

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ “สารเคมีที่ใช้กระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาของเถ้าลอยในมอร์ตาร์ที่ได้จาก
ส่วนผสมของซีเมนต์ กากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอย”

คณะผู้วิจัย

สังกัด

1. ดร.สุรเกตุ ยิ่งยืนยง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
2. นายนันทเดช ทางดี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

ชุดโครงการทุนสนับสนุนงานวิจัยวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม
สำหรับสถาบันอุดมศึกษา

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

และ

บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

Executive Summary

งานวิจัยนี้ศึกษาเพื่อหาแนวทางในการนำกากแคลเซียมคาร์ไบด์ และถั่วลยมาใช้เป็นวัสดุประสาน แทนที่การใช้ปูนซีเมนต์บางส่วน โดยใช้สารกระตุ้นทางเคมีในการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลาน ในการทำวิจัยได้แบ่ง ขั้นตอนออกเป็น 2 ระยะ โดยระยะที่ 1 ศึกษาชนิดและปริมาณของสารเคมีที่ใช้กระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน รวมถึงคุณสมบัติทางเคมี ทางกายภาพ และ ทางกล ของมอร์ตาร์ ที่ได้จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับถั่วลย และระยะที่ 2 จากชนิดและปริมาณของสารเคมีที่มีผลต่อปฏิกิริยาปอซโซลานของมอร์ตาร์ในระยะที่ 1 นำมาใช้กับมอร์ตาร์ ที่มีซีเมนต์ กากแคลเซียมคาร์ไบด์ และถั่วลย เป็นวัสดุประสาน เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมี ทางกายภาพ และ ทางกล ของมอร์ตาร์ โดยสารกระตุ้นทางเคมีที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ สารโซเดียมซิลเฟต และยิปซัม

ผลการทดสอบพบว่า เพลสท์ของวัสดุประสานที่ใช้สารโซเดียมซิลเฟตจะมีค่าความชื้นเหลือปกติลดลงเมื่อใช้ปริมาณสารโซเดียมซิลเฟตมากขึ้น โดยระยะเวลาการก่อตัวที่ระยะต้นและระยะปลายจะลดลง ส่วนเพลสท์ที่ยิปซัมจะมีค่าความชื้นเหลือปกติเพิ่มมากขึ้นเมื่อใช้ยิปซัมมากขึ้น โดยระยะเวลาการก่อตัวที่ระยะต้นและระยะปลายของเพลสท์ในระยะที่ 1 จะลดลง แต่ในระยะที่ 2 จะเพิ่มขึ้น ความสามารถในการไหลของมอร์ตาร์จะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณสารโซเดียมซิลเฟตมากขึ้น และจะลดลงเมื่อใช้ยิปซัมมากขึ้น ในด้านกำลังอัดของมอร์ตาร์พบว่าสารโซเดียมซิลเฟตจะให้กำลังอัดที่ระยะต้นสูงมาก แต่จะมีผลเสียด้านกำลังในระยะปลาย ยิปซัมจะให้กำลังอัดที่ไม่เด่นชัดนักและกำลังในระยะต้นจะต่ำลงเมื่อใช้ยิปซัมมากขึ้น

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของสารกระตุ้นทางเคมีที่ใช้กระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาของเถ้าลอยในมอร์ตาร์ที่ได้จากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ปากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอย ในการศึกษาได้แบ่งออกเป็น 2 ระยะ ในระยะแรกเป็นการศึกษาชนิดและปริมาณของสารกระตุ้นทางเคมีที่ใช้กระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานของวัสดุประสานที่ได้จากส่วนผสมของปากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอย ทั้งทางเคมี ทางกายภาพ และทางกล ในระยะที่ 2 เป็นการศึกษาชนิดและปริมาณของสารกระตุ้นทางเคมีที่ได้จากระยะที่ 1 มาทดสอบในวัสดุประสานที่ได้จากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ปากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอยทั้งทางเคมี ทางกายภาพ และทางกล

ผลที่ได้จากการศึกษาในระยะแรกพบว่า สารโซเดียมซัลเฟตและยิปซัมมีความเหมาะสมที่จะเป็นสารกระตุ้นทางเคมีที่ใช้กระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้ ในระยะที่ 2 ของการศึกษา ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ใช้สารโซเดียมซัลเฟต 6% และ 8% พบว่าสูงกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่ใส่สารโซเดียมซัลเฟตที่อายุ 1, 3, 7, 14 และ 28 วัน แต่จะต่ำกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่ใส่สารโซเดียมซัลเฟตที่อายุ 60 และ 90 วัน ส่วนกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ใช้ยิปซัม 2%, 4% และ 6% ในส่วนผสมที่มีปริมาณปูนซีเมนต์น้อยจะมีกำลังอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่ใส่ยิปซัมที่อายุ 28, 60 และ 90 วัน ในขณะที่กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ใช้ยิปซัมทุกเปอร์เซ็นต์ในส่วนผสมที่มีปริมาณปูนซีเมนต์มากจะมีกำลังอัดใกล้เคียงหรือต่ำกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่ใส่ยิปซัมที่ทุกอายุ

Abstract

This research studies the effects of chemical activators to activate the reactivity of fly ash in Portland cement, calcium carbide residue, and fly ash mortars. The study is divided into two stages. In the first stage, type and amount of suitable chemical activators to activate the pozzolanic reaction of calcium carbide residue, and fly ash as cementitious pastes are studied for their chemical properties, physical properties, and mechanical properties. In the second stage, type and amount of selected chemical activators from the first stage are utilized in the Portland cement, calcium carbide residue, and fly ash as cementitious pastes and studied for their chemical properties, physical properties, and mechanical properties.

Result from the first stage of study shown that sodium sulfate (Na_2SO_4) and gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) are suitable for the chemical activators to activate the pozzolanic reactivity. In the second stage of study, the result shown that the compressive strength of mortar with 6% and 8% of sodium sulfate (Na_2SO_4) are higher than mortar without sodium sulfate at the ages of 1, 3, 7, 14, and 28 days, but lower than mortar without sodium sulfate at the ages of 60, and 90 days. However, the compressive strength of mortar with 2%, 4%, and 6% of gypsum at the lower Portland cement in the cementitious are higher than mortar without gypsum at the ages of 28, 60, and 90 days, but little different or lower than mortar without gypsum with every percentage of gypsum at the higher Portland cement in cementitious at all the ages.

สารบัญ

หน้า

Executive summary	I
บทคัดย่อ	II
Abstract	II
สารบัญ	III
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ทัวไป	1
1.2 เหตุผลและความสำคัญของโครงการ	1
1.3 วัตถุประสงค์	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	4
2.1 สารปอซโซลาน	4
2.2 ปฏิกิริยาปอซโซลาน	4
2.3 ปฏิกิริยาของโซเดียมซิลเฟต และยิปซัม	5
2.4 กากแคลเซียมคาร์ไบด์	6
2.5 เถ้าลอย	7
2.6 สารโซเดียมซิลเฟต	9
2.7 ยิปซัม	9
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	10
3.1 ขั้นตอนการวิจัย	10
3.2 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย	10
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	10
3.4 วิธีการวิจัย	11
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล	16
4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอย	16
4.2 คุณสมบัติทางเคมีของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอย	22
4.3 คุณสมบัติของวัสดุประสานที่ได้จากส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอย	23
4.4 คุณสมบัติของวัสดุประสานที่ได้จากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ กากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอย	64
บทที่ 5 สรุป	82
5.1 สรุปผลงานวิจัย	67
เอกสารอ้างอิง	84

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ทัวไป

การใช้เถ้าลอย (Fly Ash) มาแทนที่ปูนซีเมนต์ โดยอาศัยข้อดีของคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของเถ้าลอยมาใช้เป็นประโยชน์ กล่าวคือเถ้าลอยมีอนุภาคที่มีลักษณะผิวเรียบ และมีรูปร่างเป็นทรงกลมทำให้ความสามารถในการเกาะตัวของคอนกรีตเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งอนุภาคมีความละเอียดมากกว่าปูนซีเมนต์ จึงทำหน้าที่เป็นวัสดุอุดประสานช่องว่างระหว่างอนุภาคของปูนซีเมนต์ และยังทำให้คอนกรีตที่ได้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้นเช่น เพิ่มคุณสมบัติในการรับแรง ความทนทาน คุณสมบัติในการรับแรงดัด ลดการซึมน้ำ ลดการย่ิมตัว และการแยกตัว ลดการขยายตัวเนื่องจากปฏิกิริยาอัลคาไลน์ (Alkali) และลดอุณหภูมิซึ่งเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) (พิชัย นิมิตรยงสกุล และ สรรค์ สยามภักดิ์ 2542) แต่การใช้ เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์พบว่าทำให้ซีเมนต์เฟสต์มีระยะเวลาการก่อตัวที่ระยะต้น และที่ระยะปลายนานกว่าซีเมนต์เฟสต์ที่ได้จากปูนซีเมนต์ ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันในปูนซีเมนต์จะเร็วกว่าปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic Reaction) ที่เกิดขึ้นจากการใช้ เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ และพบว่าองค์ประกอบทางเคมีและความละเอียดของเถ้าลอย มีความสำคัญต่อการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน แต่ความละเอียดของเถ้าลอยจะเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานมากกว่าองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอย (เอกภพ อังศุวัฒนา และคณะ 2540)

การใช้เถ้าลอยที่ผ่านการคัดแยกขนาดอนุภาคแทนที่ปูนซีเมนต์ โดยทำการคัดแยกขนาดอนุภาคของเถ้าลอย แล้วเลือกขนาดอนุภาคของเถ้าลอยที่มีความละเอียดมากนำมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยที่ผ่านการคัดแยกขนาดอนุภาคในอัตราส่วนที่เหมาะสม ทำให้กำลังอัดโดยรวมดีกว่าคอนกรีตธรรมดาที่ไม่ใช้เถ้าลอยและคอนกรีตที่มีการแทนที่เถ้าลอยที่ไม่ได้ผ่านการคัดแยกขนาด เนื่องจากขนาดอนุภาคของ เถ้าลอยที่มีขนาดเล็กทำให้การเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานเกิดขึ้นได้เร็วขึ้น จึงทำให้ผลกระทบของการใช้เถ้าลอยในงานคอนกรีตที่ต้องรอเวลานานเพื่อให้กำลังของคอนกรีตตามต้องการหมดไป (เอกภพ อังศุวัฒนา และคณะ 2540) นอกจากนี้ยังมีวิธีการอื่นในการเร่งการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานซึ่งสามารถทำได้โดย

- 1) ทำการคัดขนาด หรือทำการบดเถ้าลอยให้มีความละเอียดมากขึ้น จากผลการทดสอบพบว่าเมื่อเถ้าลอยมีขนาดอนุภาคเล็กลง และพื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มมากขึ้น ทำให้การเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานเกิดขึ้นได้เร็ว โดยเถ้าลอยที่มีความละเอียดมากกว่าจะใช้เวลาการก่อตัวที่สั้นกว่า และยังพบว่าค่าการไหลจะมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อใช้เถ้าลอยที่มีความละเอียดมากขึ้น และความละเอียดของเถ้าลอยยังช่วยเพิ่มกำลังอัดให้แก่คอนกรีตอีกด้วย

- 2) ทำการการบ่มในอุณหภูมิที่สูง จากผลการทดสอบพบว่าการบ่มในอุณหภูมิที่สูงสามารถเพิ่มกำลังอัดในระยะต้นได้มากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับบ่มในอุณหภูมิปรกติ

- 3) ทำการใส่สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน ผลการทดสอบพบว่าการใช้สารเคมีเพื่อกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน ทำให้การพัฒนา กำลังอัดในระยะเริ่มต้นเพิ่มขึ้นมากนอกจากนี้ความสามารถในการรับกำลังอัดในระยะปลายยังเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของเถ้าลอย ชนิดของสารเคมี และปริมาณการใช้สารเคมี (Shi 1998)

จากวิธีการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานดังที่ได้กล่าวมาแล้ว การคัดขนาด การบดเถ้าลอย หรือการบ่มในอุณหภูมิที่สูง เป็นวิธีที่กระทำได้ยากและสิ้นเปลืองมาก การใช้สารกระตุ้นปฏิกิริยาปอซโซลานจึงเป็นวิธีที่

เหมาะสมกับการนำมาใช้งานมากที่สุดเนื่องจากกระทำได้ง่าย และสิ้นเปลืองน้อยที่สุด จึงเป็นประเด็นสำคัญที่ควรทำการศึกษาเพื่อหาสารเคมี และปริมาณที่เหมาะสมกับการนำมาใช้งาน

1.2 เหตุผลและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีว่าเราสามารถนำเถ้าลอย (Fly Ash) มาผสมร่วมกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสานในการผลิตคอนกรีต ประโยชน์ที่ได้ อาทิเช่น ช่วยลดปริมาณการใช้ซีเมนต์ทำให้ราคาคอนกรีตต่ำลง ช่วยลดปริมาณความร้อนที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชัน ช่วยเพิ่มกำลัง และความทนทานของคอนกรีต แต่ผลเสียคือการพัฒนากำลังอัดในระยะต้นของคอนกรีตค่อนข้างช้า และนั่นคือเหตุผลหลักที่ทำให้คอนกรีตผสมเถ้าลอยถึงยังไม่สามารถนำมาใช้ในงานก่อสร้างทุกประเภทได้

มีงานวิจัยที่ได้นำสารกระตุ้นทางเคมีไปผสมรวมในส่วนผสมของวัสดุฐานที่ประกอบด้วยปอชโซลานธรรมชาติแล้วพบว่า สารกระตุ้นทางเคมีนั้นสามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาปอชโซลานได้อย่างเด่นชัด จึงเห็นว่าจะได้มีการศึกษานำสารกระตุ้นทางเคมีมาใช้เร่งปฏิกิริยาปอชโซลานกับวัสดุประสานที่ประกอบด้วยเถ้าลอย (ซึ่งเป็นปอชโซลานสังเคราะห์) ดูบ้าง คำถามคือสารกระตุ้นทางเคมีชนิดใดที่สามารถเพิ่มปฏิกิริยาปอชโซลานได้ ด้วยปริมาณเท่าใด และ ผลที่ได้ทั้งกายภาพ ทางเคมี ทางกล เป็นเช่นใด

จากการศึกษาเบื้องต้นถึงความเป็นไปได้ในการนำ สารกระตุ้นทางเคมี 2 ชนิด มาใช้กับมอร์ตาร์ที่มีแคลเซียมคาร์ไบด์ และ เถ้าลอย เป็นวัสดุประสานโดยไม่มีซีเมนต์ พบว่ากำลังอัดมอร์ตาร์ที่มีแคลเซียมคาร์ไบด์ และ เถ้าลอย เป็นวัสดุประสานโดยไม่มีซีเมนต์ พบว่ากำลังอัดมอร์ตาร์ในช่วงต้นที่ผสมสารกระตุ้นทางเคมีแต่ละชนิดลงในวัสดุประสานเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ที่ไม่ผสมสารกระตุ้นทางเคมีลงในวัสดุประสานอย่างชัดเจน และ ร้อยละการเพิ่มหรือลดลงของกำลังอัดของมอร์ตาร์ดังกล่าวทั้งในช่วงต้นและช่วงปลายขึ้นอยู่กับ ชนิดและปริมาณของสารกระตุ้นทางเคมี

ดังนั้นการนำสารกระตุ้นทางเคมีทั้ง 2 ชนิดที่ได้ศึกษาเบื้องต้นกับมอร์ตาร์ที่มีแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย เป็นวัสดุประสานโดยไม่มีซีเมนต์ น่าจะมีความเป็นไปได้สูงที่จะช่วยเพิ่มกำลังของมอร์ตาร์ที่มีแคลเซียมคาร์ไบด์ เถ้าลอยและซีเมนต์ เป็นวัสดุประสาน และ ผลที่ได้ตามมา จะทราบอีกว่าสาเหตุใดสารกระตุ้นทางเคมี 2 ชนิดนี้ หรือ ชนิดอื่น (ถ้ามี) ถึงทำให้กำลังอัดมอร์ตาร์เพิ่มขึ้น

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 ศึกษาชนิดและปริมาณของสารเคมีที่ใช้กระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาของเถ้าลอยในมอร์ตาร์ที่ได้จากส่วนผสมของซีเมนต์ กากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอย

1.3.2 ศึกษาคุณสมบัติทางเคมี ทางกายภาพ และ ทางกล ของมอร์ตาร์ที่ได้ผสมสารกระตุ้นทางเคมีในข้อ 1.3.1 ลงไปในวัสดุประสานนั้น

1.3.3 เพื่อให้ทราบว่าสารกระตุ้นทางเคมีชนิดใด และ ปริมาณเท่าใด ที่จะช่วยเร่งการพัฒนาการกำลังอัดในระยะต้นได้

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1.4.1 กากแคลเซียมคาร์ไบด์นำมาจากบริษัทสาย 5 ผลิตภัณฑ์ก๊าซ ทำการเผาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำมาบดด้วยเครื่องบด Los Angeles Abrasion เป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยกำหนดปริมาณของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 325 โดยวิธีร่อนแบบเปียกไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

1.4.2 แก้วลายนำมาจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ในส่วนแรกเป็นแก้วลอยในสภาพเดิม และอีกส่วนนำมาบดด้วยเครื่องบด Los Angeles Abrasion เป็นเวลา 12 ชั่วโมงแล้วนำมาผ่านตะแกรงเบอร์ 200

1.4.3 วัสดุประสานในงานวิจัยนี้ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน โดยส่วนแรกได้จากการนำกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับแก้วลอยในสภาพเดิม และกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับแก้วลอยที่ผ่านการบดและผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ในอัตราส่วนผสม 30 : 70 โดยน้ำหนัก และส่วนที่ 2 ได้จากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ กากแคลเซียมคาร์ไบด์ และแก้วลอยในสภาพเดิม ในอัตราส่วนผสม 60 : 10 : 30 และ 40 : 20 : 40 โดยน้ำหนัก

1.4.4 ทรายที่นำมาใช้ในการทดสอบผ่านตะแกรงเบอร์ 16 และค้ำบนตะแกรงเบอร์ 100 อัตราส่วนระหว่างวัสดุประสานต่อทรายเท่ากับ 1 : 2.75 โดยน้ำหนัก

1.4.5 ปริมาณน้ำที่ใช้ในการหล่อมอร์ตาร์ทุกส่วนผสมเท่ากับปริมาณน้ำที่ทำให้มอร์ตาร์ที่ไม่มีสารกระตุ้นทางเคมีเป็นส่วนผสม มีค่าร้อยละการไหลเท่ากับ 110 ± 5 และนำมาหล่อในรูปของมอร์ตาร์มาตรฐานขนาด $5 \times 5 \times 5$ เซนติเมตร ซึ่งใช้ตัวอย่างในการทดสอบ 5 ก้อนต่อหนึ่งอายุการบ่ม ทำการบ่มโดยการบ่มขึ้นและทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่อายุการบ่ม 1, 3, 7, 14, 28 และ 60 วัน สำหรับวัสดุประสานในส่วนแรกและที่อายุการบ่ม 1, 3, 7, 14, 28, 60 และ 90 วัน สำหรับวัสดุประสานในส่วนที่ 2

1.4.6 ใช้สารโซเดียมซิลเฟต และยิปซัมในการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานของวัสดุประสานที่ได้จากส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ แก้วลอยในอัตราส่วนร้อยละ 0, 2, 4, 6 และ 8 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน

บทที่ 2 ทฤษฎี

2.1 สารปอซโซลาน (Pozzolan Material)

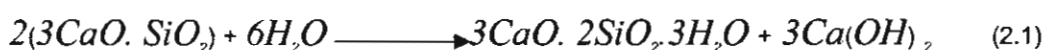
ASTM C 618-97 ให้คำจำกัดความของสารปอซโซลานไว้ว่า "สารปอซโซลาน เป็นวัสดุที่มีซิลิกาหรือซิลิกาและอลูมินาเป็นองค์ประกอบหลัก โดยทั่วไปแล้วสารปอซโซลานจะไม่มี คุณสมบัติในการยึดประสาน (Cementitious Properties) แต่ถ้าสารปอซโซลานมีความละเอียดมากๆ และมีน้ำเพียงพอ จะสามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิปกติ ทำให้ได้สารประกอบที่มีคุณสมบัติในการยึดประสาน" วัสดุปอซโซลานที่นำมาใช้ประโยชน์ในวงการก่อสร้างในปัจจุบันและเป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายมีอยู่ 2 ชนิดคือ ซิลิกาฟูม และเถ้าลอย โดยที่ซิลิกาฟูมเป็นวัสดุที่ได้จากการดักจับไอฝุ่นในกระบวนการผลิต Ferro - Silicon Alloys และ Silicon Metal ส่วนเถ้าลอยเป็นวัสดุเหลือใช้จากการเผาถ่านหินในโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า

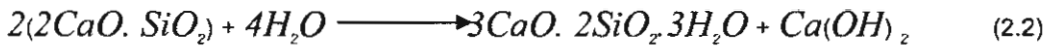
ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของ Pozzolans ตามมาตรฐาน ASTM C 618 – 97 กำหนด

คุณสมบัติทางเคมี	ASTM C618-91 Class		
	N	F	C
$SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ (min,%)	70	70	50
SO_3	4	5	5
MgO	5	5	5
Na_2O	1.5	1.5	1.5
LOI (max,%)	10	12	6
คุณสมบัติทางกายภาพ			
Fineness; Amount retained when wet Sieved on no. 325 (max %)	34	34	34
Pozzolanic activity index with portland cement at 28 day (min %)	75	75	75
Water requirement (max %)	115	105	105
Specific Gravity	2.10-2.40	2.10-2.40	2.10-2.40
Blaine fineness (cm^2 / g)	2,460-3,220	2,460-3,220	2,460-3,220
Moisture content (max, %)	3	3	3

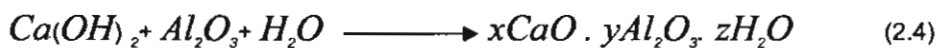
2.2 ปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic Reaction)

ในกระบวนการไฮเดรชันของปูนซีเมนต์เมื่อไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) และ ไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) รวมกับน้ำจะได้สารประกอบ 2 ชนิดคือแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต หรือที่เรียกสั้นๆ ว่า CSH และ Free Limes หรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ดังสมการที่ (2.1)





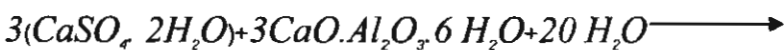
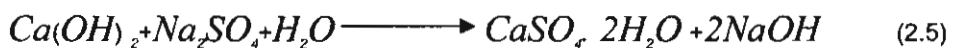
แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ทำหน้าที่เป็นวัสดุประสานให้ส่วนผสมของคอนกรีตจับตัวกันส่วน แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ที่เกิดขึ้นก่อประโยชน์น้อยมาก (แต่เป็นต่างสูง ทำให้การกัดกร่อนของเหล็กใน คอนกรีตช้าลงถ้าคอนกรีตมีความเป็นด่างต่ำจะเกิดการกัดกร่อนในเหล็กเร็วขึ้น) ในบางครั้งยังก่อให้เกิด ผลเสียกับคอนกรีตอีกด้วย เช่นก่อให้เกิดฝ้าขาวบนผิวหน้าคอนกรีต หรือเกิดเป็นฟิล์มบนผิวมวลรวมทำให้ การจับยึดระหว่างมวลรวมและมอร์ตาร์ไม่ดีนัก แต่ถ้าใส่ แดลลอยในส่วนผสม ซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) ที่มี อยู่จำนวนมากในแดลลอยนี้ จะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ และก่อให้เกิดแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต และปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมไฮดรอกไซด์กับอลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) จะเกิดแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต ดังสมการที่ (2.3) และ (2.4) ซึ่งแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ที่เพิ่มขึ้นนี้จะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆ ของ คอนกรีตให้ดีขึ้น ไม่ว่าจะเป็นคุณสมบัติด้านกำลังอัด ความทนทาน และด้านการซึมผ่านของน้ำ



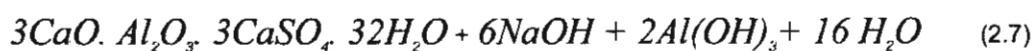
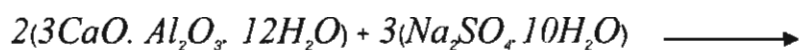
โดยค่า e, f, g, x, y, z เป็นตัวแปรที่ขึ้นอยู่กับชนิดของแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต และแคลเซียม อลูมิเนตไฮเดรต ซึ่งสารประกอบทั้งสองมีคุณสมบัติในการยึดประสานอันจะทำให้ซีเมนต์เพสต์มี ความสามารถในการยึดประสานดีขึ้น และความสามารถในการรับกำลังอัดของคอนกรีตจะดีขึ้นตาม โดยปกติ แล้วปฏิกิริยาปอซโซลานจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ และจะเกิดขึ้นไปเรื่อยๆ เป็นเวลานาน (ปีติดกัน กร้ามาตร 2539)

2.3 ปฏิกิริยาของโซเดียมซัลเฟต และยิปซัม

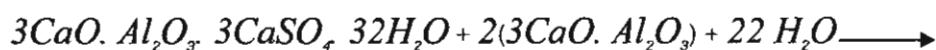
สารละลายโซเดียมซัลเฟตจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ก่อให้เกิดยิปซัสดังสมการที่ (2.5) ซึ่งต่อมายิปซัมจะทำปฏิกิริยาแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O, C_3AH_6, CAH$) ซึ่งได้จากปฏิกิริยาปอซโซลานก่อให้เกิด เอทเทิงไจต์ (Ettringite, Calcium Sulphoaluminate Hydrate, $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O, C_3AS_3H_{32}$) ดังสมการที่ (2.6)



หรือสารละลายโซเดียมซัลเฟตจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรตก่อให้เกิดเอทเทิงไจต์ดัง สมการที่ (2.7)



การเกิดเอทิงไจต์ที่รวดเร็วจะช่วยให้การแข็งตัว การก่อตัว และการพัฒนากำลังอัดให้เร็วขึ้น ภายหลังจากที่ซัลเฟตที่ทำปฏิกิริยาหมดจนไม่สามารถเกิดเอทิงไจต์ได้ต่อไป ความเข้มข้นของอลูมิเนตจะเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้ง และเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียม อลูมิเนต โดยเปลี่ยนเอทิงไจต์ไปเป็นโมโนซัลเฟต (Monosulfate, C_4ASH_{18}) ดังสมการที่ (2.8)



2.4 กากแคลเซียมคาร์ไบด์ (Calcium Carbide Residue)

กระบวนการผลิตก๊าซซีเทน ได้จากการนำแคลเซียมคาร์ไบด์ (CaC_2) มารวมกับน้ำซึ่งปริมาณก๊าซซีเทนที่ได้ จะขึ้นอยู่กับชั้นคุณภาพของแคลเซียมคาร์ไบด์ คือชั้นคุณภาพที่ 1 ตามมาตรฐาน มอก. 316 จะได้ปริมาณก๊าซซีเทนไม่น้อยกว่า 290 ลูกบาศก์เดซิเมตร ต่อแคลเซียมคาร์ไบด์ 1 กิโลกรัม ส่วนชั้นคุณภาพที่ 2, 3 และ 4 ควรได้ปริมาณก๊าซซีเทนไม่น้อยกว่า 270, 250 และ 220 ลูกบาศก์เดซิเมตรตามลำดับ

ในการเตรียมก๊าซซีเทนสามารถเตรียมได้โดยใช้หินปูน ($CaCO_3$) ถ่านหิน (Coal) และน้ำ ขั้นตอนแรกนำหินปูนเข้าเตาหลอม ซึ่งผลที่ได้คือ Lime (CaO) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ดังสมการที่ (2.9)

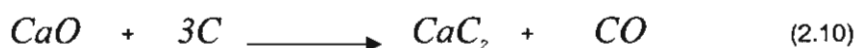


Limestone

Lime

Carbondioxide

หลังจากนั้น CaO จะทำปฏิกิริยากับถ่านหินในขณะที่อยู่ในเตาหลอมให้ CaC_2 ดังสมการที่ (2.10)



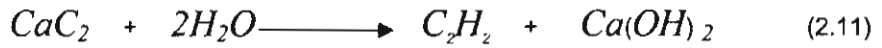
Lime

Coal

Calcium Carbide

Carbonoxide

เมื่อนำ CaC_2 รวมกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาให้ก๊าซซีเทน (C_2H_2) ดังสมการที่ (2.11)



Calcium Carbide

Water

Acetylene

Calcium Hydroxide

กากแคลเซียมคาร์ไบด์จะอยู่ในรูปของเหลวจากสมการที่ (2.11) เห็นได้ว่าถ้าใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ (CaC_2) 64 กรัม จะได้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ 74 กรัม และกากแคลเซียมคาร์ไบด์ในรูปของเหลว เมื่อถูกปล่อยให้ตกตะกอนและแห้งไปเองตามธรรมชาติจะมีสีขาวอมเทาและจับตัวเป็นก้อนหลวมๆ (สมชัย กกก้าแหง 2542)

2.5 แก้วลอย

แก้วลอย หรือแก้วลอย (Fly Ash หรือ Pulverized Fuel Ash) ได้จากการเผาถ่านหินในโรงงานโรงไฟฟ้าถ่านหิน แก้วลอยจะถูกดักจับไว้ด้วยตัวดักจับแล้วรวบรวมเก็บไว้ในไซโล มีสีเทา เทาดำหรือน้ำตาล แก้วลอยมีคุณสมบัติเป็นสารปอซโซลาน (Pozzolan) สังเคราะห์ประเภทหนึ่งมีส่วนประกอบหลักเป็นออกไซด์ของซิลิกา และอลูมินา เมื่ออยู่ในสภาพแห้งป่นและเป็นฝุ่น ไม่มีคุณสมบัติเชื่อมเกาะระหว่างอนุภาค แต่เมื่อสัมผัสเข้ากับน้ำภายใต้อุณหภูมิปกติจะสามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับสารแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) และเกิดเป็นสารใหม่ที่มีคุณสมบัติเชื่อมประสาน (Cementitious) โดยที่คุณสมบัติดังกล่าวขึ้นอยู่กับประเภทของ ถ่านหิน อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา ดังนั้นคุณภาพและความสม่ำเสมอของแก้วลอยจึงขึ้นอยู่กับแต่ละแหล่งที่เผาถ่านหิน (ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และคณะ 2542)

2.5.1 คุณสมบัติทางเคมีของแก้วลอย

จากการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของแก้วลอยจากแหล่งต่างๆ โดยใช้เทคนิค X-ray Fluorescence ประกอบด้วยองค์ประกอบออกไซด์ของแร่ธาตุต่างๆ ได้แก่ ซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) อลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) เป็นต้น ส่วนประกอบทางเคมีเหล่านี้จะมีค่าต่างกันในช่วงปริมาณตามแหล่งหรือชนิดของถ่านหินที่มาของแก้วลอย กระบวนการเผา อุณหภูมิที่ใช้เผา ด้วยเหตุนี้จึงมีการแยกประเภทแก้วลอยดังมาตรฐาน ASTM C 618 – 97 เป็น Class N, Class F และ Class C ดังตารางที่ 2.1

สำหรับข้อกำหนดทางด้านเคมีตามมาตรฐาน ASTM C 618 – 97 ใช้ผลรวมของปริมาณออกไซด์ของซิลิกา อลูมินา และเหล็ก ในแก้วลอยโดยที่ Class F และ Class C ผลรวม ร้อยละของออกไซด์ดังกล่าวอย่างน้อย 70 และ 50 ตามลำดับ ทั้งนี้การกำหนดดังกล่าวเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าในแก้วลอยนั้นมีส่วนประกอบที่สามารถเกิดปฏิกิริยาอย่างเพียงพอ นอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์กับอัตราการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกในระยะยาวด้วย สำหรับร้อยละของปริมาณซัลเฟอร์ไตรออกไซด์กำหนดไม่เกิน 5 ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณปริมาณซัลเฟตในแก้วลอย มีผลต่อการพัฒนาความสามารถในการรับกำลังอัด และเวลาในการก่อตัวได้ และยังมีส่วนเสียต่อกอนกรีตที่แข็งตัวอีกด้วยอย่างไรก็ตามยังมีส่วนช่วยเสริมในการเกิด Sulfate Attack

สำหรับปริมาณร้อยละความชื้นของแก้วลอยควรมิเกิน 3 มิฉะนั้นจะเป็นอุปสรรค ต่อการปฏิบัติงาน (Handling Difficulty) และสำหรับ Class C แล้ว จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) ขึ้นได้ง่าย นอกจากนี้ยังมีการกำหนดค่าร้อยละของน้ำหนักที่สูญหายเนื่องจาก การเผา (Loss on Ignition, LOI) ไว้ไม่เกิน 6 ซึ่งจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณคาร์บอนที่มีอยู่ใน แก้วลอยหากมี LOI มากการควบคุมในด้าน Air entrainment ของคอนกรีตสดจะทำได้ยากและยังต้องการน้ำเพิ่ม ในคอนกรีตโดยทั่วไปแล้วแก้วลอยจากโรงไฟฟ้าจะมีค่า LOI ต่ำกว่า 6 มาก ร้อยละของปริมาณอัลคาไลน์ (Alkalies) ในรูปของโซเดียมออกไซด์ (Na_2O Equivalent) มากที่สุดไม่เกิน 1.5 ซึ่งเป็นข้อกำหนดเสริมใน ASTM C 618 - 97 ทั้งนี้เนื่องจากในแก้วลอยที่มีปริมาณ

โซเดียมออกไซด์สูงจะมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาของ Alkali - aggregate ขึ้นได้ แต่อย่างไรก็ตามถ้าล้อยที่มีร้อยละของปริมาณอัลคาไลน์มากกว่า 1.5 จะนำมาใช้กับ มวลรวมที่ไวต่อปฏิกิริยา (Reactive) ได้ก็ต่อเมื่อผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการไม่ปรากฏการขยายตัวจนเกิดการเสียหายได้ (Deleterious Expansion) (ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และคณะ 2542)

2.5.2 คุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าลอย

คุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพโดยทั่วไปของเถ้าลอยประกอบด้วย

2.5.2.1 รูปร่างของเถ้าลอย เถ้าลอยโดยทั่วไปจะมีรูปร่างส่วนใหญ่มีลักษณะค่อนข้างกลมหรือเกือบกลม บางครั้งอาจพบลักษณะเป็นรูพรุน ซึ่งมีน้ำหนักเบาสามารถลอยน้ำได้หรืออาจพบในลักษณะที่มีรูปร่างไม่แน่นอน ซึ่งแตกต่างจากซีเมนต์ที่มีลักษณะ เป็นแท่งหรือเป็นเหลี่ยมดังรูปที่ 2.1 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้เผาเถ้าลอย ความละเอียดของถ่านหินก่อนจะเผาและชนิดของถ่านหิน

2.5.2.2 ความละเอียด (Fineness) ขนาดหรือพื้นที่ผิวจำเพาะของเถ้าลอยจะ บ่งบอกถึงความสามารถในการทำปฏิกิริยา Pozzolnic ซึ่งจะใช้การทดสอบความละเอียดของ เถ้าลอย ตามมาตรฐาน ASTM C 430 – 36 โดยกำหนดปริมาณของเถ้าลอยที่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 325 (45 ไมโครเมตร) โดยวิธีร่อนแบบเปียก (Wet Sieving) เนื่องจากเถ้าลอยมีอนุภาคหยาบจะมีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อย ทำปฏิกิริยาได้ช้ากว่าอนุภาคที่ละเอียดกว่า นั่นคือส่วนที่ผ่านตะแกรงแล้วจะทำปฏิกิริยาได้มีประสิทธิภาพดีกว่า นอกจากนี้ยังจะบอกขนาดของอนุภาคจากการวัดพื้นที่ผิวจำเพาะโดยวิธีของเบลน (Blaine specific surface - area technique) ตามมาตรฐาน ASTM C 204 – 96a หรือวิธี Partical - size analysis หรือวิธี Brunauer – Emmett - Teller (BET) มีหน่วยเป็นตารางเซนติเมตรต่อกรัม แต่จากการทดสอบเถ้าลอยจากแหล่งต่าง ๆ นั้น การบอกขนาดของอนุภาคโดยวิธีดังกล่าวไม่ค่อยสัมพันธ์กันนัก



รูปที่ 2.1 ภาพขยาย SEM ของอนุภาคเถ้าลอยที่มีลักษณะต่าง ๆ กัน

ตารางที่ 2.2 ความถ่วงจำเพาะ ความละเอียด และขนาดเฉลี่ยของอนุภาคปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และเถ้าลอย จากแหล่งต่างๆ

Sample Type	Specific Gravity	Retained on Sieve 325(%)	Air Permeability (cm ² /g)	Mean Partical (ไมโครเมตร)
ซีเมนต์	3.14	4.7	3120	13.0
แม่เมาะ	2.02	37.4	2370	28.5
ระยอง	2.19	32.9	3380	32.0
สมุทรสาคร	2.24	17.8	5380	18.3
กาญจนบุรี	2.50	45.9	7720	44.2
ต่างประเทศ	2.23	26.9	4880	27.0

จะเห็นได้ว่าเถ้าลอยที่มีปริมาณค้ำบนตะแกรงน้อยจะมีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะสูงกว่า ยกเว้นเถ้าลอยจากกาญจนบุรีซึ่งขัดกันอยู่ทั้งนี้จากการใช้ Scanning Electron Microscope (SEM) พบว่ามีลักษณะเป็นรูพรุนในเนื้อเถ้าลอยทำให้พื้นที่ผิวจำเพาะโดยวิธีของเบลม สูงมากทั้งที่อนุภาคหยาบ (ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และคณะ 2542)

2.6 สารโซเดียมซัลเฟต

สารโซเดียมซัลเฟต (Sodium Sulphate) หรือ "Salt Cake" เป็นสารที่ใช้ใน อุตสาหกรรมการผลิตกระดาษ ซึ่งเป็นสารเคมีที่สามารถสังเคราะห์ได้จากเกลือกำมะถันที่อยู่ในน้ำเค็มซึ่งอยู่ใต้บาดาลในรัฐเทกซัส หรืออาจสังเคราะห์ได้จากการนำกรดซัลฟริก (H_2SO_4) มาทำปฏิกิริยากับเกลือ ($NaCl$) สารโซเดียมซัลเฟต มีคุณสมบัติในการช่วยเร่งปฏิกิริยา ปอซโซลาน ทำให้การพัฒนาที่กำลังอัดเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว (Shi and Day 1993) แต่การเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน และการพัฒนาที่กำลังอัดจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมี และทางกายภาพของสารปอซโซลาน อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสาน ปริมาณการใช้สารเคมี และอุณหภูมิในการผสมและการบ่ม

2.7 ยิปซัม

ยิปซัม (Gypsum) เป็นสารที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตปูนซีเมนต์ เพื่อหน่วงไม่ให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียมอัลูมิเนตซึ่งจะเกิดขึ้นทันทีทันใด และทำให้เกิดการแข็งตัวของซีเมนต์เฟส และเพื่อหน่วงไม่ให้เกิดปฏิกิริยานี้อย่างรวดเร็ว จึงใส่ยิปซัมเข้าไปในกระบวนการบดซีเมนต์ ยิปซัมจะทำปฏิกิริยากับไตรแคลเซียมอัลูมิเนตก่อให้เกิดชั้นของเอทิงไจด์บนผิวของอนุภาคของไตรแคลเซียมอัลูมิเนต ชั้นของเอทิงไจด์ก่อให้เกิดการหน่วงการก่อตัวของ ไตรแคลเซียมอัลูมิเนต และทำให้การก่อตัวในช่วงแรกนี้ขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาไฮเดรชันของ ไตรแคลเซียมซิลิเกต และไดแคลเซียมซิลิเกต เป็นส่วนใหญ่

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการเตรียมวัสดุ การควบคุมคุณภาพของวัสดุที่จะนำมาสร้างเป็นวัสดุประสาน วิธีการทดสอบคุณสมบัติทางเคมี และทางกายภาพ รวมทั้งวิธีการทดสอบ คุณสมบัติต่างๆของวัสดุประสาน ซึ่งวัสดุประสานในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย วัสดุประสานที่ได้จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับเถ้าลอย และวัสดุประสานที่ได้จากปูนซีเมนต์ กากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอย โดยใช้สารโซเดียมซิลเฟต และยิปซัม ในการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลาน

3.1 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย แบ่งได้เป็น 2 ระยะดังนี้

- ระยะที่ 1 ศึกษาชนิดและปริมาณของสารเคมีที่ใช้กระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน รวมถึงคุณสมบัติทางเคมี ทางกายภาพ และ ทางกล ของมอร์ตาร์ ที่มีกากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอย เป็นวัสดุประสาน
- ระยะที่ 2 จากชนิดและปริมาณของสารเคมีที่มีผลดีต่อปฏิกิริยาปอซโซลานของมอร์ตาร์ในระยะที่ 1 นำมาใช้กับมอร์ตาร์ ที่มีซีเมนต์ กากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอย เป็นวัสดุประสาน เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมี ทางกายภาพ และ ทางกล ของมอร์ตาร์

3.2 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

- 3.1.1 กากแคลเซียมคาร์ไบด์ ได้จากบริษัทสาย 5 ผลิตภัณฑ์ก๊าซ จังหวัดนครปฐม
- 3.1.2 เถ้าลอย ได้จากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าแม่เมาะ ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย อำเภอมะเมาะ จังหวัดลำปาง
- 3.1.3 ปูนซีเมนต์ ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ตามมาตรฐาน ASTM C 150 – 97 และตามมาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรม มอก. 15 – 2532 เป็นปูนซีเมนต์ที่ใหม่ไม่เสื่อมสภาพ
- 3.1.4 ทราย ใช้ทรายเม้นน้ำร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 16 ค้างบนตะแกรงเบอร์ 100 ล้างน้ำให้สะอาด นำไปตากแดดให้แห้งแล้วเก็บใส่ถัง
- 3.1.5 สารโซเดียมซิลเฟต และยิปซัมที่ใช้ในการทดสอบเป็นสารเคมีประเภท Analytical Grade
- 3.1.6 น้ำ ใช้ น้ำสะอาด ซึ่งในการทดสอบนี้ใช้น้ำประปา

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

- 3.2.1 ตะแกรงวิเคราะห์ขนาด
- 3.2.2 เครื่องผสมมอร์ตาร์
- 3.2.3 แบบหล่อมอร์ตาร์ขนาด 5×5×5 เซนติเมตร พร้อมอุปกรณ์สำหรับการเท กระทุ้งและปาดหน้ามอร์ตาร์

- 3.2.4 ชุดทดสอบการไหลของมอร์ตาร์
- 3.2.5 อุปกรณ์ทดสอบระยะเวลาการก่อตัวโดย Vicat Needle
- 3.2.6 อุปกรณ์ทดสอบความถ่วงจำเพาะโดยขวดมาตรฐาน Le Chatelier
- 3.2.7 อุปกรณ์ทดสอบความละเอียดโดย Air Blaine Permeability
- 3.2.8 เครื่องถ่ายภาพขยายกำลังสูง Scanning Electron Microscope (SEM)
- 3.2.9 เครื่องวิเคราะห์ขนาด Laser Size Distribution
- 3.2.10 เครื่องวิเคราะห์สถานะผลึก X-Ray Diffraction Spectroscopy (XRD)
- 3.2.11 เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี X-Ray Fluorescence Spectroscopy (XRF)
- 3.2.12 เครื่องบด Los Angeles Abrasion
- 3.2.13 เครื่อง Universal Testing Machine (UTM)

3.3 วิธีการวิจัย

3.3.1 การเตรียมวัสดุที่ใช้ในการวิจัย

3.3.1.1 กากแคลเซียมคาร์ไบด์นำมาจากบริษัทสาย 5 ผลิตภัณฑ์ก๊าซ ทำการเผาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำมาบดด้วยเครื่องบด Los Angeles Abrasion เป็นเวลา 6 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เพื่อคัดอนุภาคที่หยาบออก โดยกำหนดปริมาณของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 325 โดยวิธีร่อนแบบเปียกไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

3.3.1.2 แก้วลอยนำมาจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง แก้วลอยที่ใช้ในการทดสอบนี้ประกอบด้วยแก้วลอยในสภาพเดิม และแก้วลอยที่นำมาบดด้วยเครื่องบด Los Angeles Abrasion เป็นเวลา 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เพื่อคัดอนุภาคที่หยาบออก

3.3.1.3 สารโซเดียมซิลเฟต และยิปซัมที่ใช้ในการทดสอบเป็นสารเคมีประเภท Analytical Grade ซึ่งเป็นสารเคมีที่มีความบริสุทธิ์

3.3.2 การทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

3.3.2.1 การทดสอบหาค่าความเป็นกรด-ด่างของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ และแก้วลอย โดยวัดค่า pH ซึ่งทำได้โดยการนำวัสดุที่ทำกรทดสอบจำนวน 5 กรัม แล้วนำน้ำ 10 ลูกบาศก์เดซิเมตร เทลงไปในโหลละลาย แล้วใช้อิเล็คโทรดจุ่มลงในสารละลายอ่านค่า Digital pH Meter

3.3.2.2 การทดสอบหาองค์ประกอบทางเคมีของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ และแก้วลอย ทำการทดสอบโดยใช้เครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometer

3.3.3 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

3.3.3.1 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ แก้วลอยในสภาพเดิม และแก้วลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ตามมาตรฐาน ASTM C 188 - 95 โดยใช้ขวดมาตรฐานเลอแชเทลิเย (Standard Le Chatelier Flask)

3.3.3.2 ทำการถ่ายภาพกำลังสูงของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ แก้วลอยในสภาพเดิม และแก้วลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope

3.3.3.3 การวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาค (Partical Size Distribution) ของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ แก้วลอยในสภาพเดิม และแก้วลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 โดยใช้เครื่องมือ Partical Analyzer Microtrac

3.3.3.4 การทดสอบความละเอียดของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ เถ้าลอยในสภาพเดิม และ เถ้าลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 โดยน้ำหนักค้างบนตะแกรงเบอร์ 325 (ขนาดช่องเปิด 45 ไมโครเมตร) ตามมาตรฐาน ASTM C 430 – 96 และวัดค่าความละเอียดโดยวิธี Air Blaine Permeability ตามมาตรฐาน ASTM C 204 – 96a

3.3.4 การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุประสานที่ได้จากส่วนผสมของกากแคลเซียม คาร์ไบด์กับเถ้าลอยในสภาพเดิม และกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับเถ้าลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ในอัตราส่วนผสมร้อยละ 30 : 70 โดยน้ำหนัก และใช้สารโซเดียม ซัลเฟต และยิปซัมในอัตราส่วนผสมร้อยละ 0, 2, 4, 6 และ 8 โดยน้ำหนักของวัสดุประสานในการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลาน ดังแสดงในตารางที่ 3.1 วัสดุประสานที่ใช้ในการทดสอบต้องนำมาผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันก่อน เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการเกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ และทำให้ผลการทดลองไม่ถูกต้อง สารโซเดียมซัลเฟต และยิปซัมต้องนำมาละลายในน้ำก่อนที่จะนำไปผสมกับวัสดุประสาน

3.3.4.1 การทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม (Normal Consistency) ของเพสต์ที่ได้จากวัสดุประสานที่เป็นส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ เถ้าลอย สารโซเดียมซัลเฟต และยิปซัม การทดสอบทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 187 – 86

3.3.4.2 การทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัว (Setting Time) การทดลองใช้อุปกรณ์ Vicat Needle ทำการทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้น และระยะเวลาการก่อตัว ที่ระยะต้นและที่ระยะปลายของเพสต์ที่ได้จากวัสดุประสานที่เป็นส่วนผสมของ กากแคลเซียมคาร์ไบด์ เถ้าลอย สารโซเดียมซัลเฟต และยิปซัม ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 191 – 92

3.3.4.3 การทดสอบความสามารถในการไหลของมอร์ตาร์ การทดสอบนี้ ทำการทดสอบการไหลของมอร์ตาร์ที่ได้จากส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ เถ้าลอย สารโซเดียมซัลเฟต และยิปซัม วัสดุประสานผสมกับทรายในอัตราส่วนผสมร้อยละ 1 : 2.75 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 230 – 90 โดยโต๊ะทดสอบการไหล (Flow Table) ในการทดสอบ ปริมาณน้ำที่ใช้ในทุกส่วนผสมเท่ากับปริมาณน้ำที่ทำให้มอร์ตาร์ที่ไม่มีสารโซเดียมซัลเฟต และยิปซัมเป็นส่วนผสม มีร้อยละการไหลเท่ากับ 110 ± 5

3.3.4.4 การทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ การทดสอบนี้ทำการทดสอบ การรับกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ได้จากส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ เถ้าลอย สารโซเดียมซัลเฟต และยิปซัม ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 109/C 09 – 95 ทำการหล่อมอร์ตาร์ขนาด $5 \times 5 \times 5$ เซนติเมตร หลังจากนั้นทำการบ่มขึ้นและการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่อายุการบ่ม 1, 3, 7, 14, 28 และ 60 วัน

3.3.4.5 การทดสอบหาสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาปอซโซลานของวัสดุประสานที่ได้จากส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ เถ้าลอย สารโซเดียมซัลเฟต และยิปซัม โดยทำการหล่อเพสต์ในรูปของลูกบาศก์ขนาด $5 \times 5 \times 5$ เซนติเมตร หลังจากได้อายุทดสอบแล้วต้องทำการบดให้เป็นผงละเอียด แล้วทำการไล่น้ำออกเพื่อหยุดการเกิดปฏิกิริยา การทดสอบนี้ทำการทดสอบโดยใช้เครื่องวิเคราะห์สถานะผลึก X-Ray Diffraction Spectroscopy (XRD) ทำการทดสอบที่อายุ 1, 7 และ 28 วัน

3.3.5 การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุประสานที่ได้จากส่วนผสมของ ปูนซีเมนต์ กากแคลเซียมคาร์ไบด์กับเถ้าลอยในสภาพเดิม ในอัตราส่วนผสมร้อยละ 60 : 10 : 30 และ 40 : 20 : 40 โดยน้ำหนัก และใช้สารโซเดียมซัลเฟต และยิปซัมในอัตราส่วนผสมร้อยละ 0, 2, 4, 6 และ 8 โดยน้ำหนักของวัสดุประสานในการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลาน ดังแสดงในตารางที่ 3.2 วัสดุประสานที่ใช้ในการทดสอบต้องนำมาผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันก่อน เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการเกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ และทำให้ผลการทดลองไม่ถูกต้อง

3.3.5.1 การทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม (Normal Consistency) ของเฟสท์ที่ได้จากวัสดุประสานที่เป็นส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ปากแคลเซียมคาร์ไบด์ แก้วลอย สารโซเดียมซิลเฟต และยิปซั่ม การทดสอบทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 187 – 86

3.3.5.2 การทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัว (Setting Time) การทดลองใช้อุปกรณ์ Vicat Needle ทำการทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้น และระยะเวลาการก่อตัว ที่ระยะต้นและที่ระยะปลายของเฟสท์ที่ได้จากวัสดุประสานที่เป็นส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ปากแคลเซียมคาร์ไบด์ แก้วลอย สารโซเดียมซิลเฟต และยิปซั่ม ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 191 – 92

3.3.5.3 การทดสอบความสามารถในการไหลของมอร์ตาร์ การทดสอบนี้ ทำการทดสอบการไหลของมอร์ตาร์ที่ได้จากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ปากแคลเซียมคาร์ไบด์ แก้วลอย สารโซเดียมซิลเฟต และยิปซั่ม วัสดุประสานผสมกับทรายในอัตราส่วนผสมร้อยละ 1 : 2.75 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 230 – 90 โดยโต๊ะทดสอบการไหล (Flow Table) ในการทดสอบ ปริมาณน้ำที่ใช้ในทุกส่วนผสมเท่ากับปริมาณน้ำที่ทำให้มอร์ตาร์ที่ไม่มีสารโซเดียมซิลเฟต และยิปซั่มเป็นส่วนผสม มีร้อยละการไหลเท่ากับ 110 ± 5

3.3.5.4 การทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ การทดสอบนี้ทำการทดสอบ การรับกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ได้จากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ปากแคลเซียมคาร์ไบด์ แก้วลอย สารโซเดียมซิลเฟต และยิปซั่ม ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 109/C 09 – 95 ทำการหล่อมอร์ตาร์ขนาด $5 \times 5 \times 5$ เซนติเมตร หลังจากนั้นทำการบ่มชื้นและการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่อายุการบ่ม 1, 3, 7, 14, 28, 60 และ 90 วัน

ตารางที่ 3.1 วัสดุประสานที่ได้ที่ได้จากส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ เถ้าลอยในสภาพเดิมและเถ้าลอย
ที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 สารโซเดียมซิลเฟต และยิปซัม

วัสดุประสาน	ปริมาณกาก แคลเซียมคาร์ไบด์ (ร้อยละ)	ปริมาณเถ้าลอย (ร้อยละ)	ปริมาณสาร โซเดียมซิลเฟต (ร้อยละ)	ปริมาณยิปซัม (ร้อยละ)
CA + OFA	30	70	0	0
CA + OFA + NA2	30	70	2	0
CA + OFA + NA4	30	70	4	0
CA + OFA + NA6	30	70	6	0
CA + OFA + NA8	30	70	8	0
CA + OFA + GYP2	30	70	0	2
CA + OFA + GYP4	30	70	0	4
CA + GFA +GYP6	30	70	0	6
CA + GFA + GYP8	30	70	0	8
CA + GFA	30	70	0	0
CA + GFA + NA2	30	70	2	0
CA + GFA + NA4	30	70	4	0
CA + GFA + NA6	30	70	6	0
CA + GFA + NA8	30	70	8	0
CA + GFA + GYP2	30	70	0	2
CA + GFA + GYP4	30	70	0	4
CA + GFA + GYP6	30	70	0	6
CA + GFA + GYP8	30	70	0	8

หมายเหตุ : อักษร CA คือกากแคลเซียมคาร์ไบด์ OFA คือเถ้าลอยในสภาพเดิม GFA คือเถ้าลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรง NA คือสารโซเดียมซิลเฟต และ GYP คือยิปซัม เช่น CA + GFA + GYP2 คือวัสดุประสานที่ได้จากส่วนผสมของกากแคลเซียมผสมกับเถ้าลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรง และสารโซเดียมซิลเฟตในปริมาณร้อยละ 2 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน

ตารางที่ 3.2 วัสดุประสานที่ได้ที่ได้จากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ กากแคลเซียมคาร์ไบด์ เถ้าลอยสภาพเดิม สารโซเดียมซัลเฟต และยิปซัม

วัสดุประสาน	ปริมาณ ปูนซีเมนต์ (ร้อยละ)	ปริมาณกาก แคลเซียม คาร์ไบด์ (ร้อยละ)	ปริมาณ เถ้าลอย (ร้อยละ)	ปริมาณสาร โซเดียม ซัลเฟต (ร้อยละ)	ปริมาณ ยิปซัม (ร้อยละ)
C60+CA10+OFA30	60	10	30	0	0
C60+CA10+OFA30+NA2	60	10	30	2	0
C60+CA10+OFA30+NA4	60	10	30	4	0
C60+CA10+OFA30+NA6	60	10	30	6	0
C60+CA10+OFA30+NA8	60	10	30	8	0
C60+CA10+OFA30+GYP2	60	10	30	0	2
C60+CA10+OFA30+GYP4	60	10	30	0	4
C60+CA10+OFA30+GYP6	60	10	30	0	6
C60+CA10+OFA30+GYP8	60	10	30	0	8
C40+CA20+OFA40	40	20	40	0	0
C40+CA20+OFA40+NA2	40	20	40	2	0
C40+CA20+OFA40+NA4	40	20	40	4	0
C40+CA20+OFA40+NA6	40	20	40	6	0
C40+CA20+OFA40+NA8	40	20	40	8	0
C40+CA20+OFA40+GYP2	40	20	40	0	2
C40+CA20+OFA40+GYP4	40	20	40	0	4
C40+CA20+OFA40+GYP6	40	20	40	0	6
C40+CA20+OFA40+GYP8	40	20	40	0	8

หมายเหตุ : อักษร C คือปูนซีเมนต์ CA คือกากแคลเซียมคาร์ไบด์ OFA คือเถ้าลอยในสภาพเดิม GFA คือเถ้าลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรง NA คือสารโซเดียมซัลเฟต และ GYP คือยิปซัม

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล

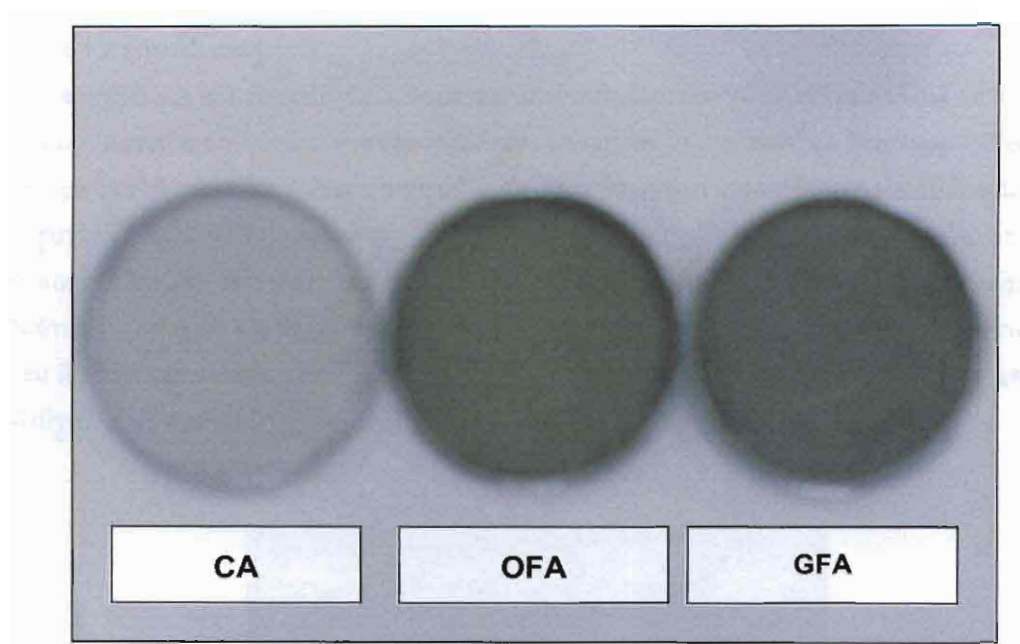
บทนี้กล่าวถึง ผลการทดสอบคุณสมบัติทางเคมี และทางกายภาพของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ เถ้าลอย ที่อยู่ในสภาพเดิม และเถ้าลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรง เบอร์ 200 ซึ่งประกอบด้วย ความเป็นกรด-ด่าง องค์ประกอบทางเคมี สี ความละเอียด ความถ่วงจำเพาะ การกระจายตัวของขนาดอนุภาคและลักษณะรูปร่าง รวมทั้งผลการทดสอบคุณสมบัติต่างๆของวัสดุประสานที่ได้จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับเถ้าลอย และวัสดุประสานที่ได้จากปูนซีเมนต์ กากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอย โดยใช้สารโซเดียมซิลิเฟต และยิปซั่ม ในการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลาน ซึ่งประกอบด้วย การหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม การหาระยะเวลาการก่อตัว ที่ระยะต้นและระยะปลาย การหาความสามารถในการไหลของมอร์ตาร์ ความสามารถในการรับกำลังอัด และ สารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาปอซโซลาน

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอย

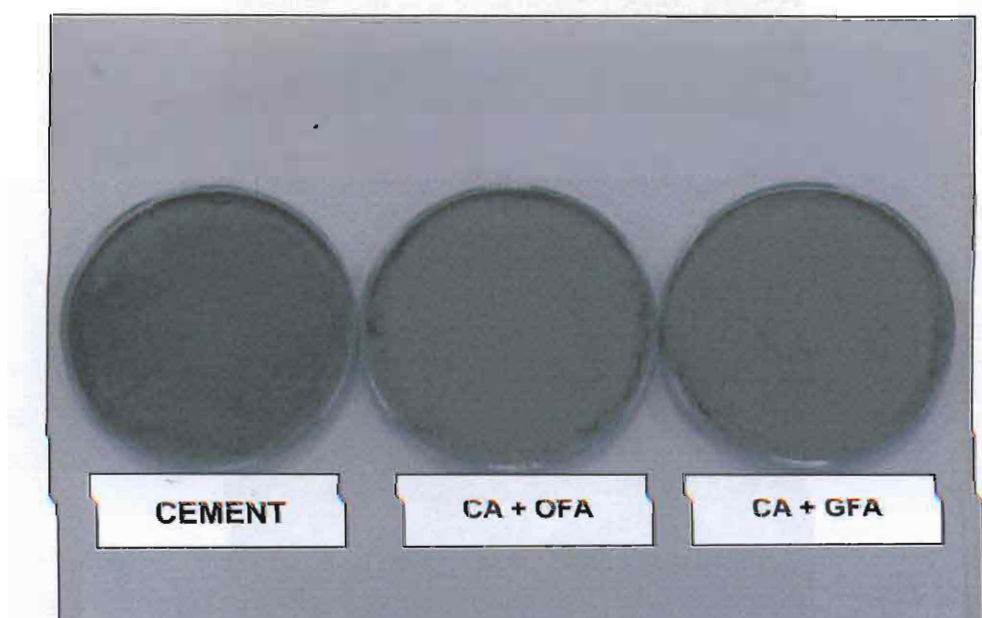
4.1.1 สี

กากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่นำมาจากบ่อทั้งกากแคลเซียมคาร์ไบด์มีลักษณะเป็นของเหลวมีสีเทาเมื่อปล่อยให้แห้งจะมีสีขาวอมเทา ผลของการเผาและร่อนผ่านตะแกรงทำให้สีของ กากแคลเซียมคาร์ไบด์ แตกต่างกันไปโดยกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่ทำการเผาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส สีของกาก แคลเซียมคาร์ไบด์จะขาวขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่ยังไม่เผา และเมื่อหลังจากนำมาร่อน ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 กากแคลเซียมคาร์ไบด์ จะมีสีขาวมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่ ยังไม่ผ่านการร่อน ดังรูปที่ 4.1

เถ้าลอยที่ได้จากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าแม่เมาะที่อยู่ในสภาพเดิมมีสีน้ำตาลเข้ม เมื่อนำเถ้าลอย มาทำการบด และนำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ผลของการบดและร่อน ทำให้สีของเถ้าลอยแตกต่างกัน ออกไป โดยส่วนที่ค้างบนตะแกรงมีสีดำ และมีอนุภาคบางส่วนมีสีน้ำตาลแดง ส่วนเถ้าลอยที่ร่อนผ่านตะแกรง เบอร์ 200 มีสีน้ำตาลอมเทาและไม่มีส่วนที่เป็นสีดำปนอยู่เลยดังรูปที่ 4.1 และเมื่อนำกากแคลเซียมคาร์ไบด์มา ผสมกับเถ้าลอย ทำให้ได้วัสดุที่มีสีเทาล้ำกับปูนซีเมนต์ดังรูปที่ 4.2



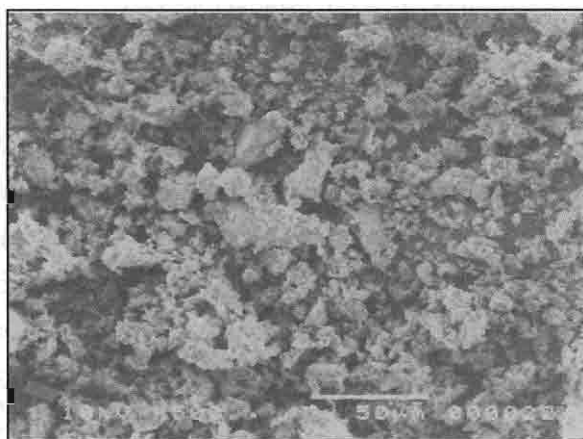
รูปที่ 4.1 สีของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ ถ้าวลอยในสภาพเดิม และถ้าวลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200



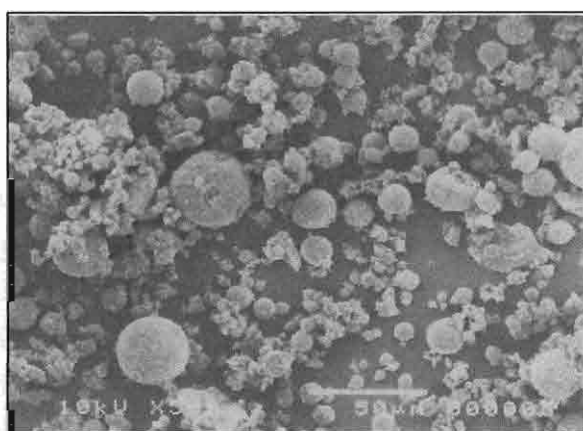
รูปที่ 4.2 สีปูนซีเมนต์เปรียบเทียบกับวัสดุประสานที่ได้จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับ ถ้าวลอยในสภาพเดิม และวัสดุประสานที่ได้จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับ ถ้าวลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200

4.1.2 ลักษณะ และรูปร่าง

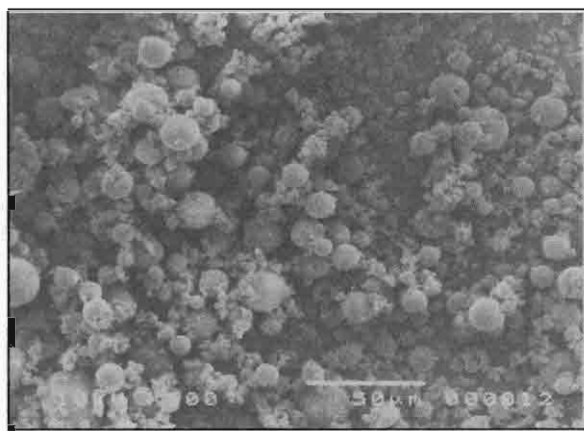
จากรูปที่ 4.3, 4.4 และรูปที่ 4.5 แสดงภาพถ่ายขยายกำลังสูงของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ เถ้าลอยในสภาพเดิม และเถ้าลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope โดยใช้กำลังขยาย 500 เท่า จากรูปที่ 4.3 พบว่ารูปร่างของกากแคลเซียมคาร์ไบด์มีลักษณะเป็นปุยฝุ่น รูปร่างที่ไม่แน่นอนเป็นเหลี่ยม สีขาว ผิวยรุขระ มีรูพรุนมากและมีขนาดอนุภาคแตกต่างกันปะปนกันอยู่ เถ้าลอยในสภาพเดิม มีลักษณะเป็นรูปทรงกลม ผิวยเรียบ และมีขนาดอนุภาคแตกต่างกันปะปนกันกระจายอยู่เป็นจำนวนมากดังรูปที่ 4.4 ส่วนเถ้าลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 พบว่ามีรูปร่างเป็นทรงกลม ผิวยเรียบ และบางส่วน แตกตัวมีขนาดเล็กลง มีรูปร่างหลายเหลี่ยม อันเนื่องมาจากการบด แต่ส่วนใหญ่มักรูปร่างเป็นทรงกลมมีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายขยายกำลังสูงของกากแคลเซียมคาร์ไบด์



รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายขยายกำลังสูงของเถ้าลอยในสภาพเดิม



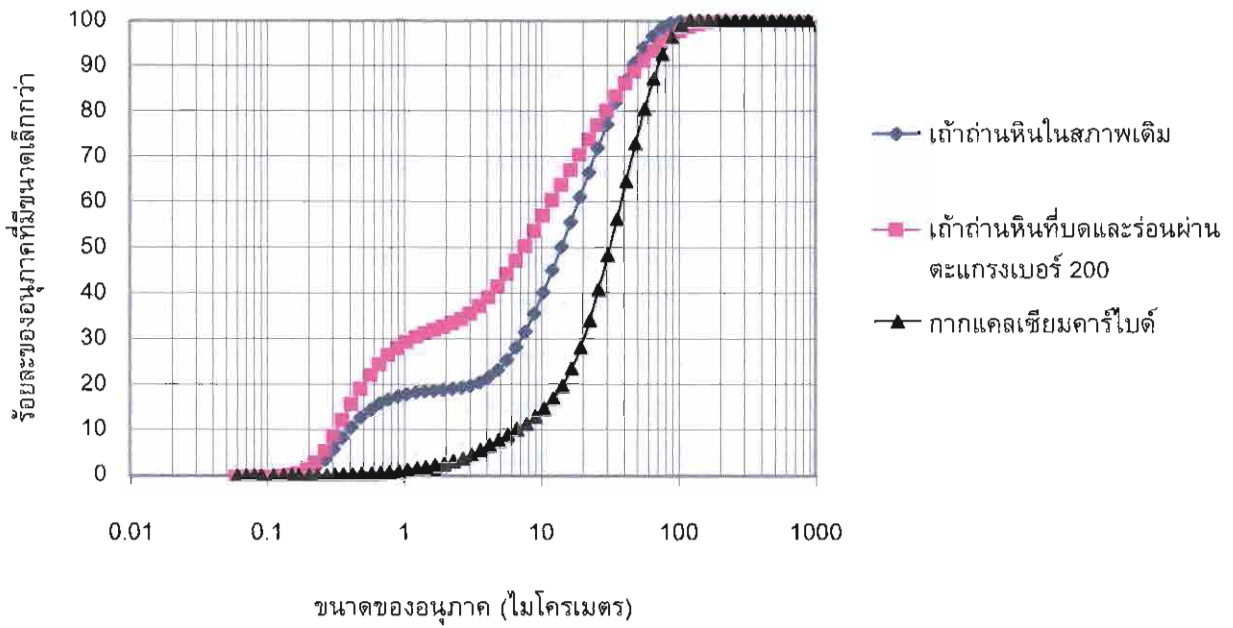
รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายขยายกำลังสูงของเกล็ดลอยที่ผ่านการบดและร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200

4.1.3 ความถ่วงจำเพาะ

กากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่ผ่านการเผา และร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 แล้วมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.27 เกล็ดลอยที่อยู่ในสภาพเดิมและเกล็ดลอยที่ผ่านการบด และร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.53 และ 2.83 ตามลำดับซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ASTM C 618 – 97 กำหนด ความถ่วงจำเพาะของเกล็ดลอยโดยทั่วไป จะมีค่าอยู่ในช่วง 2.2 ถึง 2.8 เมื่อพิจารณาขนาดอนุภาคของเกล็ดลอยที่อยู่ในสภาพเดิม และเกล็ดลอยที่ผ่านการบดและร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 อนุภาคที่ละเอียดกว่า จะมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุประเภทเดียวกัน เนื่องจากอนุภาคเล็ก ช่องว่างระหว่างอนุภาคลดลงจึงทำให้เนื้อวัสดุเพิ่มขึ้นในปริมาตรที่เท่ากันทำให้เกล็ดลอย ที่ผ่านการบดและร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มีความถ่วงจำเพาะสูงกว่าเกล็ดลอยที่อยู่ในสภาพเดิม

4.1.4 การกระจายตัวของอนุภาค

เมื่อพิจารณาจากลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคพบว่าเกล็ดลอยในสภาพเดิม และเกล็ดลอยที่ผ่านการบดและร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มีลักษณะแบบ Bimodal ส่วนตัวอย่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์มีลักษณะการกระจายตัวแบบ Monomodal โดยตัวอย่าง เกล็ดลอยในสภาพเดิมมีการกระจายตัวของอนุภาคในช่วงแรกคือ 0.1 ถึง 2 ไมโครเมตร และในช่วงที่สองมีการกระจายตัวของอนุภาคอยู่ในช่วง 2 ถึง 190 ไมโครเมตร โดยที่จำนวนอนุภาคส่วนมากที่พบสูงสุดที่ 19 ไมโครเมตร ตัวอย่างเกล็ดลอยที่ผ่านการบดและร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มีการกระจายตัวของอนุภาคในช่วงแรกคือ 0.1 ถึง 2 ไมโครเมตร และในช่วงที่สองมีการกระจายตัวของอนุภาคอยู่ในช่วง 2 ถึง 100 ไมโครเมตร โดยที่จำนวนอนุภาคส่วนมากที่พบสูงสุดที่ 0.34 ไมโครเมตร และตัวอย่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์ มีการกระจายตัวของอนุภาค อยู่ในช่วงประมาณ 0.36 ถึง 121 ไมโครเมตร โดยที่จำนวนอนุภาคส่วนมากที่พบสูงสุดที่ 43.9 ไมโครเมตร และจากรูปที่ 4.6 พบว่าค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลางเชิงปริมาตรของ กากแคลเซียมคาร์ไบด์มีขนาดใหญ่ที่สุด เกล็ดลอยในสภาพเดิมมีขนาดใหญ่รองลงมา และเกล็ดลอยที่ผ่านการบดและร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มีขนาดเล็กที่สุดโดยมีค่า 33, 15 และ 8 ไมโครเมตรตามลำดับ



รูปที่ 4.6 แสดงการกระจายตัวของอนุภาคของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ เถ้าลอยในสภาพเดิมและเถ้าลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200

4.1.5 ความละเอียด

กากแคลเซียมคาร์ไบด์เมื่อทำการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 325 โดยวิธีเปียกจะมีวัสดุ ค้างบนตะแกรงคิดเป็นร้อยละ 6 เถ้าลอยที่อยู่ในสภาพเดิม และเถ้าลอยที่ผ่านการบด และร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เมื่อทำการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 325 โดยวิธีเปียกจะมีวัสดุ ค้างบนตะแกรงคิดเป็นร้อยละ 37.4 และ 25 ตามลำดับ จะสังเกตเห็นว่าเถ้าลอยที่อยู่ในสภาพเดิมจะมีร้อยละการค้างบนตะแกรงเบอร์ 325 สูงกว่ามาตรฐานอยู่เล็กน้อย ซึ่งตามมาตรฐาน ASTM C 618 – 97 กำหนดไว้ไม่เกินร้อยละ 34 ส่วนเถ้าลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 จะมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของผลการทดสอบระหว่างการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 325 โดยวิธีเปียก และการกระจายตัวของอนุภาคจากรูปที่ 4.6 พบว่าขนาดอนุภาคของ กากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่มากกว่า 45 ไมโครเมตรมีประมาณร้อยละ 30 แต่จากผลการทดสอบโดยการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 325 โดยวิธีเปียกมีการค้างบนตะแกรงเพียงร้อยละ 6 ส่วนเถ้าลอยในสภาพเดิมพบว่าขนาดอนุภาคที่มากกว่า 45 ไมโครเมตรมีประมาณร้อยละ 11 แต่จากผลการทดสอบโดยการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 325 โดยวิธีเปียกมีการค้างบนตะแกรง ร้อยละ 37.4 เถ้าลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 พบว่าขนาดอนุภาคที่มากกว่า 45 ไมโครเมตรมีประมาณร้อยละ 13 แต่จากผลการทดสอบโดยการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 325 โดยวิธีเปียกมีการค้างบนตะแกรงร้อยละ 25

กากแคลเซียมคาร์ไบด์เมื่อทำการทดสอบความละเอียดโดยวิธีการหาพื้นที่ผิวจำเพาะโดยวิธีแอร์เพอร์มีอะบิลิตีได้ค่าเท่ากับ 5,013 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม

เถ้าลอยที่อยู่ในสภาพเดิม และเถ้าลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เมื่อทำการทดสอบความละเอียดโดยวิธีการหาพื้นที่ผิวจำเพาะโดยวิธีแอร์เพอร์มีอะบิลิตี ได้ค่าเท่ากับ 4,036 และ 5,967 ตารางเซนติเมตรต่อกรัมตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐานกำหนด จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าเถ้า

ลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรง มีปริมาณของอนุภาคที่มีขนาดเล็กมากกว่า ประกอบกับมีขนาดคล่องกันดี ดังนั้นเมื่อถูกอัดตัวขณะทำการทดสอบจึงทำให้มีการเรียงตัวเป็นระเบียบอัดแน่นมีช่องว่างน้อยเป็นเหตุให้อากาศไหลผ่านได้ยาก ต่างจากถั่วลันเตาในสภาพเดิมซึ่งบางส่วนมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่ และมีขนาดของอนุภาคที่แตกต่างกันมากเมื่อถูกอัดจะขัดกันเองเป็นเหตุให้ช่องว่างมากอากาศผ่านได้ง่าย และกากแคลเซียมคาร์ไบด์ก็เช่นเดียวกันคือถึงจะมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยขนาดใหญ่ แต่มีขนาดของอนุภาคที่เล็กเป็นจำนวนมาก เนื่องจากการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ประกอบกับมีขนาดคล่องที่ดีจึงทำให้เมื่อถูกอัดจะจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบอากาศจึงผ่านได้ยาก และนอกจากนี้ กากแคลเซียมคาร์ไบด์เมื่อถูกอัดสามารถแตกตัวให้มีขนาดอนุภาคที่เล็กลงได้ง่าย ผลจากการทดสอบจึงให้ค่าที่สูงกว่าถั่วลันเตาที่อยู่ในสภาพเดิม

จากผลการทดสอบทำให้ทราบว่า การทดสอบหาความละเอียดของวัสดุเพียงวิธี การทดสอบเดียวอาจไม่สามารถสรุปได้ว่าวัสดุชิ้นใดมีความละเอียดมากที่สุด ดังนั้นควรพิจารณาจากผลการทดสอบหลายวิธี ประกอบกัน อย่างเช่นวัสดุที่ละลายน้ำได้ก็ไม่เหมาะสมกับวิธีการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 325 โดยวิธีเปียก และนอกจากนี้ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาค และรูปร่างของวัสดุที่นำมาทดสอบก็มีผลกับการทดสอบหาพื้นที่ผิวจำเพาะด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 4.1 ความถ่วงจำเพาะ ค่าความละเอียด และขนาดอนุภาคเฉลี่ยของกากแคลเซียม คาร์ไบด์ถั่วลันเตา ในสภาพเดิม และถั่วลันเตาที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200

วัสดุ	ความถ่วงจำเพาะ	ร้อยละการค้ำบน ตะแกรงเบอร์ 325	พื้นที่ผิวจำเพาะ (ตารางเซนติเมตรต่อกรัม)	ขนาดอนุภาค เฉลี่ย (ไมโครเมตร)
CA	2.27	6	5,013	35
OFA	2.53	37.4	4,036	15
GFA	2.83	25	5,967	8

4.2 คุณสมบัติทางเคมีของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอย

4.2.1 ความเป็นกรด – ด่าง

กากแคลเซียมคาร์ไบด์มีค่าความเป็นกรด – ด่าง เท่ากับ 12 และเถ้าลอยมีค่า ความเป็นกรด – ด่าง เท่ากับ 9.7 ซึ่งมีสภาพความเป็นด่างเหมือนกัน และเนื่องจาก กากแคลเซียมคาร์ไบด์มีปริมาณของ CaO สูงถึงร้อยละ 61.1 จึงทำให้มีสภาพความเป็นด่างสูงมากกว่าเถ้าลอยซึ่งมีปริมาณของ CaO ต่ำกว่า

4.2.2 องค์ประกอบทางเคมี

จากผลการทดสอบการหาองค์ประกอบทางเคมีของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอย ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ซึ่งตามมาตรฐาน ASTM C 618 – 97 แบ่งสารปอซโซลานออกเป็น 2 ประเภทคือ Class F และ Class C โดยที่ Class C มีปริมาณ $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ รวมกันไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 และ Class F มีปริมาณ $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ รวมกันมากกว่าร้อยละ 70 จากตารางที่ 4.2 เถ้าลอยที่ใช้ ในงานวิจัยนี้จัดอยู่ใน Class F เนื่องจากมีปริมาณของ $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ เท่ากับร้อยละ 73.18 ส่วนกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่เผาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส มีปริมาณของ $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ เท่ากับร้อยละ 3.76 ซึ่งไม่จัดอยู่ในพวกสารปอซโซลาน แต่มีปริมาณของ CaO มากถึงร้อยละ 61.12 ส่วนเถ้าลอยมีปริมาณของ CaO ก่อนชั่งน้อยคือมีปริมาณร้อยละ 11.51 สำหรับค่า MgO , Na_2O , K_2O และ SO_3 ในกากแคลเซียมคาร์ไบด์มีปริมาณร้อยละ 0.88 และในเถ้าลอยมีปริมาณร้อยละ 12.28 ส่วนค่า LOI ของกากแคลเซียมคาร์ไบด์มีค่าค่อนข้างสูงคือมีค่าเท่ากับ 32.61 เนื่องจากกากแคลเซียมคาร์ไบด์มีความชื้นสูง และเมื่อ ทำการวิเคราะห์ที่อุณหภูมิสูงถึง $1,000 \pm 50$ องศาเซลเซียสจึงทำให้ปริมาณของ H_2O ระเหยกลายเป็นก๊าซในระหว่างการทดสอบ จึงทำให้น้ำหนักหายไปในระหว่างการวิเคราะห์มาก ส่วนค่า LOI ของเถ้าลอยมีค่าต่ำมากคือมีค่าเท่ากับเท่ากับ 2.40 ซึ่งต่ำกว่าร้อยละ 12 ตามมาตรฐาน ASTM C618 – 97 สำหรับเถ้าลอย Class F กำหนด

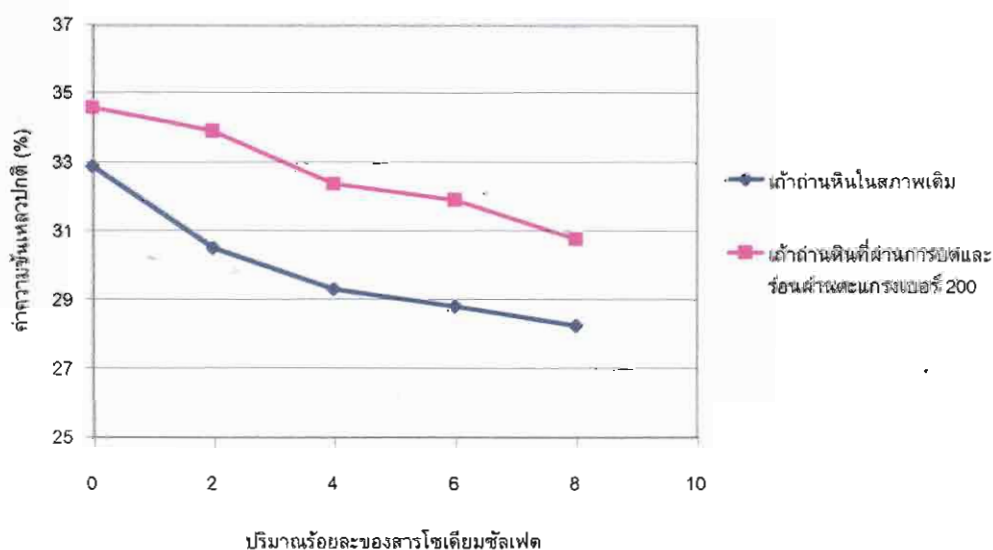
ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอย

วัสดุ	องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)								
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	SO_3	LOI
CA	2.43	1.19	0.14	61.1	0.40	0.01	0.03	0.44	32.6
FA	39.91	23.36	9.91	11.5	2.26	2.19	3.25	4.58	2.40

4.3 คุณสมบัติของวัสดุประสานที่ได้จากส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอย

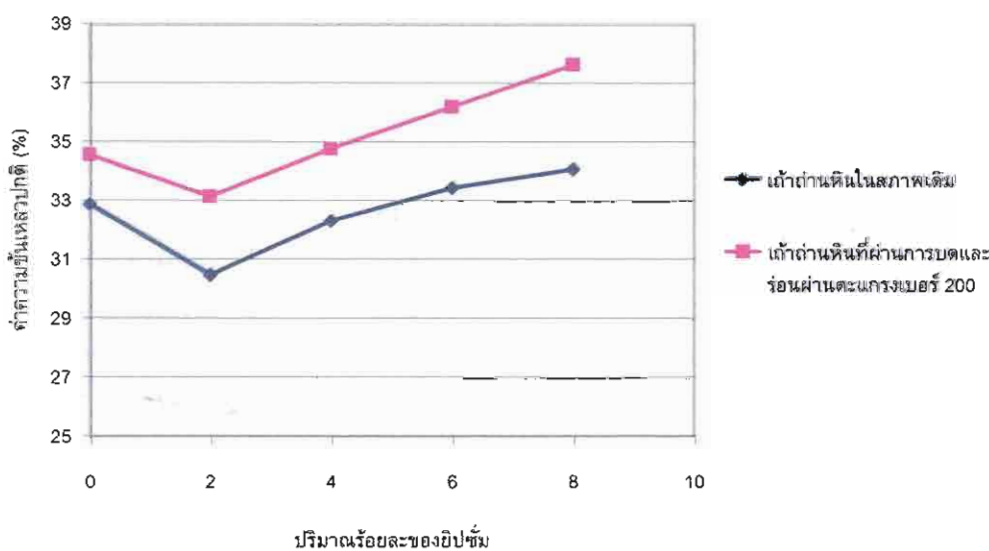
4.3.1 ปริมาณน้ำที่เหมาะสม

4.3.1.1 ปริมาณน้ำที่เหมาะสมของเพสต์ที่ได้จากส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ กับ เถ้าลอยในสภาพเดิม และเถ้าลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 โดยใช้สารโซเดียมซิลเฟตในการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลาน ผลการทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมพบว่าเพสต์ที่ใช้เถ้าลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มีความต้องการน้ำที่เหมาะสมสำหรับการทำปฏิกิริยาในปริมาณสูงกว่าเพสต์ที่ใช้เถ้าลอยในสภาพเดิม เนื่องจากความละเอียดที่เพิ่มมากขึ้นและมีพื้นที่ผิวจำเพาะที่มากขึ้นจึงทำให้ต้องการน้ำในปริมาณมาก ซึ่งสังเกตได้จากเพสต์ CA + GFA มีค่าความชื้นเหลวปกติเท่ากับ 34.6 ในขณะที่เพสต์ CA + OFA มีค่าความชื้นเหลวปกติเท่ากับ 32.9 และมีแนวโน้ม เช่นเดียวกันนี้กับเพสต์ที่มีปริมาณของสารโซเดียมซิลเฟตที่เท่ากัน แต่แตกต่างกันที่ ความละเอียดของเถ้าลอยที่ใช้ในวัสดุประสาน เช่นในเพสต์ CA + OFA + NA4 มีค่าความชื้นเหลวปกติเท่ากับ 29.3 เทียบกับเพสต์ CA + GFA + NA4 มีค่าความชื้นเหลวปกติ เท่ากับ 32.4 และยังพบว่าการใช้สารโซเดียมซิลเฟตผสมลงในเพสต์ของวัสดุประสาน มีผลทำให้ค่าความชื้นเหลวปกติแปรผกผันกับปริมาณของสารโซเดียมซิลเฟต สังเกตได้จากเพสต์ CA + OFA + NA2 มีค่าความชื้นเหลวปกติเท่ากับ 30.5 ในขณะที่เพสต์ CA + OFA + NA4 มีค่าความชื้นเหลวปกติเท่ากับ 29.3 และค่าความชื้นเหลวปกติจะลดลงอีกเมื่อเพิ่มปริมาณของสารโซเดียมซิลเฟต และยังมีแนวโน้มเช่นเดียวกันนี้กับเพสต์ที่ใช้เถ้าลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เช่นเพสต์ CA + GFA + NA2 มีค่าความชื้นเหลวปกติ เท่ากับ 33.9 ในขณะที่เพสต์ CA + GFA + NA4 มีค่าความชื้นเหลวปกติเท่ากับ 32.4 และค่าความชื้นเหลวปกติจะลดลงอีกเมื่อปริมาณของสารโซเดียมซิลเฟตเพิ่มมากขึ้น กล่าวคือเมื่อใช้ปริมาณของสารโซเดียมซิลเฟตมากขึ้นทำให้ค่าความชื้นเหลวลดลง เนื่องจากสารโซเดียมซิลเฟตสามารถละลายน้ำได้จึงทำให้มีปริมาณของเหลวเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้ปริมาณการใช้น้ำลดลงดังแสดงใน ตารางที่ 4.3 และ 4.4 และ รูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นเหลวปกติกับปริมาณร้อยละของสารโซเดียมซิลเฟตในส่วนผสมของวัสดุประสานที่ได้จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับเถ้าลอยในสภาพเดิม และเถ้าลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200

4.3.1.2 ปริมาณน้ำที่เหมาะสมของเพสต์ที่ได้จากส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ ผสมกับถั่วลอยในสภาพเดิม และถั่วลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 โดยใช้ยิปซัมในการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลาน พบว่าความละเอียดของถั่วลอยยังมีผลต่อค่าความชื้นเหลือปกติเหมือนกับเพสต์ที่ใช้สารโซเดียมซิลเฟตในการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานคือเพสต์ที่มีปริมาณของยิปซัมที่เท่ากันแต่แตกต่างกันที่ความละเอียดของถั่วลอย เพสต์ที่ถั่วลอยมีความละเอียดมากกว่าจะมีค่าความชื้นเหลือปกติที่มากกว่าสังเกตได้จากเพสต์ CA+ OFA + GYP2 มีค่าความชื้นเหลือปกติเท่ากับ 30.5 ในขณะที่เพสต์ CA + GFA + GYP2 มีค่าความชื้นเหลือปกติเท่ากับ 33.2 และพบว่าเพสต์ที่มีส่วนผสมของยิปซัมจะทำให้ค่าความชื้นเหลือปกติลดลงเมื่อใช้ปริมาณยิปซัมร้อยละ 2 เทียบกับเพสต์ที่ไม่มียิปซัม สังเกตได้จากเพสต์ CA + OFA มีค่าความชื้นเหลือปกติเท่ากับ 32.9 และเพสต์ CA + OFA + GYP2 มีค่าความชื้นเหลือปกติเท่ากับ 30.5 เนื่องจากยิปซัมสามารถ ละลายน้ำได้หมดปริมาณของเหลวจึงเพิ่มขึ้นทำให้ใช้น้ำในปริมาณที่น้อยลง แต่เมื่อใช้ปริมาณของยิปซัมมากกว่าร้อยละ 2 ค่าความชื้นเหลือปกติจะแปรผันกับปริมาณของยิปซัม สังเกตได้จากเพสต์ CA + OFA + GYP2 มีค่าความชื้นเหลือปกติเท่ากับ 30.5 ในขณะที่เพสต์ CA + OFA + GYP4 มีค่าความชื้นเหลือปกติเท่ากับ 32.3 และยังมีแนวโน้มเช่นเดียวกันนี้กับเพสต์ที่ใช้ถั่วลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เช่นเพสต์ CA + GFA + GYP2 มีค่าความชื้นเหลือปกติเท่ากับ 33.2 ในขณะที่เพสต์ CA + GFA + GYP4 มีค่าความชื้นเหลือปกติเท่ากับ 34.8 เนื่องจากการใช้ยิปซัมมากขึ้นทำให้ยิปซัมบางส่วนไม่สามารถละลายน้ำได้จึงทำให้มีปริมาณของอนุภาคเพิ่มขึ้นมีผลทำให้มีความต้องการน้ำ ในปริมาณที่มากขึ้นด้วยดังแสดงในตารางที่ 4.3 และ 4.4 และ รูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นเหลือปกติกับปริมาณร้อยละของยิปซัมในส่วนผสมของวัสดุประสานที่ได้จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับถั่วลอยในสภาพเดิมและถั่วลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200

ตารางที่ 4.3 ปริมาณน้ำที่เหมาะสม และระยะเวลาการก่อดำของเพสต์ที่ได้จากส่วนผสมของ กาก แคลเซียมคาร์ไบด์กับถั่วลันเตาในสภาพเดิม โดยใช้สารโซเดียมซัลเฟต และยิปซัมเร่งปฏิกิริยาปอชโซลาน

วัสดุประสาน	ปริมาณน้ำที่เหมาะสม (%)	ระยะเวลาการก่อดำที่ระยะต้น (นาท)	ระยะเวลาการก่อดำที่ระยะปลาย (นาท)
CA + OFA	32.9	165	270
CA + OFA + NA2	30.5	150	225
CA + OFA + NA4	29.3	110	215
CA + OFA + NA6	28.8	150	225
CA + OFA + NA8	28.3	225	390
CA + OFA + GYP2	30.5	105	165
CA + OFA + GYP4	32.3	90	195
CA + OFA + GYP6	33.5	120	195
CA + OFA + GYP8	34.1	140	225

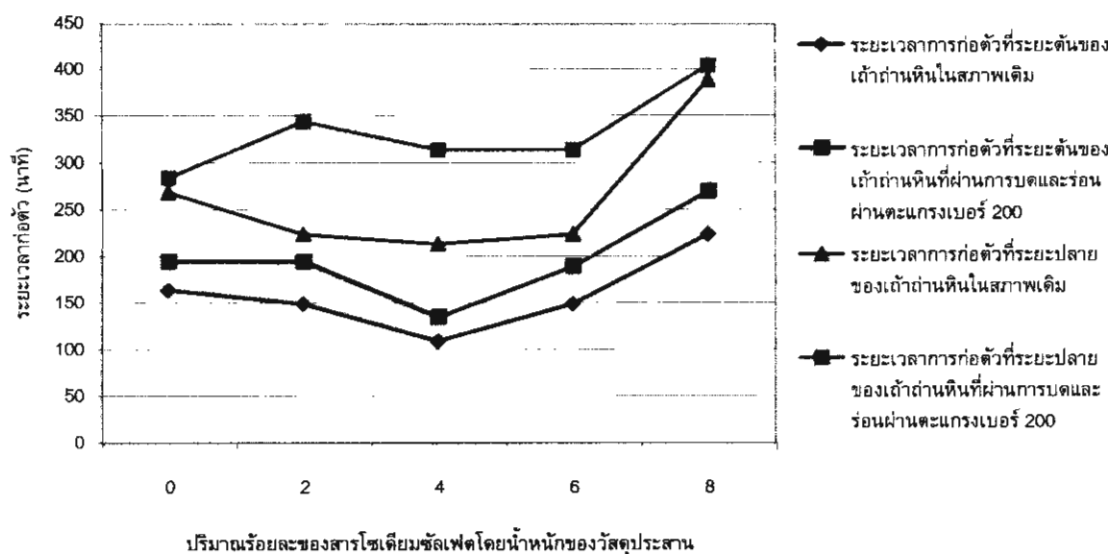
ตารางที่ 4.4 ปริมาณน้ำที่เหมาะสม และระยะเวลาการก่อดำของเพสต์ที่ได้จากส่วนผสมของ กาก แคลเซียมคาร์ไบด์กับถั่วลันเตาที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรง เบอร์ 200 โดยใช้สาร โซเดียมซัลเฟต และยิปซัมเร่งปฏิกิริยาปอชโซลาน

วัสดุประสาน	ปริมาณน้ำที่เหมาะสม (%)	ระยะเวลาการก่อดำที่ระยะต้น (นาท)	ระยะเวลาการก่อดำที่ระยะปลาย (นาท)
CA + GFA	34.6	195	285
CA + GFA + NA2	33.9	195	345
CA + GFA + NA4	32.4	135	315
CA + GFA + NA6	31.9	190	315
CA + GFA + NA8	30.8	270	405
CA + GFA + GYP2	33.2	135	225
CA + GFA + GYP4	34.8	120	210
CA + GFA + GYP6	36.2	128	180
CA + GFA + GYP8	37.7	158	255

4.3.2 ระยะเวลาการก่อดำที่ระยะต้น และระยะปลาย

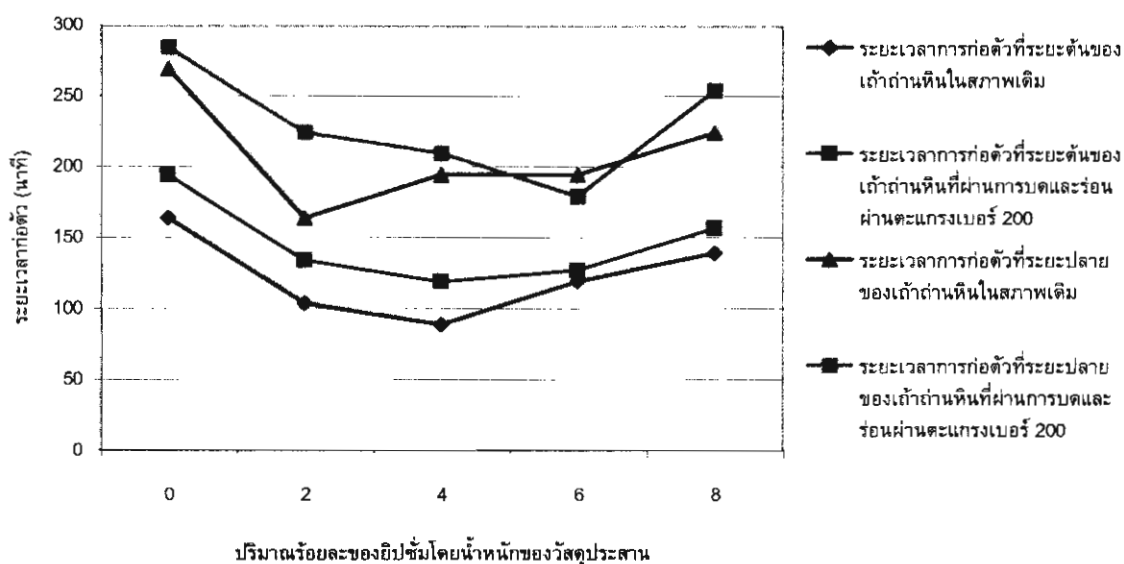
จากการทดสอบหาค่าความชื้นเหลวปกติของเพสต์ของวัสดุประสานที่ได้จาก กากแคลเซียมคาร์ไบด์ ถั่วลันเตาในสภาพเดิม ถั่วลันเตาที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 สารโซเดียมซัลเฟตและยิปซัมจะได้ปริมาณน้ำที่เหมาะสมสำหรับการทำปฏิกิริยาของเพสต์ของแต่ละส่วนผสม ซึ่งในแต่ละส่วนผสมจะใช้ปริมาณน้ำที่เหมาะสมสำหรับการทำปฏิกิริยาไม่เท่ากันดังแสดงในตารางที่ 4.3 และ 4.4 หลังจากนั้นใช้ปริมาณน้ำที่เหมาะสม ของแต่ละส่วนผสมมาหาระยะเวลาการก่อดำที่ระยะต้นและระยะปลาย

4.3.2.1 ระยะเวลาการก่อดำที่ระยะต้นและระยะปลายของเพสต์ที่ได้จากส่วนผสมของกาก แคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับถั่วลันเตาในสภาพเดิม และถั่วลันเตาที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 โดยใช้สารโซเดียมซัลเฟตในการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลาน ดังตารางที่ 4.3 และ 4.4 และรูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่า ระยะเวลาการก่อดำที่ระยะต้น และระยะปลายของเพสต์ที่ใช้ถั่วลันเตาที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่าเพสต์ที่ใช้ถั่วลันเตาในสภาพเดิม สังเกตได้จากเพสต์ CA + OFA มีระยะเวลาการก่อดำ ที่ระยะ ต้นและระยะปลายเท่ากับ 165 และ 270 นาที ส่วนเพสต์ CA + GFA มีระยะเวลา การก่อดำที่ระยะต้นและ ระยะปลายเท่ากับ 195 และ 285 นาที และมีแนวโน้มเช่นเดียวกันนี้ กับเพสต์ที่มีปริมาณของสารโซเดียม ซัลเฟตที่เท่ากันแต่แตกต่างกันที่ความละเอียดของถั่วลันเตาที่ใช้ในวัสดุประสาน เช่นในเพสต์ CA + OFA + NA4 มีระยะเวลาการก่อดำ ที่ระยะต้นและระยะปลายเท่ากับ 110 และ 215 นาที เทียบกับเพสต์ CA + GFA + NA4 มีระยะเวลาการก่อดำที่ระยะต้นและระยะปลายเท่ากับ 135 และ 315 นาที เนื่องจากเพสต์ที่ใช้ถั่ว ลันเตาที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มีความละเอียดมากกว่าจึงใช้ ปริมาณน้ำในการทำปฏิกิริยา มากกว่าเพสต์ที่ใช้ถั่วลันเตาในสภาพเดิม ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ระยะเวลาการก่อดำที่ระยะต้นและระยะปลายเพิ่ม มากขึ้น และยังพบว่าปริมาณของ สารโซเดียมซัลเฟตที่ยังมีผลต่อระยะเวลาการก่อดำที่ระยะต้นและระยะ ปลายด้วย จากตารางที่ 4.3 และ 4.4 และรูปที่ 4.9 พบว่าเพสต์ CA + OFA + NA2 มีระยะเวลาการก่อดำ ที่ ระยะต้นน้อยกว่าเพสต์ CA + OFA และ เพสต์ CA + GFA + NA2 มีระยะเวลาการก่อดำ ที่ระยะต้นน้อยกว่า เพสต์ CA + GFA และระยะเวลาการก่อดำที่ระยะต้นจะลดลงเมื่อใช้ปริมาณของโซเดียมซัลเฟตร้อยละ 4 แต่ เมื่อเพิ่มปริมาณของโซเดียมซัลเฟตมากขึ้นถึงร้อยละ 6 และร้อยละ 8 เพสต์จะมีระยะเวลาการก่อดำที่ระยะ ต้นเพิ่มมากขึ้น สำหรับระยะเวลาการก่อดำ ที่ระยะปลายของเพสต์ที่ใช้ถั่วลันเตาในสภาพเดิมจะใช้ระยะเวลา การก่อดำที่ระยะปลายน้อยลงเมื่อใช้ปริมาณโซเดียมซัลเฟตร้อยละ 2 และร้อยละ 4 และใช้เวลาการก่อดำที่ ระยะปลาย เพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณโซเดียมซัลเฟตร้อยละ 6 และร้อยละ 8 สำหรับเพสต์ที่ใช้ถั่วลันเตา ที่ ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ระยะเวลาการก่อดำที่ระยะปลายของเพสต์ที่มี สารโซเดียม ซัลเฟตทุกส่วนผสมมีระยะเวลาการก่อดำที่ระยะปลายมากกว่าเพสต์ที่ไม่มีสารโซเดียมซัลเฟต



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการก่อดำที่ระยะต้นและระยะปลายของเพสต์ ที่ได้จากส่วนผสมของ กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับถั่วลันเตาในสภาพเดิมและ ถั่วลันเตาที่ผ่านการบดและร่อนผ่าน ตะแกรงเบอร์ 200 กับปริมาณร้อยละของสารโซเดียมซัลเฟตโดยน้ำหนักของวัสดุประสาน

4.3.2.2 ระยะเวลาการก่อดำที่ระยะต้นและระยะปลายของเพสต์ที่ได้จากส่วนผสมของกาก แคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับถั่วลอยในสภาพเดิม และถั่วลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 โดยใช้ยิปซั่มในการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลาน จากตารางที่ 4.3, 4.4 และรูปที่ 4.10 พบว่าความละเอียดของถั่วลอย มีผลต่อระยะเวลาการก่อดำที่ระยะต้น และระยะปลายเช่นเดียวกับเพสต์ที่ใช้สารโซเดียมซิลเฟต คือ เพสต์ที่ใช้ปริมาณยิปซั่มในปริมาณที่เท่ากันเพสต์ที่ใช้ถั่วลอยในสภาพเดิมมีระยะเวลาการก่อดำที่ระยะต้น และระยะปลาย น้อยกว่าเพสต์ที่ใช้ถั่วลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ยกเว้นเพสต์ CA + GFA + GYP6 ที่มีระยะเวลาการก่อดำที่ระยะปลายน้อยกว่าเพสต์ CA + OFA + GYP6 และพบว่า ปริมาณของยิปซั่มที่ใช้มีผลต่อระยะเวลาการก่อดำที่ระยะต้นและระยะปลายด้วย จากรูปที่ 4.10 พบว่าเพสต์ CA + OFA มีระยะเวลาการก่อดำที่ระยะต้นเท่ากับ 165 นาที ส่วนเพสต์ CA + OFA + GYP2 มีระยะเวลา การก่อดำที่ระยะต้นเท่ากับ 105 นาที และเพสต์ CA + GFA มีระยะเวลาการก่อดำที่ระยะต้นเท่ากับ 195 นาที ส่วนเพสต์ CA + GFA + GYP2 มีระยะเวลาการก่อดำที่ระยะต้นเท่ากับ 135 นาที และใช้ระยะเวลา น้อยลงเมื่อปริมาณของยิปซั่มเพิ่มถึงร้อยละ 4 แต่เมื่อใช้ปริมาณของยิปซั่มร้อยละ 6 และร้อยละ 8 เพสต์จะใช้ ระยะเวลาการก่อดำที่ระยะต้นเพิ่มมากขึ้น สำหรับระยะเวลาการก่อดำที่ระยะปลายของเพสต์ที่ใช้ถั่วลอยใน สภาพเดิมเพสต์จะใช้ระยะเวลาการก่อดำที่ระยะปลายน้อยลงเมื่อใช้ปริมาณของยิปซั่ม ร้อยละ 2 และใช้ ระยะเวลาเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณของยิปซั่มมากขึ้นเมื่อใช้ปริมาณของยิปซั่มร้อยละ 4, 6 และร้อยละ 8 และ สำหรับระยะเวลาการก่อดำที่ระยะปลายของเพสต์ที่ใช้ ถั่วลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เพสต์จะใช้ระยะเวลาการก่อดำ ที่ระยะปลายน้อยลงเมื่อใช้ปริมาณของยิปซั่มร้อยละ 2 และใช้ระยะเวลา น้อยลงอีกเมื่อเพิ่มปริมาณของยิปซั่มร้อยละ 4 และร้อยละ 6 แต่ใช้ระยะเวลาการก่อดำที่ระยะปลายเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณของยิปซั่มถึงร้อยละ 8

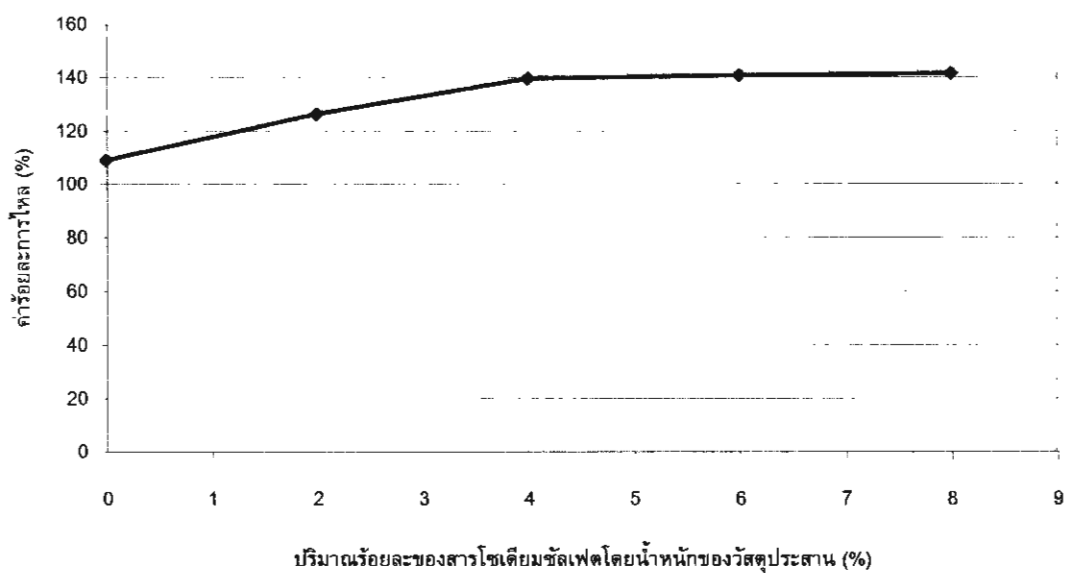


รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการก่อดำที่ระยะต้นและระยะปลายของเพสต์ที่ได้ จากส่วนผสม ของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับถั่วดำดินในสภาพเดิมและ ถั่วลอยที่ผ่านการบดและร่อน ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 กับปริมาณร้อยละของ ยิปซั่มโดยน้ำหนักของวัสดุประสาน

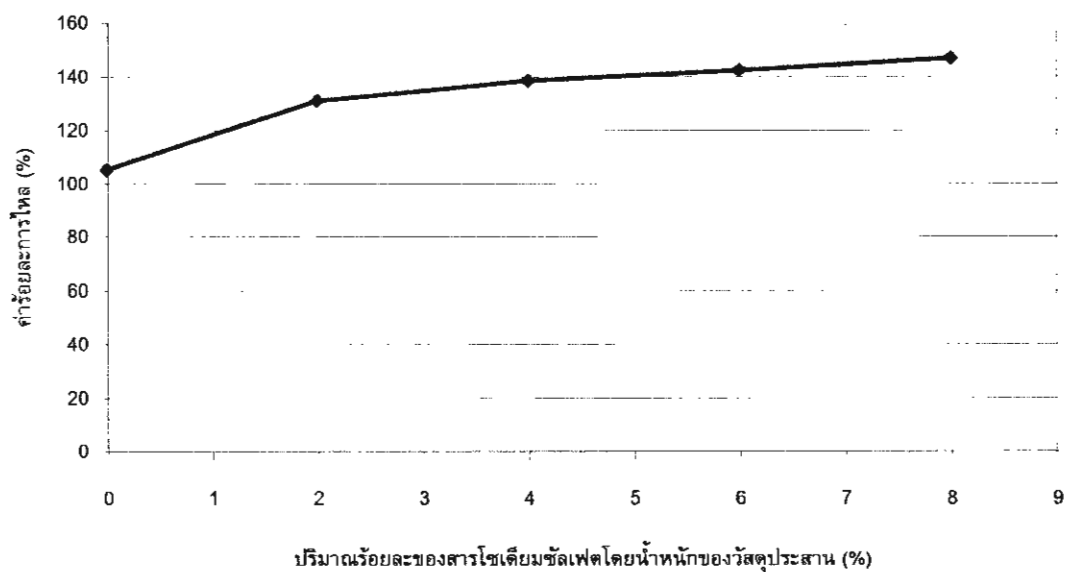
ตามมาตรฐาน ASTM C 150 ระบุว่าระยะเวลาการก่อตัวที่ระยะต้นของเพสต์ของ ปูนซีเมนต์ทั้ง 5 ประเภทต้องไม่น้อยกว่า 45 นาที และระยะเวลาการก่อตัวที่ระยะปลายต้อง ไม่นเกิน 375 นาที จากผลการทดสอบพบว่าทั้งเพสต์ CA + OFA + NA8 และเพสต์ CA + GFA + NA8 จะใช้ระยะเวลาการก่อตัวที่ระยะ ปลายเท่ากับ 390 และ 405 นาทีตามลำดับซึ่งมากกว่ามาตรฐานกำหนด ส่วนเพสต์อื่นในงานวิจัยนี้มี ระยะเวลาการก่อตัวที่ระยะต้น และระยะปลายอยู่ในช่วงเวลาที่มาตรฐานกำหนด

4.3.3 ความสามารถในการไหลของมอร์ตาร์

4.3.3.1 ความสามารถในการไหลของมอร์ตาร์ที่ได้จากส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ ผสมกับเถ้าลอยในสภาพเดิม และเถ้าลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 โดยใช้สารโซเดียม ซัลเฟตในการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลาน จากผลการทดสอบพบว่าปริมาณน้ำที่ทำให้ความสามารถในการไหล ของมอร์ตาร์ CA+OFA อยู่ในช่วง ร้อยละ 110 $\pm$ 5 เท่ากับ 0.8 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน แต่ปริมาณน้ำ ที่ทำให้ความสามารถในการไหลของมอร์ตาร์ CA + GFA เท่ากับ 0.75 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน จากผล การทดสอบแสดงให้เห็นว่าเถ้าลอยที่อยู่ในสภาพเดิมซึ่งมีขนาดอนุภาคใหญ่ช่องว่างระหว่างอนุภาคต้องมาก ตามไปด้วย การแทรกตัวเข้าไปในระหว่างช่องว่างจึงทำได้ยาก จึงมีผลทำให้ต้องใช้น้ำในปริมาณที่มากกว่า เถ้าลอยที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า และจากตารางที่ 4.5, 4.6 และ รูปที่ 4.11, 4.12 แสดงให้เห็นว่าปริมาณของ สารโซเดียมซัลเฟตที่ใช้มีผลต่อค่าร้อยละ การไหลของมอร์ตาร์ สังเกตได้จากเมื่อเติมสารโซเดียมซัลเฟตลง ไปในส่วนผสมโดยใช้ปริมาณน้ำที่เท่าเดิม สารโซเดียมซัลเฟตจะละลายน้ำจึงทำให้ปริมาณของของเหลวที่ทำ หน้าที่ในการหล่อลื่นมอร์ตาร์เพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ค่าร้อยละการไหลของมอร์ตาร์แปรผันตามปริมาณของสาร โซเดียมซัลเฟต ซึ่งสังเกตได้จากมอร์ตาร์ CA + OFA + NA2 มีค่าร้อยละการไหล เท่ากับร้อยละ 126 ซึ่ง มากกว่ามอร์ตาร์ CA + OFA และมีค่าร้อยละการไหลเท่ากับ 140 เมื่อปริมาณของโซเดียมซัลเฟตเป็นร้อยละ 4 และมอร์ตาร์มีค่าร้อยละการไหลเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณของสารโซเดียมซัลเฟตเพิ่มมากขึ้น และยังพบ แนวโน้มเดียวกันนี้กับมอร์ตาร์ที่ใช้ เถ้าลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 คือมอร์ตาร์มีค่าร้อยละการไหล เพิ่มขึ้นเมื่อใช้สารโซเดียมซัลเฟตในปริมาณที่มากขึ้น

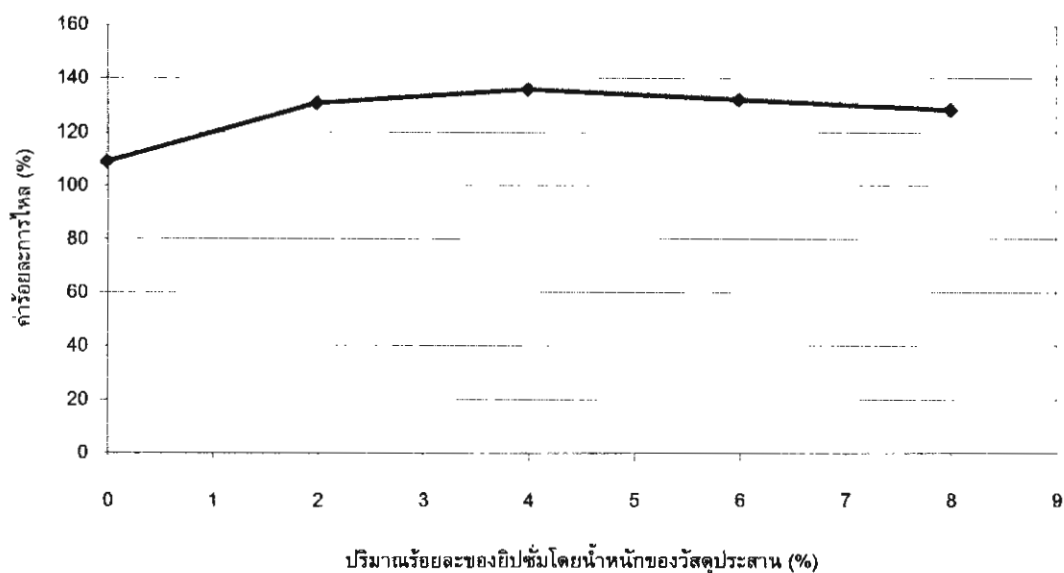


รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารโซเดียมคลอไรด์กับค่าร้อยละการไหลของมอร์ตาร์ ที่ได้จาก ส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับถั่วลันเตาในสภาพเดิม โดยอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ ประสานเท่ากับ 0.8

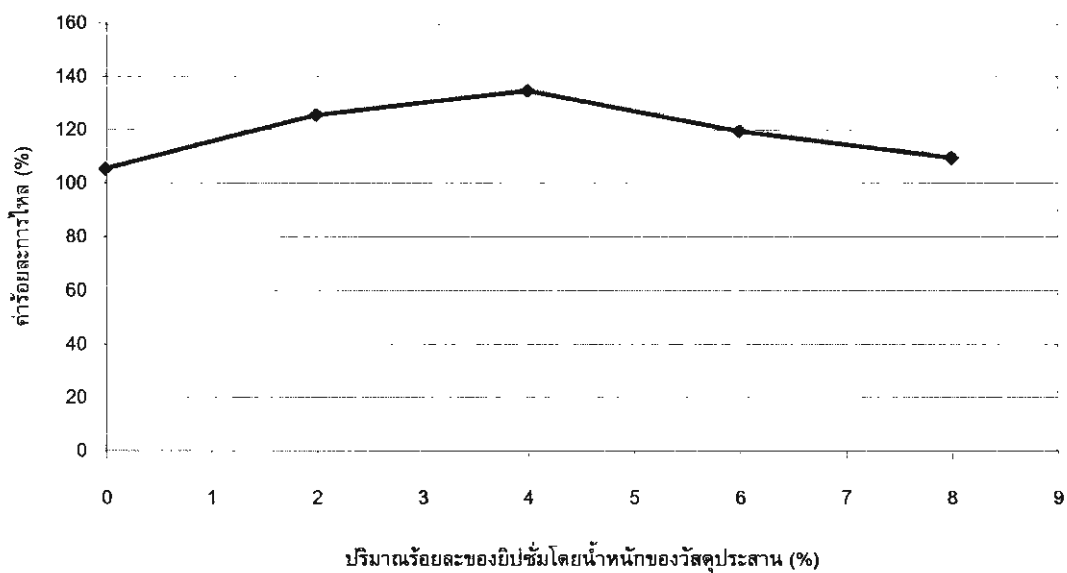


รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารโซเดียมคลอไรด์กับค่าร้อยละการไหลของมอร์ตาร์ ที่ได้จาก ส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับถั่วลันเตาที่ผ่านการบด และร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 โดยอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.75

4.3.3.2 ความสามารถในการไหลของมอร์ตาร์ที่ได้จากส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ ผสมกับเถ้าลอยในสภาพเดิม และเถ้าลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 โดยใช้ยิปซัมในการ เร่งปฏิกิริยาปอซโซลาน จากตารางที่ 4.5, 4.6 และรูปที่ 4.13, 4.14 แสดงให้เห็นว่าความละเอียดของเถ้า ลอยยังมีผลต่อความสามารถในการไหลของมอร์ตาร์เช่นเดียวกับมอร์ตาร์ที่ใช้สารโซเดียมซิลเฟตในการเร่ง ปฏิกิริยาปอซโซลาน คือมอร์ตาร์ที่ใช้เถ้าลอยในสภาพเดิมใช้ปริมาณน้ำในปริมาณที่มากกว่ามอร์ตาร์ที่ใช้ เถ้าลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ในการที่ทำให้ค่าร้อยละการไหลอยู่ใน ช่วงร้อยละ 110 $\pm$ 5 และยังพบว่าการใช้ยิปซัมในปริมาณร้อยละ 2 และร้อยละ 4 จะเพิ่ม ความสามารถในการไหลของ มอร์ตาร์ เช่นมอร์ตาร์ CA + OFA + GYP2 และมอร์ตาร์ CA + OFA + GYP4 มีค่าการไหลเท่ากับร้อยละ 131.2 และ 136.3 ตามลำดับซึ่งมากกว่ามอร์ตาร์ CA + OFA ที่มีค่าการไหลเท่ากับร้อยละ 109.5 ซึ่งใช้ ปริมาณน้ำในการทดสอบ เท่ากับร้อยละ 0.8 โดยน้ำหนักของวัสดุประสานเท่ากัน เนื่องจากยิปซัมละลายน้ำได้ หมดจึงช่วยเพิ่มปริมาณของของเหลวที่หล่อลื่นให้กับมอร์ตาร์ไหลได้มากขึ้น แต่เมื่อใช้ยิปซัมในปริมาณ ร้อย ละ 6 ค่าร้อยละการไหลจะลดลง และลดลงไปอีกเมื่อใช้ปริมาณของยิปซัมถึงร้อยละ 8 เนื่องจากยิปซัมไม่ สามารถละลายน้ำได้หมดบางส่วนตกตะกอนทำให้ปริมาณของอนุภาคเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ความสามารถใน การไหลของมอร์ตาร์ลดลงและมีแนวโน้มเช่นเดียวกันนี้กับ มอร์ตาร์ที่ใช้เถ้าลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่าน ตะแกรงเบอร์ 200 คือมีค่าร้อยละการไหล เพิ่มขึ้นเมื่อใช้ยิปซัมในปริมาณร้อยละ 2 และร้อยละ 4 แต่มีค่า ร้อยละการไหลลดลงเมื่อใช้ยิปซัมในปริมาณร้อยละ 6 และร้อยละ 8



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณยิปซัมกับค่าร้อยละการไหลของมอร์ตาร์ที่ได้จากส่วนผสมระหว่าง กากแคลเซียมคาร์ไบด์กับเถ้าลอยในสภาพเดิมโดยอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.8



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่เติมกับค่าร้อยละการไหลของมอร์ตาร์ที่ได้จากส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบต์กับเถ้าลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 โดยอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.75

ตารางที่ 4.5 ค่าร้อยละการไหล และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานของมอร์ตาร์ที่ได้จากส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบต์กับเถ้าลอยในสภาพเดิม

วัสดุประสาน	ค่าร้อยละการไหล (%)	อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน
CA + OFA	109	0.80
CA + OFA + NA2	126	0.80
CA + OFA + NA4	140	0.80
CA + OFA + NA6	141	0.80
CA + OFA + NA8	142	0.80
CA + OFA + GYP2	131	0.80
CA + OFA + GYP4	136	0.80
CA + OFA + GYP6	132	0.80
CA + OFA + GYP8	128	0.80

ตารางที่ 4.6 ค่าร้อยละการไหลและอัตราน้ำต่อวัสดุประสานของมอร์ตาร์ที่ได้จากส่วนผสมของ กาก แคลเซียมคาร์ไบด์กับเถ้าลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200

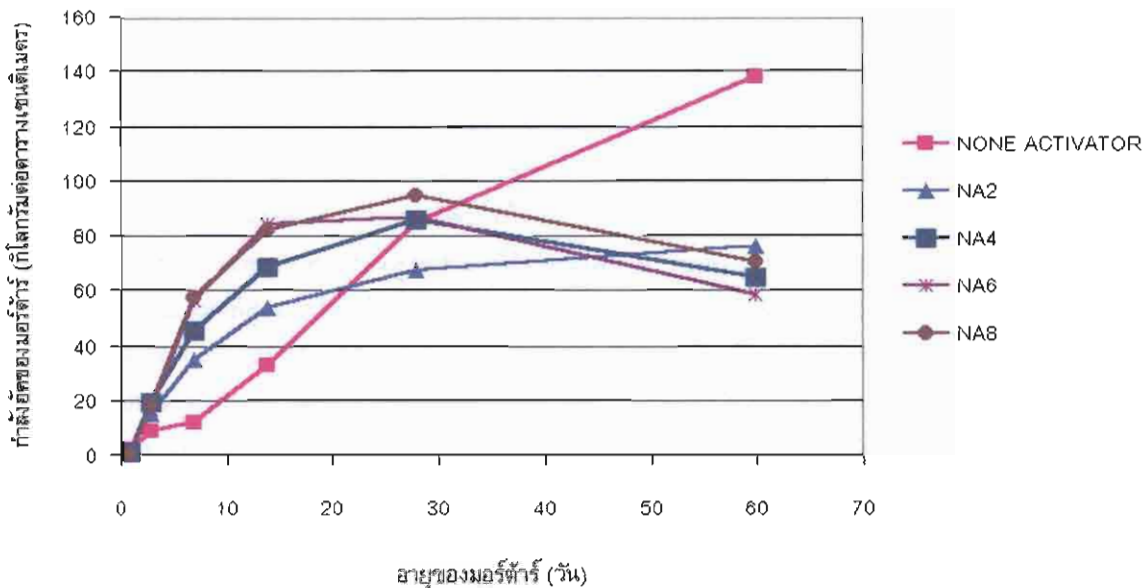
วัสดุประสาน	ค่าร้อยละการไหล (%)	อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน
CA + GFA	105	0.75
CA + GFA + NA2	131	0.75
CA + GFA + NA4	139	0.75
CA + GFA + NA6	143	0.75
CA + GFA + NA8	147	0.75
CA + GFA + GYP2	126	0.75
CA + GFA + GYP4	135	0.75
CA + GFA + GYP6	120	0.75
CA + GFA + GYP8	115	0.75

4.3.4 ความสามารถในการรับกำลังอัดของมอร์ตาร์

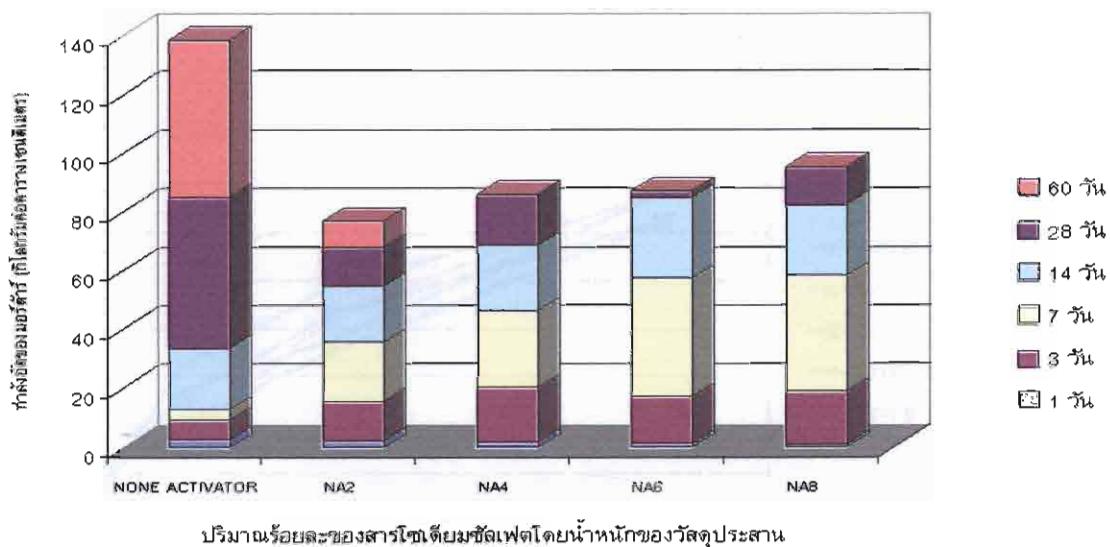
4.3.4.1 ความสามารถในการรับกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ได้จากส่วนผสมของกาก แคลเซียมคาร์ไบด์กับเถ้าลอยในสภาพเดิมโดยใช้สารโซเดียมซิลเฟตในการเร่งปฏิกิริยา ปอซโซลาน จาก ตารางที่ 4.7 รูปที่ 4.15 และรูปที่ 4.16 ผลการทดสอบพบว่าที่อายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 1 วัน มอร์ตาร์ที่มีสาร โซเดียมซิลเฟตทุกส่วนผสมมีกำลังอัดต่ำกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มีสารโซเดียมซิลเฟต โดยมอร์ตาร์ที่ไม่มีสาร โซเดียมซิลเฟตมีกำลังอัดเท่ากับ 2.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมอร์ตาร์ที่มีสารโซเดียมซิลเฟตใน ปริมาณร้อยละ 2 มีกำลังอัดเท่ากับ 2.2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และกำลังอัดลดลงเมื่อปริมาณสาร โซเดียมซิลเฟตเพิ่มมากขึ้น และเมื่อมอร์ตาร์มีอายุเท่ากับ 3 วันมอร์ตาร์ที่มีสารโซเดียมซิลเฟตในปริมาณร้อยละ 2 มีการพัฒนากำลังอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มีสารโซเดียมซิลเฟต และมอร์ตาร์มีการพัฒนากำลังอัดสูงมาก ขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของสารโซเดียมซิลเฟตถึงร้อยละ 4 และการพัฒนากำลังอัดลดลงเมื่อปริมาณของสาร โซเดียมซิลเฟตสูงมากขึ้น เมื่อมอร์ตาร์มีอายุเท่ากับ 7 วัน การพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่มีสารโซเดียม ซิลเฟตจะสูงขึ้น โดยมอร์ตาร์ที่มีสารโซเดียมซิลเฟตในปริมาณ ร้อยละ 2 มีการพัฒนากำลังอัดมากกว่ามอร์ต อาร์ที่ไม่มีสารโซเดียมซิลเฟต และการพัฒนากำลังอัดจะมากขึ้นเมื่อปริมาณของสารโซเดียมซิลเฟตสูงมากขึ้น ที่อายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 14 วันการพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่มีสารโซเดียมซิลเฟตจะน้อยลง แต่เมื่อ พิจารณากำลังอัด โดยรวมของมอร์ตาร์พบว่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่มีสารโซเดียมซิลเฟตมีกำลังอัดสูงกว่า มอร์ตาร์ที่ไม่มีสารโซเดียมซิลเฟต ที่อายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 28 วัน มอร์ตาร์ที่มีสารโซเดียมซิลเฟตมีการ พัฒนากำลังอัดน้อยกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มีสารโซเดียมซิลเฟตมาก และเมื่อพิจารณากำลังอัดของมอร์ตาร์โดยรวม พบว่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่มีสารโซเดียมซิลเฟตมีกำลังอัดใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ที่ไม่มีสารโซเดียมซิลเฟต เมื่ออายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 60 วัน กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่มีสารโซเดียมซิลเฟตจะลดลง แต่มอร์ตาร์ที่ไม่มีสาร โซเดียมซิลเฟตมีกำลังอัดเพิ่มมากขึ้นและมีแนวโน้มว่าจะสูงมากขึ้นเมื่อมอร์ตาร์มีอายุมากขึ้น

ตารางที่ 4.7 กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่อายุ 1, 3, 7, 14, 28, 60 วัน

วัสดุประสาน	กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่อายุต่างๆ (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)					
	1 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	60 วัน
CEMENT	92.6	160.9	203.9	248.4	284.8	343.0
CA30 + OFA70	2.5	9.3	12.7	33.7	85.2	138.5
CA30 + OFA70 + NA2	2.2	15.7	35.7	54.6	68.0	76.9
CA30 + OFA70 + NA4	1.6	20.1	46.1	68.8	86.2	65.4
CA30 + OFA70 + NA6	1.3	17.2	57.3	84.9	87.3	59.3
CA30 + OFA70 + NA8	1.1	18.9	58.2	82.6	95.3	71.2
CA30 + OFA70 + GYP2	1.7	8.0	19.8	40.8	70.5	124.3
CA30 + OFA70 + GYP4	1.8	6.3	25.8	51.1	85.9	124.9
CA30 + GFA70 +GYP6	1.9	6.6	18.7	54.2	75.5	136.4
CA30 + GFA70 + GYP8	2.0	7.2	21.1	64.8	97.1	135.7
CA30 + GFA70	6.7	15.1	34.8	81.1	124.2	179.9
CA30+GFA70+NA2	5.4	31.5	55.6	88.8	114.2	119.9
CA30 + GFA70 + NA4	4.4	43.6	72.0	111.1	113.3	108.1
CA30 + GFA70 + NA6	3.6	47.4	97.6	115.0	123.9	99.3
CA30 + GFA70 + NA8	2.9	45.5	110.7	116.3	121.4	101.2
CA30 + GFA70 + GYP2	3.7	19.4	36.0	76.8	135.6	199.6
CA30 + GFA70 + GYP4	3.2	13.8	52.2	83.3	137.2	188.8
CA30 + GFA70 + GYP6	3.7	14.4	49.9	98.1	152.3	212.3
CA30 + GFA70 + GYP8	3.6	15.4	38.8	95.0	152.5	215.8

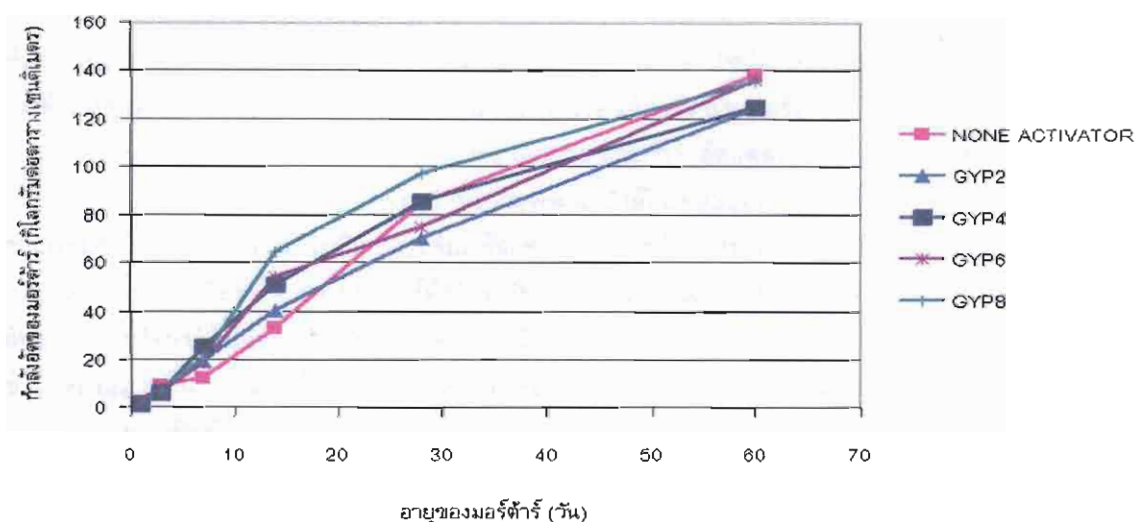


รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ได้จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับ แก้วลอยในสภาพเดิมและใส่สารโซเดียมซิลเฟตเพื่อเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานกับอายุของมอร์ตาร์

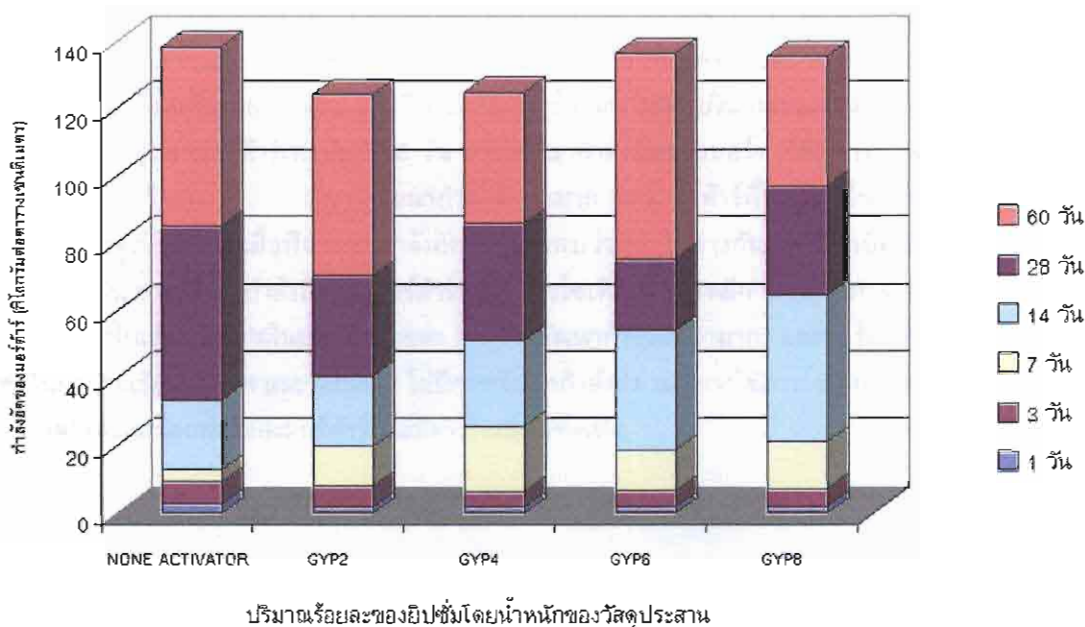


รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ได้จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับ แก้วลอยในสภาพเดิมที่อายุต่างๆกับปริมาณของสารโซเดียมซิลเฟต

4.3.4.2 ความสามารถในการรับกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ได้จากส่วนผสมของ กาก แคลเซียมคาร์ไบด์กับเถ้าลอยในสภาพเดิมโดยใช้ยิปซัมในการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลาน จากตารางที่ 4.7 รูปที่ 4.17 และรูปที่ 4.18 ที่อายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 1 วันกำลังอัดของมอร์ตาร์ทุกส่วนผสมที่มียิปซัมมีกำลังอัดต่ำกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มียิปซัม โดยมอร์ตาร์ที่มียิปซัมในปริมาณร้อยละ 2 มีกำลังอัดต่ำที่สุด และมอร์ตาร์มีกำลังอัดเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณของ ยิปซัมมากขึ้น ที่อายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 3 วัน มอร์ตาร์ทุกส่วนผสมที่มียิปซัมมีการพัฒนากำลังอัดน้อยกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มียิปซัม เมื่อมอร์ตาร์มีอายุเท่ากับ 7 วันมอร์ตาร์ทุกส่วนผสมที่มียิปซัมมีการพัฒนากำลังอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มียิปซัม และมอร์ตาร์ที่มียิปซัมในปริมาณร้อยละ 4 มีการพัฒนากำลังอัดสูงที่สุดและมีกำลังอัดโดยรวมสูงกว่ามอร์ตาร์ทุกส่วนผสม ที่อายุของ มอร์ตาร์เท่ากับ 14 วัน มอร์ตาร์ทุกส่วนผสมที่มียิปซัมมีการพัฒนากำลังอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มียิปซัมและการพัฒนากำลังอัดขึ้นอยู่กับปริมาณของยิปซัม โดยมอร์ตาร์ที่มีปริมาณของยิปซัมร้อยละ 8 มีการพัฒนากำลังอัดสูงที่สุดและมีกำลังอัดโดยรวมสูงที่สุด ที่อายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 28 วันมอร์ตาร์ทุกส่วนผสมที่มียิปซัมมีการพัฒนากำลังอัดต่ำกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มียิปซัมโดย มอร์ตาร์ที่มีปริมาณของยิปซัมร้อยละ 6 มีการพัฒนากำลังอัดต่ำที่สุด และเมื่อพิจารณากำลังอัดโดยรวมพบว่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่มียิปซัมในปริมาณร้อยละ 4 และร้อยละ 8 มีกำลังอัด ใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ที่ไม่มียิปซัม ส่วนมอร์ตาร์ที่มียิปซัมในปริมาณร้อยละ 2 และร้อยละ 6 มีกำลังอัดต่ำกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มียิปซัม ที่อายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 60 วันมอร์ตาร์ที่มียิปซัม ในปริมาณร้อยละ 6 มีการพัฒนากำลังอัดสูงที่สุดส่วนมอร์ตาร์ที่ไม่มียิปซัม และมอร์ตาร์ที่มี ยิปซัมในปริมาณร้อยละ 2 มีการพัฒนากำลังอัดรองลงมา และเมื่อพิจารณากำลังอัดโดยรวม พบว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มียิปซัมกับมอร์ตาร์ที่มียิปซัมในปริมาณร้อยละ 6 และร้อยละ 8 มีกำลังอัดใกล้เคียงกันส่วนมอร์ตาร์ที่มียิปซัมในปริมาณร้อยละ 2 และ ร้อยละ 4 มีกำลังอัดต่ำกว่าเล็กน้อย



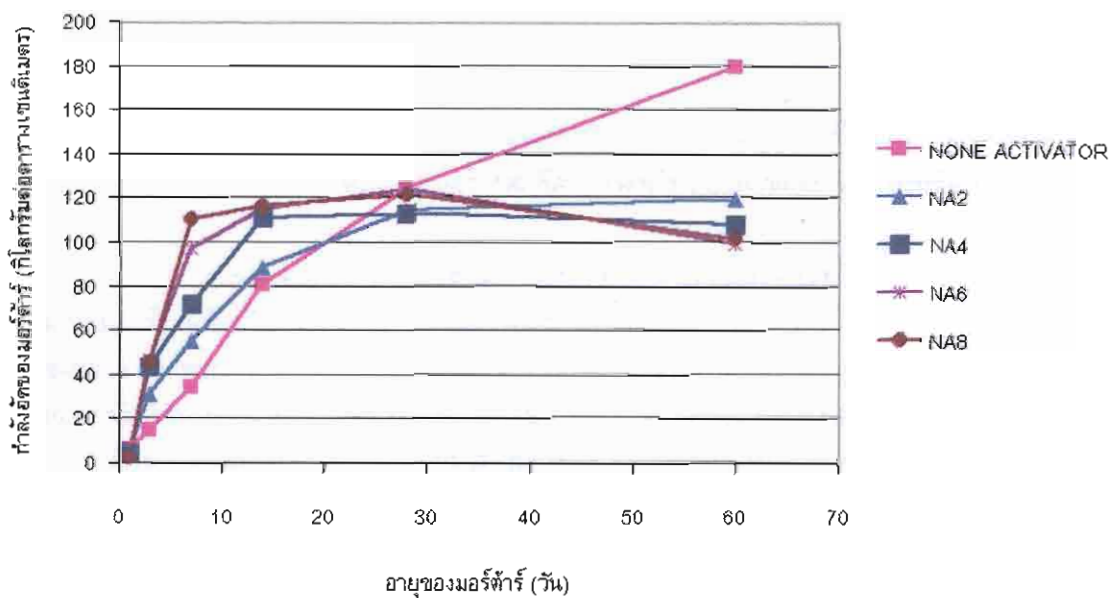
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ได้จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับ เถ้าลอยใน สภาพเดิมและใส่ยิปซัมเพื่อเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานกับอายุของ มอร์ตาร์



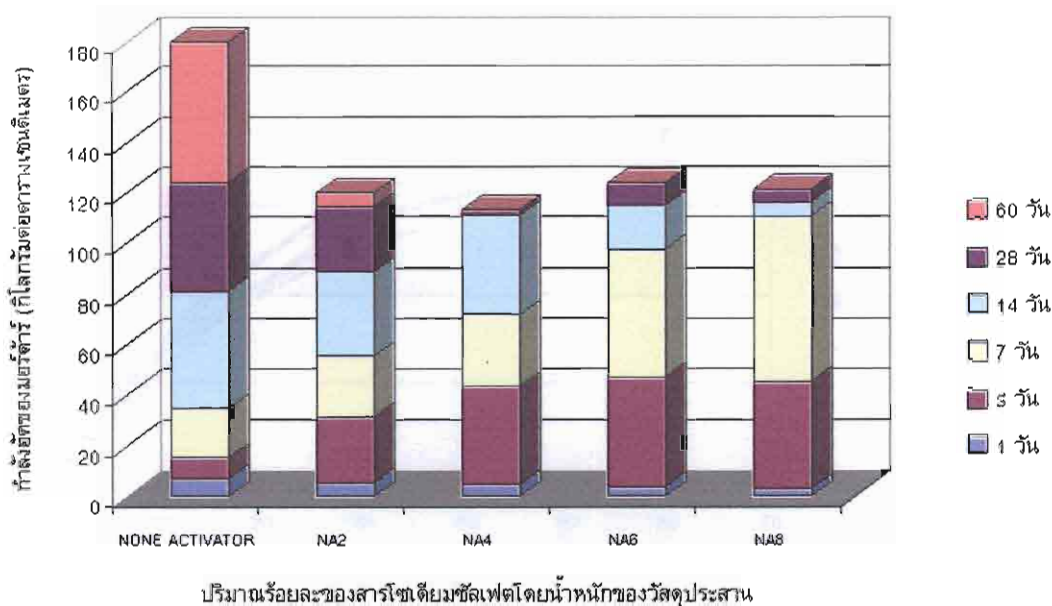
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ได้จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับ แก้วลอยในสภาพเดิม ที่อายุต่างๆกับปริมาณของยิปซัม

4.3.4.3 ความสามารถในการรับกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ได้จากส่วนผสมของกาก แคลเซียมคาร์ไบด์กับแก้วลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 โดยใช้สารโซเดียมซิลเฟตในการ เร่งปฏิกิริยาปอซโซลาน จากตารางที่ 4.7 รูปที่ 4.19 และรูปที่ 4.20 ที่อายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 1 วันมอร์ตาร์ ที่มีสารโซเดียมซิลเฟตทุกส่วนผสมมีกำลังอัดต่ำกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มีสารโซเดียมซิลเฟต โดยมอร์ตาร์ที่ไม่มีสาร โซเดียมซิลเฟต มีกำลังอัดเท่ากับ 6.7 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมอร์ตาร์ที่มีสารโซเดียมซิลเฟตร้อย ละ 2 มีกำลังอัดเท่ากับ 4.3 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และกำลังอัดลดลงเมื่อปริมาณสารโซเดียมซิลเฟต เพิ่มขึ้น ที่อายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 3 วันการพัฒนา กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่มีสารโซเดียมซิลเฟตทุก ส่วนผสมจะมากกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มีสารโซเดียมซิลเฟต นอกจากนี้ การพัฒนา กำลังอัดของมอร์ตาร์ขึ้นอยู่กับ ปริมาณของสารโซเดียมซิลเฟต โดยมอร์ตาร์ที่มีปริมาณของสารโซเดียมซิลเฟตร้อยละ 2 มีการพัฒนา กำลังอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มีสารโซเดียมซิลเฟต และมีการพัฒนา กำลังอัดมากขึ้นเมื่อปริมาณของสารโซเดียมซิลเฟตเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณากำลังอัดโดยรวมมอร์ตาร์ที่มีสารโซเดียมซิลเฟตทุกส่วนผสมมีกำลัง อัดมากกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มีสารโซเดียมซิลเฟต ที่อายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 7 วันการพัฒนา กำลังอัดของ มอร์ตาร์ที่มีสารโซเดียมซิลเฟตทุกส่วนผสมจะมากกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มีสารโซเดียมซิลเฟต นอกจากนี้การพัฒนา กำลังอัดของมอร์ตาร์ขึ้นอยู่กับปริมาณของสารโซเดียมซิลเฟต โดยมอร์ตาร์ที่มีปริมาณของสารโซเดียม ซิลเฟตร้อยละ 2 มีการพัฒนา กำลังอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ ที่ไม่มีสารโซเดียมซิลเฟตเล็กน้อย และมีการพัฒนา กำลังอัดมากขึ้นเมื่อปริมาณของสารโซเดียมซิลเฟตเพิ่มขึ้นโดยมอร์ตาร์ที่มีปริมาณของโซเดียมซิลเฟต ร้อยละ 8 มีการพัฒนา กำลังอัดสูงที่สุด และเมื่อพิจารณากำลังอัดโดยรวมพบว่ามอร์ตาร์ที่มีสารโซเดียมซิลเฟ ตทุกส่วนผสมมี กำลังอัดมากกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มีสารโซเดียมซิลเฟต ที่อายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 14 วัน การ พัฒนา กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่มีสารโซเดียมซิลเฟตทุกส่วนผสมมีการพัฒนา กำลังอัดน้อยกว่ามอร์ตาร์ ที่ไม่มี สารโซเดียมซิลเฟต โดยการพัฒนากำลังอัดลดลงเมื่อปริมาณของสารโซเดียมซิลเฟต เพิ่มขึ้น และ

พบว่าการพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่มีปริมาณของสารโซเดียมซิลเฟต ร้อยละ 8 ต่ำที่สุด และเมื่อพิจารณากำลังอัดโดยรวมพบว่า มอร์ตาร์ที่มีปริมาณของสารโซเดียมซิลเฟตร้อยละ 2 มีกำลังอัดมากกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มีสารโซเดียมซิลเฟตเล็กน้อย และมีกำลังอัดเพิ่มขึ้นไม่มากเมื่อปริมาณของสารโซเดียมซิลเฟตเพิ่มมากขึ้น เมื่ออายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 28 วัน การพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่มีสารโซเดียมซิลเฟตในปริมาณที่มากกว่าร้อยละ 2 มีการพัฒนากำลังอัดต่ำมาก ส่วนมอร์ตาร์ที่ไม่มีสารโซเดียมซิลเฟตมีการพัฒนากำลังอัดสูงที่สุด และเมื่อพิจารณากำลังอัดโดยรวมพบว่ามีความแตกต่างกันมากนัก เมื่ออายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 60 วัน การพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ไม่มีสารโซเดียมซิลเฟตมีการพัฒนากำลังอัดสูงที่สุด ส่วนมอร์ตาร์ที่มีสารโซเดียมซิลเฟตในปริมาณร้อยละ 2 มีการพัฒนากำลังอัดต่ำมาก และมอร์ตาร์ที่มีสารโซเดียมซิลเฟตในปริมาณร้อยละ 4, 6 และร้อยละ 8 ไม่มีการพัฒนากำลังอัด และการใช้สารโซเดียมซิลเฟตยังมีผลทำให้กำลังอัดโดยรวมน้อยกว่าของมอร์ตาร์ที่ไม่มีสารโซเดียมซิลเฟต

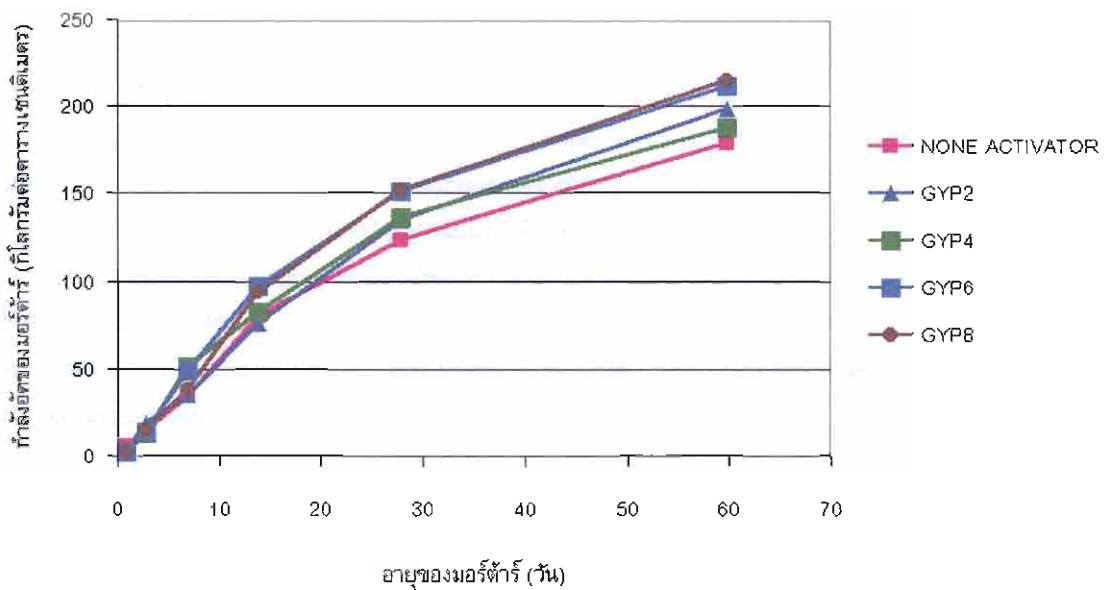


รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ได้จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับ แก้วลอยที่ผ่านการ บดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 และใส่สารโซเดียมซิลเฟตเพื่อเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานกับ อายุของมอร์ตาร์

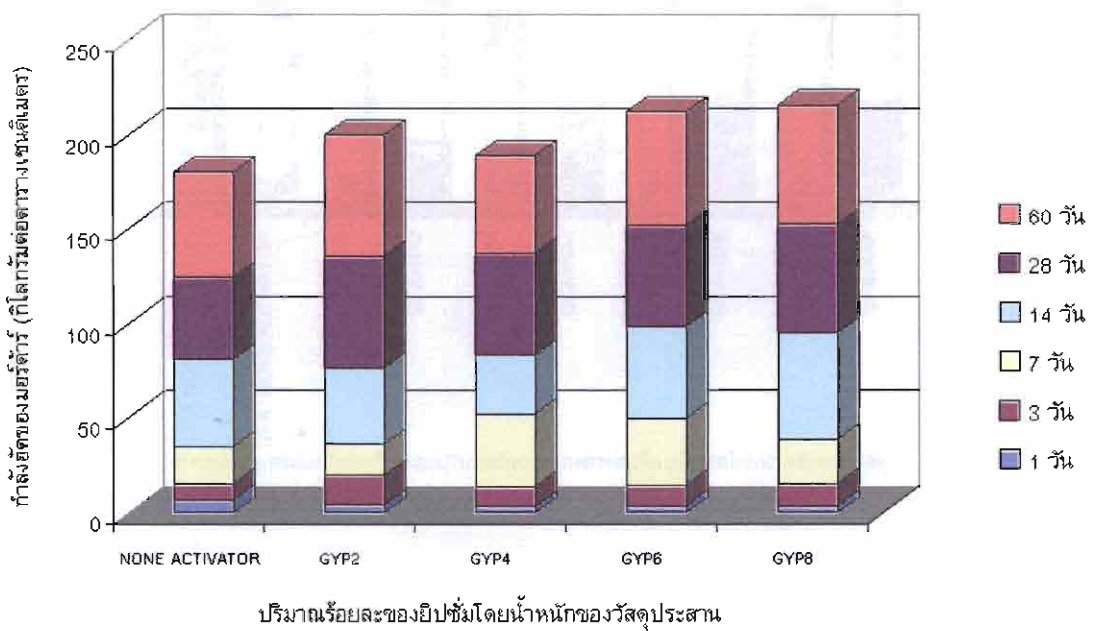


รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ได้จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับ แก้วลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ที่อายุต่างๆกับปริมาณของสารโซเดียมคลอไรด์

4.3.4.4 ความสามารถในการรับกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ได้จากส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับแก้วลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 โดยใช้ยิปซัมในการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลาน จากตารางที่ 4.7 รูปที่ 4.21 และรูปที่ 4.22 ที่อายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 1 วัน กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ไม่มียิปซัมมีกำลังอัดมากกว่ามอร์ตาร์ที่มี ยิปซัมทุกส่วนผสม และที่อายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 3 วันการพัฒนา กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่มี ยิปซัมในปริมาณร้อยละ 2 มีการพัฒนา กำลังอัดสูงที่สุด และมอร์ตาร์ที่มียิปซัมทุกส่วนผสมมีการพัฒนา กำลังอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มียิปซัม เมื่อมอร์ตาร์มีอายุเท่ากับ 7 วันการพัฒนา กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่มียิปซัมในปริมาณร้อยละ 4 มีการพัฒนา กำลังอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มียิปซัมและมอร์ตาร์ที่มียิปซัมในปริมาณร้อยละ 2 และการพัฒนา กำลังอัดลดลงเมื่อปริมาณของยิปซัมเพิ่มมากขึ้น และเมื่อพิจารณากำลังอัดโดยรวมพบว่ากำลังอัดเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณของยิปซัมเพิ่มมากขึ้นจนถึงร้อยละ 4 และกำลังอัดลดลงเล็กน้อยเมื่อปริมาณของยิปซัมเพิ่มมากขึ้น ที่อายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 14 วัน การพัฒนา กำลังอัดของมอร์ตาร์ค่อนข้างกว้างขวาง ไม่ขึ้นอยู่กับปริมาณของยิปซัม โดยมอร์ตาร์ที่มีปริมาณของยิปซัมร้อยละ 8 มีการพัฒนา กำลังอัดสูงที่สุด และเมื่อพิจารณากำลังอัดโดยรวมพบว่ามอร์ตาร์ที่มียิปซัมในปริมาณร้อยละ 6 มีกำลังอัดสูงที่สุด ที่อายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 28 วัน การพัฒนา กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่มียิปซัมทุกส่วนผสมจะ มากกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มียิปซัม โดยมอร์ตาร์ที่มีปริมาณของยิปซัมร้อยละ 2 และร้อยละ 8 มีการพัฒนา กำลังอัดสูงที่สุด และเมื่อพิจารณากำลังอัดโดยรวมพบว่ามอร์ตาร์ที่มียิปซัมในปริมาณร้อยละ 2 มีกำลังอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มียิปซัม และกำลังอัดเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณของ ยิปซัมมากขึ้น เมื่อมอร์ตาร์มีอายุเท่ากับ 60 วัน การพัฒนา กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่มียิปซัมทุกส่วนผสมจะมากกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มียิปซัมยกเว้นมอร์ตาร์ที่มียิปซัมในปริมาณร้อยละ 4 และ พบว่ามอร์ตาร์ที่มียิปซัมในปริมาณร้อยละ 2 และร้อยละ 8 มีการพัฒนา กำลังอัดสูงที่สุด และเมื่อพิจารณากำลังอัดโดยรวมพบว่ามอร์ตาร์ที่มียิปซัมทุกส่วนผสมมีกำลังอัดมากกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มียิปซัม และพบว่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่มียิปซัมในปริมาณร้อยละ 8 มีกำลังอัดสูงที่สุด

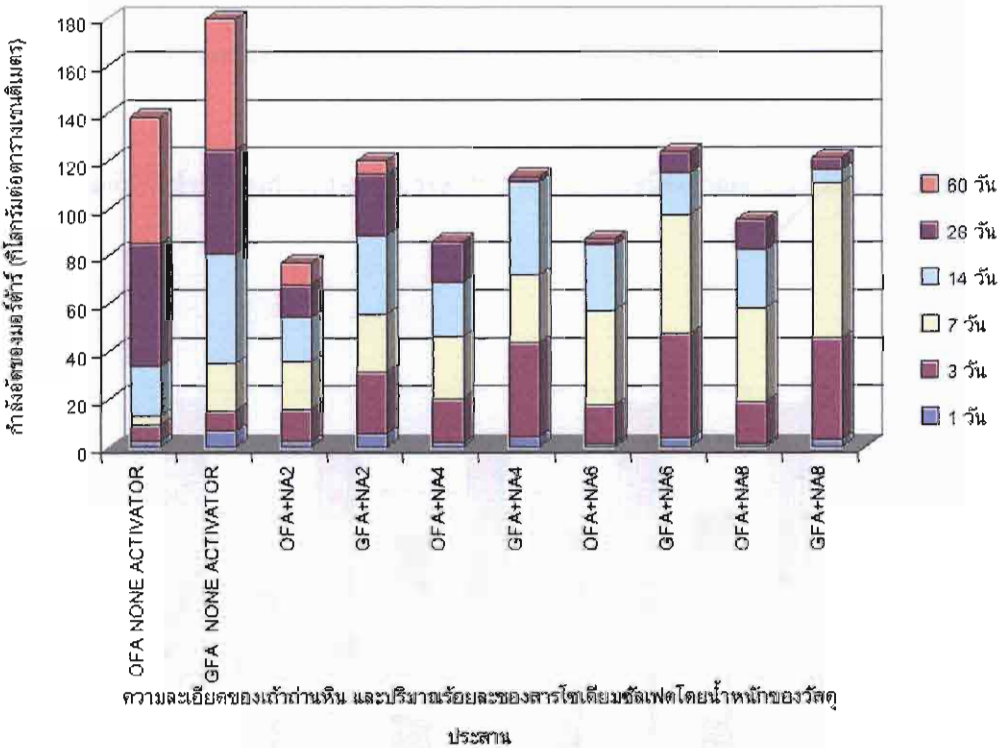


รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ได้จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับ แก้วลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 และใส่ยิปซัมเพื่อเร่งปฏิกิริยาปอลิโซชันกับอายุของมอร์ตาร์

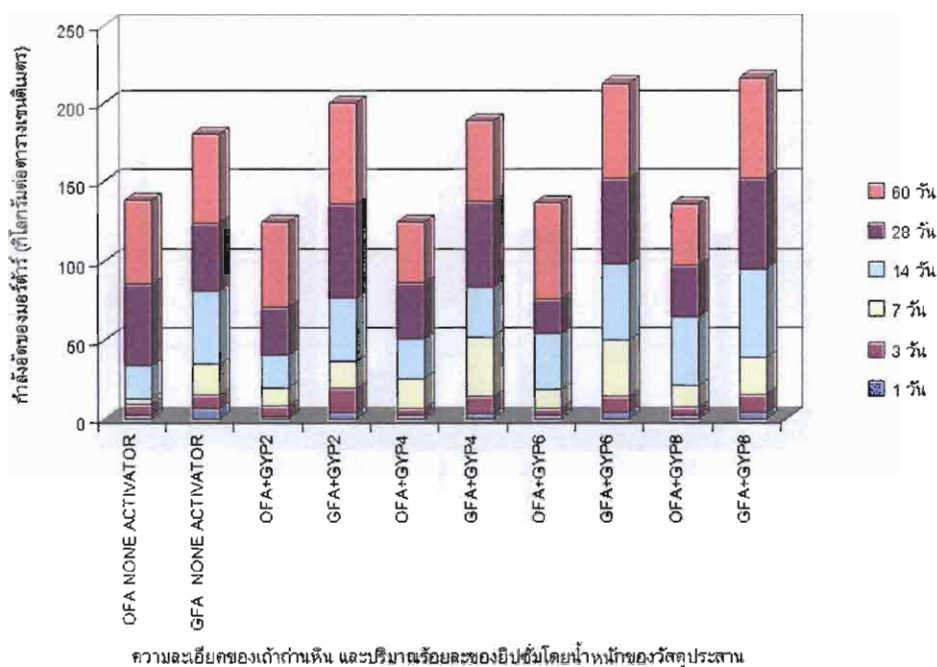


รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ได้จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับ แก้วลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ที่อายุต่างๆกับปริมาณของยิปซัม

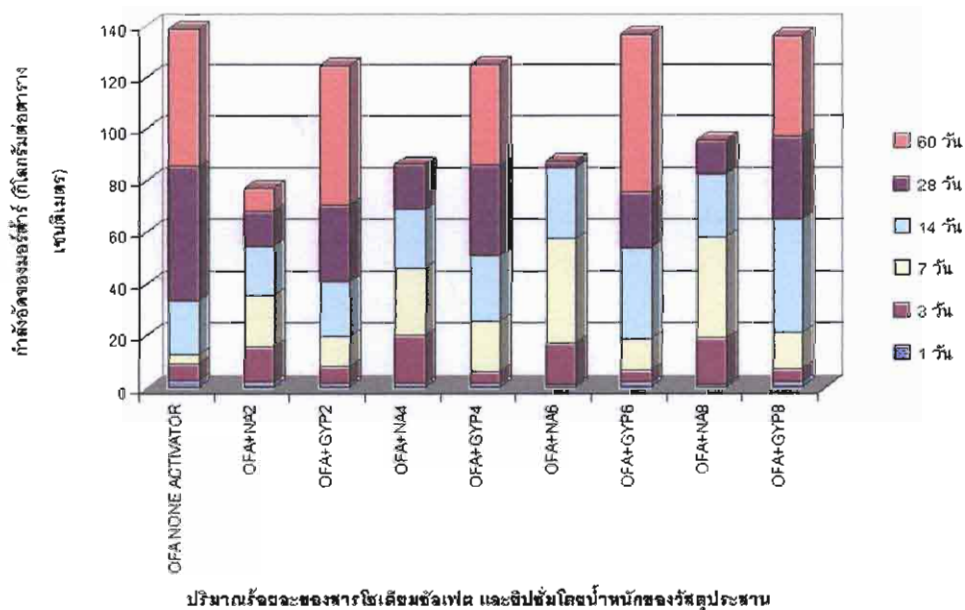
จากรูปที่ 4.23 และรูปที่ 4.24 แสดงให้เห็นว่าความละเอียดของเกล็ดลอยมี ผลกระทบต่อการ พัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์ โดยวัสดุประสานที่ใช้เกล็ดลอยที่มีความละเอียดมากกว่าจะมีการพัฒนากำลังอัด และกำลังอัดโดยรวมมากกว่าวัสดุประสานที่ใช้เกล็ดลอยที่มีความละเอียดน้อยกว่าที่มีการใช้สารโซเดียมซิลเฟต และยิปซัมในปริมาณที่เท่ากัน และจาก รูปที่ 4.25 และ 4.26 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบการพัฒนากำลังอัดและ กำลังอัดโดยรวมของวัสดุประสานที่มีความละเอียดของเกล็ดลอยเท่ากันแต่แตกต่างกันที่ชนิดของสารเคมีที่ใช้ เร่งปฏิกิริยาปอซโซลาน พบว่าการใช้ยิปซัมมีผลดีต่อกำลังอัดของมอร์ตาร์มากกว่าการใช้สารโซเดียม ซิลเฟตเนื่องจากมีกำลังอัดในช่วงอายุปลายมากกว่าแม้ว่ามีการพัฒนากำลังอัดในระยะต้นจะ ต่ำกว่ามอร์ตาร์ ที่ใช้สารโซเดียมซิลเฟต และนอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ยิปซัมไม่ทำให้กำลังอัด ในระยะปลายลดลงและยัง สามารถพัฒนากำลังอัดต่อไปได้อีก ซึ่งแตกต่างจากมอร์ตาร์ที่ใช้ สารโซเดียมซิลเฟตซึ่งมีการพัฒนากำลังอัด ในระยะต้นสูงแต่เมื่อมอร์ตาร์มีอายุมากขึ้นจะมีกำลังอัดลดลง



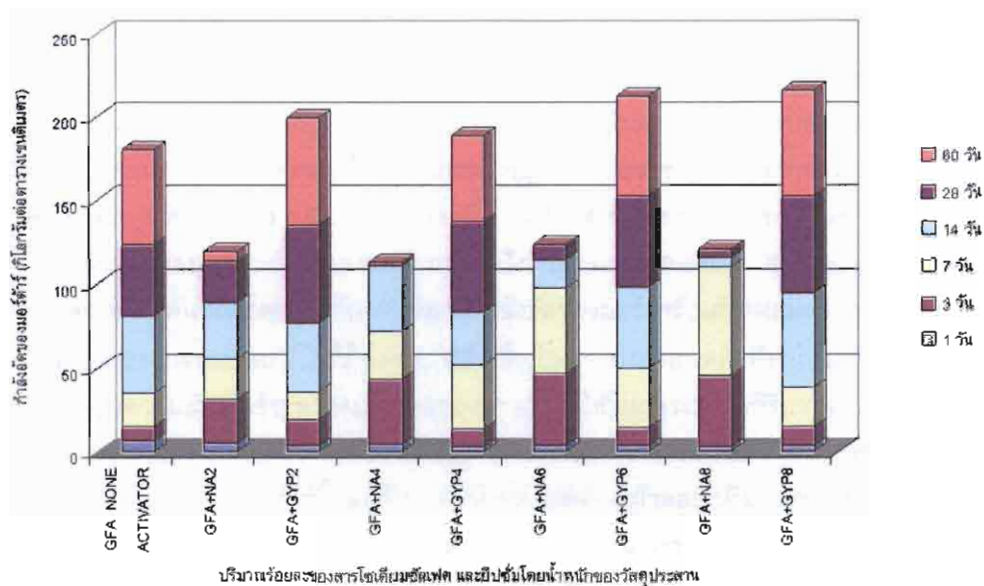
รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่อายุต่างๆกับชนิดเกล็ดลอยและปริมาณของสารโซเดียมซิลเฟต



รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ตารี่ที่อายุต่างๆกับชนิดเถ้าลอยและปริมาณของยิปซัม



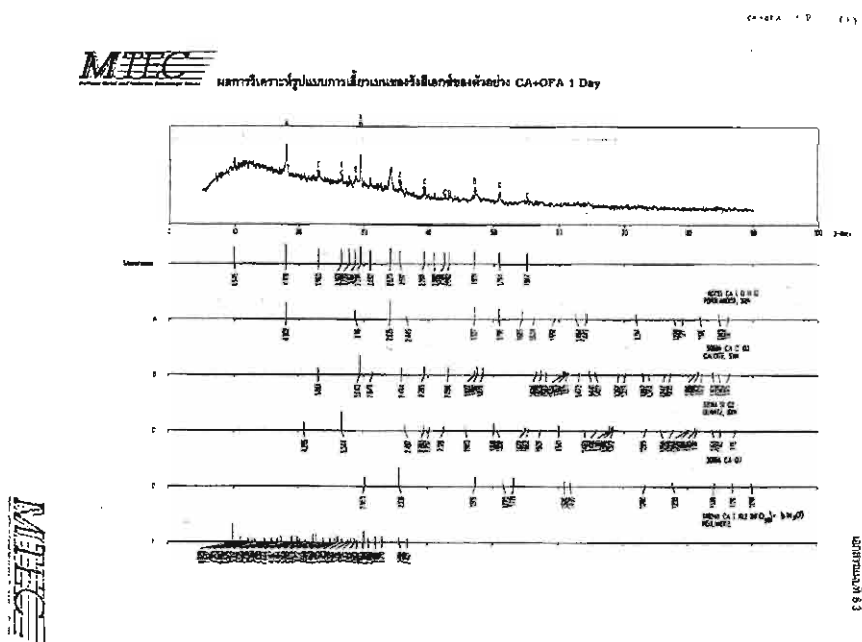
รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ตารี่ที่ใช้เถ้าลอยในสภาพเดิมที่อายุต่างๆกับปริมาณของสารโซเดียมซิลเฟต และยิปซัม



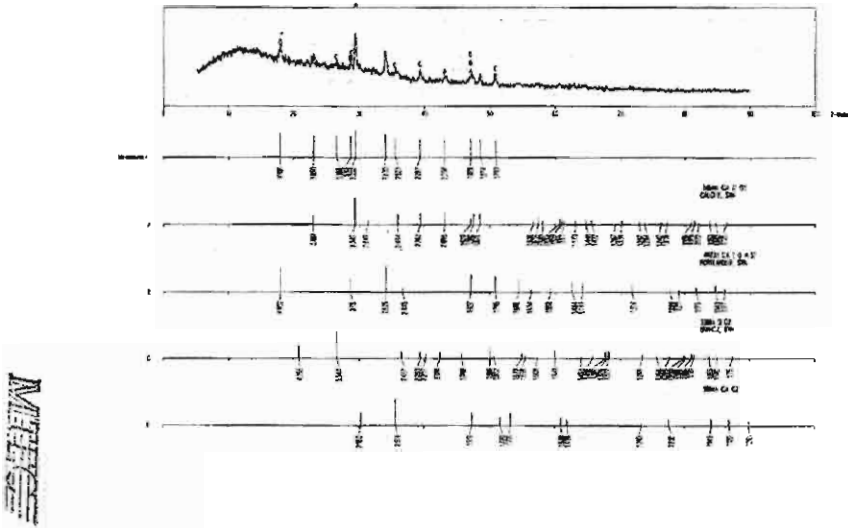
รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ใช้ถั่วลยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ที่อายุต่างๆกับปริมาณของสารโซเดียมซัลเฟต และยีสต์

4.3.5 สารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาปอซโซลานในเฟสที่ได้จากวัสดุประสานที่ได้จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับเถ้าลอย

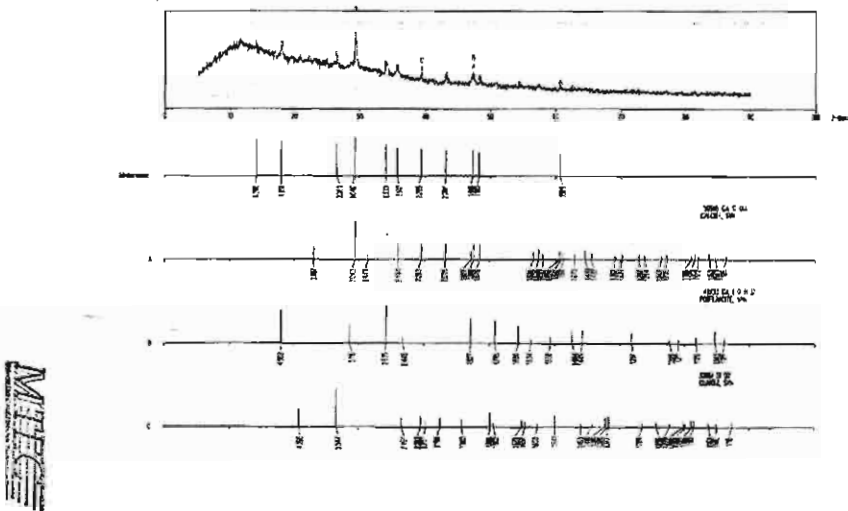
เมื่อพิจารณาสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาปอซโซลานที่เกิดขึ้นในเฟสที่ได้จากวัสดุประสานที่ได้จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับเถ้าลอยในสภาพเดิม และเถ้าลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 โดยใช้สารโซเดียมซิลเฟตและยิปซัมในการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานในอัตราส่วนผสมต่างๆ ที่อายุ 1, 7 และ 28 วัน จากรูปที่ 4.27 ถึง 4.56 และตารางที่ 4.12 ถึง 4.15 พบว่าสารประกอบทางเคมีที่เกิดขึ้นในเฟสที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์สถานะผลึก X-Ray Diffraction Spectroscopy (XRD) ไม่สามารถแสดงความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกับการพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์ในส่วนผสมต่างๆ ที่อายุต่างๆ กันได้ เนื่องจากไม่สามารถตรวจสอบพบ *CSH* และ *CAH* ซึ่งเป็นสารประกอบหลักที่ทำให้มอร์ตาร์ มีกำลังอัด จึงไม่สามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารเคมีที่ใช้ในการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานและความละเอียดของเถ้าลอยกับการพัฒนากำลังอัดได้ แต่เมื่อพิจารณาผล การทดสอบที่ได้จากการทดสอบกำลังอัด พบว่าการพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์ขึ้นอยู่กับ ความละเอียดของเถ้าลอย ปริมาณของสารโซเดียมซิลเฟตและยิปซัม ทำให้สามารถคาดเดาได้ว่าความละเอียดของเถ้าลอย ปริมาณของสารโซเดียมซิลเฟตและยิปซัมที่ใช้ในการทดสอบมีผลต่อการเกิดสารผลิตภัณฑ์ของมอร์ตาร์ที่อายุต่างๆ เพียงแต่ไม่สามารถทดสอบหาสารประกอบ *CSH* และ *CAH* ด้วยเครื่องวิเคราะห์สถานะผลึกได้



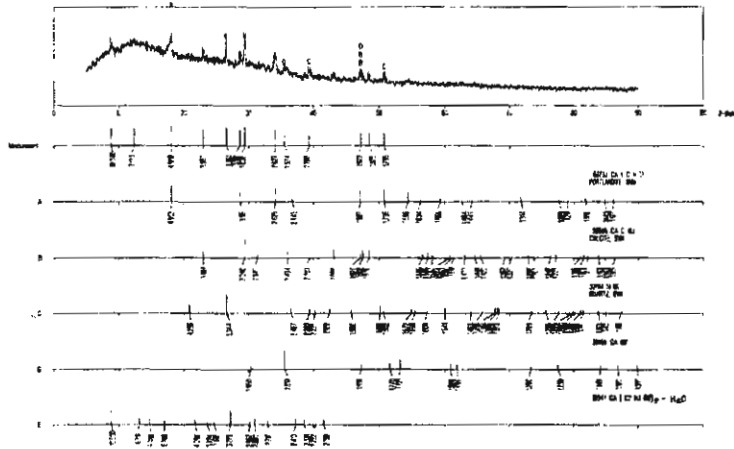
รูปที่ 4.27 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่าง CA30 + OFA70 1 วัน



รูปที่ 4.28 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่าง CA30 + OFA70 7 วัน

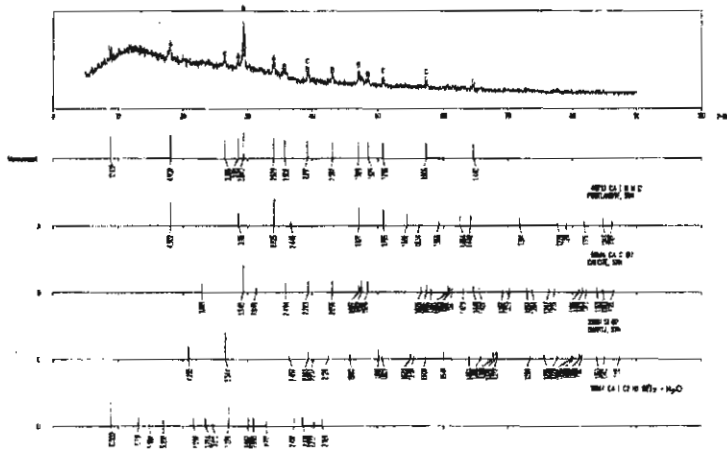


รูปที่ 4.29 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่าง CA30 + OFA70 28 วัน



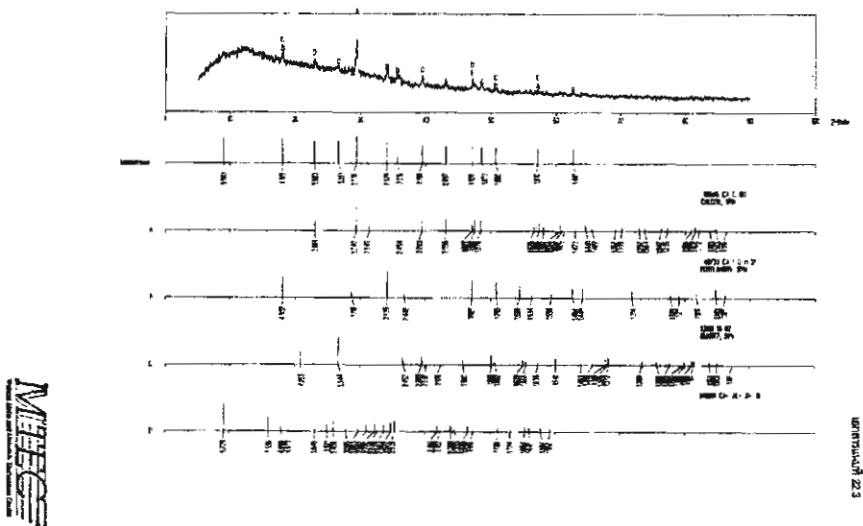
ภาพที่ 4.30

รูปที่ 4.30 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่าง CA30 + OFA70 + NA4 1 วัน

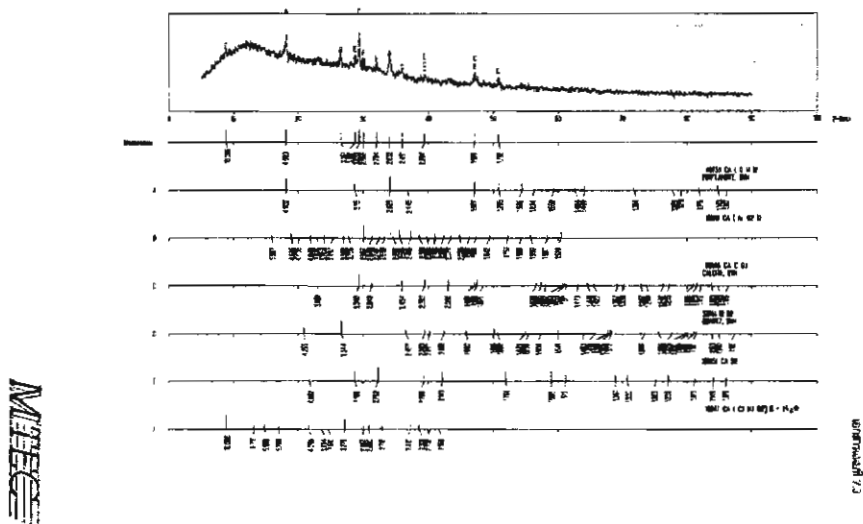


ภาพที่ 4.31

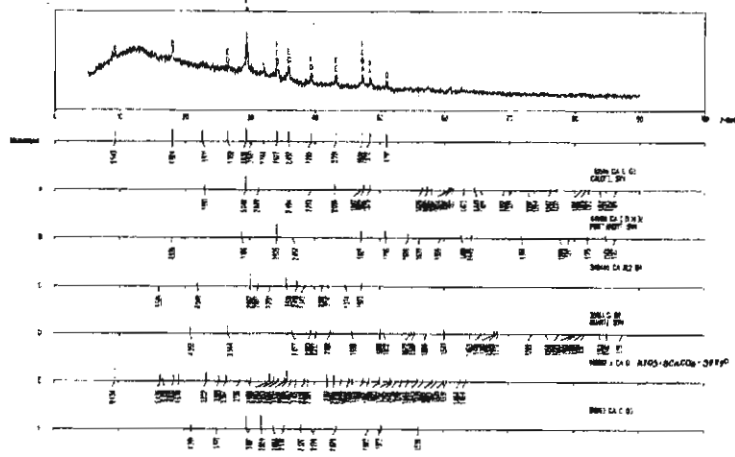
รูปที่ 4.31 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่าง CA30 + OFA70 + NA4 7 วัน



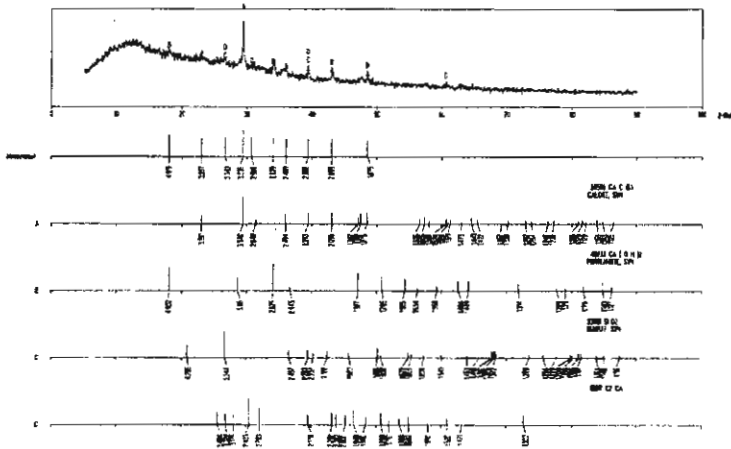
รูปที่ 4.32 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่างCA30+OFA70+NA4 28 วัน



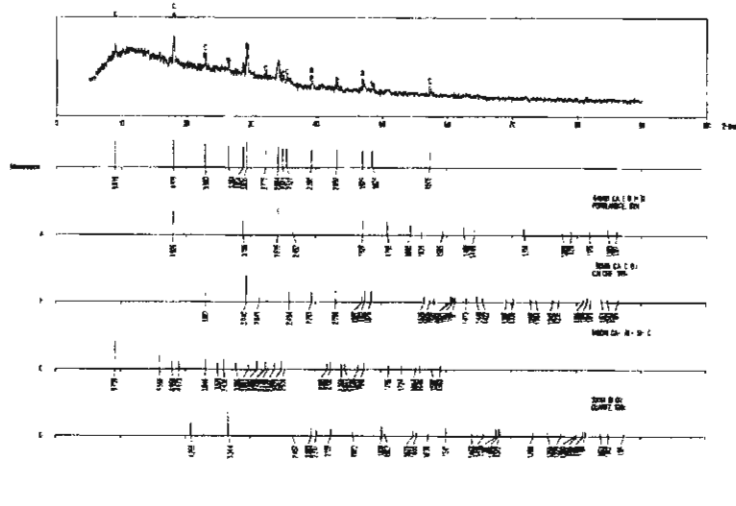
รูปที่ 4.33 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่างCA30+OFA70+NA8 1 วัน



รูปที่ 4.34 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่างCA30+OFA70+NA8 7 วัน

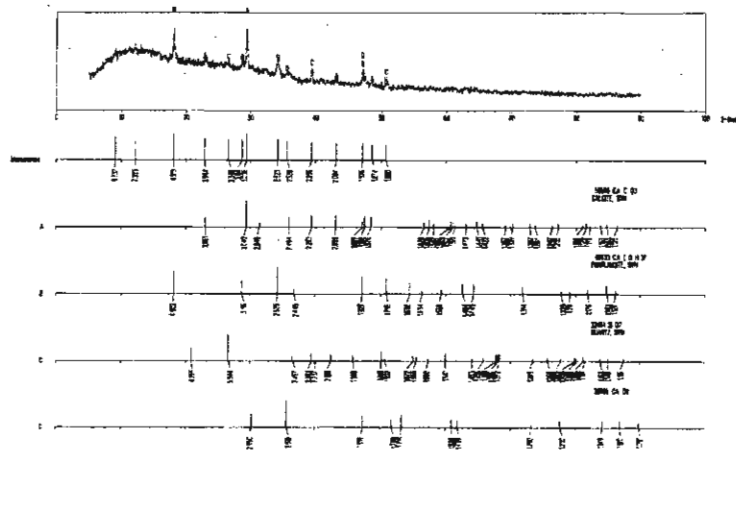


รูปที่ 4.35 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่างCA30+OFA70+NA8 28 วัน



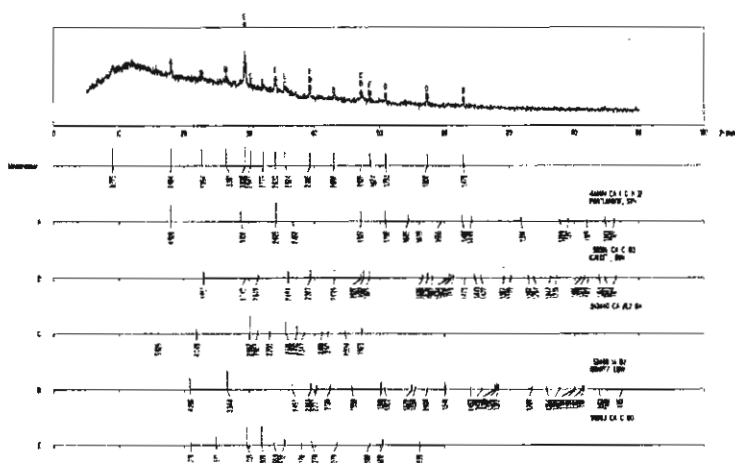
MTEC

รูปที่ 4.36 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่างCA30+OFA70+GYP4 1 วัน

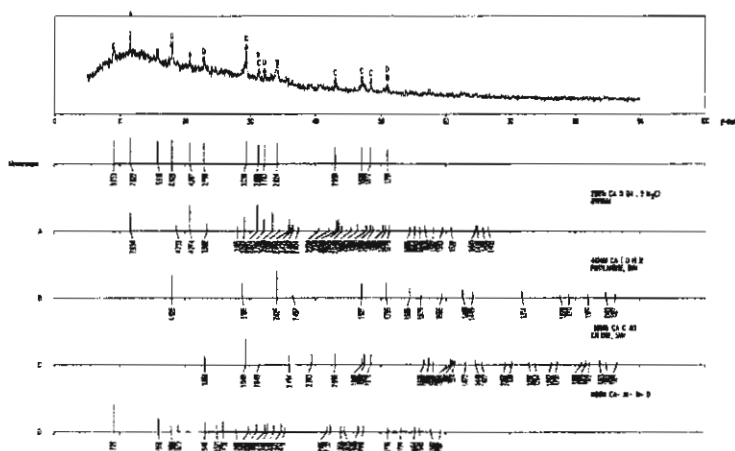


MTEC

รูปที่ 4.37 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่างCA30+OFA70+GYP4 7 วัน



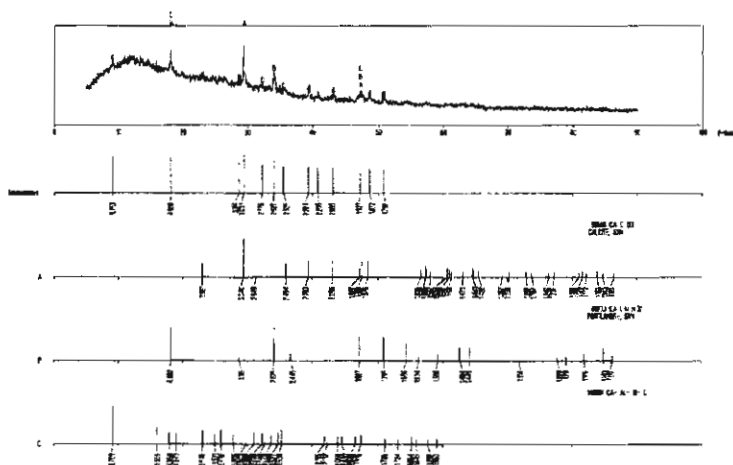
รูปที่ 4.38 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่างCA30+OFA70+GYP4 28 วัน



รูปที่ 4.39 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่างCA30+OFA70+GYP8 1 วัน



ผลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่าง CA+OFA+GYP8 7 Days



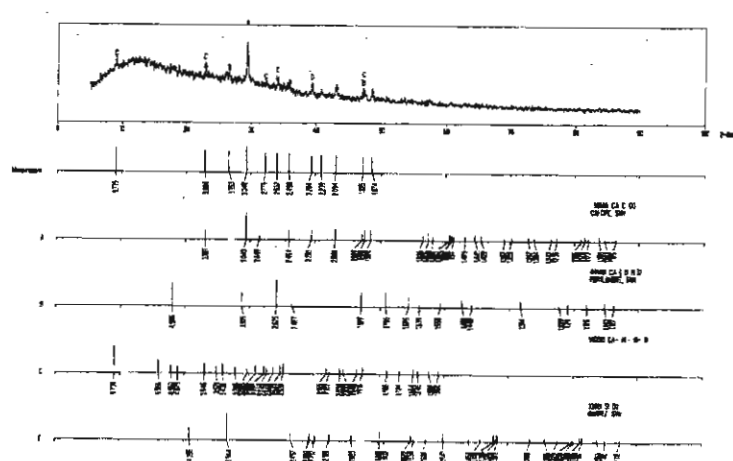
MTEC

เอกสารที่ 5.3

รูปที่ 4.40 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่างCA30+OFA70+GYP8 7 วัน



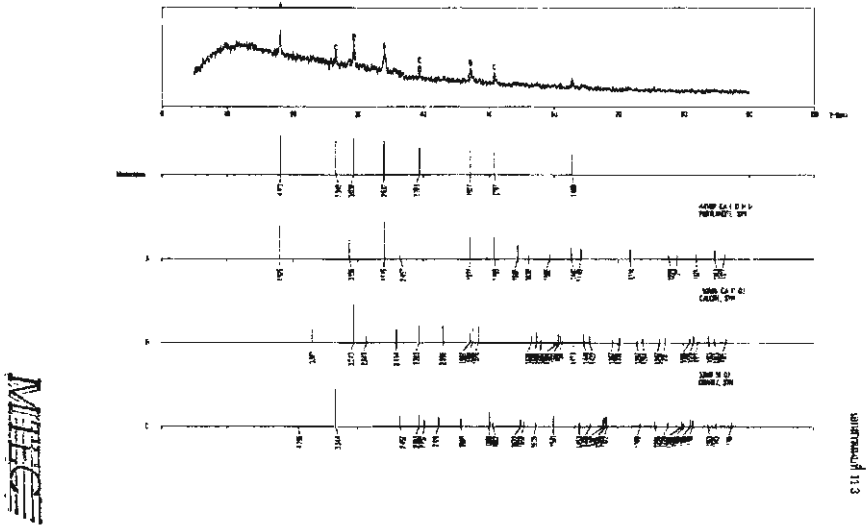
ผลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่าง CA+OFA+GYP8 28 Days



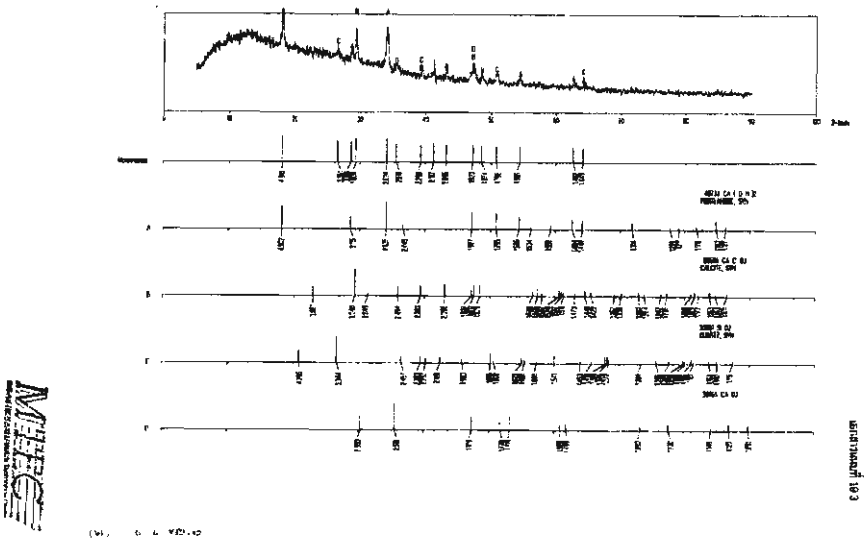
MTEC

เอกสารที่ 5.3

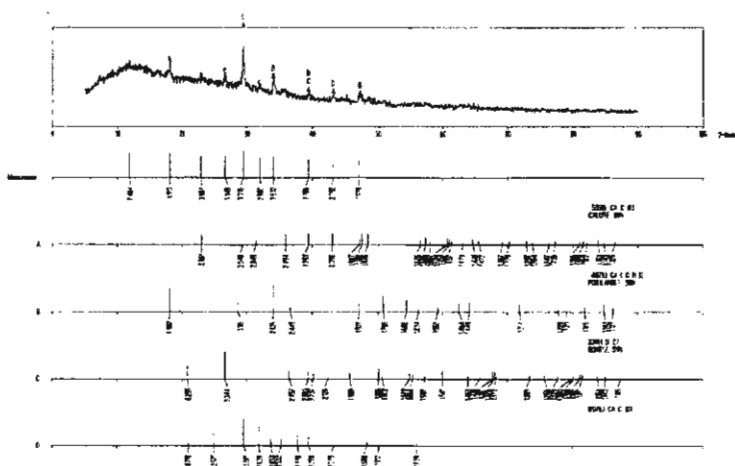
รูปที่ 4.41 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่างCA30+OFA70+GYP8 28 วัน



รูปที่ 4.42 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่าง CA30 + GFA70 1 วัน



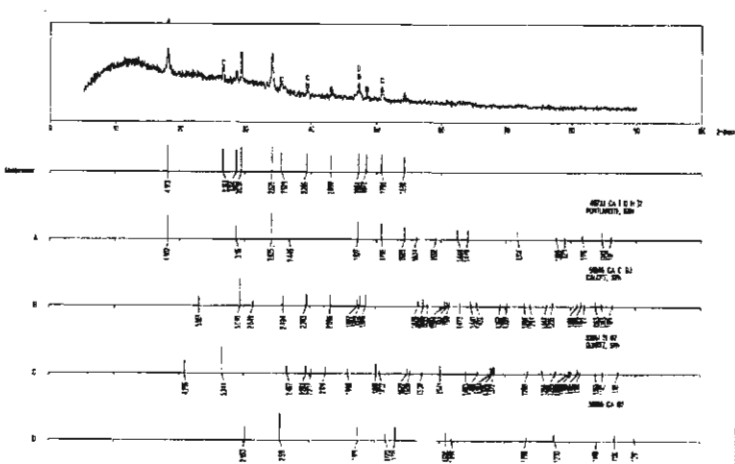
รูปที่ 4.43 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่าง CA30 + GFA70 7 วัน



บันทึกเลขที่ 28.3

MTEC

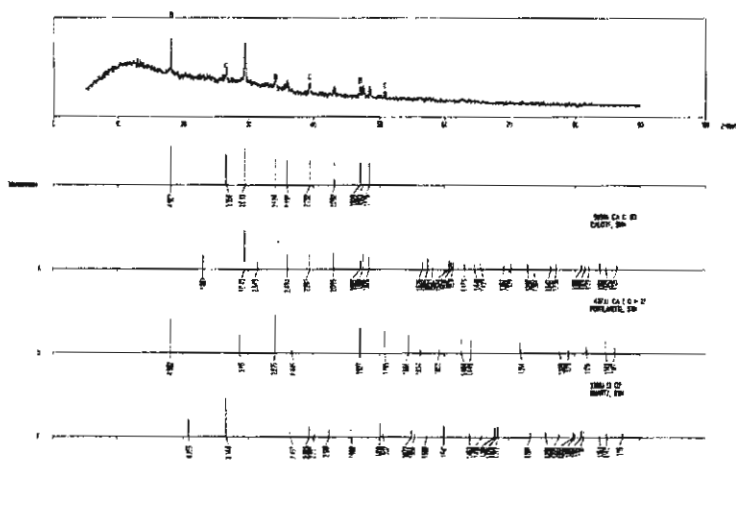
รูปที่ 4.44 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่าง CA30 + GFA70 28 วัน



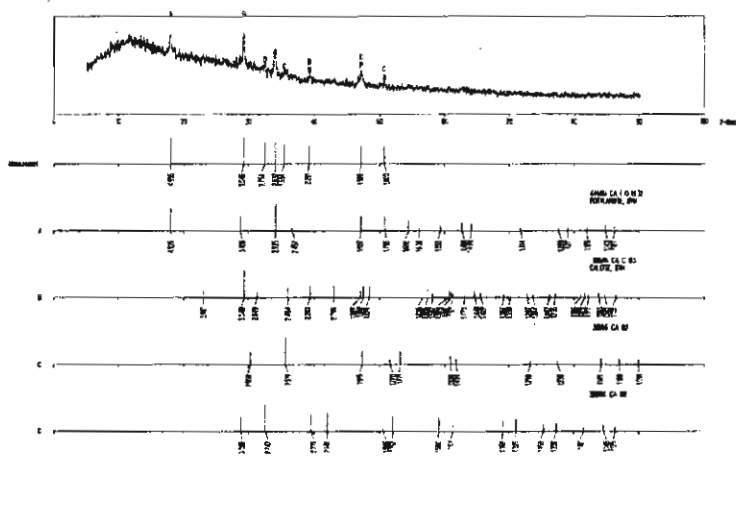
บันทึกเลขที่ 12.3

MTEC

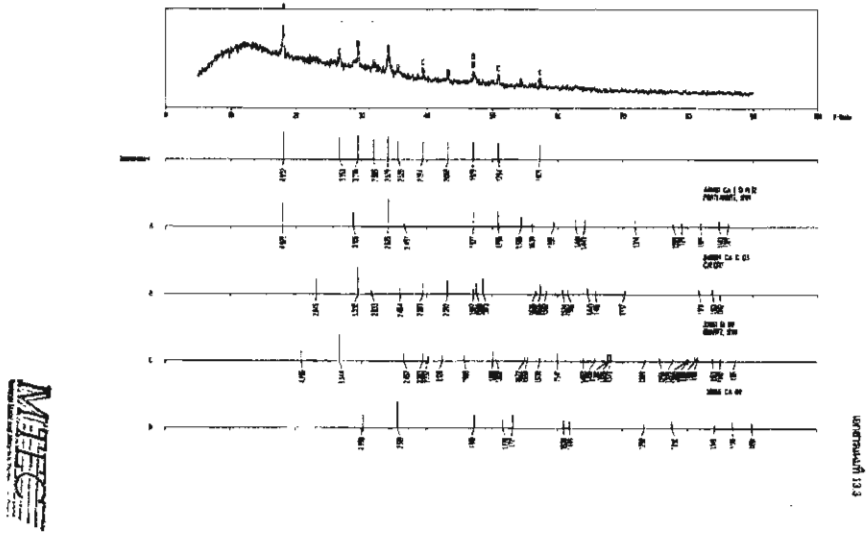
รูปที่ 4.45 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่าง CA30+GFA70+NA4 1 วัน



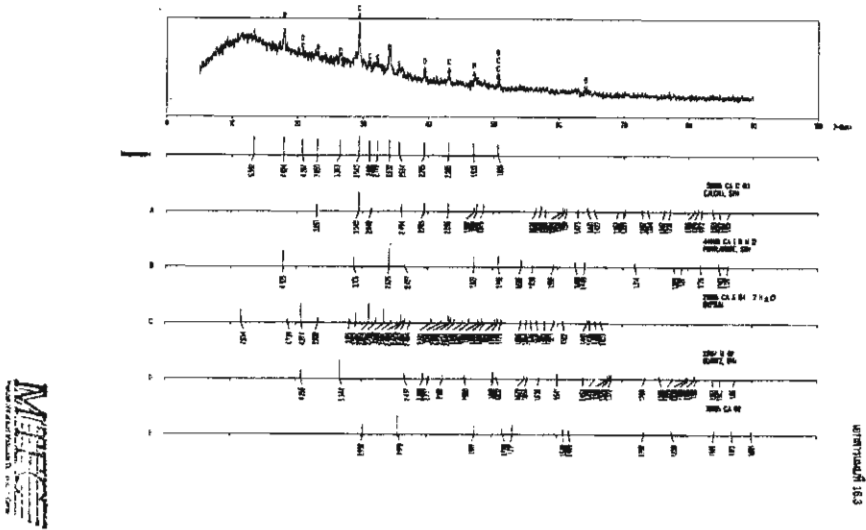
รูปที่ 4.46 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่าง CA30+GFA70+NA4 7 วัน



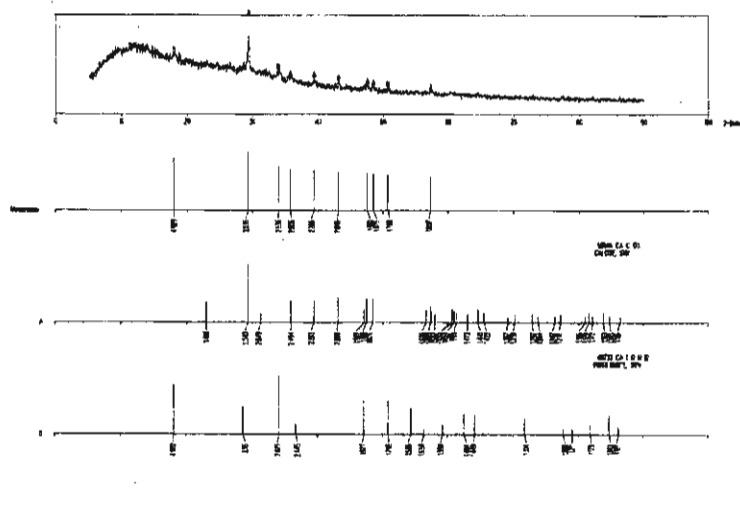
รูปที่ 4.47 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่าง CA30+GFA70+NA4 28 วัน



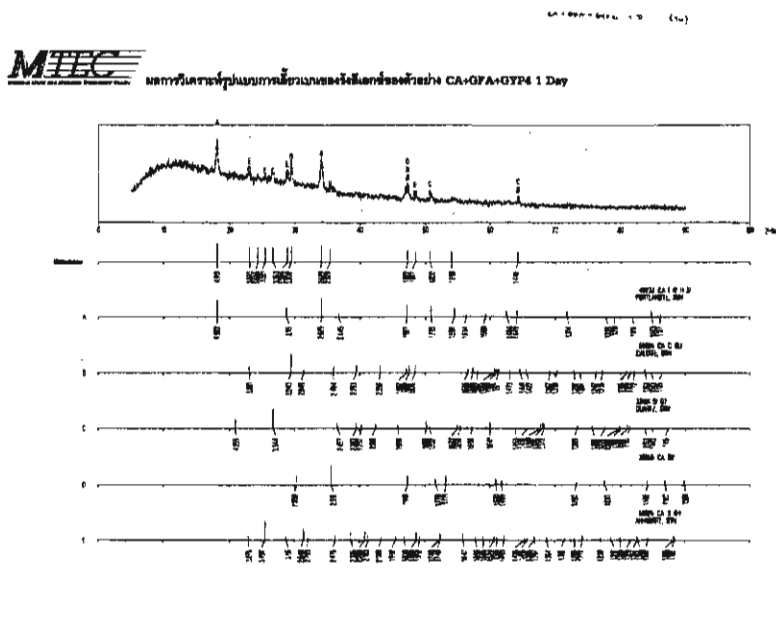
รูปที่ 4.48 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่าง CA30+GFA70+NA8 1 วัน



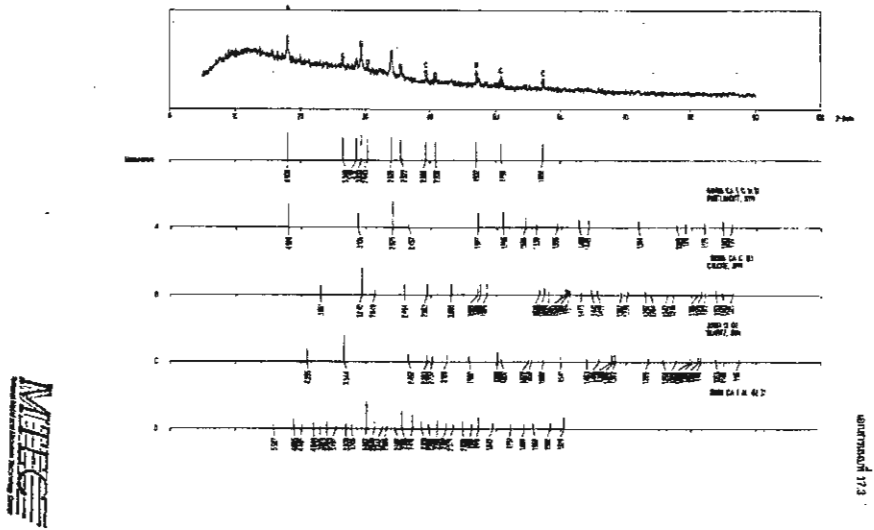
รูปที่ 4.49 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่าง CA30+GFA70+NA8 7 วัน



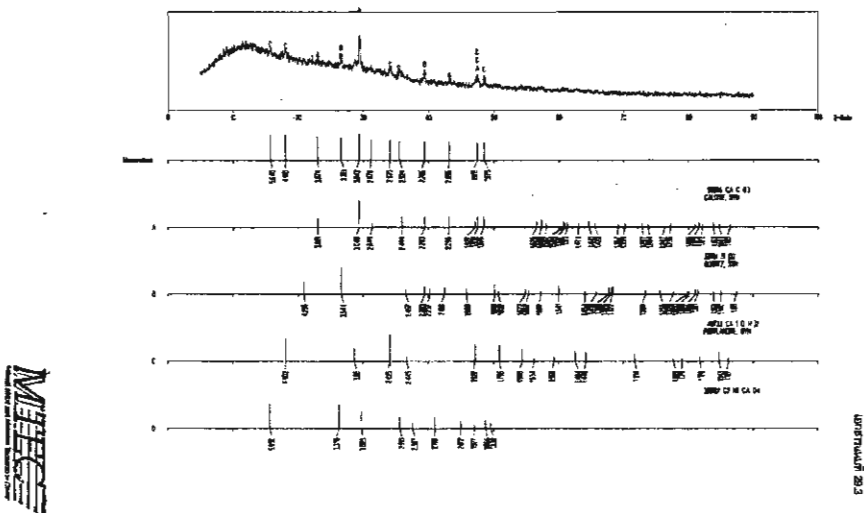
รูปที่ 4.50 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยงเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่าง CA30+GFA70+NA8 28 วัน



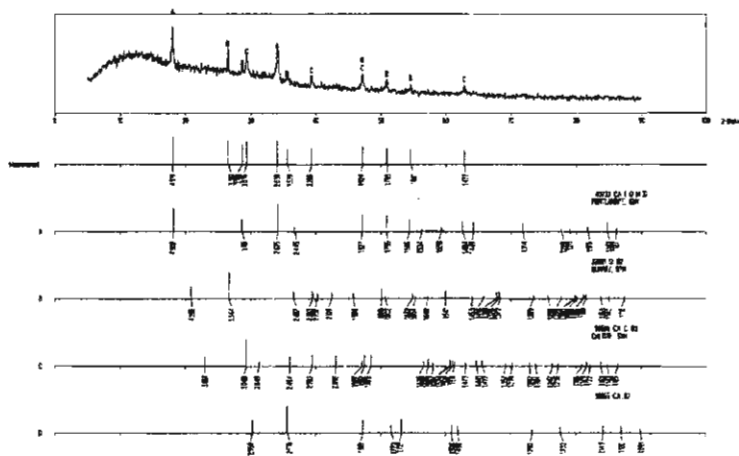
รูปที่ 4.51 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยงเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่าง CA30+GFA70+GYP4 1 วัน



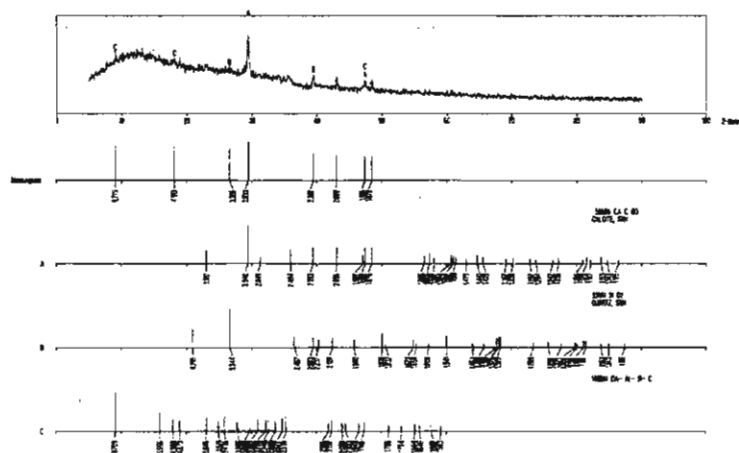
รูปที่ 4.52 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่าง CA30+GFA70+GYP4 7 วัน



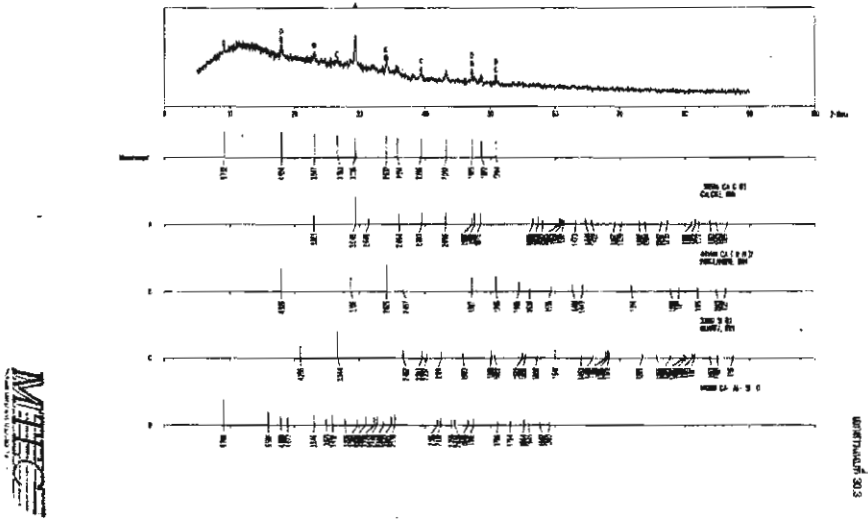
รูปที่ 4.53 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่าง CA30+GFA70+GYP4 28 วัน



รูปที่ 4.54 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่าง CA30+GFA70+GYP8 1 วัน



รูปที่ 4.55 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่าง CA30+GFA70+GYP8 7 วัน



รูปที่ 4.56 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่าง CA30+GFA70+GYP8 28 วัน

ตารางที่ 4.8 องค์ประกอบทางเคมีที่มีความเป็นไปได้ของเฟสที่ได้จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับถั่ว
ล่อยในสภาพเดิมโดยใช้สารโซเดียมซัลเฟตในการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานในปริมาณร้อยละ
0, 4 และ 8 ที่อายุของเฟสเท่ากับ 1, 7, และ 28 วัน

เฟสของวัสดุประสาน	องค์ประกอบทางเคมีที่มีความเป็นไปได้
CA + OFA (1 DAY)	Portlandite Syn [$Ca(OH)_2$], Calcite Syn [$CaCO_3$] Quartz Syn [SiO_2], CaO_2 Haulandite [$Ca(Al_2Si_7O_{18}) \cdot 6H_2O$]
CA + OFA + NA4 (1 DAY)	Portlandite Syn [$Ca(OH)_2$], Calcite Syn [$CaCO_3$] Quartz Syn [SiO_2], CaO_2 , $Ca(C_2H_3O_2)_2 \cdot H_2O$
CA + OFA + NA8 (1 DAY)	Portlandite Syn [$Ca(OH)_2$], Calcite Syn [$CaCO_3$] Quartz Syn [SiO_2], $Ca(C_2H_3O_2)_2 \cdot H_2O$ $Ca(AlO_2)_2$, $CaSi_2$
CA + OFA (7 DAYS)	Portlandite Syn [$Ca(OH)_2$], Calcite Syn [$CaCO_3$] Quartz Syn [SiO_2], CaO_2
CA + OFA + NA4 (7 DAYS)	Portlandite Syn [$Ca(OH)_2$], Calcite Syn [$CaCO_3$] Quartz Syn [SiO_2], $Ca(C_2H_3O_2)_2 \cdot H_2O$
CA + OFA + NA8 (7 DAYS)	Portlandite Syn [$Ca(OH)_2$], Calcite Syn [$CaCO_3$] Quartz Syn [SiO_2], $CaAl_2O_4$ $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaCO_3 \cdot 32H_2O$
CA + OFA (28 DAYS)	Portlandite Syn [$Ca(OH)_2$], Calcite Syn [$CaCO_3$] Quartz Syn [SiO_2]
CA + OFA + NA4 (28 DAYS)	Portlandite Syn [$Ca(OH)_2$], Calcite Syn [$CaCO_3$] Quartz Syn [SiO_2], $Ca - Al - Si - O$
CA + OFA + NA8 (28 DAYS)	Portlandite Syn [$Ca(OH)_2$], Calcite Syn [$CaCO_3$] Quartz Syn [SiO_2], C_2Ca

ตารางที่ 4.9 องค์ประกอบทางเคมีที่มีความเป็นไปได้ของเฟสที่ได้จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับแก้ว
ลอยที่ผ่านการบด และร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 โดยใช้สารโซเดียมซิลเฟตในการเร่ง
ปฏิกิริยาปอซโซลานในปริมาณร้อยละ 0, 4 และ 8 ที่อายุของเฟสเท่ากับ 1, 7, และ 28 วัน

เฟสของวัสดุประสาน	องค์ประกอบทางเคมีที่มีความเป็นไปได้
CA + GFA (1 DAY)	Portlandite Syn [$Ca(OH)_2$], Calcite Syn [$CaCO_3$] Quartz Syn [SiO_2]
CA + GFA + NA4 (1 DAY)	Portlandite Syn [$Ca(OH)_2$], Calcite Syn [$CaCO_3$] Quartz Syn [SiO_2], CaO_2
CA + GFA + NA8 (1 DAY)	Portlandite Syn [$Ca(OH)_2$], Calcite Syn [$CaCO_3$] Quartz Syn [SiO_2], CaO_2
CA + GFA (7 DAYS)	Portlandite Syn [$Ca(OH)_2$], Calcite Syn [$CaCO_3$] Quartz Syn [SiO_2], CaO_2
CA + GFA + NA4 (7 DAYS)	Portlandite Syn [$Ca(OH)_2$], Calcite Syn [$CaCO_3$] Quartz Syn [SiO_2]
CA + GFA + NA8 (7 DAYS)	Portlandite Syn [$Ca(OH)_2$], Calcite Syn [$CaCO_3$] Quartz Syn [SiO_2], Gypsum [$CaSO_4 \cdot 2H_2O$] CaO_2
CA + GFA (28 DAYS)	Portlandite Syn [$Ca(OH)_2$], Calcite Syn [$CaCO_3$] Quartz Syn [SiO_2]
CA + GFA + NA4 (28 DAYS)	Portlandite Syn [$Ca(OH)_2$], Calcite Syn [$CaCO_3$] CaO_2 , $CaSi_2$
CA + GFA + NA8 (28 DAYS)	Portlandite Syn [$Ca(OH)_2$], Calcite Syn [$CaCO_3$]

ตารางที่ 4.10 องค์ประกอบทางเคมีที่มีความเป็นไปได้ของเฟสที่ได้จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับแก้ว
ลอยในสภาพเดิมโดยใช้บดขี้ผึ้งในการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลาน ในปริมาณร้อยละ 0, 4 และ 8
ที่อายุของเฟสเท่ากับ 1, 7, และ 28 วัน

เฟสของวัสดุประสาน	องค์ประกอบทางเคมีที่มีความเป็นไปได้
CA + OFA (1 DAY)	Portlandite Syn $[Ca(OH)_2]$, Calcite Syn $[CaCO_3]$ Quartz Syn $[SiO_2]$, CaO_2 Haulandite $[Ca(Al_2Si_7O_{18}) \cdot 6H_2O]$
CA + OFA + GYP4 (1 DAY)	Portlandite Syn $[Ca(OH)_2]$, Calcite Syn $[CaCO_3]$ Quartz Syn $[SiO_2]$, $Ca - Al - Si - O$
CA + OFA + GYP8 (1 DAY)	Portlandite Syn $[Ca(OH)_2]$, Calcite Syn $[CaCO_3]$ Gypsum $[CaSO_4 \cdot 2H_2O]$, $Ca - Al - Si - O$
CA + OFA (7 DAYS)	Portlandite Syn $[Ca(OH)_2]$, Calcite Syn $[CaCO_3]$ Quartz Syn $[SiO_2]$, CaO_2
CA + OFA + GYP4 (7 DAYS)	Portlandite Syn $[Ca(OH)_2]$, Calcite Syn $[CaCO_3]$ Quartz Syn $[SiO_2]$, CaO_2
CA + OFA + GYP8 (7 DAYS)	Portlandite Syn $[Ca(OH)_2]$, Calcite Syn $[CaCO_3]$ $Ca - Al - Si - O$
CA + OFA (28 DAYS)	Portlandite Syn $[Ca(OH)_2]$, Calcite Syn $[CaCO_3]$ Quartz Syn $[SiO_2]$
CA + OFA + GYP4 (28 DAYS)	Portlandite Syn $[Ca(OH)_2]$, Calcite Syn $[CaCO_3]$ Quartz Syn $[SiO_2]$, $CaAl_2O_4$
CA + OFA + GYP8 (28 DAYS)	Portlandite Syn $[Ca(OH)_2]$, Calcite Syn $[CaCO_3]$ Quartz Syn $[SiO_2]$, $Ca - Al - Si - O$

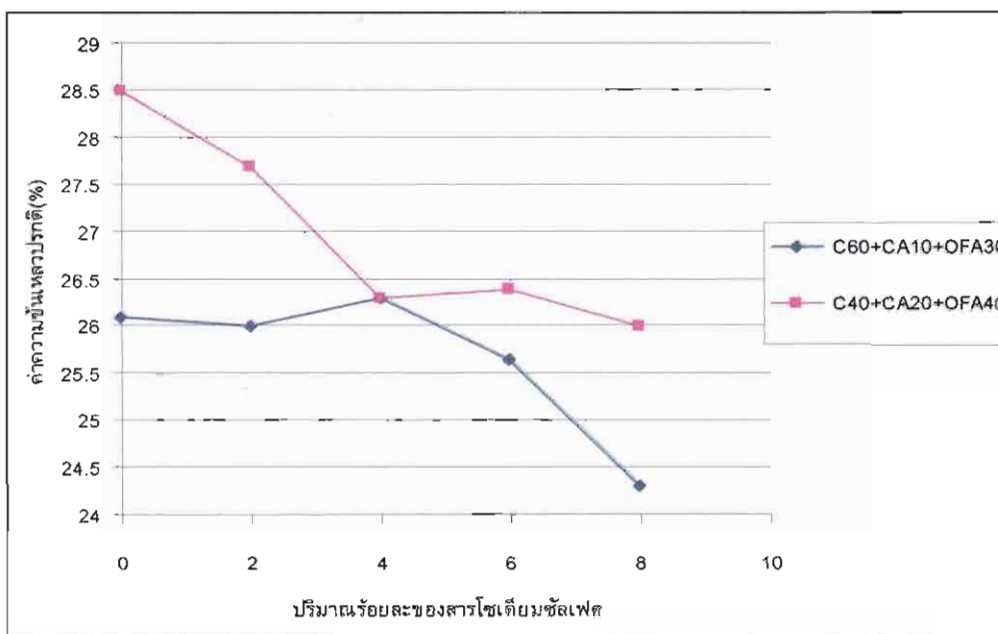
ตารางที่ 4.11 องค์ประกอบทางเคมีที่มีความเป็นไปได้ของเฟสที่ได้จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับแก้ว
ลอยที่ผ่านการบด และร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 โดยใช้ยิปซัมในการเร่งปฏิกิริยาปอซโซ
ลานในปริมาณร้อยละ 0, 4 และ 8 ที่อายุของเฟสเท่ากับ 1, 7, และ 28 วัน

เฟสของวัสดุประสาน	องค์ประกอบทางเคมีที่มีความเป็นไปได้
CA + GFA (1 DAY)	Portlandite Syn [$Ca(OH)_2$], Calcite Syn [$CaCO_3$] Quartz Syn [SiO_2]
CA + GFA + GYP4 (1 DAY)	Portlandite Syn [$Ca(OH)_2$], Calcite Syn [$CaCO_3$] Quartz Syn [SiO_2], CaO_2 Anhydrite Syn [$CaSO_4$]
CA + GFA + GYP8 (1 DAY)	Portlandite Syn [$Ca(OH)_2$], Calcite Syn [$CaCO_3$] Quartz Syn [SiO_2], CaO_2
CA + GFA (7 DAYS)	Portlandite Syn [$Ca(OH)_2$], Calcite Syn [$CaCO_3$] Quartz Syn [SiO_2], CaO_2
CA + GFA + GYP4 (7 DAYS)	Portlandite Syn [$Ca(OH)_2$], Calcite Syn [$CaCO_3$] Quartz Syn [SiO_2], $Ca(AlO_2)_2$
CA + GFA + GYP8 (7 DAYS)	Calcite Syn [$CaCO_3$], Quartz Syn [SiO_2] $Ca - Al - Si - O$
CA + GFA (28 DAYS)	Portlandite Syn [$Ca(OH)_2$], Calcite Syn [$CaCO_3$] Quartz Syn [SiO_2]
CA + GFA + GYP4 (28 DAYS)	Portlandite Syn [$Ca(OH)_2$], Calcite Syn [$CaCO_3$] Quartz Syn [SiO_2], $C_2H_2CaO_4$
CA + GFA + GYP8 (28 DAYS)	Portlandite Syn [$Ca(OH)_2$], Calcite Syn [$CaCO_3$] Quartz Syn [SiO_2], $Ca - Al - Si - O$

4.4 คุณสมบัติของวัสดุประสานที่ได้จากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ กากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอย

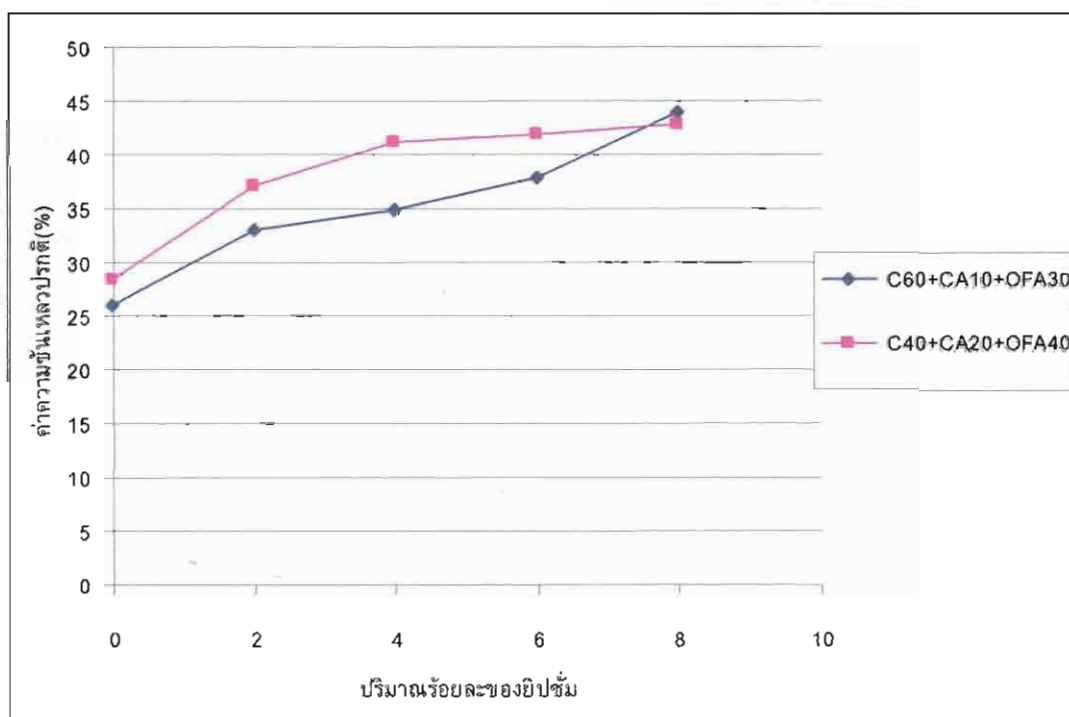
4.4.1 ปริมาณน้ำที่เหมาะสม

4.4.1.1 ปริมาณน้ำที่เหมาะสมของเพสต์ที่ได้จากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ กากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอยในสภาพเดิม ในอัตราส่วน 60: 10: 30 , 40: 20: 40 โดยใช้สารโซเดียมซิลเฟต ในการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลาน ผลการทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมพบว่าเพสต์ที่ใช้อัตราส่วน 40: 20: 40 มีความต้องการน้ำที่เหมาะสมสำหรับการทำปฏิกิริยาในปริมาณสูงกว่าเพสต์ที่ใช้อัตราส่วน 60: 10: 30 เนื่องจากวัสดุที่มีความละเอียดอย่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอยในสภาพเดิมที่ใส่เพิ่มมากขึ้นทำให้ต้องการน้ำในปริมาณมาก ซึ่งสังเกตได้จากเพสต์ C40 + CA20 + OFA40 มีค่าความชื้นเหลือปกติเท่ากับ 28.5 ในขณะที่เพสต์ C60 + CA10 + OFA30 มีค่าความชื้นเหลือปกติเท่ากับ 26.1 และมีแนวโน้มเช่นเดียวกันนี้กับเพสต์ที่มีปริมาณของสารโซเดียมซิลเฟตที่เท่ากัน และยังพบว่าการใช้สารโซเดียมซิลเฟต ผสมลงในเพสต์ของวัสดุประสาน มีผลทำให้ค่าความชื้นเหลือปกติแปรผกผันกับปริมาณของสารโซเดียมซิลเฟต สังเกตได้จากเพสต์ C60 + CA10 + OFA30 + NA2 มีค่าความชื้นเหลือปกติเท่ากับ 26 ในขณะที่เพสต์ C60 + CA10 + OFA30 + NA6 มีค่าความชื้นเหลือปกติเท่ากับ 25.65 และค่าความชื้นเหลือปกติจะลดลงอีกเมื่อเพิ่มปริมาณของสารโซเดียมซิลเฟต และยังมีแนวโน้มเช่นเดียวกันนี้กับเพสต์ที่ใช้อัตราส่วนผสม 40: 20: 40 เช่นเพสต์ C40 + CA20 + OFA40 + NA2 มีค่าความชื้นเหลือปกติ เท่ากับ 27.7 ในขณะที่เพสต์ C40 + CA20 + OFA40 + NA6 มีค่าความชื้นเหลือปกติเท่ากับ 26.4 และค่าความชื้นเหลือปกติจะลดลงอีกเมื่อปริมาณของสารโซเดียมซิลเฟตเพิ่มมากขึ้น กล่าวคือเมื่อใช้ปริมาณของสารโซเดียมซิลเฟตมากขึ้นทำให้ค่าความชื้นเหลือปกติลดลง เนื่องจากสารโซเดียมซิลเฟตสามารถละลายน้ำได้จึงทำให้มีปริมาณของเหลวเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้ปริมาณการใช้น้ำลดลงดังแสดงใน ตารางที่ 4.12 และ 4.13 และ รูปที่ 4.57



รูปที่ 4.57 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นเหลือปกติกับปริมาณร้อยละของสารโซเดียมซิลเฟต ในส่วนผสมของวัสดุประสานที่ได้จากปูนซีเมนต์ กากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอยในสภาพเดิม ในอัตราส่วน 60: 10: 30 และอัตราส่วน 40: 20: 40

4.4.1.2 ปริมาณน้ำที่เหมาะสมของเพสต์ที่ได้จากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ กาก แคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอยในสภาพเดิม ในอัตราส่วน 60: 10: 30 , 40: 20: 40 โดยใช้ยิปซัมในการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลาน พบว่าปริมาณของเถ้าลอยและกากแคลเซียมคาร์ไบด์ในส่วนผสม ยังมีผลต่อค่าความชื้น เหลวปกติเหมือนกับเพสต์ที่ใช้สารโซเดียมซิลิเฟตในการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานคือ เพสต์ที่มีปริมาณของยิปซัมที่เท่ากันแต่แตกต่างกันที่ปริมาณของเถ้าลอยและกากแคลเซียมคาร์ไบด์ในส่วนผสม เพสต์ที่มีปริมาณของเถ้าลอยและกากแคลเซียมคาร์ไบด์ในส่วนผสมมากกว่าจะมีค่าความชื้นเหลวปกติที่มากกว่า สังเกตได้จากเพสต์ C40 + CA20 + OFA40 + GYP2 มีค่าความชื้นเหลวปกติเท่ากับ 37.3 ในขณะที่เพสต์ C60 + CA10 + OFA30 + GYP2 มีค่าความชื้นเหลวปกติเท่ากับ 30.15 และพบว่าเพสต์ที่มีส่วนผสมของยิปซัมค่าความชื้นเหลวปกติจะแปรผันกับปริมาณของยิปซัม สังเกตได้จากเพสต์ C60 + CA10 + OFA30 + GYP2 มีค่าความชื้นเหลวปกติเท่ากับ 33.15 ในขณะที่ เพสต์ C60 + CA10 + OFA30 + GYP4 มีค่าความชื้นเหลวปกติเท่ากับ 35 และยังมีแนวโน้มเช่นเดียวกันนี้กับเพสต์ที่ใช้อัตราส่วนผสม 40: 20: 40 เช่นเพสต์ C40 + CA20 + OFA40 + GYP2 มีค่าความชื้นเหลวปกติเท่ากับ 37.3 ในขณะที่เพสต์ C40 + CA20 + OFA40 + GYP + GYP4 มีค่าความชื้นเหลวปกติเท่ากับ 41.25 เนื่องจากการใช้ยิปซัมมากขึ้นทำให้ยิปซัมบางส่วน ไม่สามารถละลายน้ำได้จึงทำให้มีปริมาณของอนุภาคเพิ่มขึ้นมีผลทำให้มีความต้องการน้ำ ในปริมาณที่มากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.12 และ 4.13 และ รูปที่ 4.58



รูปที่ 4.58 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นเหลวปกติกับปริมาณร้อยละของยิปซัมในส่วนผสมของวัสดุประสานที่ได้จากปูนซีเมนต์ กากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอยในสภาพเดิม ในอัตราส่วน 60: 10: 30 และอัตราส่วน 40: 20: 40

ตารางที่ 4.12 ปริมาณน้ำที่เหมาะสม และระยะเวลาการก่อตัวของเฟสที่ได้จากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ภาภ
แคลเซียมคาร์ไบด์ และถั่วลอยในสภาพเดิม ในอัตราส่วน 60: 10: 30 โดยใช้สารโซเดียม
ซิลเฟต และยับยั้งแรงปฏิกิริยาปอซโซลาน

วัสดุประสาน	ปริมาณน้ำที่เหมาะสม (%)	ระยะเวลาการก่อตัวที่ระยะต้น (นาที)	ระยะเวลาการก่อตัวที่ระยะปลาย (นาที)
C60+CA10+OFA30	26.1	82	120
C60 + CA10 + OFA30 + NA2	26	92	135
C60 + CA10 + OFA30 + NA4	26.3	74	120
C60 + CA10+ OFA30 + NA6	25.65	109	150
C60 + CA10 + OFA30+ NA8	24.32	107	150
C60 + CA10 + OFA30 + GYP2	33.15	93	150
C60 + CA10 + OFA30 + GYP4	35	114	165
C60 + CA10 + OFA30 + GYP6	38	125	180
C60 + CA10 + OFA30 GYP8	44	199	255

ตารางที่ 4.13 ปริมาณน้ำที่เหมาะสม และระยะเวลาการก่อดำของเพสต์ที่ได้จากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ กาก แคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอยในสภาพเดิม ในอัตราส่วน 40: 20: 40 โดยใช้สารโซเดียม ซัลเฟต และยิปซัมเร่งปฏิกิริยาปอซโซลาน

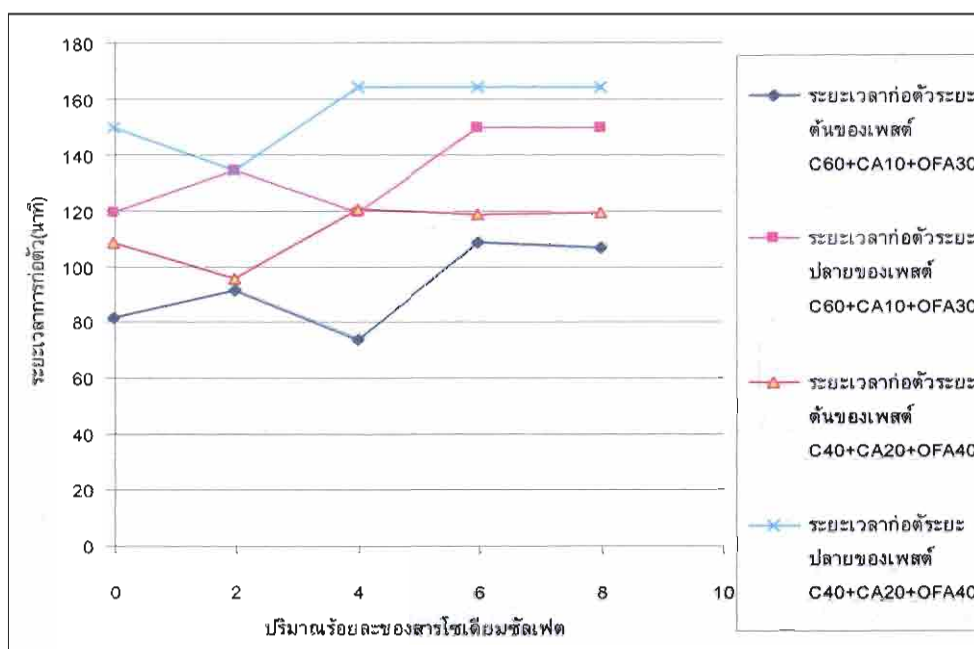
วัสดุประสาน	ปริมาณน้ำที่เหมาะสม (%)	ระยะเวลาการก่อดำที่ระยะต้น (นาท)	ระยะเวลาการก่อดำที่ระยะปลาย (นาท)
C40 + CA20 + OFA40	28.5	109	150
C40 + CA20 + OFA40 + NA2	27.7	96	135
C40 + CA20 + OFA40 + NA4	26.3	121	165
C40 + CA20 + OFA40 + NA6	26.4	119	165
C40 + CA20 + OFA40 + NA8	26	120	165
C40 + CA20 + OFA40 + GYP2	37.3	137	165
C40 + CA20 + OFA40 + GYP4	41.25	152	180
C40 + CA20 + OFA40 + GYP6	42.1	135	180
C40 + CA20 + OFA40 + GYP8	43	143	210

4.4.2 ระยะเวลาการก่อดำที่ระยะต้น และระยะปลาย

จากการทดสอบหาค่าความชื้นเหลวปกติของเพสต์ของวัสดุประสานที่ได้จากปูนซีเมนต์ กาก แคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอยในสภาพเดิม ในอัตราส่วน 60: 10: 30, 40: 20: 40 โดยใช้สารโซเดียมซัลเฟต และยิปซัมในการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลาน จะได้ปริมาณน้ำที่เหมาะสมสำหรับการทำปฏิกิริยาของเพสต์ของแต่ละส่วนผสม ซึ่งในแต่ละส่วนผสมจะใช้ปริมาณน้ำที่เหมาะสมสำหรับการทำปฏิกิริยาไม่เท่ากันดังแสดงในตารางที่ 4.12 และ 4.13 หลังจากนั้นใช้ปริมาณน้ำที่เหมาะสม ของแต่ละส่วนผสมมาหารระยะเวลาการก่อดำที่ระยะต้นและระยะปลาย

4.4.2.1 ระยะเวลาการก่อดำที่ระยะต้นและระยะปลายของเพสต์ที่ได้จากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ กากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอยในสภาพเดิม ในอัตราส่วน 60: 10: 30, 40: 20: 40 โดยใช้สารโซเดียมซัลเฟตในการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลาน ดังตารางที่ 4.12 และ 4.13 และรูปที่ 4.59 แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาการก่อดำที่ระยะต้น และระยะปลายของเพสต์ที่ใช้อัตราส่วนผสม 40: 20: 40 มากกว่าเพสต์ที่ใช้อัตราส่วนผสม 60: 10: 30 สังเกตได้จากเพสต์ C40 + CA20 + OFA40 มีระยะเวลาการก่อดำ ที่ระยะต้นและระยะปลายเท่ากับ 109 และ 150 นาท ส่วนเพสต์ C60 + CA10 + OFA30 มีระยะเวลา การก่อดำที่ระยะต้นและระยะปลายเท่ากับ 82 และ 120 นาท และมีแนวโน้มเช่นเดียวกันนี้ กับเพสต์ที่มีปริมาณของสารโซเดียมซัลเฟตที่เท่ากันแต่แตกต่างกันที่อัตราส่วนผสมของวัสดุประสาน เช่นในเพสต์ C40 + CA20 +

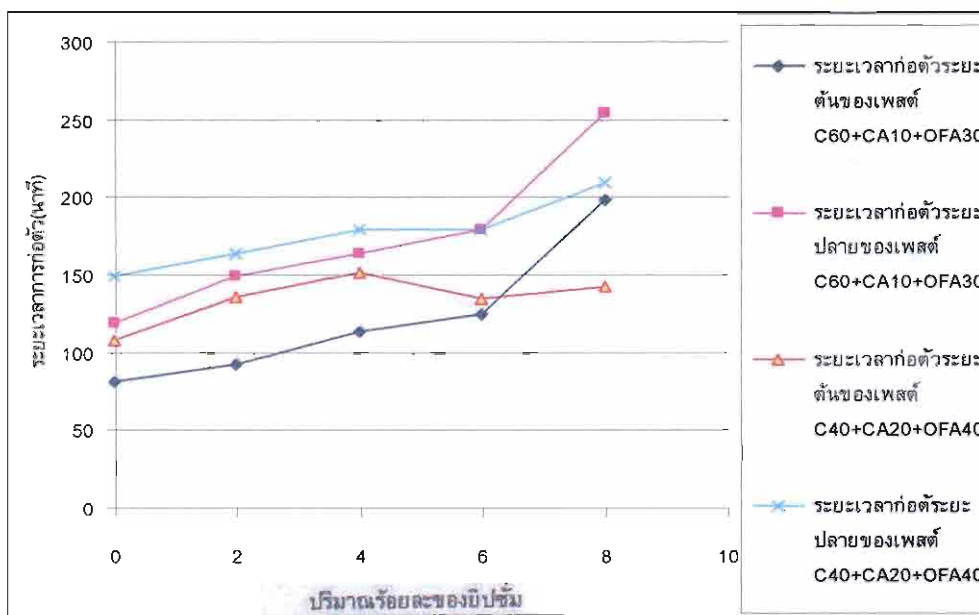
OFA40 + NA4 มีระยะเวลาการก่อตัว ที่ระยะต้นและระยะปลายเท่ากับ 121 และ 165 นาที เทียบกับเพสต์ C60 + CA10 + OFA30 + NA4 มีระยะเวลาการก่อตัวที่ระยะต้นและระยะปลายเท่ากับ 74 และ 120 นาที เนื่องจากเพสต์ที่ใช้อัตราส่วนผสม 40: 20: 40 มีวัสดุที่มีความละเอียดอย่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์ และถั่วลอยในสภาพเดิมในปริมาณที่มากกว่าจึงใช้ ปริมาณน้ำในการทำปฏิกิริยามากกว่าเพสต์ที่ใช้อัตราส่วนผสม 60: 10: 30 ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ระยะเวลาการก่อตัวที่ระยะต้นและระยะปลายเพิ่มมากขึ้น และยังพบว่าปริมาณของ สารโซเดียมซิลเฟตที่ใช้ยังมีผลต่อระยะเวลาการก่อตัวที่ระยะต้นและระยะปลายด้วย จากตารางที่ 4.12 และ 4.13 และรูปที่ 4.59 พบว่าเพสต์ C60 + CA10 + OFA30 มีแนวโน้มว่าระยะเวลาการก่อตัวที่ระยะต้นและระยะปลายจะเพิ่มขึ้น เมื่อใช้ปริมาณของโซเดียมซิลเฟตมากขึ้น แต่จะต่ำลงเมื่อใช้ปริมาณของโซเดียมซิลเฟตร้อยละ 4 ส่วนเพสต์ C40 + CA20 + OFA40 ก็มีแนวโน้มว่าระยะเวลาการก่อตัวที่ระยะต้นและระยะปลายจะเพิ่มขึ้น เมื่อใช้ปริมาณของโซเดียมซิลเฟตมากขึ้นเช่นกัน แต่จะต่ำลงเมื่อใช้ปริมาณของโซเดียมซิลเฟตร้อยละ 2



รูปที่ 4.59 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการก่อตัวที่ระยะต้นและระยะปลายของเพสต์ ที่ได้จากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ กากแคลเซียมคาร์ไบด์ และถั่วลอยในสภาพเดิม ในอัตราส่วน 60: 10: 30 และอัตราส่วน 40: 20: 40 กับปริมาณร้อยละของสารโซเดียมซิลเฟตโดยน้ำหนักของวัสดุประสาน

4.4.2.2 ระยะเวลาการก่อตัวที่ระยะต้นและระยะปลายของเพสต์ที่ได้จากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ กากแคลเซียมคาร์ไบด์ และถั่วลอยในสภาพเดิม ในอัตราส่วน 60: 10: 30, 40: 20: 40 โดยใช้ยิปซัมในการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลาน จากตารางที่ 4.12, 4.13 และรูปที่ 4.60 พบว่าปริมาณของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ และถั่วลอยมีผลต่อระยะเวลาการก่อตัวที่ระยะต้น และระยะปลายเช่นเดียวกับเพสต์ที่ใช้สารโซเดียมซิลเฟต คือเพสต์ที่ใช้ปริมาณยิปซัมในปริมาณที่เท่ากันเพสต์ที่ใช้อัตราส่วนผสม 60: 10: 30 มีระยะเวลาการก่อตัวที่ระยะต้นและระยะปลาย น้อยกว่าเพสต์ที่ใช้อัตราส่วนผสม 40: 20: 40 ยกเว้นเพสต์ C60 + CA10 + OFA30 + GYP8 ที่มีระยะเวลาการก่อตัวที่ระยะต้นและระยะปลายมากกว่าเพสต์ C40 + CA20 + OFA40 + GYP8 และพบว่าปริมาณของยิปซัมที่ใช้มีผลต่อระยะเวลาการก่อตัวที่ระยะต้นและระยะปลายด้วย

จากรูปที่ 4.30 พบว่าเพสต์ C60 + CA10 + OFA30 มีแนวโน้มว่าระยะเวลาการก่อตัวที่ระยะต้นและระยะปลายจะเพิ่มขึ้น เมื่อใช้ปริมาณของยิปซัมมากขึ้น ส่วนเพสต์ C40 + CA20 + OFA40 ก็มีแนวโน้มว่าระยะเวลาการก่อตัวที่ระยะต้นและระยะปลายจะเพิ่มขึ้น เมื่อใช้ปริมาณของยิปซัมมากขึ้นเช่นกัน

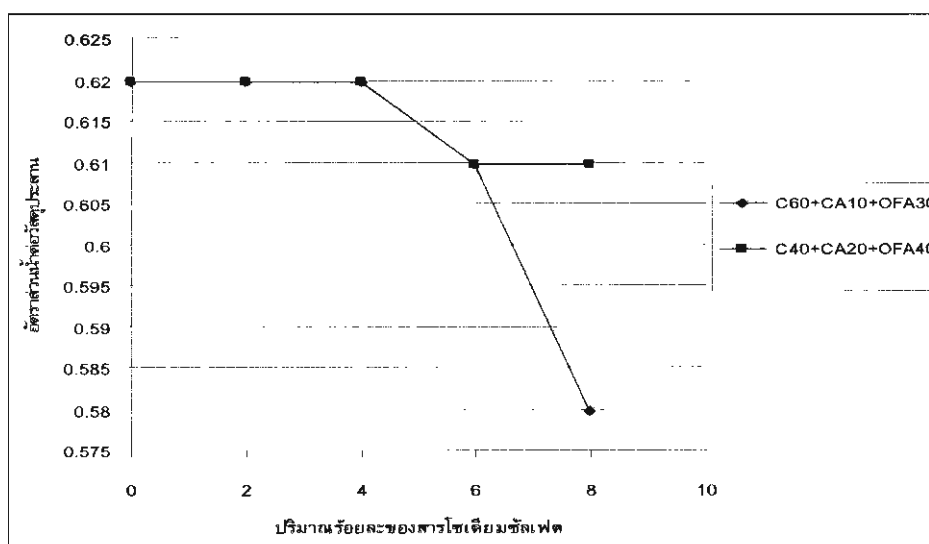


รูปที่ 4.60 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการก่อตัวที่ระยะต้นและระยะปลายของเพสต์ที่ได้ จากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ กากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอยในสภาพเดิม ในอัตราส่วน 60: 10: 30 และอัตราส่วน 40: 20: 40 กับปริมาณร้อยละของ ยิปซัมโดยน้ำหนักของวัสดุประสาน

ตามมาตรฐาน ASTM C 150 ระบุว่าระยะเวลาการก่อตัวที่ระยะต้นของเพสต์ของ ปูนซีเมนต์ทั้ง 5 ประเภทต้องไม่น้อยกว่า 45 นาที และระยะเวลาการก่อตัวที่ระยะปลายต้อง ไม่เกิน 375 นาที จากผลการทดสอบพบว่าเพสต์ทั้งหมดในงานวิจัยนี้มีระยะเวลาการก่อตัวที่ระยะต้น และระยะปลายอยู่ในช่วงเวลาที่มาตรฐานกำหนด

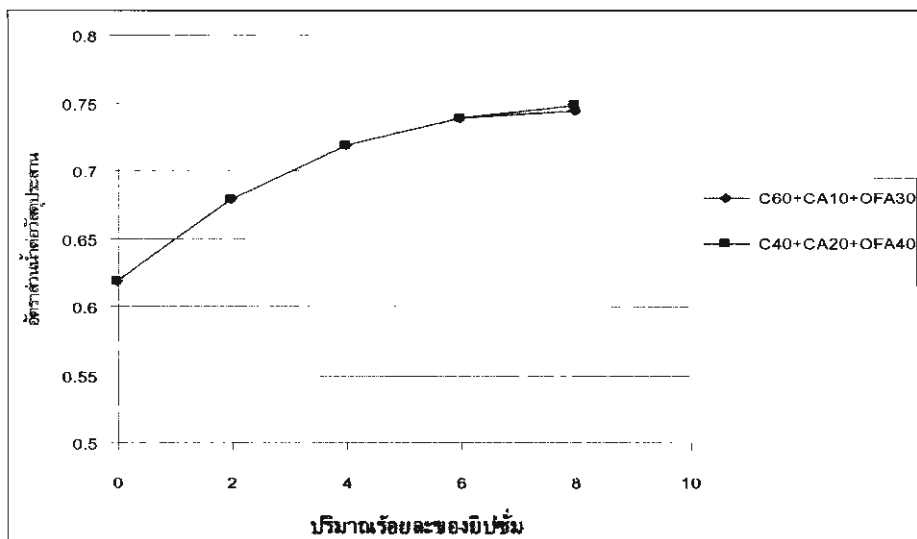
4.4.3 ความสามารถในการไหลของมอร์ตาร์

4.4.3.1 ความสามารถในการไหลของมอร์ตาร์ที่ได้จากส่วนผสมของ ปูนซีเมนต์ กากแคลเซียม และเถ้าลอยในสภาพเดิม ในอัตราส่วน 60: 10: 30 และ 40: 20: 40 โดยใช้สารโซเดียมซิลเฟตในการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลาน จากผลการทดสอบพบว่าปริมาณน้ำที่ทำให้ความสามารถในการไหลของมอร์ตาร์ที่ไม่ใช้สารโซเดียมซิลเฟตในการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานทุกอัตราส่วนผสมอยู่ในช่วง ร้อยละ 110 ± 5 เท่ากับ 0.62 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน และจากตารางที่ 4.14 และ รูปที่ 4.61 แสดงให้เห็นว่าปริมาณของสารโซเดียมซิลเฟตที่ใช้มีผลต่อค่าร้อยละ การไหลของมอร์ตาร์ สังเกตได้จากเมื่อเติมสารโซเดียมซิลเฟตลงไปในส่วนผสม สารโซเดียมซิลเฟตจะละลายน้ำจึงทำให้ปริมาณของของเหลวที่ทำหน้าที่ในการหล่อลื่นมอร์ตาร์เพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ค่าร้อยละการไหลของมอร์ตาร์มีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสารโซเดียมซิลเฟต ซึ่งสังเกตได้จากรูปที่ 4.61 โดยจะเห็นว่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานมีแนวโน้มจะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของสารโซเดียมซิลเฟตมากขึ้น



รูปที่ 4.61 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารโซเดียมซิลเฟตกับอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ทำให้ค่าร้อยละการไหลของมอร์ตาร์ ที่ได้จากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ กากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอยในสภาพเดิม ในอัตราส่วน 60: 10: 30 และ 40: 20: 40 อยู่ในช่วง ร้อยละ 110 ± 5

4.4.3.2 ความสามารถในการไหลของมอร์ตาร์ที่ได้จากส่วนผสมของ ปูนซีเมนต์ กากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอยในสภาพเดิม ในอัตราส่วน 60: 10: 30 และ 40: 20: 40 โดยใช้ยิปซัมในการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลาน จากตารางที่ 4.14 และรูปที่ 4.62 แสดงให้เห็นว่าปริมาณของเถ้าลอยในส่วนผสมยังมีผลต่อความสามารถในการไหลของมอร์ตาร์เช่นเดียวกับมอร์ตาร์ที่ใช้สารโซเดียมซิลเฟตในการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลาน คือมอร์ตาร์ C40 + OFA60 ที่ใช้ปริมาณเถ้าลอยในสภาพเดิมเป็นส่วนผสมมากถึง 60 เปอร์เซ็นต์ ใช้ปริมาณน้ำในปริมาณที่น้อยกว่ามอร์ตาร์ที่ใช้อัตราส่วนผสมอื่น และยังพบว่าการใช้ยิปซัมในปริมาณที่มากขึ้น ความสามารถในการไหลของมอร์ตาร์จะลดลง กล่าวคือต้องการปริมาณน้ำที่มากขึ้นเพื่อให้ค่าร้อยละการไหลของมอร์ตาร์อยู่ในช่วง ร้อยละ 110 ± 5



รูปที่ 4.62 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณยิปซัมกับอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ทำให้ค่าร้อยละการไหลของมอร์ตาร์ที่ได้จากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ปากแคลเซียมคาร์ไบด์ และถั่วลยในสภาพเดิม ในอัตราส่วน 60: 10: 30 และ 40: 20: 20 อยู่ในช่วง ร้อยละ 110 ± 5

ตารางที่ 4.14 ค่าร้อยละการไหล และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานของมอร์ตาร์ที่ได้จากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ปากแคลเซียมคาร์ไบด์ และถั่วลยในสภาพเดิม ในอัตราส่วน 60: 10: 30 และ 40: 20: 40

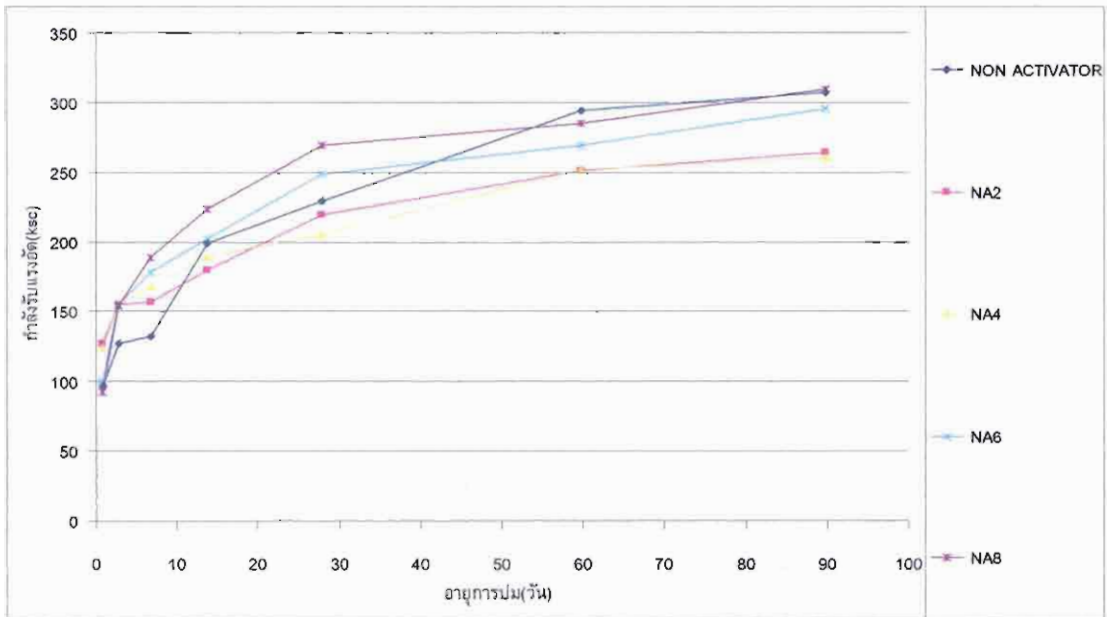
วัสดุประสาน	ค่าร้อยละการไหล (%)	อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน
C60 + CA10 + OFA30	107.5	0.62
C60 + CA10 + OFA30 + NA2	107.75	0.62
C60 + CA10 + OFA30 + NA4	112.5	0.62
C60 + CA10 + OFA30 + NA6	114.5	0.61
C60 + CA10 + OFA30 + NA8	111	0.58
C60 + CA10 + OFA30 + GYP2	106.75	0.68
C60 + CA10 + OFA30 + GYP4	108.75	0.72
C60 + CA10 + OFA30 + GYP6	111.5	0.74
C60 + CA10 + OFA30 + GYP8	110.875	0.745
C40 + CA20 + OFA20	109.5	0.62
C40 + CA20 + OFA20 + NA2	108.5	0.62
C40 + CA20 + OFA20 + NA4	113.5	0.62
C40 + CA20 + OFA20 + NA6	110	0.61
C40 + CA20 + OFA20 + NA8	106.25	0.61
C40 + CA20 + OFA20 + GYP2	111.25	0.68
C40 + CA20 + OFA20 + GYP4	106.5	0.72
C40 + CA20 + OFA20 + GYP6	108.5	0.74
C40 + CA20 + OFA20 + GYP8	109.5	0.75

4.4.4 ความสามารถในการรับกำลังอัดของมอร์ตาร์

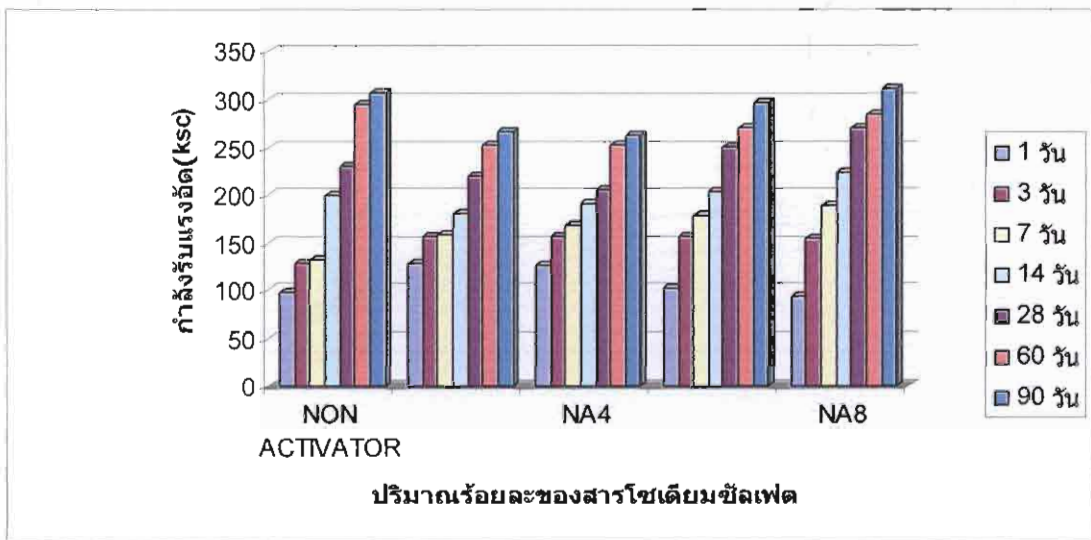
4.4.4.1 ความสามารถในการรับกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ได้จากส่วนผสมของ ปูนซีเมนต์ กาก แคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอยในสภาพเดิม ในอัตราส่วน 60: 10: 30 โดยใช้สารโซเดียมซิลเฟตในการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลาน จากตารางที่ 4.15 รูปที่ 4.63 และรูปที่ 4.64 ผลการทดสอบพบว่าการพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์ทุกส่วนผสมจะสูงขึ้นตามอายุของมอร์ตาร์ ที่อายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 1 วัน มอร์ตาร์ที่มีสารโซเดียมซิลเฟตทุกส่วนผสมมีกำลังอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มีสารโซเดียมซิลเฟต ยกเว้นมอร์ตาร์ที่มีสารโซเดียมซิลเฟตในปริมาณร้อยละ 8 ซึ่งมีกำลังอัดเท่ากับ 93.36 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยกำลังอัดมีค่ามากที่สุดเมื่อมีปริมาณสารโซเดียมซิลเฟตในปริมาณร้อยละ 2 ซึ่งมีกำลังอัดเท่ากับ 128.51 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และเมื่อมอร์ตาร์มีอายุเท่ากับ 3 วันมอร์ตาร์ที่มีสารโซเดียมซิลเฟตทุกส่วนผสมมีการพัฒนากำลังอัดที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ซึ่งมีการพัฒนากำลังอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มีสารโซเดียมซิลเฟตมากถึง 56 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมอร์ตาร์มีอายุเท่ากับ 7 วันมอร์ตาร์ที่มีสารโซเดียมซิลเฟตทุกส่วนผสม มีการพัฒนากำลังอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มีสารโซเดียมซิลเฟต โดยกำลังอัดมีค่ามากที่สุดเมื่อมีปริมาณสารโซเดียมซิลเฟตในปริมาณร้อยละ 8 ซึ่งมีกำลังอัดเท่ากับ 189.42 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 14 วันมอร์ตาร์ที่มีสารโซเดียมซิลเฟตในปริมาณร้อยละ 2 และ 4 มีกำลังอัดต่ำกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มีสารโซเดียมซิลเฟต ส่วนมอร์ตาร์ที่มีสารโซเดียมซิลเฟตในปริมาณร้อยละ 6 และ 8 มีกำลังอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มีสารโซเดียมซิลเฟต โดยกำลังอัดมีค่ามากที่สุดเมื่อมีปริมาณสารโซเดียมซิลเฟตในปริมาณร้อยละ 8 ซึ่งมีกำลังอัดเท่ากับ 224.40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 28 วันมอร์ตาร์ที่มีสารโซเดียมซิลเฟตในปริมาณร้อยละ 2 และ 4 มีกำลังอัดต่ำกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มีสารโซเดียมซิลเฟต ส่วนมอร์ตาร์ที่มีสารโซเดียมซิลเฟตในปริมาณร้อยละ 6 และ 8 มีกำลังอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มีสารโซเดียมซิลเฟต โดยกำลังอัดมีค่ามากที่สุดเมื่อมีปริมาณสารโซเดียมซิลเฟตในปริมาณร้อยละ 8 ซึ่งมีกำลังอัดเท่ากับ 270.45 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 60 วัน มอร์ตาร์ที่มีสารโซเดียมซิลเฟตทุกส่วนผสมมีกำลังอัดต่ำกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มีสารโซเดียมซิลเฟต โดยมอร์ตาร์ที่ไม่มีสารโซเดียมซิลเฟตมีกำลังอัดเท่ากับ 294.81 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 90 วัน มอร์ตาร์ที่มีสารโซเดียมซิลเฟตทุกส่วนผสมมีกำลังอัดต่ำกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มีสารโซเดียมซิลเฟต ยกเว้นมอร์ตาร์ที่มีสารโซเดียมซิลเฟตในปริมาณร้อยละ 8 ซึ่งเป็นมอร์ตาร์ที่ค่ากำลังอัดมากที่สุดโดยมีกำลังอัดเท่ากับ 310.88 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ตารางที่ 4.15 กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ได้จากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ปากแคลเซียมคาร์ไบด์ และ
 etailoyในสภาพเดิม ที่อายุ 1, 3, 7, 14, 28, 60 และ 90 วัน

วัสดุประสาน	กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่อายุต่างๆ (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)						
	1 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	60 วัน	90 วัน
CEMENT	226.49	251.32	325.15	374.80	434.76	486.83	467.40
C60+CA10+OFA30	97.77	127.79	132.96	199.92	229.88	294.81	307.96
C60+CA10+OFA30+NA2	128.51	156.41	158.15	180.76	219.88	252.07	265.57
C60+CA10+OFA30+NA4	125.82	156.42	169.55	190.51	206.19	253.13	261.92
C60+CA10+OFA30+NA6	102.11	156.29	179.32	203.16	250.14	269.92	296.49
C60+CA10+OFA30+NA8	93.36	155.42	189.42	224.40	270.45	285.55	310.88
C60+CA10+OFA30+GYP2	94.40	129.13	163.40	196.57	234.57	291.83	314.02
C60+CA10+OFA30+GYP4	129.91	143.47	165.44	191.70	231.36	312.42	307.42
C60+CA10+OFA30+GYP6	99.35	111.78	137.35	190.45	224.72	282.44	294.62
C60+CA10+OFA30+GYP8	68.66	76.33	111.78	171.32	194.17	270.90	276.15
C40+CA20+OFA20	63.45	70.36	98.20	122.10	171.45	217.70	227.06
C40+CA20+OFA20+NA2	74.48	90.42	108.91	126.91	153.58	189.48	207.53
C40+CA20+OFA20+NA4	76.84	86.06	112.76	130.55	155.56	195.05	177.63
C40+CA20+OFA20+NA6	98.59	133.50	143.45	179.35	216.88	242.40	263.55
C40+CA20+OFA20+NA8	88.38	121.13	136.67	182.19	192.61	218.00	193.15
C40+CA20+OFA20+GYP2	68.37	81.71	89.81	128.00	176.37	222.83	249.89
C40+CA20+OFA20+GYP4	55.45	77.97	108.49	121.52	168.76	221.53	253.70
C40+CA20+OFA20+GYP6	36.22	68.92	105.49	116.88	171.55	237.71	260.39
C40+CA20+OFA20+GYP8	32.37	47.89	86.53	120.24	151.40	203.72	270.25

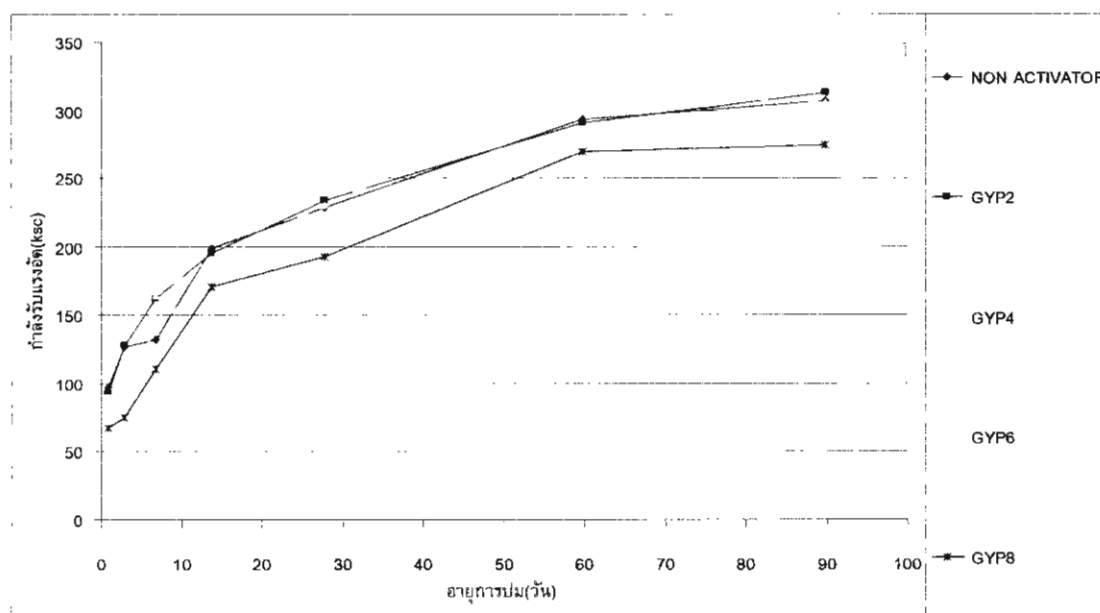


รูปที่ 4.63 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ได้จากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ กากแกลเลียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอยในสภาพเดิม ในอัตราส่วน 60: 10: 30 และใส่สารโซเดียมซิลเฟตเพื่อเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานกับอายุของมอร์ตาร์

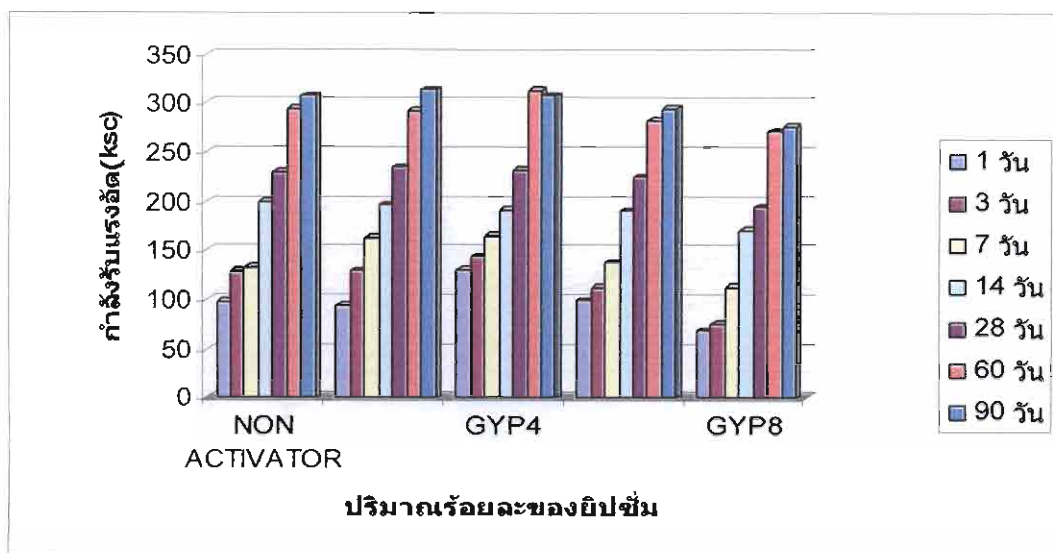


รูปที่ 4.64 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ได้จากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ กากแกลเลียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอยในสภาพเดิม ในอัตราส่วน 60: 10: 30 ที่อายุต่างๆกับปริมาณของสารโซเดียมซิลเฟต

4.4.4.2 ความสามารถในการรับกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ได้จากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ปากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอยในสภาพเดิม ในอัตราส่วน 60: 10: 30 โดยใช้ยิปซั่มในการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลาน จากตารางที่ 4.15 รูปที่ 4.65 และรูปที่ 4.66 ผลการทดสอบพบว่าการพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์ทุกส่วนผสมจะสูงขึ้นตามอายุของมอร์ตาร์ ที่อายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 1 วันมอร์ตาร์ที่ใช้ยิปซั่มในปริมาณร้อยละ 2 และ 8 มีกำลังอัดน้อยกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มียิปซั่ม ส่วนมอร์ตาร์ที่ใช้ยิปซั่มในปริมาณร้อยละ 4 และ 6 มีกำลังอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มียิปซั่ม ซึ่งมีกำลังอัดเท่ากับ 129.91 และ 99.35 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ และเมื่อมอร์ตาร์มีอายุเท่ากับ 3 วันมอร์ตาร์ที่ใช้ยิปซั่มในปริมาณร้อยละ 6 และ 8 มีกำลังอัดน้อยกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มียิปซั่ม ส่วนมอร์ตาร์ที่ใช้ยิปซั่มในปริมาณร้อยละ 2 และ 4 มีกำลังอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มียิปซั่ม ซึ่งมีกำลังอัดเท่ากับ 129.13 และ 143.47 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ เมื่อมอร์ตาร์มีอายุเท่ากับ 7 วัน มอร์ตาร์ที่มียิปซั่มทุกส่วนผสม มีการพัฒนากำลังอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มียิปซั่ม ยกเว้นมอร์ตาร์ที่ใช้ยิปซั่มในปริมาณร้อยละ 8 โดยกำลังอัดมีค่ามากที่สุดเมื่อมีปริมาณยิปซั่มในปริมาณร้อยละ 4 ซึ่งมีกำลังอัดเท่ากับ 165.44 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 14 วันมอร์ตาร์ที่มียิปซั่มในทุกส่วนผสม มีกำลังอัดต่ำกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มียิปซั่ม ที่อายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 28 วันมอร์ตาร์ที่ใช้ยิปซั่มในปริมาณร้อยละ 6 และ 8 มีกำลังอัดน้อยกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มียิปซั่ม ส่วนมอร์ตาร์ที่ใช้ยิปซั่มในปริมาณร้อยละ 2 และ 4 มีกำลังอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มียิปซั่ม ซึ่งมีกำลังอัดเท่ากับ 234.57 และ 231.36 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ ที่อายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 60 วัน มอร์ตาร์ที่มียิปซั่มทุกส่วนผสมมีกำลังอัดต่ำกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มียิปซั่ม ยกเว้นมอร์ตาร์ที่มียิปซั่มในปริมาณร้อยละ 4 ซึ่งมีกำลังอัดเท่ากับ 312.42 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 90 วัน มอร์ตาร์ที่มียิปซั่มทุกส่วนผสมมีกำลังอัดต่ำกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มียิปซั่ม ยกเว้นมอร์ตาร์ที่มียิปซั่มในปริมาณร้อยละ 2 ซึ่งมีกำลังอัดเท่ากับ 314.02 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



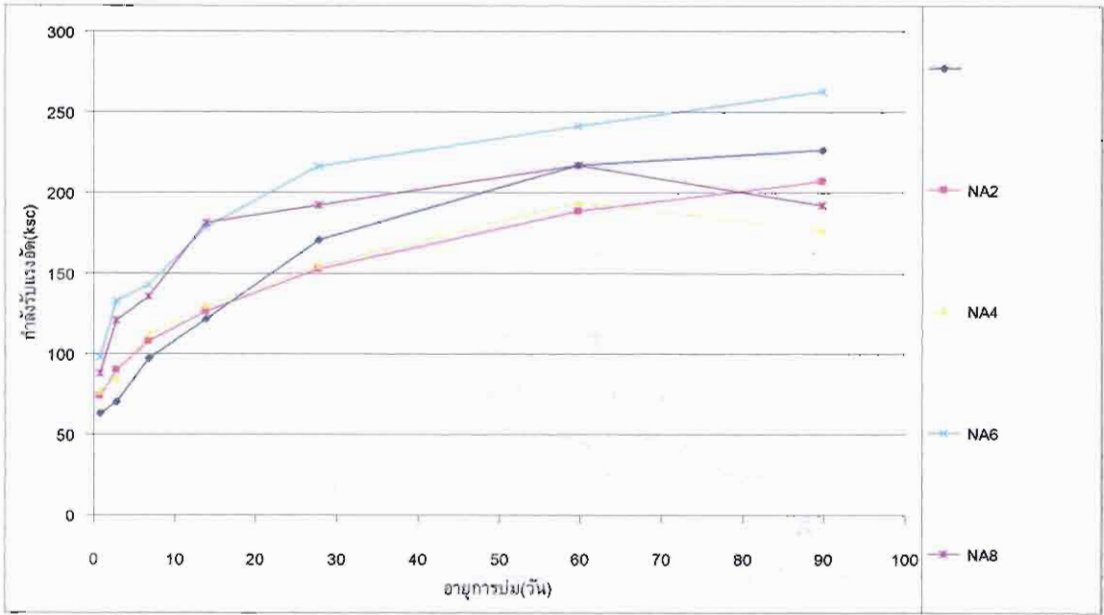
รูปที่ 4.65 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ได้จากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ปากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอยในสภาพเดิม ในอัตราส่วน 60: 10: 30 และใส่ยิปซั่มเพื่อเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานกับอายุของมอร์ตาร์



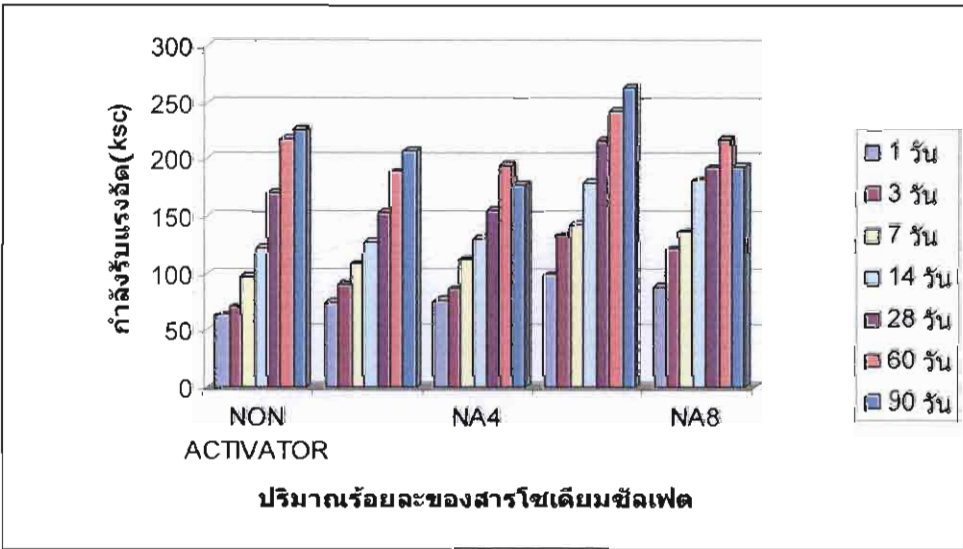
รูปที่ 4.66 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ได้จากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ กากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอยในสภาพเดิม ในอัตราส่วน 60: 10: 30 ที่อายุต่างๆกับปริมาณของบิปซัม

4.4.4.3 ความสามารถในการรับกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ได้จากส่วนผสมของ ปูนซีเมนต์ กากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอยในสภาพเดิม ในอัตราส่วน 40: 20: 40 โดยใช้สารโซเดียมซิลเฟตในการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลาน จากตารางที่ 4.15 รูปที่ 4.67 และรูปที่ 4.68 ผลการทดสอบพบว่าการพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์ทุกส่วนผสมจะสูงขึ้นตามอายุของมอร์ตาร์ ที่อายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 1 วันมอร์ตาร์ที่มีสารโซเดียมซิลเฟตทุกส่วนผสมมีกำลังอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มีสารโซเดียมซิลเฟต โดยกำลังอัดมีค่ามากที่สุดเมื่อมีปริมาณสารโซเดียมซิลเฟตในปริมาณร้อยละ 6 ซึ่งมีกำลังอัดเท่ากับ 98.59 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และเมื่อมอร์ตาร์มีอายุเท่ากับ 3 วันมอร์ตาร์ที่มีสารโซเดียมซิลเฟตทุกส่วนผสมมีกำลังอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มีสารโซเดียมซิลเฟต โดยกำลังอัดมีค่ามากที่สุดเมื่อมีปริมาณสารโซเดียมซิลเฟตในปริมาณร้อยละ 6 ซึ่งมีกำลังอัดเท่ากับ 133.50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อมอร์ตาร์มีอายุเท่ากับ 7 วันมอร์ตาร์ที่มีสารโซเดียมซิลเฟตทุกส่วนผสมมีกำลังอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มีสารโซเดียมซิลเฟต โดยกำลังอัดมีค่ามากที่สุดเมื่อมีปริมาณสารโซเดียมซิลเฟตในปริมาณร้อยละ 6 ซึ่งมีกำลังอัดเท่ากับ 143.45 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 14 วันมอร์ตาร์ที่มีสารโซเดียมซิลเฟตทุกส่วนผสมมีกำลังอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มีสารโซเดียมซิลเฟต โดยกำลังอัดมีค่ามากที่สุดเมื่อมีปริมาณสารโซเดียมซิลเฟตในปริมาณร้อยละ 8 ซึ่งมีกำลังอัดเท่ากับ 182.19 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 28 วันมอร์ตาร์ที่มีสารโซเดียมซิลเฟตในปริมาณร้อยละ 2 และ 4 มีกำลังอัดต่ำกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มีสารโซเดียมซิลเฟต ส่วนมอร์ตาร์ที่มีสารโซเดียมซิลเฟตในปริมาณร้อยละ 6 และ 8 มีกำลังอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มีสารโซเดียมซิลเฟต โดยกำลังอัดมีค่ามากที่สุดเมื่อมีปริมาณสารโซเดียมซิลเฟตในปริมาณร้อยละ 6 ซึ่งมีกำลังอัดเท่ากับ 216.88 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 60 วันมอร์ตาร์ที่มีสารโซเดียมซิลเฟตในปริมาณร้อยละ 2 และ 4 มีกำลังอัดต่ำกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มีสารโซเดียมซิลเฟต ส่วนมอร์ตาร์ที่มีสารโซเดียมซิลเฟตในปริมาณร้อยละ 6 และ 8 มีกำลังอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มีสารโซเดียมซิลเฟต โดยกำลังอัดมีค่ามากที่สุดเมื่อมีปริมาณสารโซเดียมซิลเฟตในปริมาณร้อยละ 6 ซึ่งมีกำลังอัดเท่ากับ 242.40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 90 วัน มอร์ตาร์ที่มีสารโซเดียมซิลเฟตทุกส่วนผสมมีกำลังอัดต่ำกว่า

กว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มีสารโซเดียมซิลเฟต ซึ่งกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ไม่มีสารโซเดียมซิลเฟตมีกำลังอัดเท่ากับ 227.06 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

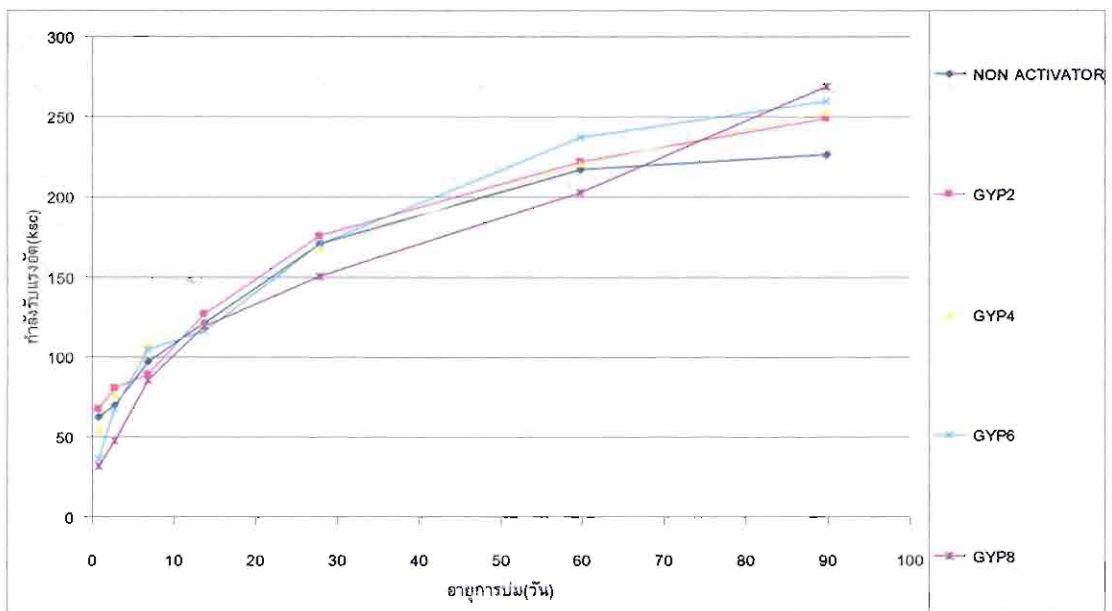


รูปที่ 4.67 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ได้จากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ กากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอยในสภาพเดิม ในอัตราส่วน 40: 20: 40 และใส่สารโซเดียมซิลเฟตเพื่อเร่งปฏิกิริยาปอลิโซลันกับอายุของมอร์ตาร์

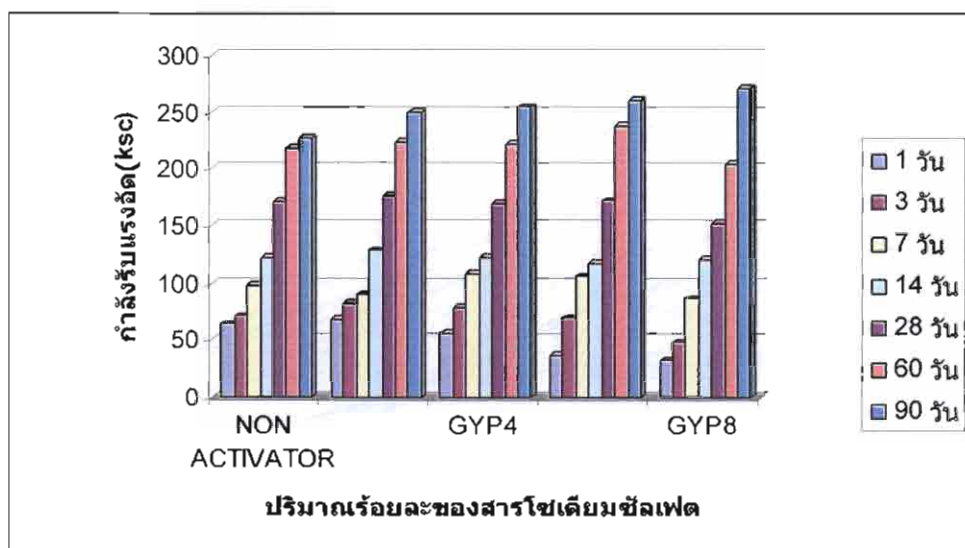


รูปที่ 4.68 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ได้จากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ กากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอยในสภาพเดิม ในอัตราส่วน 40: 20: 40 ที่อายุต่างๆกับปริมาณของสารโซเดียมซิลเฟต

4.4.4.4 ความสามารถในการรับกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ได้จากส่วนผสมของ ปูนซีเมนต์ กาก แคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอยในสภาพเดิม ในอัตราส่วน 40: 20: 40 โดยใช้ยิปซัมในการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลาน จากตารางที่ 4.15 รูปที่ 4.69 และรูปที่ 4.70 ผลการทดสอบพบว่าการพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์ทุก ส่วนผสมจะสูงขึ้นตามอายุของมอร์ตาร์ ที่อายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 1 วัน มอร์ตาร์ที่ใช้ยิปซัมในส่วนผสมทุก ส่วนผสมมีกำลังอัดน้อยกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มียิปซัม ยกเว้นมอร์ตาร์ที่ใช้ยิปซัมในปริมาณร้อยละ 2 กำลังอัดสูง กว่ากว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มียิปซัม ซึ่งมีกำลังอัดเท่ากับ 68.37 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ และเมื่อ มอร์ตาร์มีอายุเท่ากับ 3 วันมอร์ตาร์ที่ใช้ยิปซัมในปริมาณร้อยละ 6 และ 8 มีกำลังอัดน้อยกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มียิป ซัม ส่วนมอร์ตาร์ที่ใช้ยิปซัมในปริมาณร้อยละ 2 และ 4 มีกำลังอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มียิปซัม ซึ่งมีกำลัง อัดเท่ากับ 81.71 และ 77.97 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ เมื่อมอร์ตาร์มีอายุเท่ากับ 7 วัน มอร์ ตาร์ที่ใช้ยิปซัมในปริมาณร้อยละ 2 และ 8 มีกำลังอัดน้อยกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มียิปซัม ส่วนมอร์ตาร์ที่ใช้ยิปซัมใน ปริมาณร้อยละ 4 และ 6 มีกำลังอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มียิปซัม ซึ่งมีกำลังอัดเท่ากับ 108.49 และ 105.49 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ ที่อายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 14 วัน มอร์ตาร์ที่มียิปซัมทุกส่วนผสมมี กำลังอัดต่ำกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มียิปซัม ยกเว้นมอร์ตาร์ที่ใช้ยิปซัมในปริมาณร้อยละ 2 ซึ่งมีกำลังอัดเท่ากับ 128 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 28 วัน มอร์ตาร์ที่มียิปซัมทุกส่วนผสมมีกำลัง อัดต่ำกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มียิปซัม ยกเว้นมอร์ตาร์ที่ใช้ยิปซัมในปริมาณร้อยละ 2 ซึ่งมีกำลังอัดเท่ากับ 176.37 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 60 วัน มอร์ตาร์ที่มียิปซัมทุกส่วนผสมมี กำลังอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มียิปซัมยกเว้นมอร์ตาร์ที่มียิปซัมในปริมาณร้อยละ 8 โดยกำลังอัดมีค่ามาก ที่สุดเมื่อมีปริมาณยิปซัมในปริมาณร้อยละ 6 ซึ่งมีกำลังอัดเท่ากับ 237.71 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่ อายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 90 วัน มอร์ตาร์ที่มียิปซัมทุกส่วนผสมมีกำลังอัดมากกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มียิปซัม โดยกำลังอัดมีค่ามากที่สุดเมื่อมีปริมาณยิปซัมในปริมาณร้อยละ 8 ซึ่งมีกำลังอัดเท่ากับ 270.25 กิโลกรัมต่อ ตารางเซนติเมตร

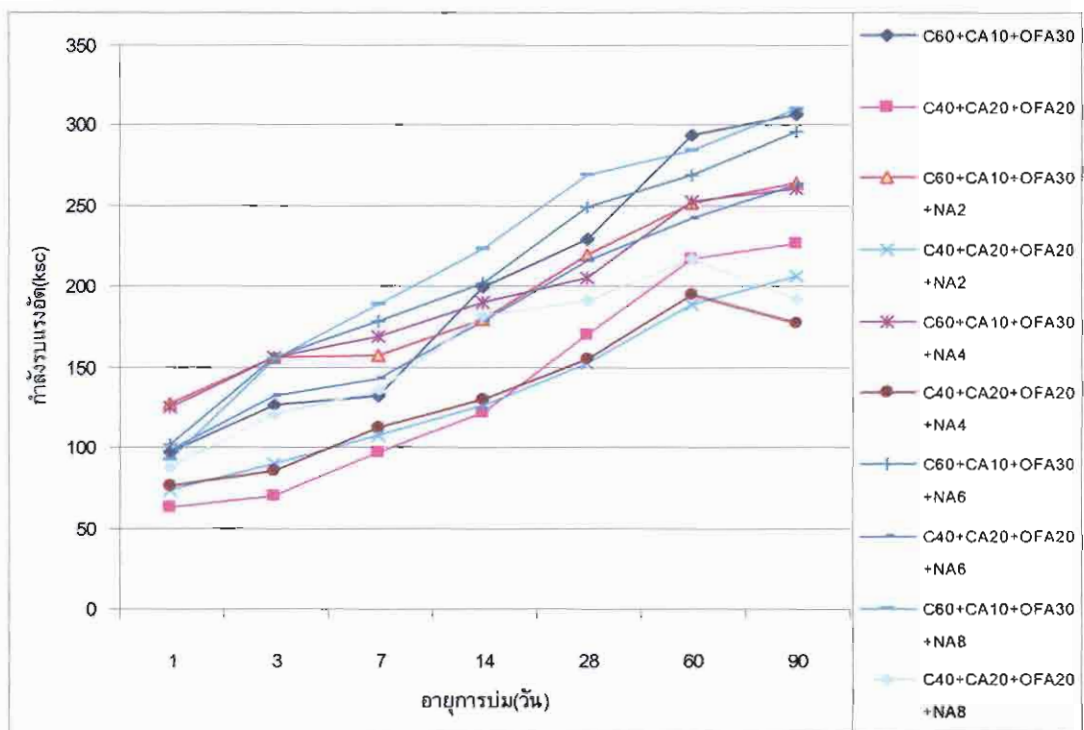


รูปที่ 4.69 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ได้จากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ กากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอยในสภาพเดิม ในอัตราส่วน 40: 20: 40 และใส่ยิปซัมเพื่อเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานกับ อายุของมอร์ตาร์

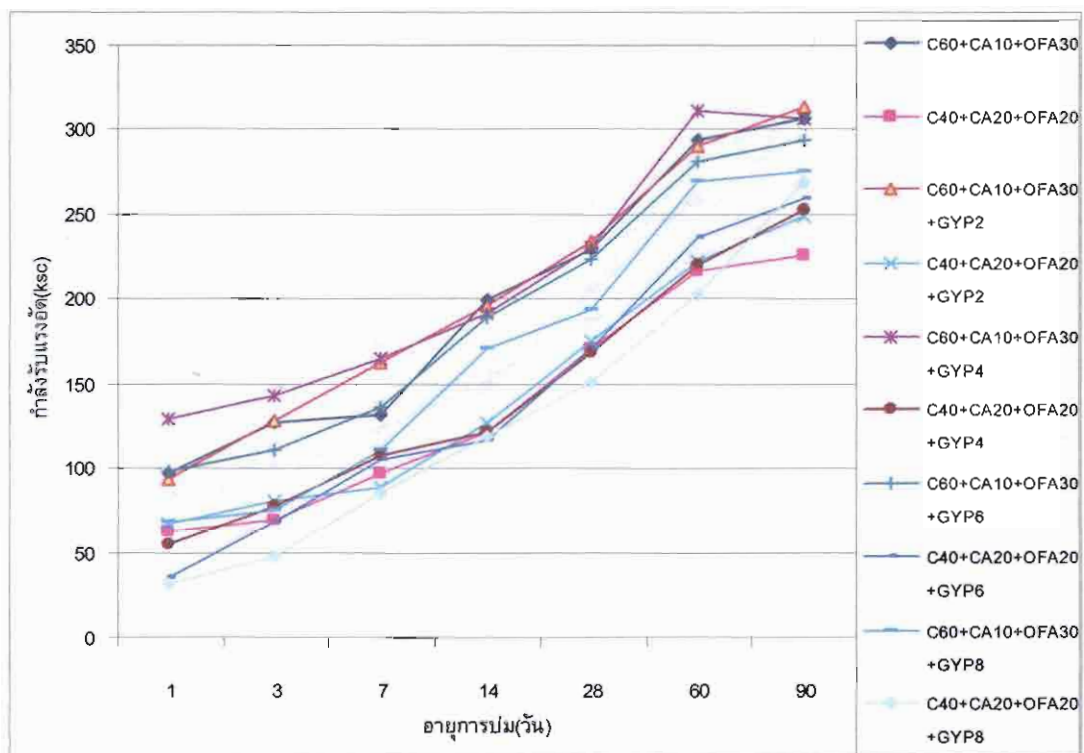


รูปที่ 4.70 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ได้จากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ปากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอยในสภาพเดิม ในอัตราส่วน 40: 20: 40 ที่อายุต่างๆกับปริมาณของยิปซัม

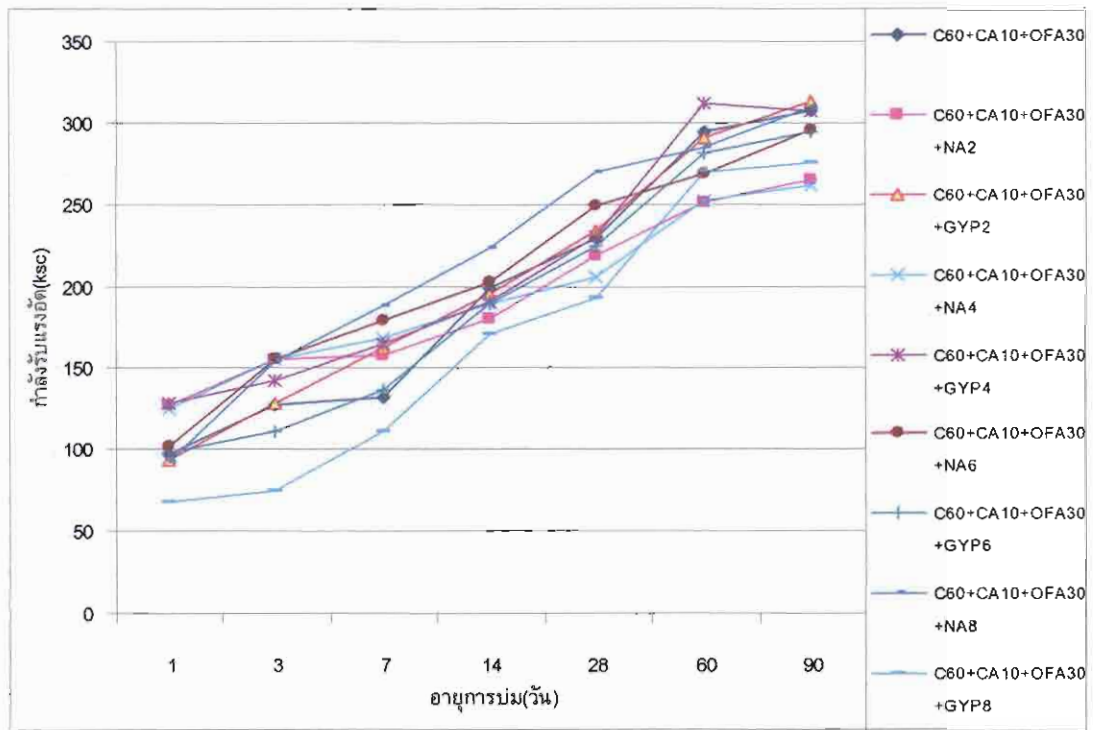
จากรูปที่ 4.71 และรูปที่ 4.72 แสดงให้เห็นว่าปริมาณของปูนซีเมนต์ มีผลกระทบต่อการพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์ โดยวัสดุประสานที่ใช้ปริมาณของปูนซีเมนต์มากกว่าจะมีการพัฒนากำลังอัดและกำลังอัดโดยรวมมากกว่าวัสดุประสานที่ใช้ปริมาณของปูนซีเมนต์น้อยกว่าที่มีการใช้สารโซเดียมซัลเฟตและยิปซัมในปริมาณที่เท่ากัน และจากรูปที่ 4.73 และ 4.74 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบการพัฒนากำลังอัดและกำลังอัดโดยรวมของวัสดุประสานที่มีปริมาณของปูนซีเมนต์เท่ากันแต่แตกต่างกันที่ชนิดของสารเคมีที่ใช้เร่งปฏิกิริยา ปอชโซลาน พบว่าการใช้สารโซเดียมซัลเฟตมีผลดีต่อกำลังอัดของมอร์ตาร์มากกว่าการใช้ยิปซัม เนื่องจากการใช้ยิปซัมให้ผลในการเร่งกำลังอัดที่ไม่เด่นชัดมากนักและยังมีแนวโน้มจะต่ำลงเมื่อใช้ยิปซัมมากขึ้น ส่วนการใช้สารโซเดียมซัลเฟตจะมีการพัฒนากำลังอัดที่ดีในระยะต้นแต่จะมีผลเสียในด้านกำลังอัดในระยะปลาย กล่าวคือการใช้สารโซเดียมซัลเฟตในปริมาณร้อยละ 2 และ 4 จะให้กำลังอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่ใส่สารเคมีที่อายุระหว่าง 1 ถึง 7 วัน โดยจะต่ำกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่ใส่สารเคมีเล็กน้อยที่อายุระหว่าง 14 ถึง 90 วัน การใช้สารโซเดียมซัลเฟตในปริมาณร้อยละ 6 และ 8 จะให้กำลังอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่ใส่สารเคมีที่อายุระหว่าง 1 ถึง 28 วัน โดยจะใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ที่ไม่ใส่สารเคมีที่อายุระหว่าง 60 และ 90 วัน



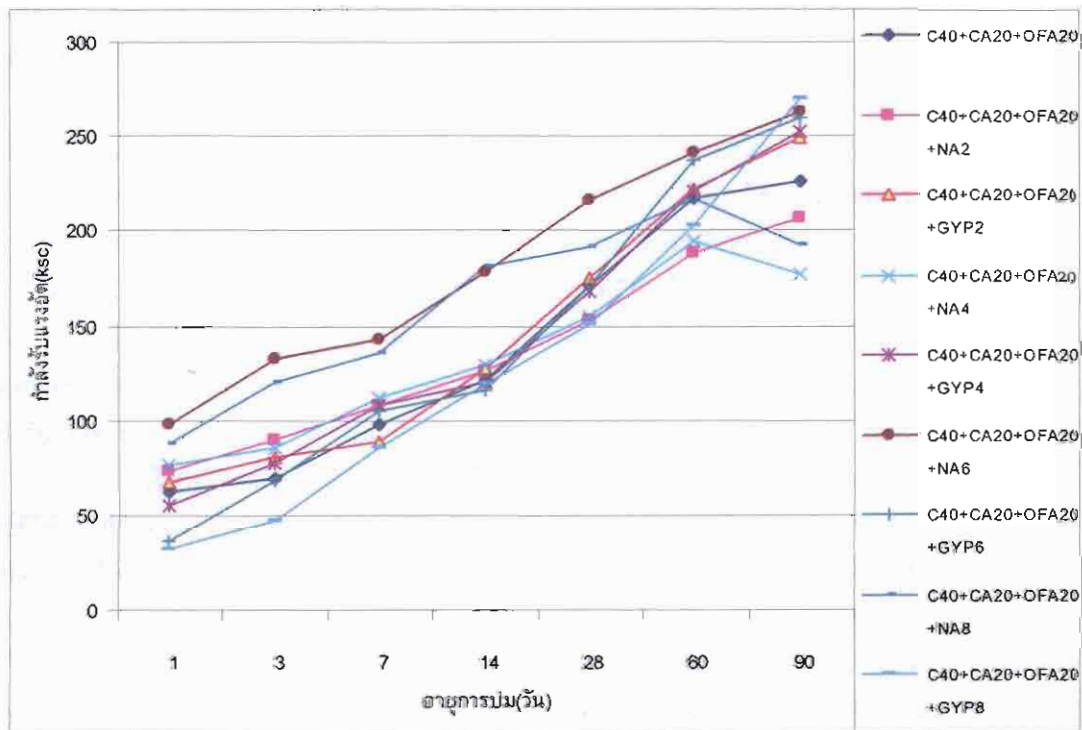
รูปที่ 4.71 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ตาร์ของแต่ละส่วนผสมที่ปริมาณของสารโซเดียมซิลเฟต
ต่างๆ กับอายุของมอร์ตาร์



รูปที่ 4.72 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ตาร์ของแต่ละส่วนผสมที่ปริมาณของยิปซัมต่างๆ กับอายุ
ของมอร์ตาร์



รูปที่ 4.73 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ใช้ปริมาณของปูนซีเมนต์ร้อยละ 60 โดยใช้สารโซเดียมซิลเฟต และยิปซัมเป็นสารกระตุ้นทางเคมี กับอายุของมอร์ตาร์



รูปที่ 4.74 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ใช้ปริมาณของปูนซีเมนต์ร้อยละ 40 โดยใช้สารโซเดียมซิลเฟต และยิปซัมเป็นสารกระตุ้นทางเคมี กับอายุของมอร์ตาร์

บทที่ 5

สรุป

5.1 สรุปผลงานวิจัย

5.1.1 กากแคลเซียมคาร์ไบด์และถั่วลันเตา เมื่อนำมาบดและร่อนจะมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ เช่นสี ลักษณะ และรูปร่างของอนุภาค และพบว่า การบดและร่อนผ่านตะแกรงจะทำให้มีขนาดอนุภาคเล็กลงได้ นอกจากนี้ความถ่วงจำเพาะของถั่วลันเตาและ กากแคลเซียมคาร์ไบด์จะเพิ่มขึ้นเมื่อวัสดุมีความละเอียดมากขึ้น

5.1.2 ปริมาณของสารโซเดียมซิลิเฟตและปริมาณของ ยิปซัมที่ใช้จะมีผลต่อค่าความชื้นเหลือปกติของเพสต์ของวัสดุประสาน กล่าวคือเมื่อใช้ปริมาณของสารโซเดียมซิลิเฟตในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้ค่าความชื้นเหลือปกติลดลง และเมื่อใช้ยิปซัมในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้ค่าความชื้นเหลือปกติของเพสต์เพิ่มมากขึ้น

5.1.3 ปริมาณของสารโซเดียมซิลิเฟตและปริมาณของ ยิปซัมที่ใช้จะมีผลต่อระยะเวลาการก่อตัวของเพสต์ของวัสดุประสาน กล่าวคือเพสต์ของวัสดุประสานในระยะที่ 1 ที่ใช้สารโซเดียมซิลิเฟตและยิปซัมระยะเวลาการก่อตัวที่ระยะต้นและระยะปลาย โดยรวมน้อยกว่าเพสต์ของวัสดุประสานที่ไม่ใส่สารเคมี และเพสต์ของวัสดุประสานในระยะที่ 2 ที่ใช้สารโซเดียมซิลิเฟตและยิปซัมจะมีระยะเวลาการก่อตัวที่ระยะต้นและระยะปลายมากขึ้นเมื่อใช้สารเคมีมากขึ้น

5.1.4 ปริมาณของสารโซเดียมซิลิเฟตและปริมาณของ ยิปซัมที่ใช้จะมีผลต่อความสามารถในการไหลของมอร์ตาร์ของวัสดุประสาน กล่าวคือมอร์ตาร์ที่ใช้ปริมาณของสารโซเดียมซิลิเฟตในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้ค่าความสามารถในการไหลของมอร์ตาร์เพิ่มมากขึ้น และมอร์ตาร์ที่ใช้ยิปซัมในปริมาณที่มากขึ้นความสามารถในการไหลจะลดลง

5.1.5 ปริมาณของสารโซเดียมซิลิเฟตที่ใช้จะมีผลต่อความสามารถในการพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ได้จากส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ และถั่วลันเตาเป็นวัสดุประสาน กล่าวคือมอร์ตาร์ที่ใช้สารโซเดียมซิลิเฟตในการเร่งปฏิกิริยาพบว่าที่อายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 1 วันการใช้สารโซเดียมซิลิเฟตยังไม่มีผลต่อการพัฒนากำลังอัด แต่จะเริ่มมีการพัฒนากำลังอัดมากที่อายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 3, 7 และ 14 วัน และเมื่ออายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 28 และ 60 วันกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่มีสารโซเดียมซิลิเฟตจะมีกำลังอัดต่ำกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มีสารโซเดียม ซิลิเฟต เนื่องจากการขยายตัวของการเกิดยิปซัม และเอทิงไจด์ ดังนั้นสารโซเดียมซิลิเฟตจึงไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้ในการเร่งปฏิกิริยาสำหรับวัสดุประสานที่ได้จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับถั่วลันเตา

5.1.6 ปริมาณของสารโซเดียมซิลิเฟตที่ใช้จะมีผลต่อความสามารถในการพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ได้จากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ กากแคลเซียมคาร์ไบด์ และถั่วลันเตาเป็นวัสดุประสาน กล่าวคือมอร์ตาร์ที่ใช้สารโซเดียมซิลิเฟตในการเร่งปฏิกิริยาพบว่าที่ใช้สารโซเดียมซิลิเฟตในปริมาณร้อยละ 2 และ 4 จะให้กำลังอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่ใส่สารเคมีที่อายุระหว่าง 1 ถึง 7 วัน โดยจะต่ำกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่ใส่สารเคมีเล็กน้อยที่อายุระหว่าง 14 ถึง 90 วัน และการใช้สารโซเดียมซิลิเฟตในปริมาณร้อยละ 6 และ 8 จะให้กำลังอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่ใส่สารเคมีที่อายุระหว่าง 1 ถึง 28 วัน โดยจะใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ที่ไม่ใส่สารเคมีที่อายุระหว่าง 60 และ 90 วัน

5.1.7 ปริมาณของยิปซัมที่ใช้จะมีผลต่อความสามารถในการพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ได้จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับถั่วลันเตา กล่าวคือมอร์ตาร์ที่ใช้ยิปซัมในการเร่งปฏิกิริยา พบว่าที่อายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 1 และ 3 วัน การใช้ยิปซัมยังไม่มีผลต่อการพัฒนากำลังอัด แต่จะเริ่มมีการพัฒนากำลังอัดมากที่อายุ

ของมอร์ตาร์เท่ากับ 7 และ 14 วัน แต่เมื่ออายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 28 และ 60 วัน มอร์ตาร์ที่ใช้แก้ลอยในสภาพเดิมจะมีกำลังอัดใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ที่ไม่มียิปซัม ส่วนมอร์ตาร์ที่ใช้แก้ลอยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ที่อายุของมอร์ตาร์เท่ากับ 28 และ 60 วัน จะมีกำลังอัดมากกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่มียิปซัมและยังสามารถพัฒนากำลังต่อไปได้อีก เนื่องจากการที่ซัลเฟตออกไซด์จากยิปซัมทำปฏิกิริยากับอนุมูลจากแก้ลอยเกิดเป็นเอพทิงไซด์ และโมโนซัลลูมินไฮเดรตซึ่งจะไปอุดช่องว่างจึงทำให้มอร์ตาร์มีความหนาแน่นมากขึ้น จึงทำให้กำลังอัดของมอร์ตาร์มากขึ้น และการใช้ยิปซัมที่ใช้ในปริมาณร้อยละ 8 จะทำให้ได้กำลังอัดสูงที่สุดซึ่งสามารถนำไปใช้งานที่ไม่ต้องการกำลังอัดสูงในระยะต้นได้

6.1.7 ปริมาณของยิปซัมที่ใช้จะมีผลต่อความสามารถในการพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ได้จากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ทรายแกลบซีเมนต์คาร์ไบด์ และแก้ลอยเป็นวัสดุประสาน กล่าวคือมอร์ตาร์ที่ใช้ยิปซัมในการเร่งปฏิกิริยาให้ผลในการเร่งกำลังอัดที่ไม่เด่นชัดมากนักและยังมีแนวโน้มจะต่ำลงเมื่อใช้ยิปซัมมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- คณเดศ นิ่มอรุณ และคณะ (2543). "กลสมบัติของวัสดุประสาน กรณีศึกษาถึงการใช้ แก้วถ่านหินแก้วกลบ เปลือกหอยนางรมและปูนขาว." วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, กรุงเทพฯ.
- ชยานนท์ เจริญชัยสวัสดิ์ และคณะ (2534). "การพัฒนาคอนกรีตกำลังสูงด้วย Silica Fume." วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และคณะ (2542). "คุณสมบัติพื้นฐานทางเคมีและทางกายภาพของเถ้าลอย." เอกสารการสัมมนาเรื่องการใช้เถ้าลอยในงานคอนกรีต, การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.
- ชูโชค ศิวะคุณากร (2536). "การพัฒนาคอนกรีตกำลังสูงด้วยการผสมแก้วถ่านหิน." วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- ณรงค์ชัย วิวัฒนาช่าง และคณะ (2542). "บทบาทของแก้วถ่านหินที่แยกละเอียด 5 ชนิด ต่อกำลังอัดของคอนกรีต." เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 5, มีนาคม, ชลบุรี, MAT208- MAT214.
- ทัศนาคู คั่นฉ่อง และคณะ (2540). "การศึกษาค่าดัชนีกำลังของแก้วถ่านหินหยาบที่บดละเอียดกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1." เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 4, พฤศจิกายน, ภูเก็ต, MAT5-1 – MAT5-9.
- บัณฑิต ประสิทธิ์นราพันธุ์ และคณะ (2544). "ผลกระทบของความละเอียดและองค์ประกอบทางเคมีของแก้วถ่านหิน." เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 7, พฤษภาคม, กรุงเทพฯ, MAT15-MAT20.
- บุญมาก รุ่งเรือง และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล (2544). "การศึกษาวัสดุประสานชนิดใหม่ที่ได้จากส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับแก้วกลบ." วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา, 12(1), 8-14.
- บุรฉัตร ฉัตรวีระ และ พีรชล สุภัททธรรม (2543). "คุณสมบัติทางกลและความทนทานของปูนซีเมนต์ผสมแก้วกลบ." วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา, 11(4), 36-42.
- ปริญญา จินดาประเสริฐ และ สันติสุข เชื้อมชัยตระกูล (2539). "ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเถ้าลอย ไมโครซิลิกา และสารลดน้ำพิเศษ." วารสารวิจัย มข., 1(1), 1-19.
- ปริญญา จินดาประเสริฐ และคณะ (2541). "คุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าลอยคัตขนาด." วารสารวิจัย มข., 3(2), 7-18.
- ปิตินันต์ กร้ามาตร (2539). "การศึกษาส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์และแก้วถ่านหินเพื่อนำมาใช้ในการงานคอนกรีต." วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท, ภาควิชาวิศวกรรมโยธาคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- ปิตินันต์ กร้ามาตร และคณะ (2539). "การศึกษากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ได้จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับแก้วถ่านหิน." วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา, 7(2), 65-75.
- พัฒนพล สุดโต และคณะ (2542). "การผลิตวัสดุประสานกากแคลเซียมคาร์ไบด์ แก้วถ่านหินและแก้วกลบ." วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, กรุงเทพฯ.
- พิชัย นิมิตรยงสกุล และ สรรค์ สยามภักดิ์ (2542). "ประวัติและความเป็นมาของเถ้าลอย." เอกสารการสัมมนาเรื่องการใช้เถ้าลอยในงานคอนกรีต, การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.

- เศกสรรค์ ชูทับทิม และคณะ (2542). “การศึกษาศักยภาพของเถาถ่านหิน 5 แหล่งผลิต ในประเทศไทย เพื่อใช้เป็นวัสดุป้อนโซลัน.” เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 5, มีนาคม, ชลบุรี, MAT108-MAT115.
- สมชัย กกก้าแหง (2542). “การใช้เถาถ่านหินในงานก่อสร้างของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.” เอกสารการสัมมนาเรื่องการใช้ถ่านหินในงานคอนกรีต, การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.
- สมิตร ส่งพิริยะกิจ (2538). “ผลกระทบของความละเอียดจากการบดและการแยกเถาถ่านหิน แม่เมาะต่อคุณสมบัติของมอร์ตาร์.” วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- สรรค์ สยามิภักดิ์ (2542). คอนกรีตเทคโนโลยี, พิมพ์ครั้งที่ 1, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, กรุงเทพฯ.
- สุธี ลิ้มปณชัยพรกุล และคณะ (2537). “การศึกษากำลังอัดของวัสดุประสานของกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถาถ่านหิน.” วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- สุวิชาติ มาตย์ภูธร และคณะ (2542). “การศึกษาเพื่อใช้เถาถ่านหินและกากแคลเซียมคาร์ไบด์เป็นวัสดุประสานชนิดใหม่.” เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 5, มีนาคม, ชลบุรี, MAT100-MAT107.
- เอกภพ อังศุวัฒนา และคณะ (2540). “การใช้เถาถ่านหินแยกขนาดจากแม่เมาะในงานคอนกรีตกำลังสูง.” เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 4, พฤศจิกายน, ภูเก็ต, MAT1-MAT10.
- American Society for Testing and Material. (1997). “ASTM C 109/C 09 – 95 : Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2 – in. or [50 – mm] Cube Speciment).” Annual Book of ASTM Standard, Vol. 04.01, ASTM, Philadelphia, 71-75.
- American Society for Testing and Material. (1997). “ASTM C 150-97 : Standard Specification for Portland Cement.”, Annual Book of ASTM Standard, Vol. 04.01, ASTM, Philadelphia, 132-136.
- American Society for Testing and Material. (1997). “ASTM C 187 – 86 : Standard Test Method for Normal Consistency of Hydraulic Cement.”, Annual Book of ASTM Standard, Vol. 04.01, ASTM, Philadelphia, 158-159.
- American Society for Testing and Material. (1997). “ASTM C 188 – 95 : Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement.” Annual Book of ASTM Standard, Vol. 04.01, ASTM, Philadelphia, 160-161.
- American Society for Testing and Material. (1997). “ASTM C 191 – 92 : Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle.” Annual Book of ASTM Standard, Vol. 04.01, ASTM, Philadelphia, 162-164.
- American Society for Testing and Material. (1997). “ASTM C 204 – 96a : Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by Air Permeability Apparatus.” Annual Book of ASTM Standard, Vol. 04.01, ASTM, Philadelphia, 165-171.
- American Society for Testing and Material. (1997). “ASTM C 230 – 90 : Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement.” Annual Book of ASTM Standard, Vol. 04.01, ASTM, Philadelphia, 182-186.

- American Society for Testing and Material. (1997). "ASTM C 430 – 96 : Fineness of Hydraulic Cement by the 45 - μ m (No. 325) Sieve." Annual Book of ASTM Standard, Vol. 04.01, ASTM, Philadelphia, 217-219.
- American Society for Testing and Material. (1997). "ASTM C 618 – 97 : Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete." Annual Book of ASTM Standard, Vol. 04.02, ASTM, Philadelphia, 294-296.
- Caijun Shi and Robert L.Day (1993a). "Acceleration of Strength Gain of Lime – Pozzolan Cements By Thermal Activation." Cement and Concrete Research, Vol. 23, 824–832.
- Caijun Shi and Robert L.Day. (1993b). "Chemical Activation of Blended Cements Made With Lime and Natural Pozzolans." Cement and Concrete Research, Vol. 23, 1389–1396.
- Caijun Shi and Robert L.Day. (2001). "Comparision of Different methods for Enhancing Reactivity of Pozzolans." Cement and Concrete Research, Vol. 31, 813–818.
- Caijun Shi. (1998). "Pozzolanic Reaction and Microstructure of Chemical Activated Lime-Fly Ash Pastes." ACI Materials Journal, Vol.95, No.5, 537–545.
- Carette, G. G. et al. (1992). "Mechanical Properties of Concrete Incorporating High Volumes of Fly Ash From Various Sources in USA." Electric Power Research Institute, Report No. TR-100577, Palo Alto, 1–1 to 1–33.
- Carette, G. G., and Malhotra, V. M. (1984). " Characterization of Canadian Fly Ashes and their Performance in Concrete." Technical Report MRP/MSL 8U-137, CANMET, Ottawa.
- Dodson, V.H. (1981). "Effects of Fly Ash on the Times of Setting of Concrete-Chemical or Physical." Proceedings of the symposium on Fly Ash Incorporation in Hydrated Cement Systems, Materials Research Society Boston, 166–171.
- Mailvaganam, N. P. et al. (1983). "Effects of Admixture on Portland Cement Concretes Incorporating Blast Furnace Slag and Fly Ash." Proceedings of the first International Conference on the use of Fly Ash, Silica Fume, Slag, and Other Mineral By-Products Concrete, Montebello, Canada, SP-76, American Concrete Institute Detroit, 519–537.
- Naik, T.R., and Ramme, B.W. (1989). "Effects of High-Lime Fly Ash content on Water Demand, Workability, Time of Set and Compressive Strength of Concrete." Third International Conferent on the Use of Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, June.
- Qian Jueshi et al. (2001). "Activation of Blended Cements Containing Fly Ash." Cement and Concrete Research, Vol. 31, 1121–1127.
- Ramakrishnan, V. et al. (1981). " Performance Characteristics of Concretes Containing Fly Ash." Proceedings of the Symposium on Fly Ash Incorporation in Hydrated Cement System, Materials Research Society, Boston, 166–171.
- Robert L.Day and Caijun Shi. (1994). "Influence of The Fineness of Pozzolan on The Strength of Lime Natural Cement Paste." Cement and Concrete Research, Vol. 24, No.8, 1485–1491.
- Tarun K., Naik and Shiw S. Singh. (1995). "Influence of Fly Ash on Setting and Hardening Characteristics of Concrete Systems." ACI Materials Journal, Vol.94, No.5,355–360.

Xu Aimin and Shondeep L. Sarkar, (1991) "Microstructural study of Gypsum Activated Fly Ash Hydration in Cement Paste." *Cement and Concrete Research*, Vol. 21, 1137–1147.