้ำ ที่เกิดจากการผสมโซเดียมคาร์บอเนต
โซเดียมออกไซด์ (Na ₂ O)	ช่วยลดอุณหภูมิในการหลอมเหลวแก้ว ทำให้เกิดการเปราะ ไม่มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมี
โพแทสเซียมออกไซด์ (K ₂ O)	ช่วยให้การตกผลึกเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ทำให้ผลึกเกิดการเรียงตัวอย่างสวยงาม
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	ช่วยให้แก้วสามารถขึ้นรูปได้เร็วขึ้นเมื่อเย็นตัว ช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมีได้ดีขึ้น
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	ช่วยให้แก้วสามารถขึ้นรูปได้เร็วขึ้นเมื่อเย็นตัว ช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมีได้ดีขึ้น
แบเรียมออกไซด์ (BaO)	ช่วยให้แก้วสามารถขึ้นรูปได้เร็วขึ้นเมื่อเย็นตัว ช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมีได้ดีขึ้น
อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al ₂ O ₃)	ช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมีได้ดีขึ้น
โบรอนออกไซด์ (B ₂ O ₃)	ช่วยให้มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำ มีความทนทานต่อความร้อนและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผันผวนสูง และมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมีสูง
เลดออกไซด์ (PbO)	ช่วยให้เนื้อแก้วใส มีดัชนีหักเหสูง มีความอ่อนไม่แข็งกระด้าง
เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe ₂ O ₃)	ช่วยลดเชื้อเพลิงในการหลอม แต่จะส่งผลให้เนื้อกระจกมีสีเขียว
ออกไซด์อื่นๆ	เพิ่มสีสันต่างๆในเนื้อกระจก สามารถเติมสารเคมีอื่นๆได้ เช่น เติมโคบอลต์ออกไซด์ (CoO) ให้สีน้ำเงิน เติมยูเรเนียม (U) ให้สีเหลือง เติมนิกเกิล (Ni) ให้สีน้ำตาล และเติมแมงกานีส (Mn) ให้สีชมพู

2.4 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผา หินปูนหรือดินปูนขาว กับ ดินเหนียวกับหินดาน จนรวมตัวด้วยกันออกมาเป็นเม็ดปูน องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของเม็ดปูนได้แก่ ปูนขาว (CaO) ซิลิกา (SiO₂) อลูมินา (Al₂O₃) และเหล็ก (Fe₂O₃) เมื่อเผาวัตถุดิบเหล่านี้จะเกิดปฏิกิริยาเคมีรวมตัวกันเป็นสารประกอบในเม็ดปูน สารประกอบสำคัญได้แก่ ไตรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalcium silicate, C₃S) ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium silicate, C₂S) ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (Tricalcium aluminate, C₃A) เทตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (Tetracalcium aluminoferrite, C₄AF) นอกจากนี้ยังมีสารประกอบอื่นๆ ซึ่งปะปนอยู่ในปริมาณน้อยได้แก่ แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) แมงกานีส (III) ออกไซด์ (Mn₂O₃) โพแทสเซียมออกไซด์ (K₂O) โซเดียมออกไซด์ (Na₂O) เป็นต้น

2.4.1 ปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์

สารประกอบต่างๆที่อยู่ในปูนซีเมนต์ เมื่อนำไปผสมกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) ซึ่งมีผลกระทบต่อสมบัติต่างๆของมอร์ตาร์หรือคอนกรีต ดังตารางที่ 6 ตารางที่ 5 สมบัติด้านต่างๆของสารประกอบที่สำคัญในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (วินิต ช่อวิเชียร, 2557)

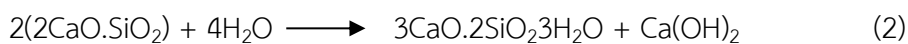
สมบัติ	ผลของสารประกอบ			
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน	ปานกลาง	ช้า	รวดเร็ว	ช้า
ความร้อนของปฏิกิริยาไฮเดรชัน	ปานกลาง	น้อย	มาก	น้อย
การพัฒนากำลังรับแรง ระยะแรก	สูง	ต่ำ	สูง	ต่ำ
การพัฒนากำลังรับแรง ระยะหลัง	สูง	สูง	ต่ำ	ต่ำ
ความทนทานต่อการกัดกร่อนซัลเฟต	ปานกลาง	สูง	ต่ำ	-

1. ไตรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalcium silicate, C₃S) มีอัตราการเกิดปฏิกิริยากับน้ำปานกลาง ให้ความร้อนเมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันประมาณ 120 แคลอรีต่อกรัม ทำให้เกิดกำลังรับแรงอัดได้เร็วในระยะแรกช่วงประมาณ 14 วันแรกหลังผสมและทนต่อการกัดกร่อนของซัลเฟตได้ปานกลาง ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังสมการที่ 1



2. ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium silicate, C₂S) มีอัตราการเกิดปฏิกิริยากับน้ำช้า ให้ความร้อนเมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันประมาณ 60 แคลอรีต่อกรัม ทำให้เกิดกำลังรับแรงอัดได้

เพิ่มขึ้นในระยะหลังตั้งแต่ 14-28 วันหลังผสมและทนต่อการกัดกร่อนของซัลเฟตสูง อีกทั้งมีการหดตัวน้อย (Drying shrinkage) ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังสมการที่ 2



3. ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (Tricalcium aluminate, C_3A) มีอัตราการเกิดปฏิกิริยากับน้ำรวดเร็ว ให้ความร้อนเมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันประมาณ 210 แคลอรีต่อกรัม ทำให้เกิดกำลังรับแรงอัดได้รวดเร็วในระยะแรกช่วงประมาณ 1 วันแรกหลังผสม แต่ไม่ได้ช่วยในการพัฒนา กำลังรับแรงอัดในช่วงหลัง และไม่ทนต่อการกัดกร่อนของซัลเฟต อีกทั้งทำให้เกิดความไม่คงตัว (Unsoundness) ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังสมการที่ 3



4. เตตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (Tetracalcium aluminoferrite, C_4AF) อัตราการเกิดปฏิกิริยากับน้ำช้า เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันประมาณ 100 แคลอรีต่อกรัม ไม่ค่อยมีส่วนในการพัฒนา กำลังรับแรงอัดในระยะแรกและระยะหลัง ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังสมการที่ 4 (วินิต ช่อวิเชียร, 2557)



2.5 การประเมินคุณภาพของปูนซีเมนต์

2.5.1 ความละเอียดของปูนซีเมนต์ (Fineness of cement)

ขนาดของอนุภาคปูนซีเมนต์มีความสำคัญต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ ซึ่งส่งผลต่อการเกิดเป็นกำลังรับแรงอัด ผงปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดมากจะมีพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับน้ำมากกว่าผงปูนซีเมนต์ที่มีความหยาบกว่า ดังนั้นผงปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดมากจะทำให้ซีเมนต์เฟสแข็งตัวได้เร็วกว่า อย่างไรก็ตามผงปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดมากเกินไปจะส่งผลทำให้ผงปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยากับความชื้นในอากาศจับตัวกันเป็นก้อน ซึ่งอาจส่งผลทำให้คุณภาพของปูนซีเมนต์ลดลง ซึ่งวิธีทดสอบหาค่าความละเอียดแบ่งออกเป็น 2 วิธี ได้แก่ การหาส่วนค้ำงบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200 ตามมาตรฐาน ASTM C786 และการใช้เครื่องหาความซึมอากาศเบลน (Blaine air-permeability apparatus) ตามมาตรฐาน ASTM C204 (ASTM C786, 2003) (ASTM C204, 2019) (วินิต ช่อวิเชียร, 2557)

2.5.2 ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ (Specific gravity of cement)

ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณหาอัตราส่วนในการผสมของคอนกรีต และหาพื้นที่ผิวจำเพาะซึ่งบอกถึงความละเอียดของปูนซีเมนต์ โดนปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดมากจะมีความถ่วงจำเพาะสูง โดยทั่วไปปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 3.15 (วินิต ช่อวิเชียร, 2557)

2.5.3 การก่อตัวและการแข็งตัว (Setting and Hardening)

การก่อตัวและการแข็งตัวคือเมื่อนำปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำจะมีลักษณะนุ่มเหลว เมื่อปล่อยให้แห้งไว้ซีเมนต์เพสต์จะไม่คืนตัวและจะอยู่ในสถานะแข็งตัวไม่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้โดยปราศจากการแตกหัก โดยปกติการก่อตัว (setting) ของซีเมนต์เพสต์จะเริ่มเป็นก้อนแข็งภายใน 2-3 ชั่วโมง และจะเกิดการแข็งตัว (hardening) ตามมา โดยระยะเวลานั้นจะขึ้นอยู่กับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ โดยระยะเวลาในการก่อตัว (setting time) แบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือ ระยะเวลาเริ่มก่อตัวระยะต้น (Initial setting time) เริ่มนับจากเวลาที่ปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำจนถึงจุดแข็งตัวเริ่มต้น โดยมีค่าระหว่าง 75-105 นาที และการก่อตัวระยะปลาย (Final setting time) เริ่มนับจากเวลาที่ปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำจนถึงจุดแข็งตัวสุดท้าย โดยมีค่าระหว่าง 150-200 นาที ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการก่อตัวคือ อุณหภูมิ ปริมาณของน้ำที่ใช้ผสม เพราะอุณหภูมิจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ อีกทั้งปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมมีอิทธิพลอย่างมากต่อระยะเวลาการก่อตัวและแข็งตัว ซึ่งวิธีการทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวทำได้โดยการทดสอบแบบไวแคต (Vicat test) ตามมาตรฐาน ASTM C191 และสามารถหาค่าน้ำที่เหมาะสมที่ใช้ในการผสมซีเมนต์เพสต์ด้วยมาตรฐาน ASTM C187 (ASTM C191, 2021) (ASTM C187, 2016) (วินิต ช่อวิเชียร, 2557)

2.5.4 ความอยู่ตัว (Soundness)

ความอยู่ตัว (Soundness) ซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัวแล้ว จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรมากนัก แต่ความไม่อยู่ตัว (Unsoundness) จะส่งผลทำให้เกิดการขยายตัวในเนื้อซีเมนต์เพสต์ เกิดจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ถูกหน่วงทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างช้าๆ จึงส่งผลทำให้มอร์ตาร์หรือคอนกรีตเกิดการแตกร้าว ซึ่งการถูกหน่วงของปฏิกิริยานั้นเกิดได้จากปริมาณของยิบซัมหรือปูนขาวอิสระ (Free lime) หรือแมกนีเซียมออกไซด์ ในปูนซีเมนต์มากเกินไป จะทำให้เมื่อเผาปูนเม็ดมากเกินไปส่งผลให้เกิดเยื่อต่างๆ หุ้มรอบเม็ดปูน ซึ่งจะไปหน่วงปฏิกิริยาให้เกิดขึ้นอย่างช้าๆ โดยวิธีการทดสอบหาความอยู่ตัวของปูนซีเมนต์ ทำได้โดยหาการขยายตัวของแท่งปูนซีเมนต์เพสต์ขนาด 25x25x285 มิลลิเมตร โดยผ่านการอบในเตา autoclave เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง โดยค่าการขยายตัวต้องไม่เกินร้อยละ 0.8 ตามมาตรฐาน ASTM C151 (ASTM C151, 2018) (วินิต ช่อวิเชียร, 2557)

2.5.5 มาตรฐานการทดสอบกำลังรับแรงอัดมอร์ตาร์ (Compressive strength of hydraulic cement mortar)

มาตรฐานมอร์ตาร์ ASTM C109 ได้กำหนดอัตราส่วนผสมคือ ปูนซีเมนต์ 1 ส่วน ต่อทรายมาตรฐาน 2.75 ส่วน โดนมวล ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.485 สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ต

แลนด์ทุกประเภท และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.460 สำหรับปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ชนิด กักอากาศทุกประเภท ปริมาณน้ำผสมสำหรับปูนซีเมนต์ชนิดอื่นนอกจากปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์และ ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ชนิดกักอากาศให้ใช้วิธีหาค่าการไหลผ่าน (Percent flow) ให้ได้ 110 ± 5 และคิด ร้อยละของมวลปูนซีเมนต์

ปริมาณของวัสดุที่ใช้ในการผสมหนึ่งครั้งของมอร์ตาร์สำหรับทดสอบก้อนทดสอบ 6 ก้อน 9 ก้อน เป็นดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ปริมาณของวัสดุที่ใช้ผสมมอร์ตาร์

(ASTM C109, 2020)

วัสดุ	จำนวนก้อนทดสอบ	
	6	9
ปูนซีเมนต์ (กรัม)	500	740
ทราย (กรัม)	1,375	2,035
น้ำ (มิลลิลิตร)		
- ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ (0.485)	242	359
- ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ชนิดกักอากาศ (0.460)	230	340
- ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ชนิดอื่นๆ (ค่าการไหลผ่าน 110 ± 5)	-	-

การคำนวณกำลังรับแรงอัดที่อ่านค่าได้จากเครื่องทดสอบสามารถนำมาคำนวณดังสมการต่อไปนี้อยู่

$$f_m = P/A \quad (5)$$

เมื่อ f_m = ค่ากำลังรับแรงอัด (เมกะปาสคัล หรือ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)

P = ค่าแรงอัดสูงสุด (นิวตัน หรือ ปอนด์-แรง)

A = พื้นที่ผิวรับแรงอัด (ตารางมิลลิเมตร หรือ ตารางนิ้ว)

ก้อนทดสอบขนาด 50 มิลลิเมตร หรือ 2 นิ้ว อาจถูกใช้สำหรับหาค่ากำลังรับแรงอัด ในหน่วย เอสไอ หรือหน่วยนิ้ว-ปอนด์ หากพื้นที่หน้าตัดของก้อนทดสอบคลาดเคลื่อนมากกว่าร้อยละ 1.5 จากค่าปกติ ให้ใช้ค่าพื้นที่จริงคำนวณค่ากำลังรับแรงอัด ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนทดสอบทั้งหมดที่มา จากตัวอย่างเดียวกันและทดสอบในช่วงเวลาเดียวกันถูกนำมาหาค่าเฉลี่ยและรายงานละเอียดถึง 0.1 เมกะปาสคัล (ASTM C109, 2020)

2.6 สมบัติของปอซโซลาน

ความหมายตามมาตรฐาน มอก. 849 – 2532 ระบุไว้ว่า ปอซโซลาน (Pozzolan) หมายถึง วัสดุที่มีส่วนประกอบทางเคมีส่วนใหญ่เป็นซิลิกา หรือซิลิกาและอะลูมินา มีสมบัติในการยึดประสาน เล็กน้อยหรือไม่มีเลย แต่เมื่อบดจนเป็นผงละเอียดและมีความชื้นจะทำให้ปฏิกิริยาเคมีกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium Hydroxide) ที่อุณหภูมิปกติ เกิดเป็นสารประกอบซึ่งมี สมบัติในการยึดประสาน” (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2556)

วัสดุปอซโซลานจะช่วยทำให้คอนกรีตมีความทึบสูงขึ้น ลดโพรงช่องว่างในคอนกรีตทำให้ลดความสามารถในการซึมผ่านและมีการขยายตัวต่ำ ช่วยเพิ่มความทนทานต่อสภาพการกัดกร่อน โดยวัสดุปอซโซลานจะให้กำลังรับแรงอัดในระยะหลังเนื่องจากเกิดปฏิกิริยากับน้ำและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อยู่ในซีเมนต์เฟสเกิดเป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate) อย่างช้าๆ ทำให้ต้องบ่มขึ้นนานกว่าปกติเพราะต้องรอให้ซีเมนต์เฟสมีความเป็นด่างสูงพอที่จะละลายซิลิกาในปอซโซลาน สัดส่วนของปอซโซลานที่ใช้จะอยู่ระหว่างร้อยละ 15-50 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ทั้งหมด ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นดังสมการที่ 6-8



ถึงแม้ว่าวัสดุปอซโซลานจะช่วยเติมเต็มโพรงช่องว่างในคอนกรีตและทำหน้าที่ในการช่วยเร่งการเกิดแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน แต่วัสดุปอซโซลานบางส่วนจะเป็นวัสดุเฉื่อยส่งผลให้การพัฒนากำลังรับแรงระยะแรกลดลงและไม่สามารถทดแทนกำลังที่จะลดลงเมื่อลดปริมาณของปูนซีเมนต์ลง (วินิต ช่อวิเชียร, 2557) (ศุภนนท์ บรรจงเกลี้ยง, 2549)

3.5.1 มาตรฐานการใช้แก้วเป็นวัสดุปอซโซลาน (Standard specification for ground-glass pozzolan for use in concrete) ASTM C1866

แก้วที่ใช้เป็นวัสดุปอซโซลานจะต้องบดละเอียด โดยต้องมีร้อยละการผ่านตะแกรง (Percent Passing) ร้อยละ 95 ผ่านตะแกรงขนาดตะแกรง 325 เมช (44 ไมโครเมตร) โดยมีขนาดของผงแก้ว D_{50} ที่ 10-15 ไมโครเมตร และมีค่าความละเอียด (Blaine fineness) 4,000 หรือละเอียดมากกว่า โดยสัดส่วนของผลแก้วที่ใช้จะอยู่ระหว่างร้อยละ 15-30 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ประเภทของแก้วตามมาตรฐาน ASTM C1866 แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. บรรจุภัณฑ์ (Container glass) นิยมนำมาทำเป็น ขวด แก้วน้ำ ถ้วย และจาน เป็นต้น โดยผลิตออกมาเป็นสีส้มต่างๆ เช่น สีชา สีเขียว และแบบใส
2. กระຈก (Plate glass) มีลักษณะเป็นแผ่น ใช้ตามอาคารต่างๆและพาหนะ มีสีใส

3. แก้วชนิด อี (E glass) เป็นแก้วที่ใช้ผลิตเป็นเส้นใย (Fiberglass) โดยตัวอักษร E หมายถึง สำหรับไฟฟ้า เนื่องจากทนต่อกระแสไฟฟ้าสูง โดยเป็นแก้วที่มี อัลคาไลด์ต่ำ

โดยมาตรฐาน ASTM C1866 ได้กำหนดมาตรฐานองค์ประกอบทางเคมีของแก้วชนิดต่างๆดังตารางที่ 7 (ASTM C1866, 2020)

ตารางที่ 7 องค์ประกอบของแก้ว GS/GE และวัสดุอื่นๆที่ใช้ทั่วไปในปูนซีเมนต์ (ASTM C1866, 2020)

องค์ประกอบทางเคมี	ประเภทของแก้ว	
	แก้ว GS ^A	แก้ว GE ^B
SiO ₂ ไม่น้อยกว่า (ร้อยละ)	60.0	55.0
Al ₂ O ₃ ไม่มากกว่า (ร้อยละ)	5.0	15.0
CaO ไม่มากกว่า (ร้อยละ)	15.0	25.0
Fe ₂ O ₃ ไม่มากกว่า (ร้อยละ)	1.0	1.0
SO ₃ ไม่มากกว่า (ร้อยละ)	1.0	1.0
Na ₂ O _{eq} ^C ไม่มากกว่า (ร้อยละ)	15.0	4.0
ความชื้น ไม่มากกว่า (ร้อยละ)	0.5	0.5
LOI ไม่มากกว่า (ร้อยละ)	0.5	0.5

^A GS = แก้วโซดาไลม์

^B GE = แก้วชนิดอี

^C Na₂O_{eq} = Na₂O + 0.658K₂O

2.7 คลอไรด์ในคอนกรีต

การเกิดสนิมเหล็กในคอนกรีตเสริมเหล็ก เป็นปัญหาต่อความคงทนและอายุการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งสาเหตุจากการเกิดสนิมเหล็กได้แก่คลอไรด์ ซึ่งหากมีปริมาณที่มากพอประกอบกับความชื้นและออกซิเจน จะส่งผลให้เกิดสนิมเหล็กในคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยมักเกิดกับพื้นที่ที่ต้องสัมผัสกับน้ำทะเล หรือสภาพแวดล้อมที่มีไอเกลือและความชื้นตลอดเวลา ไม่เพียงเท่านั้น ปัจจุบันยังพบปัญหาน้ำประปาเค็มในช่วงฤดูร้อน ซึ่งมีแนวโน้มที่จะรุนแรงขึ้นเรื่อยๆ ทำให้คอนกรีตเสริมเหล็กมีโอกาสพบกับสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการเกิดสนิมเหล็กได้มากขึ้น

2.7.1 ประเภทของคลอไรด์ในคอนกรีต

ประเภทของคลอไรด์ในเนื้อคอนกรีตเรียกว่า คลอไรด์ทั้งหมด (Total chloride content) โดยจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลักๆคือ

1. คอลอไรด์ที่ถูกยึดจับ (Fixed chloride content) โดยจะถูกจับยึดด้วยปฏิกิริยาทางเคมีและการเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของสารประกอบ ซึ่งคอลอไรด์ที่อยู่ในรูปนี้จะไม่ส่งผลต่อการเกิดสนิมเหล็กในคอนกรีต
 - 1.1 คอลอไรด์ที่ถูกยึดจับด้วยกระบวนการทางเคมีกลายเป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน ได้แก่ แคลเซียมคลอโรอะลูมิเนตไฮเดรต (Calcium Chloroaluminate, Friedel's Salt) ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaCl}_2\cdot 10\text{H}_2\text{O}$) และ แคลเซียมคลอโรเฟอริก (Calcium Chloroferrite) ($3\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{CaCl}_2\cdot 10\text{H}_2\text{O}$)
 - 1.2 คอลอไรด์ที่ถูกยึดจับด้วยกระบวนการทางกายภาพพื้นผิวของผลผลิตจากปฏิกิริยาไฮเดรชันและปอซโซลานิก ได้แก่
 1. C-S-H จากปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3S , C_2S
 2. C-S-H และ C-A-H จากปฏิกิริยาปอซโซลานิก
 3. C-A-H และ C-A-F-H จากปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3A , C_3AF
 - 1.3 คอลอไรด์ที่ถูกยึดจับโดยวัสดุเฉื่อย (Non-reactive materials) ได้แก่ มวลรวมหยาบ หินปูน และมวลรวมละเอียด
2. คอลอไรด์อิสระ (Free chloride content) จะเป็นคอลอไรด์ที่ละลายแทรกอยู่ในช่องว่างของคอนกรีต (Pore solution) ซึ่งคอลอไรด์ที่อยู่ในรูปนี้หากมีปริมาณมากพอจะส่งผลทำให้เกิดสนิมเหล็กได้
 - 2.7.2 การแทรกซึมของคอลอไรด์เข้าสู่คอนกรีต

การแทรกซึมของคอลอไรด์ (Chloride penetration) เข้าสู่เนื้อคอนกรีตนั้นถือเป็นสาเหตุที่ทำให้โครงสร้างของคอนกรีตเกิดการเสื่อมสภาพ โดยปัจจัยที่มีผลต่อการแทรกซึมของคอลอไรด์เข้าสู่เนื้อคอนกรีตได้แก่ ชนิดของปูนซีเมนต์ อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน ความเข้มข้นของคลอไรด์ ระยะเวลาของคอนกรีตที่สัมผัสกับคอลอไรด์ สภาพแวดล้อมของคอนกรีตที่ต้องเผชิญ โดยคอลอไรด์จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับคอนกรีต ซึ่งกลไกการแทรกซึมของคอลอไรด์เข้าสู่เนื้อคอนกรีตนั้นแบ่งออกเป็น 4 กลไกหลักๆ ได้แก่

 1. การแพร่ (Diffusion) กลไกการแพร่ของคอลอไรด์เข้าสู่โพรงในเนื้อคอนกรีตเนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของคอลอไรด์ โดยคอลอไรด์จะเคลื่อนที่ด้วยการแพร่จากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ ซึ่งสามารถอธิบายการแพร่ได้ด้วยกฎการแพร่ข้อที่สองของฟิคส์ (Fick's second law of diffusion) แสดงให้เห็นถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคอลอไรด์ในคอนกรีตเมื่อเทียบกับระยะทางและเวลาดังสมการที่ 9

$$C(x,t) = C_s \left[1 - \operatorname{erf} \left[\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right] \right] \quad (9)$$

เมื่อ

$C(x,t)$ คือ ความเข้มข้นคลอไรด์ไอออนที่ระยะ x และเวลา t ใดๆ

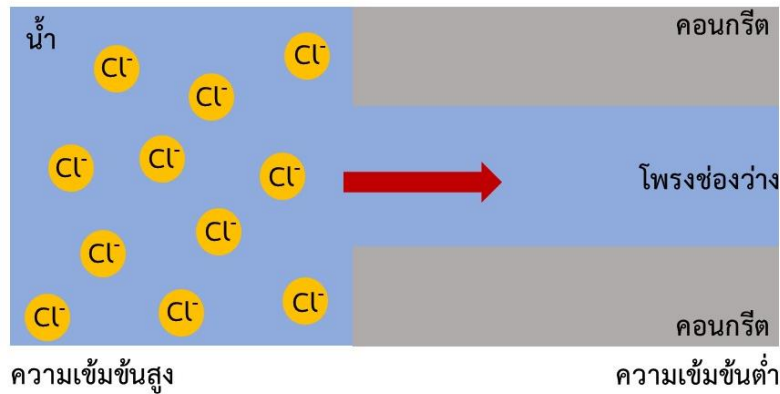
C_s คือ ความเข้มข้นของคลอไรด์ไอออนที่ผิวสัมผัส

D คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของคลอไรด์ในคอนกรีต

erf คือ ฟังก์ชันคลาดเคลื่อน

x คือ ระยะทางจากผิวด้านนอกของคอนกรีต

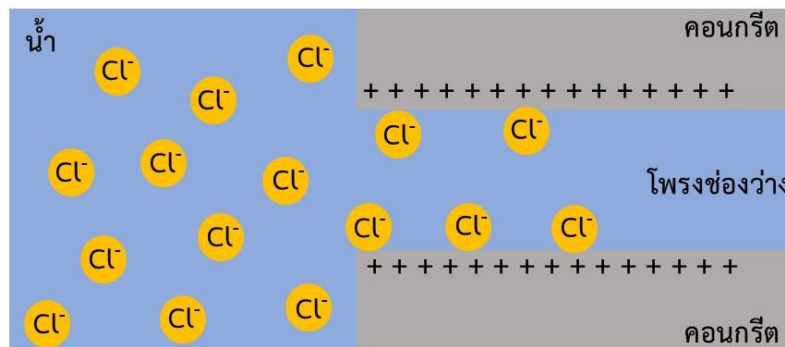
t คือ ระยะเวลาที่สัมผัสคลอไรด์



รูปที่ 8 การแพร่ของคลอไรด์จากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ

ที่มา: (ทวิชัย สำราญวานิช, 2559)

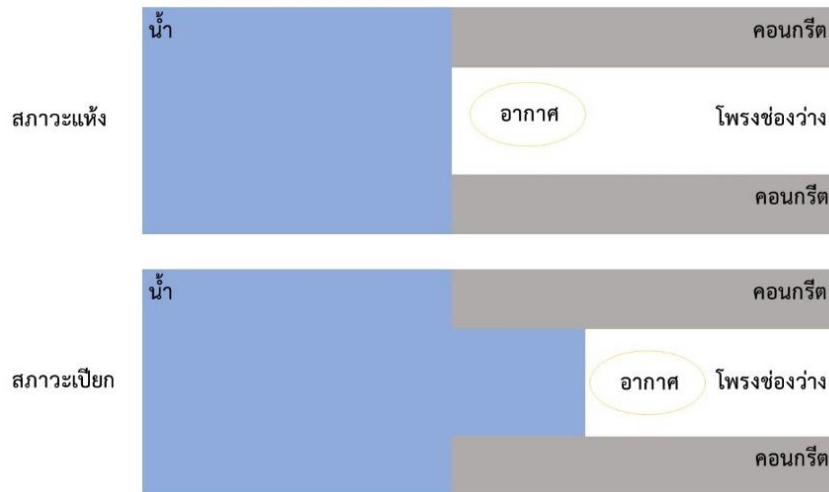
2. การดึงดูดไอออน (Ion adsorption) กลไกการดึงดูดไอออนเกิดจากความแตกต่างทางศักย์ไฟฟ้า เมื่อบริเวณผนังของโพรงช่องว่างในคอนกรีตมีประจุไฟฟ้าเป็นบวกจะดึงดูดคลอไรด์ไอออนที่มีประจุไฟฟ้าเป็นลบเข้ามาในคอนกรีต และจะเกิดการสะสมอยู่บริเวณนั้นมากขึ้น ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 การดึงดูดไอออนในคอนกรีต

ที่มา: (ทวิชัย สำราญวานิช, 2559)

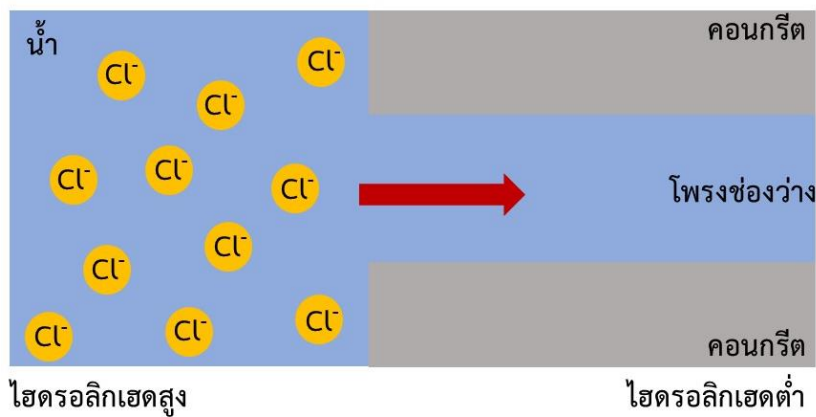
3. การดึงดูดเข้าโพรงแคพพิลารี (Capillary suction) เนื่องจากวัฏจักรเปียกสลับแห้งซึ่งคอนกรีตบางบริเวณอาจอยู่ในสภาพเปียกสลับแห้งทำให้เกิดการดึงดูดคาพิลารี โดยกลไกจะเกิดขึ้นเมื่อโพรงช่องว่างของผิวหน้าคอนกรีตแห้งจะเกิดแรงดึงดูดคาพิลารีดูดน้ำคลอไรด์ผ่านเข้าไปอย่างรวดเร็ว ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 การดึงดูดแคพพิลารี

ที่มา: (ทวีชัย สำราญวานิช, 2559)

4. แรงดันน้ำ (Hydraulic pressure) กลไกนี้จะเกิดขึ้นกับโครงสร้างที่อยู่ภายใต้แรงดันน้ำสูงซึ่งจะเกิดความแตกต่างทางด้านไฮดรอลิกเฮด (Hydraulic head) โดยการเกิดกลไกนี้จะเกิดโดยที่น้ำที่มีคลอไรด์จะเคลื่อนที่ผ่านคอนกรีตจากบริเวณที่มีแรงดันน้ำสูงไปยังบริเวณที่มีแรงดันน้ำต่ำ ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 การเคลื่อนที่ของคลอไรด์จากบริเวณที่มีแรงดันน้ำสูงไปยังบริเวณที่มีแรงดันน้ำต่ำ

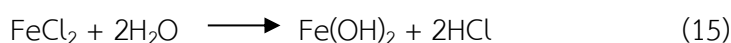
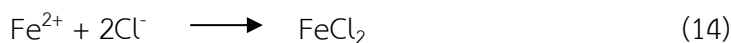
ที่มา: (ทวีชัย สำราญวานิช, 2559)

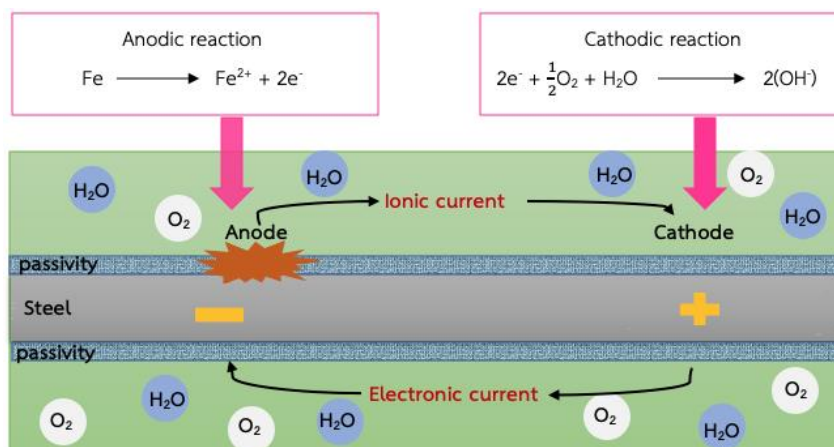
2.7.3 กลไกการกัดกร่อนของคลอไรด์โดยปฏิกิริยาทางเคมีในคอนกรีตเสริมเหล็ก

เหล็กเสริมในโครงสร้างในงานคอนกรีตจะมีชั้นฟิล์มที่เรียกว่าฟิล์มออกไซด์ (Protective passivity layer) ซึ่งเป็นชั้นฟิล์มบางเคลือบอยู่บริเวณพื้นผิวของเหล็กเรียกว่าฟิล์มออกไซด์ของเหล็ก ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) แต่หากมีการสะสมของคลอไรด์ปริมาณมากในระหว่างการผสมคอนกรีต อาจส่งผลทำให้ชั้นฟิล์มออกไซด์ไม่เกิดขึ้นได้ และเมื่อคลอไรด์ซึมผ่านเข้าไปในคอนกรีตสัมผัสกับพื้นผิวของเหล็กเสริมจนมีปริมาณถึงค่าคลอไรด์วิกฤต (Chloride threshold content) ทำให้ชั้นฟิล์มออกไซด์ถูกทำลายทำให้บริเวณดังกล่าวเกิดเป็นสนิมเนื่องจากสูญเสียความต้านทานการเกิดสนิม (Depassivation) ในขณะเดียวกันหากบริเวณนั้นมีออกซิเจน (O_2) และความชื้น (H_2O) ในปริมาณที่เหมาะสม จะทำให้เกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีทำให้เกิดสนิมขึ้นได้ การเกิดสนิมเหล็กเนื่องจากความต่างศักย์ทางไฟฟ้า โดยบริเวณฟิล์มออกไซด์ของเหล็กที่ถูกทำลายมีศักย์ไฟฟ้าเป็นขั้วลบ (Anode) เกิดปฏิกิริยาแอโนดิก (Anodic reaction) จากเหล็ก (Fe) จะแตกตัวได้เหล็กไอออน (Fe^{2+}) ดังสมการที่ 10 และอิเล็กตรอน (e^-) โดยอิเล็กตรอน (e^-) ที่เกิดขึ้นจะวิ่งผ่านไปฝั่งที่มีศักย์ไฟฟ้าเป็นขั้วบวก (Cathodic) และเมื่อมีออกซิเจนและน้ำในปริมาณที่เหมาะสมจะเกิดเป็นไฮดรอกซิลไอออน (OH^-) เรียกว่าปฏิกิริยาแคโทดิก (Cathodic reaction) ดังสมการที่ 13 ทำให้เหล็กไอออน (Fe^{2+}) ที่เกิดที่ขั้วลบบางส่วนจะรวมตัวกับไฮดรอกซิลไอออน (OH^-) เกิดเป็นเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ (Ferrous Hydroxide) ดังสมการที่ 11 ส่วนเหล็กไอออน (Fe^{2+}) ที่เกิดที่ขั้วลบบางส่วนเกิดปฏิกิริยากับน้ำและออกซิเจน เกิดเป็นเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ (Ferric Hydroxide) ดังสมการที่ 12



และเหล็กไอออน (Fe^{2+}) ที่เกิดที่ขั้วลบอีกส่วนหนึ่งเกิดปฏิกิริยากับคลอไรด์ไอออน (Cl^-) เกิดเป็นเฟอร์ริกคลอไรด์ (Ferric chloride) และเฟอร์ริกคลอไรด์จะเกิดปฏิกิริยากับน้ำ กลายเป็นสนิมเหล็กดังสมการที่ 14 และ 15 (ทวิชัย สำราญวานิช, 2559) (นันทรัตน์ โยคะวัฒน์ และ อภิเดช รัตนดิลก ณ ภูเก็ต, 2556) (วิเชียร ซาลี, 2557)





รูปที่ 12 การเกิดปฏิกิริยาการกัดกร่อนของคลอไรด์โดยปฏิกิริยาเคมีในคอนกรีตเสริมเหล็ก
ที่มา: (ทวีชัย สำราญวานิช, 2559)

2.7.4 วิธีการทดสอบหาคลอไรด์และความสามารถต้านทานคลอไรด์ในคอนกรีต

วิธีการทดสอบหาคลอไรด์และความสามารถต้านทานคลอไรด์ในคอนกรีตมีหลายวิธี ซึ่งวิธีที่นิยมใช้มีดังนี้

1. การไทเทรต (Titration) เป็นการทดสอบหาปริมาณคลอไรด์ โดยจะวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์ทั้งหมด (Total chloride content) ตามมาตรฐาน ASTM C1152 ซึ่งใช้กรดเป็นตัวทำละลาย และวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์อิสระ (Free chloride content) ตามมาตรฐาน ASTM C1218 ซึ่งใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย โดยจะทำการวัดหาปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีตที่ความลึกต่างๆ โดยทำการตัดหรือเจาะตัวอย่างคอนกรีตที่ความลึกต่างๆ จากนั้นนำมาบดและละลายในตัวทำละลายแล้วไทเทรตด้วยวิธีของมอร์ (Mohr's method) โดยการเติมโครเมตไอออน (CrO_4^{2-}) เป็นอินดิเคเตอร์ในสารละลายตัวอย่างที่มีคลอไรด์อิสระ เมื่อไทเทรตกับซิลเวอร์ไนเตรต ($AgNO_3$) จะเกิดตะกอนซิลเวอร์คลอไรด์ ($AgCl$) ซึ่งมีสีขาวดังสมการที่ 16 เมื่อคลอไรด์อิสระทำปฏิกิริยากับซิลเวอร์ไอออนจนหมดแล้ว หากหยดซิลเวอร์ไนเตรตต่อไปจะเกิดเป็นตะกอนสีแดงของซิลเวอร์โครเมต (Ag_2CrO_4) การเปลี่ยนสีดังกล่าวถือเป็นจุดยุติ ดังสมการที่ 17 (ASTM C1152, 2017) (ASTM C1218, 2020) (วิเชียร ซาลี, 2557)



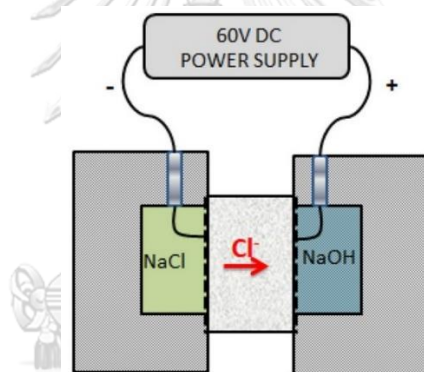
2. การทดสอบความต้านทานของการแทรกซึมคลอไรด์ด้วยวิธีการเร่ง (Rapid chloride penetration) โดยเป็นการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM C1202 โดยจะเป็นการวัดประจุไฟฟ้าเป็นคูลอมป์ซึ่งค่าที่ได้จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณการแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีตโดยจะมีเกณฑ์มาตรฐานการวัดดังตารางที่ 8 โดยการทดสอบจะใช้คอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 5 เซนติเมตร นำตัวอย่างเข้าเครื่องทดสอบ โดยจะวางก้อนคอนกรีตตัวอย่างไว้

ระหว่างสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) ดังรูปที่ 13 วัดประจุไฟฟ้าทั้งหมด (Total charge) ที่ผ่านตัวอย่างเป็นเวลา 6 ชั่วโมง (ASTM C1202, 2022) (วิเชียร ชาลี, 2557)

ตารางที่ 8 มาตรฐานคุณภาพคอนกรีต ASTM C1202

(ASTM C1202, 2022)

ประจุไฟฟ้าทั้งหมด (คูลอมป์)	ระดับการซึมผ่านของคลอไรด์
> 4000	สูง
2000 - 4000	ปานกลาง
1000 - 2000	ต่ำ
100 - 1000	ต่ำมาก
< 100	ไม่ซึมผ่าน



รูปที่ 13 การทำงานของเครื่องทดสอบความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ด้วยวิธีการแรง

ที่มา: (Dolla และคณะ, 2019)

3. การทดสอบความต้านทานของการแทรกซึมคลอไรด์ด้วยวิธีการสี (Colorimetric technique) เป็นวิธีทดสอบหาระดับความลึกของการแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีต ด้วยวิธีการฉีดพ่นสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท (silver nitrate) บนตัวอย่าง โดยจะมีปฏิกิริยาเกิดขึ้น 2 ปฏิกิริยา คือ ปฏิกิริยาระหว่างซิลเวอร์ไอออน (Ag^+) กับคลอไรด์ไอออน (Cl^-) เกิดเป็นซิลเวอร์คลอไรด์ (Silver chloride) ที่มีสีขาว และปฏิกิริยาระหว่างซิลเวอร์ไอออน (Ag^+) กับไฮดรอกซิลไอออน (OH^-) จากแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในคอนกรีต เกิดเป็น ซิลเวอร์ไฮดรอกไซด์ (Silver hydroxide) ที่มีสีน้ำตาล แสดงให้เห็นว่าบริเวณที่มีการแทรกซึมของคลอไรด์จะเกิดเป็นสีขาว ส่วนบริเวณที่ไม่มีคลอไรด์จะเกิดเป็นสีน้ำตาลดังรูปที่ 14 (วิเชียร ชาลี, 2557)



รูปที่ 14 ผลของการทดสอบความต้านทานของการแทรกซึมคลอไรด์ด้วยวิธีการฉีดสี
ที่มา: (Paiva และคณะ, 2016)

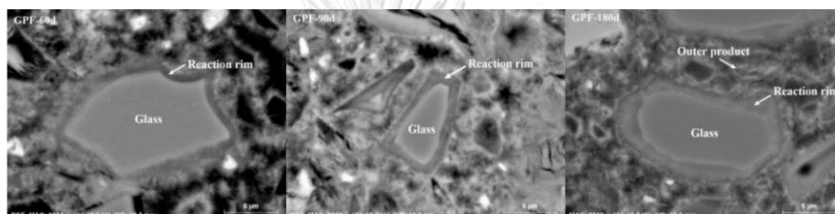
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Jani และคณะ (2014) องค์กรประกอบทางเคมีของซีเมนต์และแก้วสีประเภทต่างๆ ตารางที่ 9 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของซีเมนต์และแก้วสีประเภทต่างๆ (Jani และคณะ, 2014)

องค์ประกอบทางเคมี	ปูนซีเมนต์ (ร้อยละ)	แก้วใส (ร้อยละ)	แก้วสีน้ำตาล (ร้อยละ)	แก้วสีเขียว (ร้อยละ)
SiO ₂	20.2	72.42	72.38	72.38
Al ₂ O ₃	4.7	1.44	1.37	1.49
CaO	61.9	11.50	11.57	11.26
Fe ₂ O ₃	3.0	0.07	0.26	0.29
MgO	2.6	0.32	0.46	0.54
Na ₂ O	0.19	13.64	13.75	13.52
K ₂ O	0.82	0.35	0.20	0.27
SO ₃	3.9	0.21	0.10	0.07
TiO ₂	-	0.035	0.041	0.04
Loss on ignition	1.9	-	-	-

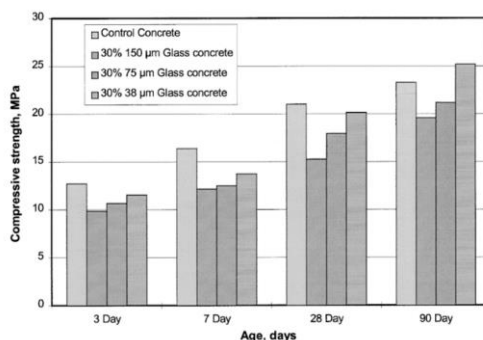
Zheng (2016) พบว่าแก้วโซดาไลม์บดละเอียดจะมีคุณสมบัติในการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานสูง โดยผงแก้วบดละเอียดเมื่อทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์จะเกิดเป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตบริเวณรอบๆขอบเม็ดแก้ว และทำให้ความเข้มข้นของแคลเซียมในสารละลายในโพรงช่องว่างของคอนกรีตลดลงตามเวลา แต่เมื่อนำเม็ดแก้วมาใช้ทดแทนมวลรวมบางส่วน อาจส่งผลให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาอัลคาไลน์ซิลิกา (Alkali-silica reaction) ระหว่างเม็ดแก้ว

กับอัลคาไลน์ของสารละลายในโพรงช่องว่าง อย่างไรก็ตามหากบดเม็ดแก้วให้มีขนาดเล็กลงเหลือ 300 ไมโครเมตร หรือเล็กกว่า จะไม่เกิดปฏิกิริยาอัลคาไลน์ซิลิกา เนื่องจากผลของขนาด (size-effect) โดยผงแก้วละเอียดจะเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิก (Pozzolanic reaction) ได้ดีกว่าการเกิดปฏิกิริยาอัลคาไลน์ซิลิกา ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวและอัตราส่วน แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ต่อ โซเดียมออกไซด์กับ ซิลิกอนไดออกไซด์ ($\text{Na}_2\text{O} + \text{SiO}_2$) โดยการเกิดเจล N-C-S-H จะไม่เกิดการขยายตัวมากนักถ้าขนาดของเม็ดแก้วมีขนาดเล็กมากๆ โดยการเกิดการขยายตัวของเจล N-C-S-H จะขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดแก้ว โดยมักจะเกิดภายในรอยแตกที่มีอยู่ในเม็ดแก้ว และรอยแตกจะไม่อยู่ในแก้วขนาดเล็ก



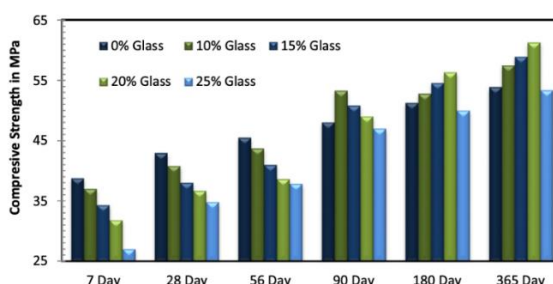
รูปที่ 15 แสดงการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกบริเวณรอบๆขอบเม็ดแก้ว
ที่มา: (Zheng, 2016)

Shao และคณะ (2000) พบว่าการใช้เศษแก้วเป็นวัสดุผสมในการผลิตคอนกรีตนั้นมีข้อจำกัดเนื่องจากปฏิกิริยาอัลคาไลน์ซิลิกากระหว่างปูนซีเมนต์กับเศษแก้ว ทำให้การผลิตคอนกรีตมีประสิทธิภาพต่ำคือมีกำลังรับแรงอัดที่ต่ำลง จากสมบัติทางเคมีของแก้วทำให้เกิดแนวคิดในการใช้เศษแก้วเป็นวัสดุปอซโซลานิกทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์บางส่วน จึงได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเศษแก้วจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent lamp) มาบดเพื่อใช้ทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ทำการศึกษาด้วยการเปรียบเทียบผงแก้ว 3 ขนาด ได้แก่ 150, 75 และ 38 ไมโครเมตร เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 90 วัน พบว่ากำลังรับแรงอัดที่อายุการบ่ม 3, 7 และ 28 วัน คอนกรีตที่ไม่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแก้วนั้นจะมีกำลังรับแรงอัดมากกว่าคอนกรีตที่มีการแทนที่ด้วยผงแก้วทั้ง 3 ขนาด แต่ที่คอนกรีตอายุการบ่ม 90 วัน พบว่า คอนกรีตที่มีการแทนที่ด้วยผงแก้วขนาด 38 ไมโครเมตร ให้กำลังรับแรงอัดสูงที่สุดตามด้วยคอนกรีตที่ไม่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแก้ว คอนกรีตที่มีการแทนที่ด้วยผงแก้วขนาด 75 ไมโครเมตร และ คอนกรีตที่มีการแทนที่ด้วยผงแก้วขนาด 150 ไมโครเมตร ตามลำดับ



รูปที่ 16 แสดงกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแก้วขนาด 150 ไมโครเมตร 75 ไมโครเมตร และ 38 ไมโครเมตร ในอายุ 3, 7, 28 และ 90 วัน
ที่มา: (Shao และคณะ, 2000)

Islam และคณะ (2017) ศึกษาการนำเศษแก้วมาบดละเอียด ให้มีขนาดเล็กกว่า 75 ไมโครเมตร เพื่อใช้ทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 0, 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ ทำการบ่มคอนกรีตที่อายุ 7, 14, 28, 56, 90, 180 และ 365 วัน พบว่าคอนกรีตที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ ด้วยผงแก้วที่อายุการบ่ม 7, 14, 28 และ 56 วัน มีกำลังรับแรงอัดต่ำกว่าคอนกรีตที่ไม่มี การแทนที่ด้วยผงแก้ว แต่ที่อายุการบ่ม 90 วัน คอนกรีตที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแก้วร้อยละ 10 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ ให้กำลังรับแรงอัดที่มากที่สุด และคอนกรีตที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผง แก้วร้อยละ 20 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ ที่อายุการบ่ม 180 และ 360 วัน ให้กำลังรับแรงอัดที่ดีที่สุด และให้กำลังรับแรงอัดมากกว่าคอนกรีตไม่มีการแทนที่ด้วยผงแก้ว จะเห็นได้ว่าในช่วงอายุการบ่ม ระยะแรกหากเพิ่มปริมาณผงแก้วก็จะทำให้กำลังรับแรงอัดลดลง บ่งชี้ได้ว่าปูนซีเมนต์จะสามารถ เกิดปฏิกิริยากับน้ำได้แคลเซียมซิลิเกตไฮ เดรตได้ง่ายกว่าผงแก้ว โดยผงแก้วจะใช้เวลานานกว่าจะเริ่ม เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิก



รูปที่ 17 แสดงกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแก้วร้อยละ 0, 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ ในอายุ 7, 14, 28, 56, 180 และ 90 วัน
ที่มา: (Islam และคณะ, 2017)

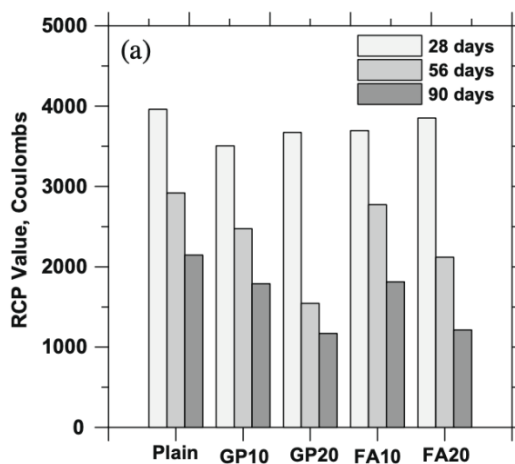
Meena และคณะ (2012) ศึกษาการนำเศษแก้วบดขนาดเล็กกว่า 100 ไมโครเมตร มาเปรียบเทียบกับวัสดุปอซโซลานชนิดอื่นได้แก่ ซิลิกาฟูม (Silica fume) และเถ้าลอย (Fly ash) โดยใช้ทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 30 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ ทำการบ่มคอนกรีตที่อายุ 28 และ 52 วัน พบว่าคอนกรีตที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซิลิกาฟูมให้กำลังรับแรงอัดที่สูงที่สุด คือ 21.48 และ 23.41 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร เนื่องจากซิลิกาฟูมมีขนาดที่เล็กพื้นที่ผิวมากและมีรูปเป็นทรงกลมไม่เป็นผลึกทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานเร็ว ตามด้วยคอนกรีตที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยให้กำลังรับแรงอัด 14.96 และ 17.48 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ตามด้วยคอนกรีตที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแก้วให้กำลังรับแรงอัด 14.22 และ 17.05 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร เมื่อเปรียบเทียบระหว่างคอนกรีตที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยกับคอนกรีตที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแก้ว จะพบว่ามีกำลังรับแรงอัดระยะแรกและระยะหลังที่ใกล้เคียงกัน จากการศึกษาภาพถ่ายโครงสร้างระดับจุลภาคแสดงให้เห็นถึงชั้นเมทริกซ์ที่ก่อตัวหนาขึ้นของผงแก้ว ซึ่งช่วยเพิ่มความทนทานของคอนกรีต ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าผงแก้วที่บดละเอียดมีศักยภาพในการใช้ทดแทนวัสดุปอซโซลานชนิดอื่นๆได้

ตารางที่ 10 แสดงกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่มีการการออกแบบส่วนผสมที่ต่างกัน (Meena และคณะ, 2012)

การออกแบบส่วนผสม	อายุบ่ม 28 วัน (N/mm ²)	อายุบ่ม 52 วัน (N/mm ²)
ปูนซีเมนต์	21.03	25.33
ปูนซีเมนต์ + ซิลิกาฟูม	21.48	23.41
ปูนซีเมนต์ + เถ้าลอย	14.96	17.48
ปูนซีเมนต์ + ผงแก้วขนาดเล็กกว่า 100 ไมโครเมตร	14.22	17.05

Jain และคณะ (2010) ศึกษาการเปรียบเทียบการแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีตที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยกับผงแก้ว โดยใช้ทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 10 และ 20 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ ทำการบ่มคอนกรีตที่อายุ 28, 56 และ 90 วัน ทดสอบการแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีตด้วยเครื่องทดสอบการซึมผ่านของคลอไรด์ในคอนกรีต (Rapid chloride permeability) พบว่าการแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีตจะลดลงตามระยะเวลาการบ่มที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยในช่วงระยะแรกคอนกรีตที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยและผงแก้วจะมีการแทรกซึมผ่านคลอไรด์ได้น้อยกว่าคอนกรีตที่ไม่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยและผงแก้ว เนื่องจากคุณสมบัติของเถ้าลอยและผงแก้วมีความ ถ่วงจำเพาะ

(Specific gravity) ที่ต่ำกว่าปูนซีเมนต์และทำให้เกิดโพรงช่องว่างที่น้อยกว่า และเมื่อเปรียบเทียบการแทรกซึมผ่านคลอไรด์ระหว่างคอนกรีตที่มีส่วนผสมเป็นเถ้าลอยกับคอนกรีตที่มีส่วนผสมเป็นผงแก้วนั้น มีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนการแทนที่ที่ร้อยละ 10 กับ ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ในระยะแรกนั้นให้ค่าไม่แตกต่างกัน เนื่องจากยังไม่มีผลของปฏิกิริยาปอซโซลานิกมาเกี่ยวข้องมากนัก แต่คอนกรีตที่อายุการบ่ม 56 วันเป็นต้นไป จะเห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนการแทนที่ที่ร้อยละ 10 กับ ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์เนื่องจากผลของการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิก ซึ่งจะทำให้โพรงช่องว่างหนาแน่นขึ้น โดย คอนกรีตที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแก้วจะมีค่าการแทรกซึมผ่านคลอไรด์ในคอนกรีตน้อย กว่าคอนกรีตที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย แสดงให้เห็นว่าผงแก้วสามารถเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกได้เร็วกว่าเถ้าลอย นอกเหนือจากการปรับเปลี่ยนโครงสร้างจุลภาคแล้ว ค่าการแทรกซึมผ่านคลอไรด์ในคอนกรีตที่ต่ำกว่าของคอนกรีตที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแก้ว อาจเกิดจากความหนืดของสารละลายในโพรงช่องว่าง โดยผงแก้วมีการปล่อยไฮดรอกไซด์ไอออน ส่งผลให้ ความหนืดของสารละลายในโพรงช่องว่างเพิ่มขึ้น ซึ่งขัดขวางการแทรกซึมของคลอไรด์ไอออน



รูปที่ 18 แสดงการแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีตระหว่างคอนกรีตที่ไม่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ คอนกรีตที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแก้วร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ และคอนกรีตที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 10 และ 20 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ ในอายุ 28, 56 และ 90 วัน

ที่มา: (Jain และคณะ, 2010)

บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่หมดสภาพการใช้งานแล้ว นำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่เพื่อลดการนำไปฝังกลบ โดยนำกระจกที่ผ่านการอบแยกออกจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอนมาบดให้ละเอียดเพื่อใช้เป็นวัสดุปอซโซลานทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์บางส่วน ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของการนำแผงกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอนมาใช้ทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์บางส่วน โดยทดสอบสมบัติต่างๆ มีขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัยมีดังนี้

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

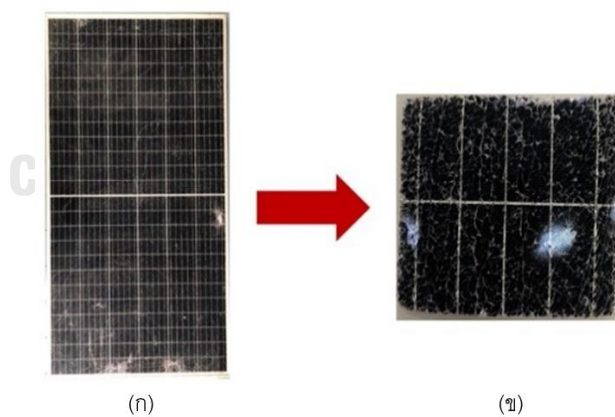
1. ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่1 (Ordinary portland cement)
2. แผงกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอนบดละเอียด
3. ทราเยมน้ำ

3.2 การดำเนินงานวิจัย

3.2.1 การเตรียมวัสดุ

3.2.1.1 เตรียมแผงกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์

1. นำแผงพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 200.8 x 100.2 เซนติเมตร นำมาตัดแยกกรอบอลูมิเนียมออกและตัดให้มีขนาด 16 x 16 เซนติเมตร



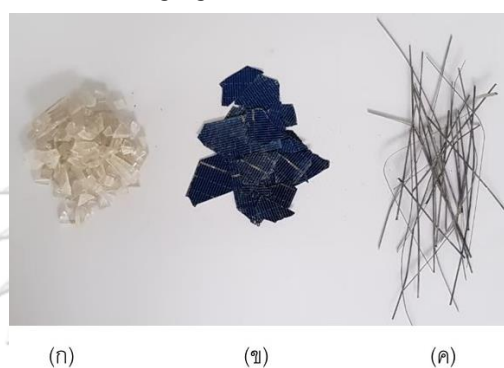
รูปที่ 19 แผงพลังงานแสงอาทิตย์ (ก) แผงขนาด 200.8x100.2 เซนติเมตร (ข) แผงที่ตัดให้มีขนาด 16x16 เซนติเมตร

2. นำแผงเข้าเตาอบ โดยอบที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที



รูปที่ 20 แผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผ่านการอบ

3. นำออกมาจากเตาจากนั้นคัดแยกกระจกออกจากแผงเซลล์ซิลิกอน (Silicon solar cell) และแถบโลหะเชื่อมระหว่างเซลล์ (Cell stringing ribbons)



รูปที่ 21 ส่วนประกอบแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้หลังจากการอบแยก (ก) กระจก (ข) เซลล์ซิลิกอน (ค) แถบโลหะเชื่อมระหว่างเซลล์

4. บดกระจกด้วยเครื่องบดแบบลูกบอล (Ball mill) โดยใช้ลูกบอลอลูมินาเซรามิกส์ (Alumina ceramic ball) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 เซนติเมตร ในการบด



รูปที่ 22 (ก) เครื่องบดแบบลูกบอล (Ball mill) (ข) ผงกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผ่านการบดละเอียด

3.2.1.2 เตรียมทราย

1. ใช้ทรายแม่น้ำละเอียดโดยร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 30 และค้ำตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 100 ตามมาตรฐาน ASTM C778



รูปที่ 23 ทรายแม่น้ำ

3.2.2 การส่งวิเคราะห์หาสมบัติของวัสดุ

1. วิเคราะห์สัณฐานและรายละเอียดพื้นผิวของปูนซีเมนต์และผงกระจกผงพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope)
2. วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์และผงกระจกผงพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-Ray Fluorescence Spectrometer)
3. วิเคราะห์หาความเป็นผลึกของผงกระจกผงพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer)
4. วิเคราะห์หาขนาดของผงกระจกผงพลังงานแสงอาทิตย์ (Particle size analysis) ด้วยเครื่องการเลี้ยวเบนของแสง (Laser Diffraction)
5. วิเคราะห์หาความละเอียด (Blain air-permeability apparatus) ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และผงกระจกผงพลังงานแสงอาทิตย์ ตามมาตรฐาน ASTM C204
6. วิเคราะห์หาค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ผงกระจกผงพลังงานแสงอาทิตย์ และทราย ตามมาตรฐาน ASTM D854-14
7. วิเคราะห์หาความอยู่ตัว (Soundness test) ซีเมนต์เพสต์ที่มีการแทนที่ด้วยผงกระจกผงพลังงานแสงอาทิตย์ ร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ ตามมาตรฐาน ASTM C151

3.2.3 ทดสอบหาส่วนคละของทราย ด้วยวิธีร่อนตะแกรง (Sieve analysis) ตามมาตรฐาน ASTM C778

1. เตรียมทราย 300 กรัม
2. นำตัวอย่างไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 จมมีน้ำหนักคงที่



รูปที่ 24 อบทราย

3.เรียงตะแกรงร้อนโดยวางขนาดใหญ่สุดอยู่ด้านบนสุดและวางตะแกรงที่มีขนาดเล็กกว่าลดหลั่นลงมาเป็นชั้นๆ

4.ใส่ตัวอย่างที่ทำการร่อนบนตะแกรงชั้นบนสุด จากนั้นทำการร่อนหรือเขย่าเป็นเวลา 1 นาที



รูปที่ 25 ตะแกรงร่อน เบอร์ 16, 30, 50 และ 100

5.เมื่อร่อนเสร็จแล้ว ให้ชั่งตัวอย่างที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาดด้วยเครื่องชั่ง



รูปที่ 26 ชั่งน้ำหนักทรายที่ค้างบนตะแกรง

6.บันทึกผลและคำนวณ

3.2.4 ทดสอบหาระยะการก่อตัวของปูนซีเมนต์ (Setting time)



รูปที่ 27 เครื่องทดสอบไวแคต

3.2.4.1 วิธีการทดสอบเพื่อหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม ตามมาตรฐาน ASTM C187

1. ชั่งน้ำหนักปูนซีเมนต์ตามอัตราส่วนในตาราง (ผสมผงกระจกทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์) ตวงน้ำตามปริมาณที่กำหนด ตารางที่ 11 อัตราส่วนผสมซีเมนต์เพสต์

ตัวอย่าง	ปูนซีเมนต์ (กรัม)	ผงกระจก (กรัม)
OPC1*	650	0
OPC1+GP10**	585	65
OPC1+GP20***	520	130
OPC1+GP30****	455	195

* OPC1 คือ ปูนซีเมนต์ที่มีการแทนที่ด้วยผงกระจกร้อยละ 0

** OPC1+GP10 คือ ปูนซีเมนต์ที่มีการแทนที่ด้วยผงกระจกร้อยละ 10

*** OPC1+GP20 คือ ปูนซีเมนต์ที่มีการแทนที่ด้วยผงกระจกร้อยละ 20

**** OPC1+GP30 คือ ปูนซีเมนต์ที่มีการแทนที่ด้วยผงกระจกร้อยละ 30

2. ใส่น้ำลงไปในห้องผสม จากนั้นใส่ปูนซีเมนต์ แล้วปล่อยให้ น้ำซึมปูนซีเมนต์ 30 วินาที
3. เมื่อครบ 30 วินาที จึงเดินเครื่องผสมในอัตราซ้ำ 140 ± 5 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 วินาที
4. หยุดเครื่องผสมเป็นเวลา 15 วินาที ระหว่างหยุดให้ปาดซีเมนต์เพสต์ที่ติดข้างห้องผสมลง ก้นหม้อ
5. เดินเครื่องผสมด้วยอัตราปานกลาง 285 ± 10 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที
6. นำซีเมนต์เพสต์ออกจากห้องผสม จากนั้นปั่นเป็นก้อนลูกบอลกลมๆ โยนสลักมือใน แนวนราบเป็นระยะห่างกันประมาณ 15 เซนติเมตร จำนวน 6 ครั้ง



รูปที่ 28 โยนสลั้มือแนวราบห่างกันประมาณ 15 เซนติเมตร จำนวน 6 ครั้ง

7. นำซีเมนต์เพสต์ใส่ยังแบบรูปกรวย G โดยใส่จากด้านบน เพื่อให้ซีเมนต์เพสต์ออกไปอีกด้านหนึ่ง



รูปที่ 29 นำซีเมนต์เพสต์ใส่ในแบบรูปกรวย G โดยใส่จากด้านบน

8. ปาดซีเมนต์เพสต์ส่วนเกินออกจากแบบ G โดยใช้เกรียงปาดเพียงครั้งเดียว จากนั้นนำแบบรูปกรวย G ที่มีซีเมนต์เพสต์วางบนเครื่องทดสอบไวแคต



รูปที่ 30 ปาดซีเมนต์เพสต์ส่วนเกินออกจากแบบ G โดยใช้เกรียงปาดเพียงครั้งเดียว

9. เลื่อนก้านเข็มลงมา จนกระทั่งปลายเข็ม C สัมผัสผิวหน้าของซีเมนต์เพสต์ จากนั้นยึดก้านเข็มให้แน่นด้วยกรู E

10. ปรับสเกลบอกระยะ F ให้อ่านค่าศูนย์



รูปที่ 31 ปรับสเกลบอกระยะ F ให้อ่านค่าศูนย์

11. คลายสกรู E เพื่อให้ก้านเข็มตอกอย่างอิสระและจมเข้าไปในเนื้อซีเมนต์เพสต์ เป็นเวลา 30 วินาที เมื่อครบ 30 วินาทีให้หมุนสกรู E เพื่อหยุดการตอกอย่างอิสระของก้านเข็ม อ่านค่าระยะจมของเข็มไวแคต โดยปริมาณน้ำที่ความชื้นเหลือปกติ คือปริมาณน้ำที่ทำให้เข็มไวแคตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร จมลงในซีเมนต์เพสต์ 10 มิลลิเมตร ในเวลา 30 วินาที



รูปที่ 32 คลายสกรู E เพื่อให้ก้านเข็มตอกอย่างอิสระและจมเข้าไปในเนื้อซีเมนต์เพสต์ เป็นเวลา 30 วินาที เมื่อครบ 30 วินาทีให้หมุนสกรู E เพื่อหยุดการตอกอย่างอิสระของก้านเข็ม อ่านค่าระยะจมของเข็มไวแคต

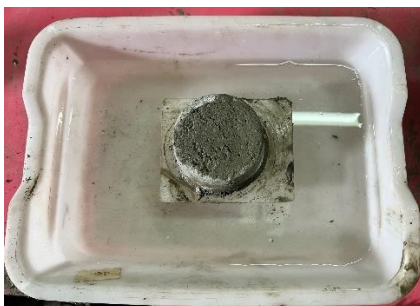
12. บันทึกผล

3.2.4.2 วิธีการทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์ ตามมาตรฐาน ASTM C191

1. ชั่งน้ำหนักปูนซีเมนต์ตามอัตราส่วนในตาราง (ผสมผงกระจกทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์)

2. ตวงน้ำตามปริมาณน้ำที่เหมาะสมจากการทดลองหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม จากนั้นทำการผสมซีเมนต์เพสต์ตามวิธีการที่ได้ผสมซีเมนต์เพสต์เพื่อหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม

3. นำซีเมนต์เพสต์ที่ผสมแล้ว โยนสลั้มือจำนวน 6 ครั้ง ใส่ซีเมนต์เพสต์เข้าไปในแบบรูปกรวย G ทางด้านล่าง ปาดซีเมนต์ส่วนเกินออกจากด้านบนของกรวย G จากนั้นทิ้งไว้ในที่ที่มีความชื้นสูงๆ โดยไม่รบกวนเป็นเวลา 30 นาที



รูปที่ 33 รางซีเมนต์เพสต์ไว้ในอ่างน้ำ เป็นเวลาประมาณ 30 นาที

4. เมื่อครบ 30 นาที นำตัวอย่างไปวางบนเครื่องทดสอบไวแคต ปรับระยะเข็มไวแคตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1 มิลลิเมตร ให้ลงมาสัมผัสกับผิวหน้าของซีเมนต์เพสต์ ปรับสเกลระยะทาง F ให้เป็นศูนย์



รูปที่ 34 นำตัวอย่างไปวางบนเครื่องทดสอบไวแคต ปรับระยะเข็มไวแคตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1 มิลลิเมตร ให้ลงมาสัมผัสกับผิวหน้าของซีเมนต์เพสต์ ปรับสเกลระยะทาง F ให้เป็นศูนย์

5. ปลอ่ยให้เข็มไวแคตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ตกอิสระเป็นเวลา 30 วินาที เมื่อครบ 30 วินาที ให้ลือกสกรู E อ่านค่าระยะจมของเข็มไวแคตจากสเกลระยะทาง F ทำการทดสอบเพื่อการระยะการจมของเข็มไวแคตทุกๆ 15 นาที จนกระทั่งได้ระยะจมของเข็มไวแคตน้อยกว่า หรือเท่ากับ 25 มิลลิเมตร เมื่อปลอ่ยให้ตกอย่างอิสระเป็นเวลา 30 วินาที ระยะห่างระหว่างจุดที่ทดสอบต้องห่างกันไม่น้อยกว่า 6.5 มิลลิเมตร และต้องห่างจากขอบของแบบกรวย G ไม่น้อยกว่า 9.5 มิลลิเมตร



รูปที่ 35 ปลอ่ยให้เข็มไวแคตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ตกอิสระเป็นเวลา 30 วินาที เมื่อครบ 30 วินาที ให้ลือกสกรู E อ่านค่าระยะจมของเข็มไวแคตจากสเกลระยะทาง F

3.2.5 ทดสอบการหาค่าการไหลแผ่ (Percent flow) ตามมาตรฐาน ASTM C1437 และทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ (Compressive strength test) ตามมาตรฐาน ASTM C109

3.2.5.1 การเตรียมมอร์ตาร์

1. ชั่งน้ำหนักปูนซีเมนต์ตามอัตราส่วนในตาราง (ผสมผงกระจกทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์) ตวงน้ำ 270 มิลลิลิตร (w/c 0.54) ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม โดยใช้อัตราซ้ำ (140±5 รอบต่อนาที) เป็นเวลา 30 วินาที ตารางที่ 12 อัตราส่วนผสมมอร์ตาร์

ตัวอย่าง	ปูนซีเมนต์ (กรัม)	ผงกระจก (กรัม)	ทราย (กรัม)	น้ำ (มิลลิลิตร)
OPC1 [*]	500	0	1,375	270
OPC1+GP10 ^{**}	450	50	1,375	270
OPC1+GP20 ^{***}	400	100	1,375	270
OPC1+GP30 ^{****}	350	150	1,375	270

^{*} OPC1 คือ ปูนซีเมนต์ที่มีการแทนที่ด้วยผงกระจกร้อยละ 0

^{**} OPC1+GP10 คือ ปูนซีเมนต์ที่มีการแทนที่ด้วยผงกระจกร้อยละ 10

^{***} OPC1+GP20 คือ ปูนซีเมนต์ที่มีการแทนที่ด้วยผงกระจกร้อยละ 20

^{****} OPC1+GP30 คือ ปูนซีเมนต์ที่มีการแทนที่ด้วยผงกระจกร้อยละ 30

2. ใส่ทราย 1,375 กรัม (อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทราย 1:2.75 ส่วน) ลงไปในหม้อผสมอย่างช้าๆ ภายในเวลา 30 วินาที

3. หยุดเครื่องผสม จากนั้นเปลี่ยนอัตราการผสมเป็นอัตราปานกลาง ที่ความเร็ว 285 ± 10 รอบต่อนาที และผสมด้วยอัตรานี้เป็นเวลา 30 วินาที



รูปที่ 36 ผสมมอร์ตาร์ในเครื่องผสม

4. หยุดการผสม และปล่อยมอร์ตาร์ทิ้งไว้เป็นเวลา 90 วินาที และในระหว่างเวลา 15 วินาทีแรกให้ทำการปาดมอร์ตาร์ที่ติดข้างหม้อผสมลงในหม้อ จากนั้นนำภาชนะมาปิดปากหม้อผสมเพื่อกันไม่ให้ความชื้นระเหยออกจากหม้อผสมจนครบเวลา 90 วินาที

5. เดินเครื่องผสมต่อด้วยอัตราผสมปานกลาง ที่ความเร็ว 285 ± 10 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที

3.2.5.2 การทดสอบหาค่าการไหล ตามมาตรฐาน ASTM C1437

1. วางแบบทดสอบการไหลตรงกลางหน้าโต๊ะการไหล

2. ตักมอร์ตาร์ใส่แบบทดสอบการไหลให้สูงประมาณ 25 มิลลิเมตร กระทั่งจะนวน 20 ครั้ง เพื่อให้มอร์ตาร์มีความสม่ำเสมอในแบบ

3. ตักมอร์ตาร์ใส่แบบอีก 1 ชั้น โดยให้มีความสูงกว่าแบบหล่อเล็กน้อย กระทั่งจำนวน 20 ครั้ง จากนั้นใช้เกรียงปาดผิวหน้าให้เรียบ



รูปที่ 37 ตักมอร์ตาร์ใส่แบบและปาดมอร์ตาร์ส่วนเกินออกทิ้ง

4. ยกแบบขึ้นในแนวตั้งอย่างช้าๆ



รูปที่ 38 ยกแบบขึ้นในแนวตั้งอย่างช้าๆ จะได้มอร์ตาร์ตามรูปทรงของแบบ

5. เมื่อยกแบบออกจากมอร์ตาร์ ให้ทำการหมุนที่หมุนของโต๊ะการไหล ปล่อยให้ตกอิสระ จำนวน 25 รอบภายใน 15 วินาที



รูปที่ 39 หมุนที่หมุนของโต๊ะการไหลจำนวน 25 รอบภายใน 15 วินาที

6. มอร์ตาร์ที่อยู่บนจานโต๊ะการไหลจะแผ่ออกไป เป็นวงกลม ใช้คาลิเปอร์วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของมอร์ตาร์ จำนวน 4 ครั้ง ตรงตำแหน่งซึ่งมีมุมห่างกัน 45 องศา



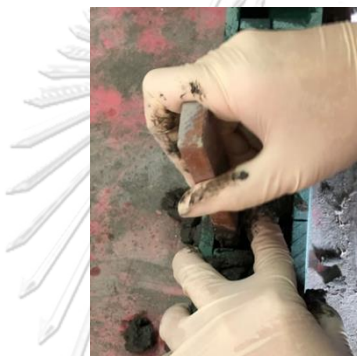
รูปที่ 40 ใช้คาลิเปอร์วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของมอร์ตาร์ จำนวน 4 ครั้ง ตรงตำแหน่งซึ่งมีมุมห่างกัน 45 องศา

7. จดบันทึกค่าการไหลที่ได้

3.2.5.3 การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัด ตามมาตรฐาน ASTM C109

1. หลังจากทดสอบค่าการไหล นำมอร์ตาร์ที่อยู่บนจานทดสอบค่าการไหลใส่คืนหม้อผสม และผสมมอร์ตาร์อีกครั้งเป็นเวลา 15 วินาที ด้วยอัตราผสมปานกลาง

2. นำมอร์ตาร์เทลงแบบหล่อทรงลูกบาศก์ขนาด 50x50x50 มิลลิเมตร โดยใช้เวลาทั้งหมดในการหล่อลงแบบไม่เกิน 2 นาที 30 วินาที โดยใช้เกรียงตักมอร์ตาร์ใส่แบบหล่อชั้นแรกให้ความหนาประมาณ 25 มิลลิเมตร กระทุ้งด้วยไม้กระทุ้ง 32 ครั้งต่อ 1 ตัวอย่างในเวลา 10 วินาที โดยแบ่งการกระทุ้งเป็น 4 รอบๆ ละ 8 ครั้ง แต่รอบการกระทุ้งจะตั้งฉากซึ่งกันและกัน เมื่อกระทุ้งชั้นที่ 1 เสร็จแล้วจึงตักมอร์ตาร์ชั้นที่ 2 ซึ่งมีความหนาประมาณ 25 มิลลิเมตร จากนั้นทำการกระทุ้งแต่ละตัวอย่างจำนวน 4 รอบๆ ละ 32 ครั้ง เช่นเดียวกับชั้นแรก



รูปที่ 41 ตักมอร์ตาร์ใส่แบบหล่อ กระทุ้งด้วยไม้กระทุ้ง 32 ครั้งต่อ 1 ตัวอย่าง

3. เมื่อเสร็จแล้วใช้เกรียงปาดผิวหน้าของมอร์ตาร์ให้เรียบ



รูปที่ 42 ใช้เกรียงปาดผิวหน้าของมอร์ตาร์ให้เรียบ

4. เมื่อมอร์ตาร์มีอายุ 24 ชั่วโมง จึงถอดแบบออกเพื่อนำไปบ่มในน้ำปูนขาวอิ่มตัว เป็นเวลา 7, 28, 56 และ 90 วัน



รูปที่ 43 บ่มมอร์ตาร์ในน้ำปูนขาวอิมตัว

5.เมื่อครบอายุการบ่ม นำมอร์ตาร์ขึ้นมาจากน้ำปูนขาวอิมตัว แล้วเซ็ดตัวอย่างให้แห้ง



รูปที่ 44 นำมอร์ตาร์ขึ้นมาจากน้ำปูนขาว แล้วเซ็ดตัวอย่างให้แห้ง

6.วัดขนาดและชั่งน้ำหนัก



รูปที่ 45 ชั่งน้ำหนักมอร์ตาร์

7.ทดสอบการรับน้ำหนักของมอร์ตาร์ โดยนำมอร์ตาร์วางบนเครื่องทดสอบ นำแผ่นแบร์ริงวางบนตัวอย่างมอร์ตาร์ให้อยู่ตรงกลางเครื่อง ให้น้ำหนักแก้มอร์ตาร์ด้วยแรงอัดคงที่ 90-180 กิโลกรัมต่อวินาที จนตัวอย่างวิบัติ บันทึกค่าน้ำหนัก



รูปที่ 46 ทดสอบการรับน้ำหนักของมอร์ตาร์ด้วยเครื่องทดสอบ

8. นำไปสรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.2.6 ทดสอบหาค่าการซึมผ่านของคลอไรด์ในมอร์ตาร์

ใช้วิธีการไทเทรตหาคลอไรด์ด้วยสารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเทรต โดยเติมโครเมตไอออน (CrO_4^{2-}) เป็นอินดิเคเตอร์ โดยการไทเทรตในสารละลายคลอไรด์ ช่วงแรกจะเกิดเป็นตะกอนซิลเวอร์คลอไรด์ (AgCl) ดังสมการที่ 18 เมื่อเกิดตะกอนซิลเวอร์คลอไรด์สมบูรณ์แล้ว เมื่อหยดซิลเวอร์ไนเทรตต่อไปจะเกิดเป็นตะกอนสีแดงของซิลเวอร์โครเมต (Ag_2CrO_4) ดังสมการที่ 19



4.2.6.1 การเตรียมสารละลาย

1. เตรียมสารละลาย AgNO_3 0.05 M

เตรียมจากสมการ
$$M_{\text{AgNO}_3} = \frac{g}{M_w} \times \frac{1000}{V} \quad (20)$$

โดย g คือ ปริมาณของ AgNO_3 (กรัม)

M_w คือ มวลโมเลกุลของ AgNO_3 มีค่าเท่ากับ $169.87 \frac{g}{ml}$

V คือ ปริมาณสารละลายที่ต้องเตรียม (มิลลิลิตร)

2. เตรียมสารละลาย NaCl 0.05 M เพื่อใช้เทียบมาตรฐานหาความเข้มข้นที่แท้จริงของสารละลาย AgNO_3

เตรียมจากสมการ
$$M_{\text{NaCl}} = \frac{g}{M_w} \times \frac{1000}{V} \quad (21)$$

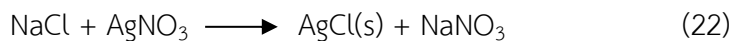
โดย g คือ ปริมาณของ NaCl (กรัม)

M_w คือ มวลโมเลกุลของ NaCl มีค่าเท่ากับ $58.44 \frac{g}{ml}$

V คือ ปริมาณสารละลายที่ต้องเตรียม (มิลลิลิตร)

3. การเปรียบเทียบมาตรฐานกับสารละลาย AgNO_3

คำนวณหา AgNO_3 ที่แน่นอน จากสมการ



จากสมการจะได้
$$\frac{\text{mol NaCl}}{\text{mol AgNO}_3} = \frac{1}{1} \quad (23)$$

$$\text{mol NaCl} = \text{mol AgNO}_3 \quad (24)$$

$$M_{\text{NaCl}} V_{\text{NaCl}} = M_{\text{AgNO}_3} V_{\text{AgNO}_3} \quad (25)$$

จะได้ความเข้มข้นที่แท้จริงของ AgNO_3 จากการคำนวณโดยใช้ M_{NaCl} จากการคำนวณ, V_{NaCl} จากการปิเปต 10 มิลลิลิตร และ V_{AgNO_3} ปริมาณ AgNO_3 ที่ใช้ในการไทเทรต

3.2.6.2 การเตรียมมอร์ตาร์

1. ชั่งน้ำหนักของปูนซีเมนต์ตามอัตราส่วนในตาราง (ผสมผงกระจกทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์) ตวงน้ำ 565 มิลลิลิตร (w/c 0.54) ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม โดยใช้อัตราซ้ำ (140±5 รอบต่อนาที) เป็นเวลา 30 วินาที ตารางที่ 13 อัตราส่วนผสมมอร์ตาร์

ตัวอย่าง	ปูนซีเมนต์ (กรัม)	ผงกระจก (กรัม)	ทราย (กรัม)	น้ำ (มิลลิลิตร)
OPC1*	1,046.6	0	2,878.4	565
OPC1+GP10**	941.4	104.6	2,878.4	565
OPC1+GP20***	836.8	209.2	2,878.4	565
OPC1+GP30****	732.2	313.8	2,878.4	565

* OPC1 คือ ปูนซีเมนต์ที่มีการแทนที่ด้วยผงกระจกร้อยละ 0

** OPC1+GP10 คือ ปูนซีเมนต์ที่มีการแทนที่ด้วยผงกระจกร้อยละ 10

*** OPC1+GP20 คือ ปูนซีเมนต์ที่มีการแทนที่ด้วยผงกระจกร้อยละ 20

**** OPC1+GP30 คือ ปูนซีเมนต์ที่มีการแทนที่ด้วยผงกระจกร้อยละ 30

2. ใส่ทราย 2,878.4 กรัม ลงไปในหม้อผสมอย่างช้าๆ ภายในเวลา 30 วินาที

3. หยุดเครื่องผสม จากนั้นเปลี่ยนอัตราการผสมเป็นอัตราปานกลาง ที่ความเร็ว 285±10 รอบต่อนาที และผสมด้วยอัตรานี้เป็นเวลา 30 วินาที



รูปที่ 47 ผสมมอร์ตาร์ในเครื่องผสม

4. หยุดการผสม และปล่อยมอร์ตาร์ทิ้งไว้เป็นเวลา 90 วินาที และในระหว่างเวลา 15 วินาทีแรกให้ทำการปาดมอร์ตาร์ที่ติดข้างหม้อผสมลงในหม้อ จากนั้นน้ำภาชนะมาปิดปากหม้อผสมเพื่อกันไม่ให้ความชื้นระเหยออกจากหม้อผสมจนครบเวลา 90 วินาที

5. นำมอร์ตาร์เทลงแบบหล่อทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร สูง 200 มิลลิเมตร แบ่งการเทเป็น 2 ชั้นเท่าๆกัน โดยใช้เหล็กกระทุ้งจำนวน 25 ครั้งต่อชั้น



รูปที่ 48 นำมอร์ตาร์ใส่แบบหล่อ โดยแบ่งการเทเป็น 2 ชั้นเท่าๆกัน โดยใช้เหล็กกระทุ้งจำนวน 25 ครั้งต่อชั้น

6. ใช้ไม้เคาะแบบหล่อด้านนอกเบาๆจำนวน 10-15 ครั้ง จากนั้นใช้เกรียงปาดผิวหน้าให้เรียบ



รูปที่ 49 ใช้ไม้เคาะแบบหล่อด้านนอกเบาๆจำนวน 10-15 ครั้ง จากนั้นใช้เกรียงปาดผิวหน้าให้เรียบ

7. นำมอร์ตาร์ไปเก็บไว้ในห้องที่มีความชื้นไม่น้อยกว่าร้อยละ 50

8. เมื่อมอร์ตาร์มีอายุ 24 ชั่วโมง จึงถอดแบบออกเพื่อนำไปบ่มในน้ำปูนขาวอิ่มตัว เป็นเวลา

28 วัน



รูปที่ 50 นำมอร์ตาร์บ่มในน้ำปูนขาวอิมตัว

9. เมื่อครบอายุการบ่ม นำแท่งมอร์ตาร์ออกมา เช็ดให้แห้ง แล้วนำไปเคลือบผิวด้วย อีพอกซี โดยจะให้มิด้านหน้าวงกลม 1 หน้าที่ไม่เคลือบผิว จากนั้นวางทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ให้อีพอกซีแห้ง



รูปที่ 51 นำมอร์ตาร์ไปเคลือบผิวด้วยอีพอกซี โดยจะให้มิด้านหน้าวงกลม 1 หน้าที่ไม่เคลือบผิว จากนั้นวางทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ให้อีพอกซีแห้ง

10. นำแท่งมอร์ตาร์ที่ผ่านการเคลือบผิวแล้ว ลงไปแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เข้มข้นร้อยละ 3 เป็นเวลา 28 และ 56 วัน เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำแท่งมอร์ตาร์วางไว้ให้แห้งในอากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

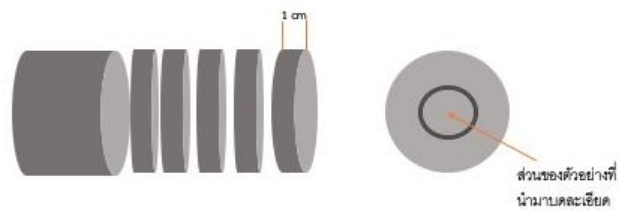


รูปที่ 52 นำแท่งมอร์ตาร์ที่ผ่านการเคลือบผิวแล้ว ลงไปแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl)

11. นำแท่งมอร์ตาร์ตัดที่ความหนา 10 มิลลิเมตร ที่ความลึก 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 มิลลิเมตร



รูปที่ 53 ตัดมอร์ตาร์ที่ความลึกต่างๆ



รูปที่ 54 ตัวอย่างการตัดมอร์ตาร์ที่ความลึกต่างๆ

12. บดตัวอย่างแต่ละชั้นให้ละเอียด นำมาผ่านตะแกรงเบอร์ 20



รูปที่ 55 บดตัวอย่างแต่ละชั้นให้ละเอียด

3.2.6.3 ทดสอบหาปริมาณคลอไรด์ทั้งหมด (Total chloride) ตามมาตรฐาน

ASTM C1152

1. ชั่งผงมอร์ตาร์ปริมาณ 10 กรัม ใส่ลงในปิកเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร



รูปที่ 56 ชั่งผงมอร์ตาร์ปริมาณ 10 กรัม ใส่ลงในปิกเกอร์

2. เติมน้ำกลั่น 75 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ แล้วเติมกรดไนตริก (HNO_3) ที่เจือจางในอัตราส่วน 1:1 ลงไป 25 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน จากนั้นปิดด้วยกระดาษฟิวส์



รูปที่ 57 เติมน้ำกลั่น 75 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ แล้วเติมกรดไนตริก (HNO_3) ที่อัตราส่วน 1:1 ลงไป 25 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน จากนั้นปิดด้วยกระดาษฟิวส์

3. นำไปต้มให้เดือด โดยต้องเดือดไม่เกิน 2-3 นาที จากนั้นนำออกจากเตาไฟฟ้า ทิ้งไว้ให้เย็น ด้วยอุณหภูมิต่ำ



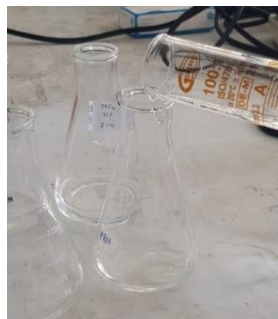
รูปที่ 58 ให้ความแก่บีกเกอร์โดยการต้มให้เดือด

4. เทสารละลายผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1



รูปที่ 59 เทสารละลายผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1

5. เจือจางสารละลาย 5 เท่า โดยการปิเปตตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ แล้วเติมน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร



รูปที่ 60 การปิเปตตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ แล้วเติมน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร

6. ปิเปตสารละลายที่เจือจางแล้ว 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่



รูปที่ 61 ปิเปตสารละลายที่เจือจางแล้ว 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่

7. เติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต (K_2CrO_4) เข้มข้นร้อยละ 5 ลงไป 1 มิลลิลิตร และเติมสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) เข้มข้นร้อยละ 2 ลงไป 13 มิลลิลิตร



รูปที่ 62 เติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต (K_2CrO_4) เข้มข้นร้อยละ 5 ลงไป 1 มิลลิลิตร และเติมสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) เข้มข้นร้อยละ 2 ลงไป 13 มิลลิลิตร

8. ไทเทรตด้วยสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต ($AgNO_3$) จนเปลี่ยนเป็นตะกอนสีส้ม



รูปที่ 63 ไทเทรตด้วยสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO_3) จนเปลี่ยนเป็นตะกอนสีส้ม

9. บันทึกปริมาตรของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO_3) ที่ใช้ เพื่อนำไปคำนวณ

10. เตรียมการไทเทรตแบบลงค์ โดยชั่งแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) 0.2 กรัม ใส่บีกเกอร์ แล้วเติมน้ำกลั่นเท่ากับปริมาตรสุดท้ายของสารละลายตัวอย่างที่จะไทเทรต แล้วเติมสารละลายโพแทสเซียมโครเมต (K_2CrO_4) เข้มข้นร้อยละ 5 ลงไป 1 มิลลิลิตร และเติมสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (NaHCO_3) เข้มข้นร้อยละ 2 ลงไป 10 มิลลิลิตร แล้วนำไปไทเทรตตัวอย่างแบบลงค์ บันทึกปริมาตรของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO_3) ที่ใช้ไปคำนวณ

3.2.6.4 ทดสอบหาปริมาณคลอไรด์อิสระ (Free chloride) ตามมาตรฐาน ASTM C1218

1. ชั่งผงมอร์ตาร์ปริมาณ 10 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์
3. นำไปต้มให้เดือด โดยต้องเดือดไม่เกิน 4 นาที จากนั้นนำออกจากเตาไฟฟ้า ทิ้งไว้ให้เย็นด้วยอุณหภูมิต่ำ ปล่อยให้ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
4. เทสารละลายผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1
5. ปิเปตสารละลาย 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่
6. เติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต (K_2CrO_4) เข้มข้นร้อยละ 5 ลงไป 1 มิลลิลิตร และเติมสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (NaHCO_3) เข้มข้นร้อยละ 2 ลงไป 10 มิลลิลิตร
7. ไทเทรตด้วยสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO_3) จนเป็นสีส้ม
8. บันทึกปริมาตรของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO_3) ที่ใช้ เพื่อนำไปคำนวณ
9. เตรียมการไทเทรตแบบลงค์ โดยชั่งแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) 0.2 กรัม ใส่บีกเกอร์แล้วเติมน้ำกลั่นเท่ากับปริมาตรสุดท้ายของสารละลายตัวอย่างที่จะไทเทรต แล้วเติมสารละลายโพแทสเซียมโครเมต (K_2CrO_4) เข้มข้นร้อยละ 5 ลงไป 1 มิลลิลิตร แล้วนำไปไทเทรตตัวอย่างแบบลงค์ บันทึกปริมาตรของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO_3) ที่ใช้ไปคำนวณ

บทที่ 4

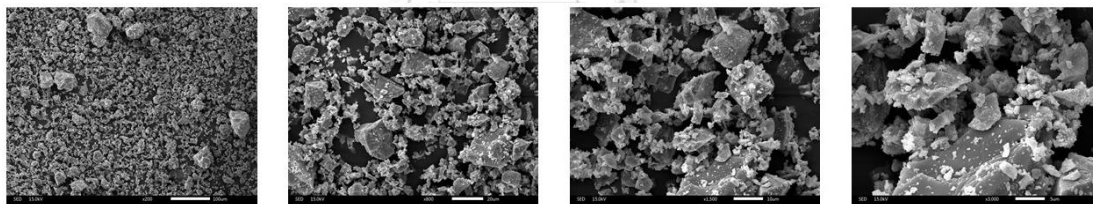
ผลการทดลองและการอภิปรายผล

การทดลองงานวิจัยการใช้กระจกผงพลังงานแสงอาทิตย์บดทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์บางส่วนเพื่อผลิตมอร์ตาร์ โดยได้ทดสอบสมบัติต่างๆ และได้แบ่งการวิเคราะห์ผลการทดลองออกเป็น 3 ส่วนดังนี้ 1.ผลการทดสอบและวิเคราะห์ปูนซีเมนต์และกระจกผงพลังงานแสงอาทิตย์บด 2. ผลการทดสอบสมบัติซีเมนต์เพสต์ 3.ผลการทดสอบมอร์ตาร์

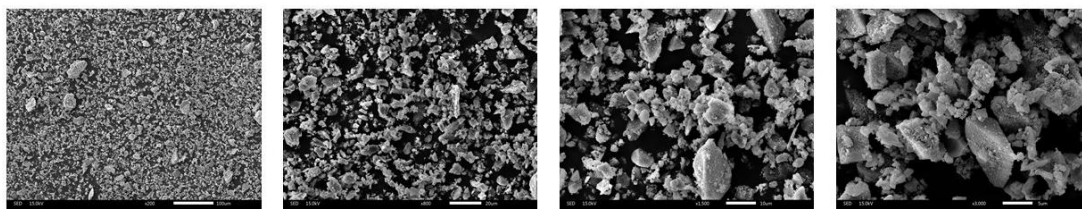
4.1. วิเคราะห์สมบัติของปูนซีเมนต์ ผงกระจกผงพลังงานแสงอาทิตย์และทราย

4.1.1 วิเคราะห์สัณฐานและรายละเอียดพื้นผิว

ผลการวิเคราะห์สัณฐานและรายละเอียดพื้นผิวของปูนซีเมนต์และกระจกผงพลังงานแสงอาทิตย์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope) ที่กำลังขยาย 200 800 1,500 และ 3,000 เท่า พบว่าลักษณะของอนุภาคปูนซีเมนต์และผงกระจกผงพลังงานแสงอาทิตย์มีลักษณะคล้ายกัน กล่าวคือมีลักษณะเป็นเหลี่ยม ผิวขรุขระไม่เรียบและมีอนุภาคหลายขนาดปนกัน แต่ขนาดอนุภาคของกระจกผงพลังงานแสงอาทิตย์บดละเอียดมีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าปูนซีเมนต์ ดังรูปที่ 64 และรูปที่ 65



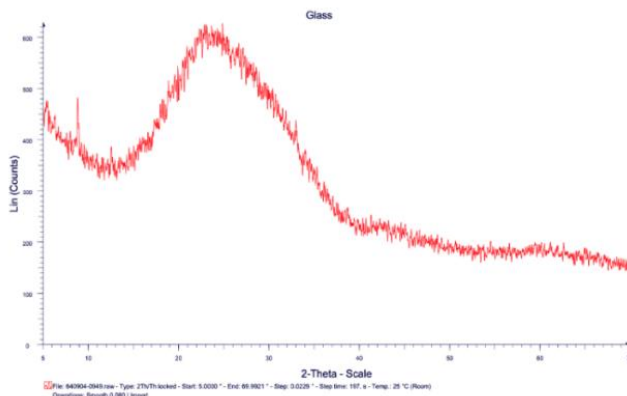
รูปที่ 64 รูปที่ ภาพถ่ายขยายกำลังขยายรายละเอียดพื้นผิวของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 โดยวิธี Scanning electronic microscope (SEM) ที่กำลังขยาย 200, 800, 1,500 และ 3,000 เท่า



รูปที่ 65 ภาพถ่ายขยายกำลังขยายรายละเอียดพื้นผิวของผงกระจกผงพลังงานแสงอาทิตย์ โดยวิธี Scanning electronic microscope (SEM) ที่กำลังขยาย 200, 800, 1,500 และ 3,000 เท่า

4.1.2 วิเคราะห์ความเป็นผลึก

ผลการทดสอบการวิเคราะห์ความเป็นผลึกของผงกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer) จากผลจากทดลองพบว่าพบว่ามีรูปแบบสัญญาณของ XRD มีช่วงพีกที่กว้าง $2\theta = 20^\circ$ ถึง 30° แสดงถึงการมีอยู่ของซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีโครงสร้างเป็นอสัณฐาน (Amorphous structure) ดังรูปที่ 66



รูปที่ 66 ผลการทดสอบการวิเคราะห์ความเป็นผลึกของผงกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer)

4.1.3 วิเคราะห์ขนาด

ผลการวิเคราะห์หาขนาดของผงกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ (Particle size analysis) พบว่าขนาดของผงกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ D_{10} มีค่าเท่ากับ 1.898 ไมโครเมตร D_{50} มีค่าเท่ากับ 4.97 ไมโครเมตร และ D_{90} มีค่าเท่ากับ 16.71 ไมโครเมตร

4.1.4 ค่าความละเอียด

ผลการทดสอบหาค่าความละเอียดของปูนซีเมนต์และผงกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์โดยแอร์เพอร์มีเอบิลิตี (Blain air-permeability apparatus) พบว่าปูนซีเมนต์มีค่าเท่ากับ 3,631 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม และผงกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 9,600 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C1866 จึงสามารถใช้เป็นวัสดุปอซโซลานได้ อีกทั้งผงกระจกมีความละเอียดมากกว่าปูนซีเมนต์ถึง 2.6 เท่า

4.1.5 วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี

ผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-Ray Fluorescence Spectrometer) พบว่ามี แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ร้อยละ 61.80 (SiO₂) ร้อยละ 17.10 อลูมิเนียมออกไซด์ (Al₂O₃) ร้อยละ 4.46 เหล็ก(III) ออกไซด์ (Fe₂O₃) ร้อยละ 3.33 ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO₃) ร้อยละ 3.28 โซเดียมออกไซด์ (Na₂O) ร้อยละ 0.13 แมกนีเซียมออกไซด์

(MgO) ร้อยละ 1.63 ซึ่งมีปริมาณตามมาตรฐาน ASTM C150 กำหนดไว้ยกเว้น ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO₃) มีปริมาณเกินมาตรฐานเพียงร้อยละ 0.28 โดย ASTM C150 กำหนดให้ แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ไม่เกินร้อยละ 6.0 ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO₃) ไม่เกินร้อยละ 3.0

ผลการวิเคราะห์ทางองค์ประกอบทางเคมีผงกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่ามีปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂) ร้อยละ 69.20 อลูมิเนียมออกไซด์ (Al₂O₃) ร้อยละ 2.95 แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ร้อยละ 8.80 เหล็ก(III) ออกไซด์ (Fe₂O₃) ร้อยละ 0.06 ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO₃) ร้อยละ 0.15 และ โซเดียมออกไซด์ (Na₂O) ร้อยละ 15.17 แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ร้อยละ 3.46 ตามตารางที่ 14 ซึ่งมีปริมาณเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C1866 ยกเว้น โซเดียมออกไซด์ (Na₂O) ที่มีปริมาณเกินมาตรฐานเพียงร้อยละ 0.17

4.1.6 ความถ่วงจำเพาะ

ผลการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ของปูนซีเมนต์ กระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์บดและทรายพบว่า ปูนซีเมนต์มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.98 กระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์บดมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.39 และทรายมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.64 ตารางที่ 14 องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ ผงกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ และทราย

องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพ		ปูนซีเมนต์	ผงกระจก	ทราย
องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)	SiO ₂	17.10	69.20	-
	Al ₂ O ₃	4.46	2.95	-
	Fe ₂ O ₃	3.33	0.06	-
	CaO	61.80	8.80	-
	MgO	1.63	3.46	-
	Na ₂ O	0.13	15.17	-
	SO ₃	3.28	0.15	-
สมบัติทางกายภาพ	ความถ่วงจำเพาะ	2.98	2.39	2.64
	ค่าความละเอียดโดยวิธีเบลน (cm ² /g)	3,631	9,600	-

4.1.7 ส่วนคละของทราย

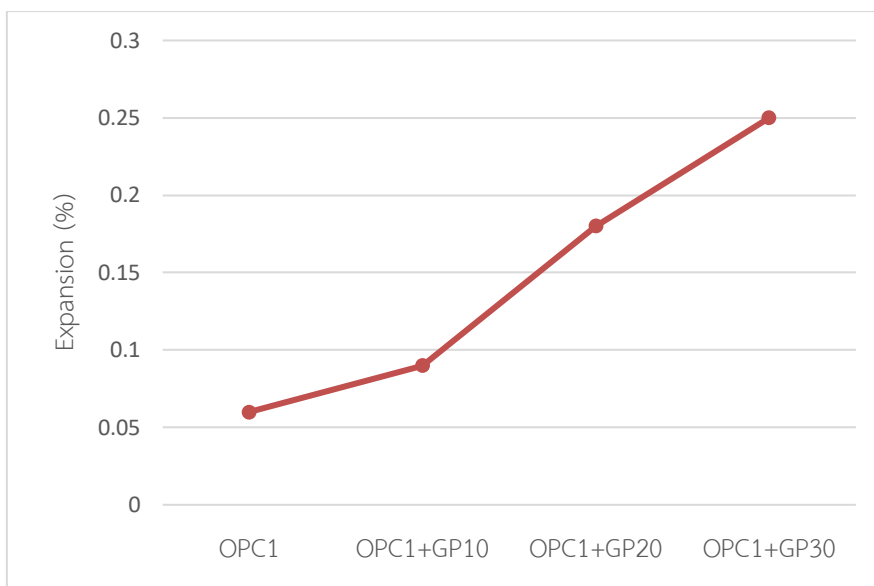
ผลการทดสอบหาส่วนคละของทรายด้วยวิธีร่อนตะแกรง (Sieve analysis) ตามมาตรฐาน ASTM C778 แสดงดังตารางที่ 15 ซึ่งทรายมีส่วนคละเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C778 ตารางที่ 15 ส่วนคละทราย

ขนาดตะแกรง	ขนาดช่องเปิด (มิลลิเมตร)	น้ำหนักตะแกรง (กรัม)	น้ำหนักตะแกรง+ทราย (กรัม)	น้ำหนักค้าง (กรัม)	ร้อยละค้าง (%)	ร้อยละค้างสะสม (%)	ร้อยละผ่านสะสม (%)
เบอร์ 16	1.18	417.89	417.89	0	0	0	100
เบอร์ 30	0.60	389.65	389.65	0	0	0	100
เบอร์ 50	0.30	345.00	555.12	210.12	70	70	30
เบอร์ 100	0.15	335.01	418.53	83.52	28	98	2
ถาดรอง	-	367.40	373.76	6.39	2	-	0
น้ำหนักมวลรวมละเอียด = 300.03 กรัม							

4.2 สมบัติซีเมนต์เพสต์

4.2.1 ความอยู่ตัว

ผลการทดสอบหาค่าความอยู่ตัว (Soundness test) ของซีเมนต์เพสต์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ พบว่าค่าการขยายตัวของตัวอย่างเมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนด้วยผงกระจก จะทำให้ค่าการขยายตัวเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของผงกระจกโดย OPC1 มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.06 OPC1+GP10 มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.09 OPC1+GP20 มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.18 และ OPC1+GP30 มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.25 ดังรูปที่ 67 โดยตัวอย่างทั้งหมดมีค่าการขยายตัวไม่เกินร้อยละ 0.8 ตามที่มาตรฐาน ASTM C151 กำหนด

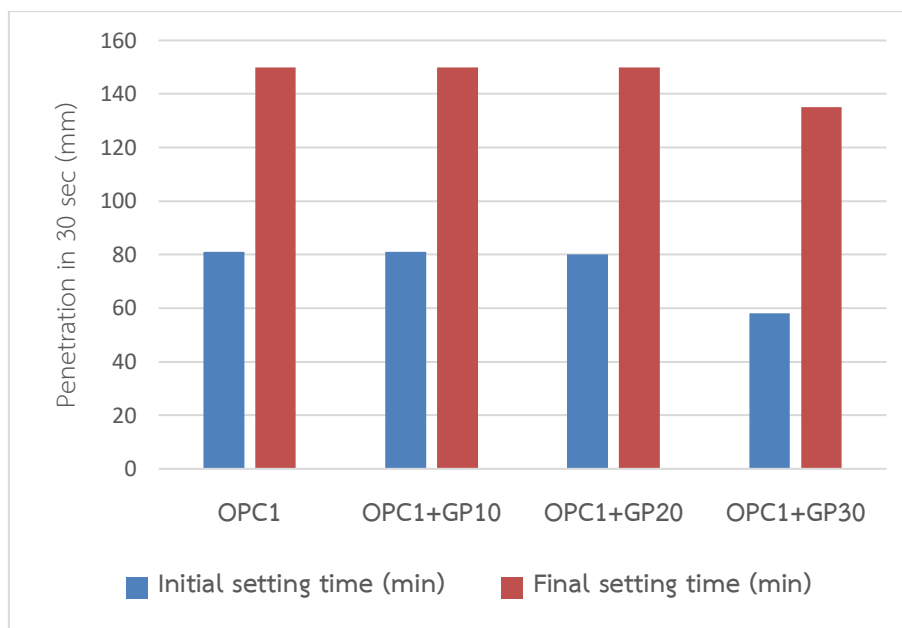


รูปที่ 67 ผลการทดสอบหาค่าความอยู่ตัวของซีเมนต์เพสต์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์

4.2.2 ระยะการก่อตัว

ผลการทดสอบหาน้ำที่เหมาะสมที่ใช้ในการผสมซีเมนต์เพสต์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ พบว่า OPC1 ใช้ปริมาณน้ำ 165 มิลลิลิตร OPC1+GP10 ใช้ปริมาณน้ำ 172 มิลลิลิตร OPC1+GP20 ใช้ปริมาณน้ำ 194 มิลลิลิตร และ OPC1+GP30 ใช้ปริมาณน้ำ 204 มิลลิลิตร กล่าวคือเมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกจะส่งผลให้ใช้ปริมาณน้ำเพิ่มมากขึ้น

ผลการทดสอบระยะก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณผงกระจกจะทำให้ค่าการก่อตัวระยะต้นและการก่อตัวระยะปลายสั้นลง โดยระยะต้น OPC1 และ OPC1+GP10 มีค่าเท่ากับ 81 นาที OPC1+GP20 มีค่าเท่ากับ 80 นาที และ OPC1+GP30 มีค่าเท่ากับ 58 นาที ระยะปลาย OPC1, OPC1+GP10 และ OPC1+GP20 มีค่าเท่ากับ 150 นาที และ OPC1+GP30 มีค่าเท่ากับ 135 นาที ดังรูปที่ 68 โดยค่าการก่อตัวระยะต้นและระยะปลายของ ของตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ทั้งหมด มีค่าตามมาตรฐาน ASTM C191 ยกเว้น ซีเมนต์เพสต์ OPC1+GP30 ที่มีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน โดยมาตรฐาน ASTM C191 ได้กำหนดให้ ค่าการก่อตัวระยะต้นเท่ากับ 75-105 นาที และค่าการก่อตัวระยะปลายเท่ากับ 150-200 นาที

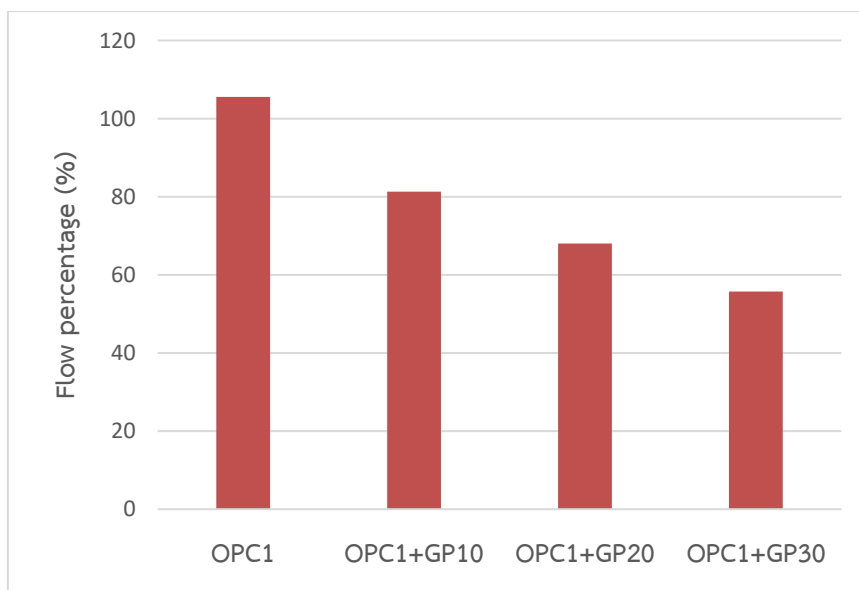


รูปที่ 68 ผลการทดสอบหาค่าการก่อดั้วระยะต้นและการก่อดั้วระยะปลายของซีเมนต์เพสต์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์

4.3 สมบัติมอร์ตาร์

4.3.1 ค่าการไหลแผ่

ผลการทดสอบค่าการไหลแผ่พบว่า ของมอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ เมื่อเพิ่มปริมาณผงกระจกจะทำให้ค่าการไหลแผ่ลดลง โดย OPC1 มีค่าการไหลแผ่เท่ากับร้อยละ 105.5 OPC1+GP10 มีค่าการไหลแผ่เท่ากับร้อยละ 81.3 OPC1+GP20 มีค่าการไหลแผ่เท่ากับร้อยละ 68.0 และ OPC1+GP30 มีค่าการไหลแผ่เท่ากับร้อยละ 55.7 ดังรูปที่ 69 ซึ่งตัวอย่างมอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกจะมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน ASTM C1437 กำหนด โดย ASTM C1437กำหนดให้ค่าการไหลแผ่เท่ากับ 110 ± 5 เนื่องจากผงกระจกมีความละเอียดที่มากกว่าปูนซีเมนต์ ทำให้มีความต้องการน้ำที่มากกว่า

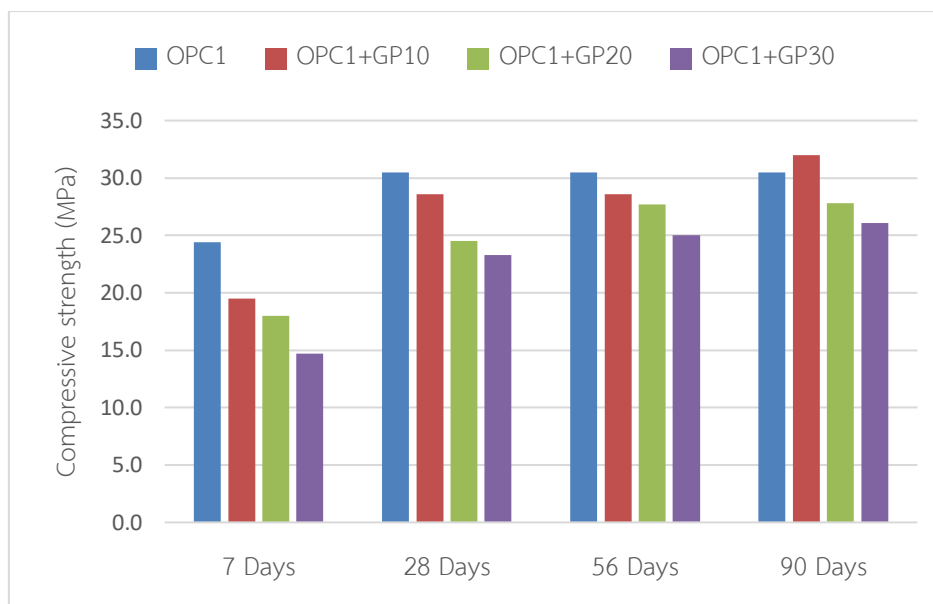


รูปที่ 69 ผลการทดสอบค่าการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์

4.3.2 กำลังรับแรงอัด

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่การบ่มอายุ 7 วัน พบว่า มอร์ตาร์ OPC1 มีกำลังรับแรงอัดที่สูงที่สุด 24.4 MPa และกำลังรับแรงอัดจะลดลงตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของผงกระจก โดย OPC1+GP10 มีกำลังรับแรงอัด 19.5 MPa OPC1+GP20 มีกำลังรับแรงอัด 18.0 MPa และ OPC1+GP30 มีกำลังรับแรงอัด 14.7 MPa ซึ่งในช่วงอายุการบ่ม 7 วันสามารถเห็นถึงความแตกต่างของกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่การบ่มอายุ 28 และ 56 วัน ตัวอย่างมอร์ตาร์ OPC1 ยังคงมีกำลังรับแรงอัดที่สูงที่สุด โดยที่มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจก เริ่มมีการพัฒนากำลังรับแรงอัดมากขึ้น โดยจะเห็นถึงความแตกต่างของกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ลดลง

สำหรับผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่การบ่มอายุ 90 วัน ตัวอย่างมอร์ตาร์ OPC1+GP10 มีกำลังรับแรงอัดที่สูงที่สุด ที่ 32.0 MPa ขณะที่ OPC1 มีกำลังรับแรงอัด 30.5 MPa OPC1+GP20 มีกำลังรับแรงอัด 27.8 MPa และ OPC1+GP30 มีกำลังรับแรงอัด 26.1 MPa ดังรูปที่ 70 จะเห็นได้ว่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่อายุการบ่มระยะแรก เมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกจะทำให้กำลังรับแรงอัดลดลง บ่งชี้ได้ว่าปูนซีเมนต์จะสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration reaction) กับน้ำ ได้แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตได้ง่ายกว่าผงกระจก โดยที่ผงกระจกจะใช้เวลานานกว่าจะเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิก (Pozzolanic reaction)



รูปที่ 70 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ ที่การบ่มอายุ 7, 28, 56 และ 90 วัน

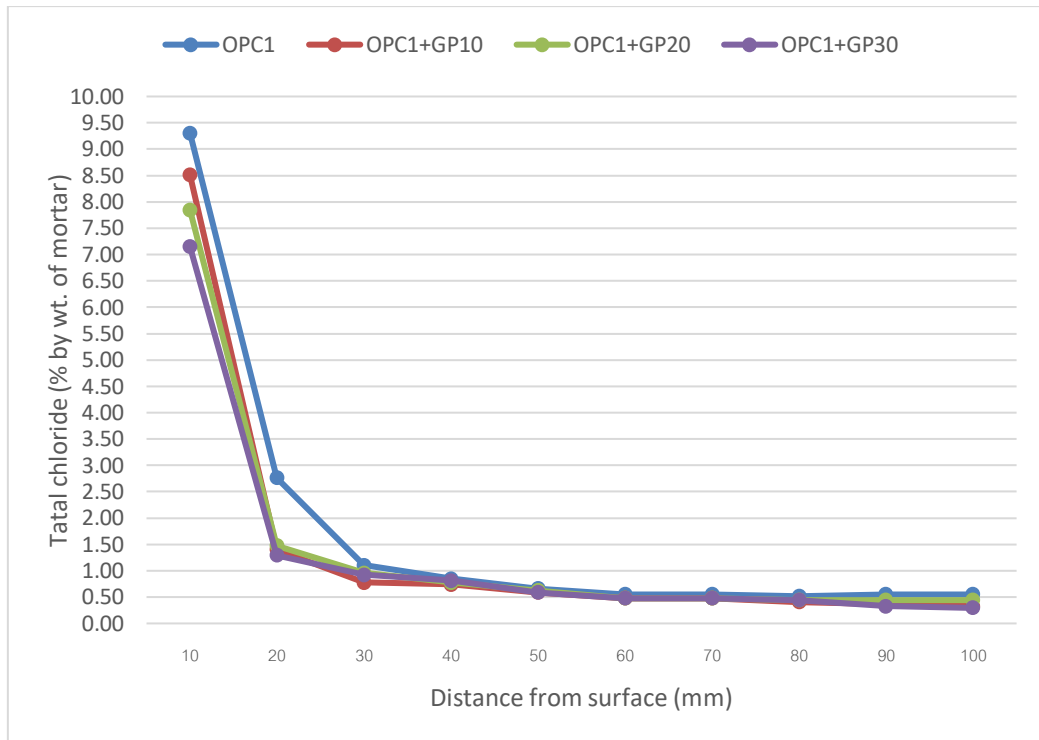
4.3.3 การซึมผ่านของคลอไรด์ในมอร์ตาร์

ผลการทดสอบหาค่าปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ตาร์ (Total chloride content) (ASTM C1152) พบว่า มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยกระจกผงพลังงานแสงอาทิตย์บดร้อยละ 0 10 20 และ 30 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ แซในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เป็นเวลา 28 วันและ 56 วัน ที่ความลึก 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 มิลลิเมตร เมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกส่งผลให้ปริมาณการซึมผ่านคลอไรด์ลดลง โดยค่าเฉลี่ยตัวอย่าง 5 ซ้ำ พบว่าที่ 28 วัน มอร์ตาร์ OPC1 มีค่าเท่ากับร้อยละ 9.30, 2.76, 1.11, 0.85, 0.66, 0.55, 0.55, 0.52, 0.55 และ 0.55 โดยน้ำหนักมอร์ตาร์ ตามลำดับ OPC1+GP10 มีค่าเท่ากับร้อยละ 8.51, 1.40, 0.78, 0.74, 0.59, 0.48, 0.48, 0.40, 0.37 และ 0.33 โดยน้ำหนักมอร์ตาร์ ตามลำดับ OPC1+GP20 มีค่าเท่ากับร้อยละ 7.84, 1.48, 0.96, 0.77, 0.63, 0.48, 0.48, 0.44, 0.44 และ 0.44 โดยน้ำหนักมอร์ตาร์ ตามลำดับ OPC1+GP30 มีค่าเท่ากับร้อยละ 7.15, 1.29, 0.92, 0.81, 0.59, 0.48, 0.48, 0.44, 0.33 และ 0.29 โดยน้ำหนักมอร์ตาร์ ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 71 ที่ 56 วัน OPC1 มีค่าเท่ากับร้อยละ 12.66, 5.81, 1.88, 1.51, 1.25, 1.22, 1.18, 1.15, 1.15 และ 1.15 โดยน้ำหนักมอร์ตาร์ ตามลำดับ OPC1+GP10 มีค่าเท่ากับร้อยละ 11.00, 4.64, 1.59, 1.11, 1.03, 0.92, 0.92, 0.88, 0.88 และ 0.88 โดยน้ำหนักมอร์ตาร์ ตามลำดับ OPC1+GP20 มีค่าเท่ากับร้อยละ 10.59, 3.50, 1.66, 1.51, 1.22, 1.15, 1.03, 1.00, 0.92 และ 0.92 โดยน้ำหนักมอร์ตาร์ ตามลำดับ OPC1+GP30 มีค่าเท่ากับ

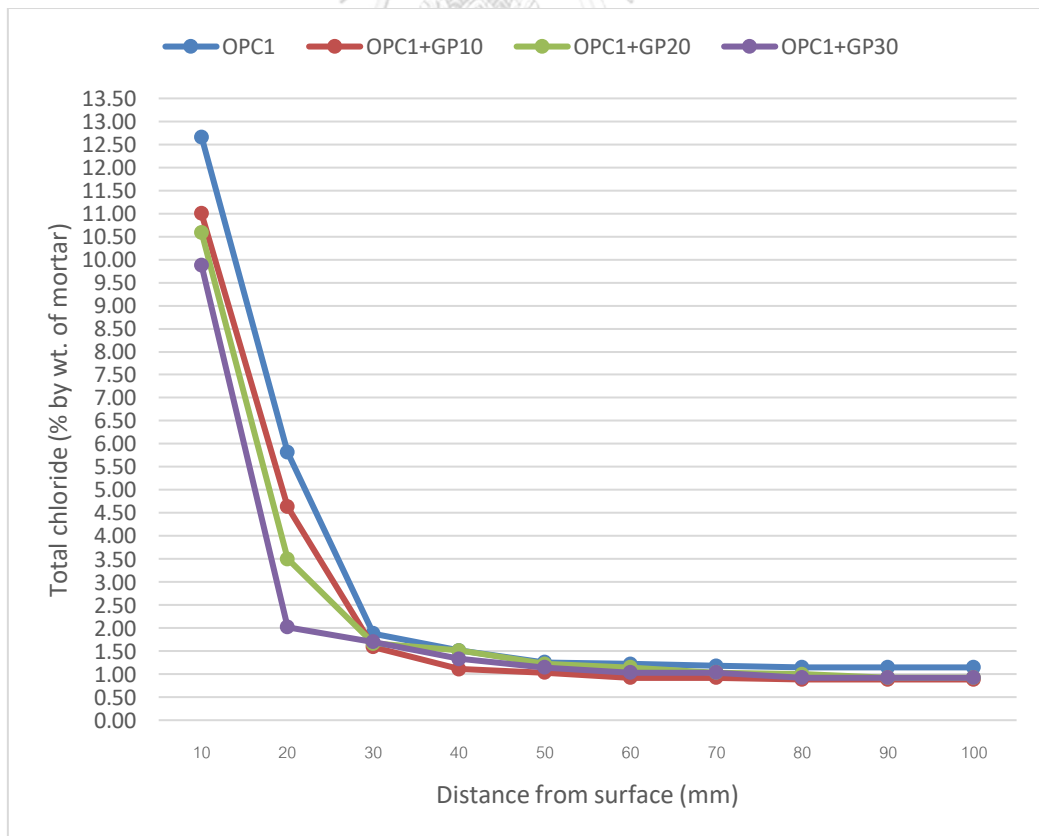
ร้อยละ 9.88, 2.02, 1.70, 1.33, 1.14, 1.03, 1.03, 0.92, 0.92 และ 0.92 โดยน้ำหนักมอร์ตาร์ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 72

ผลการทดสอบหาค่าปริมาณคลอไรด์อิสระในมอร์ตาร์ (Free chloride content) (ASTM C1218) พบว่า มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยกระจกผงพลังงานแสงอาทิตย์บดร้อยละ 0 10 20 และ 30 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ แซ่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เป็นเวลา 28 วันและ 56 วัน ที่ความลึก 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 มิลลิเมตร เมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกส่งผลให้ปริมาณการซึมผ่านคลอไรด์ลดลง โดยค่าเฉลี่ยตัวอย่าง 5 ซ้ำ พบว่าที่ 28 วัน มอร์ตาร์ OPC1 มีค่าเท่ากับร้อยละ 8.05, 2.57, 0.43, 0.39, 0.37, 0.35, 0.34, 0.34, 0.34 และ 0.34 โดยน้ำหนักมอร์ตาร์ ตามลำดับ OPC1+GP10 มีค่าเท่ากับร้อยละ 7.93, 1.26, 0.36, 0.37, 0.34, 0.33, 0.33, 0.33, 0.33 และ 0.33 โดยน้ำหนักมอร์ตาร์ ตามลำดับ OPC1+GP20 มีค่าเท่ากับร้อยละ 7.18, 0.74, 0.42, 0.41, 0.39, 0.35, 0.35, 0.34, 0.34 และ 0.34 โดยน้ำหนักมอร์ตาร์ตามลำดับ OPC1+GP30 มีค่าเท่ากับร้อยละ 6.67, 0.86, 0.72, 0.60, 0.40, 0.39, 0.37, 0.35, 0.35 และ 0.35 โดยน้ำหนักมอร์ตาร์ ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 73 ที่ 56 วัน OPC1 มีค่าเท่ากับร้อยละ 11.45, 4.94, 1.50, 0.66, 0.36, 0.36, 0.34 0.35, 0.33 และ 0.35 โดยน้ำหนักมอร์ตาร์ ตามลำดับ OPC1+GP10 มีค่าเท่ากับร้อยละ 9.83, 3.85, 1.05, 0.38, 0.36, 0.35, 0.35, 0.35, 0.35 และ 0.35 โดยน้ำหนักมอร์ตาร์ ตามลำดับ OPC1+GP20 มีค่าเท่ากับร้อยละ 9.44, 2.75, 0.73, 0.47, 0.35, 0.33, 0.34, 0.34, 0.34 และ 0.34 โดยน้ำหนักมอร์ตาร์ ตามลำดับ OPC1+GP30 มีค่าเท่ากับร้อยละ 8.89, 1.21, 0.56, 0.36, 0.35, 0.35, 0.35, 0.35 และ 0.35 โดยน้ำหนักมอร์ตาร์ ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 74

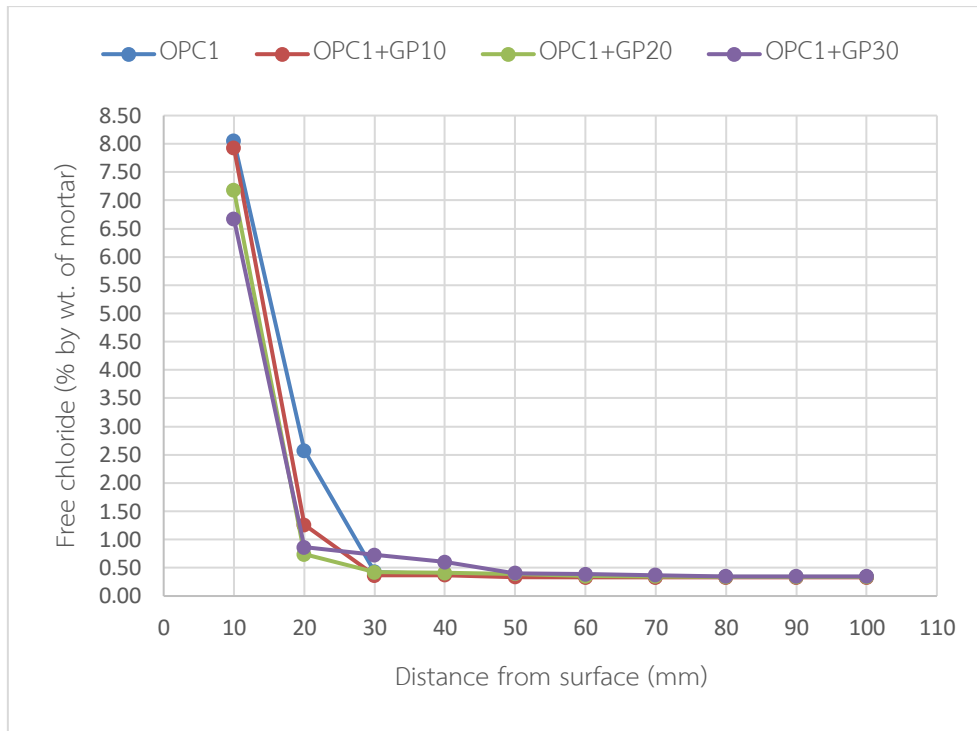
จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่า การแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนด้วยผงกระจกผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณการแทรกซึมคลอไรด์ลดลงอย่างชัดเจน โดยการแทรกซึมมีแนวโน้มที่จะลดลง ที่ระดับความลึกต่างๆ แสดงให้เห็นถึง ผงกระจกมีการปล่อยอิออนของอัลคาไลน์ส่งผลให้ ความหนืดของสารละลายในโพรงช่องว่างเพิ่มขึ้น ซึ่งขัดขวางการแทรกซึมของคลอไรด์สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาของ Jain และคณะ (2010) และการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกระหว่าง ผงกระจกกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ได้เป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) และ แคลเซียมอลูมิเนียมไฮเดรต (C-A-H) ซึ่งจะช่วยลดโพรงในช่องว่างของมอร์ตาร์ ทำให้มอร์ตาร์มีความทึบน้ำสูงขึ้น (วินิต ช่อวิเชียร, 2557) (ศุภนนท์ บรรจงเกลี้ยง, 2549)



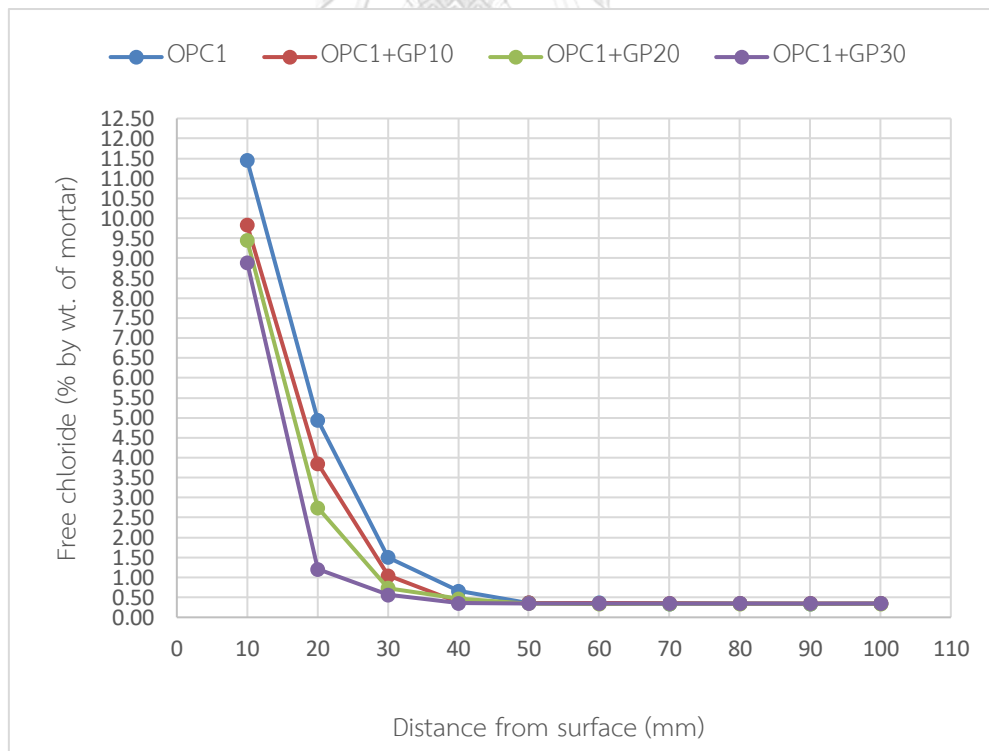
รูปที่ 71 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในmortarที่แช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เป็นเวลา 28 วัน



รูปที่ 72 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในmortarที่แช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เป็นเวลา 56 วัน



รูปที่ 73 คลอไรด์อิสระในmortarที่แช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เป็นเวลา 28 วัน



รูปที่ 74 ปริมาณคลอไรด์อิสระในmortarที่แช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เป็นเวลา 56 วัน

4.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

4.4.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

ผงกระจกแฉงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้เป็นวัสดุที่มีโครงสร้างเป็นอสัณฐาน มีขนาดที่เล็ก มีค่า D_{50} เท่ากับ 4.97 ไมโครเมตร และมีความละเอียดสูง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิก

ผงกระจกมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.39 ขณะที่ปูนซีเมนต์มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.98 แสดงให้เห็นว่าผงกระจกมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าปูนซีเมนต์ และอนุภาคของผงกระจกมีความละเอียดสูงและละเอียดมากกว่าปูนซีเมนต์ 2.6 เท่า ด้วยอนุภาคที่เล็กกว่าปูนซีเมนต์ของผงกระจกอาจส่งผลต่อการเติมช่องว่าง (Filler effect) ซึ่งส่งผลดีต่อกำลังรับแรงอัด แต่ก็ไม่สามารถที่จะทดแทนกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ได้ในช่วงต้น เนื่องจากการลดสัดส่วนปริมาณปูนซีเมนต์ลง เพื่อเพิ่มสัดส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกมากขึ้น

ส่วนคละทรายจากการทดลอง เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C778 กำหนด ซึ่งการมีส่วนคละขนาดที่เหมาะสมในการผสมมอร์ตาร์ จะช่วยให้มอร์ตาร์มีเนื้อสม่ำเสมอ คุณภาพดี ใช้งานง่าย ไม่เกิดการแยกตัวของมอร์ตาร์ มีความสามารถเทได้ดี

4.4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

ผงกระจกมีองค์ประกอบของซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) และโซเดียมออกไซด์ (Na_2O) ที่สูง โดยมีซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 69.20 และ โซเดียมออกไซด์ร้อยละ 15.17 ซึ่งมีเทียบกับมาตรฐาน ASTM C1866 พบว่ามีปริมาณโซเดียมออกไซด์ เกินมาตรฐานที่ร้อยละ 0.17 โดยการมีปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์ที่สูงนั้น แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการเป็นวัสดุปอซโซลานของผงกระจก ทั้งนี้ปริมาณอัลคาไลน์ที่สูงในผงกระจกอาจเกิดปัญหา เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างต่างกับมวลรวม (Alkaline-silica reaction) เมื่อใช้กระจกเป็นมวลรวม แต่เมื่อบัดแก้วจนมีขนาดเล็กมากพอ จะไม่เกิดปัญหานี้ สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาของ Zheng (2016) และผงกระจกที่มีปริมาณอัลคาไลน์ที่สูงนั้นจะมีการปล่อยไอออนของอัลคาไลน์ ส่งผลให้ความหนืดของสารละลายในโพรงช่องว่างเพิ่มขึ้น ซึ่งขัดขวางการแทรกซึมของคลอไรด์สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาของ Jain และคณะ (2010)

4.4.3 การวิเคราะห์สมบัติซีเมนต์เพสต์

ค่าความอยู่ตัวของซีเมนต์เพสต์ พบว่าซีเมนต์เพสต์จะมีค่าการขยายตัวที่เพิ่มมากขึ้นตามปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกที่มากขึ้น แต่ก็ยังคงมีค่าเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C151 กำหนด ซึ่งซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัวแล้วจะไม่มีเปลี่ยนแปลงปริมาตรมากนัก คือปูนซีเมนต์ที่ใช้มีความคงตัวหรืออยู่ตัวดี (Soundness) แต่การเกิดความไม่อยู่ตัว (Unsoundness) จะส่งผลให้เกิดการขยายตัวในซีเมนต์เพสต์ ผลจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับผลึกในส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ เป็นไปอย่างช้าๆ ทำให้ซีเมนต์เพสต์ มอร์ตาร์ หรือคอนกรีตจะเกิดการแตกร้าว

ในการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการผสมซีเมนต์เพสต์พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจก จะทำให้ต้องใช้ปริมาณน้ำที่มากขึ้น เนื่องจากปัจจัยด้านความละเอียดของผงกระจกซึ่งมีความละเอียดที่สูงกว่าปูนซีเมนต์ จึงทำให้มีความต้องการน้ำที่มากขึ้น โดยทั่วไปปริมาณน้ำที่ใช้ผสมซีเมนต์เพสต์มีอิทธิพลมากต่อระยะเวลาการก่อตัวและการแข็งตัว ดังนั้นจึงต้องใช้ปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการผสมปูนซีเมนต์ เพื่อให้ได้ซีเมนต์เพสต์ที่ภาวะมาตรฐานคงที่หรือความชื้นเหลวปกติ (Normal consistency) ผลการหาระยะก่อตัวพบวาระยะก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกจะทำให้ระยะก่อตัวสั้นลง โดยระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์เป็นสิ่งจำเป็น เพื่อให้ทราบถึงระยะเวลาที่จะต้องทำงานให้แล้วเสร็จก่อนที่ซีเมนต์เพสต์นั้นจะเกิดการแข็งตัว โดยทั่วไปซีเมนต์เพสต์ควรมีระยะก่อตัวที่ไม่เร็วหรือช้าเกินไป เพราะถ้าเร็วเกินไปจะมีเวลาในการทำงานสั้นลง แต่ถ้าหากมีระยะก่อตัวที่นานเกินไปจะทำให้การรับกำลังรับแรงอัดช้า และใช้งานช้าตามไปด้วย

4.4.4 การวิเคราะห์สมบัติมอร์ตาร์

เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบต่อความสามารถในการเทได้จากค่าการไหลผ่าน (Percent flow) พบว่าปัจจัยด้านความละเอียดของผงกระจกซึ่งมีความละเอียดที่สูงกว่าปูนซีเมนต์ จึงทำให้มีความต้องการน้ำที่มากกว่าปูนซีเมนต์ อีกทั้งผงกระจกมีรูปร่างอนุภาคที่เป็นเหลี่ยม ผิวขรุขระ ทำให้มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกจะต้องเพิ่มปริมาณน้ำที่มากขึ้น เพื่อให้ความสามารถในการเทได้มีค่าเหมือนเดิม โดยจากรูปที่ 69 มอร์ตาร์จะมีค่าการไหลผ่านจะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกมากขึ้น โดยทั่วไปควรมีค่าความชื้นเหลวที่เหมาะสมที่จะนำไปเทได้อย่างสะดวก โดยสัดส่วนผสมที่ให้ความเหลวมากเกินไป จะมีผลทำให้เกิดการแยกตัวในขณะลำเลียงหรือเท อีกทั้งทำให้กำลังรับแรงอัดต่ำลงไม่คงทน และมีโอกาสแตกร้าวได้ง่าย

ผลของกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่อายุ 7-56 วัน จะมีกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ลดลงตามปริมาณของผงกระจกที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าต่ำกว่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ไม่มีผงกระจก ทั้งนี้อาจเพราะสัดส่วนของปูนซีเมนต์ที่จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันได้เป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักมีคุณสมบัติเป็นตัวยึดประสาน มีความเหนียวคล้ายกาว ก่อตัว แข็งตัวและยึดเกาะแน่นกับวัสดุผสม มีปริมาณที่น้อยลง ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดต่ำลง ในขณะที่ผงกระจกในอายุต้นยังคงมีลักษณะเป็นวัสดุเฉื่อยที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกหรืออาจเกิดน้อย และผลด้านอื่นๆไม่สามารถชดเชยกำลังรับแรงอัดที่ลดลงได้ เช่นการเติมเต็มช่องว่างของมอร์ตาร์ ทั้งนี้กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่อายุ 90 วันของมอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ให้กำลังรับแรงอัดที่สูงที่สุด เนื่องจากผลของการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิก ได้เป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตทุติยภูมิ ซึ่งส่งผลให้มีกำลังรับแรงอัดที่สูง ทั้งนี้มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 20 และ 30 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ยังคงให้กำลังรับแรงอัดที่ต่ำ

กว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มีผงกระจก เนื่องจากปริมาณการแทนที่ด้วยผงกระจกที่มาก ทำให้ปริมาณการเกิดแคลเซียมซิลิเกตไฮดรตปฐมภูมิจากปฏิกิริยาไฮดรชันของปูนซีเมนต์กับน้ำเกิดขึ้นน้อย ซึ่งแคลเซียมซิลิเกตไฮดรตทุติยภูมิจากปฏิกิริยาปอซโซลานิก ไม่สามารถให้กำลังรับแรงอัดเพื่อชดเชยได้ ดังนั้นจึงทำให้มีกำลังรับแรงอัดที่ต่ำกว่า

ผลจากการทดสอบการซึมผ่านคลอไรด์ในมอร์ตาร์ ที่แช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เป็นเวลา 28 และ 56 วัน พบว่ามีปริมาณการซึมผ่านของคลอไรด์ลดลงตามปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากผลของการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกและขนาดของผงกระจกที่เล็ก ทำให้ช่วยลดโพรงในช่องว่าง ทำให้มอร์ตาร์มีความทึบน้ำสูงขึ้น อีกทั้งปริมาณอัลคาไลน์ที่สูงของผลกระจกส่งผลให้ความหนืดของสารละลายในโพรงช่องว่างเพิ่มขึ้น ซึ่งขัดขวางการแทรกซึมของคลอไรด์ ทำให้มีการซึมผ่านของคลอไรด์ลดลง

ตารางที่ 16 ตารางสรุปการวิเคราะห์ผลการทดลอง

การทดสอบ	ผลการวิเคราะห์
การวิเคราะห์สีฐานและรายละเอียดพื้นผิว	มีลักษณะเป็นเหลี่ยม ผิวขรุขระไม่เรียบและมีอนุภาคหลายขนาดปนกัน
การวิเคราะห์ความเป็นผลึกของผงกระจก	ผงกระจกมีโครงสร้างเป็นอสัณฐาน แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกได้
การวิเคราะห์ขนาดของผงกระจก	ผงกระจกมีขนาดเล็ก มีพื้นที่ผิวมาก มีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา
การวิเคราะห์ความละเอียด	ผงกระจกมีค่าความละเอียดมากกว่าปูนซีเมนต์ 2.6 เท่า ด้วยอนุภาคที่เล็กกว่าปูนซีเมนต์ของผงกระจก ส่งผลให้มีความต้องการน้ำที่มากกว่าปูนซีเมนต์ อีกทั้งอาจส่งผลต่อการเติมช่องว่าง (Filler effect) ซึ่งส่งผลดีต่อกำลังรับแรงอัด
การวิเคราะห์ค่าความถ่วงจำเพาะ	ผงกระจกมีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าปูนซีเมนต์
การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี	ผงกระจกมีองค์ประกอบของซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO ₂) และโซเดียมออกไซด์ (Na ₂ O) ที่สูง โดยการมีปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์ที่สูงนั้น แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการเป็นวัสดุปอซโซลานของผงกระจก และปริมาณอัลคาไลน์ที่สูงนั้นจะส่งผลให้ความหนืดของสารละลายในโพรงช่องว่างเพิ่มขึ้น ซึ่งขัดขวางการแทรกซึมของคลอไรด์

การวิเคราะห์ส่วนคละทราย	ทรายที่ใช้มีส่วนคละขนาดเป็นไปตามมาตรฐาน ซึ่งการมีส่วนคละขนาดที่เหมาะสมในการผสมมอร์ตาร์ จะช่วยให้มอร์ตาร์มีเนื้อสม่ำเสมอ คุณภาพดี ใช้งานง่าย ไม่เกิดการแยกตัวของมอร์ตาร์ มีความสามารถเทได้ดี
การวิเคราะห์ความอยู่ตัว	ซีเมนต์เพสต์จะมีค่าการขยายตัวที่เพิ่มมากขึ้นตามปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกที่มากขึ้น ซึ่งซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัวแล้วจะไม่มีเปลี่ยนแปลงปริมาตรมากนัก คือปูนซีเมนต์ที่ใช้มีความคงตัวหรืออยู่ตัวดี แต่การเกิดความไม่อยู่ตัวจะส่งผลให้เกิดการขยายตัวในซีเมนต์เพสต์ ทำให้ซีเมนต์เพสต์ มอร์ตาร์ หรือคอนกรีตจะเกิดการแตกร้าว
การวิเคราะห์ระยะการก่อตัว	ระยะก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกจะทำให้ระยะก่อตัวสั้นลง โดยระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์เป็นสิ่งจำเป็น เพื่อให้ทราบถึงระยะเวลาที่จะต้องทำงานให้แล้วเสร็จ ก่อนที่ซีเมนต์เพสต์นั้นจะเกิดการแข็งตัว โดยทั่วไปซีเมนต์เพสต์ควรมีระยะก่อตัวที่ไม่เร็วหรือช้าเกินไป เพราะถ้าเร็วเกินไปจะมีเวลาในการทำงานสั้นลง แต่ถ้าหากมีระยะก่อตัวที่นานเกินไปจะทำให้การรับกำลังรับแรงอัดช้า และใช้งานช้าตามไปด้วย
การวิเคราะห์ค่าการไหลแผ่	มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจก จะมีค่าการไหลแผ่ที่ลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกมากขึ้น ด้วยปัจจัยด้านความละเอียดของผงกระจกซึ่งมีความละเอียดที่สูงกว่าปูนซีเมนต์ จึงทำให้มีความต้องการน้ำที่มากกว่าปูนซีเมนต์ โดยทั่วไปควรมีค่าความชื้นเหลวที่เหมาะสมที่จะนำไปเทได้อย่างสะดวก โดยสัดส่วนผสมที่ให้ความเหลวมากเกินไป จะมีผลทำให้เกิดการแยกตัวในขณะลำเลียงหรือเท อีกทั้งทำให้กำลังรับแรงอัดต่ำลงไม่คงทน และมีโอกาสแตกร้าวได้ง่าย
การวิเคราะห์กำลังรับแรงอัด	กำลังรับแรงอัดมอร์ตาร์ที่อายุการบ่มระยะแรกจะมีกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ลดลงตามปริมาณของผงกระจกที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าต่ำกว่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ไม่มีผงกระจก เนื่องจากสัดส่วนของปูนซีเมนต์ที่จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันได้เป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตน้อยลง ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดต่ำลง แต่ที่อายุการบ่มระยะ

	หลัง มอเตอร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ให้กำลังรับแรงอัดที่สูงที่สุด เนื่องจากผลของการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิก ซึ่งใช้เวลานานกว่าจะเกิดปฏิกิริยา
การวิเคราะห์การซึมผ่านคลอไรด์	ปริมาณการซึมผ่านของคลอไรด์ลดลงตามปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากผลของการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกและขนาดของผงกระจกที่เล็ก ทำให้ช่วยลดโพรงในช่องว่าง ทำให้มอร์ตาร์มีความทึบน้ำสูงขึ้น อีกทั้งปริมาณอัลคาไลน์ที่สูงของผลกระจกส่งผลให้ความหนืดของสารละลายในโพรงช่องว่างเพิ่มขึ้น ซึ่งขัดขวางการแทรกซึมของคลอไรด์ ทำให้มีการซึมผ่านของคลอไรด์ลดลง

4.5 แนวทางการประยุกต์ใช้มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนด้วยผงกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์

เนื่องจากสมบัติในการต้านทานการซึมผ่านคลอไรด์ในมอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจก ซึ่งมีปริมาณการซึมผ่านคลอไรด์ลดลงตามปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกที่เพิ่มขึ้น สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตเป็นคอนกรีตประเภทคอนกรีตชายฝั่งทะเล ซึ่งเป็นคอนกรีตที่ต้องมีคุณสมบัติต้านทานการซึมผ่านคลอไรด์และซัลเฟต ซึ่งมีอยู่ในน้ำทะเล, ไอทะเล, น้ำกร่อย, น้ำใต้ดิน และดินเค็ม

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปผลงานวิจัย

จากผลการศึกษาผลของการเพิ่มการแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนด้วยผงกระจกผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ โดยศึกษา สมบัติพื้นฐานของวัสดุ ซึ่งได้แก่ สันฐานและรายละเอียดพื้นผิว ความเป็นผลึก ขนาด ค่าความละเอียด ความถ่วงจำเพาะ องค์ประกอบทางเคมี และส่วนคละขนาดทราย สมบัติของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งได้แก่ ค่าการขยายตัวระยะก่อดำ และสมบัติของมอร์ตาร์ ซึ่งได้แก่ ค่าการไหลแผ่ กำลังรับแรงอัด และการซึมผ่านของคลอไรด์ สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1.1 ผงกระจกมีคุณลักษณะของการเป็นวัสดุปอซโซลาน คือ มีปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์ที่สูง ร้อยละ 69.20 เป็นวัสดุออสันฐาน และมีขนาดอนุภาคเล็กและละเอียด โดยเป็นไปตามมาตรฐานการใช้แก้วเป็นวัสดุปอซโซลาน ASTM C1866

5.1.2 ด้วยลักษณะอนุภาคของผงแก้วมีขนาดเล็กและมีค่าความละเอียดมากกว่าปูนซีเมนต์ อีกทั้งมีรูปร่างเป็นเหลี่ยม ผิวขรุขระไม่เรียบ ทำให้การผสมซีเมนต์เพสต์ที่มีผงกระจกต้องเพิ่มปริมาณน้ำ ตามสัดส่วนของผงกระจกที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งทำให้ค่าการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ลดลง ตามสัดส่วนของผงกระจกที่เพิ่มขึ้น

5.1.3 ผงแก้วจะทำให้ค่าการขยายตัวของซีเมนต์เพสต์เพิ่มขึ้น ตามสัดส่วนของผงกระจกที่เพิ่มขึ้น แต่ค่าการขยายตัวยังคงอยู่ในมาตรฐาน ASTM C151 กำหนด

5.1.4 ผงแก้วทำให้ระยะการก่อดำของซีเมนต์เพสต์สั้นลง ตามสัดส่วนของผงกระจกที่เพิ่มขึ้น

5.1.5 ในช่วงอายุแรกผงแก้วยังมีลักษณะเป็นวัสดุเฉื่อย และผลด้านอื่นๆไม่สามารถชัดเจน กำลังรับแรงอัดที่ลดลงได้ ทำให้มอร์ตาร์มีกำลังรับแรงอัดที่ต่ำในช่วงแรก

5.1.6 ที่อายุหลังมอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 10 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ ให้กำลังรับแรงอัดที่สูง โดยที่มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 20 และ 30 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ ยังคงให้กำลังรับแรงอัดที่ต่ำ เนื่องจากปริมาณการเกิดแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตปฐมภูมิจากปฏิกิริยาไฮเดรชันลดลง ซึ่งแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตทุติยภูมิจากปฏิกิริยาปอซโซลานิก ไม่สามารถให้กำลังรับแรงอัดเพื่อชดเชยได้ ดังนั้นจึงทำให้มีกำลังรับแรงอัดที่ต่ำกว่า

5.1.7 ผลจากปฏิกิริยาปอซโซลานิกของผงกระจกและขนาดของผงกระจกที่เล็ก ทำให้ช่วยลดโพรงในช่องว่าง ทำให้มอร์ตาร์มีความทึบน้ำสูงขึ้น ช่วยเพิ่มความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านคลอไรด์ในมอร์ตาร์ได้ โดยปริมาณการซึมผ่านของคลอไรด์ลดลงตามปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย

ผงกระจกที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งปริมาณอัลคาไลน์ที่สูงของผงกระจกส่งผลให้ความหนืดของสารละลายใน
โพรงช่องว่างเพิ่มขึ้น ซึ่งขัดขวางการแทรกซึมของคลอไรด์ ทำให้มีการซึมผ่านของคลอไรด์ลดลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงผลกระทบจากความละเอียดของผงกระจก ต่อการ
เปลี่ยนแปลงความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิก

5.2.2 เนื่องจากผงกระจก มีขนาดเล็กและมีความละเอียดสูง ส่งผลให้ต้องเพิ่มปริมาณน้ำใน
การผสมซีเมนต์เพสต์ที่มีผงกระจกเพิ่มขึ้น และส่งผลให้ค่าการไหลแผ่มอร์ตาร์ดลดลง ดังนั้นควรมี
การศึกษาการเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์และการใช้สารผสมประเภทสารลดน้ำ ซึ่งอาจส่งผลต่อ
สมบัติของมอร์ตาร์ในด้านต่างๆ

5.2.3 ควรศึกษาการต้านทานการซึมผ่านของคลอไรด์ด้วยวิธีการอื่นๆ ซึ่งอาจมีความแม่นยำ
ที่มากกว่า



บรรณานุกรม

- Aman, M. M., Solangi, K. H., Hossain, M. S., Badarudin, A., Jasmon, G. B., Mokhlis, H., . . . Kazi, S. N. (2015). A review of Safety, Health and Environmental (SHE) issues of solar energy system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 1190-1204. doi:10.1016/j.rser.2014.08.086
- Amezquita, O. H. (2018). After the useful time of the solar panels, What's next? แหล่งที่มา: https://es.linkedin.com/pulse/after-useful-time-solar-panels-whats-next-%C3%B3scar-herrera-am%C3%A9zquita?trk=pulse-article_more-articles_related-content-card. [16 October 2020]
- ASTM C109. (2020). Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens). *Book of Standards*, 04.01, 11. doi:10.1520/C0109_C0109M-20
- ASTM C151. (2018). Standard Test Method for Autoclave Expansion of Hydraulic Cement. *Book of ASTM Standards*, 04.01, 4. doi:10.1520/C0151_C0151M-18
- ASTM C187. (2016). Standard Test Method for Amount of Water Required for Normal Consistency of Hydraulic Cement Paste. *Book of ASTM Standards*, 04.01, 3. doi:10.1520/C0187-16
- ASTM C191. (2021). Standard Test Methods for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle. *Book of ASTM Standards*, 04.01, 8. doi:10.1520/C0191-21.
- ASTM C204. (2019). Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by Air-Permeability Apparatus. *Book of ASTM Standards*, 04.01, 11. doi:10.1520/C0204-18E01
- ASTM C786. (2003). Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement and Raw Materials by the 300- μm (No. 50), 150- μm (No. 100), and 75- μm (No. 200) Sieves by Wet Methods. *Book of ASTM Standards*, 04.01. doi:10.1520/C0786-96R03
- ASTM C1152. (2017). Standard Test Method for Acid-Soluble Chloride in Mortar and Concrete. *Book of ASTM Standards*, 04.02. doi:10.1520/C1152_C1152M-03
- ASTM C1202. (2022). Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability

- to Resist Chloride Ion Penetration. *Book of ASTM Standards, 04.02*.
doi:10.1520/C1202-22
- ASTM C1218. (2020). Standard Test Method for Water-Soluble Chloride in Mortar and Concrete. *Book of ASTM Standards, 04.02, 3*. doi:10.1520/C1218_C1218M-20
- ASTM C1866. (2020). Standard Specification for Ground-Glass Pozzolan for Use in Concrete. *Book of Standards, 04.02, 5*. doi:10.1520/C1866_C1866M-20
- Bio Intelligence service. (2011). *Study on photovoltaic panels supplementing the impact assessment for a recast of the WEEE directive*.
<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/944769fa-6545-41c1-8d1f-de5f2061c3c0>
- Cucchiella, F., D'Adamo, I., & Rosa, P. (2015). End-of-Life of used photovoltaic modules: A financial analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 47*, 552-561.
doi:10.1016/j.rser.2015.03.076
- Dolla, T. P., Ilias, T. K., Exarchos, A. D., Dassios, G. K., Barkoula, M. N., & Matikas, E. T. (2019). Effect of Carbon Nanotubes on Chloride Penetration in Cement Mortars. *Applied science, 9*, 1-17. doi:10.3390/app9051032
- Humood, M., Beheshti, A., & Polycarpou, A. A. (2017). Surface reliability of annealed and tempered solar protective glasses: Indentation and scratch behavior. *Solar Energy, 142*, 13-25. doi:10.1016/j.solener.2016.12.011
- Islam, G. M. S., Rahman, M. H., & Kazi, N. (2017). Waste glass powder as partial replacement of cement for sustainable concrete practice. *International Journal of Sustainable Built Environment, 6*, 37-44. doi:10.1016/j.ijbsbe.2016.10.005
- Jain, J. A., & Neithalath, N. (2010). Chloride transport in fly ash and glass powder modified concretes – Influence of test methods on microstructure. *Cement & Concrete Composites, 32*, 148-156. doi:10.1016/j.cemconcomp.2009.11.010
- Jani, Y., & Hogland, W. (2014). Waste glass in the production of cement and concrete – A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering, 2*, 1767-1775.
doi:10.1016/j.jece.2014.03.016
- Latunussa, C. E. L., Mancini, L., Blengini, G. A., Ardente, F., & Pennington, D. (2016). *Analysis of Material Recovery from Silicon Photovoltaic Panels*.
<https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC100783>

- McDonald, N. C., & Pearce, J. M. (2010). Producer responsibility and recycling solar photovoltaic modules. *Energy Policy*, *38*, 7041-7047.
doi:10.1016/j.enpol.2010.07.023
- Meena, A., & Singh, R. (2012). *Comparative Study of Waste Glass Powder as Pozzolanic Material in Concrete*. Bachelor National Institute of Technology Rourkela, http://ethesis.nitrkl.ac.in/3339/1/Randheer_%26_Ankur_final_Thesis.pdf
- Paiano, A. (2015). Photovoltaic waste assessment in Italy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *41*, 99-112. doi:10.1016/j.rser.2014.07.208
- Paiva, H., Velosa, A., Cachim, P., & Ferreira, M. V. (2016). Effect of pozzolans with different physical and chemical characteristics on concrete properties. *Materiales de Construcción*, *66*, 322. doi:10.3989/mc.2016.01815
- Shao, Y., Lefort, T., Moras, S., & Rodriguez, D. (2000). Studies on concrete containing ground waste glass. *Cement and Concrete Research*, *30*, 91-100.
doi:10.1016/S0008-8846(99)00213-6
- Shubbak, M. H. (2019). Advances in solar photovoltaics: Technology review and patent trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *115*.
doi:10.1016/j.rser.2019.109383
- Tammaro, M., Rimauro, J., Fiandra, V., & Salluzzo, A. (2015). Thermal treatment of waste photovoltaic module for recovery and recycling: Experimental assessment of the presence of metals in the gas emissions and in the ashes. *Renewable Energy*, *81*, 103-112. doi:10.1016/j.renene.2015.03.014
- Tao, M., Fthenakis, V., Ebin, B., Steenari, B.-M., Butler, E., Sinha, P., . . . Simon, E. S. (2020). Major challenges and opportunities in silicon solar module recycling. *Photovoltaics*, *28*, 1-12. doi:10.1002/pip.3316
- The Corning Museum of Glass. (2011). Types o glass. แหล่งที่มา:
<https://www.cmog.org/article/types-glass>. [15 October 2020]
- Wambach, K., & Alsema, E. A. (2011). Life Cycle Analysis of Solar Module Recycling Process *Materials Research Society*, *895*, 1-6. doi:10.1557/PROC-0895-G03-07
- Weckend, S., Wade, A., & Heath, G. (2016). *END-OF-LIFE MANAGEMENT Solar Photovoltaic Panels*.
https://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena_ieapvps_end-of-

[life_solar_pv_panels_2016.pdf](#)

Yamashita, K., Umemoto, A., & Okamoto, K. (2003). *Research and development on recycling and reuse treatment technologies for crystalline silicon photovoltaic modules*. Paper presented at the 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1306337>

Zheng, K. (2016). Pozzolanic reaction of glass powder and its role in controlling alkaliesilica reaction. *Cement and Concrete Composites*, 67, 30-38.
doi:10.1016/j.cemconcomp.2015.12.008

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2560). แนวทางป้องกันผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและวิธีกำจัดกากขยะที่เกิดจากโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทย. https://www.dede.go.th/download/banner_60/1_Quotation009-2560.pdf

ณัฐพล เล่าห์รอดพันธ์. (2558). อุตสาหกรรมการผลิตแก้ว. https://www.researchgate.net/profile/Nattapol-Laorodphan/publication/286775244_xutsahkrmkarphlitkaew_Glass_Production_Industry/links/566d7e0308ae1a797e4033fb/xutsahkrmkarphlitkaew-Glass-Production-Industry.pdf

ณิชา บุรณสิงห์. (2561). แผงโซลาร์เซลล์ : ขยะพิษที่ไม่ควรมองข้าม. https://library2.parliament.go.th/ejournal/content_af/2561/sep2561-1.pdf

ทวีชัย สาราณวนิช. (2559). โครงการวิจัยค่าคลอไรด์วิกฤตของคอนกรีตที่ผสมตะกรันเตาถลุงเหล็กบดและผงหินปูน. <http://dspace.lib.buu.ac.th/xmlui/handle/1234567890/3548?show=full>

นันทรัตน์ โยคะวัฒน์ และ อภิเดช รัตนติลก ณ ภูเก็ต. (2556). การกักเก็บคลอไรด์และการแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีตที่ผสมเถ้าถ่านหิน ภายใต้สภาวะแวดล้อมทะเลเป็นเวลา 15 ปี. ปรินญาบัณฑิต มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี. <http://www.lib.buu.ac.th/st/ST0002769.pdf>

ปัญญา จันทร์ล่อ. (2018). มาตรการทางกฎหมายในการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์. วารสารบัณฑิตศึกษานิติศาสตร์, 11, 762-777.

พิชญ รัชฎาวงศ์, สมชัย รัตนธรรมพันธ์, เดวิด บรรเจิดพงศ์ชัย, ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์, & สันต์ สัมปัตตะวนิช. (2559). โครงการ “การจัดการแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมดความคุ้มค่าในการผลิตไฟฟ้า (Management of expired solar PV panels)” . https://elibrary.trf.or.th/download_fullstep1.asp

พินัส เลิศเลื่อมใส และ บุรพล แจ้งสว่าง. (2559). กระจกและการเลือกใช้ที่เหมาะสม.

<https://www.eptg-acsc.co.th/mix-acsc/images/Column/column5.pdf>

วิเชียร ชาลี. (2557). การประเมินการแทรกซึมของคลอไรด์ระยะยาวในคอนกรีตภายใต้สิ่งแวดล้อมทะเล จากผลทดสอบโดยวิธี *Bulk diffusion test*.

<http://dspace.lib.buu.ac.th/xmlui/handle/1234567890/1460>

วินิต ช่อวิเชียร. คอนกรีตเทคโนโลยี. (กรุงเทพมหานคร: บริษัท นิวไทยมิตรการพิมพ์ (1997) จำกัด, 2557), หน้า 1-34.

ศุภนนท์ บรรจงเกลี้ยง. (2549). ศักยภาพของผงแก้วในการเป็นปอซโซลาน. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

<http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/14814>

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2562). พพ. จับมือ สนพ. แจงเป้าหมาย AEDP2018. แหล่งที่มา:

<http://www.eppo.go.th/index.php/en/component/k2/item/14928-news-03072562>. [3 ตุลาคม 2563]

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2556). ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปอซโซลาน. http://www.fio.co.th/web/tisi_fio/fulltext/TIS849-2556.pdf

สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2560). ความรู้ทั่วไปด้านแก้ว.

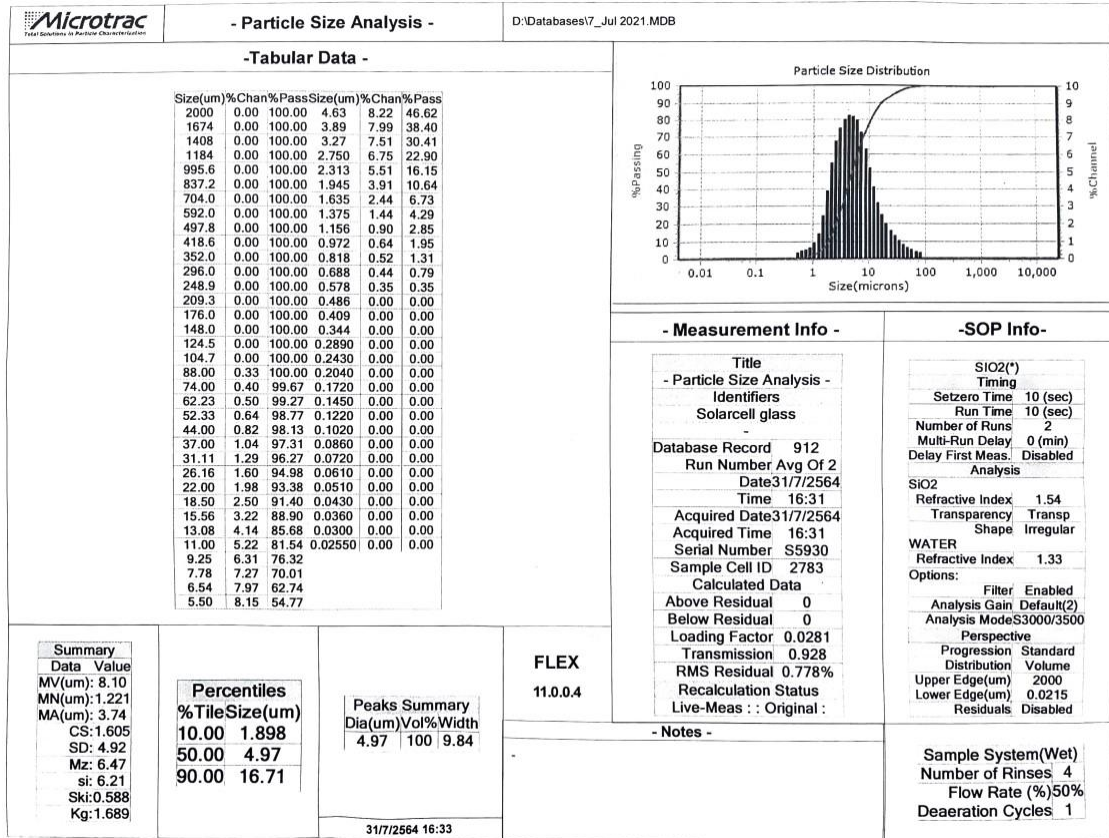
แหล่งที่มา: <http://otop.dss.go.th/index.php/2014-10-09-08-12-02/article-1/136-2017-05-31-06-33-45>. [27 ตุลาคม 2563]



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก
ผลการทดสอบ



รูปที่ ก.1 ผลการทดสอบหาขนาดผงกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ใบรายงานผลทดสอบ (TEST REPORT)

เลขที่รายงาน (Report No.) : QS22-0033 จำนวนหน้า (Page No.) : 1 วันที่ออกรายงาน (Issued date) : 17/01/65
 อ้างอิงรายงานฉบับก่อน (Previous report) : - วันที่รับตัวอย่าง (Received date) : 12/01/65
 ผู้ขอรับบริการ (Customer) : คุณกรรองขวัญ บ่วงบุญ วันที่ทดสอบ (Test date) : 14/01/65
 ที่อยู่หน่วยงาน (Address) : ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย / 254 อาคารจุฬาฯ ชั้น 3-4 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

หน้า 1/1

รหัสตัวอย่างที่การันตีโดยผู้ส่งตัวอย่าง (Customer 's Sample Designation)	Cement unknow	Glass power				
LAB No. (Laboratory Code.)	QS22-0033UN01	QS22-0033UN02				
สภาพตัวอย่าง (Sample Description)	Unknow เป็นผงสีขาว	Unknow เป็นผงสีขาว				
รายการ (Item)	Result { QS22-0033UN01 }	Result { QS22-0033UN02 }	Result { }	Result { }	Result { }	Result { }
Test Results (Phy)						
Blaine Fineness (cm ² /g)	3,631	9,600				

ข้อคิดเห็น (Opinion):

ผู้รับรอง (Certified by) :  วันที่ (Date) 17 ม.ค. 2565

(นายสุทธิพงษ์ โภคจิต)

Quality Supervisor

ผู้อนุมัติ (Approved by) :  วันที่ (Date) 18 ม.ค. 2565

(นายณัฐวุฒิ กองมั่งง)

Chief Quality Assurance and Development

(The above report is valid for received sample(s) only, and this report shall not be reproduced without the written approval of SCCC laboratory.)

บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน)
 โทรสาร 0-2255-1111
 99 หมู่ 9 ต. มิตรภาพ อ. ตาบวงง จ. กาญจนบุรี
 38260
 โทรศัพท์ : 03-624-0930 โทรสาร : 03-632-9955
 เลขประจำตัวผู้เสียภาษี : 0-1075-36001-34-6 (โรงงานสระบุรี)

SIAM CITY CEMENT PUBLIC COMPANY LIMITED
 Saraburi Plant
 99 Moo 9, Mitraparp Road, Tabhawang, Kaengkhoh,
 Saraburi 38260, Thailand
 Tel: (063) 624-0930 Fax: (063) 632-9955
 Tax ID : 0-1075-36001-34-6 (Saraburi Plant)


รูปที่ ก.2 ผลการทดสอบหาค่าความละเอียดของปูนซีเมนต์และผงกระจุกแฉงพลังงานแสงอาทิตย์

Eval2 V2.5.500 Admin 11/17/2021 1:31:12 PM
 Sample: 641611-2030
 Measured on 11/17/2021 11:56:13 AM
 Sample measured by Admin
 Measurement method: Best Detection-Vac34mm

CaO	SiO2	Al2O3	Fe2O3	SO3	MgO	K2O	TiO2	Na2O	Cl	P2O5
1293.3 KCps	137.2 KCps	34.7 KCps	163.4 KCps	54.0 KCps	15.3 KCps	13.7 KCps	2.3 KCps	0.5 KCps	2.4 KCps	0.6 KCps
61.8 %	17.1 %	4.46 %	3.33 %	3.28 %	1.63 %	0.497 %	0.227 %	0.127 %	977 PPM	669 PPM
MnO	ZnO	CuO	SrO	MoO3	Cr2O3	Br	PbO	ZrO2	NiO	As2O3
2.3 KCps	7.8 KCps	6.0 KCps	15.3 KCps	9.4 KCps	0.3 KCps	2.5 KCps	1.0 KCps	6.9 KCps	0.4 KCps	1.4 KCps
575 PPM	522 PPM	506 PPM	311 PPM	182 PPM	112 PPM	79.7 PPM	79.4 PPM	76.8 PPM	47.6 PPM	18.3 PPM

รูปที่ ก.3 ผลการทดสอบหาองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์




สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย
IRON AND STEEL INSTITUTE OF THAILAND

TESTING CENTER Page 2 / 2

Attachment : Chemical composition test results

ISIT No. 2361/2022 March 16, 2022

Request No. : 652202

Test Date : March 14, 2022

Testing Location : 1st FL, Bureau of Industrial Sectors Development Building.

Customer : Ms. Khrongkwan Khuangboon

Sample : Glass powder

Operation no. : TC 6515564

Tested by : X-Ray Fluorescence Spectrometer : PANalytical, Model ; Axios
(Standardless Program : Omnian)

Unit : % by weight

Sample Name	Glass powder
Element	Result
Al ₂ O ₃	2.95
CaO	8.80
Cl	0.04
CuO	0.04
Fe ₂ O ₃	0.06
MgO	3.46
Na ₂ O	15.17
SO ₃	0.15
Sb ₂ O ₃	0.14
SiO ₂	69.20

1. The above results are valid exclusively for tested/analysed samples as mentioned in this report. *Kunwadee*

2. Publication of the results on testing and analysis is prohibited unless written permission is obtained from the governor of ISIT

อาคารสำนักพัฒนาอุตสาหกรรมรายสาขา ชั้น 1-2 ซอยเฉลิมพล ถนนพระราม 4 แขวงพระโขนง เขตคลองเตย กรุงเทพฯ 10110 โทร: 02 712-4402-7, 02 713-6290-2 โทรสาร: 02 713-6294
 1st-2nd Fl., Bureau of Industrial Sectors Development Building, Soi Trimir, Rama IV Road, Prakanong, Klong-Toey, Bangkok 10110. Tel : 02 712-4402-7, 02 713-6290-2 Tele fax: 02 713-6294
 FM-17025-TC-002 (1/07/62) Rev.00

รูปที่ ก.4 ผลการทดสอบทางเคมีของผงกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์



TEST REPORT

Sample's name	Mark / Brand	Laboratory No.
Ordinary Portland Cement	-	L64/09723.1

Test Result

Specific gravity	2.98
------------------	------

Customer's name	Khronghwan Khuangbun
Customer's address	254 Research Building 3 rd - 4 th Floor Chulalongkorn University, Phaya Thai Road, Pathumwan, Bangkok 10330
Sample's description	Grey powder
Test date	1 - 3 February 2022
Test method	ASTM D854 - 14

Approved by

Anon Pomprasit
(Mr. Anon Pomprasit)

Scientist, Senior Professional Level

Reported by

Jaroon Junsomboon
(Mr. Jaroon Junsomboon)

Scientist, Senior Professional Level

This report is only valid for the sample received. The above statement is not intended for advertising purposes and shall not be partially reproduced or manifested without the written permission from the Department of Science Service.

Department of Science Service, Ministry of Higher Education Science Research and Innovation
Rama VI Road, Ratchathewi, Bangkok 10400, Thailand

Page 2/2

รูปที่ ก.5 ผลการทดสอบหาคามถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์

แบบ กศ.7



TEST REPORT

Sample's name	Mark / Brand	Laboratory No.
Glass powder		L64/09723.2

Test Result

Specific gravity	2.39
------------------	------

Customer's name	Khronghwan Khuangbun
Customer's address	254 Research Building 3 rd - 4 th Floor Chulalongkorn University, Phaya Thai Road, Pathumwan, Bangkok 10330
Sample's description	Grey powder
Test date	1 - 3 February 2022
Test method	ASTM D854 - 14

Approved by

Anon Pomprasit

(Mr. Anon Pomprasit)

Scientist, Senior Professional Level

Reported by

Jaroon Junsomboon

(Mr. Jaroon Junsomboon)

Scientist, Senior Professional Level

This report is only valid for the sample received. The above statement is not intended for advertising purposes and shall not be partially reproduced or manifested without the written permission from the Department of Science Service.

Department of Science Service, Ministry of Higher Education Science Research and Innovation

Rama VI Road, Ratchathewi, Bangkok 10400, Thailand

Page 2/2

รูปที่ ก.6 ผลการทดสอบหาคามถ่วงจำเพาะของผงกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์

แบบ กส.7



TEST REPORT

Sample's name	Mark / Brand	Laboratory No.
Sand	-	L64/09723.3

Test Result

Specific gravity	2.64
------------------	------

Customer's name	Khronghwan Khuangbun
Customer's address	254 Research Building 3 rd - 4 th Floor Chulalongkorn University, Phaya Thai Road, Pathumwan, Bangkok 10330
Sample's description	Grey powder
Test date	1 - 3 February 2022
Test method	ASTM C128 - 15

Approved by

(Mr. Anon Pomprasit)

Scientist, Senior Professional Level

Reported by

(Mr. Jaroon Junsomboon)

Scientist, Senior Professional Level

This report is only valid for the sample received. The above statement is not intended for advertising purposes and shall not be partially reproduced or manifested without the written permission from the Department of Science Service.

Department of Science Service, Ministry of Higher Education Science Research and Innovation

Rama VI Road, Ratchathewi, Bangkok 10400, Thailand

Page 2/2

รูปที่ ก.7 ผลการทดสอบหาคามถ่วงจำเพาะของทราย

แบบ ทศ.7



DEPARTMENT OF SCIENCE SERVICE

NSC-TS1-TS 17025
TESTING 0252

TEST REPORT

Sample's name	Mark / Brand	Laboratory No.
Ordinary Portland Cement	-	L64/09724.1

Test Result

Soundness : Autoclave expansion, %	0.06
------------------------------------	------

Customer's name	Khongkhwan Khuangbun
Customer's address	254 Research Building 3 rd - 4 th Floor Chulalongkorn University, Phaya Thai Road, Pathumwan, Bangkok 10330
Sample's description	Grey powder
Test date	2 - 4 February 2022
Test method	ASTM C151/C151M - 18

Approved by

(Mr. Anon Pomprasit)

Scientist, Senior Professional Level

Reported by

(Mr. Jaroon Junsomboon)

Scientist, Senior Professional Level

This report is only valid for the sample received. The above statement is not intended for advertising purposes and shall not be partially reproduced or manifested without the written permission from the Department of Science Service.

Department of Science Service, Ministry of Higher Education Science Research and Innovation

Rama VI Road, Ratchathewi, Bangkok 10400, Thailand

Page 2/2

รูปที่ ก.8 ผลการทดสอบหาค่าความอยู่ตัวของปูนซีเมนต์ที่มีการแทนที่ด้วยผงกระจกร้อยละ 0 โดย
น้ำหนักปูนซีเมนต์

แบบ ทศ.7



TEST REPORT

Sample's name	Mark / Brand	Laboratory No.
Cement + Glass powder 10%	-	L64/09724.2

Test Result

Soundness : Autoclave expansion, %	0.09
------------------------------------	------

Customer's name	Khronghwan Khuangbun
Customer's address	254 Research Building 3 rd - 4 th Floor Chulalongkorn University, Phaya Thai Road, Pathumwan, Bangkok 10330
Sample's description	Grey powder
Test date	2 - 4 February 2022
Test method	ASTM C151/C151M - 18

Approved by

(Mr. Anon Pomprasit)

Scientist, Senior Professional Level

Reported by

(Mr. Jaroon Junsomboon)

Scientist, Senior Professional Level

This report is only valid for the sample received. The above statement is not intended for advertising purposes and shall not be partially reproduced or manifested without the written permission from the Department of Science Service.

Department of Science Service, Ministry of Higher Education Science Research and Innovation

Rama VI Road, Ratchathewi, Bangkok 10400, Thailand

Page 2/2

รูปที่ ก.9 ผลการทดสอบหาค่าความอยู่ตัวของปูนซีเมนต์ที่มีการแทนที่ด้วยผงกระจกร้อยละ 10 โดย
น้ำหนักปูนซีเมนต์

แบบ กส.7



TEST REPORT

Sample's name	Mark / Brand	Laboratory No.
Cement + Glass powder 20%	-	L64/09724.3

Test Result

Soundness : Autoclave expansion, %	0.18
------------------------------------	------

Customer's name	Khongkhwan Khuangbun
Customer's address	254 Research Building 3 rd - 4 th Floor Chulalongkorn University, Phaya Thai Road, Pathumwan, Bangkok 10330
Sample's description	Grey powder
Test date	2 - 4 February 2022
Test method	ASTM C151/C151M - 18

Approved by

(Mr. Anon Pomprasit)

Scientist, Senior Professional Level

Reported by

(Mr. Jaroon Junsomboon)

Scientist, Senior Professional Level

This report is only valid for the sample received. The above statement is not intended for advertising purposes and shall not be partially reproduced or manifested without the written permission from the Department of Science Service.

Department of Science Service, Ministry of Higher Education Science Research and Innovation

Rama VI Road, Ratchathewi, Bangkok 10400, Thailand

Page 2/2

รูปที่ ก.10 ผลการทดสอบหาค่าความอยู่ตัวของปูนซีเมนต์ที่มีการแทนที่ด้วยผงกระจกร้อยละ 20 โดย
น้ำหนักปูนซีเมนต์

แบบ กศ.7



TEST REPORT

Sample's name	Mark / Brand	Laboratory No.
Cement + Glass powder 30%	-	L64/09724.4

Test Result

Soundness : Autoclave expansion, %	0.25
------------------------------------	------

Customer's name	Khronghwan Khuangbun
Customer's address	254 Research Building 3 rd - 4 th Floor Chulalongkorn University, Phaya Thai Road, Pathumwan, Bangkok 10330
Sample's description	Grey powder
Test date	2 - 4 February 2022
Test method	ASTM C151/C151M - 18

Approved by

(Mr. Anon Pomprasit)

Scientist, Senior Professional Level

Reported by

(Mr. Jaroon Junsomboon)

Scientist, Senior Professional Level

This report is only valid for the sample received. The above statement is not intended for advertising purposes and shall not be partially reproduced or manifested without the written permission from the Department of Science Service.

Department of Science Service, Ministry of Higher Education Science Research and Innovation

Rama VI Road, Ratchathewi, Bangkok 10400, Thailand

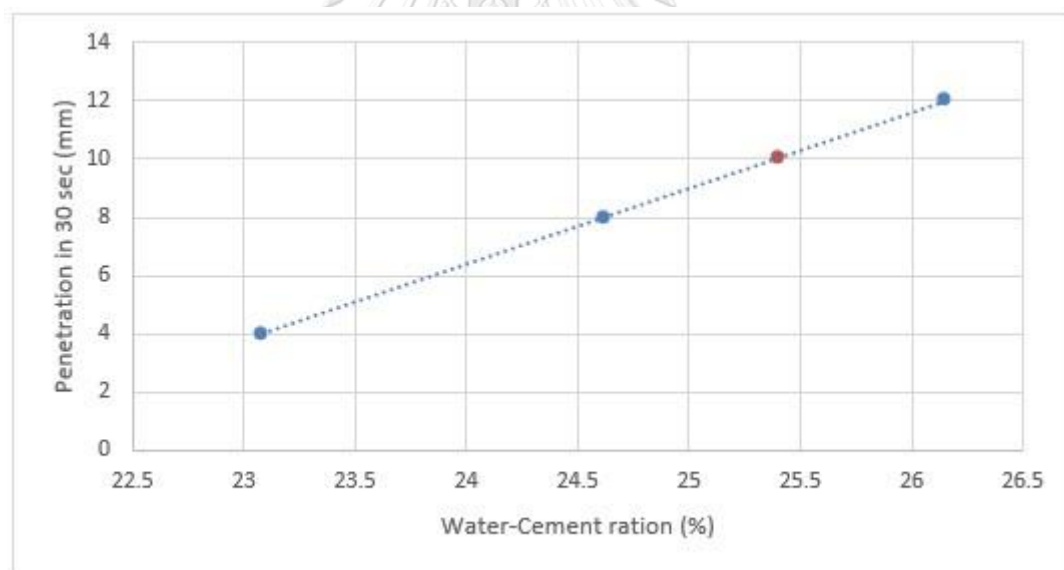
Page 2/2

รูปที่ ก.11 ผลการทดสอบหาค่าความอยู่ตัวของปูนซีเมนต์ที่มีการแทนที่ด้วยผงกระจกร้อยละ 30 โดย
น้ำหนักรวมปูนซีเมนต์

ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการผสมซีเมนต์ ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 0 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์

การผสมครั้งที่	ปริมาณปูนซีเมนต์ (ก.)	ปริมาณผงกระจก (ก.)	ปริมาณน้ำ (มล.)	อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (%)	ระยะจมของเข็มไวแคตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. (มม.)
1	650	0	150	23.08	4
2	650	0	160	24.62	8
3	650	0	170	26.15	12

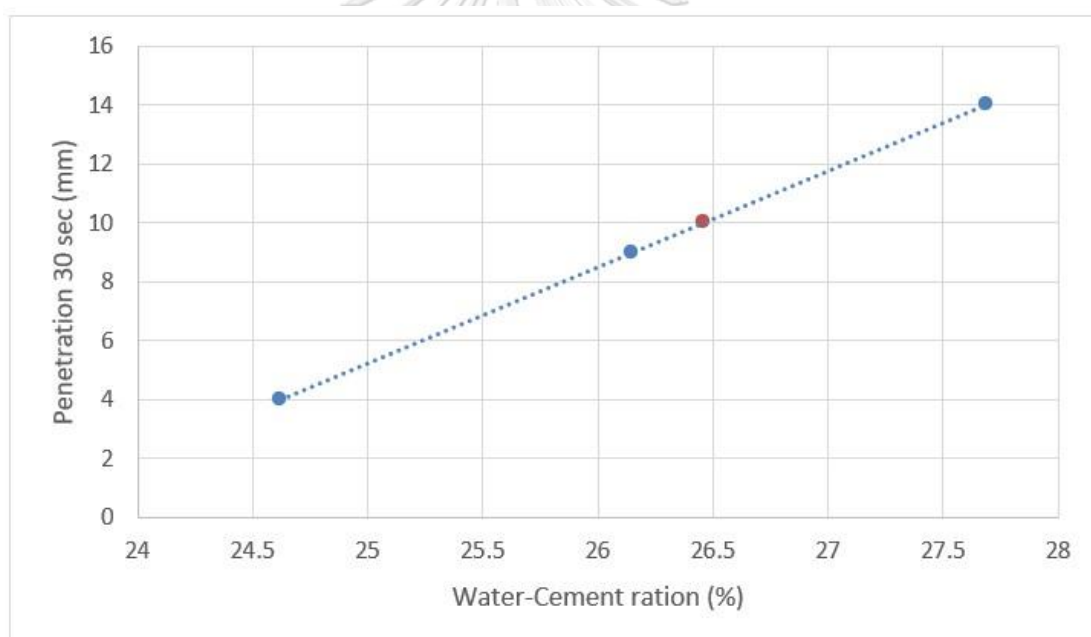
ปริมาณน้ำที่เหมาะสม = 165 มิลลิลิตร



รูปที่ ก.12 ผลการทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการผสมซีเมนต์ ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 0 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการผสมซีเมนต์ ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 10 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์

การผสมครั้งที่	ปริมาณปูนซีเมนต์ (ก.)	ปริมาณผงกระจก (ก.)	ปริมาณน้ำ (มล.)	อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (%)	ระยะจมของเข็มไวแคตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. (มม.)
1	585	65	160	24.62	4
2	585	65	170	26.15	9
3	585	65	180	27.69	14
ปริมาณน้ำที่เหมาะสม = 172 มิลลิลิตร					

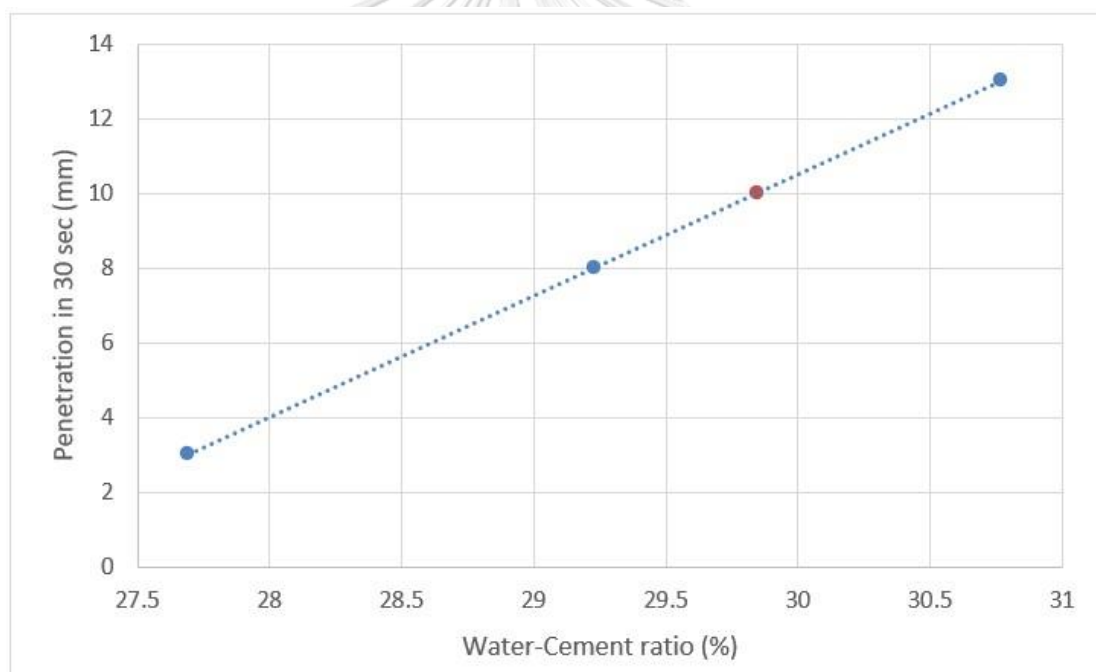


รูปที่ ก.13 ผลการทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการผสมซีเมนต์เพสต์ ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 10 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์

ตารางที่ ก.3 ผลการทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการผสมซีเมนต์เพสต์ ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 20 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์

การผสมครั้งที่	ปริมาณปูนซีเมนต์ (ก.)	ปริมาณผงกระจก (ก.)	ปริมาณน้ำ (มล.)	อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (%)	ระยะจมของเข็มไวแคตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. (มม.)
1	520	130	180	27.69	3
2	520	130	190	29.23	8
3	520	130	200	30.77	13

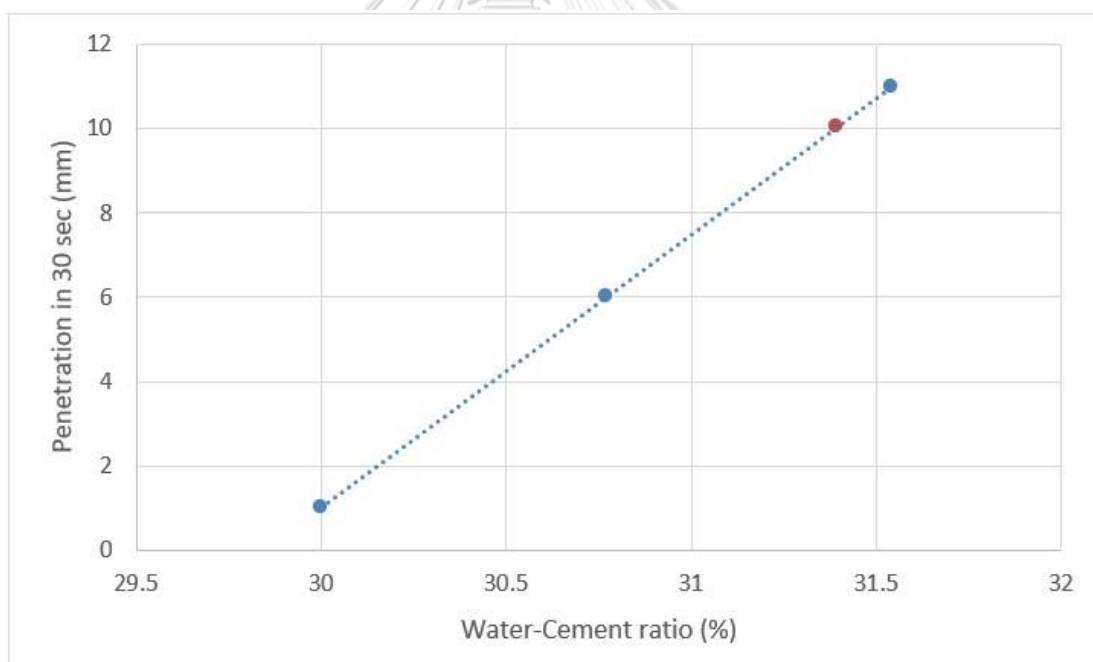
ปริมาณน้ำที่เหมาะสม = 194 มิลลิลิตร



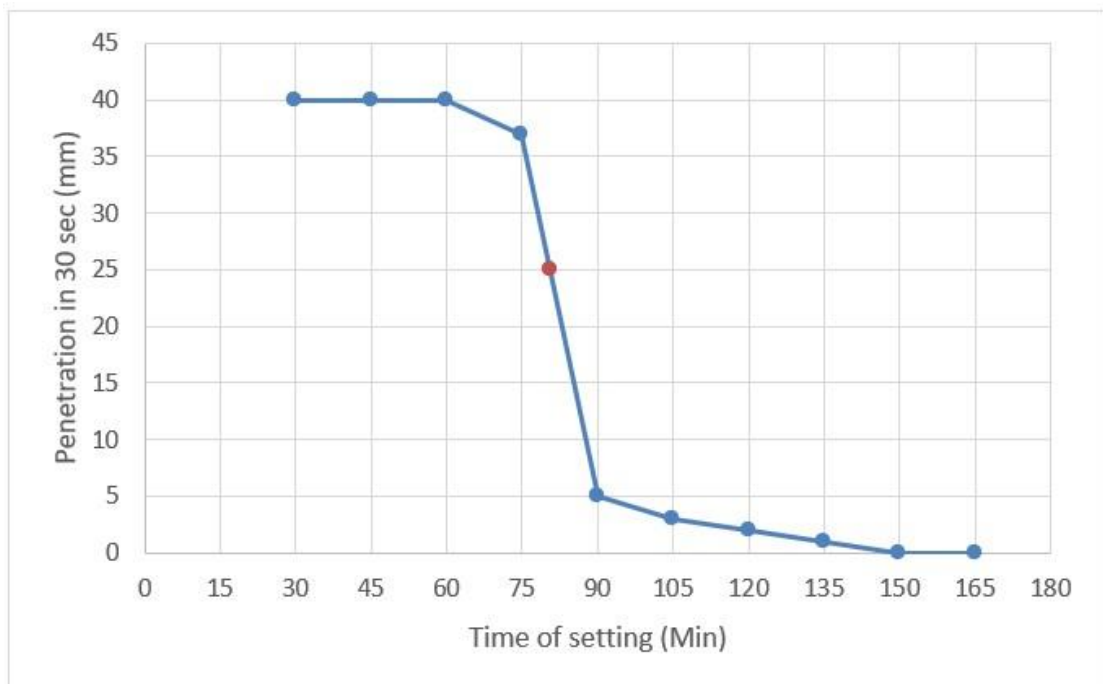
รูปที่ ก.14 ผลการทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการผสมซีเมนต์เพสต์ ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 20 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์

ตารางที่ ก.4 ผลการทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการผสมซีเมนต์เพสต์ ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 30 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์

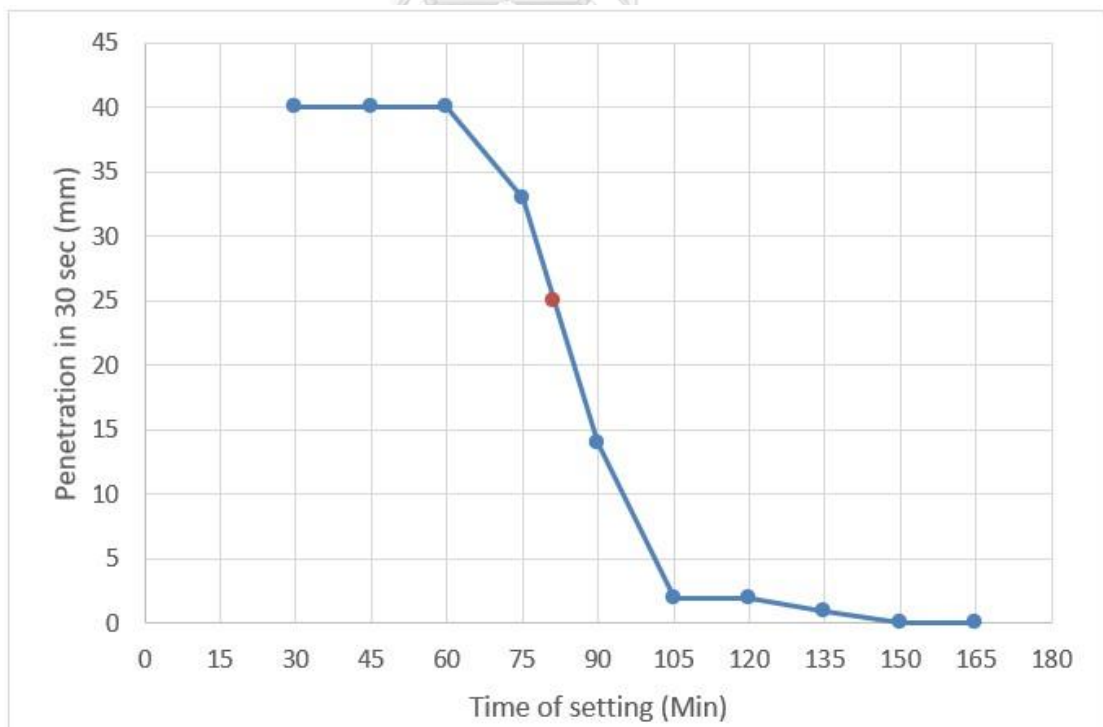
การผสมครั้งที่	ปริมาณปูนซีเมนต์ (ก.)	ปริมาณผงกระจก (ก.)	ปริมาณน้ำ (มล.)	อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (%)	ระยะจมของเข็มไวแคตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. (มม.)
1	455	195	195	30.00	1
2	455	195	200	30.77	6
3	455	195	205	31.54	11
ปริมาณน้ำที่เหมาะสม = 204 มิลลิลิตร					



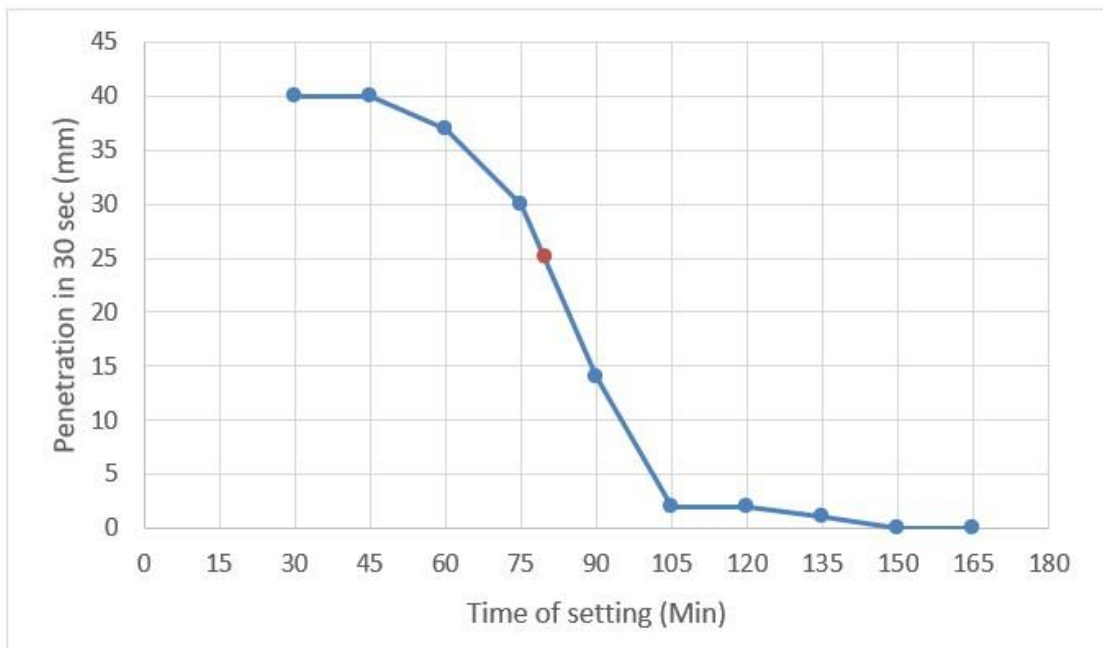
รูปที่ ก.15 ผลการทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการผสมซีเมนต์เพสต์ ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 30 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์



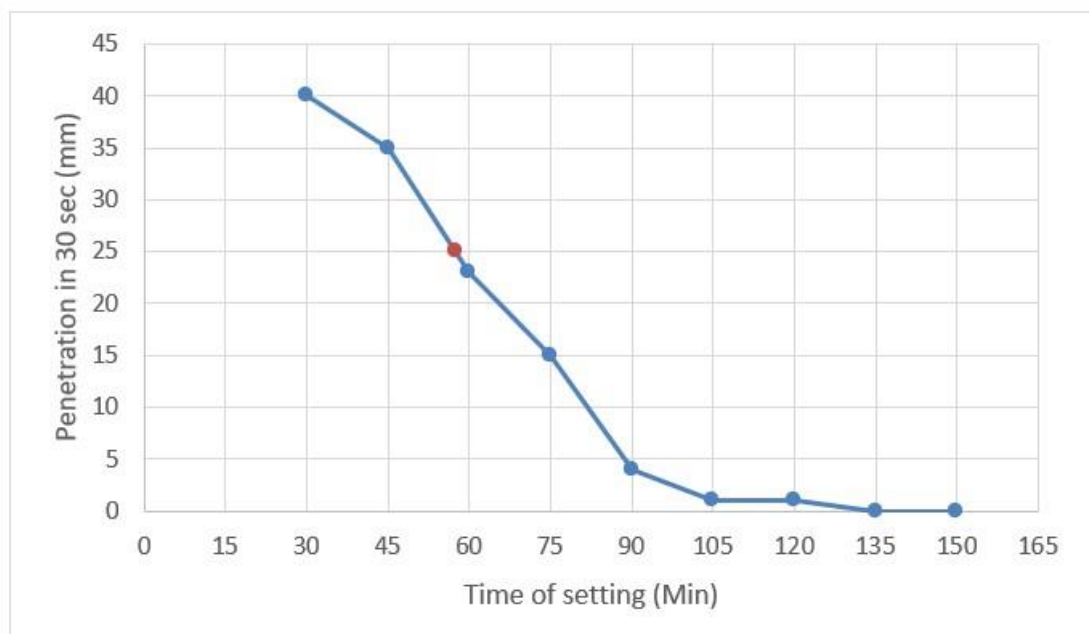
รูปที่ ก.16 ผลการทดสอบหาระยะก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 0 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์



รูปที่ ก.17 ผลการทดสอบหาระยะก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 10 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์



รูปที่ ก.18 ผลการทดสอบหาระยะก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 20 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์



รูปที่ ก.19 ผลการทดสอบหาระยะก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 30 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์

ตารางที่ ก.5 ผลการทดสอบหาค่าการไหลผ่านของมอร์ตาร์

ร้อยละการแทนที่ ปูนซีเมนต์ด้วยผง กระจก	ค่าการไหลที่วัดได้ (มิลลิเมตร)	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง แบบทดสอบ (มิลลิเมตร)	ค่าการไหลผ่าน	ค่าการไหลผ่าน เฉลี่ย
0	207.0	100.0	107.0	105.5
	204.7	100.0	104.7	
	204.7	100.0	104.7	
	205.5	100.0	105.5	
10	182.2	100.0	82.2	81.3
	178.4	100.0	78.4	
	183.0	100.0	83.0	
	181.5	100.0	81.5	
20	167.0	100.0	67.0	68.0
	165.2	100.0	65.2	
	171.4	100.0	71.4	
	169.3	100.0	69.3	
30	153.7	100.0	53.7	55.7
	153.4	100.0	53.4	
	160.0	100.0	60.0	
	155.5	100.0	55.5	

ตารางที่ ก.6 ผลการทดสอบหาค่ารับแรงอัดมอร์ตาร์ของมอร์ตาร์อายุการบ่ม 7 วัน

ตัวอย่าง ที่	ร้อยละ การ แทนที่	ขนาด (ซม ³)	น้ำหนัก (กรัม)	ความ หนาแน่น (กก/ม ³)	แรงอัด ปรจลัย (กก.)	กำลังอัด ปรจลัย (กก/ซม ²)	ค่าเฉลี่ย (กก/ซม ²)	ค่าเฉลี่ย (MPa)
1	0	5.0x5.1x4.9	256.2	2050	7050	276.5	249.2	24.4
2		5.1x5.1x5.0	262.5	2018	6120	235.3		
3		5.1x5.0x5.0	257.6	2020	6420	251.8		
4		5.0x5.1x4.9	255.1	2041	6330	248.2		
5		5.1x5.1x5.0	258.0	1983	6090	234.1		
1	10	5.0x5.1x4.9	254.7	2038	5370	210.6	199.1	19.5
2		5.1x5.2x4.9	263.0	2023	4950	186.7		
3		5.1x5.2x4.9	264.1	2032	5820	219.5		
4		5.1x5.0x4.9	247.9	1945	4410	172.9		
5		5.0x5.1x5.0	254.8	1998	5250	205.9		
1	20	5.1x5.1x5.0	254.1	1953	4770	183.4	183.9	18.0
2		5.1x5.1x5.0	254.0	1953	5130	197.2		
3		5.1x5.1x5.0	254.5	1956	4500	173.0		
4		5.1x5.0x5.0	257.3	2018	4680	183.5		
5		5.1x5.1x5.0	250.2	1923	4740	182.2		
1	30	5.0x5.1x4.9	247.0	1976	3450	135.3	150.4	14.7
2		5.1x5.1x5.0	252.3	1940	3810	146.5		
3		5.1x5.1x4.9	248.7	1951	4080	156.9		
4		4.9x5.1x4.9	244.9	1999	3810	152.5		
5		5.1x5.2x4.9	244.5	1881	4260	160.6		

ตารางที่ ก.7 ผลการทดสอบหาค่ารับแรงอัดมอร์ตาร์ของมอร์ตาร์อายุการบ่ม 28 วัน

ตัวอย่าง ที่	ร้อยละ การ แทนที่	ขนาด (ซม ³)	น้ำหนัก (กรัม)	ความ หนาแน่น (กก./ม ³)	แรงอัด ประลัย (กก.)	กำลังอัด ประลัย (กก./ซม ²)	ค่าเฉลี่ย (กก./ซม ²)	ค่าเฉลี่ย (MPa)
1	0	5.1x5.1x5.0	249.6	1919	7830	301.0	310.7	30.5
2		5.0x5.0x5.0	260.6	2084	8310	332.4		
3		5.0x5.1x4.8	251.9	2058	7600	298.0		
4		5.0x5.1x5.0	253.1	1985	7600	298.0		
5		5.0x5.0x4.9	254.0	2073	8100	324.0		
1	10	5.0x5.0x5.0	251.3	2010	7260	290.4	291.5	28.6
2		5.1x5.0x4.9	252.9	2024	7320	287.1		
3		5.0x5.0x5.0	253.4	2027	7260	290.4		
4		5.0x5.1x4.9	253.6	2029	8160	320.0		
5		5.0x5.1x4.9	251.2	2010	6870	269.4		
1	20	5.0x5.0x5.0	254.1	2032	6660	266.4	250.2	24.5
2		5.1x5.1x4.9	252.6	1981	5730	220.3		
3		5.1x5.1x5.1	253.8	1913	6570	252.6		
4		5.0x5.1x5.0	252.1	1977	6750	264.7		
5		5.0x5.1x5.0	248.8	1951	6300	247.1		
1	30	5.0x5.1x5.0	244.7	1919	6240	244.7	238.0	23.3
2		5.0x5.1x4.9	244.8	1959	5760	225.9		
3		4.9x5.1x4.9	246.5	2013	6150	246.1		
4		5.1x5.1x4.9	244.9	1921	5940	228.4		
5		5.0x5.1x5.0	244.9	1920	6240	244.7		

ตารางที่ ก.8 ผลการทดสอบหาค่ารับแรงอัดมอร์ตาร์ของมอร์ตาร์อายุการบ่ม 56 วัน

ตัวอย่าง ที่	ร้อยละ การ แทนที่	ขนาด (ซม ³)	น้ำหนัก (กรัม)	ความ หนาแน่น (กก./ม ³)	แรงอัด ประลัย (กก.)	กำลังอัด ประลัย (กก./ซม ²)	ค่าเฉลี่ย (กก./ซม ²)	ค่าเฉลี่ย (MPa)
1	0	5.0×5.0×4.9	254.4	2076	7200	288.0	311.0	30.5
2		5.1×5.0×4.9	253.8	2031	7500	294.1		
3		5.0×5.0×4.9	255.9	2088	8250	330.0		
4		5.0×5.0×4.9	253.2	2066	8100	324.0		
5		5.1×5.1×4.9	254.6	1997	8300	319.1		
1	10	5.0×5.0×4.9	252.4	2060	7000	280.0	291.6	28.6
2		5.0×5.1×4.9	253.1	2025	7800	305.9		
3		5.0×5.1×4.9	253.1	2025	7600	298.0		
4		5.0×5.1×4.9	252.8	2023	7500	294.1		
5		5.0×5.1×4.9	252.9	2024	7000	280.0		
1	20	5.0×5.1×5.0	251.5	1972	7700	302.0	282.5	27.7
2		5.0×5.1×5.0	253.1	1985	7900	309.8		
3		5.0×5.1×5.0	254.3	1994	6700	262.7		
4		5.1×5.1×5.0	254.7	1958	6700	257.6		
5		5.0×5.1×5.0	252.0	1976	7150	280.4		
1	30	5.0×5.1×4.8	244.9	2000	7000	274.5	255.0	25.0
2		5.1×5.1×4.8	249.8	2000	6500	249.9		
3		5.0×5.0×4.9	246.4	2053	5900	236.0		
4		5.0×5.1×5.0	246.2	1930	6250	245.1		
5		5.1×5.1×4.9	246.4	1933	7000	269.1		

ตารางที่ ก.9 ผลการทดสอบหาค่ารับแรงอัดมอร์ตาร์ของมอร์ตาร์อายุการบ่ม 90 วัน

ตัวอย่าง ที่	ร้อยละ การ แทนที่	ขนาด (ซม ³)	น้ำหนัก (กรัม)	ความ หนาแน่น (กก./ม ³)	แรงอัด ประลัย (กก.)	กำลังอัด ประลัย (กก./ซม ²)	ค่าเฉลี่ย (กก./ซม ²)	ค่าเฉลี่ย (MPa)
1	0	5.1x5.0x5.0	265.0	2078	8250	323.5	311.3	30.5
2		5.1x5.0x4.9	262.7	2102	7850	307.8		
3		5.1x5.0x4.9	264.2	2114	7500	294.1		
4		5.1x5.0x4.9	260.0	2080	8100	317.6		
5		5.1x5.0x4.9	260.5	2085	8000	313.7		
1	10	5.1x5.0x5.0	261.3	2049	8100	317.6	326.2	32.0
2		5.0x5.0x4.9	257.2	2100	8600	344.0		
3		5.1x5.1x4.9	256.6	2013	7900	303.7		
4		5.1x5.0x5.0	251.2	1970	8200	321.6		
5		5.0x5.0x5.0	251.8	2014	8600	344.0		
1	20	5.1x5.1x5.0	262.3	2017	6800	261.4	283.3	27.8
2		5.1x5.0x5.1	259.1	1992	7400	290.2		
3		5.1x5.1x4.9	257.7	2022	7300	280.7		
4		5.1x5.1x5.0	260.4	2002	7800	299.9		
5		5.1x5.0x5.0	260.0	2039	7250	284.3		
1	30	5.0x5.1x5.0	251.1	1969	6500	254.9	265.9	26.1
2		5.0x5.1x5.0	250.8	1967	6600	258.8		
3		5.1x5.0x5.0	249.4	1956	6700	262.7		
4		5.1x5.0x5.0	258.0	2024	7400	290.2		
5		5.1x5.0x5.1	250.8	1928	6700	262.7		

ตารางที่ ก.10 ผลการทดสอบหาปริมาณคลอรีนที่ทั้งหมดของมอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 0 และในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 28 วัน

ก่อน ที่	ระยะจากผิว มอร์ตาร์ (มิลลิเมตร)	น้ำหนักมวลมอร์ ตาร์ (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ ลิตร)	เงี่ยง ตัวอย่าง (หน้า)	ปีเปต ตัวอย่าง (มิลลิลิตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ ในเทรทเมนต์ (มิลลิลิตร)	AgNO ₃ ที่ ใช้ในเทรท (มิลลิลิตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ จากการคำนวณ (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้น คลอรีน (โมล/ ลิตร)	ความเข้มข้น คลอรีน (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น คลอรีน (กรัม/มอร์ตาร์ 1 กรัม)	ความเข้มข้น คลอรีน (กรัม/มอร์ตาร์ 100 กรัม)
1	1-10	10.0025	0.0521	5	10	0.18	1.18	1.00	0.02601	0.922	0.0922	9.22
	11-20	10.0024	0.0521	5	10	0.18	0.46	0.28	0.00739	0.262	0.0262	2.62
	21-30	10.0021	0.0521	5	10	0.18	0.30	0.12	0.00313	0.111	0.0111	1.11
	31-40	10.0003	0.0521	5	10	0.18	0.26	0.08	0.00208	0.074	0.0074	0.74
	41-50	10.0010	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55
	51-60	10.0008	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55
	61-70	10.0025	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55
	71-80	10.0053	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	81-90	10.0005	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55
	91-100	10.0032	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55
2	1-10	10.0031	0.0521	5	10	0.18	1.22	1.04	0.02709	0.960	0.096	9.60
	11-20	10.0026	0.0521	5	10	0.18	0.52	0.34	0.00886	0.314	0.0314	3.14
	21-30	10.0074	0.0521	5	10	0.18	0.30	0.12	0.00313	0.111	0.0111	1.11
	31-40	10.0011	0.0521	5	10	0.18	0.30	0.12	0.00313	0.111	0.0111	1.11
	41-50	10.0094	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92
	51-60	10.0037	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55
	61-70	10.0029	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55
	71-80	10.0070	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55
	81-90	10.0043	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55
	91-100	10.0011	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55

ผลการทดสอบหาปริมาณคลอรีนทั้งหมดของมอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 0 และในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 28 วัน

กลุ่ม ที่	ระบอบการ บริหาร (มีชื่อ/เลข)	น้ำหนัก สาร (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ลิตร)	สีของ ตัวอย่าง (ค่า)	เป็น ตัวอย่าง (มีชื่อ/เลข)	AgNO ₃ ที่ใช้ โพแทสเซียม (มีชื่อ/เลข)	AgNO ₃ ที่ ใช้แทน (มีชื่อ/เลข)	AgNO ₃ ที่ใช้ จากการคำนวณ (มีชื่อ/เลข)	ความเข้มข้น เซลล์ (โมล/ลิตร)	ความเข้มข้น เซลล์ (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น เซลล์ (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น เซลล์ (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น เซลล์ (กรัม/ลิตร)
5	1-10	10.0083	0.0521	5	10	0.18	1.20	1.02	0.02648	0.939	0.0938	9.38	
	11-20	10.0074	0.0521	5	10	0.18	0.48	0.30	0.00782	0.277	0.0277	2.77	
	21-30	10.0056	0.0521	5	10	0.18	0.32	0.14	0.00565	0.129	0.0129	1.29	
	31-40	10.0059	0.0521	5	10	0.18	0.30	0.12	0.00513	0.111	0.0111	1.11	
	41-50	10.0054	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92	
	51-60	10.0021	0.0521	5	10	0.18	0.26	0.08	0.00208	0.074	0.0074	0.74	
	61-70	10.0051	0.0521	5	10	0.18	0.26	0.08	0.00208	0.074	0.0074	0.74	
	71-80	10.0001	0.0521	5	10	0.18	0.26	0.08	0.00208	0.074	0.0074	0.74	
	81-90	10.0098	0.0521	5	10	0.18	0.26	0.08	0.00208	0.074	0.0074	0.74	
	91-100	10.0042	0.0521	5	10	0.18	0.26	0.08	0.00208	0.074	0.0074	0.74	
4	1-10	10.0023	0.0521	5	10	0.18	1.18	1.00	0.02601	0.922	0.0922	9.22	
	11-20	10.0008	0.0521	5	10	0.18	0.47	0.29	0.00767	0.272	0.0272	2.72	
	21-30	10.0011	0.0521	5	10	0.18	0.30	0.12	0.00313	0.111	0.0111	1.11	
	31-40	10.0007	0.0521	5	10	0.18	0.26	0.08	0.00208	0.074	0.0074	0.74	
	41-50	10.0072	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55	
	51-60	10.0051	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55	
	61-70	10.0032	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55	
	71-80	10.0024	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55	
	81-90	10.0082	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55	
	91-100	10.0022	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55	

ผลการทดสอบปริมาณเซลล์ในตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีแอมโมนิแอกซ์เป็นค่าเฉลี่ยของ 3 ครั้ง ผลการทดสอบปริมาณเซลล์ในตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีแอมโมนิแอกซ์เป็นค่าเฉลี่ยของ 3 ครั้ง ผลการทดสอบปริมาณเซลล์ในตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีแอมโมนิแอกซ์เป็นค่าเฉลี่ยของ 3 ครั้ง

ก่อน ที่	ระยะจากผิว มอซาร์ท (มิลลิเมตร)	น้ำหนักของ สาร (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ ลิตร)	เงา ตัวอย่าง (เท่า)	ป็นโพ ตัวอย่าง (มิลลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ โพแทสเซียม (มิลลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ ใช้โพแทสเซียม (มิลลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ จากการคำนวณ (มิลลิเมตร)	ความเข้มข้น คลอไรด์ (โมล/ ลิตร)	ความเข้มข้น คลอไรด์ (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น คลอไรด์ (กรัม/มอซาร์ท 1 กรัม)	ความเข้มข้น คลอไรด์ (กรัม/มอซาร์ท 100 กรัม)
5	1-10	10.0065	0.0521	5	10	0.18	1.17	0.99	0.02568	0.911	0.091	9.10
	11-20	10.0107	0.0521	5	10	0.18	0.46	0.28	0.00723	0.256	0.0256	2.56
	21-30	10.0016	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92
	31-40	10.0003	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55
	41-50	10.0036	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	51-60	10.0062	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	61-70	10.0060	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	71-80	10.0082	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	81-90	10.0053	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	91-100	10.0039	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37

ผลการทดสอบปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดของมอซาร์ทที่มีการแทนที่ในโมโนด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ 0 พบในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ 28 กรัม



วิทยาลัย
NIVARSITY

ตารางที่ ก.11 ผลการทดสอบหาปริมาณคลอรีนที่ทั้งหมดของมอร์ทัลที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 10 เซ็นในสารละลายโพไซเดียมคลอไรด์ 28 วัน

กลุ่ม ที่	ระยะจากผิว มอร์ทัล (มิลลิเมตร)	น้ำหนักของมอร์ ทัล (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ ลิตร)	สีของ ตัวอย่าง (เทก)	ปีเปต ตัวอย่าง (มิลลิลิตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ ไทเทรตแบลนด์ (มิลลิลิตร)	AgNO ₃ ที่ ใช้ ไทเทรต (มิลลิลิตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ จากการคำนวณ (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นคลอ ไรด์ (โมล/ลิตร)	ความเข้มข้น คลอไรด์ (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นคลอ ไรด์ (กรัม/มอร์ทัลาร์ 1 กรัม)	ความเข้มข้น คลอไรด์ (กรัม/มอร์ทัลาร์ 100 กรัม)
1	1-10	10.0013	0.0521	5	10	0.18	1.08	0.90	0.02347	0.832	0.0832	8.32
	11-20	10.0022	0.0521	5	10	0.18	0.56	0.18	0.00469	0.166	0.0166	1.66
	21-30	10.0001	0.0521	5	10	0.18	0.26	0.08	0.00208	0.074	0.0074	0.74
	31-40	10.0005	0.0521	5	10	0.18	0.26	0.08	0.00208	0.074	0.0074	0.74
	41-50	10.0011	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55
	51-60	10.0009	0.0521	5	10	0.18	0.26	0.08	0.00208	0.074	0.0074	0.74
	61-70	10.0025	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55
	71-80	10.0057	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55
	81-90	10.0022	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55
	91-100	10.0003	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55
2	1-10	10.0012	0.0521	5	10	0.18	1.12	0.94	0.02460	0.872	0.0872	8.72
	11-20	10.0061	0.0521	5	10	0.18	0.52	0.14	0.00365	0.129	0.0129	1.29
	21-30	10.0020	0.0521	5	10	0.18	0.26	0.08	0.00208	0.074	0.0074	0.74
	31-40	10.0024	0.0521	5	10	0.18	0.26	0.08	0.00208	0.074	0.0074	0.74
	41-50	10.0007	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55
	51-60	10.0053	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	61-70	10.0056	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	71-80	10.0008	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	81-90	10.0003	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	91-100	10.0021	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37

ผลการทดสอบหาปริมาณคลอรีนที่ทั้งหมดของมอร์ทัลที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 10 เซ็นในสารละลายโพไซเดียมคลอไรด์ 28 วัน

ก่อน ที่	ระยะเวลา นิรภัย (เดือน/ปี)	น้ำหนัก ผง (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ลิตร)	สีของ ตัวอย่าง (หน่วย)	ปริมาณ ตัวอย่าง (มิลลิลิตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ ไทเทรต (มิลลิลิตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ ไทเทรต (มิลลิลิตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ จากการคำนวณ (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นของ ไทท์ (โมล/ลิตร)	ความเข้มข้น ของไทท์ (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น ของไทท์ (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น ของไทท์ (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น ของไทท์ (กรัม/ลิตร)
3	1-10	10.0084	0.0521	5	10	0.18	1.10	0.92	0.02405	0.853	0.0852	0.0852	8.52
	11-20	10.0055	0.0521	5	10	0.18	0.92	0.14	0.00965	0.129	0.0129	0.0129	1.29
	21-30	10.0049	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.0092	0.92
	31-40	10.0039	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.0092	0.92
	41-50	10.0094	0.0521	5	10	0.18	0.26	0.08	0.00208	0.074	0.0074	0.0074	0.74
	51-60	10.0092	0.0521	5	10	0.18	0.26	0.08	0.00208	0.074	0.0074	0.0074	0.74
	61-70	10.0005	0.0521	5	10	0.18	0.26	0.08	0.00208	0.074	0.0074	0.0074	0.74
	71-80	10.0072	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.0055	0.55
	81-90	10.0080	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.0037	0.37
	91-100	10.0061	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.0037	0.37
4	1-10	10.0058	0.0521	5	10	0.18	1.10	0.92	0.02405	0.852	0.0852	0.0852	8.52
	11-20	10.0034	0.0521	5	10	0.18	0.94	0.16	0.00417	0.148	0.0148	0.0148	1.48
	21-30	10.0080	0.0521	5	10	0.18	0.26	0.08	0.00208	0.074	0.0074	0.0074	0.74
	31-40	10.0028	0.0521	5	10	0.18	0.26	0.08	0.00208	0.074	0.0074	0.0074	0.74
	41-50	10.0075	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.0055	0.55
	51-60	10.0052	0.0521	5	10	0.18	0.20	0.02	0.00052	0.018	0.0018	0.0018	0.18
	61-70	10.0042	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.0037	0.37
	71-80	10.0052	0.0521	5	10	0.18	0.20	0.02	0.00052	0.018	0.0018	0.0018	0.18
	81-90	10.0037	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.0037	0.37
	91-100	10.0065	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.02	0.00052	0.018	0.0018	0.0018	0.18

ผลการทดสอบหาปริมาณคลอรีนในตัวอย่างผงที่มีปริมาณที่เปลี่ยนแปลงจากร้อยละ 10 พบในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 28 วัน

ก่อน ที่	ระยะจากผิว มอาร์ท (มิลลิเมตร)	น้ำหนักมอาร์ท ตลับ (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ ลิตร)	สีของ ตัวอย่าง (เท่า)	ปิเปต ตัวอย่าง (มิลลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ ไทเทรต (มิลลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ จากสารคำนวณ (มิลลิเมตร)	ความเข้มข้นคลอไรด์ (โมล/ลิตร)	ความเข้มข้นคลอไรด์ (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นคลอไรด์ (กรัม/มอาร์ท 1 กรัม)	ความเข้มข้น คลอไรด์ (กรัม/มอาร์ท 100 กรัม)
5	1-10	10.0111	0.0521	5	10	0.18	0.92	0.2389	0.847	0.0846	8.46
	11-20	10.0052	0.0521	5	10	0.18	0.14	0.00365	0.129	0.0129	1.29
	21-30	10.0142	0.0521	5	10	0.18	0.08	0.00208	0.074	0.0074	0.74
	31-40	10.0233	0.0521	5	10	0.18	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55
	41-50	10.0112	0.0521	5	10	0.18	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55
	51-60	10.0092	0.0521	5	10	0.18	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	61-70	10.0069	0.0521	5	10	0.18	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	71-80	10.0091	0.0521	5	10	0.18	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	81-90	10.0063	0.0521	5	10	0.18	0.02	0.00052	0.018	0.0018	0.18
	91-100	10.0010	0.0521	5	10	0.18	0.02	0.00052	0.018	0.0018	0.18

ผลการทดสอบหาปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดของมอาร์ทที่มีการทานไปเป็นมอาร์ทของกระดิ่งละ 10 มอาร์ทในสารละลายโดยคลอไรด์ 28 วัน



ตารางที่ ก.12 ผลการทดสอบหาปริมาณคลอรีนที่ตกค้างของมอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงการกระจาย 20 แขนในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 28 วัน

ข้อ ก่อน ที่	ระยะเวลาที่ มอร์ตาร์ ถูกบ่ม (มิลลิเมตร)	น้ำหนักมอร์ ตาร์ (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ ลิตร)	เจือจาง ตัวอย่าง (เท่า)	ปีนติ ตัวอย่าง (มิลลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ ไทเทรตแบบลง (มิลลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ ใช้ ไทเทรต (มิลลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ จากการคำนวณ (มิลลิเมตร)	ความเข้มข้นคลอ ไรด์ (โมล/ลิตร)	ความเข้มข้น คลอไรด์ (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นคลอ ไรด์ (กรัม/มอร์ตาร์ 1 กรัม)	ความเข้มข้น คลอไรด์ (กรัม/มอร์ตาร์ 100 กรัม)
1	1-10	10.0038	0.0521	5	10	0.18	1.04	0.86	0.02246	0.797	0.0796	7.96
	11-20	10.0040	0.0521	5	10	0.18	0.96	0.18	0.00469	0.166	0.0166	1.66
	21-30	10.0066	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92
	31-40	10.0027	0.0521	5	10	0.18	0.26	0.08	0.00208	0.074	0.0074	0.74
	41-50	10.0022	0.0521	5	10	0.18	0.26	0.08	0.00208	0.074	0.0074	0.74
	51-60	10.0061	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55
	61-70	10.0068	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55
	71-80	10.0062	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55
	81-90	10.0014	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55
	91-100	10.0038	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55
2	1-10	10.0123	0.0521	5	10	0.18	1.06	0.88	0.02293	0.813	0.0812	8.12
	11-20	10.0007	0.0521	5	10	0.18	0.94	0.16	0.00417	0.148	0.0148	1.48
	21-30	10.0107	0.0521	5	10	0.18	0.26	0.08	0.00208	0.074	0.0074	0.74
	31-40	10.0109	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55
	41-50	10.0093	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55
	51-60	10.0092	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	61-70	10.0160	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55
	71-80	10.0038	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	81-90	10.0135	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	91-100	10.0124	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37

ผลการทดสอบหาปริมาณคลอรีนที่ตกค้างของมอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงการกระจาย 20 แขนในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 28 วัน

กลุ่ม ที่	ระยะเวลา มาตรการ (เดือน/ปี)	พื้นที่ โครงการ (ไร่)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (ไมโคร กรัม)	เสียง ความถี่ (dB)	ปี ปลูก ข้าว (ปี)	AgNO ₃ ที่ ใช้ (ไมโครกรัม)	AgNO ₃ ที่ ใช้ (ไมโครกรัม)	ความเข้มข้น จากสาร (ไมโครกรัม)	ความเข้มข้น จากสาร (ไมโครกรัม)	ความเข้มข้น จากสาร (ไมโครกรัม)	ความเข้มข้น จากสาร (ไมโครกรัม)	ความเข้มข้น จากสาร (ไมโครกรัม)	ความเข้มข้น จากสาร (ไมโครกรัม)
3	1-10	10.0012	0.0521	5	10	0.18	0.98	0.80	0.02076	0.736	0.0736	7.36	7.36
	11-20	10.0088	0.0521	5	10	0.18	0.92	0.14	0.00365	0.129	0.0129	1.29	1.29
	21-30	10.0045	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92	0.92
	31-40	10.0073	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92	0.92
	41-50	10.0068	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55	0.55
	51-60	10.0096	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37	0.37
	61-70	10.0030	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37	0.37
	71-80	10.0010	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37	0.37
	81-90	10.0036	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37	0.37
	91-100	10.0062	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37	0.37
4	1-10	10.0034	0.0521	5	10	0.18	1.04	0.86	0.02235	0.792	0.0792	7.92	7.92
	11-20	10.0051	0.0521	5	10	0.18	0.94	0.16	0.00417	0.148	0.0148	1.48	1.48
	21-30	10.0077	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92	0.92
	31-40	10.0005	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92	0.92
	41-50	10.0062	0.0521	5	10	0.18	0.26	0.08	0.00208	0.074	0.0074	0.74	0.74
	51-60	10.0074	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55	0.55
	61-70	10.0080	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37	0.37
	71-80	10.0072	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37	0.37
	81-90	10.0070	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37	0.37
	91-100	10.0043	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37	0.37

ผลการคำนวณหาปริมาณสารพิษตกค้างในดินจากการใช้ปุ๋ยเคมีในพื้นที่ปลูกข้าว 20 ไร่ในระยะเวลาการใช้ปุ๋ย 28 วัน

กลุ่ม ที่	ระยะจากผิว เมล็ดพืช (มิลลิเมตร)	น้ำหนักเมล็ด พืช (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ ลิตร)	สีของ ตัวอย่าง (เท่า)	ปิเปต ตัวอย่าง (มิลลิลิตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ ไทเทรตผลตก (มิลลิลิตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ ไทเทรต (มิลลิลิตร)	AgNOS ที่ใช้ จากการคำนวณ (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นผล ตก (โมล/ลิตร)	ความเข้มข้น ผลตก (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นผล ตก (กรัม/ใบพืช 1 กรัม)	ความเข้มข้น ผลตก (กรัม/ใบพืช 100 กรัม)
5	1-10	10.0022	0.0521	5	10	0.18	1.03	0.85	0.02218	0.786	0.0786	7.86
	11-20	10.0031	0.0521	5	10	0.18	0.34	0.16	0.00417	0.148	0.0148	1.48
	21-30	10.0072	0.0521	5	10	0.18	0.32	0.14	0.00365	0.129	0.0129	1.29
	31-40	10.0062	0.0521	5	10	0.18	0.26	0.08	0.00208	0.074	0.0074	0.74
	41-50	10.0031	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55
	51-60	10.0008	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55
	61-70	10.0014	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55
	71-80	10.0082	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55
	81-90	10.0073	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55
	91-100	10.0007	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55

ผลการทดสอบหาปริมาณคลอรีนที่หาค่าของเมล็ดพืชที่มีการหาพบเป็นมันด้วยผลกระทบบน 20 เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ยคลอรีน 28 วัน



ตารางที่ ก.13 ผลการทดสอบหาปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดของมอร์ตาที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงจากร้อยละ 20 แขนในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 28 วัน

ก้อน ที่	ระยะจากผิว มอร์ตา (มิลลิเมตร)	น้ำหนักมอร์ ตา (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ ลิตร)	เงา ตัวอย่าง (เท)	ปีปต ตัวอย่าง (มิลลิลิตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ ไทเทรตบลอนด์ (มิลลิลิตร)	AgNO ₃ ที่ ใช้ ไทเทรต (มิลลิลิตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ จากการคำนวณ (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นคลอ ไรด์ (โมล/ลิตร)	ความเข้มข้น คลอไรด์ (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น คลอไรด์ (กรัม/มอร์ตา 1 กรัม)	ความเข้มข้น คลอไรด์ (กรัม/มอร์ตา 100 กรัม)
1	1-10	10.0056	0.0521	5	10	0.18	0.92	0.74	0.01919	0.680	0.068	6.80
	11-20	10.0094	0.0521	5	10	0.18	0.30	0.12	0.00313	0.111	0.0111	1.11
	21-30	10.0089	0.0521	5	10	0.18	0.26	0.08	0.00208	0.074	0.0074	0.74
	31-40	10.0090	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55
	41-50	10.0022	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	51-60	10.0084	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	61-70	10.0031	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	71-80	10.0074	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	81-90	10.0076	0.0521	5	10	0.18	0.20	0.02	0.00052	0.018	0.0018	0.18
	91-100	10.0057	0.0521	5	10	0.18	0.20	0.02	0.00052	0.018	0.0018	0.18
2	1-10	10.0039	0.0521	5	10	0.18	0.94	0.76	0.01992	0.706	0.0706	7.06
	11-20	10.0064	0.0521	5	10	0.18	0.30	0.12	0.00313	0.111	0.0111	1.11
	21-30	10.0027	0.0521	5	10	0.18	0.32	0.14	0.00365	0.129	0.0129	1.29
	31-40	10.0048	0.0521	5	10	0.18	0.30	0.12	0.00313	0.111	0.0111	1.11
	41-50	10.0003	0.0521	5	10	0.18	0.26	0.08	0.00208	0.074	0.0074	0.74
	51-60	10.0069	0.0521	5	10	0.18	0.26	0.08	0.00208	0.074	0.0074	0.74
	61-70	10.0064	0.0521	5	10	0.18	0.26	0.08	0.00208	0.074	0.0074	0.74
	71-80	10.0060	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55
	81-90	10.0079	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55
	91-100	10.0047	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37

ผลการทดสอบหาปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดของมอร์ตาที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงจากร้อยละ 30 แขนในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 28 วัน

ก้อน ที่	ชื่อยกตัว มอาร์ทาร์ (มีลิเมตร)	น้ำหนักมอาร์ทาร์ (กกรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ ลิตร)	เงือง ตัวอย่าง (cm)	เปิด ตัวอย่าง (มีลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ ไทเทรตแอสต์ (มีลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ ใช้ ไทเทรต (มีลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ จากการคำนวณ (มีลิเมตร)	ความเข้มข้นคลอไรด์ (โมล/ลิตร)	ความเข้มข้น คลอไรด์ (กกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นคลอไรด์ (กกรัม)	ความเข้มข้น คลอไรด์ (กกรัม/ลิตร)
3	1-10	10.0014	0.0521	5	10	0.18	0.95	0.77	0.02009	0.712	0.0712	7.12
	11-20	10.0162	0.0521	5	10	0.18	0.34	0.16	0.00417	0.148	0.0148	1.48
	21-30	10.0017	0.0521	5	10	0.18	0.26	0.08	0.00208	0.074	0.0074	0.74
	31-40	10.0051	0.0521	5	10	0.18	0.26	0.08	0.00208	0.074	0.0074	0.74
	41-50	10.0158	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55
	51-60	10.0050	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55
	61-70	10.0051	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55
	71-80	10.0075	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55
	81-90	10.0059	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	91-100	10.0079	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37
4	1-10	10.0023	0.0521	5	10	0.18	0.98	0.80	0.02076	0.736	0.0736	7.36
	11-20	10.0080	0.0521	5	10	0.18	0.34	0.16	0.00417	0.148	0.0148	1.48
	21-30	10.0051	0.0521	5	10	0.18	0.26	0.08	0.00208	0.074	0.0074	0.74
	31-40	10.0037	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92
	41-50	10.0025	0.0521	5	10	0.18	0.26	0.08	0.00208	0.074	0.0074	0.74
	51-60	10.0017	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	61-70	10.0065	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	71-80	10.0051	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	81-90	10.0014	0.0521	5	10	0.18	0.20	0.02	0.00052	0.018	0.0018	0.18
	91-100	10.0020	0.0521	5	10	0.18	0.20	0.02	0.00052	0.018	0.0018	0.18

ผลการทดสอบหาปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดของมอาร์ทาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงเถ้าร้อยละ 30 แต่ไม่สามารถละลายให้เชื่อมคลอไรด์ 28 วัน

ก้อน ที่	ระยะจากผิว บ่อขุด (มิลลิเมตร)	น้ำหนักของ สาร (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ ลิตร)	เงื้อง ตัวอย่าง (แท่ง)	เปิด ตัวอย่าง (มิลลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ ในหลอดแสง (มิลลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ ใช้ ในหลอด (มิลลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ จากภาชนะ (มิลลิเมตร)	ความเข้มข้นคลอ ไรด์ (โมล/ลิตร)	ความเข้มข้น คลอไรด์ (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นคลอ ไรด์ (กรัม/บ่อขุด 1 กรัม)	ความเข้มข้น คลอไรด์ (กรัม/บ่อขุด 1 100 กรัม)
5	1-10	10.0022	0.0521	5	10	0.18	0.98	0.80	0.02088	0.740	0.074	7.40
	11-20	10.0082	0.0521	5	10	0.18	0.32	0.14	0.00365	0.129	0.0129	1.29
	21-30	10.0096	0.0521	5	10	0.18	0.30	0.12	0.00313	0.111	0.0111	1.11
	31-40	10.0008	0.0521	5	10	0.18	0.26	0.08	0.00208	0.074	0.0074	0.74
	41-50	10.0042	0.0521	5	10	0.18	0.24	0.06	0.00156	0.055	0.0055	0.55
	51-60	10.0051	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	61-70	10.0048	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	71-80	10.0037	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	81-90	10.0076	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	91-100	10.0064	0.0521	5	10	0.18	0.22	0.04	0.00104	0.037	0.0037	0.37

ผลการทดสอบหาปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดของสารที่มีการแทนที่ไปเป็นไอออนที่ว่างของกรงกึ่งผลึก 30 นาทีในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 28 วัน



ตารางที่ ก.14 ผลการทดสอบหาปริมาณคลอรีนที่ทั้งหมดของมอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 0 และในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 56 วัน

คอนกรีตที่	ระยะจากผิวมอร์ตาร์ (มิลลิเมตร)	บ้านักผสมมอร์ตาร์ (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ลิตร)	เลือกตัวอย่าง (เท่า)	ปีเปตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ไทเทรตเบส (มิลลิลิตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)	AgNO ₃ ที่ใช้จากค่าคำนวณ (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นคลอรีน (โมล/ลิตร)	ความเข้มข้นคลอรีน (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นคลอรีน (กรัม/ลิตร) (กรัม/ลิตร) 100 กรัม)
1	1-10	10.0076	0.0521	5	10	0.18	1.60	1.42	0.03690	1.308	0.1308
	11-20	10.0023	0.0521	5	10	0.18	0.76	0.58	0.01501	0.592	0.0592
	21-30	10.0014	0.0521	5	10	0.18	0.38	0.20	0.00521	0.185	0.0185
	31-40	10.0002	0.0521	5	10	0.18	0.34	0.16	0.00417	0.148	0.0148
	41-50	10.0098	0.0521	5	10	0.18	0.32	0.14	0.00365	0.129	0.0129
	51-60	10.0032	0.0521	5	10	0.18	0.32	0.14	0.00365	0.129	0.0129
	61-70	10.0071	0.0521	5	10	0.18	0.30	0.12	0.00313	0.111	0.0111
	71-80	10.0063	0.0521	5	10	0.18	0.30	0.12	0.00313	0.111	0.0111
	81-90	10.0047	0.0521	5	10	0.18	0.30	0.12	0.00313	0.111	0.0111
	91-100	10.0029	0.0521	5	10	0.18	0.30	0.12	0.00313	0.111	0.0111
2	1-10	10.0010	0.0521	5	10	0.18	1.50	1.32	0.03430	1.216	0.1216
	11-20	10.0021	0.0521	5	10	0.18	0.72	0.54	0.01399	0.496	0.0496
	21-30	10.0009	0.0521	5	10	0.18	0.36	0.18	0.00459	0.166	0.0166
	31-40	10.0008	0.0521	5	10	0.18	0.32	0.14	0.00365	0.129	0.0129
	41-50	10.0057	0.0521	5	10	0.18	0.32	0.14	0.00365	0.129	0.0129
	51-60	10.0016	0.0521	5	10	0.18	0.32	0.14	0.00365	0.129	0.0129
	61-70	10.0065	0.0521	5	10	0.18	0.32	0.14	0.00365	0.129	0.0129
	71-80	10.0035	0.0521	5	10	0.18	0.32	0.14	0.00365	0.129	0.0129
	81-90	10.0029	0.0521	5	10	0.18	0.32	0.14	0.00365	0.129	0.0129
	91-100	10.0049	0.0521	5	10	0.18	0.32	0.14	0.00365	0.129	0.0129

ผลการทดสอบหาปริมาณคลอรีนที่ทั้งหมดของมอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 0 ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 56 วัน

ก่อน ที่	ระยะจากลิแวนต์ พาร์ (มิลลิเมตร)	น้ำหนักแวนต์ พาร์ (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ลิตร)	ปริมณ ตัวอย่าง (มิลลิกรัม)	AgNO ₃ ที่ใช้ ไทเทรตแวนต์ (มิลลิกรัม)	AgNO ₃ ที่ ใช้ ไทเทรต (มิลลิกรัม)	AgNO ₃ ที่ใช้จาก การคำนวณ (มิลลิกรัม)	ความเข้มข้นของ ไอโธ (โมล/ลิตร)	ความเข้มข้น ของไอโธ (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นของ ไอโธ (กรัม/แวนต์พาร์ 1 กรัม)	ความเข้มข้นของ ไอโธ (กรัม/แวนต์พาร์ 100 กรัม)
1	1-10	10.0051	0.0521	10	0.12	3.44	3.32	0.01730	0.613	0.0613	6.13
	11-20	10.0018	0.0521	10	0.12	0.52	0.40	0.00208	0.074	0.0074	0.74
	21-30	10.0024	0.0521	10	0.12	0.52	0.40	0.00208	0.074	0.0074	0.74
	31-40	10.0055	0.0521	10	0.12	0.56	0.24	0.00125	0.044	0.0044	0.44
	41-50	10.0080	0.0521	10	0.12	0.34	0.22	0.00115	0.041	0.0041	0.41
	51-60	10.0096	0.0521	10	0.12	0.34	0.22	0.00115	0.041	0.0041	0.41
	61-70	10.0081	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	71-80	10.0003	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	81-90	10.0025	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	91-100	10.0037	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
2	1-10	10.0040	0.0521	10	0.12	3.74	3.62	0.01886	0.669	0.0668	6.68
	11-20	10.0068	0.0521	10	0.12	0.74	0.62	0.00323	0.115	0.0114	1.14
	21-30	10.0077	0.0521	10	0.12	0.30	0.38	0.00198	0.070	0.0070	0.70
	31-40	10.0087	0.0521	10	0.12	0.44	0.32	0.00167	0.059	0.0059	0.59
	41-50	10.0004	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	51-60	10.0094	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	61-70	10.0095	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	71-80	10.0048	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	81-90	10.0080	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	91-100	10.0065	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33

ผลการทดสอบหาปริมาณไอโธในตัวอย่างสารเคมีโดยการไทเทรตด้วยไอโธไทโอไซยาไนด์ (ไอโธไทโอไซยาไนด์) ปริมาณไอโธไทโอไซยาไนด์ที่ใช้ในการไทเทรตคือ 0.00104 โมล/ลิตร และปริมาตรของสารละลายไอโธไทโอไซยาไนด์ที่ใช้คือ 28 ซีซี

ก่อน ที่	ระบอบการ บริหาร (มีผลต่อ)	น้ำหนักของ สาร (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ ลิตร)	เงา ตัวอย่าง (mm)	ปฏิก ตัวอย่าง (มีผลต่อ)	AgNO ₃ ที่ใช้ โพแทสเซียม (มีผลต่อ)	AgNO ₃ ที่ ใช้แทน (มีผลต่อ)	AgNO ₃ ที่ใช้ จากการคำนวณ (มีผลต่อ)	ความเข้มข้น คลอไรด์ (โมล/ ลิตร)	ความเข้มข้น คลอไรด์ (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น คลอไรด์ (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น คลอไรด์ (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น คลอไรด์ (กรัม/ลิตร)
5	1-10	10.0048	0.0521	5	10	0.18	1.50	1.32	0.03443	1.221	0.1220	12.20	
	11-20	10.0083	0.0521	5	10	0.18	0.92	0.74	0.01920	0.681	0.0680	6.80	
	21-30	10.0036	0.0521	5	10	0.18	0.42	0.24	0.00625	0.222	0.0222	2.22	
	31-40	10.0011	0.0521	5	10	0.18	0.34	0.16	0.00417	0.148	0.0148	1.48	
	41-50	10.0063	0.0521	5	10	0.18	0.32	0.14	0.00365	0.129	0.0129	1.29	
	51-60	10.0013	0.0521	5	10	0.18	0.32	0.14	0.00365	0.129	0.0129	1.29	
	61-70	10.0083	0.0521	5	10	0.18	0.32	0.14	0.00365	0.129	0.0129	1.29	
	71-80	10.0028	0.0521	5	10	0.18	0.30	0.12	0.00313	0.111	0.0111	1.11	
	81-90	10.0081	0.0521	5	10	0.18	0.30	0.12	0.00313	0.111	0.0111	1.11	
	91-100	10.0068	0.0521	5	10	0.18	0.30	0.12	0.00313	0.111	0.0111	1.11	

ผลการสอบพบปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดของสารที่มีปริมาณแห้งเป็นตัวเลขแรกคือ 0 แต่ในสารละลายเป็นคลอไรด์ 56 กรัม



ตารางที่ ก. 15 ผลการทดสอบหาปริมาณคลอรีนที่หลงเหลือของมอร์เตอร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 10 เซ็นสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 56 วัน

ก้อน ที่	ระยะจากผิว มอร์เตอร์ (มิลลิเมตร)	น้ำหนักมอร์ เตอร์ (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ ลิตร)	เงี่ยง ตัวอย่าง (mm)	ปีปette ตัวอย่าง (มิลลิลิตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ ไทเทรตแอสต์ (มิลลิลิตร)	AgNO ₃ ที่ ใช้ ไทเทรต (มิลลิลิตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ จากการคำนวณ (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้น คลอรีน (โมล/ ลิตร)	ความเข้มข้น คลอรีน (กรัม/มอร์เตอร์ 1 กรัม)	ความเข้มข้น คลอรีน (กรัม/มอร์เตอร์ 100 กรัม)
1	1-10	10.0094	0.0521	5	10	0.18	1.36	1.18	0.03071	1.089	0.1088
	11-20	10.0032	0.0521	5	10	0.18	0.74	0.56	0.01450	0.514	0.0514
	21-30	10.0073	0.0521	5	10	0.18	0.92	0.14	0.00365	0.129	0.0129
	31-40	10.0030	0.0521	5	10	0.18	0.30	0.12	0.00313	0.111	0.0111
	41-50	10.0026	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092
	51-60	10.0044	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092
	61-70	10.0072	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092
	71-80	10.0003	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092
	81-90	10.0058	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092
	91-100	10.0017	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092
2	1-10	10.0033	0.0521	5	10	0.18	1.40	1.22	0.03177	1.126	0.1126
	11-20	10.0008	0.0521	5	10	0.18	0.70	0.52	0.01345	0.476	0.0476
	21-30	10.0031	0.0521	5	10	0.18	0.34	0.16	0.00417	0.148	0.0148
	31-40	10.0041	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092
	41-50	10.0047	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092
	51-60	10.0038	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092
	61-70	10.0058	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092
	71-80	10.0018	0.0521	5	10	0.18	0.26	0.08	0.00208	0.074	0.0074
	81-90	10.0028	0.0521	5	10	0.18	0.26	0.08	0.00208	0.074	0.0074
	91-100	10.0000	0.0521	5	10	0.18	0.26	0.08	0.00208	0.074	0.0074

ผลการทดสอบหาปริมาณคลอรีนที่หลงเหลือของมอร์เตอร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 10 เซ็นสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 56 วัน

รุ่น คอน กรีต	ระยะจากผิว เมทัลล์ (มิลลิเมตร)	น้ำหนักคอนกรีต ต่อตารางเมตร (กิโลกรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ ลิตร)	เนื้อสาร ฟิวเจอร์ (กรัม)	ปริมาณ ตัวอย่าง (มิลลิกรัม)	AgNO ₃ ที่ใช้ โพแทสเซียมออกไซด์ (มิลลิกรัม)	AgNO ₃ ที่ ใช้ โพแทสเซียมออกไซด์ (มิลลิกรัม)	AgNO ₃ ที่ใช้ จากการคำนวณ (มิลลิกรัม)	ความเข้มข้น เซลล์ (โมล/ ลิตร)	ความเข้มข้น เซลล์ (กิโลกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น เซลล์ (กิโลกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น เซลล์ (กิโลกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น เซลล์ (กิโลกรัม/ลิตร)
3	1-10	10.0026	0.0521	5	10	0.18	1.56	1.18	0.03064	1.086	0.1086	10.86	10.86
	11-20	10.0061	0.0521	5	10	0.18	0.68	0.50	0.01298	0.480	0.0480	4.80	4.80
	21-30	10.0037	0.0521	5	10	0.18	0.34	0.16	0.00417	0.148	0.0148	1.48	1.48
	31-40	10.0009	0.0521	5	10	0.18	0.30	0.12	0.00315	0.111	0.0111	1.11	1.11
	41-50	10.0066	0.0521	5	10	0.18	0.30	0.12	0.00315	0.111	0.0111	1.11	1.11
	51-60	10.0063	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92	0.92
	61-70	10.0036	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92	0.92
	71-80	10.0086	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92	0.92
	81-90	10.0006	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92	0.92
	91-100	10.0069	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92	0.92
4	1-10	10.0021	0.0521	5	10	0.18	1.38	1.20	0.3120	1.106	0.1106	11.06	11.06
	11-20	10.0044	0.0521	5	10	0.18	0.60	0.42	0.01094	0.388	0.0388	3.88	3.88
	21-30	10.0051	0.0521	5	10	0.18	0.38	0.20	0.00521	0.185	0.0185	1.85	1.85
	31-40	10.0008	0.0521	5	10	0.18	0.32	0.14	0.00365	0.129	0.0129	1.29	1.29
	41-50	10.0016	0.0521	5	10	0.18	0.30	0.12	0.00315	0.111	0.0111	1.11	1.11
	51-60	10.0011	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92	0.92
	61-70	10.0028	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92	0.92
	71-80	10.0029	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92	0.92
	81-90	10.0097	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92	0.92
	91-100	10.0072	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92	0.92

ผลการทดสอบหาปริมาณเซลล์ในคอนกรีตด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่มีความหนาแน่นของเซลล์ประมาณ 10 เซลล์ต่อตารางเซนติเมตร และ 56 เซลล์ต่อตารางเซนติเมตร

ก่อน ที่	ระลอกปี มกราคม (มีนาคม)	น้ำหนักของ สาร (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ ลิตร)	เงา ตัวอย่าง (cm)	ปี ตัวอย่าง (มีนาคม)	AgNO ₃ ที่ใช้ ไทเทรต (มีนาคม)	AgNO ₃ ที่ ใช้ ไทเทรต (มีนาคม)	AgNO ₃ ที่ใช้ จากค่า (มีนาคม)	ความเข้มข้น คลอไรด์ (โมล/ ลิตร)	ความเข้มข้น คลอไรด์ (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น คลอไรด์ (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น คลอไรด์ (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น คลอไรด์ (กรัม/ลิตร)
5	1-10	10.0037	0.0521	5	10	0.18	1.36	1.18	0.03081	1.092	0.1092	10.92	10.92
	11-20	10.0007	0.0521	5	10	0.18	0.70	0.52	0.01354	0.480	0.0480	4.80	4.80
	21-30	10.0042	0.0521	5	10	0.18	0.98	0.20	0.00521	0.185	0.0185	1.85	1.85
	31-40	10.0046	0.0521	5	10	0.18	0.30	0.12	0.00313	0.111	0.0111	1.11	1.11
	41-50	10.0017	0.0521	5	10	0.18	0.90	0.12	0.00313	0.111	0.0111	1.11	1.11
	51-60	10.0026	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92	0.92
	61-70	10.0020	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92	0.92
	71-80	10.0029	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92	0.92
	81-90	10.0049	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92	0.92
	91-100	10.0011	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92	0.92

ผลการทดสอบหาปริมาณคลอไรด์ในตัวอย่างสารที่มีค่าการทึบเป็นค่าเฉลี่ยของ 10 ผลในสารละลายปริมาตร 56 มล.



ตารางที่ ก.16 ผลการทดสอบหาปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดของมอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 20 เช่นในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 56 วัน

ก้อน ที่	ระยะจากผิว มอร์ตาร์ (มิลลิเมตร)	น้ำหนักมอร์ตาร์ (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ ลิตร)	เจือจาง ตัวอย่าง (เท่า)	ปิเปต ตัวอย่าง (มิลลิลิตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ ไทเทรตเบส (มิลลิลิตร)	AgNO ₃ ที่ ใช้ ไทเทรต (มิลลิลิตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ จากค่าการคำนวณ (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้น คลอไรด์ (โมล/ ลิตร)	ความเข้มข้น คลอไรด์ (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น คลอไรด์ (กรัม/มอร์ตาร์ 1 กรัม)	ความเข้มข้น คลอไรด์ (กรัม/มอร์ตาร์ 100 กรัม)
1	1-10	10.0052	0.0521	5	10	0.18	1.34	1.16	0.03013	1.068	0.1068	10.68
	11-20	10.0026	0.0521	5	10	0.18	0.60	0.42	0.01106	0.392	0.0392	3.92
	21-30	10.0047	0.0521	5	10	0.18	0.40	0.22	0.00573	0.203	0.0203	2.03
	31-40	10.0066	0.0521	5	10	0.18	0.40	0.22	0.00573	0.203	0.0203	2.03
	41-50	10.0008	0.0521	5	10	0.18	0.32	0.14	0.00365	0.129	0.0129	1.29
	51-60	10.0065	0.0521	5	10	0.18	0.30	0.12	0.00313	0.111	0.0111	1.11
	61-70	10.0022	0.0521	5	10	0.18	0.30	0.12	0.00313	0.111	0.0111	1.11
	71-80	10.0017	0.0521	5	10	0.18	0.30	0.12	0.00313	0.111	0.0111	1.11
	81-90	10.0016	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92
	91-100	10.0091	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92
2	1-10	10.0054	0.0521	5	10	0.18	1.28	1.10	0.02878	1.020	0.1020	10.20
	11-20	10.0054	0.0521	5	10	0.18	0.58	0.40	0.01033	0.366	0.0366	3.66
	21-30	10.0012	0.0521	5	10	0.18	0.32	0.14	0.00365	0.129	0.0129	1.29
	31-40	10.0033	0.0521	5	10	0.18	0.34	0.16	0.00417	0.148	0.0148	1.48
	41-50	10.0029	0.0521	5	10	0.18	0.30	0.12	0.00313	0.111	0.0111	1.11
	51-60	10.0041	0.0521	5	10	0.18	0.30	0.12	0.00313	0.111	0.0111	1.11
	61-70	10.0070	0.0521	5	10	0.18	0.30	0.12	0.00313	0.111	0.0111	1.11
	71-80	10.0036	0.0521	5	10	0.18	0.30	0.12	0.00313	0.111	0.0111	1.11
	81-90	10.0087	0.0521	5	10	0.18	0.30	0.12	0.00313	0.111	0.0111	1.11
	91-100	10.0013	0.0521	5	10	0.18	0.30	0.12	0.00313	0.111	0.0111	1.11

ผลการทดสอบหาปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดของมอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 20 เช่นในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 56 วัน

ชั้นดิน	ระยะจากผิว ผิวดิน (มิลลิเมตร)	น้ำหนักแห้ง สาร (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ ลิตร)	สีของ ตัวอย่าง (หน่วย)	ป็น ตัวอย่าง (มิลลิกรัม)	AgNO ₃ ที่ใช้ ไทเทรต (มิลลิกรัม)	AgNO ₃ ที่ใช้ ไทเทรต (มิลลิกรัม)	AgNO ₃ ที่ใช้ จากค่าคำนวณ (มิลลิกรัม)	ความเข้มข้น สาร (โมล/ ลิตร)	ความเข้มข้น สาร (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น สาร (กรัม/เฮกตาร์ 1 ไร่)	ความเข้มข้น สาร (กรัม/เฮกตาร์ 100 ไร่)
3	1-10	10.0033	0.0521	5	10	0.18	1.46	1.28	0.03324	1.178	0.1178	11.78
	11-20	10.0049	0.0521	5	10	0.18	0.62	0.44	0.01157	0.410	0.0410	4.10
	21-30	10.0002	0.0521	5	10	0.18	0.38	0.20	0.00521	0.185	0.0185	1.85
	31-40	10.0024	0.0521	5	10	0.18	0.34	0.16	0.00417	0.148	0.0148	1.48
	41-50	10.0007	0.0521	5	10	0.18	0.32	0.14	0.00365	0.129	0.0129	1.29
	51-60	10.0033	0.0521	5	10	0.18	0.32	0.14	0.00365	0.129	0.0129	1.29
	61-70	10.0016	0.0521	5	10	0.18	0.30	0.12	0.00313	0.111	0.0111	1.11
	71-80	10.0024	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92
	81-90	10.0034	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92
	91-100	10.0034	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92
4	1-10	10.0079	0.0521	5	10	0.18	1.28	1.08	0.02822	1.000	0.1000	10.00
	11-20	10.0059	0.0521	5	10	0.18	0.54	0.36	0.00926	0.328	0.0328	3.28
	21-30	10.0037	0.0521	5	10	0.18	0.34	0.16	0.00417	0.148	0.0148	1.48
	31-40	10.0059	0.0521	5	10	0.18	0.32	0.14	0.00365	0.129	0.0129	1.29
	41-50	10.0077	0.0521	5	10	0.18	0.32	0.14	0.00365	0.129	0.0129	1.29
	51-60	10.0083	0.0521	5	10	0.18	0.30	0.12	0.00313	0.111	0.0111	1.11
	61-70	10.0030	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92
	71-80	10.0003	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92
	81-90	10.0026	0.0521	5	10	0.18	0.26	0.08	0.00208	0.074	0.0074	0.74
	91-100	10.0046	0.0521	5	10	0.18	0.26	0.08	0.00208	0.074	0.0074	0.74

ผลการทดสอบหาปริมาณสารไนโตรเจนในดินโดยวิธีไทเทรตด้วยสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต 20 มล. ในสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต 56 กรัม

ก่อน ที่	ระยะจากผิว มอซาร์ท (มิลลิเมตร)	น้ำหนักมอซาร์ท (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (มิลลิกรัม/ลิตร)	เงาจาก ตัวอย่าง (หน่วย)	ปีเปต ตัวอย่าง (มิลลิลิตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ ไทเทรตบลอนด์ (มิลลิลิตร)	AgNO ₃ ที่ ใช้ ไทเทรต (มิลลิลิตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ จากการคำนวณ (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้น คลอไรด์ (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น คลอไรด์ (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น คลอไรด์ (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น คลอไรด์ (กรัม/มอซาร์ท 100 กรัม)
5	1-10	10.0052	0.0521	5	10	0.18	1.30	1.12	0.02907	1.031	0.1030	10.30
	11-20	10.0047	0.0521	5	10	0.18	0.46	0.28	0.00717	0.254	0.0254	2.54
	21-30	10.0037	0.0521	5	10	0.18	0.36	0.18	0.00469	0.166	0.0166	1.66
	31-40	10.0029	0.0521	5	10	0.18	0.32	0.14	0.00365	0.129	0.0129	1.29
	41-50	10.0018	0.0521	5	10	0.18	0.30	0.12	0.00315	0.111	0.0111	1.11
	51-60	10.0009	0.0521	5	10	0.18	0.30	0.12	0.00315	0.111	0.0111	1.11
	61-70	10.0040	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92
	71-80	10.0065	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92
	81-90	10.0076	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92
	91-100	10.0003	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92

ผลการทดสอบหาปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดของมอซาร์ทที่มีการแทนที่ว่าเป็นด้วยผงของร้อยละ 20 แต่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 56 วัน



ตารางที่ ก.17 ผลการทดสอบหาปริมาณคลอรีนทั้งหมดของมอร์เตอร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 30 เช่นในสารละลายไซเตียมคลอไรด์ 56 วัน

ก้อน ที่	ระยะจากผิว มอร์ตาร์ (มิลลิเมตร)	น้ำหนักมอร์ ตาร์ (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ ลิตร)	เงือง ตัวอย่าง (พัก)	ปีบด ตัวอย่าง (มิลลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ ไทเทรตแบบจุด (มิลลิลิตร)	AgNO ₃ ที่ ใช้ ไทเทรต (มิลลิลิตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ จากการคำนวณ (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้น คลอรีน (โมล/ ลิตร)	ความเข้มข้น คลอรีน (กรัม/มอร์ตาร์ 1 กรัม)	ความเข้มข้น คลอรีน (กรัม/มอร์ตาร์ 100 กรัม)
1	1-10	10.0019	0.0521	5	10	0.18	1.24	1.06	0.02765	0.980	0.980
	11-20	10.0052	0.0521	5	10	0.18	0.56	0.18	0.00469	0.166	0.166
	21-30	10.0069	0.0521	5	10	0.18	0.54	0.16	0.00417	0.148	0.148
	31-40	10.0047	0.0521	5	10	0.18	0.30	0.12	0.00315	0.111	0.111
	41-50	10.0083	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.092
	51-60	10.0076	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.092
	61-70	10.0017	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.092
	71-80	10.0064	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.092
	81-90	10.0050	0.0521	5	10	0.18	0.18	0.10	0.00261	0.092	0.092
	91-100	10.0057	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.092
2	1-10	10.0036	0.0521	5	10	0.18	1.24	1.06	0.02754	0.976	0.976
	11-20	10.0019	0.0521	5	10	0.18	0.44	0.26	0.00666	0.236	0.236
	21-30	10.0002	0.0521	5	10	0.18	0.39	0.20	0.00521	0.185	0.185
	31-40	10.0053	0.0521	5	10	0.18	0.30	0.12	0.00315	0.111	0.111
	41-50	10.0007	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.092
	51-60	10.0057	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.092
	61-70	10.0071	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.092
	71-80	10.0092	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.092
	81-90	10.0070	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.092
	91-100	10.0063	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.092

ผลการทดสอบหาปริมาณคลอรีนทั้งหมดของมอร์เตอร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 30 เช่นในสารละลายไซเตียมคลอไรด์ 56 วัน

ก่อน ที่	ระบบหลัก มาตรฐาน (มีสีชมพู)	น้ำหนักของ สาร ผง (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ ลิตร)	สีของ ตัวอย่าง (หน่วย)	จุด ตัวอย่าง (มีสีชมพู)	AgNO ₃ ที่ใช้ โพแทสเซียม (มีสีชมพู)	AgNO ₃ ที่ ใช้ โพแทสเซียม (มีสีชมพู)	AgNO ₃ ที่ใช้ จากการคำนวณ (มีสีชมพู)	ความเข้มข้น คลอรีน (โมล/ ลิตร)	ความเข้มข้น คลอรีน (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น คลอรีน (กรัม/ลิตร) ¹	ความเข้มข้น คลอรีน (กรัม/ลิตร) (คำนวณต่อฟาร์ 100 กรัม)
3	1-10	10.0046	0.0521	5	10	0.18	1.22	1.04	0.02698	0.956	0.0956	9.56
	11-20	10.0021	0.0521	5	10	0.18	0.94	0.16	0.00417	0.148	0.0148	1.48
	21-30	10.0030	0.0521	5	10	0.18	0.94	0.16	0.00417	0.148	0.0148	1.48
	31-40	10.0010	0.0521	5	10	0.18	0.92	0.14	0.00365	0.129	0.0129	1.29
	41-50	10.0037	0.0521	5	10	0.18	0.92	0.14	0.00365	0.129	0.0129	1.29
	51-60	10.0027	0.0521	5	10	0.18	0.90	0.12	0.00313	0.111	0.0111	1.11
	61-70	10.0033	0.0521	5	10	0.18	0.90	0.12	0.00313	0.111	0.0111	1.11
	71-80	10.0045	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92
	81-90	10.0061	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92
	91-100	10.0020	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92
4	1-10	10.0011	0.0521	5	10	0.18	1.24	1.06	0.02759	0.978	0.0978	9.78
	11-20	10.0071	0.0521	5	10	0.18	0.50	0.32	0.00834	0.296	0.0296	2.96
	21-30	10.0030	0.0521	5	10	0.18	0.40	0.22	0.00573	0.203	0.0203	2.03
	31-40	10.0031	0.0521	5	10	0.18	0.34	0.16	0.00417	0.148	0.0148	1.48
	41-50	10.0046	0.0521	5	10	0.18	0.92	0.14	0.00365	0.129	0.0129	1.29
	51-60	10.0032	0.0521	5	10	0.18	0.90	0.12	0.00313	0.111	0.0111	1.11
	61-70	10.0016	0.0521	5	10	0.18	0.90	0.12	0.00313	0.111	0.0111	1.11
	71-80	10.0037	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92
	81-90	10.0036	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92
	91-100	10.0076	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092	0.92

ผลการทดสอบหาปริมาณคลอรีนทั้งหมดของสารที่มีสารหนักเป็นต้นด้วยคลอรีนร้อยละ 30 อยู่ในสารละลายโดยคลอรีน 56 กรัม

ก่อน ที่	ระยะจากผิว เมตรคาร์ (มีลิเมตร)	น้ำหนักเมตร คาร์ (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ ลิตร)	เงือง ตัวอย่าง (พท)	เปิด ตัวอย่าง (มีลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ ไทเทรตเบรนต์ (มีลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ ใช้ ไทเทรต (มีลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ จากการคำนวณ (มีลิเมตร)	ความเข้มข้น คลอไรด์ (โมล/ ลิตร)	ความเข้มข้น คลอไรด์ (กรัม/เบรคาร์ 1 กรัม)	ความเข้มข้น คลอไรด์ (กรัม/เบรคาร์ 100 กรัม)
5	1-10	10.0061	0.0521	5	10	0.18	1.32	1.14	0.02958	1.049	0.1048
	11-20	10.0060	0.0521	5	10	0.18	0.36	0.18	0.00469	0.166	0.0166
	21-30	10.0037	0.0521	5	10	0.18	0.36	0.18	0.00469	0.166	0.0166
	31-40	10.0060	0.0521	5	10	0.18	0.36	0.18	0.00469	0.166	0.0166
	41-50	10.0050	0.0521	5	10	0.18	0.32	0.14	0.00365	0.129	0.0129
	51-60	10.0007	0.0521	5	10	0.18	0.30	0.12	0.00315	0.111	0.0111
	61-70	10.0061	0.0521	5	10	0.18	0.30	0.12	0.00315	0.111	0.0111
	71-80	10.0056	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092
	81-90	10.0076	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092
	91-100	10.0078	0.0521	5	10	0.18	0.28	0.10	0.00261	0.092	0.0092

ผลการทดสอบหาปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดของตัวอย่างที่มีการหนึ่เป็นต้นด้วยผงจากร้อยละ 30 พบในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 56 วัน



ตารางที่ ก.18 ผลการทดสอบหาปริมาณคลอไรด์อิสระของมอร์เตอร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 0 แต่ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 28 วัน

กลุ่ม ก้อน ที่	ระยะจากผิว มอร์ตาร์ (มิลลิเมตร)	น้ำหนักมอร์ ตาร์ (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ลิตร)	ปีปेट ตัวอย่าง (มิลลิลิตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ ไทเทรตเบสค์ (มิลลิลิตร)	AgNO ₃ ที่ ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)	AgNOS ที่ได้จาก การคำนวณ (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นคลอ ไรด์ (โมล/ลิตร)	ความเข้มข้นคลอ ไรด์ (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นคลอ ไรด์ (กรัม/มอร์ตาร์ 1 กรัม)	ความเข้มข้นคลอ ไรด์ (กรัม/มอร์ตาร์ 100 กรัม)
1	1-10	10.0032	0.0521	10	0.12	4.40	4.28	0.02230	0.791	0.0790	7.90
	11-20	10.0038	0.0521	10	0.12	1.46	1.34	0.00698	0.248	0.0247	2.47
	21-30	10.0087	0.0521	10	0.12	0.36	0.24	0.00125	0.044	0.0044	0.44
	31-40	10.0019	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	41-50	10.0095	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	51-60	10.0063	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	61-70	10.0064	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	71-80	10.0068	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	81-90	10.0075	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	91-100	10.0018	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
2	1-10	10.0052	0.0521	10	0.12	4.40	4.28	0.02230	0.791	0.0790	7.90
	11-20	10.0030	0.0521	10	0.12	1.64	1.52	0.00792	0.281	0.0281	2.81
	21-30	10.0024	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	31-40	10.0051	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	41-50	10.0088	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	51-60	10.0057	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	61-70	10.0007	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	71-80	10.0039	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	81-90	10.0076	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	91-100	10.0051	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33

ผลการทดสอบหาปริมาณคลอไรด์อิสระของมอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 0 แต่ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 28 วัน

ก่อน ที่	ระยะกึ่ง ชีวิต (ปี/กัม)	น้ำหนักของ สาร (กัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (ไมโครกรัม)	ปีนเป ตัวอย่าง (มิลลิกรัม)	AgNO ₃ ที่ใช้ ไทเทรต (มิลลิกรัม)	AgNO ₃ ที่ ใช้ไทเทรต (มิลลิกรัม)	AgNO ₃ ที่ได้จาก การคำนวณ (มิลลิกรัม)	ความเข้มข้นของ ไอ (ไมโครกรัม)	ความเข้มข้นของ ไอ (กัม/ลิตร)	ความเข้มข้นของ ไอ (กัม/เมตร ³)	ความเข้มข้นของ ไอ (กัม/เมตร ³)
3	1-10	10.0060	0.0521	10	0.12	4.20	4.08	0.02126	0.754	0.0753	7.53
	11-20	10.0034	0.0521	10	0.12	1.44	1.32	0.00688	0.244	0.0244	2.44
	21-30	10.0051	0.0521	10	0.12	0.36	0.24	0.00125	0.044	0.0044	0.44
	31-40	10.0062	0.0521	10	0.12	0.34	0.22	0.00115	0.041	0.0041	0.41
	41-50	10.0051	0.0521	10	0.12	0.34	0.22	0.00115	0.041	0.0041	0.41
	51-60	10.0079	0.0521	10	0.12	0.34	0.22	0.00115	0.041	0.0041	0.41
	61-70	10.0071	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	71-80	10.0063	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	81-90	10.0093	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	91-100	10.0013	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
4	1-10	10.0046	0.0521	10	0.12	4.50	4.48	0.02334	0.828	0.0827	8.27
	11-20	10.0072	0.0521	10	0.12	1.56	1.44	0.00750	0.266	0.0266	2.66
	21-30	10.0017	0.0521	10	0.12	0.36	0.24	0.00125	0.044	0.0044	0.44
	31-40	10.0025	0.0521	10	0.12	0.34	0.22	0.00115	0.041	0.0041	0.41
	41-50	10.0044	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	51-60	10.0081	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	61-70	10.0003	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	71-80	10.0009	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	81-90	10.0072	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	91-100	10.0037	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33

ผลการทดสอบหาปริมาณไอโอดีนของตัวอย่างสารที่มีการปนเปื้อนปริมาณที่ต่างกันโดยประมาณ 0 ผลในสารละลายไอโอดีน 28 วัน

ชั้นเรียน	ระยะเวลาที่ มอบหมาย (มิถุนายน)	น้ำหนักของ ตัวชี้วัด (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ลิตร)	ปฏิกิริยา ตัวอย่าง (โมล/ลิตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ ไทเทรตเบส (โมล/ลิตร)	AgNO ₃ ที่ ใช้ไทเทรต (โมล/ลิตร)	AgNO ₃ ที่ได้จาก การคำนวณ (โมล/ลิตร)	ความเข้มข้นของ โซล (โมล/ลิตร)	ความเข้มข้นของ โซล (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นของ โซล (กรัม/เบสท์ 1 กรัม)	ความเข้มข้นของ โซล (กรัม/เบสท์ 100 กรัม)
5	1-10	10.0077	0.0521	10	0.12	4.80	4.68	0.02438	0.864	0.0864	8.64
	11-20	10.0186	0.0521	10	0.12	1.46	1.34	0.00698	0.248	0.0247	2.47
	21-30	10.0128	0.0521	10	0.12	0.36	0.24	0.00125	0.044	0.0044	0.44
	31-40	10.0241	0.0521	10	0.12	0.34	0.22	0.00115	0.041	0.0041	0.41
	41-50	10.0009	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	51-60	10.0227	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	61-70	10.0182	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	71-80	10.0239	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	81-90	10.0305	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	91-100	10.0241	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33

ผลการทดสอบหาปริมาณของไอโอดีนของเบสท์ที่มีการแทนที่ปฏิกิริยาด้วยตัวบ่งชี้การเปลี่ยนสี 0 เป็นสีน้ำตาลไอโอดีนของโซล 28 ชั้น



ตารางที่ ก.19 ผลการทดสอบหาปริมาณคลอรีนของเมอร์টারที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 10 แซ่ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 28 วัน

กลุ่ม ก้อน ที่	ระยะจากผิวเมอร์ টার (มิลลิเมตร)	น้ำหนักเมอร์ টার (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ลิตร)	ปีเปต ตัวอย่าง (มิลลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ ไทเทรตเบงก์ (มิลลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ ใช้ ไทเทรต (มิลลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ใช้จาก การคำนวณ (มิลลิเมตร)	ความเข้มข้นคลอ ไรด์ (โมล/ลิตร)	ความเข้มข้น คลอไรด์ (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นคลอ ไรด์ (กรัม/เมอร์টার 1 กรัม)	ความเข้มข้นคลอ ไรด์ (กรัม/เมอร์টার 100 กรัม)
1	1-10	10.0027	0.0521	10	0.12	4.36	4.24	0.02209	0.783	0.0783	7.83
	11-20	10.0044	0.0521	10	0.12	0.90	0.78	0.00406	0.144	0.0144	1.44
	21-30	10.0064	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	31-40	10.0061	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	41-50	10.0005	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	51-60	10.0056	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	61-70	10.0061	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	71-80	10.0092	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	81-90	10.0091	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	91-100	10.0075	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
2	1-10	10.0041	0.0521	10	0.12	4.42	4.30	0.02240	0.794	0.0794	7.94
	11-20	10.0036	0.0521	10	0.12	0.86	0.74	0.00386	0.137	0.0137	1.37
	21-30	10.0034	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	31-40	10.0020	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	41-50	10.0017	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	51-60	10.0033	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	61-70	10.0064	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	71-80	10.0088	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	81-90	10.0091	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	91-100	10.0040	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33

ผลการทดสอบหาปริมาณคลอรีนของเมอร์টারที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 10 แซ่ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 28 วัน

ก้อน ที่	ระยะกัลปีเยอร์ พาร์ (มิลลิเมตร)	น้ำหนักเมอร์ พาร์ (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ลิตร)	บึงค ตัวอย่าง (มิลลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ ไทเทรตเมอร์ค (มิลลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ ใช้ ไทเทรต (มิลลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ใช้จาก การคำนวณ (มิลลิเมตร)	ความเข้มข้น ไอโธ (โมล/ลิตร)	ความเข้มข้น คลอรีน (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น ไอโธ (กรัม/มิลลิพาร์ 1 กรัม)	ความเข้มข้น ไอโธ (กรัม/มิลลิพาร์ 100 กรัม)
3	1-10	10.0027	0.0521	10	0.12	4.60	4.48	0.02334	0.828	0.0827	8.27
	11-20	10.0062	0.0521	10	0.12	0.80	0.68	0.00334	0.126	0.0126	1.26
	21-30	10.0008	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	31-40	10.0090	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	41-50	10.0076	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	51-60	10.0004	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	61-70	10.0044	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	71-80	10.0073	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	81-90	10.0026	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	91-100	10.0068	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
4	1-10	10.0069	0.0521	10	0.12	4.08	3.96	0.02063	0.751	0.0751	7.51
	11-20	10.0078	0.0521	10	0.12	0.82	0.70	0.00365	0.129	0.0129	1.29
	21-30	10.0036	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	31-40	10.0088	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	41-50	10.0088	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	51-60	10.0073	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	61-70	10.0033	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	71-80	10.0018	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	81-90	10.0011	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	91-100	10.0099	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33

ผลการทดสอบหาปริมาณคลอรีนด้วยวิธีไทเทรตเมอร์คพาร์ที่มีการแทนที่ด้วยเงินด้วยผงทาร์จอร์ส 10 นีในสารละลายไอโธเมอร์ค 28 กรัม

ก่อน ที่	ระยะจากฟิล์มเออร์ จาร์ (มิลลิเมตร)	น้ำหนักของเออร์ จาร์ (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ลิตร)	ปิंपด ตัวอย่าง (มิลลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ โพแทสเซียมเออร์ จาร์ (มิลลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ ใช้ โพแทสเซียมเออร์ จาร์ (มิลลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ใช้จาก การคำนวณ (มิลลิเมตร)	ความเข้มข้นของ ไอโอดีน (โมล/ลิตร)	ความเข้มข้นของ ไอโอดีน (กรัม/เออร์จาร์ 1 กรัม)	ความเข้มข้นของ ไอโอดีน (กรัม/เออร์จาร์ 100 กรัม)
5	1-10	10.0000	0.0521	10	0.12	4.62	4.50	0.02345	0.0831	8.31
	11-20	10.0004	0.0521	10	0.12	0.62	0.50	0.00261	0.0092	0.92
	21-30	10.0006	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.0033	0.33
	31-40	10.0007	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.0037	0.37
	41-50	10.0004	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.0037	0.37
	51-60	10.0144	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.0033	0.33
	61-70	10.0019	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.0033	0.33
	71-80	10.0093	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.0033	0.33
	81-90	10.0036	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.0033	0.33
	91-100	10.0058	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.0033	0.33

ผลการทดสอบหาปริมาณไอโอดีนของเออร์จาร์ที่มีการแทนที่ด้วยโพแทสเซียมเออร์จาร์ร้อยละ 10 แต่ในสารละลายไอโอดีนของไอโอดีน 28 กรัม



ตารางที่ ก.20 ผลการทดสอบหาปริมาณคลอรีนของสารเคมีที่มีการแทนที่ปฏิกิริยาด้วยผงจากร้อยละ 20 แห่งในการละลายโซเดียมคลอไรด์ 28 วัน

กลุ่ม ที่	ระยะเวลาสัมผัส สาร (มีลิเมตร)	น้ำหนักผง สาร (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ลิตร)	ปีเปต ตัวอย่าง (มีลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ ไทเทรตเบส (มีลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ ใช้ ไทเทรต (มีลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ได้จาก การคำนวณ (มีลิเมตร)	ความเข้มข้นคลอ ไรด์ (โมล/ลิตร)	ความเข้มข้น คลอไรด์ (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นคลอ ไรด์ (กรัม/มิลลิลิตร 1 กรัม)	ความเข้มข้นคลอ ไรด์ (กรัม/มิลลิลิตร 100 กรัม)
1	1-10	10.0094	0.0521	10	0.12	9.96	9.84	0.02001	0.709	0.0709	7.09
	11-20	10.0027	0.0521	10	0.12	9.54	0.42	0.00219	0.078	0.0078	0.78
	21-30	10.0053	0.0521	10	0.12	9.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	31-40	10.0051	0.0521	10	0.12	9.34	0.22	0.00115	0.041	0.0041	0.41
	41-50	10.0078	0.0521	10	0.12	9.34	0.22	0.00115	0.041	0.0041	0.41
	51-60	10.0099	0.0521	10	0.12	9.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	61-70	10.0051	0.0521	10	0.12	9.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	71-80	10.0096	0.0521	10	0.12	9.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	81-90	10.0089	0.0521	10	0.12	9.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	91-100	10.0061	0.0521	10	0.12	9.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
2	1-10	10.0007	0.0521	10	0.12	9.88	9.76	0.01959	0.695	0.0694	6.94
	11-20	10.0023	0.0521	10	0.12	9.56	0.44	0.00229	0.081	0.0081	0.81
	21-30	10.0002	0.0521	10	0.12	9.36	0.24	0.00125	0.044	0.0044	0.44
	31-40	10.0013	0.0521	10	0.12	9.36	0.24	0.00125	0.044	0.0044	0.44
	41-50	10.0006	0.0521	10	0.12	9.34	0.22	0.00115	0.041	0.0041	0.41
	51-60	10.0007	0.0521	10	0.12	9.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	61-70	10.0007	0.0521	10	0.12	9.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	71-80	10.0021	0.0521	10	0.12	9.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	81-90	10.0015	0.0521	10	0.12	9.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	91-100	10.0014	0.0521	10	0.12	9.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
ผลการทดสอบหาปริมาณคลอรีนของสารเคมีที่มีการแทนที่ปฏิกิริยาด้วยผงจากร้อยละ 20 แห่งในการละลายโซเดียมคลอไรด์ 28 วัน											

กลุ่ม ที่	ระยะจากพีแอมเออร์ พาร์ (มิลลิเมตร)	น้ำหนักแอมเออร์ พาร์ (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ลิตร)	ชนิด ตัวอย่าง (มิลลิกรัม)	AgNO ₃ ที่ใช้ โพแทสเซียม (มิลลิกรัม)	AgNO ₃ ที่ ใช้ โพแทสเซียม (มิลลิกรัม)	AgNOS ที่ใช้จาก การคำนวณ (มิลลิกรัม)	ความเข้มข้นของ ไอ (โมล/ลิตร)	ความเข้มข้น ของไอ (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นของ ไอ (กรัม/แอมเออร์ 1 กรัม)	ความเข้มข้นของ ไอ (กรัม/แอมเออร์ 100 กรัม)
3	1-10	10.0003	0.0521	10	0.12	3.98	9.86	0.02011	0.715	0.0715	7.15
	11-20	10.0035	0.0521	10	0.12	0.54	0.42	0.00219	0.078	0.0078	0.78
	21-30	10.0050	0.0521	10	0.12	0.34	0.22	0.00115	0.041	0.0041	0.41
	31-40	10.0076	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	41-50	10.0082	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	51-60	10.0021	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	61-70	10.0028	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	71-80	10.0059	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	81-90	10.0037	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	91-100	10.0000	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
4	1-10	10.0047	0.0521	10	0.12	4.22	4.10	0.02136	0.757	0.0757	7.57
	11-20	10.0012	0.0521	10	0.12	0.48	0.36	0.00188	0.066	0.0066	0.66
	21-30	10.0019	0.0521	10	0.12	0.36	0.24	0.00125	0.044	0.0044	0.44
	31-40	10.0090	0.0521	10	0.12	0.34	0.22	0.00115	0.041	0.0041	0.41
	41-50	10.0081	0.0521	10	0.12	0.34	0.22	0.00115	0.041	0.0041	0.41
	51-60	10.0088	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	61-70	10.0047	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	71-80	10.0054	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	81-90	10.0071	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	91-100	10.0045	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37

ผลการทดสอบปริมาณคลอรีนด้วยวิธีไทเทรชันเพอร์มังกาเนตที่มีการแทนที่ในขั้นต้นด้วยคลอรีน 20 มิลลิกรัมภายในปริมาณไอ 28 กรัม

กลุ่ม ที่	ระยะจากฟิล์มเออร์ ดาร์ (มิลลิเมตร)	น้ำหนักฟิล์มเออร์ ดาร์ (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ลิตร)	ปีโป ตัวอย่าง (มิลลิลิตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ โพแทสเซียมเจตต์ (มิลลิลิตร)	AgNO ₃ ที่ ใช้ โพแทสเซียม (มิลลิลิตร)	AgNO ₃ ที่ใช้จาก การคำนวณ (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้น ไอโอดีน (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นไอโอดีน (กรัม/เออร์ดาร์ 1 กรัม)	ความเข้มข้นไอโอดีน (กรัม/เออร์ดาร์ 100 กรัม)
5	1-10	10.0061	0.0521	10	0.12	4.00	3.88	0.02021	0.0716	7.16
	11-20	10.0047	0.0521	10	0.12	0.48	0.36	0.00188	0.0066	0.66
	21-30	10.0056	0.0521	10	0.12	0.36	0.24	0.00125	0.0044	0.44
	31-40	10.0009	0.0521	10	0.12	0.34	0.22	0.00115	0.0041	0.41
	41-50	10.0030	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.0037	0.37
	51-60	10.0029	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.0037	0.37
	61-70	10.0040	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.0033	0.33
	71-80	10.0066	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.0033	0.33
	81-90	10.0082	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.0033	0.33
	91-100	10.0074	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.0033	0.33

ผลการทดสอบหาปริมาณไอโอดีนด้วยวิธีรีดิวชันเออร์ดาร์ที่มีการแทนที่ในปริมาณที่น้อยลง 20 นาทีในสารละลายโพแทสเซียมไอโอดีน 28 กรัม



ตารางที่ ก.21 ผลการทดสอบหาปริมาณคลอรีนไดออกไซด์ของมอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 30 แซ่ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 28 วัน

กลุ่ม ที่	ระยะจากผิวมอร์ ตาร์ (มิลลิเมตร)	น้ำหนักมอร์ ตาร์ (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ลิตร)	ปีเปิด ตัวอย่าง (มิลลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ ไทเทรตเบงค์ (มิลลิลิตร)	AgNO ₃ ที่ ใช้ ไทเทรต (มิลลิลิตร)	AgNO ₃ ที่ใช้จาก การคำนวณ (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้น คลอรีน (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น คลอรีน (กรัม/มอร์ตาร์ 1 กรัม)	ความเข้มข้นคลอ ไรด์ (กรัม/มอร์ตาร์ 1 กรัม)	ความเข้มข้นคลอ ไรด์ (กรัม/มอร์ตาร์ 100 กรัม)
1	1-10	10.0051	0.0521	10	0.12	3.44	3.32	0.613	0.0613	0.0613	6.13
	11-20	10.0018	0.0521	10	0.12	0.52	0.40	0.074	0.0074	0.0074	0.74
	21-30	10.0024	0.0521	10	0.12	0.52	0.40	0.074	0.0074	0.0074	0.74
	31-40	10.0055	0.0521	10	0.12	0.36	0.24	0.044	0.0044	0.0044	0.44
	41-50	10.0080	0.0521	10	0.12	0.34	0.22	0.041	0.0041	0.0041	0.41
	51-60	10.0096	0.0521	10	0.12	0.34	0.22	0.041	0.0041	0.0041	0.41
	61-70	10.0081	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.037	0.0037	0.0037	0.37
	71-80	10.0003	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.037	0.0037	0.0037	0.37
	81-90	10.0025	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.037	0.0037	0.0037	0.37
	91-100	10.0037	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.037	0.0037	0.0037	0.37
2	1-10	10.0040	0.0521	10	0.12	3.74	3.62	0.669	0.0668	0.0668	6.68
	11-20	10.0068	0.0521	10	0.12	0.74	0.62	0.115	0.0114	0.0114	1.14
	21-30	10.0077	0.0521	10	0.12	0.50	0.38	0.070	0.0070	0.0070	0.70
	31-40	10.0087	0.0521	10	0.12	0.44	0.32	0.059	0.0059	0.0059	0.59
	41-50	10.0004	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.037	0.0037	0.0037	0.37
	51-60	10.0094	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.037	0.0037	0.0037	0.37
	61-70	10.0095	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.037	0.0037	0.0037	0.37
	71-80	10.0048	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.033	0.0033	0.0033	0.33
	81-90	10.0080	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.033	0.0033	0.0033	0.33
	91-100	10.0065	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.033	0.0033	0.0033	0.33

ผลการทดสอบหาปริมาณคลอรีนไดออกไซด์ของมอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 30 แซ่ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 28 วัน

กลุ่ม ที่	ระยะกักดินแร่ พอร์ (มิลลิเมตร)	น้ำหนักพอร์ พอร์ (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (มิลลิกรัม/ลิตร)	ปริมาตร ตัวอย่าง (มิลลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ ไทเทรต (มิลลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ ไทเทรต (มิลลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ ไทเทรต (มิลลิเมตร)	ความเข้มข้นของ ไท (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น ของไท (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นของ ไท (กรัม/เฮกตาร์ 1 ไร่)	ความเข้มข้นของ ไท (กรัม/เฮกตาร์ 100 ไร่)
3	1-10	10.0007	0.0521	10	0.12	3.80	3.68	0.01917	0.680	0.0680	6.80
	11-20	10.0001	0.0521	10	0.12	0.62	0.50	0.00261	0.092	0.0092	0.92
	21-30	10.0007	0.0521	10	0.12	0.52	0.40	0.00208	0.074	0.0074	0.74
	31-40	10.0000	0.0521	10	0.12	0.44	0.32	0.00167	0.059	0.0059	0.59
	41-50	10.0008	0.0521	10	0.12	0.34	0.22	0.00115	0.041	0.0041	0.41
	51-60	10.0093	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	61-70	10.0169	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	71-80	10.0165	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	81-90	10.0157	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	91-100	10.0141	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
4	1-10	10.0004	0.0521	10	0.12	4.00	3.88	0.02021	0.717	0.0717	7.17
	11-20	10.0018	0.0521	10	0.12	0.54	0.42	0.00219	0.078	0.0078	0.78
	21-30	10.0083	0.0521	10	0.12	0.52	0.40	0.00208	0.074	0.0074	0.74
	31-40	10.0042	0.0521	10	0.12	0.52	0.40	0.00208	0.074	0.0074	0.74
	41-50	10.0072	0.0521	10	0.12	0.34	0.22	0.00115	0.041	0.0041	0.41
	51-60	10.0031	0.0521	10	0.12	0.34	0.22	0.00115	0.041	0.0041	0.41
	61-70	10.0032	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	71-80	10.0010	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	81-90	10.0073	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	91-100	10.0050	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37

ผลการทดสอบปริมาณของไทเตรตในดินที่ทำการทดสอบที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตร 50 สถานีการขยายดินเค็มพอร์ 28 ไร่

ก่อน ที่	ระยะจากชั้น พาร์ (มิลลิเมตร)	น้ำหนักแผ่น พาร์ (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ลิตร)	ป็น ตัวอย่าง (มิลลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ ใช้ (มิลลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ ใช้ (มิลลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ ใช้ (มิลลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ ใช้ (มิลลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ ใช้ (มิลลิเมตร)	ความเข้มข้น ของไอ (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น ไอ (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น ไอ (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น ไอ (กรัม/ลิตร)
5	1-10	10.0040	0.0521	10	0.12	3.68	3.56	0.01855	0.658	0.0657	0.0657	6.57	
	11-20	10.0009	0.0521	10	0.12	0.52	0.40	0.00208	0.074	0.0074	0.0074	0.74	
	21-30	10.0017	0.0521	10	0.12	0.50	0.38	0.00198	0.070	0.0070	0.0070	0.70	
	31-40	10.0042	0.0521	10	0.12	0.48	0.36	0.00188	0.066	0.0066	0.0066	0.66	
	41-50	10.0038	0.0521	10	0.12	0.34	0.22	0.00115	0.041	0.0041	0.0041	0.41	
	51-60	10.0040	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.0037	0.37	
	61-70	10.0058	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.0037	0.37	
	71-80	10.0042	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.0033	0.33	
	81-90	10.0095	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.0033	0.33	
	91-100	10.0093	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.0033	0.33	

ผลการทดสอบพบปริมาณคลอรีนในตัวอย่างน้ำดื่มที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีกรองเมมเบรนที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสได้แก่ 0.033 กรัม/ลิตร



วิทยาลัย
UNIVERSITY

ตารางที่ ก.22 ผลการทดสอบหาปริมาณคลอรีนอิสระของเมอร์คิวรีที่มี การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 0 ซีในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 56 วัน

ก้อน ที่	ระยะจากผิว เมอร์คิวรี (มิลลิเมตร)	น้ำหนักผงเมอร์ คิวรี (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ลิตร)	ปิเปต ตัวอย่าง ไอไอ (มิลลิลิตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ ไทเทรตเบสท์ (มิลลิลิตร)	AgNO ₃ ที่ ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)	AgNOS ที่ใช้จาก การคำนวณ (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นคลอ ไรด์ (โมล/ลิตร)	ความเข้มข้นคลอ ไรด์ (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นคลอ ไรด์ (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นคลอ ไรด์ (กรัม/ลิตร)
1	1-10	10.0011	0.0521	10	0.12	6.50	6.98	0.03924	1.178	0.1178	11.78
	11-20	10.0026	0.0521	10	0.12	2.72	2.60	0.01355	0.480	0.0480	4.80
	21-30	10.0071	0.0521	10	0.12	0.88	0.76	0.00396	0.140	0.0140	1.40
	31-40	10.0066	0.0521	10	0.12	0.54	0.42	0.00219	0.078	0.0078	0.78
	41-50	10.0054	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	51-60	10.0082	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	61-70	10.0006	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	71-80	10.0004	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	81-90	10.0092	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	91-100	10.0041	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
2	1-10	10.0074	0.0521	10	0.12	6.14	6.02	0.03136	1.112	0.1112	11.12
	11-20	10.0073	0.0521	10	0.12	2.60	2.48	0.01292	0.458	0.0458	4.58
	21-30	10.0039	0.0521	10	0.12	0.82	0.70	0.00365	0.129	0.0129	1.29
	31-40	10.0027	0.0521	10	0.12	0.44	0.32	0.00167	0.059	0.0059	0.59
	41-50	10.0006	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	51-60	10.0082	0.0521	10	0.12	0.34	0.22	0.00115	0.041	0.0041	0.41
	61-70	10.0042	0.0521	10	0.12	0.34	0.22	0.00115	0.041	0.0041	0.41
	71-80	10.0038	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	81-90	10.0030	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	91-100	10.0064	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37

ผลการทดสอบหาปริมาณคลอรีนอิสระของเมอร์คิวรีที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 0 ซีในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 56 วัน

กลุ่ม ที่	ระบอบการ บริหาร (มีผลพร)	น้ำหนักเฉลี่ย สาร คาร์ (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ลิตร)	ปริมาตร ตัวอย่าง (มีผลพร)	AgNO ₃ ที่ใช้ ไทเทรตเฉลี่ย (มีผลพร)	AgNO ₃ ที่ ใช้ไทเทรต (มีผลพร)	AgNO ₃ ที่ได้จาก การคำนวณ (มีผลพร)	ความเข้มข้น ไนท์ (โมล/ลิตร)	ความเข้มข้น ไนท์ (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น ไนท์ (กรัม/เฮกตาร์ 1 กรัม)	ความเข้มข้น ไนท์ (กรัม/เฮกตาร์ 100 กรัม)
3	1-10	10.0095	0.0521	10	0.12	6.20	6.08	0.05168	1.123	0.1122	11.22
	11-20	10.0061	0.0521	10	0.12	2.50	2.58	0.01240	0.440	0.0439	4.39
	21-30	10.0019	0.0521	10	0.12	0.74	0.62	0.00323	0.115	0.0114	1.14
	31-40	10.0045	0.0521	10	0.12	0.42	0.50	0.00156	0.055	0.0055	0.55
	41-50	10.0066	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	51-60	10.0084	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	61-70	10.0064	0.0521	10	0.12	0.28	0.16	0.00083	0.030	0.0030	0.30
	71-80	10.0038	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	81-90	10.0005	0.0521	10	0.12	0.28	0.16	0.00083	0.030	0.0030	0.30
	91-100	10.0074	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
4	1-10	10.0063	0.0521	10	0.12	6.70	6.58	0.03428	1.215	0.1215	12.15
	11-20	10.0018	0.0521	10	0.12	2.96	2.84	0.01480	0.525	0.0524	5.24
	21-30	10.0070	0.0521	10	0.12	0.98	0.86	0.00448	0.159	0.0159	1.59
	31-40	10.0052	0.0521	10	0.12	0.52	0.40	0.00208	0.074	0.0074	0.74
	41-50	10.0022	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	51-60	10.0039	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	61-70	10.0069	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	71-80	10.0068	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	81-90	10.0014	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	91-100	10.0055	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37

ผลการทดสอบหาปริมาณไนท์ในตัวอย่างสารเคมีที่นำมาทดสอบทั้งหมด 56 ตัวอย่าง

ก่อน ที่	ระยะเวลาพักร มอพักร (มิลลิเมตร)	น้ำหนักแอมเอร์ คาร์ (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ลิตร)	ปีงัด ตัวอย่าง (มิลลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ ไทเทรตเบสส์ (มิลลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ ใช้ไทเทรต (มิลลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ใช้จาก การคำนวณ (มิลลิเมตร)	ความเข้มข้นของ โซล (โมล/ลิตร)	ความเข้มข้นของ โซล (กรัม/แอมพักร 1 กรัม)	ความเข้มข้นของ โซล (กรัม/แอมพักร 100 กรัม)
5	1-10	10.0083	0.0521	10	0.12	6.08	5.96	0.03105	1.101	11.00
	11-20	10.0008	0.0521	10	0.12	3.20	3.08	0.01605	0.569	5.69
	21-30	10.0069	0.0521	10	0.12	1.24	1.12	0.00384	0.207	2.07
	31-40	10.0038	0.0521	10	0.12	0.46	0.34	0.00177	0.063	0.63
	41-50	10.0053	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.33
	51-60	10.0032	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.33
	61-70	10.0070	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.33
	71-80	10.0083	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.33
	81-90	10.0087	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.33
	91-100	10.0062	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.33

ผลการทดสอบหาปริมาณคลอรีนของตัวอย่างที่มีการแทนที่ปฏิกิริยาด้วยตัวผสมจากร้อยละ 0 แต่ในสารละลายใช้เติมคลอรีน 36 กรัม



ตารางที่ ก.23 ผลการทดสอบหาปริมาณคลอรีนอิสระของเมอร์টারที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 10 เช่นในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 56 วัน

กลุ่ม ที่	ระยะจากผิวเมอร์ টার (มิลลิเมตร)	น้ำหนักเมอร์ টার (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ลิตร)	เปิด ตัวอย่าง (มิลลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ ไทเทรตเบส (มิลลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ใช้จาก การคำนวณ (มิลลิเมตร)	ความเข้มข้นคลอ ไรด์ (โมล/ลิตร)	ความเข้มข้น คลอไรด์ (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นคลอ ไรด์ (กรัม/เมอร์টার 1 กรัม)	ความเข้มข้นคลอ ไรด์ (กรัม/เมอร์টার 100 กรัม)
1	1-10	10.0081	0.0521	10	0.12	5.40	0.02751	0.975	0.0974	9.74
	11-20	10.0026	0.0521	10	0.12	2.40	0.01188	0.421	0.0421	4.21
	21-30	10.0027	0.0521	10	0.12	0.80	0.00354	0.126	0.0126	1.26
	31-40	10.0024	0.0521	10	0.12	0.30	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	41-50	10.0021	0.0521	10	0.12	0.30	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	51-60	10.0069	0.0521	10	0.12	0.30	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	61-70	10.0003	0.0521	10	0.12	0.30	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	71-80	10.0063	0.0521	10	0.12	0.30	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	81-90	10.0007	0.0521	10	0.12	0.30	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	91-100	10.0022	0.0521	10	0.12	0.30	0.00094	0.033	0.0033	0.33
2	1-10	10.0042	0.0521	10	0.12	5.80	0.02959	1.049	0.1049	10.49
	11-20	10.0086	0.0521	10	0.12	2.32	0.01146	0.406	0.0406	4.06
	21-30	10.0061	0.0521	10	0.12	0.58	0.00240	0.085	0.0085	0.85
	31-40	10.0027	0.0521	10	0.12	0.32	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	41-50	10.0011	0.0521	10	0.12	0.34	0.00115	0.041	0.0041	0.41
	51-60	10.0081	0.0521	10	0.12	0.32	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	61-70	10.0042	0.0521	10	0.12	0.32	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	71-80	10.0023	0.0521	10	0.12	0.32	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	81-90	10.0009	0.0521	10	0.12	0.32	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	91-100	10.0077	0.0521	10	0.12	0.32	0.00104	0.037	0.0037	0.37

ผลการทดสอบหาปริมาณคลอรีนอิสระของเมอร์টারที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 10 เช่นในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 56 วัน

ก่อน ที่	ระบบกักเก็บ สาร (มีลิตร)	น้ำหนักเบร ทรี (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (ไมโครลิตร)	ปั๊ม ตัวอย่าง (มีลิตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ ไทเทรชัน (มีลิตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ ไทเทรชัน (มีลิตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ ไทเทร (มีลิตร)	AgNO ₃ ที่ใช้จาก การคำนวณ (มีลิตร)	ความเข้มข้น ไท (ไมโครลิตร)	ความเข้มข้น ไท (กัม/ลิตร)	ความเข้มข้น ไท (กัม/ลิตร 1 กรัม)	ความเข้มข้น ไท (กัม/ลิตร) 100 กรัม)
3	1-10	10.0041	0.0521	10	0.12	5.28	5.16	0.02688	0.953	0.0953	9.53	
	11-20	10.0087	0.0521	10	0.12	2.20	2.08	0.01084	0.984	0.0984	9.84	
	21-30	10.0059	0.0521	10	0.12	0.82	0.70	0.00365	0.129	0.0129	1.29	
	31-40	10.0068	0.0521	10	0.12	0.34	0.22	0.00115	0.041	0.0041	0.41	
	41-50	10.0058	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37	
	51-60	10.0042	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37	
	61-70	10.0037	0.0521	10	0.12	0.34	0.22	0.00115	0.041	0.0041	0.41	
	71-80	10.0064	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37	
	81-90	10.0025	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37	
	91-100	10.0025	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37	
4	1-10	10.0071	0.0521	10	0.12	5.38	5.26	0.02740	0.972	0.0971	9.71	
	11-20	10.0068	0.0521	10	0.12	2.32	2.20	0.01146	0.406	0.0406	4.06	
	21-30	10.0022	0.0521	10	0.12	0.68	0.56	0.00292	0.103	0.0103	1.03	
	31-40	10.0072	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37	
	41-50	10.0002	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33	
	51-60	10.0009	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33	
	61-70	10.0013	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33	
	71-80	10.0027	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33	
	81-90	10.0041	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33	
	91-100	10.0061	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33	

ผลการทดสอบที่ปรากฏคือไทตรัสของเบรทรีที่มีการปนเปื้อนซึ่งมีปริมาณเบรทรีต่อ 10 กรัมในสารละลายได้เป็นผลไท 56 กรัม

ก่อน ที่	ระยะจากลิแกนด์ สาร (โมลลิเมตร)	น้ำหนักของ สาร (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ลิตร)	ปีนด ตัวอย่าง ลิแกนด์ (โมลลิตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ ในหลอดทดลอง (โมลลิตร)	AgNO ₃ ที่ ใช้ ในหลอด (โมลลิตร)	AgNO ₃ ที่ใช้จาก การคำนวณ (โมลลิตร)	ความเข้มข้นของ ไอโอดีน (โมล/ลิตร)	ความเข้มข้น ของไอโอดีน (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นของ ไอโอดีน (กรัม/หลอด 1 กรัม)	ความเข้มข้นของ ไอโอดีน (กรัม/หลอด 100 กรัม)
5	1-10	10.0088	0.0521	10	0.12	5.36	5.24	0.02730	0.968	0.0967	9.67
	11-20	10.0005	0.0521	10	0.12	1.78	1.66	0.00865	0.307	0.0307	3.07
	21-30	10.0085	0.0521	10	0.12	0.56	0.44	0.00229	0.081	0.0081	0.81
	31-40	10.0047	0.0521	10	0.12	0.34	0.22	0.00115	0.041	0.0041	0.41
	41-50	10.0036	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	51-60	10.0083	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	61-70	10.0057	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	71-80	10.0065	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	81-90	10.0077	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	91-100	10.0046	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33

ผลการทดลองหาปริมาณของไอโอดีนในสารละลายไอโอดีนที่ผ่านการเติมไอโอดีนที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ของสารละลายไอโอดีน 56 วัน



ตารางที่ ก.24 ผลการทดสอบหาปริมาณคลอรีนของสารที่มีคาร์บอนที่ปนเปื้อนขึ้นต้นด้วยผงจากร้อยละ 20 แซในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 56 วัน

ก๊อบ ที่	ระยะจากปริมาณ สาร (มิลลิเมตร)	น้ำหนักของ สาร (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ลิตร)	ปิเปต ตัวอย่าง (มิลลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ ไทเทรตเบสค์ (มิลลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ ใช้ ไทเทรต (มิลลิเมตร)	AgNOS ที่ใช้จาก การคำนวณ (มิลลิเมตร)	ความเข้มข้น คลอรีน (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น คลอรีน (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น คลอรีน (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น คลอรีน (กรัม/ลิตร)
1	1-10	10.0088	0.0521	10	0.12	5.36	5.24	0.968	0.0967	0.02730	9.67
	11-20	10.0037	0.0521	10	0.12	2.12	2.00	0.369	0.0369	0.01042	3.69
	21-30	10.0039	0.0521	10	0.12	0.60	0.48	0.089	0.0089	0.00250	0.89
	31-40	10.0068	0.0521	10	0.12	0.50	0.38	0.070	0.0070	0.00198	0.70
	41-50	10.0083	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.057	0.0057	0.00104	0.57
	51-60	10.0022	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.057	0.0057	0.00104	0.57
	61-70	10.0038	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.057	0.0057	0.00104	0.57
	71-80	10.0006	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.057	0.0057	0.00104	0.57
	81-90	10.0046	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.057	0.0057	0.00104	0.57
	91-100	10.0010	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.057	0.0057	0.00104	0.57
2	1-10	10.0092	0.0521	10	0.12	4.70	4.58	0.846	0.0846	0.02386	8.46
	11-20	10.0034	0.0521	10	0.12	1.56	1.44	0.266	0.0266	0.00750	2.66
	21-30	10.0032	0.0521	10	0.12	0.50	0.38	0.070	0.0070	0.00198	0.70
	31-40	10.0024	0.0521	10	0.12	0.34	0.22	0.041	0.0041	0.00115	0.41
	41-50	10.0061	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.033	0.0033	0.00094	0.33
	51-60	10.0027	0.0521	10	0.12	0.28	0.16	0.030	0.0030	0.00083	0.30
	61-70	10.0036	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.033	0.0033	0.00094	0.33
	71-80	10.0057	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.033	0.0033	0.00094	0.33
	81-90	10.0037	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.033	0.0033	0.00094	0.33
	91-100	10.0019	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.033	0.0033	0.00094	0.33

ผลการทดสอบหาปริมาณคลอรีนของสารที่มีคาร์บอนที่ปนเปื้อนด้วยผงจากร้อยละ 20 แซในสารละลายไฮเดียมคลอรีน 56 วัน

ก้อน ที่	ระยะกักแอมโมเนีย สาร (มีลิเมตร)	น้ำหนักแอมโมเนีย สาร (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ลิตร)	ปฏิกิริยา ตัวอย่าง (มีลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ ในทรอปเมอส์ (มีลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ ใช้ ในทรอป (มีลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ใช้จาก การคำนวณ (มีลิเมตร)	ความเข้มข้นของ ไนท์ (โมล/ลิตร)	ความเข้มข้น ของไนท์ (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นของ ไนท์ (กรัม/แอมโมเนีย 1 กรัม)	ความเข้มข้นของ ไนท์ (กรัม/แอมโมเนีย 100 กรัม)
3	1-10	10.0026	0.0521	10	0.12	6.00	5.88	0.03063	1.086	0.1086	10.86
	11-20	10.0062	0.0521	10	0.12	1.80	1.68	0.00875	0.310	0.0310	3.10
	21-30	10.0075	0.0521	10	0.12	0.56	0.44	0.00229	0.081	0.0081	0.81
	31-40	10.0039	0.0521	10	0.12	0.56	0.24	0.00125	0.044	0.0044	0.44
	41-50	10.0025	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	51-60	10.0061	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	61-70	10.0038	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	71-80	10.0038	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	81-90	10.0048	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	91-100	10.0027	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
4	1-10	10.0067	0.0521	10	0.12	5.00	4.88	0.02542	0.901	0.0901	9.01
	11-20	10.0081	0.0521	10	0.12	1.60	1.48	0.00771	0.275	0.0275	2.75
	21-30	10.0046	0.0521	10	0.12	0.40	0.28	0.00106	0.052	0.0052	0.52
	31-40	10.0020	0.0521	10	0.12	0.34	0.22	0.00115	0.041	0.0041	0.41
	41-50	10.0061	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	51-60	10.0044	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	61-70	10.0049	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	71-80	10.0008	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	81-90	10.0024	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33
	91-100	10.0071	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33

ผลการทดสอบหาปริมาณไนท์ของแอมโมเนียที่ทำการเก็บเป็นตัวอย่างการเก็บเป็นตัวอย่างการเก็บ 20 เติมน้ำสารละลายไนท์ 56 วัน

ก้อน ที่	ระยะจากลิบเมร์ ตาร์ (กรัม) (มิลลิเมตร)	น้ำหนักเมอ์ ตาร์ (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ลิตร)	ปีน ตัวอย่าง (มิลลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ โพแทสเซียม (มิลลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ ใช้ โพแท (มิลลิเมตร)	AgNO ₃ ที่ใช้จาก การคำนวณ (มิลลิเมตร)	ความเข้มข้น ไอโอดีน (โมล/ลิตร)	ความเข้มข้น ไอโอดีน (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น ไอโอดีน (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น ไอโอดีน (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น ไอโอดีน (กรัม/ลิตร)
5	1-10	10.0052	0.0521	10	0.12	5.12	5.00	0.02605	0.924	0.0923	9.23	9.23
	11-20	10.0044	0.0521	10	0.12	0.96	0.84	0.00438	0.155	0.0155	1.55	1.55
	21-30	10.0030	0.0521	10	0.12	0.52	0.40	0.00208	0.074	0.0074	0.74	0.74
	31-40	10.0032	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37	0.37
	41-50	10.0008	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37	0.37
	51-60	10.0072	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33	0.33
	61-70	10.0096	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33	0.33
	71-80	10.0081	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33	0.33
	81-90	10.0065	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33	0.33
	91-100	10.0063	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.00094	0.033	0.0033	0.33	0.33

ผลการทดสอบหาปริมาณไอโอดีนในตัวอย่างที่มีปริมาณไอโอดีน 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก 56 กรัม



ตารางที่ ก.25 ผลการทดสอบหาปริมาณคลอรีนอิสระของเมอร์ตาที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 30 เซ็นในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 56 วัน

กลุ่ม คอนกรีต	ระยะจากผิวเมอร์ตา ที่ (มิลลิเมตร)	น้ำหนักเมอร์ตา ตลับ (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ลิตร)	ปิเปต ตัวอย่าง (มิลลิลิตร)	AgNO ₃ ที่ใช้ ไทเทรตเบงก์ (มิลลิลิตร)	AgNO ₃ ที่ ใช้ ไทเทรต (มิลลิลิตร)	AgNO ₃ ที่ใช้จาก การคำนวณ (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นคลอรีน ไอต์ (โมล/ลิตร)	ความเข้มข้น คลอรีน (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นคลอรีน (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นคลอรีน (กรัม/ลิตร)
1	1-10	10.0072	0.0521	10	0.12	5.00	4.88	0.02542	0.901	0.0901	9.01
	11-20	10.0005	0.0521	10	0.12	0.64	0.52	0.00271	0.096	0.0096	0.96
	21-30	10.0055	0.0521	10	0.12	0.42	0.30	0.00156	0.055	0.0055	0.55
	31-40	10.0052	0.0521	10	0.12	0.52	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	41-50	10.0015	0.0521	10	0.12	0.52	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	51-60	10.0051	0.0521	10	0.12	0.52	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	61-70	10.0080	0.0521	10	0.12	0.52	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	71-80	10.0042	0.0521	10	0.12	0.52	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	81-90	10.0042	0.0521	10	0.12	0.52	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	91-100	10.0075	0.0521	10	0.12	0.52	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
2	1-10	10.0046	0.0521	10	0.12	4.82	4.70	0.02449	0.868	0.0868	8.68
	11-20	10.0088	0.0521	10	0.12	1.25	1.13	0.00589	0.209	0.0209	2.09
	21-30	10.0029	0.0521	10	0.12	0.44	0.32	0.00167	0.059	0.0059	0.59
	31-40	10.0050	0.0521	10	0.12	0.34	0.22	0.00115	0.041	0.0041	0.41
	41-50	10.0069	0.0521	10	0.12	0.52	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	51-60	10.0042	0.0521	10	0.12	0.52	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	61-70	10.0079	0.0521	10	0.12	0.52	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	71-80	10.0061	0.0521	10	0.12	0.52	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	81-90	10.0047	0.0521	10	0.12	0.52	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37
	91-100	10.0072	0.0521	10	0.12	0.52	0.20	0.00104	0.037	0.0037	0.37

ผลการทดสอบหาปริมาณคลอรีนอิสระของเมอร์ตาที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงกระจกร้อยละ 30 เซ็นในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 56 วัน

กลุ่ม ที่	ระยะกักแฉะ พาร์ (มิลลิเมตร)	น้ำหนักแฉะ พาร์ (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (ไมโครกรัม)	ปริมาณ ตัวอย่าง (มิลลิกรัม)	AgNO ₃ ที่ใช้ ในหลอด (มิลลิกรัม)	AgNO ₃ ที่ใช้ ในหลอด (มิลลิกรัม)	AgNOS ที่ใช้ การคำนวณ (มิลลิกรัม)	ความเข้มข้น โซล (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น โซล (กรัม/ลิตร) ¹	ความเข้มข้น โซล (กรัม/ลิตร) ¹⁰⁰
3	1-10	10.0085	0.0521	10	0.12	4.98	4.86	0.898	0.0897	8.97
	11-20	10.0041	0.0521	10	0.12	0.70	0.58	0.107	0.0107	1.07
	21-30	10.0047	0.0521	10	0.12	0.46	0.34	0.063	0.0063	0.63
	31-40	10.0015	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.033	0.0033	0.33
	41-50	10.0074	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.033	0.0033	0.33
	51-60	10.0057	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.033	0.0033	0.33
	61-70	10.0055	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.033	0.0033	0.33
	71-80	10.0083	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.033	0.0033	0.33
	81-90	10.0015	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.033	0.0033	0.33
	91-100	10.0057	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.033	0.0033	0.33
4	1-10	10.0017	0.0521	10	0.12	4.88	4.76	0.879	0.0879	8.79
	11-20	10.0090	0.0521	10	0.12	0.66	0.54	0.100	0.0100	1.00
	21-30	10.0017	0.0521	10	0.12	0.40	0.28	0.052	0.0052	0.52
	31-40	10.0012	0.0521	10	0.12	0.28	0.16	0.030	0.0030	0.30
	41-50	10.0030	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.033	0.0033	0.33
	51-60	10.0058	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.033	0.0033	0.33
	61-70	10.0051	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.033	0.0033	0.33
	71-80	10.0089	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.033	0.0033	0.33
	81-90	10.0053	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.033	0.0033	0.33
	91-100	10.0019	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.033	0.0033	0.33

ผลการทดสอบปริมาณโซลในตัวอย่างน้ำดื่มที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยวิธีต้มเดือดที่ระยะเวลา 30 นาทีในภาชนะกักแฉะ 56 วัน

ก้อน ที่	ระบอบการกระจาย ตัว (มีผลต่อ)	น้ำหนักเฉลี่ย ตัว (กรัม)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (โมล/ลิตร)	ปีน ตัว (มีผลต่อ)	AgNO ₃ ที่ใช้ โพแทสเซียม (มีผลต่อ)	AgNO ₃ ที่ใช้ โพแทสเซียม (มีผลต่อ)	AgNO ₃ ที่ใช้ โพแทสเซียม (มีผลต่อ)	การคำนวณ (มีผลต่อ)	ความเข้มข้น โพแทสเซียม (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น โพแทสเซียม (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น โพแทสเซียม (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น โพแทสเซียม (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น โพแทสเซียม (กรัม/ลิตร)
5	1-10	10.0055	0.0521	10	0.12	5.00	4.88	0.901	0.02542	0.0901	0.0901	9.01	
	11-20	10.0052	0.0521	10	0.12	0.62	0.50	0.092	0.00261	0.0092	0.0092	0.92	
	21-30	10.0052	0.0521	10	0.12	0.40	0.28	0.052	0.00146	0.0052	0.0052	0.52	
	31-40	10.0074	0.0521	10	0.12	0.32	0.20	0.037	0.00104	0.0037	0.0037	0.37	
	41-50	10.0013	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.033	0.00094	0.0033	0.0033	0.33	
	51-60	10.0058	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.033	0.00094	0.0033	0.0033	0.33	
	61-70	10.0057	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.033	0.00094	0.0033	0.0033	0.33	
	71-80	10.0076	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.033	0.00094	0.0033	0.0033	0.33	
	81-90	10.0054	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.033	0.00094	0.0033	0.0033	0.33	
	91-100	10.0014	0.0521	10	0.12	0.30	0.18	0.033	0.00094	0.0033	0.0033	0.33	

ผลการทดสอบหาปริมาณโพแทสเซียมในตัวอย่างที่มีการหน่วงด้วยโพแทสเซียมร้อยละ 30 และเป็นสารละลายโพแทสเซียม 56 กรัม



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ครองขวัญ ช่างบุญ
วัน เดือน ปี เกิด	1 สิงหาคม 2537
สถานที่เกิด	เชียงราย
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ที่อยู่ปัจจุบัน	221 หมู่ที่2 ตำบลป่าซาง อำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงราย 57110



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY