รายงานการวิจัย

การพัฒนาคอนกรีตผสมเส้นใยธรรมชาติจากวัสดุเศษเหลือของอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันเพื่อการผลิตกระถางต้นไม้

Development of Concrete Mixtures Natural Fiber from Palm Oil Industry by Product for Flowerpot Production

เตือนใจ ปิยัง	Tuanjai Piyang
กัตตินาฏ สกุลสวัสดิพันธ์	Kattinat Sagulsawasdipan
เอนก สาวะอินทร์	Aneak Sawain

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

งบประมาณเงินรายได้ ประจำปี พ.ศ. 2560

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย งบประมาณเงินรายได้ประจำปี 2560 เป็นงานวิจัยพื้นฐานเพื่อให้ก่อให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ในการการพัฒนาคอนกรีตผสมเส้นใยธรรมชาติจากวัสดุเศษเหลือของอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันเพื่อการผลิตกระถางต้นไม้

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยที่ได้ให้การสนับสนุนทุนในการทำวิจัยนี้ ขอขอบคุณผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่ายที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ทั้งความสะดวกในการใช้อุปกรณ์และ เครื่องมือวิเคราะห์ ตลอดจนสถานที่ในการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่าง ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ให้ การช่วยเหลืออำนวยความสะดวกด้วยดีตลอดมา ขอขอบคุณผู้ร่วมวิจัยที่อุทิศกำลังกายและกำลังใจช่วยในการวิจัยครั้งนี้ลุล่วงได้ด้วยดี ตลอดจนครอบครัวและผองเพื่อนที่ให้ความห่วงใย เป็นกำลังใจให้เสมอมา ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของท่านและหน่วยงาน ผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ โอกาส นี้

เตือนใจ ปิยังและคณะ

กันยายน 2560

การพัฒนาคอนกรีตผสมเส้นใยธรรมชาติจากวัสดุเศษเหลือของอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันเพื่อการผลิตกระถางต้นไม้

เตือนใจ ปิยัง[1] กัตตินาฎ สกุลสวัสดิพันธ์[1] และเอนก สาวะอินทร์[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมและคุณสมบัติของคอนกรีตผสมวัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันที่เหมาะสมต่อการผลิตกระถางคอนกรีต ทำการทดลอง 5 ชุดการทดลอง อัตราส่วนผสม 1 : 2 : 4 (ปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน) โดยการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าปาล์มน้ำมันในอัตราส่วนผสม 0.10 ทุกชุดการทดลอง และลดปริมาณการใช้หินโดยผสมเส้นใยปาล์มน้ำมันในอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกัน คือ 0.00, 0.05, 0.10, 0.15 และ 0.20 ตามลำดับ โดยใช้ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 15×15×15 เซนติเมตร ศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีต ค่าการยุบตัวของคอนกรีต ค่าความหนาแน่น ค่าการดูดซึมน้ำ ค่าความพรุน และค่าความต้านทานแรงอัดที่อายุ 1 3 7 และ 28 วัน พบว่า อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด คือ ชุดการทดลองที่ 2 มีค่าการยุบตัวของคอนกรีต 7.50 เซนติเมตร ค่าความหนาแน่น 2.06 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าความพรุน 10.16 ค่าการดูดซึมน้ำ 4.70 ± 0.10 ค่าความต้านทานแรงอัดเหมาะสมที่สุดบ่มที่อายุ 28 วัน มีค่าเท่ากับ 103 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมผลิตกระถางคอนกรีตมีความสมบูรณ์ มีความหนาแน่น 1.67 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ต้นทุนการผลิต 43.70 บาทต่อใบ

คำสำคัญ: กระถางคอนกรีต เถ้าปาล์มน้ำมัน เส้นใยปาล์มน้ำมัน

[1] อาจารย์ สาขาสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อ. สิเกา จ.ตรัง

Development of Concrete Mixtures Natural Fiber from Palm Oil Industry by Product for Flowerpot Production

Tuanjai Piyang[1] Kattinat Sagulsawasdipan[1] and Aneak Sawain[1]

Abstract

The objective of this research is study appropriate ratio and property of mixed palm oil industry concrete for concrete pot. This study has 5 experiments by ratio cement sand and stones (1 : 2 : 4) Which cement was replaced by 0.10 of palm oil ash in every experiments and stones were reduce by mix between stones and palm oil fiber in different ratio, namely 0.00, 0.05, 0.10, 0.15 and 0.20 respectively. The concrete is a cube of 15×15×15 centimeters. It should be The results show that the most appropriate ratio is the second experiment with slump test of 7.50 centimeters, density of 2.06 gram per cubic centimeters, porosity of 10.16 percent and water absorption of 4.70 ± 0.10 percent. It should be The appropriate compressive strength test is 103 kilogram per cubic for 28 days which was allowed by ASTM standard with density of 1.67 gram per cubic centimeters compare with control group. Manufacturing cost is 43.70 per pot.

Keyword: Concrete pots, Palm Oil ash, Palm Fiber

[1]Department of Environmental, y, Faculty of Science and Fisheries Technology. Rajamangala University of Technology Srivijaya, Sikao, Trang.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ ภาษาไทย	ข
บทคัดย่อ ภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	22
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	22
บทที่ 2 วิธีการดำเนินการวิจัย	23
อุปกรณ์	23
วิธีการ	23
วิเคราะห์ผลการวิจัย	30
บทที่ 3 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล	31
คุณสมบัติของวัตถุดิบ	31
คุณสมบัติคอนกรีตผสมวัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มดิบ	32
อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดต่อการผลิตกระถางคอนกรีต	38
บทที่ 4 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	41
บรรณานุกรม	43
ภาคผนวก	46

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าปาล์มน้ำมัน	9
2	องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าปาล์มน้ำมัน	9
3	ผลกระทบของเถ้าปาล์มน้ำมันต่อคอนกรีตสด	10
4	ส่วนประกอบทางเคมีที่อยู่ในเส้นใยปาล์มน้ำมัน	12
5	ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติผลิตภัณฑ์ที่ผสมเส้นใย	13
6	อัตราการส่วนผสมในการผลิตกระถางคอนกรีตผสมวัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มดิบ	26
7	คุณสมบัติทางเคมีของเถ้าปาล์มน้ำมัน	31
8	ค่าความชื้นของเส้นใยปาล์มน้ำมัน	32
9	ค่าการยุบตัวของคอนกรีต	33
10	ความหนาแน่นของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์	34
11	การดูดซึมน้ำและความพรุนของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์	35
12	ความรับต้านทานแรงอัดของตัวอย่างรูปลูกบาศก์ระยะเวลาที่ 1 3 7 และ 28 วัน	37
13	ค่าความสมบูรณ์ของกระถางคอนกรีต	38
14	ค่าความหนาแน่นของกระถางคอนกรีต	39
15	จุดคุ้มทุนการผลิตกระถางคอนกรีต	40
16	ต้นทุนในการผลิตกระถางคอนกรีต	40

ตารางผนวกที่

ก	ผลการทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีต	46
ข	ผลการทดสอบความหนาแน่น	48
ค	ผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ	60
ง	ผลการทดสอบค่าความพรุน	61
จ	ค่าความต้านทานแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ ระยะเวลาบ่มที่ 1 วัน	64
ฉ	ความสมบูรณ์ของกระถางคอนกรีต	69

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ช1 การหาค่าความหนาแน่นของกระถางคอนกรีต 71
ซ1 ราคาต้นทุนในการผลิตของกระถางคอนกรีต 73

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

1	ส่วนประกอบต่าง ๆ ที่ได้จากการสกัดน้ำมันปาล์ม	6
2	เถ้าปาล์มน้ำมันก่อนบด	8
3	เถ้าปาล์มน้ำมันหลังบด	8
4	การเปลี่ยนแปลงรูปร่างใน 2 มิติอย่างง่ายของก้อนเชิงประกอบ	12
5	ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 15X15X15 เซนติเมตร	24
6	แบบตัวอย่างแม่พิมพ์กระถางคอนกรีต	24

ภาพผนวกที่

ฌ	การเตรียมวัตถุดิบการผลิตกระถางคอนกรีต	75
ญ	การผลิตตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์	79
ฎ	การทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์	82
ฏ	การทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีต	82
ฐ	กระถางคอนกรีตจากวัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มดิบ	85

บทที่ 1
บทนำ

1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม ถือว่าเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมหลักของประเทศไทย ปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจหนึ่งในห้าชนิด ซึ่งประกอบด้วย ข้าว มันสำปะหลัง ยาง ปาล์ม และอ้อย ในปัจจุบันกระทรวงเกษตรและสหกรณ์มีนโยบายเพิ่มพื้นที่การผลิตปาล์มและปาล์มน้ำมัน และรัฐบาลได้ตั้งยุทธศาสตร์สำหรับอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มระหว่างปี 2547 ถึง 2572 จะเป็นประเทศที่ผลิตเพื่อการส่งออกน้ำมันปาล์ม ให้ได้ระดับโลกเทียบเท่ากับประเทศอินโดนีเซีย และมาเลเซีย (รติกร, 2549) ยังเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกสำหรับนำไปผลิตเป็นไบโอดีเซลในสภาวะที่ประเทศไทยต้องการแหล่งพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพสูงและมีความยั่งยืน เพื่อความมั่นคงทางพลังงานของประเทศ เนื่องจากเป็นพืชน้ำมันที่ให้ผลผลิตน้ำมันต่อหน่วยพื้นที่สูงกว่าพืชน้ำมันทุกชนิดในขณะเดียวกันก็เป็นอุตสาหกรรมที่อาจสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทิศทางอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มดิบในภาคใต้ของประเทศไทยมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์มดิบได้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จากอัตราการผลิตและจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ก่อให้เกิดมลภาวะที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมจากอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มดิบที่ปรากฏขึ้นได้แก่ กระบวนการผลิตต้องใช้น้ำและพลังงานมาก ทำให้เกิดน้ำเสียและเศษวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตทั้งในรูปของ ทะลายเปล่า เส้นใยปาล์ม ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน กากเนื้อผลปาล์ม กะลาปาล์ม และตะกอนสลัดจ์ เป็นปริมาณมาก และส่วนที่เป็นของเหลว คือน้ำทิ้ง (Chavalparitet *et al*., 2006) ประกอบกับในปัจจุบันนี้อุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มดิบมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากในพื้นที่ภาคใต้ซึ่งเถ้าปาล์มน้ำมัน เป็นวัสดุผลพลอยได้จากการนำกากของผลปาล์มน้ำมัน ได้แก่ เศษกะลา เส้นใย และทลายปาล์มเปล่าของผลปาล์มเผาเป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อกำเนิดไอน้ำในการผลิตกระแสไฟฟ้า หลังจากการใช้เป็นเชื้อเพลิง ทำให้เกิดเถ้าขนาดเล็กฟุ้งกระจายจากข้อมูลสำนักงานเศรษฐกิจเกษตรและสหกรณ์พบว่าในปี 2544 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกปาล์มประมาณ 1,457,000 ไร่ ซึ่งผลผลิตเป็นอับดับ 4 ของโลกประมาณ 4,089,000 ตัน/ปี ทำให้กากผลผลิตมีปริมาณสูงตามผลผลิตปาล์ม 2,147,000 ตัน/ปี และหลังจากเผาพบว่าเกิดเถ้าปาล์มน้ำมันสูงถึง 107,000 ตัน/ปี นอกจากนี้รัฐบาลมีนโยบายที่จะนำน้ำมันมาใช้เป็นพลังงานทดแทนในการผลิตไบโอดีเซล ทำให้เกิดความต้องการพื้นที่ปลูกปาล์มเพิ่มขึ้น ซึ่งคาดว่าจะใช้พื้นที่ปลูกปาล์ม 10 ล้านไร่ ซึ่งทำให้เกิดเถ้าปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้น 6 เท่าต่อปี และย่อมเกิดปัญหาในการกำจัดอีกมาก (อุดมศักดิ์ และคณะ, 2014) และจากข้อมูลแผนการพัฒนาอุตสากรรมปาล์มน้ำมันปี 2551-2555 สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2550) พบว่าประเทศไทยมีการปลูกปาล์มน้ำมันเพื่อการพานิชย์ประมาณ 4 ล้านไร่ ซึ่งคิดเป็นปริมาณ 9 ล้านตันต่อปี ส่วน

เถ้าปาล์มน้ำมันเป็นวัสดุพลอยได้ เถ้าปาล์มน้ำมันที่เกิดขึ้นสามารถนำมาใช้ประโยชน์น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่เกิดขึ้นในแต่ละปี ส่วนใหญ่ต้องนำไปทิ้งทำให้เกิดปัญหาในเรื่องการจัดการอีกตามมา เช่น ปัญหาด้านสภาวะแวดล้อมเป็นต้น สำหรับเส้นใยปาล์มเหลือทิ้งคิดเป็นร้อยละ 15 ของปาล์มสดทั้งผล หรือ 145 กิโลกรัมต่อตันทะลายปาล์ม ในปัจจุบันมีการนำเส้นใยปาล์มบางส่วนกลับมาใช้ใหม่ เช่น การนำมาเผาเพื่อให้พลังงานความร้อน แต่เศษเส้นใยปาล์มเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมนี้ไม่เหมาะสมในการนำมาเป็นแหล่งให้พลังงานความร้อนเนื่องจากมีค่าความร้อนต่ำ คือ น้อยกว่า 5 เมกะจูลต่อกิโลกรัม จึงมีการนำเส้นใยปาล์มบางส่วนเป็นใช้เป็นสารอาหารสำหรับการย่อยสลายให้ได้น้ำตาล หรือนำเส้นใยเส้นปาล์มไปใช้เป็นอาหารมากเกินไปจะส่งผลต่อการย่อยของสัตว์ได้ จึงไม่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ใหม่นัก (สำนักงานเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน, 2540) สำหรับปริมาณเถ้าปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นทุกวันแต่มีการนำไปใช้ประโยชน์น้อยกว่าที่เกิดขึ้น ส่งผลให้ต้องการพื้นที่ในการจัดเก็บหาก เราสามารถนำวัสดุดังกล่าวมาใช้เป็นวัสดุแทนที่ปูนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตได้ โดยยังสามารถคงคุณภาพที่ได้มาตรฐานก็จะเป็นการช่วยลดปัญหาการจัดหาพื้นที่ในการนำเถ้าปาล์มน้ำมันไปทิ้ง อีกทั้งช่วยลดค่าขนส่งไปยังสถานที่จัดทิ้งลงได้ ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตสดที่ใช้เถ้าปาล์มน้ำมันแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน ซึ่งจะเป็นการนำวัสดุผลพลอยได้อย่างเถ้าปาล์มน้ำมันมาใช้ให้เกิดประโยชน์ อีกทั้งเป็นการช่วยลดมลพิษทางอากาศที่เกิดจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ได้อีกด้วย (ปัญชาน์, 2551)

จากเหตุผลข้างต้น จึงมีแนวคิดในการพัฒนาคอนกรีตผสมเส้นใยธรรมชาติจากวัสดุเศษเหลือของอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันเพื่อการผลิตกระถางต้นไม้ เนื่องจากกระถางปูนซีเมนต์มีราคาสูง จึงมีแนวคิดในการนำเถ้าปาล์มน้ำมันและเส้นใยปาล์มจากวัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันไปใช้ให้เกิดประโยชน์ ผู้วิจัย มีเป้าหมายเพื่อนำเถ้าปาล์มน้ำมันมาเป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ และใช้เส้นใยปาล์มน้ำมันเพื่อเพิ่มแข็งแรง สำหรับการผลิตกระถางต้นไม้ซีเมนต์ ซึ่งเป็นนวัตกรรมใหม่ในการก่อสร้าง เพื่อให้ทราบถึงปัญหาในการผลิต และจะได้ข้อมูลสำหรับใช้ประโยชน์ในการใช้การก่อสร้างและเผยแพร่ออกสู่ชุมชนในภูมิภาคและชนบท รวมทั้งเพื่อเป็นแนวทางในการสร้างมูลค่าเพิ่มจากวัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมสกัดเถ้าปาล์มน้ำมันและเส้นใยปาล์มน้ำมันไปใช้ให้เกิดประโยชน์มากกว่าจะนำไปทิ้งให้ก่อมลภาวะต่อไป

2. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน

โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเป็นองค์ประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่งในระบบอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันของประเทศไทยโดยอยู่ในระดับกลางของโครงสร้างดังกล่าว ประกอบด้วยเกษตรกรชาวสวนปาล์มน้ำมัน ซึ่งเป็นผู้ผลิตวัตถุดิบป้อนเข้าสู่อุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์ม ปัจจุบันมีเกษตรกร

จดทะเบียนจำนวน 66,910 ครัวเรือน โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เป็นแหล่งรองรับผลผลิตปาล์มน้ำมันที่ผลิตได้ทั้งหมดจากเกษตรกร ซึ่งปัจจุบันมีจำนวน 50 โรงงาน และโรงกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์เป็นแหล่งใหญ่ที่รองรับน้ำมันปาล์มดิบจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เพื่อนำมาทำเป็นน้ำมันปาล์มบริโภค ซึ่งกลายเป็นวัตถุดิบให้กับอุตสาหกรรมต่อเนื่องอีกมากมาย

2.1.1 กระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน หลักการของกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม คือ การสกัดน้ำมันจากผลปาล์ม โดยใช้ไอน้ำและเครื่องอัด (Pressing Machine) น้ำมันปาล์มที่ได้จะถูกนำไปทำให้บริสุทธิ์โดยการใช้แรงเหวี่ยงจากเครื่องทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ (Purifier) ในการแยกน้ำมันปาล์ม โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) การรับทะลายปาล์มน้ำมันสดเข้าสู่กระบวนการผลิต ทะลายปาล์มน้ำมันสดจากเกษตรกรจะถูกนำมายังโรงงานและถ่ายลงบนลานกองเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดกรดไขมันอิสระจากเอนไซม์ตามธรรมชาติที่มีอยู่ในเนื้อชั้นกลางของผลปาล์ม ควรนำทะลายปาล์มน้ำมันสดเข้าสู่กระบวนการผลิตภายใน 24 ชั่วโมง โดยทั่วไปน้ำมันปาล์มน้ำมันสดมีกรดไขมันอิสระประมาณร้อยละ 1 หากทิ้งผลปาล์มน้ำมันไว้นานปริมาณกรดไขมันอิสระจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จะส่งผลให้น้ำมันปาล์มมีปริมาณและคุณภาพลดลง ทะลายปาล์มสดจะถูกลำเลียงจากจุดรับไปยังหม้อนึ่งโดยถ่ายลงกระบะปาล์มน้ำมันและเคลื่อนย้ายเข้าสู่หม้อนึ่งต่อไป

2) การนึ่งปาล์มน้ำมัน การนึ่งทะลายปาล์มน้ำมันสดมีวัตถุประสงค์ เพื่อยับยั้งเอนไซม์ตามธรรมชาติ และทำให้ขั้วผลปาล์มน้ำมันนิ่มหลุดร่วงจากทะลายปาล์มน้ำมันได้ง่าย นอกจากนี้การนึ่งปาล์มยังทำให้เนื้อเยื่อของผลปาล์มยุ่ยง่ายต่อการสกัดน้ำมัน การนึ่งปาล์มจะทำในหม้อนึ่งซึ่งมีความจุประมาณ 20-30 ตันทะลายปาล์มน้ำมัน และการนึ่งจะใช้ไอน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส และมีความดัน 3.1 บาร์ ป้อนเข้าสู่หม้อนึ่งอย่างต่อเนื่อง โดยใช้ระยะเวลาประมาณ 90 นาที

3) การนวดหรือแยกผลปาล์มน้ำมัน ทะลายปาล์มน้ำมันที่ผ่านการนึ่งจะนำเข้าสู่เครื่องแยกแบบหมุน เพื่อแยกผลปาล์มออกจากทะลายปาล์มซึ่งขั้นตอนนี้จะก่อให้เกิดทะลายปาล์มน้ำมันเปล่า ทะลายปาล์มน้ำมันเปล่านี้สามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ และวัสดุปรับปรุงดิน เนื่องจากสามารถรักษาความชื้นให้แก่ดินได้ นอกจากนี้ทะลายปาล์มน้ำมันเปล่าสามารถจำหน่ายเพื่อใช้เป็นวัสดุในการเพาะเห็ด ในบางโรงงานได้ทำการบีบอัดทะลายปาล์มน้ำมันเปล่า เพื่อลดความชื้นในทะลายปาล์ม ซึ่งสามารถนำทะลายปาล์มเปล่านี้ไปเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับการผลิตไอน้ำหรือกระแสไฟฟ้า

4) การย่อยผลปาล์มน้ำมัน ผลปาล์มน้ำมันที่แยกออกมาจากทะลายปาล์มน้ำมันแล้วจะนำเข้าสู่หม้อกวน เพื่อเปลี่ยนผลปาล์มน้ำมันให้อยู่ในรูปของปาล์มน้ำมันที่ผ่านการย่อยที่

เป็นเนื้อเดียวกัน โดยมีการป้อนน้ำร้อนเข้าสู่ขั้นตอนนี้เพื่อช่วยในการทำให้ปาล์มน้ำมันเป็นเนื้อเดียว ซึ่งปาล์มน้ำมันที่ผ่านการย่อยนี้จะเข้าสู่ขั้นตอนการบีบผลปาล์มน้ำมันต่อไป

5) การหีบน้ำมันปาล์ม การหีบน้ำมันปาล์มเป็นขั้นตอนการสกัดน้ำมันปาล์มออกจากผลปาล์มน้ำมันที่ผ่านการย่อยในหม้อกวนแล้ว น้ำมันที่สกัดออกมาได้จะนำเข้าสู่ส่วนของการทำให้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ในขณะที่ส่วนที่เป็นของแข็งซึ่งประกอบไปด้วยเส้นใยปาล์มน้ำมันและเมล็ดปาล์มน้ำมันจะผ่านการแยกอีกครั้งหนึ่ง

6) การทำให้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ขั้นตอนการทำให้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์นั้นประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอนย่อยด้วยกัน ซึ่งในขั้นตอนเหล่านี้ของแข็งแขวนลอยจะถูกแยกออกจากน้ำมันปาล์มดิบ คือ 1. การกรองน้ำมันปาล์มดิบด้วยตะแกรงสั่น 2. การแยกทราย 3. การแยกของแข็งแขวนลอยออกจากน้ำมัน 4. การทำให้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์

7) การนำน้ำมันปาล์มกลับคืน ขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำน้ำมันกลับคืน และลดภาระความสกปรกของสารอินทรีย์ในของน้ำเสีย กากตะกอนที่เกิดขึ้นจากถังตกจมนี้จะมีปริมาณน้ำมันเจือปนอยู่ถึง ร้อยละ 14 ยังมีสารอินทรีย์ทั้งที่อยู่รูปของแข็งแขวนลอยและที่ละลายอยู่ในน้ำมันเจือปนอยู่ในปริมาณสูง และสารที่ละลายในน้ำได้ นอกจากนี้ในส่วนที่เป็นของเหลวยังประกอบไปด้วยเส้นใยปาล์มน้ำมันและทราย โดยการนำน้ำมันปาล์มกลับคืนอาจใช้เทคนิควิธีการต่างกันไปตามแต่โรงงานพิจารณา แต่มีเป้าหมายเพื่อลดการสูญเสียน้ำมันไปกับน้ำเสียตามขั้นตอนต่าง ๆ หลังจากหีบน้ำมันแล้ว

8) การนำเมล็ดในปาล์มน้ำมันกลับคืน ในส่วนของแข็งที่ได้จากการบีบผลปาล์มน้ำมันจะประกอบไปด้วยเส้นใยปาล์มน้ำมัน และเมล็ดปาล์มน้ำมันซึ่งจะถูกแยกออกจากกันด้วยเครื่องแยกเส้นใยและเมล็ด เส้นใยปาล์มน้ำมันสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับหม้อน้ำภายในโรงงาน ในขณะที่เมล็ดปาล์มน้ำมันจะนำเข้าผ่านกระบวนการแยกอีกครั้ง เพื่อนำเมล็ดในปาล์มน้ำมันออกมาซึ่งจะผ่านเครื่องขัด และเครื่องสีได้เป็นเมล็ดในปาล์มน้ำมันส่วนกะลาปาล์มนั้น สามารถที่จะขายเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลให้แก่อุตสาหกรรมอื่นได้ และมีเพียงส่วนน้อยของกะลาปาล์มน้ำมันนั้นจะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อน้ำภายในโรงงาน (อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน, ม.ป.ป.)

2.2 สิ่งนำเข้าสิ่งนำออกที่เกิดขึ้นจากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

สำหรับในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบจะประกอบไปด้วย สิ่งที่นำเข้าสู่กระบวนการผลิตและสิ่งที่ออกมาจากกระบวนการผลิต ดังภาพที่ 1

2.2.1 สิ่งนำเข้า การสกัดน้ำมันปาล์มน้ำมันดิบแบบมาตรฐานหรือแบบใช้ไอน้ำ วัตถุดิบที่นำเข้าสู่โรงงาน คือ ผลปาล์มน้ำมันสดที่ถูกตัดมาจากสวนซึ่งทางโรงงานปลูก หรือมาจากการ

รับซื้อจากสวนภายนอก นอกจากผลปาล์มน้ำมันสดแล้ว โรงงานเหล่านี้ต้องใช้น้ำเป็นจำนวนมากในกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มน้ำมัน

2.2.2 สิ่งนำออก กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มก่อให้เกิดของเสีย 2 รูปแบบ ด้วยกัน คือ

1) ของเสียในรูปของแข็ง เช่น เส้นใยปาล์มน้ำมัน กะลาปาล์มน้ำมัน ทะลายปาล์มน้ำมันเปล่ารวมถึงกากตะกอนอีกจำนวนมหาศาล

2) ของเสียในรูปของเหลว (น้ำเสีย) เนื่องจากในกระบวนการผลิตปาล์มน้ำมันมีการใช้น้ำเป็นปริมาณมาก

ภาพที่ 1 ส่วนประกอบต่าง ๆ ที่ได้จากการสกัดน้ำมันปาล์ม

แหล่งที่มา: ดัดแปลงมาจาก Chavalparit *et al*. (2006)

2.3 ศักยภาพการใช้ประโยชน์จากวัสดุเศษเหลืออุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน

จากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มก่อให้เกิดวัสดุเศษเหลือจำนวนมาก ได้แก่ น้ำเสีย ทะลายปาล์มน้ำมันเปล่า เส้นใยปาล์มน้ำมัน ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน กะลาปาล์มน้ำมัน และกากสลัดจ์ปาล์มน้ำมัน ซึ่งความแตกต่างของวัสดุเศษเหลือขึ้นกับคุณภาพวัตถุดิบด้วย อย่างไรก็ตามของเสียที่เกิดขึ้นจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มน้ำมันดิบจะเห็นว่าสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย คือ

2.3.1 น้ำเสีย การนำน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถช่วยแก้ไขปัญหาเรื่องกลิ่นได้เป็นอย่างดี เพราะข้อดีของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม คือ มีค่าความสกปรกสูงและมีปริมาณมากในแต่ละวัน จึงมีความเหมาะสมในการนำมาผลิตพลังงานทดแทนในรูปแบบของก๊าซชีวภาพ โดยก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จะถูกนำไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าไว้ใช้ในโรงงานหรือเพื่อขายให้แก่การไฟฟ้าเพื่อเป็นรายได้ให้แก่โรงงานอีกทางหนึ่ง นอกจากนี้กากตะกอนที่ได้จากระบบก๊าซชีวภาพนั้นยังสามารถนำมาตากแห้งเพื่อนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้อีกด้วย ซึ่งการบำบัดน้ำเสียโดยระบบก๊าซชีวภาพสามารถลดค่าความสกปรกของน้ำลงกว่าร้อยละ 80 ลดปัญหาเรื่องกลิ่นรบกวนเพราะระบบก๊าซชีวภาพเป็นระบบปิด จึงไม่สามารถที่กลิ่นเหม็นจะเล็ดลอดออกไปสร้างปัญหาแก่ชุมชนได้ง่ายเหมือนระบบบ่อหมักไร้อากาศที่เป็นระบบเปิด ส่วนน้ำเสียที่ผ่านระบบระบบบำบัดจะมีคุณภาพดีพอที่จะนำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ ได้

2.3.2 ทะลายปาล์มน้ำมันเปล่าสามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อกำเนิดไอน้ำ (Boiler) วัสดุคลุมดินในสวนปาล์มเพื่อลดการระเหยของน้ำรักษาความชุมชื้นให้กับดิน และเป็นการเพิ่มแร่ธาตุให้แก่พืช ใช้ทะลายปาล์มน้ำมันเปล่าในการเพาะเห็ด ใช้ทะลายปาล์มน้ำมันเปล่าเป็นวัตถุดิบในการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ด การทำวัสดุไส้ในของที่นั่ง ที่นอน นอกจากนี้ได้มีการนำขี้เถ้าจากทะลายปาล์มน้ำมันเปล่าซึ่งผ่านการเผาในเตาเผาไปใช้เป็นปุ๋ย ซึ่งปุ๋ยจะมีองค์ประกอบของธาตุอาหาร ได้แก่ โพรแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) 32 เปอร์เซ็นต์ ฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ (P_2O_2) 4 เปอร์เซ็นต์ ฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ (MgO) 5 เปอร์เซ็นต์ และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) 4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการนำทะลายปาล์มน้ำมันเปล่ามาใช้ประโยชน์สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในเรื่องเชื้อเพลิงเป็นการลดการใช้ทรัพยากรสิ้นเปลือง ซึ่งเป็นวัตถุดิบในการผลิตพลังงาน เป็นการดึงธาตุอาหารกลับมาใช้ใหม่ เป็นการลดปริมาณของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม และยังสามารถลดต้นทุนของผู้ประกอบการได้อีกด้วย

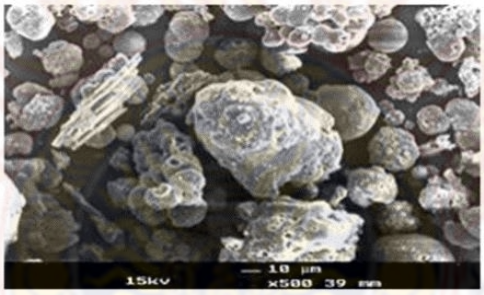
2.3.3 เส้นใยปาล์มน้ำมัน เส้นใยปาล์มน้ำมันเกือบทั้งหมดสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อกำเนิดไอน้ำ สำหรับการผลิตไอน้ำหรือผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในเรื่องเชื้อเพลิงให้กับทางโรงงาน และเป็นการลดการใช้ทรัพยากรสิ้นเปลือง ซึ่งเป็นวัตถุดิบในการผลิตพลังงาน นอกจากนี้สามารถนำเถ้าจากเส้นใยปาล์ม ซึ่งจะมีองค์ประกอบ คือ ฟอสฟอรัส 17–66 เปอร์เซ็นต์ โพรแทสเซียม 17–25 เปอร์เซ็นต์ และแคลเซียม 7 เปอร์เซ็นต์ นำมาใช้

ประโยชน์ คือ ใช้เป็นปุ๋ย การใช้เส้นใยปาล์มน้ำมันเป็นส่วนผสมในการทำผลิตภัณฑ์ซีเมนต์เป็นการเพิ่มทางเลือกวัสดุที่เป็นปุ๋ย และเป็นการเพิ่มความทนทานของผลิตภัณฑ์ซีเมนต์หรือคอนกรีต (สมทิพย์ และคณะ, 2543)

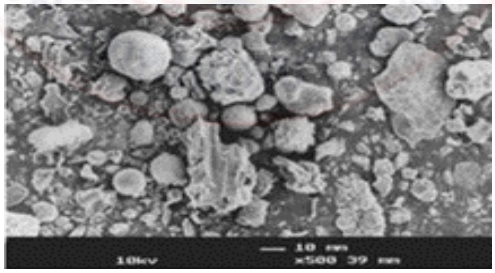
2.4 เถ้าปาล์มน้ำมัน

เถ้าปาล์มน้ำมัน เป็นวัสดุพลอยได้จากการนำกากของผลปาล์มน้ำมัน ได้แก่ เศษกะลา เส้นใย และทลายปาล์มเปล่าของผล เผาเป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อกำเนิดไอน้ำเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า มีอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาไหม้ประมาณ 800-900 องศาเซลเซียส

2.4.1 ลักษณะเถ้าปาล์มน้ำมัน ลักษณะอนุภาคของเถ้าปาล์มน้ำมันก่อนและหลังบด พบว่าเถ้าปาล์มน้ำมันก่อนบดมีลักษณะรูปร่างโดยรวมค่อนข้างหยาบ ความพรุนสูง รูปร่างกลมมนติดต่อกันเป็นกลุ่มก้อน และขนาดไม่สม่ำเสมอ ส่วนเถ้าปาล์มน้ำมันหลังบดมีลักษณะอนุภาคเป็นเหลี่ยมมุม รูปร่างไม่แน่นอน อนุภาคมีขนาดและความพรุนลดลงเมื่อเทียบกับเถ้าปาล์มน้ำมันก่อนบด ดังภาพที่ 2 และภาพที่ 3 สำหรับคุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าปาล์มน้ำมันตามระยะเวลาการบด แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 1



ภาพที่ 2 เถ้าปาล์มน้ำมันก่อนบด
แหล่งที่มา: ชัย (2545)



ภาพที่ 3 เถ้าปาล์มน้ำมันหลังบด
แหล่งที่มา: ชัย (2545)

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าปาล์มน้ำมัน

ระยะเวลาบดเถ้าปาล์มน้ำมัน (นาที)	ความถ่วงจำเพาะ	ความละเอียดโดยร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 325 (เปอร์เซ็นต์)	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (ไมครอน)
0	1.97	41.2	62.5
40	2.17	17.1	19.2
180	2.33	1..5	10.2

แหล่งที่มา: เรืองรุชดิ์ และคณะ (2556)

2.4.2 องค์ประกอบทางเคมี ส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญของเถ้าปาล์มน้ำมัน ได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซิลิกอนออกไซด์ (SiO_2) อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) และการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการการเผา (LOI) ส่วนประกอบทางเคมีเหล่านี้มีความแตกต่างกันในเชิงปริมาณตามแหล่งที่มาของเถ้าปาล์มน้ำมันส่วนใหญ่แล้วผลรวมของออกไซด์ร้อยละโดยน้ำหนักอยู่ในปริมาณ 60-75 จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของงานวิจัยในอดีตพบว่าองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าปาล์มน้ำมันมีค่าแตกต่างกัน แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2 และผลกระทบของเถ้าปาล์มน้ำมันต่อคอนกรีต แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าปาล์มน้ำมัน

สารประกอบทางเคมี (ร้อยละ)	จักพล กลั่นมั่นคง (2543)	สุรพันธ์ สุคันธปรีย์ (2545)	ธีระสิทธ์ แซ่ตั้ง (2547)
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	5.83	7.58	6.55
ซิลิกอนออกไซด์ (SiO_2)	76.50	63.56	57.71
อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3)	0.77	1.56	4.56
เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3)	2.26	1.42	3.30
การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (LOI)	11.06	9.62	10.52

แหล่งที่มา: สุรินทร์ (2550)

ตารางที่ 3 ผลกระทบของเถ้าปาล์มน้ำมันต่อคอนกรีตสด

ร้อยละการแทนที่เถ้าปาล์มน้ำมัน	น้ำ : วัสดุผสม	ค่ายุบตัว (มิลิเมตร)	ระยะเวลาการก่อตัว (ชั่วโมง : นาที)	
			ระยะต้น	ระยะปลาย
0	0.70	65.00	4:10	6:30
10	0.68	55.00	4:25	6:35
20	0.70	60.00	4:35	7:00
30	0.71	60.00	4:50	7:25
40	0.72	60.00	5:10	7:40

แหล่งที่มา: เรืองรุชดิ์ และคณะ (2556)

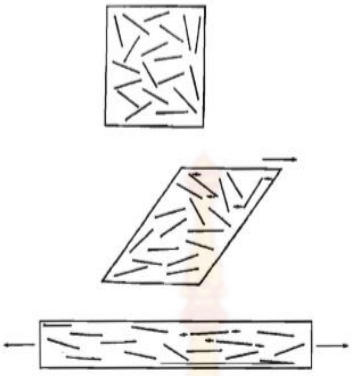
2.4.3 อนาคตของการใช้เถ้าปาล์มน้ำมันในงานคอนกรีต สืบเนื่องมาจากในปัจจุบันมีนโยบายจากภาครัฐฯในการส่งเสริมการปลูกปาล์มน้ำมันมากขึ้น เพราะน้ำมันปาล์มเป็นวัตถุดิบสำคัญที่ใช้การผลิตไบโอดีเซลซึ่งเป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ ดังนั้นจะมีกากปาล์มน้ำมันตลอดจนเถ้าปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยคาดว่าอาจจะเพิ่มมากกว่า 3 เท่าใน 10 ถึง 15 ปีข้างหน้า แต่การนำเถ้าปาล์มน้ำมันไปใช้ประโยชน์ยังน้อยมาก โดยเฉพาะการนำมาใช้ในงานคอนกรีต (ซึ่งเป็นหนทางที่ใช้ประโยชน์ได้ง่ายและปลอดภัยที่สุด) เนื่องจากยังเป็นวัสดุปอซโซลานชนิดใหม่ ซึ่งผู้ใช้งานหรือผู้ดูแลส่วนผสมคอนกรีตยังไม่แน่ใจที่จะนำเถ้าปาล์มน้ำมันไปใช้งาน ดังนั้นการส่งเสริมงานวิจัยและพัฒนาการใช้เถ้าปาล์มน้ำมันในส่วนผสมคอนกรีต จึงยังต้องดำเนินการอย่างต่อเนื่องและเพิ่มจำนวนมากยิ่งขึ้น เพราะเถ้าปาล์มน้ำมันเป็นผลผลิตที่เกิดขึ้นในประเทศไทยมีจำนวนมากขึ้นทุกปี หากไม่สามารถนำมาใช้ได้ก็ต้องนำไปทิ้ง แต่ถ้าหากนำไปใช้ได้จะเป็นการกำจัดทั้งเถ้าปาล์มน้ำมันและลดปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทิ้งเถ้าปาล์มน้ำมันได้อย่างเป็นรูปธรรมที่สุด ทั้งนี้การใช้เถ้าปาล์มน้ำมันในส่วนผสมคอนกรีตจะเป็นประโยชน์อย่างมาก เพราะจะเป็นข้อมูลสำคัญในการกำหนดมาตรฐานอุตสาหกรรม เรื่องการใช้เถ้าปาล์มน้ำมันเพื่อเป็นวัสดุปอซโซลานในงานคอนกรีต ถ้าหากประเทศไทยสามารถมีมาตรฐานอุตสาหกรรมการใช้เถ้าปาล์มน้ำมันในงานคอนกรีตเกิดขึ้น เป็นแนวทางที่สำคัญในการนำเถ้าปาล์มน้ำมันไปใช้ในส่วนผสมคอนกรีตได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม และสร้างความเชื่อมั่นในการนำเถ้าปาล์มน้ำมันไปใช้ในส่วนผสมคอนกรีตต่อไป (ชัย, 2545)

2.5 เส้นใยธรรมชาติ

เส้นใยธรรมชาติหรือเส้นใยพืชถูกใช้ในการเสริมกำลังให้กับวัสดุก่อสร้างมานาน เช่น การใช้ฟางข้าวขนม้าหรือเส้นใยพืชประเภทต่างๆ ผสมในดินหรือโคลนเพื่อทำก้อนอิฐดินดิบ จนมาถึงปลายศตวรรษที่ 19 ที่มีการใช้แร่ใยหินผสมกับซีเมนต์เพื่อทำให้เป็นวัสดุก่อสร้าง และใช้กันอย่างแพร่หลายจนถึงปัจจุบัน ผู้ใช้ส่วนใหญ่ยังไม่ทราบถึงโทษที่เกิดขึ้นจากกระเบื้องซีเมนต์เส้นใยประเภทนี้ ซึ่งจะเป็นอันตรายมากหากเข้าสู่ร่างกายทางระบบหายใจ จึงมีผลิตภัณฑ์กระเบื้องมุงหลังคาประเภทอื่นออกมาทดแทนและกระเบื้องมุมหลังคาซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติเป็นอีกหนึ่งผลิตภัณฑ์ที่คาดว่าจะเป็นที่นิยมของประเทศไทยในอนาคต เนื่องจากใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำและไม่ก่อสาร พิษที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ

2.5.1 เส้นใยปาล์มน้ำมัน อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันในหลายรูปแบบ เช่น นำไปเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าหรือน้ำไปเป็นส่วนผสมหนึ่งในวัสดุก่อสร้าง เป็นต้น ในการวิจัยของ Kriker *et al*. (2005) ได้ศึกษาถึงคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตที่ผสมเส้นใยปาล์มน้ำมันในประเทศแอลจีเรีย โดยเลือกศึกษาเส้นใยจากส่วนต่าง ๆ ของต้นปาล์มน้ำมัน พบว่าเส้นใยจากผิวรอบทะลายน้ำมันให้ผลที่เหมาะสมที่สุดในเชิงกลองวัสดุก่อสร้าง โดยผสมในสัดส่วนร้อยละ 2-3 โดยปริมาตร และขนาดเส้นใยปาล์มน้ำมันอยู่ในช่วง 15-60 มิลลิเมตร สามารถดูดซึมน้ำได้ดี

2.5.2 การจัดเรียงตัวของเส้นใย ปัจจัยที่มีความสำคัญเท่า ๆ กับความยาวของเส้นใยเสริมก็คือ การจัดเรียงตัวของเส้นใย ซึ่งจะขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตวัสดุผสมในการผสมเพื่อช่วยในการดูดซึมน้ำ และเก็บความชื้น แต่ในทางตรงกันข้าม เมื่อขนาดของเส้นใย และกระบวนการผลิตวัสดุผสมที่มีการเหนี่ยวนำให้มีการไหลของวัสดุในระหว่างการขึ้นรูป ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงการจัดเรียงตัวของเส้นใยอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ การเปลี่ยนแปลงของการจัดเรียงของเส้นใยมีความสัมพันธ์กับปัจจัย เช่น ลักษณะรูปร่างของเส้นใย สมบัติความหนืดเชิงประกอบเมตริกซ์ เมื่อมีการเติมเส้นใย และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุเนื่องจากการผลิตที่แตกต่างกันในหลายกระบวนการผลิตหรือการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ อัน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และแรงเฉือน ผลกระทบเนื่องจากกระบวนการขึ้นรูปต่อการจัดเรียงตัวของเส้นใยที่เกิดขึ้น ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างใน 2 มิติอย่างง่ายของก้อนเชิงประกอบ เนื่องจากผลกระทบจากกระบวนการไหล (ก) การกระจายตัวแบบสุ่ม (ข) การหมุนของเส้นใยเสริมแรงระหว่างการไหลเนื่องจากแรงเฉือน (ค) การจัดเรียงเส้นใยระหว่างการไหลเนื่องจากการยืด
แหล่งที่มา: Kriker *et al*. (2005)

2.5.3 คุณสมบัติของเส้นใยปาล์มน้ำมัน

มีปริมาณของเซลลูโลสที่สูงถึงร้อยละ 65 เปอร์เซ็นต์ ของสารประกอบทั้งหมด จึงเก็บรักษาความชื้นได้ โดยในส่วนประกอบทางเคมีของเส้นใยปาล์มน้ำมัน แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ส่วนประกอบทางเคมีที่อยู่ในเส้นใยปาล์มน้ำมัน

สมบัติทางเคมี	**เส้นใยปาล์มน้ำมัน**
โฮโลเซลลูโลส	65.00 เปอร์เซ็นต์
ลิกนิน	23.00 เปอร์เซ็นต์
เพนโทแซน	245.00 เปอร์เซ็นต์
โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์	47.30 เปอร์เซ็นต์
สารแทรกเบนซินแอลกอฮอล์	5.00 เปอร์เซ็นต์
ไนโตรเจนละลายในน้ำร้อน	17.20 เปอร์เซ็นต์

แหล่งที่มา: กัมพล (2552)

เส้นใยปาล์มน้ำมันนั้นมีสารพวกลิกนิน และสารประกอบอื่น ๆ ในวง Aromatic Compounds ซึ่งทำปฏิกิริยากับน้ำทำให้มีความเป็นกรดอ่อน ๆ ดังนั้นในการนำไปใช้จึงควรล้างสารตกค้างพวกนี้ให้หมดก่อนนำไปใช้งาน

2.5.4 แสดงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติผลิตภัณฑ์ที่เส้นใยผสม การนำเส้นใยมาผสมหรือนำมาทำผลิตเป็นผลิตภัณฑ์จะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติผลิตภัณฑ์ แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติผลิตภัณฑ์ที่ผสมเส้นใย

ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง	ตัวแปร
ประเภทเส้นใย	มะพร้าว ป่าศรนารายณ์ อ้อย ไผ่ ปาล์ม ปอกระเจา กัญชง ป่าน ไม้ ฟางข้าว พืชต่าง ๆ
ลักษณะเส้นใย	ความยาว เส้นผ่านศูนย์กลาง พื้นที่หน้าตัด วงแหวน
รูปทรงเส้นใย	เส้นยาวเดี่ยว
พื้นผิวเส้นใย	ความละเอียดของพื้นผิวสิ่งที่หุ้มผิว
ระบบโครงสร้าง	ประเภทซีเมนต์ ประเภทวัสดุผสมและขนาด ประเภทสารผสมเพิ่ม
การออกแบบส่วนผสม	ปริมาณน้ำ อัตราส่วนเส้นใย อัตราส่วนผสมสารผสมเพิ่ม
วิธีการเทขึ้นรูป	ระบบจี้เขย่า ระบบการฉีดขึ้นรูป
วิธีการขึ้นรูป	แรงดันอัดขึ้นรูป
วิธีการบ่ม	บ่มน้ำ บ่มอากาศ บ่มพิเศษ

แหล่งที่มา: Chatveera (1995)

2.6 คอนกรีตผสมเส้นใย

คอนกรีตถึงจะมีกำลังรับแรงอัดที่ดี แต่ก็จัดว่าเป็นวัสดุที่มีความเปราะ มีคุณสมบัติในด้านการรับแรงดึงที่ต่ำโดยทั่วไปจะอยู่ที่ประมาณร้อยละ 10 ของกำลังแรงอัด การที่จะทำให้คอนกรีตมีความเหนียวนั้น จำเป็นต้องใส่วัสดุเสริมกำลังเข้าไปในเนื้อคอนกรีต สำหรับเส้นใยถือว่าเป็นวัสดุที่นิยมนำมาผสมลงในคอนกรีตเพื่อเสริมคุณสมบัติด้อยดังกล่าว เป็นที่รู้จักกันในชื่อ คอนกรีตผสมเส้นใยไฟเบอร์ ซึ่งคอนกรีตโดยทั่วไปที่มีการเติมเส้นใยที่มีลักษณะกระจายตัวออกจากกันแบบไม่ต่อเนื่องกัน เข้าไประหว่างการผสม ทั้งเส้นใยไฟเบอร์ที่ได้จากธรรมชาติ เช่น ใยหิน ฟางข้าว ป่าน ปอ เป็นต้น หรือเส้นใยที่ได้จากการสังเคราะห์ เช่น เส้นใยเหล็ก เส้นใยเซรามิค เส้นใยคาร์บอน เส้นใยไนลอน และเส้นใยโพลีรพีลีน เป็นต้น สำหรับคอนกรีตผสมเส้นใย จัดเป็นวัสดุผสมเส้นใยชนิดไม่ต่อเนื่อง คือ เส้นใยที่ผสมลงไปจะมีการกระจายตัวไปในทิศทางที่ไม่แน่นอนอยู่ทั่วไปในเนื้อคอนกรีต คุณสมบัติของเส้นใยไฟเบอร์ ภายใต้สภาวะการกระทำต่าง ๆ ทำให้ทราบถึงองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน ดังนี้

2.6.1 โครงสร้างเมทริกซ์ ในเส้นใยไฟเบอร์ จะหมายถึงมอร์ต้าร์ ซึ่งโดยทั่วไปจะมีคุณสมบัติไม่แตกต่างจากคอนกรีตธรรมดาการผสมเส้นใย โดยทั่วไปจะผสมไม่เกินร้อยละ 2

2.6.2 รูปร่าง และลักษณะการกระจายตัวของเส้นใย เส้นใยที่นำมาใช้ผสมคอนกรีตที่นำมาออกแบบให้มีรูปร่างที่ต่างกัน โดยเส้นใยที่มีรูปร่างต่างกันจะทำให้คุณสมบัติของเส้นใยไฟเบอร์ที่ได้แตกต่างกัน

2.6.3 ผิวสัมผัสระหว่างเมทริกซ์ และเส้นใย นอกจากคุณสมบัติทั้ง 2 ข้อที่กล่าวมาแล้วนั้น ผิวสัมผัสระหว่างเมทริกซ์และเส้นใย ถือว่าเป็นสิ่งสำคัญมากในการศึกษาคุณสมบัติเส้นใยไฟเบอร์ เนื่องจากผิวสัมผัสจะมีผลโดยตรงกับค่าแรงยึดเหนี่ยว ระหว่างเมทริกซ์ และเส้นใย สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อแรงยึดเหนี่ยวบริเวณผิวสัมผัสระหว่างเมทริกซ์ และเส้นใย คือ ลักษณะรูปร่างและชนิดของเส้นใย เส้นใยบางชนิดอาจทำปฏิกิริยาทางเคมีกับซีเมนต์ และอาจส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนสภาพไปตามเวลาที่บริเวณผิวสัมผัส เช่น เสนใยหิน เป็นต้น โดยทั่วไปบริเวณรอบ ๆ ผิวของเส้นใยพบว่ามีความพรุนมากกว่าบริเวณอื่น เนื่องจากมีช่องว่างที่เกิดขึ้นจากการเยิ้มของคอนกรีต เมื่อน้ำหรือฟองอากาศเดินทางเข้าสู่ด้านบนหากมีเส้นใยกั้นอยู่จะทำให้ไปสะสมรอบ ๆ เส้นใย (Bentur and Mindess, 1990)

2.7 หลักการทำงานของเส้นใย

เมื่อเส้นใยไฟเบอร์ ถูกแรงกระทำเมทริกซ์จะเกิดการแตกร้าว จะมีการถ่ายเทแรงกระทำไปยังเส้นใยผ่านผิวสัมผัส หากแรงยึดเหนี่ยวบริเวณผิวสัมผัสดี เส้นใยก็จะรับแรงได้อย่างเต็มที่ซึ่งจะทำให้การแตกร้าวหยุดหรือไม่ขยายตัว แต่หากแรงกระทำภายนอกมีค่าสูงกว่าแรงกำลังเส้นใยก็จะทำให้เส้นใยฉีกขาด โดยจะมีการวัดค่าประสิทธิภาพของเส้นใยด้วยค่าความดัชนีความเหนียวซึ่งค่าจะสูงหรือต่ำจะขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นใยด้วย แต่หากแรงยึดเหนี่ยวบริเวณผิวสัมผัสไม่ดีก็จะทำให้เส้นใยไม่ได้ช่วยรับแรงอัดอย่างเต็มที่ ซึ่งมีผลทำให้ค่ารับกำลังได้ต่ำ (Bentur and Mindess, 1990)

2.8 คุณสมบัติของคอนกรีตผสมเส้นใย

2.8.1 ความสามารถในการเทได้ การผสมเส้นใยลงในคอนกรีตมีผลทำให้ความสามารถในการเทคอนกรีตลดลงตามปริมาณการใส่ที่สูงขึ้น การเปรียบเทียบคอนกรีตธรรมดากับคอนกรีตที่ผสมเส้นใยเหล็ก พบว่า การใส่เส้นใยเหล็กในคอนกรีตมีผลทำให้ค่าการยุบตัวลดลง

2.8.2 การรับแรงอัด โดยทั่วไปแล้ว การผสมเส้นใยในคอนกรีตไม่ได้มีวัตถุประสงค์ในการเพิ่มกำลังรับแรงอัดโดยตรง แต่อาจมีผลทำให้กำลังรับแรงอัดสูงขึ้นเล็กน้อย สำหรับเส้นใยเหล็กอาจทำให้กำลังอัดสูงขึ้นได้ถึงมากร้อยละ 25 แต่ถ้าใช้ในปริมาณมากเกินไปจะมีผลทำให้กลังอัดลดลงเนื่องจากปริมาณเส้นใยที่มากมีผลทำให้ค่าการยุบตัวของคอนกรีตที่ต่ำการอัดแน่นจึงทำให้ยาก

2.8.3 ความเหนียว และการดูดซับพลังงาน จุดประสงค์หลักของการผสมเส้นใยลงในคอนกรีตก็คือ การยึดรั้งรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นของคอนกรีตภายใต้แรงกระทำซึ่งถ้าเส้นใยมีค่ากำลังรับแรงและมีแรงยึดเหนี่ยวกับเมทริกซ์ที่เพียงพอจะทำให้ความสามารถยับยั้งรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นหรือทำให้คอนกรีตยังคงรับแรงอยู่ได้ในขณะที่ค่าความเหนียวเพิ่มขึ้น (Bentur and Mindess, 1990)

2.9 สารปอซโซลานหรือวัสดุปอซโซลาน

สารปอซโซลาน (Pozzolan) หรือวัสดุปอซโซลาน คือ วัสดุที่มีส่วนประกอบทางเคมีส่วนใหญ่เป็นซิลิกา และอลูมินา มีคุณสมบัติในการยึดประสานเล็กน้อยหรือไม่มีเลย แต่เมื่อบดจนเป็นผงละเอียดจะสามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำที่อุณหภูมิปกติร่วมกับความชื้น ก่อให้เกิดสารเชื่อมประสานใหม่ ซึ่งมีคุณสมบัติในการยึดประสาน คือ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate) เพิ่มขึ้น เรียกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นว่า ปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic Reaction)

การใช้สารปอซโซลาน อาจใช้ในรูปของสารผสมเพิ่มในคอนกรีต เช่น คอนกรีต ปอซโซลาน เป็นต้น หรืออาจใช้ในรูปของปูนซีเมนต์ผสมสารปอซโซลานก็ได้ เช่น ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน เป็นต้น (สำนักหอสมุดมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ม.ป.ป.)

2.9.1 การจำแนกชั้นวัสดุปอซโซลาน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) Class N ได้แก่ สารปอซโซลานที่ได้จากธรรมชาติ คือ วัสดุที่ได้จากการระเบิดภูเขา และหินพรุน เป็นต้น

2) Class F ได้แก่ สารประกอบปอซโซลานสังเคราะห์ คือ วัสดุที่ได้จากกระบวนการทางความร้อน โดยการเผาวัตถุดิบที่ได้จากธรรมชาติ ได้แก่ ดินเหนียว หินเชลขี้เถ้าแกลบ เป็นต้น

3) Class C ได้แก่ สารปอซโซลานสังเคราะห์ที่ได้จากกระบวนการทางความร้อนเช่นเดียวกับ Class F แต่มีข้อกำหนดคุณสมบัติบางประการที่แตกต่างกัน

ปัจจุบันวัสดุปอซโซลานนิยมนำมาใช้ในงานคอนกรีตในรูปของการแทนที่บางส่วนของปูนซีเมนต์ เนื่องจากวัสดุปอซโซลานช่วยปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตให้ดีขึ้นทั้งในด้านการรับกำลังอัด ความทนต่อสารเคมีจำพวกกรดหรือซัลเฟต และสามารถลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีต ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างลดลง เนื่องมาจากวัสดุปอซโซลานมีราคาถูกกว่าปูนซีเมนต์วัสดุปอซโซลานแต่ละชนิดอาจส่งผลดีต่อคอนกรีตแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเฉพาะตัว โดยองค์ประกอบทางแร่ธาตุที่อยู่ในรูปไม่เป็นผลึกและความละเอียดของวัสดุปอซโซลาน คือ ปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้ดี

2.9.2 ข้อดีและข้อเสียสารปอซโซลาน เมื่อถูกนำมาใช้ผสมเป็นสารผสมเพิ่มในการทำคอนกรีตนั้น จะมีทั้งข้อดีและข้อเสีย ซึ่งจะเป็นส่วนผสมที่ทำให้คอนกรีตที่ได้มีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งสามารถสรุปข้อดีและข้อเสียของสารโซลานที่มีผลต่อคุณภาพคอนกรีตได้ดังนี้

1) ข้อดีสารปอซโซลาน

(1) เมื่อใช้ทำคอนกรีต ความต้านทางต่อการกัดกร่อนเนื่องจากสารเคมีต่าง ๆ ได้ดีกว่า

(2) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานเมื่อใช้ทำโครงสร้างใต้น้ำให้ผลเป็นที่น่าพอใจ

(3) การทดแทนบางส่วนของปูนซีเมนต์ในคอนกรีตโดยใช้วัสดุปอซโซลานและลดความร้อน เนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของคอนกรีต ดังนั้นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนปอซโซลานจึงเหมาะสำหรับใช้ในงานคอนกรีตหลา

(4) ทำให้คอนกรีตมีความทึบน้ำสูง

2) ข้อเสียสารปอซโซลาน

ผลกระทบในทางตรงข้ามเกี่ยวกับคุณภาพของคอนกรีตเกิดขึ้นเมื่อใช้สารปอซโซลานที่เสื่อมคุณภาพหรือการใช้สารปอซโซลานในสัดส่วนที่มากเกินไป ซึ่งมีดังต่อไปนี้

(1) ลดอัตราการก่อตัวและการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีต

(2) การหดตัวเพิ่มขึ้น

(3) มีความต้องการน้ำมาก

(4) มีความต้านทานต่อการแข็งตัวของน้ำในโพรงได้ต่ำ

2.10 องค์ประกอบของคอนกรีต

2.10.1 ปูนซีเมนต์ หมายถึง สารประกอบอย่างหนึ่งมีลักษณะเป็นผงที่บดละเอียด ซึ่งเมื่อได้ผสมกับน้ำตามอัตราส่วนที่พอดีแล้วทิ้งไว้ระยะหนึ่งจะแข็งตัว โดยมนุษย์ในสมัยโบราณได้ค้นพบว่าเมื่อเอาหินบางชนิดมาทำการเผาจนสลายเป็นผงแล้วบดให้ละเอียดแล้วนำมาผสมน้ำทิ้งไว้ชั่วเวลาหนึ่งก็จะได้ผลผลิตที่แข็งเป็นก้อน เป็นรูปร่างตามต้องการปูนซีเมนต์ ในปัจจุบันปูนซีเมนต์ทำจากวัตถุดิบที่มีธาตุอะลูมินั่ม หรือซิลิก้า ซึ่งได้แก่ ดินดำ ดินขาว หรือศิลาแลง ซึ่งมีธาตุเหล็กมาผสมเข้าด้วยกัน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประกอบด้วย หินปูน และดินเหนียว เป็นส่วนใหญ่นอกจากนี้ก็มีเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) และโคโลไมต์ ($MgCo_3$) เป็นจำนวนเล็กน้อย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาใช้กันทั่วไป ปกติจะมีสีเทาแกมเขียว (Greenish Gray) และมันน้ำหนักประมาณ 92 ปอนด์ต่อฟุต เมื่อเผาวัตถุดิบของปูนซีเมนต์ซึ่งได้แก่สารออกไซด์ของธาตุแคลเซียม ซิลิกอน อลูมิเนียม และ เหล็กสาร

เหล่านี้จะทำปฏิกิริยากันทางเคมีและรวมตัวกันเป็นสารประกอบอยู่ในปูนเม็ด ในรูปของผลึกที่ละเอียดมาก (ณปภัช, 2558)

2.10.2 ทรายหยาบ เป็นทรายน้ำจืดหรือทรายบก ที่มีเม็ดหยาบ คม แข็งแกรง สะอาด ปราศจากวัสดุอื่น เช่น เปลือกหอย ดิน เถ้าถ่าน และสารอินทรีย์ต่าง ๆ เจือปน ทรายที่ใช้ในงานก่อสร้างจะต้องมีค่าพิกัดความละเอียดตั้งแต่ 2.30 ถึง 3.10 (มาตรฐานงานคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก, ม.ป.ป.)

2.10.3 หินย่อยที่ใช้ผสมคอนกรีตต้องเป็นหินที่โม่ด้วยเครื่องจักร มีรูปร่างเหลี่ยมค่อนข้างกลม มีส่วนแบนเรียวน้อย ต้องเป็นหินที่แข็ง ทนทาน ไม่ผุกร่อน สะอาดปราศจากสารผุกร่อนและสารอินทรีย์อื่นเจือปน (ส่วนวิจัยและพัฒนาด้านวิศวกรรม, 2552)

2.10.4 น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต โดยปริมาณและคุณภาพของน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อกำลังอัดของคอนกรีต ในที่นี้จะพิจารณาถึงคุณภาพของน้ำซึ่งมีความสำคัญมาก เพราะสิ่งเจือปนต่าง ๆ ในน้ำอาจจะมีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตให้ใช้น้ำประปา ในกรณีที่หาน้ำประปาไม่ได้ต้องเป็นน้ำจืดปราศจากสารที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีต (มาตรฐานงานคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก, ม.ป.ป.)

2.10.5 การบ่มคอนกรีตการบ่มคอนกรีตการบ่มคอนกรีตสามารถแบ่งได้ 3 ลักษณะ คือการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต การป้องกันการเสียน้ำของคอนกรีต และการเร่งกำลัง

1) การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต การบ่มลักษณะนี้จะเพิ่มความชื้นให้กับผิวคอนกรีตโดยตรง เพื่อทดแทนการระเหยของน้ำออกจากคอนกรีต การบ่มลักษณะนี้สามารถทำได้หลายวิธี ดังต่อไปนี้

(1) การขังหรือหล่อน้ำ เป็นการทำนบกั้นน้ำไม่ให้น้ำไหลออกมักจะใช้กับงานทางระดับ เช่น พื้นหรือถนน เป็นต้น วัสดุที่ใช้ทำทำนบอาจจะเป็นดินเหนียว หรืออิฐก็ได้ ข้อควรระวังสำหรับวิธีนี้ คือ ต้องระวังอย่าให้ทำนบกั้นน้ำพัง และหลังจากบ่มเสร็จแล้ว อาจจะต้องทำความสะอาดผิวหน้าคอนกรีต

(2) การฉีดน้ำหรือรดน้ำ เป็นการฉีดน้ำให้ผิวคอนกรีตเปียกอยู่เสมอวิธีนี้ใช้ได้กับงานคอนกรีต ทั้งในแนวดิ่ง แนวระดับ หรือแนวเอียง ข้อควรระวัง คือต้องฉีดน้ำให้ทั่วถึงทุกส่วนของคอนกรีต และแรงดันน้ำต้องไม่แรงเกินไปจนชะเอาผิวหน้าคอนกรีตที่ยังไม่แข็งตัวดีออก วิธีนี้ต้องสิ้นเปลืองน้ำมาก และต้องอาศัยที่ที่มีแรงดันน้ำมากพอ

(3) การคลุมด้วยวัสดุเปียกชื้น เป็นวิธีที่ใช้กันมาก เพราะ สะดวก ประหยัด และสามารถใช้ได้กับงานทั้งแนวระดับ แนวดิ่ง และแนวเอียง วัสดุที่ใช้คลุมอาจจะใช้ ผ้าใบ กระสอบ หรือวัสดุอื่นที่อมน้ำ ข้อควรระวัง คือวัสดุที่คลุมต้องเปียกชุ่มอยู่เสมอ การคลุมต้องคลุมให้วัสดุคลุมเหลื่อมกัน วัสดุที่ใช้คลุมต้องปราศจากสารที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีต หรือทำให้คอนกรีตด่าง

สำหรับการคลุมงานคอนกรีตในแนวดิ่ง ต้องยึดวัสดุคลุมให้แน่นหนา ไม่เลื่อนหล่นลงมาได้ โดยเฉพาะเวลาที่ราดน้ำ ซึ่งจะต้องทำเป็นประจำ

2) การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต วิธีการนี้ใช้การผนึกผิวของคอนกรีต เพื่อป้องกันมิให้ความชื้นจากคอนกรีตระเหยออกจากเนื้อคอนกรีต การบ่มลักษณะนี้สามารถกระทำได้หลายวิธีดังนี้

(1) การบ่มในแบบหล่อ แบบหล่อไม้ที่เปียก และแบบหล่อเหล็กสามารถป้องกันการสูญเสียความชื้นได้ดี วิธีนี้จัดได้ว่าง่ายที่สุด เพียงแค่ทิ้งแบบหล่อให้อยู่กับคอนกรีตที่หล่อไว้ให้นานที่สุดเท่าที่จะทำได้ และคอยดูแลให้ผิวด้านบนคอนกรีตมีน้ำอยู่ โดยน้ำนั้นสามารถไหลซึมลงมาระหว่างแบบหล่อกับคอนกรีตได้

(2) การใช้กระดาษกันน้ำซึม เป็นการใช้กระดาษกันน้ำซึม ปิดทับผิวคอนกรีตให้สนิท เป็นเวลาอย่างน้อย 3 วัน วิธีนี้มักนิยมใช้กับงานคอนกรีตแนวระดับ กระดาษกันน้ำซึมนี้ เป็นกระดาษเหนียวสองชั้นยึดติดกันด้วยยางมะตอย และเสริมความเหนียวด้วยใยแก้วมีคุณสมบัติในการยืดหดตัวไม่มากนักเวลาที่เปียกและแห้ง ข้อควรระวังในการใช้กระดาษ คือ บริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นจะต้องผนึกให้แน่นด้วยกาว หรือเทป และกระดาษต้องไม่มีร่อยรอยฉีกขาดหรือชำรุด

(3) การใช้แผ่นผ้าพลาสติกคลุม วิธีการนี้จะเหมือนกับการใช้กระดาษกันน้ำ แต่แผ่นผ้าพลาสติกจะเบากว่ามาก จึงสะดวกในการใช้มากกว่า สามารถใช้กับงานโครงสร้างทุกชนิด ข้อควรระวังก็เช่นเดียวกับกระดาษกันน้ำ คือ รอยต่อและการชำรุดฉีกขาด และเนื่องจากมีน้ำหนักเบา จึงต้องระวังเรื่องการผูกยึด ป้องกันลมพัดปลิวด้วย

(4) การใช้สารเคมีเคลือบผิวคอนกรีต เป็นการพ่นสารเคมีลงบนผิวคอนกรีต ซึ่งสารเคมีที่พ่นนี้จะกลายเป็นเยื่อบาง ๆ คลุมผิวคอนกรีตป้องกันการระเหยออกของน้ำในคอนกรีตได้ การบ่มวิธีนี้ทั้งสะดวกและรวดเร็วแต่ค่าใช้จ่ายจะสูง จึงมักใช้กับงานที่บ่มด้วยวิธีอื่นได้ลำบาก การพ่นสารเคมีนี้ต้องกระทำในขณะที่ผิวคอนกรีตยังชื้นอยู่ และต้องพ่นให้ทั่วถึง ข้อที่ควรทราบ คือสารเคมีประเภทนี้จะทำให้การยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตเดิมกับคอนกรีตที่จะเทใหม่เสียไป จึงไม่ควรใช้กับงานคอนกรีตที่ต้องต่อเติมหรือฉาบปูนในภายหลัง และหากใช้สารเคมีฉีดพ่นแล้วไม่ควรฉีดน้ำซ้ำ เพราะน้ำจะไปชะล้างสารเคมีออก ควรชี้แจงให้คนที่ทำงานทราบถึงประเด็นนี้ เพื่อจะได้ไม่ฉีดชะล้างสารเคมีออกโดยรู้เท่าไม่ถึงการณ์

3) การบ่มด้วยการเร่งกำลัง เป็นการบ่มคอนกรีตด้วยไอน้ำ โดยให้ความชื้น และความร้อน กับคอนกรีตที่หล่อเสร็จใหม่ ๆ วิธีนี้จะทำให้คอนกรีตมีกำลังสูงขึ้นโดยรวดเร็วช่วยลดการหดตัว และเพิ่มความต้านทานต่อสารเคมีที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีต การบ่มคอนกรีตด้วยวิธีนี้สามารถ

ทำได้สองวิธี คือการบ่มด้วยไอน้ำที่มีความดันต่ำ และการบ่มด้วยไอน้ำที่มีความดันสูง การบ่มด้วยการเร่งกำลัง นิยมใช้กันในงานอุตสาหกรรมคอนกรีตสำเร็จรูป (วิศกรรมโยธา, 2553)

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชุติกาญจน์ และคณะ (2557) ปัจจุบันการผลิตกระถางต้นไม้ที่ใช้ในท้องตลาดจะเป็นการนำเอาวัสดุจากธรรมชาติมาผสมกับซีเมนต์ที่ใช้เป็นวัสดุประสาน วัสดุธรรมชาติจำนวนมากที่นำมาใช้นั้นจะเป็นพวกวัสดุเหลือใช้ เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุจากธรรมชาติโครงงานนี้ จึงได้ศึกษากรรมวิธีกระถางต้นไม้จากเส้นใยพืช คือ ใยมะพร้าว ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากธรรมชาติ และมีอยู่มากมายในท้องถิ่น โดยมีส่วนผสม คือ ซีเมนต์ : ทราย : ใยมะพร้าว ในอัตราส่วนที่ 1 คือ 1 : 1 : 0.02 อัตราส่วนที่ 2 คือ 1 : 1 : 0.04 อัตราส่วนที่ 3 คือ 1 : 1 : 0.06 อัตราส่วนที่ 4 คือ 1 : 1 : 0.08 เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยหล่อตัวอย่างคอนกรีตลูกบาศก์โดยมีอายุ 28 วัน พบว่าอัตราส่วน ที่ 4 มีกำลังอัดสูงสุด เนื่องจากใยมะพร้าวมีความเหนียวแน่นทำให้การยึดเกาะของคอนกรีตมีความแข็งแรง และได้ศึกษาการดูดซึมของน้ำ เมื่อทดสอบ 2 อัตราส่วน ปูนซีเมนต์ : ทราย คือ 1 : 1 สูตรที่ 2 ปูนซีเมนต์ : ทราย : ใยมะพร้าว 1 : 1 : 0.08 พบว่าเมื่อผสมใยมะพร้าวลงไปทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซึมของน้ำมากกว่าซีเมนต์ที่ไม่ได้ผสมใยมะพร้าว

อมเรศ และคณะ (2556) ได้ทำการวิจัยในการวิจัยทำการศึกษาคุณสมบัติแผ่นไม้อัดเทียม โดยผสมวัสดุจากโพลีเอทธิลีนกับเส้นใยเปลือกทุเรียน โดยมีส่วนร่วมของโพลีเอทธิลีนต่อเส้นใยเปลือกทุเรียน เท่ากับ 90 : 10 80 : 20 70 : 30 60 : 40 และ 50 : 50 โดยน้ำหนัก ผสมเส้นใยทุเรียนด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งทำการอัดขึ้นแผ่นวัสดุผสมขนาด 30X30X0.5 เซนติเมตร โดยวิธีอัดร้อนและทดสอบสมบัติทางกลของแผ่นวัสดุผสมตามมาตรฐาน ASTM จากการทดลองพบว่าวัสดุผสมที่มีปริมาณของโพลีเอทธิลีนที่สูงขึ้นจะทำให้วัสดุผสมมีความต้านทานการรับแรงดึง และแรงกระแทกสูงกว่า ส่วนปริมาณเส้นใยเปลือกทุเรียนเพิ่มขึ้นทำให้ความต้านทานการรับแรงอัด และความแข็งแรงที่ผิวสูงขึ้น สมพิศ (2557) ได้ศึกษาการใช้เศษหินภูเขาไฟสำหรับพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์บล็อกปูพื้น จึงเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเศษหินขนาดเล็กและหินผุที่เหลือใช้จากการโม่ โดยการนำมาผลิตเป็นวัสดุก่อสร้างที่ตรงตามความต้องการของชุมชนในท้องถิ่น ซึ่งจะช่วยสร้างรายได้ให้กับชาวบ้านและลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งวัสดุก่อสร้างหรือวัตถุดิบจากพื้นที่อื่นได้มากอีกด้วย อย่างไรก็ตามนี้ยังสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาการใช้เส้นใยธรรมชาติในงานด้านคอนกรีตต่อไปในอนาคต

พลฉัตร (2556) จากการศึกษาพบว่าเถ้าปาล์มน้ำมันสามารถพัฒนาให้เป็นวัสดุปอซโซลานที่ดีได้ ซึ่งปัจจุบันวัสดุปอซโซลานนิยมนำมาใช้ในงานคอนกรีตอย่างแพร่หลาย นั่นคือการแทนที่ปูซีเมนต์บางส่วน เนื่องจากวัสดุปอซโซลานช่วยปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตให้ดีขึ้น ทั้ง

กำลังอัด ความทนทานต่อสารเคมีจำพวกกรดหรือซัลเฟต และลดค่าใช้จ่ายการผลิตคอนกรีต ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างลดลง เพราะวัสดุปอซโซลานมีราคาถูกกว่า

ประชุม (2555) ได้ทำการวิจัยมอร์ตาร์มวลเบาผสมเส้นใยจากเปลือกทุเรียนในการวิจัยได้ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของมอร์ตาร์น้ำหนักเบา โดยการใช้เส้นใยจากขยะเปลือกทุเรียนเป็นวัสดุผสม เพิ่มออกแบบส่วนของมอร์ตาร์ให้มีอัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 : ทรายละเอียดร่อนค้างตะแกรงเบอร์ 200 เท่ากับ 1:2:75 โดยน้ำหนัก นำไปหล่อก้อนตัวอย่างมอร์ตาร์ทดสอบ โดยขนาด 15X15X15 ลูกบาศก์เซนติเมตร สำหรับทดสอบกำลังอัดขนาด 4X4X16 ลูกบาศก์เซนติเมตร ผลการทดสอบ พบว่าเมื่อผสมเส้นใยเปลือกทุเรียนแทนปูซีเมนต์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้มอร์ตาร์มีกำลังตัดและการดูดซึมน้ำสูงขึ้น

วรเชษฐ์ (2550) เพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมของคอนกรีตผสมเส้นใยที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน คอนกรีตที่ใช้ในงานวิจัยใช้ค่า น้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.43 โดยผสมเส้นใยในปริมาณร้อยละละ 0.5 1.0 และ 1.5 ของน้ำหนักคอนกรีตตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ทดสอบนี้ประกอบไปด้วย คอนกรีตธรรมดา (OPC) คอนกรีตผสมเส้นใยพลาสติกสังเคราะหชนิดเส้นใยโพลีพรอพีลีน (PFRC) ชนิดโพลีเอทิลีนผสมกับโพลีพรอพีลีน (PPFRC) และคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็ก (SFRC) โดยหลอ เป็นตัวอย่างคานขนาด 10X10X35 เซนติเมตร หลังจากการบ่มน้ำ 28 วัน และบ่มอากาศ 7 วัน จึงนำคอนกรีตทั้ง 4 ชนิดไปเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส 600 องศาเซลเซียส และ 800 องศาเซลเซียส ตามมาตรฐาน ISO/TR834 จากนั้นจึงนำมาหาค่ากำลังรับแรงดัดและดัชนีความเหนียว จากผลการทดสอบสามารถบอกได้ว่าการผสม เส้นใยเข้าไปในคอนกรีตส่งผลต่อคุณสมบัติการรับแรงดัดของคอนกรีตต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิด ปริมาณเส้นใย และสภาวะอุณหภูมิที่คอนกรีตนั้นได้รับ โดยหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส และ 600 องศาเซลเซียส มีผลทำให้คอนกรีตผสมเส้นใยทั้ง 3 ชนิด มีค่ากำลังดัดหลังการแตกร้าวเพิ่มขึ้น สวนหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส มีค่ากำลังดัดหลังการแตกร้าวลดลงอย่างรุนแรงในคอนกรีตที่ผสมเส้นใยพลาสติก

วีรชาติ และคณะ (2546) พบว่า เถ้าปาล์มน้ำมันก่อนบดไม่เหมาะสมนำมาใช้เป็นวัสดุปอซโซลาน เนื่องจากให้ค่ากำลังอัดที่ต่ำ ส่วนการใช้เถ้าปาล์มน้ำมันที่มีความละเอียดมากเป็นส่วนผสมมอร์ต้าร์ ในอัตราร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน สามารถให้กำลังอัดสูงกว่ามอร์ต้าร์ มาตรฐานที่อายุ 90 วัน โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 104 และ 101 ตามลำดับ

สุรพันธ์ และคณะ (2545) ได้ทำการศึกษาการนำเถ้าปาล์มน้ำมันมาใช้เป็นวัสดุปอซโซลาน พบว่าเถ้าปาล์มน้ำมันมีองค์ประกอบทางเคมีหลัก คือ ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) มากกว่าร้อยละ 70 ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของวัสดุปอซโซลาน และมีศักยภาพเพียงพอสามารถใช้เป็นวัสดุปอซโซลานเนื่องจากเถ้าปาล์มน้ำมันมีความละเอียดสูงแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 20 มีค่าดัชนีกำลังอัดที่อายุ 7 และ 28 วันสูง กว่าร้อยละ 75 สอดคล้องกับการศึกษาของ วีรชาติ และ

คณะ (2547) พบว่าดัชนีกำลังอัดของเถ้าปาล์มน้ำมันที่บดละเอียดมากมีค่าสูงกว่าร้อยละ 75 ที่อายุ 7 และ 28 วัน และแท่งมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันมีการขยายตัวเนื่องจากซัลเฟตต่ำกว่าแท่งมอร์ต้าร์ที่ไม่มีเถ้าปาล์มน้ำมันเป็นส่วนผสมด้วย ทั้งนี้การใช้เถ้าปาล์มน้ำมันในส่วนผสมคอนกรีต พบว่า เถ้าปาล์มน้ำมันบดละเอียดจนมีขนาดอนุภาค ประมาณ 7.3 ไมโครเมตร แทนที่ปูนซีเมนต์ ร้อยละ 10 และ 20 สามารถให้กำลังอัดของคอนกรีตสูงกว่าคอนกรีตควบคุมที่ไม่มีเถ้าปาล์มน้ำมัน ที่อายุ 7 และ 60 วัน ตามลำดับ โดยที่การแทนที่ร้อยละ 30 ยังสามารถให้กำลังอัดได้ถึงร้อยละ 99 ที่อายุ 90 วัน

ไตรเทพ และคณะ (2544) ได้ทำการทดลองนำเถ้าปาล์มน้ำมันมาใช้โดยไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ พบว่าสามารถใช้เถ้าปาล์มน้ำมันเพื่อทดแทนปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 10 คอนกรีตที่ได้จะมีค่ากำลังอัดต่ำกว่าคอนกรีตปกติร้อยละ 23.83 และมีระยะเวลาในการก่อตัวช้ากว่าปกติ 68 นาที ดังนั้นในช่วงแรกคอนกรีตที่ผสมเถ้าปาล์มจะรับกำลังอัดได้น้อยกว่าคอนกรีตที่ไม่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมัน แต่หลังจากอายุ 28 วัน คอนกรีตจะพัฒนากำลังอัดจนมีค่าใกล้เคียงหรือมากกว่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ไม่ผสมเถ้าปาล์ม นอกจากนั้นยังพบว่าเถ้าปาล์มน้ำมันซึ่งมีคุณสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลานยังช่วยลดการขยายตัวที่เกิดจากปฏิกิริยาอัลคาไลน์และซิลิกาของคอนกรีตได้อีกด้วย

ภูษิต และ อัญชิสา (ม.ป.ป.) การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุซีเมนต์เส้นใยหรือไฟเบอร์ซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติสำหรับพื้นที่ในเขตร้อนชื้น เช่น ประเทศไทย โดยเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากซีเมนต์เพสต์ผสมเส้นใยธรรมชาติอันได้แก่ ใยมะพร้าว และกากเยื่อใยปาล์ม ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมเกษตรภายในประเทศ และมีวัตถุประสงค์หลักในการใช้งานเป็นกระเบื้องหลังคาแผ่นเรียบและแผ่นผนัง เพื่อใช้ในการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร และลดการใช้พลังงาน สำ หรับระบบปรับอากาศในอาคารโดยมุ่งเน้นการศึกษาอิทธิพลของเส้นใยธรรมชาติที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติเชิงกล และคุณสมบัติทางความร้อนของผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐาน ASTM ผลจากการวิจัย พบว่า การใช้เส้นใยธรรมชาติทั้งสองประเภทในอัตราส่วนร้อยละ 5 โดยน้ำหนักซีเมนต์ในสัดส่วนผสม ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติเชิงกลตามมาตรฐานกำหนด และมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำกว่าซีเมนต์เพสต์ควบคุมถึงร้อยละ 66 ซึ่งมีผลต่อการประหยัดพลังงานสำหรับระบบปรับอากาศในอาคารพักอาศัย

กิตติศักดิ์ (ม.ป.ป.) ได้ทำการศึกษาการพัฒนาแผ่นกระเบื้องหลังคาซีเมนต์ผสมเส้นใยมะพร้าวและเส้นใยชานอ้อย โดยการนำเส้นใยมะพร้าวและเส้นใยชานอ้อยเป็นวัสดุผสมในการทำกระเบื้องหลังคาซีเมนต์และหาอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ ให้เป็นไปตามมาตรฐาน มอก.876-2547 (2547) และสมบัติเชิงกลตาม มอก.535-2540 (2540) และสมบัติเชิงความร้อน ตามมาตรฐาน ASTM C177 (2010) โดยใช้อัตราส่วนของปูนซีเมนต์ 1 ส่วน ทราย 2 ส่วน น้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.6 ส่วนโดยใช้เส้นใยมะพร้าวและเส้นใยชานอ้อยที่ร้อยละ 5 10 15 และ 20 ที่ขนาดความยาวของเส้นใย 3 5 7 และ 9 มิลลิเมตร เทียบโดยน้ำหนักเส้นใยแห้งมาผสมกับ

ปูนซีเมนต์ ทราย น้ำ แล้วนำไปอัดขึ้นรูปเป็นแผ่นกระเบื้องหลังคาซีเมนต์ ขนาดของแผ่นกระเบื้องที่ทำการขึ้นรูป 32X41X3 เซนติเมตร และมีระยะการบ่มตัวอย่างที่ 14 วันทุกอัตราส่วนผสม

3. วัตถุประสงค์

3.1 เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตกระถางคอนกรีตผสมวัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน

3.2 เพื่อศึกษาสมบัติของวัตถุดิบและกระถางต้นไม้ซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติที่เป็นวัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

4.1 เพิ่มมูลค่าให้แก่เส้นใยปาล์มน้ำมัน และเถ้าปาล์มน้ำมันที่เหลือใช้จากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

4.2 ได้ทราบปริมาณของเถ้าปาล์มน้ำมันและเส้นใยปาล์มน้ำมันที่เหมาะสมต่อการผลิตกระถางต้นไม้คอนกรีต

4.3 ลดต้นทุนในการผลิตชิ้นงานวัสดุผสมในการทดแทนซีเมนต์ด้วยเถ้าปาล์มน้ำมัน และด้วยเส้นใยปาล์มเพิ่มความแข็งแรง เนื่องจากเถ้าปาล์มน้ำมันและเส้นใยปาล์มเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ทั้งนี้ เถ้าปาล์มน้ำมัน และเส้นใยปาล์มเป็นวัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม สามารถหาได้ง่ายภายในประเทศและกำจัดได้ง่าย

4.4 สามารถพัฒนาและนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางเพื่อผลิตวัสดุผสมเถ้าและเส้นใยผสมจากธรรมชาติอื่น ๆ ให้มีสมบัติการใช้งานตรงกับความต้องการในด้านต่าง ๆ ในอนาคต

4.5 เป็นการช่วยลดปัญหาในการกำจัดการทิ้งเถ้าปาล์มน้ำมันและเส้นใยปาล์มน้ำมันจากโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อนำมาประยุกต์ใช้เป็นประโยชน์เป็นคอนกรีต

บทที่ 2
วิธีการดำเนินการวิจัย

1. อุปกรณ์

1.1 การเตรียมวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษามีดังนี้

1.1.1 บล็อกกระถางคอนกรีตขนาด 15X15X15 เซนติเมตร

1.1.2 น้ำมันดำ

1.1.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนต์ ประเภทที่ 1

1.1.4 จอบ

1.1.5 เถ้าปาล์มน้ำมัน

1.1.6 เส้นใยปาล์มน้ำมัน

1.1.7 เกียงก่ออิฐ

1.1.8 เครื่องชั่งดิจิตอล

1.1.9 ถังปูน

1.1.10 ตะแกรงร่อน เบอร์ 25 และ 325

1.1.11 น้ำ

1.1.12 กระบะผสม

1.1.13 อุปกรณ์ทดสอบหาค่าการยุบตัว

1) กรวยทดสอบ

2) เหล็กกระทุ้ง

3) ช้อนตักตัวอย่าง

4) ถาดรอง

1.1.15 อุปกรณ์ทดสอบความต้านทานแรงอัด

1) เครื่องทดสอบแรงอัด Compression Machine

2. วิธีการ

การพัฒนาคอนกรีตผสมเส้นใยธรรมชาติจากวัสดุเศษเหลือของอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันเพื่อการผลิตกระถางต้นไม้ ขั้นตอนดังนี้

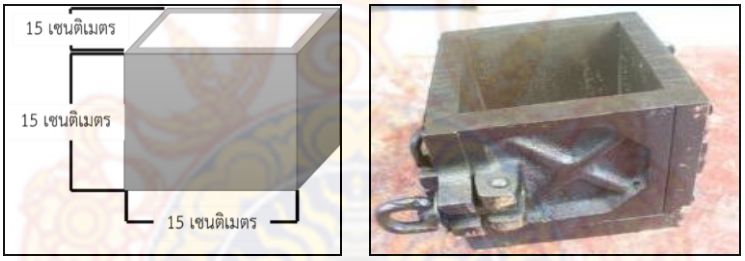
2.1 การเตรียมตัวอย่าง

2.1.1 การเตรียมเถ้าปาล์มน้ำมัน นำเถ้าปาล์มน้ำมันที่ใช้ในการศึกษานี้นำมาจากบริษัทตรังปาล์มน้ำมัน จำกัด ซึ่งเป็นโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มที่ใช้กากปาล์มน้ำมันเป็นเชื้อเพลิงในการ

ผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เทคโนโลยีการเผาไหม้ระบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed Combustion, FBC) อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาไหม้ประมาณ 700 – 1000 องศาเซลเซียส เถ้าปาล์มน้ำมันที่ใช้ในการศึกษามี 2 ขนาด โดยเริ่มจากนำเถ้าปาล์มน้ำมันที่ได้จากโรงงานโดยตรงมาร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 16 เพื่อแยกสิ่งเจือปนที่มีอนุภาคใหญ่เนื่องจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบรูณ์ออก (มีประมาณร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก) ก็จะได้เถ้าปาล์มน้ำมันขนาดหยาบ จากนั้นนำเถ้าปาล์มน้ำมันที่ผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ให้มีความละเอียดมากน้อยกว่าร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

2.1.2 การเตรียมเส้นใยปาล์มน้ำมัน นำเส้นใยปาล์ที่ได้จากเมล็ดในปาล์มที่เหลือจากกระบวนการหีบน้ำมันปาล์มลักษณะของเส้นใยปาล์มมีลักษณะเป็นฝอยขนาดเล็กเกี่ยวพันกันเป็นกลุ่ม ๆ ทำการเตรียมเส้นใยปาล์มเบื้องต้นโดยการนำเส้นใยปาล์มไปล้างทำความสะอาดเพื่อล้างเศษเนื้อปาล์มที่ติดออก จากนั้นนำเส้นใยปาล์มไปตากแดดเพื่อไล่ความชื้นให้แห้งเป็นเวลาสะสม 24 ชั่วโมง นำเส้นใยปาล์มน้ำมันให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ชิ้นขนาด 5-10 มิลิเมตร

2.1.3 เตรียมตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 15X15X15 เซนติเมตร ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 15X15X15 เซนติเมตร

2.1.3 การเตรียมตัวแม่พิมพ์ตัวบล็อกกระถางคอนกรีต กว้างXยาวXสูง ดังภาพที่6

ภาพที่ 6 แบบตัวอย่างแม่พิมพ์กระถางคอนกรีต

แหล่งที่มา: บริษัท อธิชัย บี เอล เค เอ็นจิเนียริ่ง ดีไซน์ จำกัด (2558)

2.2 ศึกษาสมบัติของวัตถุดิบ

2.2.1 ศึกษาสมบัติทางเคมีของเถ้าปาล์มน้ำมัน นำตัวอย่างเถ้าปาล์มน้ำมันเพื่อใช้ในการทดสอบองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าปาล์มน้ำมันด้วยเครื่องมือ X-Ray fluorescence หรือทำตามมาตรฐาน ASTM C 311

2.2.2 ความชื้นของเส้นใยปาล์มน้ำมัน การค่าความชื้นของเส้นใยปาล์มน้ำมัน โดยนำตัวอย่างเส้นใยปาล์มน้ำมันที่เตรียมไว้ไปชั่งน้ำหนักให้ได้ 3 กรัม โดยนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปดูดความชื่นในตู้ดูดความชื้น 30 นาที ชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปอบซ้ำอีกจนน้ำหนักลดลงคงที่ คำนวณหาปริมาณความชื้นของตัว โดยคำนวณตามสูตร ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{A - B}{A} \times 100 \quad (1)$$

A = น้ำหนักผึ่งแห้ง

B = น้ำหนักอบแห้ง

2.3 ออกแบบอัตราส่วนผสม

การผลิตกระถางคอนกรีตผสมวัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มดิบ โดยศึกษาอัตราส่วนของเถ้าปาล์มน้ำมันและเส้นใยปาล์มน้ำมันในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ซึ่งวางแผนการทดลองออกเป็น 5 ชุดการทดลอง แต่ละชุดการทดลองมี 3 ซ้ำ คือ การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าปาล์มน้ำมันในอัตราส่วนผสม 0.1 ทรายที่อัตราส่วนเท่ากันทุกชุดการทดลอง นำเส้นใยปาล์มน้ำมันเพื่อลดปริมาณหินในอัตราส่วนผสมแตกต่างกัน คือ 0.05 0.10 0.15 และ 0.20 ซึ่งมีรายละเอียดอัตราส่วนผสมในการผลิตกระถางคอนกรีตผสมวัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มดิบ รายละเอียดดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 อัตราส่วนผสมในการผลิตกระถางคอนกรีตผสมวัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มดิบ

ชุดการทดลอง	อัตราส่วนผสม[1] ปูนซีเมนต์ : เถ้าปาล์มน้ำมัน : ทราย : หิน : เส้นใยปาล์มน้ำมัน : น้ำ (มิลิลิตร)					
	ปูนซีเมนต์	เถ้าปาล์มน้ำมัน[2]	ทราย	หิน	เส้นใยปาล์มน้ำมัน	น้ำ
1 (ควบคุม) [1]	1	-	2	4	-	750
2	0.9	0.1	2	3.95	0.05	1,000
3	0.9	0.1	2	3.90	0.10	1,300
4	0.9	0.1	2	3.85	0.15	1,500
5	0.9	0.1	2	3.80	0.20	1,950

หมายเหตุ: [1]คอนกรีตเทหล่อทั่วไป อัตราส่วนผสมทั่วไป ปูน : ทราย : หิน (1 : 2 : 4) (บริษัทปอร์ตแลนด์ จำกัด, 2558)

[2]การใช้เถ้าปาล์มน้ำมัน กำหนดร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ทุกชุดการทดลอง มาตรฐานผลิตภัณฑ์ เมธ์วดี และ กัลยาณี (2558)

2.4 ทดสอบสมบัติคอนกรีตผสมวัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม

2.4.1 ทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีต

1) นำคอนกรีตที่ผสมวัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มตามอัตราส่วนต่าง ๆ ที่ได้กำหนดไว้ นำวัตถุดิบที่เตรียมไว้มาผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกัน

2) นำแบบไปชุบน้ำเพื่อให้ผิวเปียก แล้วนำไปวางบนพื้นเรียบที่ไม่ดูดซับน้ำ ใช้เท้าทั้งสอง ข้างเหยียบไว้ให้แน่น

3) ตักคอนกรีตใส่ลงในแบบให้ได้ 3 ชั้น โดยให้แต่ละชั้นมีปริมาตรเท่ากัน ๆ ใช้เหล็กกระทุ้ง กระทุ้ง 25 ครั้ง ทุกชั้น ชั้นล่างให้กระทุ้งจนสุดส่วนชั้นที่สองและชั้นที่สามให้กระทุ้งจนเหล็กผ่านไปในชั้นเดิมเล็กน้อย

4) แต่งผิวหน้าให้เรียบ โดยใช้เหล็กกระทุ้งกลิ้งดันคอนกรีตส่วนเกินปากขอบแบบออกไป

5) ค่อย ๆ ยกแบบขึ้นตามแนวดิ่งอย่างระมัดระวังไม่ให้มีการปิด และทำการวัดระยะการยุบตัวของคอนครีตรูปกรวย โดยเปรียบเทียบกับความสูงของกรวยถ้ามีการยุบตัวแบบเฉือนให้ทำซ้ำอีกครั้ง หากมีการยุบตัวเหมือนเดิมถือว่าคอนกรีตนั้นมีการยึดเหนี่ยวในเนื้อคอนกรีตต่ำ (ASTM C 192-81) ระบุว่าถ้าเป็นการยุบตัวแบบเฉือนจะนำค่าอ่านมาใช้วัดความสามารถเทได้ของคอนกรีตไม่ได้ (ธนกาญจน์, 2559)

2.5 การผลิตตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์

2.5.2 เตรียมวัตถุดิบตามอัตราส่วนต่าง ๆ ที่ได้กำหนดไว้ นำวัตถุดิบที่เตรียมไว้มาผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกัน

2.5.3 นำวัตถุดิบที่ผสมแล้วเทใส่ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 15X15X15 เซนติเมตร ที่เตรียมไว้เกลี่ยส่วนผสมให้เรียบ จากนั้นนำกระสอบป่านคลุมปิดตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ เพื่อไม่ให้เกิดการระเหยของน้ำ ทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง แกะออกจากแม่พิมพ์

2.5.4 ทำการบ่มตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์เป็นระยะเวลา 1 3 7 และ 28 วัน เพื่อทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตผสมวัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มดิบที่เหมาะสมต่อการผลิตกระถางคอนกรีต

2.6 ทดสอบคุณสมบัติตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์

2.6.1 ทดสอบหาค่าความหนาแน่นและความพรุน นำตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 15×15×15 เซนติเมตร ไปบ่มน้ำที่ระยะเวลา 28 วัน โดยนำจึงนำมาทดสอบหาค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร โดยทำการวัดปริมาตรของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ กว้าง×ยาว×สูง จากนั้นชั่งน้ำหนักที่แห้งสนิทหามวลของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ เพื่อหาความหนาแน่นเชิงปริมาตร (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) และความพรุนของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ (เปอร์เซ็นต์) คำนวณดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\text{มวลชิ้นทดสอบแห้ง}}{\text{ปริมาตรชิ้นทดสอบ}} \quad (2)$$

(กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

$$\text{ความพรุน} = \left(1 - \frac{Pd}{Pt}\right) \times 100 \quad (3)$$

Pd คือ ความหนาแน่นรวม

Pt คือ ความหนาแน่นจริง

(หน่วยเปอร์เซ็นต์)

2.6.2 ทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ

นำตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 15×15×15 เซนติเมตร ไปบ่มน้ำที่ระยะเวลา 28 วัน ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ไปตากแดดให้แห้งสนิท นำไปชั่งน้ำหนักเริ่มต้น นำตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ไปบ่มเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างขึ้น

จากน้ำเช็ดผิวให้แห้งชั่งน้ำหนัก และวัดขนาด นำข้อมูลที่ได้คำค่าการดูดซึมน้ำ ตามสูตรดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100 \quad (4)$$

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักเปียก (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักแห้ง (กรัม)

แหล่งที่มา: ดัดแปลงจาก ราชกิจจานุเบกษา 2553

2.6.3 ทดสอบหาค่าความต้านทานแรงอัด

ทำการบ่มตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 15X15X15 เซนติเมตร ระยะเวลา 1 3 7 และ 28 วัน เมื่อครบตามระยะกำหนดนำก้อนตัวอย่างไปชั่งน้ำหนักและจดบันทึกค่า หลังจากนั้นนำตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ทดสอบแรงอัดด้วยเครื่อง Compression Machine แล้วจึงยกไปวางบนแท่นกดสัมผัสหน้าแท่นทดสอบตั้งเกย์ Compression Machine ไว้ที่ขีด 0 แล้วจึงเดินเครื่องอย่างสม่ำเสมอในอัตราประมาณ 1.43 – 3.47 กิโลกรัมต่อเซนติเมตร 2 วินาที บันทึกค่าต่าง ๆ ไว้เพื่อนำไปพล๊อต Stress-Steain Curve ต่อไปเมื่อกดแท่งทดสอบจนถึง Yeild Point แล้วให้ถอดเครื่อง Compression Machine ออกแล้วค่อย ๆ เพิ่มน้ำหนักจนแตก บันทึกน้ำหนักสูงสุดที่แท่งทดสอบสามารถรับได้ ลักษณะการแตกแท่งทดสอบด้วยเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASTM C31 ดังภาพที่ 17 (ธนกาญจน์, 2559)

2.7 การผลิตกระถางคอนกรีต

การผลิตกระถางคอนกรีตผสมวัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มดิบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.7.1เลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดหรือผ่านมาตรฐาน ASTM C192-81 D792 C128 C109 นำวัตถุดิบที่เตรียมไว้มาผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกัน

2.7.2 นำวัตถุดิบที่ผสมแล้วเทใส่บล็อกกระถางคอนกรีตที่เตรียมไว้เกลี่ยส่วนผสมให้เรียบ จากนั้นนำกระสอบป่านคลุมปิดไว้ เพื่อไม่ให้เกิดการระเหยของน้ำ ทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง แกะออกจากบล็อกกระถางคอนกรีต

2.7.3 นำกระถางคอนกรีตผึ่งลมก็จะได้กระถางคอนกรีตชิ้นงานสมบูรณ์

2.8 ความสมบูรณ์ของกระถางคอนกรีต

ความสมบูรณ์ของกระถางคอนกรีตเบื้องต้นด้วยตาเปล่าจำนวน 3 ซ้ำ และทำการวัดขนาดกระถางคอนกรีต วัดความกว้าง ความยาว ความสูง และความหนา ของกระถางคอนกรีต โดยใช้ตลับเมตร

2.9 หาความหนาแน่นของกระถางคอนกรีต

นำมาทดสอบหาค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร โดยทำการวัดปริมาตรของกระถางคอนกรีต กว้างXยาวXสูง จากนั้นชั่งน้ำหนักที่แห้งสนิทหามวลของกระถางคอนกรีต เพื่อหาความหนาแน่นเชิงปริมาตรของกระถางคอนกรีต (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) คำนวณตามสูตรดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\text{น้ำหนักกระถางคอนกรีตแห้ง}}{\text{ปริมาตรของกระถางคอนกรีต (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)}} \quad (5)$$

2.10 การหาจุดคุ้มทุนของการผลิตกระถางคอนกรีต

การผลิตกระถางคอนกรีต ผู้วิจัยได้มีการหาจุดคุ้มทุนในการผลิต โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ ค่าใช้จ่ายในการผลิต และรายได้ คำนวณได้จากสมการ ดังต่อไปนี้

$$Q = F/(P-V) \quad (6)$$

Q = จุดคุ้มทุน
F = ต้นทุนคงที่รวม
P = ราคาขายสินค้าต่อหน่วย
V = ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย

3. การวิเคราะห์ผลการวิจัย

วิเคราะห์ข้อมูล การวัดขนาดความสมบูรณ์ ใช้วิธีการวิเคราะห์ หาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล จากข้อมูลสมบัติคอนกรีตผสมวัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มดิบ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และมีการทดสอบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแต่ละชนิดด้วยวิธี Duacan's New Multiple Rang Test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติคอนกรีตผสมเส้นใยธรรมชาติจากวัสดุเศษเหลือของอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันเพื่อการผลิตกระถางต้นไม้

บทที่ 3
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

การพัฒนาคอนกรีตผสมเส้นใยธรรมชาติจากวัสดุเศษเหลือของอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันเพื่อการผลิตกระถางต้นไม้ ซึ่งทำการหาศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสม และคุณสมบัติของคอนกรีตผสมเถ้าปาล์มน้ำมัน และเส้นใยปาล์มน้ำมัน ซึ่งทำการทดลอง 5 ชุดการทดลอง อัตราส่วนผสม 1 : 2 : 4 (ปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน) ตามอัตราส่วนผสมคอนกรีตทั่วไป (บริษัทปอร์ตแลนด์จำกัด, 2558) ทั้งนี้การศึกษาการแทนที่ของปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าปาล์มน้ำมัน 0.10 ทุกชุดการทดลอง เมธ์วดี และกัลยาณี (2558) และการใช้เส้นใยปาล์มน้ำมันเพื่อลดปริมาณหินย่อยในอัตราส่วนที่ต่างกัน 0.00 0.05 0.10 0.15 และ 0.20 ตามลำดับ ผลจากการวิจัยแสดงต่อไปนี้

1. คุณสมบัติของวัตถุดิบ

1.1 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าปาล์มน้ำมัน

องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าปาล์มน้ำมันจากบริษัทล่ำสูงประเทศไทยจำกัด มหาชน พบว่าเถ้าปาล์มน้ำมันมีปริมาณซิลิกอนออกไซด์ (SiO_2) 65.30 แคลเซียมออกไซด์ (CaO) 6.40 เปอร์เซ็นต์ อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) 2.50 เปอร์เซ็นต์ เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) 1.90 เปอร์เซ็นต์ และการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการการเผา (LOI) 10.00 เปอร์เซ็นต์ รายละเอียดดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 คุณสมบัติทางเคมีของเถ้าปาล์มน้ำมัน

ธาตุ	เถ้าปาล์มน้ำมัน (เปอร์เซ็นต์)
ซิลิกอนออกไซด์ (SiO_2)	65.30
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	6.40
อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3)	2.50
เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3)	1.90
การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการการเผา (LOI)	10.00

ที่มา: บริษัทล่ำสูงประเทศไทยจำกัด มหาชน (ม.ป.ป)

จากตารางที่ 7 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าปาล์มน้ำมัน พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าปาล์มน้ำมันมีปริมาณซิลิกอนออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลัก 65.30 เปอร์เซ็นต์ มีผลรวมของซิลิกอนออกไซด์ แคลเซียมออกไซด์ อะลูมิเนียมออกไซด์ และเหล็กออกไซด์ ประมาณ 76.10

เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับงานงานวิจัยของ เรืองรุชดิ์ และคณะ (2556) องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าปาล์มน้ำมัน พบว่า ซิลิกอนออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลัก 57.70 เปอร์เซ็นต์ สำหรับผลรวมของซิลิกอนออกไซด์ แคลเซียมออกไซด์ อะลูมิเนียมออกไซด์ และเหล็กออกไซด์ ประมาณ 72.00 เปอร์เซ็นต์ สำหรับปริมาณการสูญเสียน้ำหนัก เนื่องจากการเผา 10.00 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ เรืองรุชดิ์ และคณะ (2556) มีปริมาณการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา 10.50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่าค่อนข้างสูง เนื่องจากการการเผาที่สูงเกิดจากอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาไม่สูงมาก และระยะเวลาที่ใช้ในการเผาที่สั้น ชัย (2545) เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าปาล์มน้ำมันตามมาตรฐาน ASTM C618 พบว่า เถ้าปาล์มน้ำมันมีองค์ประกอบทางเคมีที่ตรงกับข้อกำหนดของวัสดุปอซโซลาน Class N ได้ ซึ่งเป็นปอซโซลานจากธรรมชาติหรือปอซโซลานจากธรรมชาติที่ผ่านขบวนการเผาแล้วเพื่อให้ได้คุณสมบัติตามต้องการ ซึ่งสามารถใช้เถ้าปาล์มน้ำมันแทนที่ปูนซีเมนต์ได้

1.2 คุณสมบัติของเส้นใยปาล์มน้ำมัน

จากการศึกษาคุณสมบัติของเส้นใยปาล์มน้ำมัน พบว่า ค่าความชื้นของเส้นใยปาล์มน้ำมัน มีค่าใกล้เคียงกันจากจำนวน 3 ซ้ำ คือ 11.54 10.68 และ 11.26 เปอร์เซ็นต์ โดยผลรวมของค่าความชื้นเฉลี่ยของเส้นใยปาล์มน้ำมัน 11.17 เปอร์เซ็นต์ รายละเอียดดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ค่าความชื้นของเส้นใยปาล์มน้ำมัน

จำนวนซ้ำ	น้ำหนักก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักหลังอบ (กรัม)	ค่าความชื้น (เปอร์เซ็นต์)
1	3.07	2.72	11.54
2	3.07	2.74	10.68
3	3.08	2.73	11.26
ค่าเฉลี่ย	3.07	2.73	11.16

2. คุณสมบัติคอนกรีตผสมวัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มดิบ

2.1 การทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีต

การทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีต เป็นการทดสอบหาค่าความข้นเหลวของคอนกรีตที่อยู่ในสภาพเหลว โดยใช้วิธีการตรวจสอบความสามารถเทได้ของคอนกรีต พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม) มีค่าการยุบตัวของคอนกรีต 7.67 ± 0.76 เซนติเมตร รองลงมาชุดการทดลองที่ 2 3 4 และ 5 มีค่าการยุบตัวของคอนกรีต 7.50 ± 1.00 6.83 ± 1.15 6.50 ± 1.00 และ 6.10 ± 0.66 เซนติเมตร ตามลำดับ รายละเอียดดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ค่าการยุบตัวของคอนกรีต

ชุดการทดลอง	อัตราส่วน หิน : เส้นใยปาล์มน้ำมัน	ค่าเฉลี่ยค่าการยุบตัว[1] ของคอนกรีต (เซนติเมตร)	ค่าแนะนำ[2] ของคอนกรีตทั่วไป
ชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม)	4.00 : 0.00	**7.67±0.76**[a]	7.50 ± 2.50
ชุดการทดลองที่ 2	3.95 : 0.05	7.50±1.00[a]	
ชุดการทดลองที่ 3	3.90 : 0.10	6.83±1.15[a]	
ชุดการทดลองที่ 4	3.85 : 0.15	6.50±1.00[a]	
ชุดการทดลองที่ 5	3.80 : 0.20	6.10±0.66[a]	

หมายเหตุ: [1]ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมัน 95 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Rang test. (DMRT)

[2] ค่าแนะนำของคอนกรีตทั่วไปสำหรับค่าการยุบตัวของคอนกรีต อ้างอิงจากสำนักชลประทานที่ 14 (2550) โดยการวิเคราะห์ตามวิธีการของ ASTM C 192-81 แตกต่าง

จากตารางที่ 9 ค่าการยุบตัวของคอนกรีตทั้ง 5 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระดับความเชื่อมัน 95 เปอร์เซ็นต์ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากแนวโน้มจากข้อมูลพบว่าชุดการทดลองที่ 2 มีค่าการยุบตัวของคอนกรีต 7.50 ± 1.00 เซนติเมตร ลักษณะการยุบตัวแบบล้มเช่นเดียวกับชุดควบคุม ซึ่งอยู่ในค่าแนะนำของคอนกรีตทั่วไป ระบุไว้ว่าการยุบตัวแบบล้ม เป็นการยุบตัวที่เกิดจากคอนกรีตที่มีความเหลว มาตรฐานได้กำหนดค่าความคลาดเคลื่อนของการยุบตัวของคอนกรีตที่ยอมรับได้ คือ 7.50 ± 2.50 เซนติเมตร แต่ชุดการทดลองที่ 3 4 และ 5 มีค่าการยุบตัวแบบเฉือน เป็นการยุบตัวที่เกิดจากการเลื่อนไถลของคอนกรีตส่วนบน โดยมีลักษณะเฉือนลงไปด้านข้าง และค่าแนะนำ ระบุว่า การยุบตัวแบบเฉือนจะไม่สามารถนำค่าที่อ่านได้มาใช้วัดความสามารถเทได้ของคอนกรีต แสดงให้เห็นว่าค่าการยุบตัวของคอนกรีตไม่ได้วัดความสามารถเทได้ของคอนกรีตโดยตรง แต่เป็นการวัดความข้นเหลวของคอนกรีต หรือลักษณะการไหลตัวของคอนกรีต ซึ่งการใช้เส้นใยปาล์มน้ำมันในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้ค่ายุบตัวของคอนกรีตลดน้อยลง เนื่องมาจากเส้นใยปาล์มน้ำมันมีน้ำหนักเบาและดูดซึมน้ำได้ดี

2.2 ความหนาแน่นของคอนกรีต

ความหนาแน่นของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 15X15X15 เซนติเมตร ผลการวิจัยพบว่า ทั้ง 5 ชุดการทดลอง มีความหนาแน่นของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์แตกต่างกัน โดยชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม) มีความหนาแน่น 2.13 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร รองลงมาชุดการทดลองที่ 2 3 4 และ 5 มีค่าความหนาแน่น 2.06 2.01 2.00 และ 1.94 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ รายละเอียดดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ความหนาแน่นของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์

ชุดการทดลอง	อัตราส่วน	ค่าความหนาแน่นของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์		ค่าแนะนำ[2]
	หิน : เส้นใยปาล์มน้ำมัน	ค่าเฉลี่ย	ค่าความหนาแน่น[1] (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	ค่าความหนาแน่นคอนกรีตทั่วไป
ชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม)	4.00 : 0.00	7160.00	2.13[a]	
ชุดการทดลองที่ 2	3.95 : 0.05	6800.00	2.06[a]	
ชุดการทดลองที่ 3	3.90 : 0.10	6660.00	2.01[a]	1.50 - 1.80
ชุดการทดลองที่ 4	3.85 : 0.15	6680.00	2.00[a]	
ชุดการทดลองที่ 5	3.80 : 0.20	6350.00	1.94[a]	

หมายเหตุ: [1]ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมัน 95 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Rang test. (DMRT)

[1]ค่าแนะนำของคอนกรีตทั่วไปสำหรับค่าความหนาแน่นของคอนกรีต อ้างอิงจาก เรืองรุชดิ์ และคณะ (2550) โดยการวิเคราะห์ตามวิธีการของ ASTM C 127

จากตารางที่ 10 ความหนาแน่นของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ พบว่าทั้ง 5 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระดับความเชื่อมัน 95 เปอร์เซ็นต์ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาค่าความหนาแน่นของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์แนวโน้มของข้อมูล พบว่าชุดการทดลองที่ 2 มีความหนาแน่นของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ 2.06 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เนื่องมาจากชุดการทดลองที่ 2 มีการแทนที่เส้นใยในอัตราส่วนผสม 0.05 เปอร์เซ็นต์ของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ใกล้เคียงชุดควบคุมมากที่สุด สำหรับชุดการทดลองที่มีค่าความหนาแน่นของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์น้อยที่สุด ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของปริมาณเส้นใยปาล์มน้ำมัน

ในอัตราส่วนผสมของคอนกรีต ส่งผลทำให้ปริมาณความหนาแน่นของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ภูษิต และ อัญชิสา (ม.ป.ป.) ทดลองใช้ตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ที่ผสมเส้นใยมะพร้าว และเส้นใยปาล์มน้ำมัน พบว่า ความหนาแน่นก็จะลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ควบคุมที่ไม่มีเส้นใย เพราะการเพิ่มขึ้นของปริมาณเส้นใยในอัตราส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์จะความหนาแน่นก็จะน้อยลง

2.3 ค่าการดูดซึมน้ำและค่าความพรุน

การทดสอบค่าการดูดซึมน้ำและความพรุนที่ระยะเวลาบ่ม 24 ชั่วโมง ของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 15X15X15 เซนติเมตร ผลการวิจัยพบว่า ชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม) มีค่าการดูดซึมน้ำ 3.55 ± 0.04 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาชุดการทดลองที่ 2 3 4 และ 5 มีค่าการดูดซึมน้ำ 4.70 ± 0.10 4.90 ± 0.15 6.22 ± 0.01 และ 7.83 ± 0.06 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับค่าความพรุน พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม) มีค่าความพรุน 7.80 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาชุดการทดลองที่ 2 3 4 และ 5 มีความพรุน 10.16 10.17 12.05 และ 15.11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ รายละเอียดดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 การดูดซึมน้ำและความพรุนของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์

ชุดการทดลอง	อัตราส่วน	การดูดซึมน้ำและความพรุน		
	หิน : เส้นใยปาล์มน้ำมัน	ค่าการดูดซึมน้ำ[1] (เปอร์เซ็นต์)	ค่าความพรุน[1] (เปอร์เซ็นต์)	ค่าแนะนำค่าดูดซึมน้ำ[2] ของคอนกรีตทั่วไป
ชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม)	4.00 : 0.00	3.55 ± 0.04[a]	7.80[a]	2.40 - 2.90
ชุดการทดลองที่ 2	3.95 : 0.05	4.70 ± 0.10[a]	10.16[b]	
ชุดการทดลองที่ 3	3.90 : 0.10	4.90 ± 0.15[a]	10.17[b]	
ชุดการทดลองที่ 4	3.85 : 0.15	6.22 ± 0.01[b]	12.05[b]	
ชุดการทดลองที่ 5	3.80 : 0.20	7.83 ± 0.06[b]	15.11[c]	
ช่วงดูดซึมน้ำและความพรุน		3.55-7.83	7.80-15.11	

หมายเหตุ: [1]ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมัน 95 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Rang test. (DMRT)

[1]ค่าแนะนำของคอนกรีตทั่วไปสำหรับค่าดูดซึมน้ำคอนกรีต อ้างอิงจากมหาวิยาลัยเชียงใหม่ (2550) โดยการวิเคราะห์ตามวิธีการของ ASTM C 128

จากตารางที่ 11 การดูดซึมน้ำและค่าความพรุน พบว่าทั้ง 5 ชุดการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติระดับความเชื่อมัน 95 เปอร์เซ็นต์ ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ที่ผสมเส้นใยปาล์มน้ำมันในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น ค่าการดูดซึมน้ำและความพรุนเพิ่มมากขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบกับตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ที่ชุดควบคุม จะเห็นได้ว่าชุดการทดลองที่ 5 จะมีค่าการดูดซึมน้ำและค่าความพรุนมากที่สุด คือ 7.83 ± 0.06 เปอร์เซ็นต์ และ 15.11 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของภูษิต และ อัญชิสา (ม.ป.ป.) ทดลองใช้ตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ที่ผสมเส้นใยมะพร้าว และเส้นใยปาล์มน้ำมัน มีความสามารถในการดูดซึมน้ำและความพรุนเพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ควบคุมที่ไม่มีเส้นใย เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณเส้นใยในส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์ การดูดซึมน้ำและความพรุนเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามจากค่าแนะนำค่าการดูดซึมน้ำและของคอนกรีตทั่วไปควนมีค่าอยู่ในช่วง 2.40-2.90 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าการดูดซึมน้ำจากการทดลองมีค่าการดูดซึมน้ำ 3.55-7.83 เปอร์เซ็นต์ มากกว่าค่าแนะนำกำหนด ซึ่งเป็นผลจากค่าความพรุนที่มีค่าสูงหรือเป็นผลจากที่มีเส้นใยปาล์มน้ำมันใช่เป็นวัตถุดิบมีการดูดซึมน้ำสูง และค่าความพรุนก็จะมีค่าสูงตามไปด้วย

2.3 ความต้านทานแรงอัด

จากการทดสอบค่าความต้านทานแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 15X15X15 เซนติเมตร ที่ทำการทดสอบค่าความต้านทานแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ที่บ่มไว้เป็นระยะเวลา 1 3 7 และ 28 วัน ผลการวิจัยพบว่าที่บ่มที่ 1 วัน (ชุดควบคุม) มีค่าความต้านทานแรงอัด 120.00 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร รองลงมาชุดการทดลองที่ 2 3 4 และ 5 มีค่าความต้านทานแรงอัด 56.70 30.00 20.00 และ 10.00 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ บ่มที่ 3 วัน (ชุดควบคุม) มีค่าความต้านทานแรงอัด 120.00 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร รองลงมาชุดการทดลองที่ 2 3 4 และ 5 มีค่าความต้านทานแรงอัด 56.70 26.70 10.00 และ 10.00 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ บ่มที่ 7 วัน (ชุดควบคุม) มีค่าความต้านทานแรงอัด 130.00 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร รองลงมาชุดการทดลองที่ 2 3 4 และ 5 มีค่าความต้านทานแรงอัด 80.00 40.00 20.00 และ 10.00 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ บ่มที่ 28 วัน (ชุดควบคุม) มีค่าความต้านทานแรงอัด 240.00 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร รองลงมาชุดการทดลองที่ 2 3 4 และ 5 มีค่าความต้านทาน 103.30 43.30 23.30 และ 16.70 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ รายละเอียดดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ความต้านทานแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ระยะเวลาบ่มที่ 1 3 7 และ 28 วัน

ชุดการทดลอง	อัตราส่วน	กำลังรับแรงอัด[1] (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)				ค่าแนะนำ[2] ค่ากำลังรับแรงอัดคอนกรีตทั่วไป
	หิน : เส้นใยปาล์มน้ำมัน	ระยะเวลาบ่มที่ 1 วัน	ระยะเวลาบ่มที่ 3 วัน	ระยะเวลาบ่มที่ 7 วัน	ระยะเวลาบ่มที่ 28 วัน	
ชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม)	4.00 : 0.00	120.00[a]	120.00[a]	130.00[a]	240.00[a]	ไม่น้อยกว่า 150
ชุดการทดลองที่ 2	3.95 : 0.05	56.70[b]	56.70[b]	80.00[b]	103.30[b]	
ชุดการทดลองที่ 3	3.90 : 0.10	30.00[c]	26.70[b]	40.00[b]	43.30[b]	
ชุดการทดลองที่ 4	3.85 : 0.15	20.00[d]	10.00[d]	20.00[d]	23.30[d]	
ชุดการทดลองที่ 5	3.80 : 0.20	10.00[e]	10.00[e]	10.00[e]	16.70[e]	

หมายเหตุ: [1]ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมัน 95 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Rang test. (DMRT)

[2]ค่าแนะนำของคอนกรีตทั่วไปสำหรับค่าดูดซึมน้ำคอนกรีต อ้างอิงจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ม.ป.ป.) โดยการวิเคราะห์ตามวิธีการของ ASTM C 129

จากตารางที่ 12 ความต้านทานแรงอัด พบว่าทั้ง 5 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระดับความเชื่อมัน 95 เปอร์เซ็นต์ บ่มที่ระยะเวลา 1 3 7 และ 28 วันความต้านทานแรงอัดเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่ม ระยะเวลาการบ่มที่เหมาะสมคือ บ่มที่ 28 วัน มีค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุด จะเห็นได้ว่า ชุดการทดลองที่ 2 มีความต้านทานแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ 103.30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และการใช้เส้นใยปาล์มน้ำมันเพื่อลดปริมาณหินย่อยในอัตราส่วนผสม 0.05 จึงทำให้ชุดการทดลองที่ 2 มีค่าความต้านทานแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ใกล้เคียงกับชุดควบคุมมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ภูษิต และอัญชิสา (ม.ป.ป.) ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ พบว่า ความต้านทานแรงอัดของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมเส้นใยปาล์มและที่ผสมเส้นใยมะพร้าวมีแนวโน้มลดลง และค่าที่ได้ไม่แตกต่างกันมากนัก อันเนื่องมาจากผลของคุณสมบัติทางกายภาพที่มีความแตกต่างกันไม่มาก ค่าความต้านทานแรงอัดของซีเมนต์เพสต์ผสมเส้นใยธรรมชาติมีแนวโน้มลดลง เมื่อมีการเพิ่มปริมาณของเส้นใย ประพนธ์ (2555) เปรียบเทียบความต้านทานแรงอัดที่อายุ 7 14 และ 28 วัน พบว่าความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตธรรมดามีการพัฒนาความต้านทานแรงอัดเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่ม และคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กมีแนวโน้มการพัฒนาความต้านทานแรงอัดทั้งคอนกรีตธรรมดาและ

คอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กเป็นปฏิภาคโดยตรงกัน ซึ่งคอนกรีตธรรมดาที่ 28 วัน มีค่าเฉลี่ยกำลังอัดเพิ่มขึ้น

3. อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดต่อการผลิตกระถางคอนกรีต

จากการทดสอบด้วยตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 15X15X15 เซนติเมตร พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด คือ ชุดการทดลองที่ 2 มีอัตราส่วนผสม ปูนซีเมนต์ : เถ้าปาล์มน้ำมัน : ทราย : หิน : เส้นใยปาล์มน้ำมัน (0.90 : 0.10 : 2.00 : 3.90 : 0.05) โดยพิจารณาจากค่าการยุบตัวของคอนกรีต ค่าความหนาแน่น ค่าการดูดซึมน้ำ ค่าความพรุน และค่าความต้านทานแรงอัดเนื่องจากมีค่าใกล้เคียงกับชุดควบคุมมากที่สุดในการนำมาผลิตเป็นกระถางคอนกรีต ซึ่งมีอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับในการผลิตกระถางคอนกรีตใช้บล็อกกระถางคอนกรีตขนาดความกว้าง 30.00 เซนติเมตร ความยาว 30.00 เซนติเมตร (ปากกระถางคอนกรีตด้านบน) สูง 40.00 เซนติเมตร หนา 2.30 เซนติเมตร ซึ่งความกว้าง ยาว ของปากกระถางคอนกรีตด้านล่าง 23.00 เซนติเมตร โดยใช้อัตราส่วนผสม ปูนซีเมนต์ : เถ้าปาล์มน้ำมัน : ทราย : หิน : เส้นใยปาล์มน้ำมัน (3.40 : 0.10 : 5.00 : 9.95 : 0.05) ซึ่งทำการศึกษาความสมบูรณ์ของกระถางคอนกรีต ความหนาแน่นของกระถางคอนกรีต และจุดคุ้มทุนของกระถางคอนกรีต รายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 ความสมบูรณ์ของกระถางคอนกรีต

การทดสอบความสมบูรณ์ของกระถางคอนกรีต โดยทำการวัดขนาดความกว้าง ยาว สูง และหนา ทั้งด้านนอกและด้านในของกระถางคอนกรีต พบว่ากระถางคอนกรีตมีความสมบูรณ์ โดยมีขนาดความกว้าง ความยาว (ปากกระถางคอนกรีตด้านบนด้านล่าง) ความสูง และความหนา รายละเอียดดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ค่าความความสมบูรณ์ของกระถางคอนกรีต

ปูนซีเมนต์ : เถ้าปาล์มน้ำมัน : ทราย : หิน : เส้นใยปาล์มน้ำมัน	ค่าเฉลี่ยขนาดของกระถางคอนกรีต (เซนติเมตร)							
	ความกว้าง - ยาวบน		ความกว้าง - ยาวล่าง		ความสูง		หนา	ปริมาตร (ลูกบาศก์เซนติเมตร)
	ด้านนอก	ด้านใน	ด้านนอก	ด้านใน	ด้านนอก	ด้านใน		
3.40 : 0.10 : 5.00 : 9.95 : 0.05	30.00	25.00	23.00	16.70	40.00	37.80	2.30	11,6.3.82

หมายเหตุ : ภาคผนวก ฉ

จากตารางที่ 13 ความความสมบูรณ์ของกระถางคอนกรีต พบว่า กระถางคอนกรีตที่ผลิตได้มีความสมบูรณ์ แต่พบว่ารูปทรงบริเวณปากกระถางคอนกรีตมีการแตกหักเล็กน้อย ผิวข้าง

นอกและข้างในของกระถางคอนกรีตไม่เรียบเนื่องจากมีการใช้เส้นใยปาล์มน้ำมันเป็นวัสดุทดแทน แต่อย่างไรก็ตาม มีขนาดความกว้างความยาว ความสูง และความหนา ได้ขนาดที่ทำการออกแบบไว้

3.2 ความหนาแน่นของกระถางคอนกรีต

จากการทดสอบหาค่าความหนาแน่นของกระถางคอนกรีต พบว่า ค่าความหนาแน่นของกระถางคอนกรีต เท่ากับ 1.67 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร รายละเอียดดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ค่าความหนาแน่นของกระถางคอนกรีต

ปูนซีเมนต์ : เถ้าปาล์มน้ำมัน : ทราย : หิน : เส้นใยปาล์มน้ำมัน	ค่าเฉลี่ยของกระถางคอนกรีต (กรัม)	ปริมาตรของกระถางคอนกรีต (ลูกบาศก์เซนติเมตร)	ค่าความหนาแน่นของกระถางคอนกรีต (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	ค่าแนะนำค่าเฉลี่ยค่าความหนาแน่น (กรัมต่อ ลูกบาศก์เซนติเมตร)
3.40 : 0.10 : 5.00 : 9.95 : 0.05	19,400.00	11,603.82	1.67	1.50 - 1.80

หมายเหตุ : ภาคผนวก ช

จากตารางที่ 14 ค่าความหนาแน่นของกระถางคอนกรีต พบว่า ความหนาแน่นของกระถางคอนกรีตที่ผลิตได้

3.3 จุดคุ้มทุนของกระถางคอนกรีต

การพัฒนาคอนกรีตผสมเส้นใยธรรมชาติจากวัสดุเศษเหลือของอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันเพื่อการผลิตกระถางต้นไม้ จากการศึกษาได้มีการวิเคราะห์ ต้นทุนของการผลิตกระถางคอนกรีต เพื่อหาจุดคุ้มทุนในการผลิตกระถางคอนกรีต รายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.1 ต้นทุนของการผลิตกระถางคอนกรีต

ต้นทุนในการผลิตกระถางคอนกรีตขึ้นอยู่กับราคาวัสดุที่ใช้ในการผลิต ซึ่งประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ เถ้าปาล์มน้ำมัน ทราย หิน เส้นใยปาล์มน้ำมัน และน้ำ โดยหาต้นทุนในการผลิตกระถางคอนกรีต 1 ใบ พบว่ากระถางคอนกรีตชุดควบคุมจะมีราคา 44.07 บาทต่อใบ สำหรับกระถางชุดที่ใช้อัตราส่วนผสมเถ้าปาล์มน้ำมันแทนที่ปูนซีเมนต์ และใช้เส้นใยปาล์มน้ำมันลดปริมาณการใช้หินย่อย (3.40 : 0.10 : 5.00 : 9.95 : 0.05) มีราคาประมาณ 43.70 บาทต่อใบ รายละเอียดดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ต้นทุนการผลิตกระถางคอนกรีต

รายการ	ราคา : กระถางคอนกรีต 1 กระถาง (บาท)	
	ปูนซีเมนต์ : เถ้าปาล์มน้ำมัน : ทราย : หิน : เส้นใยปาล์มน้ำมัน	
	ชุดควบคุม (1 : 2 : 4)	(3.40 : 0.10 : 5.00 : 9.95 : 0.05)
1. ปูนซีเมนต์	9.45	9.18
2. เถ้าปาล์มน้ำมัน	0.00	0.00
3. ทราย	11.50	11.50
4. หินย่อย	23.00	22.89
5. เส้นใยปาล์มน้ำมัน	0.00	0.00
6. น้ำ	0.12	0.13
รวม	**44.07**	**43.70**

หมายเหตุ : ภาคผนวก ซ

จากตารางที่ 15 ต้นทุนของการผลิตกระถางคอนกรีต เมื่อทำการเปรียบเทียบต้นทุนในการผลิตกระถางคอนกรีตมีราคาแตกต่างกัน 0.37 บาท เนื่องจากมีการแทนเถ้าปาล์มน้ำมัน และเส้นใยปาล์มน้ำมัน ในปริมาณน้อยทำให้ราคาต้นทุนในการผลิตไม่แตกต่างกัน

3.3.2 จุดคุ้มทุนในการผลิตกระถางคอนกรีต

จุดคุ้มทุนในการผลิตกระถางคอนกรีต เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาระดับการขายก่อให้เกิดรายได้ และคุ้มทุนในการขาย ผลจากการศึกษาพบว่าคุ้มทุนในการขาย 33.24 บาท รายละเอียดดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 จุดคุ้มทุนในการผลิตกระถางคอนกรีต

ต้นทุนคงที่ (บาท)	ราคาขายต่อใบ (บาท)	ต้นทุนแปรผัน (บาท)	จุดคุ้มทุน (บาท)
4,530.00	180.00	43.70	33.24

หมายเหตุ : ภาคผนวก ฌ

จากตารางที่ 16 ราคาต้นทุนในการผลิตกระถางคอนกรีต พบว่า การผลิตกระถางคอนกรีต มีต้นทุนคงที่ (F) คือ ค่าจ้างแรงงาน 4,500.00 บาทต่อเดือน ค่าน้ำในผลิตกระถางคอนกรีตวันละ 8 ใบ 1 เดือน จะจ่ายค่าน้ำ 30.00 บาท ราคาขายต่อใบ (P) เท่ากับ 180.00 บาท ต้นทุนในการผลิตกระถาง 1 ใบ (V) เท่ากับ 43.70 บาท

บทที่ 4
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การพัฒนาคอนกรีตผสมเส้นใยธรรมชาติจากวัสดุเศษเหลือของอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันเพื่อการผลิตกระถางต้นไม้ทำการทดลองทั้งหมด 5 ชุดการทดลอง มีอัตราส่วนผสม 1 : 2 : 4 (ปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน) โดยในการทดลองใช้การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าปาล์มน้ำมันในอัตราส่วนผสม 0.10 ทุกชุดการทดลอง และศึกษาการใช้เส้นใยปาล์มน้ำมันเพื่อลดปริมาณหินย่อยในอัตราส่วนผสม 0.00 0.05 0.10 0.15 และ 0.20 ซึ่งทำการศึกษาคุณสมบัติโดยใช้ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 15X15X15 เซนติเมตร ผลจากการศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ คือ ค่าการยุบตัวของคอนกรีต ค่าความต้านทานแรงอัดที่อายุ 1 3 7 และ 28 วัน ค่าความหนาแน่น ค่าความพรุน และค่าการดูดซึมน้ำ พบว่าการผลิตตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ เมื่อทำการเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ซึ่งชุดการทดลองที่ 2 มีค่าใกล้เคียงกับชุดควบคุมมากที่สุด โดยชุดการทดลองที่ 2 มีค่าการยุบตัว มีค่า 7.50 เซนติเมตร ค่าความต้านทานแรงอัดเหมาะสมที่สุดบ่มที่อายุ 28 วัน มีค่า 103 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าความหนาแน่น 2.06 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าความพรุน 10.16 เปอร์เซ็นต์ ค่าการดูดซึมน้ำ 4.70 ± 0.10 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพิจารณาจากคุณสมบัติต่าง ๆ คือ ค่าการยุบตัวของคอนกรีต ค่าความต้านทานแรงอัด ค่าความหนาแน่น ค่าความพรุน และค่าการดูดซึมน้ำ เพื่อเลือกอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด พบว่า ชุดการทดลองที่ 2 เป็นอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับผลิตกระถางคอนกรีต มีอัตราส่วนผสม ปูนซีเมนต์ : เถ้าปาล์มน้ำมัน : ทราย : หิน : เส้นใยปาล์มน้ำมัน (3.40 : 0.10 : 5.00 : 9.95 : 0.05) กระถางคอนกรีตมีความสมบูรณ์สามารถขึ้นรูปได้ มีค่าความหนาแน่น เท่ากับ 1.67 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อพิจารณาต้นทุนในการผลิตมีราคาต้นทุนใบละ 43.70 บาท สำหรับประโยชน์จากการผลิตกระถางคอนกรีต ช่วยในการลดปริมาณการใช้น้ำในการลดน้ำต้นไม้ เนื่องจากกระถางคอนกรีตมีคุณสมบัติในการกักเก็บน้ำและลดการระเหยของน้ำ

ข้อเสนอแนะ

1. กระถางคอนกรีตที่ใช้เส้นใยปาล์มน้ำมันเป็นวัสดุทดแทนมีน้ำหนักเบาและมีสมบัติสามารถดูดซึมน้ำได้ดี

3. กระถางคอนกรีตควรเกาะเมื่อกระถางแห้งสนิทออกจากบล็อกเพราะสามารถนำออกได้โดยง่าย

4. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในการเพิ่มเส้นใยปาล์มน้ำมันในอัตราส่วนผสมที่เพิ่มขึ้น โดยศึกษาคุณสมบัติของเส้นใยปาล์มน้ำมันในการกักเก็บความชื้นและดูดซึมน้ำได้ดี จากการผลิตกระถางคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์อื่น ๆ

บรรณานุกรม

กิตติศักดิ์ บัวศรี. การพัฒนาแผ่นกระเบื้องหลังคาซีเมนต์ผสมเส้นใยมะพร้าวและเส้นใยชานอ้อย. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : **http://www.kanpoly.ac.th/kan/data/research_1417705481_vijai2.pdf.** (15 ธันวาคม 2559)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ม.ป.ป. งานก่อMasonry. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: **http://www.edu.chula.ac.th/edhome/pasadu_01/Specification.pdf** (9 พฤศจิกายน 2559)

ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. 2545. **เถ้าปาล์มน้ำมัน : วัสดุปอซโซลานในอนาคตสำหรับคอนกรีต**. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธัญบุรี.

ชุติกาญจน์ แผนประดิษฐ์ชาญ ปาลิดา จอกสูงเนิน และสถิตพงษ์ มะนิยม. กระถางต้นไม้ซีเมนต์ผสมใยมะพร้าว. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : **bt.ac.th/new/sites/default/files/2.%20กระถางต้นไม้ซีเมนต์ผสมใยมะพร้าว.pdf** (1 ธันวาคม 2559)

ณปภัช พิมพ์ดี. 2558. เคมีกับเซรามิกส์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : **http://www.scimats.org/socialnetwork/groups/viewbulletin/1358** (15 ตุลาคม 2559)

ไตรเทพ แสนวงศ์, สุภาพร เขื่อนขันธ์ และ โสภน มุสิกะสังข์. 2544. **รายงานโครงงานเรื่องการศึกษากำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมด้วยขี้เถ้าปาล์มและขี้เถ้าไม้ยางพารา**. ภาควิชาครุศาสตร์โยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ธนกาญจน์ สำเภาลอย. ทดสอบการหาค่าการยุบตัวของคอนกรีต. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก **: http://mixdesign.cmtc.ac.th/project10/index.html.** (15 ธันวาคม 2559)

ประชุม คำพุฒ และ กิตติพงษ์ สุวิโร. 2553. **การศึกษาคอนกรีตมวลผสมเถ้าแกลบแผ่นยางธรรมชาติ.** ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

ปิยนุช ม่วงทอง ธีรินทร์ คงพันธุ์ และ บวรกิตติ์ เนคมานุรักษ์. 2557. อิทธิพลของวัสดุปอซโซลาน ประเภทวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของอิฐดินซีเมนต์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้ จาก : **http://repository.rmutr.ac.th/bitstream/handle/123456789/64/Fulltext.pdf?sequence=1&isAllowed=y** (15 ตุลาคม 2559)

พลฉัตร ตันเสถียร. 2556. **การศึกษาสมบัติรของเถ้าปาล์มน้ำมันจากหลายแหล่งเพื่อใช้ในงานคอนกรีต.** ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์ และ อัญชิสา สันติจิตโต. คุณสมบัติของวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติจากเส้นใยมะพร้าวและเส้นใยปาล์มเพื่อผลิตวัสดุก่อสร้าง. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : **http://www.tds.tu.ac.th/jars/download/jars/v91/08%20Properties%20of%20natural%20cement%20materials_Anchisa.pdf**. (15 ธันวาคม 2559)

มหาวิยาลัยเชียงใหม่. 2550. วัสดุงานโรงสร้างและวิธีการทดสอบ. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิยาลัยเชียงใหม่.

มาตรฐานงานคอนกรีต และคอนกรีตเสริมเหล็ก. มทช. 101-2545. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : **file:///C:/Users/Admin/Desktop/New%20folder%20(20)/1_lek.pdf** (15 ธันวาคม 2559)

เมธ์วดี แก้วพิทักษ์ และ กัลยาณี ติ้นชุ่ย. 2558. **ปริมาณที่เหมาะสมของเถ้าปาล์มน้ำมันสำหรับการผลิตแผ่นคอนกรีตปูพื้นทางเท้า.** สาขาสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การประมง.

วินิต ช่อวิเชียร. 2529. **คอนกรีตเทคโนโลยี.** พิมพ์ครั้งที่7. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

วิศวกรรมโยธา. ม.ป.ป. การบ่มคอนกรีต. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : **http://www.civilclub.net** (4 ตุลาคม 2559)

วีรชาติ ตั้งจิรภัทร ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และ ไกรวุติ เกียรติโกมล. 2546. **การใช้เถ้าปาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบเปลือกไม้ในการทำคอนกรีตกำลังสูง**. วิศวกรรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา. 14(2) : 27-32.

เรืองรุชดิ์ ชีระโรจน์ ลดาวัลย์ สินสุพรรณ์ วริญญา ใจใส และ ทิพนภา ทองโชติ. **http://sungkomonline.com/file/Webboard_ans.php?webID=11&pageID=3&ques tionID=24** (25 พฤษภาคม 2560)

สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ เจิดจรรย์ ศิริวงศ์ ประโยค เอื้อกฤดาธิการ สุธีระ ทองขาว อุดมศักดิ์ ชูโตชนะ และ สุภาวี วงศ์หิรัญเดชา. 2543. **รายงานการติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากปาล์มน้ำมันในจังหวัดสุราษฎร์ธานีและกระบี่.** สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 1

ส่วนวิจัยและพัฒนาด้านวิศวกรรมสำนักวิจัยและพัฒนากรมชลประทาน. 2559. มาตรฐานวัสดุงานคอนกรีต หินใหญ่ และ หินย่อย. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : **http://www.civilclub.net.** (15 ธันวาคม 2559)

สำนักชลประทานที่ 14. 2550. รายงานผลการทดสอบคากำลังอัดของตัวอยางแทงคอนกรีต. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : **http://kmcenter.rid.go.th/kmc14/check/check2.pdf** (25 พฤษภาคม 2560)

สำนักงานเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน. 2540. กฎหมายที่เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมโรงงาน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : **http://www2.diw.go.th/env/admin/html/law.html** (16 กันยายน 2559)

สำนักหอสมุดมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. ม.ป.ป. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : **http://digi.library.tu.ac.th/thesis/en/0509/04chapter3.pdf** (16 กันยายน 2559)

สุรพันธ์ สุคันธปรีย์ม ชรินทร์ นมรักษ์ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. 2545. **การใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าปาล์ม้ำมันในงานคอนกรีต.** การประชุมใหญ่ทางวิศวกรรม. 191-199 น.

สุรินทร์ มายูร. 2550. **การศึกษาอิทธิพลของเถ้าปาล์มน้ำมันจากแหล่งต่างๆ ของภาคใต้ตอนบนต่อคุณสมบัติของมอร์ต้าร์ปอร์ตแลนซีเมนต์.** วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรอุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

อรรคเดช ฤกษ์พิบูลย์. เถ้าชานอ้อยและเถ้าปาล์มน้ำมัน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : **file:///C:/Users/Admin/Downloads.** (15 ธันวาคม 2559)

อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน. **กรรมวิธีการผลิต.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : **http://www2.diw.go.th/I_Standard/Web/pane_files/Industry13.asp.** (1 ธันวาคม 2559)

Bentur A. and Mindess S. **Fiber Reinforced Cementitious Composites**. Journal of Cement and Concrete Research. 20 (1990) : 324-340.

Chavlaparit,O. Rulkens, W.H. Mol, A.P.J.and Khaodhair, S. 2006. **Options for Environmental Sustainability of the Crude Palm Oil Industry in Thailand though Enhancement of industrial ecosystems.** Department of Environmental and Hazardous, Environmental Technology, Waste Management, Social Sciences, Environment Development and Sustainability 2006; 8(2) : 271–287

Kriker. A., Debicki, G., Bali, A., Khenfe, M. M., & Chabannet, M. (2005). **Mechanical properties of date palm fibres and concrete reinforced with date palm fibres in hot-dry climate.** Cement and Concrete Composite, 27(5), 554-564

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ผลการทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีต

ตารางผนวกที่ ก1 ผลการทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีต

ชุดการทดลอง	อัตราส่วน	จำนวนซ้ำ	การทดสอบค่ายุบตัว (เซนติเมตร)	
	หิน : เส้นใยปาล์มน้ำมัน		ค่าเฉลี่ย	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม)	4.00 : 0.00	1 2 3	7.67	0.76
ชุดการทดลองที่ 2	3.95 : 0.05	1 2 3	7.50	1.00
ชุดการทดลองที่ 3	3.90 : 0.10	1 2 3	6.83	1.15
ชุดการทดลองที่ 4	3.85 : 0.15	1 2 3	6.50	1.00
ชุดการทดลองที่ 5	3.80 : 0.20	1 2 3	6.10	0.66

ภาคผนวก ข
ผลการทดสอบความหนาแน่น

ตารางผนวกที่ ข1 ผลการทดสอบความหนาแน่น

ชุดการทดลอง	อัตราส่วน หิน : เส้นใยปาล์มน้ำมัน	จำนวนซ้ำ	ปริมาตรของชิ้นทดสอบ (เซนติเมตร) ความกว้าง	ความยาว	ความสูง	ค่าเฉลี่ย	น้ำหนักแห้งของชิ้นทดสอบ (กรัม)	ค่าเฉลี่ย	ค่าความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)
ชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม)	4.00 : 0.00	1	15.00	15.00	15.00	3,360.00	7,230.00	7,160.00	2.13
		2	15.00	14.90	15.00		7,312.00		
		3	15.00	15.00	14.90		7,456.00		
ชุดการทดลองที่ 2	3.95 : 0.05	1	15.00	15.00	14.90	3,308.00	6,981.00	6,800.00	2.06
		2	14.70	15.00	14.80		7,071.00		
		3	15.00	15.00	14.70		7,012.00		
ชุดการทดลองที่ 3	3.90 : 0.10	1	14.80	14.8	14.90	3,315.00	6,956.00	6,660.00	2.01
		2	14.90	15.00	15.00		6,555.00		
		3	14.90	15.00	14.90		6,701.00		
ชุดการทดลองที่ 4	3.85 : 0.15	1	15.00	15.00	15.00	3,345.00	6,654.00	6,680.00	2.00
		2	15.00	14.90	14.90		6,656.00		
		3	14.90	15.00	14.90		6,453.00		
ชุดการทดลองที่ 5	3.80 : 0.20	1	14.10	14.80	15.00	3,272.00	6,170.00	6,350.00	1.94
		2	14.30	13.20	14.90		6,252.00		
		3	14.00	14.00	14.90		6,350.00		

ภาคผนวก ค
ผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ

ตารางผนวกที่ ค1 ผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ ระยะเวลา 24 ชั่วโมง

ชุดการทดลอง	อัตราส่วน หิน : เส้นใยปาล์มน้ำมัน	จำนวนซ้ำ	ค่าการดูดซึมน้ำ (เปอร์เซ็นต์) น้ำหนักก่อนชั่ง (กิโลกรัม)	น้ำหนักหลังชั่ง (กิโลกรัม)	ค่าเฉลี่ย
ชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม)	4.00 : 0.00	1	7.23	7.63	3.55
		2	7.31	7.52	
		3	7.46	7.62	
ชุดการทดลองที่ 2	3.95 : 0.05	1	6.98	7.58	4.70
		2	7.07	7.25	
		3	7.01	7.23	
ชุดการทดลองที่ 3	3.90 : 0.10	1	6.97	7.53	4.90
		2	6.56	6.75	
		3	6.70	6.93	
ชุดการทดลองที่ 4	3.85 : 0.15	1	6.65	6.96	6.22
		2	6.66	6.91	
		3	6.45	7.12	
ชุดการทดลองที่ 5	3.80 : 0.20	1	6.17	6.64	7.83
		2	6.26	6.66	
		3	6.35	6.95	

ภาคผนวก ง
ผลการทดสอบค่าความพรุน

ตารางผนวกที่ ง1 ผลการทดสอบค่าความพรุน

ชุดการทดลอง	ความหนาแน่นรวม (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	ความหนาแน่นจริง (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	ความพรุน (เปอร์เซ็นต์)
ชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม)	2.18	2.36	7.80
ชุดการทดลองที่ 2	2.12	2.36	10.11
ชุดการทดลองที่ 3	2.03	2.26	11.17
ชุดการทดลองที่ 4	1.97	2.24	12.05
ชุดการทดลองที่ 5	1.91	2.50	15.11

ภาคผนวก จ
ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์

ตารางผนวกที่ จ1 ค่าความต้านทานแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ ระยะเวลาบ่มที่ 1 วัน

ชุดการทดลอง	อัตราส่วน หิน : เส้นใยปาล์มน้ำมัน	จำนวนซ้ำ	น้ำหนักก่อนบ่มและหลังบ่ม (กิโลกรัม) ระยะเวลาก่อน บ่ม 1 วัน	ระยะเวลาหลัง บ่ม 1 วัน
ชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม)	4.00 : 0.00	1	7.53	7.67
		2		
		3		
ชุดการทดลองที่ 2	3.95 : 0.05	1	7.00	7.44
		2		
		3		
ชุดการทดลองที่ 3	3.90 : 0.10	1	6.68	7.24
		2		
		3		
ชุดการทดลองที่ 4	3.85 : 0.15	1	6.40	7.16
		2		
		3		
ชุดการทดลองที่ 5	3.80 : 0.20	1	6.06	6.66
		2		
		3		

ตารางผนวกที่ จ2 ค่าความต้านทานแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ ระยะเวลาบ่มที่ 3 วัน

ชุดการทดลอง	อัตราส่วน หิน : เส้นใยปาล์มน้ำมัน	จำนวนซ้ำ	น้ำหนักก่อนบ่มและหลังบ่ม (กิโลกรัม) ระยะเวลาก่อนบ่ม 3 วัน	ระยะเวลาหลังบ่ม 3 วัน
ชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม)	4.00 : 0.00	1	7.68	7.82
		2		
		3		
ชุดการทดลองที่ 2	3.95 : 0.05	1	7.49	7.57
		2		
		3		
ชุดการทดลองที่ 3	3.90 : 0.10	1	7.47	7.55
		2		
		3		
ชุดการทดลองที่ 4	3.85 : 0.15	1	7.04	7.08
		2		
		3		
ชุดการทดลองที่ 5	3.80 : 0.20	1	6.77	6.72
		2		
		3		

ตารางผนวกที่ จ3 ค่าความต้านทานแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตรูปลูกบาศก์ ระยะเวลาบ่มที่ 7 วัน

ชุดการทดลอง	อัตราส่วน หิน : เส้นใยปาล์มน้ำมัน	จำนวนซ้ำ	น้ำหนักก่อนบ่มและหลังบ่ม (กิโลกรัม) ระยะเวลาก่อนบ่ม 7 วัน	ระยะเวลาหลังบ่ม 7 วัน
ชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม)	4.00 : 0.00	1	7.65	7.81
		2		
		3		
ชุดการทดลองที่ 2	3.95 : 0.05	1	7.12	7.63
		2		
		3		
ชุดการทดลองที่ 3	3.90 : 0.10	1	6.52	7.48
		2		
		3		
ชุดการทดลองที่ 4	3.85 : 0.15	1	6.40	6.94
		2		
		3		
ชุดการทดลองที่ 5	3.80 : 0.20	1	6.11	6.74
		2		
		3		

ตารางผนวกที่ จ4 ค่าความต้านทานแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตรูปลูกบาศก์ ระยะเวลาบ่มที่ 28 วัน

ชุดการทดลอง	อัตราส่วน หิน : เส้นใยปาล์มน้ำมัน	จำนวนซ้ำ	น้ำหนักก่อนบ่มและหลังบ่ม (กิโลกรัม) ระยะเวลาก่อนบ่ม 28 วัน	ระยะเวลาหลังบ่ม 28 วัน
ชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม)	4.00 : 0.00	1	7.64	7.70
		2		
		3		
ชุดการทดลองที่ 2	3.95 : 0.05	1	7.34	7.37
		2		
		3		
ชุดการทดลองที่ 3	3.90 : 0.10	1	6.99	7.03
		2		
		3		
ชุดการทดลองที่ 4	3.85 : 0.15	1	6.93	6.97
		2		
		3		
ชุดการทดลองที่ 5	3.80 : 0.20	1	6.51	6.59
		2		
		3		

หมายเหตุ : [1]คอนกรีตเทหล่อทั่วไป อัตราส่วนผสมทั่วไป ปูน : ทราย : หิน (1 : 2 : 4) (บริษัทปอร์ตแลนด์ จำกัด, 2558)

[2]การใช้เถ้าปาล์มน้ำมัน กำหนดร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ทุกชุดการทดลอง มาตรฐานผลิตภัณฑ์ เมธ์วดี และ กัลยาณี (2558)

ภาคผนวก ฉ
ความสมบูรณ์ของกระถางคอนกรีต

ตารางภาคผนวกที่ ฉ1 ความสมบูรณ์ของกระถางคอนกรีต

จำนวนซ้ำ	ด้านบน (เซนติเมตร)				ด้านล่าง (เซนติเมตร)				ความสูง (เซนติเมตร)				ความหนา (เซนติเมตร)	ค่าเฉลี่ย	ปริมาตรลูกบาศก์เซนติเมตร
	ความกว้าง-ยาวนอก	ค่าเฉลี่ย	ความกว้าง-ยาวใน	ค่าเฉลี่ย	ความกว้าง-ยาวนอก	ค่าเฉลี่ย	ความกว้าง-ยาวใน	ค่าเฉลี่ย	ความสูงนอก	ค่าเฉลี่ย	ความสูงใน	ค่าเฉลี่ย			
1	30.00		25.00		23.00		16.70		40.00		37.80		2.30		
2	30.00	30.00	25.00	25.00	23.00	23.00	16.70	16.70	40.00	40.00	37.80	37.80	2.30	2.30	11,603.82
2	30.00		25.00		23.00		16.70		40.00		37.80		2.30		

หมายเหตุ: อัตราส่วนผสม ปูนซีเมนต์ : เถ้าปาล์มน้ำมัน : ทราย : หิน : เส้นใยปาล์มน้ำมัน (3.40 : 0.10 : 5.00 : 9.95 : 0.05)

ภาคผนวก ช
การหาความหนาแน่นของกระถางคอนกรีต

ตารางผนวกที่ ช1 การหาความหนาแน่นของกระถางคอนกรีต

อัตราส่วนที่เหมาะสม	จำนวนซ้ำ	ค่าเฉลี่ยของกระถางคอนกรีต (กรัม)	ค่าเฉลี่ย (กรัม)	ปริมาตรของกระถางคอนกรีต	ค่าความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)
ชุดการทดลองที่ 2 -ปูนซีเมนต์ 3,400 กรัม	1	19,300.00			
-เถ้าปาล์มน้ำมัน 100 กรัม -ทราย 5,000 กรัม	2	19,400.00	19,400.00	11,603.82	1.67
-หิน 9,950 กรัม -เส้นใยปาล์มน้ำมัน 50 กรัม	3	19,500.00.			

ภาคผนวก ซ
ราคาต้นทุนในการผลิตของกระถางคอนกรีต

ตารางภาคผนวกที่ ซ1 ราคาต้นทุนในการผลิตของกระถางคอนกรีต

รายการ	**ปริมาณ (กรัม/กิโลกรัม/มิลลิลิตร)**	**ราคา (บาท)**	**ปริมาณที่ใช้**	**ราคา (บาท)**
ปูนซีเมนต์	1.00 กิโลกรัม	2.70	3.40 กิโลกรัม	9.18
ทราย	1.00 กิโลกรัม	2.30	5.00 กิโลกรัม	11.50
หิน	1.00 กิโลกรัม	2.30	9.95 กิโลกรัม	22.89
เถ้าปาล์มน้ำมัน	100.00 กิโลกรัม	-	100.00 กิโลกรัม	-
เส้นใยปาล์มน้ำมัน	50.00 กรัม	-	50.00 กรัม	-
น้ำ	400.00 มิลลิลิตร	0.02	2,500.00 มิลลิลิตร	0.13
รวมราคากระถางคอนกรีต 1 ใบ				43.70 บาท

ภาพผนวก ฌ
การเตรียมวัตถุดิบการผลิตกระถางคอนกรีต

ภาพผนวกที่ ฌ1 (ก) เถ้าปาล์มน้ำมัน

ภาพผนวกที่ ฌ1 (ข) ร่อนเถ้าปาล์มน้ำมัน

ภาพผนวกที่ ฌ1 การเตรียมเถ้าปาล์มน้ำมัน

ภาพผนวกที่ ฌ2 (ก) ล้างเส้นใยปาล์มน้ำมัน

ภาพผนวกที่ ฌ2 (ข) ตากแดดให้แห้ง

ภาพผนวกที่ ฌ2 การเตรียมเส้นใยปาล์มน้ำมัน

ภาพผนวกที่ ฌ3 (ก) ชั่งเส้นใยปาล์มน้ำมัน

ภาพผนวกที่ ฌ3 (ข) ชั่งเถ้าปาล์มน้ำมัน

ภาพผนวกที่ ฌ3 การชั่งวัตถุดิบ

ภาพผนวก ญ
การผลิตตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์

ภาพผนวกที่ ญ1 (ก) ทำการเช็ดบล็อกด้วยน้ำมัน

ภาพผนวกที่ ญ1 (ข) นำวัตถุดิบที่ทดสอบแล้วมาใส่ลงในบล็อก

ภาพผนวกที่ ญ1 (ค) ทำการกระทุ้ง 35 ครั้ง

ภาพผนวกที่ ญ1 (ง) ฉาบหน้าให้เรียบ

ภาคผนวกที่ ญ1 (จ) แกะบล็อกออก

ภาคผนวกที่ ญ1 (ฉ) นำไปบ่ม

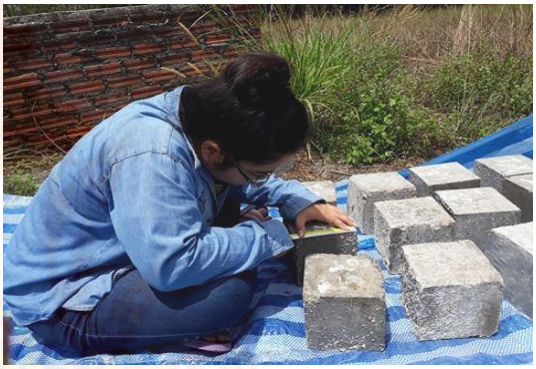
ภาพผนวกที่ ญ1 การผลิตตัวอย่างรูปลูกบาศก์ขนาด 15X15X15 เซนติเมตร

ภาพผนวก ฎ
การทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์

ภาพพนวกที่ ฎ1 (ก) นำผ้าเปียกมาคลุม

ภาพผนวกที่ ฎ1 (ข) นำไปบ่ม

ภาพผนวกที่ ฎ1 (ค) ทำการยกตัวอย่างรูปลูกบาศก์ขึ้นจากบ่อ



ภาพผนวกที่ ฎ1 (ง) ทำการวัดปริมาตรของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์

ภาคพนวกที่ ฎ1 (จ) ชั่งตัวอย่างรูปลูกบาศก์

ภาพผนวกที่ ฎ1 ความหนาแน่นและความพรุนคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์

ภาพผนวกที่ ฎ2 (ก) บ่มที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง

ภาพผนวกที่ ฎ2 (ข) ชั่งตัวอย่างรูปลูกบาศก์

ภาพผนวกที่ ฎ2 การดูดซึมน้ำ

ภาพผนวกที่ ฎ3 (ก) ตัวอย่างรูปลูกบาศก์

ภาพผนวกที่ ฎ3 (ข) ชั่งตัวอย่างรูปลูกบาศก์

ภาพผนวกที่ ฎ3 (ค) ทดสอบกำลังรับแรงอัด

ภาพผนวกที่ ฎ3 การทดสอบกำลังรับแรงอัด

ภาพผนวก ฏ
การทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีต

-ขั้นตอนการทดสอบการยุบตัวของคอนกรีต

1) นำคอนกรีตที่ผสมวัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มดิบตามอัตราส่วนต่าง ๆ ที่ได้กำหนดไว้ นำวัตถุดิบที่เตรียมไว้มาผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกัน

ภาพที่ ฎ1 นำวัตถุดิบที่เตรียมไว้มาผสมคลุกเคล้า

2) นำแบบไปชุบน้ำเพื่อให้ผิวเปียก แล้วนำไปวางบนพื้นเรียบที่ไม่ดูดซับน้ำ ใช้เท้าทั้งสอง ข้างเหยียบไว้ให้แน่น

ภาพที่ ฎ2 นำแบบไปชุบน้ำให้ผิวเปียกเพื่อให้การเทไหลของคอนกรีตได้ดี

3) ตักคอนกรีตใส่ลงในแบบให้ได้ 3 ชั้น โดยให้แต่ละชั้นมีปริมาตรเท่ากัน ๆ ใช้เหล็กกระทุ้ง กระทุ้ง 25 ครั้ง ทุกชั้น ชั้นล่างให้กระทุ้งจนสุดส่วนชั้นที่สองและชั้นที่สามให้กระทุ้งจนเหล็กผ่านไปในชั้นเดิมเล็กน้อย

ภาพที่ ฐ3 ตักคอนกรีตใส่ลงในแบบ และใช้เหล็กกระทุ้ง

4) แต่งผิวหน้าให้เรียบ โดยใช้เหล็กกระทุ้งกลิ้งดันคอนกรีตส่วนเกินปากขอบแบบออกไป

ภาพที่ ฏ 4 แต่งผิวหน้าให้เรียบ

5) ค่อย ๆ ยกแบบขึ้นตามแนวดิ่งอย่างระมัดระวังไม่ให้มีการปิด และทำการวัดระยะการยุบตัวของคอนครีตรูปกรวย โดยเปรียบเทียบกับความสูงของกรวยถ้ามีการยุบตัวแบบเฉือนให้ทำซ้ำอีกครั้ง หากมีการยุบตัวเหมือนเดิมถือว่าคอนกรีตนั้นมีการยึดเหนี่ยวในเนื้อคอนกรีตต่ำ (ASTM C 192-81) ระบุว่าถ้าเป็นการยุบตัวแบบเฉือนจะนำค่าอ่านมาใช้วัดความสามารถเทได้ของคอนกรีตไม่ได้

ภาพที่ ฏ 5 ทำการวัดระยะการยุบตัวของคอนครีตรูปกรวย

ภาพผนวก ฐ

กระถางคอนกรีตจากวัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มดิบ

ภาพผนวกที่ ฐ1 (ก) นำวัตถุที่ผสมแล้วใส่ลงในบล็อกกระถาง ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ทำการแกะออก

ภาพผนวกที่ ฐ1 (ข) กระถางคอนกรีต

ภาพผนวกที่ ฐ1 กระถางคอนกรีตจากวัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มดิบ