บทที่ 1
บทนำ

คอนกรีตเป็นวัสดุที่ใช้กันมากในการก่อสร้างโดยทั่วไป แต่เนื่องจากในธรรมชาตินั้นมีสารเคมีบางชนิดคือ โซเดียมซัลเฟต แมกนีเซียมซัลเฟต เป็นต้น ที่มีผลต่อการ กัดกร่อนโครงสร้างคอนกรีต ซึ่งเป็นสาเหตุแห่งความเสียหายแก่โครงสร้างทำให้คอนกรีตมีอายุการใช้งานน้อยลง จากการศึกษาค้นคว้าทราบว่าเมื่อผสมสารผสมเพิ่มจำพวก สารปอดโซลาน เถ้าลอย และอื่น ๆ ลงไปในคอนกรีตหรือมอร์ตาแล้วจะทำให้คุณสมบัติของคอนกรีตและมอร์ตาเปลี่ยนแปลงไป เช่น กำลังอัด การหดตัว ความทนทานต่าง ๆ โครงการนี้จึงมุ่งศึกษาการหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของสารผสมเพิ่มในที่นี้คือ เถ้าลอย ที่ทำให้คอนกรีต และมอร์ตามีคุณสมบัติด้านการกัดกร่อนของโซเดียมซัลเฟตได้ดีที่สุด นอกจากนี้ยังศึกษาในเรื่องของกำลังอัด และการหดตัว ของคอนกรีตและมอร์ตาอีกด้วยเพื่อนำไปสู่การแก้ไขปัญหาและ การพัฒนาต่อไป

1.1 ประวัติความเป็นมาและความสำคัญ

ได้มีการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับเกลือซัลเฟต (SO_4^{2-})ที่อยู่ในรูปของสารละลาย สามารถทำอันตรายต่อซีเมนต์เพสต์ในคอนกรีตได้ ตัวอย่างของเกลือซัลเฟต ที่พบมากในธรรมชาติและเป็นอันตรายต่อคอนกรีต เช่น โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) แมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) และแคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4$) เกลือซัลเฟตจะมีอยู่มากในทะเล น้ำกร่อย ในดินบริเวณริมทะเล หรือ ในดินทั่วไป เกลือซัลเฟตชนิดที่พบมากที่สุดมักจะเป็นเกลือโซเดียมซัลเฟต รองลงมาก็คือแมกนีเซียมซัลเฟต เกลือซัลเฟตยังมักจะพบอยู่ในน้ำเสียจากบ้านเรือน หรือตามแหล่งน้ำพุร้อนธรรมชาติด้วย เมื่อทำการการศึกษาเรื่องผลของเถ้าลอยที่ผสมในคอนกรีตและมอร์ตาเพื่อด้านซัลเฟตสามารถทำได้โดยการนำตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ มอร์ตา หรือคอนกรีตไปแช่ใน สารละลายโซเดียมซัลเฟต แมกนีเซียมซัลเฟต หรือ แคลเซียมซัลเฟต เพื่อศึกษาปฏิกิริยาเคมีของเถ้าลอยที่มีผลต่อคอนกรีตและมอร์ตาที่แช่ในซัลเฟต แต่เนื่องจากแคลเซียมซัลเฟตมีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อยมาก ดังนั้นจึงใช้ สารละลายโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) แทน

<u>กลไกของการทำลายโดยโซเดียมซัลเฟต</u>

กลไกนี้เริ่มต้นเมื่อเกิดปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) กับ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ที่เป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ดังแสดงในสมการ (1.1) ทำให้ได้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ซึ่งผลของปฏิกิริยาคือยิปซั่ม ($CaSo_4.2H_2O$)
ทำให้ค่า pH ของซีเมนต์เพสต์สูงขึ้นเป็น 13.5 ซึ่งมากกว่าค่า pH ของสารละลาย อิ่มตัว ที่มีค่าเพียง 12.4 ดังนั้นจึงเป็นการรักษาเสถียรภาพของ C-S-H และ Ettringite (C_6ASH_{32}) ไม่ให้ทำปฏิกิริยากลายไปเป็นผลิตผลอื่นดังแสดงในสมการ (1.1)

$$Ca(OH2)_2 + Na_2SO_4.10H_2O \longrightarrow CaSo_4.2H_2O + 2NaOH + 8H_2O \quad .....(1.1)$$

สารยิปซั่ม ($CaSo_4.2H_2O$) ที่ได้จากสมการ (1.1) จะทำปฏิกิริยากับผลผลิตไฮเดรชั่นบางตัว เช่น แคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต ($3CaO.Al_2O_3$) โมโนเฟด ($4CaO.Al_2O_3.12H_2O$) และ/หรือ ไตรแคลเซียมอลูมิเนต ($3CaO.Al_2O_3$) ที่เหลือจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ทำให้ได้ Secondary Ettringite อีก ดังแสดงในสมการ (1.2) ถึง (1.4) เนื่องจากในธรรมชาติแล้ว Ettringite จะมีความหนาแน่นต่ำกว่าผลิตผลของปฏิกิริยาไฮเดรชั่นชนิดอื่นมาก จึงทำให้เกิดการขยายตัว ดังนั้นผลที่เกิดจากการทำลายโดยโซเดียมซัลเฟตจึงเป็นการขยายตัวและการแตกร้าวของคอนกรีต

$$3CaO.Al_2O_3 + 3(CaSo_4.2H_2O) + 26H_2O \longrightarrow 3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.32H_2O \quad .....(1.2)$$

$$2(3CaO.Al_2O_3) + 3CaO.Al_2O_3.3CaSo_4.32H_2O + 4H_2O \longrightarrow 3(3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.12H_2O) \quad .....(1.3)$$

$$2(CaSO_4.2H_2O) + 3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.12H_2O + 16H_2O \longrightarrow 3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.32H_2O \quad .....(1.4)$$

สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์แลนด์

ชื่อสารประกอบ	ส่วนประกอบทางเคมี	ชื่อย่อ
ไตรคัลเซี่ยม ซิลิเกต	3 $CaO . SiO_2$	C_3S
ไดคัลเซี่ยม ซิลิเกต	2 $CaO . SiO_2$	C_2S
ไตรคัลเซี่ยม อลูมิเนต	3 $CaO . Al_2O_3$	C_3A
เตตราคัลเซี่ยม อลูมิโนเฟอร์ไรท์	4 $CaO . Al_2O_3 . Fe_2O_3$	C_4AF

กล่าวโดยสรุป การทำลายโดยโซเดียมซัลเฟตนั้นขึ้นอยู่กับการเกิด Secondary Ettringite ดังแสดงในสมการ (1.2) ถึง (1.4) สารตั้งต้นในสมการดังกล่าวมีองค์ประกอบของอลูมิเนต ดังนั้นในการผลิตปูนซีเมนต์ต้านทานโซเดียมซัลเฟต จึงมีเหตุผลที่ต้องจำกัดปริมาณ C_3A ให้น้อยกว่าร้อยละ 5 ถ้าปริมาณ C_3A มีอยู่ระหว่าง 5 ถึง 8 การทำลายโดยซัลเฟตมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดขึ้น และถ้าปริมาณ C_3A มีมากกว่าร้อยละ 8

การทำลายน่าจะเกิดขึ้น นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบอีกสองประการ ที่มีอิทธิพลต่อการทำลายในลักษณะนี้คือ ปริมาณ C_4AF ซึ่งแม้ว่าจะทำปฏิกิริยากับโซเดียมซัลเฟตได้น้อยกว่า C_3A แต่มีกลไกการพัฒนาคล้ายกับการเกิด Ettringite แต่มีการขยายตัวน้อยกว่า ส่วนองค์ประกอบอีกประการหนึ่งคือ NH ที่เป็นผลผลิตจากสมการ (1.1) ซึ่งทำให้ Ettringite มีเสถียรภาพ ดังนั้นจึงทำให้การขยายตัวมีมากขึ้น นอกจากนี้ ยิปซั่มที่ได้จากสมการ (1.1) ยังมีปริมาตรมากกว่าสารตั้งต้น ดังนั้นถ้าต้องการผลิตปูนซีเมนต์ที่ต้านทานซัลเฟตต้องลดปริมาณ CH ลง พร้อมๆกับการจำกัดปริมาณ C_3A และ C_4AF ในการลดปริมาณ CH ทำได้โดยการลดอัตราลง C_3A / C_2A หรือใช้ปูนซีเมนต์ผสม

ปัจจัยที่มีผลต่อการทำลายโดยซัลเฟต

ปัจจัยที่มีผลต่อการทำลายโดยซัลเฟต มีดังต่อไปนี้

สิ่งแวดล้อมที่มีซัลเฟต ตลอดจนความเข้มข้นของซัลเฟต ถ้ามีความเข้มข้นของซัลเฟตสูงก็จะมีการทำลายที่รุนแรงมากขึ้นความทึบน้ำของคอนกรีต คอนกรีตที่มีความทึบน้ำสูงจะทำให้ซัลเฟตซึมผ่านเข้าไปในคอนกรีตได้ยากขึ้น ทำให้ได้ระดับความรุนแรงลดลงปริมาณ C_3A และ C_4AF ในปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ที่มีปริมาณ C_3A และ C_4AF น้อยจะมีแนวโน้มที่จะต้านทานการทำลายของซัลเฟตได้ดีกว่าปูนซีเมนต์ที่มีปริมาณ C_3A และ C_4AF สูง และปูนซีเมนต์ที่มีอัตราส่วน C_3S ต่อ C_2S ต่ำก็จะมีความต้านทานซัลเฟตดีขึ้นปริมาณ $Ca(OH)_2$ ในคอนกรีต ถ้าสามารถลดปริมาณ $Ca(OH)_2$

ในคอนกรีตได้ก็จะช่วยลดความรุนแรงลงได้ด้วย วิธีการลด $Ca(OH)_2$ ในคอนกรีตอาจทำได้โดยใช้สาร ปอซโซลาน แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน

<u>วิธีป้องกันการทำลายโดยซัลเฟต</u>

วิธีการป้องกันและบรรเทาความรุนแรงของการทำลายโดยซัลเฟต อาจทำได้ดังต่อไปนี้

1) ใช้ปูนซีเมนต์ที่มีปริมาณ C_3A และอัตราส่วน C_3S ต่อ C_2S ต่ำ นั่นคือปูน ซีเมนต์ชนิดที่ 5 หรือที่เรียกว่า ปูนซีเมนต์ต้านทานซัลเฟต (Sulfate Resisting Cement)

2) การใช้สารปอซโซลานทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วน ซึ่งจะช่วยลดปริมาณแคลเซียม-ไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) รวมทั้งลด C_3A และสามารถเพิ่มความทึบน้ำให้กับคอนกรีตได้ ด้วย

3) ลดอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ให้ต่ำเพื่อให้คอนกรีตมีความทึบน้ำสูง

4) ออกแบบให้คอนกรีตมีปริมาณซีเมนต์เพสต์ไม่มากเกินไป

<u>แนวทางในการศึกษา</u>

ในการศึกษานี้เลือกใช้สารปอซโซลานทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วน ซึ่งสารที่เลือกใช้คือ เถ้าลอย เพราะว่ามีราคาถูก หาได้ง่าย เป็นสารเหลือใช้ และไม่เกิดสารพิษใด ๆ ต่อธรรมชาติอีกด้วย การศึกษามุ่งเน้นไปในด้านอิทธิพลของเถ้าลอยที่ผสมลงไปในคอนกรีตและมอร์ตาว่าจะมีผลต่อการต้านทานการกัดกร่อนอย่างไร จะทำให้กำลังอัดแตกต่างกับคอนกรีตและมอร์ตาปกติหรือไม่ และรวมไปจนถึงการยืดขยายตัวของคอนกรีตและมอร์ตาอีกด้วย ซึ่งคอนกรีตจะทดสอบโดยการผสมคอนกรีตและนำไปบ่มจนมีอายุ 28 วันแล้วนำไปแช่สารละลายโซเดี่ยมซัลเฟต เข้มข้น 5% เป็นเวลา 14 วันแล้วสังเกตการกัดกร่อนของก้อนคอนกรีตก่อนที่จะนำไปทดสอบหากำลังอัดต่อไป โดยแปรผันอัตราส่วนของเถ้าลอยที่ผสมแทนซีเมนต์ไปบางส่วน คือ 10% , 20% , 30% และค่า W / C เป็น 0.4,0.5 ตามลำดับ ส่วนมอร์ตานั้นจะทดสอบโดยการผสมมอร์ตาและนำไปบ่มจนถึงเมื่อมอร์ตามีกำลังอัดเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C1012 จากนั้นจึงนำไปแช่ในสารละลายโซเดี่ยมซัลเฟต เข้มข้น 5% บันทึกผลการขยายตัวของมอร์ตาเมื่อเวลาผ่านไป 1 สัปดาห์ , 2 สัปดาห์ , 3 สัปดาห์ , และ 4 สัปดาห์ แปรผันค่าอัตราส่วนเถ้าลอยที่ผสมแทนซีเมนต์ไปบางส่วน คือ 10% , 20% , 30% , 50% , และ 70%

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อศึกษาการกัดกร่อนของคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยเมื่อแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต
2. เพื่อศึกษาถึงการขยายตัวมอร์ตาที่ผสมเถ้าลอยเมื่อแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต
3. เพื่อศึกษาถึงกำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยเมื่อแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ได้ทราบถึงการกัดกร่อนของคอนกรีตและมอร์ตาเนื่องจากซัลเฟต

1.3.2 ได้ทราบถึงกำลังอัด และการขยายตัวของคอนกรีตและมอร์ตาที่ผสมเถ้าลอย

1.3.3 ได้ทราบถึงปริมาณเถ้าลอยที่เหมาะสมที่สุดที่ผสมในคอนกรีตหรือมอร์ตาซึ่งทำให้สามารถทนทานต่อการกัดกร่อนของซัลเฟต

1.4 ขอบข่ายการทำโครงงาน

เป็นการศึกษาการต้านทานซัลเฟตของคอนกรีตและมอร์ตา โดยพิจารณาจากกำลังอัด การหดตัว และการกัดกร่อน ของคอนกรีตและมอร์ตา สารผสมเพิ่มที่ใช้คือ เถ้าลอย จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ปูนซีเมนต์ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตราช้างแดง โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างคอนกรีตและมอร์ตาปกติ (บ่มในน้ำ) กับคอนกรีตและมอร์ตาแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต

1.5 ขั้นตอนการทำโครงงาน

1.5.1 ทำการศึกษาอิทธิพลของเถ้าลอยที่เป็นสารผสมเพิ่มในคอนกรีต ว่ามีผลต่อการกัดกร่อน และ กำลังอัดของคอนกรีตเมื่อแช่สารละลายโซเดียมซัลเฟต

1.5.1.1) เตรียมแท่งคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ก์สำหรับทดสอบแรงกด

(1.5.1.1.1) กำหนดสัดส่วน น้ำต่อซีเมนต์ ที่ต้องการทดสอบ

(1.5.1.1.2) คำนวณหาปริมาณสัดส่วนผสมของวัสดุที่ใช้ในการผลิตคอนกรีต

(1.5.1.1.3) ผสมแท่งคอนกรีตที่ได้จากข้อ 1.1.2 และใช้น้ำบ่มเป็นเวลา 28 วัน

1.5.1.2) นำแท่งคอนกรีตส่วนหนึ่งนำไปแช่ในอากาศ และส่วนหนึ่งนำไปแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตความเข้มข้น 5 % เป็นเวลา 14 และ 28 วัน

1.5.1.3) ทดสอบแรงกด

1.5.1.4) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง

(1.5.1.4.1) กราฟกำลังอัดของคอนกรีตที่แช่ในอากาศ กับระยะเวลาในการบ่ม

(1.5.1.4.2) กราฟกำลังอัดของคอนกรีตที่แช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต กับระยะเวลาในการบ่ม

1.5.2 ทำการศึกษาอิทธิพลของเถ้าลอยที่เป็นสารผสมเพิ่มในมอร์ตา
ว่ามีผลต่อการขยายตัวของมอร์ตาเมื่อแช่สาระลายโซเดียมซัลเฟต

1.5.2.1) เตรียมแท่งมอร์ตารูปทรงลูกบาศก์สำหรับทดสอบแรงกด

(1.5.2.1.1) กำหนดสัดส่วน น้ำต่อซีเมนต์ ที่ต้องการทดสอบ

(1.5.2.1.2) คำนวณหาปริมาณสัดส่วนผสมของวัสดุที่ใช้ในการผลิตมอร์ตา

(1.5.2.1.3) ผสมแท่งมอร์ตาที่ได้จากข้อ 2.1.2 และใช้น้ำบ่มที่อายุ 1 2 3 และ 4 วัน

1.5.2.2) ทดสอบแรงกด หาค่ากำลังอัดของมอร์ตาให้ได้ตามที่มาตรฐานกำหนด

1.5.2.3) ทดสอบหาค่าการไหลแผ่ของมอร์ตาทดลองปรับแก้สัดส่วน น้ำต่อซีเมนต์ ที่ต้องการทดสอบ ให้ได้เปอร์เซ็นต์การไหลแผ่ที่ใกล้เคียงกัน

1.5.2.4) เตรียมแท่งมอร์ตาสำหรับทดสอบการขยายตัว

(1.5 .2.4.1) คำนวณหาปริมาณสัดส่วนผสมของวัสดุที่ใช้ในการผลิตมอร์ตา

(1.5.2.4.2) ผสมแท่งมอร์ตาที่ได้จากข้อ 2.4.1 และใช้น้ำบ่มให้ได้กำลังอัดตามที่มาตรฐานกำหนด

1.5.2.5) นำแท่งมอร์ตาไปแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตความเข้มข้น 5 %

1.5.2.6) วัดการขยายตัวของมอร์ตา เมื่อแช่สารละลายโซเดียมซัลเฟตที่อายุ 1 2 3 และ 4 สัปห์ดา

1.5.2.7) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกราฟการขยายตัวของมอร์ตา กับระยะเวลาในการแช่สารละลายโซเดียมซัลเฟต

1.6 แผนการดำเนินงานตลอดโครงงาน

กิจกรรม	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
ศึกษาข้อมูลเบื้องต้น	←	→			
คำนวณหาอัตราส่วนผสม		←	→		
ทำการทดลอง			←	→	
ทำรายงานฉบับโครงร่าง			←	→	
วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล				←	→
ส่งรายงานฉบับสมบูรณ์					↔

1.7 รายละเอียดงบประมาณของโครงงาน

- วัสดุวิทยาศาสตร์	เป็นเงิน	1,221	บาท
- วัสดุสำนักงาน	เป็นเงิน	557	บาท
- วัสดุคอมพิวเตอร์	เป็นเงิน	1,090	บาท
- ถ่ายเอกสารและเข้าเล่มรายงาน	เป็นเงิน	1,132	บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น		**4,000**	บาท

หมายเหตุ สามารถถัวเฉลี่ยได้ทุกรายการ