

บทที่ 4

ผลการทดสอบและการอภิปราย

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

4.1.1 ความกว้างจำเพาะ

ผลการทดสอบความกว้างจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ซี-เถ้ากลบ ซี-เถ้าลอย มีค่าเท่ากับ 3.12, 2.05 และ 2.66 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบจำนวนชนิดละ 3 ตัวอย่าง และผลการทดสอบความกว้างจำเพาะปรากฏของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบมีค่าเท่ากับ 2.77 และ 2.57 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบจำนวนชนิดละ 2 ตัวอย่าง ส่วนรายละเอียดผลการทดสอบได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข

4.1.2 ค่าโมดูลัสของความละเอียดของมวลรวม

ผลการทดสอบค่าโมดูลัสของความละเอียดของมวลรวมละเอียด และมวลรวมหยาบ มีค่าเท่ากับ 3.03 และ 7.12 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบจำนวนชนิดละ 2 ตัวอย่าง ส่วนรายละเอียดผลการทดสอบได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข

4.2 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซี-เถ้ากลบ ซี-เถ้าลอย หลังถูกไฟไหม้

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของแท่งตัวอย่างคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซี-เถ้ากลบ ซี-เถ้าลอย หลังจากถูกไฟไหม้ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค ส่วนในตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1-4.2 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบจำนวน 3 ตัวอย่าง ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดสามารถแบ่งการพิจารณาได้ 4 ประเภท ดังนี้

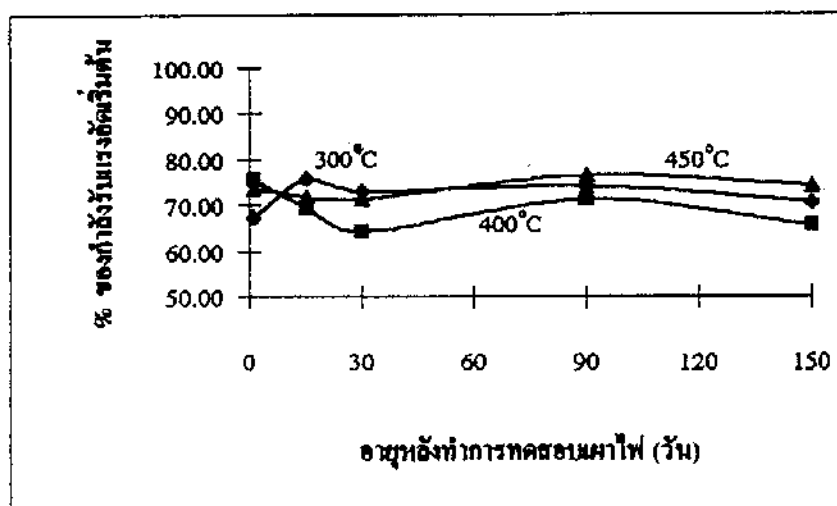
4.2.1 กำลังรับแรงอัดที่มีสัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ 100:0:0 (OPC:RHA:FA)

จากตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1(ก) พบว่าแท่งตัวอย่างคอนกรีตที่ทำจากปูน

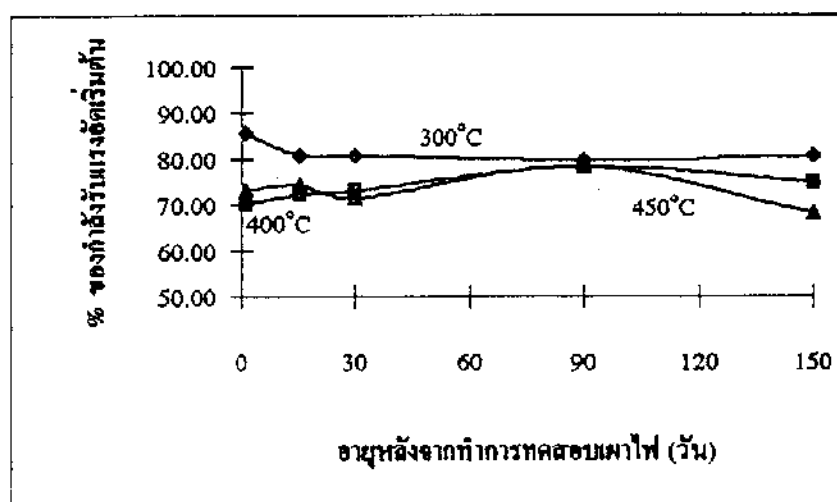
ตารางที่ 4.1 แสดงกำลังรับแรงอัดของแท่งตัวอย่างหลังจากทำการทดสอบเผาไฟ
เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (°C)	ที่อายุหลัง ทดสอบไฟ(วัน)	% ของกำลังรับแรงอัดเริ่มต้น		
		100 : 0 : 0	60 : 20 : 20	40 : 40 : 20 *
300	1	67	86	86
	15	76	81	88
	30	73	81	80
	90	74	80	85
	150	71	81	87
400	1	76	70	80
	15	69	72	80
	30	64	73	80
	90	71	78	78
	150	65	75	80
450	1	74	73	74
	15	72	74	74
	30	71	72	74
	90	76	78	83
	150	74	75	72

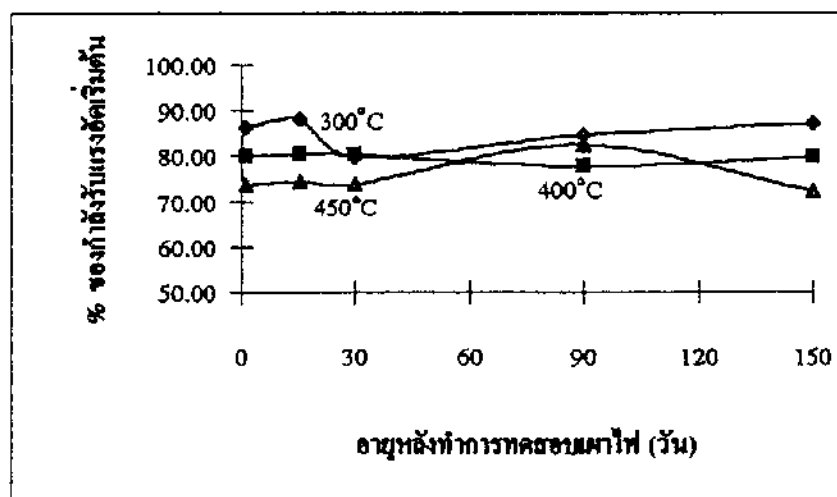
หมายเหตุ * สัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ OPC : RHA : FA



ก. สัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ 100 : 0 : 0

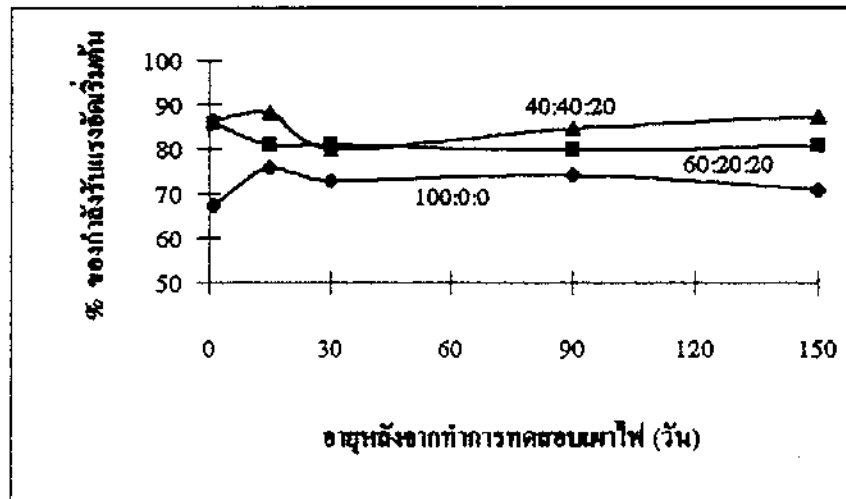


ข. สัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ 60 : 20 : 20

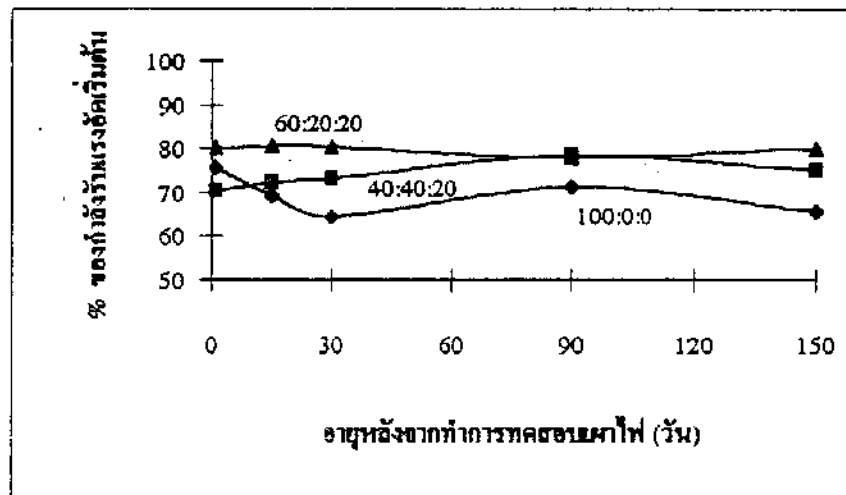


ค. สัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ 40 : 40 : 20

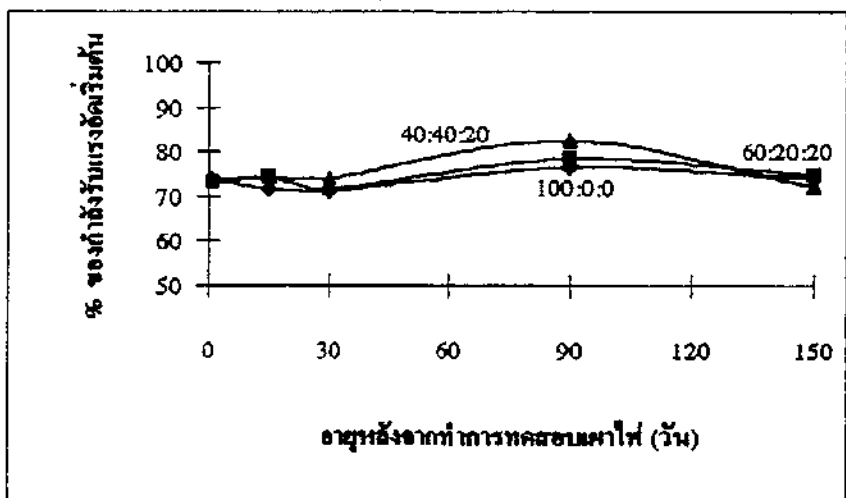
ภาพที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของแท่งตัวอย่างกับอายุหลังจากทำการทดสอบเผาไฟ ที่อุณหภูมิ 300, 400 และ 450 องศาเซลเซียส



ก. ที่อุณหภูมิต่ำ 300 องศาเซลเซียส



ข. ที่อุณหภูมิต่ำ 400 องศาเซลเซียส



ค. ที่อุณหภูมิต่ำ 450 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของแท่งตัวอย่างกับอายุหลังจากทำการทดสอบ
เผาไฟ ของอัตราส่วนผสมของสารซีเมนต์ 100 : 0 : 0, 60 : 20 : 20 และ 40 : 40 : 20

ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเอนาไกลบ ซีเอนาไกลบ ที่มีสัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ 100:0:0 และมีกำลังรับแรงอัดก่อนทำการทดสอบเผาไฟ ที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 301 กก.ต่อ ตร.ซม. เมื่อทำการทดสอบเผาไฟ ที่อุณหภูมิ 300, 400 และ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง จะมีกำลังรับแรงอัดลดลง ดังนี้ ที่อายุ 1 วัน หลังทำการทดสอบเผาไฟจะมีกำลังลดลงเหลืออยู่ประมาณ 67%, 75% และ 73% ของกำลังเริ่มต้น ตามลำดับ และเมื่ออายุหลังทำการทดสอบเผาไฟมากขึ้นอยู่ในช่วง 5 เดือน จะมีกำลังทั้งเพิ่มขึ้นและลดลงเหลืออยู่ประมาณ 71-76%, 64-71% และ 72-76% ของกำลังเริ่มต้น ตามลำดับ

จากผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่า กำลังรับแรงอัดของแท่งตัวอย่างหลังทำการทดสอบเผาไฟ ที่อุณหภูมิ 300, 400, 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง จะมีกำลังลดลงเหลืออยู่ไม่สม่ำเสมอและมีกำลังค่อนข้างใกล้เคียงกัน และเมื่อคอนกรีตหลังทำการทดสอบเผาไฟมากขึ้นจะมีผลต่อกำลังที่เพิ่มขึ้นและลดลงไม่มากนัก คือ มีกำลังเหลืออยู่ในช่วงต้น และที่อายุหลังทำการทดสอบเผาไฟมากขึ้น เท่ากับ 67-75% และ 64-76% ของกำลังเริ่มต้น ตามลำดับ

4.2.2 กำลังรับแรงอัดที่มีสัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ 60:20:20 (OPC:RHA:FA)

จากตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1(ข) พบว่าแท่งตัวอย่างคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเอนาไกลบ ซีเอนาไกลบ ที่มีสัดส่วนผสมสารซีเมนต์ 60:20:20 และมีกำลังรับแรงอัดก่อนทำการทดสอบเผาไฟ ที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 181 กก.ต่อ ตร.ซม. เมื่อทำการทดสอบเผาไฟที่อุณหภูมิ 300, 400 และ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง จะมีกำลังรับแรงอัดลดลง ดังนี้ ที่อายุ 1 วัน หลังทำการทดสอบเผาไฟจะมีกำลังลดลงเหลืออยู่ประมาณ 86%, 70% และ 73% ของกำลังเริ่มต้น ตามลำดับ และเมื่ออายุหลังทำการทดสอบเผาไฟมากขึ้นอยู่ในช่วง 5 เดือน จะมีกำลังทั้งเพิ่มขึ้นและลดลงเหลืออยู่ประมาณ 80-81%, 72-78% และ 72-76% ของกำลังเริ่มต้น ตามลำดับ

จากผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่า กำลังรับแรงอัดของแท่งตัวอย่างหลังทำการทดสอบเผาไฟ ที่อุณหภูมิ 300, 400, 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง จะมีกำลังลดลงเหลืออยู่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน และเมื่อคอนกรีตหลังทำการทดสอบเผาไฟมากขึ้นจะมีผลต่อกำลังที่เพิ่มขึ้นและลดลงไม่มากนัก คือ มีกำลังเหลืออยู่ในช่วงต้นและที่อายุหลังทำการทดสอบเผาไฟมากขึ้น เท่ากับ 73-86% และ 72-81% ของกำลังเริ่มต้น ตามลำดับ

4.2.3 กำลังรับแรงอัดที่มีสัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ 40:40:20 (OPC:RHA:FA)

จากตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1(ค) พบว่าแท่งตัวอย่างคอนกรีตที่ทำจากปูน

ชีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเมนต์กึ่งไดแกลอป ที่มีสัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ 40:40:20 และมีการกำลังรับแรงอัดก่อนทำการทดสอบไฟ ที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 259 กก.ต่อ ตร.ซม. เมื่อทำการทดสอบเผาไฟ ที่อุณหภูมิ 300, 400 และ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง จะมีกำลังรับแรงอัดลดลง ดังนี้ ที่อายุ 1 วัน หลังทำการทดสอบเผาไฟจะมีกำลังลดลงเหลืออยู่ประมาณ 86%, 80% และ 74% ของกำลังเริ่มต้น ตามลำดับ และเมื่ออายุหลังจากทำการทดสอบเผาไฟมากขึ้นอยู่ในช่วง 5 เดือน จะมีกำลังทั้งเพิ่มขึ้นและลดลงเหลืออยู่ประมาณ 80-88%, 78-80% และ 72-83% ของกำลังเริ่มต้น ตามลำดับ

จากผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่า กำลังรับแรงอัดของแท่งตัวอย่างหลังจากทำการทดสอบเผาไฟ ที่อุณหภูมิ 300, 400, 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง จะมีกำลังลดลงเหลืออยู่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน และเมื่อคอนกรีตหลังจากทำการทดสอบเผาไฟมากขึ้นจะมีผลต่อกำลังที่เพิ่มขึ้นและลดลงไม่มากนัก คือ มีกำลังเหลืออยู่ในช่วงต้นและที่อายุหลังจากทำการทดสอบเผาไฟมากขึ้น เท่ากับ 74-86% และ 72-88% ของกำลังเริ่มต้น ตามลำดับ

4.2.4 เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดทั้งสามสัดส่วนผสมของสารซีเมนต์

เมื่อนำกำลังรับแรงอัดของแท่งตัวอย่างคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเมนต์กึ่งไดแกลอป ที่มีสัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ 100:0:0, 60:20:20 และ 40:40:20 มาเปรียบเทียบกับหลังจากทำการทดสอบเผาไฟ ที่อุณหภูมิ 300, 400 และ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.2

จากภาพที่ 4.2(ก) และ (ข) พบว่ากำลังรับแรงอัดที่ลดลงหลังจากทำการทดสอบเผาไฟ ที่อุณหภูมิ 300 และ 400 องศาเซลเซียส ของแท่งตัวอย่างคอนกรีตที่ทำจากสัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ 60:20:20 และ 40:40:20 มีกำลังใกล้เคียงกันมากและมีกำลังเหลืออยู่มากกว่าที่สัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ 100:0:0 และจากภาพที่ 4.2(ค) พบว่ากำลังรับแรงอัดที่ลดลงหลังจากทำการทดสอบเผาไฟ ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ของแท่งตัวอย่างที่ทำจากทั้งสามสัดส่วนผสมของสารซีเมนต์จะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ที่สัดส่วนผสมของซีเมนต์ 100:0:0 จะมีกำลังรับแรงอัดลดลงเหลืออยู่น้อยกว่าที่สัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ 60:20:20 และ 40:40:20

จากผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่า กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ทำจากสัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ทั้ง 3 สัดส่วน จะมีกำลังลดลงเหลืออยู่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน คือ มีกำลังลดลงในช่วงต้นเหลืออยู่ประมาณ 67-86% ของกำลังเริ่มต้น และเมื่ออายุหลังจากทดสอบเผาไฟมากขึ้นอยู่ในช่วง 5 เดือน จะมีกำลังลดลงเหลืออยู่ประมาณ 64-88% ของกำลังเริ่มต้น และยังพบว่าแท่งตัวอย่างที่ทำจากสัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ 60:20:20 และ 40:40:20 จะมีกำลังลดลงเหลืออยู่มากกว่าแท่งตัวอย่างที่ทำจากสัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ 100:0:0

4.3 ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นของคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเถ้าบกลบ ซีเถ้าลอย หลังจากถูกไฟไหม้

ผลการทดสอบค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นของคอนกรีต ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเถ้าบกลบ ซีเถ้าลอย หลังจากถูกไฟไหม้ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ง ส่วนในตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.3-4.4 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบจำนวน 3 ตัวอย่าง ผลการทดสอบค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นของคอนกรีตสามารถแบ่งการพิจารณาได้ 4 ประเภท ดังนี้

4.3.1 ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นของคอนกรีตที่มีสัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ 100:0:0 (OPC:RHA:FA)

จากตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.3(ก) พบว่าทั้งตัวอย่างของคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเถ้าบกลบ ซีเถ้าลอย ที่มีสัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ 100:0:0 และ มีค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นก่อนทำการทดสอบเผาไฟ ที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 307,091 กก.ต่อตร.ซม. เมื่อทำการทดสอบเผาไฟ ที่อุณหภูมิ 300, 400 และ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง จะมีค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นลดลง ดังนี้ ที่อายุ 1 วัน หลังทำการทดสอบเผาไฟจะมีค่าลดลงเหลืออยู่ประมาณ 55%, 43% และ 39% ของค่าเริ่มต้น ตามลำดับ และเมื่ออายุหลังทำการทดสอบเผาไฟมากขึ้นอยู่ในช่วง 5 เดือน จะมีค่าทั้งเพิ่มขึ้นและลดลงเหลืออยู่ประมาณ 53-66%, 41-48% และ 36-42% ของค่าเริ่มต้น ตามลำดับ

จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นของทั้งตัวอย่าง หลังทำการทดสอบเผาไฟ ที่อุณหภูมิ 300, 400 และ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง จะมีค่าลดลงมาก และเมื่ออายุหลังทำการทดสอบเผาไฟมากขึ้นจะมีผลต่อค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นที่เพิ่มขึ้นและลดลงไม่มากนัก คือ มีค่าเหลืออยู่ในช่วงต้นและที่อายุหลังทำการทดสอบเผาไฟมากขึ้น เท่ากับ 39-55% และ 36-66% ของค่าเริ่มต้น ตามลำดับ

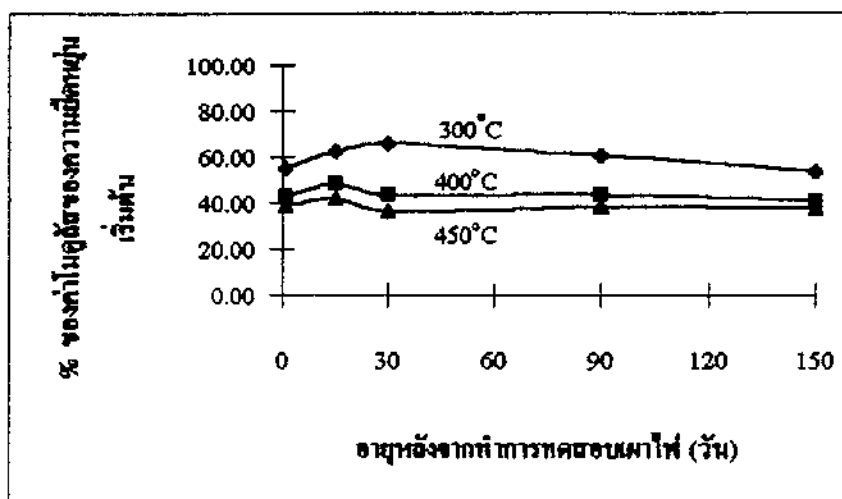
4.3.2 ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นของคอนกรีตที่มีสัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ 60:20:20 (OPC:RHA:FA)

จากตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.3(ข) พบว่าทั้งตัวอย่างของคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเถ้าบกลบ ซีเถ้าลอย ที่มีสัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ 60:20:20 และ มีค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นก่อนทำการทดสอบเผาไฟ ที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 222,119 กก.ต่อตร.ซม. เมื่อทำการทดสอบเผาไฟ ที่อุณหภูมิ 300, 400 และ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง จะมีค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นลดลง ดังนี้ ที่อายุ 1 วัน หลังทำการทดสอบเผาไฟจะมีค่าลดลงเหลืออยู่ประมาณ 53%, 39% และ 35% ของค่าเริ่มต้น ตามลำดับ และเมื่อ

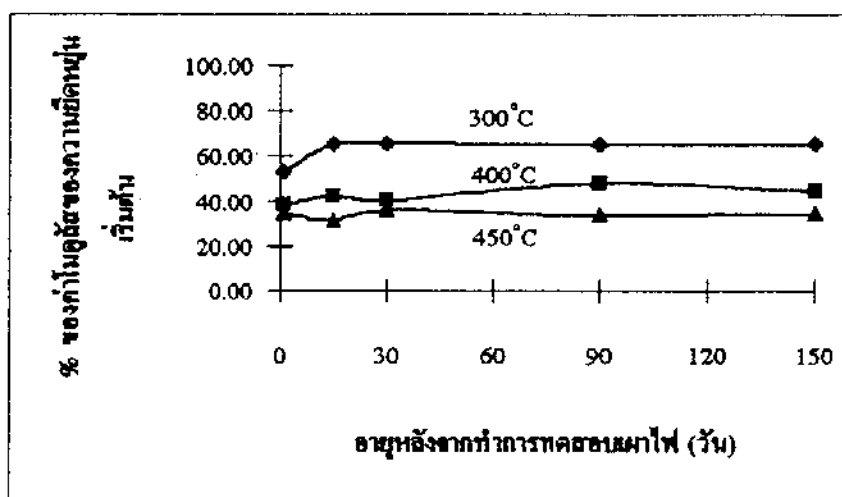
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นของแท่งตัวอย่างหลังจากทำการทดสอบ
เผาไฟเป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (°C)	เวลาหลัง ทดสอบไฟ(วัน)	%ของค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นเริ่มต้น		
		100 : 0 : 0	60 : 20 : 20	40 : 40 : 20*
300	1	55	53	48
	15	62	65	57
	30	66	65	57
	90	61	65	55
	150	53	65	62
400	1	43	39	40
	15	48	42	44
	30	43	40	41
	90	44	48	42
	150	41	45	41
450	1	39	35	36
	15	42	31	32
	30	36	36	37
	90	38	34	36
	150	38	35	37

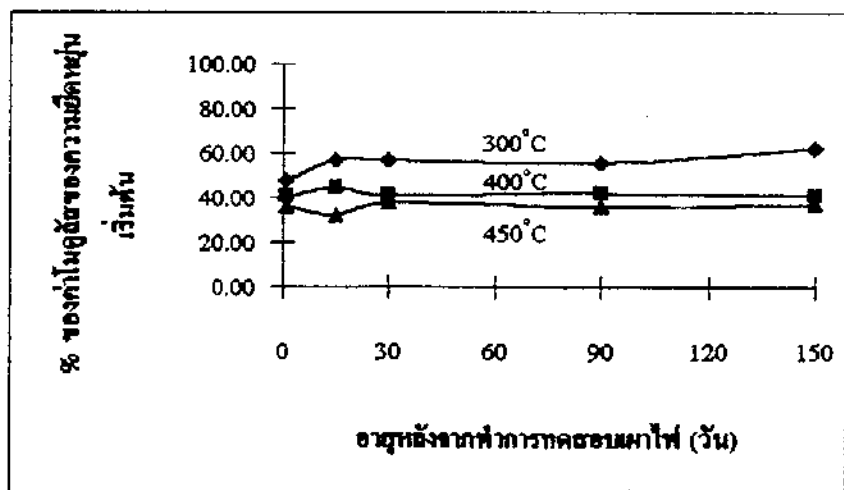
หมายเหตุ * สัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ OPC : RHA : FA



ก. ที่สัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ 100 : 0 : 0

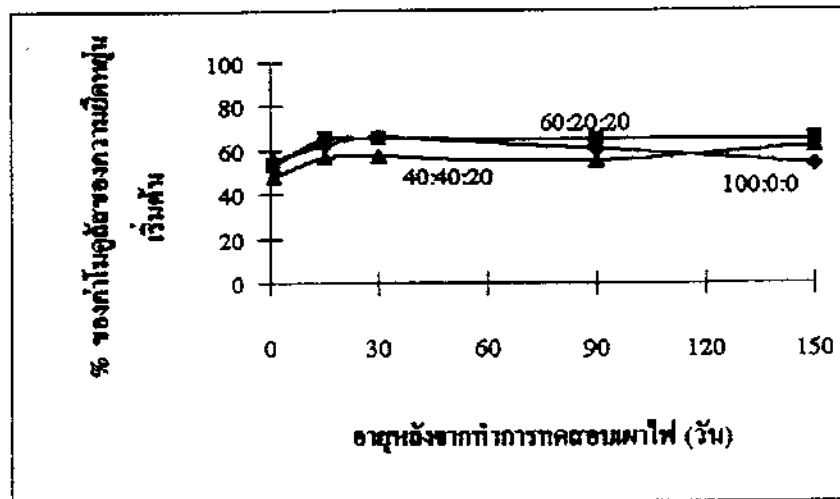


ข. ที่สัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ 60 : 20 : 20

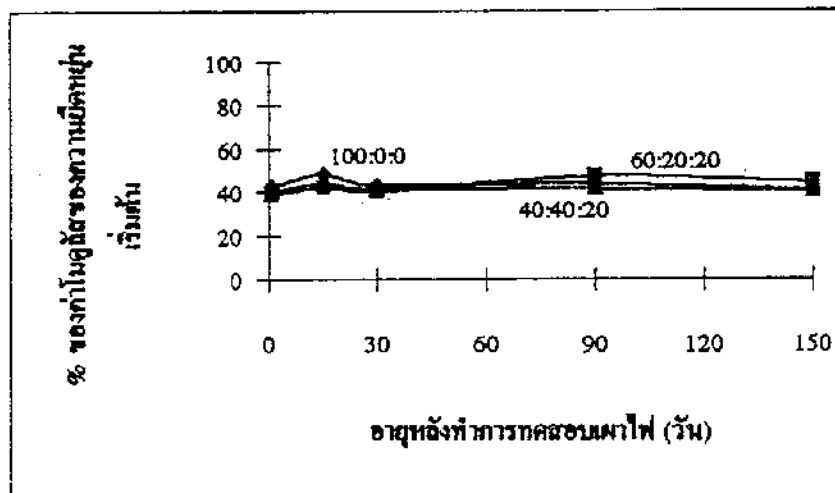


ค. ที่สัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ 40 : 40 : 20

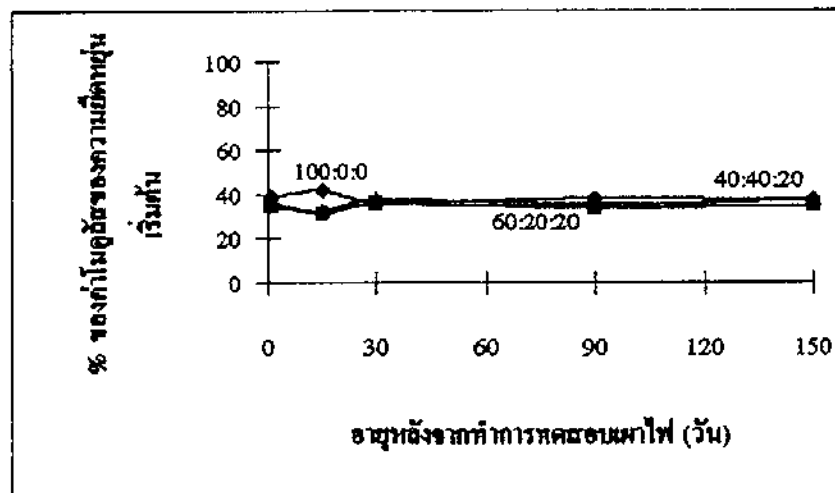
ภาพที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสของความชื้นของมอร์ต้าอย่างกับอายุหลังจากทำการทดสอบเผาไฟ ที่อุณหภูมิ 300, 400 และ 450 องศาเซลเซียส



ก. ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส



ข. ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



ค. ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโปรตีนของเนื้อเยื่อของปลากับอุณหภูมิการทดลอง
และสัดส่วนของสารวิตามินซี 100 : 0 : 0, 60 : 20 : 20 และ 40 : 40 : 20

อายุหลังทำการทดสอบเผาไฟมากขึ้นอยู่ในช่วง 5 เดือน จะมีค่าทั้งเพิ่มขึ้นและลดลงเหลืออยู่ประมาณ 65%, 40-48% และ 31-36% ของค่าเริ่มต้น ตามลำดับ

จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นของแท่งตัวอย่างหลังทำการทดสอบเผาไฟ ที่อุณหภูมิ 300, 400 และ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง จะมีค่าลดลงมาก และเมื่ออายุหลังทำการทดสอบเผาไฟมากขึ้นจะมีผลต่อค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นที่เพิ่มขึ้นและลดลงไม่มากนัก คือ มีค่าเหลืออยู่ในช่วงต้นและที่อายุหลังทำการทดสอบเผาไฟมากขึ้น เท่ากับ 35-53% และ 31-65% ของค่าเริ่มต้น ตามลำดับ

4.3.3 ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นของคอนกรีตที่มีสัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ 40:40:20 (OPC:RHA:FA)

จากตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.3(ค) พบว่าแท่งตัวอย่างของคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเ็ก้าแกลบ ซีเ็ก้าลอย ที่มีสัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ 40:40:20 และมีค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นก่อนทำการทดสอบเผาไฟ ที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 298,753 กก.ต่อตร.ซม. เมื่อทำการทดสอบเผาไฟ ที่อุณหภูมิ 300, 400 และ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง จะมีค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นลดลง ดังนี้ ที่อายุ 1 วัน หลังทำการทดสอบไฟ จะมีค่าลดลงเหลืออยู่ประมาณ 48%, 40% และ 36% ของค่าเริ่มต้น ตามลำดับ และเมื่ออายุหลังทำการทดสอบเผาไฟมากขึ้นอยู่ในช่วง 5 เดือน จะมีค่าทั้งเพิ่มขึ้นและลดลงเหลืออยู่ประมาณ 55-62%, 41-44% และ 32-37% ของค่าเริ่มต้น ตามลำดับ

จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นของแท่งตัวอย่างหลังทำการทดสอบเผาไฟ ที่อุณหภูมิ 300, 400 และ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง จะมีค่าลดลงมาก และเมื่ออายุหลังทำการทดสอบเผาไฟมากขึ้นจะมีผลต่อค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นที่เพิ่มขึ้นและลดลงไม่มากนัก คือ มีค่าเหลืออยู่ในช่วงต้นและที่อายุหลังทำการทดสอบเผาไฟมากขึ้น เท่ากับ 36-48% และ 32-62% ของค่าเริ่มต้น ตามลำดับ

4.2.4 เปรียบเทียบค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นของคอนกรีตทั้งสามสัดส่วนผสมของสารซีเมนต์

เมื่อนำค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นของแท่งตัวอย่างคอนกรีต ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเ็ก้าแกลบ ซีเ็ก้าลอย ที่มีสัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ 100:0:0, 60:20:20 และ 40:40:20 มาเปรียบเทียบหลังทำการทดสอบเผาไฟ ที่อุณหภูมิ 300, 400 และ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.4

จากภาพที่ 4.4(ก), (ข) และ (ค) พบว่าค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นที่ลดลงหลังจากทำการทดสอบเผาไฟของแท่งตัวอย่างที่ทำจากสัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ 100:0:0, 60:20:20 และ 40:40:20 จะมีค่าลดลงใกล้เคียงกันมาก

จากผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่า ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นของแท่งตัวอย่างคอนกรีตที่ทำจากสัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ทั้ง 3 สัดส่วนจะมีค่าลดลงเหลืออยู่ค่อนข้างใกล้เคียงกันคือ มีค่าลดลงในช่วงต้นเหลืออยู่ประมาณ 35-55% ของกำลังเริ่มต้น และเมื่ออายุหลังจากทดสอบเผาไฟมากขึ้นอยู่ในช่วง 5 เดือน จะมีค่าลดลงเหลืออยู่ประมาณ 31-66% ของกำลังเริ่มต้น

4.4 กำลังยึดเหนี่ยวของคอนกรีตกับเหล็กเสริม ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเอนาไกลบซีเอนาไกลบ หลังจากถูกไฟไหม้

ผลการทดสอบกำลังยึดเหนี่ยวของคอนกรีตกับเหล็กเสริม ที่คอนกรีตทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเอนาไกลบ ซีเอนาไกลบ หลังจากถูกไฟไหม้ ได้แสดงไว้ในภาคผนวก จ ส่วนในตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.5-4.6 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบจำนวน 3 ตัวอย่างผลการทดสอบกำลังยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมหลังจากถูกไฟไหม้ สามารถแบ่งการพิจารณาได้ 4 ประเภท ดังนี้

4.4.1 กำลังยึดเหนี่ยวของคอนกรีตกับเหล็กเสริมที่มีสัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ 100:0:0 (OPC:RHA:FA)

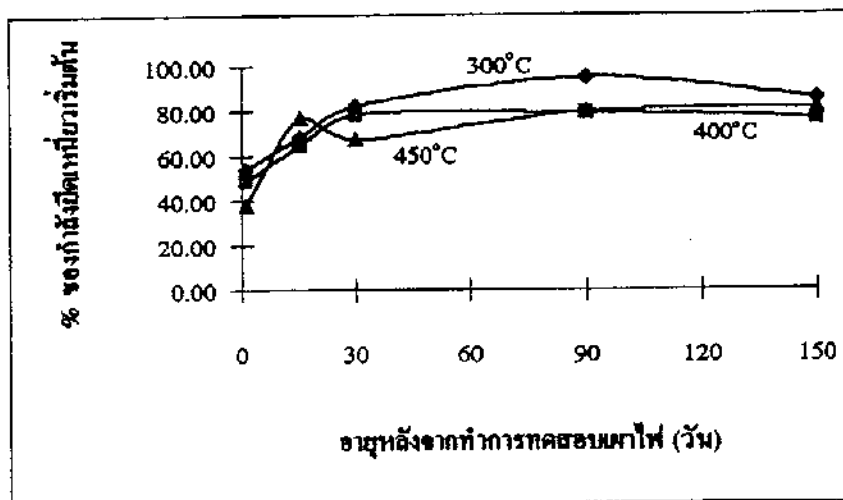
จากตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.5(ก) พบว่าแท่งตัวอย่างของคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเอนาไกลบ ซีเอนาไกลบ ที่มีสัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ 100:0:0 และมีการกำลังยึดเหนี่ยวก่อนทำการทดสอบเผาไฟที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 78 กก.ต่อตร.ซม เมื่อทำการทดสอบเผาไฟ ที่อุณหภูมิ 300, 400 และ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง จะมีกำลังยึดเหนี่ยวของคอนกรีตกับเหล็กเสริมลดลง ดังนี้ ที่อายุ 1 วัน หลังทำการทดสอบไฟ จะมีกำลังลดลงเหลืออยู่ประมาณ 54%, 49% และ 37% ของกำลังเริ่มต้น ตามลำดับ และเมื่ออายุหลังจากทำการทดสอบเผาไฟมากขึ้นอยู่ในช่วง 5 เดือน จะมีกำลังเพิ่มขึ้นเหลืออยู่ประมาณ 68-95%, 64-79% และ 67-81% ของกำลังเริ่มต้น ตามลำดับ

จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่ากำลังยึดเหนี่ยวของคอนกรีตกับเหล็กเสริมหลังทำการทดสอบเผาไฟ ที่อุณหภูมิ 300, 400 และ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง จะมีกำลังลดลงมาก และเมื่ออายุหลังจากทำการทดสอบเผาไฟมากขึ้นจะมีผลทำให้กำลังเพิ่มขึ้น คือ มีกำลังเหลืออยู่ในช่วงต้นและที่อายุหลังจากทำการทดสอบเผาไฟมากขึ้น เท่ากับ 37-54% และ 64-

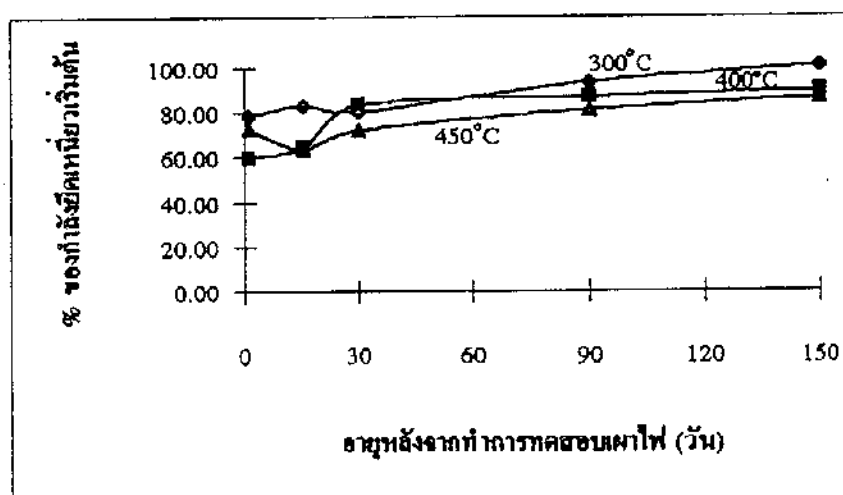
ตารางที่ 4.3 แสดงกำลังยึดเหนี่ยวของแท่งตัวอย่างหลังจากทำการทดสอบเผาไฟ
เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (°C)	เวลาหลัง ทดสอบไฟ	%ของกำลังยึดเหนี่ยวเริ่มต้น		
		100 : 0 : 0	60 : 20 : 20	40 : 40 : 20*
300	1	54	78	87
	15	68	83	80
	30	82	80	90
	90	95	94	96
	150	85	100	83
400	1	49	59	90
	15	64	64	96
	30	78	83	88
	90	79	87	99
	150	76	90	98
450	1	37	72	70
	15	76	63	64
	30	67	72	78
	90	79	81	91
	150	81	86	93

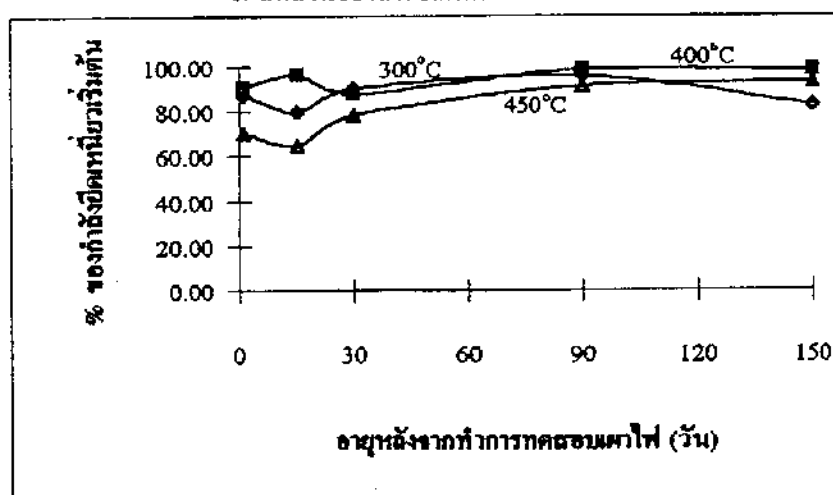
หมายเหตุ * สัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ OPC : RHA : FA



ก. สัดส่วนของสารซีเมนต์ 100 : 0 : 0

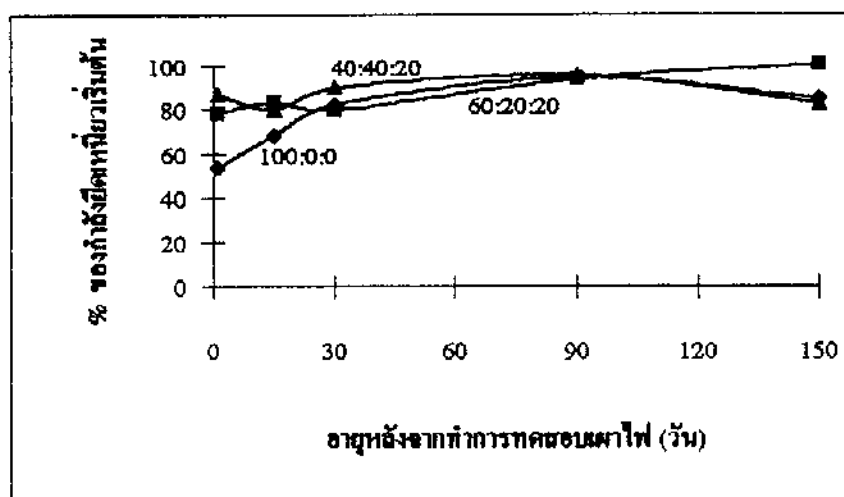


ข. สัดส่วนของสารซีเมนต์ 60 : 20 : 20

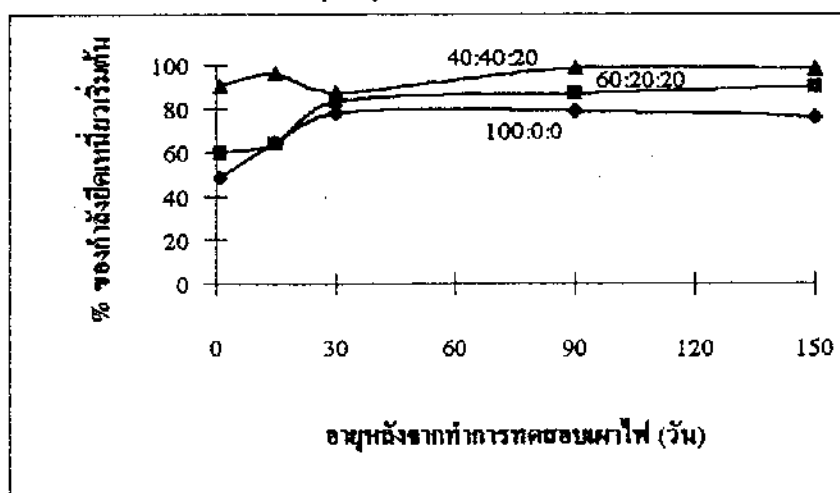


ค. สัดส่วนของสารซีเมนต์ 40 : 40 : 20

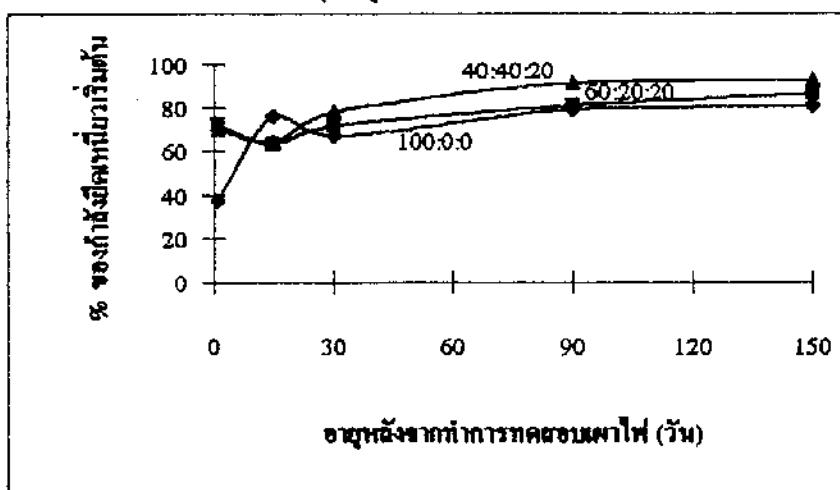
ภาพที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดเหนือผิวของแท่งตัวอย่างกับอายุหลังจากทำการทดสอบเผาไฟ ที่อุณหภูมิ 300, 400 และ 450 องศาเซลเซียส



ก. ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส



ข. ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส



ค. ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกําดังอีคเหนือของแห้งตัวอ่างกับอายุหลังจากทำการทดสอบเผาไฟ ของสัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ 100 : 0 : 0, 60 : 20 : 20 และ 40 : 40 : 20

95% ของกำลังเริ่มต้น ตามลำดับ

4.4.2 กำลังยึดเหนี่ยวของคอนกรีตกับเหล็กเสริมที่มีสัดส่วนผสมของสารซีเมนต์

60:20:20 (OPC:RHA:FA)

จากตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.5(ข) พบว่าทั้งตัวอย่างของคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเถ้าแกลบ ซีเถ้าลอย ที่มีสัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ 60:20:20 และมีกำลังยึดเหนี่ยวก่อนทำการทดสอบเผาไฟที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 58 กก.ต่อตร.ซม. เมื่อทำการทดสอบเผาไฟ ที่อุณหภูมิ 300, 400 และ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง จะมีกำลังยึดเหนี่ยวของคอนกรีตกับเหล็กเสริมลดลง ดังนี้ ที่อายุ 1 วัน หลังทำการทดสอบไฟ จะมีกำลังลดลงเหลืออยู่ประมาณ 78%, 59% และ 72% ของกำลังเริ่มต้น ตามลำดับ และเมื่ออายุหลังทำการทดสอบเผาไฟมากขึ้นอยู่ในช่วง 5 เดือน จะมีกำลังทั้งเพิ่มขึ้นและลดลงเหลืออยู่ประมาณ 83-100%, 64-90% และ 63-86% ของกำลังเริ่มต้น ตามลำดับ

จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่ากำลังยึดเหนี่ยวของคอนกรีตกับเหล็กเสริมหลังทำการทดสอบเผาไฟ ที่อุณหภูมิ 300, 400 และ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง จะมีกำลังลดลงและไม่สม่ำเสมอ และเมื่ออายุหลังทำการทดสอบเผาไฟมากขึ้นจะมีกำลังเพิ่มขึ้น คือ มีกำลังเหลืออยู่ในช่วงต้นและที่อายุหลังทำการทดสอบเผาไฟมากขึ้นเท่ากับ 59-78% และ 63-100% ของกำลังเริ่มต้น ตามลำดับ

4.4.3 กำลังยึดเหนี่ยวของคอนกรีตกับเหล็กเสริมที่มีสัดส่วนผสมของสารซีเมนต์

40:40:20 (OPC:RHA:FA)

จากตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.5(ค) พบว่าทั้งตัวอย่างของคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเถ้าแกลบ ซีเถ้าลอย ที่มีสัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ 40:40:20 และมีกำลังยึดเหนี่ยวก่อนทำการทดสอบเผาไฟที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 58 กก.ต่อตร.ซม. เมื่อทำการทดสอบเผาไฟ ที่อุณหภูมิ 300, 400 และ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง จะมีกำลังยึดเหนี่ยวของคอนกรีตกับเหล็กเสริมลดลง ดังนี้ ที่อายุ 1 วัน หลังทำการทดสอบไฟ จะมีกำลังลดลงเหลืออยู่ประมาณ 87%, 90% และ 70% ของกำลังเริ่มต้น ตามลำดับ และเมื่ออายุหลังทำการทดสอบเผาไฟมากขึ้นอยู่ในช่วง 5 เดือน จะมีกำลังทั้งเพิ่มขึ้นและลดลงเหลืออยู่ประมาณ 80-96%, 88-96% และ 64-93% ของกำลังเริ่มต้น ตามลำดับ

จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่ากำลังยึดเหนี่ยวของคอนกรีตกับเหล็กเสริมหลังทำการทดสอบเผาไฟ ที่อุณหภูมิ 300, 400 และ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง จะมีกำลังลดลงและไม่สม่ำเสมอ และเมื่ออายุหลังทำการทดสอบเผาไฟมากขึ้นจะมีผลต่อกำลังที่

เพิ่มขึ้นและลดลงไม่มากนัก คือ มีกำลังเหลืออยู่ในช่วงต้นและที่อายุหลังทำการทดสอบเผาไหม้มากขึ้นเท่ากับ 70-90% และ 64-96% ของกำลังเริ่มต้น ตามลำดับ

4.2.4 เปรียบเทียบกำลังยึดเหนี่ยวของคอนกรีตกับเหล็กเสริมทั้งสามสัดส่วนผสมของสารซีเมนต์

เมื่อนำค่ากำลังยึดเหนี่ยวของคอนกรีตกับเหล็กเสริมของคอนกรีต ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเถ้ากลบ ซีเถ้าลอย หลังจากถูกไฟไหม้ ที่มีสัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ 100:0:0, 60:20:20 และ 40:40:20 มาเปรียบเทียบหลังทำการทดสอบเผาไหม้ ที่อุณหภูมิ 300, 400 และ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.6

จากภาพที่ 4.6(ก), (ข) และ (ค) พบว่ากำลังยึดเหนี่ยวของคอนกรีตกับเหล็กเสริมที่ลดลงหลังจากทำการทดสอบเผาไหม้จะมีกำลังแตกต่างกันในช่วง 15 วันหลังทำการทดสอบเผาไหม้ แต่เมื่ออายุหลังจากทำการทดสอบเผาไหม้มากขึ้นจะมีกำลังเพิ่มขึ้นค่อนข้างใกล้เคียงกัน และพบว่ากำลังยึดเหนี่ยวของแท่งตัวอย่างที่ทำจากสัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ 60:20:20 และ 40:40:20 มีกำลังสูงกว่ากำลังของแท่งตัวอย่างที่ทำจากสัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ 100:0:0

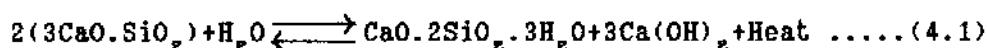
จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่ากำลังยึดเหนี่ยวของคอนกรีตกับเหล็กเสริม ที่คอนกรีตทำจากสัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ทั้ง 3 สัดส่วน จะมีกำลังเหลืออยู่แตกต่างกัน คือ จะมีกำลังในช่วงต้นมีค่าเหลืออยู่ประมาณ 37-54%, 59-78% และ 70-90% ของกำลังเริ่มต้น ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าแท่งตัวอย่างที่ทำจากสัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ 60:20:20 และ 40:40:20 จะมีกำลังเหลืออยู่มากกว่าแท่งตัวอย่างที่ทำจากสัดส่วนผสมของสารซีเมนต์ 100:0:0 และเมื่ออายุหลังจากทำการทดสอบเผาไหม้มากขึ้นในช่วง 5 เดือน จะมีกำลังเพิ่มขึ้นค่อนข้างใกล้เคียงกันคือ มีกำลังเหลืออยู่ประมาณ 64-95%, 63-100% และ 64-99% ของกำลังเริ่มต้น ตามลำดับ

4.5 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบกำลังของคอนกรีตจะมีค่าลดลงหลังจากถูกไฟไหม้ในช่วงอุณหภูมิที่ทำการพิจารณานั้นเป็นเพราะสาเหตุที่สำคัญดังนี้ คือ (บันทึก, 2531)

1. เกิดการสูญเสียน้ำที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Dehydration) ของสารประกอบ Hydration Products พวกซิลิเกตไฮดรอกไซด์และซิลิเกตไฮดรอกไซด์ ปกติแล้วสารประกอบหลักของซีเมนต์ที่สำคัญและมีมากที่สุดก็คือ ซิลิเกตไฮดรอกไซด์ (C_3S, C_2S) เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะให้สารประกอบซิลิเกตไฮดรอกไซด์ออกมาซึ่งมีอิทธิพลต่อการสร้างกำลัง ปริมาณน้ำที่

ใช้ในการผสมคอนกรีตนั้นมีมากกว่าความจำเป็นที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเคมี ดังนั้นปริมาณน้ำในคอนกรีตจึงแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกไม่ได้ใช้ในการทำปฏิกิริยาจนตรอกสู่ตามช่องโพรงในคอนกรีต เรียกปริมาณน้ำส่วนนี้ว่า Free Water ส่วนที่สอง คือ ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเคมี (ปฏิกิริยาไฮเดรชัน) เรียกว่า Combined Water เมื่อคอนกรีตถูกไฟไหม้ Free Water จะระเหยไปก่อนในช่วงอุณหภูมิประมาณ 100-400 องศาเซลเซียส ต่อจากนั้นจะเกิดการสูญเสียน้ำที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา Hydration ในช่วงอุณหภูมิ 400-800 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังสมการเคมี ดังนี้

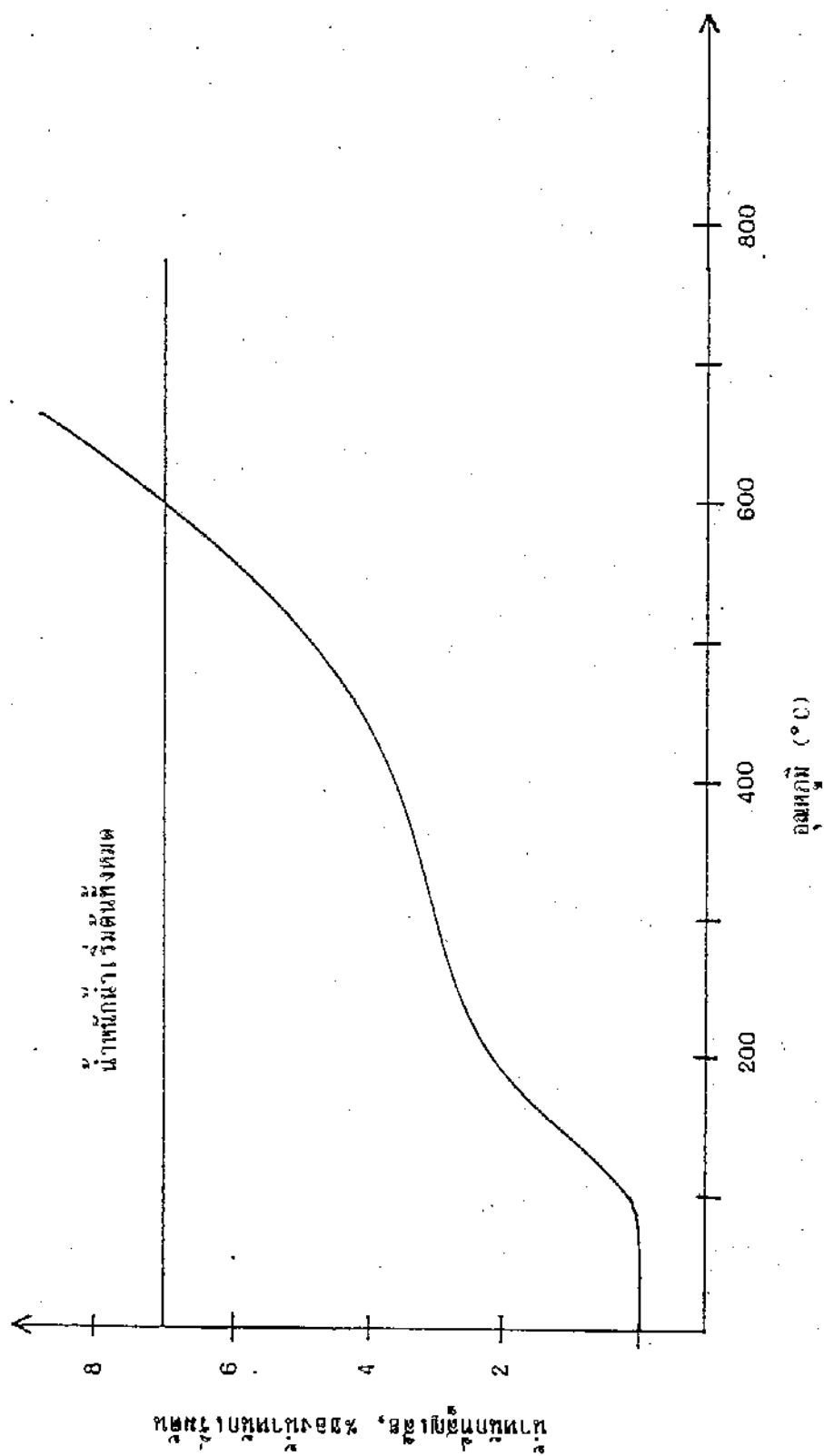


ความร้อนจากไฟเข้าไปทำให้สารประกอบซิลิเกตไฮเดรต และซิลิเกตไฮดรอกไซด์ทางขวามือของสมการนั้นคือ เกิดปฏิกิริยา Dehydration ขึ้น การสูญเสียน้ำในที่นี้สามารถยืนยันได้จากการลดลงของน้ำหนักของคอนกรีต (Weight Loss) ที่อุณหภูมิต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 4.7 จากภาพจะเห็นว่าช่วงอุณหภูมิ 300-500 องศาเซลเซียส น้ำหนักของคอนกรีตจะห้อยค่าลดลงไปประมาณ 3% โดยมีน้ำหนักของน้ำเริ่มต้นทั้งหมดประมาณ 7-8% นั้นแสดงว่าในช่วงอุณหภูมินี้ซิลิเกตไฮเดรตและซิลิเกตไฮดรอกไซด์เกิดปฏิกิริยา Dehydration ในอัตราที่สูงทำให้กำลังของคอนกรีตตกลงไปรวดเร็ว ดังจะเห็นได้จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบหลังเผาที่อายุ 1 วัน

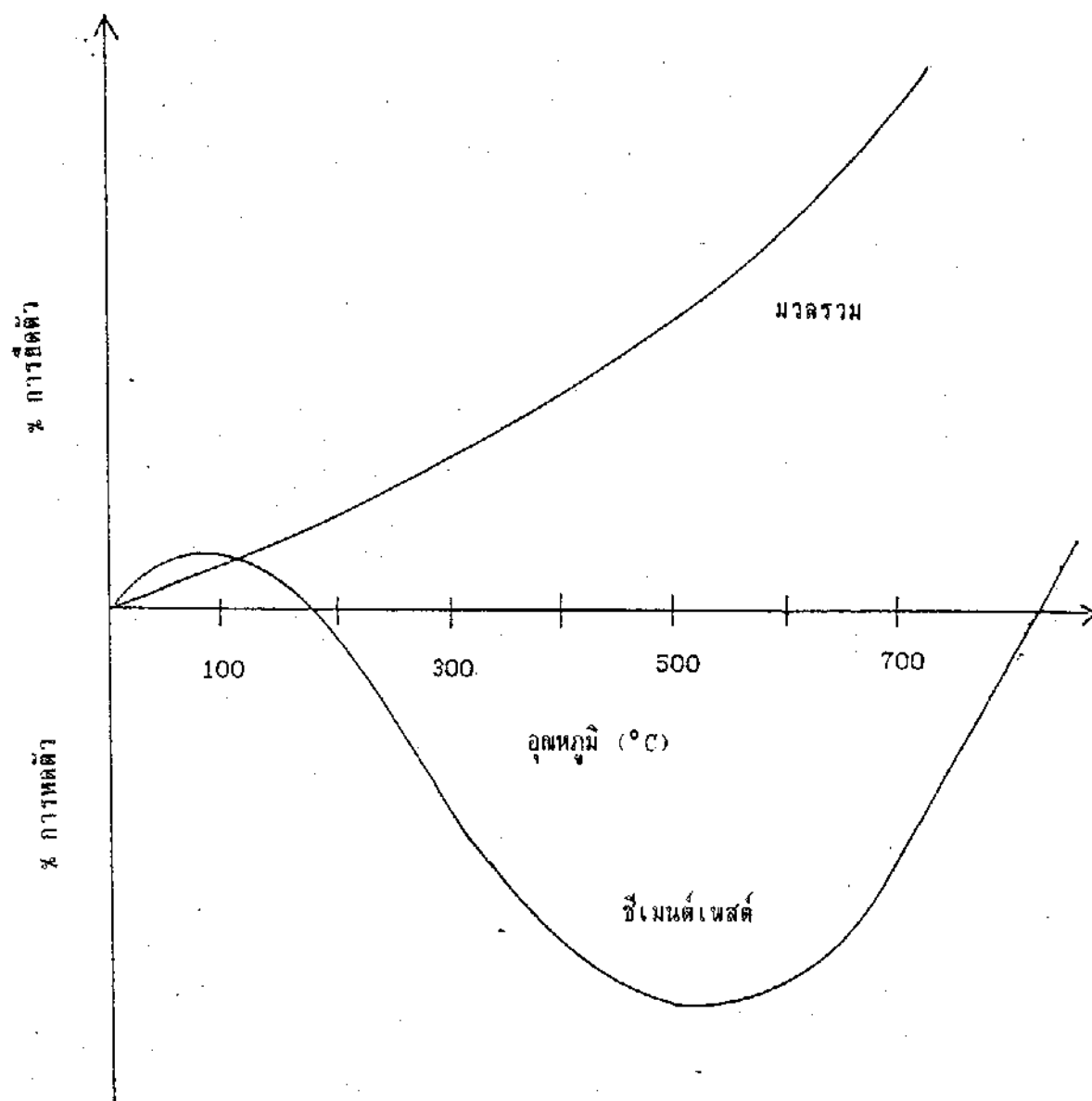
2. เกิดการสูญเสียกำลังของมอร์ต้าขึ้น ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 400-500 องศาเซลเซียส จะเกิดรอยแตกเล็กๆ ขึ้นในมอร์ต้าทั้งนี้เนื่องจากเกิด Strain Incompatibility ของซีเมนต์พาสต์กับมวลรวม ซึ่งสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.8 และจะสังเกตได้จากรอยแตกเล็กๆ ที่ผิวนอกของคอนกรีต เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอีกจะเกิดการแตก (Crack) ขึ้นกับมวลรวม

จากสาเหตุทั้งสองนี้จะเห็นได้ว่า สาเหตุที่หนึ่งนั้นมีอิทธิพลต่อการลดลงของคอนกรีตมากกว่าสาเหตุที่สอง ทั้งนี้เพราะว่าการสูญเสียน้ำนั้นได้ดำเนินมาก่อนตั้งแต่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสแล้ว แต่การสูญเสียกำลังของมอร์ต้าจะเริ่มที่อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส ช่วงอุณหภูมิประมาณ 600-800 องศาเซลเซียส การสูญเสียกำลังของมอร์ต้าและการแตกร้าวของมวลรวมจะมีอิทธิพลมากกว่า

ส่วนคอนกรีตที่มีอายุมากขึ้นหลังทำการทดสอบเผาไฟมีกำลังของคอนกรีตฟื้นตัวขึ้นมาอีกนั้นเป็น เพราะว่คอนกรีตนั้นดูดความชื้นจากภายนอกเข้าไปทำให้ปฏิกิริยาจากสมการที่ 4.1 นั้นจะเกิด Rehydration ขึ้นมาใหม่ทำให้กำลังของคอนกรีตฟื้นตัวมาอีกนั่นเอง



ภาพที่ 4.7 ค่าการลดลงของน้ำหนักของคอนกรีตที่อุณหภูมิต่างๆ



ภาพที่ 4.8 การชายตัวและหาคตัวของซีเมนต์เฟสกับมวลรวมที่อุณหภูมิต่างๆ