รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์
โครงการวิจัยเรื่อง

การนำเปลือกหอยแมลงภู่มาใช้ผลิตปูนซีเมนต์ และแทนมวลรวมละเอียดในคอนกรีต

Utilization of Mussel Shell in Cement Production and Replacement Fine Aggregate in Concrete

คณะผู้วิจัย

ดร. รุ่งโรจน์ ปิยะภานุวัตน์

รายงานนี้ได้รับการสนับสนุนจากเงินงบประมาณ ประจำปี 2557

บทคัดย่อ

เปลือกหอยแมลงภู่เป็นของเสียที่ได้จากอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็ง และมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบหลัก งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติของปูนซีเมนต์ที่ผลิตโดยมีการนำเปลือกหอยแมลงภู่มาใช้แทนหินปูนในปริมาณร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนักของหินปูน แล้วทำการเผาที่อุณหภูมิ 1450 องศาเซลเซียสในเตาไฟฟ้าเป็นเวลา 15 และ 30 นาที จากนั้นทำการวิเคราะห์หาปริมาณ Free Lime วิเคราะห์ความเป็นผลึกและองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer และ X-Ray Fluorescence ตามลำดับ ผลการศึกษา พบว่า การแทนที่หินปูนด้วยเปลือกหอยแมลงภู่ในการผลิตปูนซีเมนต์ทำให้ได้ปูนซีเมนต์ที่ได้มีโครงสร้างผลึกของ C_2S C_3S C_3A และ C_4AF เหมือนกับปูนซีเมนต์ปกติ ปริมาณร้อยละของออกไซด์ในปูนที่ผลิตขึ้นมีค่าไม่แตกต่างจากปูนซีเมนต์ปกติอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อทำการคำนวณองค์ประกอบทางเคมี ด้วยสมการ Bogue พบว่ามีปริมาณ C_2S C_3S C_3A และ C_4AF มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน การเพิ่มปริมาณเปลือกหอยแมลงภู่ทำให้ Free Lime และ C_2S มีปริมาณเพิ่มขึ้น ในขณะที่ C_3S มีปริมาณลดลง และการเพิ่มเวลาในการเผาจาก 15 เป็น 30 นาที ที่อุณหภูมิการเผา 1,450 องศาเซลเซียส ทำให้ Free Lime และ C_2S มีปริมาณลดลง ในขณะที่ C_3S มีปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่อนำปูนซีเมนต์สังเคราะห์มาใช้ผสมมอร์ตาร์ที่อัตราส่วน ปูนซีเมนต์:ทราย เท่ากับ 1:2: ผลการศึกษาพบว่า มอร์ตาร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ที่มีการผสมปูนซีเมนต์สังเคราะห์ที่ใช้ทรายเป็นมวลรวมละเอียด มีค่ากำลังอัดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อมีการนำเปลือกหอยแมลงภู่บดแทนทรายในปริมาณร้อยละ 0 50 และ 100 โดยน้ำหนัก พบว่า ค่ากำลังอัดของคอนกรีตมีค่าลดลง เมื่อปริมาณเปลือกหอยแมลงภู่เพิ่มขึ้น โดยคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ที่ผสมเปลือกหอยแมลงภู่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก และใช้เปลือกหอยแมลงภู่แทนทรายจะมีค่ากำลังอัดที่อายุ 28 วัน ต่ำกว่าคอนกรีตปกติร้อยละ 17 -25

คำสำคัญ : เปลือกหอยแมลงภู่ / คอนกรีต / ปูนซีเมนต์/ กำลังอัด / มลวรวมละเอียด

Abstract

Mussel shell has high calcium carbonate similar to limestone and, thus, it was used to partially replace limestone as a raw material for cement production in this research. The mussel shell was used to replace limestone in the percentage of 0, 5, 10, 15 and 20 by weight of limestone. The cement clinker was made by heating up the raw mixture in muffle furnace at the temperature of 1450°C for 15 and 30 min. The properties of cement clinker including the percentage of free lime as well as its crystalline phase and chemical composition were investigated using X-ray diffractometer and X-ray fluorescence spectrometry, respectively. The experimental and analytical results showed that the cement clinker with and without mussel shell in the mixture had similar crystalline phase and chemical composition. The percentage of C_3S, C_2S, C_3A and C_4AF determined using Bogue formula were found to be in accordance with the standard of portland cement type 1. Moreover, it was found that an increase of mussel shell in the raw mixture resulted in an increase in Free Lime and C_2S, but a decrease in C_3S while an increase in heating time from 15 min. to 30 min. resulted in a decrease in Free Lime and C_2S, but an increase in C_3S in cement clinker. The all synthetic cements were used to replace OPC in mortar at the ratio of OPC:Sand was 1:2. The results showed that mortar with synthetic cements and sand have the compressive strength were not difference significant. The mussel shell was replaced sand at the ratio of 0 50 and 100 wt.%, the compressive strength of concrete decreased with increasing of mussel shell. The 28-days compressive strength of concrete mixed synthetic cement with 20 wt.% of mussel shell and use shell replaced sand have lower than about 17-25 percentage compared with commercial concrete.

Keyword : Mussel shel / concrete / cement / compressive strength / Fine Aggregate

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
สารบัญเนื้อเรื่อง	ค
สารบัญภาพ	ง
สารบัญตาราง	จ
บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
วัตถุประสงค์	2
ขอบเขตของการวิจัย	3
วิธีการดำเนินการวิจัยโดยสรุป	3
ทฤษฎีและ/หรือแนวความคิดที่จะนำมาใช้ในการวิจัย	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
วิธีดำเนินการวิจัย (Material and Method)	4
การเตรียมตัวอย่าง	4
การทดสอบ	7
ข้อดีที่ได้จากการสัมภาษณ์	24
ผลการวิจัย	8
สรุปผลการศึกษา	17
ข้อเสนอแนะ	18
เอกสารอ้างอิง	19

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	รายละเอียดองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอยแลงภู่	6
2	ร้อยละของแคลเซียมออกไซด์ที่เหลืออยู่ของปูนเม็ดที่ได้จากห้องปฏิบัติการ	8
3	ร้อยละค่าออกไซด์ของปูนเม็ดที่มีการแทนที่หินปูนด้วยเปลือกหอยแมลงภู่ที่พบในปูนซีเมนต์ที่ได้จากการเผาร่วมกับเปลือกหอยแมลงภู่	11
4	ระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ที่มีการผสมเปลือกหอยแมลงภู่	14

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
1	รายละเอียดการผลิตซีเมนต์และการทดสอบ	5
2	ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ	5
3	ขั้นตอนการเตรียมเปลือกหอยแมลงภู่	6
4	โครงสร้างความเป็นผลึกของปูนเม็ดที่มีการแทนที่เปลือกหอยที่ทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,450 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที	9
5	โครงสร้างความเป็นผลึกของปูนเม็ดที่มีการแทนที่เปลือกหอยที่ทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,450 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที	10
6	ปริมาณสารประกอบที่พบในปูนซีเมนต์ที่ได้จากการแทนที่หินปูนด้วยเปลือกหอยแมลงภู่	13
7	การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุยึดประสานที่มีการแทนที่ทรายด้วยเปลือกหอยแมลงภู่	15
8	การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์สังเคราะห์ที่มีการแทนเปลือกหอยแมลงภู่ในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เป็นวัสดุยึดประสานและมีการแทนที่ทรายด้วยเปลือกหอยแมลงภู่	15
9	การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์สังเคราะห์ที่มีการแทนเปลือกหอยแมลงภู่ในปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เป็นวัสดุยึดประสาน และที่มีการแทนที่ทรายด้วยเปลือกหอยแมลงภู่	16
10	การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์สังเคราะห์ที่มีการแทนเปลือกหอยแมลงภู่ในปริมาณร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก เป็นวัสดุยึดประสาน และที่มีการแทนที่ทรายด้วยเปลือกหอยแมลงภู่	16
11	การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์สังเคราะห์ที่มีการแทนเปลือกหอยแมลงภู่ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก เป็นวัสดุยึดประสาน และมีการแทนที่ทรายด้วยเปลือกหอยแมลงภู่	17

บทนำ (Introduction)

ปัจจุบันความต้องการใช้ปูนซีเมนต์มีเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากอุตสาหกรรมการก่อสร้างมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว และในการก่อสร้างส่วนใหญ่จะใช้คอนกรีตเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีราคาถูก สามารถหล่อหรือสร้างได้หลายรูปแบบ โดยในคอนกรีตจะประกอบไปด้วยปูนซีเมนต์ ทรายและหิน และน้ำ โดยปูนซีเมนต์ซึ่งเป็นวัสดุยึดประสานที่สำคัญกับการพัฒนาสมบัติด้านกำลังอัดของคอนกรีต ปัจจุบันกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์จะต้องระเบิกภูเขาหิน ได้แก่ หินปูน หินเชลล์ และอื่นๆ มาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต ซึ่งมีผลทำให้พื้นที่ป่า และระบบนิเวศน์ในบริเวณนั้นเกิดความเสียหาย อีกทั้งยังทำให้เกิดมลพิษทางเสียง และทางอากาศต่อคนในบริเวณนั้น โดยวัตถุดิบหลักที่เป็นแหล่งแคลเซียมนั้นคือหินปูน ซึ่งจะใช้ในประมาณร้อยละ 30 - 50 โดยน้ำหนัก ดังนั้นจึงเป็นเหตุให้ภูเขาหินปูนถูกทำลายอย่างต่อเนื่อง และอาจจะหมดไปในอีกไม่นาน ดังนั้นในปัจจุบันจึงได้มีการนำวัตถุดิบที่เป็นของเหลือจากการเกษตร และอุตสาหกรรมมาใช้ผสมในปูนซีเมนต์ เพื่อจะลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ลดได้บางส่วนซึ่งไม่ทำให้สมบัติของปูนซีเมนต์เปลี่ยนไปจนเกิดความเสียหายแก่โครงสร้าง

นอกจากนั้นจากปูนซีเมนต์แล้ว ทรายและหินที่เป็นวัตถุดิบทางธรรมชาติยังถูกนำมาใช้เป็นส่วนเติมเต็มในคอนกรีตอีกด้วย โดยหินส่วนใหญ่จะได้มาจากการทำเหมืองหิน ซึ่งต้องมีการระเบิดหินปูน แล้วนำมาทำการย่อยให้มีขนาดเล็กตามการใช้งาน ส่วนทรายนั้นได้มาจากทราบแม่น้ำซึ่งทรายที่ได้จากแม่น้ำส่วนใหญ่อาจจะมีสารอินทรีย์ปนอยู่ด้วย ซึ่งอาจจะเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้คอนกรีตมีการพัฒนากำลังอัดลดลง ในปัจจุบันได้มีแนวคิดที่จะนำวัตถุดิบที่เหลือทิ้งจากอีตสาหกรรมโดยเฉพาะในงานก่อสร้างมาใช้ในการ เช่นการนำคอนกรีตที่ไม่ใช้ประโยชน์แล้วมาทำการบดแล้วใช้แทนทราย หรือหิน จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการทำเศษกระจก อิฐ และอื่นๆมาใช้แทนหิน และทรายซึ่งไม่ได้ส่งผลกระทบต่อสมบัติของคอนกรีต ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้มีแนวทางในการนพของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมมาใช้แทนมวลรวมอีกส่วนหนึ่งเพื่อเป็นการลดต้นทุนในการจัดการ และเพิ่มมูลค่าให้กับของเสียอีกทางหนึ่งด้วย

ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันจำนวนประชากรของประเทศไทยได้เพิ่มจำนวนขึ้นมากจากในอดีต ทำให้ความต้องการในการอุปโภคและบริโภคเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ประกอบกับในปัจจุบันมีเทคโนโลยีที่อำนวยความสะดวกในการผลิตเกิดขึ้นมากมาย ทำให้ภาคอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมต้องมีการผลิตอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้มีปริมาณกากของเสียจากกระบวนการผลิตต่างๆ ทั้งที่มีอันตรายและไม่มีอันตรายจำนวนมาก ทำให้ต้องมีการวางแผนในการจัดการของเสียเหล่านี้

ในอุตสาหกรรมงานก่อสร้าง โครงสร้างที่เป็นที่นิยมใช้มากที่สุดคือ โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งประกอบไปด้วยวัสดุสำคัญ 2 ประเภท ได้แก่ คอนกรีตและเหล็กกล้า คอนกรีตที่ใช้ในงานก่อสร้างมีส่วนประกอบสำคัญคือ ปูนซีเมนต์ ซึ่งมีหินปูน หินดินดาน ดินลูกรัง เป็นต้น เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ วัตถุดิบเหล่านี้จะถูกบดและผสม แล้วนำมาเผาที่อุณหภูมิ 1,450 องศาเซลเซียส ในกระบวนการเหล่านี้จำเป็นต้องมีการระเบิดหิน มีการบดหิน และทำการเผา ทำให้มีการทำลายสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติและระบบนิเวศน์วิทยา รวมทั้งเกิดปัญหามลภาวะต่างๆ ตามมา ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจในการศึกษาหาวัตถุดิบที่เป็นของเสียหรือเหลือใช้จากภาคอุตสาหกรรมและการเกษตรมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปูนซีเมนต์แทน โดยวัตถุดิบที่เหลือใช้เหล่านี้จะต้องมีสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลาน

ในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารทะเล ที่จังหวัดสมุทรปราการ อุตสาหกรรมการส่งออกหอยแมลงภู่แปรรูป โดยโรงงานจะรับซื้อหอยจากชาวบ้านและมาทำการแกะเปลือกหอยออก จากนั้นนำเนื้อหอยที่ได้ไปทำการต้ม ส่วนเปลือกหอยจะถูกกองทิ้ง เป็นจำนวนมาก ประมาณวันละ 5 ตัน ทำให้บริเวณที่มีการกองทิ้งมีกลิ่นเหม็นมาก โดยส่วนใหญ่จะนำมาทิ้งเพื่อถมดิน แต่ก็ทำให้บริเวณดังกล่าวมีกลิ่นเหม็นและเป็นแหล่งเพาะเชื้อโรค เมื่อฝนตกเชื้อโรคต่างๆ จะถูกชะลงสู่พื้นดิน ทำให้น้ำในบริเวณนั้นเกิดความสกปรก ซึ่งเป็นผลทำให้คนในชุมชนมีสุขภาพที่ไม่แข็งแรง และยังทำให้ทัศนียภาพในบริเวณนั้นเกิดความเสียหาย จากการลงพื้นที่สำรวจ และเก็บตัวอย่าง และนำเปลือกหอยที่เป็นของเสียที่เหลือจากการแปรรูปมาทำการวิเคราะห์ พบว่ามีปริมาณของแคลเซียมอยู่ในปริมาณร้อยละ 90 ซึ่งสามารถนำมาใช้แทนหินปูนได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำเปลือกหอยแมลงภู่ มาใช้แทนหินปูนในการผลิตปูนเม็ดในปริมาณร้อยละ 5 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก และทำการแปรเปลี่ยนอุณหภูมิในการเผาที่ 1400 1450 และ 1500 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการเผา ที่ 5 10 และ 15 นาที จากนั้นนำมาหาค่าร้อยละของแคลเซียมออกไซด์ที่เหลืออยู่ และเลือกตัวอย่างที่เหมาะสมมาทำการศึกษาสมบัติทางเคมี และกายภาพ และทำการทดสอบการก่อตัว จากนั้นเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมมาทำการผสมในคอนกรีตที่มีการนำเปลือกหอยมาแทนที่ทรายในปริมาณร้อยละ 0 50 และ 100 โดยน้ำหนัก จากนั้นทำการศึกษาสมบัติของคอนกรีตด้านกำลังอัด

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของการแทนที่หินปูนด้วยเปลือกหอยแมลงภู่ต่อสมบัติของปูนเม็ดสังเคราะห์
2. ศึกษาสมบัติของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์สังเคราะห์ และมีการแทนที่ทรายด้วยเปลือกหอยแมลงภู่

ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาสภาวะในการเผาที่เหมาะสมของปูนเม็ดสังเคราะห์ที่แทนหินปูนด้วยเปลือกหอยแมลงภู่ในปริมาณร้อยละ 5 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก และมีการที่เผาที่อุณหภูมิ 1400 1450 และ 1500 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการเผาที่ 15 และ 30 นาทีในเตา muffle furnace

2. ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของปูนเม็ดสังเคราะห์ โดยวิเคราะห์หาร้อยละของแคลเซียมออกไซด์อิสระ ความเป็นผลึกของสารประกอบด้วยเครื่อง XRD และระยะเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์สังเคราะห์

3. ศึกษาผลของการนำปูนซีเมนต์สังเคราะห์ที่ได้มาใช้แทนปูนซีเมนต์ในคอนกรีตที่มีการแทนที่ทรายด้วยเปลือกหอยแมลงภู่ในปริมาณร้อยละ 0 50 และ 100 โดยน้ำหนัก จากนั้นทำการศึกษาสมบัติด้านกำลังอัดที่อายุ 3 7 14 28 และ 60 วัน

วิธีการดำเนินการวิจัยโดยสรุป

1. เตรียมวัตถุดิบ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง โดยทำการตากและบดเปลือกหอยแมลงภู่และวัตถุดิบในการผลิตปูนเม็ด เตรียมตัวอย่างตามมาตรฐาน ASTM C 618-12 โดยให้มมีปริมาณคงค้างบนตะแกรงเบอร์ 325 ต่ำกว่าร้อยละ 34 และมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

2. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษา โดยนำเปลือกหอยแมลงภู่ และวัตถุดิบผลิตปูนซีเมนต์มาทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง XRF และโครงสร้างความเป็นผลึกด้วยเครื่อง XRD

3. ศึกษาสภาวะในการเผาที่เหมาะสมของปูเม็ดสังเคราะห์ โดยอัตราส่วนที่ใช้ในการศึกษาจะต้องนำองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุที่จะทำการผลิตปูนเม็ดมาทำการคำนวณหาร้อยละของอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่จะใช้ผลิตปูนซีเมนต์สังเคราะห์ โดยใช้ค่าแฟกเตอร์การอิ่มตัวเนื้อปูน Lime Saturation Factor (LSF) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 100 – 110 เปอร์เซ็นต์เป็นตัวกำหนด โดยแทนหินปูนด้วยเปลือกหอยแมลงภู่ในปริมาณร้อยละ 5 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก และมีการที่เผาที่อุณหภูมิ 1450 และ 1500 องศาเซลเซียส ด้วยเตาไฟฟ้าโดยใช้เวลาในการเผานาน 15 และ 30 นาที

4. ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของปูนเม็ดสังเคราะห์ โดยวิเคราะห์หาร้อยละของแคลเซียมออกไซด์อิสระ ความเป็นผลึกของสารประกอบด้วยเครื่อง XRD และระยะเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์สังเคราะห์

5. ศึกษาผลของการนำปูนซีเมนต์สังเคราะห์ที่ได้มาใช้แทนปูนซีเมนต์ในคอนกรีตที่มีการแทนที่ทรายด้วยเปลือกหอยแมลงภู่ในปริมาณร้อยละ 0 50 และ 100 โดยน้ำหนัก จากนั้นทำการศึกษาสมบัติด้านกำลังอัดที่อายุ 3 7 14 28 และ 60 วัน

ทฤษฎีและ/หรือแนวความคิดที่จะนำมาใช้ในการวิจัย

ปูนซีเมนต์ที่ใช้กันส่วนใหญ่ได้มาจากการนำ หินปูน ดินดาน ดินดำ หินชอล์ค ดินลูกรัง ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีอยู่ในระบบนิเวศน์ เมื่อนำวัสดุดังกล่าวมาทำการผลิตปูนซีเมนต์ ทำให้สิ่งแวดล้อมถูกทำลาย ทำให้ระบบนิเวศน์วิทยาเสียสมดุลย์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีการนำเปลือกหอยแมลงภู่ มาใช้แทนหินปูนในกระบวนผลิตปูนซีเมนต์ เพื่อจะลดการระเบิดหินปูน ซึ่งเป็นการทำลายทรัพยากรอันมีค่า อีกทั้งยังเป็นการลดต้นทุนในการผลิตและลดปริมาณฝุ่นที่เกิดจากการระเบิดหิน ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพประชาชนในบริเวณนั้น นอกจากนั้นยังมีการนำเปลือกหอยแมลงภู่มาใช้แทนทรายในคอนกรีต ซึ่งการนำเปลือกหอยแมลงภู่มาใช้ประโยชน์นั้นเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเปลือกหอย และเป็นการลดปริมาณเปลือกหอยที่กองทิ้ง เป็นผลทำให้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของคนในชุมชนบริเวณนั้นลดลง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

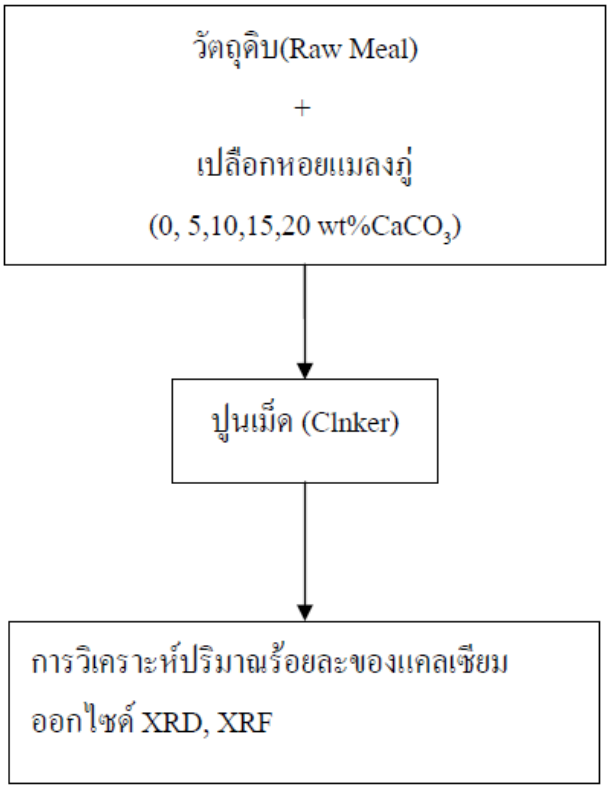
1. เป็นแนวทางในการกำจัดเปลือกหอยแมลงภู่ที่เป็นของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหาร
2. เป็นแนวทางในการนำเปลือกหอยแมลงภู่มาผสมแทนหินปูนในการผลิตปูนเม็ด เพื่อเพิ่มมูลค่าของเปลือกหอยแมลงภู่
3. การใช้เปลือกหอยแมลงภู่ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้เป็นวัสดุทดแทนหินปูนในการผลิตปูนซีเมนต์เป็นการลดการระเบิดหินปูนซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อระบบนิเวศน์วิทยาในบริเวณนั้น

วิธีดำเนินการวิจัย (Material and Method)

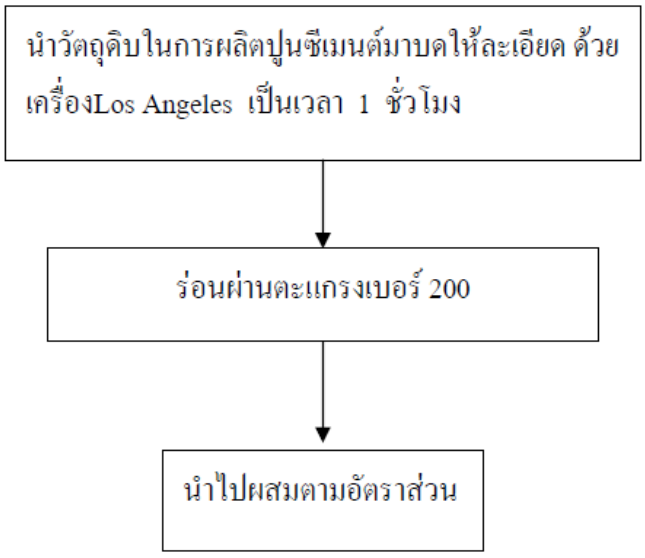
การเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมวัตถุดิบ

เริ่มจากการนำวัตถุดิบ (Raw Meal) มาบดให้ละเอียดด้วยเครื่อง Los Angeles เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 แล้วจึงนำไปผสมตามอัตราส่วน



รูปที่ 1 รายละเอียดการผลิตซีเมนต์และการทดสอบ [1]



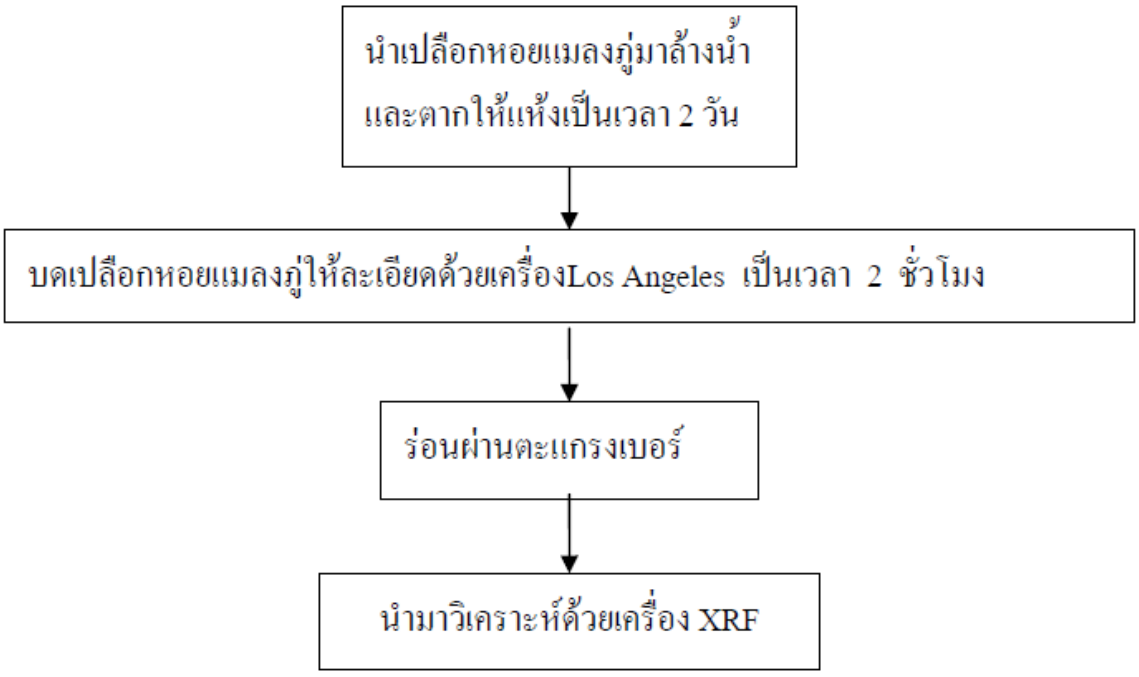
รูปที่ 2 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

การเตรียมเปลือกหอยแมลงภู่

เริ่มจากการนำเปลือกหอยแมลงภู่มาล้างด้วยน้ำสะอาดและตากแดดให้แห้งเป็นเวลา 2 วันแล้วจึงนำมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่อง Los Angeles เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 แล้วนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเครื่อง XRF เพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบเคมี

ตารางที่ 1 รายละเอียดองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอยแลงภู่

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	SO_3	P_2O_5
เปลือกหอยแมงภู่	3.49	1.14	1.20	91.1	0.55	0.26	0.61	0.58	0.18



รูปที่ 3 ขั้นตอนการเตรียมเปลือกหอยแมลงภู่

การเตรียมปูนเม็ด

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการใช้เปลือกหอยแมลงภู่ ทดแทนหินปูนที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปูนซีเมนต์ โดยแทนที่เปลือกหอยแมลงภู่ในปริมาณร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนักของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ ซึ่งประกอบไปด้วย จากนั้นทำการเผาในเตา Muffle Furnace ที่อุณหภูมิ 1,450 และ

1,500 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาในการเผา 15 และ 30 นาที จากนั้นนำปูนเม็ดที่ได้ไปทำการวิเคราะห์หาค่าร้อยละของแคลเซียมออกไซด์ที่เหลืออยู่ (free lime), วิเคราะห์ความเป็นผลึกด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer (XRD) และหาองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง X-ray fluorescence spectrometry (XRF)

การทดสอบ

การวิเคราะห์ปริมาณร้อยละของแคลเซียมออกไซด์ที่เหลืออยู่ (free lime) [3]

นำตัวอย่างปูนเม็ดที่ได้จากการเผามาเติม ethylene glycol แล้วนำไปย่อยสลายโดยใช้ hot plate stirrer เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นจึงแยกตะกอนออกจากสารละลายโดยการกรองด้วยกระดาษ แล้วจึงนำสารละลายที่ได้ไปไตเตรตด้วย 0.1 M ของไฮโดรคลอริก จนสารละลายเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเขียวจึงนำมาหาค่าร้อยละของแคลเซียมออกไซด์ที่เหลืออยู่จากสมการ

$$\text{ร้อยละของแคลเซียมออกไซด์ที่เหลืออยู่} = \frac{\text{มิลลิลิตรที่ใช้ในการไตเตรต}}{\text{ของกรดไฮโดรคลอริก}} \text{ X } 0.56$$

การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเครื่อง XRF, XRD

หลังจากที่ได้นำปูนเม็ดมาวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละของแคลเซียมออกไซด์ที่เหลืออยู่เรียบร้อยแล้วจากนั้นก็จะเลือกตัวอย่างที่มีอัตราส่วนและสภาวะการเผาที่เหมาะสมมาวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเครื่อง XRF, XRD โดยที่การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF นั้นจะแสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของปูนเม็ดที่ออกมาในรูปสัดส่วนออกไซด์ของธาตุต่างๆ และการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD จะแสดงให้เห็นองค์ประกอบของปูนเม็ดเช่นเดียวกันแต่จะออกมาในรูปของสารประกอบ

การทดสอบระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์

นำปูนซีเมนต์ที่ผ่านการสังเคราะห์ที่มีการผสมเปลือกหอยแมลงภู่มาทำการผสมกับปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่ได้จากการทดสอบหาความข้นเหลวปกติ ด้วยเครื่อง Vicat Apparatus และทำการศึกษาระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้น และสุดท้าย

การทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์

การทดสอบกำลังอัดของปูนซีเมนต์สังเคราะห์ที่มีการผสมเปลือกหอยแมลงภู่ โดยใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมละเอียดในอัตราส่วน 1:2 โดยใช้ตัวอย่างขนาด 5 x 5 x 5 ซม. โดยทำการบ่มมอร์ตาร์

ในน้ำเป็นเวลา 3 7 14 28 56 และ 91 วัน จากนั้นทำการทดสอบกำลังอัดด้วยเครื่องทดสอบกำลังอัด โดยในหนึ่งชุดการทดสอบประกอบด้วยตัวอย่างจำนวน 6 ก้อน

ผลการวิจัย

ในการเผาปูนซีเมนต์เม็ดสังเคราะห์ พบว่า เมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,500 องศาเซลเซียส ปูนซีเมนต์สังเคราะห์เกิดการหลอมละลายติดกับภาชนะเผา ไม่สามารถนำมาใช้ได้ จึงทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,450 องศาเซลเซียส

ค่าร้อยละของแคลเซียมออกไซด์อิสระ

ตารางที่ 2 ร้อยละของแคลเซียมออกไซด์ที่เหลืออยู่ของปูนเม็ดที่ได้จากห้องปฏิบัติการ

การเผาปูนเม็ด	% free lime ตัวอย่างที่ 1 (control, 0%)	% free lime ตัวอย่างที่ 2 (5%)	% free lime ตัวอย่างที่ 3 (10%)	% free lime ตัวอย่างที่ 4 (15%)	% free lime ตัวอย่างที่ 5 (20%)
1 (15 นาที)	5	8	10	12	15
2 (30 นาที)	3	6	9	11	13

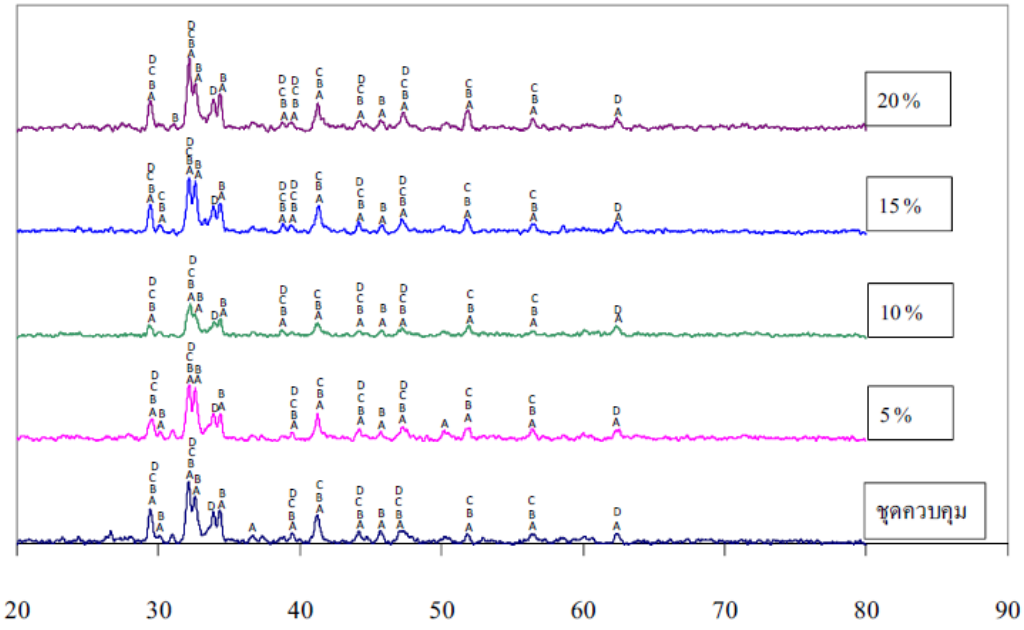
หมายเหตุ : ค่าร้อยละของแคลเซียมออกไซด์ที่เหลืออยู่ (free lime) ที่ต้องการอยู่ในช่วง 1 – 1.5

การวิเคราะห์ร้อยละของแคลเซียมออกไซด์ที่เหลืออยู่ แสดงให้เห็นถึงปริมาณของแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยาและไม่เปลี่ยนรูปไปเป็นไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) และไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) ทำให้ปริมาณแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ที่เหลืออยู่นั้นเป็นปูนขาวอิสระ ตารางที่ 2 แสดงค่าร้อยละของแคลเซียมออกไซด์ที่เหลืออยู่ของปูนเม็ดที่เผาที่อุณหภูมิ 1,450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ในอัตราส่วนการแทนที่หินปูนด้วยเปลือกหอยแมลงภู่ร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 จะเห็นได้ว่าปูนเม็ดที่ไม่มีการแทนที่ของเปลือกหอยแมลงภู่มีค่าร้อยละของแคลเซียมออกไซด์ที่เหลืออยู่เท่ากับร้อยละ 5 และเมื่อมีการแทนที่เปลือกหอยแมลงภู่ในปริมาณร้อยละ 5 10 15 และ 20 ค่าร้อยละของแคลเซียมออกไซด์ที่เหลืออยู่เท่ากับร้อยละ 8 10 12 และ 15 ตามลำดับ และเมื่อทำการเผาปูนที่อุณหภูมิ 1450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จะเห็นได้ว่าปูนเม็ดที่ไม่มีการแทนที่ของเปลือกหอยแมลงภู่มีค่าร้อยละของแคลเซียมออกไซด์ที่

เหลืออยู่เท่ากับร้อยละ 3 และเมื่อมีการแทนที่เปลือกหอยแมลงภู่ในปริมาณร้อยละ 5 10 15 และ 20 ค่าร้อยละของแคลเซียมออกไซด์ที่เหลืออยู่เท่ากับร้อยละ 6 9 11 และ13

จากผลการทดสอบหาค่าร้อยละของแคลเซียมออกไซด์ที่เหลืออยู่ พบว่า ค่าร้อยละของแคลเซียมออกไซด์ที่เหลืออยู่มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณการแทนที่หินปูนด้วยเปลือกหอยแมลงภู่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเปลือกหอยแมลงภู่มีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นส่วนประกอบหลัก เมื่อนำมาทำการแทนหินปูนทำให้ที่ปริมาณแคลเซียมออกไซด์ที่มาจากเปลือกหอยเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้มีแคลเซียมออกซ์ที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับซิลิกอนใน Clay mix และ Ironore เกิดเป็นไดและไตร- แคลเซียมซิลิเกตเหลืออยู่ในปริมาณมากเมื่อระยะเวลาในการเผาเพิ่มขึ้น ค่าร้อยละของแคลเซียมออกไซด์ที่เหลืออยู่มีค่าลดลง เนื่องจากระยะเวลาที่เพิ่มมากขึ้น วัตถุดิบผลิตปูนเม็ดจะมีการหลอมรวมกันได้นานขึ้น และทำให้แคลเซียมออกไซด์รวมกับซิลิกอนและเปลี่ยนไปเป็นไตรแคลเซียมซิลิเกตและไดแคลเซียมซิลิเกตเพิ่มขึ้น

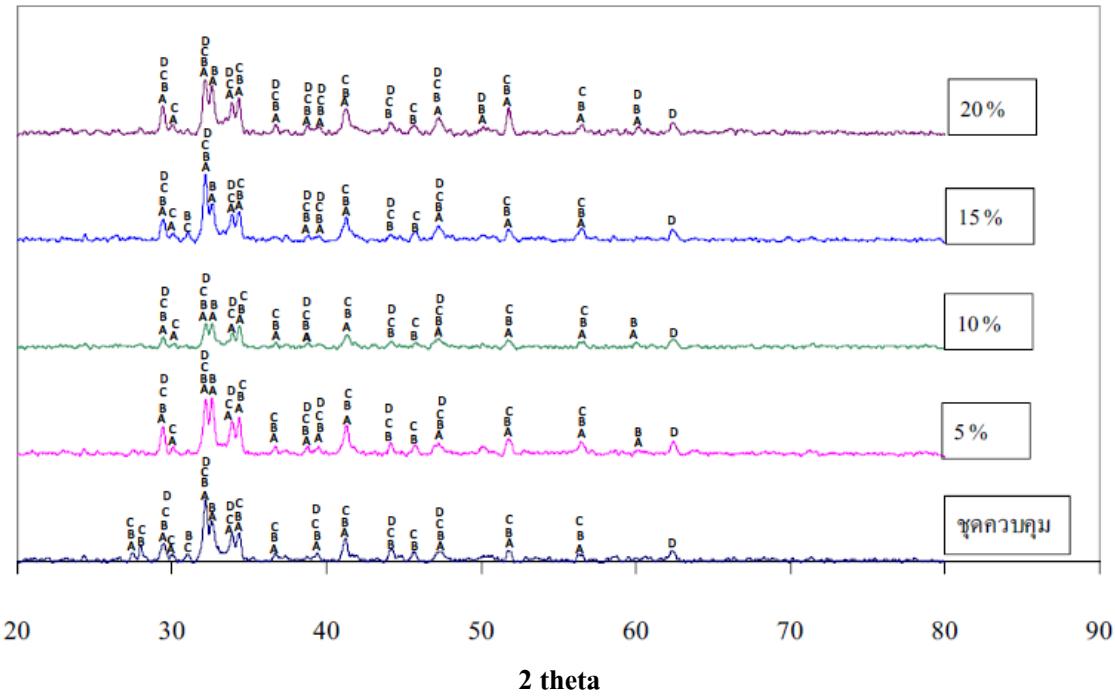
ผลการวิเคราะห์ความเป็นผลึกของปูนเม็ดด้วย เครื่อง X-ray Diffractometer (XRD)



A = alite (C_3S) B = blite (C_2S) C = (C3A) D = (C_4AF)

รูปที่ 4 โครงสร้างความเป็นผลึกของปูนเม็ดที่มีการแทนที่เปลือกหอยที่ทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,450 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที

ในการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างความเป็นผลึกของปูนเม็ดที่ได้จากการเผาด้วยเครื่อง XRD โดยเปรียบเทียบระหว่างปูนเม็ดที่มีอัตราส่วนการแทนที่หินปูนร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 ที่เผาเป็นเวลา 15 นาที และ 30 นาที จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการวิเคราะห์ความเป็นผลึกของปูนเม็ดที่ไม่มีการแทนที่หินปูนด้วยเปลือกหอยแมลงภู่ พบผลึกของ ไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) ไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A) และเตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (C_4AF) เป็นองค์ประกอบหลัก



A = alite (C_3S) B = blite (C_2S) C = (C3A) D = (C_4AF)

รูปที่ 5 โครงสร้างความเป็นผลึกของปูนเม็ดที่มีการแทนที่เปลือกหอยที่ทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,450 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

ดังนั้น การแทนที่หินปูนด้วยเปลือกหอยในอัตราส่วนที่แตกต่างกันร้อยละ 5 10 15 และ 20 โดยทำการเผาที่อุณหภูมิ 1450 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที มีตำแหน่งของพีคหลักที่คล้ายกันกับตัวอย่างควบคุม และเมื่อมีการเผาปูนเม็ดนาน 30 นาที พบว่า ปูนเม็ดที่มีและไม่มีการแทนที่หินปูนด้วยเปลือกหอยแมลงภู่ในปริมาณร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 มีลักษณะโครงสร้างความเป็นผลึกในรูปของไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) และไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) เป็นหลัก และมีโครงสร้างของไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A) และเตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (C_4AF) ปะปนอยู่ จากการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ลักษณะของโครงสร้างความเป็นผลึกด้วยเครื่อง XRD ของปูนเม็ดที่เผานานเป็นเวลา 15 และ 30 นาที พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเผานานขึ้น

จะไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างความเป็นผลึกของปูนเม็ดที่มีและไม่มีการแทนที่หินปูนด้วยเปลือกหอยแมลงภู่

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของปูนเม็ดด้วย เครื่อง X-ray Fluorescence (XRF)

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของปูนเม็ดที่ได้จากการแทนที่หินปูนด้วยแปลกหอยแมลงภู่ในอัตราส่วนร้อยละ 0 และ 20 แล้วเผาที่อุณหภูมิ 1,450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 และ 30 นาที ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3 เหตุผลที่ทำให้เลือกวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเฉพาะปูนเม็ดที่ได้จากการแทนที่หินปูนด้วยเปลือกหอยแมลงภู่ในอัตราส่วนร้อยละ 0 และ 20 ที่เผาในเวลา 15 และ 30 นาทีเนื่องจาก ค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีนั้นมีจำกัด จึงต้องเลือกตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่มีการแทนที่เปลือกหอยในปริมาณที่มากที่สุด ทำให้ลดปริมาณการใช้หินปูนได้ในปริมาณมากที่สุดนั่นเอง

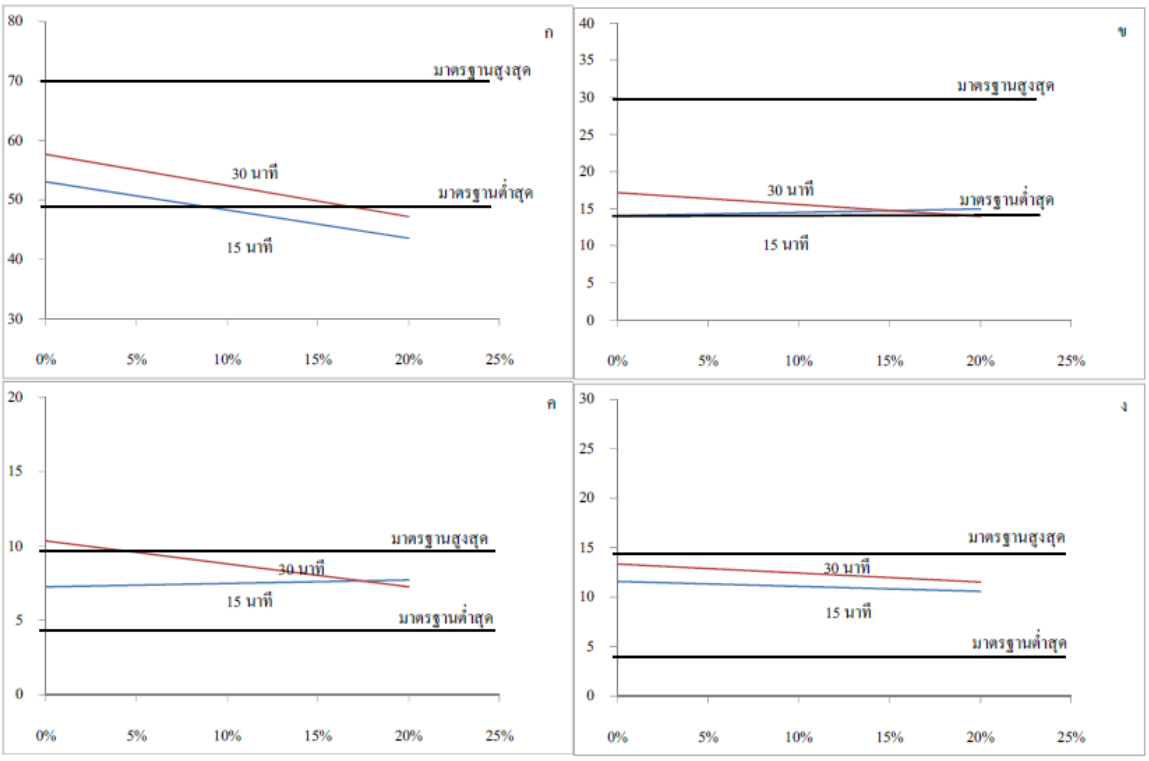
ตารางที่ 3 ร้อยละค่าออกไซด์ของปูนเม็ดที่มีการแทนที่หินปูนด้วยเปลือกหอยแมลงภู่ที่พบในปูนซีเมนต์ที่ได้จากการเผาร่วมกับเปลือกหอยแมลงภู่

	CaO %	**SiO_2 %**	**Fe_2O_3 %**	**Al_2O_3 %**	**MgO %**	**K_2O+Na_2O %**	**SO_3 %**
มาตรฐาน	60-67	17-25	0.5-0.6	3-8	0.1-5.5	0.5-1.3	1-3
0 % 15 นาที	65.12	18.86	3.80	5.16	0.90	0.64+0.31 = 0.95	2.92
0 % 30 นาที	64.76	17.64	4.39	6.71	1.06	0.77+0.42 = 1.19	2.95
20 % 15 นาที	68.57	16.68	3.48	5.13	0.84	0.61+0.42 = 1.03	2.92
20 % 30 นาที	68.67	17.27	3.79	5.14	0.89	0.56+0.37 = 0.93	2.96

จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าค่าออกไซด์ที่พบในปูนเม็ดที่ไม่มีการแทนที่หินปูนด้วยเปลือกหอยแมลงภู่ มีค่าออกไซด์ของ CaO, SiO_2, Al_2O_3, MgO, K_2O, Na_2O และ SO_3 อยู่ในช่วงมาตรฐานของปูนเม็ดมาตรฐาน ในขณะที่ออกไซด์ของ Fe_2O_3 มีค่าเท่ากับร้อยละ 3.80 ซึ่งเกินกว่ามาตรฐานของปูนเม็ดปกติ และเมื่อมีการแทนที่หินปูนด้วยเปลือกหอยในปริมาณร้อยละ 20 พบว่า ค่าออกไซด์ของ SiO_2, Al_2O_3, MgO, K_2O, Na_2O และ SO_3 มีค่าอยู่ในช่วงมาตรฐานของปูนเม็ดมาตรฐาน ในขณะที่ออกไซด์ของ CaO และ Fe_2O_3 มีค่าเท่ากับร้อยละ 68.57 และ 3.80 ซึ่งเกินกว่ามาตรฐานของปูนเม็ดปกติ เนื่องจากการแทนที่หินปูนด้วยเปลือกหอยแมลงภู่ซึ่งมีแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลักอาจจะทำให้ค่าของปริมาณร้อยละของ CaO มีค่าสูงกว่ามาตรฐานเพียงเล็กน้อย ส่วน Fe_2O_3 มีค่าสูงเนื่องจากในการเตรียมส่วนผสมโดยปกติจะผสม Clay

Mix ในปริมาณร้อยละ 9 แต่ในงานวิจัยนี้ได้ผสมในปริมาณร้อยละ 15 ถึง 17 ซึ่งอาจจะทำให้ Fe_2O_3 ของปูนเม็ดในสภาวะที่มีและไม่มีการแทนที่หินปูนด้วยเปลือกหอยมีค่าสูงกว่ามาตรฐาน เมื่อนำวัตถุดิบผลิตปูนไปเผาที่อุณหภูมิ 1450 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที พบว่า ค่าออกไซด์ภายในปูนเม็ดที่ผ่านการเผามีค่าไม่เปลี่ยนแปลงไปจากการเผาปูนเม็ดที่มีและไม่มีการแทนที่หินปูนด้วยเปลือกหอยแมลงภู่การพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์สังเคราะห์

เมื่อนำค่าออกไซด์ต่างๆ ของปูนเม็ดที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF มาคำนวณหาสารประกอบหลักทั้ง 4 ชนิดคือ ไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) ไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A) และเตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (C_4AF) จากสูตรคำนวณของ Bouge ค่าที่คำนวณได้แสดงไว้ในรูปที่ 6 จากตารางจะเห็นได้ว่าปูนเม็ดที่ไม่มีการแทนที่หินปูนด้วยเปลือกหอยแมลงภู่ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที มีปริมาณไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S)ไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A) และเตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (C_4AF) ร้อยละ 53.06 14.05 7.26 และ 11.559 ตามลำดับ และเมื่อมีการแทนที่หินปูนด้วยเปลือกหอบแมลงภู่ในปริมาณร้อยละ 20 พบว่ามีปริมาณไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) ไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A) และเตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (C_4AF) ร้อยละ 43.5514.99 7.72 และ 10.58 ตามลำดับ ดังนั้นเมื่ออัตราส่วนเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณของไตรแคลเซียมซิลิเกตมีค่าลดลง ในขณะที่ 3 องค์ประกอบหลักที่เหลือมีค่าไม่แตกต่างจากปูนเม็ดที่ไม่มีการแทนที่หินปูนด้วยเปลือกหอยแมลงภู่ เนื่องจากเปลือกหอยมีปริมาณแคลเซียมออกไซด์สูง เมื่อผสมทำให้มีค่า ร้อยละของแคลเซียมออกไซดที่เหลืออยู่สูง เมื่อนำไปทำการคำนวณตามสูตร จึงทำให้ปริมาณของไตรแคลเซียมซิลิเกตลดลง



รูปที่ 6 ปริมาณสารประกอบที่พบในปูนซีเมนต์ที่ได้จากการแทนที่หินปูนด้วยเปลือกหอยแมลงภู่

ก = ไตรแคลเซียมซิลิเกต ข = ไดแคลเซียมซิลิเกต

ค = ไตรแคลเซียมอลูมิเนต ง = เตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์

เมื่อทำการเพิ่มระยะเวลาในการเผาปูนเม็ดจาก 15 นาที เป็น 30 นาที พบว่า ปริมาณไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A) และเตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (C_4AF) เพิ่มขึ้น และไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) มีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย เนื่องจากเวลาเผาที่เพิ่มขึ้นจึงทำให้ค่าออกไซด์ต่างๆ ในเม็ดปูนสามารถรวมเป็นสารประกอบได้ในปริมาณที่เหมาะสม และเมื่อมีการแทนที่หินปูนด้วยเปลือกหอยในปริมาณร้อยละ 20 ค่าปริมาณร้อยละของไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) ไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A) และเตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (C_4AF) มีค่าเปลี่ยนแปลงจากที่มีการเผาที่ระยะเวลา 15 นาที เนื่องจากเวลาที่ 15 นาที อาจจะเป็นเวลาที่เกือบจะทำให้ออกไซด์ต่างๆในปูนเม็ดสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบได้เกือบจะเหมาะสม ดังนั้นการเพิ่มระยะเวลาในการเผาขึ้นเป็น 30 นาทีจึงทำให้ปริมาณร้อยละของสารประกอบทั้ง 4 ชนิด มีค่าไม่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าปูนเม็ดที่มีการแทนที่หินปูนด้วยเปลือกหอยแมลงภู่ในปริมาณร้อยละ 20เมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิ 1450 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ซึ่งอาจจะเป็นสภาวะที่เพียงพอต่อการรวมตัวของออกไซด์ต่างๆ

ระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ที่ใช้ปูนซีเมนต์สังเคราะห์เป็นวัสดุยึดประสาน

จากตารางที่ 4 แสดงระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้น และสุกท้ายของซีเมนต์เพสต์ที่มีการแทนที่หินปูนด้วยเปลือกหอยแมลงภู่ในปริมาณร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนัก พบว่า ค่าระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและสุดท้ายมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณเปลือกหอยแมลงภู่เพิ่มขึ้นโดยซีเมนต์เพสต์ทไม่มีการผสมเปลือกหอยจะมีค่าการก่อตัวเริ่มต้นและสุกท้ายเท่ากับ 123 และ 210 นาที และเมื่อเพิ่มปริมาณเปลือกหอยแมลงภู่เป็นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก พบว่าค่าระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นเ และสุดท้ายเพิ่มขึ้นเป็น 132 และ 214 นาที และเมื่อเพิ่มปริมาณเปลือกหอยแมลงภู่เป็นร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก พบว่า ระยะเวลาการก่อตัวเพิ่มขึ้นเป็น 159 และ 244 นาที โดยมีระยะเวลาเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 27 และ 16 สำหรับระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและสุดท้าย

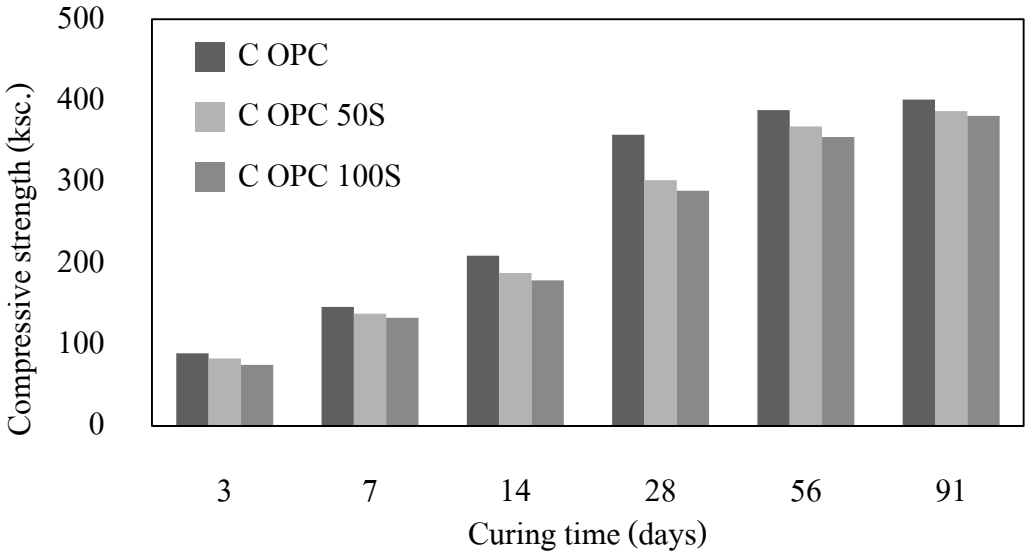
ตารางที่ 4 ระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ที่มีการผสมเปลือกหอยแมลงภู่

Samples	Initial Setting time (min)	Final Setting time (min)
OPC	**123**	**210**
S5OPC	**132**	**214**
S10OPC	**141**	**225**
S15OPC	**148**	**231**
S20OPC	**159**	**244**

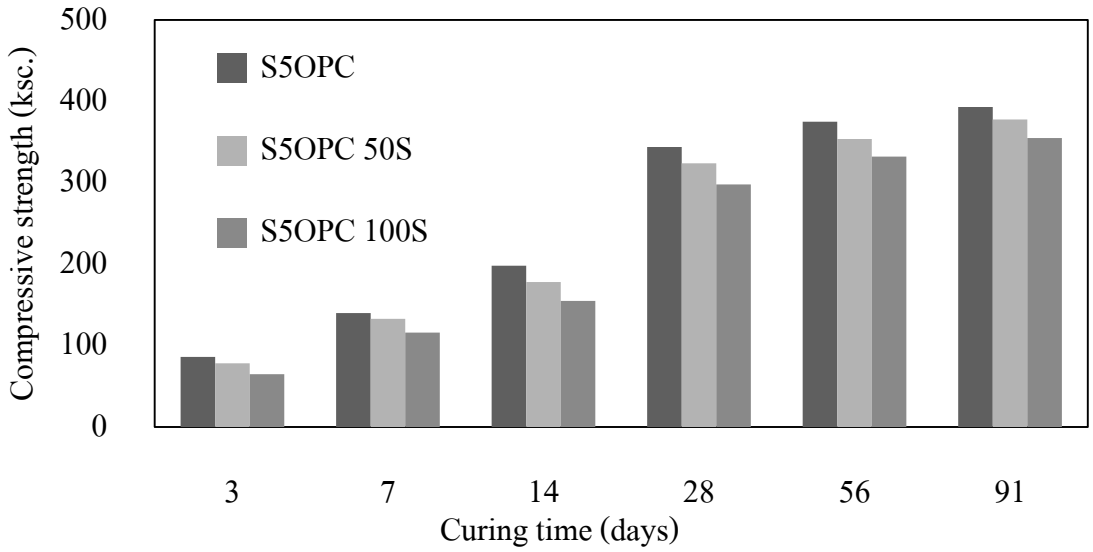
ค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่มีการแทนที่ทรายด้วยเปลือกหอยแมลงภู่

เมื่อนำปูนซีเมนต์ที่มีการแทนที่เปลือกหอยแมลงภู่ในปริมาณร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนัก มาผสมทรายในอัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนัก ผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 7-11 ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าค่ากำลังอัดมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาในการบ่มเพิ่มขึ่น และมีค่ากำลังอัดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับมอร์ตาร์ที่มีการแทนที่เปลือกหอยแมลงภู่ในปริมาณร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนัก โดยค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่มีการแทนที่เปลือกหอยแมลงภู่ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก มีค่าแตกต่างจากมอร์ตาร์ที่ไม่มีการผสมเปลือกหอยแมลงภู่ร้อยละ 5-15 แสดงให้เห็นว่า การแทนหินปูนด้วยที่เปลือกหอยแมลงภู่ไม่มีผลต่อการพัฒนากำลังอัด เนื่องจากเปลือกหอยแมลงภู่เป็นสารประกอบแคลเซียม

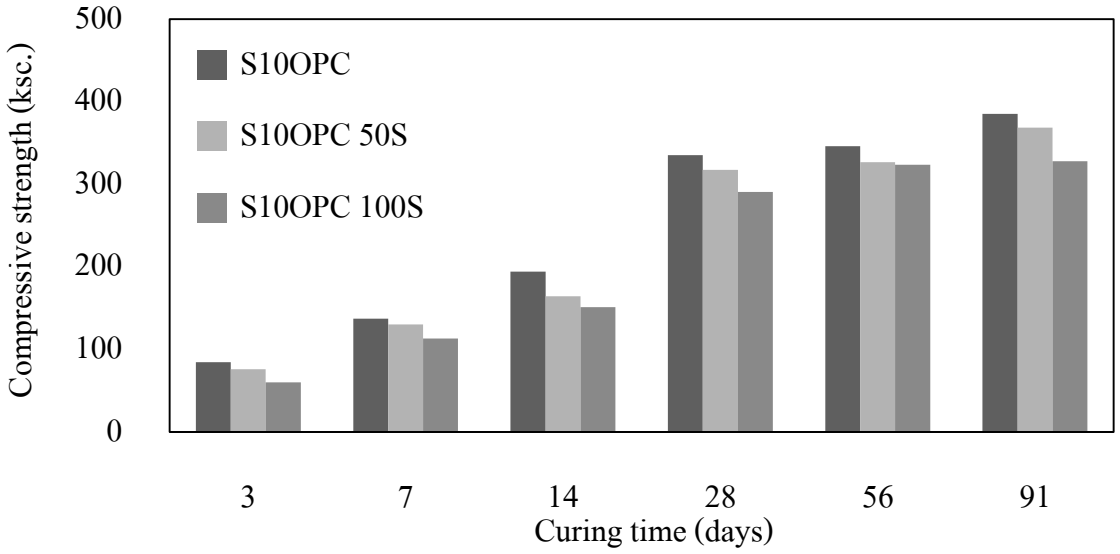
คาร์บอเนต ซึ่งเป็นสารชนิดเดียวกับหินปูนที่ผสม จึงทำให้มอร์ตาร์ที่มีการเปลือกหอยแมลงภู่มีการพัฒนากำลังอัดเหมือนกับปูนซีเมนต์ที่ไม่มีการผสม



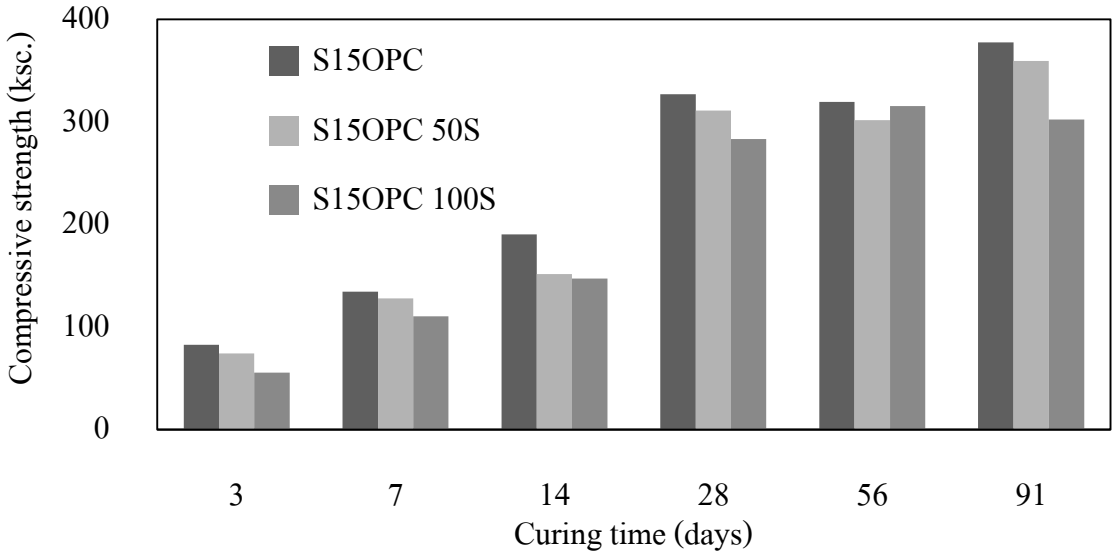
รูปที่ 7 การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุยึดประสานที่มีการแทนที่ทรายด้วยเปลือกหอยแมลงภู่



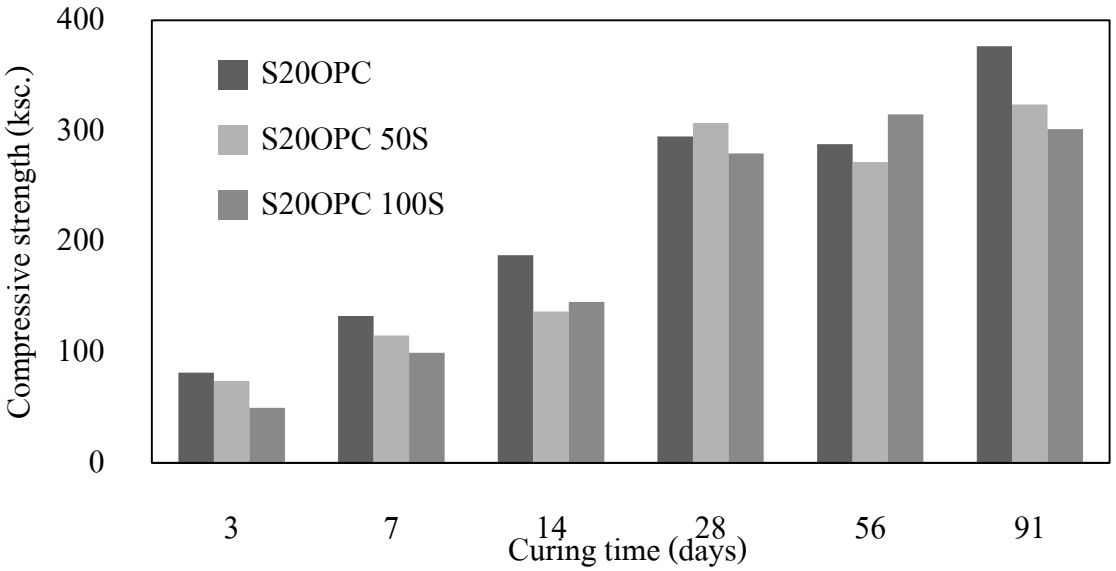
รูปที่ 8 การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์สังเคราะห์ที่มีการแทนเปลือกหอยแมลงภู่ในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เป็นวัสดุยึดประสานและมีการแทนที่ทรายด้วยเปลือกหอยแมลงภู่



รูปที่ 9 การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์สังเคราะห์ที่มีการแทนเปลือกหอยแมลงภู่ในปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เป็นวัสดุยึดประสาน และที่มีการแทนที่ทรายด้วยเปลือกหอยแมลงภู่



รูปที่ 10 การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์สังเคราะห์ที่มีการแทนเปลือกหอยแมลงภู่ในปริมาณร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก เป็นวัสดุยึดประสาน และที่มีการแทนที่ทรายด้วยเปลือกหอยแมลงภู่



รูปที่ 11 การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์สังเคราะห์ที่มีการแทนเปลือกหอยแมลงภู่ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก เป็นวัสดุยึดประสาน และมีการแทนที่ทรายด้วยเปลือกหอยแมลงภู่

นอกจากจะนำปูนซีเมนต์สังเคราะห์ที่มีการแทนที่หินปูนด้วยเปลือกหอยแมลงภู่ ในงานวิจัยนี้ยังมีกานำเปลือกหอยแมลงภู่มาใช้แทนทราย เนื่องจากเปลือกหอยแมลงภู่มีสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งไม่ทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำเปลือกหอยแมลงภู่มาใช้แทนทรายในปริมาณร้อย 0 50 และ 100 โดยน้ำหนัก ผลการศึกษาพบว่า เมื่อปริมาณการแทนที่ทรายด้วยเปลือกหอยแมลงภู่เพิ่มขึ้น ค่ากำลังอัดมีค่าลดลง โดยการแทนที่ทรายด้วยเปลือกหอยแมลงภู่ในปริมาณร้อยละ 100 โดยน้ำหนัก มีค่ากำลังอัดลดลงเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ที่ใช้ทรายเป็นมวลรวมคิดเป็นร้อยละ 15-25 เนื่องจากเปลือกหอยเป็นสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งมีความเปาะมากกว่าทรายซึ่งมีโครงสร้างเป็นผลึก เป็นผลทำให้ค่ากำลังอัดลดลง

สรุปผลการศึกษา

เปลือกหอยแมลงภู่เป็นของเสียที่ได้จากอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็ง และมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบหลัก สามารถนำมาใช้แทนหินปูนได้ถึงปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของหินปูนโดยทำการเผาที่อุณหภูมิ 1450 องศาเซลเซียสในเตาไฟฟ้าเป็นเวลา 15 และ 30 นาที โดยปูนซีเมนต์สังเคราะห์ที่ได้มีโครงสร้างผลึกของ C_2S C_3S C_3A และ C_4AF เหมือนกับปูนซีเมนต์ปกติ เมื่อนำปูนซีเมนต์

สังเคราะห์มาใช้ผสมมอร์ตาร์ที่อัตราส่วน ปูนซีเมนต์ : ทราย เท่ากับ 1:2: ผลการศึกษาพบว่า มอร์ตาร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ที่มีการผสมปูนซีเมนต์สังเคราะห์ที่ใช้ทรายเป็นมวลรวมละเอียด มีค่ากำลังอัดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อมีการนำเปลือกหอยแมลงภู่บดแทนทรายในปริมาณร้อยละ 0 50 และ 100 โดยน้ำหนัก พบว่า ค่ากำลังอัดของคอนกรีตมีค่าลดลง เมื่อปริมาณเปลือกหอยแมลงภู่เพิ่มขึ้น โดยคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ที่ผสมเปลือกหอยแมลงภู่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก และใช้เปลือกหอยแมลงภู่แทนทรายจะมีค่ากำลังอัดที่อายุ 28 วัน ต่ำกว่าคอนกรีตปกติร้อยละ 17 -25

ข้อเสนอแนะ

1. ทำการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการนำปูนเม็ดที่สังเคราะห์ได้มาผสมเป็นมอร์ต้าร์ และคอนกรีต จากนั้นทำการศึกษาสมบัติการก่อตัว การรับกำลังแรงอัด
2. เป็นแนวทางในการนำวัสดุเหลือใช้ จากการเกษตร และอุตสาหกรรมมาใช้เป็นวัสดุดิบในการผลิตปูนเม็ด

เอกสารอ้างอิง

[1] Chen, G., Lee, H., Young, K. L., Yue, P. L., Wong, A., Tao, T., Choi, K. K., 2002, "Glass recycling in cement production—an innovative approach", **Waste Management**, Vol. 22, pp. 747-753.

[2] Tsakiridis, P.E., Agatzini-Leonardou, S., Oustadakis, P., 2004, "Red mud addition in the raw meal for the production of Portland cement clinker", **Journal of Hazardous Materials**, Vol. 116, pp. 103-110.

[3] Galbenis, C.T., Tsimas, S., "Use of construction and demolition wastes as raw materials in cement clinker production", **China Particulogy**, Vol. 4, pp. 83-85.

[4] Trezza, M.A., Scian, A.N., 2007, "Waste with chrome in the Portland cement clinker production", **Journal of Hazardous Materials**, Vol. 147, pp. 188-196.

[5] Tsakiridis, P.E., Papadimitriou, G.D., Tsivilis, S., Koroneos, C.,2008, "Utilization of steel slag for Portland cement clinker production**", Journal of Hazardous Materials**, Vol. 152, pp. 805-811.

[6] Katsioti, M., Tsakiridis, P.E., Agatzini-Leonardou, S., Oustadakis, P., 2005, " Examination of the jarosite–alunite precipitate addition in the raw meal for the production of Portland and sulfoaluminate-based cement clinkers", **International Journal of Mineral Processing**, Vol. 76, pp. 217-224.

[7] Ankjærgaard, C., Murray, A.S., Denby, P.M., Bøtter-Jensen, L., 2006, "Measurement of optically and thermally stimulated electron emission from natural minerals", **Radiation Measurements**, Vol. 41, pp. 780-786.

[8] Barros, A.M., Tenório, J.A., Espinosa, SD.C.R., 2004, "Evaluation of the incorporation ratio of ZnO, PbO and CdO into cement clinker", **Journal of Hazardous Materials**, Vol. B112, pp. 71–78.

[9] Stephan, D., Mallmann, R., Knöfel, D., Härdtl, R., 1999, "High intakes of Cr, Ni, and Zn in clinker Part I. Influence on burning process and formation of phases", **Cement and Concrete Research**, Vol. 29, pp. 1949–1957.

[10] Stephan, D., Maleki, H., Knöfel, D., Eber, B., Härdtl, R., 1999, "Influence of Cr, Ni, and Zn on the properties of pure clinker phases Part I. C_3S" , Cement and Concrete Research, Vol. 29, pp. 545–552.

[11] Stephan, D., Mallmann, R., Knöfel, D., Härdtl, R., 1999, "High intakes of Cr, Ni, and Zn in clinker Part II. Influence on the hydration properties", **Cement and Concrete Research**, Vol. 29, pp. 1959–1967.

[12] Stephan, D., Maleki, H., Knöfel, D., Eber, B., Härdtl, R., 1999, "Influence of Cr, Ni, and Zn on the properties of pure clinker phases Part I. C_3A and C_4AF " , **Cement and Concrete Research**, Vol. 29, pp. 651–657.

[13] Chen, Y.L., Chang, J.E., Shih, P.H., Ko, M.S., Chang, Y.K., Chiang, L.C.,, 2010, "Reusing pretreated desulfurization slag to improve clinker ization and clinker grindability for energy conservation in cement manufacture", **Journal of Environmental Management**, Vol. 91, pp. 1892-1897.

[14] Zapata, A., Bosch P.,2009, "Low temperature preparation of belitic cement clinker**", Journal of the European Ceramic Society**, Vol. 29, pp.1879-1885.