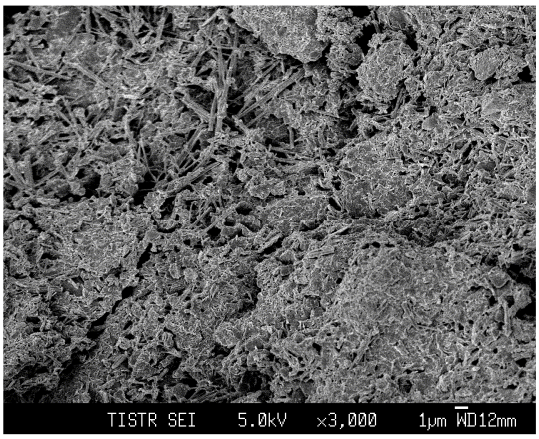
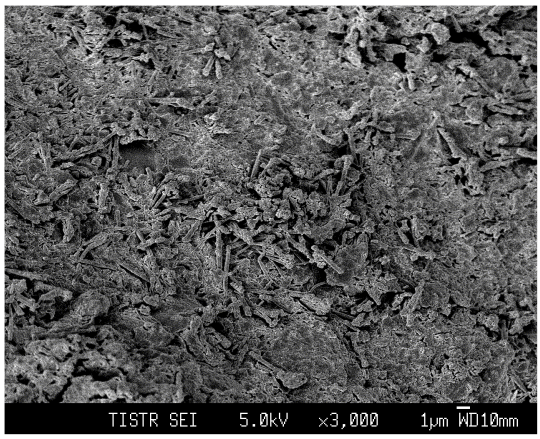
2. การวิเคราะห์ด้านโครงสร้างจุลภาค

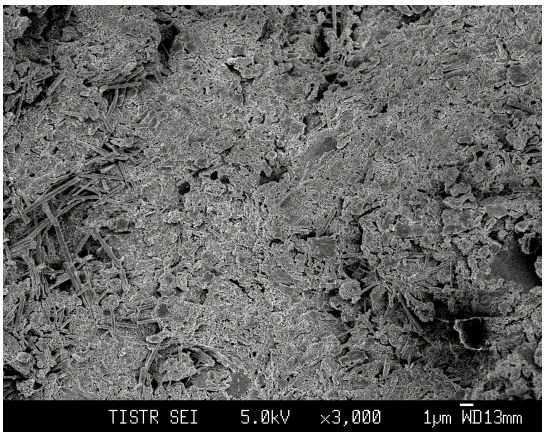
อิทธิพลของปริมาณซีเมนต์ นั้นแสดงดังภาพถ่ายขยาย การกระจายขนาดโพรงและปริมาณคัลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ของดินซีเมนต์ในปริมาณต่าง ๆ ที่ปริมาณความชื้นเท่ากับ 103.38 เปอร์เซ็นต์ ที่อายุบ่ม 28 วัน ดังแสดงในภาพที่ 7.5 และ 7.6 และตารางที่ 7.2



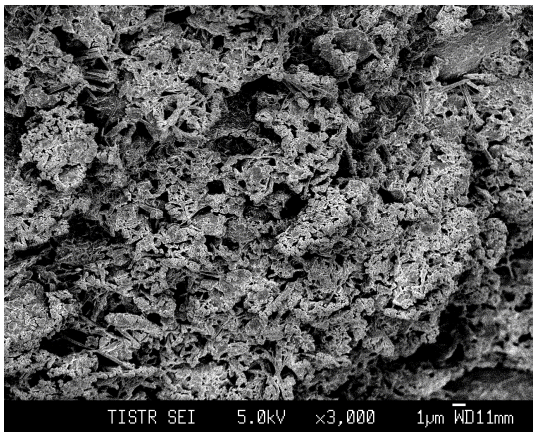
ก) C:BioF = 70:0



ข) C:BioF = 80:0



ค) C:BioF = 90:0



ง) C:BioF = 100:0

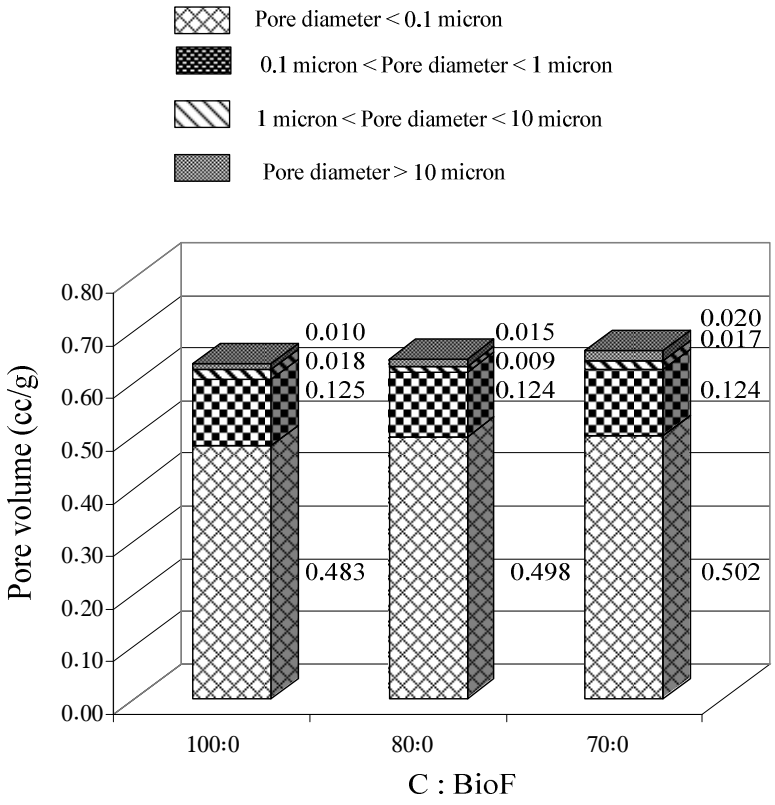
ภาพที่ 7.5 ภาพถ่ายขยายที่ 3000 เท่าของดินซีเมนต์ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ต่าง ๆ (C:BioF =100:0, 90:0, 80:0, 70:0) ที่ปริมาณความชื้นค่าหนึ่ง ที่อายุบ่ม 28 วัน

จากภาพที่ 7.5 จะเห็นว่าที่ปริมาณปูนซีเมนต์ที่สูงขึ้นลักษณะของภาพถ่ายขยายนั้นจะมีลักษณะทึบและอนุภาคมีลักษณะยึดเกาะกันเป็นแผ่นก้อนดินที่แน่นและทึบมากขึ้น ทั้งนี้การเกิดของปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของ C_4AF ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในปูนซีเมนต์นั้นจะเกิดในช่วงต้น โดย C_4AF จะทำปฏิกิริยากับยิปซั่ม และ $Ca(OH)_2$ ก่อให้เกิดอนุภาคที่มีรูปร่างเหมือนเข็มของ Sulphoaluminate และ Sulphoferrite และเพื่อหน่วงการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ของ C_3A ไม่ให้เกิดเร็วเกินไป โดย Ions ของซัลเฟตจากยิปซั่มที่ใส่จะทำปฏิกิริยากับ C_3A ทำให้เกิดชั้นของEttringite (รูปร่างเหมือนเข็ม)บนผิวของอนุภาค ทำให้ดินซีเมนต์ที่อายุบ่มเดียวกันปริมาณความชื้นเท่ากัน (Fabric ที่เหมือนกัน) แต่มีปริมาณปูนซีเมนต์ที่น้อยกว่าจะยังมีลักษณะการเกิดอนุภาคที่มีรูปร่างเหมือนเข็ม (ชั้นของEttringite) นี้ยังคงเกิดขึ้นอยู่และมีปริมาณของคัลเซียมไฮครอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) เกิดขึ้นน้อยกว่า (ดังในตารางที่ 7.2) ส่งผลให้ค่ากำลังมีค่าน้อยกว่ากรณีที่มีปริมาณปูนซีเมนต์ที่สูงกว่า ทั้งนี้ปริมาณของคัลเซียมไฮครอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) มีลักษณะเป็นผลึกแข็งฝังตัวอยู่ในดิน ผงปูนซีเมนต์ (Cement particles) จะเชื่อมเม็ดปูนซีเมนต์ (Cement grains) ที่อยู่ติดกันเข้าด้วยกันระหว่างการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นและก่อตัวเป็นโครงผลึกที่แข็ง เมื่อปริมาณปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นในโซนแอคทีพนั้น ผลิตภัณฑ์ไฮเดรชั่นและผลิตภัณฑ์เชื่อมประสานในโพรงมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดดังภาพที่ 7.5 ผลิตภัณฑ์เชื่อมประสานไม่เพียงแต่เพิ่มแรงยึดระหว่างกลุ่มดิน แต่ยังช่วยลดปริมาตรโพรงในดิน ดังภาพที่ 7.6

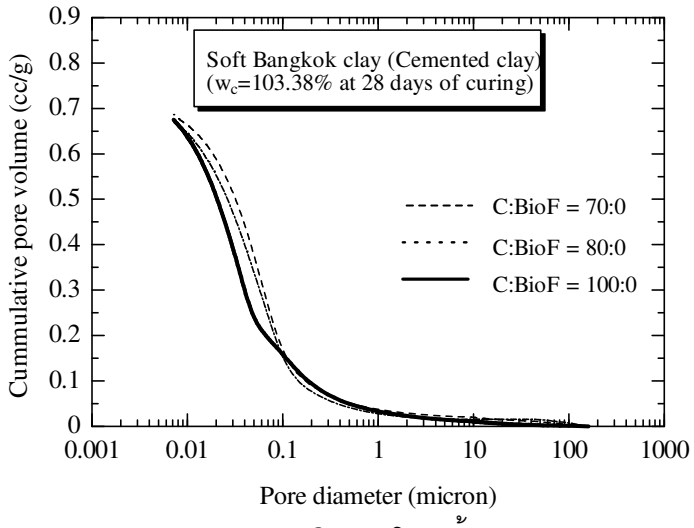
ตารางที่ 7.2

ปริมาณ $Ca(OH)_2$ ของดินซีเมนต์ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ต่าง ๆ (C:BioF =100:0, 90:0, 80:0, 70:0) ที่ปริมาณความชื้น 103.38 เปอร์เซ็นต์ ที่อายุบ่ม 28 วัน

Cement : Biomass ash (C:BioF)	Cement content (%)	Weight loss (%)	$Ca(OH)_2$ (%)
70:0	24.12	1.60	6.58
80:0	27.57	1.74	7.15
90:0	31.01	1.87	7.69
100:0	34.46	1.93	7.93



ก) ปริมาตรโพรงในแต่ละช่วงขนาด



ข) ปริมาตรโพรงทั้งหมด

ภาพที่ 7.6 การกระจายขนาดโพรงของดินซีเมนต์ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ต่าง ๆ (C:BioF =100:0, 80:0, 70:0) ที่ปริมาณความชื้นค่าหนึ่ง ที่อายุบ่ม 28 วัน

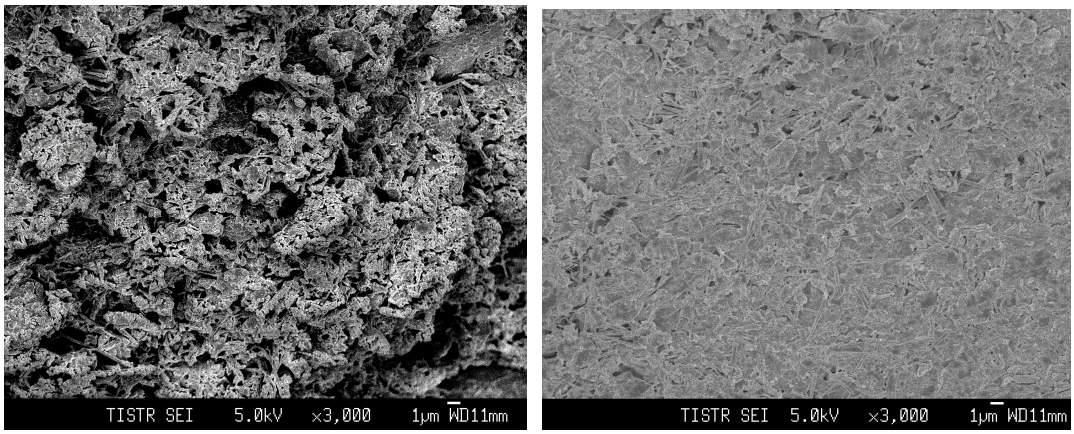
ตารางที่ 7.3
ความพรุนรวมและปริมาตรช่องว่างทั้งหมดของดินซีเมนต์ที่อายุบ่ม 28 วัน

Curing time (days)	(C:BioF)	Total Porosity (%)	Total Pore volume (cc/g)
28	100:0	62.90	0.637
	80:0	64.48	0.646
	70:0	64.18	0.663

จากตารางที่ 7.3 และภาพที่ 7.6 แสดงให้เห็นชัดเจนว่าปริมาณปูนซีเมนต์ที่มากกว่าจะส่งผลให้ปริมาตรโพรงทั้งหมดและเปอร์เซ็นต์ความพรุนทั้งหมดของมวลดินลดลงจึงส่งผลให้มีค่ากำลังอัดแกนเดียวที่สูงกว่า และพบว่าปริมาณปูนซีเมนต์นอกจากจะส่งเสริมในเรื่องของปฏิกิริยาไฮเดรชั่นที่เกิดขึ้น (ผลทดสอบในตารางที่ 7.2) แล้วยังช่วยลดปริมาตรโพรงในดินเนื่องจากปริมาตรโพรงขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอนมีปริมาตรลดลงตามปริมาณปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาตรโพรงทั้งหมดลดลง (ปริมาตรโพรงขนาดเล็กนี้มีอยู่ปริมาณมากซึ่งมีอยู่ประมาณ 75 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรโพรงทั้งหมด)

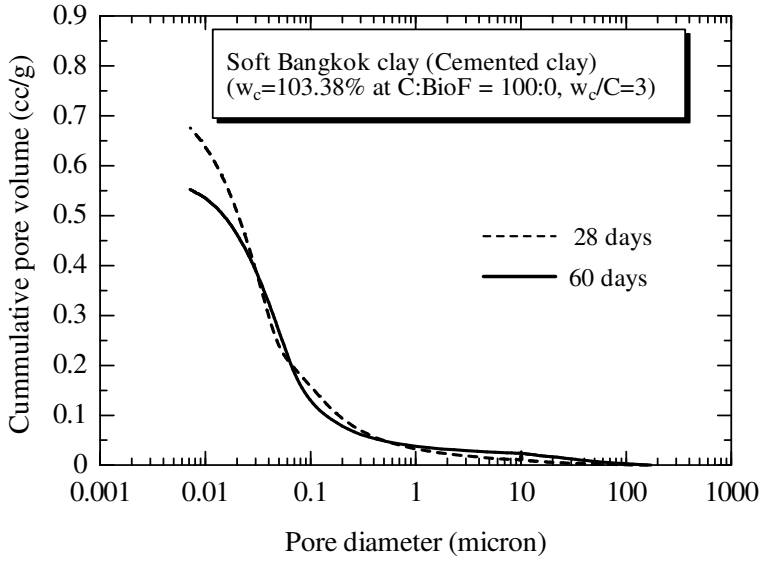
ตารางที่ 7.2 แสดงค่าปริมาณ ($Ca(OH)_2$) ที่เกิดขึ้น พบว่า เมื่อปริมาณปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นผลิตภัณฑ์ไฮเดรชั่น ($Ca(OH)_2$) ในโพรงจะมีมากขึ้นอย่างชัดเจน สอดคล้องกับผลทดสอบของการทดสอบภาพถ่ายขยายและการทดสอบการกระจายขนาดโพรง ดังแสดงในภาพที่ 7.5 และ 7.6 นั้น ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการเกิดปฏิกิริยานั้นไม่เพียงแต่เพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกลุ่มเม็ดดิน แต่ยังช่วยลดปริมาตรโพรงของดิน

อิทธิพลของระยะเวลาบ่มต่อการกระจายขนาดโพรง ขนาดภาพขยายของดินและปริมาณผลิตภัณฑ์ไฮเดรชั่น ($Ca(OH)_2$) นั้นแสดงดังภาพที่ 7.7 ถึง 7.8 และตารางที่ 7.4 ในที่นี้พิจารณาที่อัตราส่วน C:BioF เท่ากับ 100:0 พบว่า ที่อายุบ่มมากขึ้นลักษณะโครงสร้างดินจะทึบ มีการยึดเกาะที่แน่นมากกว่าและมีปริมาตรช่องว่างทั้งหมดลดลง



ก) C:BioF = 100:0 ที่อายุบ่ม 28 วัน ข) C:BioF = 100:0 ที่อายุบ่ม 60 วัน

ภาพที่ 7.7 ภาพถ่ายขยายที่ 3000 เท่าของดินซีเมนต์ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ C:BioF = 100:0 ที่ปริมาณความชื้นเท่ากับ 103.38 เปอร์เซ็นต์ ที่อายุบ่ม 28 และ 60 วัน



ภาพที่ 7.8 ปริมาตรโพรงทั้งหมดของดินซีเมนต์ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ C:BioF =100:0 ที่ปริมาณความชื้นเท่ากับ 103.38 เปอร์เซ็นต์ ที่อายุบ่ม 28 และ 60 วัน

ตารางที่ 7.4

ปริมาณ $Ca(OH)_2$ ของดินซีเมนต์ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ต่าง ๆ (C:BioF =100:0, 90:0, 80:0, 70:0) ที่ปริมาณความชื้น 103.38 เปอร์เซ็นต์ ที่อายุบ่ม 28 และ 60 วัน

Cement : Biomass ash (C:BioF)	Curing time (days)	Cement content (%)	Weight loss (%)	$Ca(OH)_2$ (%)
70:0	28	24.12	1.60	6.58
	60		1.84	7.56
80:0	28	27.57	1.74	7.15
	60		1.91	7.85
90:0	28	31.01	1.87	7.69
	60		2.03	8.34
100:0	28	34.46	1.93	7.93
	60		2.04	8.38

3. ผลการวิเคราะห์การพัฒนากำลังของดินซีเมนต์เถ้าชีวมวลจากผลทางโครงสร้างจุลภาค

3.1 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียวของดินซีเมนต์เถ้าชีวมวล

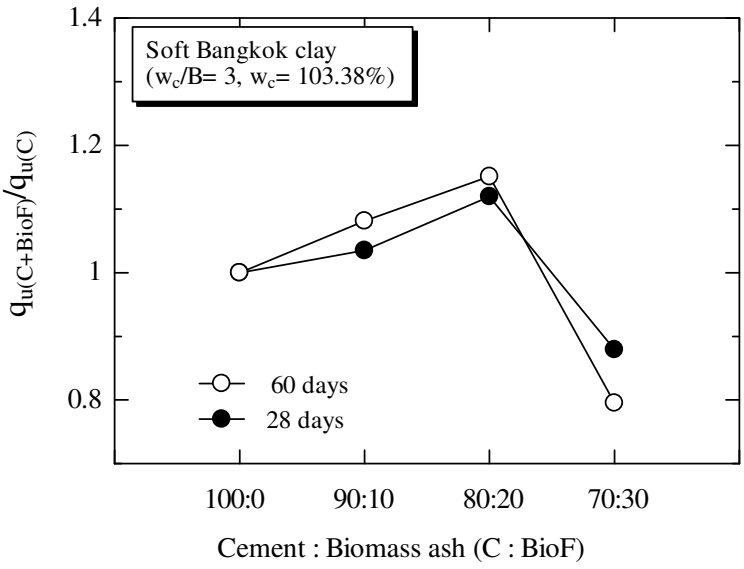
อิทธิพลของอัตราส่วนการแทนที่ของเถ้าชีวมวลต่อกำลังอัดแกนเดียวของดินซีเมนต์เถ้าชีวมวลที่ปริมาณความชื้นเท่ากับ 1 เท่าของดัชนีเหลว (w_n =103.38%) ที่อายุบ่ม 28 และ 60 วัน แสดงดังในตารางที่ 7.5 จะพบว่ากำลังอัดของดินซีเมนต์เถ้าชีวมวลที่อัตราส่วนการแทนที่ 10 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ให้ค่ากำลังอัดแกนเดียวสูงกว่าดินซีเมนต์ (อัตราส่วนการแทนที่ 0 เปอร์เซ็นต์) ดินซีเมนต์เถ้าชีวมวลที่ 30 เปอร์เซ็นต์จะให้ค่ากำลังต่ำสุดและที่อัตราส่วนการแทนที่ 20 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่ากำลังอัดแกนเดียวสูงสุด ผลทดสอบนี้มีความแตกต่างจากผลทดสอบในงานคอนกรีตผสมเถ้าลอย กล่าวคือในงานด้านคอนกรีตใช้วัสดุเถ้าลอยในฐานะเป็นวัสดุปอซโซลานจะเริ่มมีบทบาทด้านกำลังที่อายุบ่มสูง ๆ (โดยทั่วไปที่อายุบ่มมากกว่า 60 วัน) นั้นคือกำลังอัดแกนเดียวของคอนกรีตผสมเถ้าลอยจะมีค่ามากกว่ากำลังอัดแกนเดียวของคอนกรีตที่ปราศจากเถ้าลอยเมื่ออายุบ่มเกินกว่า 60 วัน แต่สำหรับผลทดสอบในตารางที่ 7.5

และภาพที่ 7.9 แสดงชัดเจนว่าเถ้าชีวมวลนี้เริ่มเข้ามามีบทบาทตั้งแต่ที่อายุบ่ม 28 วัน จากภาพที่ 7.9 พบว่าอัตราการพัฒนากำลังอัดแกนเดียวของดินซีเมนต์เถ้าชีวมวลต่อดินซีเมนต์มีค่ามากกว่า 1 ที่อัตราส่วนการแทนที่ 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 7.5

กำลังอัดแกนเดียวของดินซีเมนต์เถ้าชีวมวล ($w_c/Binder$ = 3 และ w_c = 103.38%) ที่อัตราส่วนการแทนที่ต่าง ๆ ที่อายุบ่ม 28 และ 60 วัน

Curing time (days)	Unconfined compressive strength (kPa)			
	C:BioF = 100:0	C:BioF= 90:10	C:BioF= 80:20	C:BioF= 70:30
28	1069.88	1107.20	1197.95	940.69
60	1559.59	1686.32	1795.24	1240.45

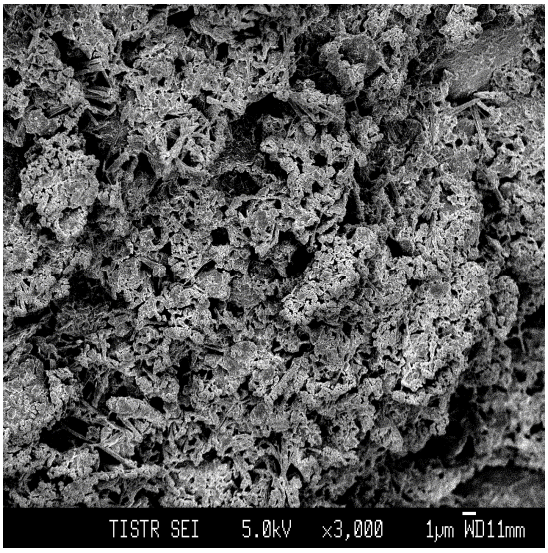


ภาพที่ 7.9 อัตราการพัฒนากำลังอัดแกนเดียวของดินซีเมนต์เถ้าชีวมวลต่อดินซีเมนต์ที่อายุบ่ม 28 และ 60 วัน

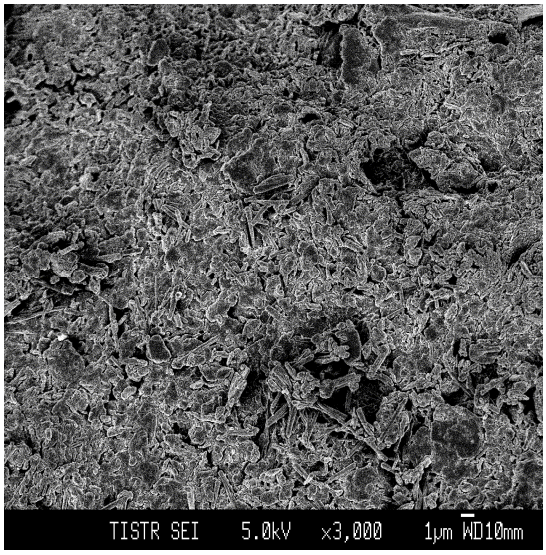
3.2.ผลทดสอบและการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค

1. ภาพถ่ายกำลังขยาย

ภาพที่ 7.10 และ 7.11 แสดงภาพถ่ายขยายกำลังขยาย 3000 เท่าของดินซีเมนต์เถ้าชีวมวลที่ปริมาณความชื้นเท่ากับ 1 เท่าของดัชนีเหลว (w_n =103.38%) ที่อายุบ่ม 28 และ 60 วัน ที่อัตราส่วนการแทนที่ 0 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ พบว่าผลิตภัณฑ์ไฮเดรชั่นที่พัฒนาขึ้นรอบอนุภาคปูนซีเมนต์เชื่อมต่ออนุภาคของดิน ปูนซีเมนต์และเถ้าชีวมวลเข้าด้วยกัน และอนุภาคของเถ้าชีวมวลซึ่งมีลักษณะเป็นก้อนขนาดใหญ่คล้ายมวลรวมหยาบ หลังจากปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้นผลิตภัณฑ์เชื่อมประสานจะมีการเชื่อมยึดติดกันของอนุภาคเชื่อมประสานดังภาพ จนดูเป็นแผ่นผลึกทึบหนาขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อัตราส่วนการแทนที่ 20 เปอร์เซ็นต์จะมีลักษณะยึดติดกันมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามปริมาตรโพรงทั้งหมดที่เกิดขึ้นควรพิจารณาจากผลของการกระจายขนาดโพรงในดินประกอบร่วม



ก) C:BioF = 100:0



ข) C:BioF = 90:10