รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัย

ความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอย ผงหินปูนและสารขยายตัว

(Chloride resistance of mortar containing fly ash, limestone powder and expansive agent)

โดย

ผศ.ดร. ทวีชัย สำราญวานิช

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยบูรพา

เมษายน 2559

สนับสนุนโดยทุนอุดหนุนการวิจัยงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2557

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอย ผงหินปูน และสารขยายตัว โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 เป็นวัสดุประสานหลัก ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.30 0.40 และ 0.50 และอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสานด้วยสารปอซโซลานต่างๆ ส่วนผสมของมอร์ต้าร์มีทั้งระบบวัสดุประสานสองชนิดและระบบวัสดุประสานสามชนิด นำตัวอย่างมอร์ต้าร์ไปเผชิญสารละลายเกลือคลอไรด์ความเข้มข้น 3.0% เป็นระยะเวลา 35 91 และ 182 วัน แล้วทดสอบหาการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ โดยทดสอบทั้งปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดและปริมาณคลอไรด์อิสระ

จากผลการทดลองพบว่า มอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอยร้อยละ 30 มีความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ดีกว่ามอร์ต้าร์ที่ผสมผงหินปูน มอร์ต้าร์ที่ผสมสารขยายตัวและมอร์ต้าร์ซีเมนต์ล้วนเนื่องจากผลของปฏิกิริยาปอซโซลานิกของเถ้าลอย มอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอยและผงหินปูนมีความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ดีกว่ามอร์ต้าร์ซีเมนต์ล้วนอย่างเห็นได้ชัดเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานสูงขึ้นเนื่องจากผลของปฏิกิริยาปอซโซลานิกของเถ้าลอยและการเติมเต็มช่องว่างในมอร์ต้าร์ของผงหินปูน มอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักมีความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ดีกว่ามอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 เป็นวัสดุประสาน มอร์ต้าร์ที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานสูงขึ้นและระยะเวลาเผชิญเกลือคลอไรด์นานขึ้นมีการแทรกซึมคลอไรด์สูงขึ้น

Abstract

This research aims to study the chloride penetration resistance of mortar containing fly ash, limestone powder and expansive agent. Type I Portland cement and type V Portland cement were used as main cementitious materials in mortar. The water to binder ratios (w/b) of 0.30, 0.40 and 0.50 were kept and different pozzolan to binder ratio was applied. The mix proportions of mortar consisted of both binary binder and ternary binder systems. The mortar specimens were exposed to chloride solution with 3.0% concentration for 35, 91 and 182 days. Then, the chloride penetration of mortar was investigated for both total and free chloride contents.

From the experimental results, it was found that mortars containing fly ash 30% have better chloride penetration resistance than mortars containing limestone powder, mortars containing expansive agent and cement-only mortars due to the effect of pozzolanic reaction of fly ash. Mortars containing fly ash and limestone powder have clearly higher chloride penetration resistance than cement-only mortars when water to binder ratio increases. This is because the effect of pozzolanic reaction of fly ash and filler effect of limestone powder in mortar. Mortars with type I Portland cement have higher chloride penetration resistance than mortars with type V Portland cement. Mortars with higher w/b and longer chloride exposure period have higher chloride penetration.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ……	ก
Abstract……	ข
สารบัญ……	ค
สารบัญรูปภาพ……	จ
สารบัญตาราง……	ฑ
บทที่ 1 บทนำ……	1
1.1ที่มาและความสำคัญของปัญหา……	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย……	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย……	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……	4
2.1 แหล่งที่มาของคลอไรด์……	4
2.2 สภาวะของคลอไรด์ในคอนกรีต……	6
2.3 การแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีต……	8
2.4 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการแทรกซึมของคลอไรด์……	11
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……	14
บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง……	19
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง……	19
3.2 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง……	23
3.3 วิธีการทดลอง……	32
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล……	45
4.1 การแทรกซึมของคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอยและสารขยายตัว……	45
4.2 การแทรกซึมของคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอยและผงหินปูน……	51

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 การแทรกซึมของคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าแกลบ…… 65

4.4 การแทรกซึมของคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างกัน 68

4.5 การแทรกซึมของคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ที่ระยะเวลาต่างกัน…… 74

บทที่ 5 สรุปผล……... 77

5.1 การแทรกซึมของคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอยและสารขยายตัว…… 77

5.2 การแทรกซึมของคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอยและผงหินปูน…… 78

5.3 การแทรกซึมของคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าแกลบ…… 78

5.4 การแทรกซึมของคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างกัน 79

5.5 การแทรกซึมของคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ที่ระยะเวลาต่างกัน…… 79

บรรณานุกรม…… 80

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงชนิดของคลอไรด์ในคอนกรีต……. 7

รูปที่ 2.2 แสดงการแพร่……. 8

รูปที่ 2.3 แผนภาพแสดงการดึงดูดแบบคาพิวลารี…….. 9

รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดงการดึงดูดอิออนเข้าไปในคอนกรีต……... 9

รูปที่ 2.5 ผลของอุณหภูมิและอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่อสัมประสิทธิ์การแพร่ของเกลือคลอไรด์…….. 13

รูปที่ 2.6 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าลอยเทียบกับระยะทางจากผิวด้านนอกที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสานต่างๆ……. 14

รูปที่ 2.7 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในซีเมนต์เพสผสมสารปอซโซลานต่างๆเทียบกับระยะทางจากผิวด้านนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 และอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.40……. 15

รูปที่ 2.8 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าลอยเทียบกับระยะทางจากผิวด้านนอกที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.20 และมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างๆกัน……... 15

รูปที่ 2.9 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าลอยเทียบกับระยะทางจากผิวด้านนอกที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.40 และมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างๆกัน……... 16

รูปที่ 2.10 การแพร่ของคลอไรด์ในตัวอย่าง C1W40…….. 17

รูปที่ 2.11 การแพร่ของคลอไรด์ทั้งหมดในตัวอย่างที่อัตราส่วนการแทนที่วัสดุประสานต่างๆกันแต่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 เทียบกับระยะทางจากผิวด้านนอก…… 17

รูปที่ 2.12 การเปรียบเทียบการแพร่คลอไรด์ทั้งหมดระหว่างตัวอย่าง C1W40 กับ C1W50... 18

รูปที่ 3.1 เถ้าลอย (Fly ash)……... 20

รูปที่ 3.2 สารขยายตัว (Expansive admixture)…….. 21

รูปที่ 3.3 ผงหินปูน (Limestone power)…… 21

รูปที่ 3.4 เถ้าแกลบ (Rich husk ash)……. 22

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.5 เครื่อง Auto titration รุ่น 785 DMP Titrino Metrohm และ เครื่องกวนแม่เหล็ก	23
รูปที่ 3.6 เครื่องตัดตัวอย่างทดสอบ	24
รูปที่ 3.7 เครื่องดูด	24
รูปที่ 3.8 เครื่องต้ม	25
รูปที่ 3.9 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล (Digital balance)	25
รูปที่ 3.10 แผ่นกระดาษกรองเนื้อหยาบ	26
รูปที่ 3.11 ช้อนตักสาร	26
รูปที่ 3.12 บีกเกอร์ขนาด 250 ml	27
รูปที่ 3.13 กระบอกตวงขนาด 50 ml	27
รูปที่ 3.14 ปิเปตขนาด 10 ml	28
รูปที่ 3.15 ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 ml	28
รูปที่ 3.16 กรวย (Buchner funnel)	29
รูปที่ 3.17 ขวดกรองแก้วก้นโปร่ง (filtration flank)	29
รูปที่ 3.18 กล่องพลาสติกสำหรับบรรจุชิ้นตัวอย่างทดสอบ	30
รูปที่ 3.19 ครกหินบดตัวอย่างทดสอบ	30
รูปที่ 3.20 ตัวอย่างที่บ่มในน้ำประปาครบ 28 วัน แล้วทำการเคลือบผิวตัวอย่าง	35
รูปที่ 3.21 ตัวอย่างที่แช่ในน้ำเกลือเป็นระยะเวลา 35 91 และ 182วัน ตามลำดับ	35
รูปที่ 3.22 การตัดแท่งตัวอย่างและส่วนของตัวอย่างที่นำมาบดเป็นผง	36
รูปที่ 3.23 การตัดแท่งตัวอย่าง	36
รูปที่ 3.24 ตัวอย่างที่ถูกตัดเป็นแผ่นมีความหนา 1 เซนติเมตร	37
รูปที่ 3.25 ตัวอย่างที่นำมาทำการบด	37
รูปที่ 3.26 การชั่งตัวอย่าง	38
รูปที่ 3.27 การเติมน้ำกลั่นและกรดไนตริกลงในตัวอย่าง	38
รูปที่ 3.28 การต้มตัวอย่าง	39
รูปที่ 3.29 การกรองสารละลายตัวอย่าง	39

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.30 การใช้เครื่อง Auto titration 40

รูปที่ 3.31 การไทเทรตหาปริมาณคลอไรด์ 40

รูปที่ 3.32 การชั่งตัวอย่าง 41

รูปที่ 3.33 การเติมน้ำกลั่นลงในตัวอย่าง 41

รูปที่ 3.34 การต้มตัวอย่าง 42

รูปที่ 3.35 การกรองสารละลายตัวอย่าง 42

รูปที่ 3.36 การเติมสารลงในตัวอย่าง 43

รูปที่ 3.37 การใช้เครื่อง Auto titration 43

รูปที่ 3.38 การไทเทรตหาปริมาณคลอไรด์ 44

รูปที่ 4.1 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดของมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก และผสมสารขยายตัวและเถ้าลอย เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 วัน 45

รูปที่ 4.2 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดของมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก และผสมสารขยายตัวและเถ้าลอย เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 วัน 46

รูปที่ 4.3 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก และผสมสารขยายตัวและเถ้าลอยเทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 182 วัน 47

รูปที่ 4.4 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก และผสมสารขยายตัวและเถ้าลอย เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 182 วัน 47

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.5 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 เป็นวัสดุประสานหลัก และผสมสารขยายตัวเทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 วัน 48

รูปที่ 4.6 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 เป็นวัสดุประสานหลัก และผสมสารขยายตัวเทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 182 วัน 49

รูปที่ 4.7 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 เป็นวัสดุประสานหลัก และผสมสารขยายตัวเทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 วัน 50

รูปที่ 4.8 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก และผสมผงหินปูน ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสานต่างๆ เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 วัน 51

รูปที่ 4.9 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก และผสมผงหินปูนในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสานต่างๆ เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 182 วัน 51

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.10 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก และผสมผงหินปูนในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสานต่างๆ เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 วัน 52

รูปที่ 4.11 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก และผสมเถ้าลอยและผงหินปูน ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสานต่างๆ เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 วัน 53

รูปที่ 4.12 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก และผสมเถ้าลอยและผงหินปูนในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสานต่างๆ เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 182 วัน 54

รูปที่ 4.13 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก และผสมผงหินปูน ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสานต่างๆ เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 วัน 55

รูปที่ 4.14 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก และผสมผงหินปูน ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสานต่างๆ เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 182 วัน 56

รูปที่ 4.15 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก และผสมเถ้าลอยและผงหินปูนในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.05 และ 0.25 ตามลำดับเทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 วัน 57

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.16 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก และผสมเถ้าลอยและผงหินปูนในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.05 และ 0.25 ตามลำดับเทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ที่ระยะเวลาแผชิญคลอไรด์ 182 วัน 57

รูปที่ 4.17 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก และผสมเถ้าลอยและผงหินปูนในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.25 และ 0.05 ตามลำดับ เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ที่ระยะเวลาแผชิญคลอไรด์ 91 วัน 59

รูปที่ 4.18 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก และผสมเถ้าลอยและผงหินปูนในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.25 และ 0.05 ตามลำดับ เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ที่ระยะเวลาแผชิญคลอไรด์ 182 วัน 59

รูปที่ 4.19 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก และผสมเถ้าลอยและผงหินปูน ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.25 และ 0.05 ตามลำดับ เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่ระยะเวลาแผชิญคลอไรด์ 91 วัน 60

รูปที่ 4.20 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก และผสมเถ้าลอยและผงหินปูน ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.25 และ 0.05 ตามลำดับ เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่ระยะเวลาแผชิญคลอไรด์ 182 วัน 60

รูปที่ 4.21 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก และผสมเถ้าลอยและผงหินปูนในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.15 และ 0.15ตามลำดับ เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ที่ระยะเวลาแผชิญคลอไรด์ 91 วัน 62

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.22 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก และผสมเถ้าลอยและผงหินปูนในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.15 และ 0.15ตามลำดับ เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 182 วัน 62

รูปที่ 4.23 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก และผสมเถ้าลอยและผงหินปูน ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.15 และ 0.15ตามลำดับ เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 วัน 63

รูปที่ 4.24 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก และผสมเถ้าลอยและผงหินปูน ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.15 และ 0.15ตามลำดับ เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 182 วัน 63

รูปที่ 4.25 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก และผสมเถ้าแกลบ เถ้าลอยและผงหินปูน ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.15 เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 วัน 65

รูปที่ 4.26 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก และผสมเถ้าแกลบ เถ้าลอยและผงหินปูน ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.15 เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 182 วัน 65

รูปที่ 4.27 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก และผสมเถ้าแกลบ เถ้าลอยและผงหินปูน ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.15 เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 วัน 66

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.28 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก และผสมเถ้าแกลบ เถ้าลอยและผงหินปูน ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.15 เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 182 วัน 66

รูปที่ 4.29 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดและคลอไรด์อิสระในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างกัน ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 วัน 68

รูปที่ 4.30 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักและผสมสารขยายตัว ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสานด้วยสารขยายตัวเท่ากับ 0.10 เทียบกับระยะทางจากผิวด้วยนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างกัน ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 วัน 69

รูปที่ 4.31 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักและผสมสารขยายตัว ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสานด้วยสารขยายตัวเท่ากับ 0.10 เทียบกับระยะทางจากผิวด้วยนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างกัน ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 182 วัน 69

รูปที่ 4.32 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 เป็นวัสดุประสานหลักและผสมสารขยายตัว ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสานด้วยสารขยายตัวเท่ากับ 0.10 เทียบกับระยะทางจากผิวด้วยนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างกัน ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 วัน 71

รูปที่ 4.33 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักและผสมผงหินปูน ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสานด้วยผงหินปูนเท่ากับ 0.25 เทียบกับระยะทางจากผิวด้วยนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างกัน ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 วัน 72

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.34 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักและผสมเถ้าแกลบ ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสานด้วยเถ้าแกลบเท่ากับ 0.15 เทียบกับระยะทางจากผิวด้วยนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างกัน ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 182 วัน 73

รูปที่ 4.35 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก เทียบกับระยะทางจากผิวด้วยนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ต่างกัน 74

รูปที่ 4.36 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสประสานหลัก และผสมสารขยายตัว ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.10 เทียบกับระยะทางจากผิวด้วยนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ต่างกัน 74

รูปที่ 4.37 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสประสานหลัก และผสมเถ้าลอย ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.30 เทียบกับระยะทางจากผิวด้วยนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ต่างกัน 75

รูปที่ 4.38 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสประสานหลัก และผสมเถ้าลอยและผงหินปูน ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.15 และ 0.15ตามลำดับ เทียบกับระยะทางจากผิวด้วยนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ต่างกัน 75

รูปที่ 4.39 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 เป็นวัสประสานหลัก และผสมสารขยายตัว ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.10 เทียบกับระยะทางจากผิวด้วยนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ต่างกัน 76

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของน้ำทะเล (Mindess and Young, 1981)	4
ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 เถ้าลอย สารขยายตัว ฝุ่นหินปูน และเถ้าแกลบ	22
ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมมอร์ต้าร์ที่ใช้ในการทดสอบ	32

บทที่ 1

บทนำ

1.1ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันคอนกรีตเป็นวัสดุที่นิยมใช้โดยแพร่หลายในงานก่อสร้าง ทั้งนี้เพราะคอนกรีตเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติหลายประการที่เหมาะสม อาทิเช่น สามารถหล่อตัวอย่างขึ้นรูปร่างตามต้องการได้ มีความคงทนสูง ไม่ติดไฟ สามารถเทหล่อได้ในสถานที่ก่อสร้าง ตกแต่งผิวให้สวยงามได้ ความสามารถในการต้านทานเป็นอย่างดีกับน้ำ และที่สำคัญ คือ มีราคาไม่แพง โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเปรียบเทียบกับราคาเหล็กรูปพรรณ

คอนกรีตเป็นวัสดุประกอบจากการผสมกันของ ปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และ/หรือ วัสดุผสมเพิ่ม เมื่อแข็งตัวจะเป็นวัสดุพรุน (Porous materials) มีโพรงกระจายอยู่ทั่วไปในเนื้อคอนกรีตและมีความต่อเนื่อง เนื่องจากระบบโพรงของคอนกรีตมีความต่อเนื่อง จึงทำให้ก๊าซ ความชื้น และอิออนของสารเคมี สามารถแทรกซึมผ่านเข้าไปในเนื้อคอนกรีต โดยผ่านระบบโพรงของคอนกรีต สารเคมีที่เป็นปัจจัยที่ทำให้คอนกรีตเสียหายโดยตรง เช่น สารละลายซัลเฟต ซึ่งจะทำให้เกิดการขยายตัวและกำลังรับแรงอัดลดลง (Skalny et al., 2002) และอีกประเภทหนึ่งจะไม่ทำให้ความเสียหายต่อคอนกรีตโดยตรง แต่จะทำให้เหล็กเสริมในคอนกรีตถูกกัดกร่อนได้ เช่น สารละลายคลอไรด์ เมื่ออิออนของคลอไรด์แทรกซึมเข้าไปในคอนกรีตจนถึงเหล็กเสริม อิออนของคลอไรด์จะไปทำลายฟิล์มที่เคลือบเหล็ก และเมื่อเหล็กทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและน้ำจะก่อให้เกิดสนิม ปริมาตรของเหล็กจะเพิ่มขึ้นและดันคอนกรีตแตกหักได้ (Neville, 2003, Bentur et al., 1997) วิธีการหนึ่งที่จะทำให้คอนกรีตสามารถต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์ให้เคลื่อนที่ช้าลง ยืดอายุของคอนกรีตเสริมเหล็กให้ยาวนานขึ้น ต้องทำให้ขนาดเฉลี่ยของโพรงในเนื้อเพสต์เล็กลง (Chindaprasirt et al., T., 2005, Poon CS, Kou and Lam, 2006, Poon et al., 1999) และสามารถต้านทานการแทรกซึมได้ดีขึ้น (Kou and Lam, 2006, Poon et al., 1999) ดังนั้นการศึกษาวิธีป้องกันการแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีตด้วยวัสดุปอซโซลานจึงมีความสำคัญและเป็นที่น่าสนใจในงานทางด้านวิศวกรรมโยธา

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ที่ใช้วัสดุประสานสองชนิด ได้แก่ ปูนซีเมนต์และเถ้าลอย หรือผงหินปูน หรือสารขยายตัว
2. เพื่อศึกษาความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ที่ใช้วัสดุประสานสามชนิด ได้แก่ ปูนซีเมนต์และเถ้าลอยและสารขยายตัว หรือปูนซีเมนต์และเถ้าลอยและผงหินปูน
3. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ที่ใช้วัสดุประสานสองชนิดกับที่ใช้วัสดุประสานสามชนิด

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ทำการศึกษาความต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์ในมอร์ต้าร์ด้วยวิธีทดสอบการแพร่คลอไรด์แบบแช่ในสารละลาย (Immersion chloride diffusion test) โดยเผชิญเกลือคลอไรด์ความเข้มข้น 3.0% เป็นระยะเวล 35 วัน 91วัน และ 182 วัน เมื่อครบกำหนดจึงทำการทดสอบหาปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดและปริมาณคลอไรด์อิสระตามระดับความลึกจากผิวหน้าของมอร์ต้าร์ โดยมีรายละเอียดของส่วนผสมมอร์ต้าร์แบ่งได้ 3 กลุ่มดังนี้

1) กลุ่มวัสดุประสานซีเมนต์ล้วน ได้แก่

   - มอร์ต้าร์ซีเมนต์ล้วน ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสานสามอัตราส่วน คือ 0.30, 0.40 และ0.50 ตามลำดับ

2) กลุ่มระบบวัสดุประสานสองชนิด (Binary binder) ได้แก่

   - มอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอย ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ใช้อัตราส่วนการแทนที่วัสดุประสานด้วยเถ้าลอย 0.30 และใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสานสามอัตราส่วน คือ 0.30, 0.40, และ 0.50 ตามลำดับ
   - มอร์ต้าร์ที่ผสมผงหินปูน ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ใช้อัตราส่วนการแทนที่วัสดุประสานด้วยฝุ่นหินปูน 0.05, 0.15, และ 0.25 ตามลำดับ ใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสานสองอัตราส่วน คือ 0.40 และ 0.50

- มอร์ต้าร์ที่ผสมสารขยายตัว ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ใช้อัตราส่วนการแทนที่วัสดุประสานด้วยสารขยายตัว 0.10 และใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสานสองอัตราส่วน คือ 0.40 และ 0.50

3) กลุ่มระบบวัสดุประสานสามชนิด (Ternary binder) ได้แก่

- มอร์ต้าร์ที่ผสมสารขยายตัวและเถ้าลอย ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ใช้อัตราส่วนการแทนที่วัสดุประสานด้วยสารขยายตัว และเถ้าลอย 0.10 และ 0.30 ตามลำดับ ใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสานสองอัตราส่วน คือ 0.40 และ 0.50

- มอร์ต้าร์ที่ผสมผงหินปูนและเถ้าลอย ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ใช้อัตราส่วนการแทนที่วัสดุประสานด้วยผงหินปูน 0.25, 0.15, และ 0.05 ตามลำดับ ใช้อัตราส่วนการแทนที่วัสดุประสานด้วยเถ้าลอย 0.05, 0.15, และ 0.25 ตามลำดับ และใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสานสองอัตราส่วน คือ 0.40 และ 0.50

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

น้ำทะเลมีสารละลายคลอไรด์อยู่เป็นส่วนใหญ่ (มากกว่า 90 %) เมื่อเปรียบเทียบกับซัลเฟต คลอไรด์ส่วนใหญ่ได้มาจากเกลือแร่ที่สะสมอยู่ในดินหิน แล้วเกิดการสึกกร่อนและละลายโดยน้ำฝนลงสู่ทะเล

ซึ่งในน้ำทะเลนั้นประกอบไปด้วยสารประกอบประเภทซัลเฟต และคลอไรด์ของโซเดียม และแมกนีเซียม เป็นส่วนใหญ่ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของน้ำทะเล (Mindess and Young, 1981)

Composition of Seawater	**Quantity** (ppm)
Sodium chloride (NaCl)	27,000
Magnesium chloride ($MgCl_2$)	3,200
Magnesium sulfate ($MgSO_4$)	2,200
Calcium sulfate ($CaSO_4$)	1,100
Calcium chloride ($CaCl_2$)	500
Total dissolved salts	**34,000**

จากตารางที่ 2.1 พบว่า องค์ประกอบหลักของน้ำทะเลคือ โซเดียมคลอไรด์ ซึ่งมีปริมาณมากถึง 27,000 ส่วนในล้านส่วน เมื่อคลอไรด์แทรกซึมเข้าไปสะสมในคอนกรีตบริเวณที่ติดกับเหล็กเสริมจนมีค่าเกินกว่าปริมาณคลอไรด์วิกฤต (Chloride threshold) เหล็กเสริมก็จะสูญเสียความต้านทานการเกิดสนิม (Depassivation)

2.1 แหล่งที่มาของคลอไรด์

คลอไรด์อาจมีอยู่ในคอนกรีตเอง เช่น มีอยู่ในน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต หิน ทราย (โดยเฉพาะอย่างยิ่งในทรายจากแหล่งใกล้ทะเล) หรือน้ำยาผสมคอนกรีตบางชนิด เช่น แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) ที่มักมีอยู่ในสารเร่งการก่อตัว อย่างไรก็ตาม ได้มีการกำหนดมาตรฐานไว้สำหรับปริมาณคลอไรด์ที่ยอมรับ

ได้ในคอนกรีตสด (วสท.1014-40) แต่ปัญหาของคลอไรด์ที่กระทบต่อความทนทานของคอนกรีตนั้น ส่วนมากจะมาจากภายนอกคอนกรีตในช่วงที่ใช้งาน เช่น จากน้ำทะเล จากดิน หรือจากเกลือที่ใช้ละลายน้ำแข็งในประเทศที่มีอากาศหนาว (De-icing salt)

Soroka (1993) กล่าวว่าคลอไรด์อิออนจะสามารถละลายในน้ำ ดังนั้นจะเกิดการแทรกซึมของคลอไรด์ก็ต่อเมื่อมีน้ำอยู่ในระบบโพรง กลไกที่เกิดขึ้นจะเป็นทั้งการดูดซึมน้ำแบบคาพิวลารี (capillary suction) หรือการแพร่อย่างง่ายของอิออนของน้ำในโพรงที่อยู่นิ่ง ในกรณีแรกจะเกิดกับคอนกรีตที่มีลักษณะค่อนข้างแห้ง น้ำจะเปรียบเสมือนยวดยานที่พาคลอไรด์อิออนเข้าไปในคอนกรีต ในกรณีหลังจะเกิดกับคอนกรีตที่อิ่มตัวหรือค่อนข้างอิ่มตัว น้ำจะเป็นเสมือนตัวกลางให้คลอไรด์อิออนแพร่เข้าไปในคอนกรีต สำหรับคอนกรีตที่ต้องอยู่ในสภาพเปียกแล้วแห้งสลับกันจะเกิดกลไกทั้งสองกรณี ซึ่งอัตราการแทรกซึมของคลอไรด์อิออนก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (2543) คลอไรด์ในเนื้อของคอนกรีตนั้นอาจมีอยู่ในคอนกรีตเอง หรือมาจากภายนอกโครงสร้างคอนกรีตในช่วงเวลาที่ใช้งาน โดยคลอไรด์ที่มีอยู่ในคอนกรีตเองนั้นอาจมาจากน้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีต หิน ทราย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง หิน ทราย จากแหล่งที่อยู่ใกล้ทะเล หรือในน้ำยาผสมคอนกรีตบางชนิด เช่น แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) ซึ่งจะมีอยู่ในสารเร่งการก่อตัว แต่ปัญหาของคลอไรด์ที่กระทบต่อความทนทานของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กนั้น ส่วนมากจะมาจากคลอไรด์ภายนอกคอนกรีตในช่วงที่ใช้งาน เช่น คลอไรด์ที่มาจากสภาพแวดล้อมทะเล จากดิน หรือจากเกลือที่ใช้ในการละลายน้ำแข็งในประเทศที่มีอากาศหนาว (De-icing salt)

โดยทั่วไปแล้ว แหล่งที่มาของคลอไรด์ที่มีผลกระทบต่อโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กนั้น มาจากน้ำทะเล แต่สำหรับคอนกรีตที่แช่อยู่ในน้ำทะเลตลอดเวลานั้น แม้คลอไรด์จะสามารถซึมผ่านเข้าไปในคอนกรีตได้มาก แต่ถ้าไม่มีออกซิเจน หรือมีออกซิเจนในปริมาณที่ไม่เพียงพอ การเกิดสนิมของเหล็กเสริมภายในโครงสร้างก็ไม่สามารถเกิดขึ้น ดังนั้นผลกระทบของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ในน้ำทะเลตลอดเวลาจึงมีไม่มากนัก

2.2 สภาวะของคลอไรด์ในคอนกรีต

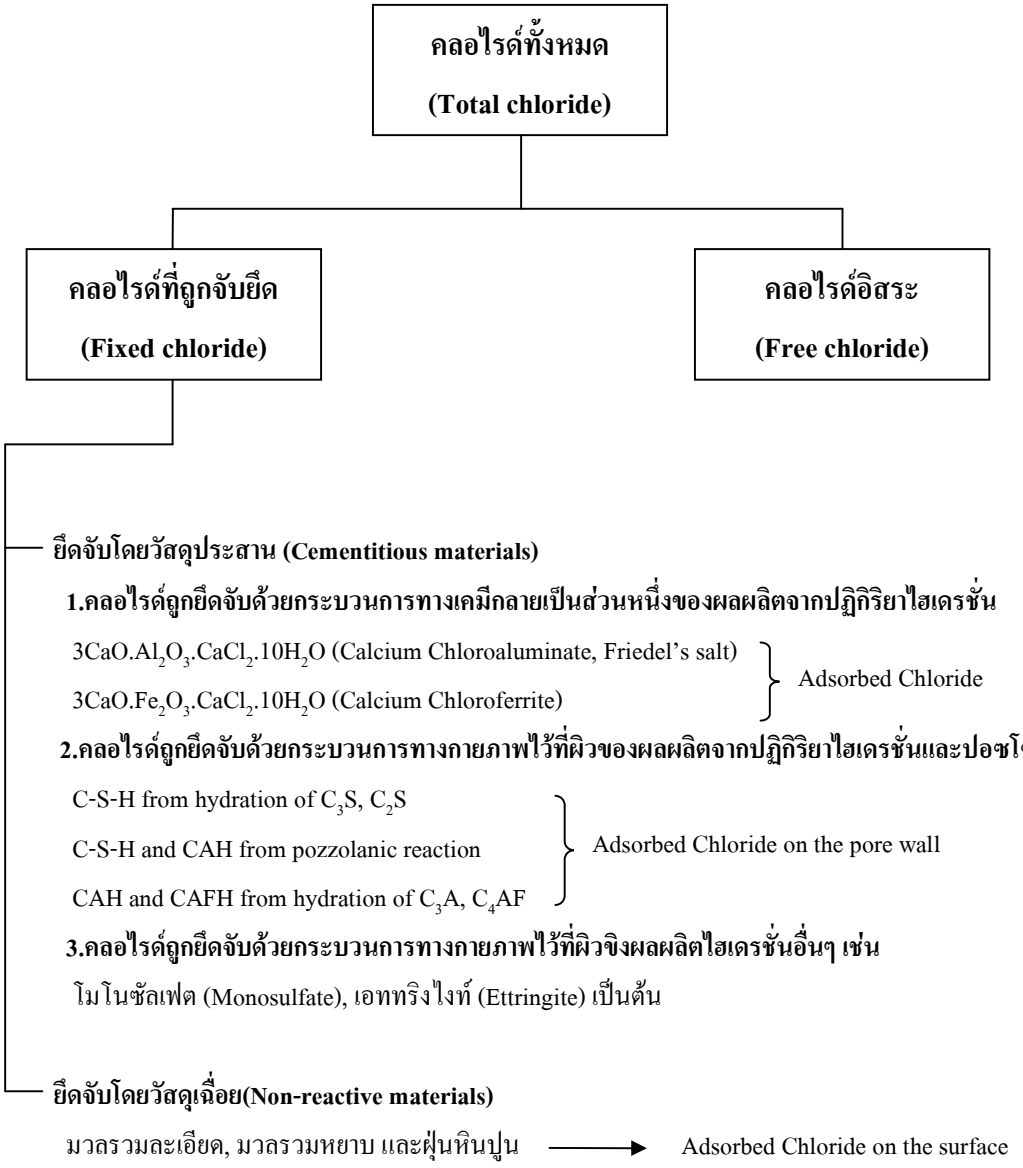
การที่คลอไรด์อิออนสามารถซึมผ่านเข้าไปในเนื้อของคอนกรีตได้นั้น จะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ หลายปัจจัยด้วยกัน เช่น ชนิดของปูนซีเมนต์ สภาพการบ่มคอนกรีต อุณหภูมิ ความเข้มข้นของเกลือคลอไรด์ ชนิดของแคตอิออน และสภาพแวดล้อมที่โครงสร้างนั้นๆเผชิญ เป็นต้น โดยปริมาณคลอไรด์ที่อยู่ภายในเนื้อของคอนกรีตนั้น จะเป็นผลรวมของคลอไรด์ 2 ประเภท (Total chloride) ได้แก่

1. คลอไรด์ที่ถูกยึดจับ (Fixed chloride) คลอไรด์เมื่ออยู่ในคอนกรีตจะถูกยึดจับโดยกลไกดังต่อไปนี้ คือ

- Chemical binding คลอไรด์บางส่วนจะถูกยึดจับโดยผลผลิตจากปฏิกิริยาไฮเดชั่น (Hydration products) เช่น ผลผลิตของ C_3A และ C_4AF ในรูปของ $3CaO.Al_2O_3.CaCl_2.10H_2O$ (Friedal's salt) หรือ $3CaO.Fe_2O_3.CaCl_2.10H_2O$ (Calcium chloroferrite)

- Physical binding คลอไรด์บางส่วนสามารถถูกยึดด้วยแรงทางกายภาพ (Surface force) ได้บนผิวของผลผลิตไฮเดชั่น เช่น C-S-H และ C-A-H เป็นต้น อีกทั้งยังสามารถถูกยึดอยู่บนผิวของวัสดุที่เป็นของแข็งที่ไม่มีปฏิกิริยา เช่น ทราย หิน หรือผงฝุ่นหินได้ด้วย ถึงแม้จะเป็นปริมาณน้อยมากก็ตาม

2. คลอไรด์อิสระ (Free chloride) ซึ่งจะมีสภาพเป็นสารละลายอยู่ในน้ำภายในโพรงช่องว่างของคอนกรีต (Pore solution) โดยคลอไรด์อิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของคลอไรด์ที่สามารถแพร่เข้าไปยังคอนกรีตที่มีความเข้มข้นของคลอไรด์อิสระต่ำกว่า และเป็นส่วนที่ทำให้ความเป็นด่างในคอนกรีตลดลง ดังนั้น ถ้าสามารถจับยึดคลอไรด์อิสระนี้ไว้ได้ ก็จะสามารถยืดระยะเวลาของการเกิดสนิมในเหล็กเสริมออกไปได้

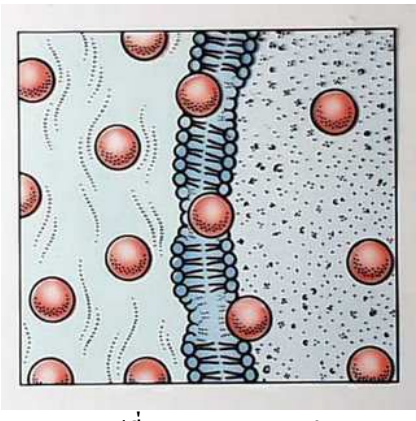


รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงชนิดของคลอไรด์ในคอนกรีต

2.3 การแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีต

เนื่องจากคลอไรด์เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำทะเล จึงทำให้การเคลื่อนที่ของคลอไรด์ผ่านเข้าไปในเนื้อของคอนกรีตถือเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากคลอไรด์สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยากับส่วนประกอบต่างๆของคอนกรีต ซึ่งมีผลต่อความคงทนของคอนกรีตทั้งทางตรงและทางอ้อม และนำไปสู่การเสื่อมสภาพของโครงสร้างคอนกรีต โดยทั่วไปแล้วการเคลื่อนที่ของคลอไรด์ หรือการแทรกซึมของคลอไรด์สามารถเกิดขึ้นจากสาเหตุต่างๆ เช่น ความแตกต่างของความเข้มข้น แรงดันน้ำ และประจุไฟฟ้า นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับแรงขับเคลื่อนของกลไกและธรรมชาติของสสารที่เคลื่อนผ่าน ดังนั้นกลไกสำคัญของการแทรกซึมของคลไรด์เข้าไปยังเนื้อคอนกรีตสามารถแบ่งได้เป็น 4 กลไก คือ

1.การแพร่ (Diffusion) โดยการแพร่นี้จะมีผลต่อการเคลื่อนที่ของคลอไรด์อิออนเข้าไปยังโพรงของคอนกรีตที่อิ่มตัว แรงขับเคลื่อนของคลอไรด์อิออนในกลไกนี้จะเกิดจากความเข้มข้นของอิออน โดยคลอไรด์อิออนจะแพร่จากบริเวณที่มีความเข้มข้นของคลอไรด์อิออนสูง ไปยัง บริเวณที่มีความเข้มข้นของคลอไรด์อิออนต่ำ และเมื่อคลอไรด์เข้ามาอยู่ภายในเนื้อคอนกรีตแล้วคลอไรด์ก็จะแพร่จากที่ที่มีความเข้มข้นของคลอไรด์สูงไปสู่ที่ที่มีความเข้มข้นของคลอไรด์ต่ำกว่า จึงทำให้การกระจายตัวของความเข้มข้นคลอไรด์ เป็นไปตามระดับความลึกจากผิวภายนอกของคอนกรีตเข้าไปภายในเนื้อของคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.2 แสดงการแพร่

ซึ่งจะเป็นไปตามกฎข้อที่สองของฟิคส์ (Fick's second law of diffusion) ซึ่งแสดงดังสมการดังนี้

$$\frac{\partial C_t(x,t)}{\partial t} = -D_a \frac{\partial^2 C_f(x,t)}{\partial^2 x} \qquad (2.1)$$

โดยที่ $C_t(x,t)$ คือ ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดที่ระยะทาง x จากผิวด้านนอก ที่ระยะเวลา t (โมล/ลิตร)

$C_f(x,t)$ คือ ปริมาณคลอไรด์อิสระที่ระยะทาง x จากผิวด้านนอกที่ระยะเวลา t (โมล/ลิตร)

D_a คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของคลอไรด์ในคอนกรีต (ซม.^{2}/ปี)

X คือ ระยะทางจากผิวด้านนอกของคอนกรีต (ซม.)

t คือ ระยะเวลาที่เผชิญคลอไรด์ (ปี)

ทั้งนี้ คำตอบของสมการที่ (2.1) สามารถแสดงได้ด้วยสมการที่ (2.2) ซึ่งเป็นคำตอบที่อยู่ในรูปของฟังก์ชันความผิดพลาด (Error function)

$$C_d = \frac{(C_s - C_0)\left[1 - erf\left(\frac{c}{2\sqrt{D_a t}}\right)\right] + C_0}{B} \times 100 \qquad (2.2)$$

โดยที่ C_d คือ ปริมาณเกลือคลอไรด์ในคอนกรีตที่ผิวเหล็กเสริม (%โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน)

C_s คือ ปริมาณเกลือคลอไรด์ที่ผิวหน้าของคอนกรีต (กก./ม^3)

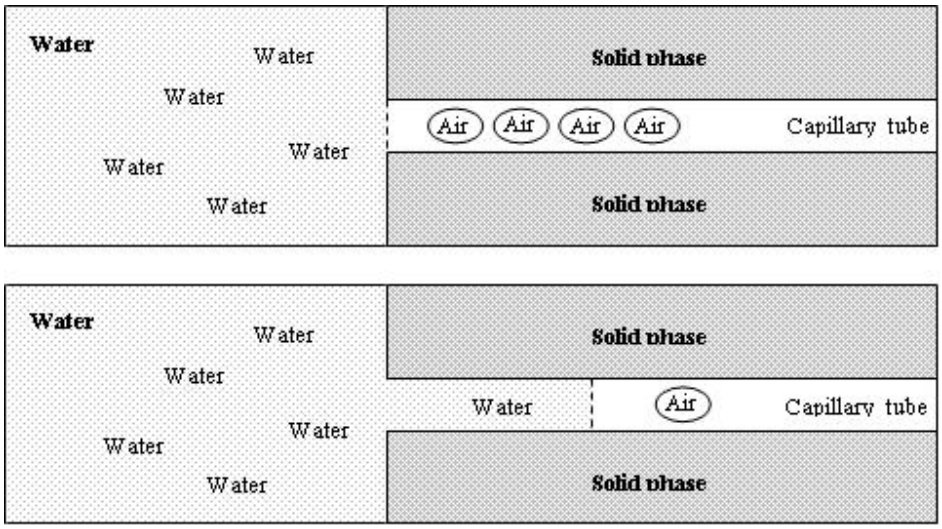
c คือ ระยะหุ้มเหล็กเสริม (ซม.)

D_a คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ของเกลือคลอไรด์ในคอนกรีต (ซม.^{2}/ปี)

t คือ อายุการใช้งานที่ปลอดการบำรุงรักษาของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก (ปี)

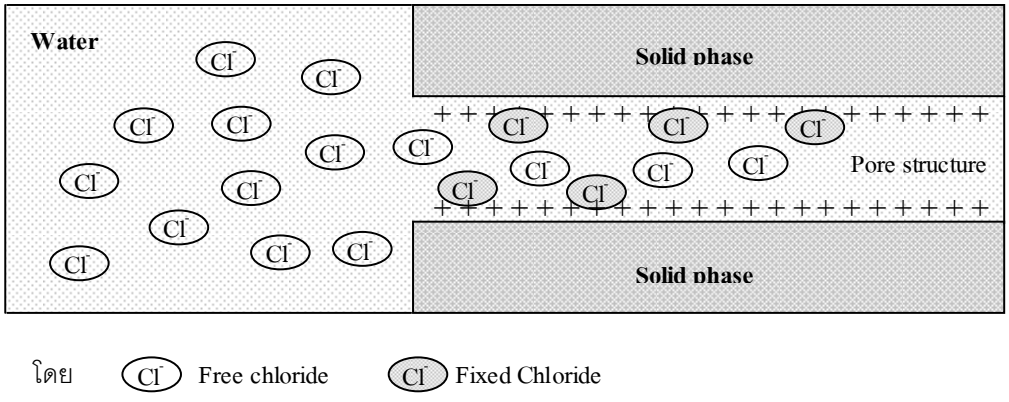
B คือ น้ำหนักวัสดุประสานในส่วนผสมคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร (กก./ม.^{3})

2. การดึงดูดแบบคาพิวลารี (Capillary suction) โดยการดึงดูดแบบคาพิวลารีนี้สามารถดึงน้ำเกลือผ่านเข้าไปยังโพรงที่แห้งเล็กๆในเนื้อบริเวณผิวของคอนกรีต โดยทั่วไปแล้วโครงสร้างที่อยู่ในบริเวณสิ่งแวดล้อมทะเลจะอยู่ในสภาพเปียกสลับแห้ง เมื่อคอนกรีตที่อยู่ในสภาพแห้งถูกทำให้เปียกด้วยน้ำทะเล น้ำทะเลจะถูกดึงเข้าไปยังโพรงที่แห้งเล็ก ที่อยู่ในเนื้อของคอนกรีต โดยกลไกการดึงดูดแบบคาพิวลารี ซึ่งกลไกนี้จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ใช้ระยะเวลาอันสั้น



รูปที่ 2.3 แผนภาพแสดงการดึงดูดแบบคาพิวลารี

3. การดึงดูดอิออน (Ion adsorption) ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ใต้น้ำทะเลตลอดเวลา พบว่าความเข้มข้นของคลอไรด์ที่อยู่บริเวณใกล้กับผิวของคอนกรีตจะมีความเข้มข้นของคลอไรด์สูงกว่าความเข้มข้นของคลอไรด์ที่สารละลายโดยรอบของน้ำทะเล ปรากฏการณ์นี้ไม่สามารถอธิบายได้โดยกลไกการแพร่ เพราะการแพร่จะยุติเมื่อความเข้มข้นของคลอไรด์ในคอนกรีต เท่ากับความเข้มข้นของคลอไรด์ของสิ่งแวดล้อมภายนอก แต่กลไกการดึงดูดอิออนจะเกิดสูงขึ้นเนื่องจากบริเวณผิวของโพรงในคอนกรีตที่มีประจุไฟฟ้าบวกบริเวณที่ผิวของโพรงช่องว่างในคอนกรีต จะดึงดูดคลอไรด์อิออนซึ่งมีประจุเป็นลบจากสิ่งแวดล้อมภายนอกเข้ามาในคอนกรีตและสะสมอยู่ในบริเวณนั้น



รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดงการดึงดูดอิออนเข้าไปในคอนกรีต

4. แรงดันน้ำ (Hydraulic pressure) โครงสร้างที่อยู่ภายใต้ความดันน้ำ เช่น กำแพงกันดิน อุโมงค์ ฯลฯ ความแตกต่างของ Hydraulic head สามารถทำให้น้ำซึ่งมีคลอไรด์อิออน เคลื่อนที่ผ่านเข้าไปภายในคอนกรีตจากบริเวณที่มี Hydraulic head สูงไปยังบริเวณที่มี Hydraulic head ต่ำ

2.4 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการแทรกซึมของคลอไรด์

ความสามารถในการกักกันคลอไรด์ของคอนกรีตจะมีผลต่อปริมาณคลอไรด์ที่สามารถแทรกซึมเข้าสู่คอนกรีต โดยปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการแทรกซึมของคลอไรด์ ได้แก่

1.ระยะคอนกรีตหุ้มผิว

อัตราการแทรกซึมของคลอไรด์จะขึ้นอยู่กับความพรุนและระยะของคอนกรีตที่หุ้มผิวเหล็กเสริม ความพรุนของคอนกรีต คือ ปริมาณรูพรุนที่อยู่ในเนื้อของคอนกรีต ถ้ารูพรุนน้อยไม่ต่อเนื่องกันก็จะทำให้คอนกรีตทึบน้ำส่งผลให้อัตราการแทรกซึมของคลอไรด์ลดลง

Neville (1995) กล่าวว่ายิ่งมีระยะคอนกรีตหุ้มมากเท่าใด เวลาที่ใช้จนกระทั่งความเข้มข้นของคลอไรด์ที่ระดับของเหล็กเสริมถึงค่าวิกฤตจะมากขึ้น ซึ่งระยะคอนกรีตหุ้มผิวนี้จะมีความ-สัมพันธ์กับคุณภาพของคอนกรีตหากคุณภาพของคอนกรีตดีจะสามารถลดระยะคอนกรีตหุ้มลงได้

Soroka (1993) กล่าวว่าระยะที่ใช้จนกระทั่งคลอไรด์มีความเข้มข้นเป็นร้อยละ 0.4 ที่ระยะหนึ่งวัดจากผิวของคอนกรีต จะเพิ่มขึ้นเมื่อความพรุนของคอนกรีตลดลง หรือระยะที่มีปริมาณวิกฤตที่เวลาหนึ่งจะเพิ่มขึ้นเมื่อความพรุนของคอนกรีตเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นยังพบว่า อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์และระยะเวลาในการบ่มต่างส่งผลต่ออัตราการแทรกซึมของคลอไรด์ คือเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้อัตราการแทรกซึมของคลอไรด์เพิ่มขึ้น ดังนั้นในการควบคุมอัตราการแทรกซึมของคลอไรด์ จะต้องบ่มคอนกรีตหุ้มให้ดี และมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำตลอดแนวของเหล็กเสริม

2. คุณภาพของคอนกรีต

ส่วนประกอบของคอนกรีตและอุณหภูมิที่ใช้บ่มมีความสำคัญกับโครงสร้างของโพรง เมื่อเพิ่มระดับของปฏิกิริยาไฮเดรชัน ความสามารถในการแทรกซึมของคลอไรด์จะลดลง ซึ่งจะเป็นจริงเมื่อคอนกรีตไม่มีการสูญเสียน้ำเท่านั้น หากสูญเสียน้ำระดับของปฏิกิริยาไฮเดรชันจะเปลี่ยนไปตามระยะจากผิว เนื่องจากการลดลงของความชื้นจะทำให้ความสามารถซึมผ่านได้เพิ่มขึ้น หากบ่มคอนกรีตไว้

นาน การแทรกซึมของคลอไรด์ก็จะลดลง นอกจากนี้หากการทำให้คอนกรีตแน่นไม่เพียงพอ การแทรกซึมของคลอไรด์จะเพิ่มขึ้น

Kayyali et al. (1988) กล่าวว่า คอนกรีตที่ต้องเผชิญสิ่งแวดล้อมที่มีเกลือคลอไรด์ต้องการระยะเวลาในการบ่มคอนกรีตที่มากเพียงพอ เนื่องจากการบ่มคอนกรีตที่นานเพียงพอจะทำให้โครงสร้างของโพรงช่องว่างภายในเนื้อของคอนกรีตมีขนาดเล็ก และส่งผลทำให้การแพร่ของคลอไรด์ในเนื้อของคอนกรีตเกิดขึ้นได้ยาก

3. ชนิดและปริมาณของปูนซีเมนต์

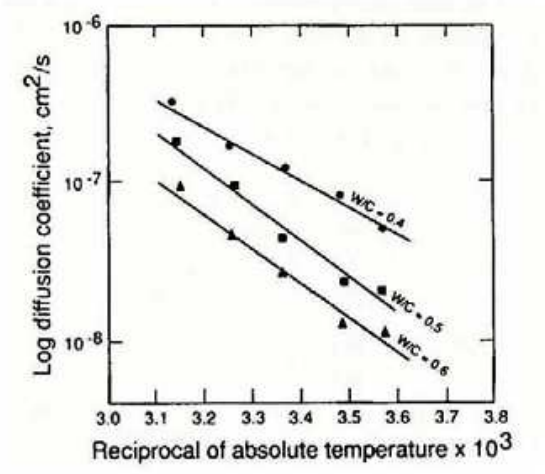
Soroka (1993) กล่าวว่าสภาพการสูญเสียความต้านทานการเกิดสนิมเกิดจากคลอไรด์อิสระหรือคลอไรด์ที่ไม่ถูกกักกันโดยผลิตผลจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน แต่คลอไรด์จะเข้าร่วมสารผลิตภัณฑ์ของ C3A เกือบทั้งหมด กลายเป็น Friedels salt ($3CaO.Al_2O_3.CaCl_2.10H_2O$) หรือเมื่อสารละลายมีความเข้มข้นสูง จะเกิดแคลเซียมออกซีคลอไรด์ ($CaO.CaCl_2.10H_2O$) ด้วยความสามารถในการกักเก็บคลอไรด์ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จะขึ้นอยู่กับปริมาณ C3A ถ้า C3A มาก ความสามารถในการกักเก็บคลอไรด์ก็จะมากตามไปด้วย ดังนั้นถ้าปูนซีเมนต์ยิ่งมี C3A มากความสามารถในการกักเก็บคลอไรด์มากเท่าใดก็ย่อมจะหน่วงการแทรกซึมของคลอไรด์ที่เข้าไปในคอนกรีตให้ช้าลงเท่านั้นและจะทำให้ระยะเวลาช่วงแรกของการกัดกร่อนช้าออกไปอีก

ทั้งส่วนประกอบและปริมาณของปูนซีเมนต์ ต่างมีผลต่อปริมาณของคลอไรด์ที่เข้าทำปฏิกิริยา เมื่อปูนซีเมนต์ที่ใช้มีปริมาณมาก ก็ย่อมสามารถกักเก็บคลอไรด์ได้ในปริมาณมาก จึงทำให้อัตราการแทรกซึมลดลง ดังนั้นอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์และประเภทปูนซีเมนต์จะเป็นตัวบอกคุณภาพความซึมผ่านได้ของคอนกรีต ซึ่งคุณภาพดังกล่าวขึ้นอยู่กับการทำให้คอนกรีตแน่นและเงื่อนไขการบ่ม

4. อุณหภูมิ

Jooss and Reinhardt (2002) ทำการทดสอบเพื่อศึกษาถึงผลกระทบของอุณหภูมิต่อความสามารถซึมผ่านได้ และการแพร่กระจายของเกลือคลอไรด์ในคอนกรีต โดยใช้ตัวอย่างคอนกรีต 11 ชนิด และควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ระหว่าง 20 และ 80 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่าความสามารถซึมผ่านได้ และการแพร่กระจายมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และความสามารถซึมผ่านได้เพิ่มขึ้น 13-62% เมื่ออุณหภูมิถูกทำให้สูงขึ้นจาก 20 ถึง 50 องศาเซลเซียส และ เพิ่มขึ้น 3-55% เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 80 องศาเซลเซียส และ การแพร่กระจายจะเพิ่มขึ้น 10-21% จาก 20 ถึง 50 องศาเซลเซียส และ เพิ่มขึ้น 8-21% จาก 50 ถึง 80 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของคอนกรีตด้วย

Soroka (1993) อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การแพร่ในรูปลอกการิทึม กับส่วนกลับของอุณหภูมิที่มีหน่วยเป็นเคลวินจะเป็นเส้นตรง ดังรูปที่ 4-9 โดยในสภาพอากาศร้อน เวลาที่คลอไรด์ใช้ในการเคลื่อนที่ถึงเหล็กจะสั้นกว่าในสภาพอากาศเป็นกลาง และจะสังเกตว่าอัตราการแทรกซึมของคลอไรด์จะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์



รูปที่ 2.5 ผลของอุณหภูมิและอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่อสัมประสิทธิ์การแพร่ของเกลือคลอไรด์

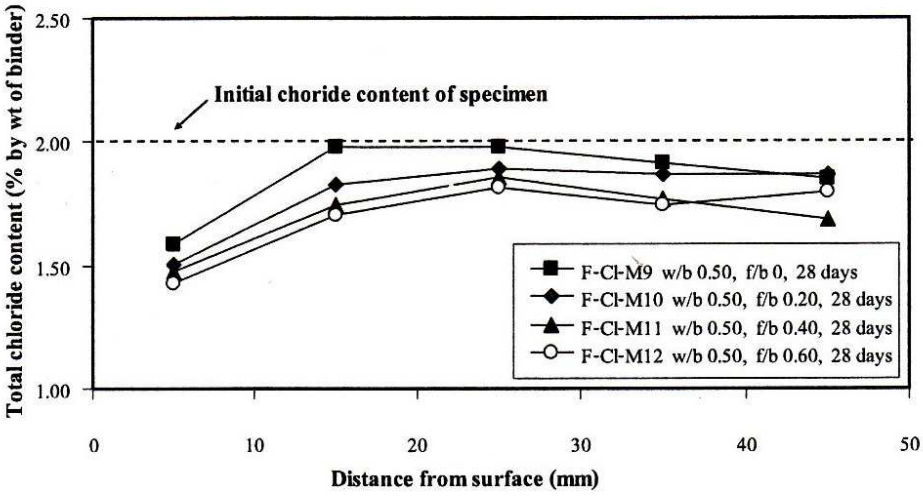
5. ตัวขัดขวางการกัดกร่อน

ตัวขัดขวางการกัดกร่อน คือสารที่มีคุณสมบัติต่อต้านการสูญเสียความต้านทานการเกิดสนิมของคลอไรด์ ไม่ว่าจะเป็นลักษณะการป้องกันหรือหน่วงให้เหล็กเสริมผุกร่อนช้าลง มีทั้งแบบที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ แต่ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือประเภทไนไตรต ได้แก่ แคลเซียมไนไตรต และโซเดียมไนไตรต ซึ่งเป็นประเภทสารอนินทรีย์

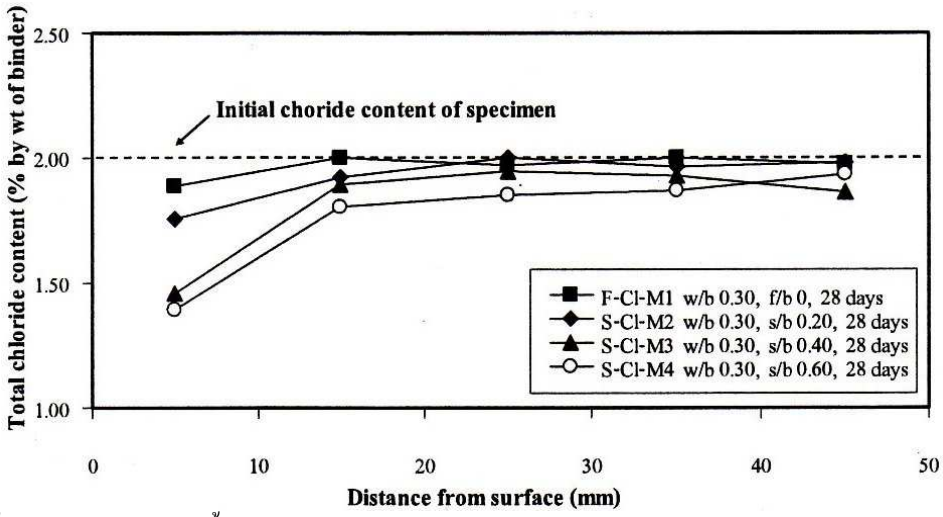
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สัมประสิทธิการแพร่ของคลอไรด์อิอออนในซีเมนต์เพสต์ที่ผสมสารปอซโซลาน (ณรงฤทธิ์ เย็นอารมณ์, เกศสุดา เลาอาลีกิจ, และทวีชัย สำราญวานิช)

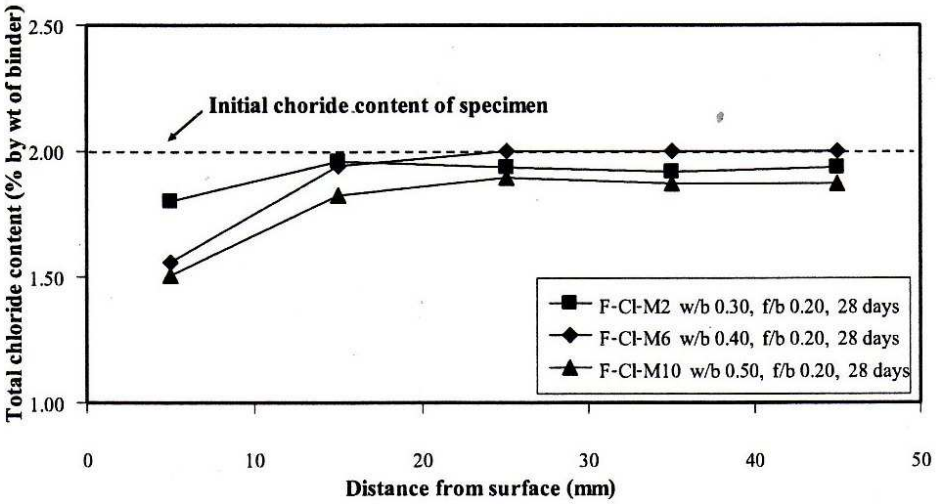
สำหรับการศึกษาเรื่องการแพร่ของคลอไรด์อิอออนในซีเมนต์เพสต์ที่ผสมสารปอซโซลานต่างๆ ได้แก่ เถ้าลอย เถ้าแกลบ และตะกรันเตาถลุงเหล็กโดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ใช้เท่ากับ 0.30 0.40 และ 0.50 และอัตราส่วนการแทนที่วัสดุประสานด้วยสารปอซโซลานเท่ากับ 0.20 0.40 และ0.60 และผสมเกลือโซเดียมคลอไรด์ในระหว่างการผสมซีเมนต์เพสต์เพื่อให้มีปริมาณคลอไรด์ 2.0%โดยน้ำหนักวัสดุประสานทำการเคลือบแล้วนำไปแช่ในน้ำประปาเป็นเวลา 28 และ 140 วัน เมื่อครบกำหนดที่แช่จึงนำตัวอย่างมาหาปริมคลอไรด์ตามระดับความลึกจากผิวสัมผัสกับน้ำประปา



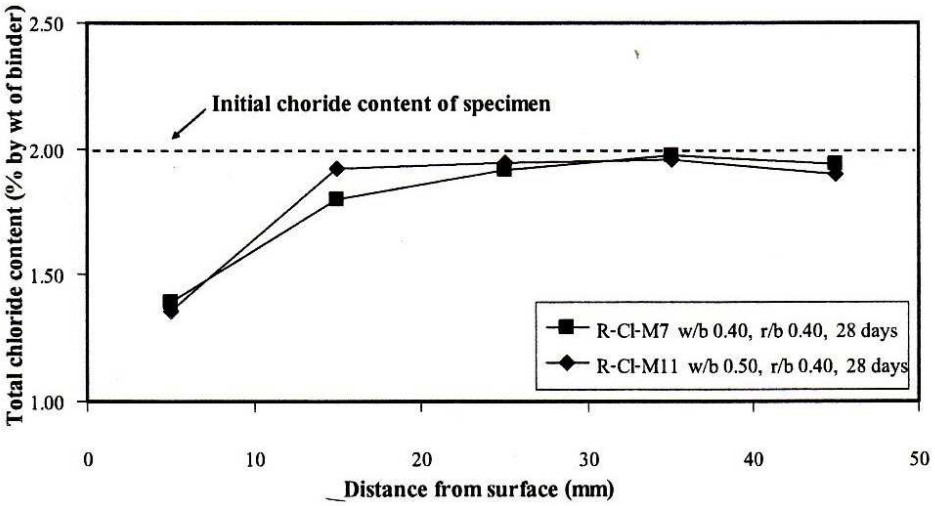
รูปที่ 2.6 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าลอยเทียบกับระยะทางจากผิวด้านนอกที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสานต่างๆ



รูปที่ 2.7 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในซีเมนต์เพสผสมสารปอซโซลานต่างๆเทียบกับระยะทางจากผิวด้านนอกที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 และอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.40



รูปที่ 2.8 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าลอยเทียบกับระยะทางจากผิวด้านนอกที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.20 และมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างๆกัน

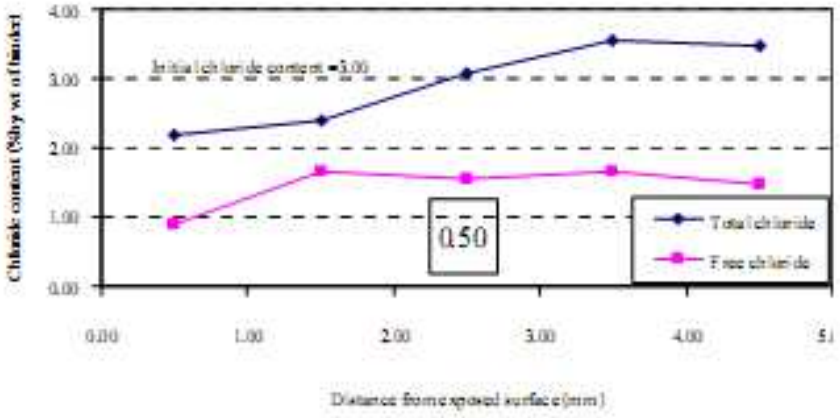


รูปที่ 2.9 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าลอยเทียบกับระยะทางจากผิวด้านนอกที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.40 และมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างๆกัน

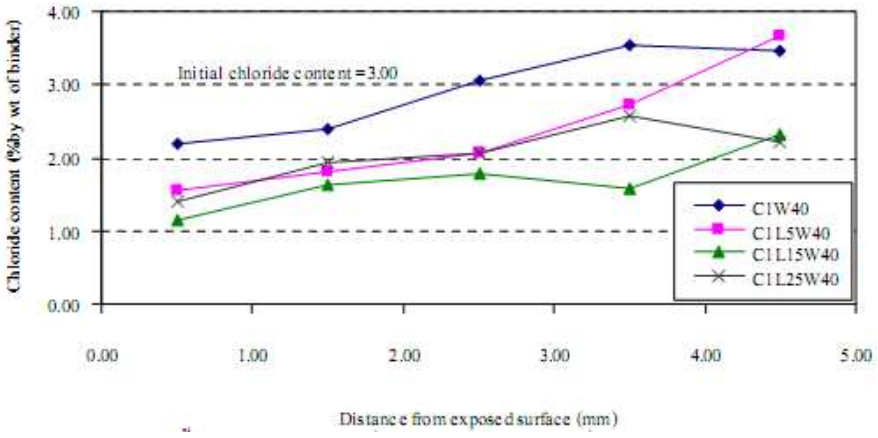
จากผลการทดลองพบว่า ซีเมนต์เพสต์ที่ผสมเถ้าลอยมีการแพร่ออกของคลอไรด์ต่ำที่สุด ส่วนซีเมนต์เพสต์ที่ผสมตะกรันเตาถลุงเหล็กมีการแพร่ออกของคลอไรด์สูงสุดเมื่อพิจารณาการแทนที่วัสดุประสานด้วยสารปอซโซลานพบว่าการแทนที่วัสดุประสานด้วยสารปอซโซลานที่มากขึ้นคลอไรด์อิออนสามารถแพร่ออกได้มากขึ้น และเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานสูงขึ้น การแพร่ออกของคลอไรด์อิออนก็มากขึ้น และจากการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของคลอไรด์พบว่าซีเมนต์เพสที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานสูงขึ้นหรืออัตราส่วนการแทนที่วัสดุประสานด้วยสารปอซโซลานมากขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของคลอไรด์อิออนจะมีค่าสูงขึ้น แต่เมื่อระยะเวลาการแช่ในน้ำประปาของซีเมนต์เพสต์นานขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของคลอไรด์อิออนจะมีค่าต่ำลง

ความสามารถกักเก็บคลอไรด์และการแพร่ของคลอไรด์ในซีเมนต์เพสที่ผสมฝุ่นหินปูน (เอกศักดิ์ ฤกษมหาลิขิต, ภูมินทร์ กิตติศักดิ์บวร, วสุ วิทยเขตปภา และทวีชัย สำราญวานิช)

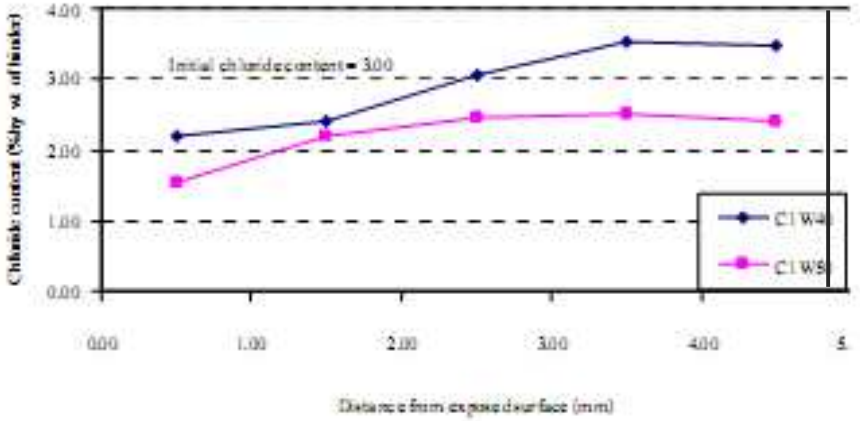
สำหรับการศึกษาความสามารถในการกักเก็บคลอไรด์และการแพร่ของคลอไรด์ในซีเมนต์เพสต์ที่ผสมฝุ่นหินปูน โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่1 เป็นวัสดุประสานหลักในตัวอย่างซีเมนต์เพสต์อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ใช้เท่ากับ 0.40 และ 0.50 อัตราส่วนการแทนที่วัสดุประสานด้วยฝุ่นหินปูนเท่ากับ 0.05, 0.15 และ 0.25 และศึกษากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์ด้วย



รูปที่ 2.10 การแพร่ของคลอไรด์ในตัวอย่าง C1W40



รูปที่ 2.11 การแพร่ของคลอไรด์ทั้งหมดในตัวอย่างที่อัตราส่วนการแทนที่วัสดุประสานต่างๆกัน แต่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 เทียบกับระยะทางจากผิวด้านนอก



รูปที่ 2.12 การเปรียบเทียบการแพร่คลอไรด์ทั้งหมดระหว่างตัวอย่าง C1W40 กับ C1W50

จากผลการศึกษาพบว่า เมื่ออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเพิ่มขึ้น ความสามารถกักเก็บคลอไรด์มีแนวโน้มลดลง แต่เมื่ออัตราส่วนการแทนที่วัสดุประสานด้วยฝุ่นหินปูนเพิ่มขึ้น การเก็บกักคลอไรด์ของซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.4 จะลดลง แต่ที่อัตราส่วน 0.5 จะมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนการแพร่ของคลอไรด์พบว่ามีแนวโน้มมากขึ้น เมื่ออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานหรืออัตราส่วนแทนที่วัสดุประสานด้วยฝุ่นหินปูนเพิ่มขึ้น สำหรับกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์ผสมฝุ่นหินปูนที่อายุ 91 วัน พบว่ามีแนวโน้มของกำลังรับแรงอัดจะมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานหรืออัตราส่วนแทนที่วัสดุประสานด้วยฝุ่นหินปูนเพิ่มขึ้น

บทที่ 3

วิธีดำเนินการทดลอง

ในการศึกษาความต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์ในมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอย ผงหินปูน และสารขยายตัว ได้ทำการทดสอบการแทรกซึมของคลอไรด์ในมอร์ต้าร์ล้วน มอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอย ผงหินปูน และสารขยายตัว ด้วยวิธีทดสอบการแพร่คลอไรด์แบบแช่ในสารละลาย (Immersion chloride diffusion test)

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1. ปูนซีเมนต์ (Cement) ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ซึ่งมีคุณสมบัติตรงตามมาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรม มอก.15-2532

-ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland cement) เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่นิยมใช้มากที่สุด เป็นปูนซีเมนต์ที่ใช้ในงานก่อสร้าง ทำคอนกรีต หรือทำผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษ ยกตัวอย่างเช่น อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก พื้นอาคาร ถนน สะพาน ถังกักเก็บน้ำ และผลิตภัณฑ์คอนกรีตสำเร็จรูป เป็นต้น นอกจากนี้ ยังเหมาะสำหรับโครงสร้างคอนกรีตที่ต้องการความแข็งแรงสูง เช่น สะพานขนาดใหญ่ สนามกีฬา และอาคารสูง เป็นต้น ซึ่งได้แก่ ปูนตราช้าง

-ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภททนซัลเฟต (Sulfate resistance Portland cement) ปูนซีเมนต์ประเภทนี้จะมีค่า (C_3A) ไม่เกิน 5% เพื่อป้องกันไม่ให้ซัลเฟตจากภายนอกเข้ามาทำลายเนื้อคอนกรีต เหมาะสำหรับงานโครงสร้างที่ต้องสัมผัสกับเกลือซัลเฟตอย่างรุนแรง จากดินหรือน้ำที่มีปริมาณซัลเฟตสูง เช่น งานก่อสร้างบ่อบำบัดน้ำเสีย โครงสร้างที่ต้องสัมผัสกับน้ำเสียโดยตรง และโครงสร้างใต้ดิน เป็นต้น ซึ่งการใช้ร่วมกับคอนกรีตที่มีอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสานต่ำๆ เพื่อทำให้เนื้อคอนกรีตมีความทึบน้ำ และสามารถลดความเสียหายที่เกิดจากซัลเฟตได้ ข้อเสียคือ ไม่ สามารถต้านทานต่อกรดและสารที่มีฤทธิ์กัดกร่อนอย่างรุนแรงได้ และให้กำลังช้ากว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

2. วัสดุปอซโซลาน (Pozzolan) เป็นสารผสมเพิ่มแบบแร่ธาตุ (Mineral admixture) ซึ่งมีองค์ประกอบของธาตุที่สำคัญเหมือนปูนซีเมนต์ เช่น ซิลิกา (SiO_2) และ อลูมิน่า (Al_2O_3) ในปัจจุบันวัสดุปอซโซลานที่นำมาผสมกับผงซีเมนต์มีมากมาย เช่น ดินเหนียว ดินดาน ผงถ่านหิน เถ้าแกลบ เถ้าลอย แต่ที่นิยมนำมาใช้มากที่สุดคือ เถ้าลอย(Fly ash) ที่ได้จากเตาเผาของโรงผลิตกระแสไฟฟ้า เพราะมีปริมาณมากและเมื่อนำมาผสมกับซีเมนต์เพสต์แล้วมีคุณสมบัติด้านรับแรงอัดได้สูงขึ้น โดยสัดส่วนของปอซโซลานที่ใช้ควรอยู่ระหว่าง 15 – 50 % ของน้ำหนักของปูนซีเมนต์ทั้งหมด โดยประโยชน์ที่นำวัสดุปอซโซลานมาผสมมีดังนี้ 1) ทำให้คอนกรีตมีการขยายตัวน้อย มีความทึบน้ำสูง 2) ให้ความร้อนในการทำปฏิกิริยากับน้ำต่ำเมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาจึงเหมาะสำหรับงานคอนกรีตหลา 3) มีอัตราการพัฒนาแรงอัดช้าเนื่องจากทำปฏิกิริยากับน้ำอย่างช้าๆ แต่ให้แรงอัดในระยะหลังเท่ากันหรืออาจมากว่าเมื่อใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา โดยบ่มชื้นให้นานกว่าปกติ 4) ทนทานต่อการกัดกร่อนของสารประกอบผงซัลเฟตได้ดีอีกด้วย โดยวัสดุปอซโซลานที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้ประกอบด้วย

-เถ้าลอย (Fly ash) เถ้าลอยเป็นวัสดุปอซโซลานที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากในการศึกษาโดยการใช้เถ้าลอยเป็นวัสดุปอซโซลานจะทำให้คุณสมบัติของคอนกรีตเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านความคงทนในการต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์ แต่ข้อเสียของการใช้เถ้าลอยเป็นวัสดุปอซโซลาน คือ ในอายุแรกๆ จะให้กำลังที่ต่ำ

รูปที่ 3.1 เถ้าลอย (Fly ash)

-สารขยายตัว (Expansive agent) เนื่องจากปัญหาเรื่องการหดตัวเป็นปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นในคอนกรีต ดังนั้นในการเพิ่มสารขยายตัวเข้าไปในส่วนผสมของคอนกรีตก็จะช่วยลดปัญหาการหดตัวของคอนกรีตได้

รูปที่ 3.2 สารขยายตัว (Expansive agent)

- ผงหินปูน (Limestone powder) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในการแทนที่ด้วยผงหินปูนในซีเมนต์นั้นนอกจากจะเป็นการช่วยการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังช่วยเพิ่มความสามารถในการรับกำลังในช่วงอายุแรกให้เพิ่มขึ้นด้วย

รูปที่ 3.3 ผงหินปูน (Limestone powder)

-เถ้าแกลบ (Rich husk ash) เถ้าแกลบเป็นวัสดุปอซโซลานที่นำมาใช้เพื่อเพิ่มความสามารถในการต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์ เนื่องจากในเถ้าแกลบนั้นจะมีปริมาณของ SiO_2 ที่มาก ซึ่งจะส่งผลดีต่อการต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์

รูปที่ 3.4 เถ้าแกลบ (Rich husk ash)

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 เถ้าลอย ผงหินปูน สารขยายตัว และเถ้าแกลบ

Material	C1	C5	FA	LP	EA	RHA
SiO2 (%)	20.20	20.97	36.10	0.06	9.60	88.33
Al2O3 (%)	4.70	3.49	19.40	0.09	2.50	0.48
Fe2O3(%)	3.73	4.34	15.10	0.04	1.30	3.37
CaO (%)	63.40	62.86	17.40	54.80	67.30	0.52
MgO (%)	1.37	3.33	2.97	0.57	0.40	0.28
SO3 (%)	1.22	2.12	0.77	-	18.00	0.12
Na2O (%)	-	0.12	0.55	-	-	0.15
K2O (%)	0.28	0.47	2.17	-	-	2.76
LOI (%)	2.72	2.30	2.81	43.80	0.40	3.71

3. น้ำ (Water)

4. มวลรวมละเอียดหรือทราย (Sand) หมายถึงทรายซึ่งเป็นมวลรวมที่มีขนาดเล็กกว่า 4.5 มิลลิเมตร หรือที่สามารถลอดผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 แต่ทั้งนี้ต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 0.07 มิลลิเมตร มวลรวมที่เล็กกว่านี้เรียกว่า ฝุ่น (Silt หรือ Clay)

5. สารเคลือบผิว (Epoxy) เป็นพลาสติกเหลวชนิดหนึ่ง โดยทั่วไปจะแยกเป็นสองส่วนคือ ส่วน A ที่เป็นเนื้อEpoxy ทำมาจาก Bis-Epi Resin และส่วน B ที่เป็นส่วนทำแข็ง (Hardener)ส่วนมากจะทำมาจากอะมีน (Amine) หรือ อะไมด์ (Amide) ซึ่งเมื่อผสมเข้าไปในเนื้อEpoxy แล้วจะให้คุณสมบัติของ Epoxy ที่แตกต่างกัน ในการทดลองนี้เราได้ใช้ Epoxy ที่มีคุณสมบัติกันรั่วซึม (Waterproofing)

3.2 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

<u>อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองการแพร่ของคลอไรด์</u>

1. เครื่อง Auto titration รุ่น 785 DMP Titrino Metrohm
2. TFE-fluorocarbon-coated magnetic stirring bar
3. เครื่องกวนแม่เหล็ก

รูปที่ 3.5 เครื่อง Auto titration รุ่น 785 DMP Titrino Metrohm และ เครื่องกวนแม่เหล็ก

4. เครื่องตัดตัวอย่างทดสอบ

รูปที่ 3.6 เครื่องตัดตัวอย่างทดสอบ

5. เครื่องดูด (Suction apparatus)

รูปที่ 3.7 เครื่องดูด

6. เครื่องต้ม (Hot pate)

รูปที่ 3.8 เครื่องต้ม

7. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล (Digital balance)

รูปที่ 3.9 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล (Digital balance)

8. แผ่นกระดาษกรองเนื้อหยาบ

รูปที่ 3.10 แผ่นกระดาษกรองเนื้อหยาบ

9. ช้อนตักสาร

รูปที่ 3.11 ช้อนตักสาร

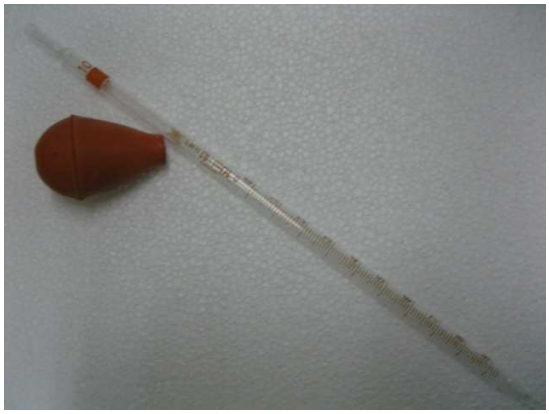
10. บีกเกอร์ขนาด 250 ml

รูปที่ 3.12 บีกเกอร์ขนาด 250 ml

11. กระบอกตวงขนาด 50 ml

รูปที่ 3.13 กระบอกตวงขนาด 50 ml

12. ปิเปตขนาด 10 ml



รูปที่ 3.14 ปิเปตขนาด 10 ml

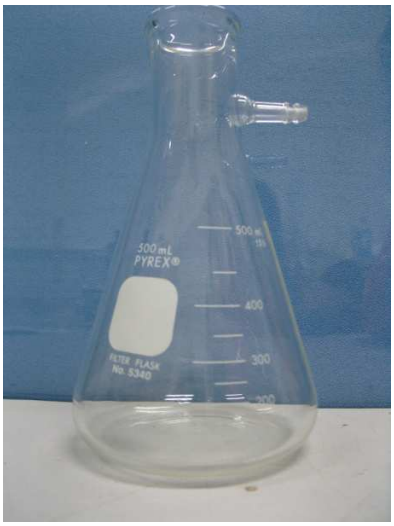
13. ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 ml

รูปที่ 3.15 ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 ml

14. กรวย (Buchner funnel)

รูปที่ 3.16 กรวย (Buchner funnel)

15. ขวดกรองแก้วก้นโปร่ง (filtration flank)



รูปที่ 3.17 ขวดกรองแก้วก้นโปร่ง (filtration flank)

16. กล่องพลาสติกสำหรับบรรจุชิ้นตัวอย่างทดสอบ

รูปที่ 3.18 กล่องพลาสติกสำหรับบรรจุชิ้นตัวอย่างทดสอบ

17. ครกหินบดตัวอย่างทดสอบ

รูปที่ 3.19 ครกหินบดตัวอย่างทดสอบ

สารเคมีที่ใช้ในการทดลองการแทรกซึมของคลอไรด์ในมอร์ต้าร์ด้วยวิธีแบบแช่ปกติ

1. กรดไนตริก (Nitric Acid)

2. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide)

3. สารละลายมาตรฐาน 0.05 N NaCl

4. สารละลายมาตรฐาน 0.05 N ซิลเวอร์ไนเตรท (Silver nitrate)

3.3 วิธีการทดลอง

1.การเตรียมแท่งตัวอย่างทดสอบมอร์ต้าร์ (Mortar)

การทดสอบการแทรกซึมของคลอไรด์ในมอร์ต้าร์ด้วยวิธีการแช่แบบปกติ ให้หล่อแท่งตัวอย่างมอร์ต้าร์ทรงกระบอกให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร มีความสูง 10 เซนติเมตร โดยผสมตัวอย่างตามอัตราส่วนผสมดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมมอร์ต้าร์ที่ใช้ในการทดสอบ

No.	Mix designation	Cement (kg)	Additives (kg)				Water (kg)	Sand (kg)
			FA	LP	EA	RHA		
1	C1W30	1	-	-	-	-	0.3	2.75
2	C1W40	1	-	-	-	-	0.4	2.75
3	C1W50	1	-	-	-	-	0.5	2.75
4	C5W30	1	-	-	-	-	0.3	2.75
5	C5W40	1	-	-	-	-	0.4	2.75
6	C5W50	1	-	-	-	-	0.5	2.75
7	C1F30W30	0.7	0.3	-	-	-	0.3	2.75
8	C1F30W40	0.7	0.3	-	-	-	0.4	2.75
9	C1F30W50	0.7	0.3	-	-	-	0.5	2.75
10	C1L5W40	0.95	-	0.05	-	-	0.4	2.75
11	C1L5W50	0.95	-	0.05	-	-	0.5	2.75
12	C1L15W40	0.85	-	0.15	-	-	0.4	2.75
13	C1L15W50	0.85	-	0.15	-	-	0.5	2.75
14	C1L25W40	0.75	-	0.25	-	-	0.4	2.75
15	C1L25W50	0.75	-	0.25	-	-	0.5	2.75
16	C1E10W40	0.9	-	-	0.1	-	0.4	2.75
17	C1E10W50	0.9	-	-	0.1	-	0.5	2.75
18	C5E10W40	0.9	-	-	0.1	-	0.4	2.75
19	C5E10W50	0.9	-	-	0.1	-	0.5	2.75

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมมอร์ต้าร์ที่ใช้ในการทดสอบ (ต่อ)

No.	Mix designation	Cement (kg)	Additives (kg)				Water (kg)	Sand (kg)
			FA	LP	EA	RHA		
20	C1E10F30W40	0.6	0.3	-	0.1	-	0.4	2.75
21	C1E10F30W50	0.6	0.3	-	0.1	-	0.5	2.75
22	C1F5L25W40	0.7	0.05	0.25	-	-	0.4	2.75
23	C1F5L25W50	0.7	0.05	0.25	-	-	0.5	2.75
24	C1F15L15W40	0.7	0.15	0.15	-	-	0.4	2.75
25	C1F15L15W50	0.7	0.15	0.15	-	-	0.5	2.75
26	C1F25L5W40	0.7	0.25	0.05	-	-	0.4	2.75
27	C1F25L5W50	0.7	0.25	0.05	-	-	0.5	2.75
28	C1R15W40	0.85	-	-	-	0.15	0.4	2.75
29	C1R15W50	0.85	-	-	-	0.15	0.5	2.75

หมายเหตุ : ความหมายของสัญลักษณ์ในแต่ละส่วนผสมมีดังนี้

“C1, C5” **หมายถึง** มอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1และ5เป็นวัสดุประสาน

“E, F, L, R” **หมายถึง** สารขยายตัว, เถ้าลอย, ผงหินปูน, และเถ้าแกลบ ตามลำดับ

“5, 10, 15, 25, 30” **หมายถึง** อัตราส่วนแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยสารผสมเพิ่ม 0.05, 0.10, 0.15, 0.25 และ 0.30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน

“W30, W40, W50” **หมายถึง** อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.30, 0.40 และ 0.50 ตามลำดับ

ตัวอย่างการอ่านสัญลักษณ์

“C1E10W40” **หมายถึง** มอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ใช้สารขยายตัวร้อยละ0.10 มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.40

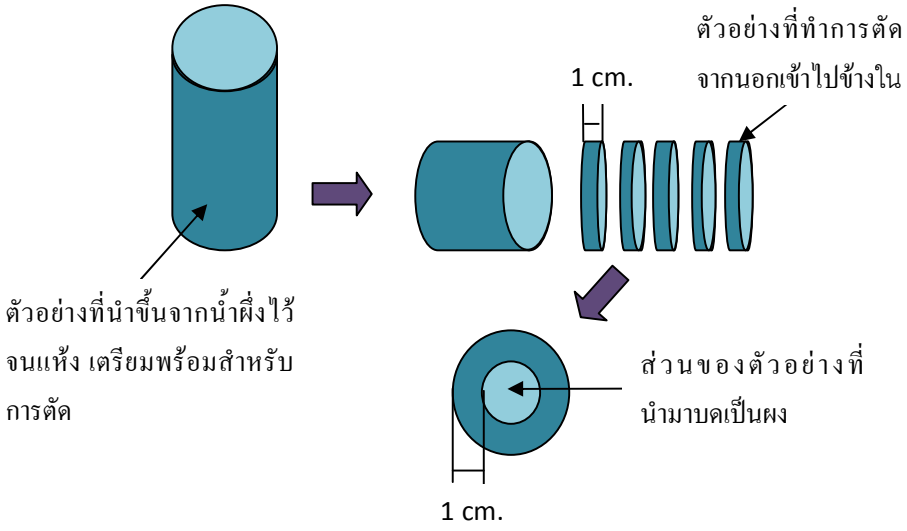
“C1F30W40” **หมายถึง** มอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ใช้เถ้าลอยแทนที่วัสดุประสานร้อยละ 30 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.40

“C1E10F30W40” **หมายถึง** มอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ใช้สารขยายตัวแทนที่วัสดุประสานร้อยละ 10 และเถ้าลอยร้อยละ30 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.40

หลังจากตัวอย่างแข็งตัวแล้ว ให้นำตัวอย่างไปบ่มในน้ำประปาเป็นเวลา 28 วัน หลังจากนั้นให้นำตัวอย่างที่ผ่านการบ่มในน้ำประปาเรียบร้อยแล้วให้เคลือบตัวอย่างด้วยสารเคลือบผิว ดังรูปที่ 3.20 และนำไปแช่ในน้ำเกลือที่มีความเข้มข้น 3.0% ต่อเป็นเวลาอีก 35, 91 และ 182 วัน ดังรูปที่ 3.21 เมื่อครบกำหนด ให้นำแท่งตัวอย่างที่ทิ้งไว้จนแห้งมาทำการตัดออกเป็นแผ่นลักษณะคล้ายแผ่นดิสก์ หนา 1 ซม จำนวน 5 แผ่น แล้วทำการบดแผ่นตัวอย่างให้เป็นผง โดยเลือกบดเฉพาะบริเวณที่อยู่กึ่งกลางของแผ่นตัวอย่างเท่านั้น ดังรูปที่ 3.22 เพื่อนำไปใช้ทดสอบหาปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดและปริมาณคลอไรด์อิสระต่อไป

รูปที่ 3.20 ตัวอย่างที่บ่มในน้ำประปาครบ 28 วัน แล้วทำการเคลือบผิวตัวอย่าง

รูปที่ 3.21 ตัวอย่างที่แช่ในน้ำเกลือเป็นระยะเวลา 35 91 และ 182วัน ตามลำดับ



รูปที่ 3.22 การตัดแท่งตัวอย่างและส่วนของตัวอย่างที่นำมาบดเป็นผง

รูปที่ 3.23 การตัดแท่งตัวอย่าง

รูปที่ 3.24 ตัวอย่างที่ถูกตัดเป็นแผ่นมีความหนา 1 เซนติเมตร

รูปที่ 3.25 ตัวอย่างที่นำมาทำการบด

2. การทดสอบการแทรกซึมคลอไรด์ในมอร์ต้าร์ด้วยวิธีการแช่แบบปกติ

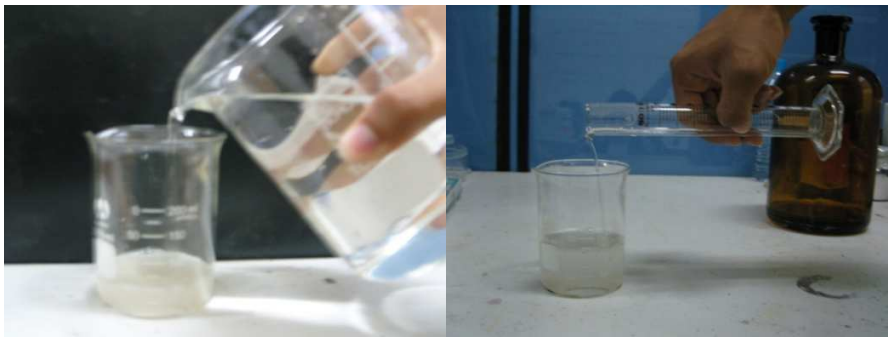
<u>การทดสอบหาปริมาณสารคลอไรด์ทั้งหมดในระบบ</u>

คลอไรด์ที่ละลายในกรด (Acid-soluble chloride) หรือคลอไรด์ทั้งหมด (Total chloride) ซึ่งมีวิธีการทดสอบหาปริมาณดังนี้ (ตามมาตรฐาน ASTM C1152 และมาตรฐาน C 114)

- นำสารซีเมนต์ที่บดเป็นผงมาจำนวนประมาณ 5 กรัม โดยชั่งละเอียดถึง 0.01 กรัม นำมาใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 ml

รูปที่ 3.26 การชั่งตัวอย่าง

- เติมน้ำกลั่นลงไปในบีกเกอร์ที่มีซีเมนต์บดเป็นผง ไว้แล้วจนถึงขีด100 ml แล้วเติมสารละลายกรดไนตริกที่ dilute ในอัตราส่วน 1:1 ลงไป 25 ml ตามลงไปทันที



รูปที่ 3.27 การเติมน้ำกลั่นและกรดไนตริกลงในตัวอย่าง

-ให้ความร้อนแก่บีกเกอร์ที่มีตัวอย่างด้วยการต้มให้เดือด อย่าให้เดือดเกิน 2 ถึง 3 นาที จากนั้นนำออกจากเครื่องต้ม (hot plate) แล้วทิ้งไว้ให้เย็น

รูปที่ 3.28 การต้มตัวอย่าง

- ประกอบเครื่องดูด (suction apparatus) และกรองสารละลายตัวอย่าง ล้างบีกเกอร์และด้วยน้ำกลั่นจำนวนเล็กน้อย ดังรูปที่ 6-21 ถ่ายสารละลายที่ผ่านการกรองจากขวดแก้วก้นโป่งไปยังบีกเกอร์ขนาด 250 ml และล้างขวดแก้วก้นโป่งทันทีด้วยน้ำกลั่น ทิ้งสารละลายที่ผ่านการกรองไว้ที่อุณหภูมิห้องปริมาตรต้องไม่เกิน175 ml

รูปที่ 3.29 การกรองสารละลายตัวอย่าง

- สำหรับบิกเกอร์สารที่เย็นแล้ว วางบิกเกอร์บนเครื่องกวนแม่เหล็กและใส่ TFE-fluorocarbon-coated magnetic stirring bar ลงไป แช่ electrode ลงในสารละลายด้วยความระมัดระวังอย่าให้ stirring bar ไปชน electrode เริ่มการกวนช้าๆ วางปลายส่งของ 10-ml buret ที่เต็มไปด้วยสารละลายมาตรฐาน 0.05 N ซิลเวอร์ไนเตรท (silver nitrate) ลงในหรือ อยู่เหนือสารละลาย

รูปที่ 3.30 การใช้เครื่อง Auto titration

- เครื่อง Auto titration จะทำการไตรเตรทให้โดยอัตโนมัติ โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงประจุไฟฟ้าของของตัวอย่าง เมื่อถึงจุดยุติ (End point) เครื่อง Auto titration จะแสดงปริมาณคลอไรด์และปริมาณของซิลเวอร์ไนเตรท (silver nitrate) ที่ใช้และประจุ ดังรูปที่ 3.31

รูปที่ 3.31 การไทเทรตหาปริมาณคลอไรด์

- อ่านและทำการบันทึกผลที่ได้จากเครื่อง Auto titration

การทดสอบหาปริมาณสารคลอไรด์อิสระในระบบ

คลอไรด์ที่ละลายน้ำ (Water-soluble chloride) หรือคลอไรด์อิสระ (Free chloride) ซึ่งมีวิธีการทดสอบหาปริมาณดังนี้ (ตามมาตรฐาน ASTM C 1218 และมาตรฐานC 114)

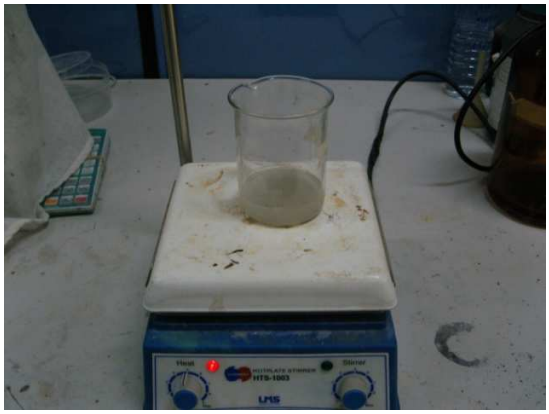
- นำสารซีเมนต์ที่บดเป็นผงมาจำนวนประมาณ 5 กรัม โดยชั่งละเอียดถึง 0.01 กรัม นำมาใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 ml

รูปที่ 3.32 การชั่งตัวอย่าง

- เติมน้ำ (reagent water meeting Specification D 1193) ลงไป 50 ml

รูปที่ 3.33 การเติมน้ำกลั่นลงในตัวอย่าง

-นำไปต้มให้เดือด 5 นาที ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง



รูปที่ 3.34 การต้มตัวอย่าง

- ประกอบเครื่องดูด (Suction apparatus) และกรองสารละลายตัวอย่าง ล้างบีกเกอร์ด้วยน้ำกลั่นจำนวนเล็กน้อย ถ่ายสารละลายที่ผ่านการกรองจากขวดแก้วก้นโป่งไปยังบีกเกอร์ขนาด 250 ml และล้างขวดแก้วก้นโป่งทันทีด้วยน้ำกลั่น ปริมาตรต้องไม่เกิน 175 ml

รูปที่ 3.35 การกรองสารละลายตัวอย่าง

- เติมสารละลายกรดไนตริกที่ dilute ในอัตราส่วน 1:1 ลงไป 3 ml และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) 30% ลงไป 3 ml ลงในสารละลายที่ผ่านการกรอง ปิดบีกเกอร์ด้วยแผ่นกระเบื้องแล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ถึง 2 นาที ให้ความร้อนอย่างรวดเร็วแก่บิกเกอร์ที่ปิดฝาจนเดือด อย่าให้เดือดนานเกิน 2 ถึง 3 นาที จากนั้นนำออกจากเครื่องต้ม (Hot plate)

รูปที่ 3.36 การเติมสารลงในตัวอย่าง

- สำหรับบีกเกอร์สารที่เย็นแล้ว วางบีกเกอร์บนเครื่องกวนแม่เหล็กและใส่ TFE-fluorocarbon-coated magnetic stirring bar ลงไป แช่ electrode ลงในสารละลายด้วยความระมัดระวังอย่าให้ stirring bar ไปชน electrode เริ่มการกวนช้าๆ วางปลายส่งของ 10-ml buret ที่เต็มไปด้วยสารละลายมาตรฐาน 0.05 N ซิลเวอร์ไนเตรท (Silver nitrate) ลงในหรืออยู่เหนือสารละลาย

รูปที่ 3.37 การใช้เครื่อง Autotitration

- เครื่อง Auto titration จะทำการไตรเตรทให้โดยอัตโนมัติ โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงประจุไฟฟ้าของของตัวอย่าง เมื่อถึงจุดยุติ (End point) เครื่อง Auto titration จะแสดงปริมาณคลอไรด์และปริมาณของซิลเวอร์ไนเตรท (Silver nitrate) ที่ใช้และประจุ ดังรูปที่ 3.38

รูปที่ 3.38 การไทเทรตหาปริมาณคลอไรด์

- อ่านและทำการบันทึกผลที่ได้จากเครื่อง Auto titration

บทที่ 4

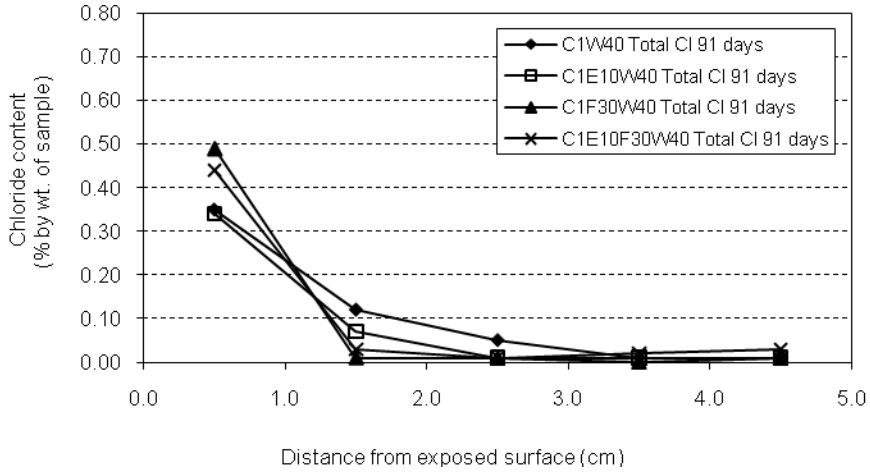
ผลการทดลองและอภิปรายผล

ผลการทดลองการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ต้าร์

การทดลองการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน(w/b) 3 อัตราส่วนคือ 0.30 0.40 และ 0.50 อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสานด้วยสารปอซโซลานที่ (p/b) 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25 และ 0.30 และใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ทำการทดสอบที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 35 91 และ 182 วัน โดยมีรายละเอียดผลการทดลองดังนี้

4.1 การแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอยและสารขยายตัว

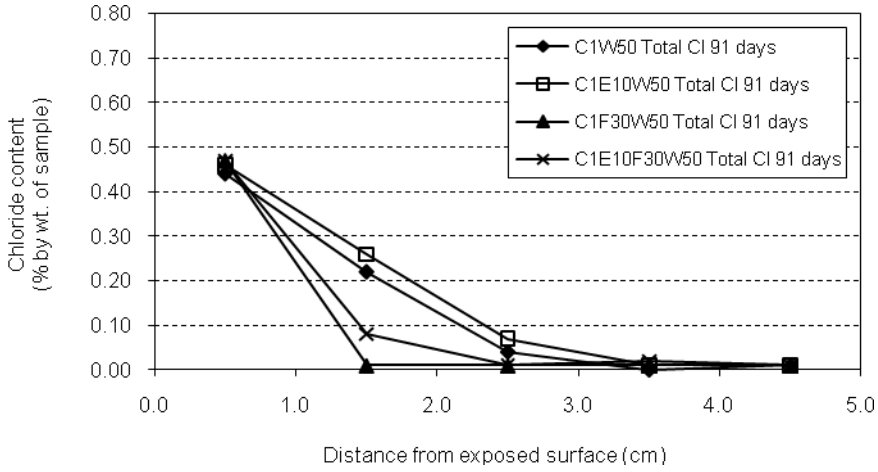
ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 เป็นวัสดุประสานหลักของมอร์ต้าร์ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 และ 0.50 และใช้เถ้าลอยและสารขยายตัวแทนที่วัสดุประสานที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.30 และ 0.10 ตามลำดับ ทำการทดสอบที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 และ 182 วัน



รูปที่ 4.1 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดของมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักและผสมสารขยายตัวและเถ้าลอย เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 วัน

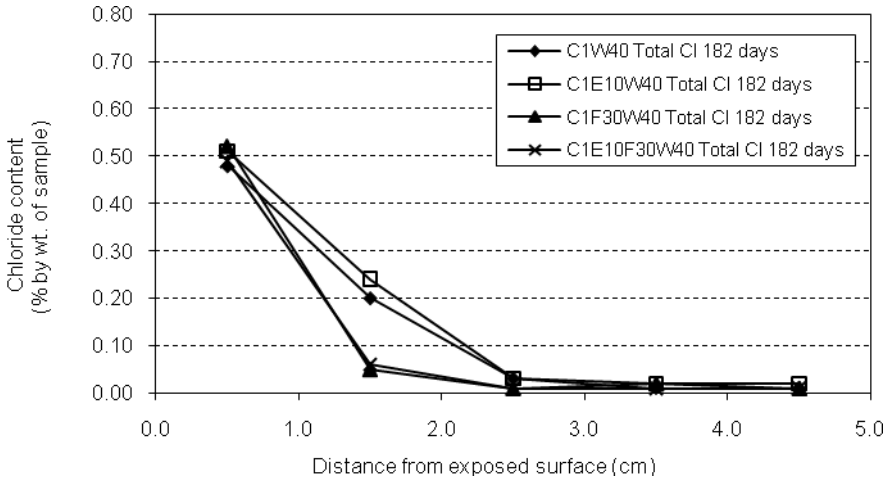
จากรูปที่ 4.1 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการกระจายการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักและผสมสารขยายตัวที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.10 มอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอยที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.30 และมอร์ต้าร์ที่ผสมทั้งสารขยายตัวและเถ้าลอยที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.10 และ 0.30 โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 และระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 วัน เท่ากันพบว่า มอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอยเพียงอย่างเดียวที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.30 มีการแทรกซึมคลอไรด์น้อยที่สุด และมอร์ต้าร์ซีเมนต์ล้วนมีการแทรกซึมคลอไรด์มากที่สุด ส่วนมอร์ต้าร์ที่ผสมสารขยายตัวเพียงอย่างเดียวที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.10 และมอร์ต้าร์ที่ผสมทั้งเถ้าลอยและสารขยายตัวที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.10 และ 0.30 มีการแทรกซึมคลอไรด์น้อยลงมา ตามลำดับ ทั้งนี้ความแตกต่างของการแทรกซึมคลอไรด์ยังไม่ชัดเจนมากนัก เนื่องจากอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่ำและระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ยังไม่นานนัก

แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการกระจายการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ในรูปที่ 4.2-4.4 ซึ่งเป็นของมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักและผสมสารขยายตัวที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.10 มอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอยที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.30 และมอร์ต้าร์ที่ผสมทั้งสารขยายตัวและเถ้าลอยที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.10 และ 0.30 เช่นกัน และมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 และ 0.50 ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์การทดลองที่ 91 และ 182 วัน พบว่า มอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอยเพียงอย่างเดียวที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.30

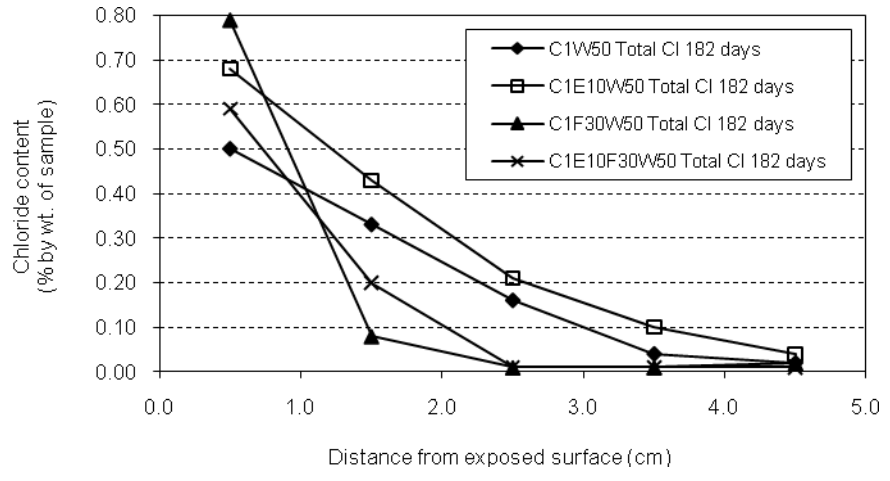


รูปที่ 4.2 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดของมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักและผสมสารขยายตัวและเถ้าลอย เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 วัน

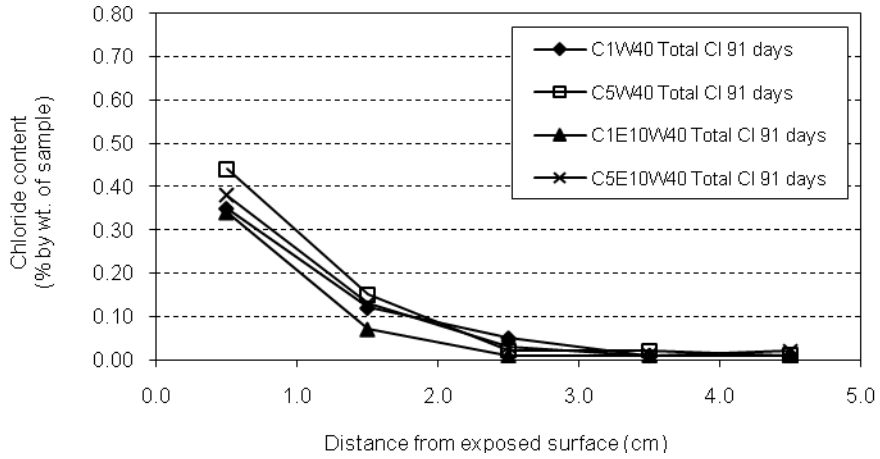
มีการแทรกซึมคลอไรด์น้อยที่สุด มอร์ต้าร์ที่ผสมสารขยายตัวเพียงอย่างเดียวที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.10 มีการแทรกซึมคลอไรด์มากที่สุด ส่วนมอร์ต้าร์ซีเมนต์ล้วน มอร์ต้าร์ที่ผสมทั้งเถ้าลอยและสารขยายตัวที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.10 และ 0.30 มีการแทรกซึมคลอไรด์น้อยลงมาตามลำดับ



รูปที่ 4.3 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก และผสมสารขยายตัวและเถ้าลอยเทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 182 วัน

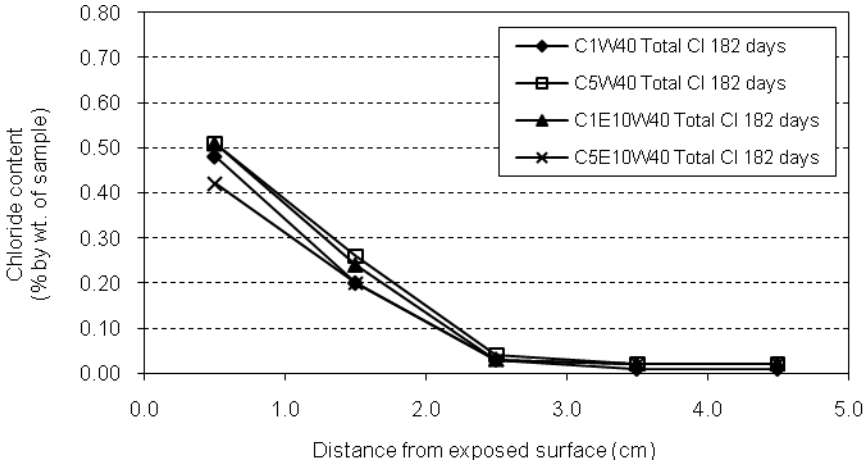


รูปที่ 4.4 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก และผสมสารขยายตัวและเถ้าลอย เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 182 วัน



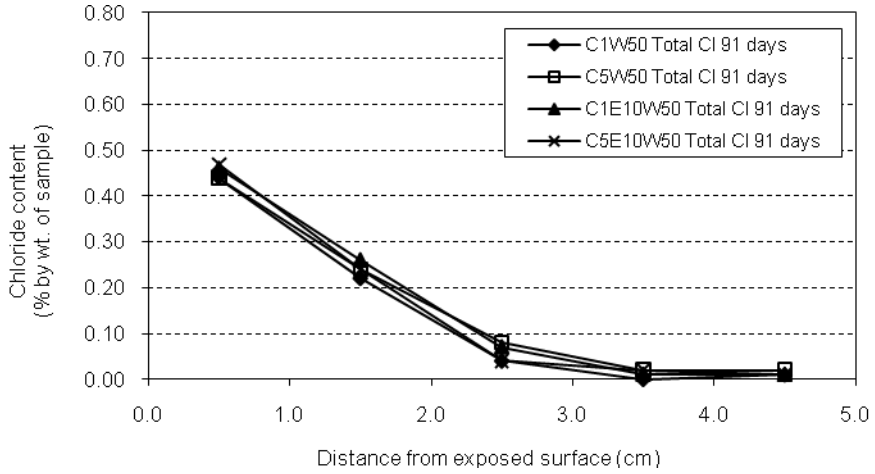
รูปที่ 4.5 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 เป็นวัสดุประสานหลัก และผสมสารขยายตัว เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ที่ระยะเวลาแผชิญคลอไรด์ 91 วัน

จากรูปที่ 4.5 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการกระจายการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 เป็นวัสดุประสานหลักที่ผสมสารขยายตัวที่อัตราส่วนแทนที่ของวัสดุประสาน 0.10 มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ในระยะเวลาแผชิญคลอไรด์ 91 วัน เท่ากันพบว่า มอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักที่ผสมสารขยายตัวที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.10 มีการแทรกซึมคลอไรด์น้อยที่สุด มอร์ต้าร์ซีเมนต์ล้วนที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 เป็นวัสดุประสานหลักมีการแทรกซึมคลอไรด์มากที่สุด ส่วนมอร์ต้าร์ซีเมนต์ล้วนที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก มอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 เป็นวัสดุประสานหลักที่ผสมสารขยายตัวที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.10 มีการแทรกซึมคลอไรด์น้อยลง ตามลำดับ



รูปที่ 4.6 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 เป็นวัสดุประสานหลัก และผสมสารขยายตัว เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 182 วัน

จากรูปที่ 4.6 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการกระจายการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ซีเมนต์ล้วนที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 เป็นวัสดุประสานหลัก และมอร์ต้าร์ใช้ที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 เป็นวัสดุประสานหลักที่ผสมสารขยายตัวที่อัตราส่วนการผสมสารขยายตัว 0.10 มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 และระยะเวลาเผชิญเกลือคลอไรด์ 182 วัน เท่ากันพบว่า มอร์ต้าร์ซีเมนต์ล้วนที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีการแทรกซึมคลอไรด์น้อยที่สุด มอร์ต้าร์ซีเมนต์ล้วนที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 มีการแทรกซึมคลอไรด์มากที่สุด ส่วน มอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 เป็นวัสดุประสานหลักที่ผสมสารขยายตัวในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.10 มีการแทรกซึมคลอไรด์น้อยลงมาใกล้เคียงกัน

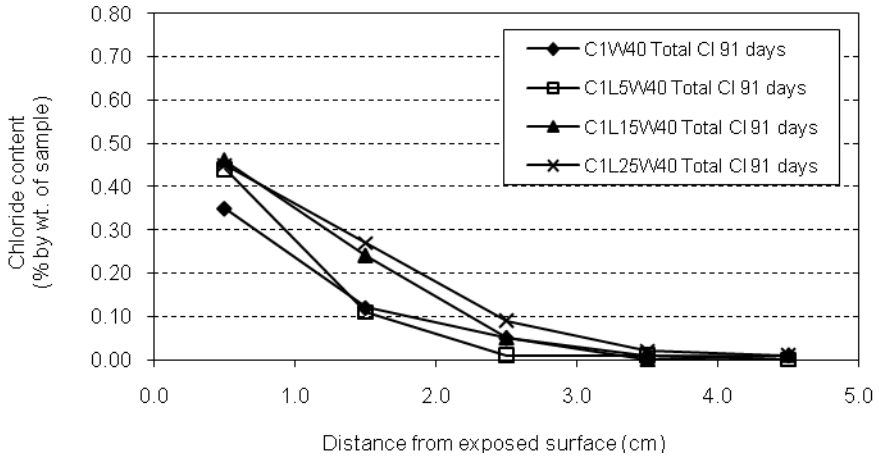


รูปที่ 4.7 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 เป็นวัสดุประสานหลัก และผสมสารขยายตัว เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 วัน

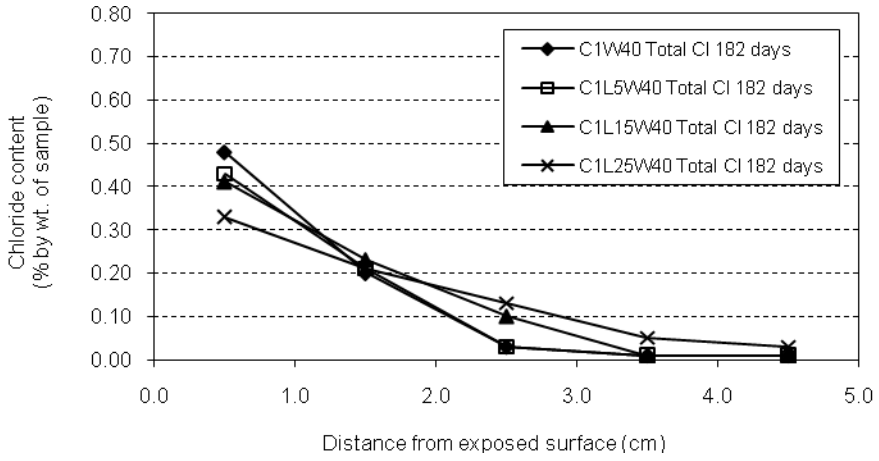
จากรูปที่ 4.7 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการกระจายการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ซีเมนต์ล้วนที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 เป็นวัสดุประสานหลัก และมอร์ต้าร์ใช้ที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 เป็นวัสดุประสานหลักที่ผสมสารขยายตัวที่อัตราส่วนการผสมสารขยายตัว 0.10 มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 และระยะเวลาเผชิญเกลือคลอไรด์ 91 วัน เท่ากันพบว่า มอร์ต้าร์ซีเมนต์ล้วนที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีการแทรกซึมคลอไรด์น้อยที่สุด มอร์ต้าร์ซีเมนต์ล้วนที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 มีการแทรกซึมคลอไรด์มากที่สุด ส่วน มอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 เป็นวัสดุประสานหลักที่ผสมสารขยายตัวในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.10 มีการแทรกซึมคลอไรด์น้อยลงมาใกล้เคียงกันเช่นกัน

4.2 การแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอยและผงหินปูน

ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักของมอร์ต้าร์ ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 และ 0.50 ใช้เถ้าลอยแทนที่วัสดุประสานที่อัตราส่วน 0.05 0.15 0.25 และ 0.30 ส่วนผงหินปูนใช้แทนที่วัสดุประสานที่อัตราส่วน 0.05 0.15 และ 0.25 ทำการทดสอบที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 และ 182 วัน



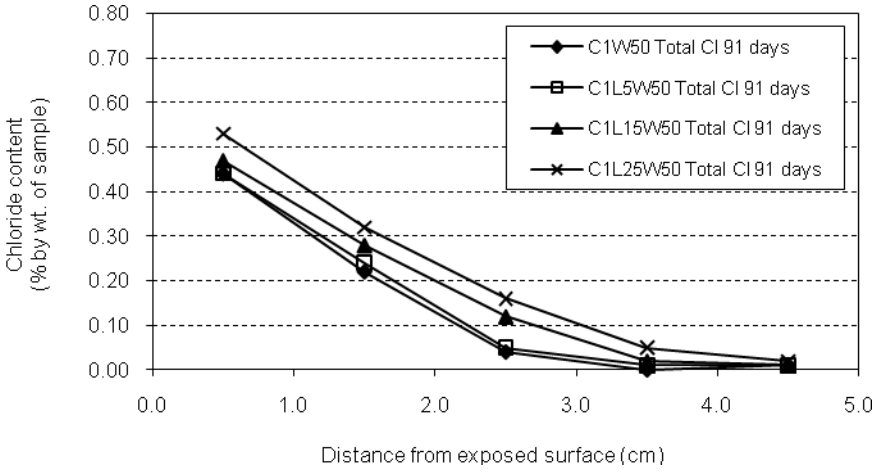
รูปที่ 4.8 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก และผสมผงหินปูน ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสานต่างๆ เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 วัน



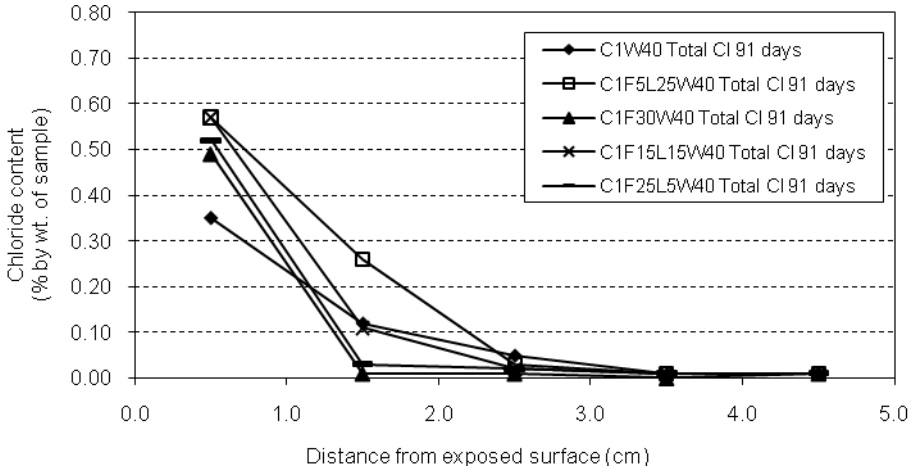
รูปที่ 4.9 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก และผสมผงหินปูนในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสานต่างๆ เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 182 วัน

จากรูปที่ 4.8 และ 4.9 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการกระจายการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์แลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักที่ผสมผงหินปูนที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.05 0.15 และ 0.25 มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 และระยะเวลาเผชิญเกลือคลอไรด์ 91 และ 182 วัน เท่ากันพบว่า มอร์ต้าร์ที่ผสมผงหินปูนในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.05 มีการแทรกซึมคลอไรด์น้อยที่สุด ส่วนมอร์ต้าร์ซีเมนต์ล้วน และมอร์ต้าร์ที่ผสมผงหินปูนในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.15 และ0.05 มีการแทรกซึมคลอไรด์เพิ่มมากขึ้นตามลำดับ

แต่เมื่อพิจารณารูปที่ 4.10 ซึ่งแสดงการกระจายการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์แลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักที่ผสมผงหินปูนที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.05 0.15 และ 0.25 มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 และระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 วัน เท่ากันพบว่า มอร์ต้าร์ซีเมนต์ล้วนการแทรกซึมคลอไรด์ที่น้อยที่สุด ส่วนมอร์ต้าร์ที่ผสมผงหินปูนที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.05 0.15 และ 0.25 มีการแทรกซึมคลอไรด์เพิ่มมากขึ้นตามลำดับ

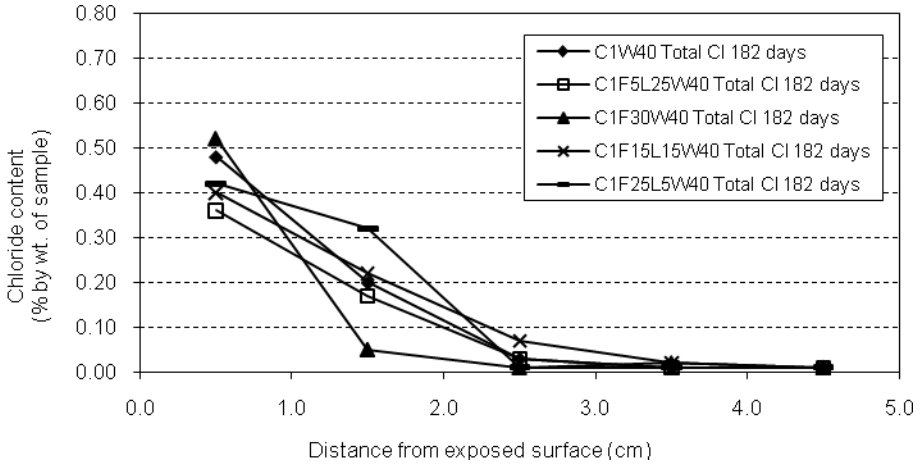


รูปที่ 4.10 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักและผสมผงหินปูนในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสานต่างๆ เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 วัน



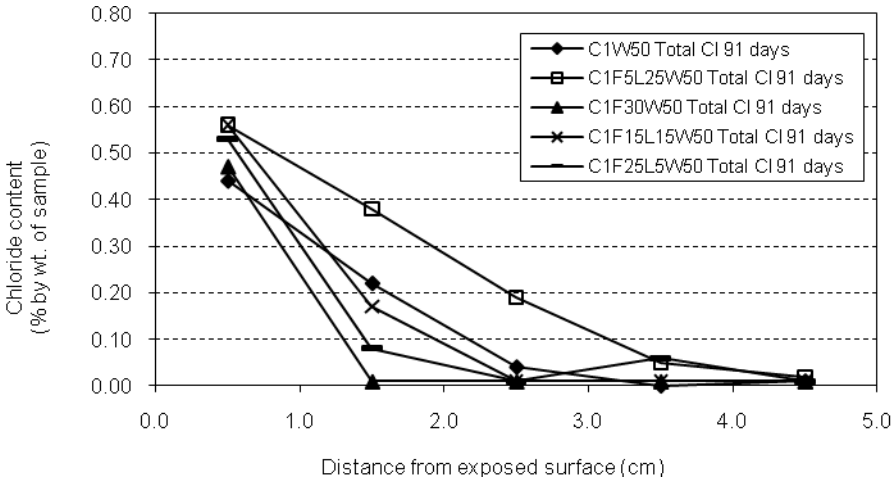
รูปที่ 4.11 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักและผสมเถ้าลอยและผงหินปูน ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสานต่างๆ เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 วัน

จากรูปที่ 4.11 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการกระจายการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ซีเมนต์ล้วนใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก มอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักที่ผสมเถ้าลอยที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสานด้วยเถ้าลอย 0.30 และมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอยและผงหินปูนที่อัตราส่วนแทนที่ต่างๆ ซึ่งรวมแล้วเท่ากับ 0.30 มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 และระยะเวลาเผชิญเกลือคลอไรด์ 91 วัน เท่ากันพบว่ามอร์ต้าร์ผสมเถ้าลอยในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสานด้วยเถ้าลอย 0.30 มีการแทรกซึมคลอไรด์น้อยที่สุด มอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอยกับผงหินปูนที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.05 และ 0.25 ตามลำดับมีการแทรกซึมคลอไรด์มากที่สุด ส่วนมอร์ต้าร์ซีเมนต์ล้วน มอร์ต้าร์ผสมเถ้าลอยกับผงหินปูนที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.15 และ 0.15 ตามลำดับ และมอร์ต้าร์ผสมเถ้าลอยกับผงหินปูนที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.25 และ 0.05 ตามลำดับ มีการแทรกซึมคลอไรด์น้อยลงมาตามลำดับ



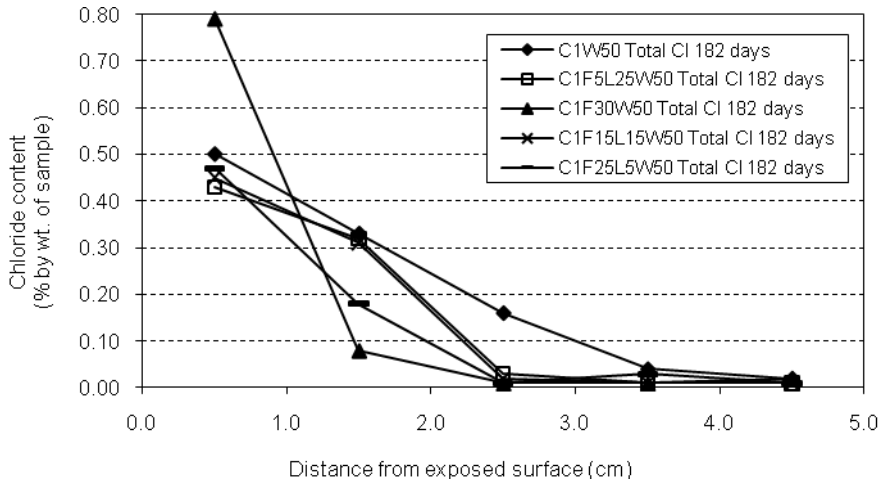
รูปที่ 4.12 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักและผสมเถ้าลอยและผงหินปูนในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสานต่างๆ เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 182 วัน

จากรูปที่ 4.12 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการกระจายการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ซีเมนต์ล้วนใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก มอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักที่ผสมเถ้าลอยที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสานด้วยเถ้าลอย 0.30 และมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอยและผงหินปูนที่อัตราส่วนแทนที่ต่างๆ ซึ่งรวมแล้วเท่ากับ 0.30 มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 และระยะเวลาเผชิญเกลือคลอไรด์ 182 วัน เท่ากันพบว่ามอร์ต้าร์ผสมเถ้าลอยในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสานด้วยเถ้าลอย 0.30 มีการแทรกซึมคลอไรด์น้อยที่สุด ส่วนมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอยกับผงหินปูนที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสานต่างๆ และมอร์ต้าร์ซีเมนต์ล้วนมีการแทรกซึมคลอไรด์มากขึ้นอย่างชัดเจน



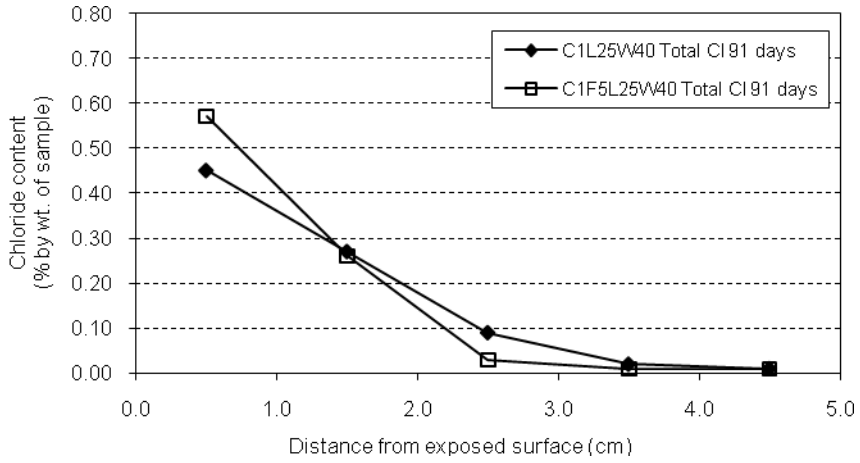
รูปที่ 4.13 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักและผสมผงหินปูน ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสานต่างๆ เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 วัน

จากรูปที่ 4.13 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการกระจายการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ซีเมนต์ล้วนใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก มอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักที่ผสมเถ้าลอยที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสานด้วยเถ้าลอย 0.30 และมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอยและผงหินปูนที่อัตราส่วนแทนที่ต่างๆ ซึ่งรวมแล้วเท่ากับ 0.30 มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 และระยะเวลาเผชิญเกลือคลอไรด์ 91 วัน เท่ากันพบว่ามอร์ต้าร์ผสมเถ้าลอยในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสานด้วยเถ้าลอย 0.30 มีการแทรกซึมคลอไรด์น้อยที่สุด มอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอยกับผงหินปูนที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.05 และ 0.25 ตามลำดับมีการแทรกซึมคลอไรด์มากที่สุด ส่วนมอร์ต้าร์ซีเมนต์ล้วน มอร์ต้าร์ผสมเถ้าลอยกับผงหินปูนที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.15 และ 0.15 ตามลำดับ และมอร์ต้าร์ผสมเถ้าลอยกับผงหินปูนที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.25 และ 0.05 ตามลำดับ มีการแทรกซึมคลอไรด์น้อยลงมาตามลำดับ เช่นเดียวกับการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ในรูปที่ 4.11 แต่ชัดเจนขึ้นเนื่องจากใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานสูงขึ้นที่ 0.50

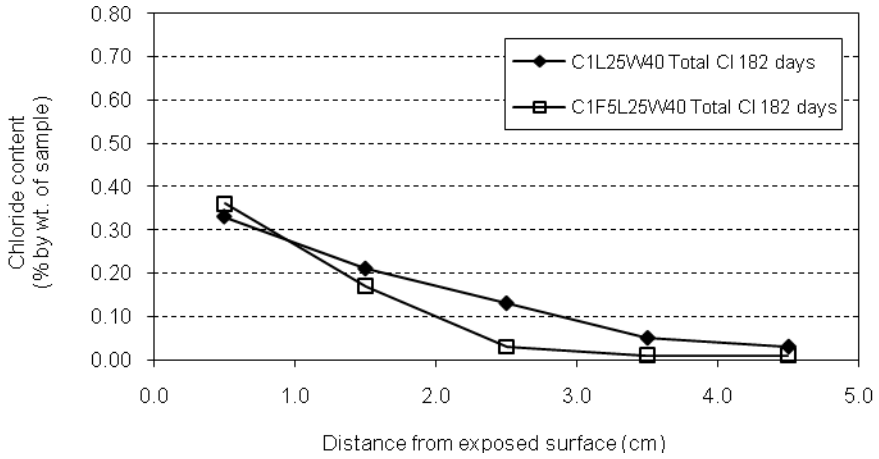


รูปที่ 4.14 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักและผสมผงหินปูน ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสานต่างๆ เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 182 วัน

จากรูปที่ 4.14 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการกระจายการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ซีเมนต์ล้วนใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก มอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักที่ผสมเถ้าลอยที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสานด้วยเถ้าลอย 0.30 และมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอยและผงหินปูนที่อัตราส่วนแทนที่ต่างๆ ซึ่งรวมแล้วเท่ากับ 0.30 มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 และระยะเวลาเผชิญเกลือคลอไรด์ 182 วัน เท่ากันพบว่ามอร์ต้าร์ผสมเถ้าลอยในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสานด้วยเถ้าลอย 0.30 มีการแทรกซึมคลอไรด์น้อยที่สุด มอร์ต้าร์ซีเมนต์ล้วนมีการแทรกซึมคลอไรด์มากที่สุด ส่วนมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอยกับผงหินปูนที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.05 และ 0.25 ตามลำดับ มอร์ต้าร์ผสมเถ้าลอยกับผงหินปูนที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.15 และ 0.15 ตามลำดับ และมอร์ต้าร์ผสมเถ้าลอยกับผงหินปูนที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.25 และ 0.05 ตามลำดับ มีการแทรกซึมคลอไรด์น้อยลงมาตามลำดับ เช่นเดียวกับการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ในรูปที่ 4.13



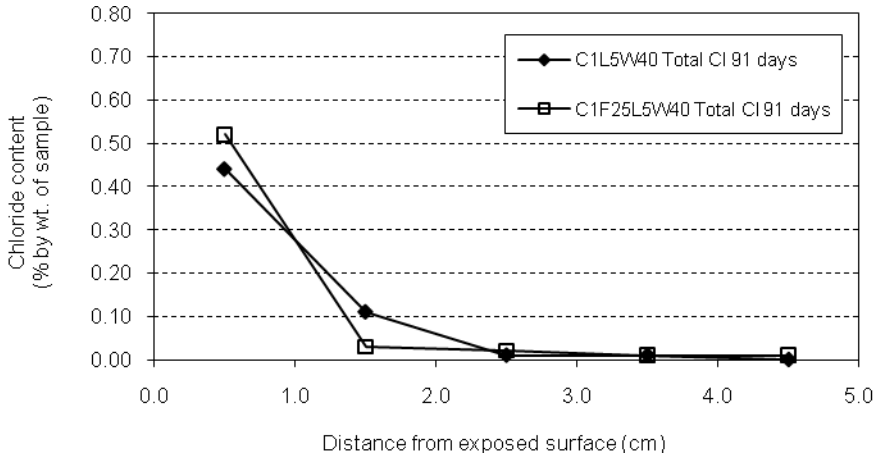
รูปที่ 4.15 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักและผสมเถ้าลอยและผงหินปูนในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.05 และ 0.25 ตามลำดับเทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 วัน



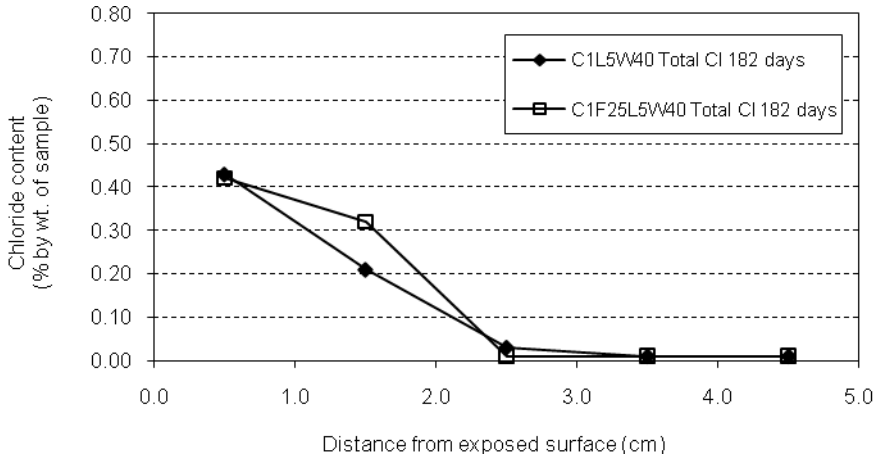
รูปที่ 4.16 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักและผสมเถ้าลอยและผงหินปูนในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.05 และ 0.25 ตามลำดับเทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 182 วัน

จากรูปที่ 4.15 และ 4.16 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการกระจายการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักที่ผสมผงหินปูนที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.25 และมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักที่ผสมเถ้าลอยและผงหินปูนที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.05 และ 0.25 ตามลำดับ ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 และระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 และ 182 วัน เท่ากันพบว่า มอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอยและผงหินปูนที่อัตราส่วนแทนที่ของวัสดุประสานเท่ากับ 0.05 และ 0.25

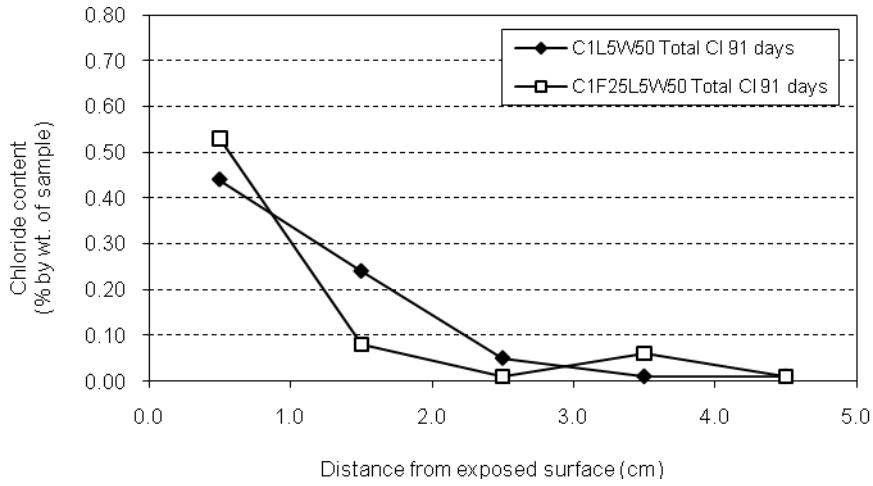
ตามลำดับ มีการแทรกซึมคลอไรด์น้อยกว่ามอร์ต้าร์ที่ผสมผงหินปูนที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.25 เนื่องจากผลของปฏิกิริยาปอซโซลานิกของเถ้าลอยทำให้เนื้อมอร์ต้าร์แน่นขึ้นและการแทรกซึมคลอไรด์ต่ำลง



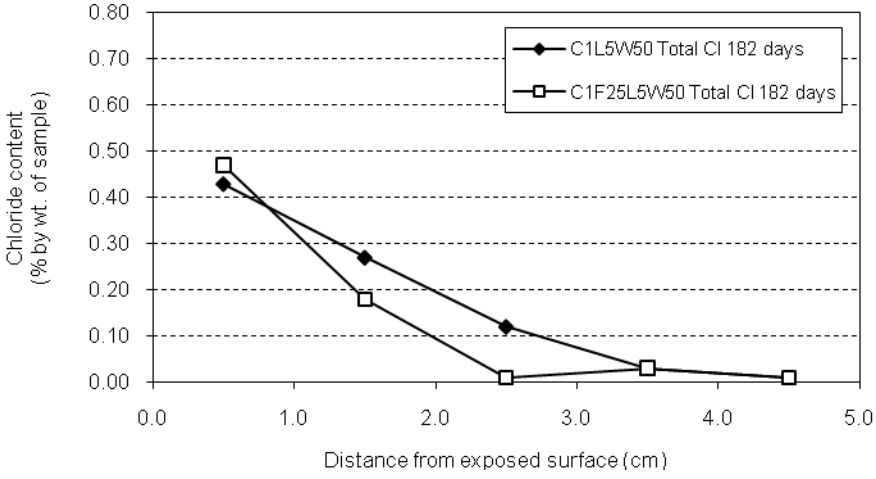
รูปที่ 4.17 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักและผสมเถ้าลอยและผงหินปูนในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.25 และ 0.05 ตามลำดับ เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ที่ระยะเวลาแผชิญคลอไรด์ 91 วัน



รูปที่ 4.18 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักและผสมเถ้าลอยและผงหินปูนในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.25 และ 0.05 ตามลำดับ เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ที่ระยะเวลาแผชิญคลอไรด์ 182 วัน

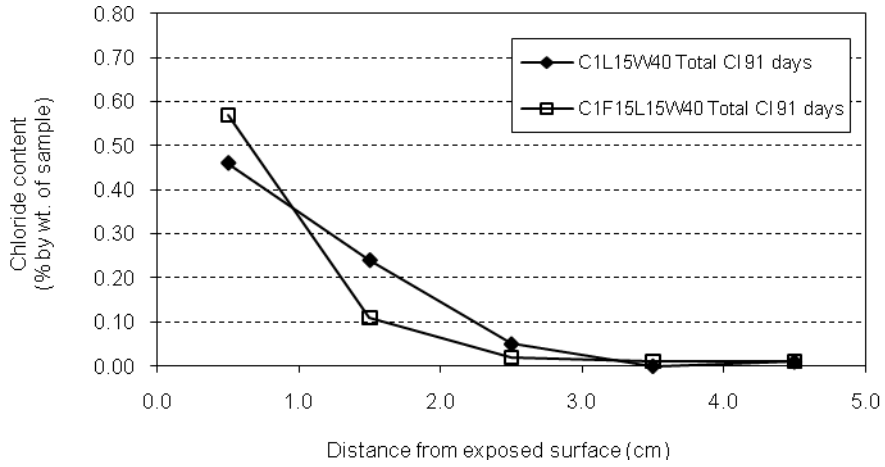


รูปที่ 4.19 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักและผสมเถ้าลอยและผงหินปูน ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.25 และ 0.05 ตามลำดับ เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่ระยะเวลาแผชิญคลอไรด์ 91 วัน

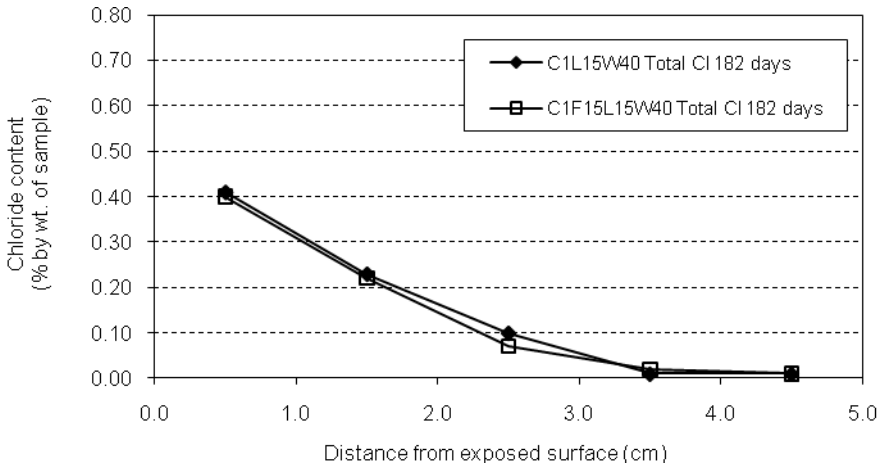


รูปที่ 4.20 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักและผสมเถ้าลอยและผงหินปูน ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.25 และ 0.05 ตามลำดับ เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่ระยะเวลาแผชิญคลอไรด์ 182 วัน

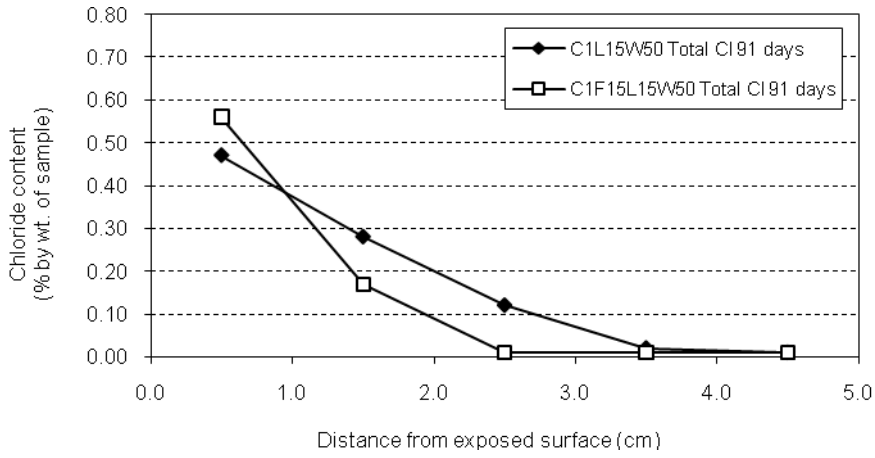
จากรูปที่ 4.17 และ 4.20 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการกระจายการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักที่ผสมผงหินปูนที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.05 และมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักที่ผสมเถ้าลอยและผงหินปูนที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.25 และ 0.05 ตามลำดับ ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 และ 0.50 และระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 และ 182 วัน เท่ากัน พบว่า มอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอยและผงหินปูนที่อัตราส่วนแทนที่ของวัสดุประสานเท่ากับ 0.25 และ 0.05 ตามลำดับ มีการแทรกซึมคลอไรด์น้อยกว่ามอร์ต้าร์ที่ผสมผงหินปูนที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.05 อย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากผลของปฏิกิริยาปอซโซลานิกของเถ้าลอยทำให้เนื้อมอร์ต้าร์แน่นขึ้นและการแทรกซึมคลอไรด์ต่ำลง



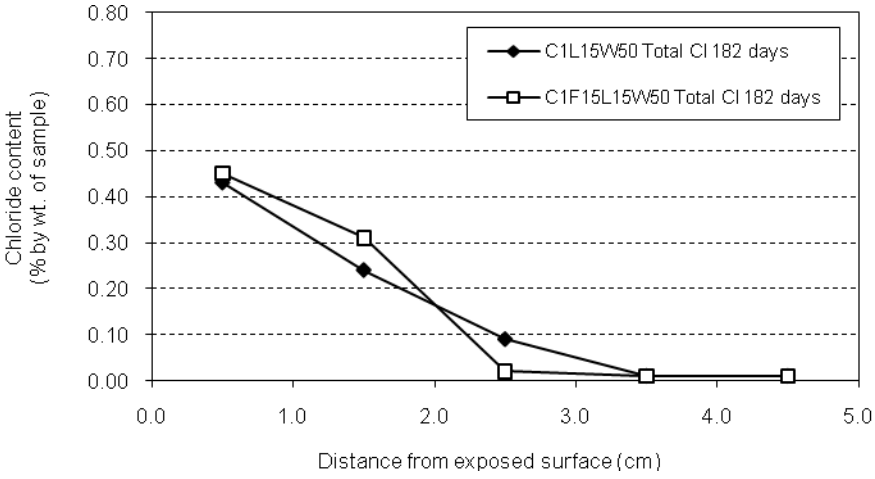
รูปที่ 4.21 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักและผสมเถ้าลอยและผงหินปูนในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.15 และ 0.15ตามลำดับ เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 วัน



รูปที่ 4.22 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักและผสมเถ้าลอยและผงหินปูนในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.15 และ 0.15ตามลำดับ เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 182 วัน



รูปที่ 4.23 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก และผสมเถ้าลอยและผงหินปูน ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.15 และ 0.15ตามลำดับ เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 วัน

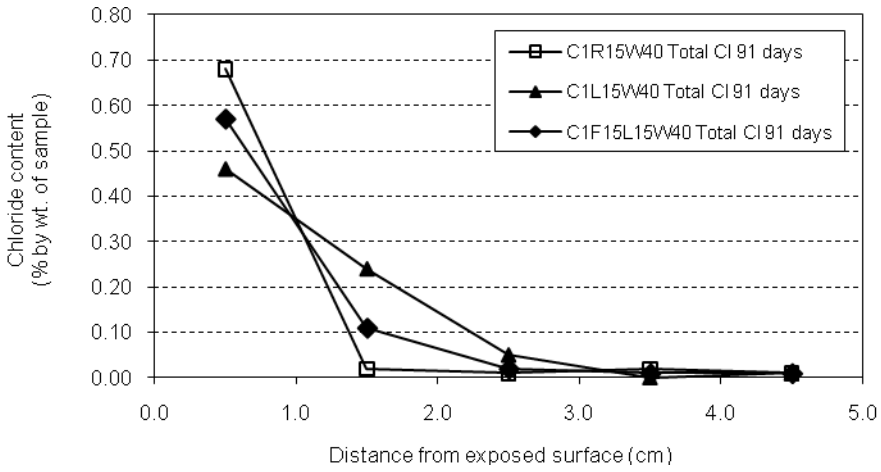


รูปที่ 4.24 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก และผสมเถ้าลอยและผงหินปูน ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.15 และ 0.15ตามลำดับ เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 182 วัน

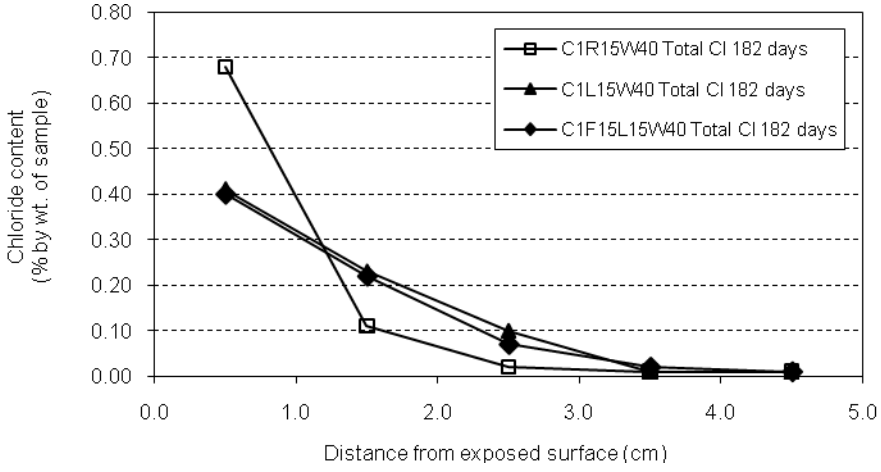
จากรูปที่ 4.21 และ 4.24 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการกระจายการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักที่ผสมผงหินปูนที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.15 และมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักที่ผสมเถ้าลอยและผงหินปูนที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.15 และ 0.15 ตามลำดับ ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 และ 0.50 และระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 และ 182 วัน เท่ากัน พบว่า มอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอยและผงหินปูนที่อัตราส่วนแทนที่ของวัสดุประสานเท่ากับ 0.15 และ 0.15 ตามลำดับ มีการแทรกซึมคลอไรด์น้อยกว่ามอร์ต้าร์ที่ผสมผงหินปูนที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.15 อย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากผลของปฏิกิริยาปอซโซลานิกของเถ้าลอยทำให้เนื้อมอร์ต้าร์แน่นขึ้นและการแทรกซึมคลอไรด์ต่ำลง

4.3 การแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าแกลบ

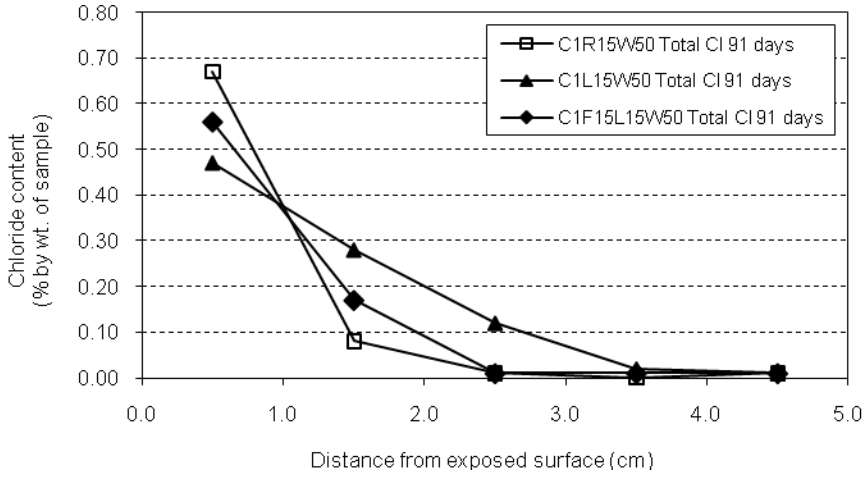
ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักของมอร์ต้าร์ ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 และ 0.50 ใช้เถ้าแกลบแทนที่วัสดุประสานที่อัตราส่วน 0.15 ทำการทดสอบที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 และ 182 วัน



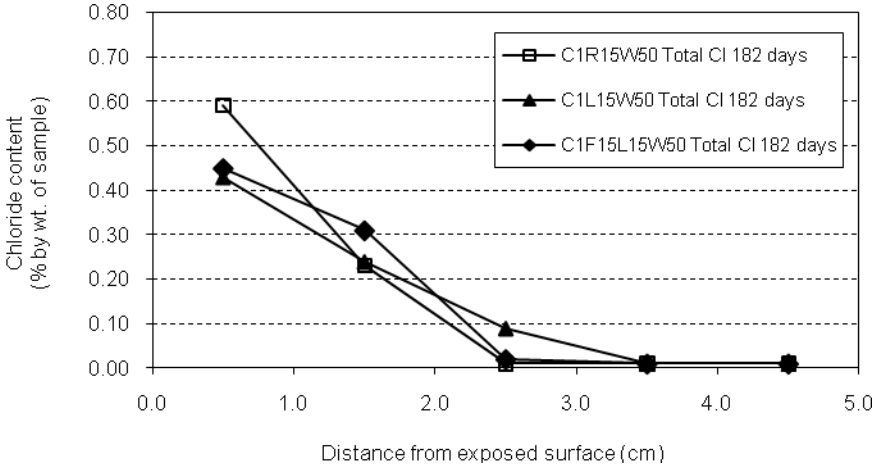
รูปที่ 4.25 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักและผสมเถ้าแกลบ เถ้าลอยและผงหินปูน ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.15 เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 วัน



รูปที่ 4.26 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักและผสมเถ้าแกลบ เถ้าลอยและผงหินปูน ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.15 เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 182 วัน



รูปที่ 4.27 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักและผสมเถ้าแกลบ เถ้าลอยและผงหินปูน ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.15 เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 วัน



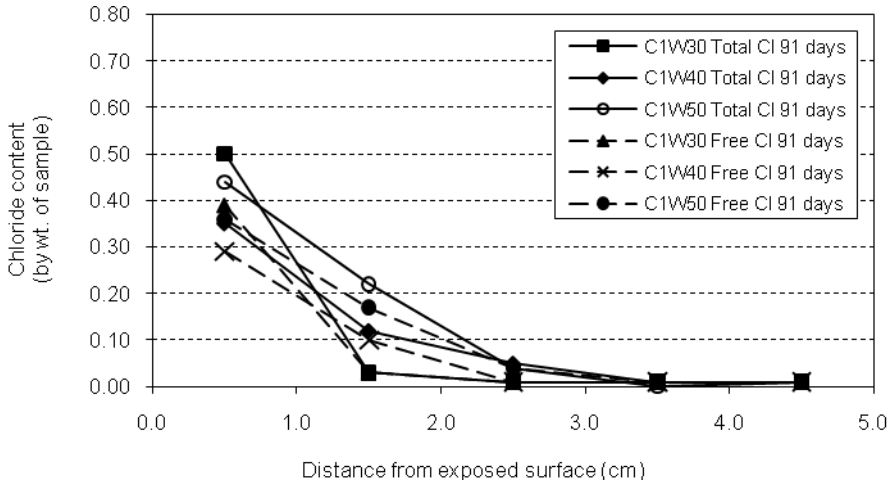
รูปที่ 4.28 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักและผสมเถ้าแกลบ เถ้าลอยและผงหินปูน ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.15 เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 182 วัน

จากรูปที่ 4.25 และ 4.26 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการกระจายการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักที่ผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.15 มอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักที่ผสมผงหินปูนที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.15 และมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักที่ผสมเถ้าลอยและผงหินปูนที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.15 และ 0.15 ตามลำดับ ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 และระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 และ 182 วัน เท่ากันพบว่า มอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.15 มีการแทรกซึมคลอไรด์น้อยที่สุด ส่วนมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอยและผงหินปูนที่อัตราส่วนแทนที่ของวัสดุประสานเท่ากับ 0.15 และ 0.15 ตามลำดับ และมอร์ต้าร์ที่ผสมผงหินปูนที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.15 มีการแทรกซึมคลอไรด์มากขึ้น ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.27 และ 4.28 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการกระจายการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักที่ผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.15 มอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักที่ผสมผงหินปูนที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.15 และมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักที่ผสมเถ้าลอยและผงหินปูนที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.15 และ 0.15 ตามลำดับ ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 และระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 และ 182 วัน เท่ากันพบว่า มอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.15 มีการแทรกซึมคลอไรด์น้อยที่สุด ส่วนมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอยและผงหินปูนที่อัตราส่วนแทนที่ของวัสดุประสานเท่ากับ 0.15 และ 0.15 ตามลำดับ และมอร์ต้าร์ที่ผสมผงหินปูนที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.15 มีการแทรกซึมคลอไรด์มากขึ้น ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ในรูปที่ 4.25 และ 4.26

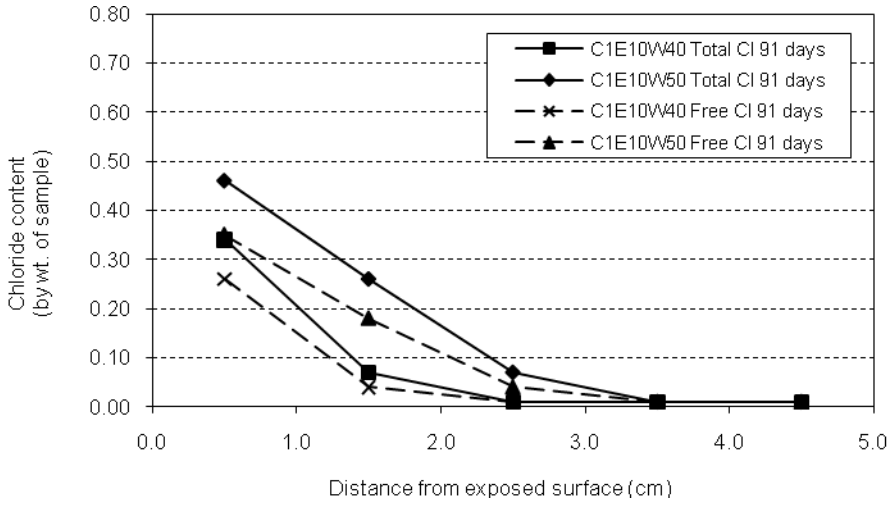
4.4 การแทรกซึมคลอไรด์ในมอร์ต้าร์ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างกัน

ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักของมอร์ต้าร์ ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.30 0.40 และ 0.50 ทำการทดสอบที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 และ 182 วัน

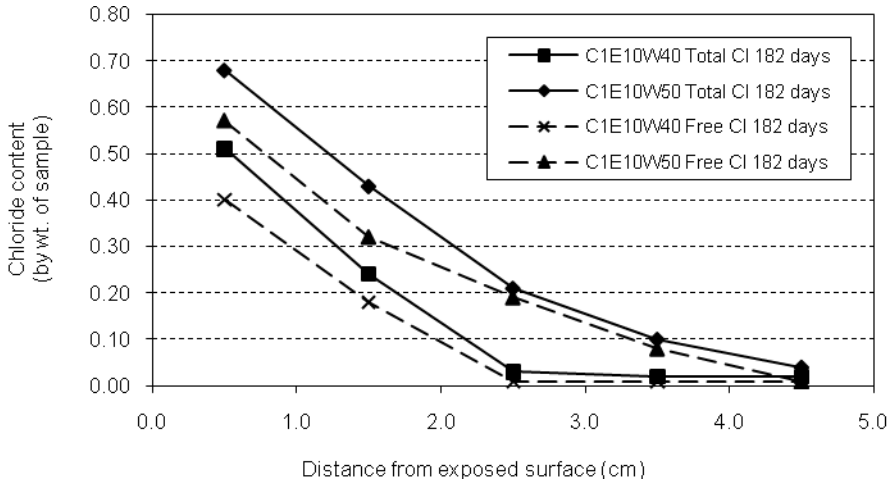


รูปที่ 4.29 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดและคลอไรด์อิสระในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก เทียบกับระยะทางจากผิวนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างกัน ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 วัน

จากรูปที่ 4.29 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการกระจายการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ซีเมนต์ล้วนใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.30 0.40 และ 0.50 ที่ระยะเวลาเผชิญเกลือคลอไรด์ 91 วัน เท่ากันพบว่า มอร์ต้าร์ซีเมนต์ล้วนที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.30 มีการแทรกซึมคลอไรด์น้อยที่สุด ส่วนมอร์ต้าร์ซีเมนต์ล้วนที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 และ 0.50 มีการแทรกซึมคลอไรด์มากขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้การกระจายการแทรกซึมคลอไรด์อิสระมีค่าต่ำกว่าการกระจายการแทรกซึมคลอไรด์ทั้งหมดสำหรับทุกส่วนผสมมอร์ต้าร์

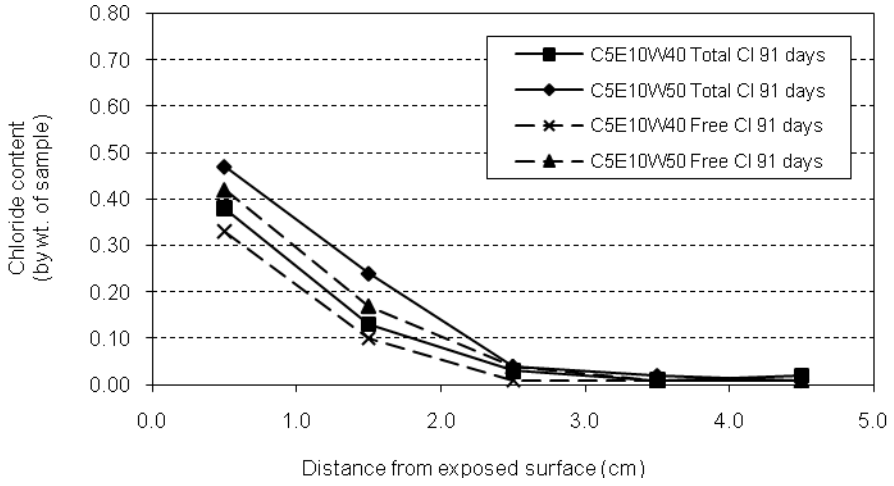


รูปที่ 4.30 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักและผสมสารขยายตัว ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสานด้วยสารขยายตัวเท่ากับ 0.10 เทียบกับระยะทางจากผิวด้วยนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างกัน ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 วัน



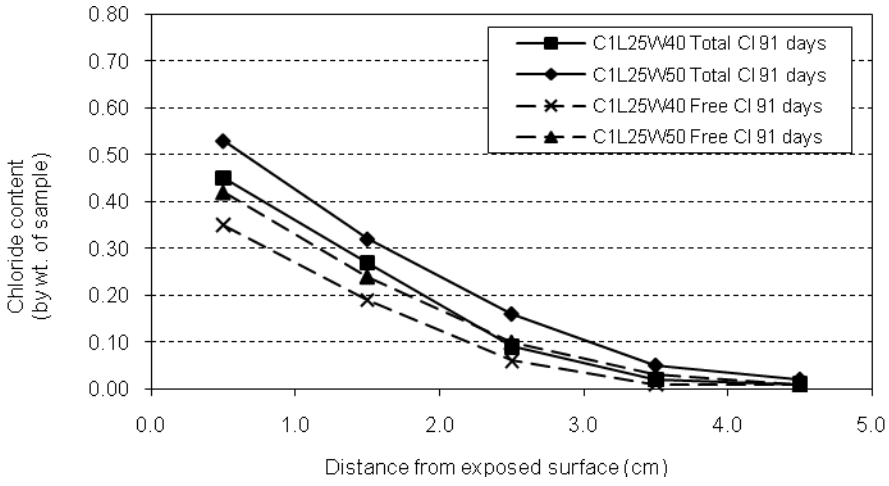
รูปที่ 4.31 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักและผสมสารขยายตัว ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสานด้วยสารขยายตัวเท่ากับ 0.10 เทียบกับระยะทางจากผิวด้วยนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างกัน ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 182 วัน

จากรูปที่ 4.30 และ 4.31 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการกระจายการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักที่ผสมสารขยายตัวที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.10 ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 และ 0.50 ที่ระยะเวลาเผชิญเกลือคลอไรด์ 91 วัน เท่ากันพบว่า มอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักที่ผสมสารขยายตัวที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.10 ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 มีการแทรกซึมคลอไรด์น้อยกว่ามอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักที่ผสมสารขยายตัวที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.10 ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ทั้งนี้การกระจายการแทรกซึมคลอไรด์อิสระมีค่าต่ำกว่าการกระจายการแทรกซึมคลอไรด์ทั้งหมดสำหรับทุกส่วนผสมมอร์ต้าร์



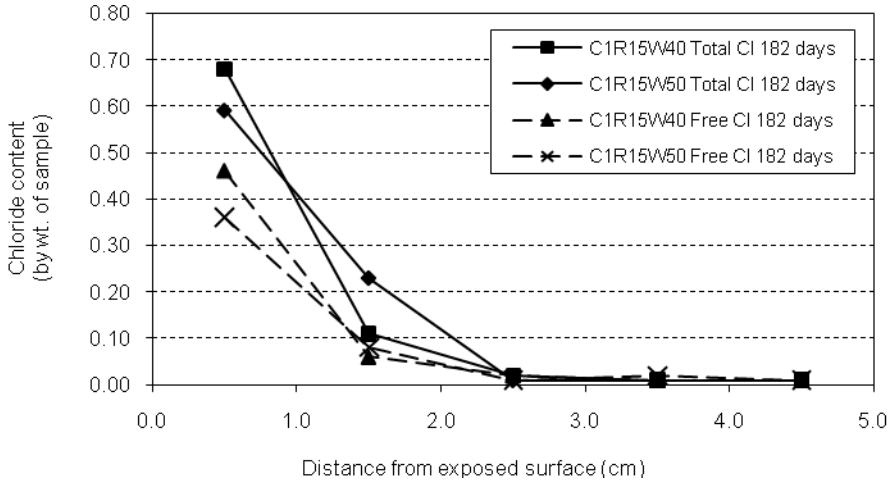
รูปที่ 4.32 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 เป็นวัสดุประสานหลักและผสมสารขยายตัว ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสานด้วยสารขยายตัวเท่ากับ 0.10 เทียบกับระยะทางจากผิวด้วยนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างกัน ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 วัน

จากรูปที่ 4.32 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการกระจายการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 เป็นวัสดุประสานหลักที่ผสมสารขยายตัวที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.10 ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 และ 0.50 ที่ระยะเวลาเผชิญเกลือคลอไรด์ 91 วัน เท่ากันพบว่า มอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 เป็นวัสดุประสานหลักที่ผสมสารขยายตัวที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.10 ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 มีการแทรกซึมคลอไรด์น้อยกว่ามอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 เป็นวัสดุประสานหลักที่ผสมสารขยายตัวที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.10 ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ทั้งนี้การกระจายการแทรกซึมคลอไรด์อิสระมีค่าต่ำกว่าการกระจายการแทรกซึมคลอไรด์ทั้งหมดสำหรับทุกส่วนผสมมอร์ต้าร์



รูปที่ 4.33 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักและผสมผงหินปูน ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสานด้วยผงหินปูนเท่ากับ 0.25 เทียบกับระยะทางจากผิวด้วยนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างกัน ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 91 วัน

จากรูปที่ 4.33 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการกระจายการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักที่ผสมผงหินปูนที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.25 ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 และ 0.50 ที่ระยะเวลาเผชิญเกลือคลอไรด์ 91 วัน เท่ากันพบว่า มอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักที่ผสมผงหินปูนที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.15 ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 มีการแทรกซึมคลอไรด์น้อยกว่ามอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักที่ผสมผงหินปูนที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.15 ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ทั้งนี้การกระจายการแทรกซึมคลอไรด์อิสระมีค่าต่ำกว่าการกระจายการแทรกซึมคลอไรด์ทั้งหมดสำหรับทุกส่วนผสมมอร์ต้าร์

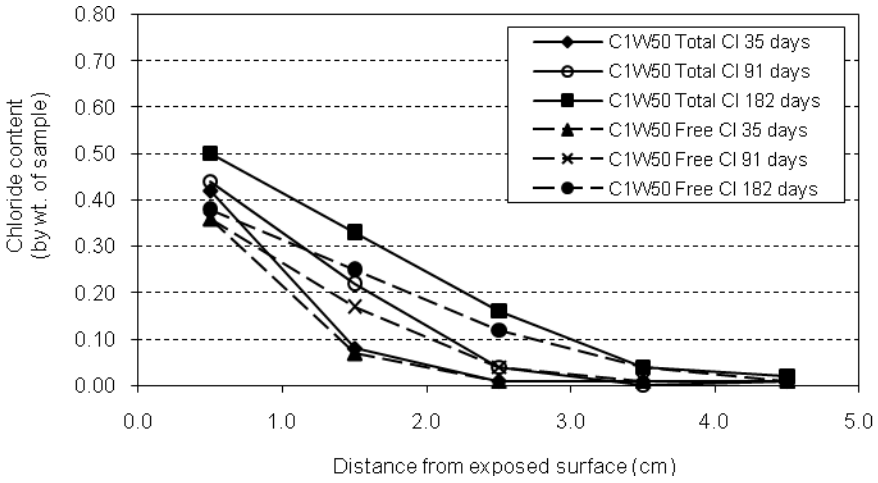


รูปที่ 4.34 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักและผสมเถ้าแกลบ ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสานด้วยเถ้าแกลบเท่ากับ 0.15 เทียบกับระยะทางจากผิวด้วยนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างกัน ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 182 วัน

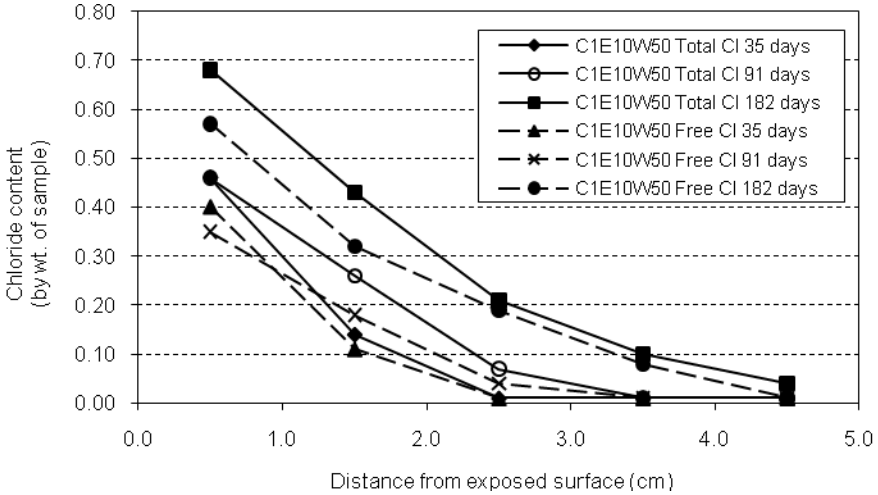
จากรูปที่ 4.34 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการกระจายการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักที่ผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.15 ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 และ 0.50 ที่ระยะเวลาเผชิญเกลือคลอไรด์ 182 วัน เท่ากันพบว่า มอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักที่ผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.15 ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 มีการแทรกซึมคลอไรด์น้อยกว่ามอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักที่ผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.15 ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ทั้งนี้การกระจายการแทรกซึมคลอไรด์อิสระมีค่าต่ำกว่าการกระจายการแทรกซึมคลอไรด์ทั้งหมดสำหรับทุกส่วนผสมมอร์ต้าร์

4.5 การแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ต่างกัน

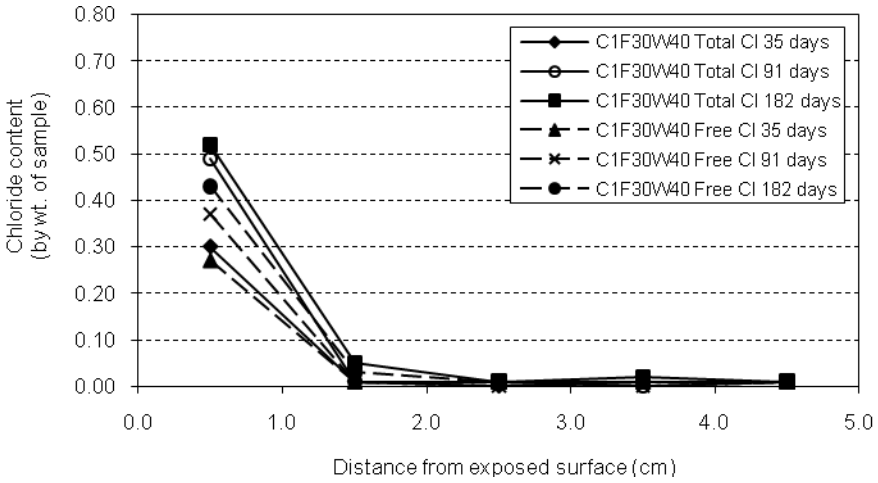
ทำการทดสอบการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ส่วนผสมต่างๆ ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ 35 91 และ 182 วัน



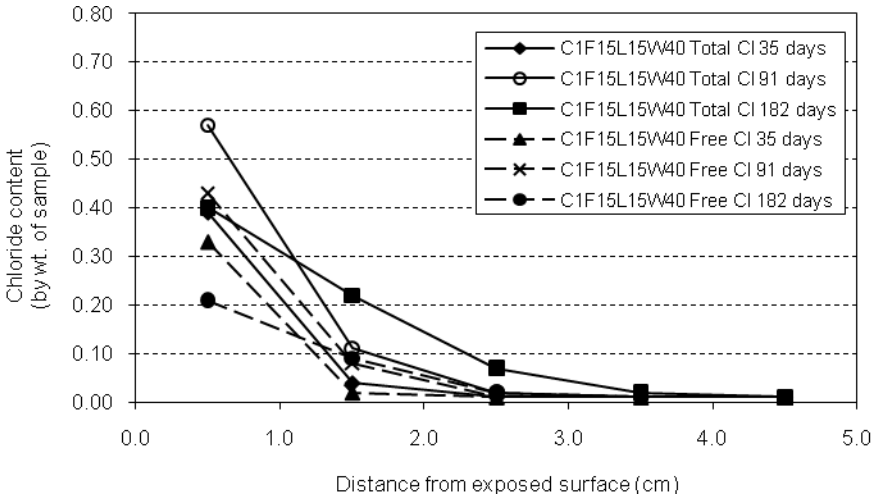
รูปที่ 4.35 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก เทียบกับระยะทางจากผิวด้วยนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ต่างกัน



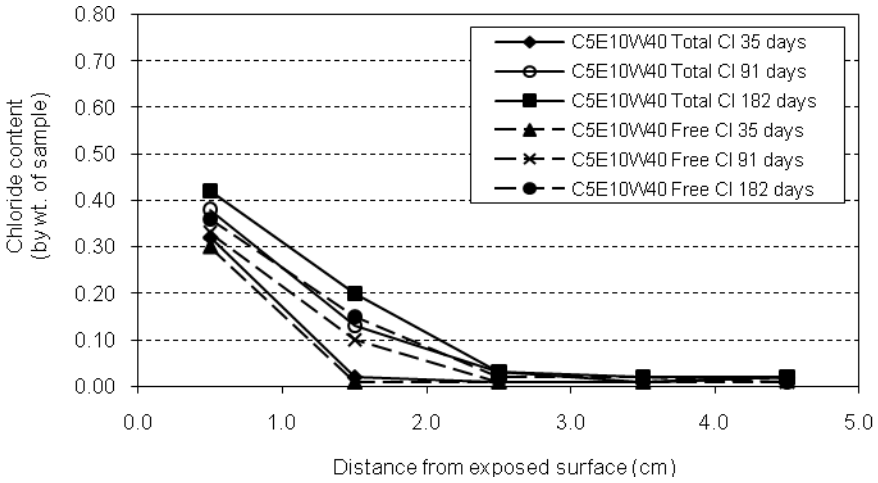
รูปที่ 4.36 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสประสานหลัก และผสมสารขยายตัว ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.10 เทียบกับระยะทางจากผิวด้วยนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ต่างกัน



รูปที่ 4.37 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสประสานหลัก และผสมเถ้าลอย ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.30 เทียบกับระยะทางจากผิวด้วยนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ต่างกัน



รูปที่ 4.38 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสประสานหลัก และผสมเถ้าลอยและผงหินปูน ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.15 และ 0.15ตามลำดับ เทียบกับระยะทางจากผิวด้วยนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ต่างกัน



รูปที่ 4.39 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 เป็นวัสประสานหลัก และผสมสารขยายตัว ในอัตราส่วนแทนที่วัสดุประสาน 0.10 เทียบกับระยะทางจากผิวด้วยนอก ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ที่ระยะเวลาเผชิญคลอไรด์ต่างกัน

จากรูปที่ 4.35-4.39 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการกระจายการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ที่ระยะเวลาเผชิญเกลือคลอไรด์ 35 91 และ 182 วัน พบว่า มอร์ต้าร์ที่เผชิญระยะเวลาเกลือคลอไรด์นานขึ้น การแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ต้าร์มีค่าสูงขึ้นทั้งปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดและปริมาณคลอไรด์อิสระ เนื่องจากกลไกการแทรกซึมคลอไรด์เกิดได้มากขึ้น ทั้งนี้การกระจายการแทรกซึมคลอไรด์อิสระมีค่าต่ำกว่าการกระจายการแทรกซึมคลอไรด์ทั้งหมดสำหรับทุกส่วนผสมมอร์ต้าร์

บทที่ 5
สรุปผล

5.1 การแทรกซึมของคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอยและสารขยายตัว

จากผลการทดสอบการแทรกซึมของคลอไรด์ในมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยและสารขยายตัวที่อายุ 91 และ 182 วัน พบว่า มอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก ผสมเถ้าลอยในอัตราส่วนการแทนที่ด้วยวัสดุประสานเท่ากับ 0.30 มีการแทรกซึมของคลอไรด์น้อยกว่ามอร์ต้าร์ที่ใช้สารขยายตัวแทนที่วัสดุประสานในอัตราส่วน 0.10 น้อยกว่ามอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอยและสารขยายตัวในอัตราส่วนการแทนที่วัสดุประสานเท่ากับ 0.10 และ 0.30 และน้อยกว่ามอร์ต้าร์ล้วนที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนประเภทที่ 1 และ 5 ทั้งที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.40 และ 0.50 และเมื่อพิจารณามอร์ต้าร์ที่ผสมสารขยายตัวในอัตราส่วนการแทนที่วัสดุประสานเท่ากับ 0.10 มีการแทรกซึมของคลอไรด์มากกว่ามอร์ต้าร์ล้วนที่ใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 เนื่องจากการผสมสารขยายตัวทำให้เนื้อของคอนกรีตพรุนมากขึ้นจึงทำให้คลอไรด์แทรกซึมเข้าไปในคอนกรีตได้มากกว่ามอร์ต้าร์ล้วน แต่มีการแทรกซึมของคลอไรด์น้อยกว่ามอร์ต้าร์ล้วนที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 เพราะปูนซีมเนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ใช้สำหรับต้านทานการแทรกซึมของซัลเฟต

เมื่อพิจารณาค่าปริมาณคลอไรด์ที่ถูกยึดจับแล้ว มอร์ต้าร์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 จะมีปริมาณคลอไรด์ที่ถูกยึดจับมากกว่า มอร์ต้าร์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 สรุปได้ว่าในมอร์ต้าร์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานน้อย เนื้อของตัวอย่างจะแน่นทำให้ยึดจับคลอไรด์ได้ดีกว่าส่วนในมอร์ต้าร์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานมาก เนื้อของตัวอย่างจะมีความพรุนมาก ทำให้คลอไรด์อิสระแพร่เข้าได้มาก

5.2 การแทรกซึมของคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอยและผงหินปูน

จากการทดสอบการแทรกซึมของคลอไรด์ในมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยและผงหินปูนที่อายุ 91 และ 182 วัน พบว่ามอร์ต้าร์ที่ผสมผงหินปูนในอัตราส่วนการแทนที่วัสดุประสานเท่ากับ 0.25 มีการแทรกซึมของคลอไรด์มากกว่า มอร์ต้าร์ที่ผสมผงหินปูนในอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.15 และ 0.05 ตามลำดับ ทั้งที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.40 และ 0.50 เมื่อพิจารณามอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอยในอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.30 นั้นมีการแทรกซึมของคลอไรด์น้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยและผงหินปูนในอัตราส่วนการแทนที่วัสดุประสานเท่ากับ 0.05 และ 0.25 , 0.15 และ 0.15 ตามลำดับ ทั้งที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.40 และ 0.50 ที่อายุ 91 และ 182 วัน และเมื่อพิจารณาที่มอร์ต้าร์ผสมผงหินปูนเพียงอย่างเดียวที่อัตราส่วนการแทนที่วัสดุประสานต่างๆ นั้น มีการแทรกซึมของคลอไรด์มากกว่า มอร์ต้าร์ที่ผสมทั้งผงหินปูนและเถ้าลอยที่อัตราส่วนการแทนที่วัสดุประสานต่างๆ เช่นกันที่ อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.40 และ 0.50

เมื่อพิจารณาปริมาณคลอไรด์ที่ถูกยึดจับแล้ว มอร์ต้าร์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 มีปริมาณคลอไรด์ที่ถูกยึดจับมากกว่า มอร์ต้าร์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 สรุปได้ว่ามอร์ต้าร์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานน้อย เนื้อของตัวอย่างจะแน่นทำให้ยึดจับคลอไรด์ได้ดีกว่า มอร์ต้าร์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานมาก และมอร์ต้าร์ที่ผสมฝุ่นหินปูนยิ่งมาก จะมีปริมาณคลอไรด์มากกว่ามอร์ต้าร์ที่ผสมฝุ่นหินปูนน้อย

5.3 การแทรกซึมของคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าแกลบ

จากการทดสอบการแทรกซึมของคลอไรด์ในมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอยและผงหินปูนที่อายุ 91 และ 182 วัน พบว่ามอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าแกลบในอัตราส่วนการแทนที่วัสดุประสานเท่ากับ 0.15 นั้นมีการแทรกซึมของคลอไรด์น้อยกว่า มอร์ต้าร์ที่ผสมผงหินปูน และมอร์ต้าร์ที่ผสมผงหินปูนและเถ้าลอยในอัตราส่วนการแทนที่วัสดุประสานเท่ากัน ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.40 และ 0.50

เมื่อพิจารณาคลอไรด์ที่ถูกยึดจับ พบว่ามอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าแกลบมีปริมาณการแทรกซึมของคลอไรด์อิสระน้อยกว่า มอร์ต้าร์ที่ผสมผงหินปูน และมอร์ต้ารที่ผสมเถ้าลอยและผงหินปูนในอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากัน

5.4 การแทรกซึมของคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างกัน

จากการทดสอบการแทรกซึมของคลอไรด์ในมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยและผงหินปูนที่อายุ 91 และ 182 วัน พบว่าตัวอย่างมอร์ต้าร์ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างกันนั้น ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่น้อยกว่าจะมีการแทรกซึมของคลอไรด์ได้น้อยกว่ามอร์ต้าร์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่มาก จากการทดลองเมื่อเปรียบเทียบที่ตัวอย่างในอัตราส่วนผสมเดียวกันแต่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างกัน พบว่า ตัวอย่างมอร์ต้าร์ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.30 มีการแทรกซึมของคลอไรด์น้อยกว่ามอร์ต้าร์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.40 และ 0.50 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาคลอไรด์ที่ถูกจับยึด พบว่ามอร์ต้ารที่มีอัตราส่วนน้ำที่น้อยจะมีการแทรกซึมของคลอไรด์อิสระน้อย เนื่องจาก เมื่อน้ำน้อยเนื้อมอร์ต้าร์จะแน่นกว่ามอร์ต้ารที่มีปริมาณน้ำมากกว่าดังนั้นการแทรกซึมของคลอไรด์จึงน้อยกว่า

5.5 การแทรกซึมของคลอไรด์ของมอร์ต้าร์ที่อายุการทดลองต่างกัน

จากการทดสอบการแทรกซึมของคลอไรด์ในมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยและผงหินปูนที่อายุ 35 91 และ 182 วัน พบว่ามอร์ต้าร์ที่อายุการทดลองน้อยนั้นจะมีการแทรกซึมของคลอไรด์ได้น้อยกว่าตัวอย่างมอร์ต้าร์ที่มีอายุการทดลองนานกว่าเนื่องจาก ตัวอย่างมีการแช่อยู่ในน้ำเกลือเป็นระยะเวลายาวนานกว่าจึงทำให้คลอไรด์สามารถแทรกซึมเข้าไปในเนื้อมอร์ต้าร์ได้มากขึ้น

บรรณานุกรม

[1] ASTM C1152, Standard test method for acid-soluble chloride in mortar and concrete. Annual Book of ASTM Standards 2000 Volume 04.02: 627-629

[2] ASTM C1218, Standard test method for water-soluble chloride in mortar and concrete. Annual Book of ASTM Standards 2000 Volume 04.02: 645-647

[3] วินิต ช่อวิเชียร. 2544. คอนกรีตเทคโนโลยี.พิมพ์ครั้งที่ 9 .กรุงเทพฯ

[4] ปริญญาจินดาประเสริฐ และ ชัยจตุรพิทักษ์กุล. 2547. ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และ คอนกรีต. พิมพ์ครั้งที่ 1.กรุงเทพฯ: สมาคมคอนกรีตไทย