



รายงานฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาเซรามิกพรุนจากดินแดงท้องถิ่น
และวัสดุเหลือทิ้งในอุตสาหกรรม
(Development of porous ceramic form local red clay
and industries waste)

โดย
สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เสนอ
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

คณะผู้วิจัย

คณะผู้วิจัย

1. อาจารย์ ดร. สิริพรรณ นิลไพรัช (หัวหน้าโครงการ)
สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนากร วาสนาเพียรพงศ์
ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. อาจารย์ ดร.กฤษณา ศิริเลิศมุกด
สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4. อาจารย์ ดร.รัฐพล รังกุพันธ์
สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5. นายศรีไฉล ขุนทน
สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
6. นายยุทธนา แก้วตาบุตร
สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
7. นางสาวนัชฐา หนูมัน
สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
8. อาจารย์ ดร.อภิรัฐ ชีรภาพิเศษพงษ์
ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำนำ

ชุดโครงการพัฒนาเซรามิกพูนจากดินแดงท้องถิ่นและวัสดุเหลือทิ้งในอุตสาหกรรม เป็นชุดโครงการที่ได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดิน ให้ดำเนินเป็นระยะเวลา 2 ปี คือ ปี 2556 และ 2557 สำหรับรายงานฉบับสมบูรณ์นี้ จัดทำขึ้นเพื่อรวบรวมผลการดำเนินการในช่วงที่ผ่านมาตลอดทั้งโครงการ ประกอบด้วย 2 โครงการย่อย คือ การพัฒนาอิฐเซรามิกปูพื้นสำหรับการระบายน้ำ และวัสดุพูนนำส่งสมุนไพรม้าบด

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าชุดโครงการวิจัยนี้จะเป็นทางเลือกให้กับผู้ประกอบการและอุตสาหกรรมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่เน้นใช้ ดินแดง และวัสดุเหลือทิ้งในอุตสาหกรรมเป็นวัตถุดิบ

คณะ ผู้วิจัย

มีนาคม 2558

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้การสนับสนุนทุนในการดำเนินการวิจัย ขอขอบพระคุณบริษัทต่างๆ ในการให้วัสดุดิบเพื่อการทดลองในครั้งนี้ โดยเฉพาะผู้มีรายชื่อต่อไปนี้

- คุณพิชัย เคนสมพรพันธ์ บริษัท นาม สุขภัณฑ์ จำกัด
- คุณประพันธ์ สามาลา บริษัท สยามซานิทารีแวร์อินดัสทรี จำกัด
- คุณพลกฤษณ์ เลี้ยวกิจศิริ บริษัท ไทยเทคโนโลยีโนกลาส จำกัด
- คุณสุรพร สรณารักษ์ บริษัท อ.ป.ก.(ดาวคู่) จำกัด

นอกจากนี้ ขอขอบพระคุณภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ด้านเครื่องมือสำหรับทำการทดลอง และให้ความช่วยเหลือในการทดลองเป็นอย่างดี ขอขอบพระคุณบุคลากรสำนักงานเลขานุการ สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ ในการช่วยเหลือด้านเอกสารต่างๆ เป็นอย่างดี รวมทั้งขอขอบพระคุณผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ไม่ได้เอ่ยนามไว้ ณ ที่นี้ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ให้โครงการฯ สามารถดำเนินการลุล่วงและสำเร็จไปได้ด้วยดี

คณะผู้วิจัย

มีนาคม 2558

บทสรุปผู้บริหาร

โครงการพัฒนาเซรามิกพูนจากดินแดงท้องถิ่นและวัสดุเหลือทิ้งในอุตสาหกรรม ได้รับการสนับสนุนจำนวน 2,100,000 บาท (สองล้านหนึ่งแสนบาทถ้วน) ให้ดำเนินการเป็นระยะเวลา 2 ปี ตั้งแต่ เดือน ตุลาคม 2555 ถึง เดือน มีนาคม 2558

โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาใช้ดินแดงและวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมมาผลิตเป็นวัสดุพูนเพื่อการระบายน้ำและนำส่งสมุนไพรม้าบด

ในการดำเนินการได้แบ่งกิจกรรมออกเป็น 2 ส่วน คือ

- 1.การพัฒนาอิฐเซรามิกปูพื้นสำหรับระบายน้ำ
- 2.การพัฒนาวัสดุนำส่งสมุนไพรม้าบด

จากผลการดำเนินการในแต่ละส่วนสามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

การพัฒนาอิฐพูนเซรามิกปูพื้นระบายน้ำ การวิจัยนี้ต้องการพัฒนาวัสดุที่ความพูนสูงเพื่อใช้ระบายน้ำได้เทียบเท่าหรือดีกว่าผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดโดยใช้ดินแดงและวัสดุเหลือทิ้งในอุตสาหกรรม ในการทดลองประกอบด้วย การศึกษาสมบัติของบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำที่มีในท้องตลาดเพื่อนำมาใช้เป็นเกณฑ์ การพัฒนาส่วนผสม การทดลองผลิตในระดับห้องปฏิบัติการและในโรงงาน ผลการทดลอง พบว่า บล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำในท้องตลาดเป็นวัสดุเชิงประกอบซึ่งใช้ปูนเป็นเนื้อพื้นและใช้หินก่อสร้างเป็นมวลรวมหยาบ จากการพัฒนาสูตรเนื้อพื้นในโครงการมีความสำเร็จในเตรียมเนื้อพื้นโดยใช้ ดินแดงป่า โมกข์ ตะกอนดินจากโรงงานสุกัณฑ์ และตะกอนผงแก้วจากโรงงานตัดแต่งแปรรูปกระจก ในอัตราส่วน 40:40:20 ตามลำดับ และสามารถเตรียมมวลรวมหยาบโดยใช้พิทเซอร์จากโรงงานสุกัณฑ์โดยนำมาผ่านการบดให้มีขนาดระหว่าง 2.38 - 11.00 มิลลิเมตร หลังจากนั้นเนื้อพื้นและมวลรวมหยาบในอัตราส่วน 2:10 มาผสมกัน จะสามารถขึ้นรูปเป็นอิฐปูพื้นระบายน้ำที่มีสมบัติหลังเผาเทียบเท่ากับบล็อกคอนกรีตในท้องตลาด เมื่อนำไปขยายการผลิตเป็นอิฐต้นแบบ จะได้อิฐปูพื้นระบายน้ำที่มีค่า 1.91 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ปริมาณช่องว่าง ร้อยละ 3.09 ค่าการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 9.76 ความต้านทานแรงกด 19.07 เมกะพาสกาล และมีอัตราการไหลซึมของน้ำ 943.63 ลิตรต่อตารางเมตร ต่อนาที ซึ่งให้ค่าใกล้เคียงกับบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำ ดังนั้นจึงเป็นโอกาสที่จะนำไปต่อยอดในการพัฒนาเชิงธุรกิจได้ในอนาคต

การพัฒนาการวัสดุพูนนำส่งสมุนไพรม้าบด การวิจัยนี้ได้พัฒนาเนื้อดินแดงป่า โมกข์ และสารไมโครแคปซูลพอลิเมอร์บรรจุน้ำมันหอมระเหยเพื่อใช้เป็นวัสดุนำส่งสมุนไพรม้าบด ในการวิจัยพบว่าการเตรียมชั้นงานดินตัวอย่างโดยการให้น้ำดิน และใช้การผสมดินตะกอนน้ำประปาในสัดส่วนร้อยละ 30 เพื่อสร้างสมบัติพูนตัวให้แก่ชั้นงาน โดยมีค่าการดูดซึมน้ำของชั้นงาน ก่อนและหลังผสมดินตะกอน

น้ำประปา ที่ร้อยละ 15.26 และ 18.01 ไมโครแคปซูลโคโตซานและไมโครแคปซูลบรรจุน้ำมันหอมระเหย ได้เตรียมขึ้นรูปโดยใช้เทคนิคอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ ร่วมกับการเชื่อมขวางโคโตซานด้วยสารไทรพอลิฟอสเฟต ได้ไมโครแคปซูลโคโตซานขนาด 5-10 ไมโครเมตร มีความคงตัวได้ดีในเอทานอล และมีค่าร้อยละการบวมตัวในน้ำกลั่นร้อยละ 50 พบว่า ประสิทธิภาพการกักเก็บน้ำมันหอมระเหยที่สูงสุดอยู่ที่อัตราส่วนของพอลิเมอร์ต่อน้ำมันหอมระเหย เท่ากับ 0.48:0.10 ในน้ำมันหอมระเหยทั้งสองชนิด โดยมีค่ากักเก็บสูงสุด ที่ร้อยละ 22.00 และ 15.60 สำหรับเจอร์รานีออล และ ลาเวนเดอร์ ตามลำดับ การศึกษาการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยจากไมโครแคปซูล ในสภาวะปิดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 วัน พบว่า มีปริมาณน้ำมันหอมระเหยคงเหลือในไมโครแคปซูลโคโตซาน ร้อยละ 54.11 และ 69.32 สำหรับ ลาเวนเดอร์และเจอร์รานีออล ตามลำดับ

จากผลดำเนินการข้างต้นได้ผลประโยชน์ในการสร้างมูลค่าเพิ่มของดินแดง และวัสดุเหลือทิ้งในโรงงานดังกล่าว อีกทั้งช่วยลดปัญหาการกำจัดขยะและรักษาสิ่งแวดล้อม อีกทั้งเป็นการเสริมสร้างเทคโนโลยีให้ผู้ประกอบการเพื่อนำไปสู่การผลิตในระดับเชิงพาณิชย์ต่อไปในอนาคต

สารบัญ

	หน้า
คณะผู้วิจัย	II
คำนำ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	IV
บทสรุปผู้บริหาร.....	V
สารบัญ	VII
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูปภาพ	X
ส่วนที่ 1 การพัฒนาอิฐเซรามิกปูพื้นสำหรับระบายน้ำ.....	1-1
บทคัดย่อ	1-2
Abstract	1-3
บทที่ 1 บทนำ.....	1-4
บทที่ 2 ปรีทรรศน์วรรณกรรม	1-8
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	1-11
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	1-23
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	1-51
บรรณานุกรม	1-52
ส่วนที่ 2 วัสดุพูนนำส่งสมุนไพรม้าบัต.....	2-1
บทคัดย่อ	2-2
Abstract	2-3
บทที่ 1 บทนำ.....	2-4
บทที่ 2 ปรีทรรศน์วรรณกรรม	2-6
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	2-22
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	2-28
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	2-43
บรรณานุกรม	2-44

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ส่วนที่ 1 การพัฒนาอิฐเซรามิกปูพื้นสำหรับระบายน้ำ	
ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของหินจากธรรมชาติและเศษสุขภัณฑ์เซรามิก	1-10
ตารางที่ 3.1 การแบ่งกลุ่มขนาดอนุภาคมวลรวมหยาบ	1-15
ตารางที่ 3.2 สูตรเนื้อพื้นสำหรับใช้ในอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำ	1-16
ตารางที่ 3.3 สูตรมวลรวมหยาบสำหรับใช้ในอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำ.....	1-17
ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณร้อยละของขนาดอนุภาคมวลรวมหยาบของบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำ.....	1-25
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบสมบัติกายภาพและเชิงกลของบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำ.....	1-25
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบสมบัติกายภาพและเชิงกลของบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำแบบทั้งก้อน	1-26
ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบเคมีในวัตถุดิบที่ได้มา	1-27
ตารางที่ 4.5 ขนาดอนุภาคสะสมที่ D_{50} จากผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาค	1-27
ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบสูตรเนื้อดินแดงผสมกับผงแก้ว.....	1-30
ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบสูตรเนื้อดินสุกแห้งผสมกับผงแก้ว	1-31
ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบสมบัติของมวลรวมหยาบขนาดเดียว	1-36
ตารางที่ 4.9 แสดงผลการทดสอบสูตรเนื้อมวลรวมหยาบผสมกับดินแดง.....	1-38
ตารางที่ 4.10 แสดงผลการทดสอบสูตรเนื้อสุขภัณฑ์ (245) กับสูตรเนื้อพื้น.....	1-41
ตารางที่ 4.11 แสดงผลการทดสอบสมบัติของอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำตามสูตรที่คัดเลือก	1-43
ตารางที่ 4.12 แสดงผลการทดสอบสมบัติของอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำในห้องปฏิบัติการ	1-45
ตารางที่ 4.13 แสดงผลการทดสอบสมบัติของอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำต้นแบบในโรงงานอุตสาหกรรม	1-47
ตารางที่ 4.13 ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำและอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำ.....	1-49

ตาราง	หน้า
ส่วนที่ 2 วัสดุพุน้ำส่งสมุนไพรม้าบัต	
ตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติทั่วไปของเจอร์รานีออล	2-9
ตารางที่ 2.2 เทคนิคที่ใช้ในการเอนแคปซูลเลทสารให้กลิ่น รส.....	2-11
ตารางที่ 3.1 สูตรผสมน้ำดินสำหรับการหล่อแบบ.....	2-24
ตารางที่ 4.1 ปริมาณน้ำที่ใช้และสมบัติต่างๆ ของน้ำดินที่เตรียมได้ในห้องปฏิบัติการ	2-28
ตารางที่ 4.2 แสดงน้ำหนักของชิ้นงานดินแดงป่าโมก	2-30
ตารางที่ 4.3 แสดงน้ำหนักของชิ้นงานดินอำเภอไชโย	2-31
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองการหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของชิ้นงานดินแดงป่าโมก	2-32
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองการหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของชิ้นงานดินดำอำเภอไชโย	2-32
ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองการหาค่าการดูดซึมน้ำของชิ้นงานดินแดงป่าโมก.....	2-34
ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดลองการหาค่าการดูดซึมน้ำของชิ้นงานดินดำอำเภอไชโย	2-35
ตารางที่ 4.8 สมบัติชิ้นงานดินผกก่อนและหลังการผสมดินตะกอนน้ำประปา ที่การเผาที่ 950 องศาเซลเซียส	2-36
ตารางที่ 4.9 แสดงประสิทธิภาพการกักเก็บน้ำมันหอมระเหยของไมโครแคปซูลโคโคซาน	2-39
ตารางที่ 4.10 แสดงปริมาณน้ำมันหอมระเหยเจอร์รานีออลคงเหลือหลังการปลดปล่อยที่เวลาต่างๆ กัน	2-40
ตารางที่ 4.11 แสดงค่าการดูดซึมน้ำของชิ้นงานหลังเคลือบไมโครแคปซูลด้วยกระบวนการจุ่มเคลือบ และพ่นเคลือบ ที่เวลาต่างๆ กัน	2-41
ตารางที่ 4.12 แสดงปริมาณน้ำมันหอมระเหยเจอร์รานีออลคงเหลือในชิ้นงานที่เวลาต่างๆ กัน	2-41
ตารางที่ 4.13 แสดงปริมาณน้ำมันหอมระเหยลาเวนเดอร์คงเหลือในชิ้นงานที่เวลาต่างๆ กัน	2-41

สารบัญภาพ

รูปภาพ	หน้า
ส่วนที่ 1 การพัฒนาอิฐเซรามิกปูพื้นสำหรับระบายน้ำ	
รูปที่ 2.1 การแบ่งประเภทของเสี้ยเซรามิก.....	1-9
รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะมวลรวมหยาบจากหินธรรมชาติ (a) และเศษสุขภัณฑ์เซรามิก (b).....	1-9
รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะของใช้เศษสุขภัณฑ์เซรามิกแทนหินธรรมชาติ	1-10
รูปที่ 3.1 วัตุดิบพิทเซอร์ หรือเศษสุขภัณฑ์เซรามิก.....	1-11
รูปที่ 3.2 ผงแก้วจากการขัดขอบ	1-11
รูปที่ 3.3 วัตุดิบดินแดง	1-12
รูปที่ 3.4 วัตุดิบดินตะกอนน้ำเสียจากโรงงานสุขภัณฑ์	1-12
รูปที่ 3.5 แผนผังการทดลอง	1-13
รูปที่ 3.6 แบบแม่พิมพ์ตัวกลางสำหรับใส่วัตุดิบ	1-18
รูปที่ 3.7 แบบลูกอัดแม่พิมพ์ตัวบน	1-18
รูปที่ 3.8 แบบลูกอัดแม่พิมพ์ตัวล่าง	1-19
รูปที่ 3.9 การเตรียมตัวอย่างทดสอบการระบายน้ำ (a) และการทดสอบการระบายน้ำ (b).....	1-21
รูปที่ 4.1 ตัวอย่างบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำที่มีจำหน่ายในท้องตลาด	1-23
รูปที่ 4.2 ตัวอย่าง การตัดบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำ	1-23
รูปที่ 4.3 ภาพโครงสร้างการยึดเกาะและขนาดของมวลรวมหยาบในบล็อกคอนกรีตปูพื้น ระบายน้ำ.....	1-24
รูปที่ 4.4 ชิ้นงานหลังการเผาของดินผสมสูตร C100 GC90 GC80 และ GC50 ที่อุณหภูมิต่างๆ .	1-28
รูปที่ 4.5 ชิ้นงานหลังการเผาของดินผสมสูตร S100 GS90 GS80 และ GS50 ที่อุณหภูมิต่างๆ ...	1-29
รูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์แร่วิทยาและชนิดของสารประกอบของชิ้นงานสูตร C100 GC90 และ GC80 ซึ่งเผาที่อุณหภูมิต่างๆ	1-32
รูปที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์แร่วิทยาและชนิดของสารประกอบของชิ้นงานสูตร S100 GS90 และ GS80 ซึ่งเผาที่อุณหภูมิต่างๆ.....	1-33
รูปที่ 4.8 ภาพโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่อุณหภูมิ 1500 องศาเซลเซียส	1-34
รูปที่ 4.9 ชิ้นงานตัวอย่างการขึ้นรูปบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำด้วยมวลรวมหยาบทั้ง 5 ขนาด	1-35
รูปที่ 4.10 ชิ้นงานหลังการเผาของส่วนผสมมวลรวมหยาบสูตรต่างๆ และสัดส่วนเนื้อพื้น 10:1 10:2 และ 10:3	1-37
รูปที่ 4.11 ชิ้นงานหลังการเผาของสูตรผสมที่เลือกแล้ว โดยเผาที่อุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส	1-40

รูปที่ 4.12 ตัวอย่างชิ้นงานอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำ.....	1-42
รูปที่ 4.13 ภาพตัดตามขวางเปรียบเทียบระหว่างบล็อกคอนกรีตและอิฐเซรามิก.....	1-43
รูปที่ 4.14 แสดงลักษณะของอิฐพูนที่ได้(ซ้าย)และระยะห่างที่เหลือระหว่างลูกอิฐติดตัวบนกับ บล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำ	1-44
รูปที่ 4.15 แสดงกระบวนการผสมวัตถุดิบ (ซ้าย) และลักษณะของเนื้ออิฐพูนที่ได้จากการผสม (ขวา)	1-46
รูปที่ 4.16 แสดงเครื่องอัดขึ้นรูปที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม (ซ้าย)และลักษณะของอิฐพูน ที่ได้จากการอัดขึ้นรูป (ขวา).....	1-46
รูปที่ 4.17 แสดงการจัดเรียงอิฐเซรามิกพูนบนพื้นสนาม (ซ้าย) และลักษณะของอิฐเซรามิก พูนหลังการใช้งาน (ขวา).....	1-47
รูปที่ 4.18 แสดงการระบายน้ำของอิฐเซรามิกพูน (ซ้าย) และลักษณะของการใช้งานรองรับ น้ำหนักของอิฐเซรามิกพูน (ขวา)	1-48

รูปภาพ	หน้า
ส่วนที่ 2 วัสดุพืชนำส่งสมุนไพรบำบัด	
รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของเจอร์รานีออล.....	2-8
รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของไมโครแคปซูล.....	2-10
รูปที่ 2.3 แสดงการเอนแคปซูลเลทสารให้กลิ่น.....	2-10
รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างสารไซโคเด็กทริน.....	2-15
รูปที่ 2.5 โครงสร้างไคโตซาน.....	2-16
รูปที่ 2.6 รูปแสดงวิธีหล่อน้ำดิน.....	2-20
รูปที่ 3.1 เครื่องปั่นกวนน้ำดินและวิธีกวนผสมน้ำดิน.....	2-23
รูปที่ 3.2 แม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์และขั้นตอนการเทแบบ.....	2-23
รูปที่ 3.3 ตัวอย่างชิ้นงานก่อนเผาและหลังเผา.....	2-23
รูปที่ 4.1 ชิ้นงานเครื่องปั้นดินเผาดินแดงป่าโมก.....	2-29
รูปที่ 4.2 ชิ้นงานเครื่องปั้นดินเผาดินคำอำเภอยะโฮ.....	2-29
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของชิ้นงาน.....	2-33
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าอัตราดูดซึมน้ำของชิ้นงาน.....	2-36
รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะภายในชิ้นงานดินเผา (ก) ก่อนและ (ข) หลังการผสมดินตะกอน น้ำประปา(30%) ที่กำลังขยาย 500 เท่า.....	2-37
รูปที่ 4.6 แสดงขนาดและรูปร่างไมโครแคปซูลบรรจุน้ำมันหอมระเหยก่อนทำแห้ง จากกล้อง จุลทรรศน์ที่กำลังขยาย (ก) 50 เท่า และ(ข) 100 เท่า ตามลำดับ.....	2-38
รูปที่ 4.7 แสดงขนาดและรูปร่างไมโครแคปซูลที่อัตราส่วนพอลิเมอร์ต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยมาก ขึ้น ก่อนทำแห้ง จากกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย(ก) 50เท่าและ(ข) 100เท่าตามลำดับ.....	2-38
รูปที่ 4.8 แสดงขนาดและรูปร่างไมโครแคปซูลไคโตซานที่กำลังขยาย (ก) 100 และ(ข) 3000 เท่า ตามลำดับ.....	2-39
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหย geraniol และ lavender ในช่วง 7 วันแรก หรือ 168 ชั่วโมงแรก.....	2-40

ส่วนที่ 1

การพัฒนาอิฐเซรามิกปูพื้นสำหรับระบายน้ำ

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการเตรียมวัสดุปูพื้นระบายน้ำโดยใช้ดินแดงผสมพิทเซอร์ ตะกอนดินจากโรงงานสุกภัณฑ์ และตะกอนผงแก้วจากโรงงานตัดแต่งแปรรูปกระจก ในการศึกษาได้แบ่งเป็นส่วนของการวิเคราะห์สมบัติของบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำเพื่อนำมาใช้เป็นเกณฑ์อ้างอิงด้านการไหลซึม และส่วนของการเตรียมเนื้อวัสดุในห้องปฏิบัติการ ผลจากการศึกษา พบว่าสามารถเตรียมเนื้อเป็นวัสดุเชิงประกอบของสารเซรามิก โดยมีส่วนผสมที่เป็นเนื้อพื้นประกอบด้วย เนื้อดินแดงร้อยละ 40 ตะกอนดิน ร้อยละ 40 ตะกอนผงแก้วร้อยละ 20 ส่วนผสมที่เป็นมวลรวมหยาบใช้เฉพาะพิทเซอร์ อัตราส่วนที่ใช้ระหว่างเนื้อพื้นและมวลรวมหยาบคือ 2:10 ได้มีการผลิตอิฐต้นแบบซึ่งชิ้นงานที่ได้พบว่าคุณสมบัติความหนาแน่น มีค่า 1.91 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ปริมาณช่องว่าง ร้อยละ 3.09 ค่าการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 9.76 ความต้านทานแรงกด 19.07 เมกะพาสคาล และมีอัตราการไหลซึมของน้ำ 943.63 ลิตรต่อตารางเมตรต่อนาทิต สมบัติเหล่านี้มีค่าใกล้เคียงกับบล็อกคอนกรีตในท้องตลาด ในขณะที่มีค่าการไหลซึมของน้ำมีค่าสูงกว่าบล็อกคอนกรีต

Abstract

This studying has its objective to develop permeable pavement used raw material from red clay, pitcher and sludge from sanitaryware, sludge from cutting glass industry. The procedure of experiment consisted of the characterization of permeable concrete pavement (water permeability) and the preparation of permeable pavement body which using the result of the former properties as reference. The result of study showed that the body of permeable pavement can be formed as ceramic composite material which the matrix composed of red clay 40 %, sludge form sanitaryware 40 %, and 20 % sludge from cutting glass industry and aggregate from the pitcher sanitaryware. The ratio between the matrix and aggregate was 2:10. The prototype bricks were produced in factory. Their properties including density, porosity, water adsorption, compressive strength, and water permeability were 1.91 g/cc, 14.18 %, 8.13 %, 19.07 MPa and 1,167 litre/m²/min, respectively. This result obtained the same value of all properties as permeable concrete pavement. Furthermore, the water permeability of the pavement was faster than commercial brick.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของปัญหา/สถานการณ์ปัจจุบันและประเด็นปัญหา

ปัจจุบันภาวะโลกร้อนได้ส่งผลกระทบต่อการดำเนินชีวิตอย่างมาก ปัญหาน้ำท่วมได้เกิดขึ้นอย่างมากมายในประเทศ การบริหารจัดการน้ำจึงเป็นหนึ่งในกลวิธีที่จะแก้ปัญหาดังกล่าว ซึ่งเมื่อเกิดฝนตกน้ำส่วนหนึ่งจะซึมลงสู่ใต้ดินแต่การเกิดขึ้นของเมืองที่มีมากขึ้นกลับมีการปิดกั้นน้ำให้ลงสู่ใต้ดิน แต่ผลักดันเข้าสู่ระบบการระบายน้ำที่ส่งน้ำเข้าสู่แม่น้ำ เป็นการผลักดันน้ำให้เป็นภาระต่อส่วนกลาง ทั้งๆ ที่มีความสามารถในการรับน้ำได้ จึงพบปัญหาการระบายน้ำได้ช้า ทำให้เกิดน้ำท่วมขัง รวมทั้งในแหล่งชุมชนเกิดใหม่ ที่ระบบท่อส่งน้ำไม่ได้ออกแบบมาเพื่อรองรับการเติบโตของเมือง

นอกจากนั้น ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาทุกองค์กรมีความตื่นตัวในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และคำนึงถึงการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่เหลืออยู่ให้เกิดความคุ้มค่ามากที่สุด สินค้าหลายชนิดถูกประทับตราที่เกี่ยวกับการประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมทั้งโดยบังคับจากองค์กรด้านสิ่งแวดล้อม และโดยการโฆษณาเพื่อสร้างภาพลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ วิธีการแรกๆ ในกระบวนการแก้ปัญหาลังแวดล้อมโดยเฉพาะขยะของเสียจากอุตสาหกรรมคือการนำของเสียและเหลือทิ้งกลับมาเป็นวัตถุดิบเพื่อใช้ประโยชน์อีกครั้งหนึ่งหรือที่เรียกว่า “การรีไซเคิล” ในอุตสาหกรรมเซรามิกและแก้ว กระจกก็เป็นอุตสาหกรรมที่ก่อของเสียเหลือทิ้งจำนวนมากในระหว่างการผลิต อันได้แก่ ตะกอนดินเหลือทิ้ง พิทเซอร์หรือเศษเซรามิกที่แตกหัก ตะกอนจากผงแก้วที่เกิดจากการตัดและขัดขอบกระจก เป็นต้น เมื่อนำของเสียเหล่านี้มาพิจารณาและวิเคราะห์สมบัติแล้ว พบว่ายังมีศักยภาพที่เหมาะสมจะนำกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่ได้หลากหลาย

ในงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยได้เล็งเห็นประโยชน์ของของเสียดังกล่าว ซึ่งมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ประโยชน์เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตเป็น อิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำที่มีความพรุนตัวสูง มีความสามารถระบายน้ำได้ดี เหมาะสมกับภูมิประเทศในเขตร้อนชื้น ที่มีอากาศร้อนตลอดทั้งปี ประสบกับพายุฝนในฤดูมรสุม และเกิดน้ำท่วมขังในพื้นที่ต่ำ สำหรับวัสดุปูพื้นเพื่อการระบายน้ำที่คืบนั้น ได้มีการจัดประเภทแบ่งออกเป็น 9 ชนิด ได้แก่ porous aggregate, porous turf, plastic geocells, open-jointed paving blocks, open-celled paving grids, porous concrete, porous asphalt, soft paving materials และ decks ⁽¹⁾ ซึ่งวัสดุเหล่านี้ถูกออกแบบและประยุกต์ใช้สำหรับการระบายน้ำเนื่องจากพายุฝน และลดปัญหาการท่วมขัง วัสดุเหล่านี้บางชนิดมีต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูงเนื่องจากวัตถุดิบมาจากปิโตรเลียม และปูนซีเมนต์ซึ่งได้มาจากวัตถุดิบธรรมชาติและผ่านกระบวนการผลิตที่ใช้พลังงานสูง แม้ว่าจะเป็นที่นิยมและติดตลาดในปัจจุบัน อย่างไรก็ตามยังคงมีข้อสงสัยในเรื่องประสิทธิภาพการใช้งานระยะยาว อิฐเซรามิกจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถพัฒนาให้มีสมบัติความแข็งแรงคงทนต่อการใช้งานภายใต้แรงกด

ทับ ทนต่อการกัดกร่อน และการขัดสีได้ดี อีกทั้งการทำให้อิฐมีความพรุนตัวสูงนอกจากจะระบายน้ำได้ดี มีน้ำหนักเบาแล้ว ยังทำหน้าที่คล้ายฟองน้ำอุ้มน้ำไว้บางส่วนและค่อยๆ ระบายออกไปโดยการดูดซับความร้อนจากบริเวณโดยรอบ เมื่อนำไปใช้ในภูมิประเทศที่มีอากาศร้อนจะช่วยแก้ปัญหาความร้อนอันเกิดจากพื้นที่ปูด้วยคอนกรีตได้ดีอีกด้วย

จากที่ได้กล่าวมาจึงมีการพัฒนาวัสดุพรุนตัวเพื่อรองรับกับปัญหาดังกล่าว โดยมีทั้งอิฐบล็อกและคอนกรีตพรุนตัวออกจำหน่าย แต่วัตถุดิบหลักของการผลิตคือหิน ซึ่งก็ได้จากเหมืองที่ทำการระเบิดภูเขา รวมถึงการนำวัสดุพรุนจากธรรมชาติมาใช้งานอย่างเช่น ศิลาแลง ซึ่งก็เป็นการทำลายสิ่งแวดล้อมอย่างมาก ในการนี้ทางคณะผู้วิจัยจึงได้ให้ความสนใจในการพัฒนาอิฐเซรามิกพรุน โดยนำเอาเศษวัสดุจากโรงงานเซรามิก ซึ่งเป็นของเสียที่ต้องกำจัดทิ้งมาใช้เป็นวัตถุดิบ รวมทั้งได้นำดินแดงพื้นบ้านมาเป็นวัตถุดิบร่วม ซึ่งจะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับดินเหล่านี้

ทั้งนี้การศึกษาอิฐรูพรุนนั้นมีปัจจัยที่ต้องควบคุมทั้งด้านโครงสร้าง และสมบัติให้เหมาะสม โดยมีความแข็งแรงสูง รับน้ำหนักได้ดี ทนต่อการสึกกร่อน สภาพสีคงทนไม่เปลี่ยนแปลง โดยที่ยังคงสมบัติการไหลผ่านของน้ำไม่น้อยกว่า ผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด

1.2 วัตถุประสงค์

1. พัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตที่เหมาะสมในการนำเศษวัสดุจากอุตสาหกรรมมาพัฒนาอิฐเซรามิกพรุน
2. วิเคราะห์สมบัติของอิฐเซรามิกพรุนที่ได้
3. ศึกษาการนำอิฐเซรามิกพรุนที่ได้พัฒนาแล้วไปใช้งานจริง

1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน

ศึกษาวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานสุกภัณฑ์และโรงงานตัดแปรรูปกระจก

1.4 ผลงานที่คาดว่าจะได้รับ

- ได้องค์ความรู้ในการพัฒนาวัสดุพรุนจากวัสดุเหลือทิ้ง
- สร้างมูลค่าของวัสดุเหลือทิ้ง
- ลดปัญหาการระเบิดหินและช่วยรักษาสิ่งแวดล้อม
- ได้บทความวิชาการ

1.5 ระยะเวลาดำเนินการ

ระยะเวลาศึกษา 24 เดือน (ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2556 – เดือนกันยายน 2558)

รายละเอียด	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1.เตรียมอุปกรณ์	■	■	■																					
2.ทดสอบสมบัติ วัสดุคืบและ ผลิตภัณฑ์ที่มีใน ท้องตลาด		■	■	■																				
3.เตรียมส่วนผสม และศึกษาสมบัติ ในการขึ้นรูป			■	■	■	■	■	■																
4.จัดทำรายงาน ความก้าวหน้า						■																		
5.ทดลองขึ้นรูปและ เผา				■	■	■	■	■	■															
6.ทดสอบสมบัติเคมี กายภาพ และ เชิงกล							■	■	■	■	■													
7.จัดทำรายงานฉบับ สมบูรณ์ปีที่ 1											■													
8 พัฒนาแม่พิมพ์ ต้นแบบอิฐขนาด 10x20 ซม.												■	■											
7 ทดลองขึ้นรูปและ เผาอิฐต้นแบบ													■	■	■									
8.ทดสอบสมบัติ ต่างๆ ของอิฐ ต้นแบบ														■	■	■	■							

บทที่ 2

ปริทรรศน์วรรณกรรม

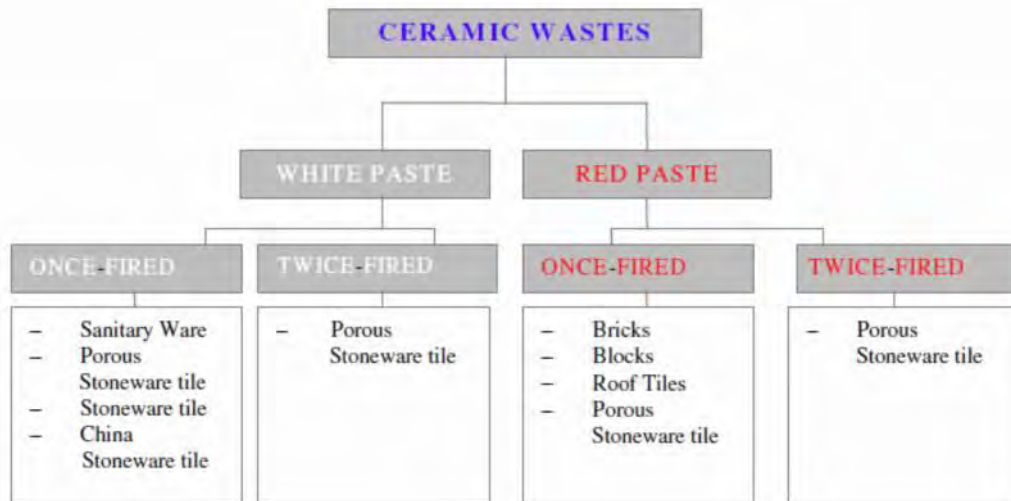
2.1 เซรามิกพรุน

เซรามิกที่มีรูพรุนอยู่ในเนื้อเป็นจำนวนมาก หรือที่เรียกว่า เซรามิกพรุน (porous ceramic) ก็มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมหลายชนิดเช่นเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากสมบัติที่โดดเด่นหลายประการ⁽²⁾ ทั้งในด้านการซึมผ่าน (permeability) พื้นที่ผิวมาก เป็นฉนวนความร้อนที่ดี รวมทั้งยังทนต่ออุณหภูมิสูงและสารเคมีต่างๆ อีกด้วย แต่ก็ยังมีข้อเสียเนื่องจากรูพรุนเป็นตัวการสำคัญ ที่ทำให้ความแข็งแรงของชิ้นงานลดลง ซึ่งเซรามิก พรุน โดยทั่วไปแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่ เซรามิกพรุนชนิดที่รูพรุนเรียงตัวกันใน 2 มิติ หรือที่เรียกกันว่า เซรามิกรวงผึ้ง (honeycomb ceramic) และชนิดที่มีรูพรุนกระจายใน 3 มิติ หรือเซรามิก โฟม (ceramic foam) ซึ่งยังแบ่งได้เป็นชนิดที่มีรูพรุนเปิดต่อเนื่อง (open cell) และชนิดรูพรุนปิด (close cell) อีกด้วย การขึ้นรูปเซรามิกพรุนทำได้หลายวิธี เช่น การใช้ฟองน้ำจุ่มลงในสารแขวนลอย เพื่อให้อนุภาควัสดุเซรามิกติดอยู่บนพื้นผิวฟองน้ำ จากนั้นจึงนำไปเผา เพื่อให้ฟองน้ำสลายตัวไป และได้ก้อนวัสดุเซรามิกที่มีลักษณะ โครงสร้างเดิมของฟองน้ำ วิธีต่อมาคือการเติมอินทรีย์วัตถุ เช่น จีลีสวย ผงถ่าน แป้ง ลงในสารแขวนลอย เมื่อขึ้นรูปเป็นชิ้นงาน อินทรีย์วัตถุดังกล่าวจะกระจายอยู่ในชิ้นงาน และจะสลายตัวไปเมื่อได้รับความร้อน ทำให้เกิดรูพรุนขึ้นในชิ้นงาน อีกวิธีหนึ่งได้แก่วิธี โซล-เจล โดยการทำให้เกิดฟองในสารแขวนลอย จากนั้นจึงทำปฏิกิริยาเคมี เพื่อให้สารแขวนลอยเปลี่ยนสภาพ กลายเป็นเจลซึ่งจะกักฟองเอาไว้ภายในเนื้อวัสดุ เป็นต้น

จากการศึกษางานวิจัยพบว่า Rahman และคณะ⁽³⁾ ได้ศึกษาการเผาเซรามิกพรุน โดยได้ทำการเผาเซรามิกพรุนให้ได้ความแข็งแรงสูง โดยการเผา 2 ครั้ง ซึ่งครั้งแรกเป็นการเผาผงดินก่อน จากนั้นจึงทำการอัดขึ้นรูปแล้วเผาอีกครั้งหนึ่งซึ่งทำให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น 4.3 เท่า ขณะที่ Vieira และ Monteiro⁽⁴⁾ ได้ศึกษาการเติมผงดินที่ผ่านการเผาแล้วลงในเนื้อผลิตภัณฑ์พบว่า สามารถเพิ่มรูพรุนให้กับเนื้อผลิตภัณฑ์ในทุกระดับอุณหภูมิการเผา นอกจากนี้ Grrgorova และ Pabst⁽⁵⁾ ได้ศึกษาการขึ้นรูปอะลูมินา โดยผสมเมล็ดป๊อปบีลงไป 5% พบว่าจะให้ความพรุนตัวถึง 37.6% และ Russ⁽⁶⁾ และคณะได้ทดลองการเติมกากเหลือทิ้งของธัญพืชลงในอิฐ พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของรูพรุน ขณะที่ความแข็งแรงไม่ต่างจากเดิมมากนัก ส่วน Cement & Concrete Institute⁽⁷⁾ ก็ได้เสนอขนาดและปริมาณที่เหมาะสมของก้อนกรวดในการผลิตอิฐปูพื้นคุณภาพสูง จากทั้งหมดที่กล่าวมาจึงเป็นแนวทางในการศึกษาทดลองเพื่อพัฒนาอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำที่มีรูพรุนสูง โดยที่ยังคงความแข็งแรงไว้ได้

2.2 เศษสุกัณฑ์เซรามิก

ในกระบวนการผลิตเซรามิกทุกชนิดก็จะมีของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตซึ่งได้มีการจัดแบ่งออกเป็นหลายประเภท⁽⁸⁾ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยที่มีเศษสุกัณฑ์เป็นของเสียเซรามิกประเภทเนื้อขาว ชนิดเผาครั้งเดียว ซึ่งการนำของเสียและเหลือทิ้งกลับมาเพื่อใช้ประโยชน์อีกครั้งหนึ่งหรือการรีไซเคิลจึงเป็นการใช้ประโยชน์อย่างสูงสุด ด้วยเหตุนี้เศษสุกัณฑ์เซรามิกจึงมีการพยายามนำกลับมาใช้อีกครั้ง



รูปที่ 2.1 การแบ่งประเภทของเสียเซรามิก

จากเดิมที่ส่วนมากเศษสุกัณฑ์เซรามิกจะถูกนำไปใช้ในการถมที่ดินจึงการพยายามใช้ประโยชน์ให้มากขึ้น โดย C.Mmedina และคณะ⁽⁹⁾ ได้ศึกษาการนำเศษสุกัณฑ์เซรามิกมาใช้ทดแทนหินจากธรรมชาติ โดยการเปรียบเทียบลักษณะทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 2.2 และเปรียบเทียบคุณสมบัติเฉพาะตัวดังแสดงในตารางที่ 2.1 นอกจากนี้ยังทำการทดลองผสมเศษสุกัณฑ์เซรามิกในคอนกรีตทดแทนหินจากธรรมชาติ ปริมาณร้อยละ 15 20 และ 25 ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งก็พบว่าทำให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น



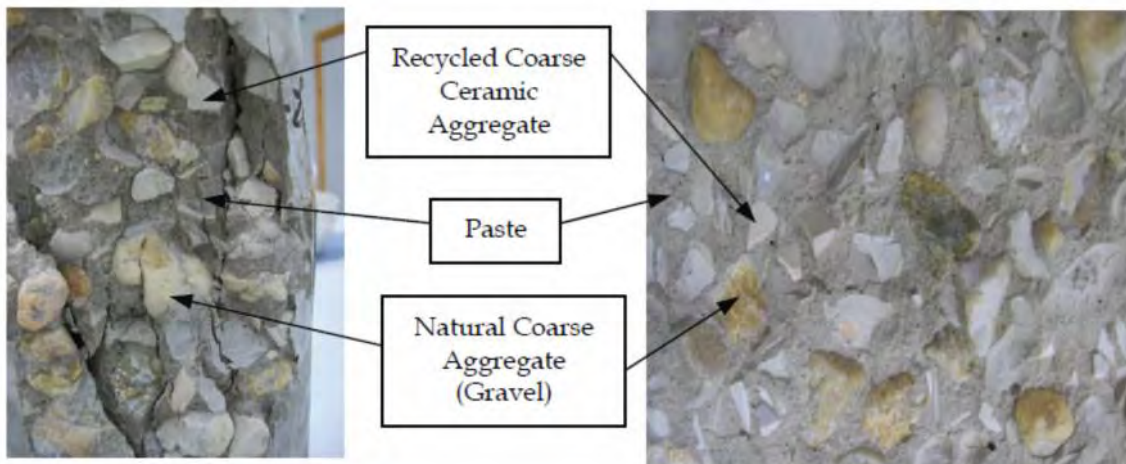
(a)

(b)

รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะมวลรวมหยาบจากหินธรรมชาติ (a) และเศษสุกัณฑ์เซรามิก (b)

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของหินจากธรรมชาติและเศษสุขภัณฑ์เซรามิก

Characteristic	Gravel	Ceramic	EN 12620/ EHE-08
Grading modulus	6.93	6.17	-
Maximum size (mm) (EN 933-1)	20	12.5	-
Fine content (wt.%)	0.22	0.16	<1.5
Dry sample real density (kg/dm ³) (EN 1097-6)	2.63	2.39	-
Water absorption (wt.%) (EN 1097-6)	0.23	0.55	≤5
Flakiness Index (wt.%) (EN 933-3)	3	23	<35
"Los Angeles" coefficient (wt.%) (EN 1097-2)	33	20	≤40
Total porosity (vol.%) (MIP)	0.23	0.32	-



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะของการใช้เศษสุขภัณฑ์เซรามิกแทนหินธรรมชาติ

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ สารเคมี

3.1.1 เศษสุขภัณฑ์

เศษสุขภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลอง เป็นของเสียที่ได้จากผลิตภัณฑ์ที่เสียหายในกระบวนการผลิตของโรงงานสุขภัณฑ์ ซึ่งทั้งประเทศมีประมาณ 1,775 ตันต่อปี โดยนำมาทำการบดหยาบด้วยเครื่องบดลดขนาด (Jaw crusher)



รูปที่ 3.1 วัตถุดิบพิทเซอร์ หรือเศษสุขภัณฑ์เซรามิก

3.1.2 ผงแก้ว

ผงแก้วที่ใช้ในการทดลอง เป็นของเสียที่ได้จากการแยกตะกอนน้ำทิ้งของโรงงานตัดแต่งกระจก โดยนำมาทำการอบแห้งและบดละเอียด



รูปที่ 3.2 ผงแก้วจากการขัดขอบ

3.1.3 ดินแดง

ดินแดงที่ใช้ในการทดลอง เป็นดินซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบหลักในกระบวนการผลิตอิฐก่อสร้าง โดยนำมาทำการอบแห้งและบดละเอียด



รูปที่ 3.3 วัตถุดิบดินแดง

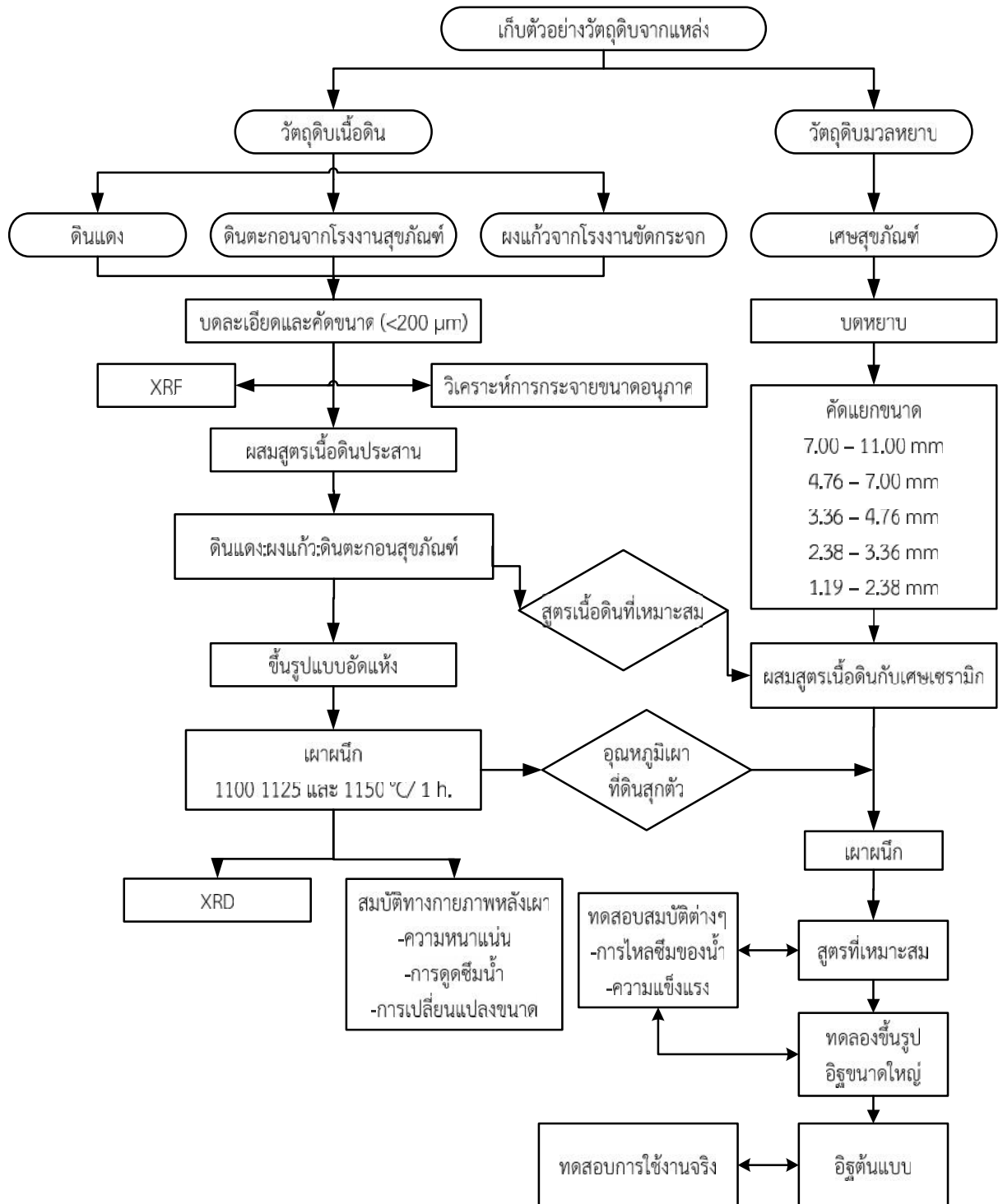
3.1.4 ดินตะกอนสุขภัณฑ์

ดินตะกอนสุขภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลอง เป็นของเสียที่ได้จากการแยกตะกอนน้ำทิ้งในกระบวนการผลิตของโรงงานสุขภัณฑ์ โดยนำมาทำการอบแห้งและบดละเอียด



รูปที่ 3.4 วัตถุดิบดินตะกอนน้ำเสียจากโรงงานสุขภัณฑ์

3.2 แผนผังการทดลอง



รูปที่ 3.5 แผนผังการทดลอง

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

3.3.1 การศึกษาบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำ

ในการทดลองครั้งนี้ได้ศึกษาสมบัติของบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำซึ่งมีจำหน่ายในท้องตลาดมาเป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ กับอิฐเซรามิกปูพื้นสำหรับระบายน้ำที่จะได้พัฒนาขึ้น โดยเตรียมบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำเป็นชิ้นงานทดสอบขนาด กว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร และความสูงตามขนาดคอนกรีต จากนั้นจึงนำไปทดสอบสมบัติดังต่อไปนี้

- โครงสร้างการจัดเรียงตัวของอนุภาคมวลรวมหยาบตามภาพตัดขวาง
- ขนาดของมวลรวมหยาบโดยการวัดด้วยโปรแกรม AxioVision
- ความหนาแน่น
- ความพรุนตัว
- การดูดซึมน้ำ
- อัตราการไหลซึม
- ความต้านทานแรงกด

3.3.2 วัตถุดิบและการวิเคราะห์สมบัติ

วัตถุดิบที่ใช้พัฒนาเป็นส่วนผสมสำหรับอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำในงานวิจัยนี้แบ่งเป็นสองประเภท ได้แก่ วัตถุดิบเนื้อพื้นสำหรับพัฒนาเป็นเนื้อพื้นระหว่างมวลรวมหยาบในอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำ และวัตถุดิบมวลรวมหยาบซึ่งเป็นเนื้อเซรามิกขนาดใหญ่ทำหน้าที่รับแรงและเพิ่มความพรุนสำหรับการระบายน้ำ

วัตถุดิบเนื้อพื้น ได้แก่ ดินแดงจากอำเภอป่าโมกข์ ดินตะกอนจากกระบวนการหล่อน้ำดินในการผลิตสุกัณฑ์ และผงแก้วจากตะกอนที่เกิดจากการขัดขอบกระจก

วัตถุดิบมวลรวมหยาบ ได้แก่ เศษสุกัณฑ์ที่แตกหักเสียหายในกระบวนการผลิตของโรงงานสุกัณฑ์

3.3.2.1 วัตถุดิบเนื้อพื้น

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยนี้เริ่มจากการศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของวัตถุดิบเนื้อพื้นทั้ง 3 ชนิด เพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้และแนวทางการพัฒนาเป็นสูตรเนื้อดินประสานต่อไป

- ทำการหาค่าประกอบเคมีในวัตถุดิบด้วย XRF
- ทำการบดวัตถุดิบด้วยโม่และคัดขนาดผ่านตะแกรงขนาด 200 เมช (<70 μm) แล้ววิเคราะห์หาการกระจายขนาดอนุภาคด้วยเครื่องวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาค Mastersizer S long bed (Malvern Instrument Ltd.)

3.3.2.2 วัตถุประสงค์บวมรวมหยาบ

วัตถุประสงค์บวมรวมหยาบในงานวิจัยนี้มีเพียงชนิดเดียวคือ เศษสุกัณฑ์ที่แตกหักเสียหายในกระบวนการผลิตของโรงงานสุกัณฑ์ ทำการเตรียมโดยบดด้วย Jaw crusher และคัดแยกขนาดผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ ออกเป็น 5 กลุ่ม ดังแสดงตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การแบ่งกลุ่มขนาดอนุภาคบวมรวมหยาบ

กลุ่มที่	ขนาด (มิลลิเมตร)
(1)	1.19 – 2.38
(2)	2.38 – 3.36
(3)	3.36 – 4.76
(4)	4.76 – 7.00
(5)	7.00 – 11.00

3.3.3 การศึกษาสูตรผสมของอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำ

หลังจากที่ได้ทำการเตรียมวัตถุประสงค์ ทั้งบวมรวมหยาบ และเนื้อพื้นแล้ว พร้อมทั้งข้อมูลการระบายน้ำของบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำ โครงสร้างการจัดเรียงตัวและสมบัติที่ใช้เป็นค่าเป้าหมาย การพัฒนาอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำต้นแบบ ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วนคือ

- 1) การทดลองหาสูตรดินผสมเพื่อใช้เป็นเนื้อพื้นในอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำ
- 2) การทดลองหาสัดส่วนของขนาดและปริมาณเพื่อใช้เป็นบวมรวมหยาบในอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำ
- 3) การศึกษาสัดส่วนของเนื้อพื้นต่อบวมรวมหยาบในการขึ้นรูปอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำ

3.3.3.1 การทดลองหาสูตรดินผสมเพื่อใช้เป็นเนื้อพื้นในอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำ

ในการทดลองหาสัดส่วนระหว่างดินกับผงแก้วที่เหมาะสมสำหรับเป็นเนื้อพื้นระหว่างบวมรวมหยาบ โดยได้กำหนดอัตราส่วนระหว่างดิน ต่อผงแก้วด้วยอัตราส่วนโดยน้ำหนัก ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สูตรเนื้อพื้นสำหรับใช้ในอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำ

สูตร	ส่วนผสมวัตถุดิบโดยน้ำหนัก (wt%)		
	ดินตะกอนสุกัณฑ์ (S)	ดินแดง (C)	ผงแก้ว (G)
C100	-	100	-
GC90	-	90	10
GC80	-	80	20
GC50	-	50	50
S100	100	-	-
GS90	90	-	10
GS80	80	-	20
GS50	50	50	-

เนื้อดินที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 200 เมช ถูกนำมาผสมตามสัดส่วนของแต่ละสูตรโดยทำการผสมด้วย high speed ball mill แบบแห้ง โดยใช้ลูกบดอะลูมินาและหม้อบดพอร์ซเลน บรรจุครั้งละประมาณ 200 กรัม ใช้เวลาบดผสม 5 นาที แล้วนำออกมาผ่านตะแกรงร่อนขนาด 80 เมช เพื่อให้เนื้อดินกระจายตัวและมีความสม่ำเสมอ

ผสมวัตถุดิบตามสูตร แล้วนำไปอัดขึ้นรูปแบบแห้งในแม่แบบเหล็กกล้า ด้วยแรงอัด 40 MPa จากนั้นทำการเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1100 1125 และ 1150 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที และเวลายืนไฟ 1 ชั่วโมง

3.3.3.2 การทดลองหาสัดส่วนของขนาดและปริมาณเพื่อใช้เป็นมวลรวมหยาบในอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำ

นำเศษสุกัณฑ์กลุ่มที่ (1) (2) (3) (4) และ (5) ที่เตรียมไว้มาผสมตามสูตรต่างๆผสมกับดิน C100 ในอัตราส่วน 10:1 10:2 และ 10:3 นำไปอัดขึ้นรูปแบบแห้งในแม่แบบเหล็กกล้าทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ด้วยแรงอัด 5 MPa โดยพ่นละอองน้ำเล็กน้อยเพื่อให้จับตัวกันดีขึ้น ทำการเผาผนึกที่อุณหภูมิตามผลที่ได้จากการหาอุณหภูมิที่ทำให้ดินผสมสุกตัว ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที และเวลายืนไฟ 1 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ เพื่อให้ได้สูตรส่วนผสมที่เหมาะสม

ตารางที่ 3.3 สูตรมวลรวมหยาบสำหรับใช้ในอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำ

สูตร	ส่วนผสมมวลรวมหยาบโดยน้ำหนัก (wt%)			
	2.38-3.36 (2)	3.36-4.76 (3)	4.76-7.00 (4)	7.00-11.00 (5)
(234)	25	50	25	-
(345)	-	25	50	25
(235)	25	50	-	25
(245)	25	-	50	25

3.3.3.3 การศึกษาสัดส่วนของเนื้อพื้นต่อมวลรวมหยาบในการขึ้นรูปอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำ

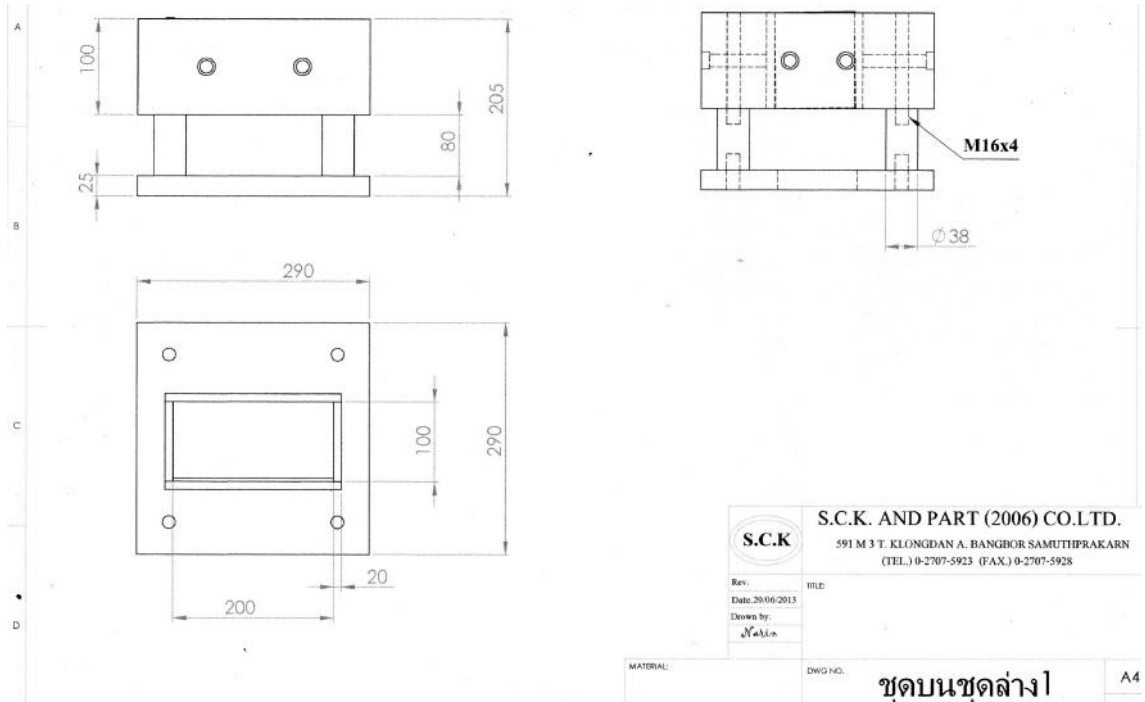
เมื่อได้สูตรเนื้อพื้นและสูตรมวลรวมหยาบที่มีสมบัติหลังเผาที่เหมาะสมแล้ว จึงเลือกสูตรดังกล่าวมาใช้ผสมกันเป็นเนื้ออิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำตามสัดส่วนที่เหมาะสม เมื่อนำไปอัดในแม่แบบเหล็กกล้าทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ด้วยแรงกด 4 MPa จะได้ตัวอย่างหนาประมาณ 5 เซนติเมตร โดยใช้ น้ำพรมและคลุกเพียงเล็กน้อย แล้วจึงอัด

นำตัวอย่างหลังอัดขึ้นรูปไปเผาที่อุณหภูมิตามผลที่ได้จากการหาอุณหภูมิที่ทำให้ดินผสมสุกตัวด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที และเย็นไฟ 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวัดสมบัติทางกายภาพได้แก่ความพรุน การดูดซึมน้ำ ความหนาแน่น และความต้านทานแรงกด

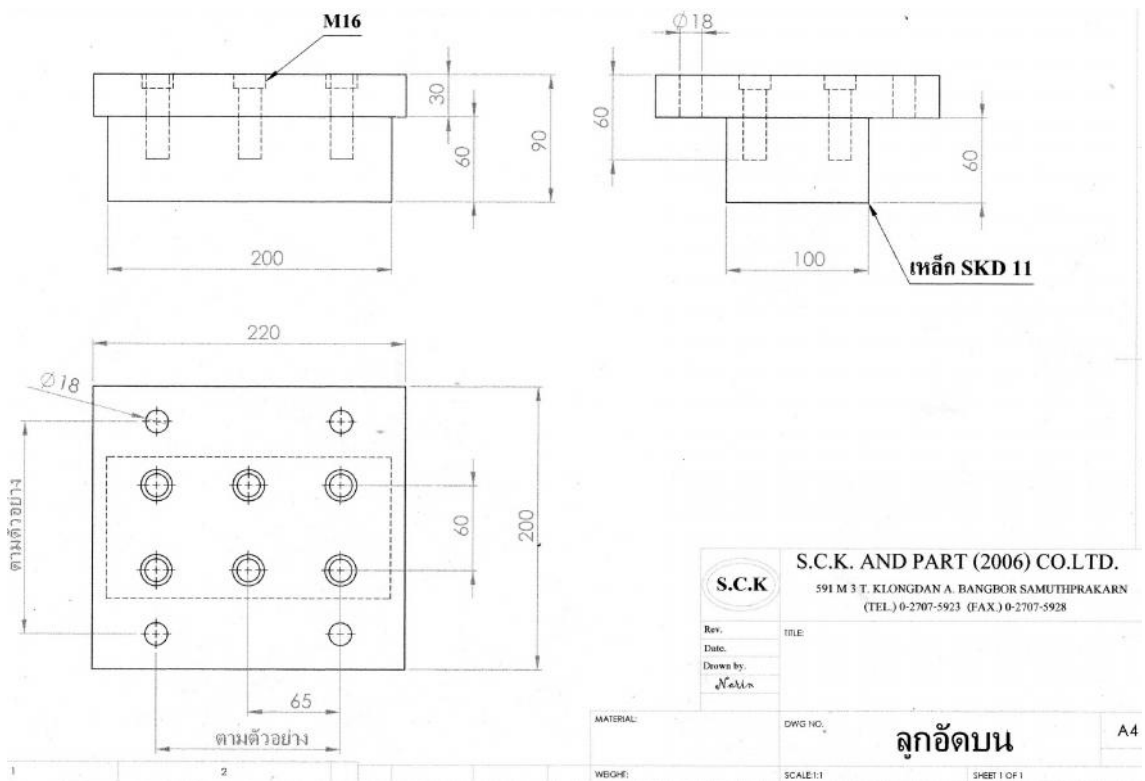
3.3.4 การศึกษาการขึ้นรูปและพัฒนาอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำในห้องปฏิบัติการ

3.3.4.1 การพัฒนาแบบพิมพ์ของอิฐ

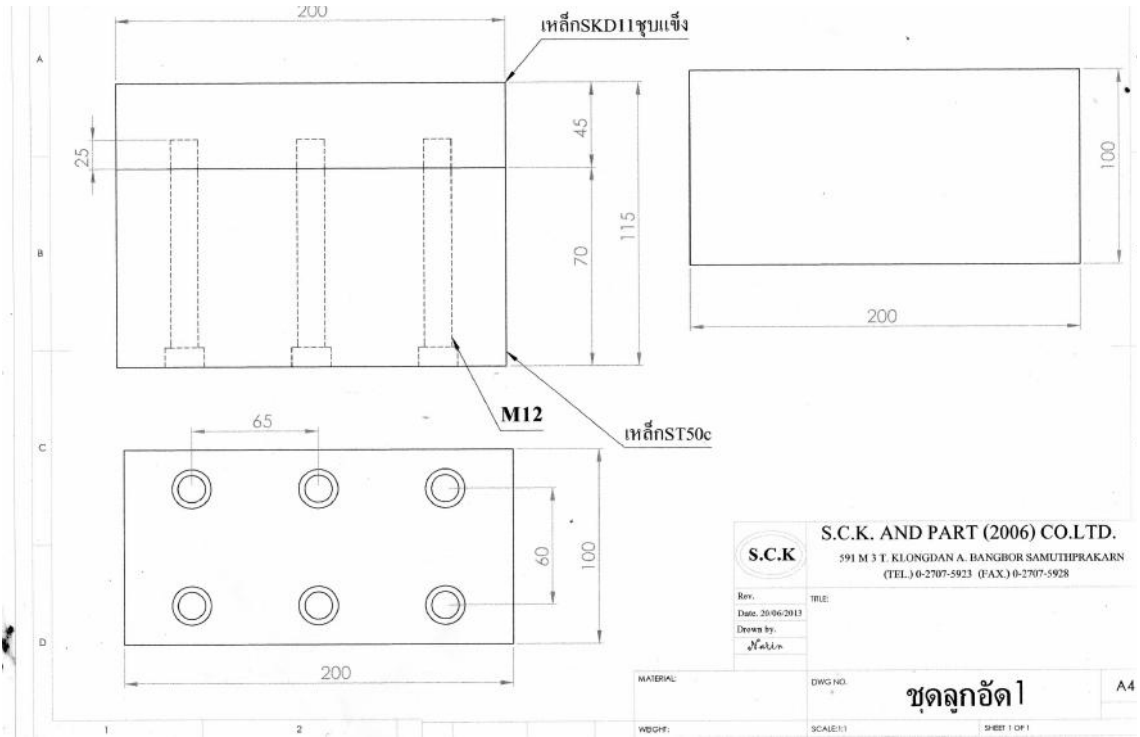
ได้มีการจัดทำแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปอิฐพูนด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก โดยการออกแบบแม่พิมพ์ที่ทำขึ้นมีช่องแม่พิมพ์สำหรับใส่เนื้อวัสดุ มีขนาดเท่ากับ 10 x 20 x 9 ซม. (โดยมีขนาดและรูปร่างตามแบบตามรูปที่ 3.6 รูปที่ 3.7 และรูปที่ 3.8) ทั้งนี้ความหนาของอิฐที่ได้จะขึ้นกับปริมาณและความสามารถในการยุบตัวของวัตถุดิบที่ใช้(จากการทดลองพบว่ามีค่าประมาณ 28%) แม่พิมพ์ได้รับการออกแบบให้สามารถปรับเปลี่ยนรูปทรงหรือลวดลายบนพื้นอิฐได้โดยการติดตั้งแผ่นรองที่เหมาะสม เพื่อรองรับการออกแบบลวดลายบนผิวหน้าหรือการเพิ่มร่องระบายน้ำในอนาคต (หากจำเป็นต้องใช้) จากการทดลองใช้งานพบว่าสามารถอัดอิฐตัวอย่างขนาด 10 x 20 x 6.5 ซม. ได้ (ตามรูปที่ 3.8) อย่างไรก็ตามเนื่องจากความสูงระหว่างแผ่นอัดด้านบนและด้านล่างของเครื่องอัดมีจำกัดทำให้ไม่ค่อยสะดวกต่อการทำงาน จึงได้ทำการปรับลดความหนาของกันกระแทกด้านบนของแม่พิมพ์ลงจากแบบเดิมเพื่อเพิ่มระยะทำงาน



รูปที่ 3.6 แบบแม่พิมพ์ตัวกลางสำหรับใส่วัตถุคืบ



รูปที่ 3.7 แบบลูกอัดแม่พิมพ์ตัวบน



รูปที่ 3.8 แบบลูกอัดแม่พิมพ์ตัวล่าง

3.3.4.2 การทดลองสู้อิฐพูนระบายน้ำตามสูตรที่คัดเลือก

เมื่อได้แบบพิมพ์ของอิฐต้นแบบแล้ว ทดลองการขึ้นรูปตามสูตรเนื้อพื้นและสูตรมวลรวมหยาบที่มีสมบัติหลังเผาที่เหมาะสมแล้ว จึงเลือกสูตรดังกล่าวมาใช้ผสมกันเป็นเนื้ออิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำตามสัดส่วนที่เหมาะสม นำตัวอย่างหลังอัดขึ้นรูปไปเผาที่อุณหภูมิตามผลที่ได้จากการหาอุณหภูมิที่ทำให้ดินผสมสุกตัว ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที และขึ้นไฟ 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวัดสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความพรุน การดูดซึมน้ำ ความหนาแน่น และความต้านทานแรงกด

3.3.5 การศึกษาการขึ้นรูปและพัฒนาอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำต้นแบบในโรงงานอุตสาหกรรม

3.3.5.1 การขยายผลการทดลองสู้อิฐต้นแบบในโรงงานอุตสาหกรรม

เมื่อได้อิฐต้นแบบที่มีคุณสมบัติตามต้องการแล้ว จึงขยายผลสู่การผลิตอิฐในโรงงานอุตสาหกรรม โดยใช้อัตราส่วนผสมตามสูตรอิฐต้นแบบ นำตัวอย่างหลังอัดขึ้นรูปไปเผาที่อุณหภูมิตามผลที่ได้จากการหาอุณหภูมิที่ทำให้ดินผสมสุกตัว ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที และขึ้นไฟ 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวัดสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความพรุน การดูดซึมน้ำ ความหนาแน่น และความต้านทานแรงกด

3.3.5.2 การทดลองใช้งานอิฐต้นแบบในสภาพงานจริง

เมื่อได้อิฐต้นแบบจากโรงงานอุตสาหกรรมแล้ว นำมาทดลองนำมาจัดเรียงปูพื้นในสนาม เพื่อทดสอบการใช้งานในสภาพแวดล้อมจริง

3.3.6 การวิเคราะห์ทดสอบ

3.3.6.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุดิบ โดยนำวัสดุดิบมาบดเป็นผงและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เมช แล้วใช้วิธีการ X-ray fluorescence spectrometry (XRF) โดยใช้วิธีการเตรียมตัวอย่างแบบหลอม

3.3.6.2 การวิเคราะห์แร่วิทยาและชนิดของสารประกอบ (วัฏภาค)

โครงสร้างผลึกของตัวอย่างเนื้อพื้น ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ถูกตรวจสอบด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโทมิเตอร์ (XRD) ยี่ห้อ Bruker รุ่น D8 ADVANCE โดยทำการบดชิ้นงานหลังเผาตามเงื่อนไขที่กำหนดและคัดขนาดผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช (<math>< 150 \mu\text{m}</math>) ทำการตรวจสอบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ระหว่างมุม $5-80^\circ (2\theta)$ ความเร็ว $2^\circ/\text{min}$ ซึ่งผลองค์ประกอบได้วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Bruker AXS's Topas v. 2.1 เพื่อหาความสัมพันธ์ของผลึกที่เกิดขึ้นกับเงื่อนไขการเผาและส่วนผสม

3.3.6.3 การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วย SEM

โครงสร้างอนุภาคของตัวอย่างเนื้อพื้นที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ถูกตรวจสอบด้วยเครื่อง SEM (Philips XL30CP) เคลือบด้วยทองเพื่อดูโครงสร้างจุลภาค

3.3.6.4 การทดสอบค่าความหนาแน่น ความพรุนตัวและการดูดซึมน้ำ

ในการทดสอบใช้วิธีดัดแปลงจากมาตรฐาน ASTM C20-00 ดังต่อไปนี้

นำชิ้นงานทดสอบแต่ละก้อน ไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส แล้วปล่อยให้เย็นในตู้ควบคุมความชื้น (Desiccator) จากนั้นนำชิ้นงานทดสอบทั้งหมดไปชั่งน้ำหนักหลังอบด้วยเครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง และนำไปต้มในน้ำเดือด 2 ชั่วโมง และทิ้งไว้ในน้ำอีก 24 ชั่วโมง เพื่อให้ชิ้นงานทดสอบอิมตัว

นำชิ้นงานทดสอบที่อิมตัวแล้วมาชั่งน้ำหนักในน้ำ เช็ดน้ำส่วนเกินบนผิวของชิ้นทดสอบออกโดยใช้ผ้าเปียกหมาดเช็ด แล้วนำไปชั่งน้ำหนักในตุ้กกลางที่เป็นอากาศ

นำข้อมูลทั้งหมดที่ได้มาคำนวณหาค่าความหนาแน่น ความพรุนตัวและการดูดซึมน้ำ โดยใช้สูตรในมาตรฐาน ASTM C20-00

คำนวณหาความพรุนปรากฏ (apparent porosity, P) ตามสมการ

$$P = \frac{W-D}{W-S} \times 100$$

คำนวณหาการดูดซึมน้ำ (water absorption, A) ตามสมการ

$$A = \frac{W-D}{D} \times 100$$

คำนวณหาความหนาแน่นรวม (bulk density, B) ตามสมการ

$$B = \frac{D}{W-S} \times 100$$

W คือ น้ำหนักชิ้นงานหลังต้ม ชั่งในอากาศ (กรัม)

D คือ น้ำหนักชิ้นงานแห้งก่อนต้ม (กรัม)

S คือ น้ำหนักชิ้นงานหลังต้ม ชั่งในน้ำ (กรัม)

3.3.6.5 การทดสอบอัตราการซึมซาบของน้ำในชิ้นงานอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำ

การทดสอบอัตราการระบายน้ำของชิ้นงานตัวอย่างหลังเผา ทำการทดสอบการประยุกต์ใช้วิธีอย่างง่ายในการทดสอบอัตราการระบายน้ำในชิ้นงานเดี่ยว โดยการพันรอบแท่งชิ้นงานด้วยแผ่นพาราฟิน (paraffin) แล้วห่อด้วยถุงพลาสติกมัดด้วยเทปใสให้แน่นเพื่อป้องกันน้ำซึมผ่านออกด้านข้างของชิ้นทดสอบดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.9 (a) และการทดสอบการระบายน้ำจะทดสอบโดยจัดอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.9 (b) ทำการปล่อยน้ำด้วยอัตราคงที่ให้คงระดับความสูงของน้ำประมาณ 4 เซนติเมตร จากผิวตัวอย่างอิฐเซรามิก จับเวลา 1 นาที แล้ววัดปริมาณน้ำที่ตวงได้ คำนวณอัตราการระบายน้ำดังสมการ

$$\text{อัตราการระบายน้ำ} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ไหลผ่าน (l)}}{\text{พื้นที่ผิว (m}^2\text{)} \times \text{เวลา (min)}}$$



(a)



(b)

รูปที่ 3.9 การเตรียมตัวอย่างทดสอบการระบายน้ำ (a) และการทดสอบการระบายน้ำ (b)

3.3.6.6 การทดสอบกำลังอัดของอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำ

การทดสอบกำลังอัดของชิ้นงานตัวอย่างที่ทำขึ้นจากสูตรที่กำหนด จะเปรียบเทียบผลทดสอบกับผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายในตลาดวัสดุก่อสร้าง ซึ่งเป็นบล็อกคอนกรีตพูนสำหรับปูพื้นเพื่อการระบายน้ำ ใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C133 โดยใช้เครื่องทดสอบแรงอัด Instron 5882 โดยมีอัตราการเคลื่อนที่ของหัวกด 5 มิลลิเมตรต่อวินาที ตัวอย่างทดสอบที่เป็นคอนกรีตจะถูกตัดให้มีพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมจตุรัสกว้าง 5 เซนติเมตร สูง 6 เซนติเมตร ส่วนชิ้นงานตัวอย่างที่ขึ้นรูปแล้วเผาเป็นชิ้นงานทรงกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลางหลังเผาประมาณ 5 เซนติเมตร สูง 5 เซนติเมตร

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการศึกษาบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำ

จากการนำบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำซึ่งจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาดมาศึกษาพบว่า มีขนาด ความกว้าง 10 เซนติเมตร ความยาว 20 เซนติเมตร และความสูง 6 เซนติเมตร มีน้ำหนักก้อนละประมาณ 2 กิโลกรัม โดยมีเนื้อกรวดหินปูนผสมกับปูนซีเมนต์ อัดขึ้นรูปเป็นบล็อกคอนกรีตดังแสดงในรูปที่ 4.1

เพื่อเตรียมการทดสอบสมบัติต่างๆของบล็อกคอนกรีตระบายน้ำจึงตัดเป็นขนาด ความกว้าง 5 เซนติเมตร ความยาว 5 เซนติเมตร และความสูง 6 เซนติเมตรดังแสดงในรูปที่ 4.2



(a)



(b)

รูปที่ 4.1 ตัวอย่างบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

(a) ภาพด้านบนของคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำ ขนาด 10X20 เซนติเมตร

(b) ภาพด้านข้าง ความสูงประมาณ 6 เซนติเมตร



(a)



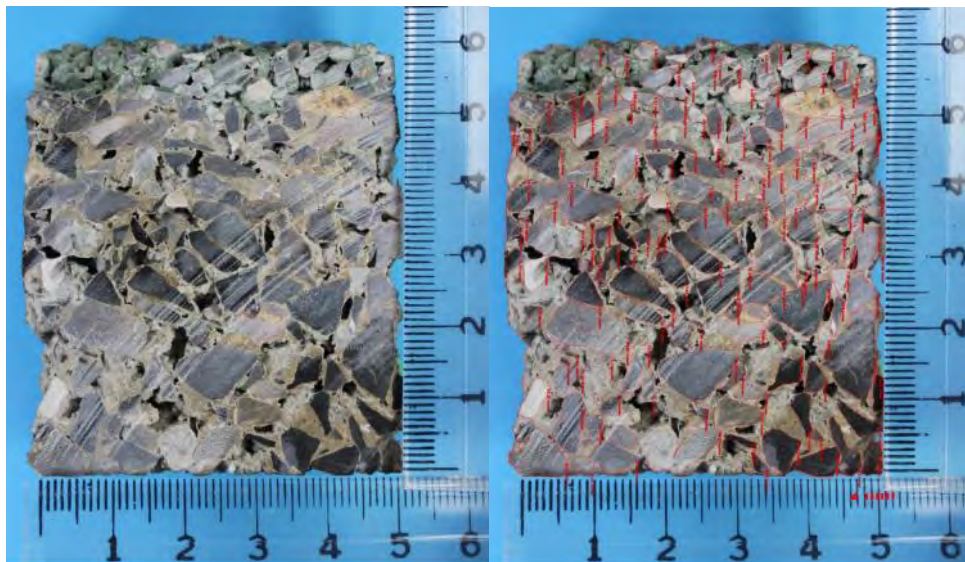
(b)

รูปที่ 4.2 ตัวอย่าง การตัดบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำ

(a) ภาพด้านบน ขนาด 5X5 เซนติเมตร (b) ภาพด้านข้าง ความสูงประมาณ 6 เซนติเมตร

4.1.1 โครงสร้างการจัดเรียงตัวและขนาดอนุภาคมวลรวมหยาบในบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำ

เมื่อตัดชิ้นงานจะพบว่าโครงสร้างภายในประกอบด้วยมวลรวมหยาบเนื้อหินปูนขนาดต่างกันกระจายโดยทั่ว และมีเนื้อปูนซีเมนต์อยู่โดยรอบก้อนกรวดทำหน้าที่เป็นตัวประสานยึดติดในโครงสร้างเพื่อความแข็งแรง นอกจากนี้ยังพบรูพรุนโดยมีทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่กระจายตัวอยู่โดยทั่วไปภายในบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำ ซึ่งเมื่อนำภาพที่ถ่ายไว้ไปวัดขนาดของอนุภาคมวลรวมหยาบด้วยโปรแกรม Axio Vision ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และ ตารางที่ 4.1 ภายใต้สมมุติฐานที่ว่าอนุภาคเป็นทรงกลม ค่าที่ได้ก็เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค โดยจะพบว่า จากค่าเฉลี่ยขนาดของอนุภาคจะอยู่ในช่วง 1.19-16.00 มิลลิเมตร โดยขนาดที่จะมีมากที่สุด คือ 7.00-11.00 มิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 22.48 โดยมีขนาดมวลรวมหยาบที่รองลงมาคือ 4.76-7.00 มิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 16.42 ตามลำดับ



(a)

(b)

รูปที่ 4.3 ภาพโครงสร้างการยึดเกาะและขนาดของมวลรวมหยาบในบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำ

(a) ภาพก่อนโครงสร้างการยึดเกาะและรูพรุน

(b) ภาพการวัดขนาดของมวลรวมหยาบด้วยโปรแกรม AxioVision

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณร้อยละของขนาดอนุภาคมวลรวมหยาบของบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำ

ชั้นงาน	ขนาดอนุภาคของมวลรวมหยาบ(มิลลิเมตร)								
	น้อยกว่า 0.59	0.59 - 1.19	1.19 - 2.38	2.38 - 3.36	3.36 - 4.76	4.76 - 7.00	7.00 - 11.00	11.00- 16.00	มากกว่า 116.00
1	1.27	2.47	14.22	10.00	14.78	17.49	16.13	12.42	11.21
2	0.83	2.43	15.98	8.97	14.04	17.21	17.41	12.24	10.89
3	0.64	2.27	9.18	5.20	13.32	21.60	19.46	7.80	20.55
4	0.39	1.67	7.36	6.21	13.46	12.96	27.02	10.64	20.29
5	0.53	1.97	5.07	8.08	4.51	12.82	32.37	21.95	12.69
ปริมาณเฉลี่ย (ร้อยละ)	0.73	2.16	10.36	7.69	12.02	16.42	22.48	13.01	15.13

4.1.2 ผลการทดสอบสมบัติกายภาพและเชิงกลของบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำ

เมื่อนำบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำไปทดสอบความหนาแน่น ความพรุนตัว การดูดซึมน้ำ อัตราการไหลซึม และความต้านทานแรงกดก็ได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.2 โดยเฉพาะค่าอัตราการไหลซึม และค่าความต้านทานแรงกด ซึ่งได้ค่าเฉลี่ยเป็น 448 ลิตรต่อตารางเมตรต่อนาทีและ 6.33 MPa ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบสมบัติกายภาพและเชิงกลของบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำ

ชั้นงาน	ความ หนาแน่น (g·cm ⁻³)	ความพรุนตัว (%)	การดูดซึมน้ำ (wt.%)	อัตราการ ไหลซึม (l·m ⁻³ ·min)	ความต้านทาน แรงกด (MPa)
1	2.27	12.26	4.28	340.41	8.76
2	2.30	15.51	3.87	405.07	8.37
3	2.25	15.21	4.74	437.87	4.39
4	2.22	18.45	5.56	477.00	5.18
5	2.26	19.66	5.00	473.49	7.38
ค่าสูงสุด	2.30	19.66	5.56	477.00	8.76
ค่าต่ำสุด	2.22	12.26	3.87	340.41	4.39
ค่าเฉลี่ย	2.26	17.21	4.69	448.36	6.33

ค่าการทดสอบของคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำทั้งกายภาพและเชิงกล รวมถึงลักษณะโครงสร้างและขนาดอนุภาค จะเป็นค่าที่นำไปใช้สำหรับอ้างอิงในการพัฒนาอิฐปูพื้นระบายน้ำต่อไป

4.1.3 ผลการทดสอบสมบัติกายภาพและเชิงกลของบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำแบบทั้งก้อน

เมื่อนำบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำทั้งก้อนไปทดสอบความหนาแน่น ความพรุนตัว การดูดซึมน้ำ อัตราการไหลซึม และความต้านทานแรงกดก็ได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.3 โดยเฉพาะค่าอัตราการไหลซึม และค่าความต้านทานแรงกด ซึ่งได้ค่าเฉลี่ยเป็น 798.18 ลิตรต่อตารางเมตรต่อนาทีและ 19.21 MPa ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบสมบัติกายภาพและเชิงกลของบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำ

ชั้นงาน	ความหนาแน่น ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	ความพรุนตัว (%)	การดูดซึมน้ำ (wt.%)	อัตราการไหลซึม ($\text{l}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$)	ความต้านทานแรงกด (MPa)
1	2.30	13.40	6.11	902.61	12.58
2	2.20	6.65	5.76	794.67	17.93
3	2.25	7.20	5.93	814.28	25.35
4	2.31	8.83	5.59	799.32	22.71
5	2.20	8.83	5.92	784.45	17.48
ค่าสูงสุด	2.31	13.40	6.11	902.61	25.35
ค่าต่ำสุด	2.20	6.65	5.59	784.45	12.58
ค่าเฉลี่ย	2.25	7.88	5.86	798.18	19.21

4.2 ผลการทดสอบสมบัติวัตุถุคิ

4.2.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วย XRF

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีในวัตุถุคิที่เป็นเนื้อดินโดยเปรียบเทียบระหว่างดินตะกอนจากโรงงานสุกัณฑ์ (S) และดินแดง (C) พบว่าดินแดงมีอะลูมินาน้อยกว่า ในขณะที่สารประกอบที่ทำหน้าที่ช่วยหลอมได้แก่ CaO MgO K_2O มีปริมาณมากกว่าดินตะกอนจากโรงงานสุกัณฑ์

สำหรับผลการวิเคราะห์ผงแก้วพบว่ามีส่วนที่ช่วยหลอม มากกว่าร้อยละ 25 ซึ่งจะช่วยลดอุณหภูมิในการเกิดเนื้อแก้ว ซึ่งเมื่อผสมกับเนื้อพื้นและมวลรวมหยาบก็จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงได้

ในการทดลองหาส่วนผสมเนื้อพื้นสำหรับอิฐระบายน้ำเริ่มต้นด้วยการทดลองผสมวัตุถุคิที่เป็นเนื้อดิน S และ C กับผงแก้ว (G) ในสัดส่วนต่างๆแล้วทำการทดลองเผา และได้ผลการทดลองดังหัวข้อต่อไป

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบเคมีในวัตถุดิบที่ได้มา

วัตถุดิบ	องค์ประกอบเคมี (%)									
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	P ₂ O ₅
พิทเซอร์ (Picher)	71.91	0.25	19.49	0.77	2.79	0.4	1.5	2.59	0.021	0.037
ดินสุกัณฑ์ (S)	57.26	0.39	27.77	1.48	0.1	0.51	1.73	1.27	0.011	0.036
ดินแดง (C)	67.88	0.83	15.63	5.49	0.54	0.84	2.15	0.6	0.105	0.099
ผงแก้ว (G)	72.23	0.053	1.6	0.192	8.6	4.43	0.186	12.47	-	-

4.2.2 ผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาค

จากตารางที่ 4.5 พบว่า D₅₀ ของตะกอนดินจากโรงงานสุกัณฑ์มีขนาดถึง 3.29 μm ขณะที่ผงแก้วและดินแดงก็มีขนาดมากในระดับ 6-10 μm ทำให้ช่วยเพิ่มสมบัติความเหนียวในการขึ้นรูปและการเกิดปฏิกิริยาสามารถเกิดได้ง่ายเนื่องจากมีพื้นที่ผิวสูง จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ผสมเข้าด้วยกันตามสูตรที่ต้องการ และนำไปขึ้นรูปขึ้นงานด้วยการอัดแห้งได้

ตารางที่ 4.5 ขนาดอนุภาคสะสมที่ D₅₀ จากผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาค

D ₅₀	ขนาดอนุภาค (μm)
ผงแก้ว (G)	10.68
ดินแดง (C)	6.37
ตะกอนดินสุกัณฑ์ (S)	3.29

4.3 ผลการศึกษาสูตรผสมของอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำ












4.3.1 ผลการเตรียมเนื้อพื้นผสมเพื่อเลือกสูตรที่เหมาะสมเป็นเนื้อพื้นในอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำ

จากการทดลองเผาเนื้อพื้นพบว่าทุกสูตร(ตามตารางที่ 3.2) สามารถเผาที่อุณหภูมิ 1100-1125 องศาเซลเซียส แต่การเผาที่ 1150 องศาเซลเซียสนั้น สูตร GC50 และ GS50 ซึ่งมีผงแก้วผสมอยู่ถึงร้อยละ

ละ 50 นั้นจะมีการเสียรูปทรงหลังการเผา เนื่องจากว่าผงแก้วผสมอยู่เป็นจำนวนมาก จะเป็นตัวลดจุดสุกตัวของเนื้อดิน ซึ่งในการผสมร่วมกับทั้งดินตะกอนสุกกันท์และดินแดงจะให้ผลที่ไม่ต่างกันไป

สำหรับเผาเนื้อดินแดง และการผสมดินแดงกับผงแก้ว ในดินผสมสูตร GC90 GC80 และ GC50 นั้นสามารถผสมและขึ้นรูปได้ด้วยวิธีการอัดแห้ง เมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1100 1125 และ 1150 องศาเซลเซียส (ยกเว้น GC50) ได้ผลดังแสดงใน


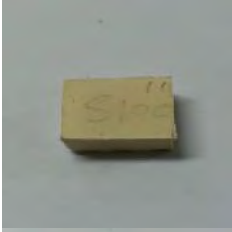









รูปที่ 4.4 โดยสูตร GC80 ที่เผา 1150 องศาเซลเซียส และ สูตร GC 50 ที่เผา 1125 องศาเซลเซียส เริ่มมีการหลอมตัว โดยสังเกตจากความมนบริเวณมุมขอบของชิ้นงาน

สูตรดินผสม	อุณหภูมิเผา (องศาเซลเซียส)		
	1100	1125	1150
C100			
GC90			
GC80			
GC50			-

รูปที่ 4.4 ชิ้นงานหลังการเผาของดินผสมสูตร C100 GC90 GC80 และ GC50 ที่อุณหภูมิต่างๆ

สำหรับเผาเนื้อดินตะกอนสุกกันท์ และการผสมดินตะกอนสุกกันท์กับผงแก้ว ในดินผสมสูตร GS90 GS80 และ GS50 นั้นสามารถผสมและขึ้นรูปได้ด้วยวิธีการอัดแห้งเช่นกัน เมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1100 1125 และ 1150 องศาเซลเซียส (ยกเว้น GS50) ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.5 ซึ่งจากการ

สังเกตจะพบว่าสูตรที่ผสมดินตะกอนสุกัณฑ์จะมีความทนไฟสูงกว่าดินแดงเนื่องจากไม่มีความมนของมุมขอบชิ้นงาน

สูตรดินผสม	อุณหภูมิเผา (องศาเซลเซียส)		
	1100	1125	1150
S100			
GS90			
GS80			
GS50			-

รูปที่ 4.5 ชิ้นงานหลังการเผาของดินผสมสูตร S100 GS90 GS80 และ GS50 ที่อุณหภูมิต่างๆ

4.3.1.1 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของสูตรเนื้อพื้นหลังเผา

สมบัติหลังเผาของดินแดงและดินแดงผสมผงแก้วสูตรต่างๆ มีผลตามแสดงในตารางที่ 4.6 ซึ่งจะพบว่าค่าการหดตัวหลังเผามีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเราเพิ่มผงแก้วมากขึ้น แต่การเพิ่มที่มากถึงร้อยละ 50 จะทำให้ผงแก้วเกิดการหลอมตัวที่อุณหภูมิ 1125-1150 องศาเซลเซียส ส่วนสูตรที่เหมาะสมคือ สูตร GC90 ที่มีผงแก้วผสมอยู่ร้อยละ 10 โดยเผาที่อุณหภูมิ 1125 องศาเซลเซียสซึ่งมีค่าความแข็งแรง (MOR) สูงที่สุดคือ 11.39 MPa และ สูตร GC80 ที่มีผงแก้วผสมอยู่ร้อยละ 20 โดยเผาที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียสซึ่งมีค่าความแข็งแรง (MOR) ใกล้เคียงกัน คือ 11.07 MPa

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบสูตรเนื้อดินแดงผสมกับผงแก้ว

สูตรดินผสม	อุณหภูมิ เผา (°C)	การหด	ความพรุนตัว (%)	การดูดซึมน้ำ (wt.%)	ความหนาแน่น (g·cm ⁻³)	ความ แข็งแรง (MPa)
		ตัวหลัง เผา (cm·m ⁻¹)				
C100	1100	3.17	25.75	12.95	1.99	4.31
	1125	3.75	16.11	7.57	2.13	6.25
	1150	6.17	7.54	3.28	2.30	6.34
GC90	1100	8.00	10.92	4.71	2.32	8.23
	1125	10.00	1.01	0.42	2.44	11.39
	1150	7.00	0.82	0.44	1.84	9.20
GC80	1100	10.33	4.12	1.71	2.40	9.42
	1125	10.25	1.22	0.53	2.31	10.38
	1150	10.25	0.94	0.46	2.06	11.07
GC50	1100	12.17	2.12	1.29	1.64	8.53
	1125	N/A	1.08	0.72	1.50	3.34
	1150	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

หมายเหตุ: N/A ไม่สามารถหาค่าได้เนื่องจากชิ้นงานเสียรูปจากการเผา

สำหรับเผาเนื้อดินตะกอนสุกัณฑ์ และการผสมดินตะกอนสุกัณฑ์กับผงแก้วสูตรต่างๆ มีผลตามแสดงในตารางที่ 4.7 ซึ่งจะพบว่าค่าสูตรที่เหมาะสมคือ สูตร GS80 ที่มีผงแก้วผสมอยู่ร้อยละ 20 โดยเผาที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียสซึ่งมีค่าความแข็งแรง (MOR) สูงที่สุดคือ 14.41 MPa

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบสูตรเนื้อดินสุกัณฑ์ผสมกับผงแก้ว

สูตรดินผสม e	อุณหภูมิ เเผา (°C)	การหดตัว หลังเผา (cm·m-1)	ความพรุนตัว (%)	การดูดซึมน้ำ (wt.%)	ความหนาแน่น (g·cm-3)	ความแข็งแรง (MPa)
S100	1100	10.00	22.34	10.85	2.06	7.15
	1125	12.25	9.22	4.04	2.28	8.62
	1150	15.50	2.39	0.98	2.43	12.58
GS90	1100	12.67	9.83	4.31	2.28	7.15
	1125	12.75	1.90	0.78	2.44	8.05
	1150	14.83	1.60	0.66	2.45	12.63
GS80	1100	12.33	7.76	3.42	2.27	7.86
	1125	14.00	2.19	0.94	2.34	7.85
	1150	13.67	1.20	0.52	2.32	14.41
GS50	1100	11.50	1.56	0.78	2.00	10.37
	1125	N/A	1.52	0.99	1.53	4.28
	1150	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

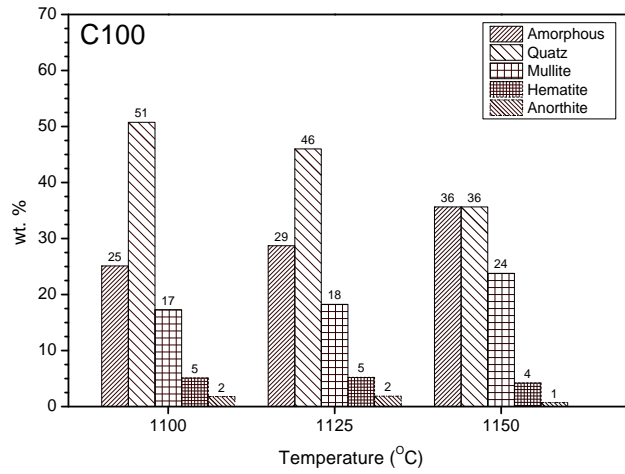
หมายเหตุ: N/A ไม่สามารถหาค่าได้เนื่องจากชิ้นงานเสียรูปจากการเผา

4.3.1.2 ผลการวิเคราะห์แร่วิทยาและชนิดของสารประกอบ (วัฏภาค) ของเนื้อพื้นสูตรผสม

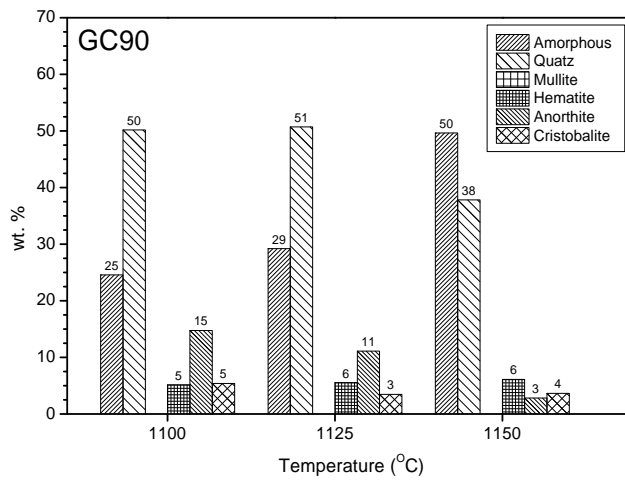
ผสม

โดยปกติทั่วไปของเนื้อดินเซรามิกผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่มักจะประกอบด้วย quartz mullite anorthite และ glassy phase ซึ่งในการวิเคราะห์ครั้งนี้จะพบว่าเมื่อเพิ่มผงแก้วในส่วนผสม ปริมาณ glassy phase จะมีจำนวนมากขึ้น และมีผลเช่นเดียวกันนี้เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผาดังแสดงในรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7

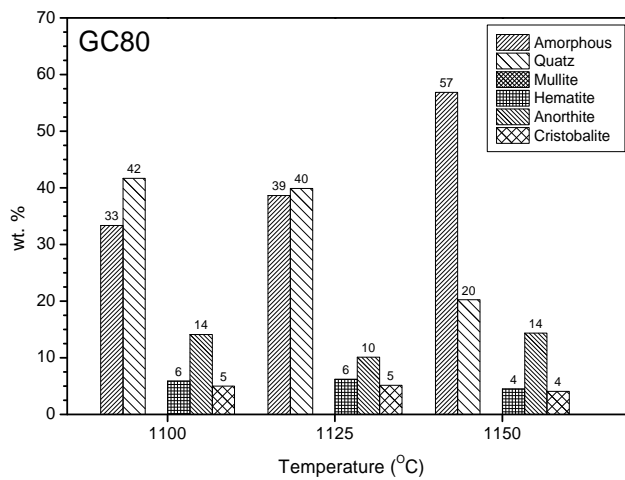
นอกจากนี้ในสูตรดินแดง C100 ยังพบแร่ mullite ในขณะที่สูตร GC80 และ GC90 จะพบแร่ cristobalite ส่วนสูตรดินตะกอนสุกัณฑ์ จะพบแร่ anorthite ในสูตรที่มีผงแก้วเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นเพราะ ปริมาณ CaO และ SiO₂ ที่มาจากผงแก้วจะทำปฏิกิริยากับ ปริมาณอะลูมินา ในเนื้อดินตะกอนสุกัณฑ์ และเกิดเป็นแร่ anorthite (Ca(Al₂Si₂O₈)) ขึ้นมาแทน mullite (3Al₂O₃·2SiO₂). ซึ่งการมี Na₂O และ CaO ในผงแก้วจะเป็นตัวช่วยหลอม quartz และ mullite ตามสมดุลวัฏภาค SiO₂, Al₂O₃, Na₂O และ CaO⁽¹⁰⁾



(a)

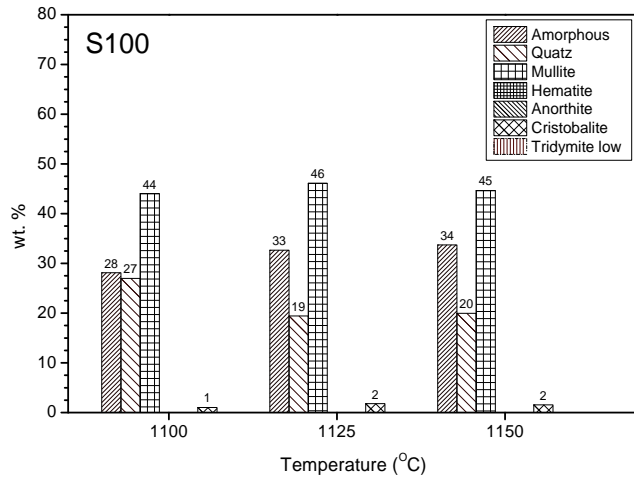


(b)

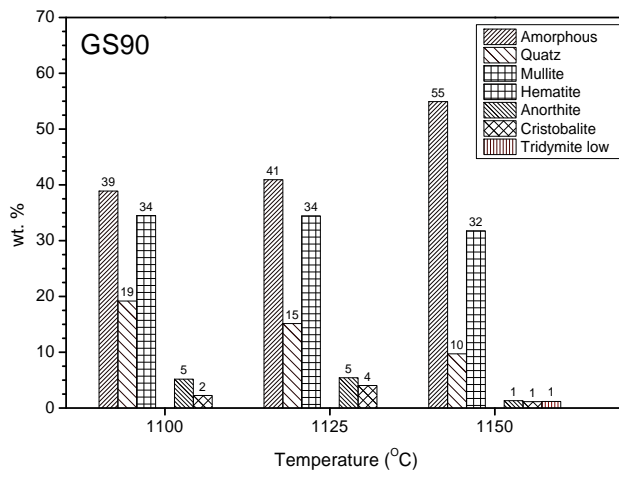


(c)

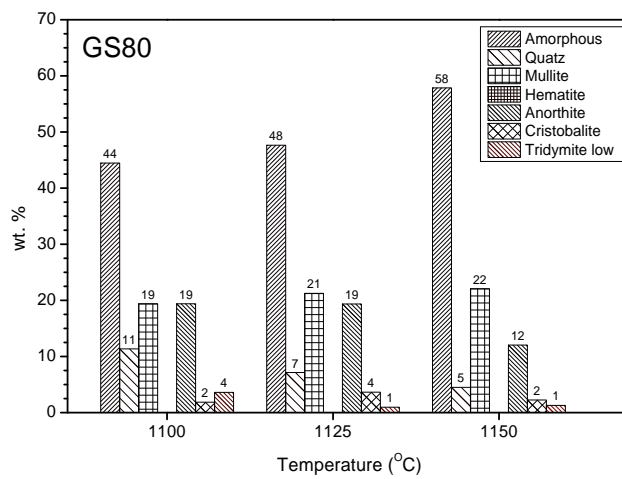
รูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์แร่วิทยาและชนิดของสารประกอบของชิ้นงานสูตร C100 GC90 และ GC80 ซึ่งเผาที่อุณหภูมิต่างๆ



(a)



(b)



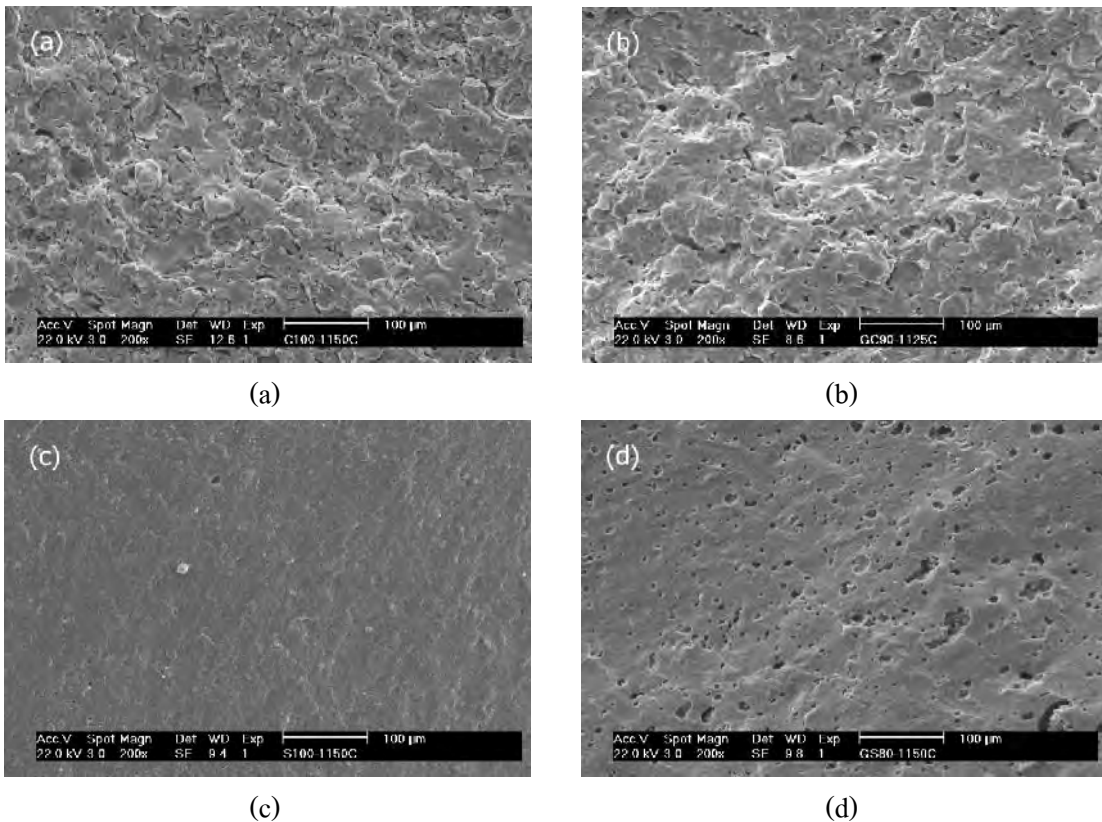
(c)

รูปที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์แร่วิทยาและชนิดของสารประกอบของชิ้นงานสูตร S100 GS90 และ GS80 ซึ่งเผาที่อุณหภูมิต่างๆ

4.3.1.3 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของเนื้อฟันสูตรผสม

จากโครงสร้างจุลภาคจะพบว่าในสูตร GC90 จะมีรูพรุนมากและหนาแน่นกว่า สูตร C100 ที่การเผา 1150 องศาเซลเซียส ในขณะที่สูตร S100 ซึ่งเผาที่ 1150 องศาเซลเซียส จะมีลักษณะที่ต่างออกไป โดยมีความเรียบของรอยผิว ส่วนสูตร GS80 ซึ่งเผา 1150 องศาเซลเซียส จะมีลักษณะของรูพรุนขนาดเล็กขนาดประมาณ 2-20 ไมโครเมตรดังแสดงในรูปที่ 4.8 ซึ่งมีงานวิจัยว่าการใช้ผงแก้วในเนื้อเซรามิกจะช่วยให้เพิ่มความแข็งแรงถึงแม้ว่าจะมีรูพรุนสูง (ร้อยละ 12.0-14.0)^(11, 12)

ซึ่งจากการศึกษานี้จะพบว่าแม้จะมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำแต่ความหนาแน่นก็ไม่สูงเป็นเพราะมีรูพรุนปิดอยู่ภายใน



รูปที่ 4.8 ภาพโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่อุณหภูมิ 1500 องศาเซลเซียส
 (a) สูตร C100 เผาที่ 1150 องศาเซลเซียส (b) สูตร GC90 เผาที่ 1125 องศาเซลเซียส
 (c) สูตร S100 เผาที่ 1150 องศาเซลเซียส (d) สูตร GS80 เผาที่ 1150 องศาเซลเซียส

4.3.1.4 สรุปสูตรเนื้อฟันที่เหมาะสมเป็นเนื้อฟันในอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำ

จากการทดลองเตรียมสูตรเนื้อดินเพื่อมาใช้เป็นเนื้อฟันในอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำจะได้ว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาคือ อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส และสูตรที่เหมาะสมมากที่สุดคือ สูตร GS80 และสูตรรองลงมาคือ สูตร GC80

4.3.2 ผลการศึกษาหาสัดส่วนของขนาดและปริมาณเพื่อใช้เป็นมวลรวมหยาบในอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำ

4.3.2.1 ผลการศึกษาการขึ้นรูปของมวลรวมหยาบขนาดเดียว

ในการทดลองได้ขึ้นรูปชิ้นงานมวลรวมหยาบ 5 ขนาด (ตามตารางที่ 3.1) ผสมกับดินแดงในอัตราส่วน 10:1 และเผา 1150 องศาเซลเซียส จะได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.9 ซึ่งจะพบว่าในกลุ่มที่ (1) และ (2) จะมีลักษณะผิวหน้าที่เรียบสวยงาม กลุ่มที่ (3) และ (4) ลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ และมองเห็นรูพรุนได้ชัดเจน ส่วนตัวอย่างมวลรวมหยาบกลุ่มที่ (5) มีขนาดอนุภาคขนาดใหญ่เกาะยึดกันแบบหลวมๆ และมีรอยแตกของอนุภาคเนื่องจากแรงอัดขึ้นรูป



(1) (2) (3) (4) (5)

(a)



(1) (2) (3) (4) (5)

(b)

รูปที่ 4.9 ชิ้นงานตัวอย่างการขึ้นรูปบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำด้วยมวลรวมหยาบทั้ง 5 ขนาด

(a) ภาพด้านบน เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร (b) ภาพด้านข้าง สูงประมาณ 5 เซนติเมตร

เมื่อนำชิ้นงานหลังเผาของมวลรวมหยาบแต่ละขนาดมาทดสอบสมบัติจะได้ผลตามแสดงในตารางที่ 4.8 ซึ่งจะพบว่าเมื่อมวลรวมหยาบมีขนาดอนุภาคที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ความพรุนตัวและอัตราการไหลซึมเพิ่มขึ้น แต่ก็มีผลให้ความต้านทานแรงกดลดลงเช่นเดียวกัน โดยสังเกตได้ว่าผลความต้านทานแรงกดของกลุ่มที่ (1) จะมีค่าใกล้เคียงกันกับกลุ่มที่ (2) แต่อัตราการไหลซึมน้อยกว่า จึงทำให้กลุ่มที่ (1) หมดความน่าสนใจที่จะเลือกใช้เป็นส่วนผสมในสูตรทดลองต่อไป




ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบสมบัติของมวลรวมหยาบขนาดเดียว

สูตรผสม พิทเซอร์	อัตรา ส่วนผสม ดิน	ความ หนาแน่น ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	ความพรุน ตัว (%)	การดูดซึม น้ำ (wt.%)	อัตราการ ไหลซึม ($\text{l}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$)	ความ ต้านทาน แรงกด (MPa)
(1)	10:1	1.58	8.24	20.50	267.89	2.86
(2)	10:1	1.67	11.18	16.17	305.45	2.79
(3)	10:1	1.78	11.21	12.05	392.51	1.79
(4)	10:1	1.90	23.34	9.25	623.50	1.17
(5)	10:1	1.92	27.25	9.50	920.31	0.33

4.3.2.2 ผลการศึกษาการหาสัดส่วนของมวลรวมหยาบ

เมื่อได้ขนาดอนุภาคมวลรวมหยาบที่สนใจแล้วจึงผสมสูตรอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำเป็น (234) (345) (235) และ (245) โดยเลือกขนาดตรงกลางให้มีปริมาณเป็นร้อยละ 50 เพื่อให้เป็นโครงสร้างหลักของก้อน มีขนาดที่น้อยกว่าในปริมาณร้อยละ 25 และ ขนาดที่มากกว่าในปริมาณร้อยละ 25 โดยผสมกับดินแดงในอัตราส่วน 10:1 10:2 และ 10:3 และเผาที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส ซึ่งจะได้อินงานหลังการเผาดังแสดงในรูปที่ 4.10

จากผลที่ได้พบว่าในอัตราส่วน 10:1 จะให้อินงานที่มีรูพรุนมากที่สุด โดยเนื้อดินจะเคลือบผิวมวลรวมหยาบเพียงเล็กน้อย และอัตราส่วน 10:3 จะให้อินงานที่มีรูพรุนน้อยที่สุด และเนื้อดินเคลือบผิวมวลรวมหยาบจนเกินมาอุดช่องรูพรุนในอินงาน

สูตรผสม	อัตราส่วนผสม มวลรวมหยาบ:เนื้อพื้					
	10:1	10:2	10:3	10:1	10:2	10:3
(234)						
	(a)			(b)		
(345)						
	(a)			(b)		
(235)						
	(a)			(b)		
(245)						
	(a)			(b)		

รูปที่ 4.10 ชิ้นงานหลังการเผาของส่วนผสมมวลรวมหยาบสูตรต่างๆ (a) ภาพด้านบน (b) ภาพด้านข้าง และสัดส่วนเนื้อพื้ 10:1 10:2 และ 10:3

จากการทดสอบสมบัติของชิ้นงานหลังเผาจะพบว่าการเพิ่มอัตราส่วนผสมเนื้อดินจะส่งผลให้อัตราการไหลซึมลดลง แต่ความต้านทานแรงกดเพิ่มขึ้น ซึ่งสูตรที่ให้อัตราการไหลซึมสูงที่สุด คือ (245) โดยมีอัตราการไหลซึม 754.74 ลิตรต่อตารางเมตรต่อนาที ดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการทดสอบสูตรเนื้อมวลรวมหยาบผสมกับดินแดง

สูตรผสม มวลรวม หยาบ	อัตรา ส่วนผสมดิน	ความ หนาแน่น ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	ความพรุน ตัว (%)	การดูดซึม น้ำ (wt.%)	อัตราการ ไหลซึม ($\text{l}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$)	ความ ต้านทาน แรงกด (MPa)
(234)	10:1	1.91	25.05	9.13	690.00	0.73
	10:2	1.84	19.27	11.14	465.97	1.04
	10:3	1.85	16.19	11.21	336.93	1.65
(345)	10:1	1.85	23.96	10.20	537.73	0.61
	10:2	1.84	20.41	11.11	470.43	1.20
	10:3	1.85	15.76	11.34	312.49	1.59
(235)	10:1	1.93	19.88	9.99	654.52	3.70
	10:2	1.91	19.06	10.45	204.64	4.52
	10:3	1.85	13.53	12.21	279.76	5.21
(245)	10:1	1.98	24.96	8.20	754.74	3.86
	10:2	1.91	20.88	9.65	583.88	2.52
	10:3	1.90	12.69	10.29	267.06	3.80

4.3.2.3 สรุปสัดส่วนที่เหมาะสมเป็นมวลรวมหยาบในอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำ







จากการทดลองเตรียมสูตรผสมมวลรวมหยาบ และอัตราส่วนผสมเนื้อพื้นเพื่อมาใช้ขึ้นรูปอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำจะได้ว่าสูตรผสมที่เหมาะสมในการขึ้นรูปคือ (245) และอัตราส่วนผสมมวลรวมหยาบกับเนื้อพื้นที่น่าสนใจคือ 10:1 และ 10:2 ตามลำดับ

4.3.3 ผลการศึกษาสัดส่วนของเนื้อพื้นที่ต่อมวลรวมหยาบในการขึ้นรูปอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำ

เมื่อทราบสูตรและอัตราส่วนการผสมมวลรวมหยาบกับเนื้อพื้นที่สนใจทั้งหมดแล้วจึงเริ่มผสมสูตร โดยเลือก มวลรวมหยาบสูตร (245) และ เนื้อพื้นที่สูตร GC80 GS80 ในอัตราส่วน 10:1 10:2 และเพิ่มในอัตราส่วน 10:1.5 มาด้วย ซึ่งได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.11

จากผลการทดลองพบว่า สูตรผสม GC80 เมื่อผสมกับเนื้อพื้นแล้วเผาที่ 1150 องศาเซลเซียสจะให้เนื้อดินที่หลอมติดกับมวลรวมหยาบ ในลักษณะของเนื้อดินที่สุกตัวเกินไป ในขณะที่สูตรผสม GS80 เมื่อผสมกับเนื้อพื้นแล้วเผาที่ 1150 องศาเซลเซียสจะให้เนื้อดินยังหลุครุ่ยไม่เกาะเป็นเนื้อเดียวกัน ในลักษณะของเนื้อดินที่ยังไม่สุกตัว ในการนี้จึงได้เพิ่มสูตรผสมเนื้อพื้น GC80 กับ GS80 ในอัตราส่วน 1:1 จึงได้เป็นสูตร GC40S40 ซึ่งก็คือ ผงแก้วร้อยละ 20 ดินแดงร้อยละ 40 และดินตะกอนสุขภัณฑ์ร้อยละ 40 ซึ่งผลที่ได้ชิ้นงานมีการเกาะตัวกันดี เนื้อดินไม่หลุครุ่ย

จากการทดลองเตรียมสูตรผสมมวลรวมหยาบ และอัตราส่วนผสมเนื้อพื้น ตามสูตรที่เลือกมานั้นพบว่า อัตราการไหลซึมยังขึ้นอยู่กับปริมาณอัตราส่วนผสมเนื้อพื้นกล่าวคือ ถ้าเพิ่มสัดส่วนการผสมเนื้อพื้นอัตราการไหลซึมก็จะลดลง ดังแสดงในตารางที่ 4.10 ซึ่งจะได้ว่าสูตรผสมเนื้อพื้นที่เหมาะสมในการขึ้นรูปคือ GC40S40 และอัตราส่วนผสมมวลรวมหยาบกับเนื้อพื้นที่น่าสนใจคือ 10:2 เนื่องจากจะทำให้ค่าความต้านทานแรงกดสูงที่สุด

สูตรผสม	อัตราส่วนผสม มวลรวมหยาบ:เนื้อพื้					
	10:1.0	10:1.5	10:2.0	10:1.0	10:1.5	10:2.0
(GC80)	 <p>(a)</p>			 <p>(b)</p>		
(GC40S40)	 <p>(a)</p>			 <p>(b)</p>		
(GS80)	 <p>(a)</p>			 <p>(b)</p>		

รูปที่ 4.11 ชิ้นงานหลังการเผาของสูตรผสมที่เลือกแล้ว โดยเผาที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส

(a) ภาพด้านบน (b) ภาพด้านข้าง

ตารางที่ 4.10 แสดงผลการทดสอบสูตรเนื้อสุกัณฑ์ (245) กับสูตรเนื้อพื้น

สูตรผสมเนื้อพื้น	อัตราส่วนผสมดิน	ความหนาแน่น ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	ความพรุนตัว (%)	การดูดซึมน้ำ (wt.%)	อัตราการไหลซึม ($\text{l}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{min}$)	ความต้านทานแรงกด (MPa)
(GC80)	10:1.0	1.91	23.91	9.55	770.73	4.17
	10:1.5	1.96	23.04	8.70	636.48	3.38
	10:2.0	1.99	20.45	7.13	444.37	3.99
(GC40S40)	10:1.0	2.00	26.73	7.53	1104.68	5.75
	10:1.5	1.99	22.97	7.09	674.85	4.68
	10:2.0	1.99	19.85	7.42	516.40	6.55
(GS80)	10:1.0	1.89	25.77	11.01	630.46	2.31
	10:1.5	1.93	23.41	10.52	576.12	2.86
	10:2.0	1.92	16.64	11.02	291.73	5.67

4.3.3.1 สรุปสัดส่วนที่เหมาะสมของเนื้อพื้นต่อมวลรวมหยาบในการขึ้นรูปอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำ

จากการทดลองเตรียมสูตรเนื้อพื้น และอัตราส่วนผสมมวลรวมหยาบกับเนื้อพื้นเพื่อมาใช้ขึ้นรูปอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำจะได้ว่าสูตรผสมที่เหมาะสมในการขึ้นรูปคือ GC40S40 และอัตราส่วนผสมมวลรวมหยาบกับเนื้อพื้น คือ 10:2

4.3.4 การขยายผลการทดลองตามสูตรการขึ้นรูปอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำที่คัดเลือก

จากการที่ได้เลือกสูตรผสมที่เหมาะสมเป็นเนื้อมวลรวมหยาบสูตร (245) เนื้อพื้นสูตร GC40S40 ผสมกันในอัตราส่วน 10:2 แล้วเผาที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส แล้วนั้น จึงได้ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง เพื่อให้ผลที่ได้มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น ซึ่งก็ได้ผลลัพธ์เป็นชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 4.2 โดยที่ชิ้นงานมีผิวหน้าขรุขระเล็กน้อย สามารถมองเห็นรูพรุนแทรกอยู่ในชิ้นงาน การขีดเกาะของชิ้นงานดี ไม่มีเศษหลุดของมวลรวมหยาบและเนื้อดินละเอียด



(a)



(b)

รูปที่ 4.12 ตัวอย่างชิ้นงานอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำ

(a) ภาพด้านบน ขนาด 5X5 เซนติเมตร (b) ภาพด้านข้าง ความสูงประมาณ 6 เซนติเมตร

4.3.4.1 ลักษณะโครงสร้างของอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำตามสูตรที่คัดเลือก

จากชิ้นงานอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ เมื่อนำมาตัดตามขวางเพื่อเปรียบเทียบกับบล็อกปูพื้นระบายน้ำซึ่งถือว่าเป็นค่ามาตรฐาน จะพบว่าขนาดอนุภาคมวลรวมหยาบของบล็อกคอนกรีตจะมีขนาดที่เรียงจากใหญ่-กลาง-เล็ก ในขณะที่ขนาดอนุภาคของอิฐเซรามิกปูพื้นจะสังเกตเห็นว่าขนาดอนุภาคไม่เรียงกัน เป็นผลมาจากการเลือกขนาด (245) ซึ่งเป็นการเว้นช่วงขนาดอนุภาคซึ่งจะส่งผลให้อัตราการไหลซึมมีค่ามากขึ้น

ในส่วนของเนื้อพื้นก็จะพบว่าบล็อกคอนกรีตจะให้ปูนซีเมนต์เป็นตัวประสาน ในขณะที่อิฐเซรามิกปูพื้นจะใช้สูตรดินเซรามิก ซึ่งจะเห็นว่าใช้ปริมาณของเนื้อพื้นน้อยกว่า (สังเกตบริเวณรอบๆ อนุภาคมวลรวมหยาบ) ทำให้มองเห็นช่องว่างภายในชิ้นงานอย่างชัดเจน จึงเป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มอัตราการไหลซึม



(a)



(b)

รูปที่ 4.13 ภาพตัดตามขวางเปรียบเทียบระหว่างบล็อกคอนกรีตและอิฐเซรามิก
(a) ภาพด้านบน ขนาด 5X5 เซนติเมตร (b) ภาพด้านข้าง ความสูงประมาณ 6 เซนติเมตร

4.3.4.2 ผลการทดสอบสมบัติต่างๆ ของอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำตามสูตรที่คัดเลือก

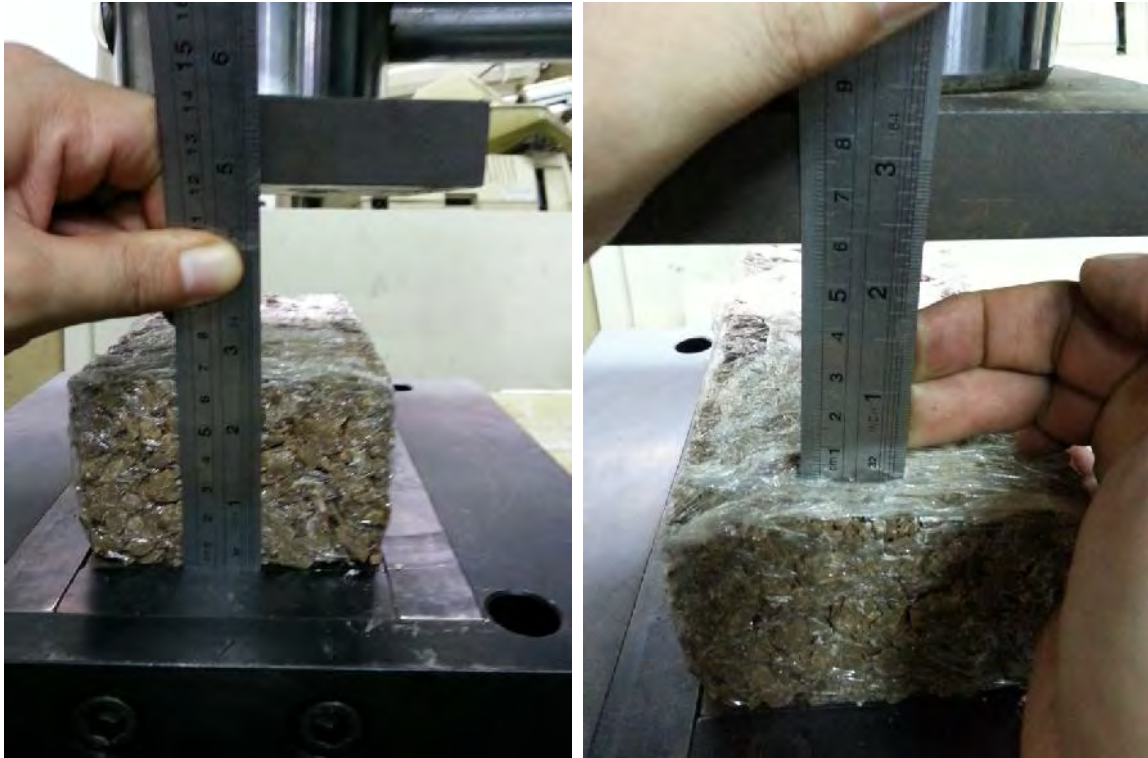
เมื่อนำอิฐเซรามิกพรุนที่ได้จากการทดลองไปทดสอบความหนาแน่น ความพรุนตัว การดูดซึมน้ำ อัตราการไหลซึม และความต้านทานแรงกดก็ได้ผลการทดสอบดังแสดงใน ตารางที่ 4.11 โดยเฉพาะค่าอัตราการไหลซึม และค่าความต้านทานแรงกด ซึ่งได้ค่าเฉลี่ยเป็น 589.25 ลิตรต่อตารางเมตรต่อนาที และ 6.32 MPa ตามลำดับ

ตารางที่ 4.11 แสดงผลการทดสอบสมบัติของอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำตามสูตรที่คัดเลือก

ชิ้นงาน	ความหนาแน่น ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	ความพรุนตัว (%)	การดูดซึมน้ำ (wt.%)	อัตราการไหลซึม ($\text{l}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$)	ความต้านทานแรงกด (MPa)
1	1.98	21.26	5.44	712.75	5.51
2	1.99	17.46	5.37	586.57	9.13
3	2.02	21.51	4.63	677.33	4.93
4	1.99	18.68	5.85	528.32	6.23
5	1.96	16.15	6.43	441.28	5.82
ค่าสูงสุด	2.02	21.51	6.43	712.75	9.13
ค่าต่ำสุด	1.96	16.15	4.63	441.28	4.93
ค่าเฉลี่ย	1.99	19.01	5.54	589.25	6.32

4.4 ผลการศึกษาการขึ้นรูปและพัฒนาอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำในห้องปฏิบัติการ

4.4.1 ผลการพัฒนาแบบพิมพ์ของอิฐ



รูปที่ 4.14 แสดงลักษณะของอิฐพูนที่ได้ (ซ้าย) และ
ระยะห่างที่เหลือระหว่างลูกอัดตัวบนกับบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำ (ขวา)

เมื่อทดลองขึ้นรูปบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำโดยแม่พิมพ์ต้นแบบ จากการทดลองจะพบว่า บล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำที่ได้มีขนาดและรูปทรงที่ถูกต้องตามต้องการ แต่ยังมีอุปสรรคคือ ระยะห่างของลูกอัดตัวบน และบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำหลังการขึ้นรูปอยู่ใกล้ชิดกันเกินไป

4.4.2 ผลการทดลองอิฐพรุนระบายน้ำตามสูตรที่คัดเลือก

เมื่อนำอิฐเซรามิกพรุนต้นแบบที่ได้จากการทดลองไปทดสอบความหนาแน่น ความพรุนตัว การดูดซึมน้ำ อัตราการไหลซึม และ ความต้านทานแรงกดก็ได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.12 โดยเฉพาะค่าอัตราการไหลซึม และค่าความต้านทานแรงกด ซึ่งได้ค่าเฉลี่ยเป็น 943.63 ลิตรต่อตารางเมตรต่อนาทีและ 19.07 MPa ตามลำดับ

ตารางที่ 4.12 แสดงผลการทดสอบสมบัติของอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำต้นแบบตามสูตรที่คัดเลือก

ชิ้นงาน	ความ หนาแน่น ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	ความพรุนตัว (%)	การดูดซึมน้ำ (wt.%)	อัตราการ ไหลซึม ($\text{l}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$)	ความ ต้านทานแรง กด (MPa)
1	1.94	4.07	8.83	927.36	19.34
2	1.91	3.99	9.92	714.69	19.42
3	1.90	2.25	10.06	1,046.31	19.44
4	1.90	3.73	9.70	1,010.54	18.18
5	1.91	1.41	10.31	1,019.24	18.96
ค่าสูงสุด	1.94	4.07	10.31	1,046.31	19.42
ค่าต่ำสุด	1.90	1.41	8.83	714.69	18.18
ค่าเฉลี่ย	1.91	3.09	9.76	943.63	19.07

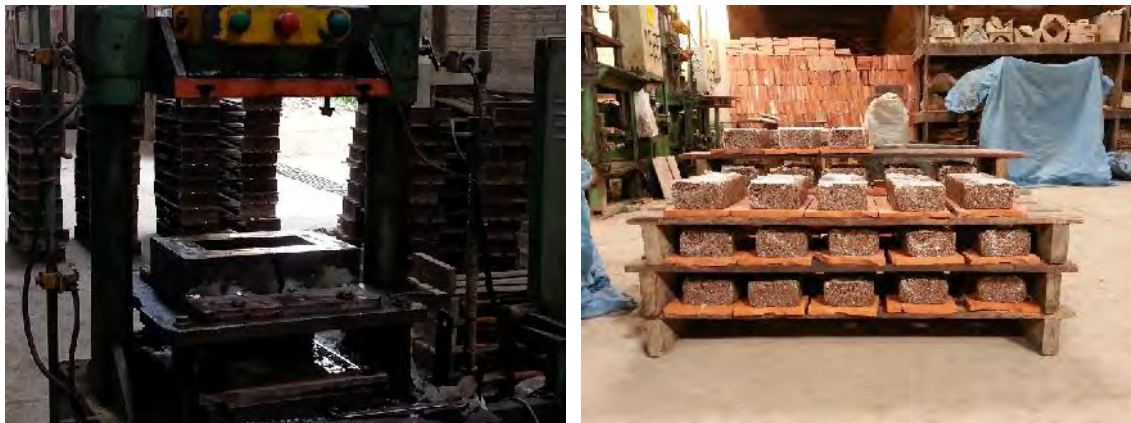
4.5 ผลการศึกษาการขึ้นรูปและพัฒนาอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำต้นแบบในโรงงานอุตสาหกรรม

4.5.1 ผลการขยายผลการทดลองอิฐต้นแบบในโรงงานอุตสาหกรรม

หลังจากได้ทดสอบอิฐต้นแบบจากห้องปฏิบัติการแล้ว และผลการทดสอบเป็นที่น่าพอใจ จึงได้ขยายผลสู่ระดับโรงงานอุตสาหกรรมโดยได้รับความร่วมมือจาก บริษัท อ.ป.ก.(ดาวคู่) จำกัด ในการผลิตอิฐต้นแบบ ซึ่งในกระบวนการผลิตมีแสดงดังในรูปที่ 4.15 และรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.15 แสดงกระบวนการผสมวัตถุดิบ (ซ้าย) และลักษณะของเนื้ออิฐพูนที่ได้จากการผสม (ขวา)



รูปที่ 4.16 แสดงเครื่องอัดขึ้นรูปที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม (ซ้าย)
และลักษณะของอิฐพูนที่ได้จากการอัดขึ้นรูป (ขวา)

เมื่อนำอิฐเซรามิกพูนต้นแบบที่ได้จากการทดลองในโรงงานอุตสาหกรรมไปทดสอบความหนาแน่น ความพรุนตัว การดูดซึมน้ำ อัตราการไหลซึม และความต้านทานแรงกดก็ได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.13 โดยเฉพาะค่าอัตราการไหลซึม และค่าความต้านทานแรงกด ซึ่งได้ค่าเฉลี่ยเป็น 1,511.80 ลิตรต่อตารางเมตรต่อนาทีและ 11.27 MPa ตามลำดับ

ตารางที่ 4.13 แสดงผลการทดสอบสมบัติของอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำต้นแบบในโรงงานอุตสาหกรรม

ชิ้นงาน	ความหนาแน่น ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	ความพรุนตัว (%)	การดูดซึมน้ำ (wt.%)	อัตราการไหลซึม ($\text{l}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$)	ความต้านทานแรงกด (MPa)
1	1.99	22.22	7.61	1,246.36	10.68
2	2.01	19.25	7.40	1,582.61	12.12
3	1.97	19.30	7.99	1,279.40	10.88
4	1.97	16.67	7.97	1,483.00	10.62
5	1.97	19.03	7.54	1,967.64	12.05
ค่าสูงสุด	2.01	22.22	7.99	1,967.64	12.05
ค่าต่ำสุด	1.97	16.67	7.40	1,246.36	10.62
ค่าเฉลี่ย	1.98	19.29	7.70	1,511.80	11.27

4.5.2 ผลการทดลองใช้งานอิฐต้นแบบในสภาพงานจริง

เมื่อนำอิฐเซรามิกพรุนต้นแบบที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรมมาทดลองปูพื้นในสนามเพื่อทดลองการใช้งานพบว่า อิฐเซรามิกพรุนสามารถวางปูบนพื้นได้เหมือนอิฐบล็อกคอนกรีตดังแสดงในรูปที่ 4.17 และเมื่อทดสอบการระบายน้ำโดยใช้น้ำจากสายยางราดบนพื้นอิฐ จะพบว่าไม่มีน้ำขังบนผิวอิฐ และน้ำได้ซึมหายไปอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีรูพรุนปริมาณมาก นอกจากนี้ยังสามารถล้างทรายที่ค้างบนผิวอิฐด้วยการฉีดน้ำได้ เมื่อทดลองให้มีการรับน้ำหนักโดยให้คนจำนวน 3 คนหนักประมาณ 300 กิโลกรัมขึ้นไปยืน พบว่าอิฐเซรามิกพรุนไม่มีความเสียหายใดๆดังแสดงในรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.17 แสดงการจัดเรียงอิฐเซรามิกพรุนบนพื้นสนาม (ซ้าย) และลักษณะของอิฐเซรามิกพรุนหลังการใช้งาน (ขวา)



รูปที่ 4.18 แสดงการระบายน้ำของอิฐเซรามิกพูน (ซ้าย) และลักษณะของการใช้งานรองรับน้ำหนักของอิฐเซรามิกพูน (ขวา)

4.6 การเปรียบเทียบผลทดสอบคุณสมบัติของบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำและอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำ

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติของบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำและอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำที่ได้จากการทดลองจะพบว่าสมบัติความพรุนตัว การดูดซึมน้ำ อัตราการไหลซึม และความต้านทานแรงกด อิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำมีค่าสูงกว่าบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำ ทั้งในค่าเฉลี่ย และค่าสูงสุด-ต่ำสุด ในขณะที่ค่าความหนาแน่น อิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำก็มีค่าต่ำกว่าบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำ ทั้งในค่าเฉลี่ย และค่าสูงสุด-ต่ำสุดดังแสดงในตารางที่ 4.14

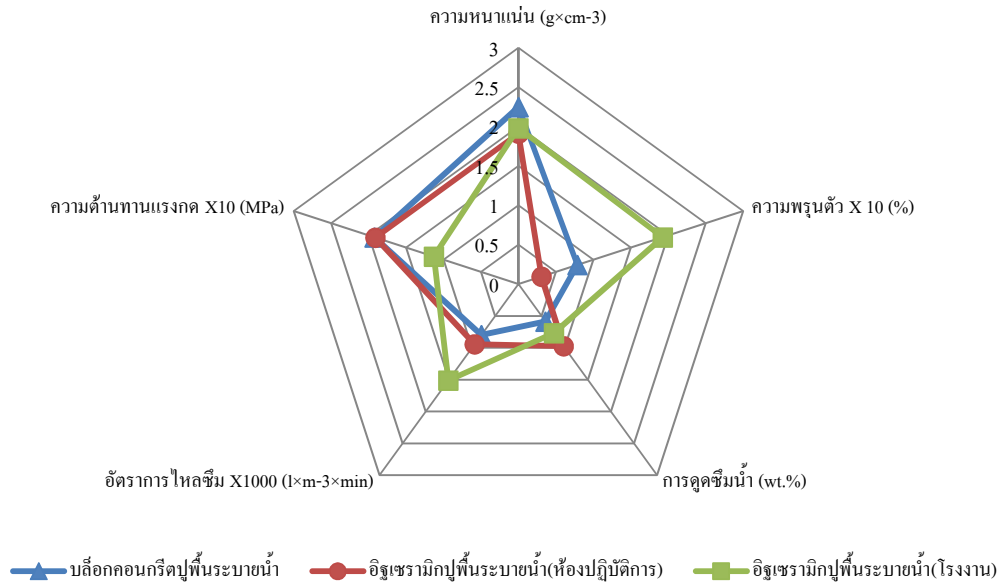
ตารางที่ 4.14 ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำและอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำ

สมบัติ	บล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำ		อิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำ (ห้องปฏิบัติการ)		อิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำ (โรงงาน)	
	ค่าสูงสุด-ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด-ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด-ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย
ความหนาแน่น ($\text{g}\times\text{cm}^{-3}$)	2.31 - 2.20	2.25	1.94 - 1.90	1.91	2.01 - 1.97	1.98
ความพรุนตัว (%)	13.40 - 6.65	7.88	4.07 - 1.41	3.09	22.22 - 16.67	19.29
การดูดซึมน้ำ (wt.%)	6.11 - 5.59	5.86	10.31 - 8.83	9.76	7.99 - 7.40	7.70
อัตราการไหลซึม ($\text{l}\times\text{m}^{-2}\times\text{min}^{-1}$)	902.61 - 784.45	798.18	1,046.31 - 714.69	943.63	1,967.64-1,246.36	1,511.80
ความต้านทานแรงกด (MPa)	25.35 - 12.58	19.21	19.42 - 18.18	19.07	12.05 - 10.62	11.27

4.6.1 กราฟเปรียบเทียบภาพรวม

เมื่อนำสมบัติความหนาแน่น ความพรุนตัว การดูดซึมน้ำ อัตราการไหลซึม และความต้านทานแรงกด ของบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำและอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำที่ได้จากห้องปฏิบัติการและโรงงานอุตสาหกรรมมาเปรียบเทียบในรูปแบบของแผนภูมิเรดาร์เพื่อมองในคุณสมบัติภาพรวมจะพบว่า บล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำและอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำจากห้องปฏิบัติการมีสมบัติความต้านทานแรงกดที่ใกล้เคียงกัน แต่อิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำจากห้องปฏิบัติการมีค่าอัตราการไหลซึมสูงกว่าประมาณร้อยละ 15 ส่วนอิฐปูพื้นระบายน้ำจากโรงงานนั้น มีค่าความพรุนตัวและอัตราการไหลซึมสูงกว่ามากโดยสูงกว่าบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำประมาณร้อยละ 47 แต่ก็มีค่าความต้านทานแรงกดต่ำกว่าประมาณร้อยละ 41 ด้วยเช่นกัน

กราฟเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ
ของบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำ และ อิฐพูนระบายน้ำ



บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการวิจัยเพื่อพัฒนาอิฐเซรามิกปูพื้นสำหรับการระบายน้ำ โดยนำของเสียจากอุตสาหกรรมเซรามิกได้แก่ พิทเซอร์หรือเศษเครื่องสุขภัณฑ์เซรามิกที่แตกหัก ดินแดง ตะกอนดินจากน้ำทิ้งในโรงงานสุขภัณฑ์ และผงแก้วจากตะกอนน้ำทิ้งในโรงงานตัดแต่งแปรรูปกระจกมาใช้เป็นวัตถุดิบโดยสรุปผลการศึกษาดังนี้

1. บล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาด มีอัตราการไหลซึมของน้ำ 448 ลิตรต่อตารางเมตรต่อนาทิจ และความต้านทานแรงกด 6.33 MPa

2. เนื้อพื้นสูตรที่ดีที่สุดคือ ผงแก้ว ร้อยละ 20 ดินแดง ร้อยละ 40 และดินตะกอนสุขภัณฑ์ ร้อยละ 40 และมวลรวมหยาบสูตรพิทเซอร์ ขนาด 2.38-3.36 มิลลิเมตร ร้อยละ 25 ขนาด 4.76-7.00 มิลลิเมตร ร้อยละ 50 และขนาด 7.00-11.00 มิลลิเมตร ร้อยละ 25 เมื่อนำมาผสมกันในอัตราส่วน 10:2 และนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส จะให้สมบัติสูตรอิฐเซรามิกปูพื้นระบายน้ำที่ดีที่สุด

3. อิฐเซรามิกพุนระบายน้ำจากห้องปฏิบัติการ สามารถอัดขึ้นรูปเป็นก้อนอิฐขนาดมาตรฐานเท่ากับผลิตภัณฑ์บล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำที่วางขายในตลาดวัสดุก่อสร้าง (ขนาดกว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร สูง 6 เซนติเมตร) โดยมีค่าความหนาแน่น 1.91 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ปริมาณช่องว่างร้อยละ 3.09 ค่าการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 9.76 ความต้านทานแรงกด 19.07 MPa และมีอัตราการไหลซึมของน้ำ 943.63 ลิตรต่อตารางเมตรต่อนาทิจ ซึ่งมีสมบัติที่สำคัญคือ ความต้านแรงกดใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์บล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำที่วางขายในตลาดวัสดุก่อสร้าง แต่มีอัตราการไหลซึมของน้ำมากกว่าร้อยละ 15

4. อิฐเซรามิกพุนระบายน้ำจากโรงงานอุตสาหกรรม สามารถอัดขึ้นรูปเป็นก้อนอิฐขนาดใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์บล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำ โดยมีค่าความหนาแน่น 1.98 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ปริมาณช่องว่างร้อยละ 19.29 ค่าการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 7.70 ความต้านทานแรงกด 11.27 MPa และมีอัตราการไหลซึมของน้ำ 1,511.80 ลิตรต่อตารางเมตรต่อนาทิจ ซึ่งมีสมบัติที่สำคัญคือ มีอัตราการไหลซึมของน้ำมากกว่าบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำร้อยละ 47 แต่ก็มีค่าความต้านทานแรงกดน้อยกว่าร้อยละ 41 ด้วยเช่นกัน

5. ในการผลิตอิฐเซรามิกพุนระบายน้ำจากห้องปฏิบัติการพบว่ามีต้นทุนการผลิตจะประมาณก้อนละ 98.03 บาท ซึ่งแพงกว่าอิฐบล็อกคอนกรีตปูพื้นระบายน้ำประมาณ 70 บาท แต่อย่างไรก็ตามอิฐเซรามิกพุนระบายน้ำมีสมบัติเหนือกว่าดังผลการทดลองข้างต้น ทั้งช่วยสามารถช่วยกำจัดและสร้างมูลค่าเพิ่มให้วัสดุเหลือทิ้งในโรงงานสุขภัณฑ์ ด้วยเหตุนี้ทางทีมวิจัยกำลังดำเนินการผลิตอิฐจำนวน 2000

ก่อน เพื่อใช้ในการทดสอบในตลาดจอตต่อไป นอกจากนี้มีแนวคิดในการพัฒนางานวิจัยในการพัฒนาอิฐไปใช้ในงานอื่นๆ อาทิ วัสดุกรองน้ำในประปาหมู่บ้านชนบท วัสดุฉนวนในเตาเผา

บรรณานุกรม

- (1) Ferguson, B. K. Porous Pavements. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2005.
- (2) สุรศักดิ์ ไหวทวงศ์สกุล เซรามิกพอร์น[Online]. Available from:
<http://www.material.chula.ac.th/RADIO45/September/radio9-2.htm>
- (3) Abd Rahman, H., Yacob, D. H., Effect of double sintering on the properties of porous ceramic, 3rd Brunei International Conference on Engineering and Technology 2008, Brunei, 2008.
- (4) Vieira, C. M. F., Monteiro, S. N., Recycling of grog by addition into red ceramics, Congreso CONAMET/SAM 2004, Chile, 2004.
- (5) Gregorová, E., Pabst, W. Porous ceramics prepared using poppy seed as a pore-forming agent. Ceramics International 33 (2007): 1385-1388.
- (6) Russ, W., Mörtel, H., Meyer-Pittroff, R. Application of spent grains to increase porosity in bricks. Construction and Building Materials 19 (2005): 117-126.
- (7) The Manufacture of Concrete Paving Blocks[Online]. 2 0 1 3 . Available from:
<http://www.cnci.org.za/Uploads/The%20mnf%20of%20pavebloc.pdf>
- (8) Pacheco-Torgal, F., Jalali, S. Reusing ceramic wastes in concrete. Construction and Building Materials 24 (2010): 832-838.
- (9) Medina, C., Sánchez de Rojas, M. I., Frías, M. Reuse of sanitary ceramic wastes as coarse aggregate in eco-efficient concretes. Cement and Concrete Composites 34 (2012): 48-54.
- (10) Marinoni, N., D'Alessio, D., Diella, V., Pavese, A., Francescon, F. Effects of soda–lime–silica waste glass on mullite formation kinetics and micro-structures development in vitreous ceramics. Journal of Environmental Management 124 (2013): 100-107.
- (11) Tucci, A., Esposito, L., Rastelli, E., Palmonari, C., Rambaldi, E. Use of soda-lime scrap-glass as a fluxing agent in a porcelain stoneware tile mix. Journal of the European Ceramic Society 24 (2004): 83-92.
- (12) Matteucci, F., Dondi, M., Guarini, G. Effect of soda-lime glass on sintering and technological properties of porcelain stoneware tiles. Ceramics International 28 (2002): 873-880.

ส่วนที่ 2

วัสดุพูนนำส่งสมุนไพรบำบัด

บทคัดย่อ

การเตรียมตกแต่งกลิ่นหอมให้ผลิตภัณฑ์ดินเผาดินแดง โดยการเคลือบด้วยไมโครแคปซูลพอลิเมอร์บรรจุน้ำมันหอมระเหย ในขั้นตอนของการวิจัยประกอบไปด้วยการเตรียมชิ้นงานดินตัวอย่างที่เตรียมขึ้นโดยการหล่อน้ำดิน และใช้การผสมดินตะกอนน้ำประปาในสัดส่วนร้อยละโดยมวลต่อน้ำหนักดิน ต่างๆกัน คือ 5 10 20 และ 30 เพื่อสร้างสมบัติพูนตัวให้แก่ชิ้นงาน โดยมีค่าเป้าหมายการดูดซึมน้ำของผลิตภัณฑ์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 30 ชิ้นงานจากกระบวนการหล่อน้ำดินโดยใช้ดินที่ใช้ในกระบวนการทำอิฐจากอำเภอป่าโมก และอำเภอไชโย จังหวัดอ่างทองเป็นวัตถุดิบหลัก และพบว่าที่ปริมาณการเติมดินตะกอนน้ำประปาร้อยละ 30 โดยน้ำหนักให้ค่าการดูดซึมน้ำของชิ้นงานที่เพิ่มขึ้นมาก โดยมีค่าการดูดซึมน้ำของชิ้นงาน ก่อนและหลังผสมดินตะกอนน้ำประปา ที่ร้อยละ 15.26 และ 18.01 และ 36.01 และ 27.64 สำหรับอำเภอป่าโมก และอำเภอไชโย ตามลำดับ โดยที่ดินจากอำเภอป่าโมกสามารถขึ้นรูปได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์และมีการแตกหักเสียหายน้อยกว่า

ไมโครแคปซูลไคโตซานและไมโครแคปซูลบรรจุน้ำมันหอมระเหย ได้เตรียมขึ้นรูปโดยใช้เทคนิคอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ ร่วมกับการเชื่อมขวางไคโตซานด้วยสารไตรพอลิฟอสเฟต ได้ไมโครแคปซูลไคโตซานขนาด 5-10 ไมโครเมตร มีความคงตัวได้ดีในเอทานอล และมีค่าร้อยละการบวมตัวในน้ำกลั่นร้อยละ 50 ที่อัตราส่วนของไคโตซานต่อน้ำมันหอมระเหยต่างๆ กัน(0.48:0.10, 0.48:0.30, 0.48:0.50 และ 0.48:0.75) พบว่า ประสิทธิภาพการกักเก็บน้ำมันหอมระเหยที่สูงที่สุดอยู่ที่อัตราส่วนของพอลิเมอร์ต่อน้ำมันหอมระเหย เท่ากับ 0.48:0.10 ในน้ำมันหอมระเหยทั้งสองชนิด โดยมีค่ากักเก็บสูงสุดที่ร้อยละ 22.00 และ 15.60 สำหรับเจอร์านีโอล และ ลาเวนเดอร์ ตามลำดับ การศึกษาการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยจากไมโครแคปซูล ในสภาวะปิดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 วัน พบว่า มีปริมาณน้ำมันหอมระเหยคงเหลือในไมโครแคปซูลไคโตซาน ร้อยละ 54.11 และ 69.32 สำหรับ ลาเวนเดอร์และเจอร์านีโอล ตามลำดับ

Abstract

Preparation of aroma pottery by using microcapsule polymer containing essential oil was prepared. Research process including 1) A sample of pottery prepared by slip casting process. For an increasing in the porous property of sample was obtained by an addition of sediment soil from water supply process. A minimum water absorption of 30% would be required for the sample. The condition for sample from slip casting process was used of clay from Pamok and Chai Yo District (Ang Thong) as raw materials. The water absorption of sample forming from Pamok and Chai Yo District (Ang Thong) before and after an addition of sediment soil from water supply process are 15.26, 18.01 and 36.01, 27.64 respectively but a clay from Pamok District was result in suitable condition for sample forming due to less damage.

Chitosan microcapsule and microcapsule containing essential oil were prepared by using oil in water emulsion process and followed by crosslink with sodium tripolyphosphate. The chitosan micro-bead with size range between 5-10 micrometer was obtained. Micro-bead can be stable when soak into ethanol and approximately 50% swelling in distilled water was occurred. The various ratio of chitosan to oil consist of 0.48:0.10, 0.48:0.30, 0.48:0.50, and 0.48:0.75 were prepared. The highest entrapment efficiencies for both of geraniol and lavender oil are 22.00 and 15.60 respectively which obtained from the ratio of 0.48:0.10.

The oil release from microcapsules was observed at closed system after 15 days. 54.11 and 69.32% of lavender and geraniol oil respectively are maintained at the 15 day of the study.

บทที่ 1

บทนำ

แนวทางในการสร้างมูลค่าเพิ่มให้ผลิตภัณฑ์ดินเผาอุณหภูมิต่ำ ซึ่งโดยปกติจะผลิตเป็นผลิตภัณฑ์หรือภาชนะใช้สอยในครัวเรือน ที่มีมูลค่าไม่สูงมาก มาเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทของที่ระลึกหรือของใช้ประดับตกแต่ง ที่นอกจากจะมีรูปลักษณะที่สวยงามน่าซื้อและขายได้ราคาดีกว่า โดยการเพิ่มสมบัติพิเศษในการมีกลิ่นหอมจากน้ำมันหอมระเหย อาทิ กลิ่นลาเวนเดอร์ กลิ่นตะไคร้หอม หรือ กลิ่นมะลิ เป็นต้น โดยอาศัยเทคนิคการบรรจุแคปซูลพอลิเมอร์ระดับไมโคร-นาโนเมตรที่บรรจุน้ำมันหอมระเหยที่ช่วยกักเก็บกลิ่นให้คงอยู่ที่ภาชนะทั้งภายในและภายนอกได้ยาวนานกว่าปกติ ซึ่งโดยธรรมชาติของภาชนะดินเผาเองสามารถกักเก็บกลิ่นหอมได้อยู่แล้วจากกลไกการดูดซับที่ผิวหรือ โครงสร้างที่มีรูพรุน แต่กลิ่นจะคงอยู่ได้ในระยะเวลาจำกัดเนื่องจากไม่มีกลไกการยึดกักเก็บกลิ่นที่ดีเมื่อเทียบกับการใช้แคปซูลพอลิเมอร์ที่สามารถกักเก็บได้ในระยะเวลาที่ยาวนานกว่า

ผลิตภัณฑ์ดินเผาดินแดง(เผาที่อุณหภูมิ 700-900 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปมีค่าการดูดซึมน้ำระหว่าง 17-20% และมี void content ต่ำกว่า 20 % การดูดซับและปลดปล่อยกลิ่นหอมโดยธรรมชาติวัสดุ เกิดจากกลไกการดูดซับที่ผิวและรูพรุนใน โครงสร้างแต่กลิ่นจะคงอยู่ได้ในระยะเวลาจำกัดเนื่องจากไม่มีตัวควบคุมหรือกักเก็บให้น้ำมันหอมระเหยคงอยู่ได้ ดังนั้นการนำไมโครแคปซูลพอลิเมอร์ ประกอบกับการใช้เซรามิกพรุนตัวที่มีการกระจายรูพรุนและขนาดรูพรุนที่สม่ำเสมอ (มีค่าการดูดซึมน้ำมากกว่า 30%) ทำให้เกิดการฝังตัวของแคปซูลพอลิเมอร์ในเซรามิกพรุนตัวอย่างเหมาะสม เพื่อให้การปลดปล่อยกลิ่นเกิดอย่างต่อเนื่องและควบคุมระยะเวลาได้อย่างยาวนาน (มากกว่า 30 วัน)

ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาในการเตรียมไมโครแคปซูลจากพอลิเมอร์ธรรมชาติ ใช้กักเก็บกลิ่นหอมระเหยไว้บนผ้าฝ้ายของผู้วิจัยสามารถยืดระยะเวลาการเก็บกลิ่นได้นานกว่า 1 สัปดาห์ โดยไม่ต้องฉีดสารหอมระเหยซ้ำ ทำให้ผู้วิจัยสนใจที่จะลองนำเทคนิคที่ใช้มาประยุกต์กับภาชนะดินเผาเพิ่มเติมจากการเคลือบเพื่อหวังผลในการลดการดูดซึมน้ำเพียงอย่างเดียว โดยมีจุดประสงค์ที่จะใช้พอลิเมอร์เป็นไมโครแคปซูลเคลือบที่ผิวดินเผาเพื่อยืดระยะเวลาการคงอยู่ของกลิ่นหอมได้นานยิ่งขึ้น โดยไม่ต้องบรรจุเครื่องหอมลงในภาชนะ ในการพัฒนาเพื่อเพิ่มมูลค่าเครื่องปั้นดินเผา

โดยรูปแบบของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ดินเผาที่เลือกศึกษาจะเตรียมขึ้นรูปจากกระบวนการหล่อเนื้อดินที่มีการผสมกับดินตะกอนน้ำประปาในสัดส่วนต่างๆ กันและทำการเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส โดยประมาณ

2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เตรียมแคปซูลพอลิเมอร์ระดับไมโครเมตรบรรจุน้ำมันหอมระเหยและพัฒนาเนื้อดินเผาที่มีสมบัติเหมาะสมต่อการเคลือบผิวด้วยไมโครแคปซูล

3. ขอบเขตของโครงการวิจัย

การเตรียมไมโครแคปซูลบรรจุน้ำมันหอมระเหยนำไปตกแต่งเคลือบผลิตภัณฑ์ดินเผาและศึกษาการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยจากผลิตภัณฑ์

4. วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

4.1 พัฒนาสมบัติที่เหมาะสมของเนื้อดินเผาต่อการเคลือบผิวด้วยไมโครแคปซูล

4.2 เตรียมแคปซูลพอลิเมอร์ระดับไมโครเมตร บรรจุน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต่าง ๆ ปัจจัยที่ศึกษา สัดส่วนปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่บรรจุและ ระยะเวลาการคงอยู่ของกลิ่นในสถานะควบคุม

5. แผนการวิจัย

กิจกรรม/ขั้นตอน การดำเนินงาน	ปีที่ 1		ปีที่ 2	
	1-6	7-12	1-6	7-12
1) พัฒนาสมบัติที่เหมาะสมของเนื้อดินเผา				
2) เตรียมไมโครแคปซูลพอลิเมอร์ บรรจุน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต่าง ๆ ปัจจัยที่ศึกษา สัดส่วนปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่บรรจุที่เหมาะสม ระยะเวลาการคงอยู่ของกลิ่นในสถานะควบคุม				
3) สูตรการเตรียมไมโครแคปซูล และเทคนิคการเคลือบที่เหมาะสม				
4) สรุปผลการทดลองและจัดทำรายงานการวิจัย				

บทที่ 2

วารสารปริทรรศน์

1. น้ำมันหอมระเหย (Essential Oil)

น้ำมันหอมระเหย (Essential oils) เป็นสารหอมที่สกัดได้จากพืชและพืชสมุนไพรทั่วไป หรือดอกไม้ เป็นกลุ่มสารอินทรีย์ที่มีคุณสมบัติเด่นคือ มีกลิ่นหอมระเหยได้ง่ายที่อุณหภูมิปกติ ส่วนใหญ่มีจุดเดือดต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส น้ำมันหอมระเหยมักจะพบอยู่ในพันธะพฤษภษาชาตินาชนิด โดยสะสมอยู่ในผนังเซลล์จากพืช ซึ่งแตกต่างไปจากน้ำมันทั่วไป หรือ fatty oil มีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน โดยมีปริมาณและชนิดของสารประกอบแตกต่างกันไปในต้นเดียวกันอวัยวะส่วนใดส่วนหนึ่งของต้นอาจมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยมากกว่าอีกส่วนหนึ่งได้ เช่น ใบ มีน้ำมันหอมระเหยมากกว่า ดอก หรือ ก้านใบ เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันได้มีการนำน้ำมันหอมระเหยไปใช้ในงานหลายประเภท เช่น นำไปใช้ในการทำหัวน้ำหอม การนำไปใช้เป็นส่วนประกอบหรือส่วนผสมในเครื่องสำอางหลายชนิด เช่น แชมพู ครีมล้างหน้า สบู่ โลชั่น เจลใส่ผม เป็นต้น ในการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากธรรมชาติที่ใช้กันทั่วไปมี 5 วิธีคือ การสกัดโดยการบีบอัด ง่ายและใช้ขายน้อย ใช้ได้เฉพาะวัตถุที่มีน้ำมันมาก การสกัดโดยใช้น้ำร้อน โดยเอาพืชที่มีกลิ่นหอมมาต้มกับน้ำโดยตรงแล้วให้น้ำที่ออกมากลั่นตัวแล้วทำการแยกน้ำมันออกมา การสกัดโดยใช้ไอน้ำซึ่งเป็นวิธีที่ดีกว่าการสกัดโดยใช้น้ำร้อน การสกัดที่มีการใช้ตัวทำละลาย จะใช้ตัวทำละลายที่สามารถละลายน้ำมันหอมระเหยทำการแช่เพื่อสกัดน้ำมันออกมา และการสกัดโดยใช้ไขมัน เป็นตัวดูดเอาน้ำมันออกจากดอกไม้ต่าง เป็นต้น ทั้งนี้การสกัดด้วยวิธีต่าง ๆ นั้นใช้ทรัพยากรธรรมชาติเป็นวัตถุดิบที่เป็นพืชที่มีกลิ่นหอมจำนวนมากเพื่อนำมาสกัดเป็นน้ำมันหอมระเหย

การใช้ประโยชน์จากสารสำคัญที่เป็นน้ำมันหอมระเหย

กลิ่นหอมอโรมาเทอราปี (Aromatherapy)

กลิ่นหอมอโรมาเทอราปี จะไปกระตุ้นประสาทการรับรู้กลิ่นผ่านทางต่อมรับกลิ่นภายในจมูก และส่งสัญญาณประสาทความรู้สึกเข้าสู่สมอง เมื่อสมองได้รับสัญญาณดังกล่าวจะแปลผลความรู้สึกนั้นออกมา แล้วส่งผลกลับไปให้ร่างกายทั้งหมดตอบสนองต่อกลิ่นนั้น ๆ โดยส่วนใหญ่พบว่า

1. ช่วยให้ผู้รู้สึกผ่อนคลายทั้งจิตใจ และร่างกาย ลดความเครียด เช่น กลิ่นมะลิ กลิ่นลาเวนเดอร์เป็นต้น

2. สร้างภูมิคุ้มกันให้กับร่างกาย เพราะเมื่อสุขภาพจิตดี รู้สึกปลอดภัยไปร่งก็จะไปกระตุ้นให้ร่างกายสร้างภูมิคุ้มกันโรค
3. ช่วยสร้างเสริม และฟื้นฟูสุขภาพโดยรวมให้รู้สึกสบายขึ้น หรือดีขึ้น
4. น้ำมันหอมระเหยบางกลิ่น สามารถลดจำนวนเชื้อแบคทีเรีย และเชื้อไวรัสบางชนิดได้ เช่น อบเชย กานพลู ออริกาโน สามารถลดเชื้อแบคทีเรียบางชนิดได้ ส่วนลาเวนเดอร์ โรสแมรี่ มะกรูด ยูคาลิปตัส สามารถลดเชื้อไวรัสบางชนิดได้
5. ทำให้โล่งจมูก และละลายเสมหะ เช่น กลิ่นเปปเปอร์มินต์ กลิ่นยูคาลิปตัส
6. ช่วยให้หลับสบาย เช่น มะกรูด คาโมมายล์ ลาเวนเดอร์ เป็นต้น
7. ลดอาการตึงเกร็งของกล้ามเนื้อ เช่น คลารีเซจ คาโมมายล์ เป็นต้น
8. น้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จาก ตะไคร้ ส้ม มะลิ เป็นต้น ให้ความรู้สึกสดชื่นและสะอาด ผ่อนคลายกล้ามเนื้อ แก้อาการปวดศีรษะเนื่องจากความเครียด
9. น้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากยูคาลิปตัส กุหลาบ Rosemary Geranium เป็นต้น เหมาะสำหรับผู้เหนื่อย อ่อนแอ วิดก ซึ่งคุณสมบัติของน้ำมันหอมประเภทนี้ จะช่วยให้สมาธิดีขึ้น แก้อาการเครียด ช่วยลดอาการไมเกรน
10. น้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากลาเวนเดอร์ (lavender oil) เป็นน้ำมันหอมที่ช่วยผ่อนคลายความตึงเครียดของร่างกายและจิตใจ นอนไม่หลับ เหมาะสำหรับผู้ที่มีปัญหาระบบทางเดินหายใจ บำรุงผิวสำหรับผู้ที่มีผิวแห้ง ร่วงโรย และผิวที่สูญเสียน้ำ เป็นต้น

ลาเวนเดอร์(Lavender)

น้ำมันหอมระเหยจากดอกลาเวนเดอร์จะนิยมใช้กัน โดยทั่วไป ด้วยกลิ่นหอมแรงและกลิ่นหอมหวานของลาเวนเดอร์ ทำให้ดอกไม้ชนิดนี้ จึงเป็นดอกไม้ที่นิยมในอุตสาหกรรมดอกไม้แห้ง ตามตำรับพืชสมุนไพรโบราณ กลิ่นลาเวนเดอร์ มีประโยชน์ด้วยคุณสมบัติในการผ่อนคลายและระงับประสาท จึงช่วยระงับความตึงเครียดและทำให้หลับสบาย อุดมไปด้วยกลิ่นหอมผ่อนคลาย ช่วยในระบบย่อยอาหาร ทั้งยังสามารถช่วยลดอาการเจ็บคอและหลอดลมได้ ลดอาการปวดไมเกรน และอาการหวัดคัดจมูก แต่เพียงสุุดม นอกจากนี้ ดอกลาเวนเดอร์ยังสามารถใช้ผสมน้ำอาบ เพื่อรักษาอาการปวดเมื่อยตามกล้ามเนื้อ น้ำมันลาเวนเดอร์ เป็นน้ำมันหอมระเหยที่นิยมนำกลิ่นมาใช้ผสมในโลชั่นทาผิว แชมพู เจลอาบน้ำ และ เป็นน้ำมันหอมระเหยเพียงไม่กี่ชนิดที่สามารถนำมาใช้ทาผิวได้โดยตรง คุณสมบัติด้านการอักเสบ น่าเชื่อ ทำให้แผลสมานเร็ว ใช้ในการรักษาบาดแผล ผิวหนังที่ระคายเคือง พุพองได้เป็นอย่างดี บรรเทาอาการโรคผิวหนัง น้ำมันลาเวนเดอร์จึงไม่ทำให้ผิวระคายเคืองเหมือนน้ำมันหอมระเหยทั่วไป ยิ่งกว่านั้นยังสามารถใช้ร่วมกับน้ำมันอื่นๆ

ข้อมูลทั่วไปของ ลาเวนเดอร์

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Lavendula angustifolia*

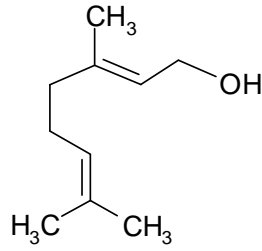
ส่วนที่ใช้กลิ่น : ดอกลาเวนเดอร์

องค์ประกอบที่สำคัญ : -pinene, linalyl acetate(35%), linalool(51%), limonene, camphor, 3-octanone, 1,8-cineole, caryophyllene, terpinen-4-ol, borneol, cis- and trans-ocimene and lavendulyl acetate

สารสกัดจากตะไคร้หอม

ต้นตะไคร้ (*Cymbopogon nardus*) และต้น *P. citrosum* หรือ *mozzie buster* เป็นพืชที่มีน้ำมันหอมระเหย geraniol และ citronellol เป็นส่วนประกอบในใบและกาบใบ มีฤทธิ์ในการไล่แมลง ซึ่งนักวิจัยสงสัยว่าพืชชนิดนี้สามารถไล่ยุงได้จริงหรือ Surgeoner รายงานว่าไอรระเหยของต้น *P. citrosum* ไม่สามารถไล่แมลงได้ แต่ถ้าเอาใบมาขยี้แล้วดู บนผิวหนังก็จะสามารถไล่แมลงได้บ้าง โดยมีผลไล่แมลงได้ 30-40% ของฤทธิ์การไล่ยุงของ DEET ซึ่งเป็นสารเคมีที่ใช้เป็นสารออกฤทธิ์ดังกล่าว นอกจากนี้ยังมีใบของพืชชนิดอื่นที่ให้ผลดีกว่าอีกด้วย

เจอร์รานีออล (Geranium-oil) สารสกัดแอลกอฮอล์ประเภท Terpene alcohols , อนุพันธ์อะไซคลิกเทอร์พีน (acyclic terpenes) มีสมบัติในการให้กลิ่น รส เป็นสารที่เกิดในธรรมชาติ น้ำหอมระเหย (essenial oils) เจอร์รานีออล เป็นทรานส์ไอโซเมอร์ (trans-isomer) สารประกอบเหล่านี้มีสูตรโครงสร้างสัมพันธ์กับไอโซพรีน (isoprene) เจอร์รานีออลพบอยู่ในน้ำหอมระเหยเป็นจำนวนมากรวมทั้งน้ำมันหอมระเหยของใบพืชจำพวก ส้ม มะนาว และอื่นๆ เอสเทอร์ของแอลกอฮอล์เหล่านี้ใช้เป็นสารให้กลิ่นหอมในการเตรียมกลิ่นรสและเช่นเดียวกับเอสเทอร์อื่นๆ คือ สารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะระเหยง่ายและมีกลิ่นแรงกว่า ส่วนเอสเทอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะมีกลิ่นไม่แรง ในตารางที่ 1.1 แสดงข้อมูลและสมบัติเชิงเคมีโครงสร้างของเจอร์รานีออล



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของเจอร์รานีออล

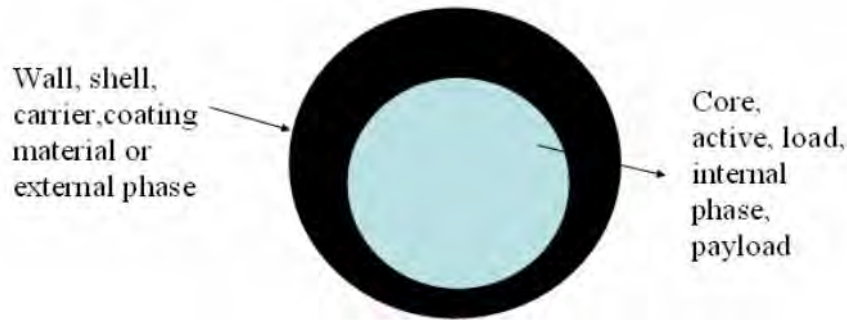
ตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติทั่วไปของเจอร์รานีออล

Molecular Formula	C ₁₀ H ₁₈ O
UPAC-Name	3,7-Dimethyl-2,6-octadien-1-ol
Molecular weight	154,24 g/mol
Solubility	hardly soluble in water but in most organic solvents
Appearance	clear to greenish-olive oily liquid
Storage	at 4 °C
Manufacturing	produced by steam distillation from the leaves, stalks and flowers of Pelargonium graveolens
Other main constituents	Citronellol geraniol, Linalool, Isomenthone, Phellandrene, Sabinene, Geranial-citronelly-formate, Limonene, Beta-Myrcene, Ocimene alpha-Pinene, beta-Pinene

2. เทคโนโลยีการบรรจุสารสำคัญโดยการเอนแคปซูลชัน (Encapsulation Technology)

เทคนิคเอนแคปซูลชัน คือ เทคนิคการบรรจุหรือการกักขังอนุภาคของสารไว้ภายในเยื่อผ่านได้ในรูปของแคปซูล ซึ่งเยื่อผ่านได้ทำหน้าที่ป้องกันและควบคุมการซึมผ่านของอนุภาคของสารที่อยู่ภายในได้ การเตรียมแคปซูลสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การพ่นแห้ง (spray-drying) โดยวัสดุเคลือบถูกพ่นออกมาและทำให้แห้งโดยการเป่าลมร้อน (Takeuchi และคณะ, 1998) การขั้บสาร (extrusion) ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายโดยการขั้บสารตั้งต้นทั้งวัสดุเคลือบและวัสดุที่ต้องการตรึงออกมาและทำให้เสถียร การเตรียมแบบอิมัลชัน (emulsion) โดยวัสดุเคลือบและวัสดุแกนหรือสารที่ต้องการตรึง เกิดการกระจายตัวในสารละลายและเกิดการเคลือบของวัสดุเคลือบที่ผิวนอกของหยดของเหลว (Chan และคณะ, 2002; Chan และคณะ, 2006; Liu และคณะ, 2004) และการแยกวัฏภาคโดยการตกตะกอน (coacervation phase separation) (Zhang และคณะ, 2012) เป็นต้น

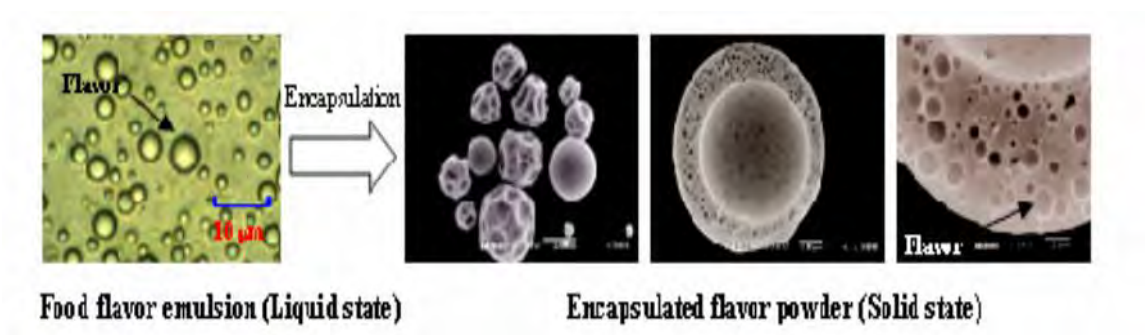
ผลิตภัณฑ์สารให้กลิ่นรสที่ได้จะอยู่ในรูปไมโครแคปซูลเอนแคปซูลชั้น สารที่ถูกเคลือบ (coated) หรือ ถูกยัดจับไว้ (entrapped) ส่วนใหญ่จะเป็นของเหลว แต่บางครั้งอาจเป็นอนุภาคของแข็งหรือก๊าซซึ่งจะเรียกชื่อแตกต่างกันไปเช่น core material หรือ internal phase ส่วนสารที่นำมาเคลือบจะเรียกว่า wall material, carrier, membrane, shell หรือ coating



รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของไมโครแคปซูล

ขั้นตอนการเอนแคปซูลชั้นสารให้กลิ่นรสประกอบด้วย 2 ขั้นตอน

1. ขั้นตอนการทำให้เกิดอิมัลชันของสารแกนกลางและสารเคลือบโดยสารเคลือบที่ใช้ได้แก่ พอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) หรือ โปรตีน
2. ขั้นตอนของการอบแห้งหรือทำให้อิมัลชันเย็นตัวลงเทคนิคการเอนแคปซูลชั้นที่เลือกใช้จะมีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายของสารให้กลิ่นรสและความเสถียรของสารให้กลิ่นรสในผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา



รูปที่ 2.3 แสดงการเอนแคปซูลชั้นสารให้กลิ่น

ตารางที่ 2.2 เทคนิคที่ใช้ในการเอนแคปซูลเลทสารให้กลิ่น รส

	Encapsulation Methods	Particle size(μm)	Max load(%)	reference
Chemical techniques	Simple coacervation	20-200	<60	Richard & Benoit, 2000
	Complex coacervation	5-200	70-90	Richard & Benoit, 2000
	Molecular inclusion	5-50	5-10	Uhlmann et al., 2002
Mechanical techniques	Spray-drying	1-50	<40	Richard & Benoit, 2000
	Spray chilling	20-200	10-20	Uhlmann et al., 2002
	Extrusion	200-2000	6-20	Uhlmann et al., 2002
	Fluidised bed	>100	60-90	Richard & Benoit, 2000

ประเภทของเอนแคปซูลชั้น

1. Coacervation Technique

การเอนแคปซูลเลทโดยใช้เทคนิคนี้จะต้องทำการควบคุมการผสมเพื่อทำให้สารเคลือบเคลือบบนผิวของสารแกนกลางอย่างสม่ำเสมอสารเคลือบที่ใช้ได้แก่เจลาตินการเคลือบผิวรอบๆสารแกนกลางเกิดจากการดูดซับ hydrophillic phase ที่บริเวณผิวของสารแกนกลางการเติม electrolyte เข้าไปในระบบจะทำให้เกิดการตกตะกอนของคอลลอยด์โดย electrolyte จะไปทำให้ประจุเป็นกลางซึ่งจะช่วยให้เกิดการเคลือบที่บริเวณผิวของสารแกนกลางจากนั้นทำให้ไมโครแคปซูลที่ได้อยู่ในรูป solidmicrocapsule โดย desolvation หรือ thermal cross – linking (Korus, 2001)

เทคนิค coacervation ประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนได้แก่

- 1) การเกิดอนุภาคหรือหยดของเหลวที่มีขนาดเล็ก
- 2) การเกิด coacervative wall การแยกไมโครแคปซูลที่ได้ออกจากสารละลาย
- 3) การเกิด coacervation ทำได้โดยการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิ มีการปรับเปลี่ยน pHการเติม ionic salt

2. Co-crystallization technique

การเอนแคปซูลโดยใช้เทคนิค co-crystallization เกิดระหว่างการตกผลึกของซูโครสไซรัป ในสถานะอิ่มตัวยิ่งยวด (95-970Brix) ที่อุณหภูมิสูง (>12000ซ.) โดยเติมสารให้กลิ่นรสลงไประหว่างการเกิดผลึก (spontaneous crystallization) (Bhandari et al., 1998) ทำให้เกิดโครงสร้างผลึกที่มีขนาดเล็ก ล้อมรอบสารให้กลิ่นรสอยู่ภายใน โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเอนแคปซูลโดยใช้เทคนิคนี้จะมี low hygroscopicity, good flowability และ dispersion properties (LaBell, 1991; Quellet et al., 2001)

3. Molecular inclusion technique

เป็นเทคนิคการเอนแคปซูลในระดับโมเลกุล วิธีการนี้จะใช้ไซโคลเดกซ์ทริน(cyclodextrin) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำเอนไซม์ไกลโคซิล-ทรานสเฟอเรส (glycosyl-transferase, GCTase) มาทำปฏิกิริยากับสตาร์ช เปลี่ยนเป็นพอลิเมอร์วงแหวนที่ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส หก เจ็ด หรือ แปด โมเลกุลเรียกว่าแอลฟา-, บีตา, หรือ แกมมา-ไซโคลเดกซ์ทรินตามลำดับ บริเวณตรงกลางโมเลกุลของไซโคลเดกซ์ทรินจะมีลักษณะเป็น hydrophobic ส่วนที่ผิวนอกจะมีลักษณะเป็นhydrophilic เมื่ออยู่ในสารละลาย โมเลกุลที่มีขั้วน้อยกว่าจะแทนที่โมเลกุลของน้ำที่อยู่ตรงกลางของโมเลกุลของไซโคลเดกซ์ทริน สารประกอบที่เกิดขึ้นจะละลายได้น้อยและตกตะกอนแยกตัวออกมาจากสารละลาย (Godshall, 1997) เทคนิคนี้จะใช้ในการเอนแคปซูลสารให้กลิ่นรสที่ไม่เสถียรและ high added value flavor chemicals (Uhlemann et al., 2002) สารให้กลิ่นรสจะถูกเอนแคปซูลอยู่ภายในโมเลกุลของไซโคลเดกซ์ทริน (Reineccius & Risch, 1986; Loftsson & Kristmundsdottir, 1993; Reineccius et al., 2002) ปัจจัยที่มีผลต่อการกักเก็บสารให้กลิ่นรสที่ผ่านการเอนแคปซูลโดยใช้เทคนิคนี้ได้แก่ น้ำหนักและรูปร่างของโมเลกุล, คุณสมบัติทางเคมี (chemical functionality), ความมีขั้ว (polarity) และความสามารถในการระเหย (volatility) ของสารแกนกลาง การปลดปล่อยสารแกนกลาง จะเกิดขึ้นเมื่อสัมผัสกับสถานะแวดล้อมที่เป็นน้ำ หรือ ที่อุณหภูมิสูง (Reineccius et al., 2002)

4. การใช้ไลโปโซมในการหุ้ม (Liposome entrapment)

วิธีนี้ใช้กันมากในอุตสาหกรรมการผลิตยา (pharmaceutical industry) ปัจจุบันได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารไลโปโซมประกอบด้วยเฟสที่เป็นน้ำ(aqueous phase) ล้อมรอบโดยเมมเบรนที่ประกอบด้วยฟอสโฟไลปิด (phospholipid –base membrane) เมื่อฟอสโฟไลปิดกระจายตัวอยู่ในเฟสที่เป็นน้ำจะเกิดการformเป็นไลโปโซม โดยอัตราโนมัลไลโปโซมสามารถใช้ในการหุ้มสารที่ละลายได้ในน้ำหรือในไขมันไว้ภายใน

ดังนั้นเนื่องจากสภาพของสารอิมัลชันเป็นสารที่สามารถทำให้หยคน้ำมันขนาดเล็กๆกระจายตัวในตัวกลางที่เป็นน้ำได้และกระจายตัวอยู่ได้นานเมื่อขนาดหยดอนุภาคน้ำมันมีขนาดเล็กมากๆ ซึ่งก็คือสารประเภทคอลลอยด์อีกแบบหนึ่ง ซึ่งมีสารที่เรียกว่าสารลดแรงตึงผิวเป็นตัวที่ช่วยลดแรงตึงระหว่างผิวของหยคน้ำมันขนาดเล็กๆนั้น กับตัวกลางซึ่งเป็นน้ำทำให้สามารถกระจายตัวได้นานขึ้น จากพฤติกรรมของสารอิมัลชันดังกล่าวนี้อาจช่วยลดอัตราการระเหยของน้ำมันหอมระเหยเมื่ออยู่ในรูปของอิมัลชัน

ในปัจจุบันมีการพัฒนาใช้เทคโนโลยีไมโครเอ็นแคปซูลเข้ามาใช้งานมากมาย เนื่องจากข้อดีของเทคโนโลยีนี้ได้แก่

1. ช่วยลดอัตราการระเหยของสารหอม เนื่องจากสารบางชนิดมีอัตราการระเหยที่รวดเร็ว เช่น น้ำมันหอมระเหยของดอกไม้ชนิดต่างๆเช่น ลาเวนเดอร์ กุหลาบ มะลิ น้ำมันหอมระเหยดังกล่าวถ้าเรานำมาใช้ทาหรือเคลือบวัตถุจะระเหยไปในวันเดียว พบว่าจะช่วยลดการระเหยของสารหอม และสามารถเก็บรักษากลิ่นได้เป็นเวลานาน

2. ช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยากับสภาวะภายนอก เช่น ปฏิกิริยาออกซิเดชัน เนื่องจากสารบางตัวมีความไวต่อความร้อน แสง อากาศ น้ำ ออกซิเจน ฯ ซึ่งจะช่วยป้องกันไม่ให้คุณสมบัติของสารเปลี่ยนไป

3. ช่วยกลบกลิ่นไม่พึงประสงค์ เช่น น้ำยาปรับผ้านุ่มหรือผงซักฟอกหลายชนิดที่มีไมโครแคปซูลผสมอยู่จะช่วยทำให้ผ้าหอมกลบกลิ่นของสารออกฤทธิ์ในการซักล้างตัวอื่น และคงความหอมได้นานเป็นสิ่งบ่งบอกว่าเสื้อผ้ายังสะอาด สดชื่น

4. ช่วยควบคุมการทำงานของสารแกน ให้มีการปลดปล่อยในปริมาณที่เหมาะสมและยังลดความสิ้นเปลืองในการใช้สาร

ชนิดของสารเคลือบที่ใช้ในกระบวนการเอนแคปซูล

1. สตาร์ช (starch)

สตาร์ช และ ingredients ที่ผลิตได้จากสตาร์ช เช่น สตาร์ชดัดแปร (modified starch), มอลโตเดกซ์ทริน และ บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน (beta-cyclodextrin) ถูกนำมาใช้ เป็นสารเคลือบในการเอนแคปซูลสารให้กลิ่นรสอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องสำอางค์ เพื่อกักเก็บและปกป้องสารให้กลิ่นรส

กลไกการจับตัวระหว่างสารให้กลั่นรสและสตาร์ชแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบ คือ

1. สารให้กลั่นรสจะถูกล้อมรอบด้วย amylose helix โดยการจับกันเป็นแบบ hydrophobic bonding ซึ่งสตาร์ชจะกักสารให้กลั่นรสไว้ภายในโมเลกุล (inclusion complex)
2. เกิดแรงกระทำ (polar interaction) โดยเกิดพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) ระหว่าง hydroxyl groups ของสตาร์ชและ สารให้กลั่นรส

2. มอลโตเดกซ์ทริน (Maltodextrin)

มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารที่ไม่มีกลั่นรส ละลายน้ำได้ดี มีความหนืดต่ำ แต่ไม่มีคุณสมบัติในการเป็น emulsifier (Risch and Reineccius, 1988) จึงมักใช้ร่วมกับ Gum Arabic หรือ OSAN (OSAN เป็น modified starch ชนิดหนึ่ง มีชื่อเรียกทางเคมีว่า noctenylsuccinic anhydride-substituted starches) เพื่อลดต้นทุนการผลิต มอลโตเดกซ์ทรินเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายแป้งข้าวโพดบางส่วน โดยการใช้กรดหรือเอนไซม์

3. กัม (Gum)

Gum arabic หรือ acacia gum เป็น hydrocolloid gum ที่ถูกนำมาใช้ในรูปของสารเคลือบ เนื่องจากสามารถละลายได้ดี มีความหนืดต่ำ มีคุณสมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ และสามารถกักเก็บสารให้กลั่นรสได้ดี และเมื่อเป็นผงแห้งก็จะไม่จับตัวเป็นก้อนได้ง่าย โดยง่าย เหมาะสำหรับกักเก็บสารที่ขึ้นง่าย

4. เจลาติน (Gelatin)

เจลาตินเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายคอลลาเจน (collagen) ถูกนำมาใช้ในรูปของสารเคลือบในการเอนแคปซูลเลทสารให้กลั่นรสโดยเทคนิค complex coacervation และ เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย เนื่องจาก สามารถละลายน้ำได้ดีและมีคุณสมบัติในการเคลือบผิว (Madene et al., 2006) ไมโครแคปซูลของสารให้กลั่นรสที่ได้โดยใช้เจลาตินเป็นสารเคลือบสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรส (seasoning)

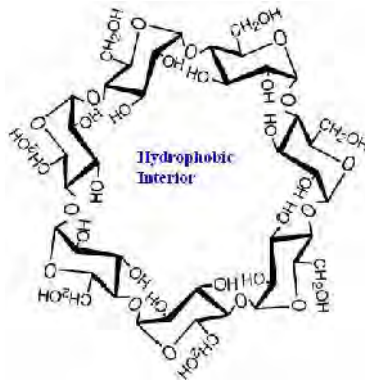
5. โซเดียมอัลจิเนต (Sodium alginate)

โซเดียมอัลจิเนตละลายน้ำได้ดี ให้ความหนืดต่ำ มีสมบัติที่สำคัญคือ มีความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อในร่างกาย (biocompatibility) สามารถย่อยสลายได้ (biodegradability) ไม่มีความเป็นพิษ (non-toxicity) และสามารถฟอร์มตัวเป็นฟิล์มได้ (film formation) (Lapasin and Pril, 1995; Lertsuttiwong et

al., 2008) ใช้ปริมาณน้อยราคาไม่แพง แต่ฟิล์มที่ได้จะไม่ค่อยแข็งแรง ต้องเสริมด้วยเกลือแคลเซียม มักใช้กับกระบวนการ coacervation (Porzi, 2004)

6. ไซโคเด็กซ์ทริน

ไซโคเด็กซ์ทริน (Cyclodextrin), cyclic oligosaccharide ของสารน้ำตาล glucopyranose มีตั้งแต่ขนาด 6, 7, ถึง 8 units เชื่อมต่อกันพันธะ 1,4-glycosidic bonds มีลักษณะโครงสร้างเป็นวงไซคลิกที่มีช่องว่างภายในโครงสร้างที่สามารถบรรจุสารอินทรีย์โมเลกุลเล็กขึ้นกับขนาดวงไซคลิกภายในได้ทั้งในสภาพสารละลายและของแข็ง โดยมีลักษณะพันธะหรือความแข็งแรงของการพนักสารโมเลกุลเล็กในระดับ van der Waals และ hydrophobic interactions (Connors, 1997, Liu, 2002) ไซโคเด็กซ์ทรินสามารถยึดเกาะติดบนสิ่งทอได้และแสดงสมบัติเป็นตัวบรรจุสารอินทรีย์โมเลกุลขนาดเล็ก เช่น น้ำหอม, สารกันแมลง, สารออกฤทธิ์ในเครื่องสำอางค์, และยา เป็นต้น (Szejtli, 1996)

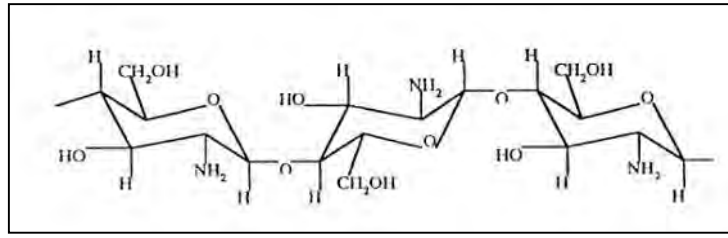


รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างสารไซโคเด็กซ์ทริน

www.arches.uga.edu/~vmaha/cdstructure.html

6. ไคโตซาน (Chitosan)

ไคโตซาน หรือมีชื่อเคมีคือ poly-2-amino-2-deoxy-D-glucose เป็นอนุพันธ์ของไคติน (poly-N-acetyl-D-Glucosamine) โดยที่ไคตินพอลิเมอร์ชีวภาพพบมากเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส โดยพบเป็นองค์ประกอบหลักในเปลือกแข็งของสัตว์จำพวกกุ้ง, ปลาหมึก, ปู ฯลฯ ไคตินไม่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายทั่วไปแต่สามารถละลายได้บ้างในกรดแก่หรือด่างแก่ ในขณะที่ไคโตซานซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยา Deacetylation ของไคตินมี amine group (-NH₂) และ hydroxyl group (-OH) ในสายมากกว่า acetyl group (-CO-CH₃) ทำให้สามารถละลายได้ในสารละลายกรดอินทรีย์หลายชนิดแต่ไม่ละลายในสารละลายด่าง



รูปที่ 2.5 โครงสร้างไคโตซาน

ไคโตซาน สารธรรมชาติที่มีลักษณะโดดเด่นเฉพาะตัว คือ เป็นวัสดุชีวภาพ (Biomaterials) ที่ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ (biodegradable) มีความสามารถในการเข้ากันได้ (biocompatible) (Hsieh, 2006) มีความปลอดภัยในการนำมาใช้กับมนุษย์ ไม่เกิดผลเสียและปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม ไม่เกิดการแพ้ ไม่ไวไฟและไม่เป็นพิษ (non-toxic) นอกจากนี้ยังสามารถขึ้นรูปได้ง่ายเนื่องจากสามารถเกิดเจลและฟิล์มได้ (gel and film forming) (Dutta et al., 2004)

การที่ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์จึงมีความหนาแน่นของประจุบวกสูง ทำให้เป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมหลายด้าน ที่ปกติใช้สารจำพวกไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloids) โมเลกุลสูง ที่ส่วนใหญ่จะไม่มีประจุหรือมีประจุเป็นลบ (Polyanionic) ด้วยสมบัติความเป็น Hydrophobic สูงของไคโตซาน และการที่ไคโตซานสามารถเตรียมขึ้นรูปต่างๆ ได้ง่าย เช่น ในรูปฟิล์ม เส้นใย ใต้ง่าย และมีสมบัติสำคัญในการต้านทานการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ดี (Luyen & Rossbach, 1992; Shahidi, Arachchi, & Jeon, 1999) ทำให้ มีงานวิจัยจำนวนมากที่มีการนำไคโตซานมาใช้ในบรรจุภัณฑ์ทางอาหาร เพื่อลดการดูดซึมน้ำและป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ที่จะทำให้อาหารเน่าเสีย (Begin & Van Calsteren, 1996; Coma, Deschamps, & Martial-Gros, 2003; Ham-Pichavant et al., 2005.) ทั้งนี้ด้วยไคโตซานฟิล์มมีสมบัติเด่นในด้านที่เป็น Gas-barrier โดยเฉพาะ Oxygen-barrier เนื่องมาจากมีความเป็นผลึกสูงในโครงสร้างและการเกิดพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรงระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ (Gallstedt, 2001; Kittur, Kumar, & Tharanathan, 1998)

เนื่องด้วยสมบัติที่ดีดังกล่าวของไคโตซาน จึงถูกนำมาใช้เป็นผนังบางๆ (wall membrane material) ที่ห่อหุ้มสารสำคัญในการเอนแคปซูล (Hsieh, 2006) และใช้เป็นสารเคลือบในการตกแต่งหลังเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาเพื่อลดการดูดซึมน้ำ ในรูปไมโครแคปซูล โดยการเตรียมในรูปแบบที่เป็นอิมัลชันเคลือบผิวผลิตภัณฑ์ได้อย่างอยู่ตัวและคงตัวได้ดี ซึ่งโครงการวัสดุพูนตัวนำส่งสมุนไพร บำบัด ได้ใช้ไคโตซานเป็น wall membrane สำหรับการกักเก็บและควบคุมการปลดปล่อยสารลาเวนเดอร์ และเจอรานีโอลจากตะไคร้หอม โดยเทคนิค oil in water (o/w) emulsion จากนั้นจึงนำไปเคลือบบนชิ้นงานวัสดุพูนตัว

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Silvia R. และคณะ สารต้านอนุมูลอิสระทั้ง 5 ตัวอย่างของดอกลาเวนเดอร์ (*L. angustifolia* ssp. *angustifolia*, *L. hybrida*, *L. angustifolia* spp. *pyrenaica*, *L. angustifolia* spp. *angustifolia* cv. *Munstead* and cv. *Hidicote Blue*) ถูกเก็บมาจากโรมานเนียและจะถูกตรวจสอบโดยใช้ วิธี DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) เพื่อไล่ออนุมูลอิสระและการตรวจจับ Fe^{+2} โดยจำนวน polyphenolic ทั้งหมด (มิลลิกรัม/สกัดแห้ง) ยังคงถูกกำหนดโดย การตรวจอนุมูลอิสระด้วยวิธีทั้งสอง, การสกัดลาเวนเดอร์ถูกแสดงความสำคัญขึ้นอยู่กับความเข้มข้น. ผลของวิธีการตรวจจับ Fe^{+2} ดีกว่าผลของการไล่อด้วย DPPE. การสกัด Ethanolic จาก hybrid ลาเวนเดอร์ พบว่าใช้มากที่สุด ($IC_{50} = 73.53 \mu g/mL$ ใน การทดสอบไล่อด้วย DPPH และ $IC_{50} = 49.90 \mu g/mL$ ในการตรวจจับด้วย Fe^{+2}). *Lavandula hybrida* และ *Lavandula angustifolia* cv *Munstead* มันไม่มีความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่าง ปริมาณ polyphenolic และอนุมูลอิสระของการสกัด

Lu Hui และคณะ ในการศึกษานี้พวกเราตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี อนุมูลอิสระและ สารต้านแบคทีเรียของน้ำมันหอมระเหยลาเวนเดอร์ ค่าความจุของอนุมูลอิสระและสารต้านแบคทีเรียของการทดสอบตัวอย่างถูกตรวจสอบโดยระบบกรดลิโนลิกและวิธีการยับยั้งการเติบโตของแบคทีเรีย ผลแสดงให้เห็นว่าน้ำมันหอมระเหยประกอบไปด้วย 5-Dimethyl-1-vinyl-4-hexenyl แต่ yrate มากที่สุด (43.73%) ตามมาด้วย 1,3,7-Octatriene, 3,7-dimethyl- (25.10%), Eucalyptol (7.32%) และ Camphor (3.79%). น้ำมันหอมระเหยลาเวนเดอร์มีอนุมูลอิสระมากกับลิพิดเปออกไซด์ในระบบรูปร่างกรดลิโนลิกและเป็นสารต้านแบคทีเรียที่ดีกับสี่แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับโรคจมูกอักเสบรวมทั้งเชื้อ *staphylococcus aureus*, *Micrococcus ascoformans*, *Proteus vulgaris* และ เชื้อ *Escherichia coli*

Akhmad Herman Yuwono และคณะ ไมโครแคปซูลเป็นความก้าวหน้าใหม่ในด้านนาโนเทคโนโลยีที่สามารถใช้สำหรับการใช้งานต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้งานของวัสดุที่โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการใช้งานของวัสดุที่ควบคุมการปลดปล่อยสำหรับสิ่งทอการทำงานที่ถูกเพิ่มโดยสารที่ใช้งานบางอย่างและให้ผลเมื่อนำมาใช้เช่นกลิ่นหอมและสิ่งทอป้องกันยูง ในงานวิจัยนี้สังเคราะห์จากไมโครซิลิกาลาเวนเดอร์สำหรับสิ่งทอป้องกันยูงที่ได้รับการดำเนินการประสบความสำเร็จโดยวิธีโซลเจลกระบวนการอิมัลชัน สารละลายโซเดียมซิลิเกตซึ่งเป็น emulsified น้ำมันลาเวนเดอร์เป็นส่วนผสมที่ใช้งานทำหน้าที่เป็นเฟสน้ำมันและสารละลายเอทานอลทำหน้าที่เป็นเฟสน้ำ นอกจากนี้ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ช่วยลดแรงตึงผิวและช่วยห่อหุ้มด้วยแป้งเป็นแบบอ่อนๆ ผล SEM แสดงให้เห็นลักษณะทางสัณฐานวิทยาของซิลิกาลาเวนเดอร์มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของ 0.042-0.206 ไมโครเมตรผลที่เหมาะสมของแกนโครงสร้างที่ได้รับโดยการเพิ่ม 1% (v/v) ของไคโตซาน การวิเคราะห์ FTIR ซึ่งให้เห็นการปรากฏตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ wavenumber จาก 1,411.89, 958.62 และ 1078.2 cm^{-1} ตามลำดับสำหรับ CH (alkanes) CH (แอลคีน) และการทำงานเป็นกลุ่มเอสเทอร์ซึ่ง

ชี้ให้เห็นสารประกอบซิติกาลาเวนเดอร์ลาเวนเดอร์ การวิเคราะห์ UV-Vis แสดงให้เห็นว่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่นของลาเวนเดอร์ที่ 350 นาโนเมตร การรวมกันของคุณสมบัติของลักษณะทางลักษณะทางเคมีของซิติกาลาเวนเดอร์แก้ไขโดยโคโตะซานเป็งทำวัสดุนี้เป็นวัสดุที่สำหรับการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

B.Voncina และคณะ ได้ทำการกักเก็บ Rosemary Oil ใน Ethylcellulose Microcapsules ด้วยวิธีการแยกเฟสในการเตรียมแคปซูล และนำ Rosemary oil ใน EC microcapsules เทใส่ cyclohexane และ ทำ ultrasonicating เป็นเวลา 1 นาที ในการสกัด Rosemary oil จากแคปซูล และทำการกราฟ EC microcapsules ลงบนผ้า cotton ด้วย 1,2,3,4-butanetetracarboxylic acid โดยขนาดขึ้นอยู่กับความเร็วในการปั่นกวนในระหว่างการกักเก็บ การลดแรงที่ใช้ปั่นจะทำให้ขนาดของ Microcapsule เพิ่มขึ้น ปริมาณที่ได้จากการสกัด oil ใน cyclohexane ด้วย ultrasound and CLSM ซึ่งมี EC microcapsules โดยเฉลี่ย 40% ของช่องว่างทั้งหมด โดยมี Rosemary oil. บรรจุอยู่ภายในจนเต็ม

ชนิดดา จิ่งวงศา และ ดวงพร ศรีคำปลิว ทำการผลิตน้ำมันหอมระเหยที่ปกติระเหยได้อย่างรวดเร็วให้อยู่ในรูปออกฤทธิ์นานเป็นการเพิ่มระยะเวลาในการใช้ประโยชน์จากน้ำมันหอมระเหย จึงได้ผลิตบีด (beads) จากน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการไล่แมลงในระยะเวลาที่ยาวนานขึ้น โดยมีวิธีการเตรียมดังนี้ คือ เตรียมอัลจินเตบีดที่บรรจุน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ที่อยู่ในด้วยวิธีการ ionic gelation ระหว่างอัลจินตกับแคลเซียมอ็อกไซด์ โดยเตรียมอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ แล้วนำมาผสมกับโซเดียมอัลจินตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 3, 4 และ 5 น้ำหนักต่อปริมาตร นำอิมัลชันที่เตรียมได้มาหยดลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.052, 0.104 และ 0.260 กรัมต่อมิลลิลิตร โดยแช่เป็นระยะเวลา 1, 3 และ 5 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง จากผลการทดลองพบว่า บีดที่เตรียมได้จากสภาวะการทดลองต่าง ๆ นั้น มีลักษณะรูปร่าง สี ขนาด กลิ่น ที่เหมาะสมสวยงามในทุกสภาวะการเตรียม และเมื่อทดสอบคุณสมบัติเชิงคุณภาพของบีดที่เตรียมได้โดยวิธีรงคเลขผิวบาง พบว่า fingerprint น้ำมันหอมระเหยที่มีอยู่ในบีดมีลักษณะคล้ายคลึงกับ fingerprint ของน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ ผลการศึกษาความคงสภาพของบีดที่ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 7 สัปดาห์ พบว่ายังคงมีน้ำมันหอมระเหยตะไคร้คงเหลืออยู่ จึงคาดว่าบีดน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ที่เตรียมได้นี้จะมีคุณสมบัติในการไล่แมลงได้นานขึ้น

Flávia O.M.S และคณะ ได้ศึกษาการเตรียม Nanogels ที่บรรจุ Lippia sidoides oil ด้วย chitosan และ cashew gum ผลคืออัตราส่วน matrix:oil 10:2, gum:chitosan 1:1 และ 5% gum concentration มีการบรรจุที่สูง (11.8%) และ encapsulation efficiency (70%) ขนาดที่วัดได้ของ Nanogel เฉลี่ยอยู่ที่ 335–558 nm. โดยการปลดปล่อยของ nanoparticles เป็นไปอย่างช้าๆและคงที่ ซึ่งให้ประสิทธิภาพดีกว่า L. sidoides oil. บริสุทธิ์

Fernanda C. F. และคณะ ได้ทำการศึกษาการเตรียม nanocapsules and nanoemulsions ในป้องกันการระเหยของน้ำมันหอมระเหย tea tree oil โดยการใช้วิธี spontaneous emulsification และ interfacial deposition ของ preformed polymer เพื่อหลีกเลี่ยงการก่อก้อนตัวของไอน้ำของน้ำมันหอมระเหย โดยใช้ organic phase ที่ประกอบไปด้วย TTO (0.5 g), sorbitan monooleate (0.383 g), poly(ϵ -caprolactone) (0.25 g), และ acetone (25.0 mL) เติมลงใน aqueous solution (50.0 mL) ที่ประกอบไปด้วย polysorbate 80 (0.383 g) และ magnetic stirring ประมาณ 10 นาที และ organic solvent ถูกกำจัดออกด้วย rotary evaporator ที่ 60 rpm อุณหภูมิ 30-35 °C จนได้ปริมาตร 50 mL ที่มี ความเข้มข้นของ oil 1% ของ oil (10 mg/mL). Nanoemulsions ถูกเตรียมด้วยการแยก organic solvent และ lipophilic surfactant อนุภาคที่ได้มีขนาดเฉลี่ยอยู่ที่ 160-220 nm โดยมีปริมาณของน้ำมันอยู่ 96%. และสามารถป้องกันการระเหยได้สูงมากและเก็บได้นานขึ้น

Jiamrungraksa, T. และ Charuchinda, S. ได้ทำการเตรียม alginate microcapsules ที่ประกอบด้วยน้ำมันหอมระเหย galangal ด้วยวิธี solidifying in liquid (orifice process) โดย 1, 3 and 5 mL ของน้ำมันหอมระเหย galangal เจือจางด้วย ethanol และผสมกับ 25 mL 1 to 5% (w/v) ของสารละลาย sodium alginate และ mechanical stirring ที่อุณหภูมิห้อง โดย emulsion ที่ได้จะถูกฉีดด้วย syringe ลงใน 250 mL ของ gel bath ที่ประกอบไปด้วย 5% (w/v) ของสารละลาย calcium chloride จะได้ calcium alginate capsules จากนั้นทิ้งไว้ข้ามคืน แล้วตามด้วยล้างออกด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง และตากให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเพื่อระเหยน้ำออกจากผิว capsule โดย microcapsules ที่ได้มีขนาดเฉลี่ยอยู่ที่ 750 -1000 μ m. โดยมีปริมาณของน้ำมันอยู่ 40% และสามารถป้องกันการระเหยได้สูงมากและเก็บได้นานขึ้น

ปิยรัตน์ มุลศรี ได้ศึกษาการเก็บรักษาน้ำมันหอมระเหยในรูปของสารอิมัลชันของพืช 5 ชนิด คือขมิ้นหอม ว่านเปราะหอม โหระพา ตะไคร้หอม และยูคาลิปตัส โดยเปรียบเทียบการระเหยเมื่อไม่อยู่รูปอิมัลชัน ที่อุณหภูมิ 25, 30 และ 40 องศาเซลเซียสในช่วงเวลาคงที่ โดยการเตรียมสารอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยด้วยการใช้ โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (SDS) และ โซเดียมลอริลอีเธอร์ซัลเฟต (SLES) เป็นอิมัลซิฟายเออร์ พบว่า อุณหภูมิคงที่น้ำมันหอมระเหยขมิ้นหอมมีอัตราการระเหยมากที่สุดเมื่อเทียบกับชนิดอื่น และยูคาลิปตัสที่อัตราการระเหยที่ต่ำกว่าขมิ้นหอมแต่สูงกว่าของตะไคร้หอม ว่านเปราะหอม และโหระพา และที่อุณหภูมิแตกต่างกัน พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นน้ำมันหอมระเหยทั้ง 5 ชนิดจะมีอัตราการระเหยที่เพิ่มขึ้น ซึ่งพบว่าน้ำมันหอมระเหยที่อยู่ในรูปสารอิมัลชันมีอัตราการระเหยที่ต่ำกว่า น้ำมันหอมระเหยที่ไม่ได้อยู่ในรูปสารอิมัลชัน

3. การขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อหน้าดิน (Casting)

การหล่อหน้าดิน (Casting) เป็นการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิก ที่ใช้การเทหน้าดินเหลว (casting slip) ลงในแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ ซึ่งเนื้อปูนปลาสเตอร์มีรูเล็กๆจำนวนมากทำให้สามารถดูดซับน้ำได้ดี เมื่อน้ำถูกดูดซับไปที่เนื้อปูนปลาสเตอร์ จนกระทั่งเกิดการจับตัวของเนื้อดินที่ผิวปูนด้านในของแบบพิมพ์จึงเทดินที่เหลือ ออกจากแบบพิมพ์

น้ำดิน(slip) เป็นส่วนผสมของดินกับน้ำ ในปริมาณที่เหมาะสม น้ำดินมีสมบัติไหลตัวดี โดยมีการเติมสารเคมีบางชนิด เพื่อช่วยให้ดิน กระจายตัวได้ดี ไม่ตกตะกอน และใช้วิธีเทลงแบบพิมพ์

การขึ้นรูปลักษณะนี้มีจุดเด่นที่ขั้นตอนไม่ซับซ้อน เหมาะกับการผลิตชิ้นงานขนาดใหญ่ แต่มีจุดด้อยคือ ใช้เวลานานในการผลิต ชิ้นงานมักมีความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอ และปัญหาอีกอย่างหนึ่งในการขึ้นรูปชิ้นงานแบบหล่อหน้าดินคือ ในการเทหล่อแบบต้องการน้ำสลิปที่มีสมบัติไหลง่าย ซึ่งน้ำสลิปที่มีสมบัติดังกล่าวมักมีเนื้อวัสดุ (solid loading) น้อย เมื่อนำไปเผา ชิ้นงานที่ได้จะมีการหดตัว สูง แฉกร้าวง่าย อีกทั้งยังใช้เวลาเผาผนึก (sinter) นาน ขณะที่น้ำสลิปมีเนื้อวัสดุมากจะมีความหนืดสูง การไหลตัวยากกว่า ทำให้เกิดปัญหาขณะเทเข้าแม่พิมพ์ เช่น หล่อไม่เต็ม มีโพรงอากาศ และเกิดผิวลักษณะเป็นรอยไหล (flow line) เป็นต้น



รูปที่ 2.6 รูปแสดงวิธีหล่อหน้าดิน

(<http://ceramicartsdaily.org/free-gifts/ceramic-mold-making-techniques-tips-for-making-plaster-molds-and-slip-casting-clay/>)

วิธีหล่อหน้าดินในแบบที่ใช้ในการเตรียมชิ้นงานในการวิจัยนี้เป็นแบบหล่อแบบเทออก (Drain Casting)

ซึ่งใช้ในการหล่อชิ้นงานที่มีลักษณะกลวง โดยการ เติมน้ำดินลงไป ใน แบบพิมพ์ ปูนปลาสเตอร์ ที่แห้งสนิท บริเวณผิวพิมพ์ และเนื้อปูนปลาสเตอร์ จะมีรูเล็กๆ ทำหน้าที่ ดูดซับน้ำได้ดี เมื่อเทหน้าดิน ลงไป ใน แบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ แบบพิมพ์จะดูดซับน้ำดิน ตรงบริเวณผิวพิมพ์ ที่มีน้ำดินเหลวหล่ออยู่ กระบวนการดูดน้ำของแบบพิมพ์ เป็นไปอย่างต่อเนื่อง และช้าๆ ความชื้นของน้ำ จะถูกดูด

เก็บไว้ในแบบพิมพ์ขึ้นเรื่อยๆ การจับตัว ของชั้นดิน ตรงบริเวณผิวปูนปลาสเตอร์ จะเริ่มขึ้น และชั้นดินจะหนาขึ้น ทีละน้อย เมื่อได้ความหนาที่ต้องการ จึงเทน้ำดิน ส่วนที่ไม่แข็งตัวออก ทิ้งผลิตภัณฑ์ไว้ในแบบพิมพ์ เพื่อปูนปลาสเตอร์ ทำหน้าที่ดูดซับน้ำ ออกจากเนื้อดินต่อไป จนกระทั่ง ชั้นของดินเริ่มแข็งตัวหรือหดตัวลงเล็กน้อย รอจนกระทั่ง เนื้อดินแข็งตัวพอสมควร สามารถหยิบจับได้ โดยไม่ยุบเสียรูปทรง จึงแกะพิมพ์ออก ชิ้นงานจะมีความหนา สม่ำเสมอเท่ากันตลอด

4.การใช้ประโยชน์ของดินตะกอนจากการผลิตน้ำประปาในเนื้อดินปั้น

ตะกอนดินเป็นผลพลอยได้อย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นจากกระบวนการการผลิตน้ำประปา ซึ่งปัจจุบันยังมิได้มีการนำมาใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่า เมื่อพิจารณาในเชิงของการผลิตน้ำประปา ตะกอนดินเป็นสิ่งที่ต้องกำจัดออกหรือเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการหลังกระบวนการผลิตน้ำประปา จากข้อมูลของการประปานครหลวงรายงานว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณตะกอนในช่วงปี พ.ศ. 2543-2547 มีประมาณ 275 ตันต่อวัน ในขณะที่มีการประเมินขีดความสามารถในการกำจัดตะกอนแบบวิธีธรรมชาติอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลของโรงผลิตน้ำบางเขนไว้เท่ากับ 240 ตันต่อวัน แม้ว่ามีงานวิจัยหลายงานวิจัยที่เกี่ยวกับแนวทางการใช้ประโยชน์ตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปาทั้งในด้านการเกษตรและด้านอุตสาหกรรม แต่การใช้ประโยชน์ในด้านดังกล่าวโดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านอุตสาหกรรมเซรามิกยังไม่มีในปัจจุบัน ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะตะกอนดินที่มักใช้เป็นส่วนผสมในดินเหนียวเพื่อทำเป็นเครื่องปั้นดินเผา นั้น มิได้ก่อให้เกิดเครื่องปั้นดินเผาที่มีลักษณะพิเศษแต่อย่างใด ดังนั้นการขนส่งตะกอนดินไปยังแหล่งผลิตเครื่องปั้นดินเผาจึงไม่คุ้มค่าในเชิงเศรษฐกิจ

จากผลงานวิจัยการเตรียมเนื้อดินปั้นผสมดินตะกอนจากการผลิตน้ำประปา พบว่าดินตะกอนน้ำประปาซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีและแร่ เหมือนกับดินเหนียวทั่วไป และเมื่อนำน้ำตะกอนดินไปผ่านเครื่อง spray dryer จะได้เม็ดดินลักษณะกลม จากการผสมเม็ดดินที่เผาแล้วในเนื้อดินเหนียวบ้านกวน (สิริพรรณ นิลไพรัชและคณะ, 2550) พบว่าตัวอย่างแห้งดินที่มีตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปาเป็นองค์ประกอบและเผาที่อุณหภูมิ 900 และ 1,000 องศาเซลเซียส มีค่าการหดตัวต่ำกว่า การดูดซึมน้ำสูงกว่า และความแข็งแรงสูงกว่าตัวอย่างแห้งดินเผาจากดินเหนียวบ้านกวนที่ไม่ผสมตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปา

บทที่ 3

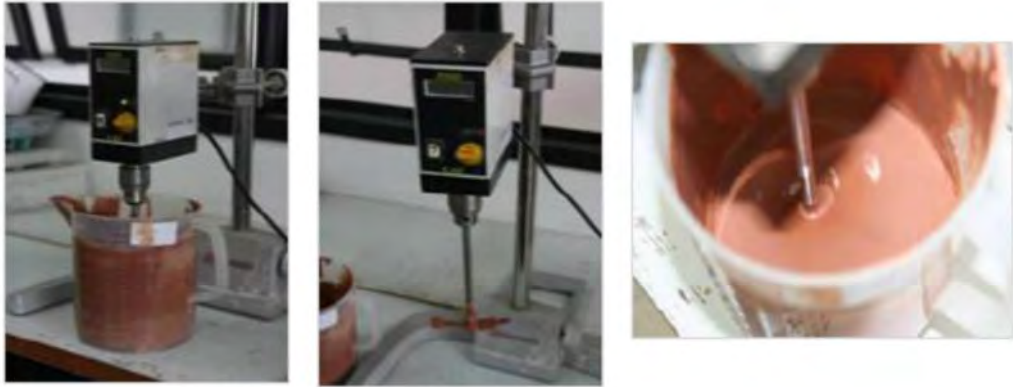
วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการวิจัยประกอบด้วย

- 3.1 เตรียมชิ้นงานดินเผาด้วยเทคนิคหล่อน้ำดินที่มีการผสมดินตะกอนน้ำประปาและทดสอบสมบัติ
- 3.2 เตรียมไมโครแคปซูลไคโตซานและทำการบรรจุน้ำมันหอมระเหย (ลาเวนเดอร์ และเจอรานีโอล) และการทดสอบประสิทธิภาพการกักเก็บและการคงอยู่ของน้ำมันหอมระเหย
- 3.3 การตกแต่งเคลือบผิวดินเผาเพื่อตกแต่งกลิ่นน้ำมันหอมระเหย(กลิ่นลาเวนเดอร์ และเจอรานีโอล)

3.1 การเตรียมชิ้นงานดินเผาโดยวิธีหล่อน้ำดิน

1. ดินตัวอย่างนำมาอบแห้งที่ 105 องศาเซลเซียส และทำการบดย่อยให้มีขนาดเล็กด้วยโกร่งจนมีขนาดเล็กกว่า 1 เซนติเมตร
2. เตรียมน้ำดินหล่อโดยใช้ดินแห้ง 500 กรัม น้ำสะอาด 300 มิลลิลิตร
3. ผสมน้ำกับสารละลายโซเดียมซิลิเกต 2.5 กรัม แล้วเทดินที่เตรียมไว้ลงผสมตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง เพื่อให้ปั้นผสมได้ง่าย
4. กวนส่วนผสมด้วยเครื่องปั่นให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ใช้เวลาประมาณ 15-30 นาที
5. ปรับความหนืดและการไหลด้วย การเติมสารละลายโซเดียมซิลิเกตและน้ำ
6. กรองผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช(150 ไมครอน) แล้วนำน้ำดินที่ได้มาปั้นอีกครั้ง
7. ปรับค่าความหนืดให้อยู่ในช่วงประมาณ 500 เซนติพอยส์และมีค่าความหนาแน่นน้ำดินประมาณ 1.4-1.6 กรัมต่อมิลลิลิตร
8. ทำการขึ้นรูปแบบกลวงในแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ โดยการเทลงในแม่พิมพ์ และทิ้งไว้ 30 นาที เทน้ำดินส่วนเกินออก
9. ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1-2 ชั่วโมง แล้วจึงแกะออกจากแบบ ได้ชิ้นงานตัวอย่างมีความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร
10. ตกแต่งชิ้นงานตั้งทิ้งให้แห้งในห้องปฏิบัติการ 1 วัน
11. อบชิ้นงานที่ 105 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิท
12. เผาชิ้นงานที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ที่อัตราเร็วในการให้ความร้อน 5 องศาเซลเซียสต่อนาที
13. ชิ้นงานที่ได้ใช้สำหรับการทดสอบและเคลือบด้วยแคปซูลบรรจุน้ำมันหอมระเหยต่อไป



รูปที่ 3.1 เครื่องปั่นกวนน้ำดินและวิธีกวนผสมน้ำดิน



รูปที่ 3.2 แม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์และขั้นตอนการเทแบบ



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างชิ้นงานก่อนเผาและหลังเผา

โดยมีสัดส่วนสูตรการผสมน้ำดินเพื่อการหล่อแบบดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สูตรผสมน้ำดินสำหรับการหล่อแบบ

ส่วนผสม	สัดส่วนที่ใช้	
	หน่วย	ปริมาณ
ดินแห้ง	กิโลกรัม	10
น้ำ	ลิตร	7
แบเรียมคาร์บอเนต	กรัม	100
โซเดียมคาร์บอเนต	กรัม	50
โซเดียมซิลิเกต(น้ำหนักเปียก)	กรัม	100
สัดส่วนน้ำ	เปอร์เซ็นต์	41
ความถ่วงจำเพาะ	กิโลกรัมต่อลิตร	1.56

จากนั้นขึ้นงานดินหล่อแบบที่ได้จะนำไปทำการวัดค่าการดูดซึมน้ำและความหนาแน่น ต่อไป

3.2 การเตรียมไมโครแคปซูลไคโตซานด้วยวิธี อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (o/w emulsion)

สารเคมีและอุปกรณ์

1. สารละลาย chitosan 1.2% (w/v) ในกรด acetic 1% (v/v)
2. Tween60
3. TPP(tri-polyphosphate)
4. Lavender oil และ Geraniol oil
5. Dialysis membrane (M_w cut off 3500 Da)

การเอนแคปซูลชันน้ำมันหอมระเหย

กวนสารละลายไคโตซาน 40 มล. ผสมกับ 0.3 กรัม สาร tween 60 นาน 30 นาที ที่อุณหภูมิ 50 °C ค่อย ๆ หยคน้ำมันหอมระเหย(กลิ่นลาเวนเดอร์ หรือ เจอรานีโอล) 0.1 กรัม (เปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำมันหอมระเหยเป็น 0.1, 0.3, 0.5 และ 0.75 กรัม) ลงในสารผสมข้างต้น กวนอย่างแรงเป็นเวลา 20 นาที จากนั้นค่อย ๆ หยด 1% TPP 40 มล. เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางที่ผิวของไคโตซาน ทำการกวนอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 นาที นำไปเซนทริฟิวส์ที่ความเร็วรอบ 3500 rpm นาน 15 นาที เก็บไมโครแคปซูลที่ได้แล้วนำมาล้างด้วยน้ำกลั่น 3-4 ครั้ง จากนั้นนำไปทำการตรวจสอบสัณฐานภายนอกของไมโครแคปซูลโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง(OM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และศึกษาประสิทธิภาพการกักเก็บของไมโครแคปซูลและการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยทั้งสองชนิดต่อไป

3.3 การตกแต่งเคลือบผิวดินเผาเพื่อตกแต่งกลิ่นน้ำมันหอมระเหย(กลิ่นลาเวนเดอร์ และเจอรานีโอล) สารเคมี&อุปกรณ์

1. ไมโครแคปซูลโคโตนานบรจุน้ำมันหอมระเหย (เจอรานีโอล และ ลาเวนเดอร์) ในรูปสารแขวนลอยหรืออิมัลชันที่มีความเข้มข้นของไมโครแคปซูล 30%ในสารละลายเอทานอล 75%
2. ชิ้นงานดินเผาตัวอย่างที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส และมีดินเผานาโนร้อยละ 30 เป็นส่วนประกอบ

เทคนิคการเคลือบชิ้นงานตัวอย่าง

แบบที่ 1 การจุ่มเคลือบ

1. แช่ตัวอย่างชิ้นงานในอิมัลชันที่เตรียมไว้ที่เวลาต่างๆ กัน 15 30 และ 60 นาที ตามลำดับ
2. ทิ้งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง ประมาณ 12 ชั่วโมง
3. เก็บตัวอย่างไว้รอการทดสอบต่อไป
4. ตรวจสอบค่าความชื้นของชิ้นงานตัวอย่าง
5. เก็บตัวอย่างไว้รอการทดสอบร้อยละการคงอยู่ของน้ำมันหอมระเหยทั้งสองชนิด

แบบที่ 2 การสเปรย์เคลือบ เคลือบด้วยวิธีการพ่นการเคลือบด้วยวิธีนี้ ทำให้ได้เคลือบที่สม่ำเสมอ

1. ทำการพ่นเคลือบอิมัลชันของไมโครแคปซูลที่บรรจุน้ำมันหอมระเหย ลงบนผิวตัวอย่างชิ้นงาน ให้ทั่วทั้งชิ้นงาน
2. ทิ้งให้แห้งที่อุณหภูมิห้องประมาณ 5 ชม.
3. เก็บตัวอย่างไว้รอการทดสอบต่อไป
4. ตรวจสอบค่าความชื้นของชิ้นงานตัวอย่าง
5. เก็บตัวอย่างไว้รอการทดสอบร้อยละการคงอยู่ของน้ำมันหอมระเหยทั้งสองชนิด

3.4 การวิเคราะห์ทดสอบ

3.4.1 การทดสอบหาความชื้นของชิ้นงานดินเผา

1. ชั่งน้ำหนักของชิ้นงานตัวอย่างก่อนอบแห้ง (w_1)
2. อบชิ้นงานตัวอย่างที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
3. ชั่งน้ำหนักชิ้นงานตัวอย่างหลังอบแห้ง (w_2)
4. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นในชิ้นงานตัวอย่าง จากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้นในชิ้นงาน} = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100$$

3.4.2 การทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำของซิงงาน

- 1 นำซิงงานตัวอย่างหลังเผาไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 2 ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
- 3 ชั่งน้ำหนักของซิงงานตัวอย่าง (w_1)
- 4 นำซิงงานตัวอย่างไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง
- 5 ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วนำซิงงานตัวอย่างไปซับหมาดๆด้วยผ้าสำลี
- 6 ชั่งน้ำหนักซิงงานตัวอย่าง (w_2)
- 7 คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำจากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ} = \frac{w_2 - w_1}{w_1} \times 100$$

3.4.3 การหาค่าร้อยละการกักเก็บน้ำมันหอมระเหย (Entrapment Efficiency), %EE

เติมเอทานอล 40 มล. ลงในไมโครแคปซูลบรรจุน้ำมันหอมระเหยในสภาพเปียก (wet microcapsule) นำไปทำการ sonication ภายใต้อุณหภูมิสูง (450 เฮิร์ตซ์) เป็นเวลา 20 นาที เพื่อให้ไมโครแคปซูลเกิดการกระจายตัว จากนั้นทำการบีบอัด 3.0 มล. สารละลายผสมใส่ในถุง dialysis และนำไปแช่ในเอทานอล 15 มล. ภายใต้อุณหภูมิห้องนาน 24 ชั่วโมง วิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันหอมระเหยกลั่นลาเวนเดอร์ที่ปลดปล่อยออกมาด้วยเครื่อง UV/Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 273 nm

$$\%EE = \frac{\text{ปริมาณน้ำมันหอมระเหยกลั่นลาเวนเดอร์ที่ใช้จริง}}{\text{ปริมาณน้ำมันหอมระเหยกลั่นลาเวนเดอร์ที่วัดได้}} \times 100$$

3.4.4 การหาปริมาณการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยจากไมโครแคปซูล (Release studies), %Release

นำ 100 มก. ไมโครแคปซูลโคโคซานบรรจุน้ำมันหอมระเหย มาผสมกับน้ำกลั่นปริมาตร 10 มล. และนำไปบรรจุใน dialysis membrane ($MW_{\text{cut off}} = 15,000\text{Da}$) และนำไปแช่บีกเกอร์บรรจุน้ำกลั่นปริมาตร 200 มล. ภายใต้อุณหภูมิห้องอย่างต่อเนื่อง เป็นเวลานาน 15 วัน และเก็บตัวอย่างสารละลายในบีกเกอร์ตามเวลาที่กำหนดมาครั้งละ 1 มล. (เติมน้ำกลั่นจำนวน 1 มล. ลงไปแทนที่ปริมาตรที่เก็บตัวอย่างมาเพื่อรักษาปริมาตรสารละลายในบีกเกอร์ให้คงที่) เพื่อทำการวัดปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ปลดปล่อยออกมา (Flavia O.M.S. Abreu, 2012)

3.4.5 การหาปริมาณน้ำมันหอมระเหยคงอยู่ในชิ้นงานตัวอย่างที่เวลาต่างๆ กัน

เก็บตัวอย่างชิ้นงานดินเผาน้ำหนัก 5 กรัม ที่ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องในสภาพปิดในถุงซิปลึ้นที่เวลาต่างๆ กัน 24 48 72 96 และ 120 ชั่วโมง ตามลำดับ แช่ในสารละลายเอทานอล 95% ปริมาตร 50 มล. และนำไปทำการ sonication เป็นเวลา 20 นาที เพื่อให้ไมโครแคปซูลเกิดการกระจายตัวและหลุดออกจากชิ้นงาน จากนั้นทำการบีบอัด 3.0 มล.ของสารละลายผสมเอทานอลที่มีไมโครแคปซูลที่หลุดออกมา ใส่น้ำในถุง dialysis และนำไปแช่ใน เอทานอล 100% ปริมาตร 15 มล. ภายใต้การกวนอย่างต่อเนื่อง (60 rpm) ที่อุณหภูมิห้องนาน 24 ชั่วโมง ทำการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ปลดปล่อยออกมาด้วยเครื่อง UV/Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 273 nm

$$\text{ร้อยละน้ำมันหอมระเหยคงเหลือ} = \frac{\text{ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่มี}}{\text{ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่วัดได้}} \times 100$$

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 การขึ้นรูปชิ้นงานตัวอย่างด้วยเทคนิคหล่อน้ำดิน

ชิ้นงานดินจากการหล่อแบบและเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส จากการเลือกใช้เนื้อดินจากอำเภอป่าโมก และอำเภอไชโย จังหวัดอ่างทอง ประกอบด้วย

ตารางที่ 4.1 ปริมาณน้ำที่ใช้และสมบัติต่างๆ ของน้ำดินที่เตรียมได้ในห้องปฏิบัติการ

แหล่งดิน (จังหวัดอ่างทอง)	ความหนาแน่น (กรัมต่อตาราง เซนติเมตร)	ปริมาณน้ำ (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณโซเดียมซิลิเกต (เปอร์เซ็นต์)	ความหนืด (เซนติพอยด์)
อำเภอป่าโมก	1.56	41	0.86	434
อำเภอไชโย	1.52	42	0.80	466

จากการทดลองการขึ้นรูปชิ้นงานเครื่องปั้นดินเผาที่ผสมด้วยดินตะกอนน้ำประปาที่อัตราส่วนต่างๆ โดยวิธีการหล่อแบบพบว่าน้ำหนักของชิ้นงานมีค่าแปรผกผันกับอัตราส่วนของดินตะกอนน้ำประปาในชิ้นงาน โดยเมื่อชิ้นงานเครื่องปั้นดินเผาที่มีอัตราส่วนของดินตะกอนน้ำประปาเพิ่มมากขึ้น ชิ้นงานจะมีน้ำหนักเบาลง



รูปที่4.1 ชิ้นงานเครื่องปั้นดินเผาดินแดงป่าโมก



รูปที่4.2 ชิ้นงานเครื่องปั้นดินเผาดินคำอำเภอลำไทร

ตารางที่ 4.2 แสดงน้ำหนักของชิ้นงานดินแดงป่าโมก

ชิ้นงาน	น้ำหนักก่อนอบแห้ง(g)	น้ำหนักหลังอบแห้ง (g)	น้ำหนักหลังเผาที่ 1000°c (g)
0%ดินตะกอนประปา			
1	91.92	90.07	83.32
2	92.39	90.58	83.90
3	91.70	89.82	83.13
เฉลี่ย	92.00	90.15	83.45
5%ดินตะกอนประปา			
1	92.04	90.22	83.68
2	93.15	91.20	84.68
3	81.68	79.85	74.15
เฉลี่ย	88.95	87.09	80.84
10%ดินตะกอนประปา			
1	86.21	84.61	78.60
2	86.96	85.28	79.27
3	88.71	87.07	80.89
เฉลี่ย	87.29	85.65	79.58
20%ดินตะกอนประปา			
1	78.65	77.46	72.13
2	80.05	78.81	73.43
3	79.24	78.05	72.68
เฉลี่ย	79.31	78.11	72.75
30%ดินตะกอนประปา			
1	78.76	77.61	72.46
2	74.84	73.76	68.87
3	78.08	76.92	71.81
เฉลี่ย	77.23	76.10	71.04

ตารางที่ 4.3 แสดงน้ำหนักของชิ้นงานดินอำเภอยุโย

ชิ้นงาน	น้ำหนักก่อนอบแห้ง (g)	น้ำหนักหลังอบแห้ง (g)	น้ำหนักหลังเผาที่ 1000°C (g)
0%ดินตะกอนประปา			
1	84.96	77.56	70.53
2	83.99	76.50	69.60
3	85.68	78.42	71.27
เฉลี่ย	84.88	77.49	70.47
5%ดินตะกอนประปา			
1	57.26	53.83	49.62
2	79.51	73.99	67.53
3	83.78	77.87	71.06
เฉลี่ย	73.52	68.56	62.70
10%ดินตะกอนประปา			
1	80.12	75.20	68.81
2	81.59	76.16	69.67
3	81.27	75.96	69.48
เฉลี่ย	80.99	75.78	69.32
20%ดินตะกอนประปา			
1	70.32	66.61	61.41
2	68.37	64.58	59.55
3	68.75	65.02	59.71
เฉลี่ย	69.15	65.40	60.22
30%ดินตะกอนประปา			
1	69.60	66.42	61.64
2	68.84	65.61	60.91
3	67.64	64.49	59.83
เฉลี่ย	68.69	65.51	60.79

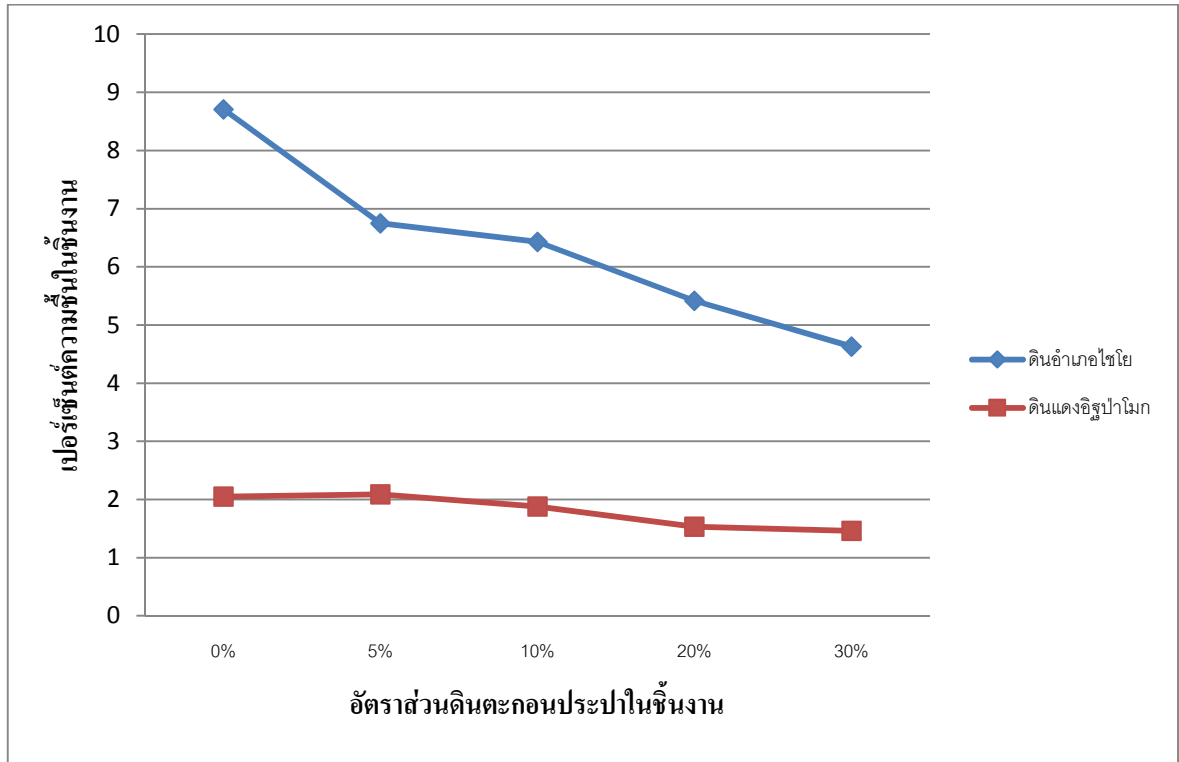
จากการทดลองหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของชิ้นงานเครื่องปั้นดินเผาที่ผสมด้วยดินตะกอนน้ำประปาที่อัตราส่วนต่างๆพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นในชิ้นงานจะมีค่าแปรผกผันกับอัตราส่วนของดินตะกอนน้ำประปาในชิ้นงาน โดยเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของดินตะกอนน้ำประปาในชิ้นงานจะทำให้ชิ้นงานมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นลดน้อยลง โดยมีสาเหตุมาจากการที่ดินตะกอนน้ำประปาไม่เปื่อยยุ่ยในการขึ้นรูปแต่จับตัวเป็นก้อนแข็งเป็นกลุ่มย่อยๆ ทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคดินได้ไม่ดีหลังการขึ้นรูปชิ้นงาน ส่งผลให้ชิ้นงานมีรูพรุนมากทำให้การระเหยของน้ำเกิดขึ้นได้ดีทำให้ชิ้นงานมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นลดน้อยลง

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองการหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของชิ้นงานดินแดงอำเภอป่าโมก

ชิ้นงานเครื่องปั้นดินเผา ดินแดงอำเภอป่าโมก	น้ำหนักเฉลี่ยก่อน อบแห้ง (g)	น้ำหนักเฉลี่ยหลัง อบแห้ง (g)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น ในชิ้นงาน
0% ดินตะกอนประปา	92.00	90.15	2.05
5% ดินตะกอนประปา	88.95	87.09	2.09
10%ดินตะกอนประปา	87.29	85.65	1.88
20% ดินตะกอนประปา	79.31	78.11	1.53
30% ดินตะกอนประปา	77.23	76.10	1.46

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองการหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของชิ้นงานดินอำเภอไชโย

ชิ้นงานเครื่องปั้นดินเผา ดินดำอำเภอไชโย	น้ำหนักเฉลี่ยก่อน อบแห้ง (g)	น้ำหนักเฉลี่ยหลัง อบแห้ง (g)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นใน ชิ้นงาน
0% ดินตะกอนประปา	84.88	77.49	8.71
5% ดินตะกอนประปา	73.52	68.56	6.75
10%ดินตะกอนประปา	80.99	75.78	6.43
20% ดินตะกอนประปา	69.15	65.40	5.42
30% ดินตะกอนประปา	68.69	65.51	4.63



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของชั้นงาน

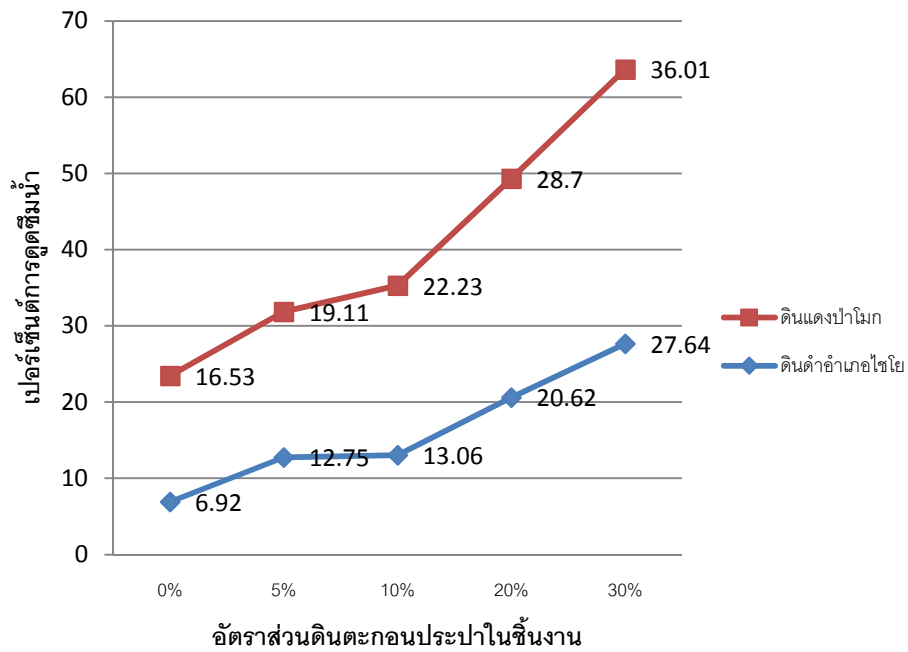
จากการทดลองหาการดูดซึมน้ำของชั้นงานเครื่องปั้นดินเผาที่ผสมด้วยดินตะกอนน้ำประปาที่อัตราส่วนต่างๆพบว่าและค่าอัตราการดูดซึมน้ำของชั้นงานมีค่าแปรผันตรงตามอัตราส่วนของดินตะกอนน้ำประปาในชั้นงาน โดยเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของดินตะกอนน้ำประปาในชั้นงานจะทำให้ชั้นงานมีค่าอัตราการดูดซึมน้ำเพิ่มมากขึ้น โดยมีสาเหตุมาจากการรวมตัวของอนุภาคดินระหว่างดินเหนียวและดินตะกอนน้ำประปาที่รวมตัวได้ไม่ค่อยดีส่งผลให้ชั้นงานเกิดรูพรุนมากทำให้มีช่องว่างภายในมาก ค่าการดูดซึมน้ำจึงมีค่าสูงขึ้นเมื่อปริมาณดินตะกอนน้ำประปาเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองการหาค่าการดูดซึมน้ำของชั้นงานดินแดงป่าโมก

ชั้นงาน	น้ำหนักหลังอบแห้ง (g) (w1)	น้ำหนักหลังต้มน้ำ เดือด (g) (w2)	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ
0%ดินตะกอนประปา			
1	83.32	96.87	16.26
2	83.90	97.90	16.68
3	83.13	96.99	16.67
เฉลี่ย	83.45	97.25	16.53
5%ดินตะกอนประปา			
1	83.68	99.91	19.46
2	84.68	101.32	19.65
3	74.65	87.62	18.17
เฉลี่ย	80.83	96.28	19.11
10%ดินตะกอนประปา			
1	78.60	96.00	22.14
2	79.27	97.09	22.48
3	80.29	98.74	22.06
เฉลี่ย	79.58	97.27	22.23
20%ดินตะกอนประปา			
1	72.13	92.61	28.39
2	73.43	94.81	29.11
3	72.68	93.48	28.61
เฉลี่ย	72.75	93.63	28.70
30%ดินตะกอนประปา			
1	72.41	98.30	35.75
2	68.87	94.15	36.70
3	71.81	97.40	35.63
เฉลี่ย	71.03	96.61	36.01

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดลองการหาค่าการดูดซึมน้ำของชั้นงานดินอำเภอไชโย

ชั้นงาน	น้ำหนักหลังอบแห้ง (g) (w1)	น้ำหนักหลังต้มในน้ำ เดือด (g) (w2)	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ
0%ดินตะกอนประปา			
1	70.53	75.02	6.36
2	69.60	74.28	6.72
3	50.61	54.65	7.98
เฉลี่ย	63.58	67.98	6.92
5%ดินตะกอนประปา			
1	49.12	55.68	13.35
2	67.53	75.81	12.26
3	71.06	80.15	12.79
เฉลี่ย	62.57	70.55	12.75
10%ดินตะกอนประปา			
1	68.81	77.39	12.47
2	69.67	79.01	13.40
3	69.48	78.71	13.28
เฉลี่ย	69.32	78.37	13.06
20%ดินตะกอนประปา			
1	61.41	73.65	19.93
2	59.55	72.12	21.11
3	59.71	72.16	20.85
เฉลี่ย	60.22	72.64	20.62
30%ดินตะกอนประปา			
1	61.64	78.59	27.49
2	60.91	77.87	27.84
3	59.83	76.23	27.41
เฉลี่ย	60.79	77.56	27.64



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าอัตราดูดซึมน้ำของดิน

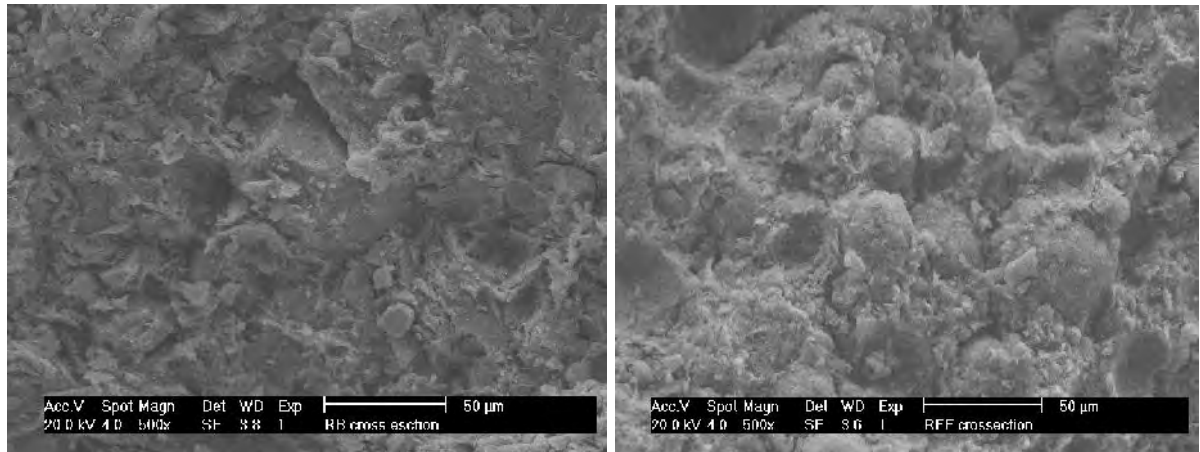
โดยสรุปคุณภาพเนื้อดินที่เหมาะสมสำหรับการใช้ทำหล่อแบบชิ้นงานที่เลือกใช้คือเนื้อดินจากอำเภอลำไทร เนื่องจากสามารถขึ้นรูปได้ชิ้นงานที่มีการหดตัวต่ำกว่าเมื่อเทียบกับอำเภอลำไทร และมีการแตกหักเสียหายน้อยกว่า และเมื่อนำมาผสมดินตะกอนน้ำประปาที่มีขนาดอนุภาคระดับนาโนเพื่อให้เกิดรูพรุนที่มีขนาดเล็กระดับนาโน และทำให้มีค่าการดูดซึมน้ำสูง ซึ่งพบว่ามีค่าความเหมาะสมกับการกักเก็บไมโครแคลเซียมฟอสเฟตและวิตามินดี

ตารางที่ 4.8 สมบัติชิ้นงานดินเผาก่อนและหลังการผสมดินตะกอนน้ำประปาที่การเผาที่ 950 องศาเซลเซียส

เนื้อดิน	ค่าการดูดซึมน้ำ (%)	พื้นที่ผิวรูพรุนขนาดเล็ก (ตารางเมตรต่อกรัม)	ขนาดรูพรุนเฉลี่ย (นาโนเมตร)
ไม่ผสมดินตะกอนน้ำประปา			
ป่าโมก	16.53	10.84	35.29
ลำไทร	6.92	10.57	33.54
ผสม 30% ดินตะกอนน้ำประปา			
ป่าโมก	36.01	16.94	45.44
ลำไทร	27.64	18.45	43.80

การวิเคราะห์ลักษณะภายในเนื้อดินเผาด้วยเทคนิค SEM

เมื่อพิจารณาโครงสร้างภาคตัดขวางที่พื้นผิวของชิ้นงาน ก่อนและหลังการผสมดินตะกอนน้ำประปา จะเห็นลักษณะของรูพรุน ที่อยู่ภายใน เนื้อชิ้นงานเรียกว่ารูพรุนปิด (Closed Pores) ดังรูปที่ 4.5 ในชิ้นงานที่มีการผสมดินตะกอนน้ำประปา โดยลักษณะความพรุนตัวที่เพิ่มขึ้นจะเห็นได้ชัดในชิ้นงานที่มีการผสมดินตะกอนน้ำประปาร้อยละ 30 โดยน้ำหนักดินแดง



(ก)

(ข)

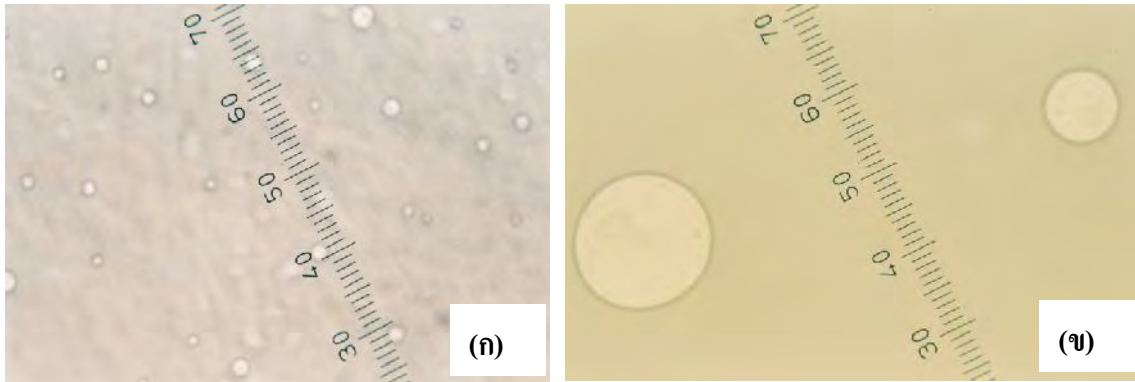
รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะภายในชิ้นงานดินเผา (ก) ก่อนและ (ข) หลังการผสมดินตะกอนน้ำประปา(30%) ที่กำลังขยาย 500 เท่า

ซึ่งการเผาชิ้นงานที่อุณหภูมิสูง (> 950 องศาเซลเซียส) เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งแรงสูง ในขณะที่ความพรุนตัวจะลดลง ในการเตรียมชิ้นงานที่มีความพรุนตัวสูงเหมาะสมกับการนำเคลือบด้วยไมโครแคปซูลบรรจุน้ำมันหอมระเหย จึงต้องทำการปรับปรุงให้ชิ้นงานดินเผามีค่าความพรุนตัวที่ต้องการ ซึ่งการผสมดินตะกอนน้ำประปา สามารถช่วยเพิ่มความพรุนตัวให้ชิ้นงานโดยคงความแข็งแรงให้ชิ้นได้

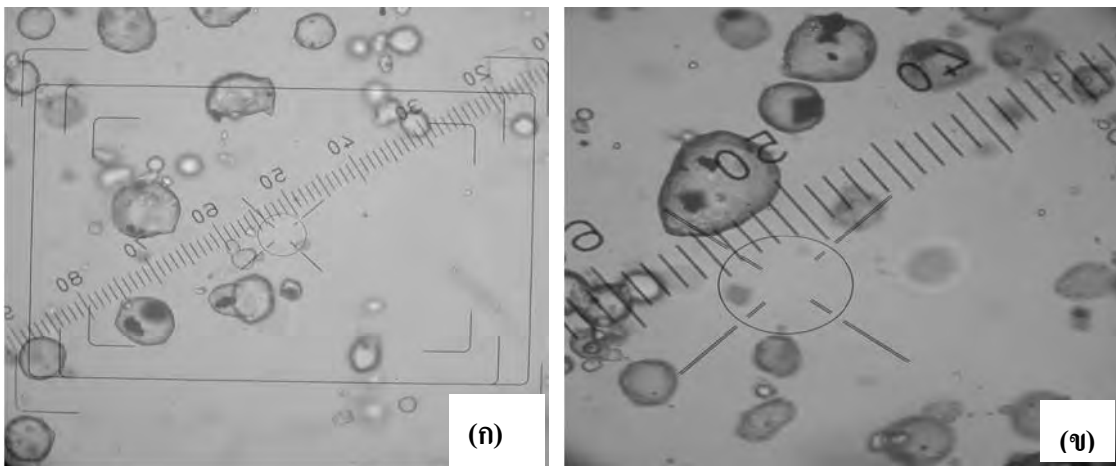
4.2 การเตรียมไมโครแคปซูลพอลิเมอร์

ไมโครแคปซูลโคโคซานที่เตรียมได้จากเทคนิคอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำและ ทำการเชื่อมขวางด้วยโซเดียมไทรพอลิฟอสเฟต โดยใช้เครื่อง ultrasonic processor ที่สภาวะในการขึ้นรูปด้วยเทคนิคอัลตราโซนิกจากการศึกษาสัณฐานภายนอกของไมโครแคปซูลโคโคซานด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดาพบว่าเมื่อมีการเติมน้ำมันหอมระเหยลงในสารละลายโคโคซานที่อัตราส่วนน้ำมันหอมระเหยต่อโซโคโคเดกซทรินเป็น 0.48:0.1 โดยน้ำหนัก จะเห็นได้ว่า น้ำมันหอมระเหยถูกตรึงไว้ภายในอนุภาคของโคโคซาน (รูปที่ 4.6) และเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่มากขึ้น (0.48:0.30, 0.48:0.50, 0.48:0.75) จะ

พบว่าขนาดของไมโครแคปซูลบรรจุน้ำมันหอมระเหยที่ได้มีขนาดการกระจายตัวในช่วงกว้าง (รูปที่ 4.7)

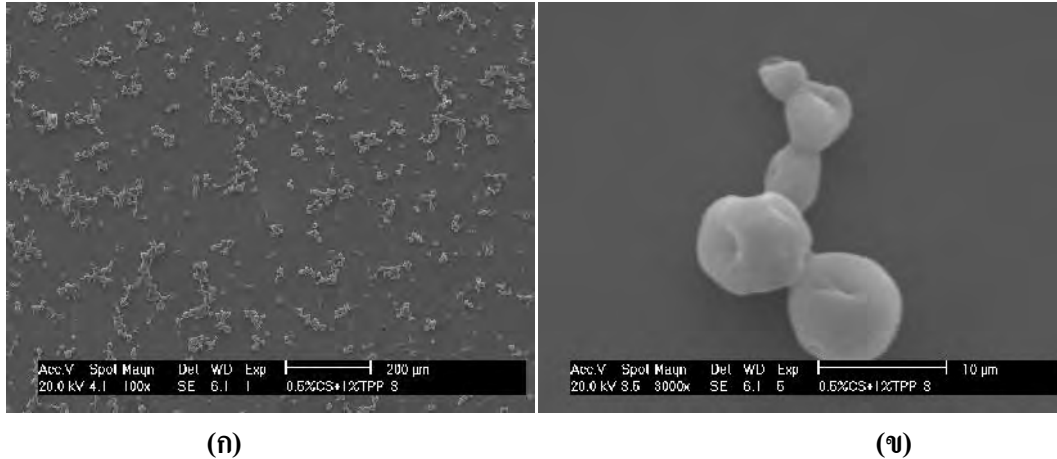


รูปที่ 4.6 แสดง ขนาดและรูปร่างไมโครแคปซูลบรรจุน้ำมันหอมระเหยก่อนทำแห้ง จากกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย (ก) 50 เท่า และ(ข) 100 เท่า ตามลำดับ



รูปที่ 4.7 แสดงขนาดและรูปร่างไมโครแคปซูลที่อัตราส่วนพอลิเมอร์ต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยมากขึ้น ก่อนทำแห้ง จากกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย (ก) 50 เท่า และ (ข) 100 เท่า ตามลำดับ

ซึ่งไมโครแคปซูลโคโคซานบรรจุน้ำมันหอมระเหยที่เตรียมได้มีสีขาวขุ่น เมื่อทำแห้ง พบว่าไมโครแคปซูลมีการกระจายขนาดค่อนข้างสม่ำเสมอ คงรูปได้ดีในเอทานอล และมีค่าการบวมตัวในน้ำกลั่นร้อยละ 50 ลักษณะรูปร่างและขนาดไมโครแคปซูลบรรจุน้ำมันหอมระเหยหลังทำแห้ง มีรูปทรงกลม ขนาดอนุภาคในช่วง 5-10 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงขนาดและรูปร่างไมโครแคปซูลไคโตซานที่กำลังขยาย (ก) 100 และ(ข) 3000 เท่าตามลำดับ

4.2.1 ประสิทธิภาพการกักเก็บ(entrapment efficiency , EE)น้ำมันหอมระเหย

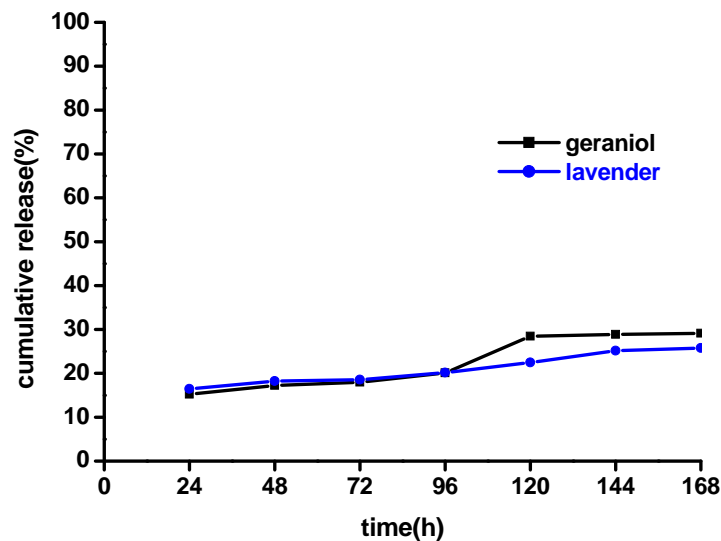
ในการเตรียมอนุภาคไมโครแคปซูลชั้นน้ำมันหอมระเหยทั้งสองชนิด โดยใช้ไคโตซานเป็นสารกักเก็บ โดยใช้เทคนิค UV-VIS และวัดที่ความยาวคลื่น 273 nm ในการวิเคราะห์ พบว่าที่ปริมาณสัดส่วนของน้ำมันหอมระเหยต่อไคโตซานที่เพิ่มขึ้น ทำให้ร้อยละการกักเก็บน้ำมันหอมระเหยมีค่าลดลงดังตารางที่ 4.9 โดยที่ประสิทธิภาพการกักเก็บน้ำมันหอมระเหยทั้งสองชนิดมีค่าร้อยละการกักเก็บในช่วง 5 ถึง 22 และพบว่า ร้อยละการกักเก็บน้ำมันหอมระเหยสูงสุดอยู่ที่อัตราส่วนไคโตซานต่อน้ำมันหอมระเหย 0.48:0.10 ในน้ำมันหอมระเหย ทั้งสองชนิด มีค่าเท่ากับ 15.06 และ 22.00 สำหรับลาเวนเดอร์ และเจอราเนียมอล ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพในการกักเก็บเจอราเนียมอลจะมีค่าสูงกว่า ลาเวนเดอร์เล็กน้อย

ตารางที่ 4.9 แสดงประสิทธิภาพการกักเก็บน้ำมันหอมระเหยของไมโครแคปซูลไคโตซาน

พอลิเมอร์ : น้ำมันหอมระเหย (w/w)	ประสิทธิภาพการกักเก็บ (%EE)	
	Lavender	Geraniol
0.48:0.10	15.60	22.00
0.48:0.30	6.72	8.56
0.48:0.50	6.38	7.80
0.48:0.75	5.54	6.53

4.2.2 การปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยจากไมโครแคปซูล (Release studies), %Release

ในการทดสอบการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยทั้งสองชนิดจากไมโครแคปซูลไคโตซานในสภาวะปิดที่อุณหภูมิห้อง ได้ทำการนำเฉพาะสูตรผสมไมโครแคปซูลบรรจุน้ำมันหอมระเหยที่อัตราส่วน 0.48:0.1 ซึ่งเป็นสูตรผสมที่มีปริมาณการกักเก็บน้ำมันหอมระเหยทั้งสองชนิดสูงสุด มาทำการศึกษาการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหย โดยทำการวัดปริมาณน้ำมันหอมระเหยคงเหลือในไมโครแคปซูลที่เวลาต่าง ๆ กัน เป็นเวลา 15 วัน โดยเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.9 แสดงกราฟการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยทั้งสองชนิด ในช่วง 7 วันแรก จะเห็นได้ว่า มีการปลดปล่อยอย่างต่อเนื่องและช้าๆ ในช่วง 4 วันแรก และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในวันที่ 5 โดยที่ไมโครแคปซูลที่บรรจุน้ำมันหอมระเหยทั้งสองชนิด และเมื่อผ่านไป 15 วัน มีปริมาณ เจอรานีโอลและลาเวนเดอร์ คงเหลือในไมโครแคปซูลไคโตซาน คิดเป็นร้อยละ 69.32 และ 54.15 ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 4.10



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหย geraniol และ lavender ในช่วง 7 วันแรกหรือ 168 ชั่วโมงแรก

ตารางที่ 4.10 แสดงปริมาณน้ำมันหอมระเหยเจอรานีโอลคงเหลือหลังการปลดปล่อยที่เวลาต่าง ๆ กัน

ไมโครแคปซูล: น้ำมันหอมระเหย	ปริมาณคงเหลือของน้ำมันเจอรานีโอล (%) ที่เวลาต่าง ๆ กัน			
	24 ชั่วโมง	48 ชั่วโมง	เมื่อครบ 7 วัน	เมื่อครบ 15 วัน
0.48:0.10				
ลาเวนเดอร์	83.55	81.77	74.86	54.11
เจอรานีโอล	84.79	82.75	71.15	69.32

4.2.3 การดูดซึมน้ำของชิ้นงานก่อนและหลังเคลือบไมโครแคปซูล

ภายหลังการเคลือบไมโครแคปซูลบนชิ้นงานด้วยเทคนิคต่างๆ กันคือ จุ่มเคลือบและพ่นเคลือบ ที่เวลาต่างๆ กัน และนำมาวัดค่าการดูดซึมน้ำของชิ้นงาน พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับชิ้นงานที่ไม่ผ่านการเคลือบหรือบรรจุไมโครแคปซูลลงในชิ้นงาน(ตารางที่ 4.8) และพบว่าค่าการดูดซึมน้ำมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ที่เวลาผ่านไป 30 วัน

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าการดูดซึมน้ำของชิ้นงานหลังเคลือบไมโครแคปซูลด้วยกระบวนการจุ่มเคลือบ และพ่นเคลือบ ที่เวลาต่างๆกัน

ร้อยละการดูดซึมน้ำ (% water absorption)		
days	การพ่นเคลือบ (spray)	การจุ่มเคลือบ(immerse)
0	39.54	39.54
10	40.07	40.87
20	39.32	41.07
30	40.83	41.17

4.2.3 ร้อยละคงเหลือของน้ำมันหอมระเหยในชิ้นงานดินเผา

ในการทดสอบ ได้นำเฉพาะสูตรผสมไมโครแคปซูลโคโคซานบรรจุน้ำมันหอมระเหยที่อัตราส่วน 4.8:1 (โคโคซาน : น้ำมันหอมระเหย) ซึ่งเป็นอัตราส่วนให้ค่าการกักเก็บน้ำมันหอมระเหยทั้งสองชนิดสูงสุด มาวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันหอมระเหยคงเหลือในชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบ โดยวิธีจุ่มเคลือบและพ่นเคลือบ ที่เวลาต่างๆ กัน จนครบ 30 วัน ได้ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.12 แสดงปริมาณน้ำมันหอมระเหยเจอร์านีออกคงเหลือในชิ้นงานที่เวลาต่าง ๆ กัน

เทคนิคการเคลือบ	ร้อยละคงเหลือของเจอร์านีออก ที่เวลาต่าง ๆกัน (ชั่วโมง)			
	7 วัน	15 วัน	21 วัน	30 วัน
จุ่มเคลือบ	85.35	67.90	49.64	44.21
พ่นเคลือบ	82.09	65.12	38.88	32.10

ตารางที่ 4.13 แสดงปริมาณน้ำมันหอมระเหยลาเวนเดอร์คงเหลือในชิ้นงานที่เวลาต่าง ๆ กัน

เทคนิคการเคลือบ	ร้อยละคงเหลือของลาเวนเดอร์ ที่เวลาต่าง ๆกัน (ชั่วโมง)			
	7 วัน	15 วัน	21 วัน	30 วัน
จุ่มเคลือบ	83.33	65.21	45.23	41.23
พ่นเคลือบ	80.12	61.90	39.06	30.34

เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำมันหอมระเหยคงเหลือในชิ้นงานที่เวลาต่าง ๆ กัน (ตารางที่ 4.11-4.12) จะเห็นได้ว่า ยังมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยคงเหลือเกินกว่าร้อยละ 80 เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน ในทั้ง 2 วิธีของการเคลือบ และมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อผ่านไปครบ 30 วัน พบว่ายังมีปริมาณไมโครแคปซูลคงเหลือมากกว่าร้อยละ 30 ในทุกสูตรที่เตรียม และปริมาณคงเหลือในสูตรบรรจุน้ำมันเจอร์รานีออกมากกว่าเล็กน้อย โดยที่ค่าที่ได้มีความแตกต่างกันเล็กน้อย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

ในการวิจัยเพื่อเตรียมไมโครแคปซูลไคโตซานบรรจุน้ำมันหอมระเหยเคลือบชั้นงานดินเผาดินแดงที่เตรียมโดยกระบวนการหล่อน้ำดิน ในการสร้างสมบัติพิเศษคือให้มีกลิ่นหอมที่มีคงการอยู่ของกลิ่นหอมได้เป็นเวลานาน

1) การเตรียมชั้นงานดินเผาดินแดงโดยกระบวนการหล่อน้ำดินที่มีค่าการดูดซึมน้ำที่เหมาะสมคือมีค่ามากกว่าร้อยละ 30 ซึ่งมีความเหมาะสมกับการดูดซับหรือการบรรจุไมโครแคปซูลเข้าสู่ชั้นงานได้ดี ซึ่งจากการวิจัยได้ข้อสรุปว่า ในการเติมอนุภาคระดับนาโนของดินตะกอนน้ำประปา ที่ปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักเนื้อดินทำให้ได้ชั้นงานดินเผาที่มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำมากกว่า 30 ตามต้องการ โดยเลือกใช้เนื้อดินแดงจากอำเภอป่าโมก จังหวัดอ่างทอง ซึ่งเป็นเนื้อดินสำหรับทำอิฐ เป็นต้นแบบในการวิจัยนี้

2) การเตรียมไมโครแคปซูลบรรจุน้ำมันหอมระเหย ได้เลือกใช้ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์สำหรับเตรียมไมโครแคปซูล และชนิดน้ำมันหอมระเหยที่ต่างกัน 2 ชนิด คือลาเวนเดอร์และเจอร์านีโอลเป็นต้นแบบในการเตรียมและใช้เทคนิคอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำในการเตรียม พบว่าที่อัตราส่วนระหว่างไคโตซานต่อน้ำมันหอมระเหย เท่ากับ 0.48:0.10 โดยน้ำหนัก ให้ค่าการกักเก็บน้ำมันหอมระเหยได้ดีที่สุดในน้ำมันหอมระเหยทั้ง 2 ชนิด คือ ได้ร้อยละการกักเก็บ เท่ากับ 22.00 และ 15.06 สำหรับเจอร์านีโอลและลาเวนเดอร์ ตามลำดับ และเมื่อทำการศึกษาการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยที่เวลาผ่านไป 15 วัน เพื่อหาปริมาณคงเหลืออยู่ของน้ำมันหอมระเหยในไมโครแคปซูล พบว่า มีปริมาณน้ำมันหอมระเหยคงเหลืออยู่ ร้อยละ 69.32 และ 54.11 สำหรับ เจอรานีโอลและลาเวนเดอร์ ตามลำดับ

3) ปริมาณน้ำมันหอมระเหยคงเหลือในชั้นงานที่เวลาผ่านไป 30 วันมีค่าเกินกว่าร้อยละในทุกระยะที่เตรียม โดยที่ปริมาณคงเหลือในสูตรบรรจุน้ำมันเจอร์านีโอลมีค่ามากกว่าในแคปซูลบรรจุน้ำมันลาเวนเดอร์แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมของการเตรียมบรรจุน้ำมันหอมระเหย จากการวิจัยนี้ คือที่อัตราส่วนระหว่างพอลิเมอร์ต่อน้ำมันหอมระเหย เท่ากับ 0.48: 0.10 โดยน้ำหนัก และสามารถควบคุมการปลดปล่อยได้ยาวนานเกิน 30 วัน ซึ่งสามารถนำไปปรับใช้ได้กับน้ำมันหอมระเหย ชนิดอื่นๆ ได้ โดยที่มีข้อจำกัดที่สมบัติของวัสดุที่จะนำไปเคลือบต้องมีความพรุนตัวระดับนาโนเมตร

บรรณานุกรม

1. Chomchalow, N. 2001. Essential oil and their role on human bodies and mind. AU J.T.(4) Pp 197-202
2. กิตติพันธ์ ต้นตระกูลโรจน์. การพัฒนาตำรับยาทาแก้นิยุงจากสมุนไพร. รวมบทความงานวิจัยการแพทย์แผนไทยและทิศทางการวิจัยในอนาคต สถาบันการแพทย์แผนไทย, 2543.
3. Gordon N., (2002) Application of microcapsulation in textiles., International Journal of Pharmaceutics 24255-62.
4. Richard, S.J., (1986) Encapsulation of Volatile Liquids. United States Patent, 4 576 737. 19.
5. Coma, V., Deschamps, A., & Martial-Gros, A. (2003). Bioactive packaging materials from edible chitisan polymer-antimicrobial activity assessment on diary-related contaminants. Journal of Food Sciences, 68(9), 2788-2792.
6. Goerke, O., Feike, E., Heine, T., Trampert, A., and Schubert, H., (2004) Ceramic coatings processed by spraying of siloxane precursors. Journal of the European Ceramic Society, 24:2141- 2147.
7. Flavia O.M.S. Abreu, Erick F.Oliveira, Haroldo C.B.Paula, Regina C.M. de Paula., (2012) Chitosan/cashew gum nanogels for essential oil encapsulation Carbohydrate Polymers, 89:4 : 1277-1282.
8. Dimitriu, S. "Polymeric Biomaterials", Marcel Dekker, New York, USA, 1993. Richardson, S.C.; Kolbe, H. V.; Duncan, R. Int. J. Pharm. 1999, 178 (2), 231. b) Pruden, J. F.; Miegel, P.; Friedlich, L.; Balassa, L. American Journal of Surgery 1970, 119, 5, 560-564.
9. Yamamoto, H.; Amaike, M.; Macromolecules 1997, 30, 3936-3937. b) Tomihata, K.; Ikada, Y. Biomaterials 1997, 18, 567-575.
10. Yao, K. D.; Peng, T.; Feng, H. B.; He, Y. Y. Polyether Polymer Network (Semi-IPN), 1994, Hydrogels, J. of Polym. Sci. Part A., Polym. Chem., Vol. 32, 1213-1223.
11. Vorlop, K.D.&Klein, J.(1981). Formation of spherical chitosan biocatalysts by ionotropic gelation., Biotechnology Letters, 3(1):9-14.

12. Hambleton, A., Debeaufort, F., Bonnotte, A., Voilley, A., (2009) Influence of Alginate emulsion-based films structure on its barrier properties and on the protection of microencapsulated aroma compound. *Food Hydrocollids*, 23:2116-2124.
13. Chan, E.S., (2011) Preparation of Ca-alginate beads containing high oil content: Influence of process variables on encapsulation efficiency and bead properties. 84:1267-1275.
14. Solomon, B., Sahle, F.F., Gebre-Mariam, T., Asres, K., Neubert, R.H.H. (2012). Microencapsulation of citronella oil for mosquito-repellent application: Formulation and *in vitro* permeation studies. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 80(1): 61-66.
15. Ocak, B., (2012) Complex coacervation of collagen hydrolysate extracted from leather solid wastes and chitosan for controlled release of lavender oil. *Journal of Environmental Management*, 100(15): 22-28.