บทที่ 4 ผลการศึกษาวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการศึกษาวิจัย โดยหัวข้อ 4.1 จะกล่าวถึงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด หัวข้อ 4.2 จะกล่าวถึงผลการทดสอบความหนาแน่น หัวข้อ 4.3 จะกล่าวถึงผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ และหัวข้อที่ 4.4 จะกล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ

4.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด

อิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ได้แก่ อายุของตัวอย่าง อัตราส่วนผสมกระดาษ: ปูนซีเมนต์ และลักษณะการบ่มแบบต่างๆ ที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของตัวอย่าง ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 4.1.1 4.1.2 และ 4.1.3 ตามลำดับ

4.1.1 อิทธิพลของระยะเวลาในการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟที่มีต่อกำลังรับแรงอัด

ตารางที่ 4.1 แสดงกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่อายุต่างๆ รูปที่ 4.1 และ รูปที่ 4.2 แสดงการพัฒนากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่ทำการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ แล้วบ่มในอากาศและบ่มโดยรักษาความชื้น ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ทั้งตัวอย่างชุดควบคุม (CT) และตัวอย่างชุดที่มีการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ (MA และ MD) มีการพัฒนากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการบ่มเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณากลุ่มตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสม กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:2 ที่ทำการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ ที่ระยะเวลา 0 1 3 และ 5 นาที แล้วบ่มต่อในอากาศ (CT1-A MA1-1 MA1-3 และ MA1-5 ตามลำดับ) พบว่ามีค่ากำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน เท่ากับ 102.0, 106.2, 100.5 และ 98.5 ksc ตามลำดับ ส่วนกลุ่มตัวอย่างที่ทำการบ่มต่อโดยรักษาความชื้น (CT1-D MD1-1 MD1-3 และ MD1-5 ตามลำดับ) พบว่ามีค่ากำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน เท่ากับ 73.4, 68.9, 67.4 และ 64.9 ksc ตามลำดับ

เมื่อพิจารณากลุ่มตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสม กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:3 ที่ทำการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ ที่ระยะเวลา 0 1 3 และ 5 นาที แล้วบ่มต่อในอากาศ (CT2-A MA2-1 MA2-3 และ MA2-5 ตามลำดับ) พบว่ามีค่ากำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน เท่ากับ 157.2, 157.2, 149.4 และ 144.4 ksc ตามลำดับ ส่วนกลุ่มตัวอย่างที่ทำการบ่มต่อโดยรักษาความชื้น (CT2-D MD2-1 MD2-3 และ MD2-5 ตามลำดับ) พบว่ามีค่ากำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน เท่ากับ 101.9, 100.6, 98.5 และ 94.9 ksc ตามลำดับ

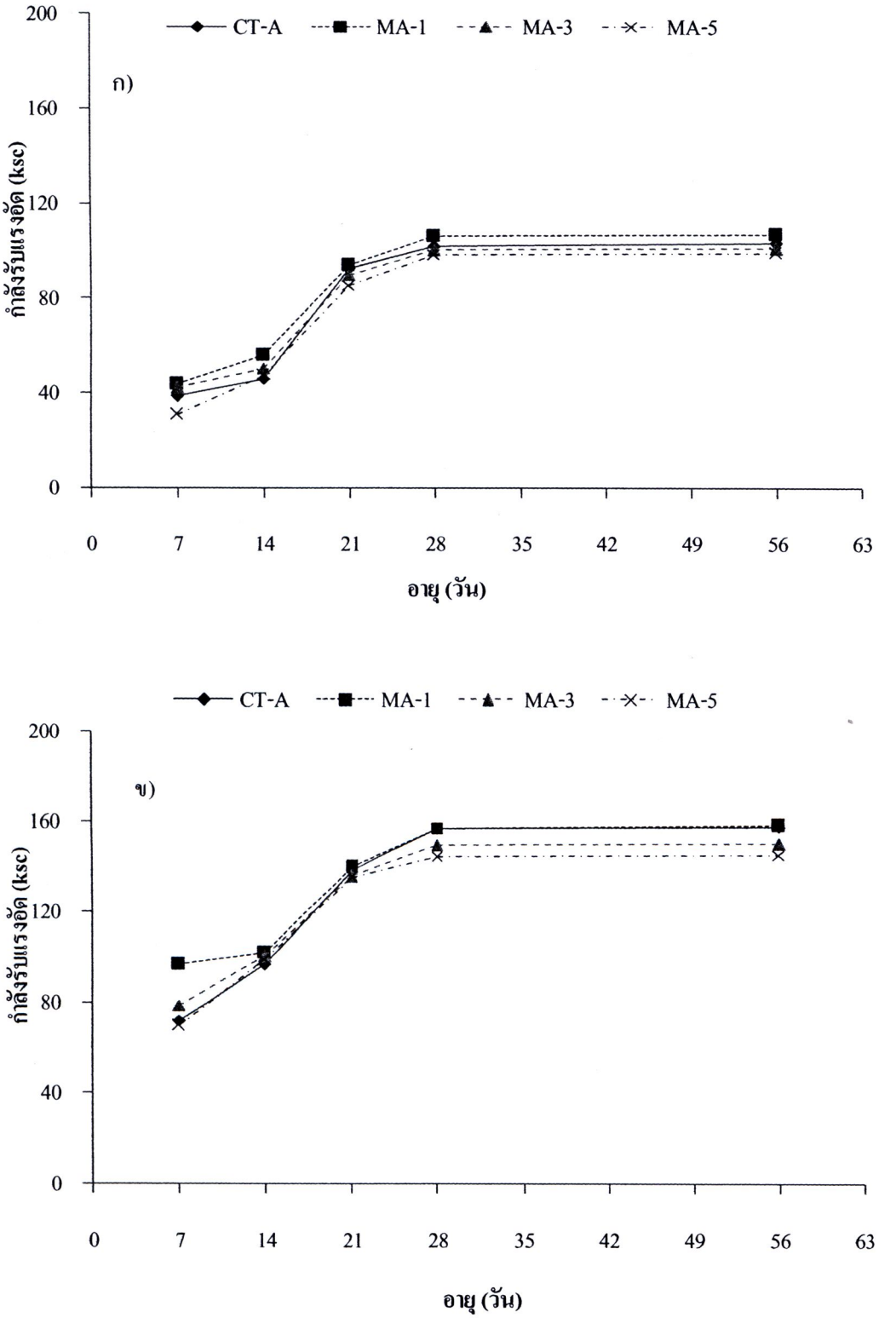
รูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ โดยใช้ระยะเวลาแตกต่างกัน จากรูปจะเห็นได้ว่า การบ่มด้วยพลังงานพลังงานไมโครเวฟไม่ได้ช่วยทำให้ตัวอย่างมีกำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ยกเว้นการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ 1 นาที แล้วบ่มอากาศ (MA-1) ที่พบว่ากลุ่มตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสม กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:2 มีกำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่ทุกอายุ และกลุ่มตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสม 1:3 มีกำลังรับแรงอัดช่วงต้น (7 วัน และ 14 วัน) เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ ทำให้น้ำในตัวอย่างมีการระบายออกไปมากขึ้น ทำให้เหลือน้ำในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเมื่อตัวอย่างมีอายุมากขึ้นน้อยลง ส่วนกลุ่มตัวอย่างที่ทำการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟแล้วบ่มโดยรักษาความชื้น พบว่าตัวอย่างมีกำลังรับแรงอัดต่ำกว่าตัวอย่างชุดควบคุมทั้งหมด เพราะทุกตัวอย่างมีเยื่อกระดาษเป็นส่วนผสมทำให้ตัวอย่างตัวอย่างในชุดควบคุม (CT) และการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟแล้วบ่มรักษาความชื้น (MD) มีปริมาณความชื้นมาก เนื่องจากเยื่อกระดาษมีสมบัติในการดูดซับน้ำสูง จึงเป็นผลทำให้ชุดตัวอย่างที่บ่มพลังงานไมโครเวฟแล้วบ่มรักษาความชื้น (MD) มีค่ากำลังรับแรงอัดที่ต่ำ

ตารางที่ 4.1 กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่อายุต่างๆ

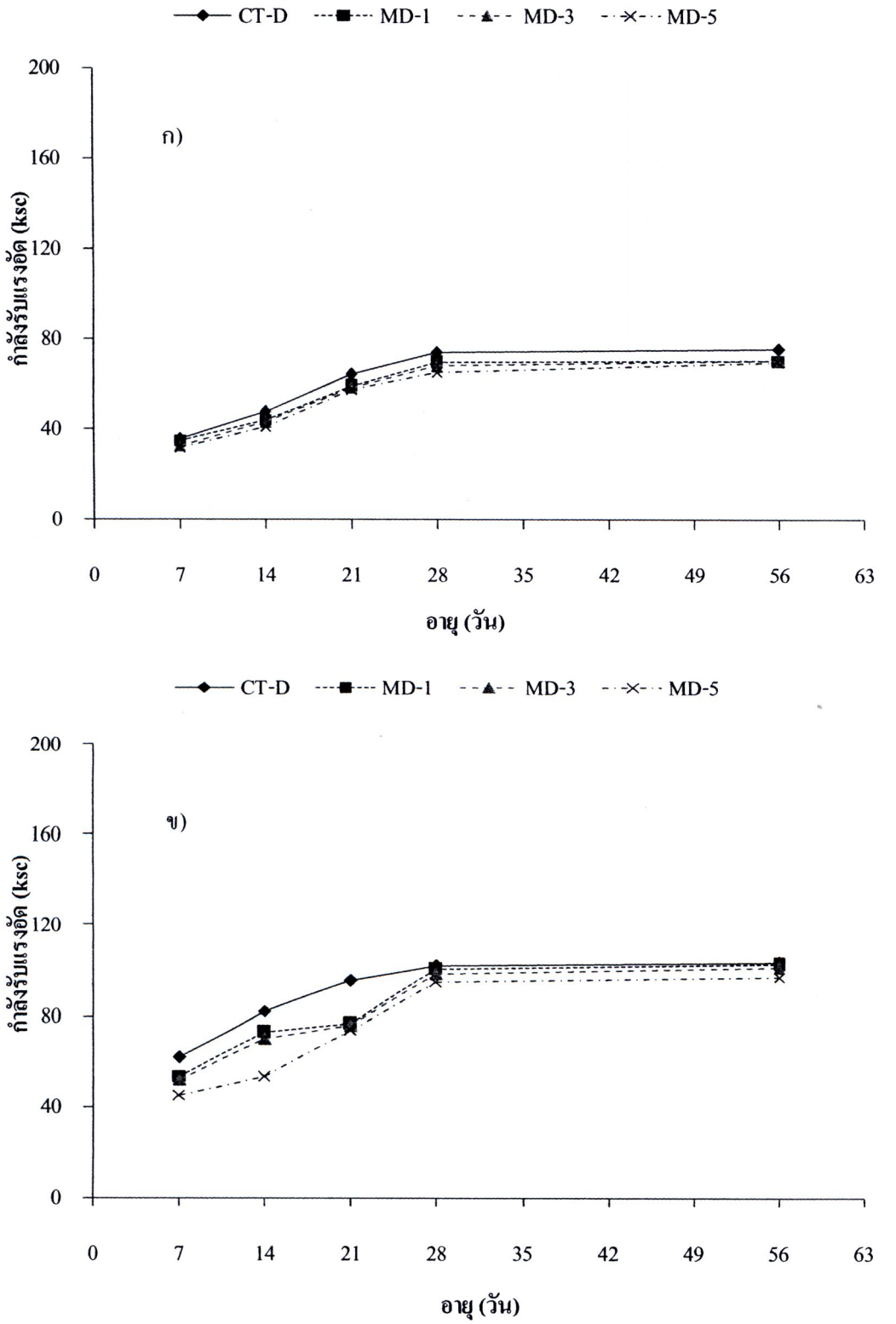
กำลังรับแรงอัด (ksc)							
การบ่ม	**กระดาษ:ปูนซีเมนต์**	**ชุดตัวอย่าง**	**7 วัน**	**14 วัน**	**21 วัน**	**28 วัน**	**56 วัน**
บ่มในอากาศ (Air)	**1:2**	CT1-A	38.7	46.2	92.8	102.0	103.1
		MA1-1	43.5	56.0	93.8	106.2	106.8
		MA1-3	42.1	50.3	89.9	100.5	101.0
		MA1-5	30.8	47.1	85.7	98.5	99.1
	1:3	CT2-A	72.0	96.5	138.3	157.2	158.1
		MA2-1	96.5	102.0	139.6	157.2	158.3
		MA2-3	78.9	100.6	135.7	149.4	150.0
		MA2-5	69.3	99.2	134.9	144.4	145.2

ตารางที่ 4.1 กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่อายุต่างๆ (ต่อ)

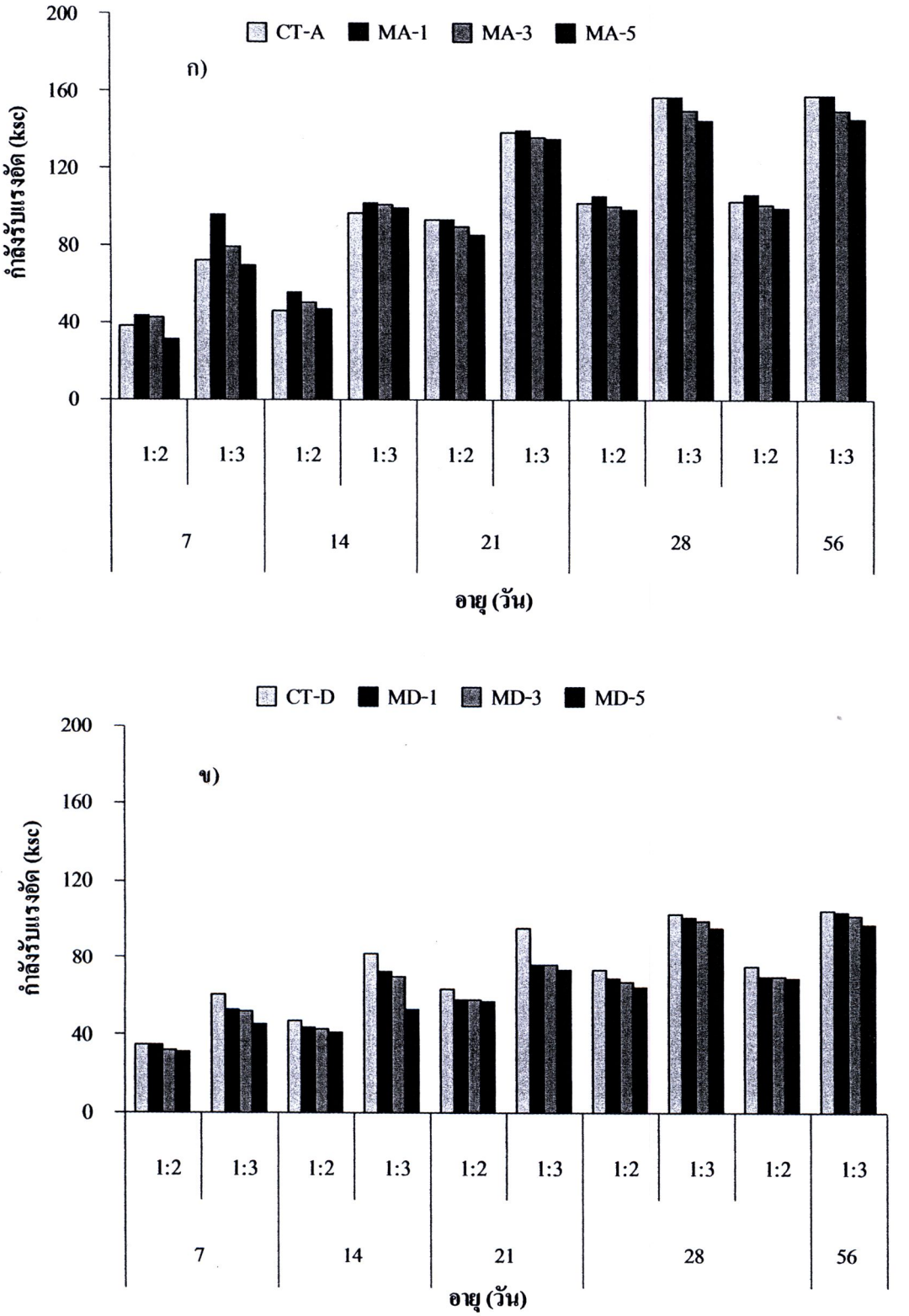
กำลังรับแรงอัด (ksc)							
การบ่ม	**กระดาษ:ปูนซีเมนต์**	**ชุดตัวอย่าง**	**7 วัน**	**14 วัน**	**21 วัน**	**28 วัน**	**56 วัน**
บ่มรักษาความชื้น (Damped)	**1:2**	CT1-D	35.3	47.1	64.0	73.4	75.2
		MD1-1	34.8	43.8	58.7	68.9	70.3
		MD1-3	32.6	42.5	58.3	67.4	70.0
		MD1-5	31.3	40.8	57.5	64.9	69.2
	1:3	CT2-D	61.5	82.1	95.5	101.9	103.6
		MD2-1	53.5	72.6	76.0	100.6	102.8
		MD2-3	52.1	69.7	75.7	98.5	101.4
		MD2-5	45.2	53.4	73.5	94.9	97.2



รูปที่ 4.1 การพัฒนากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟแล้วบ่มในอากาศ และอัตราส่วนกระดาษต่อปูนซีเมนต์ ก) 1:2 และ ข) 1:3



รูปที่ 4.2 การพัฒนากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟแล้วบ่มโดยรักษาความชื้น และมีอัตราส่วน กระดาษ : ปูนซีเมนต์ ก) 1:2 และ ข) 1:3



รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ โดยใช้ระยะเวลาแตกต่างกัน ก) บ่มในอากาศ และ ข) บ่มรักษาความชื้น

4.1.2 อิทธิพลของอัตราส่วนผสมของ กระดาษ : ปูนซีเมนต์ ที่มีต่อกำลังรับแรงอัด

การเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างอายุ 28 วัน ที่มีอัตราส่วนผสมของ กระดาษ : ปูนซีเมนต์ แตกต่างกันและถูกบ่มด้วยวิธีต่างๆกัน ได้แก่ บ่มในอากาศ บ่มแบบรักษาความชื้น บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ และบ่มแบบสลับได้แสดงไว้ใน ตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.4

เมื่อพิจารณากำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน ของกลุ่มตัวอย่างที่มีอัตราส่วน กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:2 ที่ผ่านการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ 0, 1, 3 และ 5 นาที แล้วบ่มในอากาศ (CT-A MA-1 MA-3 และ MA-5 ตามลำดับ) พบว่ามีค่ากำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน เท่ากับ 102.0, 106.1, 100.5 และ 98.5 ksc ตามลำดับในขณะที่ ที่อัตราส่วน 1:3 มีค่าเป็น 157.2, 157.2, 149.4 และ 144.4 ksc ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่ากลุ่มตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสม 1:2 ที่มีการบ่มลักษณะเดียวกัน

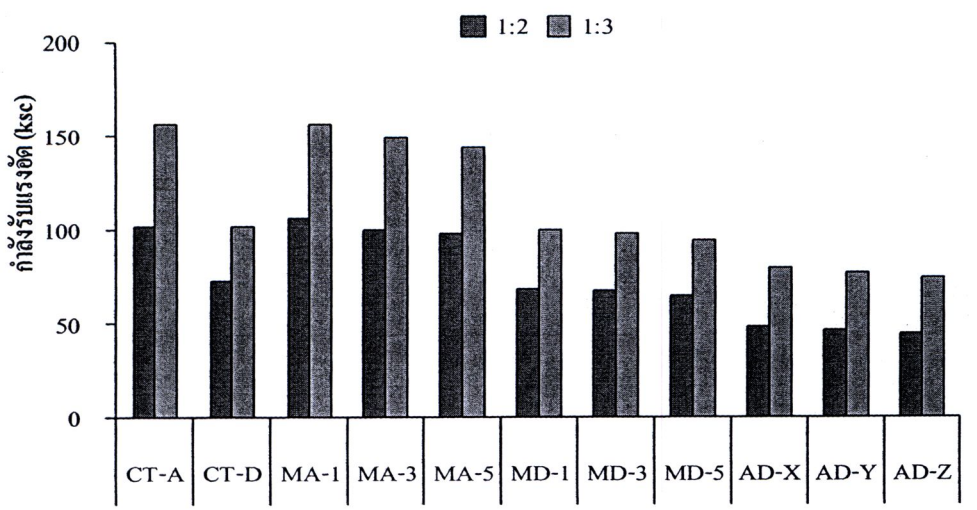
เมื่อพิจารณากำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน ของกลุ่มตัวอย่างที่มีอัตราส่วน กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:2 บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ 0, 1, 3 และ 5 นาที แล้วบ่มโดยรักษาความชื้น (CT-D MD-1 MD-3 และ MD-5 ตามลำดับ) พบว่ามีค่ากำลังรับแรงอัด เท่ากับ 73.4, 68.9, 67.4 และ 64.9 ksc ตามลำดับ ในขณะที่อัตราส่วน 1:3 มีค่าเท่ากับ 101.9, 100.6, 98.5 และ 94.9 ksc ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่ากลุ่มตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสม 1:2 ที่มีการบ่มลักษณะเดียวกัน

ส่วนกลุ่มตัวอย่างที่มีอัตราส่วน กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:2 และมีการบ่มแบบสลับ AD-X AD-Y และ AD-Z มีค่ากำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน เท่ากับ 48.5, 47.6 และ 45.2 ksc ตามลำดับ ในขณะที่ที่มีอัตราส่วน 1:3 มีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 80.2, 77.6 และ 75.3 ksc ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่ากลุ่มตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสม 1:2 ที่มีการบ่มลักษณะเดียวกัน

จากผลการทดลองข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า ปริมาณปูนซีเมนต์มีอิทธิพลต่อกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างอย่างเห็นได้ชัด โดยกำลังรับแรงอัดจะมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณของปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น โดยชุดตัวอย่างทุกสภาวะการบ่มที่มีอัตราส่วนผสม กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:2 มีกำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน น้อยกว่าชุดตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสม กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:3 คิดเป็นประมาณร้อยละ 38.9 ถึง 66.5 เพราะปริมาณปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดชั่นในตัวอย่างมากขึ้น ทำให้ตัวอย่างมีกำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.2 กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างอายุ 28 วันที่มีอัตราส่วนผสมของ กระดาษ : ปูนซีเมนต์ แตกต่างกัน

ชุดตัวอย่าง		กำลังรับแรงอัด (ksc)		ความแตกต่างของกำลังรับแรงอัด $(\frac{B-A}{A}\times 100)$ (%)
		กระดาษ :ปูนซีเมนต์ 1:2 (A)	กระดาษ :ปูนซีเมนต์ 1:3 (B)	
CT	CT-A	102.0	157.2	54.0
	CT-D	73.4	101.9	38.9
MA	MA-1	106.1	157.2	48.1
	MA-3	100.5	149.4	48.7
	MA-5	98.5	144.4	46.6
MD	MD-1	68.9	100.6	45.9
	MD-3	67.4	98.5	46.2
	MD-5	64.9	94.9	46.2
AD	AD-X	48.5	80.2	65.3
	AD-Y	47.6	77.6	63.1
	AD-Z	45.2	75.3	66.5



รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างอายุ 28 วันที่มีอัตราส่วนผสมของ กระดาษ : ปูนซีเมนต์ ที่แตกต่างกัน

4.1.3 อิทธิพลของลักษณะการบ่มที่มีต่อกำลังรับแรงอัด

ตารางที่ 4.3 แสดงกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างอายุ 28 วัน ที่มีลักษณะการบ่มแตกต่างกันและตารางที่ 4.4 แสดงกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างอายุ 28 วัน ที่มีลักษณะการบ่มแบบสลับ การเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างอายุ 28 วัน ที่มีลักษณะการบ่มแตกต่างกัน ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.5

เมื่อพิจารณากำลังรับอัดของตัวอย่างอายุ 28 วัน ที่มีอัตราส่วนผสมของ กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:2 และมีการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟนาน 0 1 3 และ 5 นาที แล้วบ่มต่อในอากาศ (CT-A MA-1 MA-3 และ MA-5 ตามลำดับ) พบว่ามีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 102.0, 106.2, 100.5 และ 98.5 ksc ตามลำดับ ในขณะกลุ่มตัวอย่างที่บ่มต่อโดยรักษาความชื้น (CT-D MD-1 MD-3 และ MD-5 ตามลำดับ) พบว่ามีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 73.4, 68.9, 67.4 และ 64.9 ksc ตามลำดับ

เมื่อพิจารณากำลังรับอัดของตัวอย่างอายุ 28 วัน ที่มีอัตราส่วนผสมของ กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:3 และมีการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟนาน 0 1 3 และ 5 นาที แล้วบ่มต่อในอากาศ (CT-A MA-1 MA-3 และ MA-5 ตามลำดับ) พบว่ามีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 157.2, 157.2, 149.4 และ 144.4 ksc ตามลำดับ ในขณะกลุ่มตัวอย่างที่บ่มต่อโดยรักษาความชื้น (CT-D MD-1 MD-3 และ MD-5 ตามลำดับ) พบว่ามีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 101.9, 100.6, 98.5 และ 94.9 ksc ตามลำดับ

กลุ่มตัวอย่างที่บ่มในอากาศ มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่ากลุ่มตัวอย่างที่บ่มแบบรักษาความชื้น ส่วนตัวอย่างที่บ่มแบบสลับ AD-X AD-Y และ AD-Z ที่อัตราส่วนกระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:2 มีกำลังรับแรงอัดเท่ากับ 48.5, 47.6 และ 45.2 ksc ตามลำดับ ในขณะที่ที่อัตราส่วน 1:3 มีกำลังรับแรงอัดเท่ากับ 80.2, 77.6 และ 75.3 ksc ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่บ่มแบบสลับ (AD) มีค่ากำลังรับแรงอัดน้อยกว่าทั้งตัวอย่างที่บ่มในอากาศ และที่บ่มแบบรักษาความชื้น

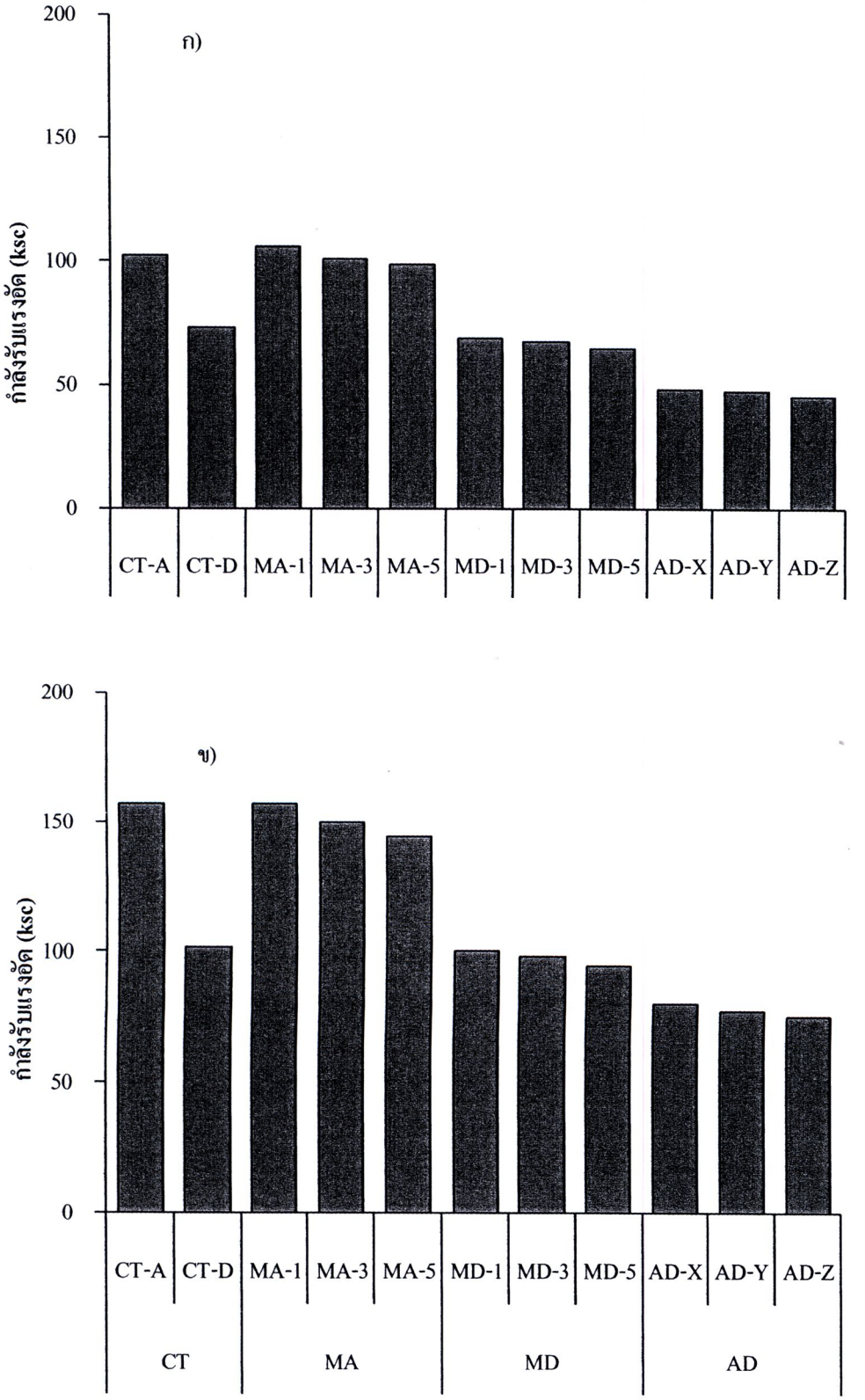
จากผลการทดลองข้างต้นจึงสรุปสามารถได้ว่า ลักษณะการบ่มมีอิทธิพลต่อกำลังรับแรงอัด เนื่องจากตัวอย่างที่บ่มในอากาศ (CT–A) มีกำลังสูงกว่าตัวอย่างที่ทำการบ่มแบบรักษาความชื้นตลอดเวลา (CT-D) ทั้งนี้น่าจะมีสาเหตุมาจากกระดาษในตัวอย่างดูดซึมน้ำได้สูง เมื่อทำการบ่มตัวอย่างโดยป้องกันไม่ให้มีการสูญเสียความชื้นทำให้ตัวอย่างมีปริมาณน้ำส่วนเกินหลงเหลืออยู่มากเกินไป และเมื่อนำมาทดสอบปริมาณน้ำส่วนเกินนี้ส่งผลทำให้ตัวอย่างมีกำลังรับแรงอัดที่ต่ำ ในขณะที่การบ่มแบบสลับไม่ส่งผลทำให้ตัวอย่างมีกำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มตัวอย่างชุดควบคุม (CT-A) และเมื่อพิจารณากลุ่มตัวอย่างที่มีการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟแล้วตามด้วยการบ่มในอากาศ (MA) จะพบว่า การบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟไม่ได้ส่งผลทำให้ตัวอย่างมีกำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นเช่นกัน ตามที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 4.1.1

ตารางที่ 4.3 กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างอายุ 28 วันที่มีลักษณะการบ่มแตกต่างกัน

การบ่ม	กำลังรับแรงอัด (ksc)							
บ่มในอากาศ	กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:2				กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:3			
	ชุดควบคุม (CT1-A)	ระยะเวลาในการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ			ชุดควบคุม (CT2-A)	ระยะเวลาในการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ		
		1 นาที (MA1-1)	3 นาที (MA1-3)	5 นาที (MA1-5)		1 นาที (MA2-1)	3 นาที (MA2-3)	5 นาที (MA1-5)
	102.0	106.2	100.5	98.5	157.2	157.2	149.4	144.4
บ่มแบบรักษาความชื้น	ชุดควบคุม (CT1-D)	ระยะเวลาในการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ			ชุดควบคุม (CT2-D)	ระยะเวลาในการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ		
		1 นาที (MD1-1)	3 นาที (MD1-3)	5 นาที (MD1-5)		1 นาที (MD2-1)	3 นาที (MD2-3)	5 นาที (MD1-5)
	73.4	68.9	67.4	64.9	101.9	100.6	98.5	94.9
ความแตกต่างของกำลังรับแรงอัด (%)	28.05	35.08	32.93	34.12	35.16	36.05	34.06	34.29

ตารางที่ 4.4 กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างอายุ 28 วันที่มีลักษณะการบ่มแบบสลับ

การบ่ม	อัตราส่วน กระดาษ : ปูนซีเมนต์	กำลังรับแรงอัด (ksc)		
		X	Y	Z
บ่มแบบสลับ (AD)	1:2	48.5	47.6	45.2
	1:3	80.2	77.6	75.3



รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างอายุ 28 วันที่มีลักษณะการบ่มแตกต่างกันและมีอัตราส่วนกระดาษต่อปูนซีเมนต์ ก) 1:2 และ ข) 1:3

4.2 ผลการทดสอบความหนาแน่น

อิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ได้แก่ อายุของตัวอย่าง อัตราส่วนผสมกระดาษ: ปูนซีเมนต์ และลักษณะการบ่มแบบต่างๆ ที่มีผลต่อความหนาแน่นของตัวอย่าง ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 4.1.1, 4.1.2 และ 4.1.3 ตามลำดับ

4.2.1 อิทธิพลของระยะเวลาในการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟที่มีต่อความหนาแน่น

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความหนาแน่นของตัวอย่างที่อายุต่างๆ รูปที่ 4.6 และ รูปที่ 4.7 แสดงค่าความหนาแน่นของตัวอย่างที่ทำการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ แล้วบ่มในอากาศและบ่มโดยรักษาความชื้นตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ทั้งตัวอย่างชุดควบคุม (CT) และตัวอย่างชุดที่มีการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ (MA และ MD) มีค่าความหนาแน่นลดลงเมื่อระยะเวลาในการบ่มเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการที่มีน้ำหายไปจากการทำปฏิกิริยาไฮเดชั่น และระเหยออกจากตัวอย่างไป

เมื่อพิจารณากลุ่มตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสม กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:2 ที่ทำการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ ที่ระยะเวลา 0 1 3 และ 5 นาที แล้วบ่มต่อในอากาศ (CT1-A MA1-1 MA1-3 และ MA1-5 ตามลำดับ) พบว่ามีค่าความหนาแน่นที่ 28 วัน เท่ากับ 1,425, 1,339, 1,391 และ 1,371 kg/m^3 ตามลำดับ ส่วนกลุ่มตัวอย่างที่ทำการบ่มต่อโดยรักษาความชื้น (CT1-D MD1-1 MD1-3 และ MD1-5 ตามลำดับ) พบว่ามีค่าความหนาแน่นที่ 28 วัน เท่ากับ 1,425, 1,461, 1,472 และ 1,466 kg/m^3 ตามลำดับ

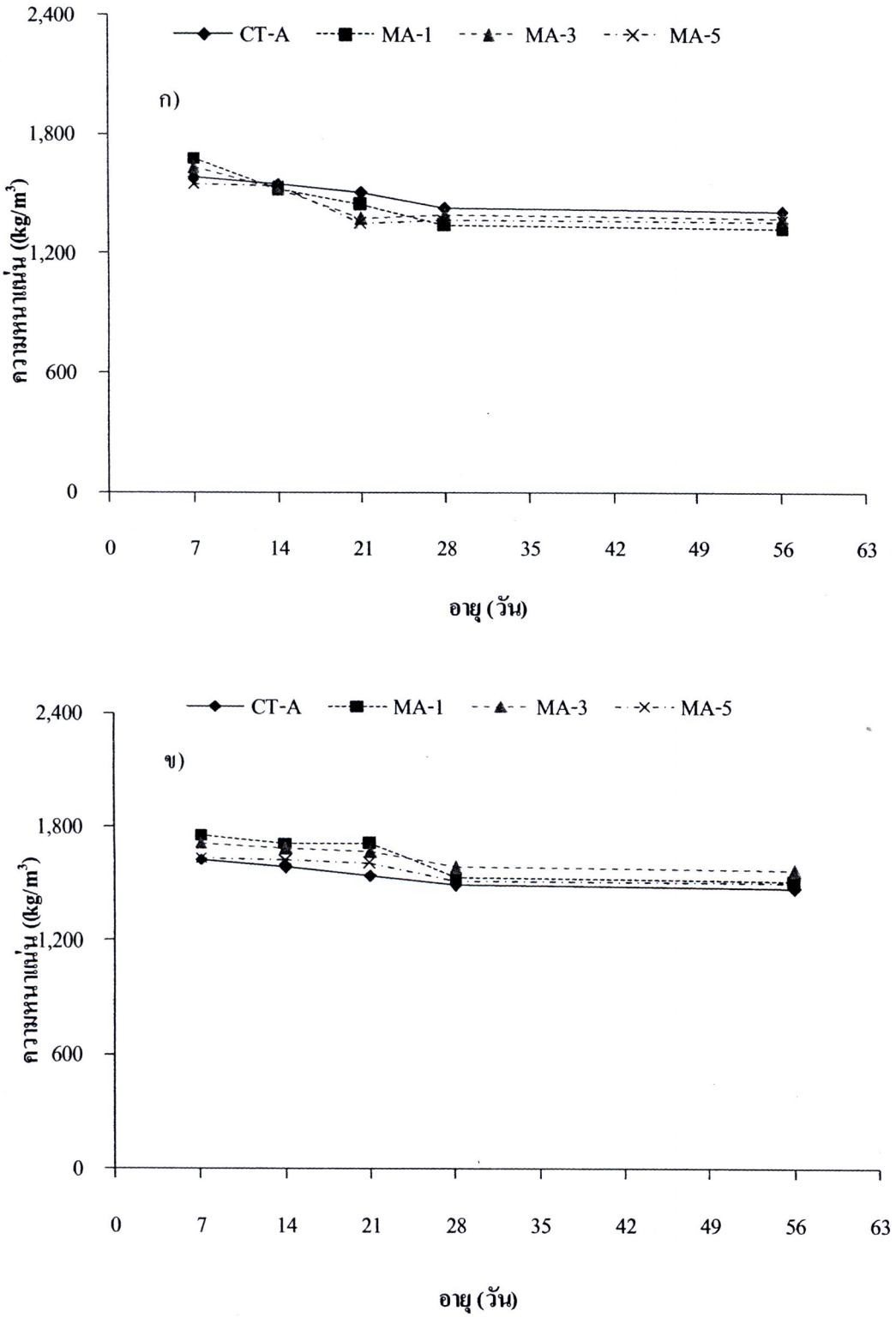
เมื่อพิจารณากลุ่มตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสม กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:3 ที่ทำการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ ที่ระยะเวลา 0 1 3 และ 5 นาที แล้วบ่มต่อในอากาศ (CT2-A, MA2-1, MA2-3 และ MA2-5 ตามลำดับ) พบว่ามีค่าความหนาแน่นที่ 28 วัน เท่ากับ 1,489, 1,532, 1,583 และ 1,516 kg/m^3 ตามลำดับ ส่วนกลุ่มตัวอย่างที่ทำการบ่มต่อโดยรักษาความชื้น (CT2-D, MD2-1, MD2-3 และ MD2-5 ตามลำดับ) พบว่ามีค่าความหนาแน่นที่ 28 วัน เท่ากับ 1,489, 1,587, 1,597, และ 1,681 kg/m^3 ตามลำดับ

รูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบความหนาแน่นของตัวอย่างที่บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ โดยใช้ระยะเวลาแตกต่างกัน จากรูปจะเห็นได้ว่า การบ่มด้วยพลังงานพลังงานไมโครเวฟก่อน มีผลทำให้ตัวอย่างมีความหนาแน่นเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันไป โดยพบว่าตัวอย่างเกือบทั้งหมดมีค่าความหนาแน่นสูงขึ้นเล็กน้อย ยกเว้นกลุ่มตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสมของ กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:2 ที่บ่มต่อในอากาศ ซึ่งพบว่า มีค่าความหนาแน่นลดลงในตัวอย่างส่วนใหญ่ และเมื่อพิจารณาระยะเวลาในการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ พบว่าการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟที่นานขึ้น ทำให้ตัวอย่างส่วนใหญ่มี

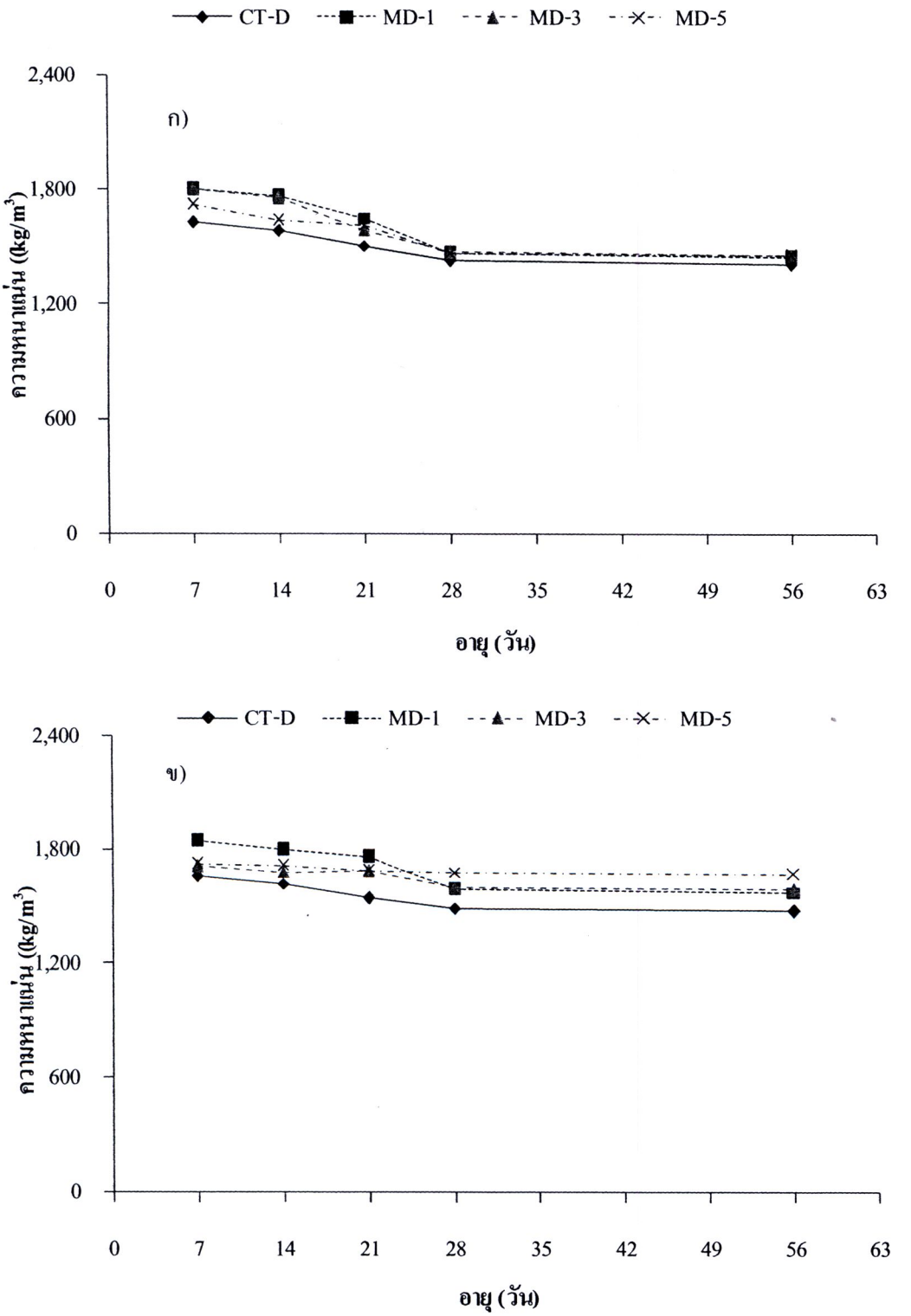
ความหนาแน่นลดลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ การบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ ทำให้น้ำในตัวอย่างมีการระบายออกไปมากขึ้นน้ำหนักของตัวอย่างจึงลดลง

ตารางที่ 4.5 ความหนาแน่นของตัวอย่างอายุต่างๆที่มีระยะเวลาในการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟแตกต่างกัน

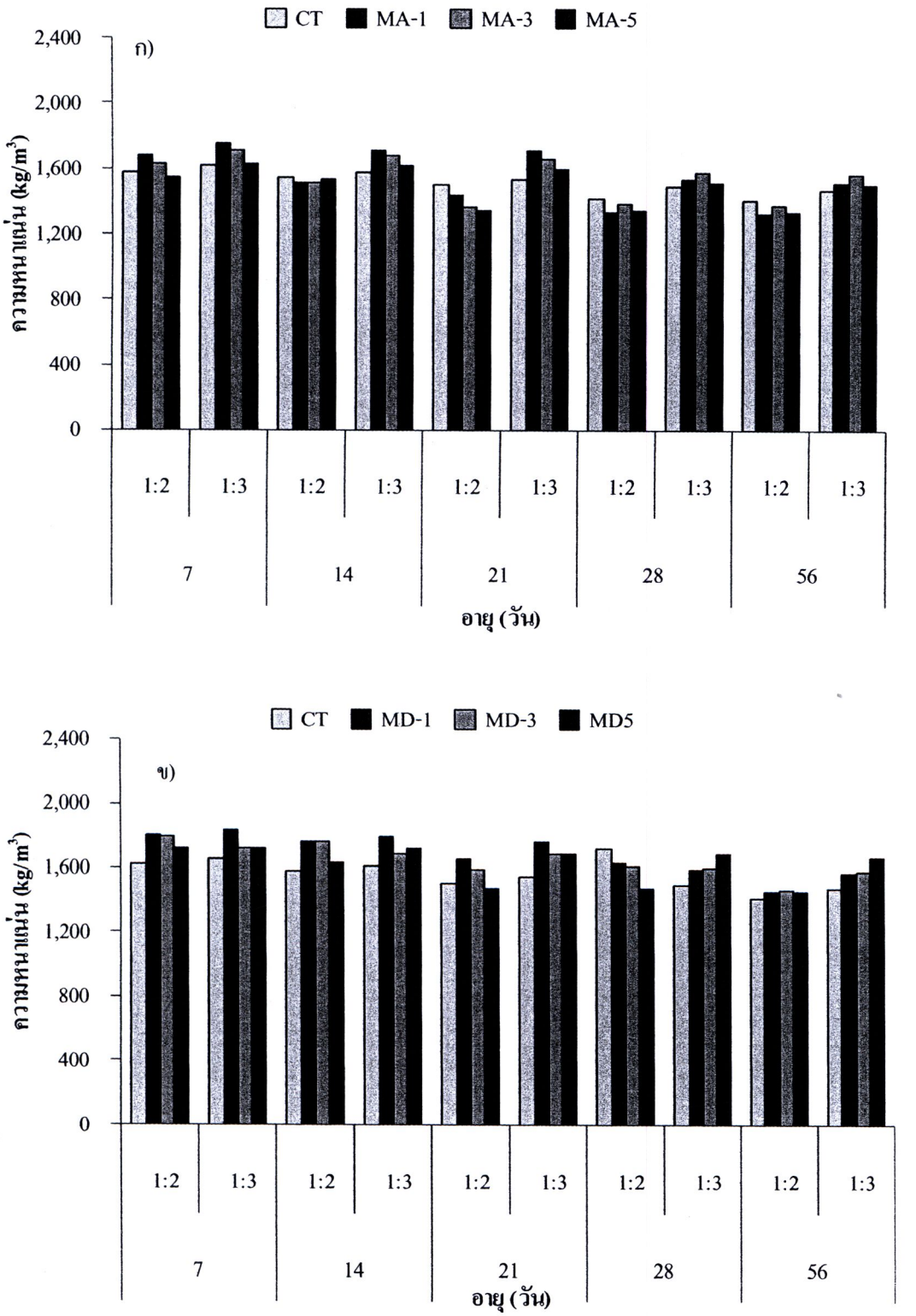
ความหนาแน่น (kg/m^3)							
การบ่ม	**กระดาษ: ปูนซีเมนต์**	**ชุดตัวอย่าง**	**7 วัน**	**14 วัน**	**21 วัน**	**28 วัน**	**56 วัน**
บ่มในอากาศ (Air)	**1:2**	CT1-A	1,583	1,551	1,502	1,425	1,411
		MA1-1	1,680	1,520	1,441	1,339	1,325
		MA1-3	1,633	1,520	1,372	1,391	1,377
		MA1-5	1,551	1,541	1,347	1,371	1,357
	1:3	CT2-A	1,624	1,583	1,541	1,489	1,475
		MA2-1	1,760	1,714	1,711	1,532	1,516
		MA2-3	1,714	1,680	1,665	1,583	1,567
		MA2-5	1,633	1,624	1,601	1,516	1,501
บ่มรักษาความชื้น (Damped)	**1:2**	CT1-D	1,624	1,583	1,502	1,425	1,411
		MD1-1	1,800	1,760	1,648	1,461	1,446
		MD1-3	1,796	1,755	1,584	1,472	1,458
		MD1-5	1,714	1,633	1,611	1,466	1,452
	1:3	CT2-D	1,657	1,615	1,541	1,489	1,475
		MD2-1	1,837	1,796	1,755	1,587	1,571
		MD2-3	1,714	1,680	1,687	1,597	1,581
		MD2-5	1,720	1,714	1,686	1,681	1,664



รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของตัวอย่างที่บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟแล้วบ่มในอากาศ และมีอัตราส่วนของ กระดาษ : ปูนซีเมนต์ ก) 1:2 และ ข) 1:3



รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของตัวอย่างที่บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟแล้วบ่มโดยรักษาความชื้น และมีอัตราส่วนผสมของ กระดาษ : ปูนซีเมนต์ ก) 1:2 และ ข) 1:3



รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบความหนาแน่นของตัวอย่างอายุต่างๆที่บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ โดยใช้ระยะเวลาที่แตกต่างกัน ก) บ่มในอากาศ ข) บ่มรักษาความชื้น

4.2.2 อิทธิพลของอัตราส่วนผสมของกระดาษ : ปูนซีเมนต์ ที่มีต่อความหนาแน่น

การเปรียบเทียบความหนาแน่นของตัวอย่างอายุ 28 วัน ที่มีอัตราส่วนผสมของ กระดาษ : ปูนซีเมนต์ แตกต่างกันและถูกบ่มด้วยวิธีต่างๆกัน ได้แก่ บ่มในอากาศ การบ่มแบบรักษาความชื้น บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ และการบ่มแบบสลับได้แสดงไว้ใน ตารางที่ 4.6 และ รูปที่ 4.9

เมื่อพิจารณาความหนาแน่นที่อายุ 28 วัน ของกลุ่มตัวอย่างที่มีอัตราส่วน กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:2 ที่ผ่านการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ 0, 1, 3 และ 5 นาที แล้วบ่มในอากาศ (CT-A, MA-1, MA-3 และ MA-5 ตามลำดับ) พบว่ามีค่าความหนาแน่นที่ 28 วัน เท่ากับ 1,425, 1,339, 1,391 และ 1,371 kg/m^3 ตามลำดับ ในขณะที่ที่อัตราส่วน 1:3 มีค่าเป็น 1,489, 1,532, 1,583 และ 1,516 kg/m^3 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่ากลุ่มตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสม 1:2 ที่มีการบ่มลักษณะเดียวกัน

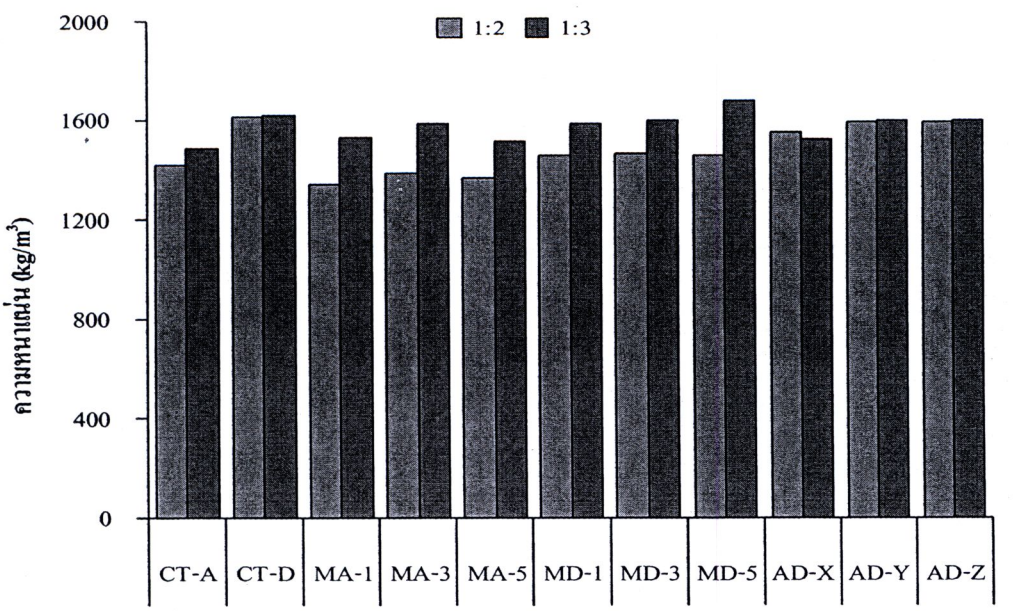
เมื่อพิจารณาความหนาแน่นที่อายุ 28 วัน ของกลุ่มตัวอย่างที่มีอัตราส่วน กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:2 บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ 0 1 3 และ 5 นาที แล้วบ่มโดยรักษาความชื้น (CT-D, MD-1, MD-3 และ MD-5 ตามลำดับ) พบว่ามีค่าความหนาแน่น เท่ากับ 1,611, 1,461, 1,472 และ 1,466 kg/m^3 ตามลำดับ ในขณะที่ที่อัตราส่วน 1:3 มีค่าเท่ากับ 1,620, 1,587, 1,597 และ 1,681 kg/m^3 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่ากลุ่มตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสม 1:2 ที่มีการบ่มลักษณะเดียวกัน

ส่วนกลุ่มตัวอย่างที่มีอัตราส่วน กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:2 และมีการบ่มแบบสลับ AD-X AD-Y และ AD-Z มีค่าความหนาแน่นที่ 28 วัน เท่ากับ 1,550, 1,590 และ 1,595 kg/m^3 ตามลำดับ ในขณะที่ที่มีอัตราส่วน 1:3 มีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 1,526, 1,598 และ 1,600 kg/m^3 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่ากลุ่มตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสม 1:2 ที่มีการบ่มลักษณะเดียวกัน

จากผลการทดลองข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า ปริมาณปูนซีเมนต์มีอิทธิพลต่อความหนาแน่นของตัวอย่างอย่างเห็นได้ชัดตามคาด โดยความหนาแน่นจะมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณของปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น โดยชุดตัวอย่างทุกสภาวะการบ่มที่มีอัตราส่วนผสม กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:2 มีความหนาแน่นที่ 28 วัน น้อยกว่าชุดตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสม กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:3 คิดเป็นประมาณร้อยละ 0.3 ถึง 14.6 เพราะปริมาณปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นทำให้ช่องว่างระหว่างกระดาษกับปูนซีเมนต์ในตัวอย่างลดลง ตัวอย่างจึงมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.6 ความหนาแน่นของตัวอย่างอายุ 28 วัน ที่มีอัตราส่วนผสมของ กระดาษ : ปูนซีเมนต์ แตกต่างกัน

การบ่ม		ความหนาแน่น (kg/m^3)		ความแตกต่างของความหนาแน่น $(\frac{B-A}{A}\times 100)$ (%)
		กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:2	กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:3	
CT	CT-A	1,425	1,489	4.5
	CT-D	1,611	1,620	0.6
MA	MA-1	1,339	1,532	14.4
	MA-3	1,391	1,583	13.8
	MA-5	1,371	1,516	10.6
MD	MD-1	1,461	1,587	8.6
	MD-3	1,472	1,597	8.5
	MD-5	1,466	1,681	14.6
AD	AD-X	1,550	1,526	1.6
	AD-Y	1,590	1,598	0.5
	AD-Z	1,595	1,600	0.3



รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบความหนาแน่นของตัวอย่างอายุ 28 วันที่มีอัตราส่วน กระดาษ : ปูนซีเมนต์ แตกต่างกัน

4.2.3 อิทธิพลของลักษณะการบ่มที่มีผลต่อความหนาแน่น

ตารางที่ 4.7 แสดงความหนาแน่นของตัวอย่างอายุ 28 วัน ที่มีลักษณะการบ่มแตกต่างกัน และตารางที่ 4.8 แสดงความหนาแน่นของตัวอย่างอายุ 28 วัน ที่มีลักษณะการบ่มแบบสลับ การเปรียบเทียบความหนาแน่นของตัวอย่างอายุ 28 วัน ที่มีลักษณะการบ่มแตกต่างกัน ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.10

เมื่อพิจารณาความหนาแน่นของตัวอย่างอายุ 28 วัน ที่มีอัตราส่วนผสมของ กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:2 และมีการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟนาน 0 1 3 และ 5 นาที แล้วบ่มต่อในอากาศ (CT-A, MA-1, MA-3 และ MA-5 ตามลำดับ) พบว่ามีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1,425, 1,339, 1,391 และ 1,371 kg/m^3 ตามลำดับ ในขณะกลุ่มตัวอย่างที่บ่มต่อโดยรักษาความชื้น (CT-D, MD-1, MD-3 และ MD-5 ตามลำดับ) พบว่ามีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1,611, 1,416, 1,472 และ 1,466 kg/m^3 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าที่บ่มในอากาศ

เมื่อพิจารณาความหนาแน่นของตัวอย่างอายุ 28 วัน ที่มีอัตราส่วนผสมของ กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:3 และมีการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟนาน 0, 1, 3 และ 5 นาที แล้วบ่มต่อในอากาศ (CT-A, MA-1, MA-3 และ MA-5 ตามลำดับ) พบว่ามีความหนาแน่นเท่ากับ 1,489, 1,532, 1,583 และ 1,516 kg/m^3 ตามลำดับ ในขณะกลุ่มตัวอย่างที่บ่มต่อโดยรักษาความชื้น (CT-D, MD-1, MD-3 และ MD-5 ตามลำดับ) พบว่ามีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1,620, 1,587, 1,597 และ 1,681 kg/m^3 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าที่บ่มในอากาศ

ส่วนตัวอย่างที่บ่มแบบสลับ AD-X, AD-Y และ AD-Z ที่อัตราส่วนกระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:2 มีความหนาแน่นเท่ากับ 1,550, 1,590 และ 1,595 kg/m^3 ตามลำดับ ในขณะที่ที่อัตราส่วน 1:3 มีความหนาแน่นเท่ากับ 1,526, 1,598 และ 1,600 kg/m^3 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าความหนาแน่นของตัวอย่างที่บ่มแบบสลับ (AD) มีค่าความหนาแน่นมากกว่าตัวอย่างที่บ่มในอากาศ และมีค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกับการบ่มแบบรักษาความชื้น

จากผลการทดลองข้างต้นจึงสรุปสามารถได้ว่า ลักษณะการบ่มมีอิทธิพลต่อค่าความหนาแน่น เนื่องจากตัวอย่างที่บ่มในอากาศ (CT–A) มีค่าความหนาแน่นต่ำกว่าตัวอย่างที่ทำการบ่มแบบรักษาความชื้นตลอดเวลา (CT-D) ทั้งนี้น่าจะมีสาเหตุมาจากกระดาษในตัวอย่างดูดซึมน้ำได้สูง เมื่อทำการบ่มตัวอย่างโดยป้องกันไม่ให้มีการสูญเสียความชื้นทำให้ตัวอย่างมีปริมาณน้ำส่วนเกินหลงเหลืออยู่มากเกินไปและเมื่อนำมาทดสอบปริมาณน้ำส่วนเกินนี้ส่งผลทำให้ตัวอย่างมีความหนาแน่นสูง ในขณะที่การบ่มแบบสลับทำให้ตัวอย่างมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มตัวอย่างชุดควบคุมที่บ่มในอากาศ (CT-A) และเมื่อพิจารณากลุ่มตัวอย่างที่มีการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟแล้วตามด้วยการบ่มในอากาศ (MA) และตามด้วยการบ่มแบบรักษาความชื้นจะพบว่า การบ่มด้วยพลังงาน

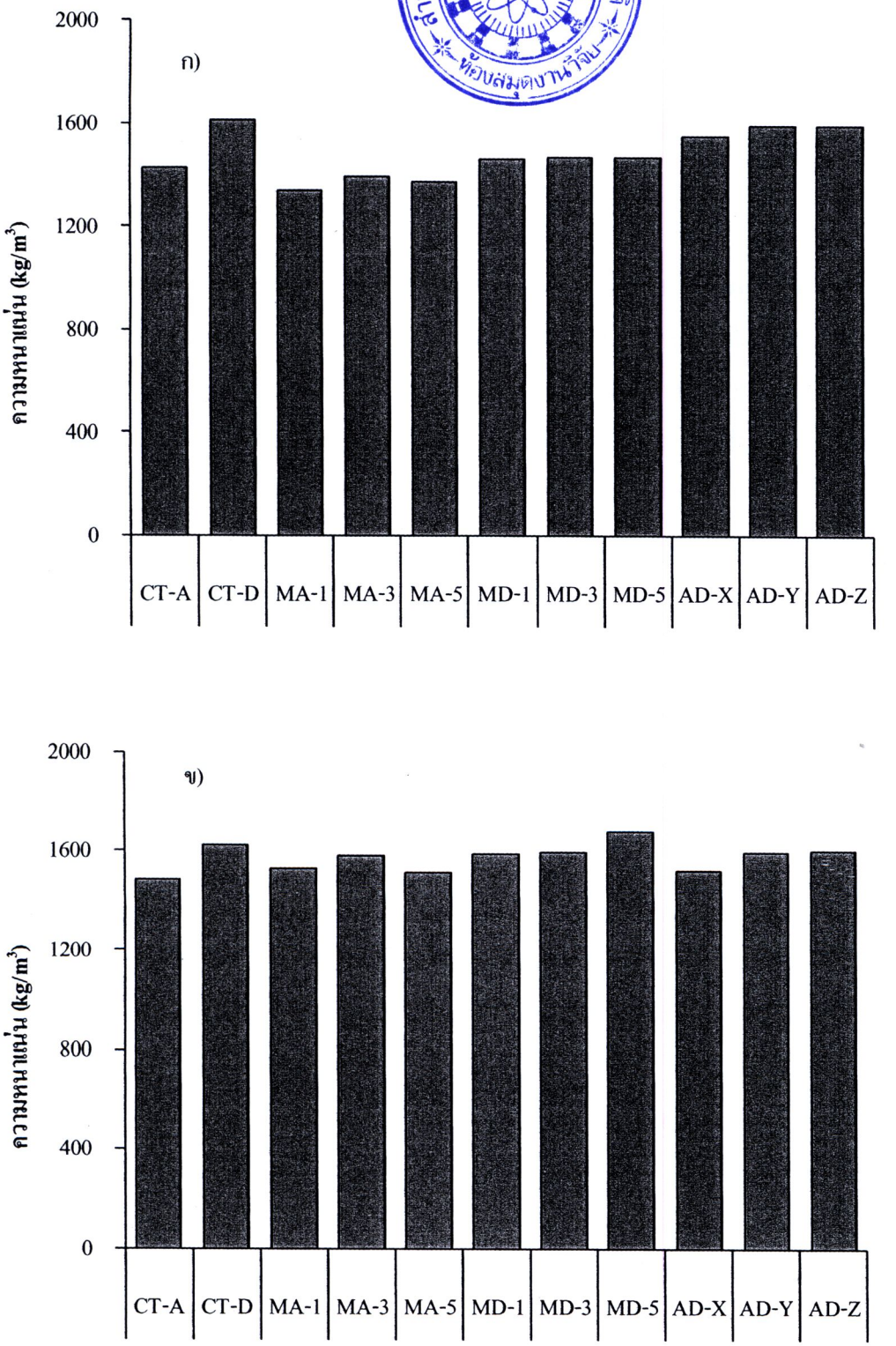
ไมโครเวฟทำให้ตัวอย่างมีความหนาแน่นต่ำกว่าชุดตัวอย่างที่ทำการบ่มแบบรักษาความชื้น (CT-D) ตามที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 4.2.1

ตารางที่ 4.7 ความหนาแน่นของตัวอย่างอายุ 28 วันที่มีลักษณะการบ่มแตกต่างกัน

การบ่ม	ความหนาแน่น (kg/m^3)							
บ่มในอากาศ	กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:2				กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:3			
	ชุดควบคุม (CT1-A)	ระยะเวลาในการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ			ชุดควบคุม (CT2-A)	ระยะเวลาในการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ		
		1 นาที (MA1-1)	3 นาที (MA1-3)	5 นาที (MA1-5)		1 นาที (MA2-1)	3 นาที (MA2-3)	5 นาที (MA1-5)
	1,425	1,339	1,391	1,371	1,489	1,532	1,583	1,516
บ่มแบบรักษาความชื้น	ชุดควบคุม (CT1-D)	ระยะเวลาในการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ			ชุดควบคุม (CT2-D)	ระยะเวลาในการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ		
		1 นาที (MD1-1)	3 นาที (MD1-3)	5 นาที (MD1-5)		1 นาที (MD2-1)	3 นาที (MD2-3)	5 นาที (MD1-5)
	1,425	1,461	1,472	1,466	1,489	1,587	1,597	1,681
ความแตกต่างของความหนาแน่น (%)	13.00	9.10	5.80	6.90	8.80	3.60	0.90	10.90

ตารางที่ 4.8 ความหนาแน่นของตัวอย่างอายุ 28 วันที่มีลักษณะการบ่มแบบสลับ

ชุดตัวอย่าง	อัตราส่วน กระดาษ : ปูนซีเมนต์	ความหนาแน่น (kg/m^3)		
		X	Y	Z
บ่มแบบสลับ (AD)	1:2	1,550	1,590	1,595
	1:3	1,526	1,598	1,600



รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบความหนาแน่นของตัวอย่างอายุ 28 วันที่มีลักษณะการบ่มแตกต่างกันและมีอัตราส่วนกระดาษต่อปูนซีเมนต์ ก) 1:2 และ ข) 1:3

4.3 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ

อิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ระยะเวลาในการบ่ม อัตราส่วนกระดาษ : ปูนซีเมนต์ และลักษณะการบ่มต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดซึมน้ำของตัวอย่าง ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 4.3.1, 4.3.2 และ 4.3.3 ตามลำดับ

4.3.1 อิทธิพลของระยะเวลาในการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟที่มีผลต่อการดูดซึมน้ำ

ตารางที่ 4.9 แสดงการดูดซึมน้ำของตัวอย่างที่อายุต่างๆ รูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12 แสดงการดูดซึมน้ำของตัวอย่างที่ทำการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟแล้วบ่มในอากาศและบ่มโดยรักษาความชื้นตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ทั้งตัวอย่างชุดควบคุม (CT) และตัวอย่างชุดที่มีการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ (MA และ MD) มีการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการบ่มเพิ่มขึ้น

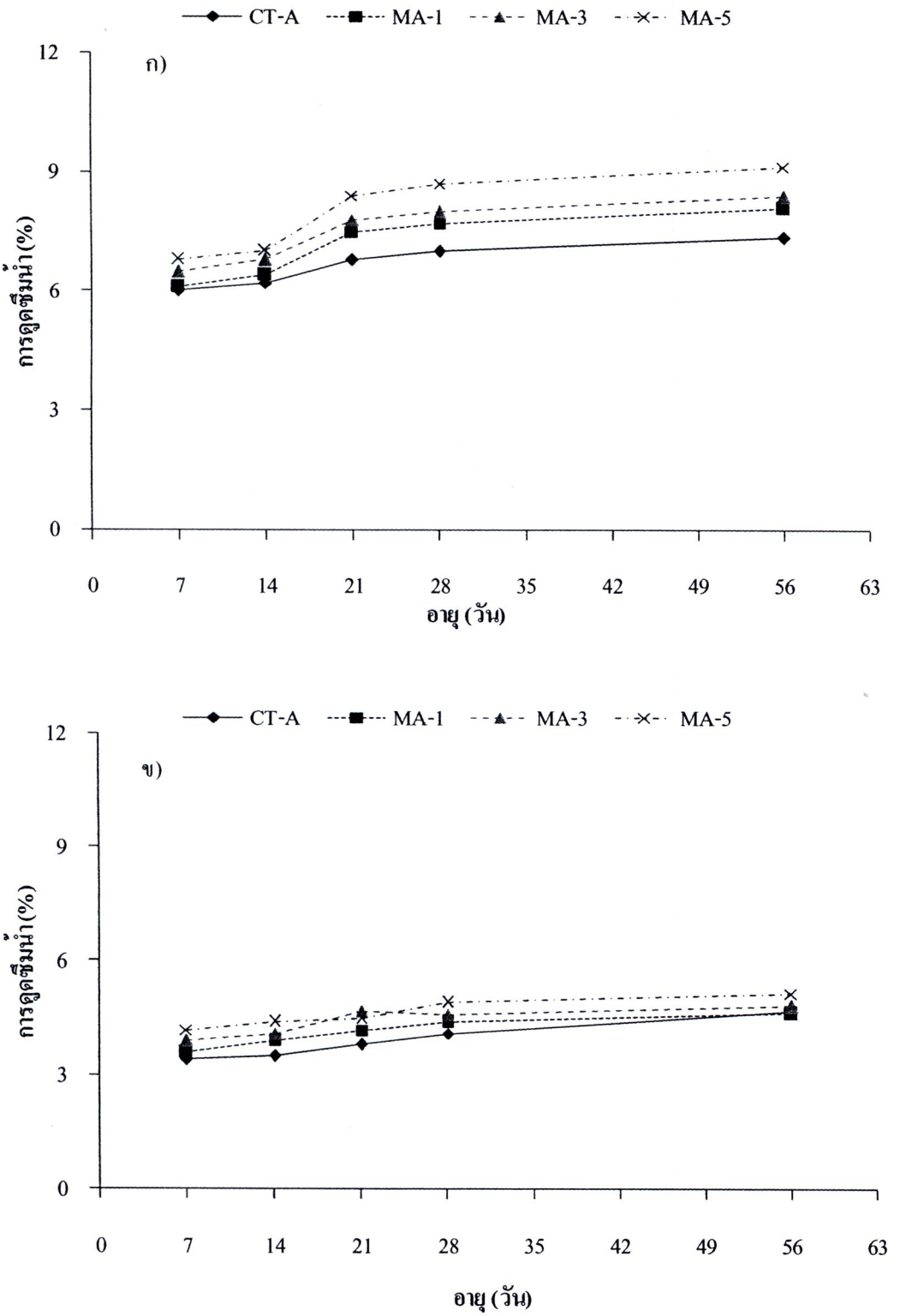
เมื่อพิจารณากลุ่มตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสม กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:2 ที่ทำการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ ที่ระยะเวลา 0 1 3 และ 5 นาที แล้วบ่มต่อในอากาศ (CT1-A, MA1-1, MA1-3 และ MA1-5 ตามลำดับ) พบว่ามีค่าการดูดซึมน้ำที่ 28 วัน เท่ากับ 7.00, 7.70, 8.00 และ 8.70 % ตามลำดับ ส่วนกลุ่มตัวอย่างที่ทำการบ่มต่อโดยรักษาความชื้น (CT1-D, MD1-1, MD1-3 และ MD1-5 ตามลำดับ) พบว่ามีค่าการดูดซึมน้ำที่ 28 วัน เท่ากับ 6.60, 6.70, 6.90 และ 7.00 % ตามลำดับ

เมื่อพิจารณากลุ่มตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสม กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:3 ที่ทำการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ ที่ระยะเวลา 0 1 3 และ 5 นาที แล้วบ่มต่อในอากาศ (CT2-A, MA2-1, MA2-3 และ MA2-5 ตามลำดับ) พบว่ามีค่าการดูดซึมน้ำที่ 28 วัน เท่ากับ 4.10, 4.40, 4.60 และ 4.90 % ตามลำดับ ส่วนกลุ่มตัวอย่างที่ทำการบ่มต่อโดยรักษาความชื้น (CT2-D, MD2-1, MD2-3 และ MD2-5 ตามลำดับ) พบว่ามีค่าการดูดซึมน้ำที่ 28 วัน เท่ากับ 3.80, 3.90, 4.10 และ 4.40 % ตามลำดับ

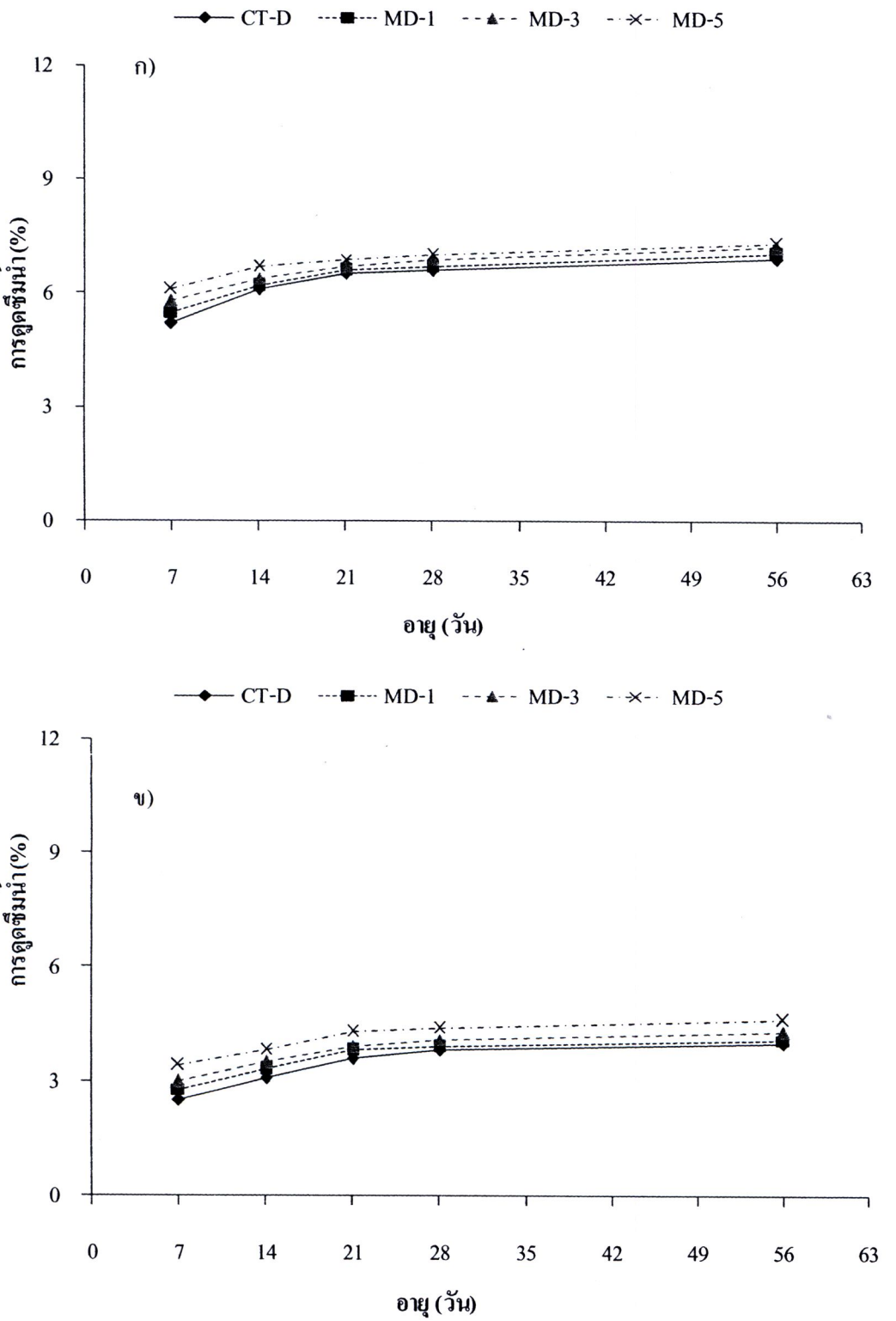
รูปที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบการดูดซึมน้ำของตัวอย่างที่บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ โดยใช้ระยะเวลาแตกต่างกัน จากรูปจะเห็นได้ว่า การบ่มด้วยพลังงานพลังงานไมโครเวฟทำให้ตัวอย่างมีการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม และเวลาในการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟที่นานขึ้นทำให้ตัวอย่างมีการดูดซึมน้ำได้เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ ทำให้น้ำในตัวอย่างมีการระบายออกไปมากขึ้น ทำให้ตัวอย่างสามารถดูดซึมน้ำได้มากขึ้น

ตารางที่ 4.9 การดูดซึมน้ำของตัวอย่างที่อายุต่างๆ

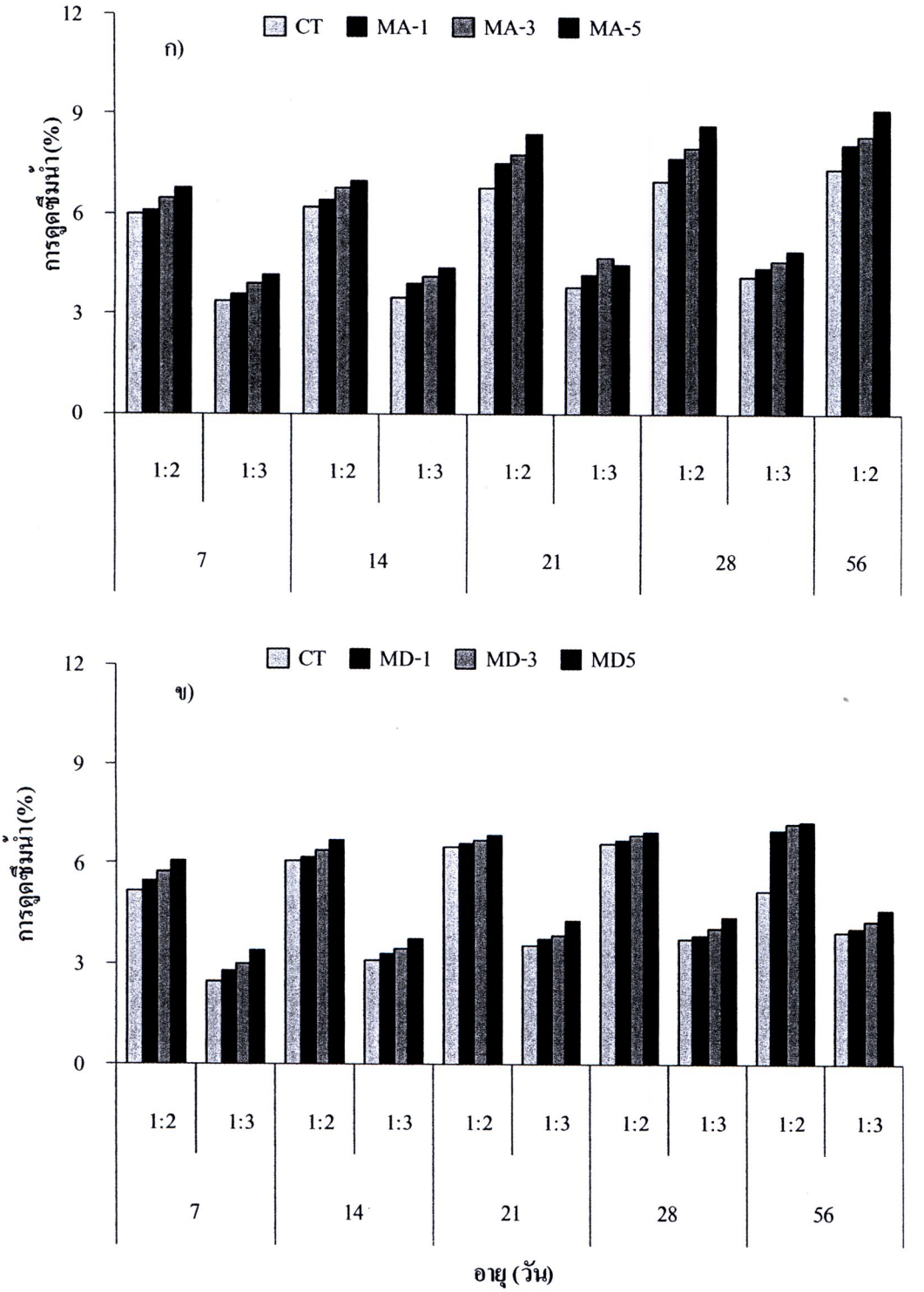
การดูดซึมน้ำ (%)							
การบ่ม	**กระดาษ : ปูนซีเมนต์**	**ชุดตัวอย่าง**	**7 วัน**	**14 วัน**	**21 วัน**	**28 วัน**	**56 วัน**
บ่มในอากาศ (Air)	1:2	CT1-A	6.00	6.20	6.80	7.00	7.34
		MA1-1	6.10	6.40	7.50	7.70	8.09
		MA1-3	6.50	6.80	7.80	8.00	8.38
		MA1-5	6.80	7.00	8.40	8.70	9.14
	1:3	CT2-A	3.40	3.50	3.80	4.10	4.70
		MA2-1	3.60	3.90	4.20	4.40	4.62
		MA2-3	3.90	4.10	4.70	4.60	4.82
		MA2-5	4.20	4.40	4.50	4.90	5.14
บ่มรักษาความชื้น (Damped)	1:2	CT1-D	5.20	6.10	6.50	6.60	6.92
		MD1-1	5.50	6.20	6.60	6.70	7.04
		MD1-3	5.80	6.40	6.70	6.90	7.23
		MD1-5	6.10	6.70	6.90	7.00	7.32
	1:3	CT2-D	2.50	3.10	3.60	3.80	3.99
		MD2-1	2.80	3.30	3.80	3.90	4.10
		MD2-3	3.00	3.50	3.90	4.10	4.30
		MD2-5	3.40	3.80	4.30	4.40	4.62



รูปที่ 4.11 การดูดซึมน้ำของตัวอย่างที่บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟแล้วบ่มในอากาศที่อัตราส่วนกระดาษ : ปูนซีเมนต์ ก) 1:2 และ ข) 1:3



รูปที่ 4.12 การดูดซึมน้ำของตัวอย่างที่บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟแล้วบ่มโดยรักษาความชื้นที่อัตราส่วนกระดาษ : ปูนซีเมนต์ ก) 1:2 และ ข) 1:3



รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบการดูดซึมน้ำของตัวอย่างที่บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ โดยใช้ระยะเวลาแตกต่างกัน ก) บ่มอากาศ และ ข) บ่มรักษาความชื้น

4.3.2 อิทธิพลของอัตราส่วนผสมกระดาษ : ปูนซีเมนต์ ที่มีผลต่อการดูดซึมน้ำ

การเปรียบเทียบการดูดซึมน้ำของตัวอย่างอายุ 28 วัน ที่มีอัตราส่วนผสมของ กระดาษ : ปูนซีเมนต์ แตกต่างกันและถูกบ่มด้วยวิธีต่างๆกัน ได้แก่ บ่มในอากาศ บ่มแบบรักษาความชื้น บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ และบ่มแบบสลับได้แสดงไว้ใน ตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.14

เมื่อพิจารณาการดูดซึมน้ำที่อายุ 28 วัน ของกลุ่มตัวอย่างที่มีอัตราส่วน กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:2 ที่ผ่านการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ 0, 1, 3 และ 5 นาที แล้วบ่มในอากาศ (CT-A, MA-1, MA-3 และ MA-5 ตามลำดับ) พบว่ามีค่าการดูดซึมน้ำที่ 28 วัน เท่ากับ 7.00, 7.70, 8.00 และ 8.70 % ตามลำดับ ในขณะที่ที่อัตราส่วน 1:3 มีค่าเป็น 4.10, 4.40, 4.60 และ 4.90 % ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่ากลุ่มตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสม 1:2 ที่มีการบ่มลักษณะเดียวกัน

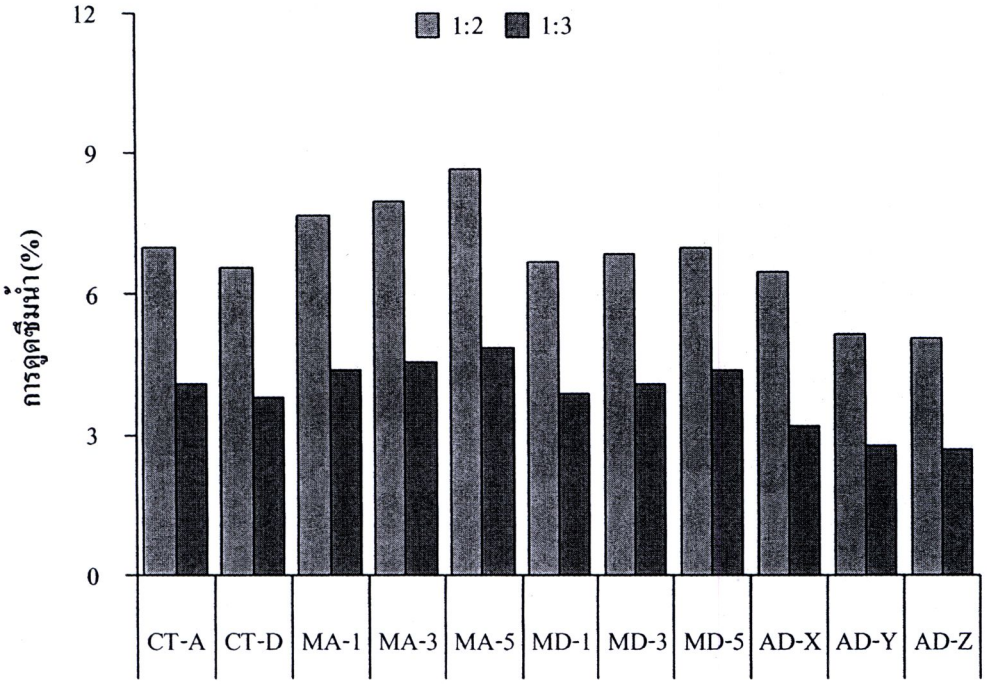
เมื่อพิจารณาการดูดซึมน้ำที่อายุ 28 วัน ของกลุ่มตัวอย่างที่มีอัตราส่วน กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:2 บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ 0, 1, 3 และ 5 นาที แล้วบ่มโดยรักษาความชื้น (CT-D, MD-1, MD-3 และ MD-5 ตามลำดับ) พบว่ามีค่าการดูดซึมน้ำ เท่ากับ 6.60, 6.70, 6.90 และ 7.00 % ตามลำดับ ในขณะที่ที่อัตราส่วน 1:3 มีค่าเท่ากับ 3.80, 3.90, 4.10 และ 4.40 % ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่ากลุ่มตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสม 1:2 ที่มีการบ่มลักษณะเดียวกัน

ส่วนกลุ่มตัวอย่างที่มีอัตราส่วน กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:2 และมีการบ่มแบบสลับ AD-X AD-Y และ AD-Z มีค่าการดูดซึมน้ำที่ 28 วัน เท่ากับ 6.50, 5.20 และ 5.10 % ตามลำดับ ในขณะที่ที่มีอัตราส่วน 1:3 มีค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ 3.20, 2.80 และ 2.70 % ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่ากลุ่มตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสม 1:2 ที่มีการบ่มลักษณะเดียวกัน

จากผลการทดลองข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า ปริมาณปูนซีเมนต์มีอิทธิพลต่อการดูดซึมน้ำของตัวอย่างอย่างเห็นได้ชัด โดยการดูดซึมน้ำจะมีค่าลดลงเมื่อมีปริมาณของปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้น โดยชุดตัวอย่างทุกสภาวะการบ่มที่มีอัตราส่วนผสม กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:2 มีการดูดซึมน้ำที่ 28 วัน มากกว่าชุดตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสม กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:3 คิดเป็นประมาณร้อยละ 42 ถึง 103 เพราะการเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณกระดาษในตัวอย่างลดลง ทำให้ตัวอย่างมีการดูดซึมน้ำลดลง

ตารางที่ 4.10 การดูดซึมน้ำของตัวอย่างอายุ 28 วันที่มีอัตราส่วนของ กระดาษ : ปูนซีเมนต์ แตกต่างกัน

การบ่ม		การดูดซึมน้ำ(%)		ความแตกต่างของการดูดซึมน้ำ (%) $(\frac{B-A}{A}\times 100)$
		กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:2	กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:3	
CT	CT-A	7.00	4.10	44
	CT-D	6.60	3.80	42
MA	MA-1	7.70	4.40	48
	MA-3	8.00	4.60	49
	MA-5	8.70	4.90	100
MD	MD-1	6.70	3.90	72
	MD-3	6.90	4.10	68
	MD-5	7.00	4.40	59
AD	AD-X	6.50	3.20	103
	AD-Y	5.20	2.80	86
	AD-Z	5.10	2.70	89



รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบการดูดซึมน้ำของตัวอย่างอายุ 28 วันของอัตราส่วน กระดาษ : ปูนซีเมนต์ที่แตกต่างกัน

4.3.3 อิทธิพลของลักษณะการบ่มที่มีต่อการดูดซึมน้ำ

ตารางที่ 4.11 แสดงการดูดซึมน้ำของตัวอย่างอายุ 28 วันที่มีลักษณะการบ่มแตกต่างกันและตารางที่ 4.12 แสดงการดูดซึมน้ำของตัวอย่างอายุ 28 วันที่มีลักษณะการบ่มแบบสลับ การเปรียบเทียบการดูดซึมน้ำของตัวอย่างอายุ 28 วัน ที่มีลักษณะการบ่มแตกต่างกัน ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.15

เมื่อพิจารณาการดูดซึมน้ำของตัวอย่างอายุ 28 วัน ที่มีอัตราส่วนผสมของ กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:2 และมีการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟนาน 0, 1, 3 และ 5 นาที แล้วบ่มต่อในอากาศ (CT-A MA-1 MA-3 และ MA-5 ตามลำดับ) พบว่ามีค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ 7.00, 7.70, 8.00 และ 8.70 % ตามลำดับ ในขณะกลุ่มตัวอย่างที่บ่มต่อโดยรักษาความชื้น (CT-D, MD-1, MD-3 และ MD-5 ตามลำดับ) พบว่ามีค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ 6.60, 6.70, 6.90 และ 7.00 % ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่ากลุ่มตัวอย่างที่บ่มในอากาศ

เมื่อพิจารณาการดูดซึมน้ำของตัวอย่างอายุ 28 วัน ที่มีอัตราส่วนผสมของ กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:3 และมีการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟนาน 0 1 3 และ 5 นาที แล้วบ่มต่อในอากาศ (CT-A, MA-1, MA-3 และ MA-5 ตามลำดับ) พบว่ามีค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ 4.10, 4.40, 4.60 และ 4.90 % ตามลำดับ

ในขณะกลุ่มตัวอย่างที่บ่มต่อโดยรักษาความชื้น (CT-D, MD-1, MD-3 และ MD-5 ตามลำดับ) พบว่ามีค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ 3.80, 3.90, 4.10 และ 4.40 % ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่ากลุ่มตัวอย่างที่บ่มในอากาศ

กลุ่มตัวอย่างที่บ่มในอากาศ มีค่าการดูดซึมน้ำสูงกว่ากลุ่มตัวอย่างที่บ่มแบบรักษาความชื้น ส่วนตัวอย่างที่บ่มแบบสลับ AD-X, AD-Y และ AD-Z ที่อัตราส่วนกระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:2 มีค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ 6.50, 5.20 และ 5.10 % ตามลำดับในขณะที่ที่อัตราส่วน 1:3 มีค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ 3.20, 2.80 และ 2.70 % ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าการดูดซึมน้ำของตัวอย่างที่บ่มแบบสลับ (AD) มีค่าการ ดูดซึมน้ำที่อัตราส่วนกระดาษ : ปูนซีเมนต์ น้อยกว่าทั้งตัวอย่างที่บ่มในอากาศ และที่บ่มแบบรักษาความชื้น

จากผลการทดลองข้างต้นจึงสรุปสามารถได้ว่า ลักษณะการบ่มมีอิทธิพลต่อการดูดซึมน้ำ เนื่องจากตัวอย่างที่บ่มในอากาศ (CT–A) มีการดูดซึมน้ำสูงกว่าตัวอย่างที่ทำการบ่มแบบรักษาความชื้นตลอดเวลา (CT-D) ทั้งนี้น่าจะมีสาเหตุมาจากกระดาษในตัวอย่างดูดซึมน้ำได้สูง เมื่อทำการบ่มตัวอย่างโดยป้องกันไม่ให้มีการสูญเสียความชื้นทำให้ตัวอย่างมีปริมาณน้ำส่วนเกินหลงเหลืออยู่มากเกินไป และเมื่อนำมาทดสอบปริมาณน้ำส่วนเกินนี้ส่งผลทำให้ตัวอย่างมีการดูดซึมน้ำที่ต่ำ ในขณะที่การบ่มแบบสลับไม่ส่งผลทำให้ตัวอย่างมีการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มตัวอย่างชุดควบคุม (CT-A) และเมื่อพิจารณากลุ่มตัวอย่างที่มีการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ จะพบว่า การบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟส่งผลทำให้ตัวอย่างมีการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น ตามที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 4.3.1

ตารางที่ 4.11 การดูดซึมน้ำของตัวอย่างอายุ 28 วันที่มีลักษณะการบ่มแตกต่างกัน

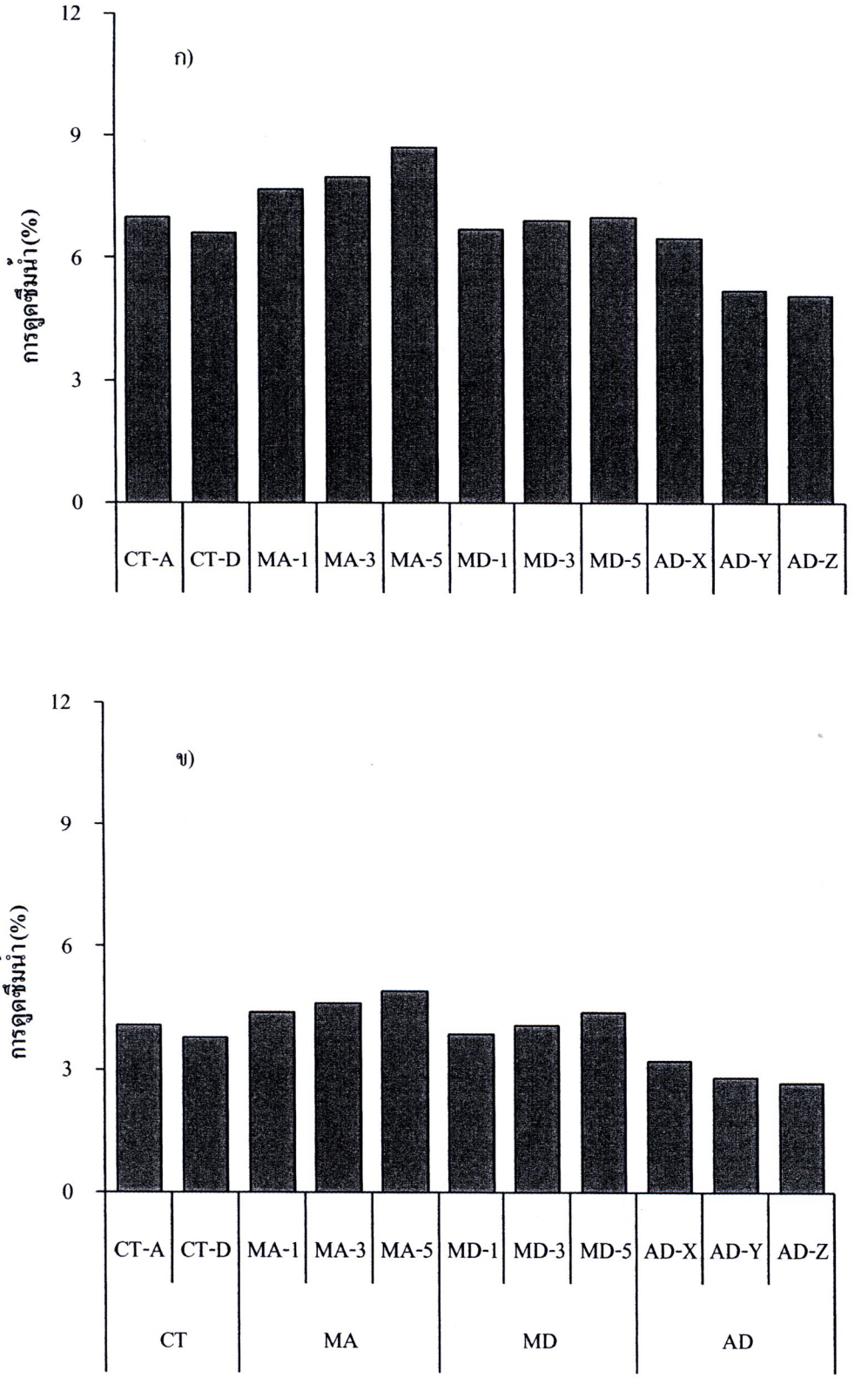
การบ่ม	การดูดซึมน้ำ (%)							
	กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:2				กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:3			
บ่มในอากาศ	ชุดควบคุม (CT1-A)	ระยะเวลาในการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ			ชุดควบคุม (CT2-A)	ระยะเวลาในการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ		
		1 นาที (MA1-1)	3 นาที (MA1-3)	5 นาที (MA1-5)		1 นาที (MA2-1)	3 นาที (MA2-3)	5 นาที (MA1-5)
	7.00	7.70	8.00	8.70	4.10	4.40	4.60	4.90

ตารางที่ 4.11 การดูดซึมน้ำของตัวอย่างอายุ 28 วันที่มีลักษณะการบ่มแตกต่างกัน (ต่อ)

การบ่ม	การดูดซึมน้ำ (%)							
	กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:2				กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:3			
บ่มแบบรักษาความชื้น	ชุดควบคุม (CT1-D)	ระยะเวลาในการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ			ชุดควบคุม (CT2-D)	ระยะเวลาในการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ		
		1 นาที (MD1-1)	3 นาที (MD1-3)	5 นาที (MD1-5)		1 นาที (MD2-1)	3 นาที (MD2-3)	5 นาที (MD1-5)
	6.60	6.70	6.90	7.00	3.80	3.90	4.10	4.40
ความแตกต่างของการดูดซึมน้ำ (%)	6.10	14.90	15.90	24.30	7.90	12.80	12.20	11.40

ตารางที่ 4.12 การดูดซึมน้ำของตัวอย่างอายุ 28 วันที่มีลักษณะการบ่มแบบสลับ

ชุดตัวอย่าง	อัตราส่วน กระดาษ : ปูนซีเมนต์	การดูดซึมน้ำ (%)		
		X	Y	Z
บ่มแบบสลับ (AD)	1:2	6.50	5.20	5.10
	1:3	3.20	2.80	2.70



รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบการดูดซึมน้ำของตัวอย่างอายุ 28 วันที่มีลักษณะการบ่มแตกต่างกันและมีอัตราส่วนกระดาษต่อปูนซีเมนต์ ก) 1:2 และ ข) 1:3

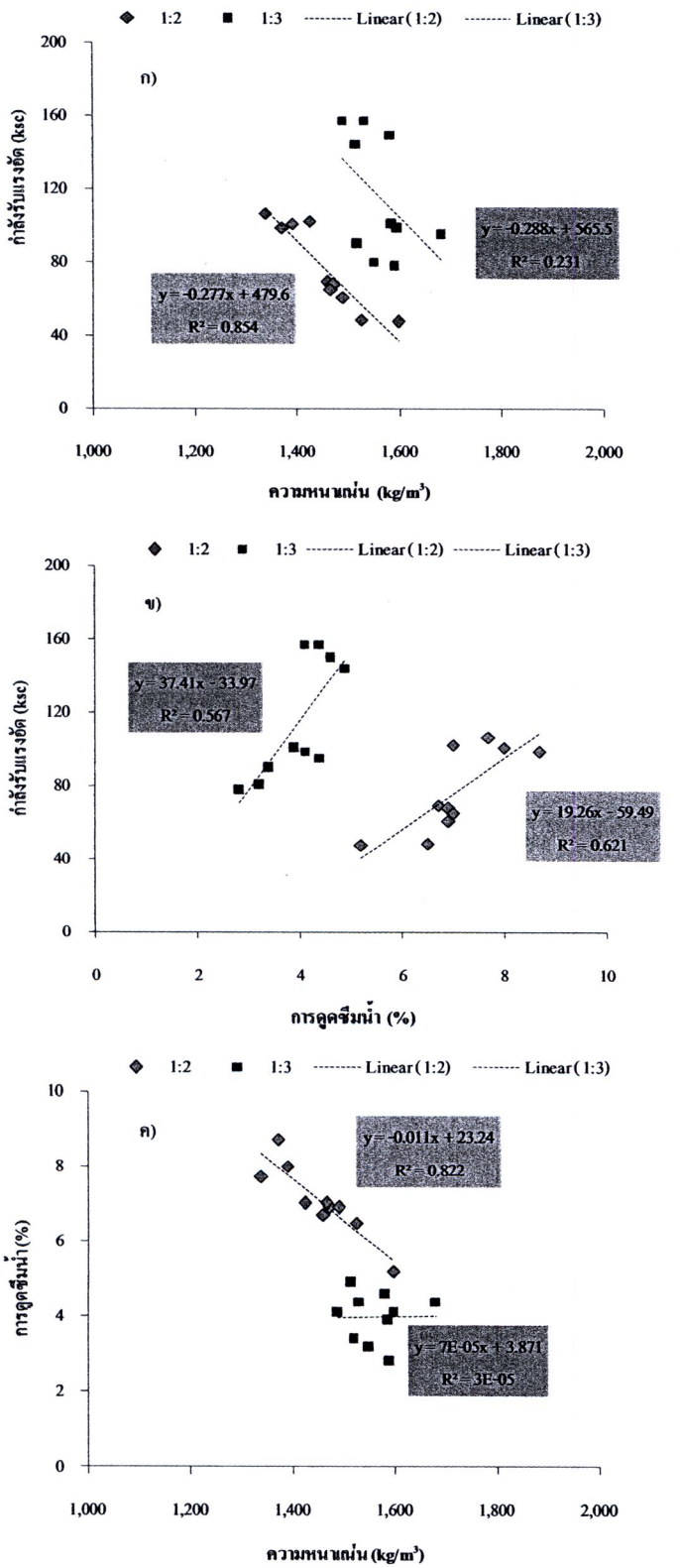
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ

ความสัมพันธ์ระหว่าง ก) กำลังรับแรงอัด (Strength) กับความหนาแน่น (Density) ข) กำลังรับแรงอัด (Strength) กับการดูดซึมน้ำ (Absorption) และ ค) การดูดซึมน้ำ (Absorption) กับความหนาแน่น (Density) ของตัวอย่างอายุ 28 วัน ที่บ่มในอากาศ บ่มรักษาความชื้น บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ และบ่มสลับ แสดงไว้ในรูปที่ 4.16 จากรูปจะเห็นได้ว่า

1) มีความสัมพันธ์เชิงเส้นในระดับที่ดีระหว่าง กำลังรับแรงอัดกับความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำกับความหนาแน่น (R^2 = 0.854 และ 0.822 ตามลำดับ) ของตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสมของ กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:2

2) มีความสัมพันธ์เชิงเส้นในระดับปานกลางระหว่าง กำลังรับแรงอัดกับการดูดซึมน้ำ ของทั้งตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสมของ กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:2 และ 1:3 (R^2 = 0.621 และ 0.567 ตามลำดับ)

3) ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง กำลังรับแรงอัดกับความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำกับความหนาแน่น (R2 = 0.231 และ 0 ตามลำดับ) ของตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสมของ กระดาษ : ปูนซีเมนต์ 1:3



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติต่างๆของตัวอย่าง ก) กำลังรับแรงอัด (Strength) กับความหนาแน่น (Density) ข) กำลังรับแรงอัด (Strength) กับการดูดซึมน้ำ (Absorption) และ ค) การดูดซึมน้ำ (Absorption) กับ ความหนาแน่น (Density)