

บทที่ 4

ผลการทดสอบและการอภิปราย

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

4.1.1 ความถ่วงจำเพาะ

ผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก (GGBS) แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดสอบ 3 ตัวอย่าง ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และตะกรันจากเตาถลุงเหล็กมีค่าเท่ากับ 3.16 และ 2.88 ตามลำดับ

4.1.2 ความละเอียด

ผลการทดสอบความละเอียดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก (GGBS) แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบจำนวน 3 ตัวอย่าง ความละเอียดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และตะกรันจากเตาถลุงเหล็กมีค่าเท่ากับ 3,200 ตร.ซม./กรัม และ 3,400 ตร.ซม./กรัม ตามลำดับ เมื่อทำการวัดโดยวิธีของเบลน

4.2 ความชื้นเหลือปกติ

ผลการทดสอบความชื้นเหลือปกติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก และคัลเซียมคลอไรด์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มสารตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก ความชื้นเหลือปกติจะเท่าเดิมหรือเพิ่มขึ้นเล็กน้อย การผสมสารตะกรันจากเตาถลุงเหล็กจะทำให้ความชื้นเหลือปกติของเพสต์ค่อนข้างคงที่ เนื่องจากสารตะกรันจากเตาถลุงเหล็กมีความละเอียดใกล้เคียงกับปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ จึงต้องการใช้น้ำในการเคลือบผิวปริมาณใกล้เคียงกัน และการใส่สารคัลเซียมคลอไรด์ 1-3% จะทำให้ความชื้นเหลือปกติเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะ และความละเอียดของ
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก

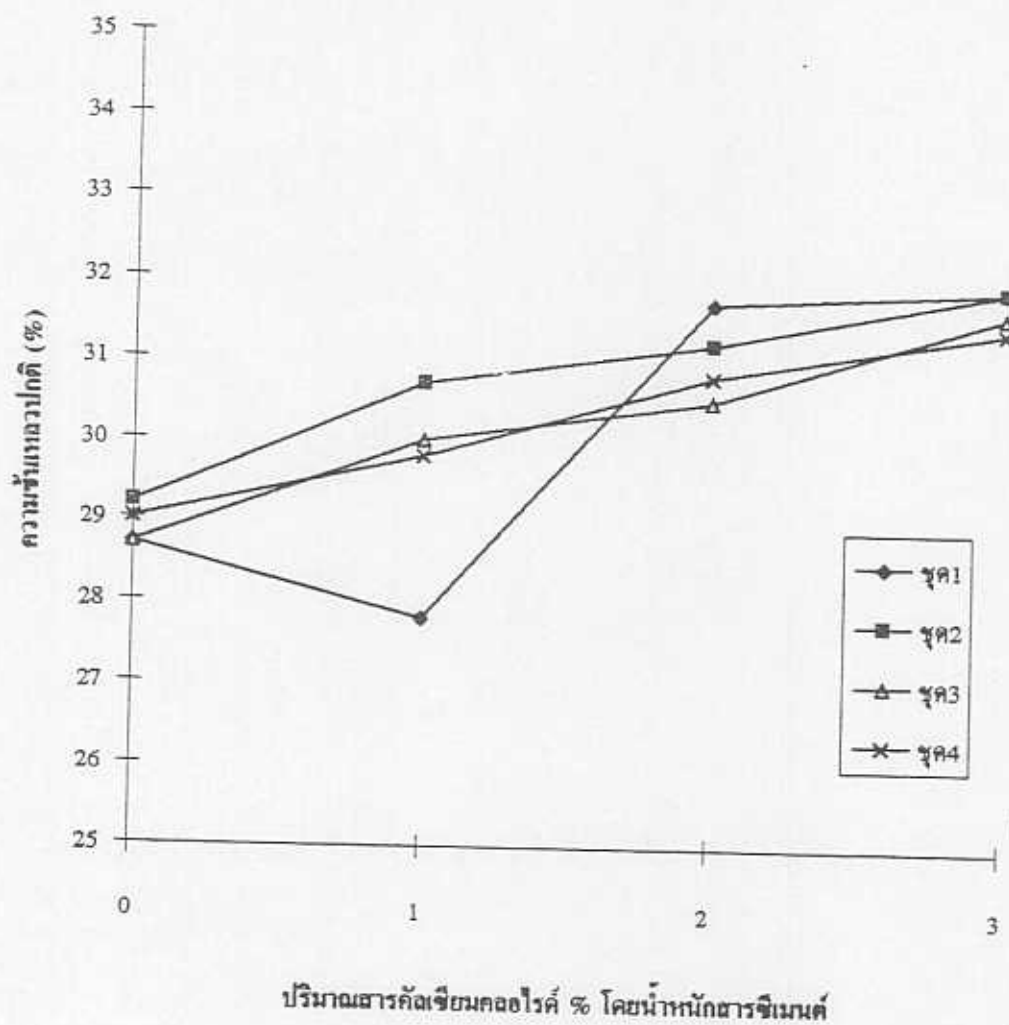
	ปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์	ตะกรันจาก เตาถลุงเหล็ก
ความถ่วงจำเพาะ	3.16	2.88
ความละเอียด(แบบของเบลน), ตร.ชม./กรัม	3,200	3,400

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบความชื้นเหลวปกติ และระยะเวลาก่อตัวของซีเมนต์
ปอร์ตแลนด์ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก และกัลเซียมคลอไรด์

Cement:GGBS:CaCl ₂	ความชื้นเหลว ปกติ (%)	ระยะเวลาก่อตัวขึ้น (นาที)	ระยะเวลาก่อตัวปลาย (นาที)
100 : 0 : 0	28.7	103	168
100 : 0 : 1	27.8	82	102
100 : 0 : 2	31.7	60	93
100 : 0 : 3	31.9	53	75
90 : 10 : 0	29.2	133	165
90 : 10 : 1	30.7	97	140
90 : 10 : 2	31.2	67	92
90 : 10 : 3	31.9	25	72
80 : 20 : 0	28.7	155	197
80 : 20 : 1	30.0	118	148
80 : 20 : 2	30.5	67	92
80 : 20 : 3	31.6	27	68
70 : 30 : 0	29.0	160	197
70 : 30 : 1	29.8	113	150
70 : 30 : 2	30.8	62	83
70 : 30 : 3	31.4	22	68

หมายเหตุ

1. Cement = ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ; GGBS = ตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก
CaCl₂ = กัลเซียมคลอไรด์

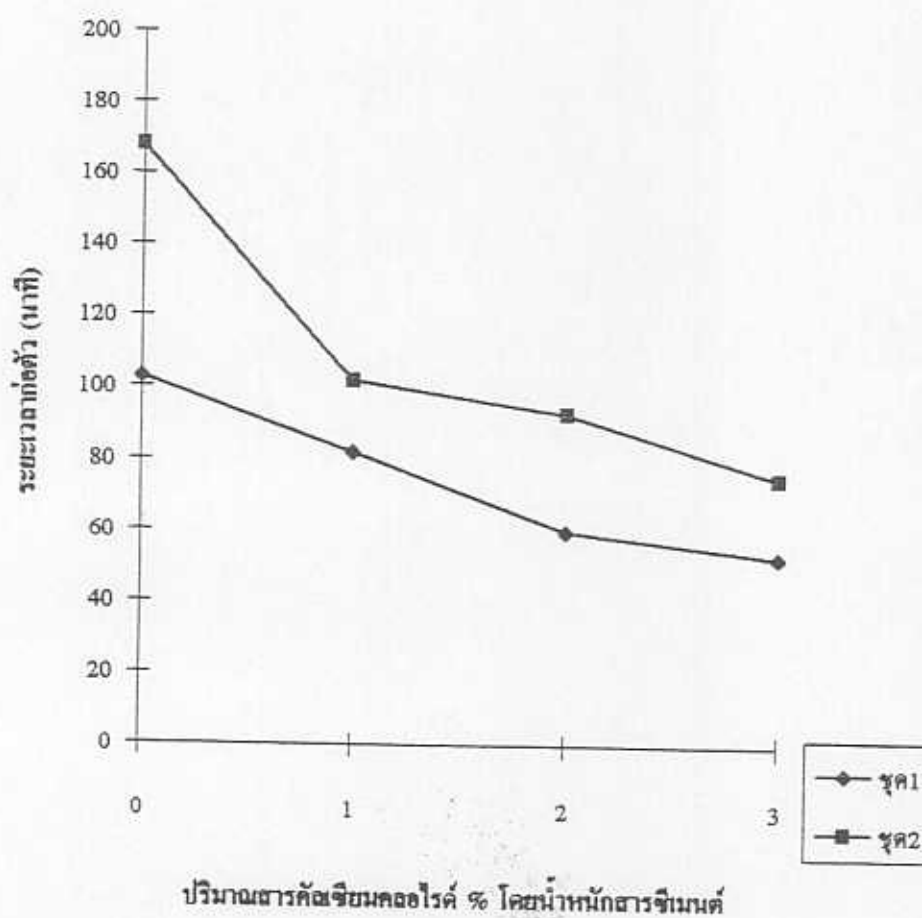


ภาพที่ 4.1 ความชื้นเหลวปกติ ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก และกึ่งเชิยมนคลอไรด์

หมายเหตุ

- ชุดที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก เท่ากับ 100 : 0
 ชุดที่ 2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก เท่ากับ 90 : 10
 ชุดที่ 3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก เท่ากับ 80 : 20
 ชุดที่ 4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก เท่ากับ 70 : 30

ก) GGBS 0%

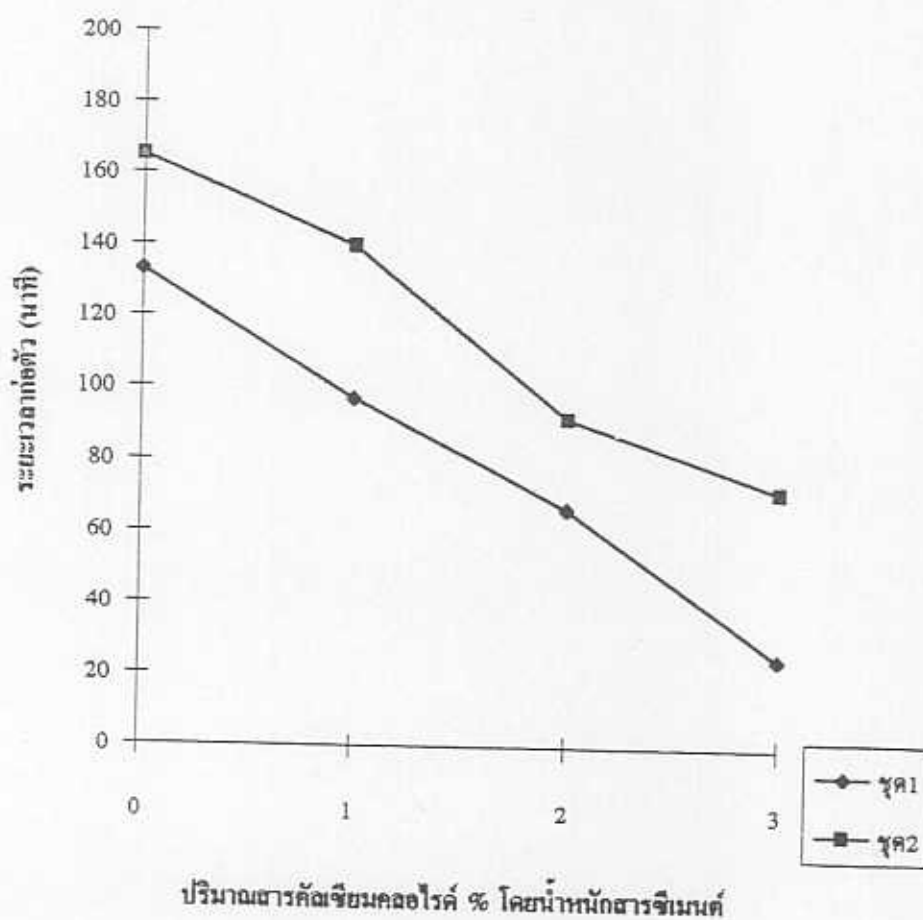


ภาพที่ 4.2 ก ระยะก่อตัวต้นและก่อตัวปลายของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ผสมตะกรัน จากเตาถลุงเหล็ก และซิลิกาฟลอยด์

หมายเหตุ

- 1) จุด 1 คือระยะก่อตัวต้น
- 2) จุด 2 คือระยะก่อตัวปลาย
- 3) GGBS, ตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก

ข) GGBS 10%

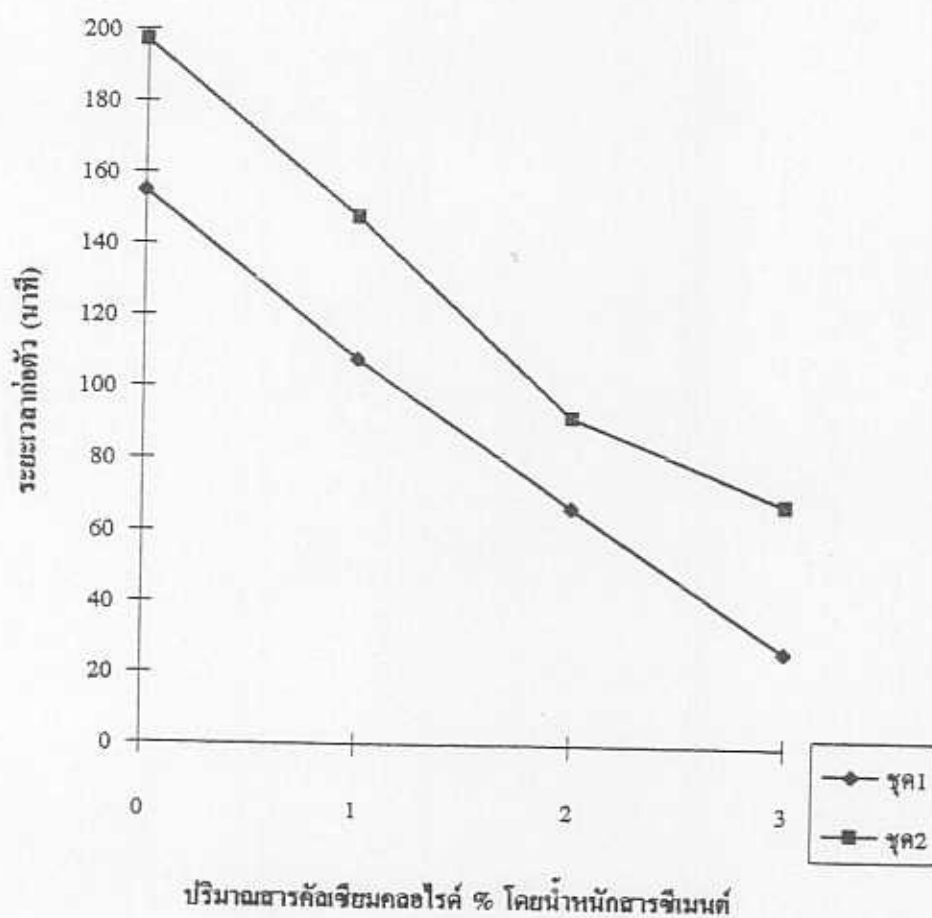


ภาพที่ 4.2 ข ระยะก่อตัวต้นและก่อตัวปลายของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก และกัลเซียมคลอไรด์

หมายเหตุ

- 1) ชุด 1 คือระยะก่อตัวต้น
- 2) ชุด 2 คือระยะก่อตัวปลาย
- 3) GGBS, ตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก

ก) GGBS 20%

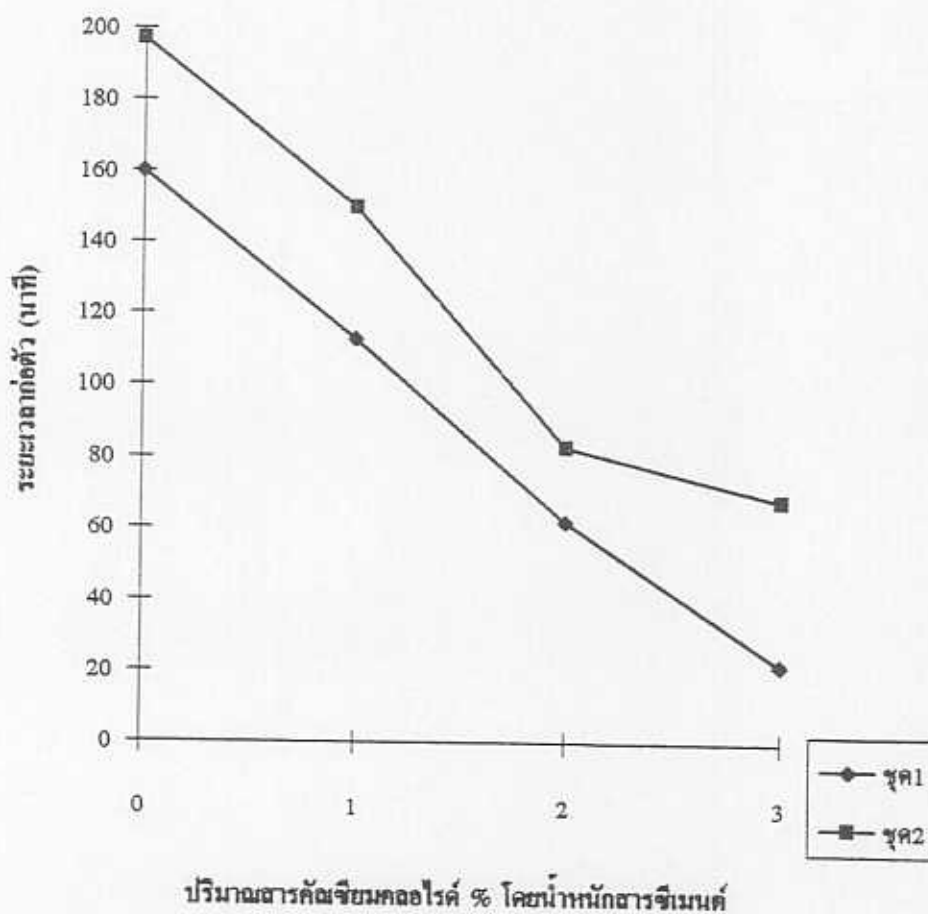


ภาพที่ 4.2 ก ระยะก่อตัวต้นและก่อตัวปลายของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ผสมตะกรัน จากเตาถลุงเหล็ก และกัลเซียมคลอไรด์

หมายเหตุ

- 1) จุด 1 คือระยะก่อตัวต้น
- 2) จุด 2 คือระยะก่อตัวปลาย
- 3) GGBS, ตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก

จ) GGBS 30%



ภาพที่ 4.2 จ ระยะก่อดำเนินและก่อดำเนินของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก และคัลเซียมคลอไรด์

หมายเหตุ

- 1) จุด 1 คือระยะก่อดำเนิน
- 2) จุด 2 คือระยะก่อดำเนิน
- 3) GGBS, ตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก

4.3 ระยะเวลาก่อตัว

ผลการทดสอบระยะเวลาก่อตัวของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก และกัลเซียมคลอไรด์ได้แสดงไว้ในตารางผนวก ข ส่วนตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 เป็นค่าเฉลี่ยผลการทดสอบ

การผสมสารตะกรันจากเตาถลุงเหล็กจะมีผลทำให้ระยะเวลาก่อตัวต้นเพิ่มขึ้นมาก เช่นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาใช้ระยะเวลาก่อตัวต้น 103 นาที แต่เมื่อเพิ่มตะกรันจากเตาถลุงเหล็กลงไปในอัตราส่วนร้อยละ 10, 20, และ 30 จะพบว่าระยะเวลาก่อตัวต้นจะเปลี่ยนแปลงเป็น 133, 155, 160 นาทีตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตะกรันจากเตาถลุงเหล็กจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันในช่วงแรกได้ช้ากว่าซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และจะสังเกตได้ว่าระยะเวลาการก่อตัวต้นจะเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณที่เพิ่มขึ้นของตะกรันจากเตาถลุงเหล็กที่เพิ่มเข้าไปทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ นอกจากนี้ตะกรันจากเตาถลุงเหล็กก็ยังมีผลทำให้ระยะเวลาก่อตัวปลายเพิ่มขึ้น แต่เพิ่มขึ้นในอัตราที่น้อยกว่าการเพิ่มขึ้นของระยะเวลาก่อตัวต้นมาก ซึ่งจากการศึกษาพบว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีระยะเวลาก่อตัวปลาย 168 นาทีแต่เมื่อเพิ่มตะกรันจากเตาถลุงเหล็กลงไปในอัตราส่วนร้อยละ 10, 20, 30 จะพบว่าระยะเวลาก่อตัวปลายจะเพิ่มขึ้นเป็น 165, 197, 197 นาทีตามลำดับ การใช้สารกัลเซียมคลอไรด์เพิ่มลงในส่วนผสมทั้งส่วนผสมที่เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วนและส่วนผสมที่เพิ่มตะกรันจากเตาถลุงเหล็กเข้าไปด้วยก็ตาม สารกัลเซียมคลอไรด์ที่เพิ่มลงไปจะมีอิทธิพลมากต่อระยะเวลาก่อต้นและระยะเวลาก่อตัวปลาย กล่าวคือถ้าเพิ่มสารกัลเซียมคลอไรด์ปริมาณร้อยละ 3 ลงในส่วนผสมที่มีเฉพาะปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน จะทำให้ระยะเวลาก่อตัวต้นและก่อตัวปลายลดลงอย่างเห็นได้ชัด กล่าวคือระยะเวลาก่อตัวต้นจะลดลงจาก 103 นาทีเหลือเพียง 53 นาทีและระยะเวลาก่อตัวปลายจะลดลงจาก 168 นาที เหลือเพียง 75 นาที เท่านั้น นอกจากนั้นยังพบว่าเมื่อเพิ่มสารกัลเซียมคลอไรด์ลงในส่วนผสมที่มีตะกรันจากเตาถลุงเหล็กผสมร่วมอยู่ด้วยผลก็ยังเป็นทำนองเดียวกัน แต่การเพิ่มสารกัลเซียมคลอไรด์ในส่วนผสมที่มีตะกรันจากเตาถลุงเหล็กร่วมอยู่ด้วยนั้น จะพบว่าอัตราการลดลงของระยะเวลาก่อตัวต้นของส่วนผสมที่มีตะกรันจากเตาถลุงเหล็กร่วมอยู่ด้วยนั้นจะมีอัตราการลดลงของระยะเวลาก่อตัวต้นมากกว่าส่วนผสมที่มีแต่ปูน

ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เพียงอย่างเดียว เช่นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เมื่อเพิ่มสารคัดเชื่อมคลอไรด์เข้าไปร้อยละ 3 จะทำให้ระยะเวลาก่อตัวต้นลดลงจาก 103 นาทีเป็น 53 นาที แต่เมื่อเพิ่มสารคัดเชื่อมคลอไรด์ร้อยละ 3 ลงในส่วนผสมที่มีตะกรันจากเตาถลุงเหล็กร้อยละ 30 จะพบว่าระยะเวลาก่อตัวต้นจะลดลงจาก 160 นาทีเป็น 22 นาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารคัดเชื่อมคลอไรด์มีอิทธิพลต่อระยะเวลาก่อตัวต้นของตะกรันจากเตาถลุงเหล็กมากกว่าอิทธิพลต่อระยะเวลาก่อตัวต้นของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ สำหรับระยะเวลาก่อตัวปลายสารคัดเชื่อมคลอไรด์ที่เพิ่มเข้าไปก็ยังคงมีอิทธิพลสูงต่อการลดลงของระยะเวลาก่อตัวปลาย แต่อิทธิพลของสารคัดเชื่อมคลอไรด์ที่มีต่อระยะเวลาก่อตัวปลายสำหรับส่วนผสมปูนซีเมนต์ล้วนและส่วนผสมที่มีตะกรันจากเตาถลุงร่วมอยู่ด้วยนั้นจะพบว่าการลดลงของระยะเวลาก่อตัวปลายอยู่ในอัตราที่ใกล้เคียงกัน เช่นส่วนผสมที่ประกอบด้วยซีเมนต์ล้วนและเพิ่มสารคัดเชื่อมคลอไรด์ปริมาณร้อยละ 3 จะมีระยะเวลาก่อตัวปลายลดลงจาก 168 นาทีเป็น 75 นาที และเมื่อเพิ่มสารคัดเชื่อมคลอไรด์ปริมาณร้อยละ 3 ลงในส่วนผสมที่มีตะกรันจากเตาถลุงเหลืออยู่ร้อยละ 30 ระยะเวลาก่อตัวปลายจะลดลงจาก 197 นาที เป็น 68 นาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารคัดเชื่อมคลอไรด์มีอิทธิพลต่อระยะเวลาก่อตัวต้นมากกว่าระยะเวลาก่อตัวปลาย และอิทธิพลของสารคัดเชื่อมคลอไรด์จะมากขึ้นตามปริมาณที่ผสมเพิ่มลงไป แต่เมื่อใช้สารคัดเชื่อมคลอไรด์ 3% เพิ่มลงในส่วนผสมที่มีตะกรันจากเตาถลุงเหลือประกอบอยู่ด้วยนั้นจะเห็นได้ว่าระยะเวลาการก่อตัวต้นจะลดลงมาก โดยเมื่อใช้ร่วมกับส่วนผสมที่มีตะกรันจากเตาถลุงเหลือผสมอยู่ 10, 20 และ 30% การก่อตัวต้นจะเกิดขึ้นภายในระยะเวลาสั้นกว่า 30 นาที จึงไม่ควรนำมาใช้งานเพราะไม่เหมาะสมกับสภาพการทำงานก่อสร้าง แต่เหมาะสมสำหรับงานซ่อมแซมโครงสร้าง

4.4 กำลังรับแรงอัด

ผลการทดสอบความต้องการน้ำเพื่อให้ได้ค่าการไหลร้อยละ 105 ถึง 115 ได้แสดงไว้ในตารางผนวก ก ส่วนตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3 เป็นค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบ จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่ามอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ล้วนมีความต้องการน้ำใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ที่ได้จากปูนซีเมนต์ผสมสารตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก ทั้งนี้เนื่องจากตะกรันเตาถลุงมีความละเอียดใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา

กล่าวคือตะกอนจากเตาสูงมีความละเอียด 3,400 ตร.ซม./กรัม ส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มีความละเอียดเท่ากับ 3,200 ตร.ซม./กรัม และการผสมสารคัดเชื่อมคลอไรด์ทำให้ ความต้องการน้ำของส่วนผสม มีผลให้ต้องการน้ำเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3 ก แสดงผลการรับกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ทำ จากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมผงตะกอนจากเตาสูงเหลือ 0% จะเห็นได้ว่ามอร์ตาร์ที่ทำจากปูนปอร์ตแลนด์และใส่สารคัดเชื่อมคลอไรด์ 1 และ 2% จะสามารถรับกำลังอัดได้มากขึ้นที่อายุ 3 และ 7 วันแต่ที่อายุ 28 และ 90 วัน เมื่อใส่สารคัดเชื่อมคลอไรด์ 3% กำลังรับแรงอัดกลับลดลงและมีค่าใกล้เคียงกับกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ไม่ได้ผสมสารคัดเชื่อมคลอไรด์ ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับ Mindess & Young (1981)

ตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3 ข แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดมอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมผงตะกอนจากเตาสูงเหลือ 10% และ จะเห็นได้ว่า กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่อายุ 3 วัน จะลดลง แต่ที่อายุมากขึ้นคืออายุ 7, 28 และ 90 วัน กำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาแล้ว เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของตะกอนจากเตาสูงเหลือเกิดได้ ช้ากว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Cpac, 1994) และเมื่อใส่สารคัดเชื่อมคลอไรด์ 1, 2 และ 3% จะทำให้กำลังรับแรงอัดสูงขึ้น จะเห็นได้ว่ามอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมผงตะกอนจากเตาสูงเหลือ 10% และผสมคัดเชื่อมคลอไรด์ 3% จะให้ กำลังรับแรงอัดสูงขึ้นมาก เมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ธรรมดา โดยที่กำลังรับแรงอัดที่อายุ 3, 7, 28 และ 90 วัน เพิ่มขึ้นจาก 132, 199, 243 และ 278 กก./ตร.ซม. เป็น 217, 283, 342 และ 349 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ

การใส่สารคัดเชื่อมคลอไรด์จะเป็นการเร่งปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์ผสม ตะกอน จะสามารถเร่งทั้งการก่อตัวและกำลังรับแรงจะสูงขึ้นด้วย การเพิ่มขึ้นของ กำลังรับแรงอัดเนื่องจากตะกอนจากเตาสูงเหลือเป็นวัสดุปอซโซลานและจะทำ ปฏิกิริยากับคัดเชื่อมคลอไรด์ที่เกิดจากการไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทำให้ เกิดแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตเพิ่มขึ้นเป็นผลให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มสูงขึ้นได้

(ปริญา,2529)

ตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3 ค แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์

คาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมผงตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก 20% จะเห็นได้ว่ามอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมผงตะกรันเหล็ก 20% และไม่ใส่สารแคลเซียมคลอไรด์ จะให้กำลังรับแรงอัดที่อายุมากขึ้นสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาแล้ว โดยที่กำลังรับแรงอัดที่อายุ 7, 28 และ 90 วัน เพิ่มขึ้นจาก 199, 243, 278 กก./ตร.ซม. เป็น 285, 342, 381 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ การที่กำลังรับแรงอัดเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากปริมาณการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณผงตะกรันจากเตาถลุงเหล็กที่มากขึ้น (ปริญญา, 2533) เมื่อใส่สารแคลเซียมคลอไรด์ 1 และ 2% จะทำให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นแต่ที่อายุ 3 วัน กำลังรับแรงอัดลดลง และเมื่อใส่สารแคลเซียมคลอไรด์ 3% จะมีผลทำให้กำลังรับแรงอัดลดลงเล็กน้อย เนื่องจากปริมาณสารแคลเซียมคลอไรด์ 3% เป็นปริมาณที่เกินพอเหมาะและทำให้กำลังรับแรงอัดที่อายุมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของพงษ์พันธ์ (2533)

ตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3 ง แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมผงตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก 30% จะเห็นได้ว่ามอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมผงตะกรันเหล็ก 30% และไม่ใส่สารแคลเซียมคลอไรด์ จะให้กำลังรับแรงอัดลดลงที่อายุ 3 วัน แต่จะให้กำลังรับแรงอัดที่สูงขึ้นเมื่ออายุ 7, 28 และ 90 วัน เมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน โดยที่กำลังรับแรงอัดที่อายุ 3, 7, 28 และ 90 วัน จาก 132, 199, 243, 278 กก./ตร.ซม. เป็น 98, 245, 314, 319 กก./ตร.ซม. และจะเห็นได้ว่ามอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ผสมผงตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก 30% โดยใส่สารแคลเซียมคลอไรด์ 2% จะให้กำลังรับแรงอัดลดลง เมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ผสมผงตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก 20% และผสมสารแคลเซียมคลอไรด์ 2% โดยที่กำลังรับแรงอัดที่อายุ 3, 7, 28 และ 90 วัน ลดลงจาก 194, 317, 385, 426 กก./ตร.ซม. เป็น 171, 308, 363, 370 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3 ก, ข, ค และ ง จะเห็นได้ว่าการใช้สารผงตะกรันจากเตาถลุงเหล็กแทนที่ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ในอัตราที่เพิ่มขึ้นจาก 0, 10 และ 20% จะให้ช่วงกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ลดลงที่อายุ 3 วัน แต่ในช่วงอายุ 7 และ

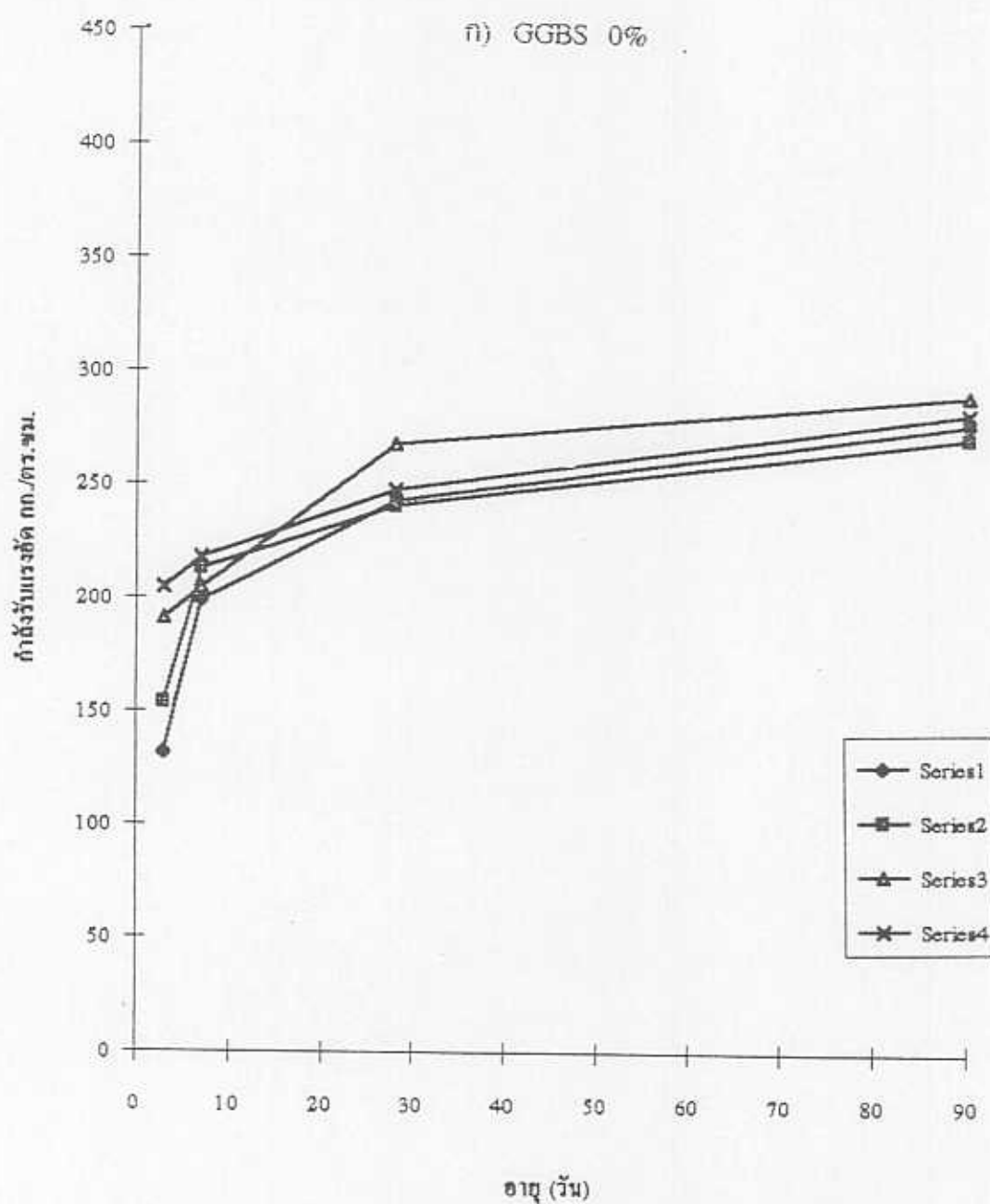
90 วัน กำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้น ช่วงของกำลังรับแรงอัดเพิ่มจาก 270 และ 290 ไปเป็น 320 และ 350, 380 และ 430 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มส่วนผสมของผงตะกรันจากเตาถลุงเหล็กเป็น 30% พบว่ากำลังรับแรงอัดจะลดลงเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ที่ได้จากปูนซีเมนต์ผสมผงตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก 20% โดยช่วงของกำลังรับแรงอัดลดลงจาก 380 และ 430 ไปเป็น 320 และ 390 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ จากผลการทดสอบการใส่สารคัดเชื่อมคลอไรด์ 0-3% จะเห็นว่าการใส่สารคัดเชื่อมคลอไรด์ 2% จะให้กำลังรับแรงอัดดีที่สุด

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสม
ตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก และกัลเซียมคลอไรด์

Cement : GGBS : CaCl ₂	W/C	กำลังรับแรงอัด กก./ตร.ซม.			
		3 วัน	7 วัน	28 วัน	90 วัน
100 : 0 : 0	0.65	132	199	243	278
100 : 0 : 1	0.66	154	213	241	272
100 : 0 : 2	0.66	191	205	268	291
100 : 0 : 3	0.66	205	218	248	283
90 : 10 : 0	0.66	109	226	304	322
90 : 10 : 1	0.66	162	236	312	335
90 : 10 : 2	0.67	178	272	326	348
90 : 10 : 3	0.67	217	283	342	349
80 : 20 : 0	0.66	117	285	342	381
80 : 20 : 1	0.67	183	302	376	412
80 : 20 : 2	0.67	194	317	385	426
80 : 20 : 3	0.68	185	294	362	393
70 : 30 : 0	0.67	98	245	314	319
70 : 30 : 1	0.67	167	274	352	387
70 : 30 : 2	0.68	171	308	363	370
70 : 30 : 3	0.68	171	291	335	348

หมายเหตุ

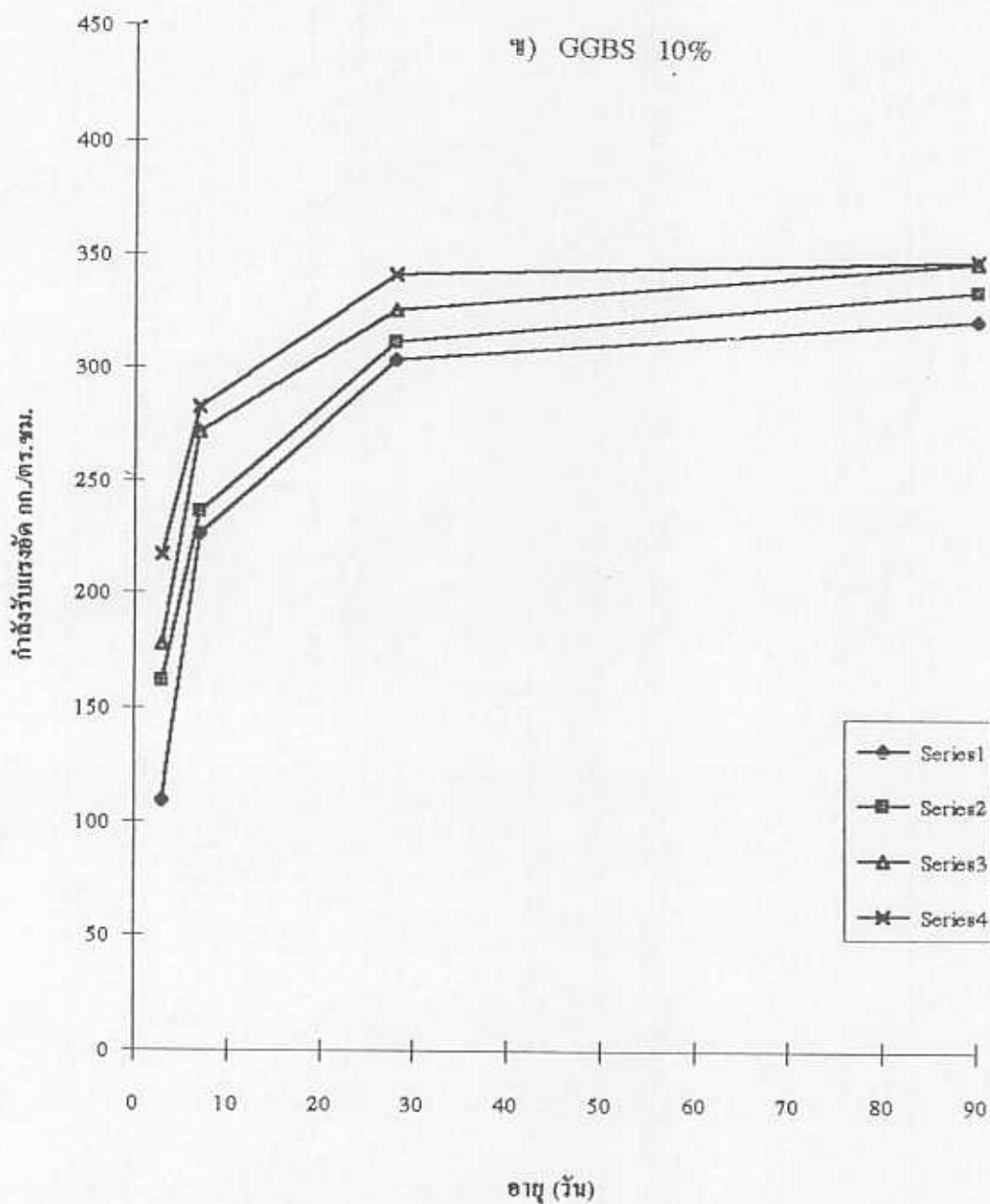
1. ทรายต่อสารซีเมนต์ เท่ากับ 2.75
2. Cement = ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์, GGBS = ตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก
CaCl₂ = กัลเซียมคลอไรด์, W/C = น้ำ/สารซีเมนต์ (โดยน้ำหนัก)



ภาพที่ 4.3 ก. กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก และกัลเซียมคลอไรด์

หมายเหตุ

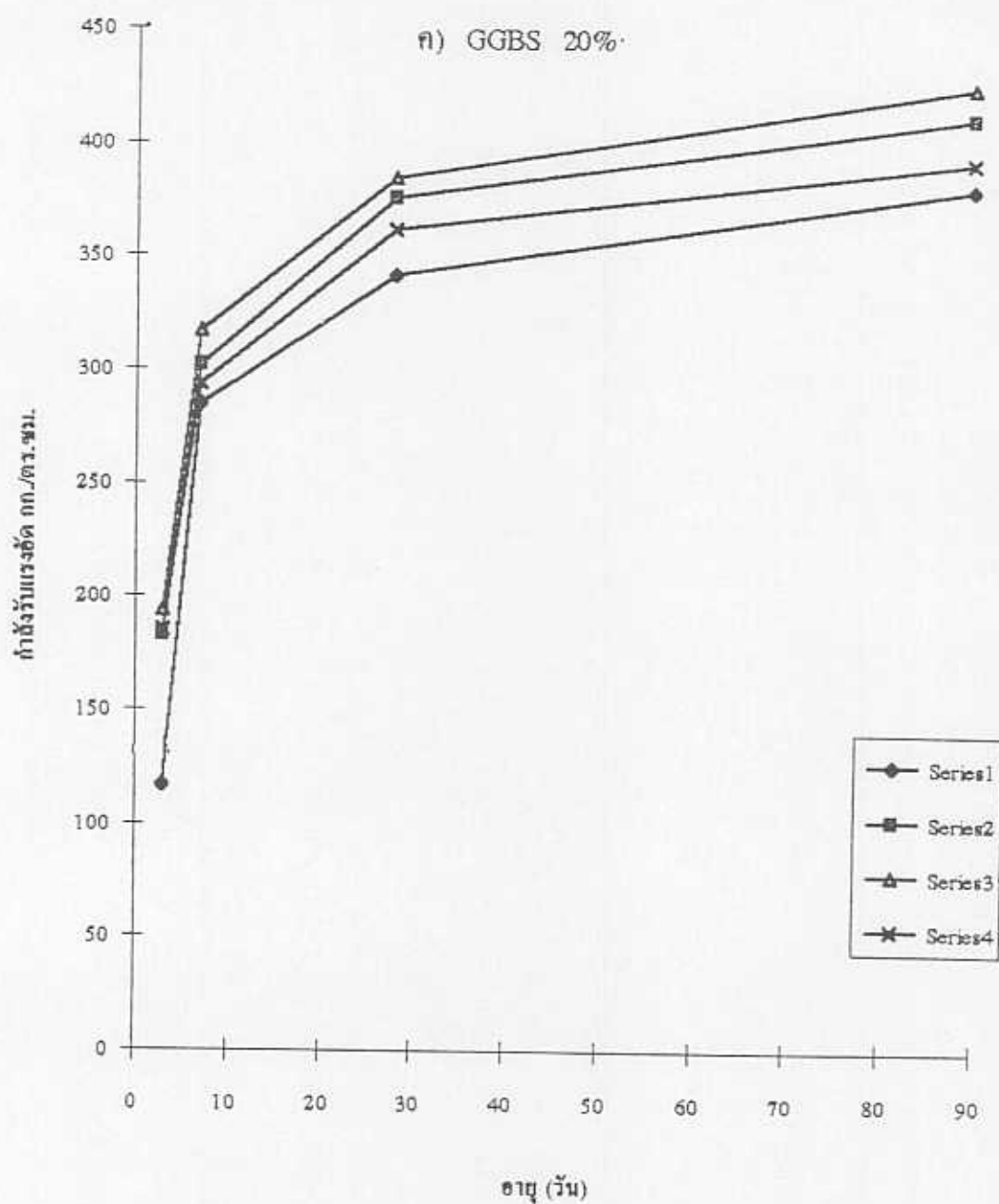
- | | |
|--------------------------------|--------------------------------|
| 1) ชุด 1, CaCl ₂ 0% | 2) ชุด 2, CaCl ₂ 1% |
| 3) ชุด 3, CaCl ₂ 2% | 4) ชุด 4, CaCl ₂ 3% |
| 5) GGBS, ตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก | |



ภาพที่ 4.3 ข กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ผสมตะกรันจากเตาดูงเหล็ก และกัลเชียมคลอไรด์

หมายเหตุ

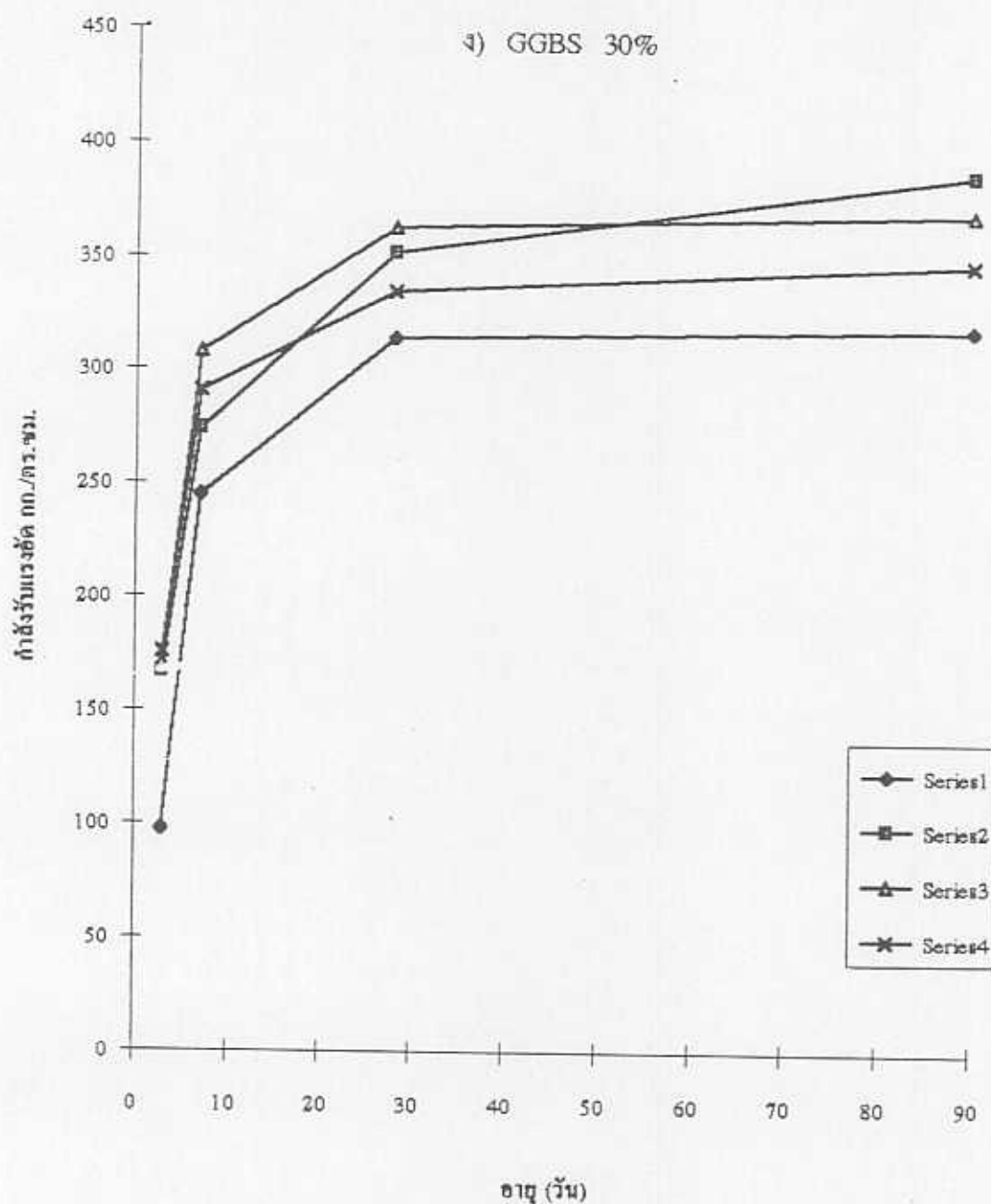
- | | |
|--------------------------------|--------------------------------|
| 1) ชุด 1, CaCl ₂ 0% | 2) ชุด 2, CaCl ₂ 1% |
| 3) ชุด 3, CaCl ₂ 2% | 4) ชุด 4, CaCl ₂ 3% |
| 5) GGBS, ตะกรันจากเตาดูงเหล็ก | |



ภาพที่ 4.3 ก กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก และกัลเซียมคลอไรด์

หมายเหตุ

- | | |
|--------------------------------|--------------------------------|
| 1) ชุด 1, CaCl ₂ 0% | 2) ชุด 2, CaCl ₂ 1% |
| 3) ชุด 3, CaCl ₂ 2% | 4) ชุด 4, CaCl ₂ 3% |
| 5) GGBS, ตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก | |



ภาพที่ 4.3 จ ค่ารับแรงอัดของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ผสมตะกั่วจากเตาถลุงเหล็ก และคลอรีนคลอไรด์

หมายเหตุ

- 1) ชุด 1, CaCl₂ 0%
- 2) ชุด 2, CaCl₂ 1%
- 3) ชุด 3, CaCl₂ 2%
- 4) ชุด 4, CaCl₂ 3%
- 5) GGBS, ตะกั่วจากเตาถลุงเหล็ก

4.5 กำลังรับแรงดึง

ส่วนผสมที่ทำการทดสอบคุณสมบัติกำลังรับแรงดึงประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ผสมผงตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก 0%, 10%, 20% และ 30% และใส่สารคัดเชื่อมคลอไรด์ 0%, 1%, 2% และ 3%

ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็กและคัดเชื่อมคลอไรด์แสดงไว้ในตารางผนวก ง ส่วนตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4 เป็นค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบ

ตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4 ก แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของมอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และใส่สารคัดเชื่อมคลอไรด์ 0%, 1%, 2% และ 3% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามอร์ตาร์ที่ได้จากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วนที่อายุ 7, 28, 56 วัน จะมีกำลังรับแรงดึงต่ำกว่า มอร์ตาร์ที่ได้จากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมสารคัดเชื่อมคลอไรด์เล็กน้อย โดยมอร์ตาร์ที่ได้จากปูนซีเมนต์ผสมสารคัดเชื่อมคลอไรด์ 3% จะมีกำลังรับแรงดึงได้มากที่สุด

ตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4 ข แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของมอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก 10% และสารคัดเชื่อมคลอไรด์ จะเห็นได้ว่ามอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก 10% ให้กำลังรับแรงดึงสูงกว่ามอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานเพิ่มขึ้น การใส่สารคัดเชื่อมคลอไรด์ 1%, 2% มีผลให้กำลังรับแรงดึงสูงขึ้นแต่เมื่อเพิ่มสารคัดเชื่อมคลอไรด์เป็น 3% จะมีผลให้กำลังรับแรงดึงที่อายุ 28, 56 วันลดลงจาก 25.9, 28.5 กก./ตร.ซม. เป็น 24.7, 27.4 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ เนื่องจากปริมาณสารคัดเชื่อมคลอไรด์มากเกินไป ซึ่งผลการทดสอบผลสอดคล้องกับการทดสอบกำลังรับแรงอัด

ตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4 ค แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของมอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก 20% และสารคัดเชื่อมคลอไรด์ จะเห็นได้ว่ามอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมผงตะกรันเหล็ก 20% ให้กำลังรับแรงดึงสูงกว่ามอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ล้วนและมอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก 10% การใส่สารคัดเชื่อม

คลอไรด์ 1%, 2% มีผลให้กำลังรับแรงดึงสูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่มสารคลอไรด์เป็น 3% จะมีผลให้กำลังรับแรงดึงลดลงเล็กน้อย เนื่องจากเหตุผลที่กล่าวแล้วข้างต้น

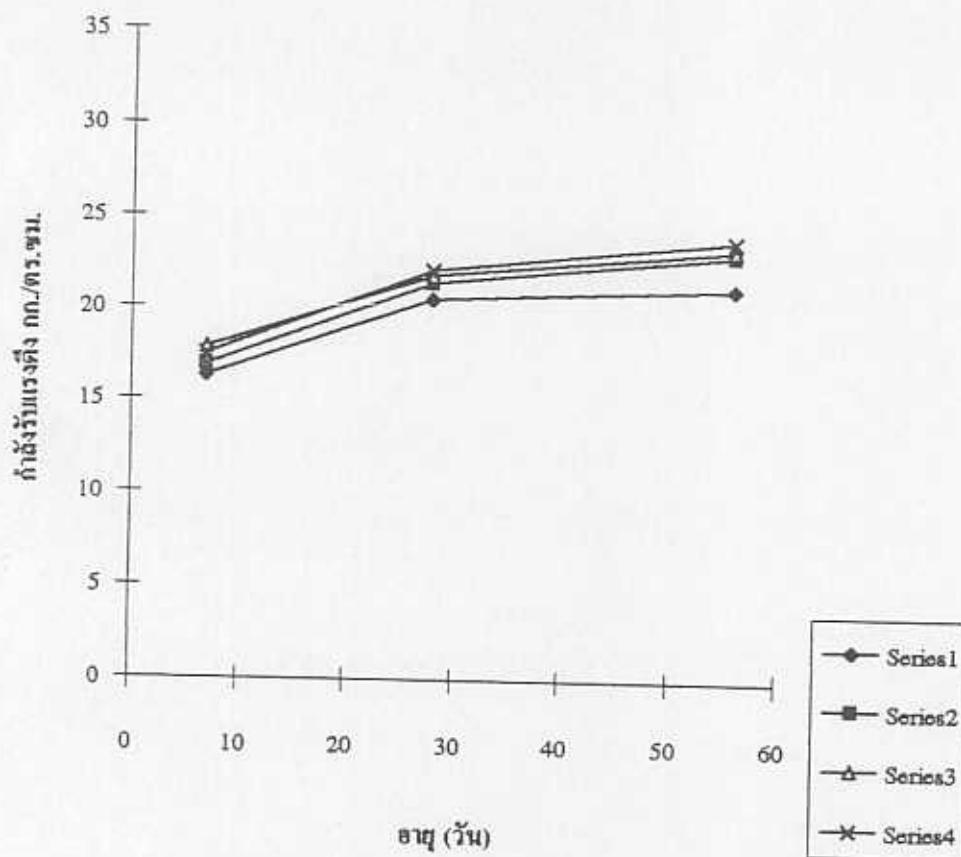
ตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4 ง แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของมอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก 30% และสารคลอไรด์ จะเห็นได้ว่ามอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก 30% ให้กำลังรับแรงดึงสูงกว่ามอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน และให้กำลังรับแรงดึงที่อายุ 7, 28, 56 วัน ใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก 10% แต่ให้กำลังรับแรงดึงน้อยกว่ามอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก 20% ซึ่งมอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก 20% และสารคลอไรด์ 2% จะให้กำลังรับแรงดึงที่อายุ 7, 28, 56 วัน สูงสุด ซึ่งผลการทดสอบสอดคล้องกับการทดสอบกำลังอัด

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสม
ตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก และแคลเซียมคลอไรด์

Cement : GGBS : CaCl ₂	ความชื้นเหลว ปกติ (%)	W/C	กำลังรับแรงดึง กก./ตร.ซม.		
			7วัน	28วัน	56วัน
100 : 0 : 0	28.7	0.51	16.3	20.5	21.2
100 : 0 : 1	27.8	0.52	16.9	21.4	23.0
100 : 0 : 2	31.7	0.52	17.8	21.8	23.3
100 : 0 : 3	31.9	0.53	17.5	22.1	23.8
90 : 10 : 0	29.2	0.52	19.4	24.5	26.3
90 : 10 : 1	30.7	0.53	19.7	25.1	28.2
90 : 10 : 2	31.2	0.53	20.6	25.9	28.5
90 : 10 : 3	31.9	0.54	21.2	24.7	27.4
80 : 20 : 0	28.7	0.53	20.5	26.7	29.4
80 : 20 : 1	30.7	0.52	22.9	28.5	30.8
80 : 20 : 2	30.5	0.53	24.7	28.2	31.3
80 : 20 : 3	31.6	0.53	23.6	27.4	30.5
70 : 30 : 0	29.0	0.52	20.1	23.8	27.6
70 : 30 : 1	29.8	0.52	22.5	25.2	28.2
70 : 30 : 2	30.8	0.53	21.6	26.3	28.8
70 : 30 : 3	31.4	0.54	21.9	26.8	29.1

- หมายเหตุ 1. อัตราส่วนทรายต่อสารซีเมนต์ = 3 : 1
 2. Cement : ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
 3. GGBS : ตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก
 4. CaCl₂ : สารแคลเซียมคลอไรด์

ก) GGBS 0%

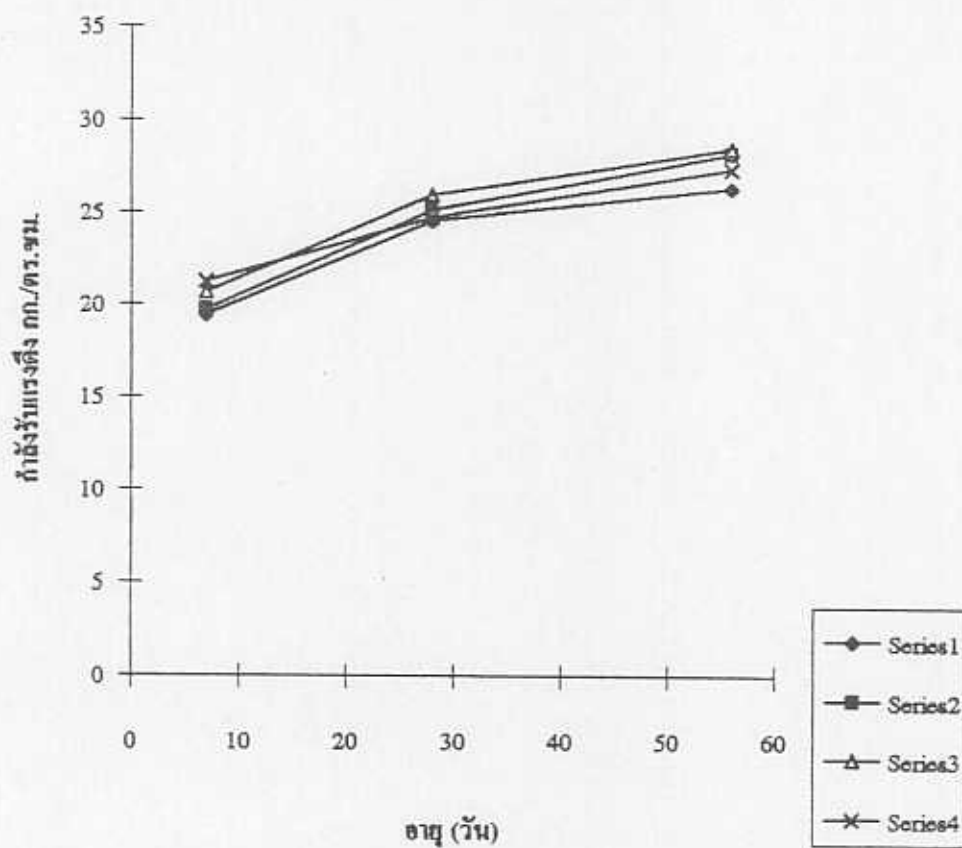


ภาพที่ 4.4 ก กำลังรับแรงดิ่งของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ผสมตะกั่วจากเตาถลุงเหล็ก และคลอรีนคลอไรด์

หมายเหตุ

- 1) ชุด 1, CaCl₂ 0%
- 2) ชุด 2, CaCl₂ 1%
- 3) ชุด 3, CaCl₂ 2%
- 4) ชุด 4, CaCl₂ 3%
- 5) GGBS, ตะกั่วจากเตาถลุงเหล็ก

๑) GGBS 10%

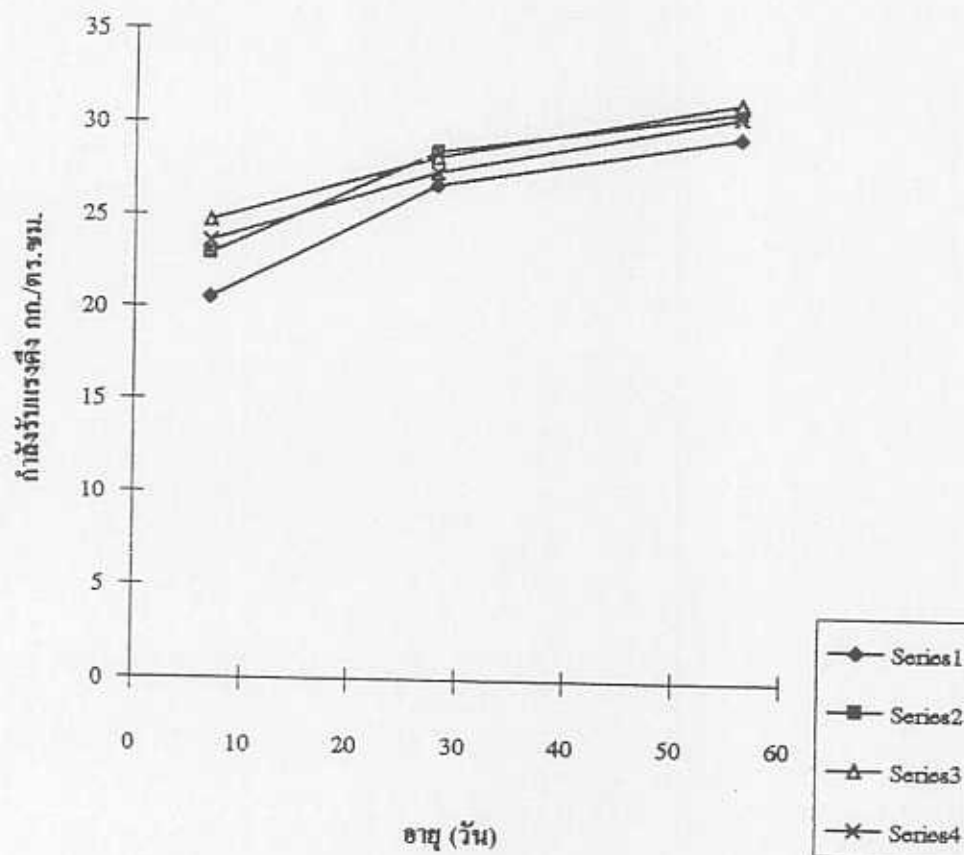


ภาพที่ 4.4 ข กำลังรับแรงดิ่งของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก และกัลเซียมคลอไรด์

หมายเหตุ

- 1) ชุด 1, CaCl₂ 0%
- 2) ชุด 2, CaCl₂ 1%
- 3) ชุด 3, CaCl₂ 2%
- 4) ชุด 4, CaCl₂ 3%
- 5) GGBS, ตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก

ก) GGBS 20%

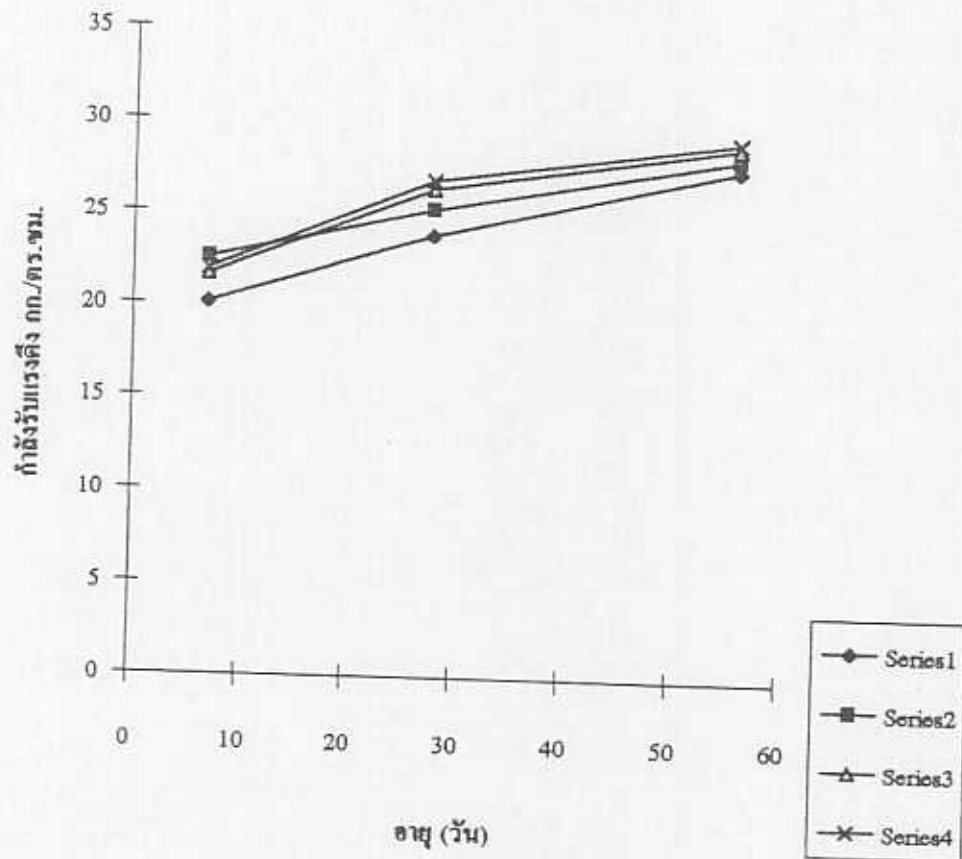


ภาพที่ 4.4 ก กำลังรับแรงดิ่งของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก และกัลเซียมคลอไรด์

หมายเหตุ

- 1) ชุด 1, CaCl_2 0%
- 2) ชุด 2, CaCl_2 1%
- 3) ชุด 3, CaCl_2 2%
- 4) ชุด 4, CaCl_2 3%
- 5) GGBS, ตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก

ง) GGBS 30%



ภาพที่ 4.4 ง กำลังรับแรงดิ่งของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ผสมตะกั่วจาก
เตาถลุงเหล็ก และคลอรีนคลอไรด์

หมายเหตุ

- 1) ชุด 1, CaCl_2 0%
- 2) ชุด 2, CaCl_2 1%
- 3) ชุด 3, CaCl_2 2%
- 4) ชุด 4, CaCl_2 3%
- 5) GGBS, ตะกั่วจากเตาถลุงเหล็ก

4.6 โมดูลัสความยืดหยุ่น

ส่วนผสมของมอร์ตาร์ที่ทำการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียด เพื่อนำไปใช้หาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก 0%, 10%, 20%, 30% และใช้อัตราส่วนน้ำต่อสารซีเมนต์เท่ากับ 0.66 และส่วนผสมที่ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็กและกัลเซียมคลอไรด์โดยใช้อัตราส่วนผสม 100 : 0 : 3 และ 70 : 30 : 3 โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อสารซีเมนต์เท่ากับ 0.66 นอกจากนั้นยังได้ทำการทดสอบหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของซีเมนต์เพสต์โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็กในอัตรา 100 : 0 และ 70 : 30 ซึ่งใช้อัตราส่วนน้ำต่อสารซีเมนต์เท่ากับ 0.66 ทำการทดสอบที่อายุ 1 และ 3 วัน

ตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.5, 4.6 แสดงผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดและความเครียดของมอร์ตาร์ที่ได้จากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก และมอร์ตาร์ที่ได้จากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็กและกัลเซียมคลอไรด์ จะเห็นได้ว่ามอร์ตาร์ที่มีส่วนผสมของตะกรันจากเตาถลุงเหล็กที่อายุ 1 และ 3 วัน จะมีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นต่ำกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่ได้ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก โดยมีมอร์ตาร์ที่ผสมตะกรัน 30% จะมีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นที่อายุ 1 วัน และ 3 วันเท่ากับ 0.8×10^5 และ 0.98×10^5 กก./ตร.ซม. เมื่อเทียบกับที่ไม่ใส่ตะกรันซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.0×10^5 และ 2.52×10^5 และมอร์ตาร์ที่มีส่วนผสมของตะกรันจากเตาถลุงเหล็กและใส่สารกัลเซียมคลอไรด์ปริมาณ 3% ทดสอบที่อายุ 1 วันและ 3 วันจะให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสูงขึ้นแต่ก็ยังต่ำกว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของมอร์ตาร์ที่ไม่ได้ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก ซึ่งการทดสอบหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นนี้สอดคล้องกับกับผลของกำลังรับแรงอัด แสดงให้เห็นว่าค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นนี้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ และผลจากการใส่กัลเซียมคลอไรด์จะมีผลต่อการเพิ่มค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นเป็นอย่างมากสำหรับมอร์ตาร์ที่ได้จากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก แต่จะมีผลไม่มากนักสำหรับมอร์ตาร์ที่ได้จากปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียว นอกจากนั้นจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าตะกรันจากเตาถลุงเหล็กทำปฏิกิริยาและพัฒนากำลังรับแรงอัดได้ช้า

กว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่าง หน่วยแรงอัดและความเครียดของซีเมนต์เพสต์ที่ได้จากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสม ตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก จะเห็นได้ว่าที่อายุ 1 และ 3 วันค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของ ซีเมนต์เพสต์จะมีค่าต่ำกว่าค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของมอร์ตาร์มากแสดงให้เห็นว่า ซีเมนต์ เพสต์มีการพัฒนาด้านกำลังช้ากว่ามอร์ตาร์ และซีเมนต์เพสต์ที่ผสมตะกรัน จากเตาถลุงเหล็กจะให้ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นต่ำกว่าซีเมนต์เพสต์ไม่ได้ผสมตะกรัน จากเตาถลุงเหล็ก ซึ่งผลสอดคล้องกับการทดสอบมอร์ตาร์

ตารางที่ 4.7 และ ตารางที่ 4.8 แสดงผลค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นซึ่ง วิเคราะห์โดยใช้วิธีแทนเจนต์เริ่มต้น (Initial Tangent Method) ซึ่งค่าโมดูลัส ความยืดหยุ่นสูงสุดที่วัดได้เป็นของมอร์ตาร์ที่ได้จากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วนและ ใส่กลีตเชื่อมคลอไรด์ในอัตรา 3% ที่อายุ 3 วันมีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นเท่ากับ 3.15×10^5 กก./ตร.ซม. ส่วนค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นต่ำสุดเป็นของซีเมนต์เพสต์ที่ได้จากปูน ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็กในอัตรา 70 : 30 ซึ่งให้ค่าโมดูลัส ความยืดหยุ่นต่ำเพียง 2.39×10^5 กก./ตร.ซม.

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดและความเครียด
ของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก และกัลเซียม
คลอไรด์ (W/C = 0.66)

หน่วยแรงอัด กก./ ตร.ซม.	ความเครียด $\times 10^{-5}$ (ซม./ซม.)					
	อัตราส่วนผสม, ปูนซีเมนต์ : ตะกรัน : กัลเซียมคลอไรด์					
	100: 0: 0	90: 10: 0	80: 20: 0	70: 30: 0	100: 0: 3	70: 30: 3
1.117	0	0	0.333	0.999	0	0
2.234	0.333	0.666	1.333	2.333	0	0.333
3.351	0.999	1.333	2.666	3.333	0.333	0.666
4.468	1.333	1.666	3.666	4.666	0.666	0.999
5.585	1.999	2.666	4.999	6.332	0.999	1.666
6.702	2.666	3.333	6.666	7.999	1.333	2.333
7.819	2.999	3.999	7.666	8.999	1.999	2.666
8.936	3.666	4.999	9.332	10.665	2.666	3.333
10.053	4.666	5.666	10.665	11.999	2.999	3.666
11.170	5.332	6.332	11.665	13.332	3.666	4.334
12.287	6.332	7.332	12.665	14.999	4.332	5.333
13.404	6.999	8.332	14.333	16.332	4.666	5.999
14.521	7.665	8.999	15.665	17.998	4.999	6.999
15.638	8.332	9.665	17.332	18.998	5.666	7.332
16.755	8.999	10.665	18.332	20.331	6.332	7.999

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดและความเครียด
ของซีเมนต์พอสปูนซีเมนต์ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก (W/C=0.66)

หน่วยแรงอัด กก./ ตร.ซม	ความเครียด $\times 10^{-5}$ (ชม./ชม.) อัตราส่วนผสม, ปูนซีเมนต์ : ตะกรัน	
	100 : 0	70 : 30
1.117	0	1.333
2.234	1.998	3.333
3.351	2.999	5.666
4.468	4.999	7.999
5.585	6.666	10.665
6.702	7.999	12.998
7.819	9.666	15.331
8.936	10.999	17.998
10.053	12.665	19.664
11.170	14.319	22.331
12.287	15.665	24.664
13.404	17.665	27.331
14.521	18.998	29.664
15.638	20.665	32.330
16.755	21.998	34.996

ตารางที่ 4.7 แสดงผลค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของมอร์ตาร์ที่ได้จากปูนซีเมนต์ผสม
ตะกรันจากเตาถลุงเหล็กและคัลเซียมคลอไรด์
(W/C = 0.66; Age 1 day)

Cement:GGBS:CaCl ₂	หน่วยแรงอัด กก./ตร.ซม.	ความเครียด ซม./ซม.	โมดูลัสความยืดหยุ่น กก./ตร.ซม.
100 : 0 : 0	5	25 10	2.0 10
90 : 10 : 0	5	29.1 10	1.7 10
80 : 20 : 0	10	104.1 10	0.9 10
70 : 30 : 0	5	62.5 10	0.8 10
100 : 0 : 3	5	17.5 10	2.8 10
70 : 30 : 3	5	26.25 10	1.9 10

ตารางที่ 4.8 แสดงผลค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของซีเมนต์เพสต์ที่ได้จากปูนซีเมนต์
ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก (W/C=0.66; Age 1 day)

Cement : GGBS	หน่วยแรงอัด กก./ตร.ซม.	ความเครียด ซม./ซม.	โมดูลัสความยืดหยุ่น กก./ตร.ซม.
70 : 30	5	112.5 10	0.4 10
100 : 0	5	67.5 10	0.74 10

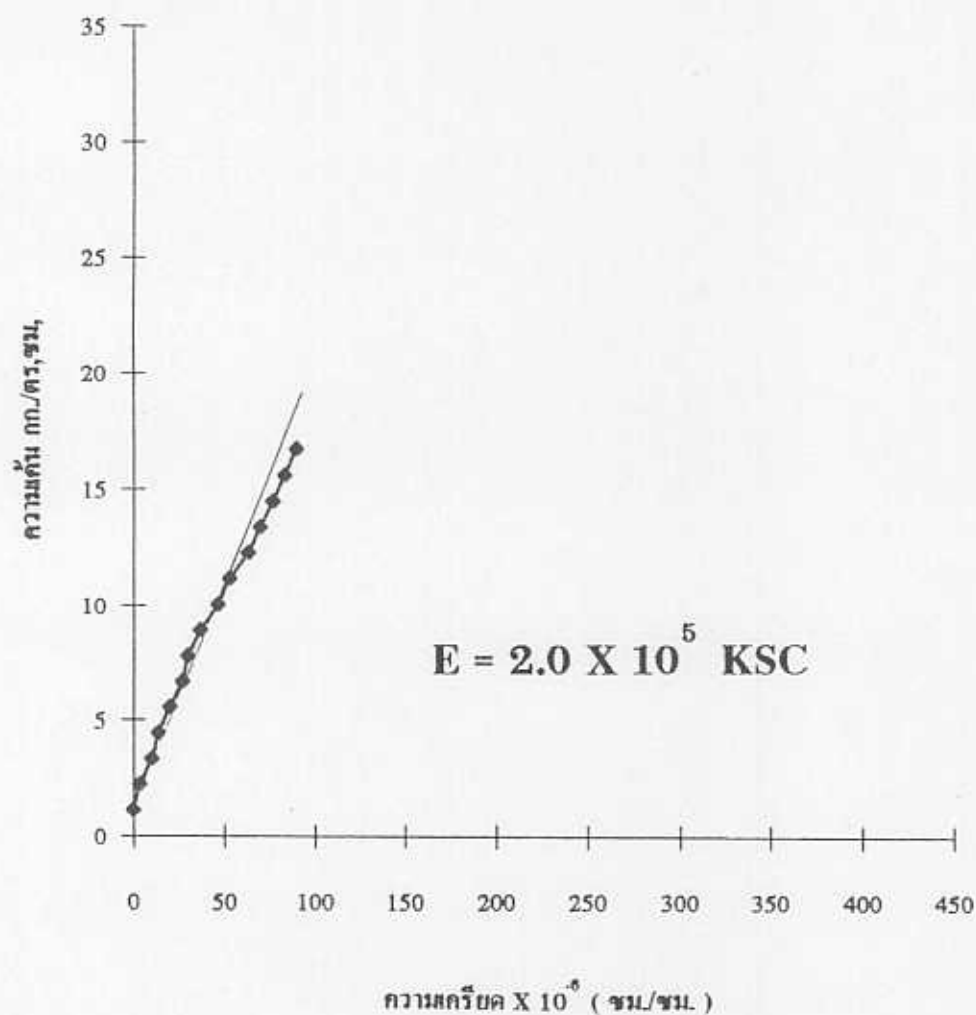
ตารางที่ 4.7 แสดงผลค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของมอร์ตาร์ที่ได้จากปูนซีเมนต์ผสม
ตะกรันจากเตาถลุงเหล็กและกัลเซียมคลอไรด์
(W/C = 0.66; Age 3 day)

Cement:GGBS:CaCl ₂	หน่วยแรงอัด กก./ตร.ซม.	ความเครียด ชม./ชม.	โมดูลัสความยืดหยุ่น กก./ตร.ซม.
100 : 0 : 0	10	39.58 10	2.52 10
90 : 10 : 0	10	56.25 10	1.78 10
80 : 20 : 0	5	38.33 10	1.3 10
70 : 30 : 0	10	102.08 10	0.98 10
100 : 0 : 3	10	31.67 10	3.15 10
70 : 30 : 3	10	41.67 10	2.39 10

ตารางที่ 4.8 แสดงผลค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของซีเมนต์พิเศษที่ได้จากปูนซีเมนต์
ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก (W/C=0.66; Age 3 day)

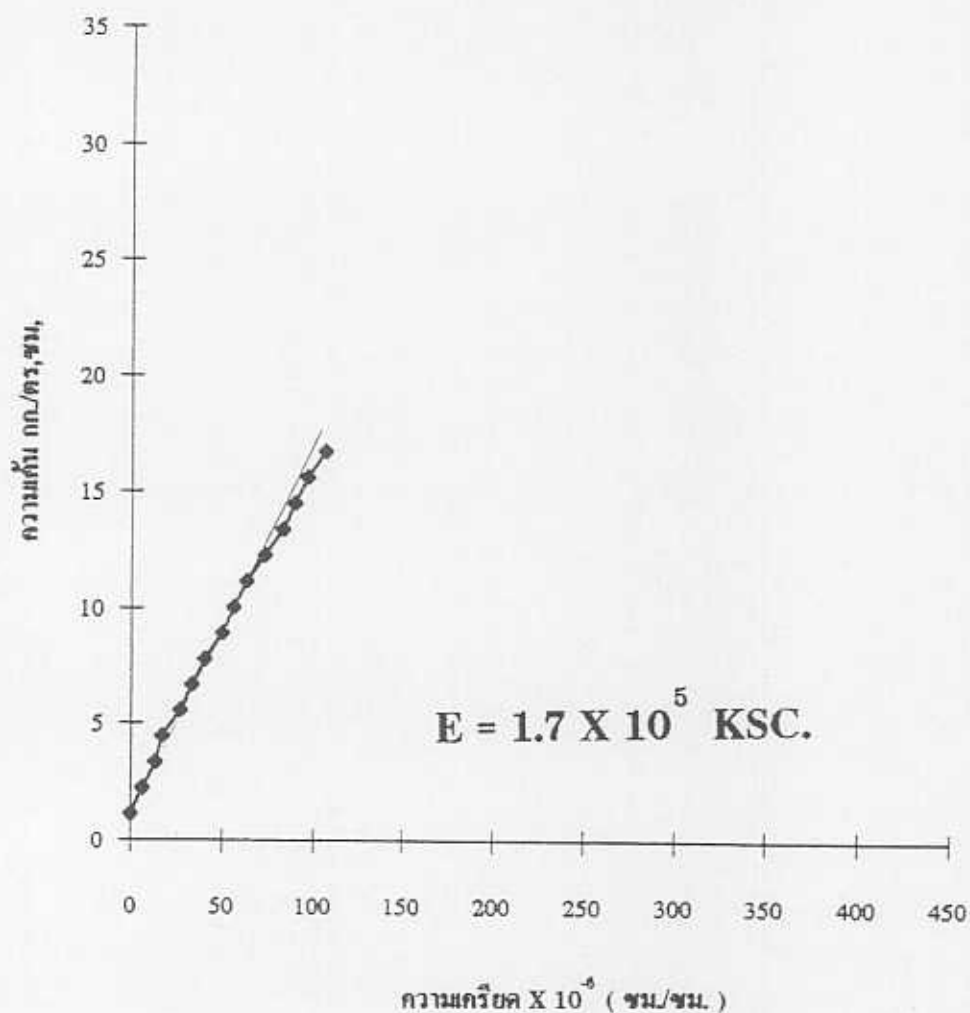
Cement : GGBS	หน่วยแรงอัด กก./ตร.ซม.	ความเครียด ชม./ชม.	โมดูลัสความยืดหยุ่น กก./ตร.ซม.
70 : 30	10	144.58 10	0.69 10
100 : 0	10	31.67 10	3.15 10

Mortar; Cement: GGBS: CaCl_2 = 100: 0: 0 (Age 1 day)



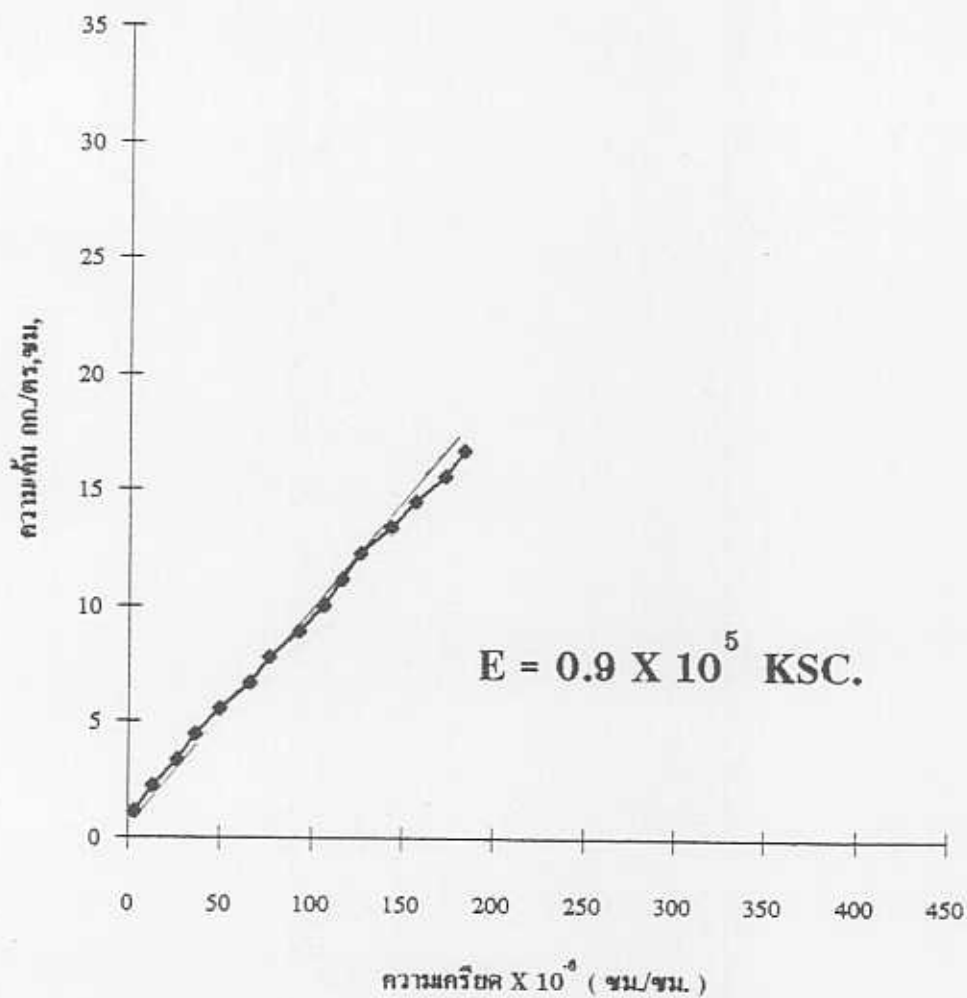
ภาพที่ 4.6 ก ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดของมอร์ตาร์
ปูนซีเมนต์ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็กและกัลเซียมคลอไรด์
(W/C = 0.66 ; Age 1 Days)

Mortar: Cement: GGBS: CaCl_2 = 90: 10: 0 (Age 1 day)



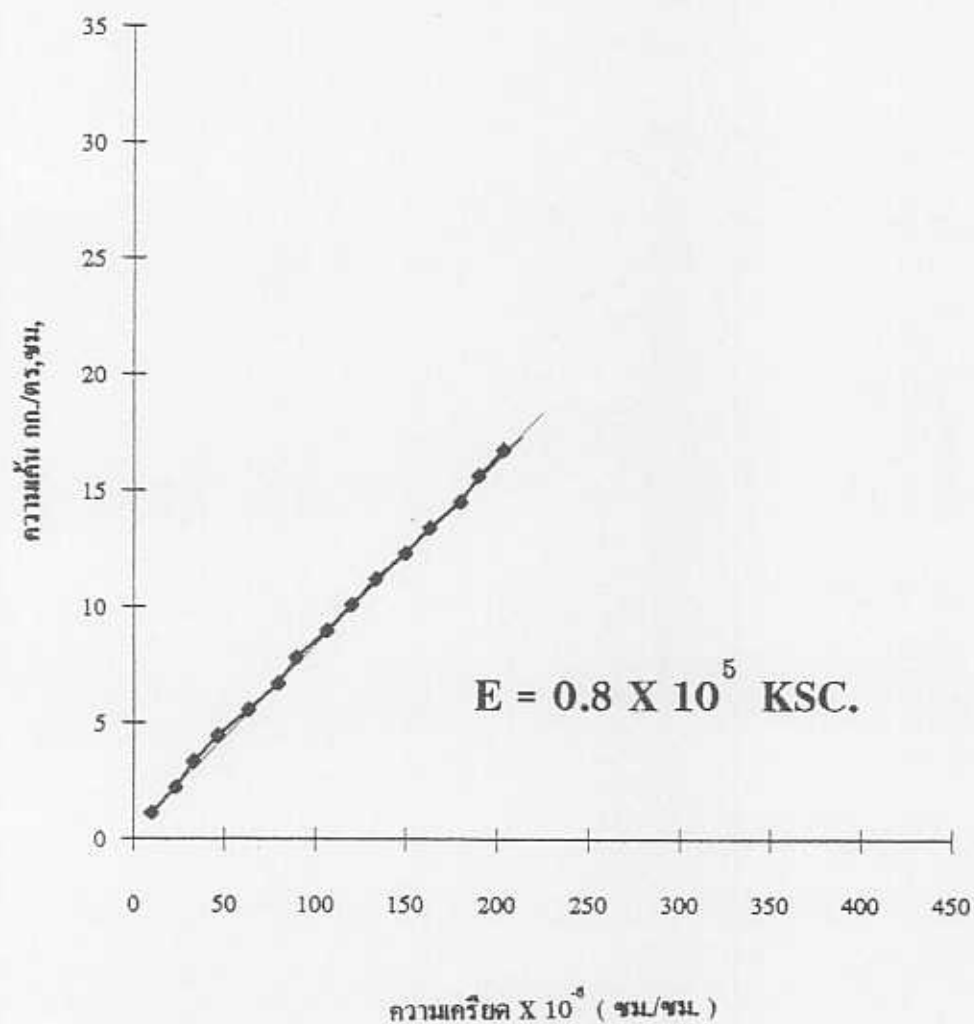
ภาพที่ 4.6 ข ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดของมอร์ตาร์
ปูนซีเมนต์ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็กและคัลเซียมคลอไรด์
(W/C = 0.66 ; Age 1 Days)

Mortar; Cement: GGBS: CaCl_2 = 80: 20: 0 (Age 1 day)



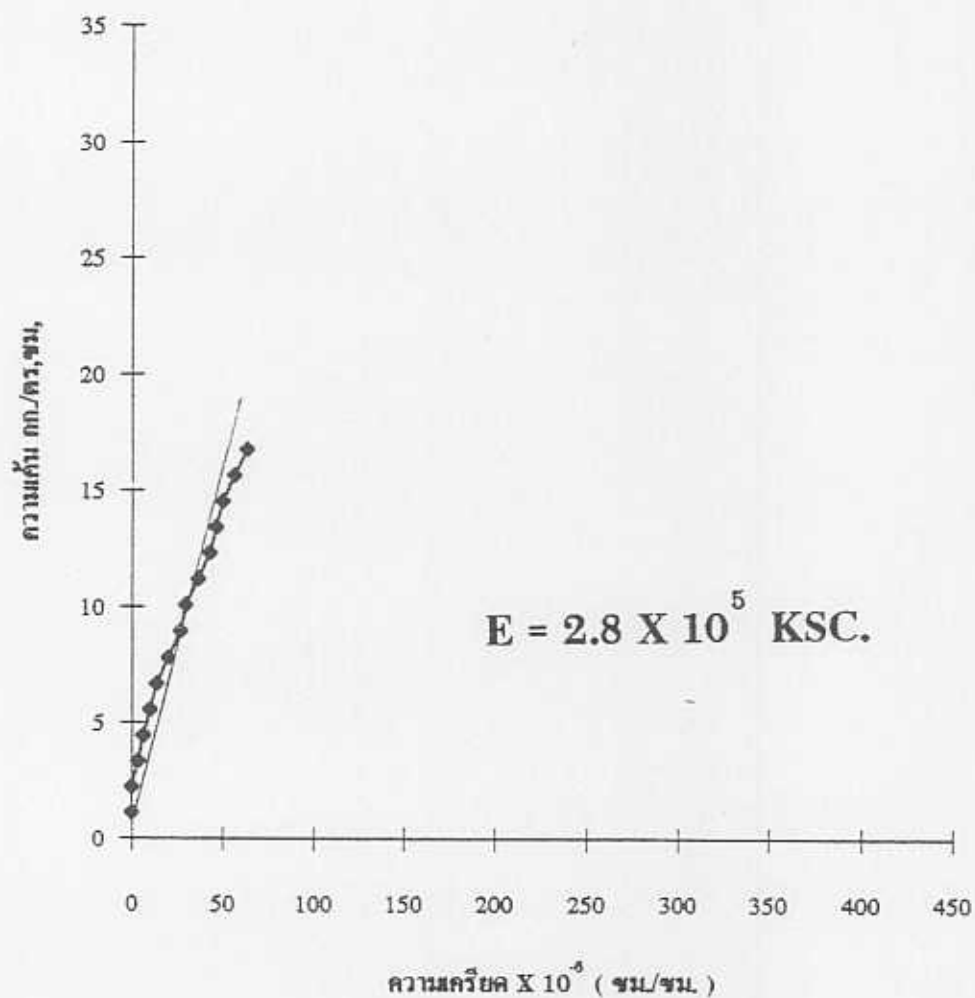
ภาพที่ 4.6 ก ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดของมอร์ตาร์
ปูนซีเมนต์ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็กและกัลเซียมคลอไรด์
(W/C = 0.66 ; Age 1 Days)

Mortar; Cement: GGBS: CaCl_2 = 70: 30: 0 (Age 1 day)



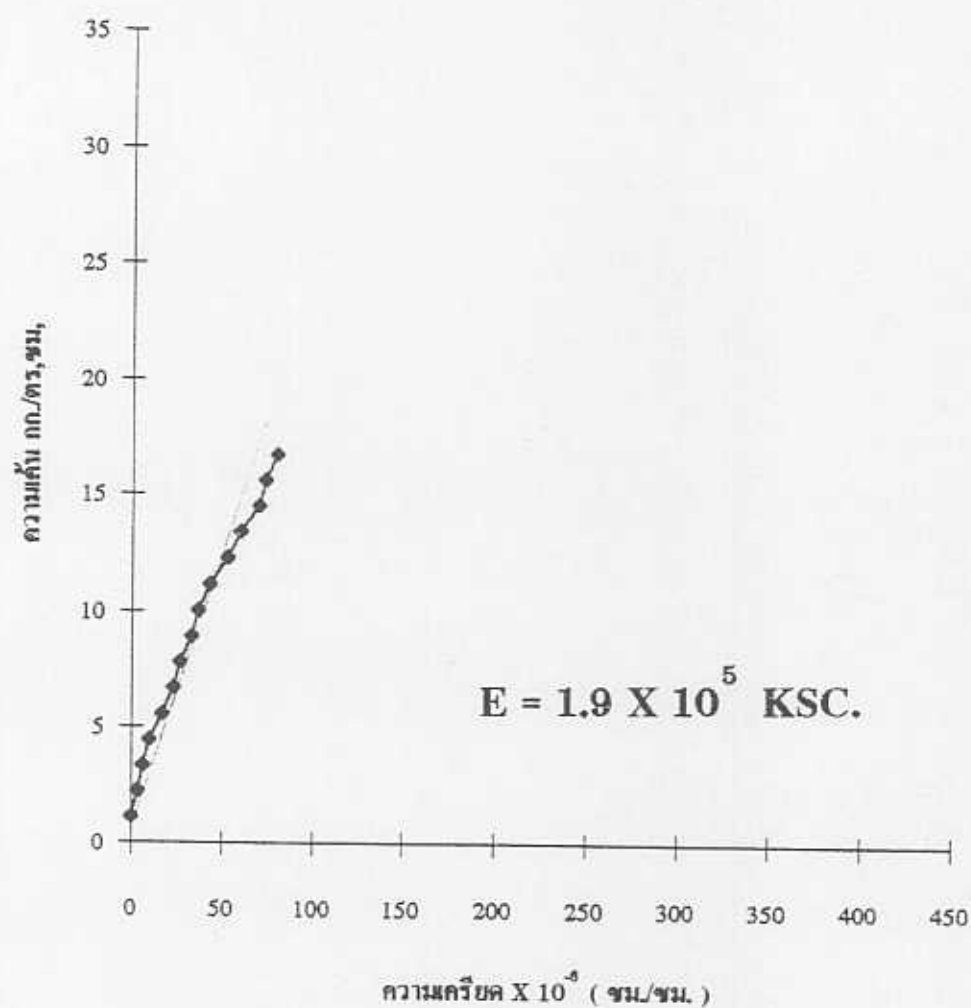
ภาพที่ 4.6 ง ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดของมอร์ตาร์
ปูนซีเมนต์ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็กและคลีเซียมคลอไรด์
(W/C = 0.66 ; Age 1 Days)

Mortar; Cement: GGBS: CaCl_2 = 100: 0: 3 (Age 1 day)



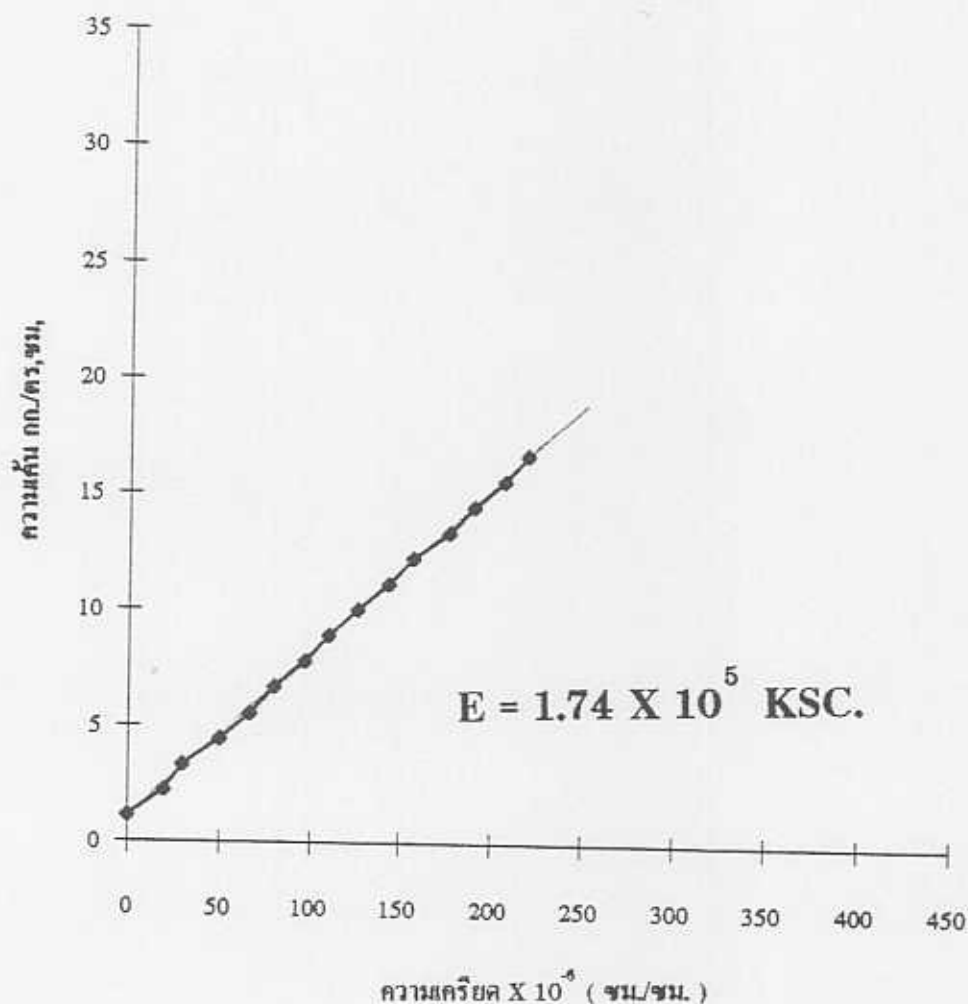
ภาพที่ 4.6 จ ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดของมอร์ตาร์
ปูนซีเมนต์ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็กและคัลเซียมคลอไรด์
($W/C = 0.66$; Age 1 Days)

Mortar; Cement: GGBS: CaCl_2 = 70: 30: 3 (Age 1 day)



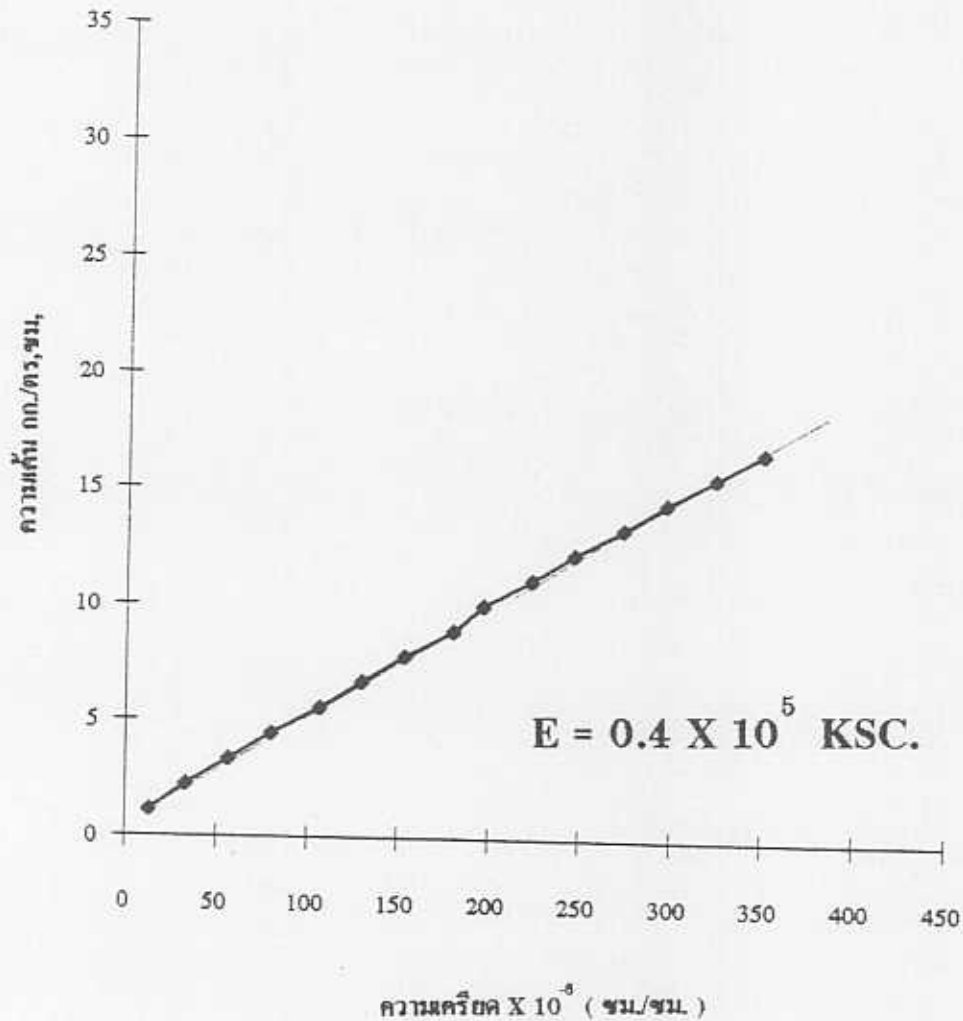
ภาพที่ 4.6 ณ ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดของมอร์ตาร์
ปูนซีเมนต์ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็กและคัลเซียมคลอไรด์
(W/C = 0.66 ; Age 1 Days)

Cement paste; Cement: GGBS = 100: 0 (Age 1 day)



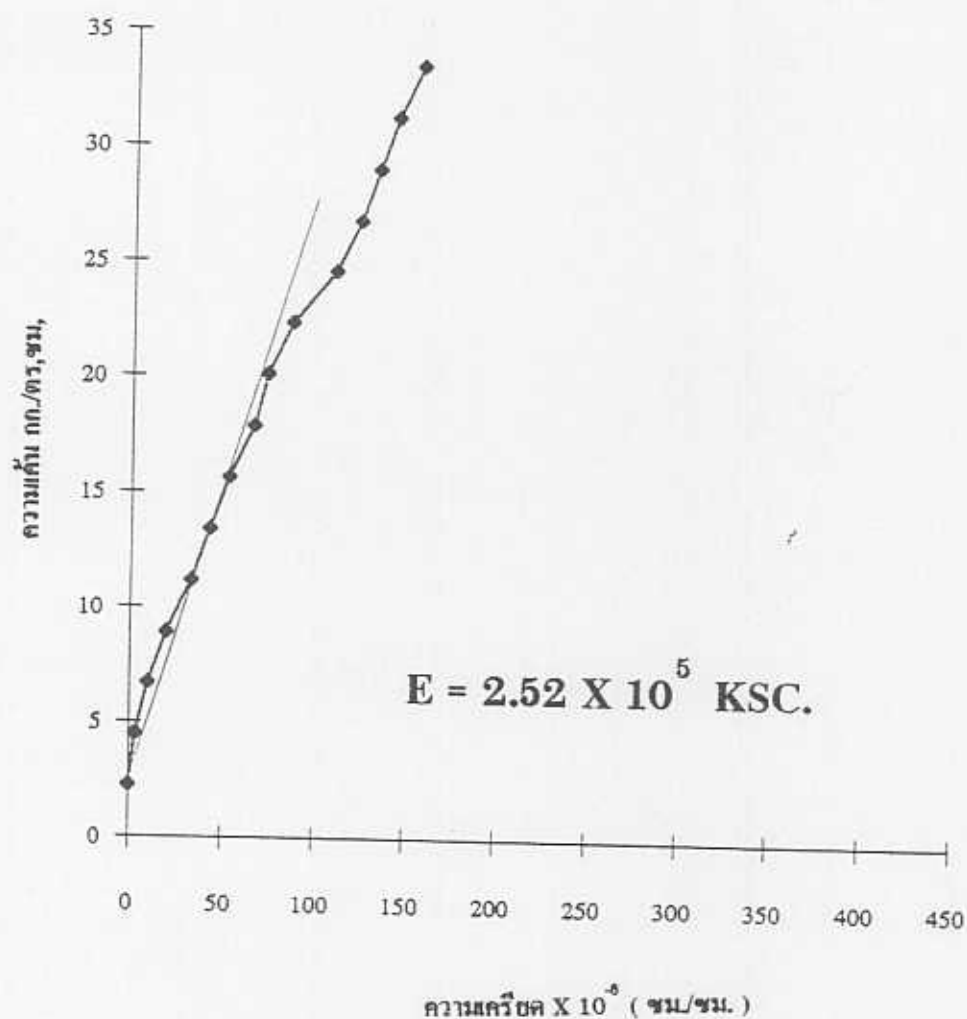
ภาพที่ 4.7 ก ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดของซีเมนต์เฟลสปูนซีเมนต์ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็กและคัลเซียมคลอไรด์
(W/C = 0.66 ; Age 1 Day)

Cement paste; Cement: GGBS = 70: 0 (Age 1 day)



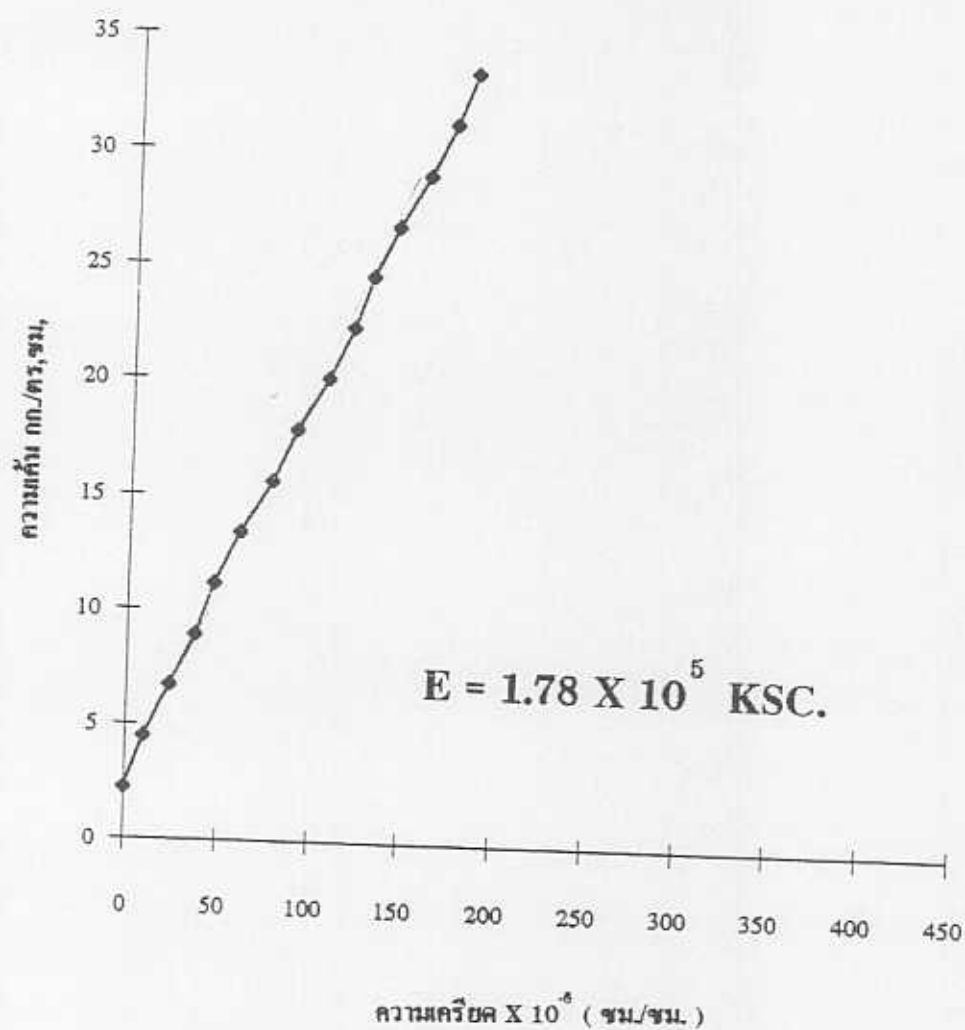
ภาพที่ 4.7 ข ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดของซีเมนต์เฟลสปูนซีเมนต์ผสมตะกั่วจากเตาถลุงเหล็กและคัลเซียมคลอไรด์
(W/C = 0.66 ; Age 1 Day)

Mortar: Cement: GGBS: CaCl_2 = 100: 0: 0 (Age 3 day)



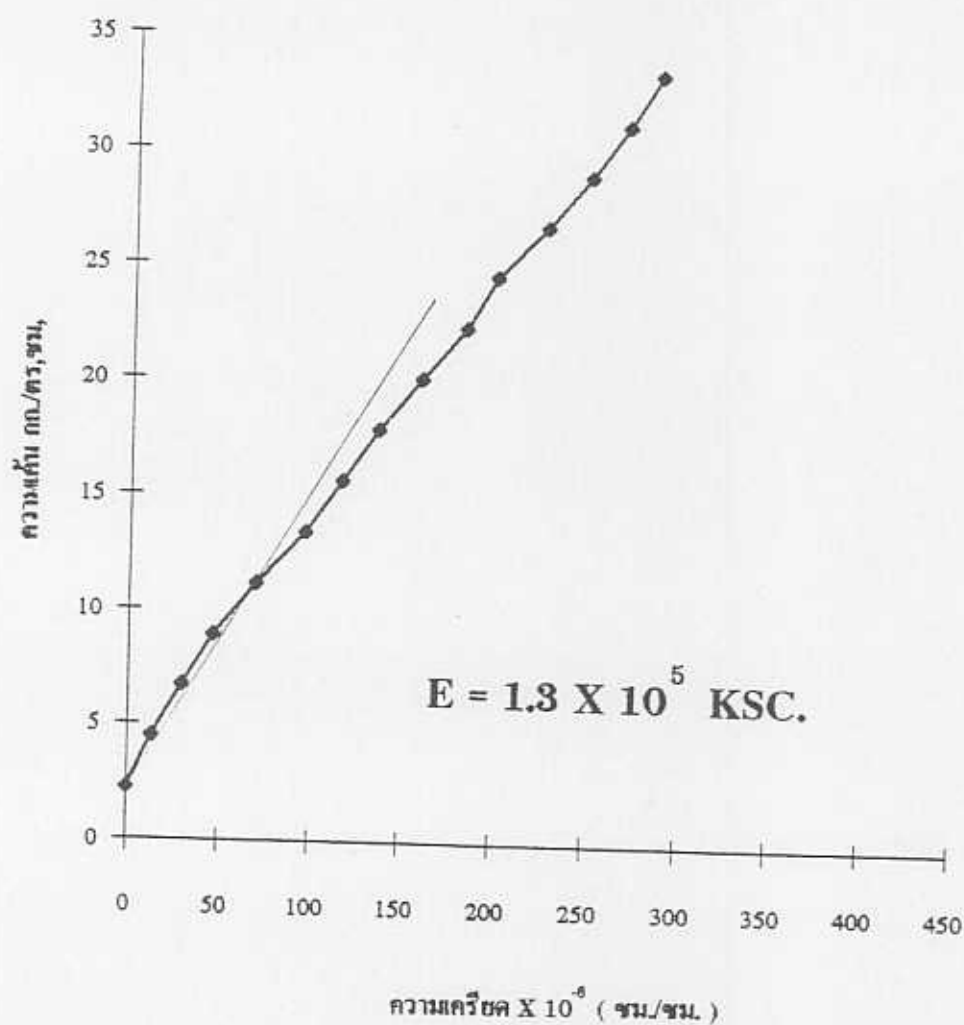
ภาพที่ 4.8 ก ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดของมอร์ตาร์
ปูนซีเมนต์ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็กและกัลเซียมคลอไรด์
(W/C = 0.66 ; Age 3 Days)

Mortar; Cement: GGBS: CaCl_2 = 90: 10: 0 (Age 3 day)



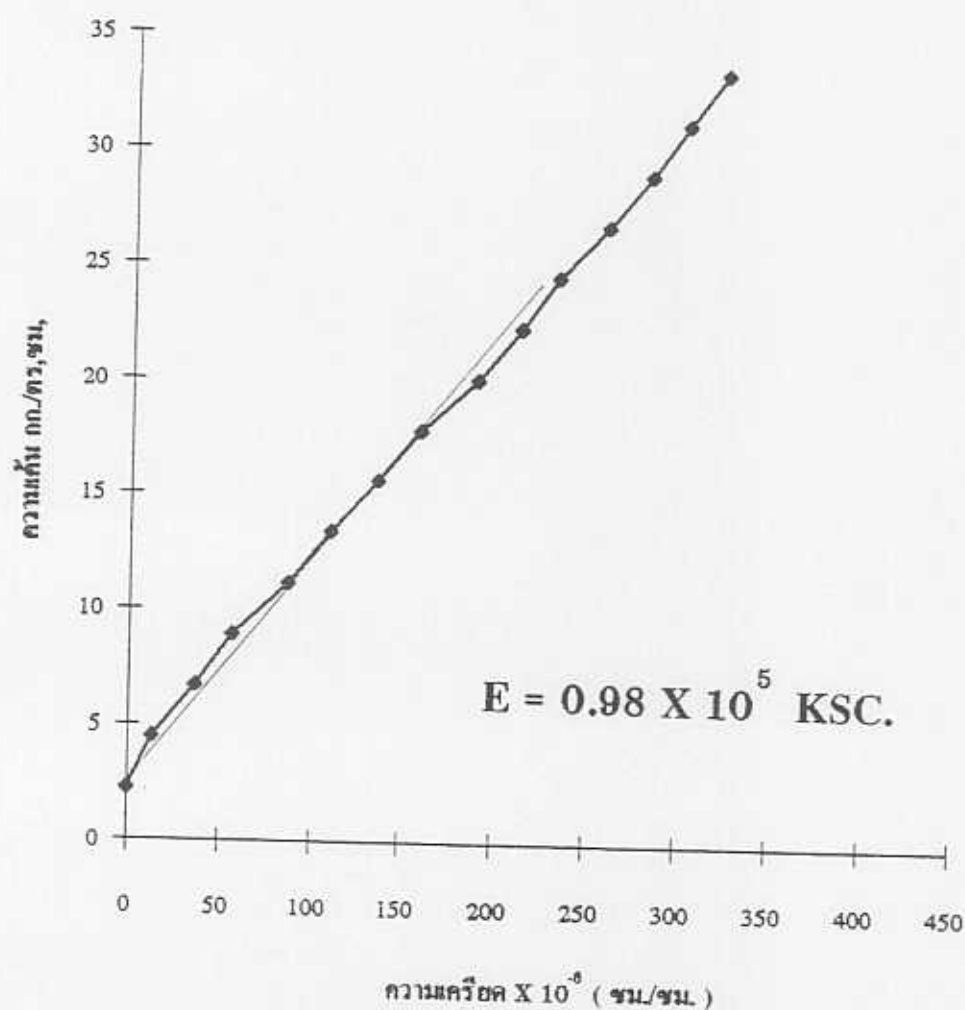
ภาพที่ 4.8 ข ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดของมอร์ตาร์
ปูนซีเมนต์ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็กและคัลเซียมคลอไรด์
(W/C = 0.66 ; Age 3 Days)

Mortar; Cement: GGBS: CaCl_2 = 80: 20: 0 (Age 3 day)



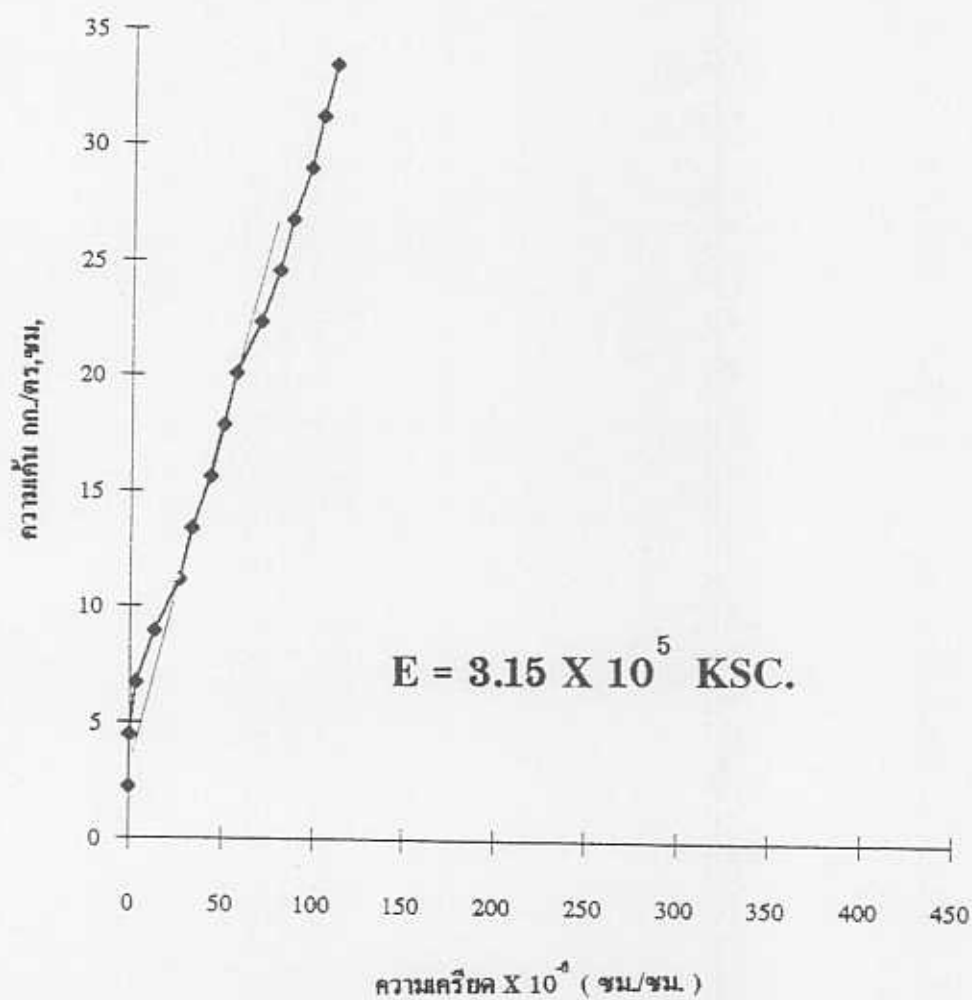
ภาพที่ 4.8 ค ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดของมอร์ตาร์
ปูนซีเมนต์ผสมตะกั่วจากเตาถลุงเหล็กและคัลเซียมคลอไรด์
(W/C = 0.66 ; Age 3 Days)

Mortar; Cement: GGBS: CaCl_2 = 70: 30: 0 (Age 3 day)



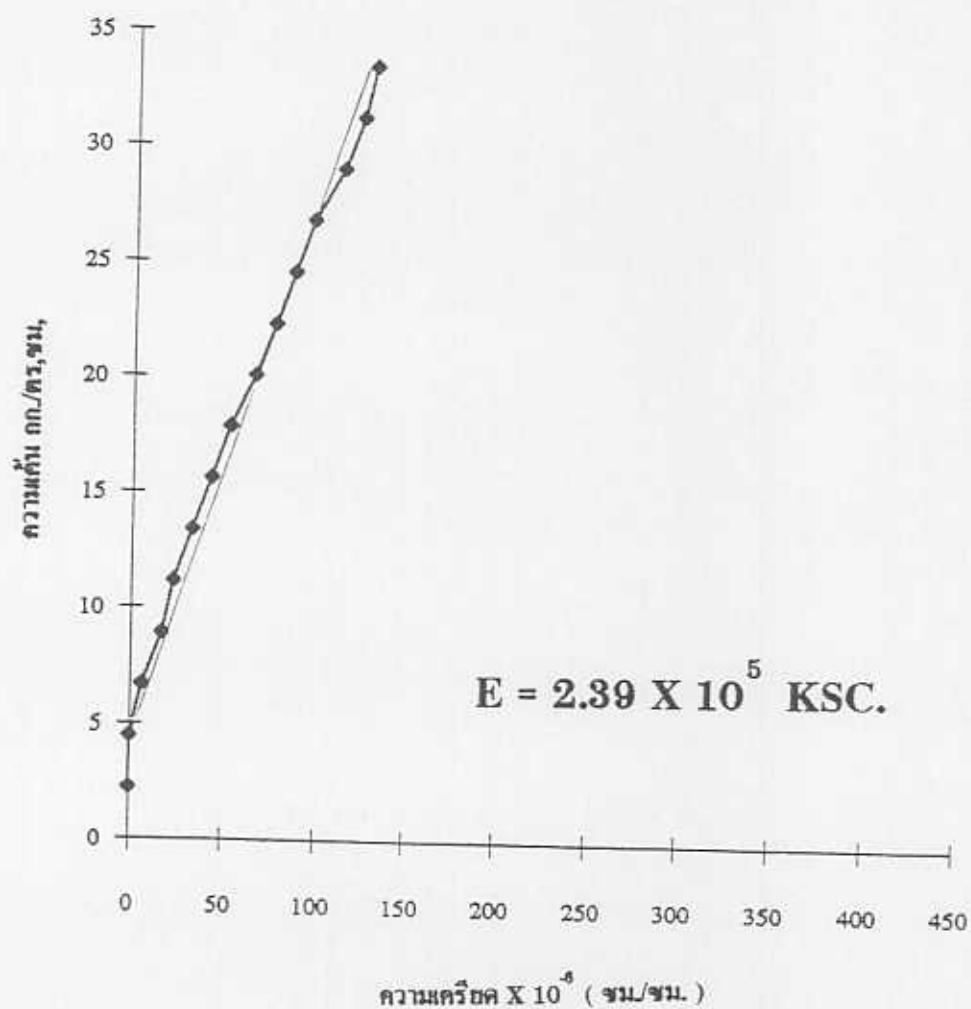
ภาพที่ 4.8 ง ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดของมอร์ตาร์
ปูนซีเมนต์ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็กและกัลเซียมคลอไรด์
(W/C = 0.66 ; Age 3 Days)

Mortar: Cement: GGBS: CaCl_2 = 100: 0: 3 (Age 3 day)



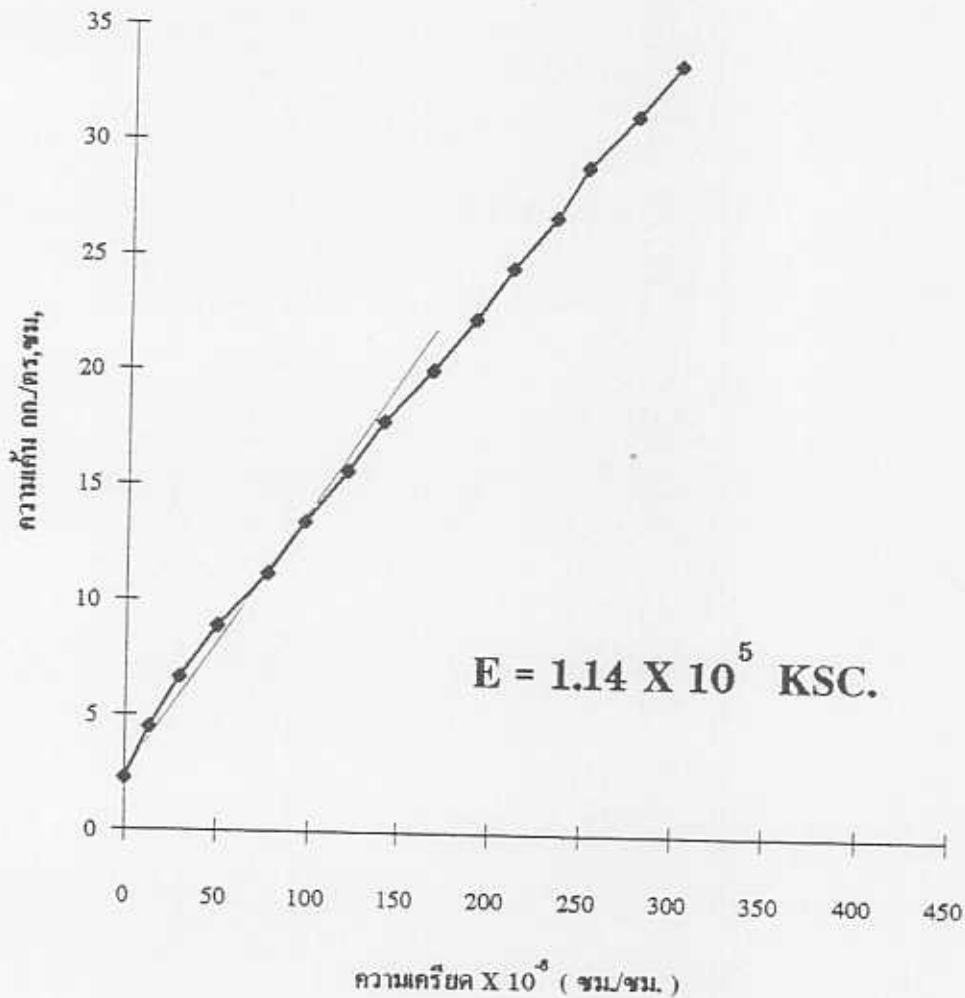
ภาพที่ 4.8 จ ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดของมอร์ตาร์
ปูนซีเมนต์ผสมตะกั่วจากเตาถลุงเหล็กและคัลเซียมคลอไรด์
(W/C = 0.66 ; Age 3 Days)

Mortar; Cement: GGBS: CaCl_2 = 70: 0: 3 (Age 3 day)



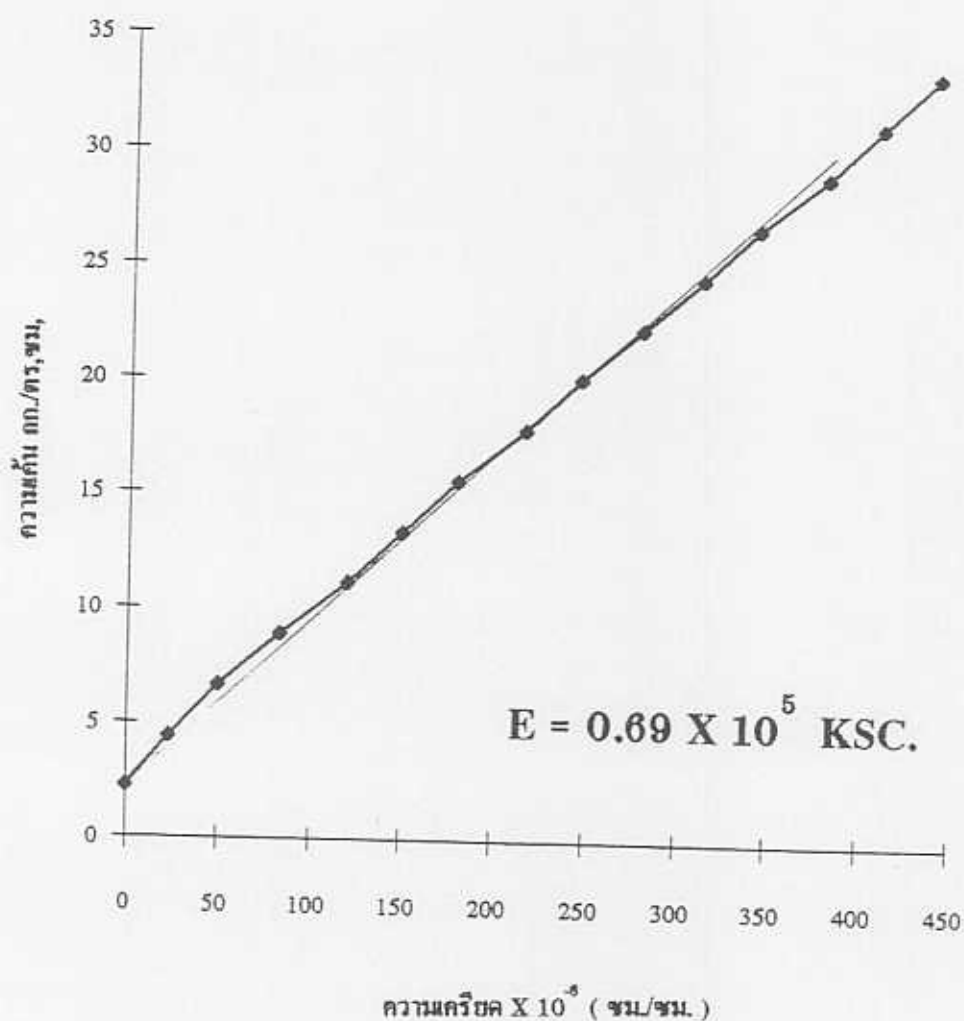
ภาพที่ 4.8 ฉ ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดของมอร์ตาร์
ปูนซีเมนต์ผสมตะกั่วจากเตาถลุงเหล็กและคัลเซียมคลอไรด์
($W/C = 0.66$; Age 3 Days)

Cement Paste; Cement : GGBS = 100 : 0 (Age 3 day)



ภาพที่ 4.9 ก ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดของซีเมนต์เฟลสปูนซีเมนต์ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็กและคัลเซียมคลอไรด์
(W/C = 0.66 ; Age 3 Days)

Cement Paste; Cement : GGBS = 70 : 30 (Age 3 day)



ภาพที่ 4.9 ข ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดของซีเมนต์เฟลต
ปูนซีเมนต์ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็กและกัลเซียมคลอไรด์
(W/C = 0.66 ; Age 3 Days)

4.7 การเปรียบเทียบผลการวิจัยกับงานวิจัยที่ผ่านมา

การเปรียบเทียบผลการวิจัยนี้กับงานวิจัยในอดีตนั้นสามารถทำให้คาดคะเนคุณสมบัติบางประการที่ยังไม่ได้ทำการศึกษา ซึ่งโดยทั่วไปผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดจะเป็นตัวชี้มาในการใช้งาน ดังนั้นพัฒนาการของคอนกรีตที่ทำจากตะกรันจากเตาถลุงเหล็กโดยใช้สารเร่งการก่อตัวเป็นที่คาดคะเนได้ว่า จะมีคุณสมบัติในการทนทานต่อการกัดกร่อนของสารซัลเฟตได้ดีกว่าคอนกรีตที่ได้จากปูนซีเมนต์ธรรมดาจากการวิจัยของ Hogan & Meusel (1981) พบว่าการใช้ตะกรันจากเตาถลุงเหล็กแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บางส่วนแล้วนอกจากจะช่วยเพิ่มความสามารถในการรับกำลังอัด และยังช่วยให้มีความสามารถต้านทานการกัดกร่อนของซัลเฟตได้ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยในครั้งใหม่ที่ตะกรันจากเตาถลุงเหล็กช่วยให้การรับกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์สูงขึ้น Chojnoki (1981) พบว่าเมื่อผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็กแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตรา 50% จะทำให้คอนกรีตมีความต้านทานการกัดกร่อนของซัลเฟตเท่ากับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 และจากผลการศึกษาของ สราวุธ (2539) ซึ่งได้ศึกษาคุณสมบัติทางด้านกำลังรับแรงอัดและความต้านทานต่อการกัดกร่อนของซัลเฟต พบว่าการผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็กในอัตราไม่เกิน 30% จะช่วยให้มอร์ตาร์รับกำลังอัดได้สูงขึ้น และนอกจากนั้นยังพบว่าการสูญเสียกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่แช่อยู่ในกรดซัลฟูริกจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถรับกำลังอัด กล่าวคือส่วนผสมมอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็กที่สามารถรับกำลังอัดได้สูงจะเกิดการสูญเสียกำลังรับแรงรับแรงอัดภายหลังที่ถูกแช่อยู่ในกรดซัลฟูริกน้อยกว่าส่วนผสมที่รับกำลังอัดได้ต่ำ และส่วนผสมที่ไม่ได้ใส่ตะกรันจากเตาถลุงเหล็กจะเกิดการสูญเสียกำลังรับแรงอัดภายหลังจากที่แช่ในกรดซัลฟูริกสูงที่สุด ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการศึกษาในครั้งนี้พบว่ามีความสอดคล้องกันเช่นผลในการเพิ่มกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมตะกรันจากเตาถลุงเหล็กในอัตรา 10-30% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะช่วยให้รับกำลังอัดได้สูงขึ้น จากการศึกษาเปรียบเทียบตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้นทั้งหมดจึงมีเหตุผลเพียงพอที่จะคาดคะเนได้ว่า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมผงตะกรันเหล็กและสารเร่งการก่อตัวที่ศึกษาในครั้งนี้นอกจากจะช่วยเพิ่มกำลังรับแรงอัด และเร่งปฏิกิริยาทำให้สามารถรับกำลังได้ในเวลาอันรวดเร็ว ยังมีคุณสมบัติต้านทานการกัดกร่อนได้ดียิ่งขึ้นอีกด้วย