

การประยุกต์เปลือกหอยแมลงภู่และหอยแครงผสมกับเศษแก้วและขยะซีเมนต์เพื่อผลิตอิฐคอนกรีต



บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

APPLICATION OF GREEN MUSSEL AND COCKLE SEASHELLS MIXED WITH WASTE GLASS
AND CEMENT WASTE TO PRODUCE CONCRETE BRICKS

Miss Chanya Punthama



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Biotechnology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์เปลือกหอยแมลงภู่มะนาวและหอยแครงผสมกับเศษแก้วและขยะซีเมนต์เพื่อผลิตอิฐคอนกรีต
โดย	นางสาวจรรยา พันธมา
สาขาวิชา	เทคโนโลยีชีวภาพ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุตา ศุภคต
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ดร.วราภรณ์ กนกกันตพงษ์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.พลกฤษณ์ แสงวณิช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.สิทธิโชค พวงทองทับ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุตา ศุภคต)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(อาจารย์ ดร.วราภรณ์ กนกกันตพงษ์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริลักษณ์ พุ่มประดับ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.เกษม จันทร์แก้ว)

จรรยา พันธมา : การประยุกต์เปลือกหอยแมลงภู่มะและหอยแครงผสมกับเศษแก้วและขยะซีเมนต์เพื่อผลิตอิฐคอนกรีต (APPLICATION OF GREEN MUSSEL AND COCKLE SEASHELLS MIXED WITH WASTE GLASS AND CEMENT WASTE TO PRODUCE CONCRETE BRICKS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร.นุตา ศุภคต, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: อ. ดร.วราภรณ์ กนกกันตพงษ์, 115 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตอิฐคอนกรีตจากเปลือกหอยแครงและเปลือกหอยแมลงภู่มะ ผสมกับขยะซีเมนต์ร่วมกับเศษแก้วและประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่อทรายเท่ากับ 11.11 : 22.22 : 66.67 เมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยขยะซีเมนต์ พบว่าเมื่อปริมาณขยะซีเมนต์เพิ่มขึ้นทำให้ค่าความต้านทานแรงอัดลดลงและค่าการดูดกลืนน้ำเพิ่มขึ้น อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อขยะซีเมนต์ที่เหมาะสมคือ 20 : 2.22 มีค่าความต้านทานแรงอัด 8.08 MPa และค่าการดูดกลืนน้ำร้อยละ 7.88 จากนั้นแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และขยะซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยแครงและหอยแมลงภู่มะ พบว่าเมื่อปริมาณเปลือกหอยเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความต้านทานแรงอัดลดลงและค่าการดูดกลืนน้ำเพิ่มขึ้น อัตราส่วนปูนซีเมนต์ ขยะซีเมนต์และเปลือกหอย (หอยแครงและหอยแมลงภู่มะ) ที่เหมาะสมเท่ากับ 19 : 2.11 : 1.11 โดยค่าความต้านทานแรงอัดและร้อยละการดูดกลืนน้ำของอิฐคอนกรีตผสมกับหอยแครงและหอยแมลงภู่มะเท่ากับ 6.41 MPa และ 7.44% กับ 6.30 MPa และ 7.91% ตามลำดับ นอกจากนี้ทำการแทนที่ทรายหยาบด้วยเศษแก้ว พบว่าเมื่อปริมาณเศษแก้วเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานแรงอัดและการดูดกลืนน้ำลดลงเท่ากับ อัตราส่วนที่ดีที่สุดที่เหมาะสมสำหรับนำวัสดุเหลือทิ้งไปผลิตเป็นอิฐคอนกรีตตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักชั้นคุณภาพ ค คือ ปูนซีเมนต์ : ขยะซีเมนต์ : เปลือกหอย (หอยแครงหรือหอยแมลงภู่มะ) : ทรายหยาบ : เศษแก้ว : น้ำ เท่ากับ 19 : 2.11 : 1.11 : 56.67 : 10 : 11.11 จากนั้นจึงนำไปประเมินวัฏจักรชีวิตอิฐคอนกรีต หน่วยหน้าที่เท่ากับ 100 กิโลกรัมคอนกรีต พบว่าผลกระทบด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming) ให้ผลกระทบมากที่สุดต่อสิ่งแวดล้อมที่สุดเท่ากับ 44.05 kg CO₂ eq

สาขาวิชา เทคโนโลยีชีวภาพ

ปีการศึกษา 2559

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

5772258523 : MAJOR BIOTECHNOLOGY

KEYWORDS: CONCRETE BRICKS / COCKLE SEASHELL / GREEN MUSSEL SEASHELL / WASTE GLASS

CHANYA PUNTHAMA: APPLICATION OF GREEN MUSSEL AND COCKLE SEASHELLS MIXED WITH WASTE GLASS AND CEMENT WASTE TO PRODUCE CONCRETE BRICKS. ADVISOR: ASST. PROF. NUTA SUPAKATA, Ph.D., CO-ADVISOR: VORAPOT KANOKKANTAPONG, Ph.D., 115 pp.

The objectives of this research were to study the properties of concrete bricks produced from green mussel and cockle seashell mixed with cement waste and waste glass and to evaluate the life cycle assessment of concrete bricks. In producing bricks, water, cement and sand were mixed into ratio of 11.11 : 22.22 : 66.67. By replacing cement with cement waste, it was found that compressive strength was decreased and water absorption was increased when increasing cement waste. The optimum ratio of cement and cement waste was 20 : 2.22 by weight obtaining 8.08 MPa of compressive strength and 7.88% of water absorption. In replacing cement and cement waste by seashell (cockle seashell and green mussel seashell), the result showed that addition of seashell content decreased compressive strength and increased water absorption of the bricks. The optimum mixtures of cement : cement waste : seashell was 19 : 2.11 : 1.11 by weight. Compressive strength and water absorption of bricks produced from cockle seashell was 6.41 MPa and 7.44% and from green mussel seashell were 6.30 MPa and 7.91% respectively. In addition, replacing sand by waste glass, the results revealed that compressive strength and water absorption was decreased when increasing waste glass. In conclusion, the optimum ratio of cement : cement waste : seashell (cockle seashell or green mussel seashell) : sand : water was 19 : 2.11 : 1.11 : 56.67 : 10 : 11.11 by weight. Then, the life cycle assessment was used to analyse functional unit (100 kg) of optimum ratio of concrete bricks. The result showed that the major impact was global warming with the value of 44.05 kg CO₂ eq.

Field of Study: Biotechnology

Academic Year: 2016

Student's Signature

Advisor's Signature

Co-Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ได้รับความอนุเคราะห์จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุตา ศุภคต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ ดร.วรวพจน์ กนกกันทพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาเสียสละเวลาให้ความรู้ ข้อเสนอแนะ ตลอดจนคำปรึกษาในการแก้ไขปัญหา ข้อบกพร่องต่างๆ และการดูแลเอาใจใส่จากอาจารย์มาโดยตลอด ระยะเวลาการทำงาน จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์รู้สึกซาบซึ้งในพระคุณของอาจารย์เป็นอย่างยิ่ง ผู้จัดทำโครงการจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.สิทธิโชค พวงทองทับ ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ในการเป็นประธานสอบวิทยานิพนธ์ รวมถึงศาสตราจารย์ ดร. เกษม จันทรแก้ว ผู้อำนวยการโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ที่กรุณาสละเวลาในการเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทาง การแก้ไขปัญหาจนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ บริษัท แก้วกรุงไทย จำกัด เขตมีนบุรี กรุงเทพมหานคร นายกเทศมนตรี เทศบาลตำบลเกาะสีชัง อำเภอกะสีชัง จังหวัดชลบุรีและผู้ใหญ่บ้านธเนศ คลองช่อง อำเภอมือง จังหวัดสมุทรสาคร ได้รับความอนุเคราะห์วัตถุบในการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์และเจ้าหน้าที่ดูแลห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและภาควิชาเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่ช่วยเหลือเพื่อสถานที่ ช่วยให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือเป็นอย่างดี

ขอกราบขอบคุณคุณอาจารย์ เจ้าหน้าที่ เพื่อนนิสิตที่ทำงานวิจัยด้วยกันและรุ่นน้อง ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมและหลักสูตรเทคโนโลยีชีวภาพทุกท่าน คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รวมถึงผู้มีพระคุณที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจทุกท่านที่ไม่ได้เอ่ยนามไว้ ณ ที่นี้ จนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ โครงการพัฒนากำลังพลด้านวิทยาศาสตร์ (ทุนเรียนดีแห่งประเทศไทย) ที่ได้มอบทุนการศึกษาในการศึกษาในครั้งนี้ สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อคุณแม่ ผู้ให้การอุปการคุณด้านการศึกษา พร้อมทั้งความรัก ความเอาใจใส่ และกำลังใจมาโดยเสมอมาตลอดจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	10
สารบัญรูปภาพ.....	13
บทที่ 1 บทนำ (Introduction).....	16
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	16
1.2 วัตถุประสงค์.....	18
1.3 สมมติฐานการวิจัย	18
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	19
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	20
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review).....	21
2.1 สภาพปัญหาโดยทั่วไป.....	21
2.1.1 เปลือกหอยแครงและหอยแมลงภู่.....	23
2.1.2 เปลือกหอยแมลงภู่.....	23
2.1.3 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอย	23
2.1.4 ลักษณะสมบัติของแคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกหอย	24
2.2 คอนกรีตบล็อก.....	24
2.2.1 นิยามและความหมาย	24
2.2.2 ความหมายในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม	25
2.2.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	26

2.2.4 ปฏิกริยาเคมีที่เกี่ยวข้อง	28
2.2.5 การบ่มคอนกรีต (Curing).....	29
2.2.6 มวลรวมหรือวัสดุผสม (Aggregate).....	31
2.2.7 น้ำ (Water)	32
2.3 แก้ว (Waste Glass).....	34
2.4 การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์	35
2.4.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope).....	36
2.4.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory)	37
2.4.3 การประเมินผลกระทบต่อตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment)	37
2.4.4 การแปลผล (Interpretation)	42
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	43
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย (Experiments).....	46
3.1 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือ สำหรับการทำให้วิจัย	46
3.1.2 วัสดุสำหรับการทำให้วิจัย.....	46
3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการวิจัย	46
3.2 ขั้นตอนดำเนินการทำให้วิจัย	47
3.2.1 ระยะที่ 1 ศึกษาลักษณะสมบัติของอิฐคอนกรีต	47
3.2.2 ระยะที่ 2 ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์อิฐคอนกรีต	54
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	60
4.1 การศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุดิบ	60
4.1.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุดิบ	60
4.1.2 ผลการวิเคราะห์โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของวัสดุดิบ	61

4.1.3 การกระจายขนาดของวัตุดิบ	62
4.1.4 การวิเคราะห์ทางความร้อนอุณหภูมิต่อหาช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผา เปลือกหอยแครงและเปลือกหอยแมลงภู่	63
4.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของอิฐคอนกรีต	65
4.2.1 อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างปูนซีเมนต์และขยะซีเมนต์	65
4.2.2 อัตราส่วนเปลือกหอยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และขยะซีเมนต์ที่เหมาะสม	66
4.2.3 อัตราส่วนเศษแก้วแทนที่ทรายหยาบที่เหมาะสมของอิฐคอนกรีต	68
4.2.3 ผลการวิเคราะห์โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของอิฐคอนกรีต.....	71
4.2.4 ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity)	72
4.2.5 พื้นผิวของวัสดุโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope).....	73
4.2.6 อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดของอิฐคอนกรีต.....	74
4.3 ผลการทดลองการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์อิฐคอนกรีต.....	75
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	90
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	90
5.1.1 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของอิฐคอนกรีต	90
5.1.2 การประเมินวัฏจักรชีวิตของอิฐคอนกรีตในหน่วยหน้าที่ปริมาณ 100 กิโลกรัม	90
5.2 ข้อเสนอแนะ	91
รายการอ้างอิง	93
ภาคผนวก.....	96
ภาคผนวก ก วิธีการเตรียมก้อนตัวอย่างอิฐคอนกรีต	97
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์วิเคราะห์ลักษณะสมบัติของวัตุดิบ	98
ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของอิฐคอนกรีต	104
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	115

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 เวลาขั้นต่ำในการบ่มคอนกรีต	31
ตารางที่ 2.2 ปริมาณที่ยอมให้น้ำมีสารเจือปนในน้ำได้	33
ตารางที่ 2.3 สมบัติของแก้วโซดาไลม์	34
ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต	38
ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมร้อยละโดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ขยะซีเมนต์ ทราายหยาบ น้ำ การผลิตอิฐคอนกรีต	49
ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนผสมร้อยละโดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ขยะซีเมนต์ เปลือก หอยทราายหยาบและน้ำ ในการผลิตอิฐคอนกรีต	50
ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนผสมร้อยละโดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ขยะซีเมนต์ เปลือก หอย ทราายหยาบ เศษแก้วและน้ำ ในการผลิตอิฐคอนกรีต	51
ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างรายการข้อมูลพลังงานเชื้อเพลิงในกระบวนการรับวัตถุดิบตั้งต้นของ ผลิตภัณฑ์อิฐบล็อกคอนกรีต	57
ตารางที่ 3.5 ตัวอย่างการคำนวณจากสูตรที่ 3.1	59
ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ขยะซีเมนต์ เปลือกหอยแครงที่ ผ่านการเผา เปลือกหอยแมลงภู่ที่ผ่านการเผา ทราายหยาบและเศษแก้วโดยเทคนิค เอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์	61
ตารางที่ 4.2 การกระจายขนาดของทราายหยาบและเศษแก้ว	63
ตารางที่ 4.3 ค่าความต้านทานแรงอัดและค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐคอนกรีตที่ได้รับการบ่มเป็น เวลา 28 วัน	75
ตารางที่ 4.4 บัญชีรายการของผลิตภัณฑ์อิฐคอนกรีตของอัตราส่วนน้ำ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ขยะซีเมนต์ (2.11%) : เปลือกหอยแครง (1.11%) : ทราายหยาบ (56.67%) : เศษแก้ว (10%)	76

ตารางที่ 4.5	บัญชีรายการของผลิตภัณฑ์อิฐคอนกรีตของอัตราส่วนน้ำ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ขยะซีเมนต์ (2.11%) : เปลือกหอยแมลงภู่ (1.11%) : ทรายหยาบ (56.67%) : เศษแก้ว (10%).....	77
ตารางที่ 4.6	ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละช่วงของผลิตภัณฑ์อิฐคอนกรีตอัตราส่วนน้ำ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ขยะซีเมนต์ (2.11%) : เปลือกหอยแครง (1.11%) : ทรายหยาบ (56.67%) : เศษแก้ว (10%).....	80
ตารางที่ 4.7	ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละช่วงของผลิตภัณฑ์อิฐคอนกรีตอัตราส่วนน้ำ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ขยะซีเมนต์ (2.11%) : เปลือกหอยแมลงภู่ (1.11%) : ทรายหยาบ (56.67%) : เศษแก้ว (10%).....	85
ตารางที่ 4.8	สรุปผลการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์อิฐคอนกรีตในอัตราส่วนน้ำ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ขยะซีเมนต์ (2.11%) : เปลือกหอยแครงหรือหอยแมลงภู่ (1.11%) : ทรายหยาบ (56.67%) : เศษแก้ว (10%).....	88
ตารางที่ 4.9	เปรียบเทียบการประเมินวัฏจักรชีวิตของอิฐคอนกรีตกับงานวิจัยอื่น	89
ตารางที่ ค.1	ค่าความต้านทานแรงอัดของอิฐคอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยขยะซีเมนต์	104
ตารางที่ ค.2	ค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐคอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยขยะซีเมนต์	105
ตารางที่ ค.3	ค่าความต้านทานแรงอัดของอิฐคอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และขยะซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยแครง	106
ตารางที่ ค.4	ค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐคอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และขยะซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยแครง	106
ตารางที่ ค.5	ค่าความต้านทานแรงอัดของอิฐคอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และขยะซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยแมลงภู่.....	107
ตารางที่ ค.6	ค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐคอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และขยะซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยแมลงภู่	107
ตารางที่ ค.7	ค่าความต้านทานแรงอัดของอิฐคอนกรีตแทนที่ทรายหยาบด้วยเศษแก้วและบ่มเป็นเวลา 3 วัน	108

ตารางที่ ค.8	ค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐคอนกรีตแทนที่ทรายหยาบด้วยเศษแก้วและบ่มเป็นเวลา 3 วัน	108
ตารางที่ ค.9	ค่าความต้านทานแรงอัดของอิฐคอนกรีตแทนที่ทรายหยาบด้วยเศษแก้วและบ่มเป็นเวลา 7 วัน	109
ตารางที่ ค.10	ค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐคอนกรีตแทนที่ทรายหยาบด้วยเศษแก้วและบ่มเป็นเวลา 7 วัน	109
ตารางที่ ค.11	ค่าความต้านทานแรงอัดของอิฐคอนกรีตแทนที่ทรายหยาบด้วยเศษแก้วและบ่มเป็นเวลา 28 วัน.....	110
ตารางที่ ค.12	ค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐคอนกรีตแทนที่ทรายหยาบด้วยเศษแก้วและบ่มเป็นเวลา 28 วัน.....	110
ตารางที่ ค.13	ค่าความต้านทานแรงอัดของอิฐคอนกรีตแทนที่ทรายหยาบด้วยเศษแก้วและบ่มเป็นเวลา 3 วัน	111
ตารางที่ ค.14	ค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐคอนกรีตแทนที่ทรายหยาบด้วยเศษแก้วและบ่มเป็นเวลา 3 วัน	111
ตารางที่ ค.15	ค่าความต้านทานแรงอัดของอิฐคอนกรีตแทนที่ทรายหยาบด้วยเศษแก้วและบ่มเป็นเวลา 7 วัน	112
ตารางที่ ค.16	ค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐคอนกรีตแทนที่ทรายหยาบด้วยเศษแก้วและบ่มเป็นเวลา 7 วัน	112
ตารางที่ ค.17	ค่าความต้านทานแรงอัดของอิฐคอนกรีตแทนที่ทรายหยาบด้วยเศษแก้วและบ่มเป็นเวลา 28 วัน.....	113
ตารางที่ ค.18	ค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐคอนกรีตแทนที่ทรายหยาบด้วยเศษแก้วและบ่มเป็นเวลา 28 วัน.....	113
ตารางที่ ค.19	ค่าการนำความร้อนของอิฐคอนกรีตในอัตราส่วนน้ำ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ขยะซีเมนต์ (2.11%) : เปลือกหอย (1.11%) : ทรายหยาบ (16.67-66.67%) : เศษแก้ว (0-50%).....	114

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 3.1	ระยะที่ 1 ขั้นตอนการผลิตอิฐคอนกรีต.....53
รูปที่ 3.2	ขั้นตอนการผลิตอิฐบล็อกคอนกรีต56
รูปที่ 4.1	รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และขยะซีเมนต์.....62
รูปที่ 4.2	รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ของเปลือกหอยแครงและเปลือกหอยแมลงภู่ที่ผ่านการเผาแล้ว62
รูปที่ 4.3	การกระจายขนาดของปูนซีเมนต์ ขยะซีเมนต์ เปลือกหอยแครงและหอยแมลงภู่63
รูปที่ 4.4	การวิเคราะห์ทางความร้อนของเปลือกหอยแครง64
รูปที่ 4.5	การวิเคราะห์ทางความร้อนของเปลือกหอยแมลงภู่64
รูปที่ 4.6	ค่าความต้านทานแรงอัดของอิฐคอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยขยะซีเมนต์.....65
รูปที่ 4.7	ค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐคอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยขยะซีเมนต์66
รูปที่ 4.8	ค่าความต้านทานแรงอัดของอิฐคอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และขยะซีเมนต์ด้วยเปลือกหอย67
รูปที่ 4.9	ค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐคอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และขยะซีเมนต์ด้วยเปลือกหอย.....68
รูปที่ 4.10	ค่าความต้านทานแรงอัดของอิฐคอนกรีตในอัตราส่วนน้ำ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ขยะซีเมนต์ (2.11%) : เปลือกหอยแครง (1.11%) : ทราฮายาบ (16.67-66.67%) : เศษแก้ว (0-50%).....69
รูปที่ 4.11	ค่าความต้านทานแรงอัดของอิฐคอนกรีตในอัตราส่วนน้ำ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ขยะซีเมนต์ (2.11%) : เปลือกหอยแมลงภู่ (1.11%) : ทราฮายาบ (16.67-66.67%) : เศษแก้ว (0-50%).....69

รูปที่ 4.12	ค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐคอนกรีตในอัตราส่วนน้ำ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ขยะซีเมนต์ (2.11%) : เปลือกหอยแครง (1.11%) : ทราฮายาบ (16.67-66.67%) : เศษแก้ว (0-50%).....	70
รูปที่ 4.13	ค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐคอนกรีตในอัตราส่วนน้ำ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ขยะซีเมนต์ (2.11%) : เปลือกหอยแครง (1.11%) : ทราฮายาบ (16.67-66.67%) : เศษแก้ว (0-50%).....	71
รูปที่ 4.14	รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ของอิฐคอนกรีตในแต่ละอัตราส่วนที่ต่างกัน.....	72
รูปที่ 4.15	ภาพตัดขวางของอิฐคอนกรีตในอัตราส่วนน้ำ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (22.22%) : ทราฮายาบ (66.67%).....	73
รูปที่ 4.16	ภาพตัดขวางของอิฐคอนกรีตในอัตราส่วนน้ำ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ขยะซีเมนต์ (2.11%) : เปลือกหอยแครง (1.11%) : ทราฮายาบ (36.67%) : เศษแก้ว (30%).....	74
รูปที่ 4.17	ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละกระบวนการของผลิตภัณฑ์อิฐคอนกรีตอัตราส่วนน้ำ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ขยะซีเมนต์ (2.11%) : เปลือกหอยแครง (1.11%) : ทราฮายาบ (56.67%) : เศษแก้ว (10%).....	81
รูปที่ 4.18	ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละกระบวนการของผลิตภัณฑ์อิฐคอนกรีตอัตราส่วนน้ำ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ขยะซีเมนต์ (2.11%) : เปลือกหอยแครง (1.11%) : ทราฮายาบ (56.67%) : เศษแก้ว (10%).....	82
รูปที่ 4.19	ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละกระบวนการของผลิตภัณฑ์อิฐคอนกรีตอัตราส่วนน้ำ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ขยะซีเมนต์ (2.11%) : เปลือกหอยแมลงภู (1.11%) : ทราฮายาบ (56.67%) : เศษแก้ว (10%).....	86
รูปที่ 4.20	ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละกระบวนการของผลิตภัณฑ์อิฐคอนกรีตอัตราส่วนน้ำ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ขยะซีเมนต์ (2.11%) : เปลือกหอยแมลงภู (1.11%) : ทราฮายาบ (56.67%) : เศษแก้ว (10%).....	87
รูปที่ ข.1	ลักษณะทางกายภาพ รูปแบบและโครงสร้างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.....	98
รูปที่ ข.2	ลักษณะทางกายภาพ รูปแบบและโครงสร้างขยะซีเมนต์.....	98

รูปที่ ข.3	ลักษณะทางกายภาพ รูปแบบและโครงสร้างเปลือกหอยแครง	99
รูปที่ ข.4	ลักษณะทางกายภาพ รูปแบบและโครงสร้างเปลือกหอยแมลงภู่	99
รูปที่ ข.5	ผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	100
รูปที่ ข.6	ผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของขยะซีเมนต์	101
รูปที่ ข.7	ผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของเปลือกหอยแครง	102
รูปที่ ข.8	ผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของเปลือกหอยแมลงภู่	103



บทที่ 1

บทนำ (Introduction)

1.1 ความสำคัญของปัญหา

จังหวัดชลบุรีตั้งอยู่ในบริเวณภาคตะวันออกของประเทศไทย อีกทั้งยังมีการประกอบอาชีพเลี้ยงหอยประเภทต่างๆ ซึ่งหอยที่เลี้ยงมากที่สุด ได้แก่ หอยแมลงภู่ประมาณ 20,668 ตัน หอยแครง 2,011 ตัน และหอยนางรม 72 ตัน ตามลำดับ (กรมประมง, 2558) จึงทำให้มีเปลือกหอยที่เหลือทิ้งจากการบริโภค ในปี 2558 พบว่า การเกิดขึ้นของมูลฝอยใหม่ในจังหวัดชลบุรีมีมากเป็นอันดับสองของประเทศมีปริมาณ 2,487 ตันต่อวัน ส่วนอันดับหนึ่งนั้นเป็นของกรุงเทพมหานคร มีปริมาณ 11,500 ตันต่อวัน โดยหน้าที่การจัดการและการกำจัดมูลฝอยนี้เป็นขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (ยกเว้นกรุงเทพมหานคร) ซึ่งมีเพียงร้อยละ 54 ของมูลฝอยชุมชนที่เก็บได้เท่านั้นที่มีการกำจัดอย่างถูกวิธี ส่วนอีกร้อยละ 46 นั้นจะนำไปกำจัดยังสถานที่ที่ไม่ถูกวิธี เช่น การเทกองบริเวณบ่อดินเก่าหรือพื้นที่รกร้าง การเผากลางแจ้ง (กรมควบคุมมลพิษ, 2558) แต่เมื่อคำนึงถึงปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม เช่น การปนเปื้อนในดินและในแหล่งน้ำ สูญเสียทัศนียภาพ และเป็นแหล่งเพาะพันธุ์เชื้อโรคหรือพาหะนำโรค เป็นต้น (Thaniya Kaosol, 2009)

ประกอบกับในปัจจุบันเกาะสีชังเป็นสถานที่ที่มีธรรมชาติที่งดงาม บรรยากาศที่เงียบสงบ มีสถานที่ตากอากาศที่มีชื่อเสียงมานานนับร้อยปี จึงทำให้เป็นเกาะท่องเที่ยวที่น่าสนใจ พื้นที่ทั้งหมดของอำเภอเกาะสีชังรวมพื้นที่ทะเลทั้งสิ้น 25.61 ตารางกิโลเมตร ซึ่งในแต่ละวันจะมีปริมาณขยะมูลฝอยที่ได้จากกิจกรรมการบริโภคอุปโภคของประชาชนบนเกาะประมาณ 12-15 ตันต่อวัน โดยองค์ประกอบของขยะมูลฝอย ได้แก่ เศษอาหาร พลาสติก หิน/กระเบื้อง เศษแก้ว กระดาษ ไม้/ใบไม้ และอื่นๆ ร้อยละ 40, 20, 14, 10, 10, 10 และ 6 ตามลำดับ เนื่องจากสภาพอากาศในบริเวณเกาะสีชังและเกาะขามใหญ่มีความเหมาะสมแก่การทอดสมอเรือ จึงทำให้เกิดปัญหาขยะที่ทิ้งลงทะเลจากเรือชนิดต่างๆ ที่เข้ามาจอดและสัญจรไปมาอีก 10-15 ตันต่อวัน ซึ่งขยะส่วนใหญ่บนเรือเป็นสินค้าจำพวก ปูนซีเมนต์ ปุ๋ยยูเรีย โซดาแอช ถ่านหิน และแป้งมันเส้น ดังนั้นในแต่ละวันบนเกาะสีชังจะเกิดขยะประมาณ 24-25 ตันต่อวัน จากองค์ประกอบของขยะมูลฝอยบนเกาะสีชังพบว่าเศษแก้วมีร้อยละ 10 คิดเป็นปริมาณ 1.2-1.5 ตันต่อวัน ปัญหาของเศษแก้วที่พบบนเกาะสีชังคือ ร้านรับซื้อของเก่าบนเกาะสีชังไม่รับซื้อขวดแก้วยกเว้นศูนย์บริหารจัดการขยะชุมชน เนื่องจากแก้วมีราคาถูกและมีน้ำหนักมากจึงไม่คุ้มค่าในการขนส่งขยะไปขายที่จังหวัดชลบุรีทำให้มีเศษแก้วตกค้างอยู่บนลานเทกองเผาขยะเป็นจำนวนมาก (กองสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม เทศบาลตำบลเกาะสีชัง, 2557) และไม่สามารถทำการรีไซเคิลเศษแก้วบนเกาะสีชังได้ จึงต้องมีการหาแนวทางในการนำเศษแก้วไปใช้ประโยชน์

คอนกรีตเป็นวัสดุที่สำคัญอย่างหนึ่งในการสร้างอาคารบ้านเรือน องค์ประกอบที่สำคัญในการผลิตคอนกรีตคือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ น้ำ วัสดุผสมและสารอื่นๆ ผสมอยู่ด้วยหรือไม่ก็ได้ (มอก. 57-2533) ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ยังมีการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ออกมาสู่ชั้นบรรยากาศของโลก ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Ahmari *et al.*, 2012) เพื่อเป็นการลดการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทำให้มีการศึกษาหาแนวทางในการหาวัสดุทางเลือกที่มาทดแทน จึงทำให้มีการนำเปลือกหอยมาใช้ประโยชน์มากขึ้น ซึ่งจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอยที่ผ่านกระบวนการเผาด้วยเทคนิคเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรมิเตอร์พบว่าเปลือกหอยมีองค์ประกอบทางเคมี โดยเฉพาะแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นองค์ประกอบหลักเช่นเดียวกันกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และยังมีการศึกษาโดยนำเปลือกหอยมาแทนที่ปูนซีเมนต์ ในการผลิตคอนกรีตเพื่อใช้ในการก่ออิฐและฉาบปูน (Lertwattanaruk *et al.*, 2012) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาพบว่าวัสดุมวลรวมที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตเป็นวัสดุเฉื่อยไม่ทำปฏิกิริยากับซีเมนต์เพสต์ เช่น หิน ทราย กรวด เป็นต้น (ปริญญา คุณมี, 2554) เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของเศษแแก้วและทรายพบว่า มีองค์ประกอบหลักเป็นชนิดเดียวกันคือซิลิกาไดออกไซด์ (SiO₂) โดยเฉพาะแแก้วมีปริมาณ 72.42% และทรายมีปริมาณ 78.6% (Jani and Hogland, 2014)

จากงานวิจัยของ Lertwattanaruk *et al.* (2012) ได้นำเปลือกหอยทั้งสี่ชนิดได้แก่ หอยลาย หอยแมลงภู่ หอยแครง และหอยนางรม มาทำการศึกษาคัดส่วนของเปลือกหอยในการแทนที่ปูนซีเมนต์ (5%, 10%, 15% และ 20% โดยน้ำหนัก) เพื่อผลิตเป็นซีเมนต์มอร์ตาร์ พบว่ามอร์ตาร์ที่ผสมกับเปลือกหอยหอยนางรมให้ค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่าเปลือกหอยชนิดอื่น มอร์ตาร์ที่มีสัดส่วนของเปลือกหอยเพิ่มขึ้นทำให้ลดปริมาณน้ำที่ใช้ผสม เนื่องจากอนุภาคของเปลือกหอยที่มีความแบนและความเป็นรูพรุนต่ำ นอกจากนี้สมบูรณ คงสมศักดิ์ศิริและนิรัตน์ แยมโອษฐ์ (2549) ได้ทำการศึกษาคัดเลือกโดยใช้ยิปซัมสังเคราะห์มาผสมเพื่อทำเป็นอิฐคอนกรีต พบว่าเมื่อนำยิปซัมมาผลิตอิฐคอนกรีตขนาด 195x95x65 มิลลิเมตร ยิปซัมสังเคราะห์ต่อน้ำหนักปูนซีเมนต์เท่ากับ 5.5 : 1 จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดเป็น 12.0 MPa การดูดกลืนน้ำร้อยละ 15.0 และความต้านการสึกหรอมีค่าร้อยละ 95.7 นำไปผลิตเป็นอิฐคอนกรีตชั้นคุณภาพ ค-1 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐคอนกรีต (มอก. 59-2516) ได้ Turgut (2008) ได้นำเอาหินปูนและเศษแแก้วมาเป็นวัสดุในการผลิตอิฐ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของหินปูนและเศษแแก้ว ทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มมากขึ้น ส่วนค่าการดูดกลืนน้ำพบว่าทุกอัตราส่วนมีค่าไม่เกิน 0.288 กรัมต่อตารางเซนติเมตร ตาม ASTM C140 จากการศึกษาของ Loryuenyong *et al.* (2009) ได้นำเศษแแก้วมาใช้เป็นวัสดุในการทำอิฐมอญ ผลที่ได้พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดสูงถึง 26-41 MPa และมีค่าการดูดกลืนน้ำที่ต่ำ 2 - 3% เมื่ออิฐนั้นมีส่วนประกอบของเศษแแก้ว 15-30% และใช้อุณหภูมิในการเผาที่ 1100 องศาเซลเซียส แต่เมื่อใช้เศษแแก้ว 45% พบว่าทำให้เกิดรูพรุนอย่างชัดเจนและมีการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และจากการวิจัยของ Topcu

และ Canbaz (2004) ได้ศึกษาการนำเศษแก้วเป็นวัสดุผสมละชนิดละเอียดในคอนกรีต พบว่าเศษแก้วไม่มีผลกระทบต่อความสามารถในการเทได้ของคอนกรีต แต่มีผลต่อค่ากำลังรับแรงอัดที่ลดลงเมื่อปริมาณของเศษแก้วเพิ่มขึ้น ถ้าใช้เศษแก้วผสมในคอนกรีต 60% ทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดลดลง 49% และมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าคอนกรีตทั่วไป 2.8%

ดังนั้นเพื่อเป็นแนวทางในการลดปริมาณและเป็นทางเลือกในการกำจัดมูลฝอยบนเกาะสีชัง ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการนำเปลือกหอยแมลงภู่มะพร้าวและหอยแครงเหลือทิ้งจากการบริโภค ร่วมกับเศษแก้วและขยะซีเมนต์ซึ่งเป็นขยะบนเกาะสีชัง มาผลิตเป็นอิฐคอนกรีต โดยศึกษาลักษณะสมบัติของอิฐคอนกรีต ได้แก่ การทดสอบความต้านทานแรงอัด ค่าการดูดกลืนน้ำเทียบกับค่าตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (มอก. 57-2533) การนำความร้อน (ASTM C518) และระยะเวลาที่เหมาะสมในการบ่มอิฐคอนกรีต จากนั้นทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตอิฐคอนกรีตเพื่อศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของอิฐคอนกรีตที่ผลิตจากเปลือกหอยแมลงภู่มะพร้าวและหอยแครงผสมกับเศษแก้วและขยะซีเมนต์ โดยใช้เทคนิค Cementing เพื่อเป็นการนำมูลฝอยมาใช้ทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และทรายหยาบ

1.2.2 ประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment : LCA) ของอิฐคอนกรีตที่ผลิตจากเปลือกหอยแมลงภู่มะพร้าวและหอยแครงผสมกับเศษแก้วและขยะซีเมนต์ ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักประเภท ค (มอก.57-2533)

1.3 สมมติฐานการวิจัย

1.3.1 อัตราส่วนของเปลือกหอยแมลงภู่มะพร้าวหรือเปลือกหอยแครงและขยะซีเมนต์ ในการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เศษแก้วในการแทนที่ทรายหยาบ สามารถนำมาผลิตเป็นอิฐคอนกรีตได้โดยใช้เทคนิค Cementing มาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักประเภท ค (มอก.57-2533)

1.3.2 การจัดการนำเปลือกหอยแครง เปลือกหอยแมลงภู่มะพร้าว ขยะปูนซีเมนต์ เศษแก้วมาใช้ในการผลิตอิฐคอนกรีต สามารถช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้

1.4 ขอบเขตการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้แบ่งขอบเขตออกเป็น 2 ระยะ ดังนี้

1.4.1 ระยะที่ 1 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของการผลิตอิฐคอนกรีตที่ผลิตจากเปลือกหอยแมลงภู่และหอยแครงผสมกับเศษแก้วและขยะซีเมนต์ โดยเทคนิค Cementing เพื่อให้มีการนำมูลฝอยที่เหลือจากการอุปโภคบริโภคมาใช้แทนที่บางส่วนของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และทรายหยาบ โดยที่ยังมีลักษณะสมบัติผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักประเภท ค (มอก.57-2533)

1) วัสดุของการศึกษา เศษแก้วได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท แก้วกรุงเทพ เขต มีนบุรี กรุงเทพมหานคร ขยะปูนซีเมนต์ได้รับความอนุเคราะห์จากนายกเทศมนตรี เทศบาลตำบล เกาะสีซัง อำเภอเกาะสีซัง จังหวัดชลบุรี เปลือกหอยแครงและเปลือกหอยแมลงภู่ได้รับความอนุเคราะห์ จากผู้ใหญ่บ้านธเนศหมู่บ้านคลองซ่อง อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร

2) พื้นที่ศึกษาวิจัย

- ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3) ปัจจัยที่ทำการศึกษามี 3 ปัจจัย ดังนี้

- ค่าความต้านทานแรงอัด

- ค่าการดูดกลืนน้ำ

- ค่าการนำความร้อน (ASTM C 518)

1.4.2 ระยะที่ 2 ประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment : LCA) ของอิฐคอนกรีตที่ผลิตจากเปลือกหอยแมลงภู่และหอยแครงผสมกับเศษแก้วและขยะซีเมนต์ที่มีลักษณะสมบัติผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.57-2533) คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักประเภท ค

1) วิจัยศึกษาวิจัยเลือกอัตราส่วนของอิฐบล็อกคอนกรีตที่ผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.57-2533) คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักประเภท ค โดยใช้โปรแกรม SimaPro 7.3 ตามวิธีแบบ

CML 2 Baseline 1995 เป้าหมายและขอบเขตการประเมินผลกระทบเริ่มตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง การเตรียมวัตถุดิบ และกระบวนการผลิตอิฐบล็อกคอนกรีต เรียกว่า Cradle to gate

2) พื้นที่ศึกษาวิจัย ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทำให้ทราบกระบวนการผลิต ลักษณะสมบัติและอัตราส่วนที่เหมาะสมของอิฐคอนกรีต จากเปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง เศษแก้ว และขยะปูนซีเมนต์โดยใช้เทคนิค Cementing

1.5.2 ทราบผลของการประเมินวัฏจักรของผลิตภัณฑ์ของอิฐคอนกรีตที่ผลิตจากเปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง เศษแก้ว และขยะปูนซีเมนต์ ที่มีต่อสิ่งแวดล้อม

1.5.3 เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตอิฐคอนกรีตจากเปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง เศษแก้ว และขยะปูนซีเมนต์ต่อไป



บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

2.1 สภาพปัญหาโดยทั่วไป

จังหวัดชลบุรีตั้งอยู่ในภาคตะวันออกของอ่าวไทยเป็นจังหวัดที่อยู่ติดทะเล อีกทั้งยังตั้งอยู่ใกล้กรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นเมืองหลวงของประเทศไทย จึงทำให้ในทุก ๆ ปี มีนักท่องเที่ยวมาเที่ยวที่จังหวัดนี้อย่างมากมาย จุดท่องเที่ยวหลัก ๆ ที่ได้ยินกันบ่อยครั้งคือ พัทยา บางแสน สัตหีบ เกาะล้าน เกาะสีชัง เป็นต้น ชลบุรีมีพื้นที่ทั้งสิ้น 4,363 ตารางกิโลเมตร โดยในปี 2557 ได้มีการสำรวจปริมาณการเพาะเลี้ยงหอยทะเลซึ่งเป็นสัตว์น้ำที่สำคัญทางเศรษฐกิจ พบว่าจังหวัดชลบุรีมีปริมาณการเลี้ยงหอยแมลงภู่น้ำจืดประมาณ 20,668 ตัน หอยแครง 2,011 ตัน และหอยนางรม 72 ตัน ตามลำดับ (กรมควบคุมมลพิษ, 2558) ทำให้ในแต่ละวันอาจมีการเกิดขึ้นของเปลือกหอยที่เกิดจากการบริโภคเป็นจำนวนมาก นอกจากนั้นยังพบว่าจังหวัดชลบุรีเป็นจังหวัดที่มีการเกิดของมูลฝอยเป็นอันดับที่สองรองจากกรุงเทพมหานคร มีปริมาณมูลฝอยเกิดขึ้น 2,487 ตันต่อวัน ในประเทศไทยการกำจัดมูลฝอยได้จัดทำโดยองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (ยกเว้นกรุงเทพมหานคร) พบว่ามีการกำจัดมูลฝอยอย่างถูกวิธีคิดเป็นร้อยละ 54 ของปริมาณมูลฝอยที่เก็บได้และที่เหลืออีกปริมาณร้อยละ 46 ยังมีการกำจัดที่ไม่ถูกวิธี ได้แก่ การเผากลางแจ้ง การเทกองในบ่อดินเก่าหรือพื้นที่ รกร้าง (กรมควบคุมมลพิษ, 2558) ซึ่งการกำจัดมูลฝอยแบบไม่ถูกต้องนี้ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม เช่น การปนเปื้อนในดินและในแหล่งน้ำ สูญเสียทัศนียภาพ เป็นแหล่งเพาะเชื้อโรคหรือพาหนะนำโรค เป็นต้น (Thaniya Kaosol, 2009)

ในปัจจุบันเกาะสีชังเป็นอำเภอขนาดเล็กที่มีพื้นบนบกและพื้นที่ทางทะเลทั้งสิ้น 25.61 ตารางกิโลเมตร โดยอยู่ห่างจากอำเภอสัตหีบประมาณ 12 กิโลเมตร เป็นสถานที่พักตากอากาศที่มีชื่อเสียงมานานนับร้อยปีตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน เป็นเกาะที่มีธรรมชาติความงดงาม ที่แตกต่างออกไปจากสถานที่ท่องเที่ยวอื่นๆ มีอากาศที่บริสุทธิ์ บรรยากาศที่เงียบสงบ และยังเป็นสถานที่ที่มีความสำคัญทางประวัติศาสตร์อีกแห่งหนึ่ง เพราะเป็นที่ประทับของพระเจ้าแผ่นดินถึงสามพระองค์ ดังนั้นในแต่ละวันจึงมีนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติมาท่องเที่ยวบนเกาะเป็นจำนวนมาก ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกิดมูลฝอยเป็นจำนวนมากบนเกาะแห่งนี้ ซึ่งด้วยข้อจำกัดในพื้นที่ที่มีจำกัด การขนส่งทางเรือที่มีความยุ่งยาก มูลฝอยบนเกาะจึงมีข้อจำกัดในการกำจัดด้วยเช่นกัน ยกตัวอย่าง เช่น ขวดแก้วที่บรรจุเครื่องดื่มชนิดต่างๆ เนื่องจากขวดแก้วมีน้ำหนักที่มาก ยากต่อการขนส่งไปทำการหลอมเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่และเมื่อนำไปขายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ จึงไม่ค่อยมีพ่อค้าคนกลางที่รับซื้อมากเท่าใดนัก ส่งผลให้ขวดแก้วต่างๆ ตกค้างเหลืออยู่บนเกาะเป็นจำนวนมากนอกจากนี้บริเวณโดยรอบเกาะสีชังยังมี

สภาพภูมิประเทศที่มีความเหมาะสม สำหรับเป็นท่าเรือในการทอดสมอของเรือขนส่งสินค้าอย่างยิ่ง จากเหตุผลดังกล่าวจึงเกิดปัญหาการทิ้งมูลฝอยลงบนทะเลของประชาชนที่อยู่บนเรือ ไม่ว่าจะเป็นเรือ บรรทุกสินค้าระหว่างประเทศ เรือลำเลียงสินค้า เรือโดยสาร เรือประมง เรือยนต์ลากจูง เป็นต้น จากการสำรวจของทางเทศบาล พบว่าเรือแต่ละลำมีการทิ้งมูลฝอยลงทะเลเฉลี่ยลำละ 3.67 กิโลกรัมต่อวัน รวมแล้วมีมูลฝอยทิ้งลงทะเลประมาณ 10-15 ตันต่อวัน มูลฝอยจากเรือที่พบมาก ได้แก่ ปูนซีเมนต์ ปุ๋ยยูเรีย โซดาแอต ถ่านหิน แป้งมันสำปะหลัง เป็นต้น ส่วนมูลฝอยที่อยู่บนฝั่งที่เกิดจากการอุปโภค บริโภคของประชาชน ได้แก่ เศษอาหาร พลาสติก เศษแก้ว กระดาษ โลหะ ไม้/ใบไม้ หิน/กระเบื้อง เป็นต้น มีปริมาณประมาณ 12-15 ตันต่อวัน และมีปริมาณเพิ่มขึ้นในช่วงวันหยุดและเทศกาลคิดเป็น ปริมาณประมาณ 13-17 ตันต่อวัน ซึ่งหน้าที่ในบริหารจัดการ การกำจัดมูลฝอยเหล่านี้เป็นของ เทศกาล แต่เนื่องจากปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นในปริมาณมากในทุกวัน ส่งผลให้มูลฝอยบางส่วนเกิด การตกค้างจำนวนมากและส่งผลกระทบต่อสภาพความเป็นอยู่ภายในชุมชนและสิ่งแวดล้อม เช่น บ้านเมือง สกปรก สูญเสียทัศนียภาพในการมอง ส่งกลิ่นรบกวน ปัญหาเรื่องแมลงวัน เป็นแหล่งเพาะพันธุ์สัตว์ และพาหะนำโรคได้ เป็นต้น จึงต้องมีแนวทางในการกำจัดมูลฝอยที่เกิดขึ้นเหล่านั้น (ภูวนันท์ ครอบขอบ, 2559)

จากงานวิจัยของ Topcu และ Canbaz (2004) จึงได้ทำการศึกษาการนำเศษแก้วมาเป็นวัสดุ ผสมคอนกรีตในคอนกรีต พบว่าปริมาณของเศษแก้วไม่มีผลต่อความสามารถในการเทได้ของ คอนกรีต แต่มีผลต่อค่ากำลังรับแรงกดอัดที่ลดลง เมื่อปริมาณของเศษแก้วเพิ่มขึ้น เมื่อผสมเศษแก้ว ผสมในคอนกรีตในปริมาณ 15, 30, 45 และ 60% ให้ค่าการรับแรงอัด 8, 15, 31 และ 49% ตามลำดับ เนื่องจากเศษแก้วนั้นไม่สามารถเกิดการจับกันกับปูนซีเมนต์ได้อย่างสมบูรณ์ เมื่อทำการ ผลิตคอนกรีตที่ผสมเศษแก้ว 60% ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าคอนกรีตทั่วไปอยู่ 2.8% ต่อมาได้มีการ ผลิตคอนกรีตบล็อกจากเปลือกหอยแครง เพื่อลดปริมาณการใช้หินเกร็ดที่เป็นส่วนผสมของคอนกรีต บล็อกทั่วไป และลดปริมาณขยะจากการบริโภคและอุตสาหกรรมการผลิตอาหารและการประมง โดย การแทนที่หินเกร็ดด้วยเปลือกหอยแครงบดในอัตราส่วน 1: 1 (แทนที่ 100%) พบว่าคอนกรีตบล็อก จากเปลือกหอยแครงต้นแบบมีค่าการรับกำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดเฉลี่ย 2.84 เมกะปาสคาล ผ่าน เกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2530) ผลการทดสอบค่าการนำ ความร้อนเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกทั่วไปและคอนกรีตมวลเบา พบว่าคอนกรีตบล็อกจากเปลือก หอยแครงมีค่าการนำความร้อน (0.296 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน) ต่ำกว่าของคอนกรีตบล็อกทั่วไป (0.519 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน) แต่สูงกว่าคอนกรีตมวลเบา (0.18 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน) (กฤษฎา เปรมฤทัย, 2554)

2.1.1 เปลือกหอยแครงและหอยแมลงภู่

หอยแครงมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Anadara granosa* มีชื่อสามัญทั่วไปว่า หอยแครง ชื่อสามัญทั่วไปภาษาอังกฤษว่า Cockle or Ark shell มักพบในบริเวณพื้นที่ท้องทะเลชายฝั่งตื้น ๆ ที่เป็นโคลนเหลว ส่วนมากพบที่จังหวัดชลบุรี ฉะเชิงเทรา สมุทรสงคราม สมุทรสาคร เพชรบุรี สุราษฎร์ธานี และกรุงเทพมหานคร ในปริมาณการเลี้ยงของหอยแครง พบว่าจากการสำรวจและรวบรวมข้อมูลของกลุ่มสถิติและสารสนเทศการประมง กรมประมง สถิติการเลี้ยงหอยแครงในปี 2557 ได้มีการเพาะเลี้ยงหอยแครงได้ผลผลิตเป็น 71,323 ตัน (กรมประมง, 2558) ทำให้มีเปลือกหอยแครงซึ่งเป็นวัสดุธรรมชาติที่เหลือจากการบริโภค ถูกทิ้งเป็นของเสียจำนวนมาก จากการศึกษาเปลือกหอยแครงมีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 97 และจากการศึกษาโครงสร้างผลึกของเปลือกหอยแครง พบว่ามีโครงสร้างผลึกเป็นทั้งอะราโกไนท์และแคลไซต์ (ชโลธร ศิริภัทรประวัตติ, 2552)

2.1.2 เปลือกหอยแมลงภู่

หอยแมลงภู่มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Perna viridis* มีชื่อสามัญทั่วไปว่า หอยแมลงภู่ ชื่อสามัญทั่วไปภาษาอังกฤษว่า Green mussel เป็นมักนิยมเลี้ยงในบริเวณแหล่งน้ำกร่อยหรือน้ำเค็ม ความเค็มของน้ำอยู่ในระดับสูง และคงสภาพอยู่เป็นเวลานานประมาณ 7-9 เดือน ส่วนมากพบในจังหวัดชลบุรี ฉะเชิงเทรา สมุทรปราการ กรุงเทพมหานคร สมุทรสงคราม และเพชรบุรี ในปี 2557 กลุ่มสถิติและสารสนเทศการประมง กรมประมง ได้มีการสำรวจและรวบรวมข้อมูลของปริมาณการเลี้ยงของหอยแมลงภู่ พบว่าได้มีการเลี้ยงหอยแมลงภู่มากถึง 127,918 ตัน (กรมประมง, 2558) จึงทำให้มีปริมาณเปลือกหอยที่ถูกทิ้งไว้เป็นมูลฝอยอยู่เป็นจำนวนมาก โดยเปลือกหอยแมลงภู่มีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตประมาณร้อยละ 96 และจากการศึกษาโครงสร้างผลึกของเปลือกหอยแครง พบว่ามีโครงสร้างผลึกเป็นทั้งอะราโกไนท์และแคลไซต์ (ชโลธร ศิริภัทรประวัตติ, 2552)

2.1.3 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอย

เปลือกหอยมีสารประกอบพวกคาร์บอเนต (CaCO_3) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักประมาณร้อยละ 60 - 80 โดยน้ำหนัก สารประกอบชนิดนี้เป็นของแข็งสีขาว มีค่าผลคูณของความสามารถในการละลาย (K_{sp}) เท่ากับ 8.7×10^{-9} ในน้ำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่าเป็นค่าที่ต่ำมากจึงทำให้ไม่มีลักษณะสมบัติที่ไม่ละลายน้ำ การเกิดแคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกหอย เกิดจากปฏิกิริยาเคมีที่เรียกว่า กระบวนการตกตะกอน (Precipitation) เกิดจากการรวมตัวของประจุแคลเซียม (Ca^{2+} , calcium ion) ที่ถูกปล่อยออกมาจากหอย และประจุคาร์บอเนต (CO_3^{2-} , carbonate ion) ที่มีอยู่ในน้ำทะเล แล้วเกิดการตกตะกอนเป็นของแข็งสีขาวของแคลเซียมคาร์บอเนตออกมามาก่อตัวเป็นเปลือกห่อหุ้มภายนอก โดยโครงสร้างของแคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกหอยมีอยู่ด้วยกัน 2 รูปคือ แคลไซต์

(Calcite) ซึ่งพบบริเวณเปลือกด้านนอกมีพื้นผิวขรุขระ และอะราโกไนต์ (Aragonite) ซึ่งพบในบริเวณเปลือกด้านใน มีลักษณะมันวาวคล้ายไข่มุกหรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Nacre ซึ่งความหนาของ Nacre จะเพิ่มขึ้นเมื่อหอยมีอายุมากขึ้นและเป็นองค์ประกอบหลักของน้ำหนักเปลือกหอย และจากการศึกษาองค์ประกอบโดยละเอียดโดยเทคนิค X – Ray Fluorescence พบว่าในเปลือกหอยมีส่วนประกอบต่าง ๆ ได้แก่ แมกนีเซียมออกไซด์ ซิลิกอนไดออกไซด์ เฟอร์ริกออกไซด์และอะลูมินา (Gachter and Muller, 1990, พรพิมล พัดภู, 2547, ภาคพงษ์ พงษ์ทองหล่อ, 2553)

2.1.4 ลักษณะสมบัติของแคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกหอย

โดยทั่วไปส่วนประกอบหลักของเปลือกหอย ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ประมาณร้อยละ 90 โดยที่แคลเซียมคาร์บอเนต ในเปลือกหอยมีโครงสร้างแบบผลึกแบ่งเป็น 2 แบบ ดังนี้

1) แคลไซต์ (Calcite) มีลักษณะผลึกเป็นรูปทรงลูกบาศก์ที่มีหน้าเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนหกหน้าหรือที่เรียกว่า รอมโบฮีดรอล (Rhombohedron) ค่อนข้างซับซ้อน มีความถ่วงจำเพาะ 2.71 มีความแข็งปานกลาง ปกติมีสีขาวหรือไม่มีสี เนื่องจากบางครั้งพบว่ามีธาตุบางชนิดปะปนอยู่ด้วย เช่น ทองแดง เหล็ก โคบอลต์ นิกเกิล เป็นต้น สามารถทำให้มีสีอื่นๆ ได้เช่น เทา แดง เขียว น้ำเงิน เหลือง เป็นต้น เนื้อแร่โปร่งใสจนกระทั่งโปร่งแสง มีความแข็งแรงเท่ากับ 3 คือสามารถใช้สตัดค์แดงขีดให้เป็นรอยลึกได้ พบได้จาก หินปูน หินอ่อน และเปลือกหอย

2) อะราโกไนท์ (Aragonite) มีลักษณะผลึกเป็นแท่งปริซึมหรือแท่งพีรามิดคู่ เรียกว่า ออร์โธรอมบิก (Orthorhombic) ซึ่งเกิดการรวมตัวกันมีรูปร่างคล้ายดอกกุหลาบ มีความวาว คล้ายแก้วไม่มีสี อาจพบเป็นสีเหลืองอ่อน โปร่งใสด้วย มีความแข็งแรงประมาณระดับ 3.5 มีความถ่วงจำเพาะ 2.93 กล่าวคือมีความแข็งมากกว่าแคลไซต์ เมื่อได้รับความร้อนจะเปลี่ยนเป็นแคลไซต์ พบในเปลือกหอยชนิดต่าง ๆ (พรพิมล พัดภู, 2547, ภาคพงษ์ พงษ์ทองหล่อ, 2553)

2.2 คอนกรีตบล็อก

2.2.1 นิยามและความหมาย

คอนกรีตบล็อก (Concrete Block) หรืออิฐบล็อก เป็นวัสดุก่อประเภทหนึ่งที่มีลักษณะเป็นก้อนสี่เหลี่ยมมาตรฐานขนาด กว้าง 19 × ยาว 39 × หนา 7 เซนติเมตร ผลิตหรือทำจากวัสดุหลากหลายชนิด เช่น ปูนซีเมนต์ น้ำสะอาด หินกรวด หินฝุ่น นำมาอัดขึ้นรูปให้มีขนาดมาตรฐานพร้อมใช้งาน (ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, 2551) ในปัจจุบันเป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในงานผนังก่อ เช่นเดียวกับ อิฐมวลเบา อิฐมอญ มีข้อดีคือ ขนาดที่ใหญ่กว่า ประสิทธิภาพวัสดุได้ง่าย แม่นยำ สามารถก่อผนังได้รวดเร็วกว่า น้ำหนักต่อตารางเมตรที่เบากว่าอิฐมอญ ทำให้ประหยัดโครงสร้างอาคาร และราคาที่ถูกลง

กว่าคอนกรีตมวลเบา จึงเป็นที่นิยมใช้อย่างมาก โดยเฉพาะอาคารบ้านพักอาศัยในเขตต่างจังหวัด แบ่งออกตามวัตถุประสงค์ของการใช้งานเป็น 2 มาตรฐานคือ คอนกรีตบล็อกชนิดที่รับน้ำหนัก และคอนกรีตบล็อกชนิดที่ไม่รับน้ำหนัก (กฎกระทรวง ปร.มท.ย., 2554)

2.2.2 ความหมายในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ได้ให้ความหมาย และเรียกคอนกรีตบล็อกทั่วไปที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน ดังนี้

คอนกรีตบล็อก (Hollow Concrete Block or Hollow Concrete Masonry Unit) หมายถึง ก้อนคอนกรีตที่ทำมาจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ วัสดุผสมชนิดต่างๆ และน้ำ จะมีสารอื่น ผสมอยู่ด้วยหรือไม่ก็ได้ มีรูปร่างขนาดใหญ่ทะลุตลอดก้อน พื้นที่หน้าตัดสุทธิผิวรายน้อยมากกว่า ร้อยละ 75 ของพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดในระนาบเดียวกัน

คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (Hollow Load-bearing Concrete Masonry Unit) หมายถึง คอนกรีตบล็อกที่ใช้สำหรับผนังที่ออกแบบให้รับน้ำหนักบรรทุก และน้ำหนักตัวเอง

เปลือก (Face-shell) หมายถึง ผนังด้านนอกของคอนกรีตบล็อก

ผนังกันโพรง (Web) หมายถึง ผนังภายในซึ่งแบ่งโพรงในคอนกรีตบล็อกเป็นช่อง

ประเภทและชั้นคุณภาพ

คอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนักที่ผลิตขึ้นตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมจะจัดแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้คือ

1) ประเภทควบคุมและไม่ควบคุมความชื้น

2) ประเภทชั้นคุณภาพ ดังนี้

- คุณภาพชั้น ก ใช้สำหรับก่อกำแพงภายนอกอาคารในระดับที่ต่ำกว่าและเหนือระดับพื้นดินโดยไม่มีการป้องกันผิวคอนกรีตบล็อก

- คุณภาพชั้น ข ใช้สำหรับก่อกำแพงภายนอกอาคารในระดับที่ต่ำกว่าและเหนือระดับพื้นดินและมีการป้องกันผิวคอนกรีตบล็อก

- คุณภาพชั้น ค ใช้ทั่วไปสำหรับงานกำแพงภายในและภายนอกอาคาร เหนือระดับพื้นดินแต่มีการป้องกันความเสียหายเนื่องจากสภาพดิน ฟ้า อากาศ เท่านั้น

(สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2533)

2.2.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ปูนซีเมนต์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดปูนเม็ด ซึ่งเป็นผลึกที่เกิดจากการเผาส่วนผสมต่างๆ จนรวมตัวกันสุกพอดี มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญคือ แคลเซียมและอลูมิเนียมซิลิเกต ปูนซีเมนต์ที่กล่าวถึงนี้หมายถึงปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland cement) ซึ่งเป็นปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (Hydraulic cement) ที่เมื่อผสมกับน้ำตามสัดส่วนแล้วสามารถก่อตัวและแข็งตัวในน้ำได้ เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ การทำปฏิกิริยาดังกล่าวเรียกว่า ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration reaction) ในสมัยก่อนชื่อของปูนซีเมนต์ที่เรียกว่า ปอร์ตแลนด์ นี้ได้มาจากการตั้งชื่อของนายโจเซฟ แอสปดิน ในปี ค.ศ. 1824 นายโจเซฟได้ทำการจดทะเบียนวิธีการผลิตปูนซีเมนต์อย่างหนึ่ง ที่ได้จากการเผาส่วนผสมระหว่างหินปูนกับดินเหนียว และเมื่อนำมาบดจะได้นี้ปูนซีเมนต์ที่มีสีเหลืองเทาคล้ายกับหินในเกาะของเมืองปอร์ตแลนด์ ประเทศอังกฤษ เขาจึงตั้งชื่อปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในขณะที่ปูนซีเมนต์ที่ผลิตได้มีคุณภาพต่ำมาก เนื่องจากการเผาที่ใช้ความร้อนต่ำมาก ทำให้หินปูนกับดินเหนียวยังไม่สามารถรวมตัวกันเป็นเนื้อเดียวกันดีมากนัก

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุก่อสร้างที่สำคัญอย่างหนึ่งในการก่อสร้างทางวิศวกรรม ในปัจจุบันได้มีการนำมาผสมกับกรวด หิน หวายและน้ำด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมจึงได้เป็นคอนกรีต ซึ่งเมื่อแข็งตัวแล้วคอนกรีตมีความแข็งแรงและทนทานคล้ายหิน ตัวอย่างสิ่งก่อสร้างได้แก่ ฐานราก ตอม่อ เขื่อน กำแพงกันดิน พื้นและถนน เมื่อเสริมด้วยเหล็กทำให้เป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก สำหรับพื้นหลังคา สะพาน อาคาร อุโมงค์และอื่นๆ หรือเมื่อผสมรวมกับทรายและปูนขาว สามารถใช้เป็นปูนฉาบสำหรับก่ออิฐหรือหิน เป็นต้น

ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ตามมาตรฐานของสมาคมทดสอบวัสดุอเมริกา (American Society for Testing Materials) ได้แบ่งประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ออกเป็น 5 ประเภทคือ

ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) เป็นปูนตามมาตรฐานอุตสาหกรรม 15 เล่ม 1-2547 ซึ่งถือว่าเป็นมาตรฐานทั่วไปที่ใช้ในงานก่อสร้างคอนกรีตทั่วไป เช่น อาคารที่พักทั่วไป กำแพง ทางเท้า ถนน เป็นต้น ใช้ในงานที่ตั้งอยู่ในสภาพอากาศอุณหภูมิปกติ เช่น ไม่อยู่ในหิมะหรือทะเลทราย อยู่ใกล้กับน้ำทะเล ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ผลิตออกมาจำหน่ายหลายยี่ห้อ เช่น ตราราชสีห์แดง ตราช้าง ตราที่พีไอแดง ตราภูเขา ตราเพชรเม็ดเดียว และตราพญานาคเศียรเดียว

ประเภทที่ 2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ดัดแปลงให้มีความต้านทานต่อซัลเฟตได้ปานกลาง เกิดความร้อนขึ้นในระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันต่ำกว่าประเภทแรก จึงเหมาะสำหรับงานก่อสร้างขนาดใหญ่และอยู่ใกล้กับน้ำเค็ม เช่น เขื่อนริม

ชายฝั่ง ต่อม่อของท่าเทียบเรือ กำแพงกันดินหนาๆ ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่ผลิตขายมีของตราพญานาค เจ็ดเศียร แต่ปัจจุบันเลิกผลิตไปแล้ว โดยหันมาใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ห้าแทน

ประเภทที่ 3 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ให้กำลังอัดเร็ว (High-early Strength Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ตาม มอก. 15 เล่ม 1-2547 ที่มีเนื้อละเอียดมากกว่าประเภทแรก จึงมีสมบัติในการทำให้แข็งตัวเร็วและรับกำลังได้สูง เหมาะสำหรับงานที่ต้องการเปิดให้ใช้งานได้โดยเร็ว เช่น งานถนนหรืองานที่ต้องเร่งรัดเวลาให้เสร็จโดยเร็วเพื่อการหมุนเวียนไม้แบบ งานที่อยู่ในอุณหภูมิต่ำที่หนาวเย็น เพื่อป้องกันน้ำในคอนกรีตแข็งตัวก่อน ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่ผลิตจำหน่าย ได้แก่ ตราเอราวัณ ตราเพชรสามเม็ด ตราพญานาคเศียรแดง ตราทีพีไอดำ และตราราชหน้าเงิน

ประเภทที่ 4 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์เกิดความร้อนต่ำ (Low-heat Portland Cement) ปูนซีเมนต์ชนิดนี้เหมาะสำหรับงานคอนกรีตหนา เช่น งานเขื่อน ซึ่งต้องใช้คอนกรีตในปริมาณมากและเกิดความร้อนภายในสูง ทำให้คอนกรีตเกิดการขยายตัวจนอาจแตกร้าวได้ การใช้ปูนซีเมนต์ชนิดนี้จำเป็นต้องควบคุมอัตราความร้อนเพื่อให้คอนกรีตค่อยๆ แข็งตัวอย่างสม่ำเสมอ ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ยังไม่มีการผลิตจำหน่ายในประเทศไทย แต่มีการประยุกต์ใช้ปูนซีเมนต์ประเภทหนึ่งแทน โดยผสมกับวัสดุผสมเพิ่ม เช่น Pulverized Fuel Ash และ Ground Granular Blast Furnace slag

ประเภทที่ 5 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ทนซัลเฟตได้สูง (Sulphate resistance portland cement) เป็นปูนซีเมนต์ตาม มอก. 15 เล่ม 1-2547 ที่มีความต้านทนซัลเฟตสูง จึงเหมาะสำหรับงานก่อสร้างที่อยู่ในบริเวณที่ถูกซัลเฟตกระทำหรือบริเวณที่พื้นดินมีความต่างสูง เช่น อาคารที่ก่อสร้างอยู่บริเวณใกล้หรือใต้น้ำทะเล หรือป่าชายเลน ปูนซีเมนต์ประเภทนี้จึงแข็งตัวช้ากว่าและเกิดความร้อนต่ำกว่าประเภทอื่น ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่ผลิตจัดจำหน่าย ได้แก่ ตราปลาฉลาม ตราทีพีไอฟ้า ตราช้างฟ้า และตราราชสีห์ฟ้า (กวี หวังนิเวศน์กุล, 2546, สำเร็จ สารสมาคม, 2556)

องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์

1) ไตรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalcium silicate, $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) มีชื่อย่อ C_3S ลักษณะเป็นผลึก 6 เหลี่ยม สีเทาเข้ม มีสมบัติทั่วไปเหมือนกับสมบัติของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ เมื่อนำมาผสมน้ำจะแข็งตัวภายในเวลา 2 ถึง 3 ชั่วโมง และกำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นมากในระยะแรก มีอยู่ในซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประมาณ 35 ถึง 55 เปอร์เซ็นต์

2) ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium silicate, $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) มีชื่อย่อ C_2S มีลักษณะกลม มีหลายรูปแบบ แต่มีเพียง $\beta\text{C}_2\text{S}$ เท่านั้นที่คงตัวในอุณหภูมิทั่วไป สารประกอบนี้มีสมบัติยึดเกาะ

และเมื่อแข็งตัวแล้วสามารถพัฒนากำลังรับแรงอัดขึ้นอย่างช้าๆ แต่ในระยะยาวสามารถให้กำลังรับแรงอัดใกล้เคียงกับ C_3S มีปริมาณ 15 ถึง 35 เปอร์เซ็นต์

3) ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (Tricalcium aluminate, $2CaO \cdot Al_2O_3$) มีชื่อย่อ C_3A เป็นสารประกอบที่มีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุม สีเทาอ่อน ทำปฏิกิริยากับน้ำทันที ให้ความร้อนสูง กำลังรับแรงอัดของสารประกอบนี้จึงพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วภายใน 1 ถึง 2 วัน แต่ค่อนข้างมีค่าต่ำ มีอยู่ในปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประมาณ 7 ถึง 15 เปอร์เซ็นต์

4) เตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (Tetracalcium Aluminoferrite, $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$) มีชื่อย่อ C_4AF เป็นสารประกอบที่ทำปฏิกิริยากับน้ำรวดเร็วมากและก่อตัวภายในไม่กี่นาที แต่ให้กำลังรับแรงอัดค่อนข้างต่ำ มีอยู่ประมาณ 5 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์

2.2.4 ปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้อง

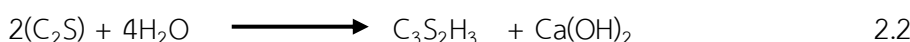
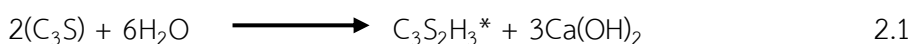
2.2.4.1 ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration Reaction)

เป็นลักษณะสมบัติเฉพาะตัวของปูนซีเมนต์ที่ถูกออกแบบมาเพื่อเป็นตัวประสานวัสดุมวลรวมต่างๆ ให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน เกิดขึ้นจากการที่ปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยากับน้ำหรือสารละลาย โดยจะเกิดขึ้นเป็นสองช่วงดังนี้ ในช่วงที่ 1 ปูนซีเมนต์จะทำปฏิกิริยาโดยอาศัยสารละลาย และในช่วงที่ 2 จะเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างของแข็งทำให้ปูนซีเมนต์แข็งตัว และมีลักษณะสมบัติในการรับแรงอัดจากภายนอกได้ดีมากขึ้น ปฏิกิริยาไฮเดรชันจะเกิดตามสารประกอบหลักที่มีอยู่ในปูนซีเมนต์ ดังนี้

1) ปฏิกิริยาไฮเดรชันของแคลเซียมอลูมิเนียม เกิดจากไตรแคลเซียมอลูมิเนียม ($3CaO \cdot Al_2O_3$ or C_3A) โดยปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นทันทีทันใดทำให้ซีเมนต์เพสต์ (Cement Paste) แข็งตัวอย่างรวดเร็ว จึงมีการใส่เคมีปัดชะมัวในปูนซีเมนต์เพื่อเป็นการหน่วงไม่ให้เกิดปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นก่อนการใช้งานจริง ระยะเวลาที่ทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันของสารประกอบหลัก C_3A สำเร็จจะอยู่ที่ประมาณ 6 วัน

2) ปฏิกิริยาไฮเดรชันของเตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ ($4CaO \cdot Al_2Fe_2O_3SiO_2$ or C_4AF) จะเกิดในช่วงต้นของปฏิกิริยา โดยจะทำปฏิกิริยากับ $Ca(OH)_2$ และ CSH ระยะเวลาที่ทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันของสารประกอบ C_4AF สำเร็จประมาณ 50 วัน

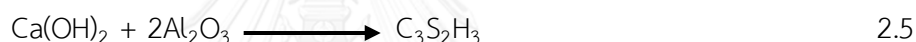
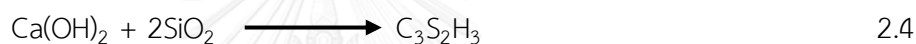
3) ปฏิกิริยาไฮเดรชันของแคลเซียมซิลิเกต เกิดจากไตรแคลเซียมซิลิเกต ($3CaO \cdot SiO_2$ or C_3S) และไดแคลเซียมซิลิเกต ($2CaO \cdot SiO_2$ or C_2S) เมื่อปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยากับน้ำจะทำให้เกิด $Ca(OH)_2$ และ CSH ซึ่งเป็นตัวประสานทำให้ปูนซีเมนต์แข็งตัวและมีความแข็งแรง ระยะเวลาที่ทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันของสารประกอบ C_3S สำเร็จประมาณ 10 วัน และ C_2S ประมาณ 100 วัน (กฤษฎา เปรมฤทัย, 2554, ผสุติ แพทย์นุเคราะห์, 2546) ซึ่งมีการเกิดปฏิกิริยาดังนี้





*สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$: $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$)

2.2.4.2 ปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic reaction) วัสดุปอซโซลาน หมายถึง วัสดุซึ่งไม่มีความสามารถในการเป็นวัสดุประสาน แต่เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายต่าง เช่น แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ทำให้ก่อตัวเป็นวัสดุประสานได้ ($\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$) แต่เนื่องจากปฏิกิริยานี้ใช้เวลานานในการทำปฏิกิริยา จึงต้องมีการบ่มคอนกรีตที่นานขึ้นเพื่อช่วยในการเกิดปฏิกิริยา สารประกอบหลักที่มีอยู่ในวัสดุปอซโซลานคือ ซิลิกอนไดออกไซด์ อลูมิเนียมออกไซด์ เพอร์ริกออกไซด์ และแคลเซียมออกไซด์ วัสดุปอซโซลานในซีเมนต์เพสต์สามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ได้เป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต จากนั้นจึงเกิดต่อเป็นปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียมซิลิเกตและ ไดแคลเซียมซิลิเกต ที่มีสมบัติเป็นสารเชื่อมเกาะ และสารนี้เพิ่มขึ้นตามเวลาจนถึงขีดจำกัดหนึ่ง ปฏิกิริยาปอซโซลานสามารถแสดงได้ดังนี้ (สมการที่แสดงไม่ใช่สูตรที่แน่นอน ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น อุณหภูมิการก่อตัว เป็นต้น) (ผสุติ แพทย์นุเคราะห์, 2546)



2.2.5 การบ่มคอนกรีต (Curing)

การบ่ม (Curing) คือชื่อเฉพาะของวิธีการที่ช่วยให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ซึ่งยังส่งผลให้การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตให้เป็นไปอย่างต่อเนื่อง วิธีการบ่มคอนกรีต ทำโดยให้น้ำแก่คอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว หน้าที่สำคัญของการบ่มคอนกรีตมีด้วยกัน 2 ประการ คือ ประการแรก คือป้องกันการสูญเสียความชื้นจากเนื้อคอนกรีต และประการที่สองคือรักษาระดับอุณหภูมิให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม วัตถุประสงค์ที่สำคัญของการบ่มคอนกรีต คือ

1. เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีกำลังและความทนทาน
2. เพื่อป้องกันการแตกร้าวของคอนกรีต โดยรักษาระดับอุณหภูมิให้เหมาะสมและลดการระเหยของน้ำให้น้อยที่สุด

การบ่มอาจหมายถึงการควบคุมอุณหภูมิของคอนกรีตด้วย ทั้งนี้ เมื่ออุณหภูมิที่สูงขึ้นเป็นตัวช่วยเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชันให้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว อันทำให้คุณภาพของคอนกรีตเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะแรก แต่อย่างไรก็ตามการเร่งนี้อาจก่อให้เกิดผลเสียต่อคุณสมบัติของคอนกรีตในระยะยาวได้

กรรมวิธีการบ่ม

กรรมวิธีการบ่มแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ตามสภาพอุณหภูมิที่ใช้บ่ม คือ การบ่มที่อุณหภูมิปกติ และการบ่มที่อุณหภูมิและความดันสูง

การบ่มที่อุณหภูมิปกติ สามารถจำแนกออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ การเพิ่มความชื้นและการป้องกันการเสียน้ำ

- การเพิ่มความชื้น คือการให้ความชื้นต่อผิวหน้าของคอนกรีตโดยตรงในระยะแรกที่คอนกรีตแข็งตัว ได้แก่ การแช่น้ำ การใช้น้ำราดบนคอนกรีตอย่างต่อเนื่อง เป็นต้น วิธีนี้นอกจากจะเป็นวิธีบ่มที่ดีแล้วยังสามารถช่วยลดอุณหภูมิที่ผิวของคอนกรีตลงด้วย จึงเหมาะกับคอนกรีตที่เทในอากาศร้อน

- การป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต วิธีนี้เป็นการป้องกันความชื้นจากผิวคอนกรีตสู่ภายนอก การป้องกันความชื้นวิธีนี้ ได้แก่ พลาสติก การใช้กระดาษกันน้ำ ผ้า หรือ สารเคมี เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ไม้แบบที่ยังไม่ถอดก็สามารถป้องกันการเสียน้ำได้เช่นกัน

การพัฒนากำลังอัดเนื่องจากอิทธิพลของการบ่มสรุปได้ดังนี้

- กำลังของคอนกรีตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันแรกๆ ถ้าได้รับการบ่ม ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการบ่มในระยะแรก

- กำลังของคอนกรีตมีโอกาสเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ หลังอายุ 28 วัน โดยอัตราการเพิ่มของกำลังจะช้าลง แต่ก็ยังเพิ่มขึ้นตลอดเวลาหากได้รับการบ่มที่ดี

- หากขาดความชื้นกำลังคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นสักระยะหนึ่งเพราะความชื้นที่เหลืออยู่ แต่หลังจากนั้นกำลังจะไม่เพิ่มขึ้นอีก เช่น กำลังของคอนกรีตที่ได้รับการบ่ม 3 วัน มีกำลังเพียงร้อยละ 75 - 80 ของกำลังคอนกรีตที่บ่มขึ้นครบ 28 วัน

ดังนั้นจึงควรบ่มคอนกรีตให้นานที่สุดเท่าที่จะทำได้ นั่นคือ บ่มจนกว่าคอนกรีตมีกำลังสูงตามที่ต้องการ ในทางปฏิบัติมักไม่สามารถบ่มคอนกรีตได้นานเนื่องจากข้อจำกัดในการก่อสร้างและค่าใช้จ่าย ตามมาตรฐานอเมริกาแนะนำให้ใช้เวลาบ่มขึ้น 7 วัน สำหรับโครงสร้างคอนกรีตทั่วไป หรือเวลาที่จำเป็นเพื่อให้ได้กำลังร้อยละ 70 ของกำลังอัดที่กำหนดแล้วแต่ว่าเวลาไหนน้อยกว่ากัน แต่สำหรับคอนกรีตที่มีปริมาณมากๆ เช่น ฐานรากขนาดใหญ่จำเป็นต้องบ่มอย่างน้อย 2 สัปดาห์

ในกรณีที่มีการบ่มต้องหยุดชะงักไประยะเวลาหนึ่งด้วยเหตุผลใดๆ ก็ตาม เมื่อคอนกรีตได้รับความชื้น ปฏิกริยาไฮเดรชันก็สามารถเกิดขึ้นต่อไป ทำให้กำลังของคอนกรีตสูงเพิ่มขึ้นไปอีก

ระยะเวลาการบ่ม

โดยทั่วไประยะเวลาการบ่มคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญหลายประการ ได้แก่ ชนิดของปูนซีเมนต์ที่ใช้ อัตราส่วนของคอนกรีต กำลังของคอนกรีตที่ต้องการ ขนาดและรูปร่างของแท่งคอนกรีต อุณหภูมิที่ใช้บ่ม และความชื้นในขณะบ่ม เป็นต้น องค์ประกอบเหล่านี้ถือได้ว่ามีผลต่อระยะเวลาของการบ่มคอนกรีต ซึ่งอาจจะถึง 1 เดือนสำหรับคอนกรีตที่ใช้ทำเขื่อน หรือเพียง 3 วัน

สำหรับคอนกรีตที่มีปูนซีเมนต์ผสมอยู่ในปริมาณสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดเกิดกำลังสูงเร็ว

งานโครงสร้างต่างๆ ไป ส่วนใหญ่กำหนดระยะเวลาในการบ่มไว้ตั้งแต่ 3 วัน จนถึง 2 สัปดาห์ ซึ่งกำหนดเวลาดังกล่าวขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายๆอย่างดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยปกตินิยมกำหนดระยะเวลาการบ่มไว้ประมาณ 1 สัปดาห์ สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา ระยะเวลาของการบ่มคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ซึ่งผลิตขึ้นในประเทศไทยได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 (ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2552, สำเร็จ สารมาคม, 2556)

ตารางที่ 2.1 เวลาขั้นต่ำในการบ่มคอนกรีต

ประเภทของงาน	คอนกรีตที่ใช้		
	ปูนซีเมนต์ผสม	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3
1) งานธรรมดา			
- เสาคาน และกำแพง	7 วัน	7 วัน	4 วัน
- พื้นบ้าน พื้นถนนในบ้าน ฯลฯ	8 วัน	8 วัน	4 วัน
- ถนนชั้นหนึ่ง ลานจอดหรือทางวิ่งของเครื่องบิน	-	14 วัน	7 วัน
- เสาค้ำสำหรับน้ำไปตอกคอนกรีตเป็นฐานราก	21 วัน	14 วัน	7 วัน
2) งานพิเศษ			
- แผ่นพื้นบาง	14 วัน	14 วัน	7 วัน
- รูปหล่อที่เล็กบาง ซึ่งใช้ปูนซีเมนต์ผสมมาก	-	21 วัน	7 วัน

ที่มา : สำเร็จ สารมาคม, 2556

2.2.6 มวลรวมหรือวัสดุผสม (Aggregate)

มวลรวมหรือวัสดุผสม (Aggregate) คือวัสดุเฉื่อย ได้แก่ หิน ทราย กรวด ซึ่งเป็นส่วนผสมที่สำคัญของคอนกรีตเนื่องจากมวลรวมมีปริมาตร 70 -80% ของปริมาณของส่วนผสมทั้งหมด ดังนั้นจึงทำให้มวลรวมมีความสำคัญอย่างมากต่อคุณสมบัติของคอนกรีต

ในอดีตมวลรวมถูกคิดว่าเป็นเพียงวัสดุเฉื่อยที่ใช้เป็นตัวแทรกประสานโดยกระจายอยู่ทั่วซีเมนต์เพสต์เท่านั้น ในปัจจุบันนี้พบว่ามวลรวมยังทำหน้าที่สำคัญ ประการแรกเนื่องจากมวลรวมเป็นส่วนผสมของคอนกรีตที่มีราคาถูกกว่าปูนซีเมนต์ตั้งนั้นในส่วนผสมของคอนกรีตจึงควรใช้ปริมาณมวลรวมให้พอเหมาะเพื่อที่ทำให้ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ลดน้อยลง ประการที่สองคุณสมบัติของมวลรวมช่วยให้คอนกรีตมีความคงทน (Durability) และมีปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลงมาก (Volume Stability) รวมทั้งมวลรวมยังทำหน้าที่ต้านทานน้ำหนักที่กดทับลงบนคอนกรีตด้วย กำลังและคุณสมบัติทางกายภาพอีกหลายประการของมวลรวมที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตทั้งในสภาพที่เป็นคอนกรีตเหลวและคอนกรีตแข็งตัวแล้ว ดังนั้นการเลือกใช้มวลรวมที่เหมาะสมไม่เพียงแต่เป็นการประหยัดแต่ยังคงช่วยให้คอนกรีตมีคุณภาพดีขึ้นด้วย มวลรวมที่ดีส่งผลให้คอนกรีตมีความทนทานสูง ควรมีคุณสมบัติพื้นฐานที่ดีดังนี้ คือต้องมีความคงทนไม่ทำปฏิกิริยากับส่วนประกอบในซีเมนต์ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดผลเสียต่อเสถียรภาพทางปริมาตรของคอนกรีตและมวลรวมที่ดี ต้องไม่มีสิ่งเจือปนที่มีผลเสียต่อกำลังและความคงตัวของซีเมนต์เพสต์ คุณสมบัติของคอนกรีตสดและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วจึงขึ้นอยู่กับขบวนการย่อยแปรสภาพของมวลรวม

ประเภทของมวลรวมแบ่งมวลรวมตามขนาดสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

- 1) มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) ได้แก่ หินหรือกรวดที่มีขนาดตั้งแต่ 4.5 มิลลิเมตรขึ้นไป หรือค้ำอยู่บนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4
- 2) มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) ได้แก่ทรายที่มีขนาดเล็กกว่า 4.5 มิลลิเมตร หรือสามารถผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 แต่ต้องไม่เล็กกว่า 0.07 มิลลิเมตร หรือผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200 ส่วนที่มีขนาดเล็กกว่ามวลรวมละเอียดซึ่งมีอยู่จำนวนน้อยมากในส่วนผสมคอนกรีต สามารถแบ่งได้เป็น

- Silt จะมีขนาดประมาณ 0.07 มิลลิเมตร
- Clay จะมีขนาดอยู่ในช่วง 0.02 – 0.06 มิลลิเมตร

2.2.7 น้ำ (Water)

น้ำเป็นปัจจัยสำคัญยิ่งในการทำคอนกรีต น้ำในที่นี้อาจแบ่งได้ออกเป็น น้ำสำหรับผสมคอนกรีตให้มีความชื้นเหลวเพื่อให้ทำงานง่าย น้ำสำหรับบ่มคอนกรีตให้แข็งตัวและมีกำลังรับแรงได้ตามต้องการ น้ำสำหรับล้างวัสดุผสมที่จะใช้ผสมคอนกรีตให้สะอาด

น้ำสำหรับผสมคอนกรีต (Mixing water)

น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตต้องสะอาด มีความขุ่นไม่เกิน 2,000 ppm. (ส่วนในล้าน) ปราศจากกรดต่าง น้ำมันและสารอินทรีย์อื่น ๆ ในปริมาณที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีตหรือเหล็กเสริม โดยปกติ น้ำประปาและน้ำจืดตามธรรมชาติส่วนใหญ่ ที่ไม่มีส่วนผสมของน้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือนหรือโรงงาน

อุตสาหกรรมถือว่ามีคุณภาพดีพอสำหรับงานคอนกรีต ในกรณีที่สงสัยให้ทำแท่งทดสอบโดยใช้น้ำที่สงสัยและเปรียบเทียบกับกำลังอัดของแท่งทดสอบที่ทำจากน้ำที่มีคุณภาพดี

หน้าที่ของน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต คือ

1. ทำหน้าที่เคลือบหินและทรายให้เปียกเพื่อปูนซีเมนต์จะเข้าเกาะโดยรอบและแข็งตัวยึดให้ติดกันได้

2. ทำหน้าที่หล่อลื่นในวัสดุทั้ง 3 อย่างนี้ ให้เกิดความเหลว สามารถเทและกระทุ้งหรือเขย่าเข้าแบบหล่อให้เป็นรูปต่างๆได้

3. ทำหน้าที่เข้าผสมกับปูนซีเมนต์ทางปฏิกิริยาเคมีแล้วเกิดความร้อนที่เรียกว่า heat of hydration ทำให้ผงซีเมนต์นั้นกลายเป็นวุ้น และเป็นซีเมนต์เหนียวซึ่งเป็นตัวประสานผิวระหว่างเม็ดของวัสดุผสม เกาะยึดแน่นเมื่อแข็งตัว

สารที่เจือปนอยู่ในน้ำ ซึ่งจะทำให้คุณภาพของคอนกรีตเสียไปได้แก่ ผุ่นหรือผง (Silt) น้ำมันกรวด ต่าง เกลือต่าง สารอินทรีย์ต่างๆ น้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรมปริมาณสารต่างๆ ที่เจือปนอยู่ในน้ำจะต้องไม่เกินกว่าปริมาณที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณที่ยอมให้น้ำมีสารเจือปนในน้ำได้

สารที่เจือปน	ปริมาณที่ยอมให้สูงสุดส่วนต่อล้าน
เกลือ	
โซเดียมคาร์บอเนต และไบคาร์บอเนต	1,000
แคลเซียมและแมกนีเซียมคาร์บอเนต	400
แมกนีเซียมซัลเฟตและคลอไรด์	40,000
โซเดียมคลอไรด์	20,000
โซเดียมซัลเฟต	10,000
กรวด	
เกลือของแร่เหล็ก	40,000
ผุ่นหรือผงหรืออนุภาคลอยตัว	2,000
น้ำทะเล	35,000
น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม	4,000
น้ำโสโครก	400
น้ำตาล	500
ตะไคร่น้ำ	1,000

ที่มา : สำเร็จ สารมาคม, 2556

2.3 แก้ว (Waste Glass)

แก้วเป็นวัสดุที่มีการค้นพบมาตั้งแต่ 5000 ปีก่อนคริสตกาล โดยชาว Phoenician ได้ก่อไฟที่ชายทะเลโดยใช้เนตรอน (คาร์บอนเนตของโซดา) แทนเตากระจกที่ตั้งอยู่บนเตาไฟ ทำให้ก้อนเนตรอนหลอมละลายรวมกับทรายข้างล่างจนกลายเป็นแก้วเกิดขึ้น จากนั้นได้มีการนำแก้วมาพัฒนาเป็นอาวุธ เครื่องประดับ เรื่อยมาจนในปัจจุบันได้มีการพัฒนาจนนำแก้วมาใช้ในงานที่หลากหลาย เช่น เป็นบรรจุภัณฑ์ กระจก ภาชนะใส่อาหาร ต่อมาในปี 1949 American Society for Testing and Materials (ASTM) ได้ให้คำนิยามความหมายของแก้วคือ “Glass is an inorganic product of fusion which has cooled to a rigid condition without crystallization” กล่าวคือ แก้วเป็นผลิตภัณฑ์ของอนินทรีย์สารที่ถูกหลอมให้เป็นน้ำแก้ว จากนั้นนำมาขึ้นรูปและทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็วจนโครงสร้างแก้วไม่มีเวลาเพียงพอที่จัดเรียงตัวให้เป็นระเบียบ

โดยทั่วไปวัสดุสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มหลักคือ วัสดุที่มีผลึก (Crystalline Materials) และวัสดุที่ไม่มีผลึก (Non Crystalline Materials) โดยที่แก้วนั้นจัดอยู่ในกลุ่มวัสดุที่ไม่มีผลึก

แก้วโซดาไลม์ (Soda-lime Glass) แก้วโซดาไลม์นี้ผลิตจากวัตถุดิบหลักคือ ซิลิกา (SiO_2) ร้อยละ 70-74 โดยน้ำหนัก โซเดียมออกไซด์ (Na_2O) ร้อยละ 13-16 โดยน้ำหนัก และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ร้อยละ 6-10 โดยน้ำหนัก สามารถพบเห็นแก้วชนิดนี้ได้โดยทั่วไป ตัวอย่างเช่น แก้วที่ทำเป็นขวดน้ำ แก้วน้ำ กระจก หลอดไฟ เป็นต้น สามารถทำให้เกิดสีต่างๆ ได้โดยการเติมออกไซด์ที่มีสีลงไป แก้วชนิดนี้สามารถทนต่อสารเคมีและต้านทานกระแสไฟฟ้า (ภาสกร คงชน, 2557) โดยมีสมบัติดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สมบัติของแก้วโซดาไลม์

สมบัติ	ค่า
Coefficient of Thermal Expansion	$89 \times 10^{-7} \text{ K}$
Strain point	511 °C
Anneal point	545 °C
Softening point	724 °C
Density	2.40 g/cm^3

ที่มา : ภาสกร คงชน, 2557

ขยะซีเมนต์ที่เป็นมูลฝอยที่เหลืออยู่บนเกาะสีชัง จากการวิเคราะห์โดยวิธีเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-Ray Fluorescence Spectrometry) พบว่ามีองค์ประกอบหลักคือแคลเซียมออกไซด์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักชนิดเดียวกันที่อยู่ในเปลือกหอยที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูง และเมื่อศึกษาองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยวิธีเดียวกันพบว่า มีองค์ประกอบหลักที่เหมือนกันและปริมาณใกล้เคียงกัน จึงทำให้สามารถนำขยะปูนซีเมนต์และเปลือกหอยมาทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้บางส่วน นอกจากนี้แก้วเป็นวัสดุที่ไม่มีการเชื่อมสภาพ มีความเหนียว มีองค์ประกอบหลักเป็นซิลิกา ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับลักษณะสมบัติของมวลรวมหรือวัสดุผสมที่ใช้ในงานคอนกรีตทั่วไป ได้แก่ ทรายหยาบ ทรายละเอียด กรวด หินฝุ่น เป็นต้น และได้มีการรายงานว่าแก้วไม่สามารถทำปฏิกิริยาหรือเกิดการยึดเกาะกับปูนซีเมนต์ได้ ทำให้ไม่มีการดูดกลืนน้ำและป้องกันการคายพลังงานระหว่างการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Topçu *et al.*, 2004) จึงทำให้สามารถนำมาทดแทนมวลรวมได้บางส่วนเพื่อผลิตเป็นอิฐบล็อกคอนกรีต เมื่อมีการนำมูลฝอยมาใช้ในการในการผลิตอิฐบล็อก เพื่อเป็นแนวทางในการลดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม จึงต้องอาศัยเครื่องมือที่สำคัญในการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมได้แก่ การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment)

2.4 การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์

การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment) เป็นวิธีการประเมินหาปัญหาและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในเชิงปริมาณที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ทั้งวัฏจักรชีวิต ตั้งแต่การจัดการพลังงานและวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้งานผลิตภัณฑ์ รวมทั้งการจัดการกับซากผลิตภัณฑ์ โดยจะพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ครอบคลุมไปถึงระบบนิเวศ สุขอนามัยของมนุษย์และทรัพยากรธรรมชาติ ทั้งนี้เพื่อนำผลไปใช้ในการกำหนดนโยบาย การออกแบบผลิตภัณฑ์ การปรับปรุงกระบวนการผลิต หรือเพิ่มทางเลือกในการผลิต เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและให้มีการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพที่สุด อย่างไรก็ตาม LCA ของประเทศไทยมีน้อยมากและเกือบทั้งหมดใช้ฐานข้อมูลจากต่างประเทศ

เทคนิคของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์นั้นจะแตกต่างจากเครื่องมือทางสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ที่มีอยู่ไม่ว่าการประเมินผลกระทบจากสิ่งแวดล้อม (Environment Impact Assessment) หรือการประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment) กล่าวคือ LCA เป็นกระบวนการประเมินค่าผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (Product) หรือหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (Function) ตลอดจนวัฏจักรของผลิตภัณฑ์ โดยเน้นผลเชิงปริมาณชัดเจน จึงทำให้การศึกษา LCA มีความซับซ้อนมากกว่าเครื่องมือ

ทางสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เพราะต้องทำการวิเคราะห์ตั้งแต่แหล่งกำเนิดทรัพยากรที่นำมาใช้ไปจนถึงขั้นตอนการทำลายซากผลิตภัณฑ์

การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์เป็นอีกหนึ่งเครื่องมือด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมที่ถูกบรรจุอยู่ในอนุกรมมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO 14000 โดยมีกรอบการดำเนินงานตามอนุกรมมาตรฐาน 14040 และมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับ LCA มีทั้งหมด 5 ฉบับ ดังนี้

- ISO 14040 – Life Cycle Assessment – Principle and Framework เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงหลักการ นิยามศัพท์ และกรอบการดำเนินงานการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

- ISO 14044 – Life Cycle Assessment – Requirement and Guidelines เป็นมาตรฐานเกี่ยวกับการกำหนดความต้องการและขั้นตอนที่จำเป็นในการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการทำ LCA การวิเคราะห์ทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (LCI) การประเมินค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อม (LCIA) และการตีความผลการประเมิน ความสัมพันธ์ระหว่างขั้นตอนต่างๆ และข้อจำกัดของการทำ LCA รวมทั้งคุณภาพและลักษณะของข้อมูลต่างๆ และรวบรวมด้วย

- ISO/TR 14047 – Life Cycle Assessment – Examples of Application of ISO 14041 to Goal and Scope Definition and Inventory Analysis เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้อนุกรมมาตรฐาน ISO 14042 สำหรับวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

- ISO/TS 14048 – Life Cycle Assessment – LCA Data Documentation Format เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างรูปแบบเอกสารของข้อมูลด้าน LCA

- ISO/TR 14049 – Life cycle assessment – Examples of Application of ISO 14041 to Goal and Scope Definition and Inventory Analysis เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้อนุกรมมาตรฐาน ISO 14041 สำหรับจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์

2.4.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope)

ขั้นตอนนี้มีความสำคัญมากต่อทิศทางและความละเอียดในการศึกษา เพราะถ้ากำหนดเป้าหมายและขอบเขตไม่ครอบคลุมดีพอ ทำให้การประเมินสารขาเข้าและขาออก หรือประโยชน์ที่ได้รับจากการปรับปรุงผลิตภัณฑ์นั้นทำได้ยากและไม่ตรงประเด็น ประกอบด้วย

2.4.1.1 การระบุวัตถุประสงค์ กำหนดเป้าหมายและขอบเขตหน้าที่ของการศึกษา (Product Function) เช่น ทำ LCA เพื่อบ่งบอกภาระทางสังคม เพื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ เพื่อปรับปรุงส่วน

หนึ่งของวัฏจักรชีวิต หรือเพื่อนำไปใช้ประชาสัมพันธ์ เป็นต้น โดยมีขอบเขตการศึกษาแบบ Gate to Gate (พิจารณาเฉพาะกระบวนการใดกระบวนการหนึ่ง) Cradle to Gate (เป็นการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์แต่ไม่รวมการใช้งานและการกำจัด ซึ่งเป็นที่นิยมนำไปใช้ในการทำเอกสาร) Cradle to Grave (เป็นการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย) Cradle to Cradle (พิจารณาขั้นตอนการกำจัดซากแล้วได้นำกลับมาใช้งานใหม่)

2.4.1.2 หน่วยการศึกษาหรือหน่วยหน้าที่ (Function Unit) ต้องอธิบายถึงหน้าที่หลักของผลิตภัณฑ์ที่นำมาพิจารณา ซึ่งต้องระบุปริมาณและหน่วยหน้าที่ที่สามารถใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์อย่างอื่นที่มีปริมาณหรือหน้าที่อย่างเดียวกันได้ การระบุข้อมูลพิจารณาจากปริมาณ ความคงทน และคุณสมบัติการใช้งานของผลิตภัณฑ์ เช่น น้ำอัดลมที่บรรจุกระป๋องอลูมิเนียมขนาด 0.3 ลิตร น้ำอัดลมที่บรรจุขวดแก้วขนาด 0.6 ลิตร และน้ำอัดลมที่บรรจุขวดพลาสติกขนาด 1.5 ลิตร เป็นต้น

2.4.1.3 สมมติฐาน ข้อจำกัด และระบบผลิตภัณฑ์ (Product System) อาจมีการตั้งสมมติฐาน การระบุแหล่งที่มาของข้อมูล ว่าควรเก็บข้อมูลได้จากแหล่งใดบ้าง เช่น ข้อมูลปฐมภูมิจากผู้ผลิต มีการใช้ฐานข้อมูลของโยรร่วมกับฐานข้อมูลต่างประเทศที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป เป็นต้น

2.4.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory)

จุดประสงค์ของการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมคือ การเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการต่างๆ ที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขต และคำนวณเพื่อหาปริมาณสารขาเข้า (Inputs) และสารขาออก (Outputs) ของระบบผลิตภัณฑ์ (Product system) ที่ทำการศึกษา ซึ่งสารขาเข้าและสารขาออกที่ได้เหล่านี้รวมถึงการใช้ทรัพยากรและการปล่อยสารสู่อากาศ น้ำและดิน การเก็บข้อมูลควรอยู่ในรูปที่เข้าใจง่ายและควรประกอบด้วย รายละเอียดของกระบวนการผลิต ผังการไหลของกระบวนการ และลักษณะของข้อมูล (เช่น คุณภาพ แหล่งที่มา ข้อจำกัดของข้อมูล)

2.4.3 การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment)

จัดเป็นกระบวนการที่ต้องใช้เทคนิคเพื่อจัดการข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (LCI) ที่ได้จากขั้นต้นเพื่อนำมาจำแนกและประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อระบบนิเวศ ทรัพยากร และสุขภาพของมนุษย์ วิธีการประเมินผลกระทบ (LCIA) 2 ขั้นตอนที่ต้องดำเนินการ ประกอบด้วย 1. การจำแนกข้อมูลเข้าไปอยู่ในกลุ่มของผลกระทบ (Classification) และ 2. การประเมินค่าการเกิดผลกระทบ (Characterization) และขั้นตอนที่เป็นทางเลือกให้ศึกษาเพิ่มเติม เช่น การเทียบหน่วย (Normalization) การจัดกลุ่มผลกระทบ (Grouping) และการให้น้ำหนักคะแนน (Weighting) โดยการให้น้ำหนักความสำคัญเชิงสัมพันธ์แต่กลุ่มผลกระทบ โดยอาศัยคุณค่าทางสังคม จริยธรรมและ

การเมือง ผลกระทบที่ถูกให้น้ำหนักแล้ว สามารถเป็นตัวแทนของผลกระทบผลิตภัณฑ์ที่สะท้อนลักษณะทางสังคม สำหรับกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญของโลก และมีความเกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์ที่ศึกษาภายใต้โครงการ ประกอบด้วยกลุ่มผลกระทบหลักดังตารางที่

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต

กลุ่มผลกระทบ	สัมประสิทธิ์การแปลงข้อมูล (หน่วย)	รายละเอียด
ศักยภาพที่ทำให้เกิดทรัพยากรธรรมชาติประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ลดลง (Abiotic Depletion Potential)	kg Sb eq	พิจารณาถึงการได้มาซึ่งวัตถุดิบที่เป็นทรัพยากรธรรมชาติชนิดที่ไม่สามารถทดแทนได้ เช่น แร่ น้ำมัน ที่ดิน เป็นต้น
ศักยภาพที่ทำให้ทรัพยากรพลังงานลดลง (Energy Depletion Potential)	kg resources	พิจารณาถึงการใช้พลังงานที่เป็นทรัพยากรธรรมชาติ เช่น น้ำมัน แก๊ส ธรรมชาติ ถ่านหิน เป็นต้น
ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential)	kg CO ₂ eq	พิจารณาถึงความสามารถในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนคือ การปล่อยแก๊สเรือนกระจก
ศักยภาพในการทำให้โอโซนในชั้นบรรยากาศลดลง (Ozone Depletion Potential)	kg CFC-11 eq	พิจารณาถึงการลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศ Stratosphere ที่ทำให้รังสีอินฟราเรดส่องผ่านมายังโลก
การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human Toxicity)	kg 1,4-DB eq	พิจารณาถึงผลกระทบในรูปของสารมลพิษทางดิน น้ำและอากาศ ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์
การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ทางบกและทางน้ำ (Aquatic/Terrestrial Ecotoxicity)	kg 1,4-DB eq	พิจารณาผลกระทบในรูปแบบมลพิษทางน้ำ อากาศ และดิน ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อพืชและสัตว์ในระบบนิเวศน์ในน้ำและบนบก

กลุ่มผลกระทบ	สัมประสิทธิ์การแปลงข้อมูล (หน่วย)	รายละเอียด
ศักยภาพในการทำให้เกิดฝนกรด (Acidification Potential)	kg SO ₂ eq	พิจารณาถึงความสามารถในการปล่อยแก๊สที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดฝนมีสภาพเป็นกรด
การออกซิเดชันที่เกิดจากปฏิกิริยาแสงเคมี (Photo-chemical)	kg C ₂ H ₂ eq	พิจารณาการก่อให้เกิดโอโซนในบรรยากาศชั้น Troposphere ที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ Photochemical smog
การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหาร (Eutrophication)	kg PO ₄ ³⁻ eq	พิจารณาถึงความสามารถในการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ ทำให้เกิดการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง

โดยงานวิจัยนี้ได้ประเมินกลุ่มผลกระทบ 5 ด้าน ได้แก่ การทำให้เกิดภาวะโลกร้อน การทำให้อโอโซนในชั้นบรรยากาศลดลง การทำให้เกิดฝนกรด การก่อให้เกิดการออกซิเดชันที่เกิดจากปฏิกิริยาแสงเคมี การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุในน้ำ โดยมีรายละเอียดรายการผลกระทบที่นำมาพิจารณา ดังนี้

1) ศักยภาพการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน หรือภาวะภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง (Climate Change) คือ ภาวะที่อุณหภูมิของโลกสูงขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งสาเหตุหลักของปัญหาเกิดจากสารประกอบของก๊าซต่างๆ ที่อยู่ในชั้นบรรยากาศของโลกดูดซับรังสีอินฟราเรดและกักเก็บรังสีความร้อนจากโลกไว้ ผลที่เกิดตามมาจากภาวะโลกร้อน เช่น การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลก การที่ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น พื้นที่ส่วนที่เป็นดินน้อยลง การแพร่ซึมของสาร การเกิดน้ำท่วม การชะกร่อนของชั้นดิน และพายุ เป็นต้น ผลรวมทั้งหมดของแนวโน้มภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential) ที่มาจากสารหลายๆ ชนิด ได้ถูกคำนวณให้อยู่ในรูปของหน่วยกิโกรัมของคาร์บอนไดออกไซด์-เทียบเท่า หรือ kg CO₂ eq

2) ศักยภาพการทำให้อโอโซนในชั้นบรรยากาศลดลง (Ozone Depletion Potential) การลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศสตราโตสเฟียร์ ที่มีความสำคัญในการเป็นเกราะป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตบนโลก เช่น มะเร็งผิวหนัง ต้อกระจก การตายของจุลินทรีย์ และแบคทีเรีย เป็นต้น ผลรวมทั้งหมดของแนวโน้มการทำให้ชั้นโอโซนในชั้นบรรยากาศลดลง ที่มา

จากสารหลายๆ ชนิด ได้ถูกคำนวณให้อยู่ในรูปของหน่วยกิโลกรัมของสารประกอบคลอโรฟลูออโร-คาร์บอน-เทียบเท่า หรือ kg CFC-11 eq

3) ศักยภาพในการทำให้เกิดฝนกรด (Acidification Potential) เป็นผลมาจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ซึ่งเกิดจากการเผาผลาญเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ และน้ำมัน โดยจะทำปฏิกิริยากับน้ำฝน และสารเคมีอื่นๆ ในชั้นบรรยากาศก่อให้เกิดกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) กรดไนตริก (HNO_3) และสารมลพิษอื่นๆ ซึ่งจะส่งผลให้อากาศอบอุ่นขึ้นทำให้เกิดมลพิษทางอากาศโดยจะถูกกระแสนลมพัดพาไปหลายร้อยกิโลเมตรและมักกลับสู่พื้นโลกโดยฝน หิมะ หมอก หรือแม้แต่ในรูปฝุ่นผงละออง ผลรวมทั้งหมดของแนวโน้มการเกิดฝนกรดที่มาจากสารหลายๆ ชนิด ได้ถูกคำนวณให้อยู่ในรูปของหน่วยกิโลกรัมของซัลเฟอร์ไดออกไซด์-เทียบเท่า หรือ kg SO_2 eq

4) ศักยภาพในการก่อให้เกิดการออกซิเดชันที่เกิดจากปฏิกิริยาแสงเคมี (Photo-chemical Oxidation) เป็นปรากฏการณ์มลพิษทางอากาศ ที่เกิดขึ้นในขณะที่อากาศมีปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสูง ประกอบกับบรรยากาศขณะนั้นมีแสงแดดจ้า เกิดเป็นหมอกควันแบบโฟโตเคมีคอล (Photochemical Smog) หรือที่เรียกว่าหมอกน้ำตาล (Brown-air Smog) เป็นหมอกควันที่เกิดจากการปล่อยมลพิษจากเครื่องยนต์ต่างๆ หรือโรงไฟฟ้า ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นพวกแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ และพวกไฮโดรคาร์บอนต่างๆ หมอกควันลักษณะนี้มักเกิดในพื้นที่ที่มีสภาพอากาศอบอุ่นถึงแห้ง ถูกคำนวณให้อยู่ในรูปของหน่วยกิโลกรัมของเอททีลีน-เทียบเท่า หรือ kg C_2H_2 eq

5) ศักยภาพในการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุในน้ำ (Eutrophication Potential) เป็นปรากฏการณ์หนึ่งที่เกิดจากการที่แหล่งน้ำมีการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารโดยเฉพาะฟอสฟอรัสและไนโตรเจน ซึ่งอาจมาจากการปล่อยน้ำทิ้งของกระบวนการผลิตต่างๆ หรือจากน้ำทิ้งชุมชนลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสและไนโตรเจนสูงขึ้น สิ่งที่จะเกิดขึ้นตามมา คือ สิ่งมีชีวิตในน้ำอื่นๆ จะตายเป็นจำนวนมาก น้ำมีกลิ่นเหม็น เน่าเสีย เนื่องจากสาหร่ายและแพลงค์ตอนที่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว นั้นทำให้มีปริมาณมากจนไปกั้นแสงอาทิตย์ไม่ให้ส่องผ่านลงไปใต้น้ำได้ ทำให้พืชชนิดอื่นที่อยู่ใต้น้ำไม่สามารถสังเคราะห์แสงและตายในที่สุด และยังทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงอีกด้วย ผลรวมทั้งหมดของแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุที่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศในน้ำ ได้ถูกคำนวณให้อยู่ในรูปของหน่วยกิโลกรัมของฟอสเฟต-เทียบเท่า หรือ kg PO_4^{3-} eq

การจัดกลุ่มผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมโดยให้น้ำหนักความสำคัญของผลกระทบแต่ละด้าน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

- การจำแนกประเภท (Classification) เป็นการจำแนกข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกไปยังผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ เช่น มีเทน (CH_4) จัดอยู่ในผลกระทบที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน แต่ยังมีบางสารที่สามารถจัดอยู่ในสาเหตุที่เกิดผลกระทบมากกว่า 1 กลุ่มผลกระทบ การจัดการปัญหานี้สามารถทำได้โดย กรณีแรก SO_2 เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดผลกระทบด้านสุขภาพของมนุษย์และภาวะความเป็นกรด ซึ่งผลกระทบทั้งสองอย่างนี้ไม่ได้เกิดในเวลาเดียวกัน ทำให้ปริมาณของ SO_2 ถูกแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ร้อยละ 50 สำหรับผลกระทบของสุขภาพของมนุษย์และร้อยละ 50 สำหรับผลกระทบของภาวะความเป็นกรด กรณีที่สอง NO_2 เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดผลกระทบด้านการลดลงของชั้นโอโซนและเกิดภาวะความเป็นกรด ซึ่งเกิดในเวลาเดียวกัน จึงทำให้คิดปริมาณของ NO_2 เป็นร้อยละ 100 ของภาวะความเป็นกรดและร้อยละ 100 ของการลดลงของชั้นโอโซนในบรรยากาศ

- การกำหนดบทบาท (Characterization) เป็นการแสดงประเภทของผลกระทบให้อยู่ในรูปตัวบ่งชี้ (Indicator) โดยใช้ค่ากำหนดบทบาท (Characterization factor) ในการคูณ ทำให้ได้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างสารที่ทำการศึกษากับสารที่เป็นตัวอ้างอิงกับผลกระทบประเภทนั้นๆ เช่น ค่ากำหนดบทบาทของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศเท่ากับ 1 และมีเทน (CH_4) มีค่ากำหนดบทบาทเท่ากับ 25 หมายความว่า มีเทน 1 กิโลกรัม จะมีผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศเท่ากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 25 กิโลกรัม เป็นต้น เพื่อเปลี่ยนจากปริมาณน้ำหนักเป็นค่าบ่งชี้ของผลกระทบและรวมค่าทั้งหมดของแต่ละผลกระทบด้สมการ

$$EP_j = Q_j \times EF_{ij} \quad 2.6$$

โดยที่ EP_j (Environment impact potential) คือ ศักยภาพของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประเภท j ใดๆ (kg substance equivalent)

Q_j (Quantity of substance) คือ ปริมาณมลสาร j ที่ปล่อยออกมา (kg substance j)

EF_{ij} (Equivalency factor) คือ ค่าเทียบเท่าของสาร i ที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประเภท j (kg substance equivalent/ kg substance j)

- การหาขนาดของผลกระทบ (Normalization) เป็นการแสดงขนาดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์หรือบริการ โดยการเปรียบเทียบกับผลผลิตที่ต้องการอ้างอิง โดยนำผลกระทบที่ได้จากการคำนวณมาเทียบกับค่าผลกระทบอ้างอิงคือนำค่าผลกระทบอ้างอิงมาหารค่าผลกระทบที่ทำการศึกษา ซึ่งการหาขนาดของผลกระทบ ทำให้ได้ค่าผลกระทบแบบไม่มีหน่วย ค่าที่ใช้อ้างอิงมักเป็นค่าผลกระทบเฉลี่ยต่อคนในระยะเวลา 1 ปีของประเทศนั้นๆ ดังสมการที่ 2.7

$$NP_j = EP_j / (T \times ER_j) \quad 2.7$$

โดยที่ NP_j (Normalized environment impact potential) คือ ค่าปกติทางศักยภาพของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประเภท j ใดๆ ของผลิตภัณฑ์ (person)

- T (Lifetime of product) คือ อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ (year)
- ERj (Equivalency factor) คือ ค่าอ้างอิงปกติของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ j ใดๆ เกิดจากการกระทำของคนหนึ่งคนต่อปี
(kg substance equivalent/person/year)

- การให้น้ำหนักแต่ละประเภท (Weighting) เป็นการให้ความสำคัญลักษณะของผลกระทบ ทั้ง 3 ประเภท คือ สุขภาพมนุษย์ ระบบนิเวศ และการใช้ทรัพยากร จากนั้นรวมค่าของดัชนีบ่งชี้ทั้ง 3 ประเภท ให้เป็นคะแนนเดียว ดังสมการที่ 2.8

$$WP_j = WF_j \times NP_j \quad 2.8$$

- โดยที่ WPj (Weighted environment impact potential) คือ ค่าศักยภาพของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประเภท j ใดๆ หลังการให้น้ำหนักความสำคัญ (person for target year, Pt.)
- WFj (Weighted factor) คือ ค่าสัดส่วนน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม j ใดๆ ในปีที่ตั้งเป้าหมายเอาไว้

2.4.4 การแปลผล (Interpretation)

ขั้นตอนการแปลผลเป็นการนำผลการศึกษาที่ได้รับจากการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (LCI) และการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (LCIA) มาเชื่อมโยงเพื่อวิเคราะห์ผลลัพธ์สรุปผลและจัดเตรียมข้อเสนอแนะที่มาจากผลลัพธ์ของการทำ LCA รวมถึงจัดทำรายงานสรุปการแปลผลการศึกษาที่กำหนดไว้ เพื่อให้ได้ข้อสรุปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์ต่อไป เช่น ขั้นตอนใดในวัฏจักรชีวิตก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงสุด เป็นต้น ซึ่งในการวิเคราะห์ผลนั้นจะต้องมีข้อมูลและตัวเลขจำนวนมาก จึงจำเป็นต้องใช้โปรแกรมสำเร็จรูปช่วยในการทำงานซึ่งจะทำให้สามารถจัดการกับข้อมูลของกระบวนการผลิตที่มีจำนวนขั้นตอนมาก ๆ ได้อย่างรวดเร็วมีประสิทธิภาพและเสียค่าใช้จ่ายที่ต่ำ รวมทั้งสามารถเชื่อมโยงข้อมูลกับฐานข้อมูลด้านการประเมินวัฏจักรชีวิตที่ทำไว้ทั่วโลกได้ ปัจจุบันหลายประเทศในกลุ่มสหภาพยุโรป และญี่ปุ่นได้ผลิตโปรแกรมสำเร็จรูปขึ้นมาใช้ เช่น โปรแกรม JEMAI-LCA Pro, GaBi และ SimaPro เป็นต้น การแปลผลการศึกษาให้สามารถเข้าใจได้ง่าย สมบูรณ์ครบถ้วน และมีความสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาที่กำหนดไว้ การแปลผลการศึกษาประกอบด้วยขั้นตอนหลัก ได้แก่

2.4.4.1 การจำแนกประเด็นที่สำคัญ มาจากผลการวิเคราะห์ประเด็นหลักจะถูกบ่งชี้ด้วยผลกระทบที่ผ่านการแปลงข้อมูล โดยทั่วไปจะอยู่ในรูปองตารางประกอบไปด้วยกระบวนการหน่วยย่อยและกิจกรรมต่างๆ สำหรับผลกระทบหนึ่งๆ แล้วทำการหารแต่ละค่าของผลกระทบด้วยผลรวม

ของผลกระทบทั้งหมดและคำนวณค่าเป็นร้อยละ ซึ่งแสดงค่าเชิงสัมพัทธ์ของความสามารถในการก่อผลกระทบของแต่ละประเด็นที่มีต่อผลกระทบทั้งหมด ที่ผ่านการแปลงข้อมูลด้วยเกณฑ์ที่กำหนด

2.4.4.2 การประเมินค่า (Evaluation) เพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ที่มาจากผลลัพธ์ของขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (LCI) และการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (LCIA) ในการประเมินวัฏจักรของชีวิตผลิตภัณฑ์

2.4.4.3 การจัดทำบทสรุป ข้อเสนอแนะและรายงานผล นอกจากการชี้ให้เห็นถึงประเด็นที่สำคัญ ขั้นตอนการแปลความหมาย มาตรการตรวจสอบและประเมินต่างๆ ที่ประเมินผลลัพธ์ของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ในแง่ของความสมบูรณ์ ความแปรปรวน และความสม่ำเสมอ รวมถึงขั้นตอนกระบวนการปรับปรุงที่เหมาะสมและสอดคล้องกับเป้าหมายที่กำหนดไว้ เพื่อลดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น

กระบวนการปรับปรุงเป็นกระบวนการที่มีความยุ่งยากและซับซ้อน เนื่องจากต้องเข้าใจผลกระทบที่เกิดขึ้นในทุกขั้นตอนของผลิตภัณฑ์ที่สนใจ การเปลี่ยนแปลงในขั้นตอนหนึ่งอาจส่งผลกระทบต่อขั้นตอนอื่นๆ ซึ่งกระบวนการปรับปรุงการผลิตต้องส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ลดลง แนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิต ได้แก่

- การออกแบบผลิตภัณฑ์ให้มีอายุการใช้งานมากขึ้น
- การเปลี่ยนชนิดของพลังงานหรือวัตถุดิบ
- ปรับปรุงเทคนิคการจัดการของเสียที่เกิดขึ้น
- การปรับปรุงระบบการขนส่งผลิตภัณฑ์
- การเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้วัตถุดิบ การผลิตหรือพลังงาน

(ไอศิกา น้อยจันทีระ, 2553, กรมโรงงานอุตสาหกรรม มุลนิธิสิ่งแวดล้อมไทย, 2551, พรรณวิภา พงศ์นรินทร์, 2553)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Lertwattanaruk et al. (2012) ได้นำเปลือกหอยทิ้งสี่ชนิดได้แก่ หอยลาย หอยแมลงภู่ หอยแครง และหอยนางรม มาทำการศึกษาสัดส่วนของเปลือกหอยในการแทนที่ปูนซีเมนต์ (5%, 10%, 15% และ 20% โดยน้ำหนัก) เพื่อพัฒนาการผลิตปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการก่อสร้างและฉาบปูน โดยปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ค่าการดูดกลืนน้ำ ค่าการทนแรงกดอัด การทดสอบระยะเวลาค่าการก่อตัวของคอนกรีต ค่าการนำความร้อนและการหดตัวแห้งของคอนกรีต พบว่ามอร์ตาร์ที่ผสมกับเปลือกหอยหอยนางรมให้ค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่าเปลือกหอยชนิดอื่น มอร์ตาร์ที่มีสัดส่วนของเปลือกหอยเพิ่มขึ้นทำให้ลดปริมาณน้ำที่ใช้ผสมเนื่องจากอนุภาคของเปลือกหอยที่มีความแบนและความเป็นรู

พูนต่ำ มีค่าระยะเวลาของการก่อตัวของคอนกรีตนานขึ้น ซึ่งส่งผลที่ดีต่อการนำไปใช้เป็นปูนในการฉาบในสถานที่ที่มีสภาพอากาศร้อน มอร์ตาร์ที่มีสัดส่วนของเปลือกหอยที่เหมาะสม ทำให้ค่าการนำความร้อนและค่าการหดตัวที่ต่ำเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ที่มีการใช้ในทั่วๆ ไป นอกจากนั้นเปลือกหอยที่นำมาประยุกต์ใช้กับมอร์ตาร์ยังช่วยปรับปรุงความสามารถในการเทได้และการฉาบปูนอีกด้วย

สมบุรณ์ คงสมศักดิ์ศิริและนิรัตน์ แยมโอษฐ์ (2549) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำยิปซัมสังเคราะห์มาผสมเพื่อทำเป็นอิฐคอนกรีตที่สามารถใช้งานได้จริงและลดปัญหามลภาวะทางสิ่งแวดล้อม อัตราส่วนที่ใช้ในงานวิจัยคือน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 1.0 และปูนซีเมนต์ต่อทรายหยาบเท่ากับ 1 : 2 และยิปซัมสังเคราะห์ 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5 และ 6.0 เมื่อใช้ปริมาณยิปซัมสังเคราะห์มากขึ้น ทำให้ค่าการดูดกลืนน้ำเพิ่มขึ้น แต่กำลังรับแรงอัดลดลง ดังนั้นอัตราส่วนยิปซัมสังเคราะห์ต่อน้ำหนักปูนซีเมนต์เท่ากับ 5.5 : 1 จึงให้ค่าความต้านการสึกหรอ ค่าการดูดกลืนน้ำและกำลังรับแรงอัดที่เหมาะสมที่สุด จึงนำมาผลิตอิฐคอนกรีตขนาด 195x95x65 มิลลิเมตร ที่ ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดเป็น 12.0 MPa การดูดกลืนน้ำร้อยละ 15.0 และความต้านการสึกหรอมีค่าร้อยละ 95.7 นำไปผลิตเป็นอิฐคอนกรีตชั้นคุณภาพ ค-1 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐคอนกรีต (มอก. 59-2516) ได้

Topcu et al. (2004) ในปี 2003 ประเทศสหรัฐอเมริกาได้มีการกำจัดขยะเศษแก้วปริมาณสองร้อยล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 7 ของปริมาณแก้วที่ผลิตได้ของโลก สำหรับตุรกีได้มีการนำเอาเศษแก้วจำนวน 120,000 ตัน แต่นำกลับไปใช้ใหม่ได้เพียง 80,000 ตันเท่านั้น จึงมีเศษแก้วเหลืออีกจำนวนมาก จึงได้ทำการศึกษาการนำเศษแก้วมาเป็นวัสดุผสมคละชนิตหยาบในคอนกรีต พบว่าปริมาณของเศษแก้วมีผลต่อความสามารถในการเทได้ของคอนกรีต แต่มีผลต่อค่ากำลังรับแรงกดอัดที่ลดลง เมื่อปริมาณของเศษแก้วเพิ่มขึ้น ถ้าใช้เศษแก้วผสมในคอนกรีต 15, 30, 45 และ 60% ให้ค่าการรับแรงอัด 8, 15, 31 และ 49% ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณเศษแก้วทำให้ค่าการรับแรงอัดลดลง เนื่องจากเศษแก้วนั้นไม่สามารถเกิดการจับกันกับปูนซีเมนต์ได้อย่างสมบูรณ์ เมื่อทำการผลิตคอนกรีตที่ผสมเศษแก้ว 60% ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าคอนกรีตทั่วไปอยู่ 2.8%

Paki Turgut (2008) เพื่อลดปัญหาเศษแก้วและผงหินปูนที่มีอยู่จำนวนมาก จึงทำการศึกษาการนำเศษแก้วและผงหินปูนมาผสมกันเพื่อเป็นวัสดุก่อสร้างชนิดใหม่ในการผลิตอิฐคอนกรีตเป็นนำมาเป็นวัสดุผสมคละชนิตหยาบในคอนกรีต พบว่าเมื่อนำเศษแก้ว ผงหินปูน และปูนซีเมนต์มาผสมกันและอัดเป็นก้อนภายใต้ความดันสูง เมื่อใช้ปริมาณเศษแก้วและผงหินปูน 10, 20 และ 30% พบว่าให้ค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น 1.8, 7.3 และ 9.4% ค่าการแตกหักเพิ่มขึ้น 85, 86 และ

87% ค่าการดูดกลืนน้ำที่ลดลงเล็กน้อยแต่ไม่เกินค่ามาตรฐาน ASTM C140 ค่าการยืดหยุ่นของมอดูลัสที่เพิ่มขึ้น 11.5, 22.8 และ 59.3% และค่าการนำความร้อนที่ลดลง 3.7, 7.5 และ 15.9% ตามลำดับ แต่ถ้าใช้เศษแก้วผสมในคอนกรีต 60% ทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดลดลง 49% และเมื่อใช้เศษแก้วและผงหินปูนมาผลิตอิฐคอนกรีต สามารถลดค่าใช้จ่ายได้เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตโดยทั่วไป

Teixeira et al. (2016) อุตสาหกรรมก่อสร้างได้มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจเป็นอย่างมาก แต่ได้มีการใช้ทรัพยากรธรรมชาติและพลังงานเป็นอย่างมาก จึงทำให้มีการคำนึงถึงปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการประเมินวัฏจักรชีวิตจึงเป็นเครื่องมือที่สำคัญ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการนำเถ้าลอยจากถ่านหินและชีวมวลที่เป็นผลพลอยได้จากโรงงานผลิตไฟฟ้ามาทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วน 20, 40 และ 60% โดยได้กำหนด 1 หน่วยอ้างอิงเท่ากับ 1 ลูกบาศก์เมตร เป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาคือ Cradle to gate ผลการทดลองพบว่าคอนกรีตที่ผลิตจากปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียวส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด เนื่องจากการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และการทำให้เกิดผลกรด คิดเป็น 784 กิโลกรัมเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์และ 5,000 เมกะจูลเทียบเท่า เนื่องจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ที่มีการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากปฏิกิริยาแคลซิเนชัน ที่เกิดจากการเผาคลินเกอร์ (Clinker) ที่อุณหภูมิสูง เมื่อปริมาณของเถ้าลอยเพิ่มขึ้นทำให้สามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ คอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยจากถ่านหินและชีวมวล 60% มีการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 416 และ 413 กิโลกรัมเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์ ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พรรณวิภา พงศ์นรินทร์ (2553) ได้ทำการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ของคอนกรีตพูน เพื่อนำมาทดแทนการใช้คอนกรีตทั่วไป โดยใช้โปรแกรม SimaPro 7.2.4 เริ่มประเมินตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง กระบวนการผลิตและการใช้งาน จากผลการวิเคราะห์ค่าคะแนนเชิงเดี่ยว พบว่าคอนกรีตพูนส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าคอนกรีตทั่วไป 0.3026 Pt (27.29%) โดยกระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบและกระบวนการผลิตให้ผลกระทบมากที่สุดคือ 0.8061 และ 0.6051 Pt (75.07%) ตามลำดับ รองลงมาคือการขนส่ง 0.2006 Pt (24.88%) แนวทางการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ได้แก่ การปรับปรุงชนิดของอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าให้น้อยที่สุด หาขนาดของวัตถุดิบที่เหมาะสมกับเครื่องมือ การลดการใช้ไฟฟ้าโดยการจัดการพลังงานทดแทน การควบคุมฝุ่นละออง การนำวัสดุที่ไม่ใช้แล้วทดแทนเชื้อเพลิงและวัตถุดิบ การลดผลกระทบด้านการขนส่ง เช่น เปลี่ยนจากการขนส่งโดยใช้รถบรรทุกไปเป็นใช้เรือขนส่งสินค้าหรือรถไฟ ปรับเปลี่ยนเส้นทางให้มีความเหมาะสมกับสถานที่ผลิต

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย (Experiments)

3.1 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือ สำหรับการทำวิจัย

3.1.2 วัสดุสำหรับการทำวิจัย

- 1) เศษแก้ว (Waste glass) ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท แก้วกรุงไทย จำกัด เขตมีนบุรี กรุงเทพมหานคร
- 2) ขยะปูนซีเมนต์ (Cement waste) ได้รับความอนุเคราะห์จากนายกเทศมนตรีเทศบาลตำบลเกาะสีชัง อำเภอเกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี
- 3) เปลือกหอยแครงและเปลือกหอยแมลงภู่ ได้รับความอนุเคราะห์จากผู้ใหญ่บ้านคลองช่อง อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร
- 4) ทรายหยาบแม่น้ำ (Coarse sand) ตราลิ้นจี่ตั้ง
- 5) น้ำประปา (Tap water)
- 6) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Portland cement) ตราเอสซีจี

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการวิจัย

- 1) เครื่องร่อนคัดขนาดเบอร์ 4 ขนาดอนุภาค 4.75 มิลลิเมตร (Aggregate Vibration Screen, Gilson company Model : PS-3F)
- 2) เครื่องร่อนคัดขนาดเบอร์ 100 ขนาดอนุภาค 150 ไมโครเมตร (Sato's Vibro Separator, Type 400-3s)
- 3) เครื่องบดชนิดหยาบ (Hammer mill, Gruendler Type : 1212-HM)
- 4) เครื่องบดชนิดละเอียด (Ball Mill Work Index, Sprecher schun Model 06T14FC7A)
- 5) เครื่องบดชนิดละเอียด (Cup Mill, Gilson company Model : T-100)
- 6) เครื่องทดสอบแรงอัด (Shimadzu Autograph AG-1000E)
- 7) ตู้อบความร้อน (Isotemp Oven, Model 725F, Fisher Scientific, U.S.A)
- 8) เตาเผาความร้อนสูง (Muffle Furnace LT 5/11/P 330, Germany)
- 9) เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Model ML 1602, Mettler Toledo, Swizerland)
- 10) โถดูดความชื้น (Desiccator)

- 11) ถ้วยระเหย (Evaporating disk)
- 12) แม่พิมพ์ไม้ กว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร และสูง 5 เซนติเมตร
- 13) แม่พิมพ์ไม้ กว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร และสูง 2 เซนติเมตร
- 14) เครื่องแก้ว เช่น บีกเกอร์ กระจกตวง เป็นต้น
- 15) ถูพลาสติกแบบมีซี่ป
- 16) โปรแกรมซอฟต์แวร์ Simapro 7.3

3.2 ขั้นตอนดำเนินการทำวิจัย

ในขั้นตอนของการดำเนินการทำวิจัย แบ่งออกเป็น 2 ระยะ ดังนี้

3.2.1 ระยะที่ 1 ศึกษาลักษณะสมบัติของอิฐคอนกรีต

ศึกษาลักษณะสมบัติของอิฐคอนกรีตวัสดุที่ใช้ในการทำวิจัยและอัตราส่วนที่เหมาะสมของการผลิตอิฐคอนกรีตที่ได้จากเปลือกหอยแมลงภู่และหอยแครงผสมกับเศษแก้วและขยะซีเมนต์ โดยเทคนิค Cementing การดำเนินการทดลองในระยะที่ 1 มีดังนี้

1) การเตรียมวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัย

1.1) นำเปลือกหอยแมลงภู่และเปลือกหอยหอยแครงมาล้างทำความสะอาด นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

1.2) นำเปลือกหอยแมลงภู่และหอยแครงที่ได้จากข้อ 1.1) ไปเข้าเครื่องบดเพื่อลดขนาด และนำไปคัดแยกขนาดให้ได้ขนาด 150 ไมโครเมตร (สามารถร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 100)

1.3) นำเปลือกหอยแมลงภู่และเปลือกหอยแครงจากข้อ 1.2) มาทำการเผาที่อุณหภูมิที่ 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อให้สารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) เปลี่ยนเป็นแคลเซียมออกไซด์ (CaO)

1.4) นำเศษแก้วมาล้างทำความสะอาดและนำเศษกระดาษ (ฉลากที่ติดอยู่บนบรรจุภัณฑ์) ออกให้เรียบร้อย จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

1.5) นำเศษแก้วที่ได้จากข้อ 1.4) ไปเข้าเครื่องบดเพื่อลดขนาด และนำไปคัดแยกขนาดให้ได้ขนาดไม่เกิน 4.75 มิลลิเมตร (สามารถร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4)

1.6) นำขยะผงปูนซีเมนต์จากเรือขนถ่ายสินค้ามาทำการคัดแยกขนาดโดยการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 100 (ขนาด 150 ไมโครเมตร)

2) การศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมี

2.1) ศึกษาลักษณะการกระจายตัวของขนาดอนุภาค (Particle Size Distribution) ทำโดยใช้ตะแกรงร่อน (Testing Sieve) ซึ่งตะแกรงนี้ทำด้วยโลหะ โดยใช้ตะแกรง

เบอร์ 4, 7, 20, 35, 60, 100 และ 200 แมช โดยใช้ตัวทหยาบและเศษแก้ว ปริมาณ 200 กรัม วางบนตะแกรงกรองชั้นบนสุด โดยเรียงลำดับตะแกรงให้ขนาดหยาบอยู่บนสุด และขนาดละเอียดลงมาอยู่ในชั้นถัดลงมาเรื่อยๆ จนตะแกรงชั้นล่างสุดเป็นตะแกรงขนาดละเอียดที่สุด ดังนี้ 4, 7, 20, 35, 60, 100 และ 200 แมช จากบนลงล่างตามลำดับ เขย่าเป็นเวลา 15 นาที

2.2) เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด จึงนำตัวอย่างที่เก็บได้ในแต่ละชั้นมาชั่งน้ำหนัก แล้วนำปริมาณในหน่วยร้อยละของตัวอย่างที่เหลือในแต่ละชั้นมาคำนวณ ทำซ้ำ 3 ครั้ง ในแต่ละตัวอย่าง แล้วเก็บวัสดุใส่ถุงพลาสติกที่มีซิปปิดสนิทให้เรียบร้อย

2.3) ศึกษาลักษณะการกระจายตัวของขนาดอนุภาค (Particle Size Distribution) ของเปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และขยะซีเมนต์ ด้วยเครื่องคัดแยกขนาด (Particle Size Analyzer)

2.4) ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาเปลือกหอยแครงและหอยแมลงภู่ ด้วยเทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA) โดยนำเปลือกหอยแมลงภู่และเปลือกหอยแครงที่ได้จากข้อ 1.3) มาทำการวิเคราะห์

2.5) ศึกษาการวัดพื้นที่ผิวของเปลือกหอยแมลงภู่และเปลือกหอยแครงหลังการเผาที่ด้วยการใช้วิธีบีอีที (Brunauer- Emmett-Teller Method: BET)

2.6) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยหอยแครงทั้งก่อนเผาและหลังเผา เศษแก้ว และขยะซีเมนต์ ด้วยเครื่องวิเคราะห์โดยวิธีเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-Ray Fluorescence Spectrometry: XRF) เพื่อวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของธาตุ

2.7) ศึกษาชนิดของสารประกอบ โครงสร้างของผลึกของเปลือกหอยแครงและเปลือกหอยแมลงภู่ ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffraction: XRD)

3) ศึกษาการผลิตและลักษณะสมบัติของอิฐคอนกรีต

3.1) ทดลองหาส่วนผสม โดยการหาส่วนผสมในอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างขยะปูนซีเมนต์และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 โดยกำหนดให้อัตราส่วนผสมอิฐคอนกรีตต้นแบบคือ น้ำ : ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ทรายหยาบ เท่ากับ 0.5 : 1 : 3 โดยน้ำหนัก การแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยขยะปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, และ 90 ตามลำดับ ดังตารางที่ 3.1 แต่ยังคงอัตราส่วนผลรวมของปูนซีเมนต์และขยะซีเมนต์ต่อน้ำอยู่ที่ 1 : 0.5

3.2) จากนั้นทำการผสมวัสดุที่แห้ง ได้แก่ น้ำ ขยะปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และทรายหยาบให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกัน ในการผสมให้ผสมวัสดุที่แห้งประมาณ 2-3

นาที่ก่อน จึงเติมน้ำลงไป จากนั้นผสมต่ออีก 1 - 2 นาที จึงนำส่วนผสมที่ได้ไปใส่ในแม่พิมพ์ขนาด 50 มิลลิเมตร x 50 มิลลิเมตร x 50 มิลลิเมตร ทำการทดลองในแต่ละอัตราส่วนละ 3 ซ้ำ ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างออกจากแม่พิมพ์

3.3) นำก้อนอิฐคอนกรีตที่ได้จากข้อ 3.2) ไปทำการบ่มคอนกรีตโดยการแช่น้ำที่อุณหภูมิปกติ เป็นเวลา 7 จากนั้น นำอิฐขึ้นจากน้ำตั้งทิ้งไว้ 1 วัน แล้วนำไปทดสอบหาค่าความต้านทานแรงอัดและการดูดกลืนน้ำเทียบกับค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (มอก.57-2533) คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักประเภท ค

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมร้อยละโดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ขยะซีเมนต์ ทรายหยาบ น้ำ การผลิตอิฐคอนกรีต

ร้อยละโดยน้ำหนัก			
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	ขยะปูนซีเมนต์	ทรายหยาบ	น้ำ
22.22	0.00	66.67	11.11
20.00	2.22	66.67	11.11
17.78	4.44	66.67	11.11
15.56	6.67	66.67	11.11
13.33	8.89	66.67	11.11
11.11	11.11	66.67	11.11
8.89	13.33	66.67	11.11
6.67	15.56	66.67	11.11
4.44	17.78	66.67	11.11
2.22	20.00	66.67	11.11

3.5) เมื่อได้อัตราส่วนที่เหมาะสมจากข้อ 3.4 แล้วทำการแทนที่ขยะปูนซีเมนต์และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเปลือกหอย

3.6) นำเปลือกหอยแครงมาแทนที่ขยะปูนซีเมนต์และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนร้อยละ 2.5, 5, 10, 15, และ 20 แต่ยังคงอัตราส่วนผลรวมของปูนซีเมนต์ ขยะซีเมนต์และเปลือกหอยแครงต่อน้ำอยู่ที่ 1 : 0.5

3.7) จากนั้นทำการผสมวัสดุที่แห้ง ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ขยะซีเมนต์ เปลือกหอยแครง และทรายหยาบตามตารางที่ 3.2 จากนั้นทำตามขั้นตอนในข้อ 3.2) ถึง 3.4)

3.8) ทำการทดลองตามขั้นตอนที่ 3.6 และ 3.7) โดยเปลี่ยนจากหอยแครง มาเป็นหอยแมลงภู่ อัตราส่วนผสมร้อยละโดยที่น้ำหนักของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ขยะซีเมนต์ เปลือกหอย หอย ทรายหยาบและน้ำ ในการผลิตอิฐคอนกรีต แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนผสมร้อยละโดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ขยะซีเมนต์ เปลือกหอย ทรายหยาบและน้ำ ในการผลิตอิฐคอนกรีต

ร้อยละโดยน้ำหนัก				
ปูนซีเมนต์ปอร์ต แลนด์	ขยะปูนซีเมนต์	เปลือกหอย	ทรายหยาบ	น้ำ
20.0	2.22	0.00	66.67	11.11
19.50	2.17	0.55	66.67	11.11
19.00	2.11	1.11	66.67	11.11
18.00	2.00	2.22	66.67	11.11
17.00	1.89	3.33	66.67	11.11
16.00	1.78	4.44	66.67	11.11

3.9) เมื่อได้อัตราส่วนที่เหมาะสมจากข้อ 3.7) และ 3.8) ต่อมาทำการทดลองแทนที่ทรายหยาบด้วยเศษแก้ว

3.10) นำเศษแก้วมาแทนที่ทรายหยาบในอัตราส่วนร้อยละ 15, 30, 45, 60 และ 75 แต่ยังคงอัตราส่วนของน้ำ : ผลรวมของปูนซีเมนต์ ขยะซีเมนต์และเปลือกหอย : ผลรวมของทรายหยาบและเศษแก้ว เท่ากับ 0.5 : 1 : 3 โดยน้ำหนัก

3.11) จากนั้นทำการผสมวัสดุที่แห้ง ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ขยะซีเมนต์ เปลือกหอยแครง ทรายหยาบและเศษแก้ว โดยทำตามขั้นตอนในข้อ 3.2) ถึง 3.3)

3.12) ทำการทดลองตามขั้นตอนที่ 3.10) และ 3.11) โดยเปลี่ยนจากหอยแครงมาเป็นหอยแมลงภู่ อัตราส่วนผสมร้อยละโดยที่น้ำหนักของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ขยะซีเมนต์ เปลือกหอย ทรายหยาบ เศษแก้วและน้ำ ในการผลิตอิฐคอนกรีต แสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนผสมร้อยละโดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ขยะซีเมนต์ เปลือกหอย ทรายหยาบ เศษแก้วและน้ำ ในการผลิตอิฐคอนกรีต

ร้อยละโดยน้ำหนัก					
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	ขยะปูนซีเมนต์	เปลือกหอย	ทรายหยาบ	เศษแก้ว	น้ำ
19.00	2.11	1.11	66.67	0.00	11.11
19.00	2.11	1.11	56.67	10.00	11.11
19.00	2.11	1.11	46.67	20.00	11.11
19.00	2.11	1.11	36.67	30.00	11.11
19.00	2.11	1.11	26.67	40.00	11.11
19.00	2.11	1.11	16.67	50.00	11.11

3.13) นำก้อนอิฐคอนกรีตที่ได้จากข้อ 3.11) และ 3.12) ไปทำการบ่มโดยวิธีการนำก้อนอิฐคอนกรีตไปแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3, 7 และ 28 วัน

4) ศึกษาลักษณะสมบัติของอิฐคอนกรีต

4.1) การทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐคอนกรีต ใช้วิธีการทดสอบตาม ASTM C109 (ASTM C109, 2000)

1) นำตัวอย่างตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 วัน จนผิวของตัวอย่าง

แห้ง

2) นำชิ้นตัวอย่างไปทำการทดสอบรับน้ำหนัก

3) คำนวณหาความต้านทานแรงอัดของชิ้นตัวอย่างดังนี้

$$C=W/A$$

เมื่อ C คือ กำลังต้านแรงอัดของชิ้นตัวอย่าง หน่วยเป็นเมกะปาสกาล

W คือ น้ำหนักบรรทุกสูงสุด หน่วยเป็นนิวตัน

A คือ พื้นที่ทั้งหมดโดยเฉลี่ยจากพื้นที่ด้านบนและด้านล่างของชิ้นตัวอย่าง หน่วย ตารางมิลลิเมตร

4.2) การทดสอบการดูดกลืนน้ำของอิฐคอนกรีต ใช้วิธีทดสอบตาม มอก. 243-2520

1) ชั่งน้ำหนักชิ้นตัวอย่าง เป็นน้ำหนักแห้ง (Wd)

2) เมื่อได้น้ำหนักของชิ้นตัวอย่างแล้ว เอาชิ้นตัวอย่างแช่ในน้ำสะอาดที่ไม่กระด้าง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อได้เวลาที่กำหนด ให้เอาชิ้นตัวอย่างขึ้นจากน้ำ จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักชิ้นตัวอย่างให้เสร็จภายในเวลา 5 นาที ให้นำน้ำหนักที่ชั่งในครั้งนี้เป็นน้ำหนักอิ่มตัว (W_s)

3) คำนวณหาค่าการดูดกลืนน้ำของชิ้นตัวอย่างดังนี้

$$\text{การดูดกลืนน้ำ ร้อยละ} = 100(W_s - W_d) / W_d$$

เมื่อ W_s คือ น้ำหนักแห้ง

W_d คือ น้ำหนักอิ่มตัว

4.3) การศึกษาค่าการนำความร้อนของก้อนอิฐคอนกรีต โดยเครื่อง Thermal conductivity testing เพื่อวัดค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity, W/m.K)

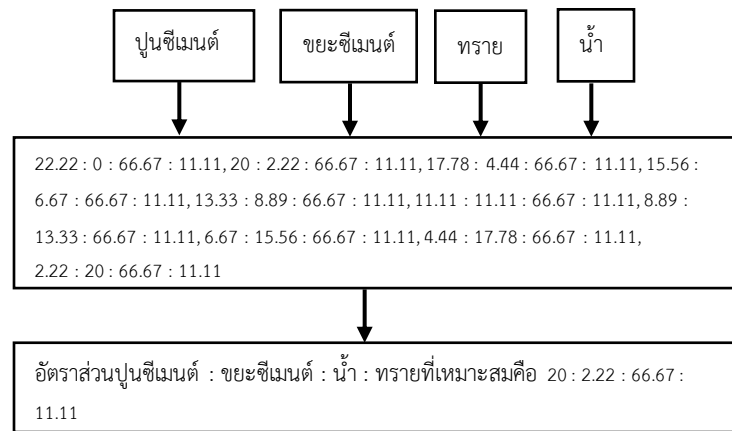
4.4) การศึกษาลักษณะโครงสร้างขนาดเล็กของอิฐคอนกรีต โดยใช้การถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด

5) การวิเคราะห์ทางสถิติ

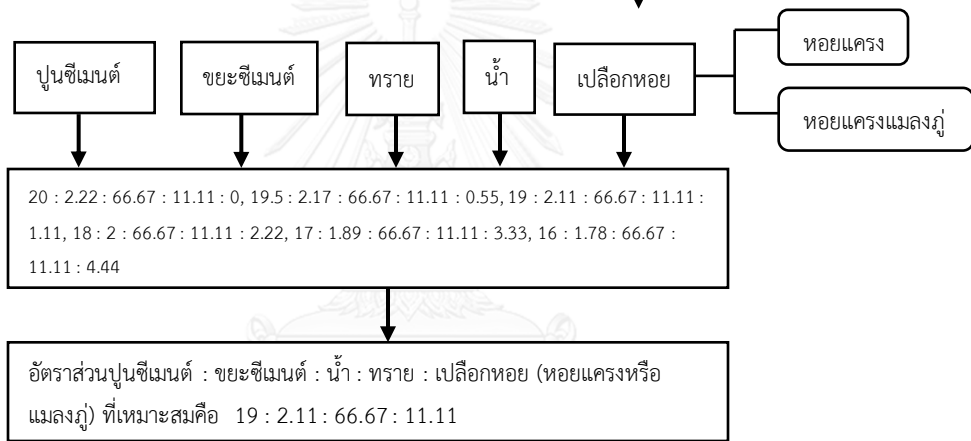
โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ SPSS เพื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติ ซึ่งใช้วิธีการทดสอบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญด้วยสถิติ One-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อทดสอบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของปริมาณปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ผูกแทนที่ด้วยขยะซีเมนต์และปริมาณเปลือกหอย (หอยแครงและหอยแมลงภู่) ในอัตราส่วนต่างๆ

การดำเนินงานวิจัยในระยะที่ 1 แสดงดังรูปที่ 3.1

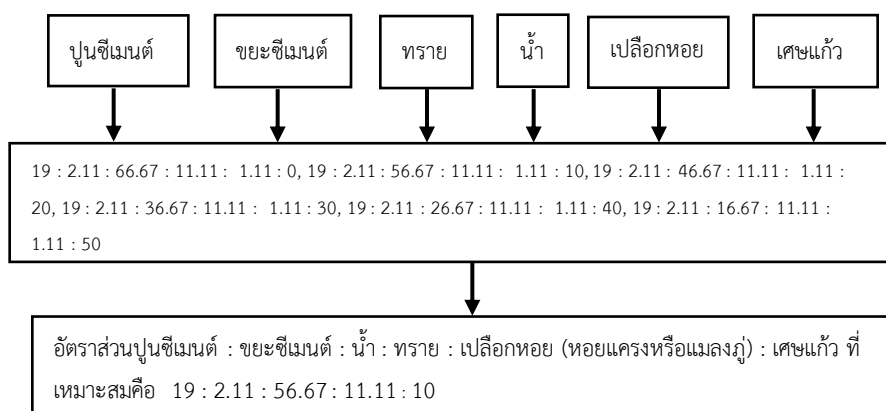
1. อัตราส่วนที่เหมาะสม ระหว่าง
ปูนซีเมนต์และขยะ



2. อัตราส่วนที่เหมาะสม ระหว่าง
ปูนซีเมนต์ : ขยะซีเมนต์ : เปลือกหอย



3. อัตราส่วนที่เหมาะสม ระหว่างปูนซีเมนต์ :
ขยะซีเมนต์ : เปลือกหอย : เศษแก้ว : ทราย



รูปที่ 3.1 ระยะเวลาที่ 1 ขั้นตอนการผลิตอิฐคอนกรีต

3.2.2 ระยะที่ 2 ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์อิฐคอนกรีต

ประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์อิฐคอนกรีตจากเปลือกหอยแมลงภู่มะพร้าวและหอยแครงผสมกับเศษแก้วและขยะซีเมนต์ที่มีลักษณะสมบัติที่เหมาะสมที่สุดตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักประเภท ค (มอก.57-2533) การดำเนินการทดลองในระยะที่ 2 มีดังนี้

โดยใช้โปรแกรม Sima Pro 7.3 โดยเริ่มตั้งแต่การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการประเมินผลกระทบ เริ่มตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง และกระบวนการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อิฐคอนกรีต (Cradle to Gate) โดยศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้ง 5 ผลกระทบ ได้แก่ ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน ศักยภาพในการทำให้เกิดฝนกรด ศักยภาพในการทำให้โอโซนในชั้นบรรยากาศลดลง ศักยภาพในการก่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีแสง และศักยภาพในการก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุในน้ำ

1) การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope Definition) มีเป้าหมายในการศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการหรือกิจกรรมในกระบวนการการผลิต ตั้งแต่การเตรียมวัตถุดิบ การผลิต การจัดหา การขนส่งตลอดกระบวนการ และส่วนการผลิต จนได้ผลิตภัณฑ์มา เรียกว่า “Cradle to Gate”

1.1) เป้าหมายและขอบเขตของอิฐบล็อกคอนกรีตที่ผลิตจากเปลือกหอยแมลงภู่มะพร้าวและหอยแครงผสมกับเศษแก้วและขยะซีเมนต์

- ผลิตภัณฑ์ คือ ก้อนอิฐบล็อกคอนกรีต

- หน้าที่ผลิตภัณฑ์ คือ การจัดการเปลือกหอยแมลงภู่มะพร้าวและหอยแครงผสมกับเศษแก้วและขยะซีเมนต์นำมาทำเป็นก้อนอิฐบล็อกคอนกรีต

- หน่วยอ้างอิง (Function Unit) คือ ก้อนอิฐบล็อกคอนกรีตปริมาณ 100 กิโลกรัม ของที่ผลิตได้

- เป้าหมายหลัก คือ เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในหน่วยของการปล่อยแก๊สเรือนกระจก การใช้พลังงานที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตของอิฐบล็อกคอนกรีต ภายใต้หน่วยอ้างอิงเดียวกันคือ 100 กิโลกรัมเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตได้ เพื่อจะใช้เป็นแนวทางในการพัฒนา ปรับปรุงกระบวนการผลิตต่อไปในอนาคต โดยเปรียบเทียบดังนี้

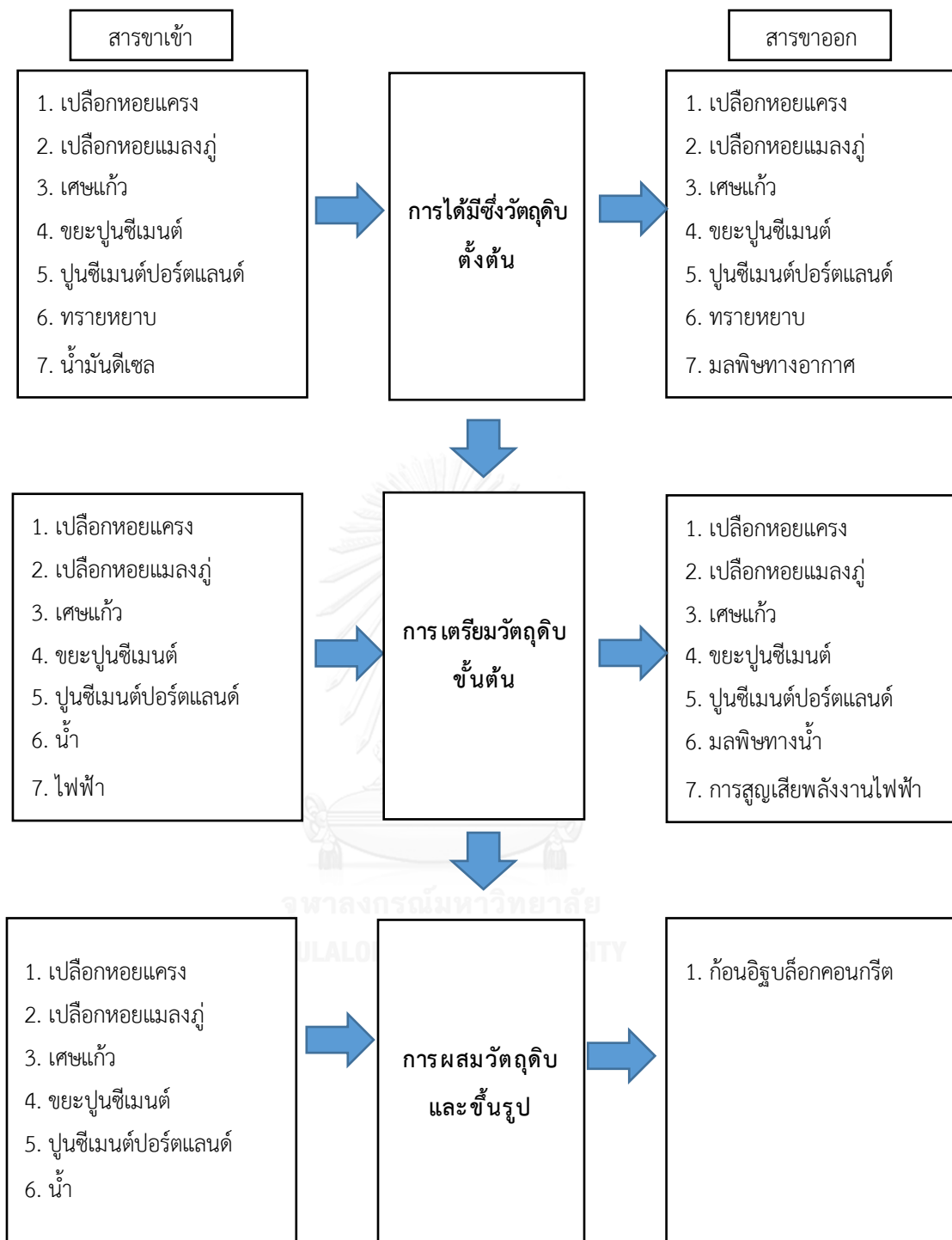
- เปรียบเทียบการผลิตอิฐบล็อกคอนกรีต 4 ขั้นตอน ได้แก่ การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง การเตรียมวัตถุดิบ และการผลิต

2) การวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Inventory Analysis) บัญชีรายการสิ่งแวดล้อม คือ ข้อมูลที่แสดงชนิด และปริมาณสารขาเข้า เช่น วัตถุดิบ พลังงาน ทรัพยากร เป็นต้น ปริมาณสารขาออก ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์พลอยได้ และมลสารที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม รูปแบบต่างๆ ดังนั้นจึงต้องเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการต่างๆ ที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนแรกของการวิจัยโดยศึกษาขั้นตอนวิธีการผลิตอิฐคอนกรีตจากเปลือกหอยแมลงภู่ และหอยแครงผสมกับเศษแก้วและขยะซีเมนต์ระหว่างทำการทดลองให้จดบันทึกข้อมูลสารขาเข้า-ออกทั้งหมด

2.1) สร้างแผนภาพวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ กำหนดขั้นตอนของวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ที่พิจารณาและขอบเขตการศึกษา โดยระบุกระบวนการย่อยของแต่ละขั้นตอนในวัฏจักร และระบุสารขาเข้า สารขาออกที่เกิดขึ้น ดังรูปภาพที่ 3.1

2.2) การวางแผนการเก็บข้อมูล ลักษณะข้อมูลมีทั้งข้อมูลปฐมภูมิ ได้จากการรวบรวมหรือบันทึกจากแหล่งข้อมูลโดยตรง คือ การสำรวจ สัมภาษณ์ จดบันทึกจากเครื่องจักร หรือการคำนวณ และจากการผลิต ส่วนข้อมูลทุติยภูมิจากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) การตีพิมพ์ในวารสาร และฐานข้อมูลระหว่างประเทศ ซึ่งหากมีการใช้ข้อมูลจากแหล่งข้อมูลใดต้องพิจารณาแล้วว่ามีความสัมพันธ์ ถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือของแหล่งข้อมูล โดยจะต้องบันทึกอ้างอิงแหล่งข้อมูลนั้นด้วย เพื่อสามารถตรวจสอบได้

มีการคัดเลือกและจัดการข้อมูลที่นำมาใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล มีหลักการในเก็บข้อมูล เป็นข้อมูลที่อยู่ในระหว่างการดำเนินการ เก็บรวบรวมหรือระหว่างการทดลอง กลั่นกรองและตัดสินใจเลือกเก็บข้อมูลที่สำคัญ โดยในงานวิจัยนี้ ขั้นแรกทำการเก็บข้อมูลดิบ เช่น ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในการขนส่ง ระยะทาง น้ำหนักวัตถุดิบ ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของเครื่องจักรกลต่อกระบวนการหนึ่ง เวลาในการใช้เครื่องจักรกล น้ำเสียที่เกิดขึ้น ในระหว่างกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ จากนั้นจึงถูกคัดเลือกและกลั่นกรองข้อมูลเป็นปริมาณที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ คิดเทียบเป็นต่ออิฐบล็อกคอนกรีต 100 กิโลกรัม



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการผลิตอิฐบล็อกคอนกรีต

2.3) การวิเคราะห์และรายงานข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม

วิธีการคำนวณผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม สามารถทำได้หลายวิธี อาจอยู่ในรูปเอ็กเซล โลตัส หรือโปรแกรมสำเร็จรูป โดยงานวิจัยนี้มีวิธีการเก็บข้อมูล และคำนวณในรูปแบบเอ็กเซล (Microsoft Excel) ดังตัวอย่างการคำนวณการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง (IPCC, 2006) จากนั้นจึงนำผลไปบันทึกในรายการข้อมูล ตัวอย่างดังตารางที่ 3.4

การเกิดก๊าซจากการเผาไหม้ = ปริมาณน้ำมัน (L) X ค่าความร้อน (MJ/L) X ค่าปัจจัยการปล่อยก๊าซจากการเผาไหม้ (g gas/MJ)

โดย ค่าความร้อนของน้ำมันดีเซล = 36.42 MJ/L

ค่าปัจจัยการปล่อย CO₂ จากการเผาไหม้น้ำมันดีเซล = 74.1 g CO₂/MJ

ค่าปัจจัยการปล่อย CH₄ จากการเผาไหม้น้ำมันดีเซล = 0.0039 g CH₄/MJ

ค่าปัจจัยการปล่อย N₂O จากการเผาไหม้น้ำมันดีเซล = 0.0039 g N₂O/MJ

ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างรายการข้อมูลพลังงานเชื้อเพลิงในกระบวนการรับวัตถุดิบตั้งต้นของผลิตภัณฑ์ อีธิบล็อกรถจักรยานยนต์

ขั้นตอน	รายการ	ปริมาณ (หน่วย)		บัญชีรายการ (หน่วย)	
การขนส่งวัตถุดิบตั้งต้น	เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล	0.0045	L	(combustion) CO ₂ (kg.)	0.01214
				(combustion) CH ₄ (kg.)	6.39 x 10 ⁻⁷
				(combustion) N ₂ O (kg.)	6.39 x 10 ⁻⁷
				Thai diesel (kg)	1

3) การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment) เป็นกระบวนการที่ต้องใช้เทคนิคเพื่อจัดการแปลงข้อมูลการใช้ทรัพยากรและการปลดปล่อยมลสารต่างๆ จากข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมที่ได้จากขั้นต้น เพื่อนำมาจำแนกประเภทและกำหนดบทบาทที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นด้านภาวะโลกร้อน การทำให้เกิดฝนกรด การทำให้โอโซนในชั้นบรรยากาศลดลง การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหาร และการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ โดยมีค่ามาตรฐานเพื่อใช้ในสูตรการคำนวณจาก MTEC, Thai LCI data, IPCC และจากงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งการคำนวณโดยโปรแกรมซอฟต์แวร์ SimaPro 7.3

ในขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำปริมาณสารขาเข้า สารขาออกและมลพิษที่ปลดปล่อยออกมาทั้งกระบวนการตามที่ขอบเขตการศึกษาได้กำหนดไว้ ที่ได้ทั้งหมดจากขั้นตอนที่ผ่านมา นำมาแปลงให้มีหน่วยที่เหมือนกัน เพื่อเป็นตัวชี้วัดของผลกระทบต่อด้านสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันที่ได้ทำการศึกษา ประกอบด้วย

3.1) การจำแนกประเภทข้อมูล (Classification)

เป็นการจำแนกข้อมูลสารขาเข้า สารขาออก ไปยังกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในรูปแบบผลกระทบต่างๆ ได้แก่ ด้านทำให้เกิดภาวะโลกร้อน การทำให้เกิดฝนกรด การทำให้อิโชนในชั้นบรรยากาศลดลง การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในน้ำ การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ อย่างเช่น CO₂ จัดอยู่ในกลุ่มผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน SO₂ อยู่ในกลุ่มผลกระทบทำให้เกิดฝนกรด และยังอยู่ในกลุ่มก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ เป็นต้น ซึ่งการจำแนกประเภทข้อมูลนั้น ส่วนใหญ่จะใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูล SimaPro 7.3 จากนั้นโปรแกรมจะคำนวณ และแสดงค่าที่แสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในกลุ่มต่างๆ

3.2) การกำหนดบทบาท (Characterization)

แสดงประเภทค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้อยู่ในรูปดัชนีบ่งชี้ (Indicator) โดยใช้ Characterization factor ในการคูณเพื่อเปลี่ยนจากน้ำหนักของแต่ละข้อมูลเป็นค่าบ่งชี้ผลกระทบประเภทต่างๆ ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้มีการใช้ค่า Characterization factor จากฐานข้อมูลโปรแกรม SimaPro 7.3 จากนั้นรวมค่าทั้งหมดของแต่ละผลกระทบ ดังสมการที่ 3.1 และตารางที่ 3.3

$$EP_j = Q_j \times EF_{ij} \quad 3.1$$

โดยที่ EP_j (Environment impact potential) คือ ศักยภาพของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประเภท j (kg substance equivalent)

Q_j (Quantity of substance) คือ ปริมาณมลสาร j ที่ปล่อยออกมา (kg substance j)

EF_{ij} (Equivalency factor) หรือ Characterization factor คือ ค่าเทียบเท่าของสาร i ที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประเภท j (kg substance equivalent/ kg substance j)

ตารางที่ 3.5 ตัวอย่างการคำนวณจากสูตรที่ 3.1

บัญชีรายการ	Characterization Factors (GWP ₁₀₀)	Global Warming Potential (kg CO ₂ -eq.)
CO ₂ 0.05 kg.	1	0.05 × 1 = 0.05
CH ₄ 0.0078 kg.	25	0.0078 × 25 = 0.195
N ₂ O 0.0039 kg.	298	0.0039 × 298 = 1.1622
ผลรวมการมีส่วนทำให้เกิดภาวะโลกร้อนของผลิตภัณฑ์		= 1.4072

4) การแปลผลและปรับปรุงผลิตภัณฑ์ (Interpretation) เป็นการวิเคราะห์ผลประเมินที่ได้ของผลิตภัณฑ์อิฐบล็อกคอนกรีต นำผลประเมินมาเปรียบเทียบกับแต่ละผลิตภัณฑ์มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแตกต่างกันหรือไม่อย่างไร เพื่อใช้ในการตัดสินใจว่าการนำเปลือกหอยแมลงภู่มะพร้าวและหอยแครงผสมกับเศษแก้วและขยะซีเมนต์มาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อิฐคอนกรีตนั้นสามารถก่อประโยชน์สูงสุด คัดค้านต่อค่าใช้จ่ายและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดหรือไม่ โดยในการทดลองนี้ได้วิเคราะห์ผลออกมาเป็นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม คือ ด้านภาวะโลกร้อน การทำให้เกิดฝนกรด การทำให้โอโซนในชั้นบรรยากาศลดลง การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหาร และการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ ซึ่งผลการทดลองนี้สามารถใช้เป็นจุดเริ่มต้นในการพัฒนาการจัดการมูลฝอยได้อย่างยั่งยืน

6. รวบรวมข้อมูลจากการทดลอง วิเคราะห์ สรุปผลการทดลอง นำเสนองานวิจัย และจัดทำเล่มวิทยานิพนธ์

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

ในงานวิจัยนี้ศึกษาการประยุกต์ใช้มูลฝอยจากเกาะสีชัง ได้แก่ เปลือกหอยแครง เปลือกหอยแมลงภู่ ขยะซีเมนต์และเศษแก้ว เพื่อผลิตอิฐคอนกรีต โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นตัวประสานและวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางเคมีและกายภาพ ได้แก่ ค่าความต้านทานแรงอัดและการดูดกลืนน้ำเทียบกับค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (มอก.57-2533) คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักประเภท ค และค่าการดูดกลืนความร้อน (ASTM C518) สำหรับขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ระยะ ได้แก่

- 1) ระยะที่ 1 ศึกษาลักษณะสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทำวิจัยและอัตราส่วนที่เหมาะสมของการผลิตอิฐคอนกรีตที่ได้จากเปลือกหอยแมลงภู่และหอยแครงผสมกับเศษแก้วและขยะซีเมนต์ โดยเทคนิค Cementing เพื่อให้ได้อิฐคอนกรีตที่เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (มอก.57-2533) คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักประเภท ค
- 2) ระยะที่ 2 ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment : LCA) ของอิฐบล็อกคอนกรีตที่มีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (มอก. 57-2533) คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักประเภท ค

4.1 การศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุดิบ

4.1.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุดิบ

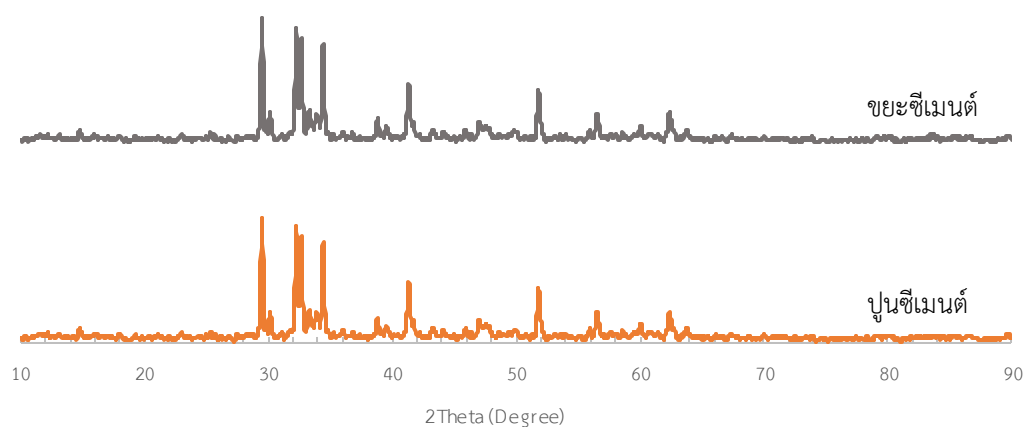
จากผลการวิเคราะห์วัสดุที่ใช้ในการทดลองโดยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่าปริมาณปูนซีเมนต์และขยะซีเมนต์มีองค์ประกอบหลักทางเคมีชนิดเดียวกันและปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ได้แก่ แคลเซียมออกไซด์มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 62.40 และ 59.90 ตามลำดับ รองลงมาคือปริมาณของซิลิกอนไดออกไซด์มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 15.90 และ 16.80 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าขยะซีเมนต์มีแนวโน้มที่สามารถนำมาทำเป็นวัสดุทางเลือกในการทดแทนปูนซีเมนต์ได้ นอกจากนี้เปลือกหอยแครงและเปลือกหอยแมลงภู่ยังมีองค์ประกอบโดยส่วนใหญ่เป็นแคลเซียมออกไซด์ในปริมาณเท่ากับ ร้อยละ 71.90 และ 69.40 ตามลำดับ เช่นเดียวกับปูนซีเมนต์และขยะซีเมนต์ เมื่อพิจารณาเศษแก้วและทรายหยาบ พบว่ามีองค์ประกอบหลักชนิดเดียวกันคือ ซิลิกาในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ได้แก่ ร้อยละ 60.50 และ 79.3 ตามลำดับ ซึ่งเป็นเหตุผลในการนำเอาเศษแก้วมาใช้ทดแทนทรายหยาบสำหรับการทดลองนี้

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ขยะซีเมนต์ เปลือกหอยแครงที่ผ่านการเผา เปลือกหอยแมลงภูที่ผ่านการเผา ทราวยหยาบและเศษแก้วโดยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์

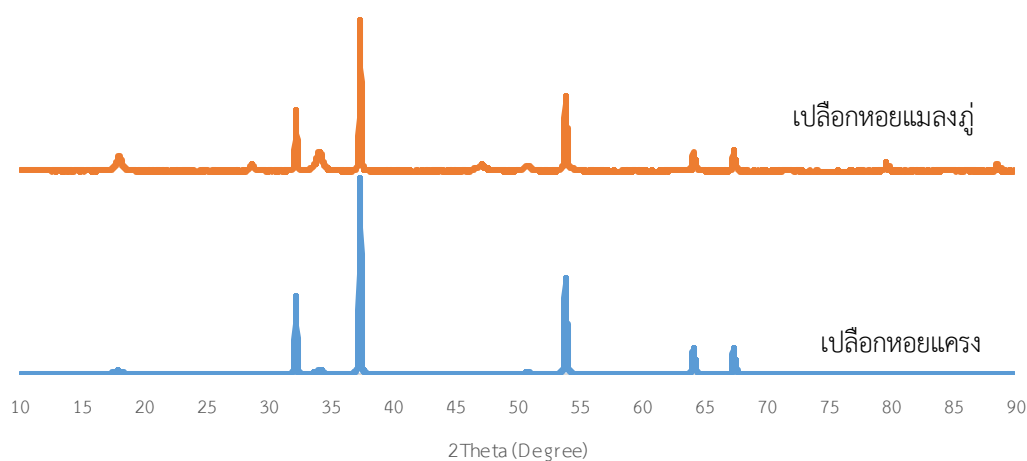
ธาตุ (ร้อยละ โดย น้ำหนัก)	วัตถุดิบ					
	ปูนซีเมนต์	ขยะ ซีเมนต์	เปลือก หอยแครง	เปลือก หอยแมลงภู	ทราวย หยาบ	เศษแก้ว
SiO ₂	15.90	16.80	0.07	0.04	79.30	60.50
Al ₂ O ₃	3.73	3.22	0.03	0.01	3.69	2.13
Fe ₂ O ₃	2.99	2.73	0.04	0.02	0.36	0.50
CaO	62.40	59.90	71.90	69.40	0.76	9.89
MgO	0.88	1.11	0.11	0.12	0.51	1.70
K ₂ O	0.62	0.31	0.01	0.02	2.35	0.24
Na ₂ O	0.24	0.25	1.28	1.43	0.21	10.60
SO ₃	3.49	0.36	0.11	0.23	0.58	0.54
Cl	0.03	0.02	0.02	0.08	0.23	0.28
TiO ₂	0.23	0.22	-	-	0.63	0.98
SrO	-	-	0.16	0.22	-	0.13

4.1.2 ผลการวิเคราะห์โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของวัตถุดิบ

จากผลการวิเคราะห์โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ดังรูปที่ 4.1 พบลักษณะการเกิดพีกที่มีความแหลมของทุกวัสดุที่นำไปวิเคราะห์ จากกราฟพบว่ากราฟของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และขยะซีเมนต์มีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน จากตำแหน่งการเกิดพีกที่แกนนอนของกราฟประกอบด้วยแคลเซียมซilikेटซึ่งเป็นองค์ประกอบหลัก ในตำแหน่งพีกที่ 32.1, 32.5, 33.2, 34.3, 41.1 และ 44.4 องศา อีกทั้งเปลือกหอยแครงและหอยแมลงภูที่ผ่านกระบวนการเผาที่อุณหภูมิสูงมีการเกิดพีกที่ตำแหน่งเดียวกัน ได้แก่ 32.2, 37.4 และ 53.9 องศา ซึ่งเป็นพีกของแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่ใช้เป็นวัสดุในการผลิตปูนซีเมนต์ ดังนั้นจากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าขยะซีเมนต์ เปลือกหอยแครงและเปลือกหอยแมลงภูมีความเหมาะสมและเป็นไปได้ที่นำมาทดแทนปูนซีเมนต์ได้



รูปที่ 4.1 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และขยะซีเมนต์



รูปที่ 4.2 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ของเปลือกหอยแครงและเปลือกหอยแมลงภูที่ผ่านการเผาแล้ว

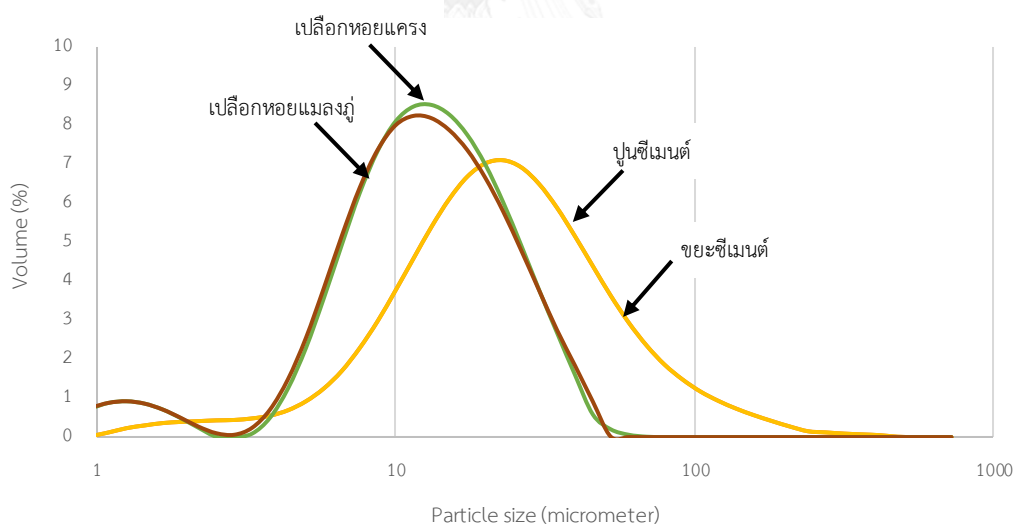
4.1.3 การกระจายขนาดของวัสดุดิบ

จากผลการทดลองการกระจายขนาดของทรายหยาบและเศษแก้ว โดยวิธีการใช้ตะแกรงกรอง (Testing Sieve) โดยใช้ขนาดของตะแกรงกรองเบอร์ที่แตกต่างกัน โดยใช้ตัวอย่างทรายหยาบและเศษแก้ว ปริมาณ 200 กรัม พบว่าขนาดของทรายหยาบร้อยละ 31.60 มีขนาด 0.59 มิลลิเมตร และเศษแก้วร้อยละ 65.80 มีขนาดเป็น 2.38 มิลลิเมตร แสดงให้เห็นว่าเศษแก้วมีขนาดใหญ่กว่าทรายหยาบ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การกระจายขนาดของทรายหยาบและเศษแก้ว

Sieve no.	Sieve Size (mm)	ทรายหยาบ (%)	เศษแก้ว (%)
4	4.25	2.65	0.65
8	2.38	7.00	65.80
16	1.19	24.2	22.25
30	0.59	31.60	10.00
50	0.30	21.55	1.05
100	0.15	8.95	-

ผลการทดลองการกระจายขนาดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ขยะซีเมนต์ เปลือกหอยแครง และเปลือกหอยแมลงภู่ พบว่าค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ขยะซีเมนต์ เปลือกหอยแครงและเปลือกหอยแมลงภู่เท่ากับ 9.20, 24.20, 13.49 และ 13.18 ไมโครเมตร ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.3

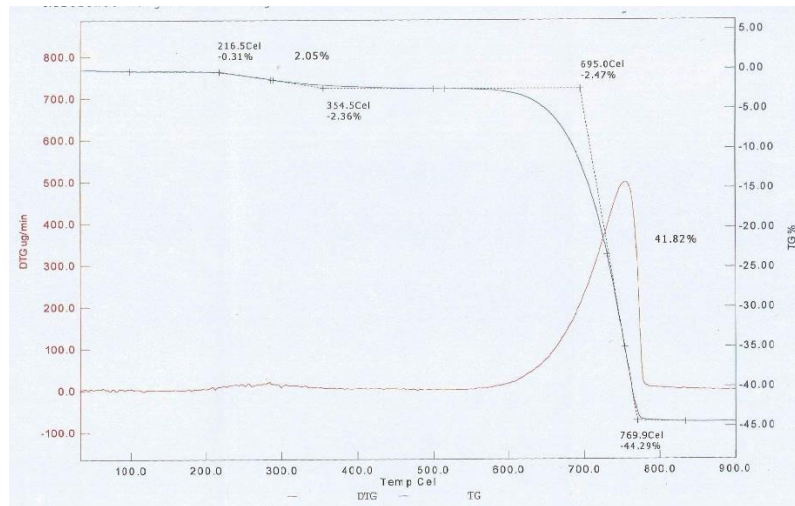
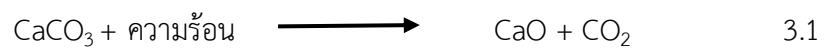


รูปที่ 4.3 การกระจายขนาดของปูนซีเมนต์ ขยะซีเมนต์ เปลือกหอยแครงและหอยแมลงภู่

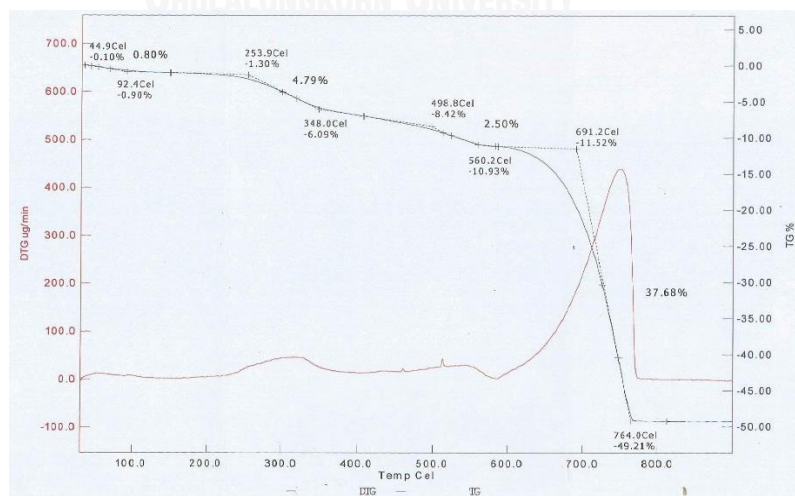
4.1.4 การวิเคราะห์ทางความร้อนอุณหภูมิต่อหาช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาเปลือกหอยแครงและเปลือกหอยแมลงภู่

จากการศึกษาพบว่า การเผาเปลือกหอยแครงและเปลือกหอยแมลงภู่ ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที่อย่างต่อเนื่อง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของเปลือกหอยแครงและเปลือกหอยแมลงภู่ไปในทิศทางที่ลดลงในช่วงอุณหภูมิ 216.5-354.4 องศา

เซลเซียสของเปลือกหอยแครงและในช่วงอุณหภูมิ 253.9-348.0 องศาเซลเซียส เป็นการสลายตัวของสารประกอบอินทรีย์ที่อยู่ในเปลือกหอยทั้งสองชนิด ส่วนช่วงอุณหภูมิ 769.9 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัตถุบทั้งสองชนิดเริ่มคงที่ สำหรับเปลือกหอยแมลงงูมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกับเปลือกหอยแครง การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักคงที่ตั้งแต่อุณหภูมิ 764 องศาเซลเซียส โดยช่วงอุณหภูมิที่คงที่นี้เหมาะสมที่เป็นอุณหภูมิในการเผา เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ที่อยู่ในเปลือกหอยเกิดการสลายตัวให้แคลเซียมออกไซด์ (CaO) พร้อมปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (ภคพงษ์ พงษ์ทองหล่อ, 2553) ดังสมการที่ 3.1



รูปที่ 4.4 การวิเคราะห์ทางความร้อนของเปลือกหอยแครง

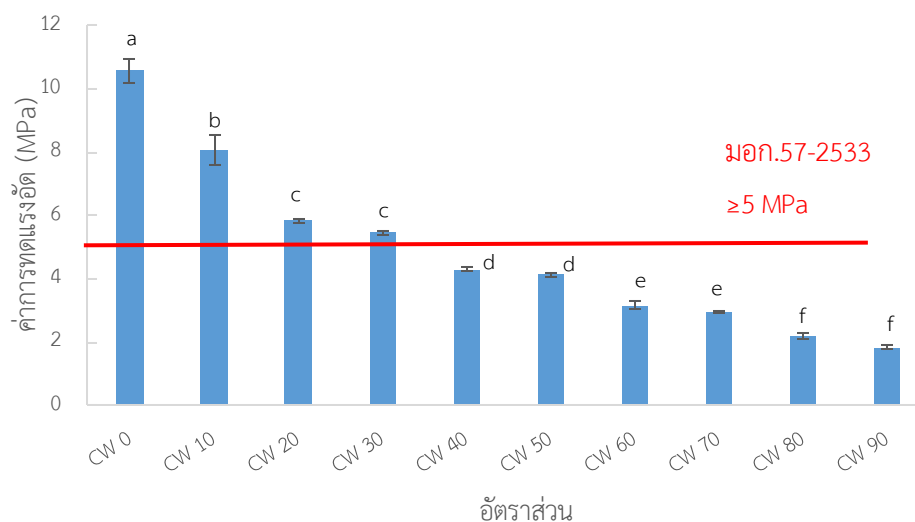


รูปที่ 4.5 การวิเคราะห์ทางความร้อนของเปลือกหอยแมลงงู

4.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของอิฐคอนกรีต

4.2.1 อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างปูนซีเมนต์และขยะซีเมนต์

จากผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดด้วย รูปที่ 4.6 พบว่าค่าความต้านทานแรงอัดลดลงเมื่อปริมาณของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ลดลงในขณะที่ขยะซีเมนต์เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณปูนซีเมนต์ที่ลดลงทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันที่น้อยลงส่งผลให้เกิดสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) ที่ลดลงด้วย ซึ่งเป็นสารที่เพิ่มค่าความต้านทานแรงอัดให้แก่อิฐคอนกรีต และขยะซีเมนต์มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ที่เป็นองค์ประกอบหลักที่เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานจะได้สารไตรแคลเซียมซิลิเกตหรือไดแคลเซียมซิลิเกต ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่อยู่ในปูนซีเมนต์ ซึ่งปฏิกิริยานี้เกิดช้ากว่าปฏิกิริยาไฮเดรชัน จึงใช้ระยะเวลาในการบ่มคอนกรีตนาน (ช่วงระยะเวลาการบ่มในการทดลองคือ 7 วัน) จึงส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงอัดลดลงเมื่อเพิ่มขยะซีเมนต์ (Olivia *et al.*, 2015) เมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (มอก.57-2533) คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักประเภท ค มีค่าความต้านทานแรงอัดตั้งแต่ 5 เมกะปาสคาล พบว่าปูนซีเมนต์ที่ถูกแทนที่ด้วยขยะซีเมนต์ร้อยละ 10 (CW10), 20 (CW20) และ 30 (CW30) ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

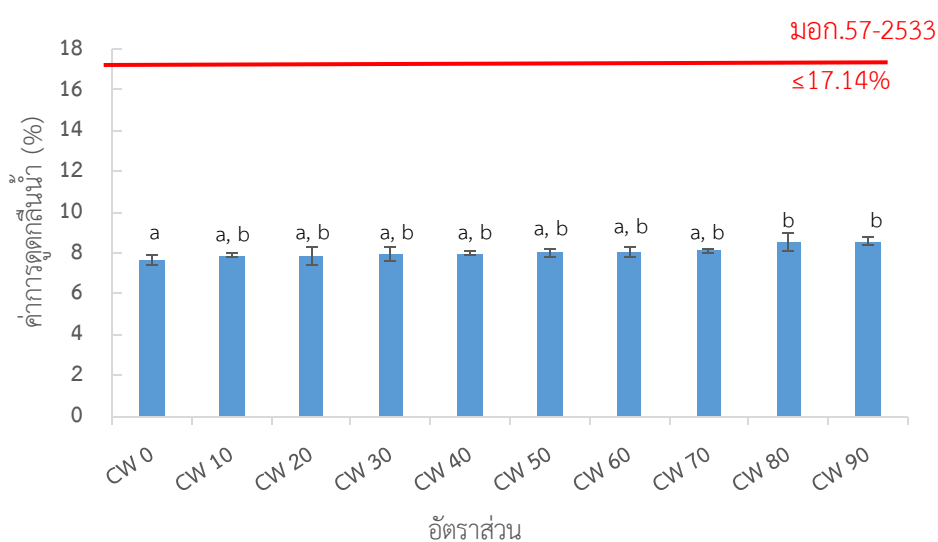


รูปที่ 4.6 ค่าความต้านทานแรงอัดของอิฐคอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยขยะซีเมนต์

ส่วนค่าการดูดกลืนน้ำค้าง รูปที่ 4.7 พบว่าในแต่ละอัตราส่วนมีค่าการดูดกลืนน้ำที่เมื่อทำการทดสอบทางสถิติ One-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยและมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณขยะซีเมนต์เพิ่มขึ้น เนื่องจากมีวัตุถุค

บางส่วนไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันได้ ทำให้ไม่เกิดโครงสร้างของสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต จึงไม่มีการประสานกันและเกิดเป็นช่องว่างทำให้ค่าการดูดกลืนน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อขยชะซีเมนต์เพิ่มขึ้น โดยค่ามาตรฐานของการดูดกลืนน้ำไม่เกินร้อยละ 17.14 (มอก. 57-2533) เมื่อพิจารณาแล้วพบว่าทุกอัตราส่วนผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงค่าความต้านทานแรงอัด ค่าการดูดกลืนน้ำและมีการนำเอาขยชะซีเมนต์มาใช้ในการผสมทำอิฐคอนกรีต แล้วพบว่าที่อัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยร้อยละ 10 ของขยชะซีเมนต์ (CW10) มีค่าความต้านทานแรงอัด 8.08 เมกะพาสคาล และค่าการดูดกลืนน้ำร้อยละ 7.88 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทดลองขั้นต่อไป

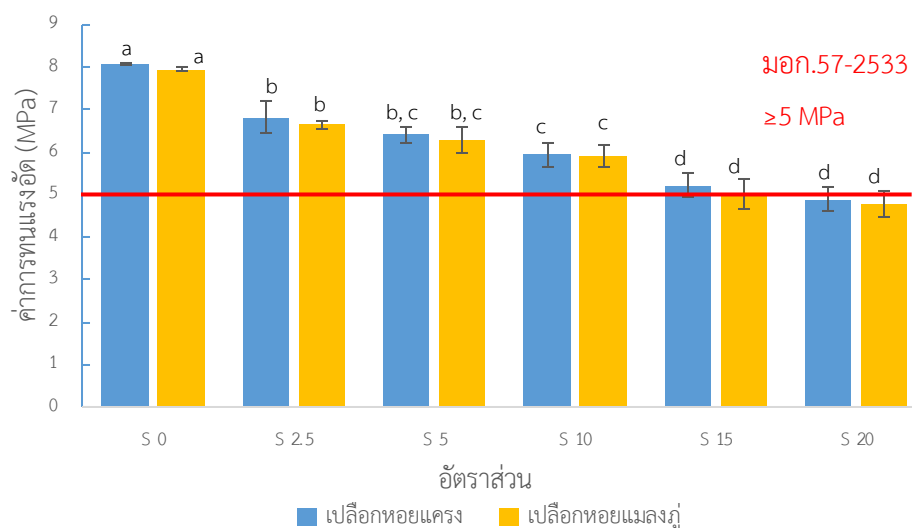


รูปที่ 4.7 ค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐคอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยขยชะซีเมนต์

4.2.2 อัตราส่วนเปลือกหอยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และขยชะซีเมนต์ที่เหมาะสม

จากผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดดังรูปที่ 4.8 พบว่าจากผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเปลือกหอยทั้งสองชนิด เนื่องจากเปลือกหอยทั้งสองชนิดไม่มีองค์ประกอบของไตรแคลเซียมซิลิเกตและไดรแคลเซียมซิลิเกตจึงทำให้ไม่เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน แต่องค์ประกอบในเปลือกหอยสามารถเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้ (ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน) ซึ่งปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นได้ช้ากว่าปฏิกิริยาไฮเดรชันจึงต้องมีการบ่มคอนกรีตที่นานขึ้นส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงอัดลดลง เมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (มอก.57-2533) คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักประเภท ค มีค่าความต้านทานแรงอัดตั้งแต่ 5 เมกะพาสคาล พบว่าปูนซีเมนต์และขยชะซีเมนต์ที่ถูกแทนที่ด้วยเปลือกหอยทั้งสองชนิดในร้อยละ 2.5 (S 2.5), 5 (S 5), 10 (S 10) และ 15 (S 15) ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน เมื่อเปรียบเทียบเปลือกหอยต่างชนิดกัน พบว่า

อิฐที่มีส่วนผสมของเปลือกหอยหอยแครงมีค่าความต้านทานแรงกดอัดมากกว่าเปลือกหอยแมลงภู่ เนื่องจากขนาดเปลือกหอยแครงมีขนาดเล็กกว่าเปลือกหอยแมลงภู่ทำให้การจัดเรียงตัวของอนุภาคชิดกันมากขึ้น (Lertwattanaruk *et al.*, 2012, Olivia *et al.*, 2015) ความต้านทานแรงอัดของอิฐที่มีเปลือกหอยแครงจึงมากกว่าอิฐที่มีเปลือกหอยแมลงภู่

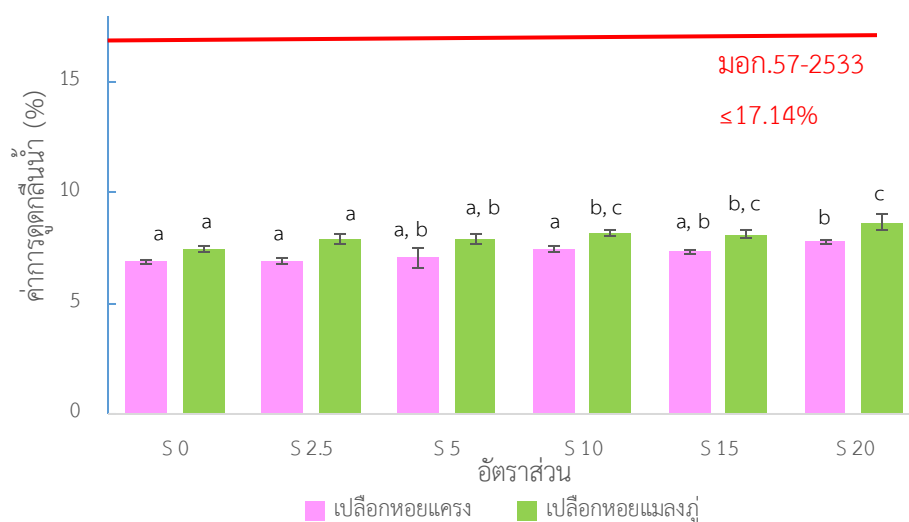


รูปที่ 4.8 ค่าความต้านทานแรงอัดของอิฐคอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และขยะซีเมนต์ด้วยเปลือกหอย

สำหรับค่าการดูดกลืนน้ำดังรูปที่ 4.9 พบว่าในแต่ละอัตราส่วนมีค่าการดูดกลืนน้ำที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ของค่าเฉลี่ย แต่มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของเปลือกหอยทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีวัสดุบางส่วนไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันได้ ทำให้ไม่เกิดโครงสร้างของสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต จึงไม่มีการประสานกันเกิดเป็นช่องว่างทำให้ค่าการดูดกลืนน้ำเพิ่มขึ้น (Lertwattanaruk *et al.*, 2012) โดยค่ามาตรฐานของการดูดกลืนน้ำอยู่ที่ไม่เกิน 17.14 เปอร์เซ็นต์ (มอก. 57-2533) จากผลการทดลองพบว่าทุกอัตราส่วนมีค่าการดูดกลืนน้ำผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด

ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงค่าความต้านทานแรงอัด ค่าการดูดกลืนน้ำ ค่าทางสถิติ One-way ANOVA และการนำเอาเปลือกหอยมาใช้ประโยชน์ โดยการผสมทำอิฐคอนกรีต แล้วพบว่าที่อัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์และขยะซีเมนต์ด้วยร้อยละ 5 ของเปลือกหอย (S5) (หอยแครงและหอยแมลงภู่) ซึ่งมีค่าความต้านทานแรงอัดของอิฐคอนกรีตผสมกับเปลือกหอยแครงและหอยแมลงภู่มีค่า 6.41 และ 6.30 เมกะพาสคาล ตามลำดับ และร้อยละการดูดกลืนน้ำของอิฐคอนกรีตที่ผสมกับเปลือกหอยแครง

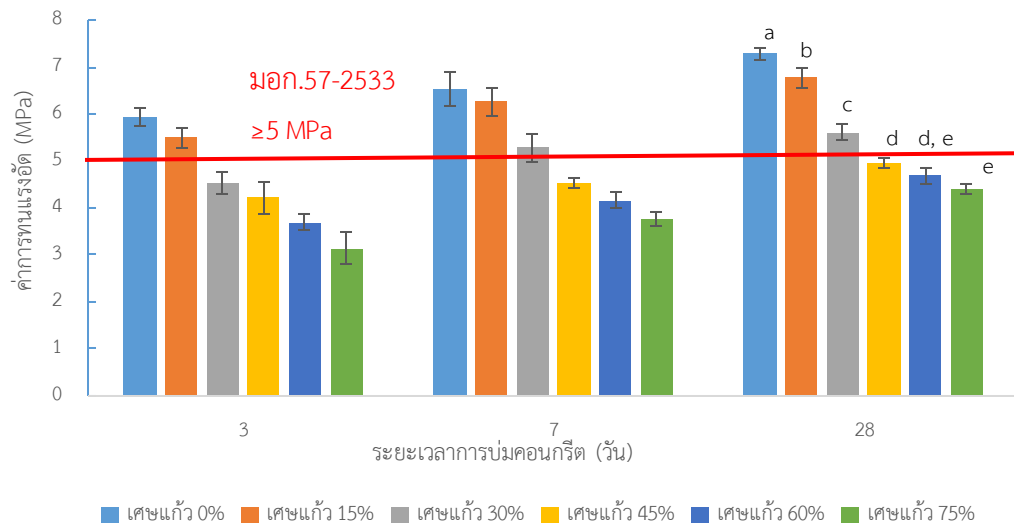
และหอยแมลงภู่มากกว่าร้อยละ 7.44 และ 7.91 ตามลำดับ เป็นอัตราส่วนที่มีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ในการทำอิฐคอนกรีต



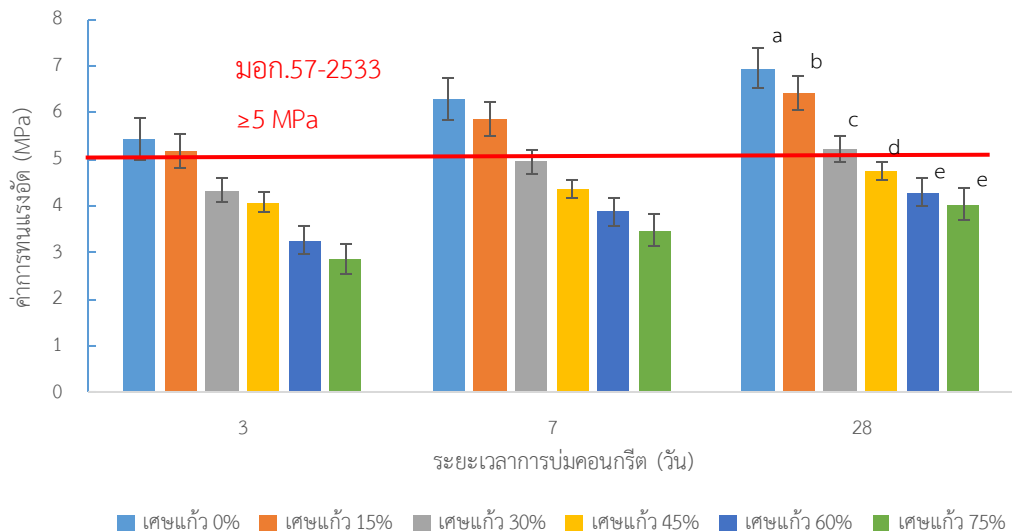
รูปที่ 4.9 ค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐคอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และขยะซีเมนต์ด้วยเปลือกหอย

4.2.3 อัตราส่วนเศษแก้วแทนที่ทรายหยาบที่เหมาะสมของอิฐคอนกรีต

จากผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงอัดดังรูปที่ 4.10 และ 4.11 พบว่าจากผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดลดลงเมื่อปริมาณเศษแก้วเพิ่มขึ้นในขณะที่ปริมาณทรายหยาบลดลง เนื่องจากเศษแก้วเป็นวัสดุที่มีความเปราะและแตกง่ายประกอบแก้วไม่ทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์และน้ำ จึงทำให้เกิดรอยแตกและการไม่เป็นเนื้อเดียวกันของเศษแก้วและซีเมนต์เพลส (ซีเมนต์เพลสคือ ส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับน้ำ) ส่งผลให้เมื่อมีแรงมากระทำกับอิฐคอนกรีต ทำให้รับแรงอัดลดลง (Topçu *et al.*, 2004) แต่เมื่อพิจารณาจำนวนวันที่ใช้ในการบ่มคอนกรีต พบว่าเมื่อใช้เวลาในการบ่มคอนกรีตมากขึ้น ทำให้ค่าความต้านทานแรงอัดเพิ่ม เนื่องจากการบ่มคอนกรีตนานขึ้น ทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์เกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่อง โครงสร้างของเนื้อซีเมนต์มีความแน่นขึ้นและคอนกรีตมีความแข็งแรงมากขึ้น (ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2552) เมื่อเทียบกับเกณฑ์ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (มอก.57-2533) คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักประเภท ค มีค่ามาตรฐานตั้งแต่ 5 เมกะพาสคาล พบว่าทรายหยาบที่ถูกแทนที่ด้วยเศษแก้วในร้อยละ 15 และ 30 ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

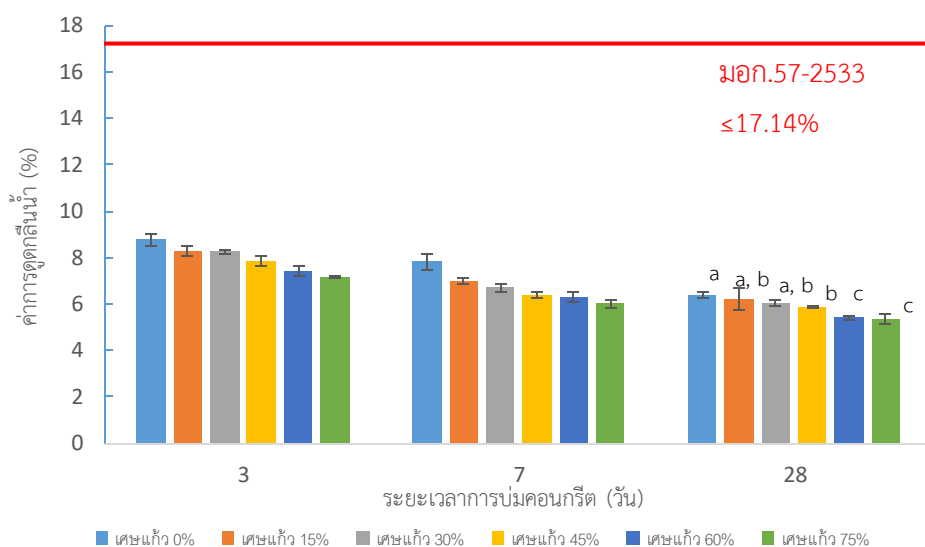


รูปที่ 4.10 ค่าความต้านทานแรงอัดของอิฐคอนกรีตในอัตราส่วนน้ำ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ขยะซีเมนต์ (2.11%) : เปลือกหอยแครง (1.11%) : ทราฮายาบ (16.67-66.67%) : เศษแก้ว (0-50%)



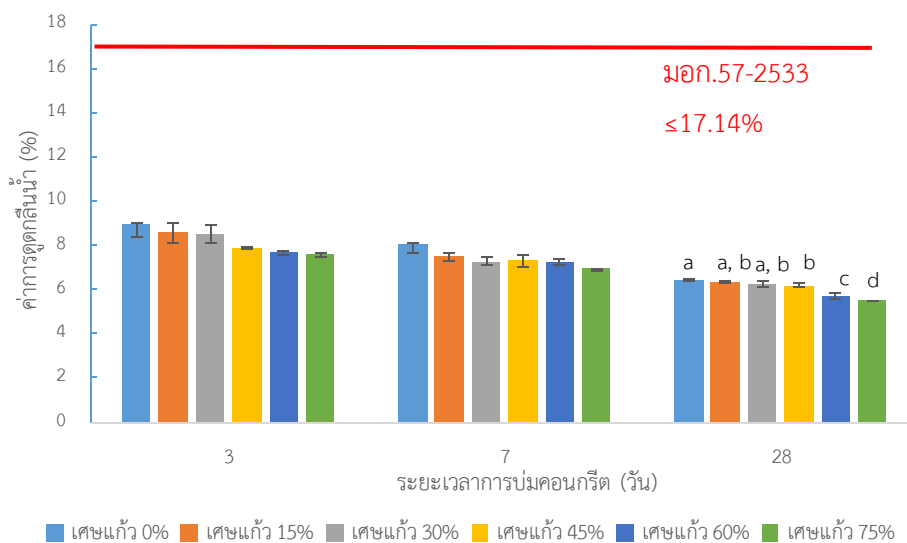
รูปที่ 4.11 ค่าความต้านทานแรงอัดของอิฐคอนกรีตในอัตราส่วนน้ำ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ขยะซีเมนต์ (2.11%) : เปลือกหอยแมลงภู (1.11%) : ทราฮายาบ (16.67-66.67%) : เศษแก้ว (0-50%)

สำหรับค่าการดูดกลืนน้ำเป็นดัง รูปที่ 4.12 และ 4.13 พบว่าในแต่ละอัตราส่วนมีค่าการดูดกลืนน้ำที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% แต่มีแนวโน้มที่ลดลงเล็กน้อยเมื่อปริมาณของเศษแก้วและระยะเวลาการบ่มคอนกรีตเพิ่มขึ้น ตามที่การศึกษาของ Park et al. (2004) พบว่าค่าการดูดกลืนน้ำของเศษแก้วมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.41 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าการดูดกลืนน้ำของทรายมีค่าเท่ากับร้อยละ 1.4 จึงทำให้ตัวอย่างอิฐคอนกรีตที่มีปริมาณเศษแก้วเพิ่มขึ้นมีค่าการดูดกลืนน้ำที่ลดลง เนื่องจากค่าการดูดกลืนน้ำของเศษแก้วน้อยกว่าทรายหยาบ โดยค่ามาตรฐานของการดูดกลืนน้ำอยู่ที่ไม่เกินร้อยละ 17.14 (มอก. 57-2533) เมื่อพิจารณาแล้วพบว่าทุกอัตราส่วนที่ทำการทดลองผ่านเกณฑ์ของค่าการดูดกลืนน้ำทั้งหมด



CHULALONGKORN UNIVERSITY

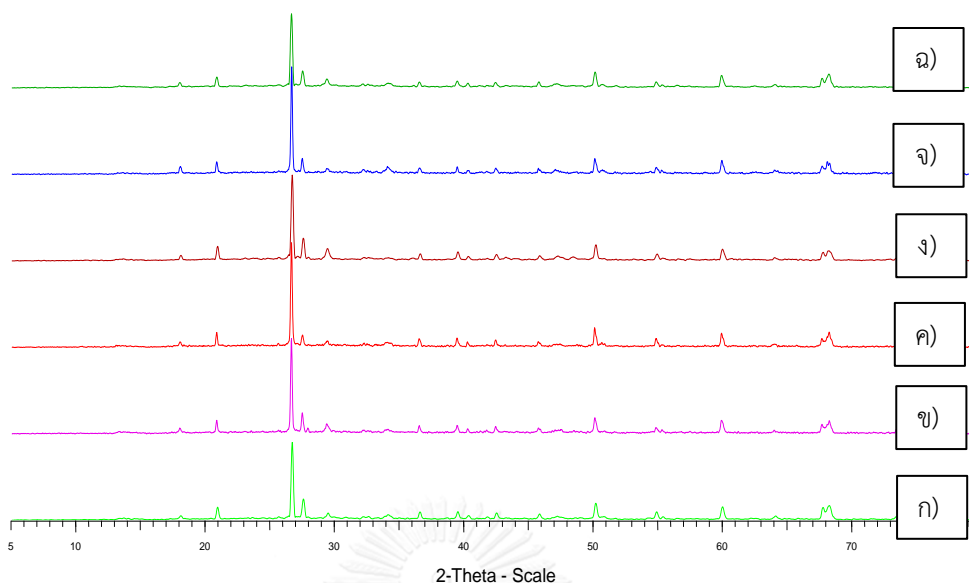
รูปที่ 4.12 ค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐคอนกรีตในอัตราส่วนน้ำ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ชะซีเมนต์ (2.11%) : เปลือกหอยแครง (1.11%) : ทรายหยาบ (16.67-66.67%) : เศษแก้ว (0-50%)



รูปที่ 4.13 ค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐคอนกรีตในอัตราส่วนน้ำ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ชยะซีเมนต์ (2.11%) : เปลือกหอยแครง (1.11%) : ทราฮายาบ (16.67-66.67%) : เศษแก้ว (0-50%)

4.2.3 ผลการวิเคราะห์โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของอิฐคอนกรีต

จากรูปที่ 4.14 พบว่าในอิฐคอนกรีตแต่ละอัตราส่วนต่างๆ ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ พบว่ามีสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate Gel) ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และน้ำเหมือนกันทุกอัตราส่วน แสดงได้ว่าการเกิดขึ้นของปฏิกิริยาไฮเดรชัน เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานอ้างอิงของแพ้ม Joint Committee on Power Diffraction Standard (JCPDS) สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตปรากฏอยู่ในพีคตำแหน่งที่ 28.8, 29.5, 40.4 และ 50.1 องศาตามลำดับ (Ahmari *et al.*, 2012)



รูปที่ 4.14 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ของอิฐคอนกรีตในแต่ละอัตราส่วนที่ต่างกัน

หมายเหตุ ก) ปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อน้ำคือ 22.22 : 66.67 : 11.11

ข) ปูนซีเมนต์ : ขยะซีเมนต์ : ทราย : น้ำ คือ 20 : 2.22 : 66.67 : 11.11

ค) ปูนซีเมนต์ : ขยะซีเมนต์ : เปลือกหอยแครง : ทราย : น้ำ คือ 19 : 2.11 : 1.11 : 66.67 : 11.11

ง) ปูนซีเมนต์ : เปลือกหอยแมลงภู่ : ขยะซีเมนต์ : ทราย : น้ำ คือ 19 : 2.11 : 1.11 : 66.67 : 11.11

จ) ปูนซีเมนต์ : ขยะซีเมนต์ : เปลือกหอยแครง : ทรายหยาบ : เศษแก้ว : น้ำคือ 19 : 2.11 : 1.11 : 56.67 : 10 : 11.11

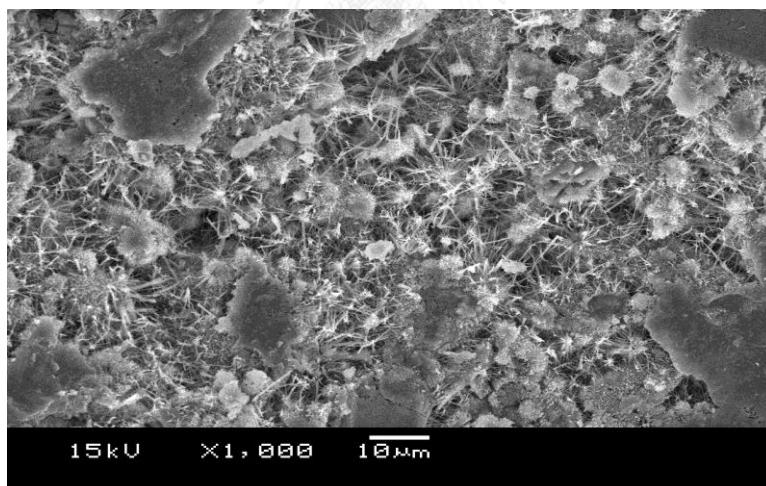
ฉ) ปูนซีเมนต์ : ขยะซีเมนต์ : เปลือกหอยแมลงภู่ : ทรายหยาบ : เศษแก้ว : น้ำ เท่ากับ 19 : 2.11 : 1.11 : 56.67 : 10 : 11.11

4.2.4 ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity)

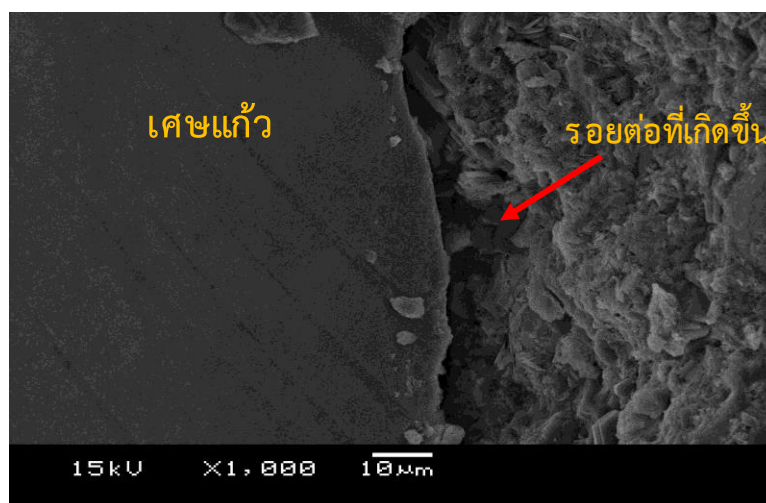
จากผลการทดลองพบว่าอิฐคอนกรีตในอัตราส่วนน้ำ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ขยะซีเมนต์ (2.11%) : เปลือกหอยแครงและหอยแมลงภู่ (1.11%) : ทรายหยาบ (16.67-66.67%) : เศษแก้ว (0-50%) พบว่าในทุกอัตราส่วนมีค่าการนำความร้อนมากกว่า 0.8000 ± 0.0003 W/m.K เมื่อพิจารณาตาม ASTM C518-15 วัสดุที่มีลักษณะสมบัติในการเป็นฉนวนกันความร้อนจะมีค่าการนำความร้อน $0.005 - 0.800$ W/m.K เพราะฉะนั้นทุกอัตราส่วนของอิฐคอนกรีตจึงไม่มีลักษณะของการเป็นฉนวนกันความร้อน เนื่องจากมีค่าการนำความร้อนที่มากกว่า 0.8000 ± 0.0003 W/m.K

4.2.5 พื้นผิวของวัสดุที่ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)

จากผลการทดลองส่องดูลักษณะพื้นผิวตัวอย่างอิฐคอนกรีตแท่งโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1000 เท่า จากรูปที่ 4.15 แสดงตัวอย่างก้อนอิฐคอนกรีตที่มีส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ น้ำและทรายหยาบในอัตราส่วน 22.22 : 11.11 : 66.67 (1 : 0.5 : 3) พบว่าลักษณะของเนื้อคอนกรีตมีความเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่มีลักษณะของการเกิดรอยแยก เนื่องจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ น้ำและทรายสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันได้ดีจนดูเป็นเนื้อเดียวกัน จึงทำให้มีค่าความต้านทานแรงอัดมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.16 แสดงตัวอย่างก้อนอิฐคอนกรีตที่ทำจากน้ำ : ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ขยะซีเมนต์ : เปลือกหอยแครง : ทรายหยาบ : เศษแก้วในอัตราส่วน 11.11 : 19 : 2.11 : 1.11 : 36.67 : 30 พบว่าตัวอย่างก้อนอิฐคอนกรีตเมื่อผสมเศษแก้วลงไปทำให้เกิดรอยแยกระหว่างเศษแก้ว (มีลักษณะพื้นผิวที่เรียบ) กับมอร์ตาร์ (มอร์ตาร์คือส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ น้ำและทรายมีลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ) แสดงให้เห็นถึงการไม่เป็นเนื้อเดียวกันของคอนกรีต จึงทำให้เมื่อทำการเพิ่มปริมาณเศษแก้วมากขึ้น ค่าความต้านทานแรงอัดของอิฐคอนกรีตลดลง



รูปที่ 4.15 ภาพตัดขวางของอิฐคอนกรีตในอัตราส่วนน้ำ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (22.22%) : ทรายหยาบ (66.67%)



รูปที่ 4.16 ภาพตัดขวางของอิฐคอนกรีตในอัตราส่วนน้ำ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ขยะซีเมนต์ (2.11%) : เปลือกหอยแครง (1.11%) : ทรายหยาบ (36.67%) : เศษแก้ว (30%)

4.2.6 อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดของอิฐคอนกรีต

จากตารางที่ 4.3 เมื่อพิจารณาค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐคอนกรีตในอัตราส่วนอัตราส่วนน้ำ : ปูนซีเมนต์ : ขยะซีเมนต์ : เปลือกหอย (หอยแครงหรือหอยแมลงภู่) : ทรายหยาบ : เศษแก้ว ทุกอัตราส่วนที่ได้รับการบ่มเป็นเวลา 28 วัน มีค่าผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (มอก.57-2533) คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักประเภท ค ทุกอัตราส่วน คือมีค่าน้อยกว่า ร้อยละ 17.14 ส่วนค่าความต้านทานแรงอัดของอิฐคอนกรีต เมื่อทำการทดสอบทางสถิติ One-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของอิฐคอนกรีตในแต่ละอัตราส่วนอย่างน้อย 1 ค่า ดังตารางที่ 4.3 เมื่อพิจารณาถึงอัตราส่วนทั้งอิฐคอนกรีตที่มีส่วนผสมของเปลือกหอยแครงและเปลือกหอยแมลงภู่ที่ให้ค่าความต้านทานแรงอัดมากที่สุดคือ 6.78 และ 6.43 เมกะพาสคาล ตามลำดับและมีค่าการดูดกลืนน้ำเท่ากับร้อยละ 6.19 และ 6.31 ตามลำดับ พบว่ามีอัตราส่วนเดียวกันคืออัตราส่วนน้ำ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ขยะซีเมนต์ (2.11%) : เปลือกหอย (1.11%) : ทรายหยาบ (56.67%) : เศษแก้ว (10%)

ตารางที่ 4.3 ค่าความต้านทานแรงอัดและค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐคอนกรีตที่ได้รับการบ่มเป็นเวลา 28 วัน

เศษแก้ว (%)	หอยแครง		หอยแมลงภู่	
	ค่าความต้านทานแรงอัด (MPa)	ค่าการดูดกลืนน้ำ (%)	ค่าความต้านทานแรงอัด (MPa)	ค่าการดูดกลืนน้ำ (%)
10	6.78 ^a	6.19 ^{a, b}	6.43 ^a	6.31 ^{a, b}
20	5.61 ^b	6.01 ^{a, b}	5.22 ^b	6.26 ^{a, b}
30	4.95 ^c	5.85 ^b	4.76 ^c	6.19 ^b
40	4.68 ^{c, d}	5.42 ^c	4.29 ^d	5.70 ^c
50	4.41 ^d	5.32 ^c	4.03 ^d	5.49 ^d

โดยอิฐคอนกรีตอัตราส่วนน้ำ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ขยะซีเมนต์ (2.11%) : เปลือกหอยแครงหรือหอยแมลงภู่ (1.11%) : ทราฮายาบ (56.67%) : เศษแก้ว (10%) ได้นำมาศึกษาถึงปริมาณมลพิษที่ปล่อยออกมาสู่สิ่งแวดล้อมของการผลิตคอนกรีต ด้วยเครื่องมือที่เรียกว่า Life Cycle Assessment (LCA) มาใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ในการศึกษาระยะที่ 2 ในลำดับต่อไป

2) ระยะที่ 2 ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment : LCA) ของอิฐบล็อกคอนกรีตที่มีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (มอก. 57-2533) คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักประเภท ค

4.3 ผลการทดลองการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์อิฐคอนกรีต

ทำการเก็บข้อมูลเพื่อทำบัญชีรายการของสารขาเข้าและสารขาออก จากนั้นประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์อิฐคอนกรีตที่ผลิต เริ่มตั้งแต่การบันทึกการรับหรือการขนส่งวัตถุดิบ การเตรียมวัตถุดิบตลอดจนกระบวนการผลิตอิฐคอนกรีต คืออัตราส่วนที่ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดในระยะที่ 1 ได้แก่ อัตราส่วนน้ำ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ขยะซีเมนต์ (2.11%) : เปลือกหอยแครง (1.11%) : ทราฮายาบ (56.67%) : เศษแก้ว (10%) และ อัตราส่วนน้ำ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ขยะซีเมนต์ (2.11%) : เปลือกหอยแมลงภู่ (1.11%) : ทราฮายาบ (56.67%) : เศษแก้ว (10%) โดยมีบัญชีรายการของผลิตภัณฑ์อิฐ แสดงดังตารางที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 บัญชีรายการของผลิตภัณฑ์อิฐคอนกรีตของอัตราส่วนน้ำ (11.1%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ขยะซีเมนต์ (2.11%) : เปลือกหอยแครง (1.11%) : ทราฮายาบ (56.67%) : เศษแก้ว (10%)

กระบวนการ	สารขาเข้า		
	ชนิด	ปริมาณ*	หน่วย
การรับวัตถุดิบ	น้ำมันดีเซล (ขนส่งปูนซีเมนต์ ร้านค้า-เกาะสีชัง)	0.14	ลิตร
	น้ำมันดีเซล (ขนส่งทราย ร้านค้า-เกาะสีชัง)	0.41	ลิตร
	น้ำมันดีเซล (เปลือกหอย เส้นทางเก็บขยะภายในเกาะ)	5.67×10^{-3}	ลิตร
	น้ำมันดีเซล (ขยะซีเมนต์ เรือขนส่งสินค้า-เกาะสีชัง)	0.037	ลิตร
	น้ำมันดีเซล (เศษแก้ว เส้นทางเก็บขยะภายในเกาะ)	0.030	ลิตร
การเตรียมวัตถุดิบ	พลังงานไฟฟ้า (การเตรียมเปลือกหอย)	22.48	kWh
	พลังงานไฟฟ้า (คัดแยกขนาดขยะซีเมนต์)	0.042	kWh
	พลังงานไฟฟ้า (การเตรียมเศษแก้ว)	1.68	kWh
	น้ำประปา (ล้างเปลือกหอย)	1.74	ลิตร
การผสม	น้ำประปา	11.11	ลิตร
	สารขาออก		
	ชนิด	ปริมาณ*	หน่วย
	การเผาไหม้จากน้ำมันทั้งหมด**		
	Carbon dioxide (CO ₂)	1.68	กิโลกรัม
	Methane (CH ₄)	0.089	กิโลกรัม
	Dinitrogen oxide (N ₂ O)	0.089	กิโลกรัม
	Carbon monoxide (CO)	3.92×10^{-3}	กิโลกรัม
	Nitrogen oxide (NO _x)	7.89×10^{-3}	กิโลกรัม
	Ammonia (NH ₃)	2.01×10^{-5}	กิโลกรัม
	Non-methane volatile organic compound (NMVOC)	8.15×10^{-4}	กิโลกรัม
	Benzo(k)fluoranthene (B(k)F)	4.61×10^{-9}	กิโลกรัม
	Benzo(a)pyrene (B(a)P)	8.37×10^{-9}	กิโลกรัม
	Benzo(a)fluoranthene (B(b)F)	8.79×10^{-9}	กิโลกรัม
	Lead (Pb)	2.75×10^{-8}	กิโลกรัม
Particulate Matter Pollution (PM 2.5)	4.43×10^{-4}	กิโลกรัม	

หมายเหตุ: *หมายถึง ปริมาณการผลิตต่อหนึ่งหน่วยอ้างอิง

**แหล่งอ้างอิง IPCC 2006, EEA 2016

ตารางที่ 4.5 บัญชีรายการของผลิตภัณฑ์อิฐคอนกรีตของอัตราส่วนน้ำ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ขยะซีเมนต์ (2.11%) : เปลือกหอยแมลงภู่ (1.11%) : ทราฮายาบ (56.67%) : เศษแก้ว (10%)

กระบวนการ	สารขาเข้า		
	ชนิด	ปริมาณ*	หน่วย
การรับวัตถุดิบ	น้ำมันดีเซล (ขนส่งปูนซีเมนต์ ร้านค้า-เกาะสีชัง)	0.14	ลิตร
	น้ำมันดีเซล (ขนส่งทราย ร้านค้า-เกาะสีชัง)	0.41	ลิตร
	น้ำมันดีเซล (เปลือกหอย เส้นทางเก็บขยะภายในเกาะ)	6.67×10^{-3}	ลิตร
	น้ำมันดีเซล (ขยะซีเมนต์ เรือขนส่งสินค้า-เกาะสีชัง)	0.037	ลิตร
	น้ำมันดีเซล (เศษแก้ว เส้นทางเก็บขยะภายในเกาะ)	0.030	ลิตร
การเตรียมวัตถุดิบ	พลังงานไฟฟ้า (การเตรียมเปลือกหอย)	22.48	kWh
	พลังงานไฟฟ้า (คัดแยกขนาดขยะซีเมนต์)	0.042	kWh
	พลังงานไฟฟ้า (การเตรียมเศษแก้ว)	1.68	kWh
	น้ำประปา (ล้างเปลือกหอย)	2.79	ลิตร
การผสม	น้ำประปา	11.11	ลิตร
	สารขาออก		
	ชนิด	ปริมาณ*	หน่วย
	การเผาไหม้จากน้ำมันทั้งหมด**		
	Carbon dioxide (CO ₂)	1.68	กิโลกรัม
	Methane (CH ₄)	0.089	กิโลกรัม
	Dinitrogen oxide (N ₂ O)	0.089	กิโลกรัม
	Carbon monoxide (CO)	3.92×10^{-3}	กิโลกรัม
	Nitrogen oxide (NO _x)	7.89×10^{-3}	กิโลกรัม
	Ammonia (NH ₃)	2.01×10^{-5}	กิโลกรัม
	Non-methane volatile organic compound (NMVOC)	8.15×10^{-4}	กิโลกรัม
	Benzo(k)fluoranthene (B(k)F)	4.61×10^{-9}	กิโลกรัม
	Benzo(a)pyrene (B(a)P)	8.37×10^{-9}	กิโลกรัม
	Benzo(a)fluoranthene (B(b)F)	8.79×10^{-9}	กิโลกรัม
	Lead (Pb)	2.75×10^{-8}	กิโลกรัม
Particulate Matter Pollution (PM 2.5)	4.43×10^{-4}	กิโลกรัม	

หมายเหตุ: *หมายถึง ปริมาณการผลิตต่อหนึ่งหน่วยอ้างอิง

**แหล่งอ้างอิง IPCC 2006, EEA 2016

จากผลการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์อิฐคอนกรีตในอัตราส่วนน้ำ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ขยะซีเมนต์ (2.11%) : เปลือกหอยแครง (1.11%) : ทรายหยาบ (56.67%) : เศษแก้ว (10%) ในปริมาณ 1 หน่วยอ้างอิงเท่ากับ 100 กิโลกรัม เป็นผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ จากโปรแกรม SimaPro 7.3 พบว่า

ผลกระทบด้านศักยภาพการก่อให้เกิดฝนกรด (Acidification) เกิดจากมลพิษทางอากาศ ฝุ่นละออง ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO_x) แอมโมเนีย (NH_3) ในกระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิลพวกถ่านหินหรือน้ำมันที่อุณหภูมิสูงเพื่อผลิต Clinker¹ และผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า (Josa *et al.*, 2007) แล้วส่งผลให้เกิดการปล่อยแก๊สเหล่านี้ไปทำปฏิกิริยากับน้ำและสารเคมีในอากาศ ทำให้เกิดความเป็นกรด เช่น กรดไนตริก (HNO_3) กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เป็นต้น โดยส่วนใหญ่มาจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ร้อยละ 92.85 กระบวนการรับวัตถุดิบทรายหยาบร้อยละ 4.14 กระบวนการรับปูนซีเมนต์ร้อยละ 1.21

ผลกระทบด้านศักยภาพภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในน้ำ (Eutrophication) ส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ร้อยละ 79.09 กระบวนการรับวัตถุดิบทรายหยาบร้อยละ 10.09 โดยส่วนใหญ่ในระหว่างการผลิตปูนซีเมนต์และ Clinker จะมีการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และกระบวนการผลิตที่มีการใช้งานเครื่องจักรพลังงานไฟฟ้า ซึ่งกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าจะเกิดน้ำเสียหรือน้ำจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่ผ่านจากขั้นตอนการผลิตกระแสไฟฟ้า จะมีแร่ธาตุปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำ ทำให้เกิดปรากฏการณ์ด้านการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในน้ำ (Hodges and Rahmani, 2009, Josa *et al.*, 2007)

ผลกระทบด้านศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming) โดยส่วนใหญ่มาจากมลพิษทางอากาศ ฝุ่นละออง แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ซึ่งในกระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิลหรือน้ำมันปิโตรเลียมที่ใช้ในเครื่องยนต์ ใช้ในการผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ (Hodges *et al.*, 2009, Josa *et al.*, 2007) ในเครื่องจักรที่ใช้กระแสไฟฟ้า โดยส่วนใหญ่มาจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ร้อยละ 57.82 กระบวนการเตรียมเปลือกหอยแครงร้อยละ 30.76 และกระบวนการเตรียมวัตถุดิบตั้งต้นร้อยละ 4.59

ผลกระทบด้านศักยภาพภาวะการลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศ (Ozone Layer Depletion) เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิลหรือน้ำมันที่ใช้ในยานพาหนะ ผลรวมของผลกระทบด้านนี้มีค่าน้อยมากคือ 3.14×10^{-6} kg CFC-11 eq กระบวนการที่เกิดผลกระทบมากที่สุดกระบวนการรับวัตถุดิบทรายหยาบร้อยละ 66.30 รองลงมาได้แก่ กระบวนการรับ

¹ Clinker คือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาหินปูนที่อุณหภูมิสูงในโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ (Teixeira *et al.*, 2016)

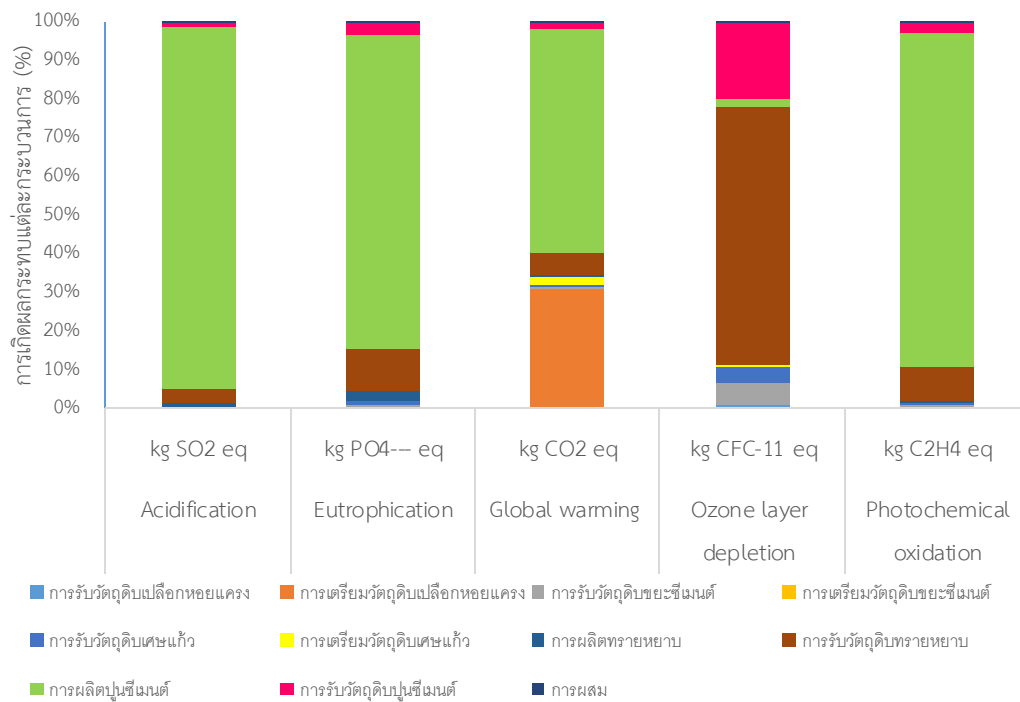
วัตถุดิบปูนซีเมนต์ 19.62 แต่ผลรวมของผลกระทบมีค่าน้อยมาก จึงถือได้ว่าอาจไม่ส่งผลกระทบด้านนี้มากนัก

ผลกระทบด้านศักยภาพการออกซิเดชันที่เกิดจากปฏิกิริยาแสงเคมี (Photochemical Oxidation) โดยส่วนใหญ่มาจากมลพิษทางอากาศ ฝุ่นละออง ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้ในการผลิตพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ (Josa *et al.*, 2007) โดยส่วนใหญ่ได้จากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ร้อยละ 86.76 กระบวนการรับวัตถุดิบทรายหยาบร้อยละ 8.69 ดังแสดงในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.17



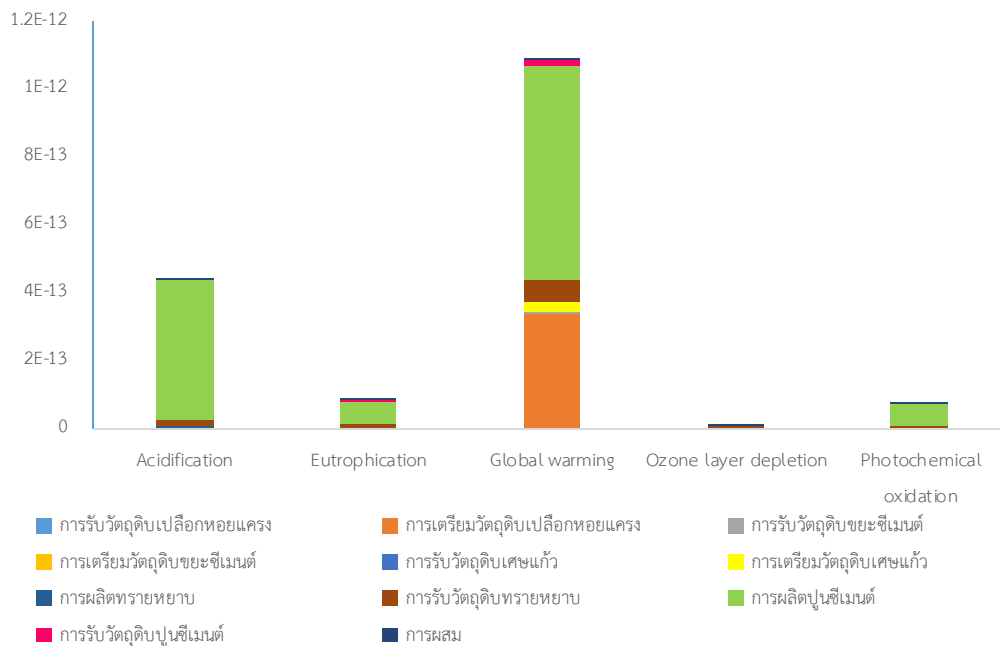
ตารางที่ 4.6 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละช่วงของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปิโตรเคมีภัณฑ์ (11.1%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ขยะซีเมนต์ (2.1%) : เปลือก
 หอยแครง (1.1%) : ทรายหยาบ (56.67%) : เศษแก้ว (10%)

ประเภทกลุ่มผลกระทบ	หน่วย	ผลกระทบรวม	กระบวนการ										
			การรับเปลือกหอยแครง	การเตรียมเปลือกหอยแครง	การรับซีเมนต์	การเตรียมขยะซีเมนต์	การรับเศษแก้ว	การเตรียมเศษแก้ว	การเตรียมทรายหยาบ	การรับทรายหยาบ	การผลิตปูนซีเมนต์	การรับปูนซีเมนต์	การผลิตปูนซีเมนต์
Acidification	kg SO ₂ eq	0.14	8.041x10 ⁻⁵	1.18x10 ⁻⁶	5.23x10 ⁻⁴	0	3.62x10 ⁻⁴	1.26x10 ⁻⁵	8.57x10 ⁻⁴	0.0058	0.13	0.0017	7.53x10 ⁻⁶
Eutrophication	kg PO ₄ ³⁻ eq	0.011	1.64x10 ⁻⁵	6.15x10 ⁻⁷	1.07x10 ⁻⁴	0	7.39x10 ⁻⁵	6.56x10 ⁻⁶	2.67x10 ⁻⁴	0.0012	0.0087	3.49x10 ⁻⁴	3.92x10 ⁻⁶
Global warming	kg CO ₂ eq	45.05	0.038	13.86	0.24	0.026	0.17	1.029	0.14	2.70	26.05	0.80	0.0018
Ozone Layer Depletion	kg CFC-11 eq	3.14x10 ⁻⁶	2.90x10 ⁻⁸	2.21x10 ⁻¹¹	1.89x10 ⁻⁷	0	1.30x10 ⁻⁷	2.36x10 ⁻¹⁰	1.57x10 ⁻⁸	2.082x10 ⁻⁶	7.36x10 ⁻⁸	6.16x10 ⁻⁷	1.41x10 ⁻¹⁰
Photochemical Oxidation	kg C ₂ H ₄ eq	0.0068	8.22x10 ⁻⁶	1.21x10 ⁻⁷	5.35x10 ⁻⁵	0	3.70x10 ⁻⁵	1.29x10 ⁻⁶	3.10x10 ⁻⁵	5.91x10 ⁻⁴	0.0059	1.75x10 ⁻⁴	7.71x10 ⁻⁷



รูปที่ 4.17 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละกระบวนการของผลิตภัณฑ์อิฐคอนกรีตอัตราส่วนน้ำ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ขยะซีเมนต์ (2.11%) : เปลือกหอยแครง (1.11%) : ทรายหยาบ (56.67%) : เศษแก้ว (10%)

สำหรับรูปที่ 4.18 เป็นการบ่งชี้ถึงภาระหรือการหาขนาดของผลกระทบของสิ่งแวดล้อมพบว่ากลุ่มผลกระทบที่ให้ผลกระทบมากที่สุดคือ ผลกระทบด้านศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming) รองลงมาคือผลกระทบด้านศักยภาพการก่อให้เกิดฝนกรด (Acidification) โดยกระบวนการที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ได้แก่ การผลิตปูนซีเมนต์ รองลงมาคือการผลิตรีนมวัตุดิบเปลือกหอยแครงและการรับวัตุดิบทรายหยาบ



รูปที่ 4.18 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละกระบวนการของผลิตภัณฑ์อิฐคอนกรีตอัตราส่วนน้ำ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ชยะซีเมนต์ (2.11%) : เปลือกหอยแครง (1.11%) : ทรายหยาบ (56.67%) : เศษแก้ว (10%)

จากผลการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์อิฐคอนกรีตในอัตราส่วนน้ำ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ขยะซีเมนต์ (2.11%) : เปลือกหอยแมลงภู่ม้วน (1.11%) : ทรายหยาบ (56.67%) : เศษแก้ว (10%) ในปริมาณ 1 หน่วยอ้างอิงเท่ากับ 100 กิโลกรัม เป็นผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ จากโปรแกรม SimaPro 7.3 พบว่า

ผลกระทบด้านศักยภาพการก่อให้เกิดฝนกรด (Acidification) เกิดจากมลพิษทางอากาศ ฝุ่นละออง ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO_x) แอมโมเนีย (NH_3) ในกระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิลพวกถ่านหินหรือน้ำมันที่อุณหภูมิสูงเพื่อผลิต Clinker² และผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า (Josa *et al.*, 2007) แล้วส่งผลให้เกิดการปล่อยแก๊สเหล่านี้ไปทำปฏิกิริยากับน้ำและสารเคมีในอากาศ ทำให้เกิดความเป็นกรด เช่น กรดไนตริก (HNO_3) กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เป็นต้น โดยส่วนใหญ่มาจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ร้อยละ 92.85 รองลงมาได้แก่ กระบวนการเตรียมวัตถุดิบทรายหยาบร้อยละ 4.14

ผลกระทบด้านศักยภาพภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในน้ำ (Eutrophication) ส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ร้อยละ 79.09 กระบวนการรับวัตถุดิบทรายหยาบร้อยละ 10.09 กระบวนการรับวัตถุดิบปูนซีเมนต์ร้อยละ 3.17 โดยส่วนใหญ่ในระหว่างการผลิตซีเมนต์และ Clinker จะมีการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และกระบวนการผลิตที่มีการใช้งานเครื่องจักรพลังงานไฟฟ้า ซึ่งกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าจะเกิดน้ำเสียหรือน้ำจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่ผ่านจากขั้นตอนการผลิตกระแสไฟฟ้า จะมีแร่ธาตุปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำ ทำให้เกิดปรากฏการณ์ด้าน Eutrophication (Hodges and Rahmani, 2009, Josa *et al.*, 2007;)

ผลกระทบด้านศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming) โดยส่วนใหญ่มาจากมลพิษทางอากาศ ฝุ่นละออง แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ซึ่งในกระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิลหรือน้ำมันปิโตรเลียมที่ใช้ในเครื่องยนต์ ใช้ในการผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ (Hodges and Rahmani, 2009, Josa *et al.*, 2007;) ในเครื่องจักรที่ใช้กระแสไฟฟ้า โดยส่วนใหญ่มาจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ร้อยละ 57.82 กระบวนการเตรียมเปลือกหอยแมลงภู่ม้วนร้อยละ 30.76 กระบวนการรับทรายหยาบร้อยละ 4.59

ผลกระทบด้านศักยภาพภาวะการลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศ (Ozone Layer Depletion) ผลรวมของผลกระทบด้านนี้มีค่าน้อยมากคือ 3.14×10^{-6} kg CFC-11 eq ส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้ของน้ำมันปิโตรเลียม มาจากกระบวนการรับวัตถุดิบทรายหยาบร้อยละ 66.30 กระบวนการรับวัตถุดิบปูนซีเมนต์ร้อยละ 19.62 แต่ผลรวมมีค่าน้อยมาก จึงถือได้ว่าอาจไม่ส่งผลกระทบต่อด้านนี้มากนัก

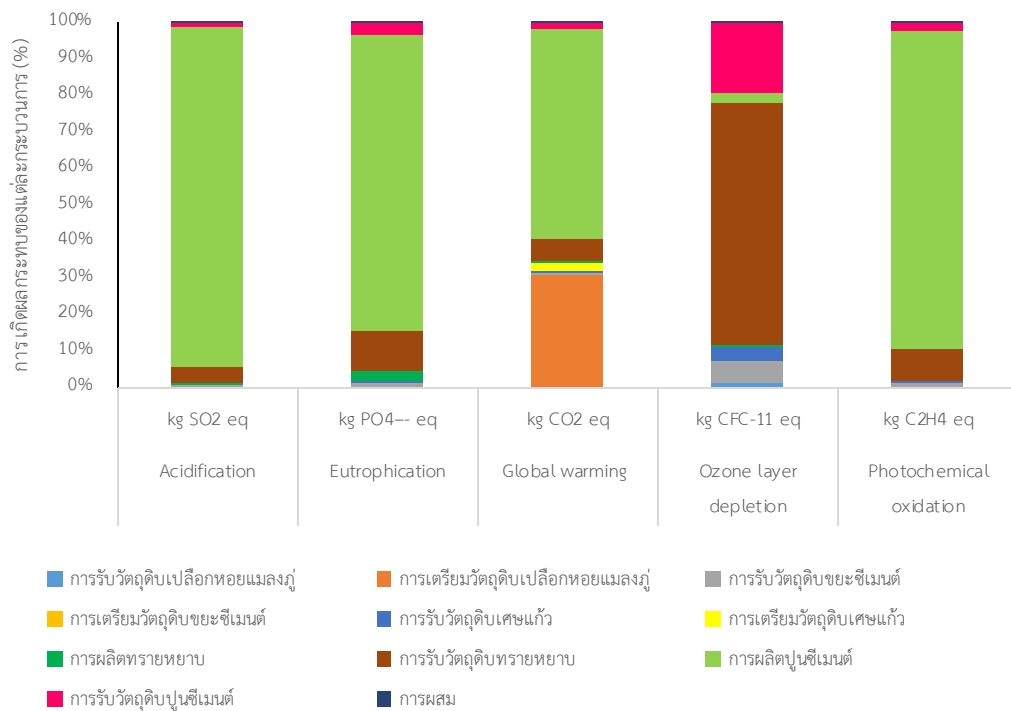
² Clinker คือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาหินปูนที่อุณหภูมิสูงในโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ (Teixeira *et al.*, 2016)

ผลกระทบต่อด้านศักยภาพการออกซิเดชันที่เกิดจากปฏิกิริยาแสงเคมี (Photochemical Oxidation) โดยส่วนใหญ่มาจากมลพิษทางอากาศ ฝุ่นละออง ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิลและวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ (Josa *et al.*, 2007) โดยส่วนใหญ่ได้จากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ร้อยละ 86.76 รองลงมาได้แก่ การรับวัตถุดิบทรายหยาบร้อยละ 8.69 ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.19



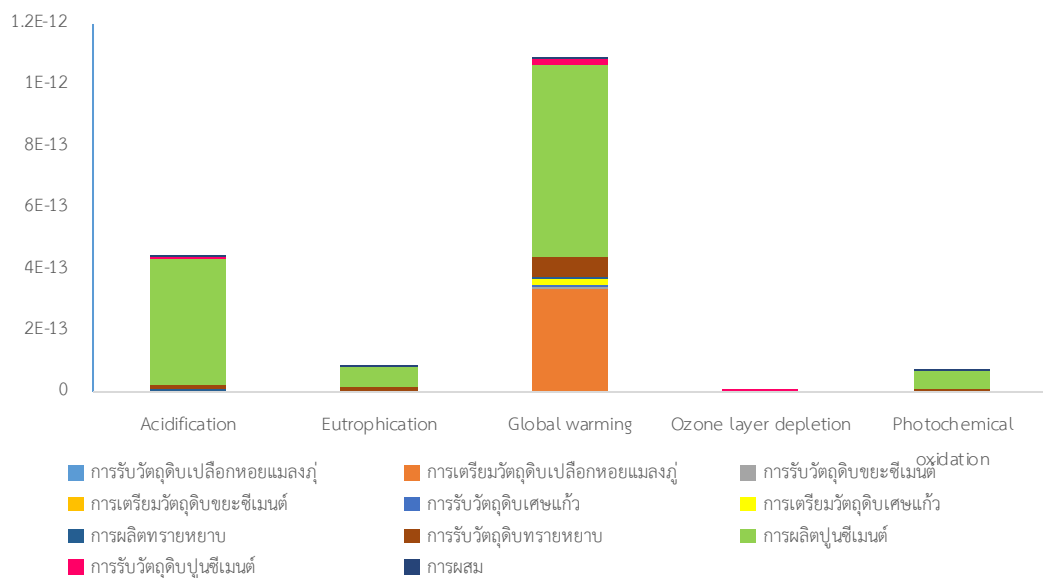
ตารางที่ 4.7 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละช่วงของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปิโตรเคมีภัณฑ์ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ขยะซีเมนต์ (2.11%) : เปลือกหอยแมลงภู (1.11%) : ทรายหยาบ (56.67%) : เศษแก้ว (10%)

ประเภทกลุ่มผลกระทบ	หน่วย	ผลกระทบรวม	กระบวนการ										
			การรับเปลือกหอยแมลงภู	การเตรียมเปลือกหอยแมลงภู	การรับขยะซีเมนต์	การเตรียมขยะซีเมนต์	การรับเศษแก้ว	การเตรียมเศษแก้ว	การรับทรายหยาบ	การผลิตทรายหยาบ	การรับปูนซีเมนต์	การผลิตปูนซีเมนต์	การรับปูนซีเมนต์
Acidification	kg SO ₂ eq	0.14	8.041x10 ⁻⁵	1.89x10 ⁻⁶	5.23x10 ⁻⁴	0	3.62x10 ⁻⁴	1.26x10 ⁻⁵	8.57x10 ⁻⁴	0.0058	0.13	0.0017	7.52x10 ⁻⁶
Eutrophication	kg PO ₄ ³⁻ eq	0.011	1.64x10 ⁻⁵	9.84x10 ⁻⁷	1.07x10 ⁻⁴	0	7.39x10 ⁻⁵	6.56x10 ⁻⁶	2.67x10 ⁻⁴	0.0012	0.0087	3.49x10 ⁻⁴	3.92x10 ⁻⁶
Global warming	kg CO ₂ eq	45.05	0.037	13.86	0.24	0.026	0.17	1.029	0.14	2.69	26.05	0.79	0.0018
Ozone Layer Depletion	kg CFC-11 eq	3.14x10 ⁻⁶	2.90x10 ⁻⁸	3.54x10 ⁻¹¹	1.89x10 ⁻⁷	0	1.30x10 ⁻⁷	2.36x10 ⁻¹⁰	1.57x10 ⁻⁸	2.08x10 ⁻⁶	7.36x10 ⁻⁸	6.16x10 ⁻⁷	1.41x10 ⁻¹⁰
Photochemical Oxidation	kg C ₂ H ₄ eq	0.0068	8.22x10 ⁻⁶	1.94x10 ⁻⁷	5.35x10 ⁻⁵	0	3.70x10 ⁻⁵	1.29x10 ⁻⁶	3.1x10 ⁻⁵	5.91x10 ⁻⁴	0.0059	1.75x10 ⁻⁴	7.71x10 ⁻⁷



รูปที่ 4.19 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละกระบวนการของผลิตภัณฑ์อิฐคอนกรีตอัตราส่วนน้ำ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ขยะซีเมนต์ (2.11%) : เปลือกหอยแมลงภู่ (1.11%) : ทรายหยาบ (56.67%) : เศษแก้ว (10%)

สำหรับรูปที่ 4.20 เป็นการบ่งชี้ถึงภาระหรือผลกระทบของสิ่งแวดล้อม พบว่ากลุ่มผลกระทบที่มีผลกระทบมากที่สุดคือ ผลกระทบด้านศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming) รองลงมาคือผลกระทบด้านศักยภาพการก่อให้เกิดฝนกรด (Acidification) โดยกระบวนการที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ได้แก่ การผลิตปูนซีเมนต์ รองลงมาคือการผลิตปุ๋ยเคมี การปล่อยมลพิษและการรับวัตถุดิบทรายหยาบ



รูปที่ 4.20 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละกระบวนการของผลิตภัณฑ์อิฐคอนกรีตอัตราส่วนน้ำ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ขยะซีเมนต์ (2.11%) : ปล่อยมลพิษ (1.11%) : ทรายหยาบ (56.67%) : เศษแก้ว (10%)

จากผลการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์อิฐคอนกรีตในอัตราส่วนน้ำ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ขยะซีเมนต์ (2.11%) : เปลือกหอยแครง (1.11%) : ทรายหยาบ (56.67%) : เศษแก้ว (10%) และอัตราส่วนน้ำ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ขยะซีเมนต์ (2.11%) : เปลือกหอยแครง (1.11%) : ทรายหยาบ (56.67%) : เศษแก้ว (10%) พบว่าส่งผลกระทบต่อด้านศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming) มากที่สุดเท่ากับ 45.05 kg CO₂ eq ทั้งสองอัตราส่วน จากทั้งสองอัตราส่วน ดังสรุปในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 สรุปผลการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์อิฐคอนกรีตในอัตราส่วนน้ำ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ขยะซีเมนต์ (2.11%) : เปลือกหอยแครงหรือหอยแมลงภู่ (1.11%) : ทรายหยาบ (56.67%) : เศษแก้ว (10%)

ผลกระทบ	ชนิดวัตถุดิบ	สาเหตุหลัก	ผลกระทบ (%)
ด้านศักยภาพการก่อให้เกิดฝนกรด (Acidification)		- ฝุ่นละออง - เชื้อเพลิงฟอสซิล	26.14
ด้านศักยภาพภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในน้ำ (Eutrophication)	น้ำ (11.11%) ปูนซีเมนต์ (19%)	- เชื้อเพลิงฟอสซิล - น้ำเสียจากการผลิต กระแสไฟฟ้า	4.81
ด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming)	ขยะซีเมนต์ (2.11%) เปลือกหอยแครงหรือหอยแมลงภู่ (1.11%)	- การผลิตกระแสไฟฟ้า - เชื้อเพลิงฟอสซิล	64.48
ด้านศักยภาพภาวะการลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศ (Ozone Layer Depletion)	ทรายหยาบ (56.67%) เศษแก้ว (10%)	- เชื้อเพลิงฟอสซิล	0.36
ด้านศักยภาพภาวะการออกซิเดชันที่เกิดจากปฏิกิริยาแสงเคมี (Photochemical Oxidation)		- ฝุ่นละออง - เชื้อเพลิงฟอสซิล	4.21

จากตารางที่ 4.9 เมื่อทำการเปรียบเทียบงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่นที่ทำการประเมินการประเมินวัฏจักรชีวิต พบว่าอิฐคอนกรีตจากเถ้าลอย (Fly Ash Concrete) และอิฐคอนกรีตจีโอพอลิเมอร์ (Geopolymer Concrete) ให้ผลกระทบด้านศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global warming) มากที่สุดคือ 33.1 และ 6.74 kg CO₂ eq ส่วนในงานวิจัยนี้ให้ผลกระทบด้านศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนมากที่สุด (44.05 kg CO₂ eq) เช่นเดียวกับงานวิจัยทั้งสองที่นำมาเปรียบเทียบ เนื่องจากมีการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลหรือน้ำมันในการขนส่งวัตถุดิบ ผลิตกระแสไฟฟ้า และใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ แต่ให้ผลกระทบด้านศักยภาพภาวะการลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศ (Ozone Layer Depletion) น้อยที่สุดคือ 3.43×10^{-6} kg CFC-11 eq

ในงานวิจัยนี้ให้ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming) มีสาเหตุมาจากการกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ รองลงมาคือการเตรียมวัตถุดิบเปลือกหอยแครงและเปลือกหอยแมลงภู่และการรับวัตถุดิบทรายหยาบตามลำดับ แนวทางการแก้ไขคือ การหาวัตถุดิบชนิดอื่นมาทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์ในปริมาณที่มากขึ้นหรือการทำอิฐชนิดอื่นที่ไม่ใช่ปูนซีเมนต์เป็นวัตถุดิบในการผลิต และการตั้งโรงงานการผลิตที่ใกล้แหล่งวัตถุดิบเพื่อลดการเชื้อเพลิงฟอสซิลในการขนส่ง

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบการประเมินวัฏจักรชีวิตของอิฐคอนกรีตกับงานวิจัยอื่น

กลุ่มผลกระทบ	หน่วย	งานวิจัยนี้	Teixeira et al., 2016	Turk et al., 2015
			Fly Ash Concrete	Geopolymer Concrete
Acidification	kg SO ₂ eq	0.14	0.17	0.033
Eutrophication	kg PO ₄ ³⁻ eq	0.011	0.039	0.0032
Global warming	kg CO ₂ eq	45.05	33.1	6.74
Ozone Layer Depletion	kg CFC-11 eq	3.14×10^{-6}	1.15×10^{-6}	0.056
Photochemical Oxidation	kg C ₂ H ₄ eq	0.0068	0.43	0.0015

บทที่ 5

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองการผลิตอิฐคอนกรีตจากเปลือกหอยแครงและเปลือกหอยแมลงภู่วางร่วมกับเศษแก้วและขยะซีเมนต์ โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นตัวประสาน เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมและเพิ่มคุณสมบัติทางกายภาพของอิฐคอนกรีตตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (มอก.57-2533) คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักประเภท ค โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ระยะ สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของอิฐคอนกรีต

จากการศึกษาการผลิตอิฐคอนกรีตจากเปลือกหอยแครงและหอยแมลงภู่วางร่วมกับขยะซีเมนต์และเศษแก้ว พบว่าอัตราส่วนที่ดีที่สุดของน้ำ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ขยะซีเมนต์ (2.11%) : เปลือกหอยแครง (1.11%) : ทรายหยาบ (56.67%) : เศษแก้ว (10%) และอัตราส่วนน้ำ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ขยะซีเมนต์ (2.11%) : เปลือกหอยแมลงภู่วาง (1.11%) : ทรายหยาบ (56.67%) : เศษแก้ว (10%) สามารถให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดและผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (มอก.57-2533) คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักประเภท ค มีลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีที่ผ่านการบ่มคอนกรีตเป็นเวลา 28 วัน คือ มีค่าความต้านทานแรงกดอัดเท่ากับ 6.78 และ 6.43 เมกะพาสคาล ตามลำดับและมีค่าการดูดกลืนน้ำเท่ากับร้อยละ 6.19 และ 6.31 ตามลำดับ ค่าการนำความร้อนที่มากกว่า $0.8000 \pm 0.0003 \text{ W/m.K}$ ซึ่งแสดงว่าไม่มีลักษณะสมบัติในการเป็นฉนวนกันความร้อน การประยุกต์ใช้งานอิฐคอนกรีตจากงานวิจัยนี้ได้แก่ ใช้ในทั่วไปสำหรับกำแพงหรือผนังภายในและภายนอกเหนือระดับดิน ที่มีการป้องกันความเสียหายเนื่องจากดินฟ้าอากาศ

5.1.2 การประเมินวัฏจักรชีวิตของอิฐคอนกรีตในหน่วยหน้าที่ปริมาณ 100 กิโลกรัม

จากผลการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.3 ตามวิธี CML baseline 2000 เวอร์ชัน 2.05/World 1995 เนื่องจากทั้ง 2 อัตราส่วนที่นำมาทำการประเมินวัฏจักรชีวิตอัตราส่วนในการผลิตที่เหมือนกัน จึงทำให้ค่าผลกระทบในการประเมินวัฏจักรชีวิตเหมือนกัน พบว่าผลกระทบด้านศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming) ให้ผล

กระทบมากที่สุดเท่ากับ $\text{kg CO}_2 \text{ eq}$ ผลกระทบรองลงมาได้แก่ ผลกระทบด้านศักยภาพการก่อให้เกิดฝนกรด (Acidification) เท่ากับ $0.14 \text{ kg SO}_2 \text{ eq}$ ผลกระทบด้านศักยภาพภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในน้ำ (Eutrophication) เท่ากับ $0.011 \text{ kg PO}_4 \text{ eq}$ และผลกระทบด้านศักยภาพภาวะการลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศ (Ozone layer Depletion) $3.14 \times 10^{-6} \text{ kg CFC-11 eq}$

อิฐคอนกรีตที่ผลิตจากงานวิจัยนี้มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากช่วยลดปริมาณมูลฝอยที่จะนำไปกำจัดด้วยวิธีการเผากลางแจ้ง ด้วยการนำมาทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และทรายหยาบได้บางส่วน แต่ในงานวิจัยนี้เมื่อทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ พบว่าให้ผลกระทบในด้านศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนมากที่สุด ซึ่งเป็นสิ่งที่ควรตระหนักและให้ความสำคัญ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 จากผลการทดลอง พบว่าสามารถใช้เปลือกหอยในปริมาณที่น้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จึงควรใช้ขยะซีเมนต์แทนที่ปูนซีเมนต์เพียงวัตถุดิบเดียวเนื่องจากปริมาณการใช้มากกว่าและมีผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่ใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มากกว่าเปลือกหอยแครงและหอยแมลงภู่ นอกจากนี้ยังมีขั้นตอนในการเตรียมวัตถุดิบที่น้อยกว่าการเตรียมเปลือกหอย คือนำไปร่อนเพื่อคัดแยกขนาดแล้วสามารถนำไปใช้ได้เลย

5.2.2 เพื่อเป็นการเพิ่มค่าความต้านทานแรงอัดของอิฐคอนกรีตและเพิ่มการใช้เปลือกหอยได้มากขึ้น จึงมีการใช้สารลดน้ำประเภทพิเศษซึ่งมักเรียกว่า Superplasticizers หรือ HRWRs ซึ่งมีพื้นฐานลิทโมซิลโฟเนตและโพลีคาร์บอกซิลิกเอสเทอร์ สารลดน้ำจำนวนมากนี้สามารถลดน้ำที่ใช้ในส่วนผสมคอนกรีตลงได้ถึง 12-25 % โดยมากมักใช้เพื่อเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีตและใช้ลดการซึมผ่านของน้ำในคอนกรีต โดยที่ค่าการยุบตัวของคอนกรีตยังเท่าเดิม เนื่องจากสามารถลดปริมาณน้ำที่ใช้ในส่วนผสมคอนกรีตลงได้ นักวิจัยนี้มักใช้ในการผลิตคอนกรีตที่มีความสามารถในการไหลเข้าแบบง่าย สารผสมเพิ่มประเภทนี้เป็นส่วนประกอบสำคัญในการผลิตคอนกรีตกำลังอัดสูงและการผลิตคอนกรีตประสิทธิภาพสูงต่างๆ ที่มีการใช้วัสดุประสาน (Cementitious) ในปริมาณสูง

5.2.3 ในการทำอิฐคอนกรีตเพื่อใช้บนเกาะสี่ซึ่งอาจจะนำเอาเศษแก้วมาบดเพื่อลดขนาด แล้วนำมาใช้แทนที่ทรายหยาบเพียงอย่างเดียว เนื่องจากแก้วมีลักษณะที่เปราะแตกง่ายจึงสะดวกต่อการนำมาลดขนาดเพื่อนำมาใช้และสัดส่วนของทรายหยาบที่ใช้ทำอิฐคอนกรีตนั้นมากกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ดังนั้นจึงมีการนำเอาเศษแก้วมาใช้ได้มากขึ้น นอกจากนี้การค้นคว้างานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการนำเอาเปลือกหอยแครงมาใช้ในแทนที่ทรายหยาบ ซึ่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถทำได้โดยทำการ

ทำความสะอาดและลดขนาดของเปลือกหอยให้มีขนาดใกล้เคียงกับทรายหยาบสามารถนำไปผลิตอิฐคอนกรีตได้ (กฤษฎา เปรมฤทัย, 2554)

5.2.4 ควรมีการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตอิฐคอนกรีตที่มีการนำเอามูลฝอยมาใช้เป็นส่วนหนึ่งของวัตถุดิบ เนื่องจากมูลฝอยที่นำมาใช้ต้องมีกระบวนการเตรียมวัตถุดิบเพื่อให้มูลฝอยเหล่านั้นมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำไปผลิตอิฐคอนกรีต จึงควรมีการศึกษาว่ามีความคุ้มค่าเมื่อผลิตในปริมาณเท่าใด มีต้นทุนในการผลิตต่างจากอิฐโดยทั่วไปหรือไม่

5.2.5 เนื่องจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จึงควรมีการศึกษาการทำอิฐชนิดอื่นที่ไม่ได้ใช้ตัวประสานเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เช่น อิฐชนิดจีโอพอลิเมอร์ อิฐมวลเบา อิฐประสาน ซึ่งจากการค้นคว้างานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมลดลง

5.2.6 ร่วมรณรงค์ให้มีการส่งเสริมการคัดแยกขยะในชุมชนเพื่อความสะอาดในการนำมูลฝอยเหล่านั้นมาใช้ประโยชน์ต่อได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น คัดแยกเปลือกหอย ขวดแก้ว มาผลิตเป็นอิฐคอนกรีต คัดแยกกระดูกออกจากเศษอาหารเพื่อนำไปหมักทำเป็นแก๊สชีวภาพ คัดแยกพลาสติกเพื่อนำไปผลิตเป็นน้ำมัน เป็นต้น เพื่อให้แนวทางในการศึกษาการนำเอามูลฝอยในเกาะสีชังมาผลิตเป็นอิฐคอนกรีตมีความเป็นไปได้มากขึ้นที่สามารถนำมาใช้ได้จริง

รายการอ้างอิง

- Agency, E. E. (2016). "EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook." Retrieved 15 May, 2017, from <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016>.
- Ahmari, S., X. Ren, V. Toufigh and L. Zhang (2012). "Production of geopolymeric binder from blended waste concrete powder and fly ash." Construction and Building Materials **35**: 718-729.
- ASTM C109/C109M-16a (2000). Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens). ASTM International. West Conshohocken, PA: 270-275.
- ASTM C518-15 (2010). Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus. ASTM International. West Conshohocken, PA: 152-166.
- Gachter, R. and H. Muller (1990). Plastics Additives Handbook. 3rd ed. New York, Carl Hanser Publ. Co. Inc.
- Hodges, A. W. and M. Rahmani (2009). Fuel Sources and Carbon Dioxide Emissions by Electric Power Plants in the United States, Institute of Food and Agriculture Sciences.
- Jani, Y. and W. Hogland (2014). "Waste glass in the production of cement and concrete – A review." Journal of Environmental Chemical Engineering **2**(3): 1767-1775.
- Josa, A., A. Aguado, A. Cardim and E. Byars (2007). "Comparative analysis of the life cycle impact assessment of available cement inventories in the EU." Cement and Concrete Research **37**(5): 781-788.
- Lertwattanakul, P., N. Makul and C. Siripattaraprat (2012). "Utilization of ground waste seashells in cement mortars for masonry and plastering." Journal of Environmental Management **111**: 133-141.
- Loryuenyong, V., T. Panyachai, K. Kaewsimork and C. Siritai (2009). "Effects of recycled glass substitution on the physical and mechanical properties of clay bricks." Waste Management **29**(10): 2717-2721.

- Olivia, M., A. A. Mifshella and L. Darmayanti (2015). "Mechanical properties of seashell concrete." Procedia Engineering **125**: 760-764.
- Thaniya Kaosol (2009). "Sustainable solutions for municipal solid waste management in Thailand." Engineering and Technology **60**: 534-539.
- Topçu, İ. B. and M. Canbaz (2004). "Properties of concrete containing waste glass." Cement and Concrete Research **34**(2): 267-274.
- Turgut, P. (2008). "Limestone dust and glass powder wastes as new brick material." Materials and Structures **41**(5): 805-813.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม มูลนิธิสิ่งแวดล้อมไทย (2551). LCA : เครื่องมือสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์สีเขียว
โครงการ "จัดทำคู่มือข้อมูลวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (LCI-LCA)". กระทรวงอุตสาหกรรม,
กรุงเทพมหานคร.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2558). "รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทยปี 2558." Retrieved 1
ตุลาคม 2559, from [http://www.pcd.go.th/public/Publications/print_report.cfm?](http://www.pcd.go.th/public/Publications/print_report.cfm?task=pcdreport-58final)
[task=pcdreport-58final](http://www.pcd.go.th/public/Publications/print_report.cfm?task=pcdreport-58final).
- กรมประมง. (2558). "สถิติการเลี้ยงหอยประมงประจำปี 2557." Retrieved 1 ตุลาคม 2559, from
[http://www.fisheries.go.th/itstat/index.php?option=com_content&view=article](http://www.fisheries.go.th/itstat/index.php?option=com_content&view=article&id=42)
[&id=42](http://www.fisheries.go.th/itstat/index.php?option=com_content&view=article&id=42).
- กฤษฎา เปรมฤทัย (2554). การพัฒนาคอนกรีตบล็อกจากเปลือกหอยแครง. วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาคาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กวี หวังนิเวศน์กุล (2546). วัสดุวิศวกรรม ก่อสร้าง. กรุงเทพมหานคร, บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด
(มหาชน).
- กองสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม เทศบาลตำบลเกาะสีชัง (2557). รายงานสถานการณ์ปัญหาและการ
บริหารจัดการขยะมูลฝอย ปี 2557. ชลบุรี, เทศบาลตำบลเกาะสีชัง.
- ชโลทร ศิริภัทรประวัติ (2552). อิทธิพลของเปลือกหอยบดต่อคุณสมบัติของปูนฉาบ. วิทยานิพนธ์
ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และผังเมือง
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร (2551). Cement and Application ปูนซีเมนต์และการประยุกต์ใช้งาน. พิมพ์
ลักษณะกรุงเทพฯ บริษัทเอสซีจี ซีเมนต์ จำกัด.
- ชัย จาตุรพิทักษ์กุล (2552). "คอนกรีตที่ดีต้องป่ม (ให้สุก)." วารสารคอนกรีต **7**(สิงหาคม): 1-11.

- ปริญญา คุณมี (2554). การศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของการใช้ตะกรันเหล็กเป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ผสุติ แพทย์นุเคราะห์ (2546). การนำซิลิกา-อะลูมินาและชานอ้อยที่ใช้แล้วมาใช้ประโยชน์ในการทำคอนกรีตบล็อก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พรพิมล พัดภู (2547). การกำจัดฟลูออไรด์ในน้ำดื่มโดยใช้หินภูเขาไฟและเปลือกหอยแครง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พรรณวิภา พงศ์นรินทร์ (2553). การประเมินวัฏจักรชีวิตของคอนกรีตพูน. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ภคพงษ์ พงษ์ทองหล่อ (2553). การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับความชื้นของเปลือกไข่และเปลือกหอย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ภาสกร คงชน (2557). การใช้แร่ควอตซ์แทนทรายในโซดาไลม์. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีเซรามิก คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ภูวนัญญ์ รอบคอบ (2559). สถานการณ์การจัดการขยะบนเกาะสีชัง. จรรยา พันธมา.
- สมบุรณ์ คงสมศักดิ์ศิริและนิรัตน์ แยมโอษฐ์ (2549). "อิฐคอนกรีตผสมยิปซัมสังเคราะห์." วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 2: 90-96.
- สำเร็จ สารมาคม (2556). การประยุกต์ใช้เถ้าลอยในการผลิตอิฐบล็อกประสาน. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมโยธา สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2533). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก มอก. 57-2533. กรุงเทพมหานคร, กระทรวงอุตสาหกรรม.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2616). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐคอนกรีต. มอก. 59-2516. กรุงเทพมหานคร, กระทรวงอุตสาหกรรม.
- ไอศิกา น้อยจันทิระ (2553). การประเมินวัฏจักรชีวิตของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว กะลาปาล์ม และขังข้าวโพด. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

วิธีการเตรียมก้อนตัวอย่างอิฐคอนกรีต

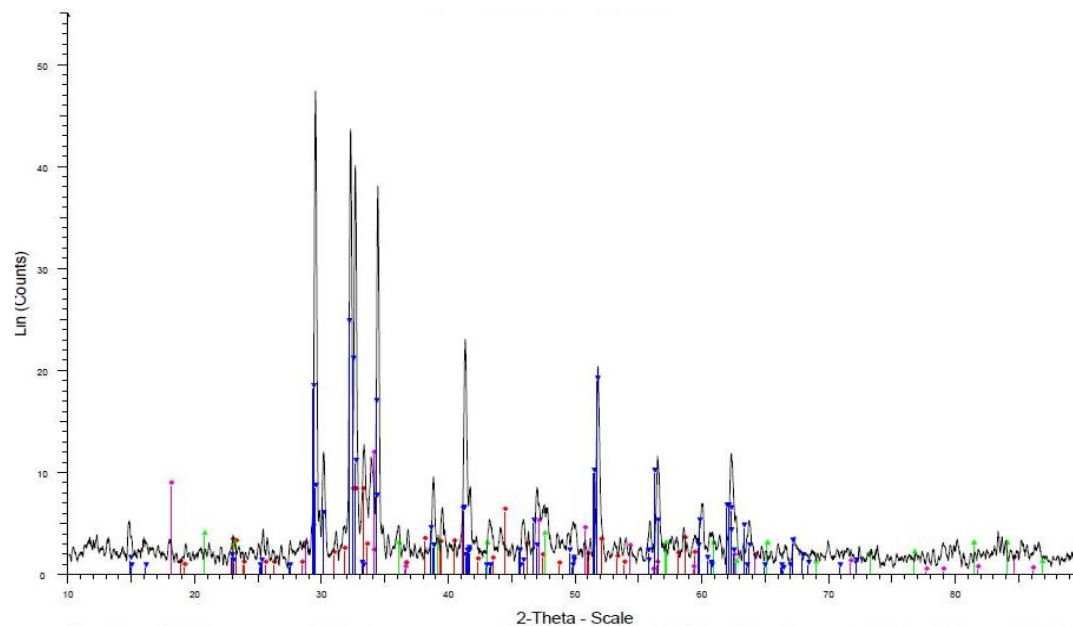
การเตรียมก้อนตัวอย่างอิฐคอนกรีตเพื่อทดสอบ

1. ทาน้ำมันสำหรับทาแบบต่างๆ ที่ผิวด้านในของแม่พิมพ์ตัวอย่าง
2. เช็ดน้ำมันส่วนเกินออกจากแม่พิมพ์ตัวอย่าง
3. ใช้แบบก้อนตัวอย่างขนาด $5 \times 5 \times 5$ ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นชั่งวัสดุตามอัตราส่วนที่ต้องการ ในปริมาณ 3 ก้อนตัวอย่าง
4. ผสมด้วยแรงงานคน โดยนำส่วนผสมทั้งหมดผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน ในการผสมให้ผสมวัสดุที่แห้ง ประมาณ 2-3 นาทีก่อน จึงเติมน้ำลงไป จากนั้นผสมต่ออีก 1 - 2 นาที จึงนำส่วนผสมที่ได้ไปใส่ในแม่พิมพ์
5. หลังจากผสมเสร็จให้นำเอาส่วนผสมเข้าในแม่พิมพ์ โดยแบ่งของผสมเป็น 3 ชั้น ชั้นแรกกับชั้นที่สองหนาประมาณ 2 เซนติเมตร แล้วใช้ไม้กระทุ้ง กระทุ้งชั้นละ 15 ครั้ง โดย 20 ครั้งแรกจะมีทิศทางตั้งฉากกับฐานของแม่พิมพ์ ส่วนอีก 10 ครั้งให้แรงกระทุ้งพอประมาณและเท่ากันตลอด จากนั้นเติมน้ำส่วนผสมชั้นที่สามให้เลยขอบแม่พิมพ์ไปเล็กน้อย ใช้ไม้กระทุ้ง 25 ครั้งเช่นเดียวกันและขณะกระทุ้งให้ใช้มือป้องเพื่อป้องกันไม่ให้ของผสมกระเด็นออกไป และใช้เกรียงปาดส่วนเกินออกให้เรียบ
5. นำแผ่นกระจกใสมาวางปิดบนแม่พิมพ์ เพื่อป้องกันการระเหยออกของน้ำ แล้วนำไปวางทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นถอดก้อนตัวอย่างออกจากแม่พิมพ์ บ่มตัวอย่างโดยการนำไปแช่น้ำจนครบเวลาที่กำหนด นำตัวอย่างที่ไปทดสอบ (ผลสุติ แพทย์นุเคราะห์, 2546)

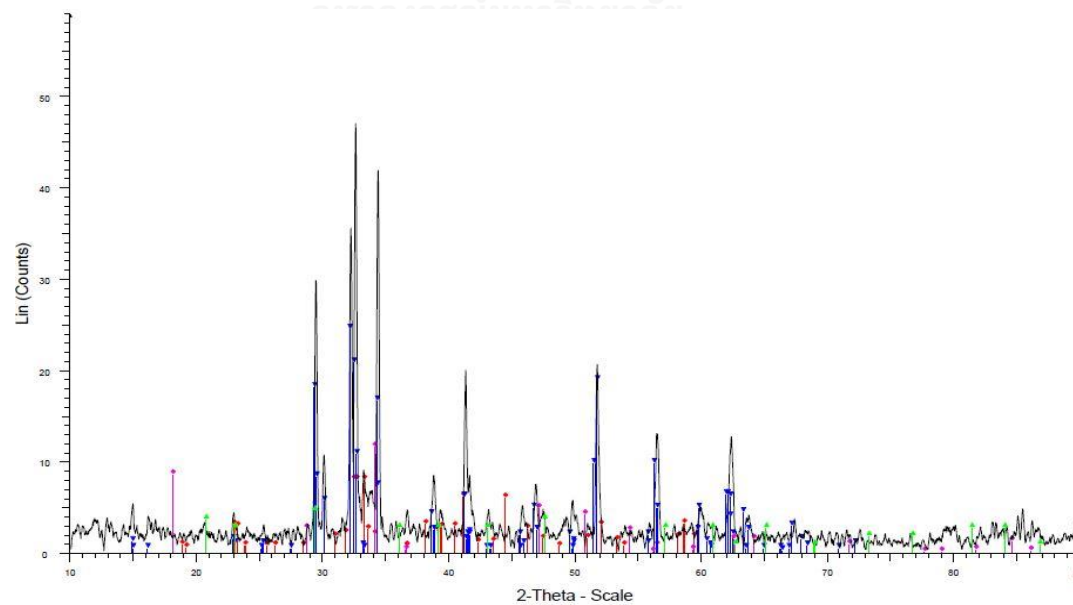
ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์วิเคราะห์ลักษณะสมบัติของวัสดุดิบ

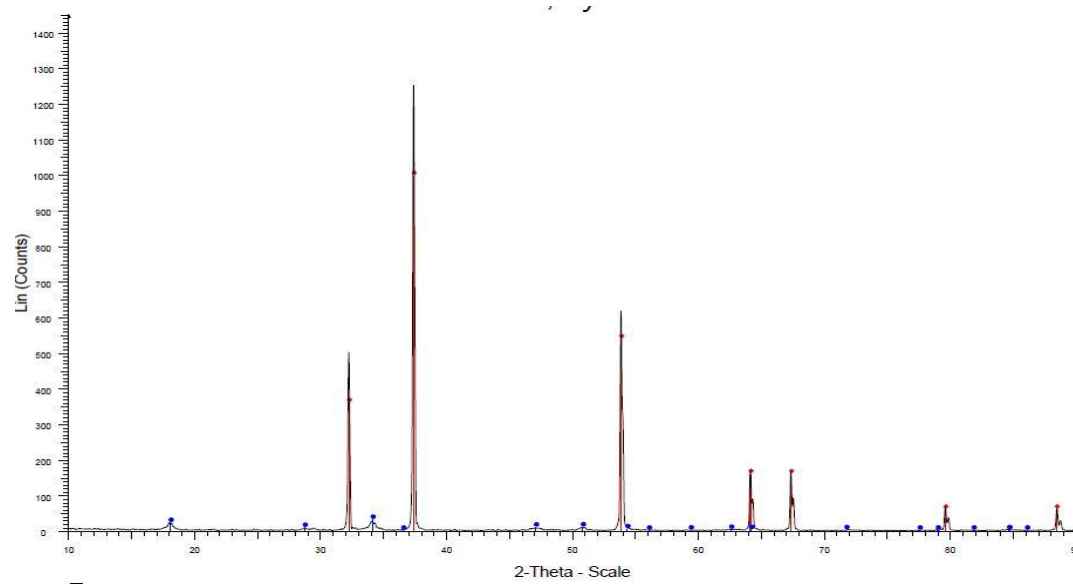
ภาคผนวก ข.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้าง



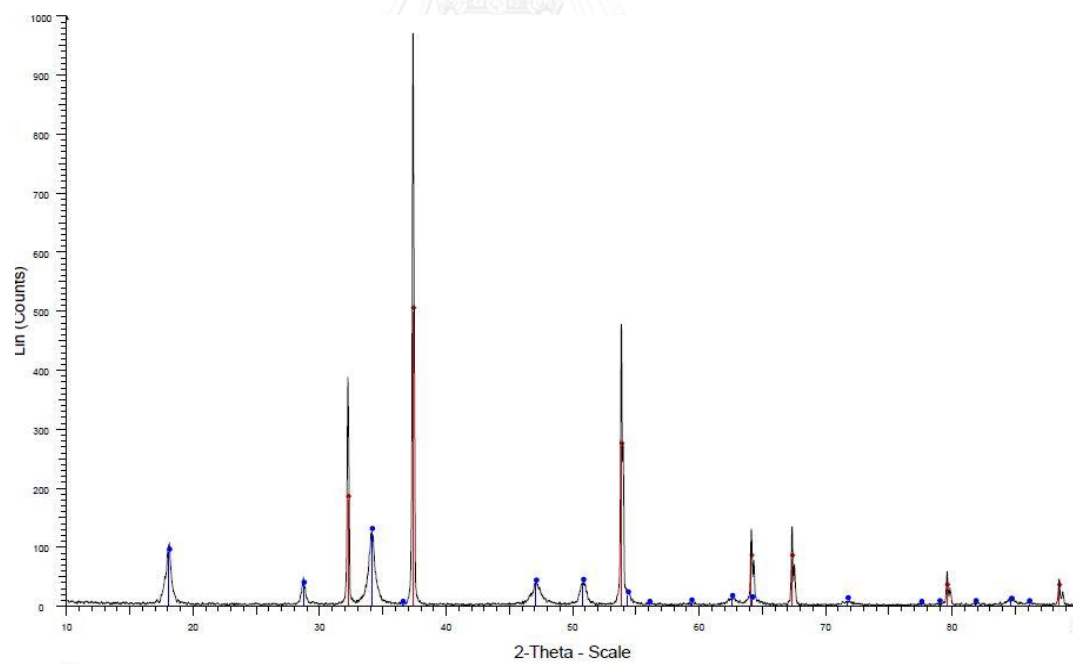
รูปที่ ข.1 ลักษณะทางกายภาพ รูปแบบและโครงสร้างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์



รูปที่ ข.2 ลักษณะทางกายภาพ รูปแบบและโครงสร้างขยเซีเมนต์



รูปที่ ข.3 ลักษณะทางกายภาพ รูปแบบและโครงสร้างเปลือกหอยแครง



รูปที่ ข.4 ลักษณะทางกายภาพ รูปแบบและโครงสร้างเปลือกหอยแมลงภู'

ภาคผนวก ข.2 ผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาค



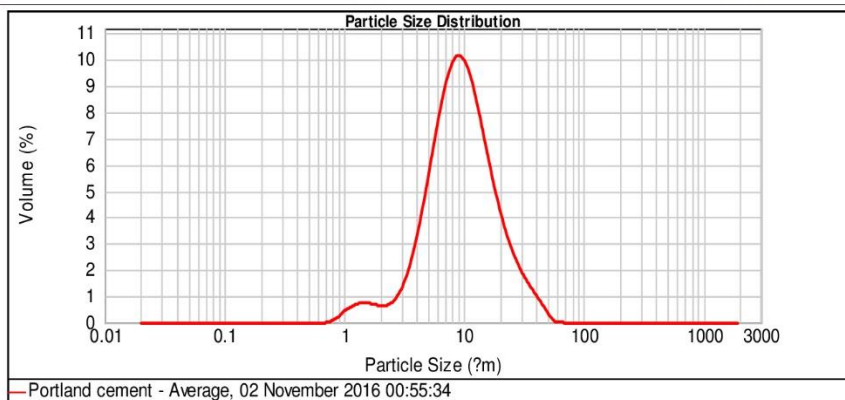
Result Analysis Report

Sample Name: Portland cement - Average
SOP Name:
Measured: 02 November 2016 00:55:34
Sample Source & type:
Measured by: User
Analysed: 02 November 2016 00:55:35
Sample bulk lot ref:
Result Source: Averaged

Particle Name: Calcium silicate
Accessory Name: Hydro 2000SM (A)
Analysis model: General purpose
Sensitivity: Normal
Particle RI: 1.640
Absorption: 0
Size range: 0.020 to 2000.000 um
Obscuration: 13.95 %
Dispersant Name: Water
Dispersant RI: 1.330
Weighted Residual: 2.207 %
Result Emulation: Off

Concentration: 0.0125 %Vol
Span : 1.869
Uniformity: 0.587
Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.865 m²/g
Surface Weighted Mean D[3,2]: 6.933 um
Vol. Weighted Mean D[4,3]: 11.320 um

d(0.1): 4.076 um d(0.5): 9.220 um d(0.9): 21.308 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.57	11.482	7.82	120.226	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.67	13.183	6.64	138.038	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.67	15.136	5.43	158.469	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.62	17.378	4.31	181.970	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.58	19.953	3.35	208.930	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.62	22.909	2.58	239.883	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.85	26.303	1.97	275.423	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	0.85	30.200	1.50	316.228	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	1.30	34.674	1.12	363.078	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	2.04	39.811	0.75	416.869	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	3.07	45.709	0.37	478.630	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	4.35	52.481	0.06	549.541	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	7.14	60.256	0.00	630.957	0.00
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	8.29	69.183	0.00	724.436	0.00
0.069	0.00	0.724	0.06	7.586	9.01	79.433	0.00	831.764	0.00
0.079	0.00	0.832	0.19	8.710	9.16	91.201	0.00	954.993	0.00
0.091	0.00	0.955	0.43	10.000	8.72	104.713	0.00	1096.478	0.00
0.105	0.00	1.096	0.43	11.482	8.72	120.226	0.00	1258.925	0.00

Operator notes:

รูปที่ ข.5 ผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

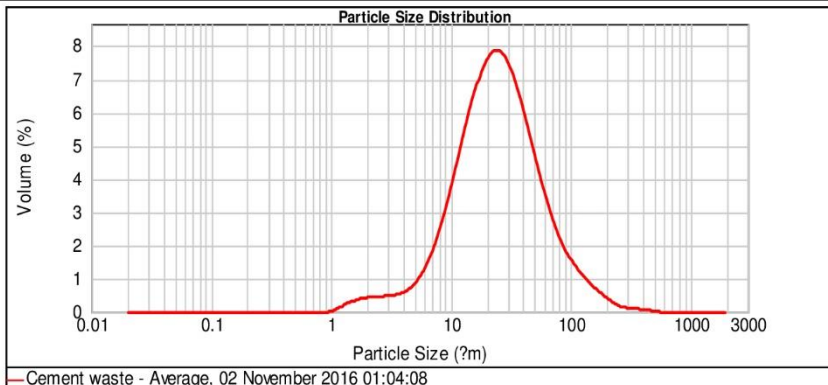


Result Analysis Report

Sample Name: Cement waste - Average
Sample Source & type:
Sample bulk lot ref:
SOP Name:
Measured by: User
Result Source: Averaged
Measured: 02 November 2016 01:04:08
Analysed: 02 November 2016 01:04:09

Particle Name: Calcium silicate
Particle RI: 1.640
Dispersant Name: Water
Concentration: 0.0301 %Vol
Specific Surface Area: 0.39 m²/g
Accessory Name: Hydro 2000SM (A)
Absorption: 0
Dispersant RI: 1.330
Span : 2.551
Surface Weighted Mean D[3,2]: 15.401 um
Analysis model: General purpose
Size range: 0.020 to 2000.000 um
Weighted Residual: 0.755 %
Uniformity: 0.868
Vol. Weighted Mean D[4,3]: 34.959 um
Sensitivity: Normal
Obscuration: 14.38 %
Result Emulation: Off
Result units: Volume

d(0.1): 8.429 um **d(0.5): 24.199 um** **d(0.9): 70.162 um**



Cement waste - Average, 02 November 2016 01:04:08

Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.12	11.482	4.59	120.226	0.93	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.23	13.183	5.40	138.038	0.73	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.30	15.136	6.12	158.489	0.56	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.36	17.378	6.69	181.970	0.56	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.39	19.953	7.03	208.900	0.41	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.41	22.909	7.11	239.883	0.27	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.43	26.303	6.93	275.423	0.15	2894.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	0.44	30.200	6.50	316.228	0.12	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	0.48	34.674	5.89	363.078	0.09	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	0.55	39.811	5.16	416.869	0.07	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	0.69	45.709	4.39	478.630	0.05	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	0.92	52.481	3.63	549.541	0.01	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	1.25	60.256	2.94	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	1.70	69.183	2.35	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.00	7.586	2.29	79.433	1.86	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.00	8.710	2.96	91.201	1.48	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.03	10.000	3.77	104.713	1.17	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096	0.03	11.482	4.59	120.226	0.93	1258.925	0.00		

Operator notes:

รูปที่ ข.6 ผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของขยะซีเมนต์



MASTERSIZER



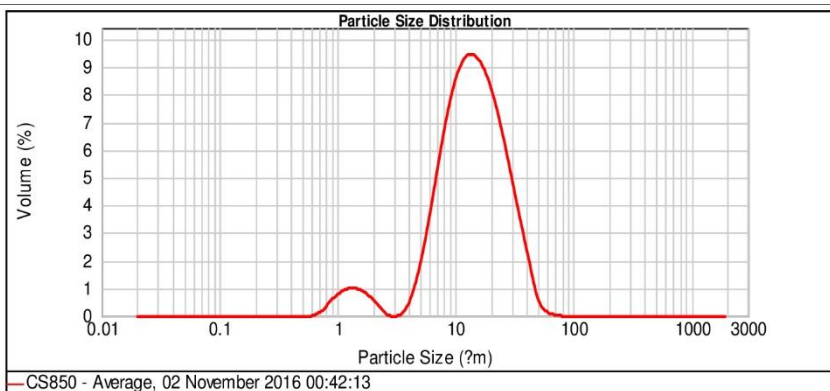
Result Analysis Report

Sample Name: CS850 - Average SOP Name: Measured: 02 November 2016 00:42:13
 Sample Source & type: Measured by: User Analysed: 02 November 2016 00:42:14
 Sample bulk lot ref: Result Source: Averaged

Particle Name: CaO Accessory Name: Hydro 2000SM (A) Analysis model: General purpose Sensitivity: Normal
 Particle RI: 1.830 Absorption: 0 Size range: 0.020 to 2000.000 um Obscuration: 12.36 %
 Dispersant Name: Water Dispersant RI: 1.330 Weighted Residual: 1.511 % Result Emulation: Off

Concentration: 0.0128 %Vol Span : 1.734 Uniformity: 0.545 Result units: Volume
 Specific Surface Area: 0.728 m²/g Surface Weighted Mean D[3,2]: 8.243 um Vol. Weighted Mean D[4,3]: 15.662 um

d(0.1): 5.799 um d(0.5): 13.490 um d(0.9): 29.197 um



CS850 - Average, 02 November 2016 00:42:13

Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.88	11.482	8.49	120.226	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.92	13.183	8.53	138.038	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.86	15.136	8.28	158.469	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.71	17.378	7.76	181.970	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.49	19.953	7.00	208.930	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.24	22.909	6.03	239.883	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.01	26.303	4.93	275.423	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	0.00	30.200	3.78	316.228	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	0.00	34.674	3.03	363.078	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	0.09	39.811	2.68	416.869	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	0.50	45.709	1.60	478.630	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	1.25	52.481	0.58	549.541	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	2.29	60.256	0.20	630.957	0.00
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	3.57	69.183	0.06	724.436	0.00
0.069	0.00	0.724	0.08	7.586	4.94	79.433	0.01	831.764	0.00
0.079	0.00	0.832	0.25	8.710	6.27	91.201	0.00	954.993	0.00
0.091	0.00	0.955	0.54	10.000	7.35	104.713	0.00	1096.478	0.00
0.105	0.00	1.096	0.73	11.482	8.11	120.226	0.00	1258.925	0.00
								1445.440	0.00
								1659.587	0.00
								1905.461	0.00
								2187.762	0.00
								2511.886	0.00
								2894.032	0.00
								3311.311	0.00
								3801.894	0.00
								4365.158	0.00
								5011.872	0.00
								5754.399	0.00
								6606.934	0.00
								7585.776	0.00
								8709.636	0.00
								10000.000	0.00

Operator notes:

รูปที่ ข.7 ผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของเปลือกหอยแครง

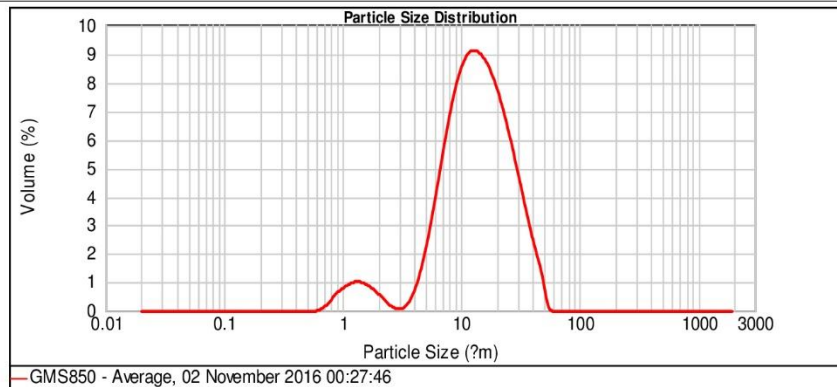


Result Analysis Report

Sample Name: GMS850 - Average
SOP Name:
Measured: 02 November 2016 00:27:46
Sample Source & type:
Measured by: User
Analysed: 02 November 2016 00:27:47
Sample bulk lot ref:
Result Source: Averaged

Particle Name: CaO
Accessory Name: Hydro 2000SM (A)
Analysis model: General purpose
Sensitivity: Normal
Particle RI: 1.830
Absorption: 0
Size range: 0.020 to 2000.000 um
Obscuration: 13.61 %
Dispersant Name: Water
Dispersant RI: 1.330
Weighted Residual: 1.592 %
Result Emulation: Off
Concentration: 0.0138 %Vol
Span : 1.823
Uniformity: 0.567
Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.748 m²/g
Surface Weighted Mean D[3,2]: 8.018 um
Vol. Weighted Mean D[4,3]: 15.501 um

d(0.1): 5.498 um d(0.5): 13.177 um d(0.9): 29.520 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.88	11.482	8.25	120.226	0.00	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.92	13.183	8.19	138.038	0.00	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.86	15.136	7.88	158.489	0.00	1659.567	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.71	17.378	6.66	181.970	0.00	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.50	19.953	5.79	208.930	0.00	2187.782	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.27	22.909	4.80	239.893	0.00	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.10	26.303	3.77	275.423	0.00	2894.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	0.06	30.200	2.75	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	0.24	34.674	1.84	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	0.71	39.811	0.91	416.889	0.00	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	1.49	45.709	0.01	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	2.55	52.481	0.00	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	3.83	60.256	0.00	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	5.17	69.183	0.00	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.09	7.586	6.41	79.433	0.00	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.28	8.710	7.38	91.201	0.00	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.56	10.000	8.01	104.713	0.00	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096	0.75	11.482	8.01	120.226	0.00	1258.925	0.00		

Operator notes:

รูปที่ ข.8 ผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของเปลือกหอยแมลงภู่

ภาคผนวก ค

ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของอิฐคอนกรีต

ตารางที่ ค.1 ค่าความต้านทานแรงอัดของอิฐคอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยขยะซีเมนต์

ตัวอย่าง ปูนซีเมนต์ : ขยะซีเมนต์ : ทราายหยาบ : น้ำ	ค่าความต้านทานแรงอัด (MPa)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
22.22 : 0.00 : 66.67 : 11.11	10.20	10.59	10.98	10.59 ^a
20.00 : 2.22 : 66.67 : 11.11	8.63	7.84	7.80	8.08 ^b
17.78 : 4.44 : 66.67 : 11.11	5.84	5.92	5.77	5.84 ^c
15.56 : 6.67 : 66.67 : 11.11	5.41	5.53	5.49	5.51 ^c
13.33 : 8.89 : 66.67 : 11.11	4.39	4.31	4.24	4.32 ^d
11.11 : 11.11 : 66.67 : 11.11	4.16	4.20	4.08	4.15 ^d
8.89 : 13.33 : 66.67 : 11.11	3.33	3.06	3.14	3.18 ^e
6.67 : 15.56 : 66.67 : 11.11	2.94	2.98	2.90	2.91 ^e
4.44 : 17.78 : 66.67 : 11.11	2.12	2.31	2.20	2.21 ^f
2.22 : 20.00 : 66.67 : 11.11	1.84	1.92	1.76	1.84 ^f

หมายเหตุ : a, b, c, d, e และ f เป็นสัญลักษณ์ที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มตามค่าทางสถิติ One-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ค.2 ค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐคอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยขยะซีเมนต์

ตัวอย่าง ปูนซีเมนต์ : ขยะซีเมนต์ : น้ำ : ทรายหยาบ	ค่าการดูดกลืนน้ำ (%)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
22.22 : 0.00 : 66.67 : 11.11	7.91	7.66	7.37	7.64 ^a
20.00 : 2.22 : 66.67 : 11.11	7.80	7.96	7.88	7.88 ^{a, b}
17.78 : 4.44 : 66.67 : 11.11	8.27	7.39	7.98	7.88 ^{a, b}
15.56 : 6.67 : 66.67 : 11.11	8.27	8.34	7.76	8.12 ^{a, b}
13.33 : 8.89 : 66.67 : 11.11	7.93	7.85	8.05	7.94 ^{a, b}
11.11 : 11.11 : 66.67 : 11.11	7.96	7.78	8.18	7.98 ^{a, b}
8.89 : 13.33 : 66.67 : 11.11	8.29	7.93	7.84	8.02 ^{a, b}
6.67 : 15.56 : 66.67 : 11.11	8.04	8.08	7.90	8.01 ^{a, b}
4.44 : 17.78 : 66.67 : 11.11	8.44	8.99	8.09	8.51 ^b
2.22 : 20.00 : 66.67 : 11.11	8.73	8.58	8.34	8.55 ^b

หมายเหตุ : a, b, c, d, e และ f เป็นสัญลักษณ์ที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มตามค่าทางสถิติ One-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ค.3 ค่าความต้านทานแรงอัดของอิฐคอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และขยะซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยแครง

ตัวอย่าง ปูนซีเมนต์ : ขยะซีเมนต์ : เปลือกหอยแครง : ทรายหยาบ : น้ำ	ค่าความต้านทานแรงอัด (MPa)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
20.00 : 2.22 : 0.00 : 66.67 : 11.11	8.11	8.08	8.09	8.09 ^a
19.50 : 2.17 : 0.55 : 66.67 : 11.11	7.20	6.45	6.83	6.83 ^b
19.00 : 2.11 : 1.11 : 66.67 : 11.11	6.61	6.36	6.26	6.41 ^{b, c}
18.00 : 2.00 : 2.22 : 66.67 : 11.11	6.17	5.64	6.03	5.95 ^c
17.00 : 1.89 : 3.33 : 66.67 : 11.11	5.45	4.90	5.30	5.22 ^d
16.00 : 1.78 : 4.44 : 66.67 : 11.11	5.16	4.58	4.94	4.89 ^d

หมายเหตุ : a, b, c และ d เป็นสัญลักษณ์ที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มตามค่าทางสถิติ One-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ค.4 ค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐคอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และขยะซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยแครง

ตัวอย่าง ปูนซีเมนต์ : ขยะซีเมนต์ : เปลือกหอยแครง : ทรายหยาบ : น้ำ	ค่าการดูดกลืนน้ำ (%)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
20.00 : 2.22 : 0.00 : 66.67 : 11.11	6.76	6.92	6.95	6.88 ^a
19.50 : 2.17 : 0.55 : 66.67 : 11.11	6.61	6.72	6.84	6.72 ^a
19.00 : 2.11 : 1.11 : 66.67 : 11.11	7.72	7.71	6.91	7.44 ^{a, b}
18.00 : 2.00 : 2.22 : 66.67 : 11.11	6.91	7.06	7.18	7.05 ^{a, b}
17.00 : 1.89 : 3.33 : 66.67 : 11.11	7.37	7.23	7.36	7.32 ^{a, b}
16.00 : 1.78 : 4.44 : 66.67 : 11.11	7.71	7.70	7.90	7.77 ^b

หมายเหตุ : a และ b เป็นสัญลักษณ์ที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มตามค่าทางสถิติ One-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ค.5 ค่าความต้านทานแรงอัดของอิฐคอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และขยะซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยแมลงภู

ตัวอย่าง ปูนซีเมนต์ : ขยะซีเมนต์ : เปลือกหอยแมลงภู : ทรายหยาบ : น้ำ	ค่าความต้านทานแรงอัด (MPa)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
20.00 : 2.22 : 0.00 : 66.67 : 11.11	7.98	7.89	7.96	7.46 ^a
19.50 : 2.17 : 0.55 : 66.67 : 11.11	6.73	6.54	6.68	6.66 ^b
19.00 : 2.11 : 1.11 : 66.67 : 11.11	5.94	6.54	6.39	6.26 ^{b, c}
18.00 : 2.00 : 2.22 : 66.67 : 11.11	5.67	5.96	6.17	5.93 ^c
17.00 : 1.89 : 3.33 : 66.67 : 11.11	4.99	4.67	5.41	5.02 ^d
16.00 : 1.78 : 4.44 : 66.67 : 11.11	5.01	4.87	4.43	4.77 ^d

หมายเหตุ : a, b, c และ d เป็นสัญลักษณ์ที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มตามค่าทางสถิติ One-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ค.6 ค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐคอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และขยะซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยแมลงภู

ตัวอย่าง ปูนซีเมนต์ : ขยะซีเมนต์ : เปลือกหอยแมลงภู : ทรายหยาบ : น้ำ	ค่าการดูดกลืนน้ำ (%)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
20.00 : 2.22 : 0.00 : 66.67 : 11.11	7.62	7.38	7.38	7.46 ^a
19.50 : 2.17 : 0.55 : 66.67 : 11.11	7.33	7.35	7.70	7.46 ^a
19.00 : 2.11 : 1.11 : 66.67 : 11.11	7.86	8.18	7.67	7.91 ^{a, b}
18.00 : 2.00 : 2.22 : 66.67 : 11.11	8.24	8.21	8.03	8.16 ^{b, c}
17.00 : 1.89 : 3.33 : 66.67 : 11.11	8.26	7.95	8.11	8.11 ^{b, c}
16.00 : 1.78 : 4.44 : 66.67 : 11.11	8.24	8.97	8.69	8.63 ^c

หมายเหตุ : a, b, c และ d เป็นสัญลักษณ์ที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มตามค่าทางสถิติ One-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ค.7 ค่าความต้านทานแรงอัดของอิฐคอนกรีตแทนที่ทรายหยาบด้วยเศษแก้วและบ่มเป็นเวลา 3 วัน

ตัวอย่าง ปูนซีเมนต์ : ขยะซีเมนต์ : เปลือกหอยแครง : ทรายหยาบ : เศษแก้ว : น้ำ	ค่าความต้านทานแรงอัด (MPa)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
19 : 2.11 : 1.11 : 66.67 : 0.00 : 11.11	5.83	5.85	6.17	5.95
19 : 2.11 : 1.11 : 56.67 : 10.00 : 11.11	5.74	5.36	5.37	5.49
19 : 2.11 : 1.11 : 46.67 : 20.00 : 11.11	4.28	4.75	4.50	4.51
19 : 2.11 : 1.11 : 36.67 : 30.00 : 11.11	4.46	4.37	3.83	4.22
19 : 2.11 : 1.11 : 26.67 : 40.00 : 11.11	3.87	3.53	3.64	3.68
19 : 2.11 : 1.11 : 16.67 : 50.00 : 11.11	2.88	2.99	3.55	3.14

ตารางที่ ค.8 ค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐคอนกรีตแทนที่ทรายหยาบด้วยเศษแก้วและบ่มเป็นเวลา 3 วัน

ตัวอย่าง ปูนซีเมนต์ : ขยะซีเมนต์ : เปลือกหอยแครง : ทรายหยาบ : เศษแก้ว : น้ำ	ค่าการดูดกลืนน้ำ (%)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
19 : 2.11 : 1.11 : 66.67 : 0.00 : 11.11	8.93	8.84	8.6	8.79
19 : 2.11 : 1.11 : 56.67 : 10.00 : 11.11	8.22	8.48	8.04	8.25
19 : 2.11 : 1.11 : 46.67 : 20.00 : 11.11	7.94	8.21	8.58	8.24
19 : 2.11 : 1.11 : 36.67 : 30.00 : 11.11	7.85	7.85	7.86	7.86
19 : 2.11 : 1.11 : 26.67 : 40.00 : 11.11	7.28	7.25	7.73	7.42
19 : 2.11 : 1.11 : 16.67 : 50.00 : 11.11	7.35	7.18	6.94	7.16

ตารางที่ ค.9 ค่าความต้านทานแรงอัดของอิฐคอนกรีตแทนที่ทรายหยาบด้วยเศษแก้วและบ่มเป็นเวลา 7 วัน

ตัวอย่าง ปูนซีเมนต์ : ขยะซีเมนต์ : เปลือกหอยแครง : ทรายหยาบ : เศษแก้ว : น้ำ	ค่าความต้านทานแรงอัด (MPa)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
19 : 2.11 : 1.11 : 66.67 : 0.00 : 11.11	6.91	6.45	6.20	6.52
19 : 2.11 : 1.11 : 56.67 : 10.00 : 11.11	6.48	6.41	5.92	6.27
19 : 2.11 : 1.11 : 46.67 : 20.00 : 11.11	5.33	5.54	4.97	5.28
19 : 2.11 : 1.11 : 36.67 : 30.00 : 11.11	4.64	4.48	4.47	4.53
19 : 2.11 : 1.11 : 26.67 : 40.00 : 11.11	4.30	3.96	4.22	4.16
19 : 2.11 : 1.11 : 16.67 : 50.00 : 11.11	3.85	3.57	3.80	3.74

ตารางที่ ค.10 ค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐคอนกรีตแทนที่ทรายหยาบด้วยเศษแก้วและบ่มเป็นเวลา 7 วัน

ตัวอย่าง ปูนซีเมนต์ : ขยะซีเมนต์ : เปลือกหอยแครง : ทรายหยาบ : เศษแก้ว : น้ำ	ค่าการดูดกลืนน้ำ (%)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
19 : 2.11 : 1.11 : 66.67 : 0.00 : 11.11	7.98	7.58	7.90	7.82
19 : 2.11 : 1.11 : 56.67 : 10.00 : 11.11	6.93	7.13	6.88	6.98
19 : 2.11 : 1.11 : 46.67 : 20.00 : 11.11	6.78	6.70	6.83	6.77
19 : 2.11 : 1.11 : 36.67 : 30.00 : 11.11	6.06	6.78	6.33	6.38
19 : 2.11 : 1.11 : 26.67 : 40.00 : 11.11	6.16	6.33	6.36	6.28
19 : 2.11 : 1.11 : 16.67 : 50.00 : 11.11	6.24	5.74	6.02	6.00

ตารางที่ ค.11 ค่าความต้านทานแรงอัดของอิฐคอนกรีตแทนที่ทรายหยาบด้วยเศษแก้วและบ่มเป็นเวลา 28 วัน

ตัวอย่าง ปูนซีเมนต์ : ขยะซีเมนต์ : เปลือกหอยแครง : ทรายหยาบ : เศษแก้ว : น้ำ	ค่าการดูดกลืนน้ำ (%)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
19 : 2.11 : 1.11 : 66.67 : 0.00 : 11.11	7.41	7.28	7.18	7.29 ^a
19 : 2.11 : 1.11 : 56.67 : 10.00 : 11.11	7.02	6.70	6.62	6.78 ^b
19 : 2.11 : 1.11 : 46.67 : 20.00 : 11.11	5.43	5.77	5.63	5.61 ^c
19 : 2.11 : 1.11 : 36.67 : 30.00 : 11.11	5.06	4.87	4.92	4.95 ^d
19 : 2.11 : 1.11 : 26.67 : 40.00 : 11.11	4.49	4.80	4.75	4.68 ^{d, e}
19 : 2.11 : 1.11 : 16.67 : 50.00 : 11.11	4.47	4.30	4.46	4.41 ^e

หมายเหตุ : a, b, c, d และ e เป็นสัญลักษณ์ที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มตามค่าทางสถิติ One-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ค.12 ค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐคอนกรีตแทนที่ทรายหยาบด้วยเศษแก้วและบ่มเป็นเวลา 28 วัน

ตัวอย่าง ปูนซีเมนต์ : ขยะซีเมนต์ : เปลือกหอยแครง : ทรายหยาบ : เศษแก้ว : น้ำ	ค่าการดูดกลืนน้ำ (%)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
19 : 2.11 : 1.11 : 66.67 : 0.00 : 11.11	6.33	6.25	6.56	6.38 ^a
19 : 2.11 : 1.11 : 56.67 : 10.00 : 11.11	6.41	5.66	6.49	6.19 ^{a, b}
19 : 2.11 : 1.11 : 46.67 : 20.00 : 11.11	6.00	6.13	5.89	6.01 ^{a, b}
19 : 2.11 : 1.11 : 36.67 : 30.00 : 11.11	5.82	5.83	5.91	5.85 ^b
19 : 2.11 : 1.11 : 26.67 : 40.00 : 11.11	5.43	5.51	5.31	5.42 ^c
19 : 2.11 : 1.11 : 16.67 : 50.00 : 11.11	5.21	5.57	5.17	5.32 ^c

หมายเหตุ : a, b และ c เป็นสัญลักษณ์ที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มตามค่าทางสถิติ One-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ค.13 ค่าความต้านทานแรงอัดของอิฐคอนกรีตแทนที่ทรายหยาบด้วยเศษแก้วและบ่มเป็นเวลา 3 วัน

ตัวอย่าง ปูนซีเมนต์ : ขยะซีเมนต์ : เปลือกหอยแมลงภู่ : ทรายหยาบ : เศษแก้ว : น้ำ	ค่าการดูดกลืนน้ำ (%)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
19 : 2.11 : 1.11 : 66.67 : 0.00 : 11.11	5.30	5.25	5.73	5.43
19 : 2.11 : 1.11 : 56.67 : 10.00 : 11.11	4.93	5.38	5.12	5.19
19 : 2.11 : 1.11 : 46.67 : 20.00 : 11.11	4.19	4.38	4.42	4.33
19 : 2.11 : 1.11 : 36.67 : 30.00 : 11.11	4.18	3.86	4.20	4.08
19 : 2.11 : 1.11 : 26.67 : 40.00 : 11.11	3.45	3.28	3.05	3.26
19 : 2.11 : 1.11 : 16.67 : 50.00 : 11.11	2.94	2.82	2.86	2.87

ตารางที่ ค.14 ค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐคอนกรีตแทนที่ทรายหยาบด้วยเศษแก้วและบ่มเป็นเวลา 3 วัน

ตัวอย่าง ปูนซีเมนต์ : ขยะซีเมนต์ : เปลือกหอยแมลงภู่ : ทรายหยาบ : เศษแก้ว : น้ำ	ค่าการดูดกลืนน้ำ (%)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
19 : 2.11 : 1.11 : 66.67 : 0.00 : 11.11	8.81	9.14	8.01	8.99
19 : 2.11 : 1.11 : 56.67 : 10.00 : 11.11	8.15	9.01	8.59	8.58
19 : 2.11 : 1.11 : 46.67 : 20.00 : 11.11	8.07	8.67	8.87	8.54
19 : 2.11 : 1.11 : 36.67 : 30.00 : 11.11	7.94	7.82	7.86	7.87
19 : 2.11 : 1.11 : 26.67 : 40.00 : 11.11	7.74	7.62	7.66	8.67
19 : 2.11 : 1.11 : 16.67 : 50.00 : 11.11	7.44	7.65	7.64	7.58

ตารางที่ ค.15 ค่าความต้านทานแรงอัดของอิฐคอนกรีตแทนที่ทรายหยาบด้วยเศษแก้วและบ่มเป็นเวลา 7 วัน

ตัวอย่าง ปูนซีเมนต์ : ขยะซีเมนต์ : เปลือกหอยแมลงภู่ : ทรายหยาบ : เศษแก้ว : น้ำ	ค่าการดูดกลืนน้ำ (%)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
19 : 2.11 : 1.11 : 66.67 : 0.00 : 11.11	6.01	6.19	6.70	6.30
19 : 2.11 : 1.11 : 56.67 : 10.00 : 11.11	5.94	5.92	5.75	5.87
19 : 2.11 : 1.11 : 46.67 : 20.00 : 11.11	4.83	5.23	4.79	4.95
19 : 2.11 : 1.11 : 36.67 : 30.00 : 11.11	4.31	4.22	4.52	4.35
19 : 2.11 : 1.11 : 26.67 : 40.00 : 11.11	3.70	4.10	3.87	3.89
19 : 2.11 : 1.11 : 16.67 : 50.00 : 11.11	3.27	3.56	3.61	3.48

ตารางที่ ค.16 ค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐคอนกรีตแทนที่ทรายหยาบด้วยเศษแก้วและบ่มเป็นเวลา 7 วัน

ตัวอย่าง ปูนซีเมนต์ : ขยะซีเมนต์ : เปลือกหอยแมลงภู่ : ทรายหยาบ : เศษแก้ว : น้ำ	ค่าการดูดกลืนน้ำ (%)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
19 : 2.11 : 1.11 : 66.67 : 0.00 : 11.11	8.04	8.32	8.88	8.08
19 : 2.11 : 1.11 : 56.67 : 10.00 : 11.11	7.64	7.31	7.60	7.52
19 : 2.11 : 1.11 : 46.67 : 20.00 : 11.11	7.13	7.41	7.34	7.29
19 : 2.11 : 1.11 : 36.67 : 30.00 : 11.11	7.04	7.14	7.49	7.30
19 : 2.11 : 1.11 : 26.67 : 40.00 : 11.11	7.38	7.31	7.10	7.26
19 : 2.11 : 1.11 : 16.67 : 50.00 : 11.11	7.04	6.91	6.86	6.94

ตารางที่ ค.17 ค่าความต้านทานแรงอัดของอิฐคอนกรีตแทนที่ทรายหยาบด้วยเศษแก้วและบ่มเป็นเวลา 28 วัน

ตัวอย่าง ปูนซีเมนต์ : ขยะซีเมนต์ : เปลือกหอยแมลงภู่ : ทรายหยาบ : เศษแก้ว : น้ำ	ค่าการดูดกลืนน้ำ (%)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
19 : 2.11 : 1.11 : 66.67 : 0.00 : 11.11	6.82	6.89	7.14	6.95 ^a
19 : 2.11 : 1.11 : 56.67 : 10.00 : 11.11	6.29	6.61	6.39	6.43 ^b
19 : 2.11 : 1.11 : 46.67 : 20.00 : 11.11	5.47	5.15	5.04	5.22 ^c
19 : 2.11 : 1.11 : 36.67 : 30.00 : 11.11	4.84	4.52	4.92	4.76 ^d
19 : 2.11 : 1.11 : 26.67 : 40.00 : 11.11	4.33	4.37	4.17	4.29 ^e
19 : 2.11 : 1.11 : 16.67 : 50.00 : 11.11	4.11	3.93	4.05	4.03 ^e

หมายเหตุ : a, b, c, d และ e เป็นสัญลักษณ์ที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มตามค่าทางสถิติ One-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ค.18 ค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐคอนกรีตแทนที่ทรายหยาบด้วยเศษแก้วและบ่มเป็นเวลา 28 วัน

ตัวอย่าง ปูนซีเมนต์ : ขยะซีเมนต์ : เปลือกหอยแมลงภู่ : ทรายหยาบ : เศษแก้ว : น้ำ	ค่าการดูดกลืนน้ำ (%)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
19 : 2.11 : 1.11 : 66.67 : 0.00 : 11.11	6.41	6.50	6.40	6.44 ^a
19 : 2.11 : 1.11 : 56.67 : 10.00 : 11.11	6.27	6.36	6.30	6.31 ^{a, b}
19 : 2.11 : 1.11 : 46.67 : 20.00 : 11.11	6.40	6.15	6.24	6.26 ^{a, b}
19 : 2.11 : 1.11 : 36.67 : 30.00 : 11.11	6.20	6.10	6.28	6.19 ^b
19 : 2.11 : 1.11 : 26.67 : 40.00 : 11.11	5.87	5.65	5.59	5.70 ^c
19 : 2.11 : 1.11 : 16.67 : 50.00 : 11.11	5.50	5.53	5.46	5.49 ^d

หมายเหตุ : a, b, c และ d เป็นสัญลักษณ์ที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มตามค่าทางสถิติ One-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ค.19 ค่าการนำความร้อนของอิฐคอนกรีตในอัตราส่วนน้ำ (11.11%) : ปูนซีเมนต์ (19%) : ขยะซีเมนต์ (2.11%) : เปลือกหอย (1.11%) : ทรายหยาบ (16.67-66.67%) : เศษแก้ว (0-50%)

ตัวอย่าง	ค่าการนำความร้อน (W/m.K)
เปลือกหอยแครง	
- เศษแก้ว 0%	>0.8000±0.0003
- เศษแก้ว 10%	>0.8000±0.0003
- เศษแก้ว 20%	>0.8000±0.0003
- เศษแก้ว 30%	>0.8000±0.0003
- เศษแก้ว 40%	>0.8000±0.0003
- เศษแก้ว 50%	>0.8000±0.0003
เปลือกหอยแมลงภู	
- เศษแก้ว 0%	>0.8000±0.0003
- เศษแก้ว 10%	>0.8000±0.0003
- เศษแก้ว 20%	>0.8000±0.0003
- เศษแก้ว 30%	>0.8000±0.0003
- เศษแก้ว 40%	>0.8000±0.0003
- เศษแก้ว 50%	>0.8000±0.0003

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวจรรยา พันธมา เกิดเมื่อวันที่ 14 กันยายน 2535 ภูมิลำเนาอยู่ที่จังหวัดจันทบุรี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาต้นจากโรงเรียนท่าใหม่ “พุลสวัสดิ์ราษฎร์นุกูล” และระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนเบญจมราชูทิศ จังหวัดจันทบุรี สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรี ในปีการศึกษา 2556 จากภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปัจจุบันกำลังศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ช่องทางการติดต่อ calo_farin@windowslive.com

ผลงานวิจัยที่ผ่านมา นำเสนอผลงานวิจัยในรูปแบบการนำเสนอ ในหัวข้อ “การประยุกต์ใช้ขยะซีเมนต์และเปลือกหอยในการแทนที่ปูนซีเมนต์เพื่อผลิตอิฐคอนกรีต” (Application of Cement Waste and Shellfish as an Alternative Cement in the Production of Concrete Brick) ในงานการประชุมวิชาการระดับประเทศครั้งที่ 13 จัดขึ้นโดย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม