

การศึกษาการผลิตอิฐจากกากข้าวมอลต์ที่เป็นวัสดุเหลือใช้ในการผลิตเบียร์

STUDY ON THE PRODUCTION OF BRICKS FROM MALT RESIDUE,
WASTE MATERIAL IN BEER MANUFACTURING



**BANGKOK
UNIVERSITY**

THE CREATIVE UNIVERSITY

การศึกษาการผลิตอิฐจากกากข้าวมอลต์ที่เป็นวัสดุเหลือใช้ในการผลิตเบียร์

STUDY ON THE PRODUCTION OF BRICKS FROM MALT RESIDUE,
WASTE MATERIAL IN BEER MANUFACTURING



BANGKOK
UNIVERSITY
THE CREATIVE UNIVERSITY

เบญจพล ศรีสันติสุข

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมภายใน-การบริหารจัดการออกแบบภายใน
มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
ปีการศึกษา 2565

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
อนุมัติให้วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมภายใน-การบริหารจัดการออกแบบภายใน

เรื่อง การศึกษาการผลิตอิฐจากกากข้าวมอลต์ที่เป็นวัสดุเหลือใช้ในการการผลิตเบียร์

ผู้วิจัย เบญจพล ศรีสันติสุข



ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการสอบ
(ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุมพร มูรพันธุ์

กรรมการสอบ

ดร.ภฤศมน คำมะสอน

(อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก)

กรรมการสอบ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาสิต ลีนิวา

(อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม)

กรรมการสอบ

รองศาสตราจารย์มาณพ ศิริภิญโญกิจ

(อาจารย์ประจำหลักสูตร)

เบญจพล ศรีสันติสุข. ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (สถาปัตยกรรมภายใน-การบริหารจัดการออกแบบภายใน), มิถุนายน 2566, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยกรุงเทพ.

การศึกษาการผลิตอิฐจากกากข้าวมอลต์ที่เป็นวัสดุเหลือใช้ในการการผลิตเบียร์ (136 หน้า)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์: ดร.ภฤศมน คำมะสอน

บทคัดย่อ

อิฐเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีวิธีการทำง่ายไม่ซับซ้อนด้วยการนำวัสดุจากธรรมชาติมาขึ้นรูปได้ตามขนาดที่ต้องการ สามารถพักทิ้งตากแดดให้แห้งเพื่อนำไปใช้งานได้ ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยกำหนดการผลิตอิฐจากกากข้าวมอลต์ด้วยวิธีการอัดในแม่พิมพ์สำหรับทำมือ (ขนาด 100 X 200 X 60 มิลลิเมตร) เพื่อหาวิธีการผลิตอิฐและอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการผลิตอิฐจากกากข้าวมอลต์ โดยกำหนดอัตราส่วนการผลิตอิฐทั้งหมด 14 ชุดการทดลอง ผลจากการทดลองสรุปได้ว่า กากข้าวมอลต์สามารถนำมาผลิตขึ้นรูปได้ตามอัตราส่วนที่เหมาะสม ขนาดของตัวอิฐจากกากข้าวมอลต์มีขนาดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (มอก. 827-2531) และมีน้ำหนักเบาในทุกอัตราส่วน พบว่า น้ำเป็นตัวแปรสำคัญในการทดลองนี้เนื่องจากกากข้าวมอลต์ดูดซึมน้ำได้ดี ในอัตราส่วนที่มีปริมาณน้ำน้อยส่งผลให้อิฐไม่สามารถขึ้นรูปเป็นก้อนได้ ทั้งนี้ จากการทดสอบปริมาณการระเหยน้ำด้วยเครื่องมือวัดปริมาณระเหยน้ำในวัสดุพบว่าอิฐจากกากข้าวมอลต์มีปริมาณการระเหยน้ำอยู่ในระดับความแห้งเพื่อใช้ในการออกแบบสำหรับการก่อสร้างได้ เมื่อนำไปเทียบตามมาตรฐาน DIN 1052-1 ในทุกอัตราส่วน โดยงานวิจัยนี้ยังไม่รวมการทดสอบความแข็งแรง สำหรับงานก่อกำกับที่รับแรง ควรมีการพัฒนาและทดสอบในด้านของความแข็งแรงของวัสดุอิฐจากกากข้าวมอลต์สำหรับเป็นนวัตกรรมยั่งยืนต่อไป

คำสำคัญ: กากข้าวมอลต์, วัสดุเหลือใช้, อัตราส่วนของการผลิตอิฐ, ปริมาณการระเหยน้ำ,
นวัตกรรมยั่งยืน

Srisuntisuk, B. M.Arch. (Major in Interior Design Management), June 2023,
Graduate School, Bangkok University.

Study on the Production of Bricks from Malt Residue, Waste Material in Beer
Manufacture (136 pp.)

Thesis Advisor: Prudsamon Kammasorn, Ph.D.

ABSTRACT

A brick is not only an uncomplicated method to create a form in a construction material, but also able to apply natural materials to form the desired size. The mixed substance of raw brick can be dried under sunlight. In this research, the researcher determines the production of bricks from malt residue by compression method for hand-made molds (size 100 X 200 X 60 mm.) to find the method of brick production and the suitable ratio for the production of malt residue bricks by ratio of 14 set of experiments. The size of the malt residue brick is within the standard (TIS 827-2531). The brick from malt residue can be produced according to the appropriate ratio between substance and water. It is found that water is an important parameter in this experiment because the malt is absorbed water well. In order to create the brick, an insufficient amount water cannot form into blocks. The results show that the handmade brick is lightweight in all ratios. Furthermore, testing the amount of water accumulation by measuring the water accumulation has dryness level for using in construction design referring to the standard of DIN 1052-1. This research does not include strength testing, for other research of the malt brick should be tested for construction work with loads in terms of the strength of innovative sustainable materials.

Keywords: Malt Residue, Waste Material, Ratio of Brick Production, Water Accumulation, Sustainable Innovation

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ประสบความสำเร็จได้ด้วยความกรุณาของทุก ๆ ฝ่าย ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณาจารย์ทุกท่านจากมหาวิทยาลัยกรุงเทพและคณาจารย์คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ รวมไปถึง อาจารย์ที่ปรึกษาวิจัยหลัก อาจารย์ปอ ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์แแก้ว อาจารย์แบงค์ (จากมหาวิทยาลัย ลาดกระบัง) และคณะทีมงานมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซียที่ให้ความสนับสนุนและช่วยเหลือผู้วิจัย ในการดำเนินงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณบุคคลากร บริษัท ไทยเบฟเวอเรจ จำกัด (มหาชน) ทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนผู้วิจัยมาตลอดจนงานวิจัยนี้แล้วเสร็จ ในด้านการเป็นที่ปรึกษา คอยชี้แนะ แนวทางการดำเนินงานวิจัยและที่สำคัญ สนับสนุนค่าข้าวมอลต์ให้แก่ผู้วิจัยในการดำเนินงานวิจัย ทดลองขึ้นรูปอิฐจากกากข้าวมอลต์ครั้งนี้ ขอขอบคุณ คุณจิรนนท์ ผู้ผลิตแม่พิมพ์อิฐ สามอาร์ที่คอยให้ความช่วยเหลือและให้ความห่วงใยผู้วิจัยในช่วงระหว่างดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ รวมไปถึงเพื่อน ๆ ที่คณะ โดยเฉพาะคณาและวรัญญา ที่เป็นส่วนคอยผลักดันให้ผู้วิจัยดำเนินงานได้สำเร็จจนแล้วเสร็จลุล่วงไปด้วยดีมาตลอดการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณพ่อ แม่ และครอบครัวที่เป็นส่วนคอยสนับสนุนอยู่เบื้องหลัง ดูแล และคอยให้คำปรึกษา ให้ผู้วิจัยมีแรงผลักดันในการทำวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ ตลอดช่วงเวลาที่ดำเนินงานวิจัยมีอุปสรรคมากมาย โดยเฉพาะช่วง โควิด 19 ที่มีปัญหาในการดำเนินงานวิจัย แต่ก็ได้ กำลังใจจากทุก ๆ ท่านคอยช่วยเหลือและสนับสนุนให้แล้วเสร็จ ผู้วิจัยขอขอบคุณด้วยความซาบซึ้ง และจริงใจจากทุก ๆ ท่านอีกครั้ง

เบญจพล ศรีสันติสุข

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ฅ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 สมมติฐานงานวิจัย	2
1.5 คำถามงานของงานวิจัย	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.7 วิธีดำเนินงานวิจัย	3
1.8 คำนิยามศัพท์เฉพาะ	3
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับเบียร์	5
2.2 อีซู	9
2.3 ปูนซีเมนต์	25
2.4 วัสดุก่อ	43
2.5 ทราาย	55
2.6 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	57
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	61
3.1 แนวทางในการดำเนินงานวิจัย	61
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	61
3.3 วิธีดำเนินการวิจัย	66
บทที่ 4 บทวิเคราะห์ข้อมูล	83
4.1 การทดลองทำอิฐจากข้าวมอลต์	83

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 (ต่อ) บทวิเคราะห์ข้อมูล	
4.2 การตรวจสอบลักษณะความคงตัวของอิฐากข้าวมอลต์	92
4.3 การทดสอบขนาดและน้ำหนักของอิฐากข้าวมอลต์	94
4.4 การทดสอบปริมาณการสะสมน้ำในอิฐากข้าวมอลต์	96
4.5 สรุปผลการทดสอบตัวอย่างอิฐากข้าวมอลต์	97
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	99
5.1 สรุปผลการทดลองผลิตอิฐากข้าวมอลต์	99
5.2 ข้อเสนอแนะ	100
บรรณานุกรม	101
ภาคผนวก	104
ภาคผนวก ก มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม	105
คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น มอก.827-2531	
ภาคผนวก ข มาตรฐาน DIN (Deutsches Institut für Normung)	127
DIN 1052-1 (4/88) Para. 4.2.1.	
ประวัติเจ้าของผลงาน	136

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1: ขนาดมาตรฐานของอิฐทนไฟ	24
ตารางที่ 3.1: สรุปอัตราส่วนที่ใช้ในการทดลองขึ้นรูปอิฐ	67
ตารางที่ 3.2: อัตราส่วนการทดลองที่ 1-2	68
ตารางที่ 3.3: อัตราส่วนการทดลองที่ 3-4	69
ตารางที่ 3.4: อัตราส่วนการทดลองที่ 5-7	71
ตารางที่ 3.5: อัตราส่วนการทดลองที่ 8-10	73
ตารางที่ 3.6: อัตราส่วนการทดลองที่ 11-12	75
ตารางที่ 3.7: อัตราส่วนการทดลองที่ 13-14	77
ตารางที่ 3.8: เกณฑ์มาตรฐานของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น (มอก.827-2531)	80
ตารางที่ 4.1: สรุปการทดลองขึ้นรูปอิฐจากกากข้าวมอลต์	91
ตารางที่ 4.2: สรุปผลการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพอิฐจากกากข้าวมอลต์	93
ตารางที่ 4.3: ทดสอบตัวอย่างอิฐจากกากข้าวมอลต์	98
ตารางที่ 5.1: การเปรียบเทียบระหว่างอิฐจากกากข้าวมอลต์กับอิฐชนิดอื่น	98

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1: ภาพขั้นตอนการผลิตเบียร์	6
ภาพที่ 2.2: กากข้าวมอลต์สด	8
ภาพที่ 2.3: แสดงการวางตากดินให้แห้งเพื่อรอการเผาเป็นก้อนอิฐ	11
ภาพที่ 2.4: แสดงการกองก้อนดินเพื่อเตรียมเผา	11
ภาพที่ 2.5: ตัวอย่างเตาเผาอิฐด้วยน้ำมัน	12
ภาพที่ 2.6: เตาเผาอิฐ บปก. จังหวัดอ่างทอง	14
ภาพที่ 2.7: ตัวอย่างอิฐ บปก.	15
ภาพที่ 2.8: ตัวอย่างอิฐ บปก. ที่ทำด้วยเครื่องจักร	16
ภาพที่ 2.9: ตัวอย่างอิฐ อปก. ที่ทำด้วยมือ	17
ภาพที่ 2.10: ตัวอย่างอิฐกลวง อิฐโปร่ง อิฐช่องลม	18
ภาพที่ 2.11: แผนภูมิขั้นตอนการทำอิฐขาว ที่ทำจากทรายและปูนขาวผสมกัน	21
ภาพที่ 2.12: ตัวอย่างลักษณะของอิฐทนไฟ	22
ภาพที่ 2.13: ปูนซีเมนต์ผง	25
ภาพที่ 2.14: กรรมวิธีในการผลิตปูนซีเมนต์ (แบบเปียก)	31
ภาพที่ 2.15: กรรมวิธีในการผลิตปูนซีเมนต์ (แบบแห้ง)	32
ภาพที่ 2.16: ปูนซีเมนต์ขาว ทรายเสือ	34
ภาพที่ 2.17: ปูนซีเมนต์ ทรายเห่า	35
ภาพที่ 2.18: ปูนซีเมนต์ ทรายนกอินทรี	36
ภาพที่ 2.19: ปูนซีเมนต์ ทรายพีไอ (สีเขียว)	37
ภาพที่ 2.20: ปูนซีเมนต์ขาว ทรายช้าง	38
ภาพที่ 2.21: ปูนซีเมนต์ ทรายพญานาคเขียว	39
ภาพที่ 2.22: ปูนซีเมนต์ ทรายภูเขา	40
ภาพที่ 2.23: ปูนซีเมนต์ ทรายพีไอ (แดง)	41
ภาพที่ 2.24: ปูนซีเมนต์ ทรายพญานาคแดง	43
ภาพที่ 2.25: ขั้นตอนการผลิตดินซีเมนต์บล็อก	45
ภาพที่ 2.26: ตัวอย่างวิธีใช้งานอินเตอร์ล็อกกิ้งบล็อก	46
ภาพที่ 2.27: ตัวอย่างขนาดอินเตอร์ล็อกกิ้งบล็อก	47

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 2.28: ลักษณะคอนกรีตบล็อกชนิดซีแพค ที่มีการจำหน่ายในปัจจุบัน	48
ภาพที่ 2.29: ลักษณะของดีแทคบล็อกชนิดต่าง ๆ	49
ภาพที่ 2.30: ศิลาลงบล็อกที่นำมาใช้ตกแต่งก่อกำแพงหรือปูพื้นจัดสวน	50
ภาพที่ 2.31: แสดงลักษณะพื้นผิวของศิลาลงบล็อก มีความหยาบและขรุขระ	50
ภาพที่ 2.32: ตัวอย่างดินบล็อกที่มีฟางเป็นส่วนผสม	51
ภาพที่ 2.33: ตัวอย่างการทำดินบล็อก	52
ภาพที่ 2.34: คอนกรีตมวลเบา	54
ภาพที่ 2.35: ตัวอย่างอิฐแก้ว หลายลวดลาย	55
ภาพที่ 3.1: กากข้าวมอลต์แห้งจาก บริษัท ไทยเบฟเวอเรจ จำกัด (มหาชน)	62
ภาพที่ 3.2: กากข้าวมอลต์ที่ผ่านการขัดแยกขนาด	62
ภาพที่ 3.3: ปูนซีเมนต์ ตรา ทีพีโอ	63
ภาพที่ 3.4: น้ำประปา	64
ภาพที่ 3.5: แม่พิมพ์อิฐรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 100 X 200 X 60 มิลลิเมตร	64
ภาพที่ 3.6: เครื่องมือวัดค่าปริมาณการสะสมน้ำในวัสดุ Testo 606-1	65
ภาพที่ 3.7: เครื่องชั่งดิจิตอล Kassa รุ่น EK-9270-59 ขนาด 5 Kg.	66
ภาพที่ 3.8: ขั้นตอนที่ 1 ช่างเตรียมวัตถุดิบตามอัตราส่วนผสมในตารางที่ 3.2	68
ภาพที่ 3.9: ขั้นตอนที่ 2 ผสมวัตถุดิบให้เข้ากันและพักไว้เป็นเวลา 15 นาที	68
สังเกตให้ปูนและกากข้าวมอลต์จับตัวกันจึงนำมาขึ้นรูป	
ภาพที่ 3.10: ขั้นตอนที่ 3 เมื่อปูนและกากข้าวมอลต์ผสมเข้ากันดีแล้วจึงนำไปขึ้นรูป	69
โดยใช้แม่พิมพ์อิฐที่เตรียมไว้ และนำไปตากทิ้งไว้ให้ตัวอิฐเซตตัวประมาณ 1-2 สัปดาห์	
ภาพที่ 3.11: ขั้นตอนที่ 1 ช่างเตรียมวัตถุดิบตามอัตราส่วนผสมในตารางที่ 3.3	70
ภาพที่ 3.12: ขั้นตอนที่ 2 ผสมวัตถุดิบให้เข้ากันและพักไว้เป็นเวลา 15 นาที	70
สังเกตให้ปูนและกากข้าวมอลต์จับตัวกันจึงนำมาขึ้นรูป	

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 3.13: ขั้นตอนที่ 3 เมื่อปูนและกากข้าวมอลต์ผสมเข้ากันดีแล้วจึงนำไปขึ้นรูป โดยใช้แม่พิมพ์อิฐที่เตรียมไว้ และนำไปตากทิ้งไว้ให้ตัวอิฐเซตตัวประมาณ 1-2 สัปดาห์	71
ภาพที่ 3.14: ขั้นตอนที่ 1 ช่างเตรียมวัตถุดิบตามอัตราส่วนผสมในตารางที่ 3.4	72
ภาพที่ 3.15: ขั้นตอนที่ 2 ผสมวัตถุดิบให้เข้ากันและพักไว้เป็นเวลา 15 นาที สังเกตให้ปูนและกากข้าวมอลต์จับตัวกันจึงนำมาขึ้นรูป	72
ภาพที่ 3.16: ขั้นตอนที่ 3 เมื่อปูนและกากข้าวมอลต์ผสมเข้ากันดีแล้วจึงนำไปขึ้นรูปโดย ใช้แม่พิมพ์อิฐที่เตรียมไว้ และนำไปตากทิ้งไว้ให้ตัวอิฐเซตตัวประมาณ 1-2 สัปดาห์	73
ภาพที่ 3.17: ขั้นตอนที่ 1 ช่างเตรียมวัตถุดิบตามอัตราส่วนผสมในตารางที่ 3.5	74
ภาพที่ 3.18: ขั้นตอนที่ 2 ผสมวัตถุดิบให้เข้ากันและพักไว้เป็นเวลา 15 นาที สังเกตให้ปูนและกากข้าวมอลต์จับตัวกันจึงนำมาขึ้นรูป	74
ภาพที่ 3.19: ขั้นตอนที่ 3 เมื่อปูนและกากข้าวมอลต์ผสมเข้ากันดีแล้วจึงนำไปขึ้นรูป โดยใช้แม่พิมพ์อิฐที่เตรียมไว้ และนำไปตากทิ้งไว้ให้ตัวอิฐเซตตัวประมาณ 1-2 สัปดาห์	75
ภาพที่ 3.20: ขั้นตอนที่ 1 ช่างเตรียมวัตถุดิบตามอัตราส่วนผสมในตารางที่ 3.6	76
ภาพที่ 3.21: ขั้นตอนที่ 2 ผสมวัตถุดิบให้เข้ากันและพักไว้เป็นเวลา 15 นาที สังเกตให้ปูนและกากข้าวมอลต์จับตัวกันจึงนำมาขึ้นรูป	76
ภาพที่ 3.22: ขั้นตอนที่ 3 เมื่อปูนและกากข้าวมอลต์ผสมเข้ากันดีแล้วจึงนำไปขึ้นรูป โดยใช้แม่พิมพ์อิฐที่เตรียมไว้ และนำไปตากทิ้งไว้ให้ตัวอิฐเซตตัวประมาณ 1-2 สัปดาห์	77
ภาพที่ 3.23: ขั้นตอนที่ 1 ช่างเตรียมวัตถุดิบตามอัตราส่วนผสมในตารางที่ 3.7	78
ภาพที่ 3.24: ขั้นตอนที่ 2 ผสมวัตถุดิบให้เข้ากันและพักไว้เป็นเวลา 15 นาที สังเกตให้ปูนและกากข้าวมอลต์จับตัวกันจึงนำมาขึ้นรูป	78
ภาพที่ 3.25: ขั้นตอนที่ 3 เมื่อปูนและกากข้าวมอลต์ผสมเข้ากันดีแล้วจึงนำไปขึ้นรูป โดยใช้แม่พิมพ์อิฐที่เตรียมไว้ และนำไปตากทิ้งไว้ให้ตัวอิฐเซตตัวประมาณ 1-2 สัปดาห์	79

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 3.26: แสดงตัวอย่างการวัดขนาดของอิฐ	80
ภาพที่ 3.27: แสดงตัวอย่างการชั่งน้ำหนักของอิฐ	81
ภาพที่ 3.28: แสดงตัวอย่างการทดสอบปริมาณสะสมน้ำของวัสดุ	82
ภาพที่ 4.1: สรุปผลการทดลองผลิตอิฐ ชุดการทดลองที่ 1-2 (หน่วยเป็น กิโลกรัม)	83
ภาพที่ 4.2: ผลชุดการทดลองทำอิฐในชุดการทดลองที่ 1 และ 2	84
ภาพที่ 4.3: สรุปผลการทดลองผลิตอิฐ ชุดการทดลองที่ 3-4 (หน่วยเป็น กิโลกรัม)	84
ภาพที่ 4.4: ผลชุดการทดลองทำอิฐในชุดการทดลองที่ 3 และ 4	85
ภาพที่ 4.5: สรุปผลการทดลองผลิตอิฐ ชุดการทดลองที่ 5-7 (หน่วยเป็น กิโลกรัม)	86
ภาพที่ 4.6: ผลชุดการทดลองทำอิฐในชุดการทดลองที่ 5, 6 และ 7	86
ภาพที่ 4.7: สรุปผลการทดลองผลิตอิฐ ชุดการทดลองที่ 8-10 (หน่วยเป็น กิโลกรัม)	87
ภาพที่ 4.8: ผลชุดการทดลองทำอิฐในชุดการทดลองที่ 8, 9 และ 10	88
ภาพที่ 4.9: สรุปผลการทดลองผลิตอิฐ ชุดการทดลองที่ 11-12 (หน่วยเป็น กิโลกรัม)	89
ภาพที่ 4.10: ผลชุดการทดลองทำอิฐในชุดการทดลองที่ 11 และ 12	89
ภาพที่ 4.11: สรุปผลการทดลองผลิตอิฐ ชุดการทดลองที่ 13-14 (หน่วยเป็น กิโลกรัม)	90
ภาพที่ 4.12: ผลชุดการทดลองทำอิฐในชุดการทดลองที่ 13 และ 14	90
ภาพที่ 4.13: ศึกษาขนาดของอิฐจากข้าวมอลต์ ลำดับการทดลองที่ 10, 11	95
ตามลำดับ (ก) (ข) (ค) (ง) (จ) (ฉ) (ช) (ซ)	
ภาพที่ 4.14: ศึกษาน้ำหนักของอิฐจากข้าวมอลต์ ลำดับการทดลองที่ 10, 11	96
ตามลำดับ (ก) (ข) (ค) (ง)	
ภาพที่ 4.15: ศึกษาปริมาณการสะสมน้ำของอิฐจากข้าวมอลต์	97
ชุดลำดับการทดลองที่ 10, 11, 12, 14 ตามลำดับ (ก) (ข) (ค) (ง)	

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กากข้าวมอลต์ เป็นวัตถุดิบที่ได้จากภาคอุตสาหกรรมเบียร์ซึ่งสำนักงานสถิติแห่งชาติได้ทำการสำรวจสถานการณ์บริโภคเบียร์ในประเทศไทย ในช่วงปี พ.ศ. 2560 พบว่า ในตลาดเครื่องดื่มเบียร์มีปริมาณการบริโภคมามากถึง 463,813,380 ลิตรต่อปี หรือเทียบเป็นปริมาณการบริโภคเบียร์อยู่ที่ 48.71 ลิตร/คน/ปี วิทย์ วิชัยดิษฐ์ (เอ็ดเวิร์ด แม็คแนล, ดาริกา ไสงาม และสาวิตรี อัมณงค์กรชัย, 2562) ซึ่งในการผลิตเบียร์นั้น จะมีผลพลอยได้จากการผลิตเป็นกากข้าวมอลต์ที่เป็นส่วนเหลือทิ้งจากการผลิตเบียร์เป็นจำนวนมากหลายตันต่อปี โดยผู้ประกอบการบางรายได้มีการนำกากข้าวมอลต์ไปจำหน่ายและนำไปใช้แปรรูปเป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ ได้ประมาณ 15-25 ตัน/ปี (ชัยธร เกิดลำเจียก, 2553) ในกลุ่มที่เป็นเจ้าของธุรกิจเครื่องดื่มแอลกอฮอล์บางราย ได้มีนโยบายในการนำกากข้าวมอลต์ไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ เช่น บริษัท ไทยเบฟเวอเรจ จำกัด (มหาชน) นำกากข้าวมอลต์ไปพัฒนาเป็นเคาน์เตอร์ท็อปครัวที่มีลักษณะคล้ายเคาน์เตอร์ท็อปหิน นำกากข้าวมอลต์ไปทำภาชนะใส่สิ่งของ (ปิยพร อรุณเกรียงไกร, 2562) นักวิจัยบางรายนำกากข้าวมอลต์ไปพัฒนาเป็นแผ่นวัสดุทดแทนไม้จากกากข้าวมอลต์ (คัมภีร์ นนทราช, 2550) แต่ถึงกระนั้นก็ไม่สามารถที่จะบริหารจัดการกากข้าวมอลต์ที่เหลือทิ้งเป็นจำนวนมากจากการผลิตเบียร์ได้ทั้งหมด จากการที่กากข้าวมอลต์มีจำนวนมากนั้นอาจมีผลกระทบที่ไม่ดีต่อสภาพแวดล้อมโดยรอบเนื่องจากกากข้าวมอลต์ที่เหลือทิ้งออกมาจากสายการผลิตเบียร์ มีลักษณะเปียกมีความชื้นสูง เมื่อทิ้งไว้เป็นเวลานาน อาจจะเสียดังผลให้เกิดเชื้อรา และส่งกลิ่นไม่พึงประสงค์ต่อสภาพแวดล้อมโดยรอบ

ปัญหากากข้าวมอลต์เหลือทิ้งจากภาคอุตสาหกรรมจำนวนมากส่งผลให้ผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงคุณประโยชน์ในการบริหารจัดการของเหลือทิ้งโดยการนำกลับมาพัฒนาให้เกิดประโยชน์ จึงเกิดแนวคิดที่จะสร้างมูลค่าเพิ่มจากวัสดุเหลือใช้ในภาคอุตสาหกรรมเบียร์ที่ไม่ได้ใช้แล้ว นำกลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์เพื่อมุ่งเน้นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ตามนโยบายของสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยได้มีนโยบายความร่วมมือกันระหว่างภาครัฐกับภาคอุตสาหกรรมในการพัฒนาอย่างยั่งยืนเพื่อพัฒนาด้านศักยภาพเทคโนโลยีและนวัตกรรมของอุตสาหกรรมไทย การอนุรักษ์ดูแลระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อม (สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, 2561) ในการปลูกสร้างอาคาร ไม่ว่าจะเป็นที่อยู่อาศัย โรงงาน อาคารสำนักงาน เป็นต้น วัสดุที่ใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างในปัจจุบันนั้นมีมากมายหลายชนิดด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นวัสดุสำหรับใช้ในงานโครงสร้าง และใช้ในการตกแต่งในบริเวณต่าง ๆ ของอาคารหรือบ้านพักอาศัย ซึ่งวัสดุถือเป็นวัสดุอีกส่วนหนึ่งที่ในงานก่อสร้างนั้นมีให้เลือกใช้งานมากมายหลายชนิด เช่น อิฐบล็อก อิฐมอญ อิฐมวลเบา ดินบล็อก ผนังสำเร็จรูปคอนกรีต อิฐบล็อก

ประสาน อีฐูปูน เป็นต้น ส่งผลให้มีการพัฒนาวัสดุขึ้นมามากหลายชนิดที่มุ่งเน้นใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติหรือวัตถุดิบจากของเหลือใช้ที่ไม่ได้ใช้งานแล้วในการผลิต ขึ้นมาสำหรับเป็นวัสดุทดแทน เพื่อช่วยลดปริมาณการใช้วัสดุเดิม

จากปัญหากากข้าวมอลต์เหลือทิ้งจำนวนมากและนโยบายอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมส่งผลให้ผู้วิจัยนำกากข้าวมอลต์ที่เหลือใช้จากอุตสาหกรรมเบียร์มาศึกษาและพัฒนาเป็นอิฐจากกากข้าวมอลต์ โดยมุ่งเน้นศึกษาวิธีการผลิตอิฐและอัตราส่วนที่เหมาะสมมาใช้ในการผลิตอิฐที่มีกากข้าวมอลต์เป็นส่วนผสมในการทดลอง เพื่อช่วยลดปัญหากากเบียร์เหลือทิ้งจำนวนมาก สร้างมูลค่าเพิ่มจากวัสดุเหลือใช้ช่วยสร้างสภาพแวดล้อมที่ดีในบริเวณใกล้เคียงโรงงานผู้ผลิต และเพื่อช่วยสร้างธุรกิจและรายได้ให้แก่ชุมชนสำหรับเป็นนวัตกรรมยั่งยืนต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการผลิตอิฐที่สามารถนำกากข้าวมอลต์เหลือทิ้งเป็นมาใช้เป็นส่วนผสม
- 1.2.2 เพื่อกำหนดอัตราส่วนที่เหมาะสมของปริมาณกากข้าวมอลต์ที่ใช้ในการผลิตอิฐ
- 1.2.3 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของอิฐจากกากข้าวมอลต์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาวิธีการผลิตอิฐที่มีกากข้าวมอลต์เป็นส่วนผสม
- 1.3.2 กำหนดอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของ ปูนซีเมนต์ กากข้าวมอลต์ ทราย และน้ำที่ใช้ในการผลิตอิฐที่มีกากข้าวมอลต์เป็นส่วนผสม จำนวน 14 ชุดการทดลอง
- 1.3.3 ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งในการทดลอง
- 1.3.4 ใช้กากข้าวมอลต์อบแห้ง จากบริษัท ไทยเบฟเวอเรจ จำกัด (มหาชน)
- 1.3.5 ศึกษาการคงตัว ขนาด และน้ำหนักของอิฐจากกากข้าวมอลต์
- 1.3.6 ศึกษาปริมาณการสะสมน้ำในอิฐด้วยเครื่องมือทดสอบยี่ห้อ Testo 606-1

1.4 สมมติฐานงานวิจัย

กากข้าวมอลต์ที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตเบียร์ นำมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐที่ปริมาณแตกต่างกันไม่ส่งผลต่อการผลิตอิฐที่มีกากข้าวมอลต์เป็นส่วนผสม

1.5 คำถามงานวิจัย

1.5.1 ปริมาณวัสดุผสมที่ประกอบไปด้วย ปูนซีเมนต์ หินทราย กากขี้เถ้า และน้ำที่อัตราส่วนใดมีความเหมาะสมสำหรับการผลิตอิฐที่มีกากขี้เถ้าเป็นส่วนผสมที่ได้ผลดีที่สุด

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 สามารถผลิตอิฐจากกากขี้เถ้าในส่วนที่เหมาะสม

1.6.2 สามารถลดขยะที่ไม่ได้ใช้แล้วในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา

1.6.3 สามารถนำอิฐจากกากขี้เถ้าไปพัฒนาเพื่อใช้ในธุรกิจเชิงพาณิชย์ได้

1.7 วิธีดำเนินงานวิจัย

ดำเนินการศึกษาหาข้อมูลการผลิตอิฐ อัตราส่วนในการผลิตอิฐ หลังจากนั้นทำการทดลองขึ้นรูปอิฐโดยใช้แม่พิมพ์ในการขึ้นรูปและเก็บรวบรวมผลการทดลองที่ได้ โดยใช้เครื่องมือวัดขนาดของชิ้นงานวิจัยด้วยเครื่องมือวัดขนาดแบบหยาบ เครื่องมือวัดขนาดแบบละเอียดเวอร์เนีย เครื่องวัดปริมาตร การผสมน้ำในวัสดุห่อ Testo รุ่น 606-1 และทำการสรุปผล

1.8 คำนิยามศัพท์เฉพาะ

1.8.1 “กากขี้เถ้า” หมายถึง วัสดุที่เหลืทิ้งจากกระบวนการผลิตเบียร์

1.8.2 “วัสดุ” หมายถึง วัสดุที่นำมาใช้งานในส่วนต่าง ๆ ซึ่งมีเวลาการใช้งานไม่มากนัก

1.8.3 “วัสดุเหลือใช้” หมายถึง วัสดุที่เหลืทิ้งจากการใช้ในงานกิจกรรมต่าง ๆ เช่น กระจกแตก การตีหมอน

1.8.4 “วัสดุทดแทน” หมายถึง การนำวัสดุกลับมาใช้ใหม่เพื่อช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมใช้ทรัพยากรน้อยลงในขณะที่คุณภาพของวัสดุไม่ได้ด้อยกว่าเดิม

1.8.5 “วัสดุทดแทนไม้” หมายถึง การใช้วัสดุอื่นที่ทดแทนไม้จริง โดยมีทั้งแบบที่ไม่มีส่วนผสมของไม้เลย และแบบที่มีส่วนผสมของไม้อยู่เล็กน้อยมาผลิต จนได้ผิวสัมผัส สี สัน และลักษณะรูปร่างที่ใกล้เคียงกับไม้จริง

1.8.6 “อิฐ” หมายถึง วัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่ง เป็นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าทำจากดินเหนียวกับทราย หรือทราย และหินแข็ง มีหลายชนิด

1.8.7 “อิฐบล็อก” หมายถึง อิฐที่มีส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์และทรายเป็นอิฐ ที่มักนิยมใช้ในงานก่อสร้าง มีราคาถูกและก่อสร้างได้สะดวกรวดเร็ว

1.8.8 “อิฐมอลู” หมายถึง เป็นวัสดุที่ผลิตโดยการนำดินเหนียวมาเผาเพื่อให้คงรูปและมี ความแข็งแรง

1.8.9 “อิฐมวลเบา” หมายถึง มีส่วนประกอบหลักในการผลิต คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ อะลูมิเนียมที่ใช้ในการก่อฟองอากาศ ยิปซัม ปูนขาว ทรายละเอียด และน้ำ ผ่านกระบวนการผลิตที่ ทันสมัยทำให้อิฐแต่ละก้อนมีขนาดมาตรฐาน มีน้ำหนักเบา ช่วยลดการสูญเสียในการก่อสร้าง

1.8.10 “ดินบล็อก” หมายถึง เป็นวัสดุก้อนที่มีส่วนผสมของดิน ฟางหรือแกลบ คลุกเคล้ากัน ในปริมาณที่เหมาะสม แล้วอัดลงในแบบและนำไปพักให้แห้งก่อนใช้งาน

1.8.11 “อิฐบล็อกประสาน” หมายถึง วัสดุก่อรับน้ำหนักที่ผู้ผลิตได้ทำการพัฒนารูปแบบของ อิฐให้มีรูและเดือยบนตัวอิฐ โดยเน้นการใช้วัตถุดิบในพื้นที่นำมาผสมกับปูนซีเมนต์และน้ำในสัดส่วนที่ เหมาะสม อัดเป็นก้อนด้วยเครื่องอัด

1.8.12 “การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม” หมายถึง การใช้ทรัพยากรจากธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยใช้น้อย เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

1.8.13 “นวัตกรรม” หมายถึง การนำสิ่งใหม่ ๆ อาจจะเป็นแนวคิดหรือสิ่งประดิษฐ์ใหม่ ๆ ที่ยังไม่มีใครเคยมีมาก่อน มาพัฒนาหรือดัดแปลงให้มีประสิทธิภาพดีกว่าเดิม

1.8.14 “นวัตกรรมยั่งยืน” หมายถึง แนวทาง วิถี วิธีปฏิบัติ เครื่องมือ หรือเทคโนโลยีที่เป็น นวัตกรรมและมุ่งเน้นการสร้างที่ยั่งยืน

บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในงานทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าและสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับอิฐและการผลิตอิฐเพื่อนำมาศึกษาและพัฒนาถึงการนำกากข้าวมอลต์มาใช้เป็นส่วนผสมในการวิจัยพัฒนาการผลิตอิฐขึ้น โดยในรายละเอียดในการศึกษาครั้งนี้ ประกอบไปด้วย ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาที่มาของกากข้าวมอลต์ อิฐ การผลิตอิฐ วัสดุประสาน ดังนี้

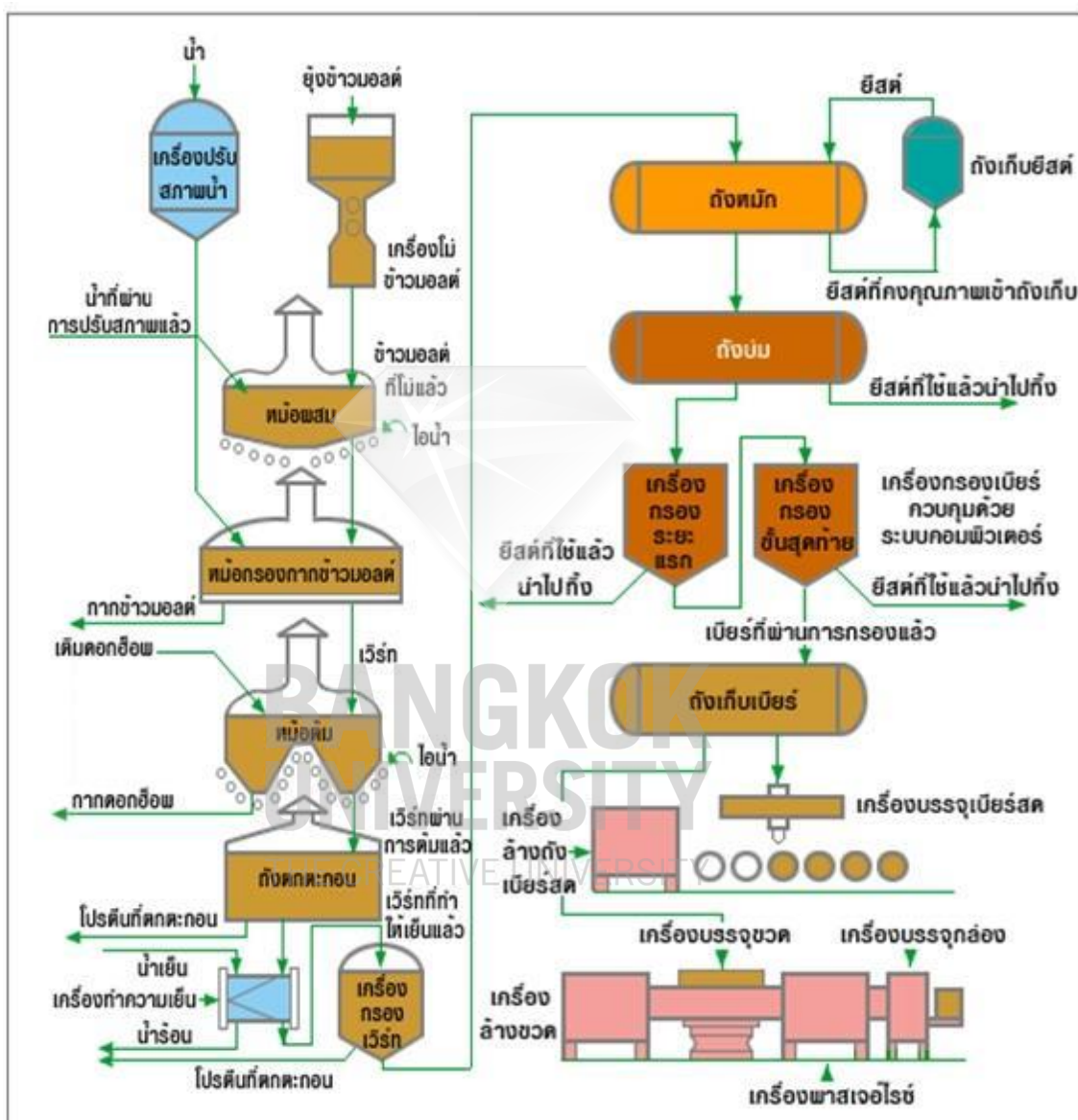
2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับเบียร์

เบียร์ หมายถึง เป็นดื่มแอลกอฮอล์ที่ได้มาจากระบวนการในการหมักจากผลิตภัณฑ์ธัญพืช ซึ่งผ่านกระบวนการงอกอย่างเป็นระบบ การทำเบียร์เกิดขึ้นตั้งแต่สมัย 6,000 ปีก่อนคริสตกาล และเบียร์เป็นเครื่องดื่มชนิดแรกของโลกที่มีแอลกอฮอล์ผสมอยู่ ที่ถูกคิดค้นขึ้นและเริ่มต้นขึ้นมาจากชนชาติบาบิโลเนียนเพื่อใช้ในการสังเวยเทพเจ้าของชาวบาบิโลน เบียร์เริ่มเป็นที่นิยมในช่วงสมัยเมโสโปเตเมีย และอียิปต์โบราณ เกิดมาแล้วยาวนานถึง สี่พันปีก่อนคริสตกาล โดยในการหมักเบียร์นั้นจะนำข้าวบาร์เลย์ เป็นวัตถุดิบในราว หนึ่งพันปีก่อนคริสตกาล โดยการผลิตเบียร์นั้นมีวัตถุดิบสำคัญที่ใช้ในการผลิต ได้แก่ ข้าวมอลต์ (Malt) น้ำ (Water) ดอกฮอปส์ (Hop) และยีสต์ (Yeast) (โชคชัย วนภู, 2558) เบียร์เป็นเครื่องดื่มที่ผลิตมาจากวัตถุดิบที่มาจากธรรมชาติทั้งหมด จึงส่งผลให้เบียร์เป็นเครื่องดื่มที่มีคุณประโยชน์กระตุ้นการเจริญอาหาร อีกทั้งแอลกอฮอล์ยังมีส่วนในการช่วยกระตุ้นระบบการหมุนเวียนของโลหิต จึงเหมาะสำหรับผู้ป่วยที่มีภาวะความดันโลหิตต่ำ ส่วนประกอบจากดอกฮ็อพ และเกลือโพแทสเซียมยังมีส่วนช่วยในการขับปัสสาวะและช่วยล้างไต เบียร์ยังช่วยให้ผ่อนคลายความเครียดทางระบบประสาท ในเบียร์ยังประกอบด้วยวิตามินที่มีคุณค่าหลายชนิด โดยเฉพาะวิตามินบี 1 และวิตามินบี 2 นอกจากนั้นเบียร์ยังมีโปรตีนเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย รวมทั้งเกลือแร่อีกหลายชนิด เช่น แคลเซียมช่วยป้องกันโรคหัวใจ แมกนีเซียมช่วยในการควบคุมระดับคอเลสเตอรอล และช่วยในการเสริมสร้างการทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจ ฟอสเฟต ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของกระดูกและฟัน เป็นต้น (ชัยธร เกิดลำเจียก, 2553)

2.1.1 กรรมวิธีการผลิตเบียร์

กรรมวิธีการผลิตเบียร์สามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอนหลัก ๆ ได้แก่ การทำมอลต์ (Malting) การผลิตเวิร์ท (Wort Production) การหมักเบียร์ (Fermentation) และการบ่ม (Beer Ageing or Maturation) แผนผังการผลิตเบียร์ดังภาพที่ 2.1

ภาพที่ 2.1: ภาพขั้นตอนการผลิตเบียร์



ที่มา: วิชาการดอตคอม. (2555). การผลิตเบียร์. สืบค้นจาก <https://www.bloggang.com/m/viewdiary.php?id=greenpluss&group=24>.

2.1.1.1 การทำมอลต์ (Malting) เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของธัญพืชให้เหมาะสมในการนำมาผลิตเป็นเบียร์โดยการสร้างเอนไซม์ที่มีความจำเป็นต่อการผลิตน้ำเวิร์ทในขั้นตอนต่อไป

2.1.1.2 การผลิตเวิร์ท (Wort Production) การผลิตน้ำเวิร์ทเป็นการผลิตน้ำหมักเบียร์เพื่อช่วยในการสร้างแอลกอฮอล์ กลิ่นและรสชาติของเบียร์

2.1.1.3 การหมักเบียร์ (Beer Fermentation) จุดประสงค์หลักของการหมักเบียร์คือ การผลิตเอทานอลจากน้ำตาลและกรดอะมิโนโดยยีสต์

2.1.1.4 การบ่มเบียร์ (Aging and Maturation) เป็นขั้นตอนการปรับกลิ่นและรสของเบียร์ให้มีรสชาติที่เหมาะสมและรสละมุนมากยิ่งขึ้นอีกทั้งยังสามารถกำจัดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ออกไปได้ด้วยการบ่มเบียร์อีกด้วย (โชคชัย วณู, 2558)

การผลิตเบียร์เริ่มแรกจะนำข้าวมอลต์มาบด หลังจากนั้นใส่น้ำผสมลงไปในถังผสม ถังผสมทำด้วยทองแดงที่นิยมในสมัยก่อนนั้น เนื่องจากทองแดงสามารถนำความร้อนได้ดี ทำให้ความร้อนแผ่กระจายไปที่ส่วนผสมในถังผสมได้ทั่วถึงผสม ในปัจจุบันได้มีการนำถังสแตนเลสมาใช้ทดแทน เพราะทองแดงมีราคาค่อนข้างสูงกว่า เมื่อผสมข้าวและน้ำลงไปในถังผสมแล้วจะต้มในความร้อนที่เหมาะสมเพื่อให้เอนไซม์ที่อยู่ในข้าวมอลต์เปลี่ยนแปลงเป็นน้ำตาลมอลโตสหลังจากนั้นจึงแยกเอาของเหลวออกจากกากข้าวหรือเรียกว่าเวิร์ท จากนั้นจึงต้มเวิร์ทให้เดือดพร้อมทั้งใส่ดอกฮ็อพ เมื่อต้มเวิร์ทจนได้ที่แล้วจะปล่อยให้ตกตะกอน หลังจากนั้นจึงทำให้เย็นลงพร้อมทั้งใส่ยีสต์และเติมลมเพื่อช่วยให้ออกซิเจนสามารถเจริญเติบโตได้ดีขึ้น แล้วจึงนำไปหมักในถังหมัก อุณหภูมิของการหมักขึ้นอยู่กับชนิดของเบียร์และชนิดของยีสต์ที่ใช้ โดยทั่วไป ถ้าใช้ทอปยีสต์จะหมักที่ประมาณ 20-22 องศาเซลเซียสและถ้าใช้บ๊อตทอมยีสต์ จะหมักที่อุณหภูมิประมาณ 8-13 องศาเซลเซียส การหมักจะใช้เวลาประมาณ 5 วันสำหรับทอปยีสต์ ส่วนบ๊อตทอมยีสต์ใช้เวลา 7-10 วัน หลังจากหมักเสร็จเรียบร้อยแล้วจะย้ายเบียร์จากถังหมักแรกและนำมาหมักต่อในอีกถังหนึ่ง โดยการควบคุมความเย็นและแรงดันภายในถังบ่มเพื่อเก็บเบียร์ให้สุกเพื่อให้มีรสชาติที่กลมกล่อมหลังจากการบ่มแล้ว เมื่อเบียร์ที่หมักมีอายุพอเหมาะ เบียร์จะถูกนำมากรองเพื่อแยกเอาตะกอนและยีสต์ที่ตกค้างออก จึงจะได้เบียร์ที่พร้อมดื่มและนำไปบรรจุในขวด บาร์เรล หรือกระป๋อง เป็นต้น (คัมภีร์ นนทราช, 2550)

2.1.2 กากข้าวมอลต์

กากข้าวมอลต์ เป็นส่วนที่เหลือจากขั้นตอนแรกของการทำเบียร์ จากการบ่มข้าวบาร์เลย์หรือข้าวมอลต์ที่สเปรย์น้ำเพื่อบ่มให้เมล็ดงอกรวมไปถึงการย่อยแบ่งให้เป็นน้ำตาล จากนั้นจะผ่านการต้มคั้นน้ำ จะได้แบ่งและน้ำตาลเพื่อนำไปผลิตเบียร์ ส่วนกากที่เหลือจากการกรองคือ กากข้าวมอลต์สดมีลักษณะเป็นกากอ่อนนุ่ม กากเบียร์สดจะมีความชื้นอยู่ที่ประมาณ 70-80% กากข้าวมอลต์สดนั้นจะไม่สามารถเก็บไว้ใช้ได้นาน มักบูด เน่ามีเชื้อราง่าย อาจสร้างมลภาวะที่ไม่ดีต่อสภาพแวดล้อมโดยรอบ เมื่อนำไประเหยน้ำออกจะได้กากข้าวมอลต์แห้ง เก็บไว้ใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ (คัมภีร์ นนทราช, 2550) เนื่องจากในกากข้าวมอลต์ มีโภชนาการอยู่ที่ โปรตีน 8.5% ไขมัน 1.5% เยื่อใย 2.8% และ

คาร์โบไฮเดรต 11.5% แต่ก็มีข้อเสียในการที่ต้องนำมารีดน้ำออกให้อยู่สภาวะแห้งอีกทั้งถ้าให้สัตว์กินในปริมาณที่มากอาจเป็นอันตรายต่อระบบกระเพาะอาหารของสัตว์ได้ (ปราโมทย์ แพงคำ, สาทิสรัตน์ พรหมจันทร์, สหส นุชนารถ และวิโรจน์ สีนตะละ, 2543) จากการที่กากข้าวมอลต์ถูกนำไปจำหน่ายเป็นอาหารสัตว์นั้นก็ยังไม่เพียงพอต่อการลดกากข้าวมอลต์ที่เหลือจากการผลิตเบียร์ได้ทั้งหมดเพราะในการผลิตเบียร์นั้นมีการกากข้าวมอลต์ที่เป็นของเสียจากการผลิตมากถึง 85% นอกจากการนำกากข้าวมอลต์ไปจำหน่ายเป็นอาหารสัตว์แล้วนั้นได้มีการนำกากข้าวมอลต์ไปใช้แปรรูปในการสร้างประโยชน์ในส่วนอื่น เช่น กระดาษต้นไม้จากกากข้าวมอลต์ที่สามารถย่อยสลายเองได้ (จิตวรรณ เครือคำ, 2555) และในส่วนของผู้ประกอบการผลิตเบียร์รายใหญ่อย่าง กรรมการผู้จัดการ บริษัท อาหารเสริม จำกัด ภายใต้กลุ่มบริษัท ไทยเบฟเวอเรจ จำกัด (มหาชน) คุณอัญชลี อัจจิมาธร ก็เป็นอีกหนึ่งบุคคลสำคัญเช่นกันที่มีแนวคิดในการสนับสนุนที่จะแปรรูปกากข้าวมอลต์มาพัฒนาให้เกิดประโยชน์ เพื่อดำเนินเป้าหมายในการจัดการวัตถุดิบที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตเบียร์ ให้สามารถนำกากข้าวมอลต์เหลือทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์และสร้างมูลค่าเพิ่มได้โดยคุณอัญชลี อัจจิมาธร และทีมงานได้ศึกษาและวิจัยนำกากข้าวมอลต์มาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์มากมาย เช่น อ่างล้างมือกับทัอปเคาน์เตอร์ ซึ่งมีคุณสมบัติแข็งแรงและกันน้ำได้ และพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากกากเบียร์ (ปิยพร อรุณเกรียงไกร, 2562) คุณอัญชลียังได้กล่าวไว้อีกว่า ถึงแม้ทางกลุ่มบริษัท อาหารเสริม จำกัด จะได้มีการนำกากข้าวมอลต์บางส่วนมาแปรรูปและนำไปใช้ประโยชน์ในหลายด้านก็ตามแต่ก็ยังไม่เพียงพอต่อการกำจัดกากเบียร์ที่เหลือทิ้งทั้งหมดในสายพานการผลิตเบียร์ของ บริษัท ไทยเบฟเวอเรจ จำกัด (มหาชน)

ภาพที่ 2.2: กากข้าวมอลต์สด



ที่มา: ทะนุพงศ์ กุสุมา ณ อยุธยา. (2564). สองหมอฟาร์ม ที่อุตรฯ จำหน่ายกากมอลต์เบียร์ ลดต้นทุนค่าอาหารสัตว์ ก้าวไปเพิ่มอย่างเห็นชัด. สืบค้นจาก https://www.technologychaoban.com/thai-local-wisdom/article_92491.

2.2 อิฐ

วรพงศ์ วรสุนทรโสธ และพงศ์พันธ์ วรสุนทรโสธ (2556) อธิบายข้อมูลเกี่ยวกับอิฐไว้ว่า อิฐเป็นวัสดุก่อสร้างที่มนุษย์ได้นำวัสดุจากธรรมชาติมาทำให้เป็นก้อนเพื่อใช้ในการก่อสร้างเป็นเวลานานับ 1,000 ปีมาแล้ว ในการใช้อิฐนั้นเริ่มใช้ครั้งแรกในสมัยอียิปต์โบราณ เมื่อนานมาแล้วใช้ดินโคลนในแม่น้ำไนล์มาปั้นและปั้นให้ได้ขนาดตามที่ต้องการแล้วนำไปพักตากแดดไว้ให้แห้งโดยไม่ได้มีการเผาด้วยความร้อน อิฐชนิดที่ไม่ได้เผาใช้ในการก่อกำแพงของอาคารบางประเภท และเนื่องจากภูมิประเทศในแถบนั้นใน มีปริมาณฝนค่อนข้างน้อยมากหรือบางครั้งในหนึ่งปีไม่มีฝนตกเลย จึงไม่มีปัญหาในเรื่องอิฐจะโดนน้ำและทำให้อิฐละลาย เพราะน้ำฝนชะล้างออก จากการค้นคว้าทางประวัติศาสตร์ยังพบว่า ในสถานที่ฝังศพของกษัตริย์ในประเทศอียิปต์ในพีระมิดนั้น มีการใช้อิฐเผาเคลือบสีกรุผนังบางตอน

ในกลุ่มชนชาติบาบิโลเนียซึ่งอยู่ในลุ่มแม่น้ำไทกริสและยูเฟรติสซึ่งเป็นพื้นที่ มีปริมาณฝนตกค่อนข้างมาก ก็จะนิยมทำอิฐที่เผาไฟสุก ใช้ในการก่อสร้างอาคาร ในสมัยต่อมาก็มีการใช้อิฐเป็นวัสดุก่อสร้างมากขึ้นทั้งในทวีปยุโรป อเมริกา และเอเชีย ซึ่งรวมทั้งประเทศไทยด้วย

กำแพงที่พบเห็นได้ทั่วไปส่วนใหญ่นิยม ใช้อิฐในการก่อสร้างเพราะ อิฐมีราคาไม่สูงมากนัก มีความแข็งแรงทนทานดี วัสดุที่มีจากธรรมชาติ มาใช้ทำอิฐได้ง่าย และเมื่อนำไปเผาเสร็จแล้วมีลักษณะเป็นสีแดง ประหยัดในการทำสีได้อีกส่วนหนึ่ง

2.2.1 ชนิดของอิฐ

ชนิดของอิฐ ในที่นี้เป็นการแบ่งตามขั้นตอนการผลิต ดังนี้

2.2.1.1 อิฐที่ทำด้วยมือ

ขนาดของอิฐที่ทำด้วยมือนั้นจะมีขนาดที่ไม่เท่ากัน ขนาดของอิฐอาจมีการคาดเคลื่อนได้ซึ่งการคลาดเคลื่อนอาจเกิดจากสาเหตุหลายประการ เช่น ขนาดแม่พิมพ์ที่ไม่เท่ากัน การใส่ปริมาณดินอัดเข้าในแบบไม่สม่ำเสมอ เกิดจากการหดตัวของโคลนที่ใช้ทำอิฐไม่เท่ากันเพราะส่วนผสมที่ใส่ลงไปไม่สม่ำเสมอ แต่ก็สามารถนำไปใช้ในการก่อสร้างได้เป็นอย่างดี และปัจจุบันยังสามารถพบเห็นการใช้งานอิฐชนิดนี้ได้ในปัจจุบัน สถานที่ทำอิฐในประเทศไทยสามารถพบได้ที่จังหวัด เชียงใหม่ พระนครศรีอยุธยา อ่างทอง สิงห์บุรี เป็นต้น

โดยกรรมวิธีในการผลิตนั้นมีขั้นตอนดังนี้

- การคัดเลือกดิน ดินที่จะนำมาผลิตอิฐ ต้องไม่มีทรายเจือปนในปริมาณที่มากเกินไปหรือไม่ควรเป็นดินเหนียวเกินไป เนื่องจากปริมาณทรายที่มีมากส่งผลให้ อิฐจะเกิดการร่อน และในส่วนที่ดินเหนียวมากเกินไปเมื่อพักตากแดดทิ้งไว้ อิฐจะเกิดการแตกร้าวมาก จึงควรทำตัวอย่างในไว้ดูก่อน บางครั้งอาจผสมแกลบลงไป ซึ่งจะช่วยให้ดินหายเหนียวและอิฐเผาไหม้ได้ดีอีกด้วย

- การขุดดินและย่ำ ดินที่จะนำมาใช้ทำอิฐนั้นยังมีความชื้นมากยิ่งดี บางครั้งใช้ดินโคลนที่ที่ริมฝั่งแม่น้ำ เลือกเอาเศษผงและสิ่งอื่น ๆ ที่ปนอยู่ออกให้หมด แล้วนำดินมาย่ำให้ละเอียด และดูลักษณะให้เนื้อผสมเข้ากันดี โดยใส่แกลบป่นลงไป 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ถ้าเนื้อดินมีลักษณะแห้งเกินไปให้น้ำลงไปเล็กน้อยเพื่อช่วยให้ทำงานได้ง่าย มีความเหลวพอที่จะเทลงในแบบไม้ได้สะดวก การผสมแกลบทำให้เนื้อในของอิฐมีรูพรุนเมื่อแกลบถูกความร้อนไหม้ไป ช่วยให้อิฐมีน้ำหนักเบาขึ้นมีคุณสมบัติความเป็นฉนวนกันความร้อน เมื่อนำมาใช้ในงานก่อ ประโยชน์จากการที่มีแกลบเป็นส่วนผสมลงไป อีกประการหนึ่งก็คือ ช่วยไม่ให้อิฐแตกในเวลาตากแดดและไม่ให้เนื้อดินติดพิมพ์

- การทำให้เป็นรูปแบบที่ต้องการ แบบที่ใช้หล่อเป็นอิฐนั้นเป็นกรอบไม้ ไม่ปิดส่วนบนและส่วนล่าง ไม้ที่ใช้ทำแบบ ควรเป็นไม้ที่มีคุณสมบัติ เมื่อถูกน้ำหรือความชื้นแล้วไม่บิดเบี้ยว แข็งแรง ด้านในของแบบมีผิวเรียบ ขนาดของไม้แบบจำเป็นต้องมีขนาดโตกว่าขนาดของอิฐที่ต้องการเล็กน้อย เพราะเมื่อเอาดินเทลงในแบบและพักทิ้งไว้ให้แห้งแล้ว ดินที่ตากแดดก็จะหดตัวลงเล็กน้อย เมื่อเตรียมแบบพิมพ์เสร็จแล้ว นำโคลนที่ผสมแล้วมาเตรียมไว้ใกล้ ๆ แบบชุบน้ำที่ไม้แบบเพื่อกันวัสดุติดแบบ แล้ววางลง ตักส่วนผสมเทลงไปในแบบ ใช้ไม้ตบ ให้โคลนไหลลงไปในแบบโดยทั่ว แล้วปาดส่วนบนให้เรียบเสมอบนของไม้แบบแล้วยกไม้แบบออก

- การตากแดดให้แห้ง เมื่อถอดแบบออกแล้วต้องพักทิ้งไว้ให้แห้งสนิท การกำหนดระยะเวลาในการตากแดดนั้นขึ้นอยู่กับสภาพของอากาศในฤดูกาลที่ทำ ถ้าทำในหน้าแล้งอาจใช้เวลาประมาณ 3-5 วัน ในฤดูอื่น ๆ เฉลี่ยโดยทั่ว ๆ ไปประมาณ 1 สัปดาห์ แต่ในช่วงฤดูฝนจะไม่เหมาะที่จะทำอิฐ เพราะน้ำฝนที่ตกลงมา ทำให้อิฐที่พักทิ้งไว้อยู่เกิดความเสียหาย หรือควรหาผ้าคลุมแบบพิมพ์ในเวลาที่ฝนตก

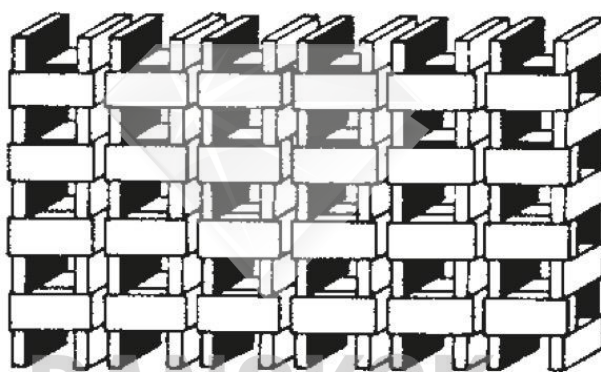
- การตากแต่งอิฐ ดินที่อัดลงในแบบเมื่อนำไปตากแดดจนแห้งจะสังเกตเห็นได้ว่าที่ส่วนข้าง ๆ ของก้อนดินจะไม่เรียบเสมอกัน เพราะดินที่อัดลงไปในแบบจะล้นเกินออกมาจึงต้องใช้มีดตากแต่งให้เรียบเรียบร้อย ก่อนที่จะนำเข้าเตาเผาเพื่อให้ได้รูปร่างของก้อนดินที่เรียบเสมอกันทั้งก้อน

- การเผาอิฐ เมื่อแดดแห้งพอที่จะเผาอิฐได้แล้ว จะนำมาวางกองเป็นแถว แถวหนึ่งกว้างเท่ากับความยาวของแผ่นดินที่จะเผาเป็นอิฐ โดยเว้นระยะเรียงระหว่างแถวไว้เท่า ๆ กันเพื่อใส่แกลบลงไประหว่างแถว การเรียงขนาดของกองทั้งหมดจะมีขนาดเท่าใดนั้นแล้วแต่ปริมาณของแห้งดินที่จะเผาในครั้ง ๆ หนึ่ง ขนาดที่ปฏิบัติกันทั่วไปคือ กองกว้างประมาณ 4 เมตร ยาวประมาณ 6-7 เมตร ความสูงของกองประมาณ 1.6 เมตร เมื่อกองเสร็จเรียบร้อยแล้วที่ด้านนอกทั้ง 4 ด้านใช้อิฐที่เผาสุกแล้วกองล้อมรอบไว้สำหรับกันความร้อนไม่ให้กระจายออกไป ความห่างระหว่างแถวที่กองไว้ให้น้ำแกลบใส่ลงไปให้เต็มทุกช่อง ด้านบนของกองโรยแกลบให้ทั่วหนาประมาณ 7-10 เซนติเมตร แล้วจุด

ไฟให้แกลบไหม้โดยทั่วไป แกลบจะค่อย ๆ ลามไปทั่วกอง เมื่อแกลบไหม้ให้หมั่นเติมแกลบให้เต็มตามระดับเดิมอยู่เสมอ ให้ทำแบบนี้ประมาณ 2 สัปดาห์ หลังจากนั้นปล่อยให้ไฟมอดเอง พักทิ้งไว้ให้ความร้อนหมดไปก็จะได้อิฐที่นำไปใช้งานได้

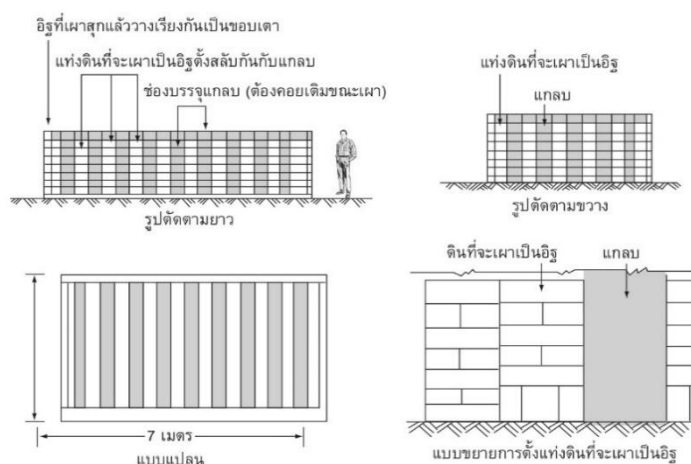
ในภาพที่ 2.3 แสดงการตากดินให้แห้งพอสมควรเพื่อรอกการนำเอาไปเผาเป็นก้อนอิฐ และภาพที่ 2.4 แสดงการกองก้อนดินเพื่อเผาเป็นก้อนอิฐ

ภาพที่ 2.3: แสดงการวางตากดินให้แห้งเพื่อรอกการเผาเป็นก้อนอิฐ



ที่มา: วรพงศ์ วรสุนทรโรสถ และพงศ์พันธ์ วรสุนทรโรสถ. (2556). *วัสดุก่อสร้าง*. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.

ภาพที่ 2.4: แสดงการกองก้อนดินเพื่อเตรียมเผา

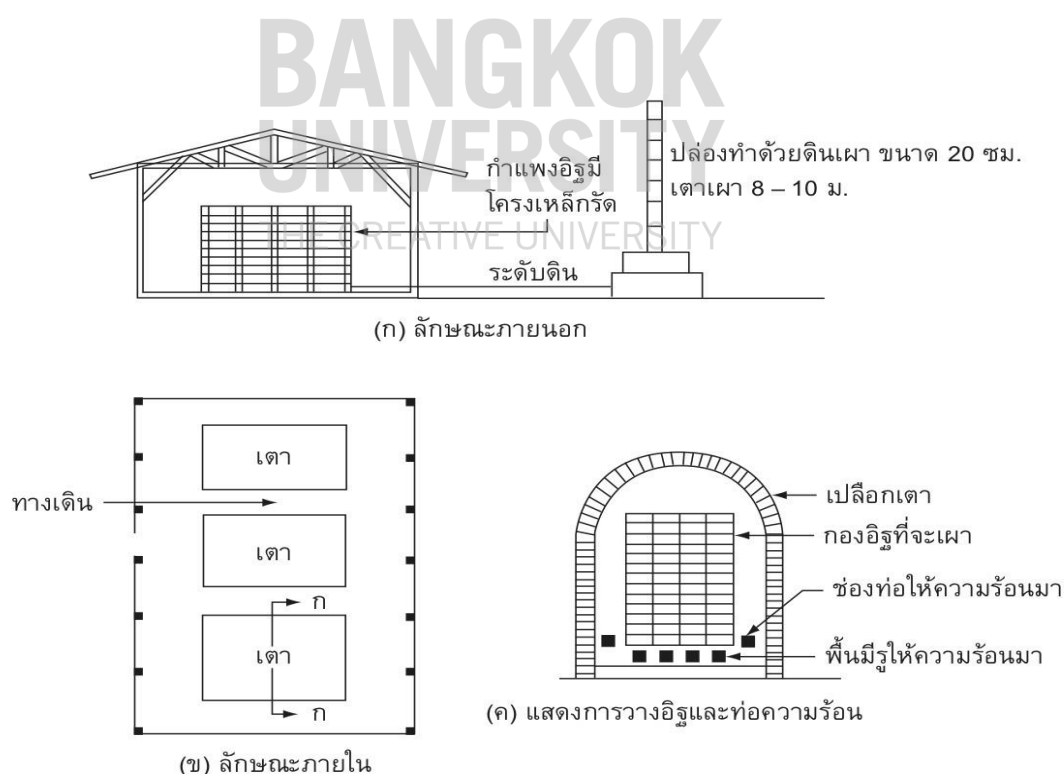


ที่มา: วรพงศ์ วรสุนทรโรสถ และพงศ์พันธ์ วรสุนทรโรสถ. (2556). *วัสดุก่อสร้าง*. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.

ขนาดของอิฐที่ผลิตด้วยมือมีต่างกันไปแล้วแต่ความนิยม ความสะดวกในการเผา ให้สุกทั่วและความสะดวกในการหิวยกมาก่อนเป็นฝาค้าง เป็นต้น ในสมัยอยุธยาหรือก่อนนั้นจะเห็นว่าอิฐที่ใช้มีขนาดใหญ่กว่าในปัจจุบันมาก อิฐที่นำมาเผากันในปัจจุบัน มีความกว้าง ประมาณ 7 เซนติเมตร ความยาวประมาณ 15-15.5 เซนติเมตร ความหนาประมาณ 3.5-4 เซนติเมตร ขนาดของอิฐ จะต้องมีความยาวเป็นสองเท่าของความกว้างบวกด้วยระยะปูนก่อ (คือ 1 เซนติเมตร) เพื่อที่เวลา ก่อกำแพงหนา 1 แผ่นอิฐแล้ว จะได้เสมอเป็นแนวเดียวกันทั้งกำแพง

การเผาอิฐนั้นนอกจากจะเผาด้วยกลบหรือฟืนแล้ว ในบางประเทศที่มีน้ำมันอุดมสมบูรณ์ เช่น อินโดนีเซียใช้การเผาด้วยกากน้ำมัน แต่ไม่ได้เผากลางแจ้งแบบเผาด้วยกลบ การเผาด้วยน้ำมันจะต้องก่อเตาเผาด้วยอิฐที่สุกแล้วโดยรอบและมีหลังคาคลุมอีกชั้นหนึ่งเพื่อป้องกันฝน ตัวเตา ก่อด้วยอิฐเป็นอุโมงค์ยาว ภายใต้งออิฐมีรูเพื่อนำความร้อนเข้ามาและข้างๆ ผนังเตายังมีท่อสำหรับ นำความร้อนออกมาทั้ง 2 ด้าน ส่วนตัวเตาน้ำมันนั้นอยู่แยกออกไปประมาณ 5 เมตร มีปล่องทำด้วยดินเผาขนาด 20 เซนติเมตร ความกว้างของโรงงานประมาณ 10 เมตร ภาพที่ 2.5

ภาพที่ 2.5: ตัวอย่างเตาเผาอิฐด้วยน้ำมัน



ที่มา: วรพงศ์ วรสุทโรสถ และพงศ์พันธ์ วรสุทโรสถ. (2556). *วัสดุก่อสร้าง*. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.

2.2.1.2 อิฐที่อัดด้วยเครื่อง

อิฐที่ทำโดยการอัดด้วยเครื่องมือกลเป็นกรรมวิธีการผลิตที่ได้อิฐที่มีคุณภาพดี ขนาดเท่ากันสม่ำเสมอ เรียกในวงการก่อสร้างว่าอิฐมอยุ่ แบบแม่พิมพ์ของอิฐชนิดนี้ทำด้วยเหล็ก ทำให้อิฐมีขนาดสม่ำเสมอแรงอัดที่ใช้อัดสม่ำเสมอทำให้มีความหนาแน่นเสมอกันดีทั้งก้อน

วัสดุที่ใช้ในการผลิตเป็นดินเหนียว ดินซึ่งมีเหมาะสมในการทำอิฐชนิดนี้พบได้ที่ภาคกลาง จังหวัดอยุธยา และจังหวัดอ่างทอง จะสังเกตเห็นโรงงานทำอิฐชนิดนี้อยู่มากมาย สังเกตได้จากสัญลักษณ์ทะเบียนการค้าต่าง ๆ เช่น บปก. ปปก. บบก. อปท. อปว. มอท. อิฐ บปก. เป็นต้น โดยกรรมวิธีการผลิตอิฐชนิดนี้ มีรายละเอียดดังนี้

- นำเอาดินมาผสมกับน้ำทิ้งไว้ให้ดินละลายรวมตัวกันประมาณ 2 วัน
- กลับดินอีกด้านขึ้นมา แล้วนำเอาไปพักทิ้งไว้อีกประมาณ 2-3 วัน
- เอาซีเมนต์แกลบผสมกับดินที่ผึ่งไว้แล้วย่ำและกลับให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกัน
- นำดินที่ผสมและย่ำแล้วเข้าเครื่องบดและรีดออกมาเป็นเส้นโดยเครื่องรีด เส้นดินที่

รีดออกมานั้นมีขนาดหน้าตัดเท่ากับขนาดของอิฐที่ต้องการ จากขนาดของเส้นดินนี้ถ้าต้องการอิฐขนาดใดก็สามารถเปลี่ยนหัวแบบได้ตามต้องการ ขณะที่เครื่องรีดดินออกมานั้น จะมีเครื่องตัดให้ขาดออกไปเป็นก้อน ๆ

- นำดินที่ตัดเป็นก้อนแล้วนำไปพักในที่ร่มซึ่งมีหลังคา กัน โดยวางเป็นชั้น ๆ อย่าให้ทับกัน ระยะเวลาที่ผึ่งประมาณ สามวัน

- นำเอาดินที่ผึ่งแล้วไปเข้าเครื่องอัดไฮดรอลิกส์ แบบที่ใช้อัดดินเป็นแบบเหล็ก แข็งแรง ขนาดมีความสม่ำเสมอ

- นำเอาอิฐพักทิ้งไว้อีก ประมาณ 1-2 สัปดาห์ในที่ร่ม หรือที่มีหลังคาคลุม
- นำก้อนดิน ไปวางเข้าเตาเผา ดังภาพที่ 2.6 โดยเรียงให้มีพื้นที่ว่างเพื่อที่ความร้อน

จะสามารถกระจายไปได้ทั่ว ระยะเวลาที่ใช้ในการเผาประมาณ 6 วัน

- เมื่อไฟหมดแล้วทิ้งไว้ให้ระอุอีกประมาณ สี่ถึงห้าวัน
- นำอิฐออกจากเตาเผา และนำไปเก็บ

ภาพที่ 2.6: เตาเผาอิฐ บปก. จังหวัดอ่างทอง



ที่มา: ศูนย์ผลิตภัณฑ์อิฐ บ.ป.ก. (กรุงเทพฯ). (ม.ป.ป. ก). *ความเป็นมาของเรา บ.ป.ก.* สืบค้นจาก <https://bpk.in.th/about-us/>.

- รายละเอียดอื่น ๆ ในการเผาอิฐ มีดังนี้
- 900-1,000 องศาเซลเซียส (ความร้อนที่ใช้ในการเผา)
 - มูลค่าในการผลิตอิฐเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับระหว่าง วัสดุและเชื้อเพลิง (ฟืน) แล้วมีอัตราส่วน ที่ดิน 30 เปอร์เซ็นต์และ ฟืน 70 เปอร์เซ็นต์
 - ฟืนไม้เนื้อแข็งเป็นส่วนที่ใช้ทำเชื้อเพลิง
 - หนึ่งรอบของการเผา บรรจุอิฐได้ประมาณ สามหมื่นก้อน ในหนึ่งรอบของการเผานั้นจะมีอิฐเสียประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์
 - ฟืนที่ใช้เผานั้นต้องมีการเติมตลอดระยะเวลาที่เผา 6 วัน 6 คืน โดยฟืนที่บรรจุใส่รถเข็น 1 คัน เผาได้ประมาณ 20 นาฬิกา
 - ขนาดอิฐ บปก. มาตรฐานสำหรับก่อสร้างทั่วไปผลิตจากเครื่องออกมา มิติเป็นนิ้ว ยาว 9 นิ้ว กว้าง 4 นิ้ว หนา 3 นิ้ว ขนาดอื่น ๆ อาจมีตามเอกสารของผู้ผลิต
 - รถบรรทุกสิบล้อ (ปริมาตรประมาณ 10 ลูกบาศก์เมตร) บรรจุอิฐได้ 4,800-5,000 ก้อน
 - มวลน้ำหนักของอิฐ บปก. ขนาด 9 X 4 X 3 นิ้ว ก้อนละ 0.25 กิโลกรัม
 - ระยะเวลาผลิตตั้งแต่ย่ำดินจนออกมาเป็นอิฐประมาณ 30 วัน

ภาพที่ 2.7: ตัวอย่างอิฐ บปก.



ที่มา: ศูนย์ผลิตภัณฑ์อิฐ บ.ป.ก. (กรุงเทพฯ). (ม.ป.ป. ข). ผลิตภัณฑ์. สืบค้นจาก

<http://www.bpkbrick.co.th/product.html>.

ภาพที่ 2.8: ตัวอย่างอิฐ บปก. ที่ทำด้วยเครื่องจักร



ที่มา: ศูนย์ผลิตภัณฑ์อิฐ บ.ป.ก. (กรุงเทพฯ). (ม.ป.ป. ข). *ผลิตภัณฑ์*. สืบค้นจาก

<http://www.bpkbrick.co.th/product.html>.

ภาพที่ 2.9: ตัวอย่างอิฐ อปก. ที่ทำด้วยมือ



B1530

อิฐมอญโบราณมือ B

15x30x5 ซม.

3.10 กก., 22 ชิ้น/ตร.ม.



B1020

อิฐมอญโบราณมือ 8x4

10x20x5 ซม.

1.50 กก., 50 ชิ้น/ตร.ม.



B2020

อิฐมอญโบราณมือ 8x8

20x20x5 ซม.

3.00 กก., 25 ชิ้น/ตร.ม.



B3030

อิฐมอญโบราณมือ 12x12

30x30x5 ซม.

7.10 กก., 11 ชิ้น/ตร.ม.



B928

อิฐมอญโบราณมือ กระป๋อง

9x30x5 ซม.

2.10 กก., 42 ชิ้น/ตร.ม.

ที่มา: ศูนย์ผลิตอิฐ บ.ป.ก. (กรุงเทพฯ). (ม.ป.ป. ข). *ผลิตภัณฑ์*. สืบค้นจาก

<http://www.bpkbrick.co.th/product.html>.

ภาพที่ 2.10: ตัวอย่างอิฐกลวง อิฐโปร่ง อิฐช่องลม



ที่มา: ศูนย์ผลิตภัณฑ์อิฐ บ.ป.ก. (กรุงเทพฯ). (ม.ป.ป. ข). *ผลิตภัณฑ์*. สืบค้นจาก

<http://www.bpkbrick.co.th/product.html>.

2.2.2 ลักษณะของเตาและการเผา

ลักษณะของเตาเผาจะเป็นรูปทรงกลมรียาวจากส่วนล่างขึ้นไปส่วนยอด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเตาภายในประมาณ 5 เมตร เตาแบบนี้เรียกว่า เตาทรงเจดีย์ ความหนาของผนังเตาประมาณ 1-1.5 เมตร ผนังด้านในก่อด้วยอิฐทนไฟ ผนังภายนอกก่อบังอีกครั้งด้วยอิฐ ซึ่งโรงงานเผาขึ้นเองเป็นขนาดพิเศษ ด้านบนของเตาเป็นรูปกลมเพื่อบรรเทาอากาศ ด้านข้างของเตามีปล่องระบายอากาศประมาณ 3-4 ปล่อง

เตามีประตูทางเข้า 1 ประตูสำหรับคนเดินเข้าไปเรียงเพื่อทำการเผา และเป็นทางลำเลียงอิฐที่เผาสุกแล้วออกมา ที่ตรงประตูนี้เมื่อเรียงดินที่จะเผาเต็มเตาแล้ว วางฟืนบนตะแกรงสำหรับวางฟืนซึ่งเป็นตะแกรงเหล็กที่เหลี่ยมนาดประมาณ 15 มิลลิเมตร วางห่างกัน 25 มิลลิเมตร

การวางก้อนดินที่จะเผาเนอิฐนั้นจะต้องวางให้โปร่ง เพื่อให้มีช่องที่ความร้อนจะกระจายไปได้ทั่วเตา เมื่อใส่ฟืนเสร็จแล้วจุดไฟ เมื่อไฟเริ่มลุกติดดีแล้ว ให้ปิดประตูเตาซึ่งทำด้วยเหล็กและมีช่องคูเป็นรูเล็ก ๆ ที่บานประตู การเผาเนอิฐนั้นจะต้องเติมฟืนทุก ๆ 20 นาที โดยประมาณ ตลอดระยะเวลา 6 วัน 6 คืน เมื่อครบระยะเวลาดังกล่าวแล้วจึงหยุดเติมฟืนให้ไฟมอดไปเอง จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นลงระยะอีกประมาณ 3-4 วันจึงลำเลียงอิฐออกมา การลำเลียงอิฐออกจากเตาหรือการเอาดินเข้าไปเรียงในเตานั้นใช้สายพานลำเลียงเข้าช่วย

2.2.3 อิฐที่ทำการผสมระหว่างทรายกับปูนขาว

เกิดขึ้นมาจากทรายผสมกับปูนขาวและน้ำ โดยนำไปเข้าเครื่องอัดหลังจากนั้นนำไปอบด้วยไอน้ำ การอบไอน้ำของทรายที่รวมกับปูนขาวแล้ว เกิดไฮเดรตแคลเซียมซิลิเกต ซึ่งเป็นสารที่ทำให้การเกาะตัวของทรายกับปูนขาวมีความแน่น แข็งแรง ทนทาน ทำให้เชื่อมเม็ดทรายเข้าด้วยกันเป็นเนื้อเดียว อิฐแบบนี้ นอกจากจะมีความแข็งแรงแล้ว สะท้อนความร้อนได้ดี มีสีขาวสะอาด นำไปก่อกำแพงได้โดยไม่ต้องฉาบตกแต่ง

ในการผลิตอิฐที่ทำการผสมระหว่างทรายกับปูนขาว แวน เดอเบิร์ค ได้จดทะเบียนลิขสิทธิ์ไว้ที่ประเทศอังกฤษในปี พ.ศ. 2309 ต่อมา ได้ปรับปรุงแก้ไขวิธีการและได้จดทะเบียนลิขสิทธิ์ใหม่ที่ประเทศเยอรมนีโดยด็บบเบิลยู. มิชาลิสเมื่อปี พ.ศ. 2323 ได้ผลิตออกมาเป็นสินค้าครั้งแรกในเยอรมนี เมื่อปี พ.ศ. 2441 หลังจากนั้นก็ได้แพร่หลายเป็นที่นิยมเนื่องจากสะดวกรวดเร็วต่อการก่อสร้างอย่าง จากสถิติพบว่าในปี พ.ศ. 2471 ได้มีการผลิตมากถึง 1,000,000,000 ก้อน ในประเทศสวีตเซอร์แลนด์ก็ผลิตอิฐชนิดนี้มาใช้มากถึงปีละ 100,000,000 ก้อนในปี พ.ศ. 2476 ประเทศเนเธอร์แลนด์ผลิตได้ 600 ล้านก้อน ในสหรัฐอเมริกาโรงงานผลิตได้ตั้งขึ้นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2446 ซึ่งได้มีการใช้อิฐชนิดนี้แพร่หลายไปอย่างรวดเร็วในปี พ.ศ. 2470 มากถึง 320,000,000 ก้อน

- วัสดุที่ใช้ในการผลิต

ส่วนผสมที่ใช้ในการผลิต คือ ทราย ซิลิกา ปูนขาว น้ำ และอาจมีการเติมส่วนผสมอื่น ๆ ลงไปได้อีกตามความเหมาะสมในการนำไปใช้ ซึ่งการผสมวัสดุอื่นลงไปนั้นต้องคำนึงไม่ให้เสียความแข็งแรง หรือความทนทาน เช่น การเติมสีลงไปเพื่อให้ได้สีตามต้องการ

ทรายเป็นส่วนสำคัญของอิฐแบบนี้ซึ่งมีถึง 90 เปอร์เซ็นต์ การผลิตอิฐหนึ่งพันก้อนจะต้องใช้ทรายมากถึง 2-3 ตัน ฉะนั้นที่ตั้งของโรงงานจึงควรใกล้แหล่งทรายให้มากเพื่อลดต้นทุนค่าขนส่ง สำหรับตัวปูนขาวนั้นใช้น้อยกว่าจึงอาจคัดสรรจากแหล่งอื่นโดยควบคุมค่าใช้จ่ายได้ไม่มาก

เหมือนกับการลำเลียงทรายมา การเลือกทรายที่จะนำมาใช้ผลิตจะต้องคำนึงถึงสีและขนาดของทราย และวัตถุเจือปนที่ปนอยู่ในทราย เนื่องจากมีสารอื่นเคลือบเม็ดทรายปนอยู่ หรืออาจมีแร่ธาตุอื่น นอกจากซิลิกา เช่น ธาตุเกลือ อินทรีย์วัตถุอื่น ๆ

การที่มีสารอื่นเคลือบเม็ดทรายอยู่ส่งผลให้การเชื่อมตัวติดกันของเม็ดทรายเมื่ออบ ด้วยไอน้ำ คุณภาพนั้นลดลง ซึ่งทำให้อิฐมีความแข็งแรงลดลง การที่มีโคลนปนอยู่ก็อาจทำให้ความ ทนทานของอิฐลดลง สารอื่น ๆ ที่ปนอยู่ในทรายนอกจากซิลิกาแล้ว อาจมีเฟลด์สปาร์ ไมกา และ แมกนีไทต์ ถึงแม้จะจำนวนไม่มากก็สามารถทำให้เกิดความเสียหาย แต่สีของอิฐอาจเปลี่ยนแปลงไป ได้เล็กน้อย

การที่สารเหลือปนอยู่ด้วยในทรายนั้นไม่ดี เพราะจะทำให้อิฐไม่มีความทนทานและ ในเนื้อผิวของอิฐอาจมีรอยต่างได้

ขนาดของเม็ดทรายเป็นสิ่งที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่งในการทำอิฐชนิดนี้ ขนาดของ เม็ดทรายที่ใหญ่และขนาดที่ไม่สม่ำเสมอจะทำให้ลักษณะของอิฐแปลกไป และเกิดปัญหาในการอัด เข้าเป็นก้อนเพราะขนาดขอบริมของก้อนอิฐอาจไม่คมสวยงาม

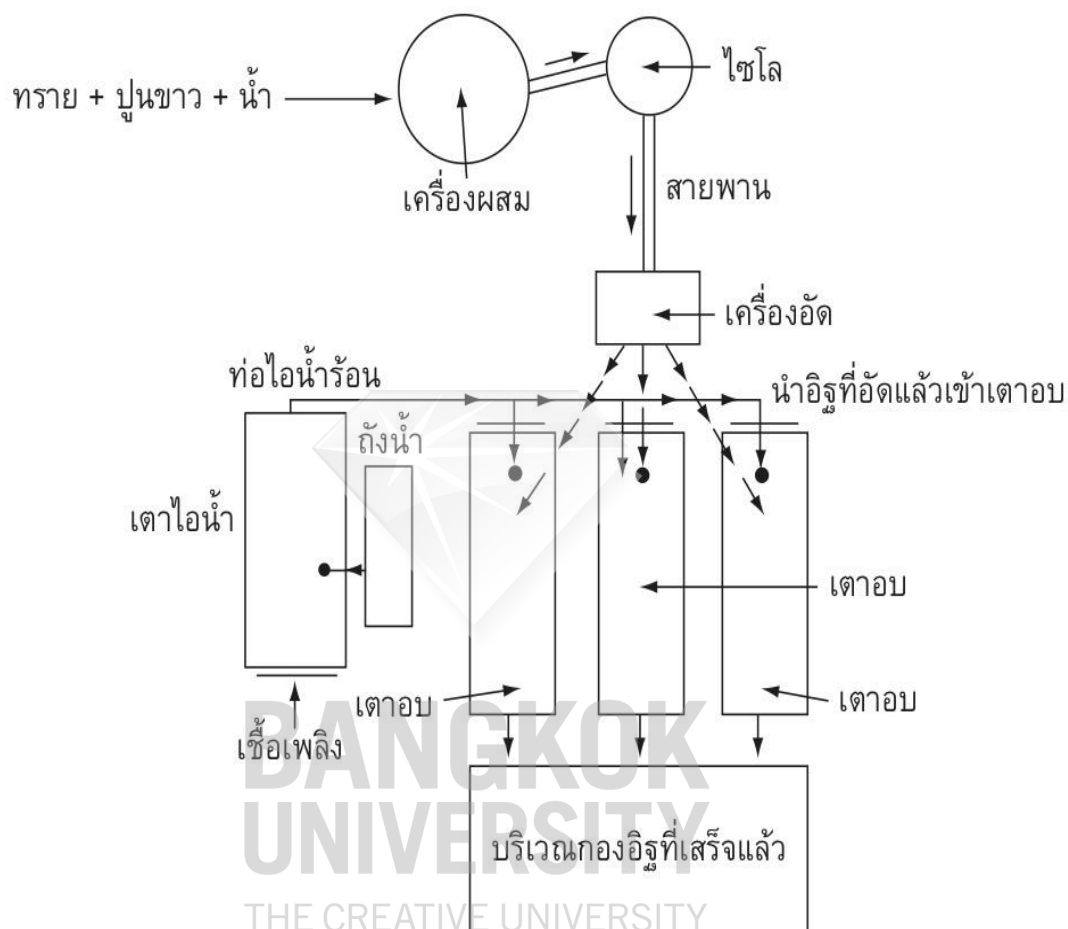
ปูนขาวที่ใช้ในการผลิตนั้นส่วนใหญ่มีขายอยู่ทั่วไป ประกอบไปด้วยเปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ กันของแคลเซียมคาร์บอเนต อะลูมินา แมกนีเซียม ซิลิกา แอลกาไลน์ และซิลิเกต สำหรับปูนขาวที่ใช้ ในการผลิตอิฐชนิดนี้ ใช้ในอัตราส่วนปูนขาว 130 กิโลกรัม ต่อทราย 1,000 กิโลกรัม

- กรรมวิธีในการผลิต

แบ่งเป็น 3 ขั้นตอนคือ การผสมวัตถุดิบ การอัดเข้าแม่พิมพ์ และการอบให้แข็งตัว โดยนำปูนขาวมาบดให้ละเอียดแล้วร่อน อินทรีย์วัตถุต่าง ๆ ออกทิ้ง แล้วนำปูนขาวมาผสมรวมกับ ทรายตามอัตราส่วนที่ต้องการ โดยใช้เครื่องมือผสมโดยใช้น้ำผสม ตามความเหมาะสม แล้วนำ ส่วนผสมเข้าไปพักทิ้งไว้ในไซโลประมาณ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำวัสดุจากไซโลมาผสมอีกครั้งหนึ่ง โดยเพิ่มน้ำเข้าไปให้เหลวพอที่จะไหลเข้าแม่พิมพ์อัดได้ง่าย แล้วนำเข้าเครื่องอัดเป็นก้อน การส่งใช้ สายพานเครื่องอัดมีแรงกด 1,000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่ออัดออกมาเป็นก้อนแล้วนำไปใส่ รถเข็นลำเลียงเข้าไปวางในเตาอบไอน้ำ

เตาอบไอน้ำโดยทั่วไปมีขนาดรอบวงประมาณ 1.5-2 เมตร ความยาวประมาณ 10 เมตร หรือมากกว่านั้น ทรงกระบอก ทำด้วยเหล็ก มีประตูอัดแน่นเมื่อได้เรียงอิฐที่จะอบเต็มเตาแล้ว เมื่อปิดประตูเรียบร้อยแล้วเริ่มเปิดไอน้ำให้ไหลเข้ามาในเตา โดยเพิ่มแรงดันในเตาขึ้นทีละน้อย ภายใน ระยะเวลา 1 ชั่วโมง จนได้แรงดันที่ต้องการแล้ว ปลออยไอน้ำทิ้งไว้ 8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 200 องศา เซลเซียส เมื่อครบแปดชั่วโมงแล้วปิดวาล์ว ไม่ต้องเติมไอน้ำเข้าไป พักทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเปิดเตา นำออก จากเตาแล้วนำไปเก็บ โดยอิฐชนิดนี้ คือ อิฐขาว

ภาพที่ 2.11: แผนภูมิขั้นตอนการทำอิฐขาว ที่ทำจากทรายและปูนขาวผสมกัน



ที่มา: วรพงศ์ วรสุนทรโรสถ และพงศ์พันธ์ วรสุนทรโรสถ. (2556). *วัสดุก่อสร้าง*. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.

2.2.4 อิฐทนไฟ

เป็นอิฐสำหรับป้องกันไฟ คือ ใช้ในการก่อสร้างส่วนของอาคารบริเวณที่ต้องทนความร้อนสูง ได้โดยไม่เสียหาย เช่น การก่อเตาเผาอิฐ ก่อเมรุเผาศพ ก่อปล่องไฟ ก่อเตาหลอมโลหะ บริเวณที่อุณหภูมิความร้อนสูง ซึ่งในบางครั้งมีความร้อนสูงตั้งแต่ 1,000 องศาเซลเซียสขึ้นไป ถ้าใช้อิฐทั่วไปก่อ เมื่อเจอความร้อนสูง อิฐก็จะแตกร้าวทำให้เกิดความเสียหายได้ อีกประการหนึ่งคือ อิฐธรรมดาทำรูปร่างเป็นเหลี่ยมซึ่งมีมุมเป็นมุมฉาก แต่การก่อเตาหรือปล่องไฟต้องการอิฐที่เป็นรูปโค้ง ซึ่งอิฐทนไฟผลิตออกมาเพื่อใช้ในการก่อส่วนนี้อยู่แล้วโดยผลิตเป็นรูปต่าง ๆ ให้เลือกหลากหลายสำหรับการใช้งานก่อเตา

อิฐทนไฟทำจากดินที่มีอะลูมินาสูง ยิ่งมีอะลูมินาสูงยิ่งมีความสามารถทนไฟได้ดี ดินทนไฟส่วนใหญ่ ที่มีในประเทศส่วนมากมีอะลูมินาไม่เกิน 40 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ไม่สามารถทนความร้อนสูงได้ ฉะนั้น จึงต้องเติมอะลูมินาเข้าไปให้ได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ หรือมากกว่านั้นตามความเหมาะสมในการใช้งาน ดินที่จะทำอิฐทนไฟต้องเลือกที่ ปราศจากเหล็กหรือซิลิกาเจือปนหรือจะมีปนบ้างก็ให้เป็นส่วนน้อย ดินที่มีเหล็กปนจะทำให้คุณภาพในการต้านทานไฟของอิฐทนไฟลดลง ถ้าดินมีซิลิกาและแคลเซียมผสมอยู่อย่างไม่มีสัดส่วนที่เหมาะสม เมื่อถูกเผาอาจทำให้อิฐแตกร้าวได้

ภาพที่ 2.12: ตัวอย่างลักษณะของอิฐทนไฟ



ที่มา: บริษัท โซลิตสตาร์ จำกัด. (ม.ป.ป.). อิฐทนไฟ. สืบค้นจาก <https://apk.co.th/collections/อิฐทนไฟ/>.

อิฐทนไฟที่บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) ผลิตออกมานั้นแบ่งตามประเภทอะลูมินาที่มีอยู่ อิฐทนไฟที่มีปริมาณอะลูมินาสูงขึ้นจะทำให้เปอร์เซ็นต์กับสภาพของงานที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็นลำดับ ปกติจะให้อะลูมินาสูงระหว่าง 30-50 เปอร์เซ็นต์ และคุณภาพของอิฐทนไฟแต่ละประเภทสามารถจำแนกตามลักษณะการใช้งานได้ตั้งแต่ ทานความเปลี่ยนแปลงระดับกลางจนถึงทานความร้อนสูงและสูงพิเศษ

อิฐทนไฟที่บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) ผลิตออกมาจำหน่ายนั้น แบ่งชั้นคุณภาพ ออกต่าง ๆ กัน เช่น K-30, K-35 และ K-38 ซึ่งมีคุณลักษณะและความเหมาะสม ในการใช้งานต่างกัน ดังนี้

- K-30 เหมาะสำหรับการใช้งานที่มีอุณหภูมิไม่สูงมากนัก เช่น ก่อภายในปล่องไฟ หรือท่อลมร้อนทุกชนิด เตาเผาและเตาหลอมโลหะทนไฟได้ 1,680 องศาเซลเซียส

- K-35 ใช้สำหรับงานทั่ว ๆ ไปที่ต้องการคุณสมบัติด้านอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ฉับพลันทนการสีกกร่อน เหมาะสำหรับทำหม้อเผาปูนซีเมนต์และปูนขาว เตาถลุงแร่ เตาหลอมโลหะ จุบน้ำเหล็ก และเตาเผาอื่น ๆ ทนไฟได้ 1,710 องศาเซลเซียส

- K-38 เป็นอิฐทนไฟคุณภาพดี มีความหนาแน่นสูง และอยู่ในจำพวกอิฐที่สามารถ ทนความร้อนได้สูง มีการต้านทานอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงฉับพลัน ทนการสีกกร่อน จากการเสียดสี และมีการหดขยายตัวน้อยเหมาะสำหรับการก่อปล่องไฟเตาเผาชนิดใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง โรงรีดโลหะ ผึงและหลังคาเตาอบความร้อน หม้อเผาปูนซีเมนต์เตาอบเหล็กแท่ง และปูนขาว ทนไฟได้ 1,730 องศาเซลเซียส

อิฐทนไฟที่มีปริมาณอะลูมินานั้นมีปริมาณตั้งแต่ 50 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป โดยจำแนกออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทผลิตจากไคยาไนท์ (Kyanite) และผลิตจากบอกไซต์ (Bauxite)

- แร่ไคยาไนท์ มีสูตรทางเคมีว่า $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ เป็นแร่ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ใช้สำหรับ อิฐทนไฟที่ต้องการควบคุมการทนความร้อนสูงกว่าอิฐทนไฟอย่างธรรมดา ในการผลิตนั้น แร่ไคยาไนท์ จะต้องถูกนำไปเผามาก่อน ทั้งนี้เนื่องจากที่อุณหภูมิ 1,350 องศาเซลเซียส แร่ไคยาไนท์จะเปลี่ยน สภาพเป็น แร่มุลไลต์ (Mullite) ที่ทนความร้อนได้สูงมากและมีภาวะอยู่ตัว มีความต้านทานอุณหภูมิ ซึ่งเปลี่ยนแปลงรวดเร็วได้ค่อนข้างดี และมีความทนไฟภายใต้ น้ำหนักบรรทุกได้ดีในช่วงที่อุณหภูมิสูง

- แร่บอกไซต์ นำมาใช้ผลิตอิฐทนไฟที่มีอะลูมินาสูงมากถึง 80 เปอร์เซ็นต์ โดยมี สารอื่น ๆ เจือปนอยู่ปริมาณค่อนข้างน้อยมาก การผสมกับวัตถุดิบที่มีคุณภาพสูงในอัตราส่วนที่ เท่า ๆ กัน ทำให้ผลิตภัณฑ์นี้มีปริมาณอะลูมินาสูงตั้งแต่ 50-80 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอะลูมินาที่สูงขึ้น จะส่งผลให้ความทนไฟภายใต้ น้ำหนักบรรทุกที่อุณหภูมิสูงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

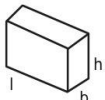
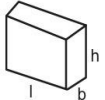
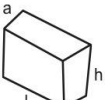
อิฐทนไฟอะลูมินาที่บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) ผลิตออกมาจำหน่ายแบ่งชั้น คุณภาพออกต่าง ๆ กันตามลักษณะ ความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน ดังนี้

- KB-50 เป็นอิฐทนไฟอะลูมินาสูง ทำจากแร่บอกไซต์และดินทนไฟที่มีแร่เหล็กปน อยู่เล็กน้อย ทำให้มีความสามารถในการทนไฟภายใต้ น้ำหนักบรรทุกสูงและทนต่อการกัดกร่อนของ ซีโลหะดี เหมาะกับการนำไปใช้งานที่มีอุณหภูมิสูง เช่น ส่วนด้านในของหม้อเผาปูนซีเมนต์และ เตาเผาชนิดต่าง ๆ ที่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงทนไฟได้ 17,800 องศาเซลเซียส

- KB-60 ปริมาณอะลูมินาสูงถึง 60 เปอร์เซ็นต์ ผลิตจากแร่บอกไซต์ อิฐชนิดนี้จะมีปริมาณคงที่มีกำลังต้านแรงอัดสูง มีความต้านทานการแตกร้าวสูงเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว และทนการกัดกร่อนของซัลเฟตได้ค่อนข้างดีเหมาะสำหรับเตาเผาปูนซีเมนต์และปูนขาว หลังคาเตาหลอมโลหะด้วยไฟฟ้า เตาอบโลหะ เตาหม้อน้ำ เปร้ารับน้ำหนัก และอื่น ๆ ทนไฟได้ 1,805 องศาเซลเซียส

- B-80 เป็นอิฐทนไฟที่มีคุณภาพสูงเป็นพิเศษ โดยใช้สารเคมีเป็นตัวประสาน ซึ่งหลังจากใช้งานไปแล้วไม่มีการหดตัว มีความต้านทานอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงรวดเร็วได้ดีมาก มีความทนไฟภายใต้ น้ำหนักบรรทุกสูง และทนการกัดกร่อนของซัลเฟตได้ดี เหมาะสำหรับก่อในบริเวณที่เผาไหม้ของเตาเผาปูนซีเมนต์และปูนขาว หลังคาเตาหลอมโลหะด้วยไฟฟ้า บริเวณห้องเผาไหม้ของเตาเผาเป็นแบบอุโมงค์ รูของเตาหลอมพื้นเตาอบโลหะ เตาถลุง เตาหลอมเหล็กหล่อที่มีอุณหภูมิค่อนข้างสูง และต้านทานไฟได้ 1,855 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 2.1: ขนาดมาตรฐานของอิฐทนไฟ

รายละเอียด รูปร่าง	เบอร์อิฐ	ขนาดเป็น มม.				รัศมีนอกเป็น มม.	น้ำหนักโดยประมาณเป็น กก./ก้อน								
		a	b	h	l		เด - 30	เด - 35	เด - 38	เด - 43	เด - 50	เด - 55	เด - 60	เด - 75	เด - 80
สี่เหลี่ยม 	เอสที - 76 เอสที - 64	- -	76 64	115 115	230 230	- -	4.1 3.5	4.2 3.6	4.3 3.6	4.4 3.7	4.6 3.9	4.6 3.9	4.8 4.1	4.9 4.2	5.1 4.3
สี่เหลี่ยมบาง 	เอสพี - 50 เอสพี - 38 เอสพี - 32 เอสพี - 25	- - - -	50 38 32 25	115 115 115 115	230 230 230 230	- - - -	2.7 2.1 1.7 1.4	2.8 2.1 1.8 1.4	2.8 2.2 1.8 1.4	2.9 2.2 1.9 1.5	3.0 2.3 2.0 1.5	3.0 2.3 2.0 1.5	3.2 2.4 2.0 1.6	3.2 2.5 2.1 1.6	3.4 2.6 2.2 1.7
กลีบส้ม 	เอสเอ - 70 เอสเอ - 64 เอสเอ - 50	76 76 76	70 64 50	115 115 115	230 230 230	1,500 750 350	3.9 3.8 3.4	4.0 3.9 3.5	4.1 4.0 3.6	4.2 4.1 3.7	4.4 4.2 3.8	4.4 4.2 3.8	4.6 4.4 4.0	4.7 4.5 4.1	4.9 4.7 4.2
หัวขวาน 	อีเอ - 70 อีเอ - 64 อีเอ - 50	76 76 76	70 64 50	115 115 115	230 230 230	3,000 1,500 700	3.9 3.8 3.4	4.0 3.9 3.5	4.1 4.0 3.6	4.2 4.1 3.7	4.4 4.2 3.8	4.4 4.2 3.8	4.6 4.4 4.0	4.7 4.5 4.1	4.9 4.7 4.2
สามเหลี่ยม 	เคอี - 100 เคอี - 89 เคอี - 76	115 115 115	100 89 76	76 76 76	230 230 230	2,000 1,000 700	3.8 3.6 3.4	3.9 3.7 3.5	4.0 3.8 3.6	4.1 3.9 3.7	4.3 4.1 3.8	4.3 4.1 3.8	4.5 4.3 4.0	4.6 4.3 4.1	4.8 4.5 4.2

ที่มา: วรพงศ์ วรสุทโธสถ และพงศ์พันธ์ วรสุทโธสถ. (2556). วัสดุก่อสร้าง. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.

2.3 ปูนซีเมนต์

กวี หวังนิเวศน์กุล (2552) ให้ความหมายของปูนซีเมนต์ไว้ว่า ปูนซีเมนต์ หมายถึง สารประกอบที่ผสมเข้ากับน้ำ ในอัตราส่วนหนึ่ง พักทิ้งไว้เป็นเวลาชั่วระยะเวลาหนึ่งจะเกิดการแข็งตัว ปูนซีเมนต์ตามธรรมชาตินั้นเป็นหินพอกโซลานา ซึ่งได้ค้นพบโดยชาวโรมันและเริ่มนำมาใช้ในงานผสมคอนกรีต สามารถสร้างอาคารที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่ หรือช่วงอาคารที่กว้างได้แข็งแรงและมีความคงทน ถาวร ปูนซีเมนต์ในปัจจุบันทำจากธาตุที่ผสมไปด้วย ธาตุซิลิกาและอะลูมินา ได้แก่ ศิลาแลง ดินขาว และดินดำ ซึ่งมีธาตุหลักมารวมกัน ในประเทศไทยมีโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ ก่อตั้งขึ้นครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2546

ภาพที่ 2.13: ปูนซีเมนต์ผง



ที่มา: บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด. (ม.ป.ป.). ชนิดของปูนซีเมนต์. สืบค้นจาก www.scghome.com.

2.3.1 ชนิดของปูนซีเมนต์

สามารถแบ่งออกเป็นชนิดต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

2.3.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement)

เป็นวัสดุที่ถูกค้นพบครั้งแรกในประเทศอังกฤษที่เมืองปอร์ตแลนด์ หินปูนที่มีปริมาณดินปะปนอยู่เป็นจำนวนมาก เมื่อนำดินไปเผาจะทำให้ได้ปูนปอร์ตแลนด์ในทันที โดยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์สามารถแข็งตัวในน้ำได้ มีเหล็กออกไซด์ อะลูมินา และซิลิกา ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ทำโดยเอา

ปูนขาวและดินเหนียวตามสัดส่วนมาผสมเข้าด้วยกันแล้วนำไปเผาในอุณหภูมิที่สูงมากจนกลายเป็นก้อน ๆ และจึงนำเอามาบดให้ละเอียดจนเปลี่ยนลักษณะกลายเป็นผง โดยไม่ต้องเติมวัสดุใด ๆ เข้าไปอีก ยกเว้นน้ำและผงยิปซัม จะเป็นการใช้เฉพาะ ช่วยชะลอให้ปูนซีเมนต์แข็งตัวได้ช้าลง ทำให้สะดวกต่อการเทหล่อคอนกรีต

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ สามารถแบ่งเป็นชนิดต่าง ๆ ได้ดังนี้

- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดแข็งตัวเร็ว (Rapid Hardening Portland Cement)

ปูนชนิดนี้ทำด้วยความประณีตเป็นพิเศษ บดเป็นผงละเอียดกว่าปูนซีเมนต์ธรรมดา มาก และมีกำลังสูงกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาด้วย ปูนซีเมนต์ชนิดนี้เมื่อนำไปผสมคอนกรีตใน อัตราส่วน 1:2:4 จะต้านแรงกดได้ 140 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรเมื่อหล่อได้หนึ่งวัน และรับแรง กดได้ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อหล่อได้หนึ่งสัปดาห์ ซึ่งหมายความว่าคอนกรีตซึ่งหล่อ ด้วยปูนซีเมนต์นี้เพียง สามวัน จะมีกำลังรับแรงเท่ากับคอนกรีตที่ผสมด้วยปูนปอร์ตแลนด์ธรรมดาที่ หล่อแล้วได้ สองสัปดาห์ ปูนซีเมนต์ชนิดนี้มีประโยชน์มากสำหรับหล่อคอนกรีตที่ต้องการใช้ความเร็ว หรือรูปแบบหล่อคอนกรีตโดยเร็ว เช่น งานหล่อคาน ฐานราก หรือเทพื้นเร่งด่วน เป็นต้น

- ปูนซีเมนต์ขาว

มีคุณภาพเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แต่มีสีขาวและมูลค่าสูงกว่าปูนซีเมนต์ธรรมดา ใช้สำหรับงานทำหินขัด ทราวยาล้าง ยาแนวกระเบื้องเคลือบที่ใช้กรุฝา ฯลฯ

- ปูนซีเมนต์สี

ผสมคอนกรีตและปูนฉาบให้เป็นสีต่าง ๆ เนื่องการใช้ปูนซีเมนต์ธรรมดาผสมสีเอง หรือสีฝุ่นลงไปให้เป็นตามต้องการ สีในเนื้อปูนอาจไม่สม่ำเสมอ ในบางรายในต่างประเทศได้มีการ ผลิตปูนซีเมนต์สี ขึ้นมาใช้งานโดยเฉพาะ โดยใช้ชื่อทางการว่า คัลเลอร์ครีต

2.3.1.2 ปูนซีเมนต์ธรรมชาติ (Natural Cement)

ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ทำจากหินที่ขุดได้ในดินคล้าย ๆ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์อยู่แล้ว โดยการเผาหิน ด้วยการใช้ความร้อนสูงแบบเผาปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หลังจากนั้นนำมาบดให้เป็นผง ปูนซีเมนต์ชนิดนี้มีความเสถียรในตัวในน้ำได้เหมือนกัน แต่มีกำลังรับแรงต่ำกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มาก ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของหินนั้น ๆ ที่ได้จากธรรมชาติ

2.3.1.3 ปูนซีเมนต์พอสโซลานา (Pozzolana Cement)

ปูนซีเมนต์พอสโซลานา หรือปูนซีเมนต์สแล็ก (Slag Cement) ทำขึ้นโดยการนำกาก จากเตาเผาและปูนขาวหลักหรือพอสโซลานาและพวกหินภูเขาไฟมาผสมเข้าด้วยกันแล้วนำไปบดให้ ละเอียด ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งกว่าปูนชนิดนี้ แต่ถ้านำไปใช้เป็นปูนก่อหรือคอนกรีตจะมีความ

เหนียวและแตกร้าวได้ที่ผสมด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เหมาะสำหรับงานเทพริเวณน้ำทะเลหรือในที่ชื้น เช่น ฐานราก ท่อน้ำ และงานใต้ดิน

2.3.1.4 ปูนซีเมนต์อลูมินัส (Aluminous Cement)

ปูนชนิดเอา บอกลี ซึ่งเป็รที่มื่อะลูมินาามากมาผสมกับปูนขาวแล้วเผา หลังจากนั้นนำมาบดเช่นเดียวกันกับ การทำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ให้กำลังเร็ว คอนกรีตที่ผสมด้วยปูนซีเมนต์ชนิดนี้เมื่อครบ 24 ชั่วโมงมีกำลังเท่ากับ คอนกรีตซึ่งหล่อด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ สามเดือน งานเสาเข็มคอนกรีตสำเร็จรูปที่หล่อด้วยปูนซีเมนต์ชนิดนี้อาจนำมาใช้ได้เมื่อหล่อได้เพียง 24 ชั่วโมง

ปูนซีเมนต์ชนิดนี้เมื่อนำเอาไปใช้ในที่ที่มีอากาศหนาวมากก็สามารถ เมื่อปูนซีเมนต์ชนิดนี้ผสมน้ำจะส่งผลให้เกิดความร้อน ซึ่งเป็นการป้องกันไม่ให้คอนกรีตแข็งเร็วด้วยความเย็นจากอุณหภูมิเสียก่อน คอนกรีตที่ผสมด้วยปูนซีเมนต์ชนิดนี้เมื่อแข็งตัวในระหว่าง 4-6 ชั่วโมง ต้องพรมน้ำให้มีความชื้นอยู่เสมอจนครบ 24 ชั่วโมง เพื่อเป็นการชดเชยน้ำที่ระเหยไปโดยความร้อนจากปฏิกิริยาของปูน ในขณะที่กำลังแข็งตัวของคอนกรีต

2.3.1.5 ปูนซีเมนต์ซิลิกา (Silica Cement)

เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ซึ่งนำมาผสมกับทราย โดยบดปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดเม็ด 70 เปอร์เซ็นต์ ผสมทราย 30 เปอร์เซ็นต์และผสมยิปซัมลงไปด้วยเล็กน้อยเพื่อให้ราคาถูกลง ในประเทศในแถบยุโรปส่วนมากก็ผลิตขึ้นมาใช้กันมากมาย ในประเทศที่ไม่สามารถหาซื้อเพลิงที่ได้มาจากธรรมชาติ มักนิยมใช้ปูนซีเมนต์ชนิดนี้มาก เพราะปูนซีเมนต์ชนิดนี้ใช้เชื้อเพลิงในการผลิตน้อยมาก มาตราฐานของปูนซีเมนต์ซิลิกากำหนดส่วนต่ำสุดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ซึ่งใช้กำหนดไว้ เพียงแค่ห้าสิบเปอร์เซ็นต์ ปูนซิลิกาของประเทศไทย คือ ปูนตราเสือของ บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) ปูนตรานกอินทรีของบริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน)

2.3.2 สารประกอบในปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ประกอบไปด้วยสารประกอบที่สำคัญ คือ

2.3.2.1 ไตรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalcium Silicate) C_3S

สูตรทางเคมี คือ $3CaO \cdot SiO_2$ ซึ่งทำให้ปูนซีเมนต์สร้างกำลังได้เร็ว

2.3.2.2 ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium Silicate) C_2S

สูตรทางเคมี คือ $2CaO \cdot SiO_2$ ซึ่งทำให้ปูนซีเมนต์สร้างกำลังได้ช้า

2.3.2.3 ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (Tricalcium Aluminate) C_3A

สูตรทางเคมี คือ $3CaO \cdot Al_2O_3$ ซึ่งทำให้ปูนซีเมนต์เกิดปฏิกิริยาแข็งตัวตามความต้องการ โดยมียิปซัมเป็นตัวถ่วง

2.3.2.4 เตตระแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรต์ (Tetra - Calcium Alumino Ferrite) C_4AF
สูตรทางเคมี คือ $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$

ในทางวิชาการได้มีการปรับปรุงค้นคว้าเกี่ยวกับกรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์เสมอมา ได้มีการจำกัดชั้นลักษณะคุณภาพ เช่น จำกัดส่วนผสมทางเคมี คุณสมบัติเกี่ยวกับเวลาแข็งตัว ความไม่เปลี่ยนแปลงในทางเสื่อมคุณภาพ ตลอดจนการจำกัดขีดต่ำของกำลังปูนซีเมนต์ทั้งแรงดึงและแรงกด

ผลการทดลองลักษณะและคุณภาพของปูนซีเมนต์ได้ส่งผลทำให้เกิดมาตรฐานของปูนซีเมนต์ขึ้น โดยมาตรฐานที่รู้จักกันโดยทั่วไปคือ มาตรฐานอังกฤษหรือ BSS (British Standard Specification) มาตรฐานอเมริกันหรือ ASTM (American Society for Testing Material Standard) และมาตรฐานของเยอรมันหรือ DIN (Deutsche Industrie Norm)

มาตรฐานอังกฤษแบ่งปูนซีเมนต์ออกเป็น 3 ประเภท คือ ธรรมดา แข็งตัว และ ความร้อนต่ำ

มาตรฐานอเมริกันแบ่งออกเป็น 5 ประเภทคือ ระดับ 1,2,3,4,5 สำหรับงานชนิดต่าง ๆ กัน

มาตรฐานเยอรมันแบ่งปูนซีเมนต์เป็นชนิดขึ้นตามกำลัง เช่น Z-225, Z-325 และ Z-425

2.3.3 ความหมายเกี่ยวกับปูนซีเมนต์ชนิดต่าง ๆ

เนื่องจากบริษัทผู้ผลิตได้ผลิตปูนซีเมนต์ชนิดต่าง ๆ มากมายหลายชนิด เพื่อให้เกิดความเข้าใจ จึงมีชื่อตามประมวลศัพท์เกี่ยวกับคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังต่อไปนี้

2.3.3.1 ปูนซีเมนต์ (Cement) หมายถึง ผงที่บดละเอียด ซึ่งเมื่อนำไปผสมกับน้ำ ด้วยปริมาตรหนึ่งจะจับตัวแข็งและเกาะแน่นกับวัสดุผสมที่เหมาะสม ทำให้รวมตัวกันเป็นก้อนแข็ง เรียกว่า คอนกรีตหรือปูนก่อ

คำว่า วัสดุผสม หมายถึง วัสดุจำพวกหิน กรวด และทราย ซึ่งเป็นส่วนใหญ่ของคอนกรีต

2.3.3.2 ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกส์ (Hydraulics Cement) หมายถึง ปูนซีเมนต์ซึ่งสามารถยึดเหนี่ยววัสดุผสมที่เหมาะสมด้วยกันเป็นคอนกรีต แข็งตัวในน้ำได้

2.3.3.3 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) หมายถึง ปูนไฮดรอลิกส์ชนิดหนึ่งซึ่งทำขึ้นโดยการเผาส่วนผสมของสารจำพวกหินปูนกับดินเหนียวในอุณหภูมิสูงจนกลายเป็นเม็ด แล้วนำเม็ดที่ได้ไปบดให้ละเอียดเป็นผง

2.3.3.4 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์แข็งเร็ว (Rapid - Hardening Portland Cement) หมายถึง ปูนชนิดหนึ่งซึ่งไม่เหมือนปูนซีเมนต์ธรรมดาในข้อที่ว่าเนื้อที่ละเอียดกว่า ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ธรรมดาและหลังการก่อตัวแล้วจะแข็งตัวเร็วกว่าในระยะแรก ๆ

2.3.3.5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ก่อตัวเร็ว (Quick - Setting Portland Cement)

หมายถึง ปูนปอร์ตแลนด์ชนิดหนึ่ง ซึ่งระยะเวลาก่อตัวเร็วกว่าปูนปอร์ตแลนด์ธรรมดา

2.3.3.6 ปูนซีเมนต์ความร้อนต่ำ (Low - Heat Portland Cement) หมายถึง

ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกส์ชนิดหนึ่งซึ่งเกิดความร้อนขึ้นจากการผสมน้ำมีน้อยกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา

2.3.3.7 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟต (Sulphate - Resisting Portland

Cement) หมายถึง ปูนปอร์ตแลนด์ซึ่งมีความต้านทานต่อปฏิกิริยาของพวกซัลเฟต ได้ดีกว่าปูนปอร์ตแลนด์ธรรมดา

2.3.3.8 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เตาถลุง (Portland Blast Furnance Cement)

หมายถึง ปูนไฮดรอลิกส์ ที่ทำขึ้นโดยการบดเม็ดตะกรันเตาถลุงกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เข้าด้วยกัน จนเป็นผงละเอียด โดยจะแยกกันบดหรือบดรวมกันก็ได้

2.3.3.9 ปูนซีเมนต์พอซโซลานา (Pozzolana Cement) หมายถึง ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกส์ชนิดหนึ่ง

ทำขึ้นจากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ธรรมดากับสารจำพวกพอซโซลานิก การแข็งตัวระยะแรกของปูนชนิดนี้ช้ากว่าปูนปอร์ตแลนด์ธรรมดา จะมีกำลังตามปกติเมื่อแข็งตัวแล้ว

2.3.3.10 ปูนซีเมนต์แข็งเร็วพิเศษ (Extra Rapid - Hardening Cement) หมายถึง

ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกส์ชนิดหนึ่ง ซึ่งโดยปกติประกอบด้วย ปูนซีเมนต์แข็งเร็วกว่าสารเดิมที่เป็นตัวเร่งการแข็งตัวเข้าด้วยกัน

2.3.3.11 ปูนซีเมนต์ซัลเฟตสูง (Super - Sulphate Cement) หมายถึง

ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกส์ชนิดหนึ่ง ซึ่งทำขึ้นโดยการบดของส่วนผสมของเม็ดตะกรันเตาถลุง แคลเซียมซัลเฟตปูนขาวและปูนซีเมนต์หรือปูนเม็ดเข้าด้วยกัน ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ได้ชื่อดังกล่าวเพราะมีซัลฟูริกไฮไดรด์มากกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เตาถลุง

2.3.3.12 ปูนซีเมนต์อลูมินาสูง (High Alumina Cement) หมายถึง ปูนซีเมนต์ไฮ

ดรอลิกส์ชนิดแข็งตัวเร็วอย่างหนึ่งซึ่งทำขึ้นโดยการหลอมส่วนผสมของหินปูนหรือหินซอลต์ กับสารที่มีอลูมินามากจนกลายเป็นปูนเม็ดแล้วบดให้ละเอียด

2.3.3.13 ปูนซีเมนต์ขยายตัว (Expanding Cement) หมายถึง ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกส์

ซึ่งทำขึ้นโดยการบดส่วนผสมของปูนเม็ด ยิปซัม และเม็ดตะกรันเตาถลุง ให้เข้ากันทั่วถึงและเป็นผงละเอียด

2.3.3.14 ปูนซีเมนต์บ่อน้ำมัน (Oil - Well Cement) หมายถึง ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกส์

ซึ่งไม่เหมือนกับปูนปอร์ตแลนด์ธรรมดา มีการก่อตัวค่อนข้างช้ามากในช่วงความร้อนสูง เช่น ที่อยู่ตามบ่อลึก ๆ

2.3.3.15 ปูนซีเมนต์ขับน้ำ (Water Repellent Cement) หมายถึง ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกส์ชนิดหนึ่งซึ่งผสมสารกันน้ำเข้าไปในระหว่างการผลิตโดยมีวัตถุประสงค์ ที่จะต้านไม่ให้น้ำเข้าไปในคอนกรีต

2.3.4 การผลิตปูนซีเมนต์

การผลิตปูนมีแบบเผาแห้ง (Semi - Dry Process) และแบบเผาเปียก (Wet Process) การผลิตปูนนั้นจะเหมือนกันแต่กรรมวิธีการผลิตจะต่างกัน ในขั้นตอนที่ 2 ดังภาพที่ 2.15 ซึ่งขั้นตอนการผลิตมีรายละเอียด ดังนี้

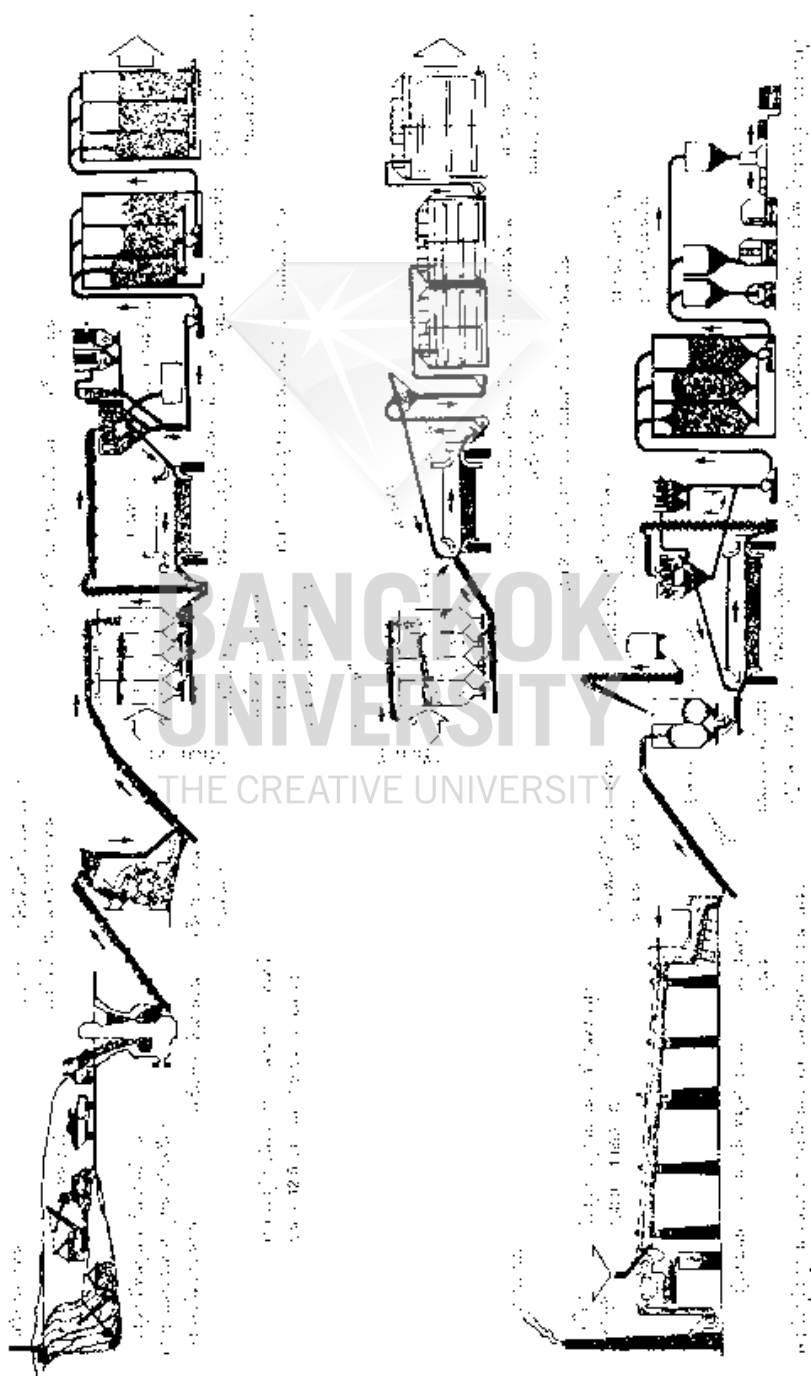
ปูนซีเมนต์เผาแห้งมี คือนำอลูมินาและซิลิกา ในดินดำกับเหล็กบดให้ละเอียดและผสมเข้ากันตามอัตราส่วน หลังจากนั้นนำมาตีกับน้ำจนเป็นดิน แล้วนำไปเผาในหม้อเผา (Cement Kiln) จนเกิดปฏิกิริยาจับกันเป็นเม็ดเล็ก ๆ เป็น ปูนเม็ด (Clinker) เมื่อนำปูนเม็ดไปรวมกับยิปซัมก็จะได้ปูนซีเมนต์ตามต้องการ

วัตถุดิบตามวิธีนี้ ได้แก่ ดินขาว ดินดำ และศิลาแลงมาวิเคราะห์หาส่วนประกอบเพื่อคำนวณหาอัตราส่วนที่จะใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ผสมกับวัตถุดิบดังกล่าวแล้วจึงนำไปตีกับน้ำรวมกันในบ่อเตรียมดิน (Wash Milk) ให้ละเอียดจนเป็นน้ำดิน (Slurry) วัตถุประสงค์ของกรรมวิธีขั้นนี้ก็เพื่อย่อยดินขาวส่วนที่แข็งมากให้แหลกลง แล้วกรองผลิตผลที่ดีแล้วเพื่อกันเอาส่วนละเอียดไปใช้และควบคุมปริมาณของน้ำไม่ให้มีมากเกินไป เพราะจะทำให้หมดเปลืองเชื้อเพลิงโดยเปล่าประโยชน์ ส่วนกากของดินนำไปบดให้ละเอียดใหม่ในหม้อบดดิน (Tube Mill) แล้วนำมากรองใหม่ ถึงกระนั้นก็ตาม การเตรียมวัตถุดิบดังกล่าวอาจมีการคลาดเคลื่อนไปได้บ้าง เนื่องจากปัจจัยหลายอย่างที่เกิดขึ้น เช่น ความชื้นในดินตลอดจนส่วนผสมของดินอีกเล็กน้อย จึงต้องมีการกวนน้ำดินที่ได้บรรจุเก็บไว้ในถังไซโล โดยอัดลมลงไปเป่าในถังเป็นเวลา 1 คืน หลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์ทางเคมีเป็นครั้งที่สอง หากเกิดข้อผิดพลาดก็สามารถจะจัดการผสมน้ำดินให้ถูกต้องตามอัตราส่วนที่ต้องการต่อไป แล้วสูบน้ำดินนี้ไปเก็บลงถังพัก ซึ่งมีพายและลมสำหรับกวนน้ำดิน เพื่อป้องกันตะกอนและให้เกิดความสม่ำเสมอมากที่สุด

ต่อไปเอาหินปูนแห้งมาบดกับดินดำแห้งให้ละเอียดและมีส่วนผสมทางเคมีผสมรวมเข้ากับน้ำดิน เอาน้ำดินผสมกับดินผงแล้วนำมาปั่นเป็นเม็ด เม็ดดินนี้จะคงความชื้นประมาณ ยี่สิบห้า เปอร์เซ็นต์ ในกรณีการผลิตแบบกรรมวิธีเผาเปียก (Wet Process) ต้องมีความชื้นมากถึง สี่สิบ เปอร์เซ็นต์ นำเข้าหม้อเผา เพิ่มตะกอนเผาเม็ดดินเข้าไป การใช้ความร้อนจากเชื้อเพลิงจะเป็นไปในอัตราต่ำและมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบเผาเปียก ทำให้เชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าไปในหม้อเผาปริมาณเดียวกันสามารถเผาปูนเม็ดได้เพิ่มขึ้นอีก 50 เปอร์เซ็นต์ หรือจะกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่า วิธีเผาเปียกใช้ความร้อนประมาณ 1,500 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม เมื่อใช้วิธีเผาแห้งใช้ความร้อนลดลงเหลือประมาณ 1,000 กิโลแคลอรี

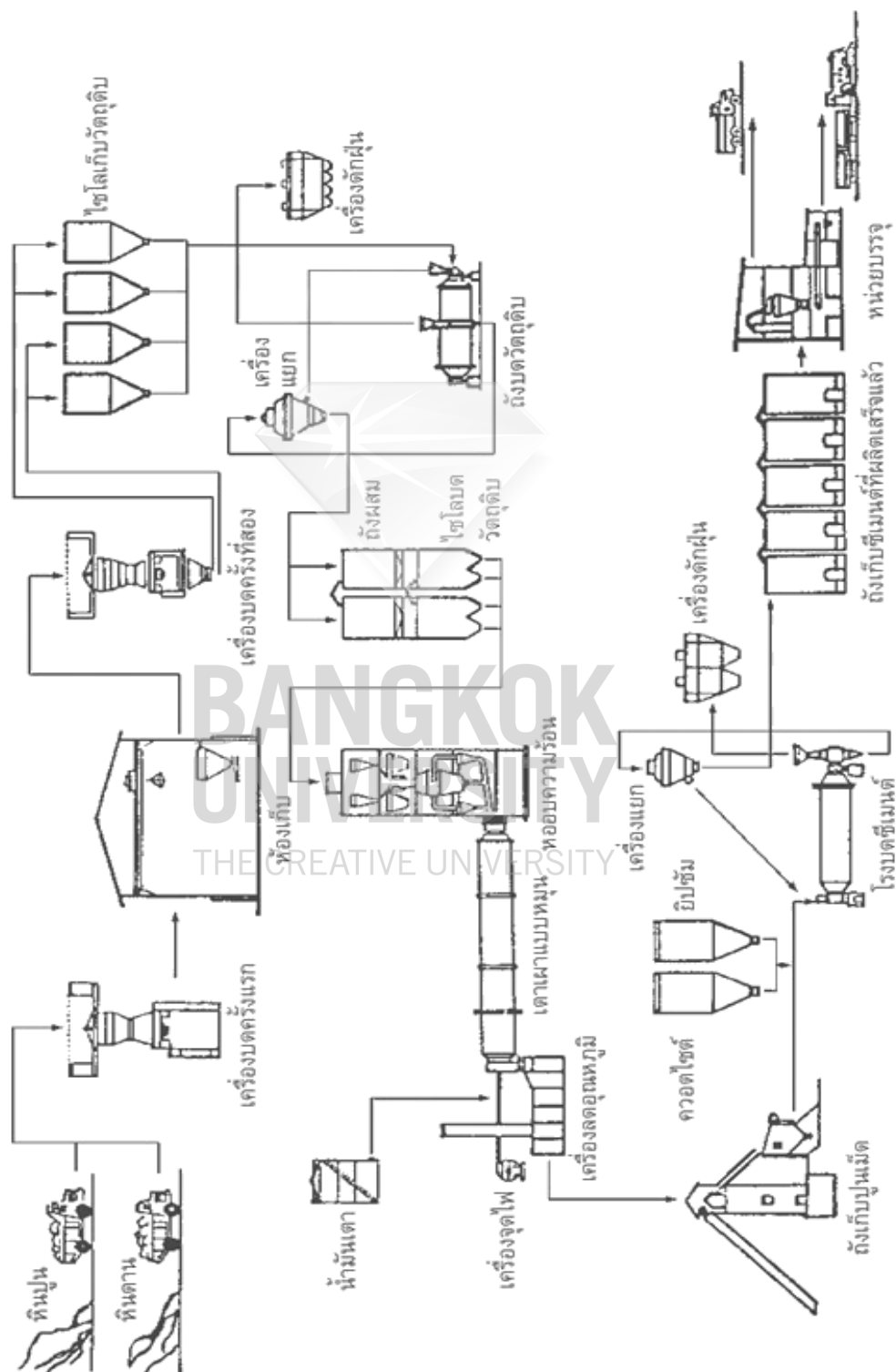
ต่อกลิ้งร้อม นำน้ำดินดังกล่าวไปเผาในหม้อเผา (Cement Rotary Kiln) ซึ่งวางนอนอยู่บนแท่นคอนกรีตและหมุนรอบตัวเองอยู่บนลูกกลิ้งประมาณนาทีละ 1 รอบ และน้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง

ภาพที่ 2.14: กรรมวิธีในการผลิตปูนซีเมนต์ (แบบเปียก)



ที่มา: วรพงศ์ วรสุนทรโรสถ และพงศ์พันธ์ วรสุนทรโรสถ. (2556). วัสดุก่อสร้าง. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.

ภาพที่ 2.15: กรรมวิธีในการผลิตปูนซีเมนต์ (แบบแห้ง)



ที่มา: วรพงศ์ วรสุนทรโรสถ และพงศ์พันธ์ วรสุนทรโรสถ. (2556). วัสดุก่อสร้าง. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.

ภายในหม้อเผาจะมีอิฐทนไฟ เพื่อใช้ในการกักเก็บความร้อนไว้ภายในเตา และโซ่ช้อนน้ำดินที่ไหลผ่าน แล้วพบความร้อนที่จะผ่านทางปล่อง ส่งผลให้น้ำระเหยออกจากน้ำดิน ปั่นดินในส่วนที่การทำให้น้ำระเหยออกไปบ้างแล้วให้เป็นเม็ดกลม เท่าปลายนิ้วมือหรือใกล้เคียงกัน เม็ดดินที่ผ่านโซ่เป็นชุด ๆ จะถูกเผาให้ร้อนขึ้น เมื่อความร้อนถึงที่อุณหภูมิถึง 800-1,000 องศาเซลเซียส เม็ดดินจะมีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออก เมื่อเม็ดดินที่มีความร้อนถึง 1,450 องศาเซลเซียสจะถูกปล่อยลงไปในถังลดความเย็น อันเป็นทำเลที่จะพ่นลมเข้าไปให้ปูนเม็ดเย็นตัวลงเพื่อให้เกิดไครสเทิลเลียมซิลิเกตมากที่สุด ในขณะที่ปูนเม็ดเริ่มแข็งตัวแล้วจึงเก็บปูนเม็ดนี้เอาไว้ในถัง

ต่อไปก็นำยิปซัมผสมลงไปใน ปูนเม็ดนี้ไปบดให้เป็นปูนซีเมนต์ผงในหม้อบดปูนซีเมนต์ (Cement Mill) โดยหม้อบดนี้มีเครื่องมือที่ตั้งให้จำนวนปูนเม็ดที่บดเป็นปูนซีเมนต์แล้วมีความละเอียดและมีความแข็งตัวตามที่ต้องการด้วยในทุก ๆ ชั่วโมง ซึ่งจะนำตัวอย่างปูนซีเมนต์ที่บดนี้ไปทดลองหาระยะเวลาเซตตัวและความละเอียด ตลอดจนเก็บไว้ส่วนหนึ่งเพื่อรวมกันประกอบเป็นตัวอย่างสำหรับทดลองกำกับการยัดตัวและส่วนผสมทางเคมีของปูนซีเมนต์ที่บดแต่ละตัวด้วย ปูนซีเมนต์ที่บดแล้วก็นำไปเก็บไว้ในถังเก็บปูนซีเมนต์ (Cement Silo) โดยอาศัยกำลังลมอัดไปแล้วจะนำมาบรรจุลงจำหน่ายได้ต่อไป

การอุ่นดินผงใช้วิธีไประยดินผงลงทางยอดหอคอย มีถึงดักแบบไซโคลนขนาดใหญ่เรียงอยู่เป็นชั้น ๆ เพื่อนำความร้อนที่ออกจากหม้อเผามาอุ่นดินผงให้ร้อนจัด เป็นการประหยัดความร้อนที่ดีที่สุด ในกรรมวิธีการเผาปูนในปัจจุบันนี้

ความร้อนที่แผ่ออกจากไซโคลนนี้ยังจะแผ่ไปโดยท่อขนาดใหญ่ไปที่วัตถุดิบที่มีความชื้นให้มีความชื้นน้อยลงจนแห้ง ก่อนนำไปเก็บไว้ในถังแบบไซโลอีกด้วย

2.3.5 ชนิดและคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ในประเทศไทย

ปูนที่ผลิตในประเทศไทยมีมากมายหลายชนิด ปูนชนิดต่าง ๆ ก็มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป ดังนี้

2.3.5.1 ปูนซีเมนต์ผสมหรือปูนซีเมนต์ซิลิกา

ตัวอย่างปูนประเภทนี้ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราเสือ งูเห่า นกอินทรี และทีพีโอ

- ปูนซีเมนต์ (ตราเสือ)

คือ ปูนซีเมนต์ชนิดพิเศษ มีทรายประมาณ ยี่สิบห้าเปอร์เซ็นต์ มีการทดสอบคุณภาพการรับแรง (Ordinary Portland Cement BS 12 - 1958) ตามมาตรฐานอังกฤษ

ปูนซีเมนต์ตราเสือนี้นส่วนใหญ่จะใช้งานทั่วไปไม่สำคัญมากนัก ราคาไม่สูงมาก และไม่ยึดหดมากเมื่อทำคอนกรีต มักใช้ใน งานอุตสาหกรรมทำกระเบื้องมุงหลังคา ทำสุขภัณฑ์ ตอม่อ ฯลฯ ตลอดจนงานสร้างบ้าน 2-3 ชั้น หรืองานทำถนนลานจอดรถในบริเวณบ้านมักนิยมใช้ปูนซีเมนต์นี้ นอกจากนั้นเมื่อผสมเป็นคอนกรีตแล้ว ถึงแม้ว่าจะบ่มได้ระยะเวลาไม่เต็มที่เท่าที่ควรทำในการใช้

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาสามารถแข็งตัวได้เร็ว ไม่มีปัญหาสำหรับเรื่องที่จะเกิดรอยร้าว เพราะปูนซีเมนต์นี้มีความยืดหยุ่น

ปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ จัดจำหน่ายโดยบริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) ปูนชนิดนี้เป็นปูนซีเมนต์ขาวพิเศษ เหมาะสำหรับงานปูกระเบื้องพื้นและงานกรุกระเบื้องผนังหรืองานยาแนวเซรามิก รวมทั้งใช้ในงานตกแต่ง มีคุณสมบัติดังนี้

- เนื้อซีเมนต์ละเอียด คุณภาพเท่าปูนซีเมนต์เทาตราเสือ ยืดเกาะได้ดี เหนียวนุ่ม
- เหมาะกับงานตกแต่งที่ต้องใช้เวลา ระยะเวลาแข็งตัวช้า
- มีความไหลในตัวค่อนข้างดี ทำงานง่าย
- ให้ผิวงานที่เรียบร้อย ยึดหรือหลุดตัวน้อย ไม่แตกลายงา
- เหมาะสำหรับกรปูกระเบื้องเซรามิก มีสารอัลคาไลน์ผสมน้อยมาก

ปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ 1 ถุง บรรจุซีเมนต์หนัก 20 กิโลกรัม ใช้ยาแนวกระเบื้องเซรามิกได้ประมาณ 80 ตารางเมตร ใช้ปูกระเบื้องได้ประมาณ 5-6 ตารางเมตร

ภาพที่ 2.16: ปูนซีเมนต์ขาว ตราเสือ



ที่มา: บริษัท บ้านฉางสามเจริญ จำกัด. (ม.ป.ป.). ปูนซีเมนต์ขาว ตราเสือ. สืบค้นจาก <https://bc-samcharoen.com/product/tiger-decor-color-render-white-wh01-2mm-scratch>.

- ปูนซีเมนต์ (ตรางูเห่า)

เป็นปูนซีเมนต์ที่ผลิตขึ้นให้มีผลในทางประหยัดและเหมาะสมสำหรับใช้ทั่ว ๆ ไป สร้างอาคารคอนกรีต ตึกแถว งานทำกระเบื้อง หล่อท่อ เทพื้นคอนกรีต และ มีมาตรฐาน ASTM C340.58T และ Federal Specification SS-C-208b

ปูนซีเมนต์ตรางูเห่า การใช้ปูนซีเมนต์นี้มีส่วนผสมที่ทำให้เกิดความละเอียดง่ายในการเทลงแบบ เหมาะสำหรับเป็นปูนก่อ ปูนฉาบ พร้อมกับปูนซีเมนต์ชนิดนี้มีคุณภาพทำให้คอนกรีตรับน้ำหนักได้มากและมีกำลังสูงที่สุด สำหรับใช้ในการเทพื้นคอนกรีต ก่อสร้างตึกแถว ทำกระเบื้อง งานหล่อถัง และก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่ต้องการกำลังสูงพิเศษ ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ใช้ได้โดยทั่วไป มีราคาค่อนข้างถูกกว่าชนิดอื่น ช่างผู้รับเหมานิยมใช้

ภาพที่ 2.17: ปูนซีเมนต์ ตรางูเห่า



ที่มา: สิทธิพร แจ่มสุวรรณ. (2556). *วัสดุก่อสร้าง* [เอกสารประกอบการศึกษา]. สืบค้นจาก <https://www.attc.ac.th/page/db/Unit3.pdf>.

- ปูนซีเมนต์ตรานกอินทรี

ผลิตขึ้นด้วยส่วนผสมจำพวกปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมกับซิลิกาบดละเอียด เมื่อใช้ทำคอนกรีตจะมีการยึดหดตัวน้อยสำหรับงานปูนก่อหรือปูนฉาบ การแข็งตัวในระยะแรก ช้ากว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราเพชร แต่เมื่อแข็งตัวแล้ว จะมีกำลังรับแรงตามเกณฑ์ปกติ เหมาะสำหรับ

งานก่อสร้างที่ไม่เร่งรัดและงานผลิตภัณฑ์คอนกรีตโดยทั่วไป เช่น ทำถนนหรือทางลาดกรีตในบ้าน การสร้างบ้านพักอาศัย ทำกระเบื้องคอนกรีตทั่วไป เทเสาตอม่อ เป็นต้น เมื่อใช้ปูนซีเมนต์ตรานกอินทรีทำคอนกรีตแล้ว ในช่วงระหว่างการบ่มถึงแม้จะไม่ได้มีการบ่มน้ำเท่าที่ควร ก็ไม่ส่งผลให้เกิดรอยร้าวลายงาเกิดขึ้นเพราะปูนซีเมนต์นอกจากนี้ยังเกิดความร้อนน้อย ยึดหดตัวน้อย เป็นต้น

ภาพที่ 2.18: ปูนซีเมนต์ ตรานกอินทรี



ที่มา: บริษัท นครหลวงคอนกรีต จำกัด. (ม.ป.ป.). ปูนซีเมนต์ ตรานกอินทรี. สืบค้นจาก <https://inseeconcrete.siamcitycement.com>.

- ปูน (ตราทีพีไอ)

เป็นปูนซีเมนต์ที่ได้จากการผสม หินทราย หรือหินปูนและอื่น ๆ คล้ายคลึงกับ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง ผลิตขึ้นโดยให้คุณภาพของปูนซีเมนต์มีคุณสมบัติ เป็นไปตาม เกณฑ์ที่กำหนดในมาตรฐานอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ผสม (มอก.80-2550) เป็นปูนที่มีคุณลักษณะง่าย ต่อการใช้งาน และเหมาะสมแก่การนำไปผลิตซีเมนต์บล็อก แผ่นกระเบื้องมุงหลังคา แผ่นกระเบื้อง คอนกรีต เสา โอง ตอม่อ ถนนทางเท้า บ้านพักขนาด 2-3 ชั้น ฯลฯ ปูนซีเมนต์ผสมตราทีพีไอ (สีเขียว) ยังมีความยึดหดตัวได้น้อย ไม่ส่งผลให้เกิดรอยแตกร้าวไปถึงตัวอาคารที่ใช้ สามารถที่จะนำมาใช้ในงาน ก่อและฉาบได้ดี

ภาพที่ 2.19: ปูนซีเมนต์ ตราทีพีโอ (สีเขียว)



ที่มา: บริษัท ทีพีโอ โพลีน จำกัด (มหาชน). (ม.ป.ป.). ปูนซีเมนต์ ตราทีพีโอ. สืบค้นจาก

<https://www.tpipolene.co.th/en/cement-en/masonry/item/336-green>.

2.3.5.2 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์

ตัวอย่างปูนชนิดนี้ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราช้าง พญานาคเศียรเดียว เพชร พญานาคเจ็ดเศียร และ ปลาฉลาม

- ปูนซีเมนต์ตราช้าง

คือปูนซีเมนต์ธรรมดา ผลิตขึ้นตามมาตรฐานของประเทศอังกฤษ คือ Ordinary Portland Cement BS 14:1058 และตามมาตรฐานอเมริกัน คือ ASTM C150-63 Type I เหมาะกับใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป ตามผู้ออกแบบ เพราะแรงที่เกิดขึ้นโดยปูนซีเมนต์ชนิดนี้มีความสม่ำเสมอ ไม่เปลี่ยนแปลง แรงมากขึ้นตามอัตราส่วนของน้ำและปูนซีเมนต์ที่ผสมลงในคอนกรีตหรือปูนทราย

ในกรณีที่ใช้คอนกรีตที่มีปูนซีเมนต์ไม่น้อยกว่า 350 กิโลกรัมต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร ของคอนกรีตแรงที่เกิดขึ้นใน 14 วัน ที่ในระยะบ่มไว้จะขึ้นถึง เจ็ดสิบห้าเปอร์เซ็นต์ของแรงทั้งหมด เมื่ออายุเก้าสิบวัน

ปูนซีเมนต์สีขาวตราช้างของบริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) มีคุณสมบัติเทียบเท่ากับปูนซีเมนต์สีเทาตราช้าง วัตถุประสงค์ในการผลิตมีหินสับ ทรายแก้ว และหินปูน โดยนำวัตถุดิบสามชนิดมาผสมรวมกันตามอัตราส่วนแล้วบดให้ละเอียด หลังจากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,500 องศา

เซลเซียส จนละลายเข้าด้วยกันและจับเป็นเม็ดเรียกว่าปูนเม็ด ต่อจากนั้นนำไปบดให้ละเอียดอีกครั้ง หนึ่งจนละเอียดเป็นแป้ง ก็จะได้ปูนซีเมนต์ขาวตามต้องการ

ปูนซีเมนต์ขาวมักใช้ในการทำหินขัด ปูกระเบื้องพื้นห้องน้ำ หรือ ยาแนวกระเบื้อง
ห้องน้ำ กรูกระเบื้องฝาผนัง เป็นต้น

ภาพที่ 2.20: ปูนซีเมนต์ขาว ตราช้าง



ที่มา: สิทธิพร แจ่มสุวรรณ. (2556). *วัสดุก่อสร้าง* [เอกสารประกอบการศึกษา]. สืบค้นจาก
<https://www.attc.ac.th/page/db/Unit3.pdf>.

- ปูนซีเมนต์ (ตราพญานาคเขียว)

เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 15 เล่ม 1-2547 และมาตรฐาน ASTM C150 เกณฑ์ของประเทศสหรัฐอเมริกา ใช้ทำงาน คอนกรีตทั่วไปและงานคอนกรีตที่มีขนาดใหญ่ทุกชนิดที่ต้องการความแข็งแรงและความคงทนถาวร เช่น อาคาร สนามบิน สะพาน ถนน และผลิตภัณฑ์คอนกรีตต่าง ๆ

ภาพที่ 2.21: ปูนซีเมนต์ ตราพญานาคเขียว



ที่มา: สิทธิพร แจ่มสุวรรณ. (2556). *วัสดุก่อสร้าง* [เอกสารประกอบการศึกษา]. สืบค้นจาก <https://www.attc.ac.th/page/db/Unit3.pdf>.

- ปูนซีเมนต์ (ตราพญานาค)

เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งผลิตตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 15 เล่ม 1-2547 และมาตรฐาน ASTM C150 ของประเทศสหรัฐอเมริกา ใช้กับงานคอนกรีตทั่วไปและงานคอนกรีตขนาดใหญ่ทุกชนิดที่ต้องการความแข็งแรงและความคงทนถาวร เช่น อาคาร สนามบิน สะพาน ถนน และผลิตภัณฑ์คอนกรีตต่าง ๆ

ภาพที่ 2.22: ปูนซีเมนต์ ตราภูเขา



ที่มา: สิทธิพร แจ่มสุวรรณ. (2556). *วัสดุก่อสร้าง* [เอกสารประกอบการศึกษา]. สืบค้นจาก <https://www.attc.ac.th/page/db/Unit3.pdf>.

- ปูนซีเมนต์ (ตราภูเขา 7 เคียว)

เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ Type I ถูกผลิตขึ้นเป็นพิเศษโดยมีปฏิกิริยาความร้อนค่อนข้างต่ำกว่าปูนชนิดอื่นในระหว่างการผลิต (Moderate Heat Cement) มีมาตรฐาน ASTM C130-60 และ BS 1370:1958

การใช้ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ มีคุณภาพเหมือนกับแบบ 1 แต่ผลิตพิเศษในเชิงเคมีเพื่อให้ปูนเกิดปฏิกิริยาความร้อนอย่างช้า ๆ เพียงปานกลางในเมื่อผสมเข้าเป็นคอนกรีตแล้ว ปูนซีเมนต์แบบนี้จึงเหมาะสำหรับงานที่ต้องเทคอนกรีตในที่ละมาก ๆ และกำแพงหนา ๆ โดยมีทำให้เกิดการแตกร้าว เช่น กำแพงกันดินคอนกรีต เขื่อนภูมิพลที่จังหวัดตาก และถังน้ำประปา

- ปูนซีเมนต์ (ตราปลาฉลาม)

เป็นปูนซีเมนต์ที่ผลิตขึ้นเพื่อใช้ผสมคอนกรีตแล้วจะทำให้ปูนมีความแกร่ง ไม่สลายตัวหรือสึกกร่อนเมื่อคอนกรีตนี้ทำปฏิกิริยากับน้ำเกลือ เหมาะสำหรับนำไปใช้เทลงในดินหรือในบริเวณที่มีส่วนผสมของน้ำเกลืออยู่ด้วย มีระบบมาตรฐานของ Federal Specification SS.C.-192b และ ASTM C150-60

การใช้ปูนซีเมนต์ชนิดนี้เหมาะอย่างยิ่งสำหรับใช้ในที่อยู่กับดินเค็ม เช่น งานอัดฉีดปูนเข้าไปในชั้นหินเป็นการประสานและรอยร้าวหายไป ช่วยเพิ่มกำลังของหินฐานราก งานชายทะเล (Fountain Grouting) เข้าไปในฐานรากหิน

- ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง (ตราทีพีไอ สีแดง)

เป็นปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง (Ordinary Portland Cement Type I) ผลิตขึ้นโดยให้คุณภาพของปูนซีเมนต์เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด ตามมาตรฐานอเมริกัน ASTM C150 Type I และ มาตรฐานอุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ มอก.15-2532 ประเภทหนึ่ง สำหรับงานคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์ใดที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษและสำหรับใช้ในงานก่อสร้างตามปกติทั่วไปที่ไม่อยู่ในสภาพอากาศรุนแรงหรือในที่มีอันตรายจากซัลเฟตหรือบริเวณที่มีความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาการรวมตัวกับน้ำจะไม่ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงขั้นอันตราย เป็นปูนซีเมนต์ที่มีคุณภาพสำหรับรับแรงสูงสำหรับงานคอนกรีตลักษณะใหญ่ เช่น อาคารขนาดใหญ่ สนามบิน สะพาน และถนน เม็ดปูนมีความละเอียดมากกว่างานเสาเข็ม สะพานคอนกรีต งานตอม่อ และงานพื้นสำเร็จรูป

ภาพที่ 2.23: ปูนซีเมนต์ ตราทีพีไอ (แดง)



ที่มา: บริษัท ทีพีไอ โพลีน จำกัด (มหาชน). (ม.ป.ป.). *ปูนซีเมนต์ ตราทีพีไอ*. สืบค้นจาก

<https://www.tpipolene.co.th/en/cement-en/masonry/item/336-green>.

2.3.5.3 ปูนซีเมนต์แข็งตัวเร็ว

ตัวอย่างปูนซีเมนต์ชนิดนี้ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราเอราวัณ พญานาคเศียรเดียวแดง และสามเพชร

- ปูนซีเมนต์ (ตราเอราวัณ)

เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดรับแรงและแข็งตัวได้เร็ว ผลิตขึ้นตามมาตรฐานของประเทศอังกฤษ คือ Rapid Hardening Portland Cement BS 12:1958 และเกณฑ์มาตรฐานอเมริกันคือ ASTM C150-63 Type III

ปูนซีเมนต์นี้เหมาะสำหรับใช้ในงานปูนทรายหรือคอนกรีตที่จะให้รับแรงได้เร็วขึ้น ประหยัดเวลาในการถอดแบบ รับกำลังได้ดี แต่ระยะเวลาในการบ่มต้องดีด้วย มักนำไปใช้ในงานก่อสร้างที่ทำงานแข่งกับเวลาต้องการให้คอนกรีตรับแรงได้เร็ว เช่น ทำเข็มคอนกรีตให้ใช้ไหลลงดินได้เร็ว ทำเป็นคานหรือเสา เพื่อใช้ถอดแบบได้เร็วและรับน้ำหนักได้ เพื่อประหยัดเวลาแทนที่จะรอให้คอนกรีตได้กำลังภายหลังการเท ยี่สิบเอ็ดวัน กรณีใช้ปูนซีเมนต์ตราเสือ ต้องรอสิบสี่วันสำหรับกรณีใช้ปูนซีเมนต์ตราช้าง แต่ปูนซีเมนต์ตราเอราวัณลดเวลาเหลือเพียงแค่วันเดียวสำหรับใช้เข็ม และคาน เหลือ สามวัน สำหรับถอดแบบเสา

- ปูนซีเมนต์ (ตราพญานาคเศียรเดียวสีแดงชนิดแข็งตัวเร็ว)

เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ผลิตขึ้นใช้กับงานคอนกรีตประเภทที่ต้องการให้แข็งตัวเร็วและรับน้ำหนักได้รวดเร็วกว่าปูนแบบอื่น มีมาตรฐาน ASTM C150-50 และ BS 12:1958

ปูนซีเมนต์ตราพญานาคเศียรเดียวสีแดงชนิดแข็งตัวเร็วนี้ มีส่วนผสมในปูนซีเมนต์ซึ่งเมื่อนำไปใช้ผสมในคอนกรีตแล้วจะทำให้ปูนแข็งตัวและสามารถรับน้ำหนักได้เร็วกว่าใช้ปูนซีเมนต์ชนิดอื่น ๆ ปูนชนิดนี้เหมาะสำหรับใช้ในงานฐานรากที่มีน้ำซึม งานคอนกรีตที่เทในน้ำ งานเสาเข็มคอนกรีต และงานหล่อเสาไฟฟ้าคอนกรีตแรงสูง เป็นต้น เพราะสามารถช่วยให้ถอดแบบได้เร็วกว่าปูนซีเมนต์ชนิดอื่น ๆ

ภาพที่ 2.24: ปูนซีเมนต์ ตราพญานาคแดง



ที่มา: สิทธิพร แจ่มสุวรรณ. (2556). *วัสดุก่อสร้าง* [เอกสารประกอบการศึกษา]. สืบค้นจาก <https://www.attc.ac.th/page/db/Unit3.pdf>.

- ปูนซีเมนต์ (ตราสามเพชร)

เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่เกิดแรงสูงเร็ว ผลิตตามกำหนดรายการมาตรฐานอเมริกัน ASTM C150 Type III ลักษณะมีเนื้อที่ค่อนข้างละเอียดกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา จึงเกิดการรับแรงได้สูงและเร็วกว่า มักนำไปในงานก่อสร้างที่ต้องการกระทำอย่างเร่งรีบและกำลังสูง เช่น ใช้หล่อคานหรือเสาให้ถอดแบบได้ง่าย ทำเสาเข็มคอนกรีตให้ใช้ตอกลงดินได้เร็ว และใช้ในงานทำสิ่งก่อสร้างเพื่อให้สามารถเข้าไปใช้งานได้รวดเร็ว เป็นต้น

2.4 วัสดุก่อ

วรพงศ์ วรสุนทรโรสถ และพงศ์พันธ์ วรสุนทรโรสถ (2556) อธิบายถึงวัสดุก่อว่า วัสดุก่อ หมายถึง วัสดุที่ใช้ก่อกำแพง เช่น ดินที่นำมาเผาและไม่เผาเป็นอิฐ อาจเป็นปูนซีเมนต์กับน้ำกับทราย หินกับทรายเล็ก ๆ กับปูนซีเมนต์และน้ำ ดินผสมน้ำ ดินที่ผสมกับปูนซีเมนต์และน้ำ ฯลฯ การรวมตัวของวัสดุผสมต่าง ๆ ดังกล่าว เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีของปูนซีเมนต์ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ช่วยในการผสมร่วมกับแรงอัด วัสดุก่อที่ถูกเลือกใช้กันในงานก่อสร้าง มีมากมายหลายแบบ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่มีอยู่หรือสรรหาได้ในบริเวณนั้น ๆ

วัสดุเก่านั้นมีหลายประเภท โดยทั่วไป ดังนี้

2.4.1 ดินซีเมนต์บล็อก

ผลิตขึ้นจากการผสมศิลาแลง ดินลูกรัง หรือหินชนวนผุกับ ปูนซีเมนต์ และนำไปเข้ากันตาม อัตราส่วนแล้วนำเข้าเครื่องมืออัด กำหนดขนาดได้ตามผู้ผลิตเลือกผลิต

ดินที่นำมาผลิตนั้น เป็นดินลูกรังแดงที่มีทรายปนอยู่เกินกว่า แปดสิบเปอร์เซ็นต์ มีสนิมเหล็ก ปนอยู่ประมาณ 8-10 เปอร์เซ็นต์ และมีดินเหนียวปนอยู่ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ดินชนิดนี้เมื่อแห้งจะ ร่วนและสามารถทำให้แตกเป็นก้อนเล็ก ๆ ได้ง่าย ใช้บีบด้วยมือก็แตกตัวได้ แต่เมื่อถูกน้ำจะจับตัวกัน เป็นก้อน เมื่อจับดูจะไม่เหนียวติดมือ ดินชนิดนี้มีสีแดงคล้ำหรือแดงปนน้ำตาลหรือแดงแก่ เมื่อ นำมาใช้ผลิตต้องนำไปคัดแยกขนาดผ่านตะแกรงขนาด 4-5 มิลลิเมตร

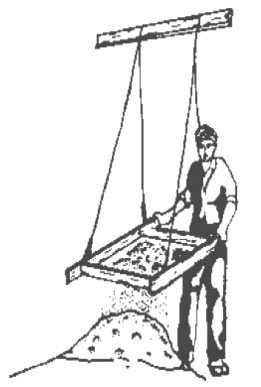
หินชนวนผุสามารถใช้แทนดินลูกรังแดงได้ หินชนวนผุเป็นหินชนิดเล็ก ๆ สีเทา ไม่แข็งมาก เวลาทุบจะแตกได้ง่าย เมื่อจะนำมาใช้ต้องบดให้มีขนาดคละกัน และเมื่อนำมาทำเป็นบล็อกแล้วต้อง แข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักได้ดี แต่การดูดซึมน้ำจะมากกว่าบล็อกที่ใช้ดินลูกรังแดงเป็นส่วนผสม

ศิลาแลงสลายตัวเป็นวัสดุอีกชนิดหนึ่งที่เหมาะสมในการนำมาทำดินซีเมนต์ ศิลาแลงสลายตัวมี ลักษณะเป็นเม็ดสีน้ำตาลค่อนข้างโต เมื่อนำมาใช้ต้องบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์สี่ วัสดุชนิดนี้มี ปริมาณธาตุเหล็กสูงถึง 15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นเหตุให้การจับตัวของปูนซีเมนต์กับตัวเม็ดไม่ดีเท่าดิน ลูกรังแดง ฉะนั้นในการทำบล็อกจำเป็นที่จะต้องเพิ่มปูนซีเมนต์ขึ้นอีกเล็กน้อยเป็น 1:7 คือใช้ ปูนซีเมนต์ 1 ส่วน ศิลาแลง 7 ส่วน ซึ่งกับวัสดุประเภทหินชนวนผุและดินลูกรังแดง ซึ่งใช้อัตราส่วน 1:8 โดยปริมาตรน้ำหนัก

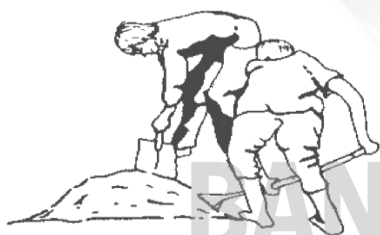
2.4.1.1 วิธีผลิต ดินซีเมนต์บล็อกนั้น เมื่อเตรียมวัสดุผสมที่กล่าวเรียบร้อยแล้วนำ และเครื่องมืออัดไว้ แล้วทำตามขั้นตอนการผลิต ตามขั้นตอนดังนี้ ภาพที่ 2.25

- นำดินมาร่อนผ่านตะแกรง เพื่อคัดแยกสิ่งเจือปนออก
- นำปูนซีเมนต์ธรรมดาผสมกับดินตาม ในอัตราส่วน 1:8 โดยน้ำหนัก ผสมให้เข้ากัน เป็นเนื้อเดียวกัน ต่อมาเติมน้ำลงไปทีละนิด ผสมกลับไปมาสังเกตความเหลวจะไม่มากนัก พอหมาด ๆ พอเหมาะ พอจับป็นเป็นก้อนได้ และนำไปใส่ในเครื่องอัดได้โดยสะดวก
- นำดินที่ผสมกับปูนซีเมนต์แล้ว อัดตามกรรมวิธีของผู้ผลิตเครื่องอัดนั้น ๆ
- นำดินที่อัดแล้วออกจากเครื่องอัด นำดินไปพักทิ้งไว้ในที่ปิดมิดชิด ประมาณ สอง สัปดาห์ เพื่อพักให้ปูนซีเมนต์แข็งตัวประสานวัสดุต่าง ๆ เข้าด้วยกันพอที่จะนำไปใช้ได้

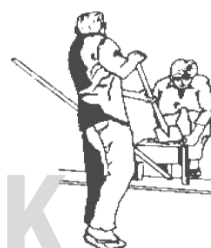
ภาพที่ 2.25: ขั้นตอนการผลิตดินซีเมนต์บล็อก



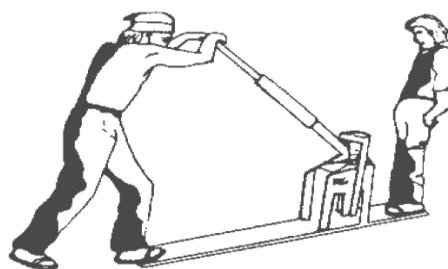
(ก) นำดินที่เหมาะสมมาบดและร่อนโดยใช้ตะแกรงเพื่อไม่ให้มีหินหรือวัตถุอื่นๆ เจือปน (ขนาดตะแกรงตาโต 4 มิลลิเมตร)



(ข) นำดินที่ร่อนแล้วมาผสมกับปูนซีเมนต์ โดยมี ส่วนผสมคือปูนซีเมนต์ 10 – 15% น้ำ 10% แล้วทำการทดสอบความเหลวของส่วนผสมว่า เหมาะสมหรือไม่ โดยใช้วิธีกำส่วนผสมในมือ ถ้าความเหลวเหมาะสม พอกำแล้วจะติดกันเป็นก้อน เมื่อคลายมือออก



(ค) นำส่วนผสมที่คลุกเคล้ากันดีแล้วใส่ลงในแบบอัด ในเครื่องอัด



(ง) เมื่ออัดส่วนผสมลงในแบบแล้ว อัดให้แน่นโดยโยกคันอัดลงมานำแท่งดินซีเมนต์ออกจากแบบ นำไปผึ่งในร่มเพื่อบ่มให้แข็งตัวในแนวราบขนานกับพื้น แล้วคลายออกโดยยกคันอัดขึ้นใช้เวลาบ่ม ประมาณ 14 วัน จึงนำไปใช้ก่อได้

หมายเหตุ เครื่องอัดแบบที่ละก้อนนี้ สามารถอัดได้ชั่วโมงละ 40 ก้อน

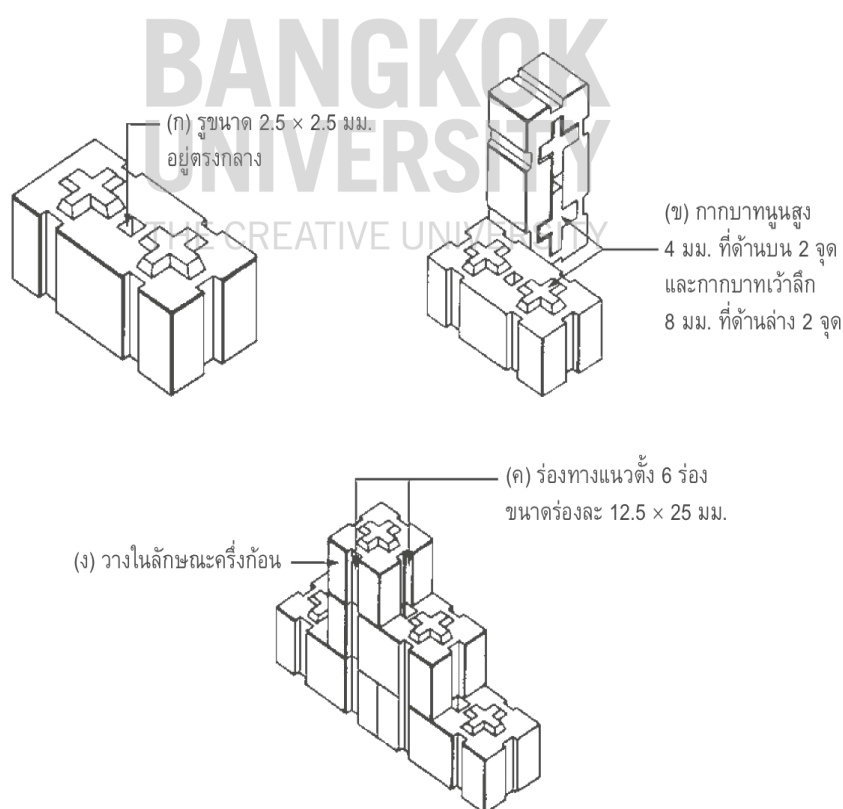
ที่มา: วรพงศ์ วรสุนทรโรสถ และพงศ์พันธ์ วรสุนทรโรสถ. (2556). วัสดุก่อสร้าง. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.

2.4.2 อินเทอร์เน็ตล็อกกิ้งบล็อก

อินเทอร์เน็ตล็อกกิ้งบล็อก (Inter Locking Block) คือบล็อกที่ออกแบบพัฒนาให้มีเดือยด้านบนหรือลักษณะพิเศษ ตามลักษณะ ภาพที่ 2.26 ซึ่งการใช้งานมี 4 ลักษณะดังนี้

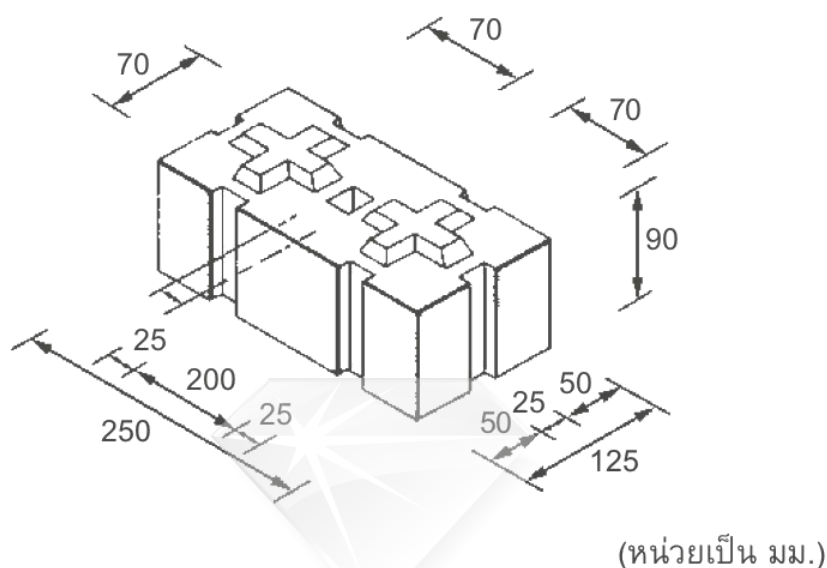
- จากภาพที่ 2.27 (ก) มีรูขนาด 2.5 X 2.5 มิลลิเมตรอยู่ตรงกลางสำหรับหยอดน้ำปูนทรายเชื่อมระหว่างก้อนบนและล่างตามแนวดิ่ง และใช้เหล็กเสริมช่วยยึด
- จากภาพที่ 2.27 (ข) มีกากบาทบนสูง 4 มิลลิเมตรที่ด้านบน 2 จุด และมีกากบาทเว้าลึก 8 มิลลิเมตรที่ด้านล่าง 2 จุด เมื่อนำมาวางซ้อนทับเป็นแนวตรงหรือแนวสลับจะมีรอยต่อที่ครอบกันได้สนิท (Locked Block) ไม่สามารถเคลื่อนทางแนวนอนได้
- จากภาพที่ 2.27 (ค) มีร่องทางแนวดิ่งได้ 6 ร่อง ขนาดร่องละ 12.5 X 25 มิลลิเมตร สำหรับวางบล็อกและหยอดน้ำปูนทรายเชื่อมตามแนวนอน ร่องแต่ละร่องสามารถถอดออกได้
- จากภาพที่ 2.27 (ง) สามารถทำครึ่งก้อนได้ เพื่อสำหรับการก่อแบบแนวสลับให้ได้ตรงทางแนวดิ่งตรงหัวท้ายผนังหรือตรงมุม

ภาพที่ 2.26: ตัวอย่างวิธีใช้งานอินเทอร์เน็ตล็อกกิ้งบล็อก



ที่มา: วรพงศ์ วรสุนทรโรสถ และพงศ์พันธ์ วรสุนทรโรสถ. (2556). วัสดุก่อสร้าง. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.

ภาพที่ 2.27: ตัวอย่างขนาดอินเตอร์ล็อกกิ้งบล็อก



ที่มา: วรพงศ์ วรสุนทรโรสถ และพงศ์พันธ์ วรสุนทรโรสถ. (2556). วัสดุก่อสร้าง. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

2.4.3 คอนกรีตบล็อก

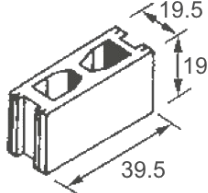
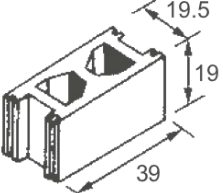
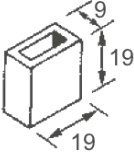
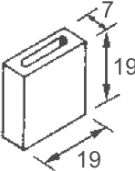
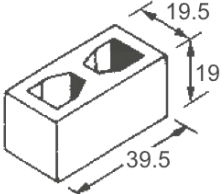
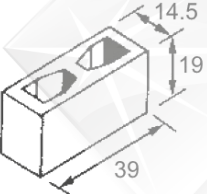
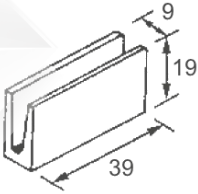
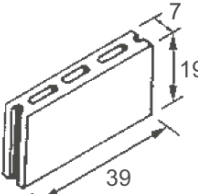
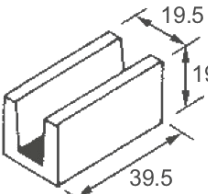
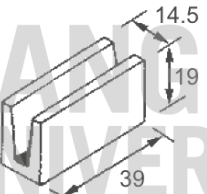
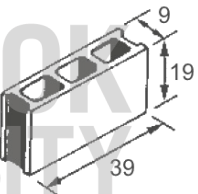
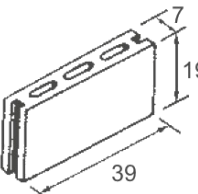
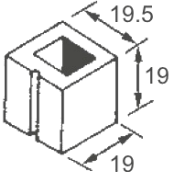
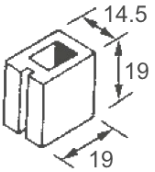
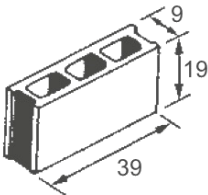
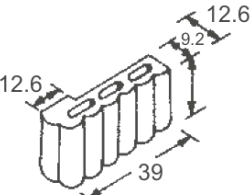
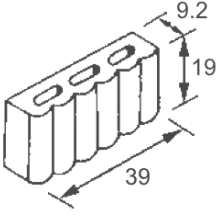
เป็นวัสดุที่ทำจากปูนซีเมนต์ผสมกับหินเล็ก ๆ ทราย และน้ำ นำมาผสมให้เข้ากันหลังจากนั้นนำไปใส่ลงในเครื่องอัดแบบเหล็กให้แน่น แล้วนำออกจากแบบไปพักทิ้งไว้ในที่ร่มประมาณหนึ่งถึงสองสัปดาห์ จึงจะเซตตัวมีความแข็งแรงพอที่จะนำไปใช้ในการก่อได้ คอนกรีตบล็อกมีทั้งแบบไม่รับน้ำหนักและรับน้ำหนัก ซึ่งมาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ดังนี้

- มาตรฐานคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (มอก. 57-2516)
- มาตรฐานคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก. 58-2516)
- มาตรฐานอิฐคอนกรีต (มอก. 59-2516)
- มาตรฐานคอนกรีตบล็อกเชิงตันรับน้ำหนัก (มอก. 60-2516)

ซึ่งคอนกรีตบล็อกมีบริษัทผลิตออกมาจำหน่าย โดยใช้ชื่อสินค้าต่าง ๆ กัน เช่น

ซีแพคบล็อก ดีแทคบล็อก ตัวอย่างตามภาพที่ 2.28 และ ภาพที่ 2.29 ตามลำดับ

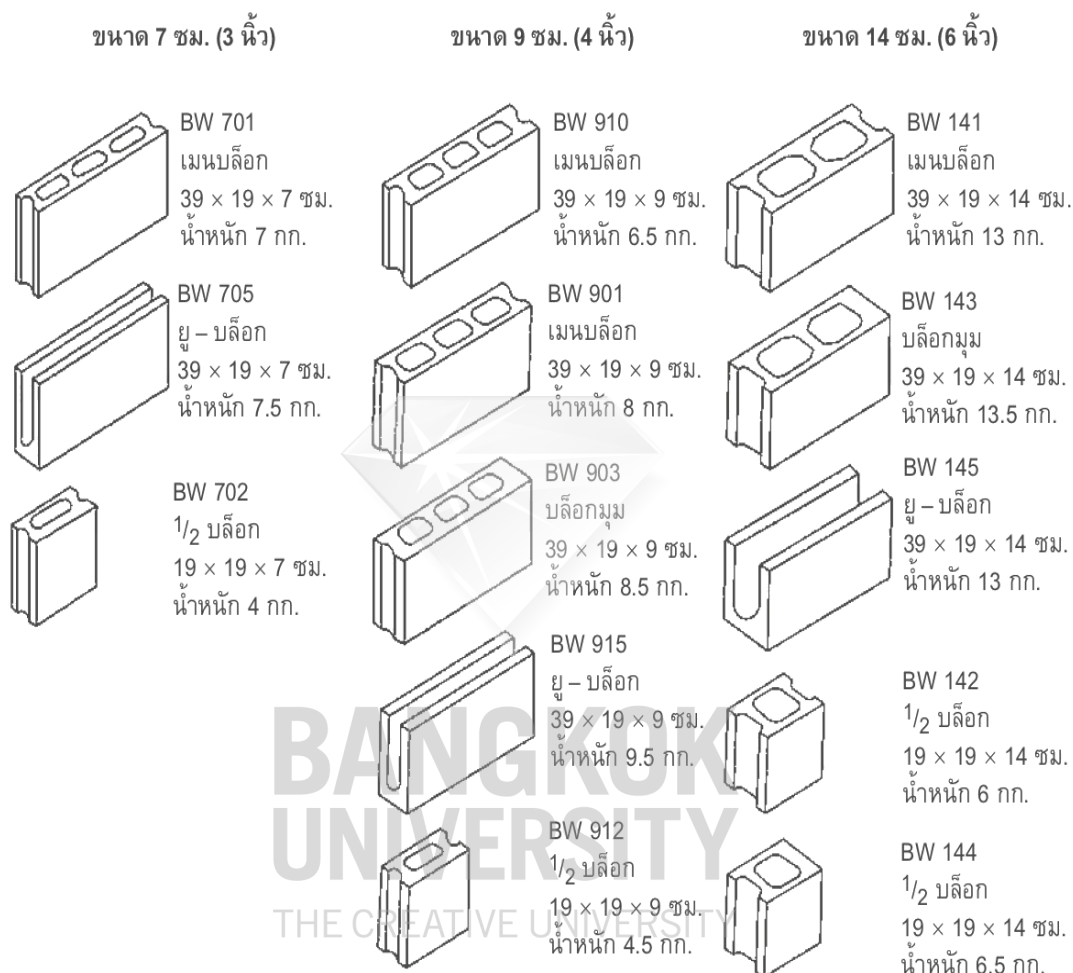
ภาพที่ 2.28: ลักษณะคอนกรีตบล็อกชนิดซีแพค ที่มีการจำหน่ายในปัจจุบัน

บล็อก 8 นิ้ว	บล็อก 6 นิ้ว	บล็อก 4 นิ้ว	บล็อก 3 นิ้ว
C8 – 1 	C6 – 1 	C4 – 5 	C3 – 1 
C8 – 3 	C6 – 3 	C4 – 11 	C3 – 2 
C8 – 5 	C6 – 6 	C4 – 12 	C3 – 3 
C8 – 8 	C6 – 9 	C4 – 13 	C4 – 16 
		C4 – 15 	

(หน่วยเป็น ซม.)

ที่มา: วรพงศ์ วรสุนทรโรสถ และพงศ์พันธ์ วรสุนทรโรสถ. (2556). วัสดุก่อสร้าง. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.

ภาพที่ 2.29: ลักษณะของดีแทคบล็อกชนิดต่าง ๆ



ที่มา: วรพงศ์ วรสุนทรโรสถ และพงศ์พันธ์ วรสุนทรโรสถ. (2556). วัสดุก่อสร้าง. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.

2.4.4 ศิลาลงบล็อก

ทำโดยตัดศิลาลงออกเป็นแท่งสำหรับก่อตามขนาดที่ต้องการ เมื่อยังอยู่ในดินศิลาลงตามธรรมชาตินั้นไม่มีความแข็งแรงมาก สามารถหาได้ง่าย เมื่อขุดขึ้นมาจะมีลักษณะเป็นก้อนใหญ่ ๆ แล้วนำมาเลื่อยด้วยเลื่อยไม้ธรรมดาออกมาเป็นก้อนขนาดที่ต้องการเพื่อให้ง่ายต่อการก่อกำแพง บล็อกศิลาลงมีลักษณะพื้นผิวค่อนข้างขรุขระ เมื่อตัดออกเป็นก้อน ๆ แล้วถูกอากาศนาน ๆ จะทำปฏิกิริยากับอากาศจนเกิดความแข็งแรง โดยในประเทศไทยนิยมนำมาใช้ในการก่อกำแพงหิน งานตกแต่งสวน

ภาพที่ 2.30: ศิลาแลงบล็อกที่นำมาใช้ตกแต่งกำแพงหรือปูพื้นจัดสวน



ที่มา: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.). (2563). *ศิลาแลง*. สืบค้นจาก <https://www.scimath.org/image-earthscience/item/11255-2020-01-03-01-34-26>.

ภาพที่ 2.31: แสดงลักษณะพื้นผิวของศิลาแลงบล็อก มีความหยาบและขรุขระ



ที่มา: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.). (2563). *ศิลาแลง*. สืบค้นจาก <https://www.scimath.org/image-earthscience/item/11255-2020-01-03-01-34-26>.

2.4.5 ดินบล็อก

ดินที่ทำเป็นแท่งสำหรับก่อกำแพงนั้น ได้มีการใช้ก่อมานานแล้วซึ่งใช้ดินปั้นเป็นก้อนแล้วตากแดดให้แห้ง แล้วนำมาก่อเป็นกำแพง ในตัวอย่างประเทศออสเตรเลีย จะนำดินมาอย่าให้ละเอียด แล้วผสมกับฟางตามปริมาณที่เหมาะสม หลังจากนั้นนำไปเทเข้าในแบบ เมื่อพักทิ้งไว้ให้แห้งแล้วนำมาก่อเป็นกำแพงบ้านซึ่งมีความแข็งแรงทนทานมาก การที่ใส่ฟางเข้าไปเป็นการช่วยยึดเหนี่ยวดินไม่ให้แตกเมื่อแห้งแล้ว แต่ในกรณีถ้าใส่ฟางมากเกินไปแท่งดินก็อาจจะไม่มีความหนาแน่นพอและไม่แข็งแรง ภาพที่ 2.32 บางพื้นที่หากดินในพื้นที่นั้น ๆ มีคุณภาพดีก็ไม่จำเป็นต้องผสมฟางเข้าไป ดินบล็อกแบบนี้ทำได้ทั้งหล่อเข้าในแบบหรืออัดในเครื่องอัดก็ได้

ภาพที่ 2.32: ตัวอย่างดินบล็อกที่มีฟางเป็นส่วนผสม



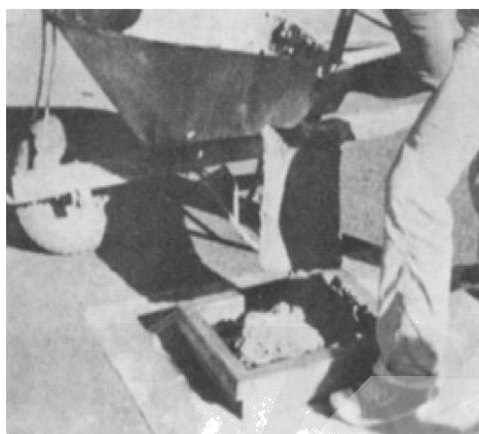
(ก) แท่งดินที่ใช้ฟางผสม (ซ้าย) และแท่งดินที่ผสมปริมาณของฟางที่เหมาะสม (ขวา)



(ข) แสดงให้เห็นแนวแตกในแท่งดินที่ยังมีฟางผสมแต่ก็ยังไม่แตกขาดกัน (ซ้าย) และแสดงให้เห็นแท่งดินที่ไม่มีฟางผสมเพื่อยึดเหนี่ยวเลย ทำให้แตกแยกเป็น 2 ส่วน (ขวา)

ที่มา: วรพงศ์ วรสุนทรโรสถ และพงศ์พันธ์ วรสุนทรโรสถ. (2556). วัสดุก่อสร้าง. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.

ภาพที่ 2.33: ตัวอย่างการทำดินบล็อก



(ก)



(ข)



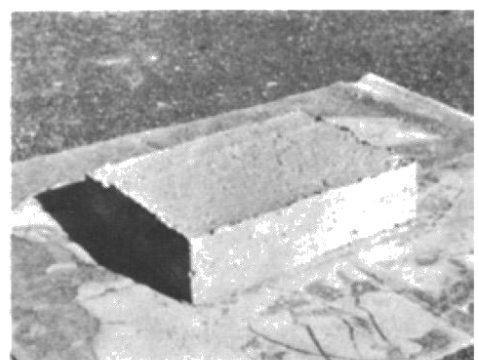
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

ที่มา: วรพงศ์ วรสุนทรโรสถ และพงศ์พันธ์ วรสุนทรโรสถ. (2556). วัสดุก่อสร้าง. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

2.4.6 อิฐมวลเบา

คือ คอนกรีตมวลเบาหรืออิฐมวลเบา เป็นวัสดุก่อผนังสำหรับอาคารสูงหรือบ้านที่อยู่อาศัย เป็นวัสดุก่อที่มีทั้งแบบตันและกลวง มีขนาดใหญ่แต่น้ำหนักเบามากกว่าคอนกรีตบล็อกมากเนื่องจากมีรูพรุนขนาดเล็กกระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอในมวล อิฐมวลเบา มีขนาดมาตรฐาน กว้าง 20 X 60 เซนติเมตร และมีความหนาตั้งแต่ 7.5, 10, 12.5, 15, 20, 25 เซนติเมตร มี สองชั้นคุณภาพ คือ

- ชั้นคุณภาพ 2 ตามมาตรฐาน มอก.1505-2541 ชนิด 0.5 จะมีความหนาแน่น (Dry Density) ไม่เกิน 500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่ากำลังแรงอัด (Compressive Strength, fc) ไม่น้อยกว่า 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

- ชั้นคุณภาพ 4 ตามมาตรฐาน มอก.1505-2541 ชนิด 0.7 จะมีความหนาแน่น (Dry Density) ไม่เกิน 700 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่ากำลังแรงอัด (Compressive Strength, fc) ไม่น้อยกว่า 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

2.4.6.1 คุณสมบัติเด่นของอิฐมวลเบา

- มีน้ำหนักเบากว่าอิฐมอญ 2-3 เท่า และเบากว่าคอนกรีต 4-5 เท่า
- เป็นฉนวนทางความร้อนและสามารถทนไฟได้นาน 2-4 ชั่วโมง
- กันเสียงและดูดซับได้ดี สามารถกันเสียงได้ดีกว่าอิฐมอญ ช่วยลดทอนความดังของเสียงจากภายนอกอาคารและระหว่างห้อง
- รองรับน้ำหนักได้ดี
- ทนต่อสภาวะอากาศ

2.4.6.2 ประเภทของอิฐมวลเบา

- คอนกรีตมวลเบาชนิดไร้มวลรวมละเอียด (No-Fines Concrete) คอนกรีตที่ไม่มีมวลรวมละเอียดผสมอยู่ (ทราย) ทำให้มีช่องว่างระหว่างมวลรวมทรายหยาบที่ยึดเกาะติดกัน
- คอนกรีตพรุน (Aerated Concrete) หรือโฟมคอนกรีต (Foam Concrete) หรือคอนกรีตมวลเบา (Autoclaved Aerated Concrete; AAC) หรือคอนกรีตมวลเบาเซลลูลาร์ (Cellular Lightweight Concrete) ถูกประดิษฐ์ขึ้นในช่วง ค.ศ. 1920 โดยสถาปนิกชาวสวีเดน คอนกรีตชนิดนี้มีน้ำหนักเบาและเป็นวัสดุหล่อขึ้นมาที่เป็นทั้งโครงสร้างและฉนวนกันความร้อนในตัวเดียวกัน จากคุณสมบัติความเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีจึงถูกนำไปใช้ในการก่อสร้างทั้งภายในและภายนอก นอกจากนี้การที่ถูกขึ้นรูปได้ด้วยเลื่อยหรือส่วนจึงถูกนำไปใช้งานได้อย่างกว้างขวางอีกด้วย
- คุณสมบัติที่ดีของคอนกรีตพรุน คือ
- มีน้ำหนักเบา
- เป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี สามารถใช้งานได้ทั้งภายนอกและภายใน

- มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ ทั้งขั้นตอนการผลิตและการใช้งาน
- สามารถขึ้นรูปและปรับแต่งได้โดยง่าย ทำให้นำไปใช้งานได้สะดวกรวดเร็ว

คอนกรีตมวลเบานี้ ผลิตโดยการผสมผงอะลูมิเนียมหรือสารก่อฟองอากาศและอบด้วยไอน้ำความดันสูงขณะหล่อเพื่อให้เกิดฟองอากาศและความพรุนในเนื้อคอนกรีต จึงทำให้มีน้ำหนักเบากว่าคอนกรีตทั่ว ๆ ไป

ภาพที่ 2.34: คอนกรีตมวลเบา



ที่มา: บริษัท ควอลิตี้คอนสตรัคชันโปรดักส์ จำกัด (มหาชน). (ม.ป.ป.). *อิฐมวลเบาคิวคอน*. สืบค้นจาก <https://qcon.co.th/th/products/qcon-block>.

2.4.7 อิฐแก้ว

ผลิตจากแก้วซึ่งมีวัตถุประสงค์ที่จะใช้ก่อกำแพงโดยต้องการให้แสงลอดผ่านเพียงอย่างเดียว มีชื่อทางการค้าต่าง ๆ กัน เช่น โซลาลิส ซึ่งมีลวดลายที่ต่าง ๆ กัน ขนาดที่ใช้โดยทั่วไปนั้น มีขนาดกว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 19 เซนติเมตร และหนา 8 เซนติเมตร ปูนก่อกำแพงอิฐแก้วนั้นใช้ปูนซีเมนต์ธรรมดา 1 ส่วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 1 ส่วน ทราาย 2-3 ส่วนผสม กับน้ำให้มีความเหลวพอเหมาะ ดังภาพที่ 2.35

ภาพที่ 2.35: ตัวอย่างอิฐแก้ว หลายลวดลาย



ที่มา: บริษัท บุญชัยคำวัตตก่อสร้าง จำกัด. (ม.ป.ป.). อิฐแก้ว. สืบค้นจาก
<https://www.scghomebuild.com>.

2.4.8 หินใหญ่

หินขนาดใหญ่จะมีขนาดก้อนประมาณ 30-40 เซนติเมตร ใช้สำหรับก่อเป็นกำแพงได้ตามขนาดที่ต้องการ เช่น กำแพงหินตกแต่งบริเวณสวนหรือบริเวณที่ต้องการภูมิทัศน์ที่เป็นธรรมชาติ โดยให้มีช่องปูนก้นอย่างน้อยที่สุด

2.5 ทราย

กวี หวังนิเวศน์กุล (2552) กล่าวว่า ทรายเป็นวัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้างได้หลากหลายประเภทงาน เช่น ผสมกับคอนกรีต ปรับระดับพื้น ปรับพื้นที่จัดสวน ผสมปูนสำหรับก่ออิฐฉาบผนัง ใช้เป็นส่วนผสมในการทำอิฐ ใช้ผสมในพวงงานตกแต่ง เช่น งานหินขัด งานกรวดล้าง เป็นต้น ทรายที่ใช้สำหรับในงานก่อสร้างโดยทั่วไปจะมีขนาดเม็ดระหว่าง 1/16" ถึง 2 มิลลิเมตร น้ำหนักเมื่ออยู่ในสภาพไร้ความชื้นจะมีน้ำหนักประมาณ 1,400-1,650 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร และหนัก 1,800-2,000 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร เมื่ออยู่ในสภาพเปียก โดยแหล่งกำเนิดของทรายแบ่งออกตามแหล่งที่มาได้ 2 ชนิด คือ

2.5.1 ทรายแม่น้ำ

เป็นทรายที่เกิดจากกระแสน้ำกัดเซาะพัดพาไหลไปตามแหล่งน้ำ โดยทรายที่มีลักษณะใหญ่จะตกเป็นตะกอนอยู่บริเวณต้นน้ำ ส่วนทรายที่มีขนาดเป็นโมเลกุลเล็กจะถูกน้ำพัดไปบริเวณท้ายน้ำ ทรายแม่น้ำเป็นทรายที่ค่อนข้างสะอาดเนื่องจากการขัดสีไปตลอดการเดินทาง แต่มีข้อเสียตรงที่ขนาดรูปร่างของตัวเม็ดทรายจะกลมไม่มีเหลี่ยมคม การเกาะยึดในงานคอนกรีตทำได้ไม่ค่อยดีนัก การจะนำทรายแม่น้ำมาใช้จะต้องใช้เรือลำเรียงทราย ดูดทรายดูดขึ้นมาตามแนวท่อ แล้วเทลงบนเรือบรรทุกนำไปส่งยังท่าทรายเพื่อจำหน่ายต่อไป โดยทรายที่มีสิ่งเจือปนพวกเศษดินโคลนปะปนอยู่จะเรียกว่า ทรายขี้เป็ด หรือทรายถม ใช้ในการปรับระดับ

2.5.2 ทรายบก

เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพของหินทรายที่ถูกทับถมฝังอยู่ใต้ดิน หรือ จากการเปลี่ยนแปลงทางธรรมชาติ คือแม่น้ำแห้งขอดแล้วเกิดการแปรสภาพกลายเป็นพื้นดิน ในการนำทรายบกมาใช้งานจะต้องทำการเปิดหน้าดินให้มีความลึกประมาณ 2-10 เมตร เสียก่อน เนื่องจากบริเวณหน้าดินจะมีซากพืชซากสัตว์ที่ตายทับถมกันอยู่ ทำให้ทรายไม่สะอาด หลังจากขุดลึกลงไปถึงระดับชั้นทราย ก็จะพบน้ำใต้ดิน ซึ่งวิธีการในการนำทรายบกขึ้นมานั้น ก็ใช้เรือดูดทรายเช่นเดียวกัน

2.5.3 คุณสมบัติของทราย

การที่มีการนำทรายมาใช้ในงานก่อสร้าง เช่น งานก่ออิฐ ผสมคอนกรีต ทำอิฐ ฉาบปูน เป็นต้น นั้นมีเหตุผลหลายประการ ดังต่อไปนี้

- ช่วยบรรเทาการยึดหดและการแตกร้าวในปูนฉาบได้ดี
- ทรายสามารถเข้าไปแทรกอุดช่องว่างของหินในคอนกรีตได้ดี ทำให้คอนกรีตแน่น
- ช่วยเพิ่มปริมาณของส่วนผสม ทำให้มูลค่าของคอนกรีต ปูนก่อลดลง หรือ ปูนฉาบ

เพราะทรายสามารถหาได้ง่ายและมีราคาถูก

ทราย ที่พบเห็นได้ทั่วไป แบ่งได้ 3 ประเภท คือ

- ทรายหยาบ เป็นทรายที่นิยมใช้ในงานผสมคอนกรีตงานโครงสร้าง มีเหลี่ยมมุมและแข็งแรง ลักษณะของเม็ดทรายจะมีขนาดใหญ่ ขนาดของเม็ดทรายประมาณ 2-4.5 มิลลิเมตร แหล่งของทรายหยาบส่วนใหญ่จะมาจาก จังหวัดสิงห์บุรี ราชบุรี และปทุมธานี
- ทรายหยาบปานกลาง เป็นทรายที่มักใช้ในงานคอนกรีตที่ไม่รับน้ำหนักและงานปูนก่อ ลักษณะของเม็ดทรายจะมีขนาดเล็กกว่าทรายหยาบเล็กน้อย มีเหลี่ยมมนน้อยลง ขนาดของเม็ดทรายประมาณ 1.5-2 มิลลิเมตร แหล่งของทรายหยาบปานกลางจะพบในจังหวัดอ่างทอง

- ทรายละเอียด เป็นทรายที่นิยมใช้ในงานปูนฉาบผนัง งานบัวปูนปั้น งานทำอิฐ เป็นต้น ลักษณะของเม็ดทรายจะมีขนาดค่อนข้างเล็ก ไม่เหมาะกับงานที่ต้องแบกรับน้ำหนักมาก ขนาดของเม็ดทรายละเอียดจะมีขนาดประมาณ 0.05-1.5 มิลลิเมตร พบมากในจังหวัด พระนครศรีอยุธยา

2.6 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 อาทร ชูพลสัถย์ และนิชาภา มินาบุลย์ (2556) ทำการวิจัยการศึกษาบล็อกประสาน จากขยะคอนกรีต ว่ามีความเหมาะสมในการใช้งานก่อสร้างหรือไม่ โดยทำการผลิตอิฐบล็อกประสาน ที่อัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์กับฝุ่นหินที่อัตราส่วน 1:5 1:7 และ 1:8 โดยน้ำหนัก ผลจากการ ทดลองบล็อกประสานมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้เมื่อเทียบกับบล็อกประสานทั่วไป ตาม เกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนบล็อกประสาน มพข.602-2547 กระทรวงอุตสาหกรรม สรุปได้ว่า ฝุ่นหินสามารถนำมาใช้ผลิตอิฐบล็อกประสานได้ ส่งผลให้สามารถเพิ่มมูลค่าจากวัสดุเหลือทิ้งรวมถึง ลดผลกระทบขยะที่เป็นผลไม่ดีต่อสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย

2.6.2 ศุภกิจ ศรีเรือง (2562) ได้นำเสนอวิธีการผลิตอิฐบล็อกประสาน โดยเน้นการใช้วัสดุใน พื้นที่มาผสมกับปูนซีเมนต์และน้ำในสัดส่วนที่เหมาะสม นำมาอัดเป็นก้อนด้วยเครื่องอัด หลังจากนั้น นำมาบ่ม ให้บล็อกแข็งตัวประมาณ 1-2 สัปดาห์ วัตถุดิบที่ใช้นำมาเป็นส่วนผสมในการทดลอง ได้แก่ ดินลูกรัง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในอัตราส่วน 1:6 และ 1:8 โดยน้ำหนัก ผลคือได้อิฐบล็อกประสานที่ มีความแข็งแรงและสามารถนำไปใช้ในการก่อสร้างได้

2.6.3 กิตติชาติ เผ่าพงศ์ไพบูลย์, กรรณก บัญเสริม, วีระ หอสกุลไท และปริญญา จินดาประเสริฐ (2562) ทำการวิจัยศึกษาคุณสมบัติด้านการนำความร้อนของอิฐบล็อกประสานผสมเถ้าชีวมวล โดยใช้ อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อดินทรายต่อดินลูกรังที่อัตราส่วน 1:5.8:1.6 โดยทำการแทนที่ทรายด้วยเถ้า ชีวมวลในอัตราส่วนร้อยละ 0, 20, 40 และ 60 โดยน้ำหนักของดินทราย ผลการทดลองอิฐบล็อกประสาน ผสมเถ้าชีวมวลในทุกอัตราส่วนผสมสามารถนำไปใช้งานได้จริงเช่นเดียวกับอิฐบล็อกประสานทางการค้า รวมไปถึงมีค่าการนำความร้อนต่ำเหมาะที่จะนำไปใช้ในการก่อสร้างในตัวอาคารได้

2.6.4 อรวรรณ จันทสุทโธ (2563) ได้ทำการศึกษาแนวทางการพัฒนาอิฐบล็อกประสานรักษ์ โลก ซึ่งในการศึกษาครั้งที่ทำการเลือกวัสดุที่เหลือใช้หรือเหลือทิ้งกลับมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิต อิฐบล็อกประสานรักษ์โลก ได้แก่ เศษก้านใบยาสูบ ใบมะพร้าว กากมะพร้าว ขี้เลื่อย แฉางพารา เยื่อ กระดาษ ฉลาก แก้วลอย ดินตะกอนประปา แก้วกะลา ฯลฯ เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุที่ไม่ได้ใช้ งานแล้วและสามารถนำไปต่อยอดในเชิงพาณิชย์ได้ ผลการศึกษาการพัฒนาอิฐบล็อกประสานรักษ์โลก

จากวัสดุที่ไม่ได้ใช้แล้วปรากฏว่า การนำวัสดุเหลือทิ้งหรือเหลือใช้มาผลิตอิฐบล็อกประสานนั้นสามารถทำได้จริงแต่ต้อง มีอัตราส่วนในการผลิตที่เหมาะสมกับวัตถุดิบนั้น ๆ

2.6.5 บ้านสวนลุงแผน (2561) ได้ทำการทดลองและนำเสนอการสร้างบ้านด้วยบล็อกดินทำเองที่ไม่ต้องใช้ทุนในการทำสูง โดยใช้ดินผสมกับแกลบหรือฟาง และน้ำ และนำมาเข้าแม่พิมพ์อัด และนำไปตากแดดทิ้งไว้ให้แห้ง ผลที่ได้สามารถนำมาก่อสร้างบ้านได้จริง แต่ต้องมีอัตราส่วนระหว่างดินกับวัสดุผสมที่เหมาะสมไม่เช่นนั้นจะส่งผลให้บล็อกดินมีความร่วนและไม่สามารถนำมาใช้ในงานก่อสร้างบ้านได้จริง รวมไปถึงขนาดของก้อนอิฐต้องไม่ควรบางเกินไปต้องมีขนาดสม่ำเสมอ เพราะจะส่งผลต่อการรับน้ำหนักตอนก่อสร้างบ้านได้

2.6.6 สุกรี เจริญสุข, อารีพร มาละ และโซฟีลาน มะดาแฮ (2562) ทำการศึกษากระบวนการผลิตอิฐบล็อกประสานที่นำเอาเถ้ากะลามะพร้าวมาเป็นส่วนผสมในการผลิตด้วยเครื่องอัดบล็อกประสานแบบมือโยก กำหนดอัตราส่วนปูนซีเมนต์ : ทราย : ดินลูกรัง : เถ้ากะลามะพร้าว เท่ากับ 1:2:2:1, 1:2:1:2 และ 1:2:0:3 โดยปริมาตร ผลการศึกษาพบว่า เถ้ากะลามะพร้าวสามารถเป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐบล็อกประสานได้ เมื่อเพิ่มปริมาณเถ้ากะลามะพร้าวมากมีผลทำให้การรับแรงอัดลดลง โดยในชุดการทดลองอัตราส่วนที่มีผลดีที่สุดคือ ชุดที่ 1 อัตราส่วนปูนซีเมนต์ : ทราย : ดินลูกรัง : เถ้ากะลามะพร้าว เท่ากับ 1:2:2:1

2.6.7 กนกเนตร เพ็ชรทองช่วย และโสภา วิศิษฐ์ศักดิ์ (2561) วิจัยและพัฒนาคอนกรีตบล็อกที่มีฟางข้าวมาเป็นส่วนผสมโดยการทำก้อนตัวอย่างขนาด 5 X 5 X 5 เซนติเมตร ที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ หินฟูน ฟางข้าว (ความยาว 12 ซม.) และน้ำในอัตราส่วนที่ต่างกัน จำนวน 4 ตัวอย่าง ผลการทดลองพบว่า ตัวอย่างการทดลองที่มีผลการทดสอบผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.58 2533 คือ อัตราส่วนในช่วงที่ ปูนซีเมนต์ (600 กรัม) หินฟูน (2,400 และ 3,000 กรัม) ฟางข้าว (50 กรัม) และน้ำ 40% ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ อีกทั้งยังพบว่า น้ำที่มากหรือน้อยเกินไปมีผลทำให้การรับแรงลดลง ในขณะที่การเพิ่มปูนซีเมนต์และหินฟูนมีแนวโน้มการรับแรงได้เพิ่มขึ้นและในขณะเดียวกันการที่เพิ่มฟางข้าวเข้าไปมากอาจมีผลให้น้ำหนักของอิฐลดลงแต่ก็ส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของอิฐลดลงด้วย

2.6.8 สัณญา บุรา, สุภาพ เดชคำภู และจักรพงษ์ ศิริชัยวรารณ์ (2562) ได้ทำการศึกษาวิจัยการประยุกต์ใช้ขี้เลื่อยในการผลิตบล็อกประสานซีเมนต์ผสม โดยนำ ขี้เลื่อย ไยมะพร้าว และกากมะพร้าว มาเป็นวัสดุในงานวิจัยเพื่อลดการใช้วัสดุผสมเดิม กำหนดอัตราส่วนในการทดลองที่ ปูนซีเมนต์ : ทราย : ขี้เลื่อย ไยมะพร้าว และกากมะพร้าว ในอัตราส่วน 1:2:0.1, 1:2:0.2, 1:2:0.3 ระยะเวลาในการบ่ม 1-3 สัปดาห์ จากผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนที่ได้ผลดีที่สุด คือ 1:2:0.1 เนื่องจากในอัตราส่วนที่มีการเพิ่มปริมาณวัสดุเหลือใช้มากขึ้น จะส่งผลให้การต้านทานการรับกำลังอัดลดลงและอัตราส่วนผสมวัสดุเหลือใช้มากขึ้น พบว่ามีอัตราการดูดซึมน้ำมากขึ้นด้วย การพัฒนาดังกล่าว

ประสานผสมวัสดุเหลือใช้ สามารถนำมาผลิตและใช้เป็นวัสดุก่อสร้างได้จริง ช่วยในการลดขยะในชุมชนได้จริงและสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือใช้ได้อีกด้วย

2.6.9 ประชุม คำพุ่ม (2562) ศึกษาการใช้เศษก้านใบยาสูบในการผลิตอิฐบล็อกประสาน กำหนดอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่ง : ดินลูกรัง : เศษก้านใบยาสูบบดย่อย เท่ากับ 1:7:0, 1:6:1, 1:5.5:1.5, 1:5:2, 1:4.5:2.5 และ 1:4:3 โดยปริมาตร อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.5 โดยน้ำหนัก ทำการอัดขึ้นรูปอิฐบล็อกประสานโดยใช้เครื่องอัดแบบมือโยก ผลการทดลอง พบว่า เมื่อผสมด้วยเศษก้านใบยาสูบในปริมาณที่มากส่งผลให้ความต้านทานแรงอัดและความหนาแน่นลดลง ส่วนความชื้นและการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น โดยที่ในอัตราส่วนที่ 1:5.5:1.5 ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด จัดเป็นอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับแรง สามารถนำไปพัฒนาในเชิงพาณิชย์ได้

2.6.10 สมคณ เกียรติก้อง (2556) ศึกษาวิจัยความหนาแน่น กำลังรับแรงอัด และการดูดซึมน้ำของบล็อกคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ผสมกับดินเซรามิกและเศษใบไม้ เพื่อหาอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ ดินเซรามิกและเศษใบไม้ เพื่อใช้ทดลองทำบล็อกขนาด 5 X 5 X 5 เซนติเมตร จากอัตราส่วนผสมทั้งหมด 3 อัตราส่วน ผลการวิจัยพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของดินเซรามิกมากขึ้นจะทำให้บล็อกคอนกรีตมีความหนาแน่นและกำลังอัดลดลง แต่ได้อัตราการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น ดังนั้นผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า ดินเซรามิกไม่เหมาะสมสำหรับทำบล็อกคอนกรีตที่ต้องการรับแรงสูงแต่เหมาะสำหรับงานตกแต่ง

2.6.11 ณัฐพงศ์ จันทร์เพ็ชร (2562) ศึกษาการผลิตอิฐมอญก่อสร้างสามัญแบบไม่เผาด้วยฟางข้าว ซึ่งเป็นการคิดค้นกรรมวิธีใหม่ในการผลิตอิฐมอญ ด้วยเทคโนโลยีการผลิตอิฐบล็อกประสาน ด้วยการใช้ดินผสมกับปูนซีเมนต์ ได้อัตราส่วนที่ฟางข้าวผสมน้ำอย่างร้อยละ 0, 2.5, 5, 7.5, 10 และ 12.5 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ ดินลูกรังร้อยละ 6 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ น้ำร้อยละ 11.43 โดยน้ำหนักส่วนผสม และสารลดแรงตึงผิวร้อยละ 0.04 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ ผลจากการทดลองพบว่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุดในการทดลองครั้งนี้ คือ ที่อัตราส่วนฟางข้าวต่อปูนซีเมนต์ร้อยละ 7.5 โดยน้ำหนัก เมื่อเทียบกับอิฐมอญทั่วไป

2.6.12 ณัฐวุฒิ อินทบุตร (2561) ศึกษาสมบัติทางกลและการนำความร้อนของอิฐบล็อกประสานจากดินตะกอนประปาและผักตบชวาที่มีส่วนผสม ปูนซีเมนต์ ดินตะกอนประปา และทราย ในอัตราส่วนผสมที่ต่างกัน ที่ปูนซีเมนต์ : ดินตะกอน : ทราย เท่ากับ 10:70:20, 10:60:30 และ 10:50:40 ตามลำดับ ในแต่ละอัตราส่วนมีการเพิ่ม ผักตบชวาร้อยละ 0, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก จากนั้นทำการศึกษา น้ำหนัก การดูดซึมน้ำ ความพรุน กำลังอัด และการนำความร้อน จากการศึกษาพบว่า อัตราส่วนที่ดินตะกอนร้อยละ 70 ให้กำลังอัดต่ำกว่ามาตรฐาน มอก. 58-2533 อัตราส่วนที่ 50 และ 60 ให้ค่ากำลังอัดเป็นไปตามมาตรฐาน หน่วยน้ำหนักลดลงแต่การดูดซึมน้ำและความพรุนสูงขึ้น

ตามผักตบชวาที่เพิ่มขึ้น และมีค่าการนำความร้อนที่ต่ำ สรุปได้ว่าดินตะกอนและผักตบชวาสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุฉนวนกันร้อนได้

2.6.13 กงกิจ ยิ่งเจริญกิจจจร และทวิช กล้าแท้ (2561) ศึกษาการใช้ประโยชน์จากหอยนางรมบดในการผลิตอิฐบล็อกประสานแบบไม่เผา โดยกำหนดอัตราส่วน ที่ปูนซีเมนต์และเปลือกหอยนางรมบดต่อดินลูกรังในอัตราส่วน 1:6, 1:7 และ 1:8 แทนที่ปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนัก เพื่อเปรียบเทียบการต้านแรงอัดที่อายุการบ่ม 7, 14, 28, 56 และ 90 วัน และทดสอบการดูดซึมน้ำ จากผลการทดลองพบว่าค่ากำลังรับแรงอัด อิฐบล็อกประสานจากเปลือกหอยนางรมบดที่ไม่เผา อายุบ่ม 28 วัน มีค่ากำลังรับแรงอัดและอัตราการดูดซึมน้ำผ่าน มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน (602/2547) ชนิดไม่รับน้ำหนัก อิฐบล็อกประสานที่ร้อยละ 0 และร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ในอัตราส่วน 1:6 ที่อายุการบ่ม 90 วัน ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน (602/2547) ชนิดรับน้ำหนัก

จากการศึกษาทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า วัสดุเหลือใช้สามารถนำมาใช้ในการพัฒนาเป็นอิฐได้ โดยมีผู้วิจัยหลายท่านนำวัสดุเหลือใช้หลายชนิดมาใช้ในการทดลองผลิตอิฐ ซึ่งในการทดลองผลิตอิฐจากวัสดุเหลือใช้เหล่านี้จะมีวิธีการผลิตและกำหนดอัตราส่วนที่แตกต่างกันไป จำเป็นต้องต้องพิจารณาถึงปริมาณในการใส่วัสดุผสมลงไปในการผลิตอิฐให้สอดคล้องกันอีกด้วย เนื่องจากถ้ามีการใส่วัสดุผสมลงไปในปริมาณที่มาก วัสดุเหลือใช้จะมีอัตราการดูดซึมน้ำที่ค่อนข้างสูง อาจส่งผลให้ตัวอิฐไม่สามารถขึ้นรูปได้รวมไปถึงอาจมีผลต่อความเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของอิฐในเรื่องของความแข็งแรง การคงตัว และการรับแรง โดยในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงต้องทำการทดลองและหาปริมาณอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตอิฐจากข้าวมอลต์ ตามแนวทางของ (สัญญา บุรา และคณะ, 2562) ที่มีส่วนผสม ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 กากข้าวมอลต์ ทราย และน้ำที่เป็นส่วนผสมหลักในการทดลองผลิตอิฐ และแนวทางในการผลิตอิฐซึ่งงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกวิธีการผลิตอิฐแบบไม่เผาตามวิธีการใกล้เคียงกับ (ณัฐพงศ์ จันทรพิษฐ์, 2562) เนื่องจากการผลิตอิฐแบบไม่เผาเป็นขั้นตอนการผลิตอิฐที่มีวิธีการทำได้ง่าย ไม่ซับซ้อนมาก ประหยัดค่าใช้จ่ายในการผลิต และยังมีผลดีต่อการลดสภาวะโลกร้อนอีกด้วย เนื่องจากจำเป็นต้องใช้ไฟในการเผาอิฐ

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยการศึกษาการผลิตอิฐจากกากข้าวมอลต์ที่เป็นวัสดุเหลือใช้ในการผลิตเบียร์ มาพัฒนาเป็นวัสดุประเภทอิฐ โดยในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกใช้กากข้าวมอลต์มาพัฒนาเป็นอิฐ โดยผู้วิจัยกำหนดวัสดุผสมสำหรับการทดลอง ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง กากข้าวมอลต์ ทราย และน้ำเป็นส่วนผสมในการทดลองผลิตอิฐนี้ และวิธีที่ผู้วิจัยเลือกใช้ในการทดลองนี้เป็นวิธีการผลิตอิฐแบบไม่เผา โดยใช้แม่พิมพ์อิฐที่แบบทำมือ ขนาด 100 X 200 X 60 มม. พร้อมกำหนดอัตราส่วนการผลิตอิฐ และศึกษาคุณสมบัติของอิฐทางด้านกายภาพ ศึกษาน้ำหนักของอิฐโดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนัก ศึกษาขนาดและปริมาณการระเหยน้ำของอิฐโดยใช้เครื่องมือวัด โดยมีขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

3.1 แนวทางในการดำเนินงานวิจัย

3.1.1 สมมติฐานงานวิจัย

- สัดส่วนของปูนซีเมนต์ ทราย กากข้าวมอลต์ และน้ำ ที่เหมาะสมในการผลิตอิฐ

3.1.2 ตัวแปรของงานวิจัย

3.1.2.1 ตัวแปรต้น

- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง กากข้าวมอลต์ ทราย และน้ำ

3.1.2.2 ตัวแปรตาม

- น้ำหนัก ขนาด ความชื้น และความคงตัวของอิฐจากกากข้าวมอลต์

3.1.2.3 ตัวแปรควบคุม

- ระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตอิฐ

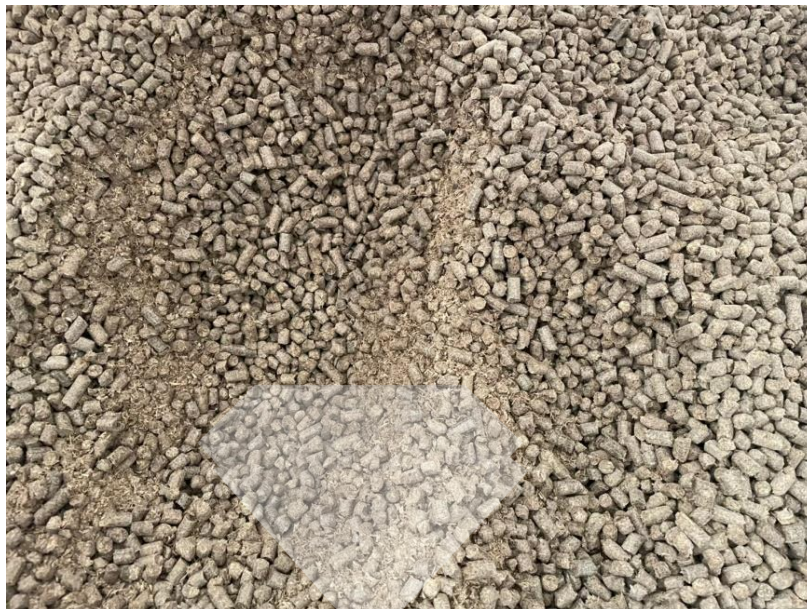
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยพัฒนาอิฐจากกากข้าวมอลต์ มีดังนี้

3.2.1 วัสดุที่ใช้ในการผลิตอิฐ

1) กากข้าวมอลต์ที่นำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้มาจาก บริษัท ไทยเบฟเวอเรจ จำกัด (มหาชน) ดังภาพที่ 3.1 มีลักษณะ แห้งเป็นผงและเม็ดผสมกันโดยนำมาร้อนผ่านตระแกรงเพื่อคัดแยกขนาด ดังภาพที่ 3.2 สำหรับนำกากข้าวมอลต์ ในส่วนที่มีขนาดเล็กที่สามารถผ่านตระแกรงได้ไปใช้ดำเนินการทดลอง

ภาพที่ 3.1: กากข้าวมอลต์แห้งจาก บริษัท ไทยเบฟเวอเรจ จำกัด (มหาชน)



ภาพที่ 3.2: กากข้าวมอลต์ที่ผ่านการขัดแยกขนาด



2) ปูนซีเมนต์ ใช้เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่หนึ่ง ตรา ทีพีไอ สีแดง เป็นปูนสำหรับงานโครงสร้าง ใช้สำหรับผสมในการทดลอง เพื่อขึ้นรูปอิฐบล็อกจากกากข้าวมอลต์ ภาพที่ 3.3

ภาพที่ 3.3: ปูนซีเมนต์ ตรา ทีพีไอ



ที่มา: บริษัท ทีพีไอ โพลีน จำกัด (มหาชน). (ม.ป.ป.). ปูนซีเมนต์ ตราทีพีไอ. สืบค้นจาก <https://www.tpipolene.co.th/en/cement-en/masonry/item/336-green>.

3) น้ำ ในการทดลองใช้น้ำประปาบริสุทธิ์มาเป็นส่วนผสมในการทดลองขึ้นรูปอิฐจากกากข้าวมอลต์ ภาพที่ 3.4

ภาพที่ 3.4: น้ำประปา



4) แม่พิมพ์สำหรับทำอิฐ เป็นแม่พิมพ์ทำด้วยมือใช้สำหรับขึ้นรูปอิฐ ขนาด 100 X 200 X 60 มม. วัสดุแม่พิมพ์ทำจากเหล็ก หนา 2 มม. ภาพที่ 3.5

ภาพที่ 3.5: แม่พิมพ์อิฐรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 100 X 200 X 60 มิลลิเมตร



3.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

1) เครื่องมือวัดค่าปริมาณการสะสมน้ำในวัสดุ ยี่ห้อ Testo รุ่น 606-1 เป็นเครื่องวัดความชื้นในเนื้อไม้และวัสดุอื่น ๆ แสดงค่าความชื้นวัสดุเป็นเปอร์เซ็นต์ สามารถวัดค่าความชื้นในเนื้อไม้ได้หลากหลาย สามารถหาจุดที่มีความชื้นบนวัสดุที่ตัวผนังอาคาร เช่น พื้นปูนซีเมนต์ ผนังปูน ไม้ ปูนปลาสเตอร์ หรืออิฐ เป็นต้น ภาพที่ 3.6

- อุณหภูมิสำหรับใช้งานของตัวเครื่อง -10 ถึง +50 °C
- แสดงค่าการวัดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ในหน่วย °C และ °F ได้
- ช่วงการวัดความชื้นของไม้ และวัสดุ 0 ถึง 90%
- ช่วงการวัดความชื้นสัมพัทธ์ 0 ถึง 100 %RH
- อุณหภูมิของอากาศ -10 ถึง 50 °C

ภาพที่ 3.6: เครื่องมือวัดค่าปริมาณการสะสมน้ำในวัสดุ Testo 606-1



2) เครื่องชั่งดิจิตอล

ภาพที่ 3.7: เครื่องชั่งดิจิตอล Kassa รุ่น EK-9270-59 ขนาด 5 Kg.



3.3 วิธีดำเนินการวิจัย

จากการศึกษาทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้แนวทางในการทดลองผลิตอิฐจากกากข้าวมอลต์ โดยใช้วิธีการผลิตอิฐแบบไม่เผาที่เป็นวิธีการที่ทำได้ง่ายและประหยัดค่าใช้จ่ายในการผลิตอิฐ ด้วยวิธีการทำมือ รวมถึงได้กำหนดอัตราส่วนที่ใช้ในการทดลองผลิตอิฐทั้งหมดจำนวน 14 ชุดการทดลอง มีวิธีการในการดำเนินการผลิตอิฐ ดังนี้

วิธีการผลิตอิฐด้วยวิธีการทำมือ

- ขั้นตอนที่ 1 ชั่งตวง ปูนซีเมนต์ กากข้าวมอลต์ ทราย และน้ำที่ใช้ในการผลิตอิฐตามอัตราส่วนที่ได้กำหนดไว้

- ขั้นตอนที่ 2 นำปูนซีเมนต์ กากข้าวมอลต์ และทราย ผสมให้เข้ากัน หลังจากนั้นผสมน้ำลงไปโดยใส่น้ำลงไปเล็กน้อย ค่อย ๆ ให้น้ำซึมลงไป

- ขั้นตอนที่ 3 ให้พักส่วนผสมทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที แล้วผสมวัตถุดิบให้เข้ากันทั้งหมด เมื่อเข้ากันได้ดีแล้วให้ นำมาอัดใส่แม่พิมพ์ หลังจากนั้นแกะแม่พิมพ์ออก นำตัวอย่างอิฐ ไปพักทิ้งไว้ ประมาณ 7-15 วัน
- ขั้นตอนที่ 4 เก็บรวบรวมข้อมูล สรุปผล

ตารางที่ 3.1: สรุปอัตราส่วนที่ใช้ในการทดลองผลิตอิฐ

อัตราส่วนสำหรับการทดลอง					
ลำดับ	ปูนซีเมนต์	กากข้าวมอลต์	ทราย	น้ำ	หมายเหตุ
1	1 กก.	3 กก.	-	0.6 กก.	
2	1 กก.	3 กก.	-	0.9 กก.	
3	1 กก.	1 กก.	1 กก.	0.6 กก.	
4	1 กก.	1 กก.	1 กก.	0.9 กก.	
5	1 กก.	0.5 กก.	0.5 กก.	0.6 กก.	
6	1 กก.	0.5 กก.	0.5 กก.	0.7 กก.	
7	1 กก.	0.5 กก.	0.5 กก.	0.9 กก.	
8	1.2 กก.	0.3 กก.	0.1 กก.	0.6 กก.	
9	1.2 กก.	0.3 กก.	0.1 กก.	0.7 กก.	
10	1.2 กก.	0.3 กก.	0.1 กก.	0.9 กก.	
11	1.5 กก.	0.3 กก.	0.1 กก.	0.8 กก.	
12	1.5 กก.	0.3 กก.	0.1 กก.	0.9 กก.	
13	1.5 กก.	0.4 กก.	0.1 กก.	0.8 กก.	
14	1.5 กก.	0.4 กก.	0.1 กก.	0.9 กก.	

การออกแบบอัตราส่วนผสม ผู้วิจัยมีการทดลองใส่กากข้าวมอลต์ในปริมาณที่แตกต่างกันตามแนวทางของ (สัญญา บุรา และคณะ, 2562) ที่ใช้ขี้เถ้าจากมะพร้าวที่มีลักษณะใกล้เคียงกับกากข้าวมอลต์ โดยกำหนดให้อัตราส่วนผสมที่ใช้ในการผลิต ดังตารางที่ 3.1

3.3.1 การขึ้นรูปอิฐจากกากข้าวมอลต์

1) อัตราส่วน 1:3:0.6, 0.9 (ปูน: กากข้าวมอลต์: น้ำ)

ขั้นตอนที่ 1 ช่างเตรียมวัตถุดิบ ที่ปูน 1 กก. และ กากข้าวมอลต์ 3 กก. ที่ น้ำ 0.6, 0.9 ตามลำดับ ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2: อัตราส่วนการทดลองที่ 1-2

อัตราส่วนสำหรับการทดลอง					
ลำดับ	ปูนซีเมนต์	กากข้าวมอลต์	ทราย	น้ำ	หมายเหตุ
1	1 กก.	3 กก.	-	0.6 กก.	
2	1 กก.	3 กก.	-	0.9 กก.	

ภาพที่ 3.8: ขั้นตอนที่ 1 ช่างเตรียมวัตถุดิบตามอัตราส่วนผสมในตารางที่ 3.2



THE CREATIVE UNIVERSITY

ภาพที่ 3.9: ขั้นตอนที่ 2 ผสมวัตถุดิบให้เข้ากันและพักไว้เป็นเวลา 15 นาที สังเกตให้ปูนและกากข้าวมอลต์จับตัวกันจึงนำมาขึ้นรูป



ภาพที่ 3.10: ขั้นตอนที่ 3 เมื่อปูนและกากข้าวมอลต์ผสมเข้ากันดีแล้วจึงนำไปขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์อิฐที่เตรียมไว้ และนำไปตากทิ้งไว้ให้ตัวอิฐเซตตัวประมาณ 1-2 สัปดาห์



2) อัตราส่วน 1:1:1:0.6, 0.9 (ปูน: กากข้าวมอลต์: ทราย: น้ำ)

ขั้นตอนที่ 1 ช่างเตรียมวัตถุดิบ ที่ปูน 1 กก. กากข้าวมอลต์ 1 กก. และทราย 1 กก. ที่ น้ำ 0.6, 0.9 ตามลำดับ ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3: อัตราส่วนการทดลองที่ 3-4

อัตราส่วนสำหรับการทดลอง					
ลำดับ	ปูนซีเมนต์	กากข้าวมอลต์	ทราย	น้ำ	หมายเหตุ
3	1 กก.	1 กก.	1 กก.	0.6 กก.	
4	1 กก.	1 กก.	1 กก.	0.9 กก.	

ภาพที่ 3.11: ขั้นตอนที่ 1 ช่างเตรียมวัตถุดิบตามอัตราส่วนผสมในตารางที่ 3.3



ภาพที่ 3.12: ขั้นตอนที่ 2 ผสมวัตถุดิบให้เข้ากันและพักไว้เป็นเวลา 15 นาที สังเกตให้ปูนและกากข้าว
มอลต์จับตัวกันจึงนำมาขึ้นรูป



ภาพที่ 3.13: ขั้นตอนที่ 3 เมื่อปูนและกากข้าวมอลต์ผสมเข้ากันดีแล้วจึงนำไปขึ้นรูป โดยใช้แม่พิมพ์อิฐที่เตรียมไว้ และนำไปตากทิ้งไว้ให้ตัวอิฐเซตตัวประมาณ 1-2 สัปดาห์



3) อัตราส่วนที่ 1:0.5:0.5:0.6, 0.7, 0.9 (ปูน: กากข้าวมอลต์: ทราย: น้ำ)
 ขั้นตอนที่ 1 ช่างเตรียมวัตถุดิบ ที่ปูน 1 กก. กากข้าวมอลต์ 0.5 กก. และ
 ทราย 0.5 กก. ที่ น้ำ 0.6, 0.7, 0.9 ตามลำดับ ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4: อัตราส่วนการทดลองที่ 5-7

อัตราส่วนสำหรับการทดลอง					
ลำดับ	ปูนซีเมนต์	กากข้าวมอลต์	ทราย	น้ำ	หมายเหตุ
5	1 กก.	0.5 กก.	0.5 กก.	0.6 กก.	
6	1 กก.	0.5 กก.	0.5 กก.	0.7 กก.	
7	1 กก.	0.5 กก.	0.5 กก.	0.9 กก.	

ภาพที่ 3.14: ขั้นตอนที่ 1 ช่างเตรียมวัตถุดิบตามอัตราส่วนผสมในตารางที่ 3.4



ภาพที่ 3.15: ขั้นตอนที่ 2 ผสมวัตถุดิบให้เข้ากันและพักไว้เป็นเวลา 15 นาที สังเกตให้ปูนและกากข้าว
มอลต์จับตัวกันจึงนำมาขึ้นรูป



ภาพที่ 3.16: ขั้นตอนที่ 3 เมื่อปูนและกากข้าวมอลต์ผสมเข้ากันดีแล้วจึงนำไปขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์อิฐที่เตรียมไว้ และนำไปตากทิ้งไว้ให้ตัวอิฐเซตตัวประมาณ 1-2 สัปดาห์



4) อัตราส่วนที่ 1.2:0.3:0.1:0.6, 0.7, 0.9 (ปูน: กากข้าวมอลต์: ทราย: น้ำ)
 ขั้นตอนที่ 1 ช่างเตรียมวัตถุดิบ ที่ปูน 1.2 กก. กากข้าวมอลต์ 0.3 กก. และทราย
 0.1 กก. ที่ น้ำ 0.6, 0.7, 0.9 ตามลำดับ ดังตารางที่ 3.5

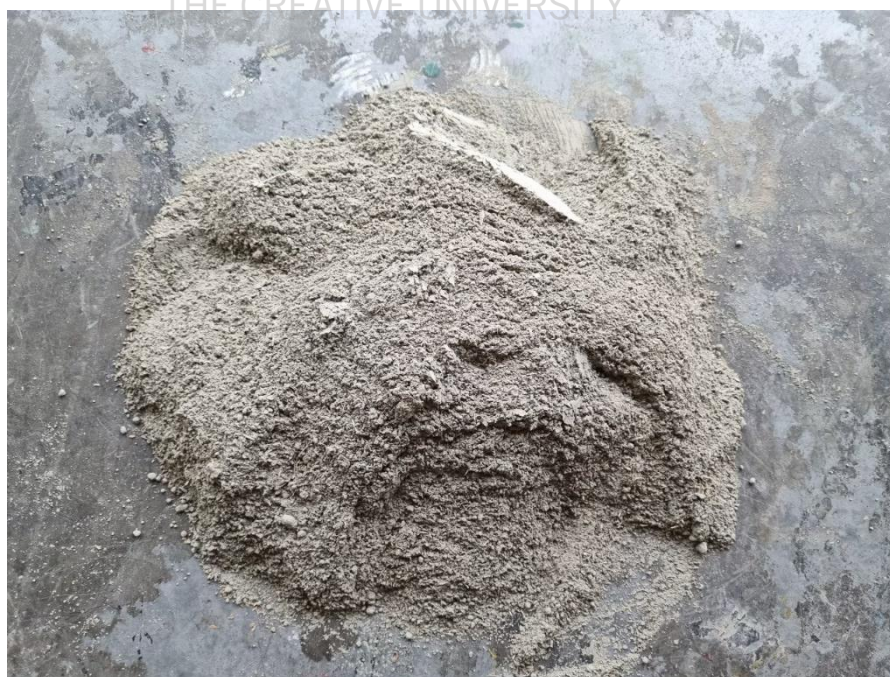
ตารางที่ 3.5: อัตราส่วนการทดลองที่ 8-10

อัตราส่วนสำหรับการทดลอง					
ลำดับ	ปูนซีเมนต์	กากข้าวมอลต์	ทราย	น้ำ	หมายเหตุ
8	1.2 กก.	0.3 กก.	0.1 กก.	0.6 กก.	
9	1.2 กก.	0.3 กก.	0.1 กก.	0.7 กก.	
10	1.2 กก.	0.3 กก.	0.1 กก.	0.9 กก.	

ภาพที่ 3.17: ขั้นตอนที่ 1 ช่างเตรียมวัสดุดิบตามอัตราส่วนผสมในตารางที่ 3.5



ภาพที่ 3.18: ขั้นตอนที่ 2 ผสมวัสดุดิบให้เข้ากันและพักไว้เป็นเวลา 15 นาที สังเกตให้ปูนและกากข้าว
มอลต์จับตัวกันจึงนำมาขึ้นรูป



ภาพที่ 3.19: ขั้นตอนที่ 3 เมื่อปูนและกากข้าวมอลต์ผสมเข้ากันดีแล้วจึงนำไปขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์อิฐที่เตรียมไว้ และนำไปตากทิ้งไว้ให้ตัวอิฐเซตตัวประมาณ 1-2 สัปดาห์



5) อัตราส่วนที่ 1.5:0.3:0.1:0.8, 0.9 (ปูน: กากข้าวมอลต์: ทราย: น้ำ)
 ขั้นตอนที่ 1 ช่างเตรียมวัตถุดิบ ที่ปูน 1.5 กก. กากข้าวมอลต์ 0.3 กก. และ
 ทราย 0.1 กก. ที่ น้ำ 0.8, 0.9 ตามลำดับ ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6: อัตราส่วนการทดลองที่ 11-12

อัตราส่วนสำหรับการทดลอง					
ลำดับ	ปูนซีเมนต์	กากข้าวมอลต์	ทราย	น้ำ	หมายเหตุ
11	1.5 กก.	0.3 กก.	0.1 กก.	0.8 กก.	
12	1.5 กก.	0.3 กก.	0.1 กก.	0.9 กก.	

ภาพที่ 3.20: ขั้นตอนที่ 1 ช่างเตรียมวัสดุดิบตามอัตราส่วนผสมในตารางที่ 3.6



ภาพที่ 3.21: ขั้นตอนที่ 2 ผสมวัสดุดิบให้เข้ากันและพักไว้เป็นเวลา 15 นาที สังเกตให้ปูนและกากข้าว
มอลต์จับตัวกันจึงนำมาขึ้นรูป



ภาพที่ 3.22: ขั้นตอนที่ 3 เมื่อปูนและกากข้าวมอลต์ผสมเข้ากันดีแล้วจึงนำไปขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์อิฐที่เตรียมไว้ และนำไปตากทิ้งไว้ให้ตัวอิฐเซตตัวประมาณ 1-2 สัปดาห์



6) อัตราส่วนที่ 1.5:0.4:0.1:0.8, 0.9 (ปูน: กากข้าวมอลต์: ทราย: น้ำ)
 ขั้นตอนที่ 1 ช่างเตรียมวัตถุดิบ ที่ปูน 1.5 กก. กากข้าวมอลต์ 0.4 กก. และ
 ทราย 0.1 กก. ที่ น้ำ 0.8, 0.9 ตามลำดับ ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7: อัตราส่วนการทดลองที่ 13-14

อัตราส่วนสำหรับการทดลอง					
ลำดับ	ปูนซีเมนต์	กากข้าวมอลต์	ทราย	น้ำ	หมายเหตุ
13	1.5 กก.	0.4 กก.	0.1 กก.	0.8 กก.	
14	1.5 กก.	0.4 กก.	0.1 กก.	0.9 กก.	

ภาพที่ 3.23: ขั้นตอนที่ 1 ช่างเตรียมวัสดุดิบตามอัตราส่วนผสมในตารางที่ 3.7



ภาพที่ 3.24: ขั้นตอนที่ 2 ผสมวัสดุดิบให้เข้ากันและพักไว้เป็นเวลา 15 นาที สังเกตให้ปูนและกากข้าว
มอลต์จับตัวกันจึงนำมาขึ้นรูป



ภาพที่ 3.25: ขั้นตอนที่ 3 เมื่อปูนและกากข้าวมอลต์ผสมเข้ากันดีแล้วจึงนำไปขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์อิฐที่เตรียมไว้ และนำไปตากทิ้งไว้ให้ตัวอิฐเซตตัวประมาณ 1-2 สัปดาห์



3.3.2 การทดสอบอิฐจากกากข้าวมอลต์

ในการทดสอบอิฐจากกากข้าวมอลต์ ผู้วิจัยกำหนดการทดสอบคุณสมบัติของอิฐจากกากข้าวมอลต์ ผู้วิจัยเลือกทดสอบ ขนาดของชิ้นงานอิฐจากกากข้าวมอลต์โดยนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น (มอก.827-2531) ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของอิฐจากกากข้าวมอลต์ น้ำหนักของวัสดุ และปริมาณการสะสมน้ำมีเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ ดังนี้

ตลับเมตร เวอร์เนีย เครื่องชั่งดิจิตอล และเครื่องมือวัดค่าปริมาณการสะสมน้ำในวัสดุ ยี่ห้อ Testo รุ่น 606-1 โดยมีขั้นตอนในการทดสอบอิฐจากกากข้าวมอลต์ ดังนี้

3.3.2.1 การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของอิฐ

ในการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของอิฐ ผู้วิจัยจะทำการตรวจสอบลักษณะของอิฐที่ผ่านการบ่มพักทิ้งไว้ 14 วัน โดยตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของอิฐ สีผิวของอิฐ ความคมชัดของขอบมุม และลักษณะโดยรวมของอิฐ เป็นต้น

3.3.2.2 การตรวจสอบขนาดของอิฐกากข้าวมอลต์

ในการตรวจสอบขนาดของชิ้นงานทดลองในงานวิจัยอิฐกากข้าวมอลต์นี้ ผู้วิจัยเลือกนำขนาดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น (มอก.827-2531) มาใช้ในการเปรียบเทียบกับขนาดของชิ้นงานอิฐกากข้าวมอลต์ที่ทดลองทำขึ้น โดยใช้เครื่องมือวัดขนาดวัดขนาดความกว้าง x ยาว x สูง และบันทึกผลที่ได้

ตารางที่ 3.8: เกณฑ์มาตรฐานของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

* หน่วยเป็นมิลลิเมตร

มิติ	เกณฑ์ที่กำหนด	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน
ความกว้างและความยาว	ไม่เกิน 295	±2
ความหนา	60	±2
	80	
	100	±3
	120	
ความหนาของชั้นผิวหน้า (เฉพาะชั้นผิวหน้าที่ทำเป็นสี)	ต่ำสุด 3	

ที่มา: กระทรวงอุตสาหกรรม. (2541). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น (827-2531). สืบค้นจาก https://www.tisi.go.th/data/PR/pdf/R827_2531_00.pdf.

ภาพที่ 3.26: แสดงตัวอย่างการวัดขนาดของอิฐ



3.3.2.3 การตรวจสอบน้ำหนัก

นำวัสดุชิ้นงานทดลองที่สมบูรณ์และอิฐต้นแบบมาชั่งหาค่าน้ำหนัก โดยใช้เครื่องชั่งดิจิตอล ภาพที่ 3.27 และบันทึกผลที่ได้

ภาพที่ 3.27: แสดงตัวอย่างการชั่งน้ำหนักของตัวอิฐ



3.3.2.4 การตรวจสอบปริมาณการสะสมของน้ำ

ในการตรวจสอบปริมาณสะสมของน้ำของวัสดุ ผู้วิจัยเลือกตรวจสอบโดยใช้เครื่องมือวัดค่าปริมาณน้ำในวัสดุ ยี่ห้อ Testo รุ่น 606-1 รูปที่ 43 โดยชิ้นทดลองที่ใช้ในการทดสอบจะเป็นชิ้นที่สมบูรณ์โดยผ่านการพักทิ้งไว้ ที่พักทิ้งไว้เป็นระยะเวลาสองสัปดาห์และสามารถเซตตัวเป็นก้อนดีแล้ว

ภาพที่ 3.28: แสดงตัวอย่างการทดสอบปริมาณสะสมน้ำของวัสดุ



3.3.3 สรุปผลการศึกษา

ผลศึกษาวิธีการผลิตอิฐจากกากข้าวมอลต์และการทดสอบอิฐจากกากข้าวมอลต์ ได้ผลสรุปของอัตราส่วนที่ใช้ในการทดลองขึ้นรูปอิฐสำหรับกากข้าวมอลต์ตามแนวทางของ สันยุญา บุรา และคณะ (2562) โดยใช้วิธีการผลิตอิฐแบบไม่เผาตามวิธีการของ ณัฐพงศ์ จันทร์เพ็ชร (2562); กงกิจ ยิ่งเจริญกิจขจร และทวิช กล้าแท้ (2561) ในการทดลองจะนำผลของอิฐที่ได้ นำมาศึกษาในส่วนของคุณสมบัติในเรื่องของ ลักษณะทางกายภาพของอิฐ น้ำหนักของอิฐ ขนาดของอิฐ และปริมาณการสะสมน้ำในอิฐ เพื่อนำไปสรุปผลของการทดลองเป็นประโยชน์ต่อไปสำหรับผู้นำไปต่อยอดและพัฒนาเชิงพาณิชย์สำหรับเป็นนวัตกรรมยั่งยืนต่อไป

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

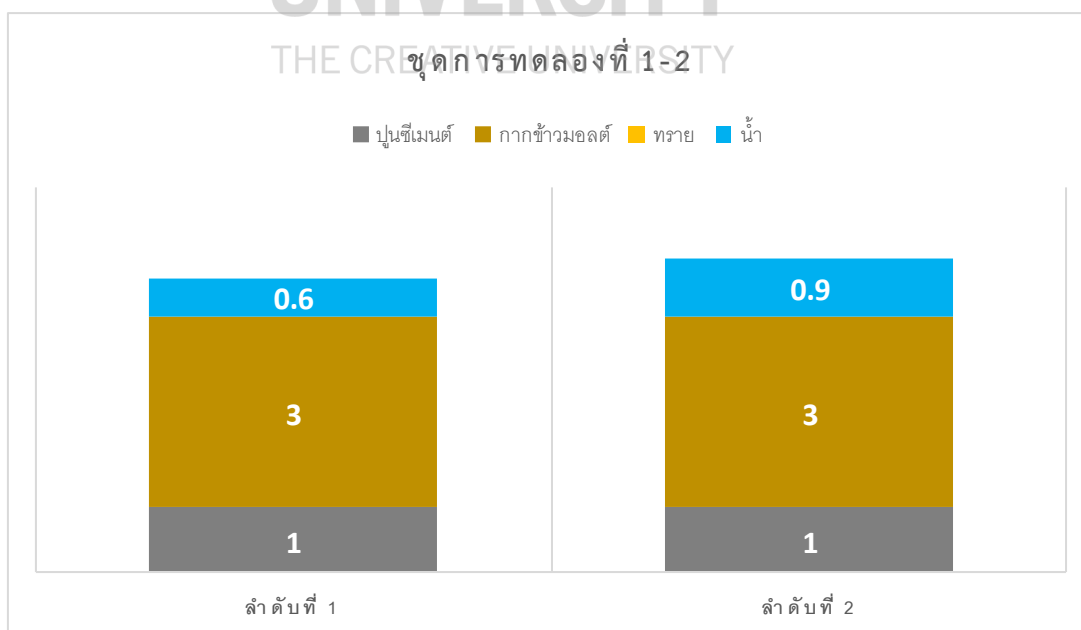
การศึกษากาการผลิตอิฐจากกากข้าวมอลต์ที่เป็นวัสดุเหลือใช้ในการผลิตเบียร์ มาพัฒนาเป็นอิฐทางเลือกสำหรับงานก่อสร้าง จำพวกอิฐสำหรับงานตกแต่งหรืองานก่อผนังที่ไม่ต้องรับน้ำหนัก โดยในที่นี้ผู้วิจัยเลือกขึ้นรูปอิฐแบบไม่เผา ด้วยวิธีการทำมือจากแม่พิมพ์อิฐ ตามอัตราส่วนที่ได้ศึกษามาพร้อมทดสอบอิฐในหัวข้อต่าง ๆ ที่กำหนด โดยผลจากการทดลอง แสดงรายละเอียดได้ดังนี้

4.1 การทดลองทำอิฐจากกากข้าวมอลต์

4.1.1 การทดลองทำอิฐชุดการทดลองที่ 1-2

จากภาพที่ 4.1 ผลการทดลองผลิตอิฐในอัตราส่วน 1:3 วัตถุดิบ ที่ปูน 1 กก. และ กากข้าวมอลต์ 3 กก. ที่ น้ำ 0.6, 0.9 ตามลำดับ ผลคือชิ้นส่วนทดลองทั้ง 2 ลำดับ สามารถนำไปอัดขึ้นรูปในแม่พิมพ์ได้ ปริมาณน้ำที่ผู้วิจัยกำหนดในการทดลองเมื่อผสมลงไป ปูนและกากข้าวมอลต์ดูดซับจนแห้ง เมื่อนำพิมพ์อัดออกส่งผลให้ชิ้นส่วนในการทดลองมีการแตกร้าวและไม่สามารถเซตตัวได้ ดังภาพที่ 4.2

ภาพที่ 4.1 สรุปผลการทดลองผลิตอิฐ ชุดการทดลองที่ 1-2 (หน่วยเป็น กิโลกรัม)



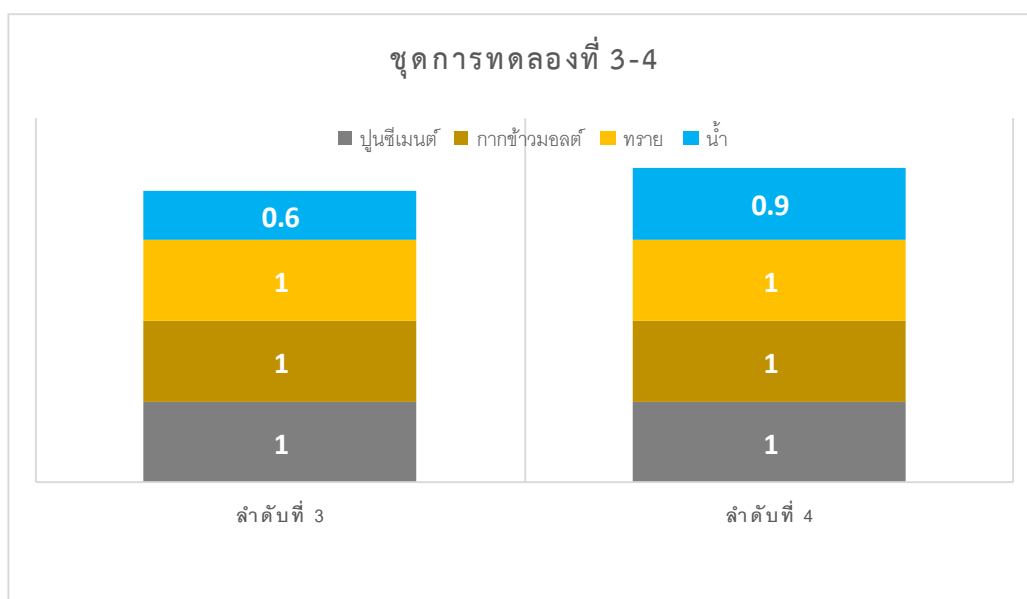
ภาพที่ 4.2: ผลชุดการทดลองทำอิฐในชุดการทดลองที่ 1 และ 2



4.1.2 การทดลองทำอิฐชุดการทดลองที่ 3-4

จากภาพที่ 4.3 ผลการทดลองผลิตอิฐในอัตราส่วนที่ 1:1:1 (ปูน: กากข้าวมอลต์: ทราย) วัตถุดิบ ที่ปูน 1 กก. กากข้าวมอลต์ 1 กก. ทราย 1 กก. ที่ น้ำ 0.6, 0.9 ตามลำดับ ผลคือชิ้นส่วนทดลองทั้ง 2 ลำดับ สามารถนำไปอัดขึ้นรูปในแม่พิมพ์ได้ เมื่อลดปริมาณกากข้าวมอลต์ลงเติมทรายเข้ามาส่งผลให้ชิ้นส่วนทดลองสามารถขึ้นรูปได้ ปริมาณน้ำที่ผสมลงในการทดลองไม่ถูกดูดซับจนแห้ง แต่เมื่อได้นำแม่พิมพ์อัดออก พักชิ้นส่วนทดลองทิ้งไว้ได้ไม่นาน ผลคือชิ้นส่วนมีรอยแตกร้าวไม่สามารถอยู่ตัวได้นานเกิดการร่วนแตก ไม่สามารถยึดเกาะเป็นรูปอิฐได้ทั้งก้อน ดังภาพที่ 4.4

ภาพที่ 4.3: สรุปผลการทดลองผลิตอิฐ ชุดการทดลองที่ 3-4 (หน่วยเป็น กิโลกรัม)



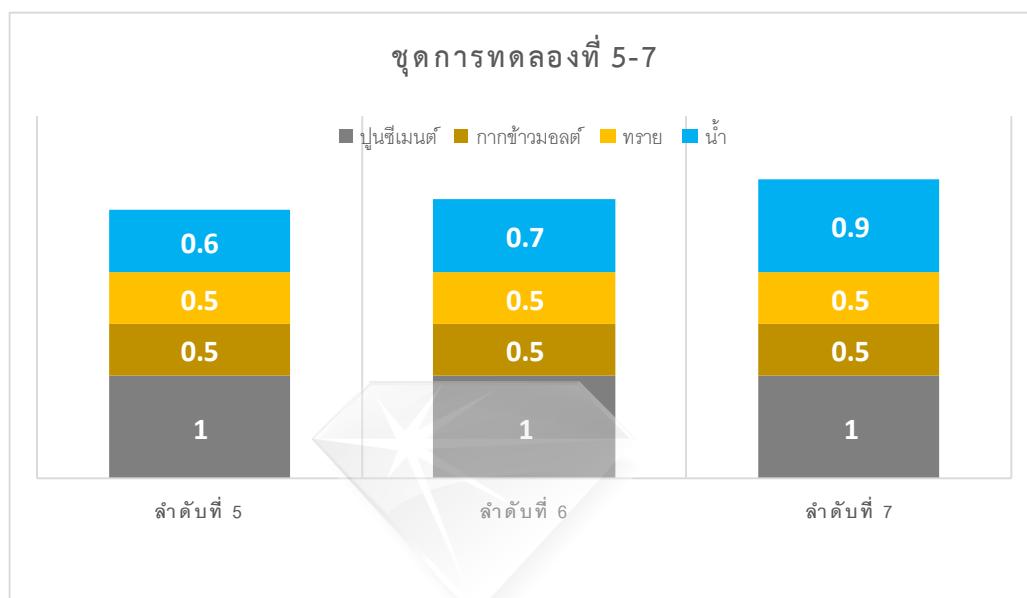
ภาพที่ 4.4: ผลชุดการทดลองทำอิฐในชุดการทดลองที่ 3 และ 4



4.1.3 การทดลองทำอิฐชุดการทดลองที่ 5-7

จากภาพที่ 4.5 ผลการทดลองผลิตอิฐในอัตราส่วน 1:0.5:0.5 (ปูน: กากข้าวมอลต์: ทราย) วัสดุดิบ ที่ปูน 1 กก. กากข้าวมอลต์ 0.5 กก. ทราย 0.5 กก. ที่ น้ำ 0.6, 0.7, 0.9 ตามลำดับ จากผลการทดลองในชุดการทดลองที่ 3-4 ผลที่ได้คือชิ้นส่วนทดลองมีการแตกร้าวหลังจากพักทิ้งไว้ ส่งผลให้ผู้วิจัยเลือกลดปริมาณกากข้าวมอลต์, ทรายลง และ เพิ่มปริมาณน้ำเข้ามาทดลองอีกหนึ่งลำดับ ผลคือชิ้นส่วนทดลองทั้ง 3 อัตราส่วน สามารถอัดขึ้นรูปได้ ตัวชิ้นงานยังคงมีความอมน้ำอยู่ไม่มีลักษณะแห้งแตกร้าว แต่เมื่อนำพิมพ์อัดออก ชิ้นส่วนทดลองสามารถอยู่ตัวได้แต่หลังจากตากทิ้งไว้ 10-20 นาที ชิ้นส่วนทดลองเริ่มเกิดรอยแตกร้าวและไม่สามารถเซตตัวได้ ดังภาพที่ 4.6

ภาพที่ 4.5: สรุปผลการทดลองผลิตอิฐ ชุดการทดลองที่ 5-7 (หน่วยเป็น กิโลกรัม)



ภาพที่ 4.6: ผลชุดการทดลองทำอิฐในชุดการทดลองที่ 5, 6 และ 7



(5) (6)



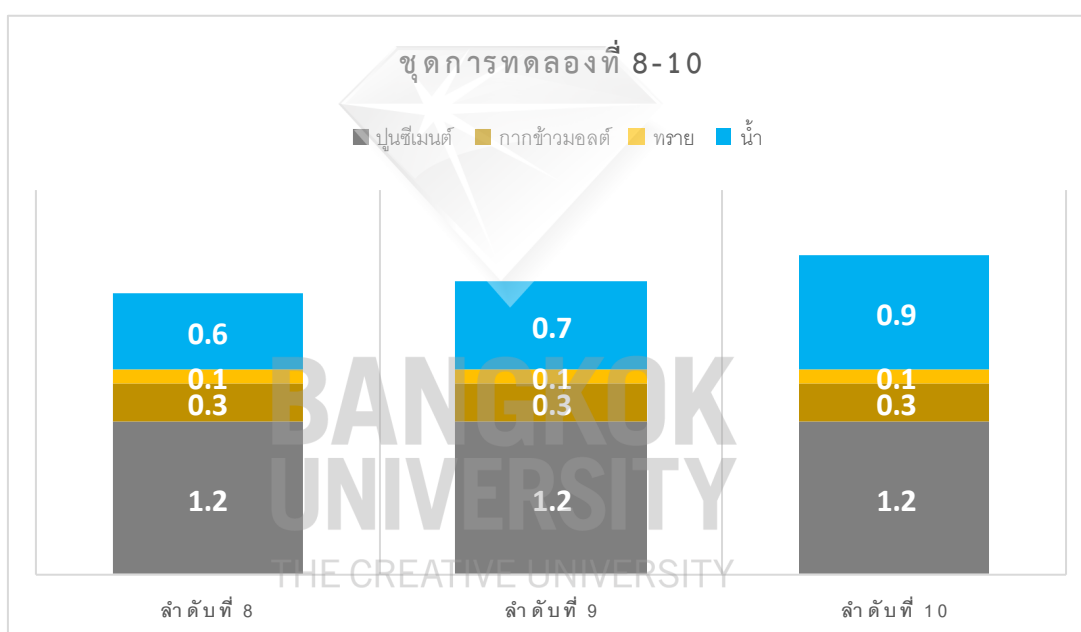
(7)

4.1.4 การทดลองทำอิฐชุดการทดลองที่ 8-10

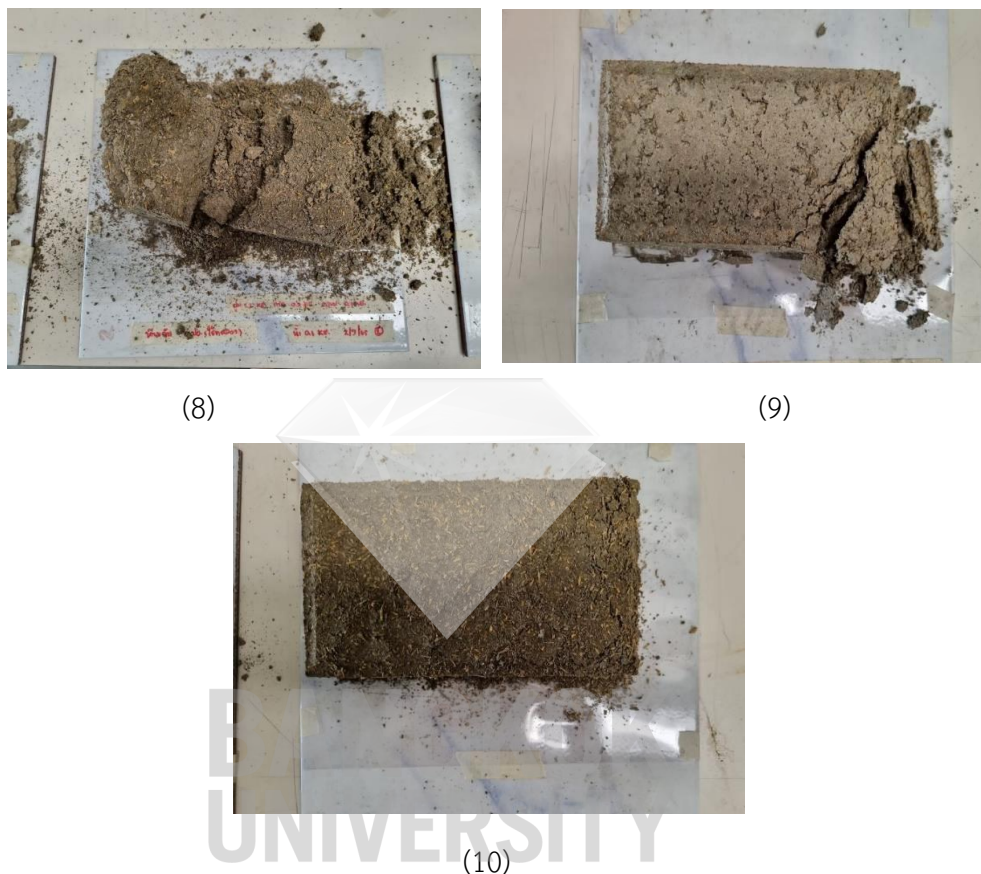
จากภาพที่ 4.7 ผลการทดลองผลิตอิฐในอัตราส่วน 1:2:0.3:0.1 (ปูน: กากข้าวมอลต์: ทราย) วัสดุดิบ ที่ปูน 1.2 กก. กากข้าวมอลต์ 0.3 กก. ทราย 0.1 กก. ที่ น้ำ 0.6, 0.7, 0.9 ตามลำดับ จากผลการทดลองในชุดการทดลองที่ 5-7 ผลที่ได้คือชิ้นส่วนทดลองมีการแตกร้าวหลังจากพักทิ้งไว้ ส่งผลให้ผู้วิจัยเลือกลดปริมาณกากข้าวมอลต์, ทรายลง และเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์เข้ามาเพื่อช่วยในการเรียงของการยึดเกาะและโครงสร้าง ผลคือชิ้นส่วนทดลองทั้ง 3 อัตราส่วน สามารถอัดขึ้นรูปได้

แต่เมื่อนำพิมพ์อัดออก ชั้นส่วนทดลองที่หนึ่ง มีการแตกร้าวและไม่สามารถอยู่ตัวได้ ลักษณะชั้นส่วนทดลองไม่มีความอึดน้ำ ชั้นส่วนทดลองที่สอง สามารถอยู่ตัวได้แต่หลังจากนำไปพักทิ้งไว้ 10-20 นาที เกิดรอยแตกร้าวและไม่สามารถเซตตัวได้ เมื่อทำการตรวจสอบบริเวณฐานของชิ้นงานไม่สามารถจับตัวกันได้มีการร่วนแตก ชั้นส่วนทดลองที่สาม สามารถอยู่ตัวได้ลักษณะของชิ้นงานดูมีความขึ้นน้อยค่อนข้างแห้ง เมื่อพักทิ้งไว้มีรอยแตกที่มุมของชิ้นงานแต่โดยรวมสามารถเซตตัวได้ดี ดังภาพที่ 4.8

ภาพที่ 4.7: สรุปผลการทดลองผลิตอิฐ ชุดการทดลองที่ 8-10 (หน่วยเป็น กิโลกรัม)



ภาพที่ 4.8: ผลชุดการทดลองทำอิฐในชุดการทดลองที่ 8, 9 และ 10



(8)

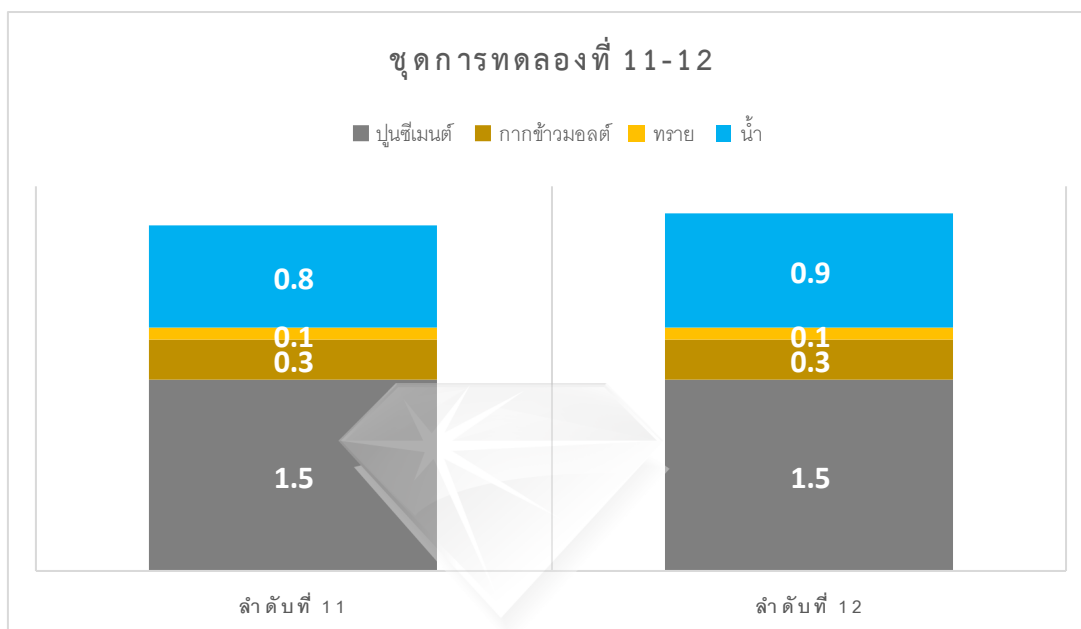
(9)

(10)

4.1.5 การทดลองทำอิฐชุดการทดลองที่ 11-12

จากภาพที่ 4.9 ผลการทดลองผลิตอิฐในอัตราส่วนที่ 1.5:0.3:0.1 (ปูน: กากข้าวมอลต์: ทราย) วัสดุดิบ ที่ปูน 1.5 กก. กากข้าวมอลต์ 0.3 กก. ทราย 0.1 กก. ที่ น้ำ 0.8, 0.9 ตามลำดับ จากผลการทดลองในชุดการทดลองที่ 8-10 ผลที่ได้คือในลำดับการทดลองที่ 10 ผลคือ ชีงงานสามารถเซตตัวได้ไม่แตกร้าวแต่มีความชื้นและดูค่อนข้างนิ่มส่งผลให้ผู้วิจัยได้กำหนดแนวทางเพิ่มเติมในการทดลองของชุดการทดลองที่ 11-12 โดยการเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ขึ้น และปริมาณน้ำที่ 0.6-0.7 กก. ไม่สามารถทำให้ชีงงานเซตตัวได้ดี ผู้วิจัยจึงเลือกเพิ่มปริมาณน้ำขึ้น โดยครั้งนี้กำหนดให้มีปริมาณน้ำอยู่ที่ 0.8, 0.9 กก. ผลคือชิ้นส่วนทดลองทั้ง 2 อัตราส่วน สามารถอัดขึ้นรูปได้ เมื่อทำการตรวจสอบชีงงานสามารถจับตัวกันได้ดีแต่ในชีงงานที่มีปริมาณน้ำที่ 0.9 กก. ดูลักษณะมีความชื้นสูง ผิวหน้าของชีงงานติดแม่พิมพ์เล็กน้อย ดังภาพที่ 4.10

ภาพที่ 4.9: สรุปผลการทดลองผลิตอิฐ ชุดการทดลองที่ 11-12 (หน่วยเป็น กิโลกรัม)



ภาพที่ 4.10: ผลชุดการทดลองทำอิฐในชุดการทดลองที่ 11 และ 12

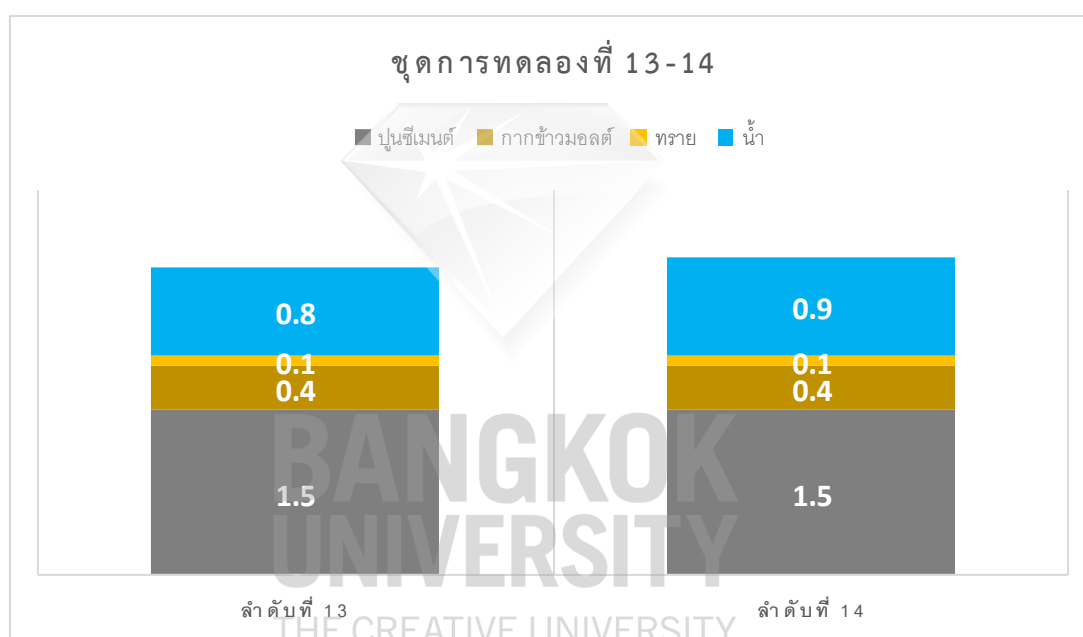


4.1.6 การทดลองทำอิฐชุดการทดลองที่ 13-14

จากภาพที่ 4.11 ผลการทดลองผลิตอิฐในอัตราส่วนที่ 1.5:0.4:0.1 (ปูน: กากข้าวมอลต์: ทราย) วัตถุดิบ ที่ปูน 1.5 กก. กากข้าวมอลต์ 0.4 กก. ทราย 0.1 กก. ที่ น้ำ 0.8, 0.9 ตามลำดับ จากผลการทดลองในชุดการทดลองที่ 11-12 ผลคือชิ้นส่วนทดลองทั้ง 2 อัตราส่วน ในลำดับการทดลองที่ 11-12 สามารถอัดขึ้นรูปได้ เมื่อทำการตรวจสอบชิ้นงานสามารถจับตัวกันได้ดี ผิวหน้าติดแม่พิมพ์อัด

เล็กน้อย ผู้วิจัยทดลองเพิ่มกากข้าวมอลต์ลงไป 0.1 กก. ชุดการทดลองที่ 13-14 นี้ ผลคือ ชิ้นส่วนทดลองลำดับที่ 13 สามารถเซตตัวได้ดี แต่หลังจากพักชิ้นงานทิ้งไว้ เริ่มเกิดรอยแตกร้าวและไม่สามารถเซตตัวได้ ในส่วนของชิ้นส่วนทดลองลำดับที่ 14 สามารถเซตตัวได้ และเมื่อผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบบริเวณฐานของชิ้นงานไม่สามารถจับตัวกันได้มีการร่วนแตกเล็กน้อย ดังภาพที่ 4.12

ภาพที่ 4.11: สรุปผลการทดลองผลติอิฐ ชุดการทดลองที่ 13-14 (หน่วยเป็น กิโลกรัม)



ภาพที่ 4.12: ผลชุดการทดลองทำอิฐในชุดการทดลองที่ 13 และ 14



(13)



(14)

สรุปผลการทดลองผลิตอิฐ ลักษณะของอิฐที่ใช้กากข้าวมอลต์เป็นส่วนผสมในอัตราส่วนที่กำหนดทั้งหมด 14 ชุดการทดลอง สรุปผลได้ว่า ในลำดับการทดลองที่ 1-9 และ 13 อิฐกากข้าวมอลต์ไม่สามารถจับตัวเป็นก้อนได้ เมื่อนำออกจากแม่พิมพ์เกิดรอยแตกร้าวและร่วนแตกเนื่องจากกากข้าวมอลต์มีการดูดซึมน้ำได้เร็วส่งผลให้ตัวอิฐมีลักษณะแห้งเป็นผงไม่สามารถจับตัวกันได้ แต่ในลำดับการทดลองที่ 10-12 และ 14 ตัวอิฐกากข้าวมอลต์สามารถจับตัวกันเป็นก้อนได้ดี โดยสรุปได้ว่าปริมาณน้ำเป็นส่วนที่สำคัญในการทดลองจำเป็นต้องมีปริมาณน้ำที่เหมาะสมเพื่อให้ตัวอิฐกากข้าวมอลต์สามารถจับตัวกันเป็นก้อนได้ดีและเพียงพอต่อการที่ทำให้กากข้าวมอลต์อืดตัวเพื่อป้องกันการแตกร้าวของชิ้นงาน สรุปได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1: สรุปการทดลองขึ้นรูปอิฐจากกากข้าวมอลต์

ลำดับ	ตารางอัตราส่วน (ปูน: กากข้าวมอลต์: ทราย: น้ำ)	ผลการทดลอง	หมายเหตุ	สรุปผล
1	1:3:0:0.6	ชิ้นงานสามารถขึ้นรูปได้แต่ผิวแตกร้าวในทันที	ภาพที่ 4.1	ไม่ผ่าน
2	1:3:0:0.9	ชิ้นงานสามารถขึ้นรูปได้แต่ผิวแตกร้าวในทันที	ภาพที่ 4.1	ไม่ผ่าน
3	1:1:1:0.6	ชิ้นงานสามารถขึ้นรูปได้แต่ผิวแตกร้าวในทันที	ภาพที่ 4.3	ไม่ผ่าน
4	1:1:1:0.9	ชิ้นงานสามารถขึ้นรูปได้แต่ผิวแตกร้าวในทันที	ภาพที่ 4.3	ไม่ผ่าน
5	1:0.5:0.5:0.6	ชิ้นงานสามารถขึ้นรูปได้แต่ผิวแตกร้าวหลังจากทิ้งไว้	ภาพที่ 4.5	ไม่ผ่าน
6	1:0.5:0.5:0.7	ชิ้นงานสามารถขึ้นรูปได้แต่ผิวแตกร้าวหลังจากทิ้งไว้	ภาพที่ 4.5	ไม่ผ่าน
7	1:0.5:0.5:0.9	ชิ้นงานสามารถขึ้นรูปได้แต่ผิวแตกร้าวหลังจากทิ้งไว้	ภาพที่ 4.5	ไม่ผ่าน
8	1.2:0.3:0.1:0.6	ชิ้นงานสามารถขึ้นรูปได้แต่ผิวแตกร้าวในทันที	ภาพที่ 4.7	ไม่ผ่าน
9	1.2:0.3:0.1:0.7	ชิ้นงานสามารถขึ้นรูปได้แต่ผิวแตกร้าวหลังจากทิ้งไว้	ภาพที่ 4.7	ไม่ผ่าน

(ตารางมีต่อ)

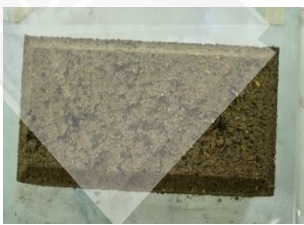
ตารางที่ 4.1 (ต่อ): สรุปการทดลองขึ้นรูปอิฐจากกากข้าวมอลต์

ลำดับ	ตารางอัตราส่วน (ปูน: กากข้าวมอลต์: ทราย: น้ำ)	ผลการทดลอง	หมายเหตุ	สรุปผล
10	1.2:0.3:0.1:0.9	ขึ้นงานสามารถขึ้นรูปได้แต่ ช่วงฐานร่วนแตก	ภาพที่ 4.7	ผ่าน
11	1.5:0.3:0.1:0.8	ขึ้นงานสามารถขึ้นรูปได้ และฐานไม่ร่วนแตก	ภาพที่ 4.9	ผ่าน
12	1.5:0.3:0.1:0.9	ขึ้นงานสามารถขึ้นรูปได้ และฐานไม่ร่วนแตก	ภาพที่ 4.9	ผ่าน
13	1.5:0.4:0.1:0.8	ขึ้นงานสามารถขึ้นรูปได้แต่ ผิวแตกร้าวหลังจากทิ้งไว้	ภาพที่ 4.11	ไม่ผ่าน
14	1.5:0.4:0.1:0.9	ขึ้นงานสามารถขึ้นรูปได้แต่ ช่วงฐานร่วนแตกเล็กน้อย	ภาพที่ 4.11	ผ่าน

4.2 การตรวจสอบลักษณะความคงตัวของอิฐกากข้าวมอลต์

ลักษณะของอิฐกากข้าวมอลต์ พบว่า ในลำดับการทดลองที่ 1-9 และ 13 อิฐกากข้าวมอลต์ไม่สามารถจับตัวเป็นก้อนได้ เกิดการแตกร่วนเป็นผง เนื่องจากกากข้าวมอลต์มีการดูดซึมน้ำได้เร็วส่งผลให้ตัวอิฐมีลักษณะแห้ง ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีของ สัญญา บุรา และคณะ (2562) ที่พบว่า การเพิ่มขึ้นของไขมันพรวัว ส่งผลต่อความแข็งแรงและอัตราดูดซึมน้ำที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้อิฐไม่แข็งแรงและไม่สามารจับตัวกันได้ดี แต่ในลำดับชุดการทดลองที่ 10-12 และ 14 ตัวอิฐกากข้าวมอลต์สามารถจับตัวกันเป็นก้อนได้ดี มีปริมาณอัตราส่วนการผลิตที่เหมาะสม โดยสรุปได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2: สรุปผลการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพอิฐกากข้าวมอลต์

ชุดการทดลอง (ปูนซีเมนต์: ทราย: กากข้าวมอลต์:น้ำ)	ลักษณะทางกายภาพ	ผลการศึกษา
ชุดการทดลองที่ 10 (1.2:0.1:0.3:0.9) หน่วยเป็น กิโลกรัม		- สีน้ำตาลอมเข้ม - พื้นผิวแห้ง - มุมก่อนมีรอยแตกเล็กน้อย - เนื้อผิวอิฐเกิดการร่วนแตก
ชุดการทดลองที่ 11 (1.5:0.1:0.3:0.8) หน่วยเป็น กิโลกรัม		- มีสีน้ำตาลเข้ม - ผิวหน้าขรุขระไม่สม่ำเสมอ - ตัวก้อนอิฐขอบคม - มีการร่วนแตกเล็กน้อยที่ฐาน
ชุดการทดลองที่ 12 (1.5:0.1:0.3:0.9) หน่วยเป็น กิโลกรัม		- มีสีน้ำตาลเข้ม - ผิวหน้าขรุขระเล็กน้อย - ตัวก้อนอิฐขอบคม - ไม่เปราะ
ชุดการทดลองที่ 14 (1.5:0.1:0.4:0.9) หน่วยเป็น กิโลกรัม		- มีสีน้ำตาลเข้ม - ผิวหน้าดีสม่ำเสมอ - มีรอยแตกร้าวที่ผิวอิฐ - เนื้อผิวอิฐเกิดการร่วนแตก

จากตารางที่ 4.2 พบว่า ผลของอิฐที่ได้ที่มีอายุการบ่ม 14 วัน ในชุดการทดลองที่ 12 เป็นช่วงอัตราส่วนการผลิตอิฐที่ดีที่สุดมีลักษณะแข็งแรง ขอบคมสวย ฐานไม่หลุดร่อน เมื่อเทียบกับชุดอัตราส่วนที่ 10, 11, 14 ที่ความแข็งแรงของอิฐไม่เทียบเท่าชุดการทดลองที่ 12 พบรอยร้าวเล็กน้อยในตัวอิฐ รวมถึงในช่วงฐานของอิฐนั้นมีการร่วนแตกค่อนข้างง่าย จากการดูซึมซับน้ำที่ค่อนข้างมากของกากข้าวมอลต์เนื่องจากปริมาณน้ำไม่เพียงพอ

4.3 การทดสอบขนาดและน้ำหนักของอิฐกากข้าวมอลต์

การศึกษาขนาดของอิฐกากข้าวมอลต์พบว่าในชุดการทดลองที่ 10, 11, 12 และ 14 มีขนาดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น (มอก.827-2531) กระทรวงอุตสาหกรรม (อก) (2541) เมื่อนำไปเทียบตามตารางที่ 3.8 ในส่วนของการศึกษาน้ำหนักพบว่าน้ำหนักของอิฐกากข้าวมอลต์ในทุกอัตราส่วนมีน้ำหนักเบา เช่นเดียวกับ (อินทบุตร ญัฐวุฒิ, 2561) ที่พบว่า หน่วยน้ำหนักที่ลดลงของอิฐมีผลจากการเพิ่มวัสดุเหลือใช้ลงไปในการทดลองผลิตอิฐ โดยในชุดการทดลองที่ 11 มีน้ำหนักเบาที่สุด เนื่องจากมีปริมาณน้ำที่น้อย ในส่วนชุดลำดับการทดลองที่ 14 มีน้ำหนักมากที่สุด เนื่องจากปริมาณน้ำและปูนซีเมนต์มีปริมาณที่มากกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ



ภาพที่ 4.13: ศึกษาขนาดของอิฐกากข้าวมอลต์ ลำดับการทดลองที่ 10, 11 ตามลำดับ (ก) (ข) (ค) (ง)
(จ) (ฉ) (ช) (ซ)



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)



(ช)



(ซ)

ภาพที่ 4.14: ศึกษาน้ำหนักของอิฐกากข้าวมอลต์ ลำดับการทดลองที่ 10, 11 ตามลำดับ (ก) (ข) (ค) (ง)



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

4.4 การทดสอบปริมาณการสะสมน้ำในอิฐกากข้าวมอลต์

การศึกษาปริมาณการสะสมน้ำของอิฐกากข้าวมอลต์ในชุดลำดับการทดลองที่ 10, 11, 12, 14 ที่บ่มพักทิ้งไว้ 14 วัน โดยใช้เครื่องมือวัด testo 601 ดังรูปที่ 3.6 พบว่า ปริมาณการสะสมน้ำในวัสดุ ของอิฐกากข้าวมอลต์อยู่ในปริมาณที่ค่อนข้างต่ำ วัสดุค่อนข้างมีความแห้ง เมื่อเทียบกับมาตรฐาน (DIN 1052-1 Testo SE & Co. KGaA, 2531) ของผู้ผลิตเครื่องมือทดสอบ ผลคือ ไม่มีความชื้นสะสมอยู่ในตัวอิฐในทุกอัตราส่วน ดังภาพที่ 4.15

ภาพที่ 4.15: ศึกษาปริมาณการสะสมน้ำของอิฐจากข้าวมอลต์ ชุดลำดับการทดลองที่ 10, 11, 12, 14 ตามลำดับ (ก) (ข) (ค) (ง)



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

4.5 สรุปผลการทดสอบตัวอย่างอิฐจากข้าวมอลต์

เมื่อได้ทำการทดสอบอิฐจากข้าวมอลต์แล้ว ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลผลการทดสอบ จากตัวอย่างการทดลองที่ได้ผลที่ดีที่สุด จำนวน 4 ตัวอย่าง ที่ทดสอบในเรื่องของลักษณะทางกายภาพ ขนาด น้ำหนัก และปริมาณการสะสมน้ำ โดยผู้วิจัยได้นำตัวอย่างต้นแบบของตัวอิฐ มาใช้ทำการเปรียบเทียบในการทดสอบครั้งนี้ด้วย โดยสรุปได้ดังตารางที่ 4.9 และนำอิฐจากข้าวมอลต์ไปเปรียบเทียบกับอิฐชนิดอื่นที่สามารถพบเห็นได้ทั่วไป เบื้องต้นตามรายละเอียดดังตารางที่ 4.3 ดังนี้

ตารางที่ 4.3: ทดสอบตัวอย่างอิฐจากกากข้าวมอลต์

ลำดับ	ตารางอัตราส่วน (ปูน: กากข้าว มอลต์: ทราย: น้ำ)	ขนาด (มิลลิเมตร)	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	ปริมาณการ สะสมน้ำ (%)	หมายเหตุ
1	1:3	109X200X59.9	2.471	0.2	อิฐต้นแบบ
2	1.2:0.3:0.1:0.9	108X200X59.8	1.293	0.1	ชุดการทดลองที่ 10
3	1.5:0.3:0.1:0.8	107X200X59.8	1.112	0.1	ชุดการทดลองที่ 11
4	1.5:0.3:0.1:0.9	105X200X59.5	1.369	0.1	ชุดการทดลองที่ 12
5	1.5:0.4:0.1:0.9	102X200X60.3	1.373	0.1	ชุดการทดลองที่ 14

จากตารางที่ 4.3 ผลของการศึกษาพบว่า อิฐกากข้าวมอลต์มีขนาดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ทั้ง 4 ชุดการทดลอง เมื่อมีอายุบ่มที่ 14 วัน ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างอิฐกากข้าวมอลต์มีรูปลักษณ์ ขอบคมสวยงามไม่บิดเบี้ยวและในส่วนของคุณภาพไม่มีการพองตัวที่มากจนเกินเกณฑ์วัดผลมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น (มอก.827-2531) (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2541) ในส่วนน้ำหนักของอิฐที่มีการเพิ่มกากข้าวมอลต์ไปมีผลให้น้ำหนักของอิฐกากข้าวมอลต์นั้นมีน้ำหนักที่เบากว่าตัวอย่างอิฐต้นแบบที่ทำจากวัสดุ ปูนซีเมนต์ผสมกับทรายในทุกอัตราส่วน รวมไปถึงปริมาณการสะสมน้ำในอิฐกากข้าวมอลต์ที่มีอายุบ่ม 14 วัน ไม่มีการสะสมน้ำเหลืออยู่ในตัวชิ้นงาน ทดลอง อยู่ในเกณฑ์ที่ดีไม่มีความชื้นสะสมอยู่ในอิฐ ตามมาตรฐาน (DIN-1052-1 Testo SE & Co. KGaA, 2531) ของผู้ผลิตเครื่องมือทดสอบ

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การศึกษากาการผลิตอิฐจากวัสดุเหลือใช้สำหรับใช้ในงานตกแต่ง เป็นงานวิจัยเพื่อลดปัญหาและคิดค้นนวัตกรรมใหม่ที่พัฒนาจากปริมาณกากข้าวมอลต์เหลือทิ้งจำนวนมากมาพัฒนาให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยนำกากข้าวมอลต์ที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตเบียร์มาใช้ ด้วยวิธีการทำอิฐแบบไม่เผา ตามอัตราส่วนที่ได้กำหนดในงานวิจัย โดยกำหนดวัสดุส่วนผสมที่ใช้ในการทดลองที่ ปูนซีเมนต์: กากข้าวมอลต์: ทราย: น้ำ และนำมาตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพ ขนาด น้ำหนัก ปริมาณการสะสมน้ำในวัสดุ สรุปผลของการทดลองและให้ข้อเสนอแนะได้ ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลองผลิตอิฐจากกากข้าวมอลต์

การศึกษากาการผลิตอิฐจากกากข้าวมอลต์ที่เป็นวัสดุเหลือใช้ในการผลิตเบียร์ ด้วยวิธีการทำอิฐแบบไม่เผา ตามอัตราส่วนการผลิต 14 ชุดการทดลอง มีวัสดุส่วนผสมที่ใช้ในการทดลองที่ ปูนซีเมนต์: กากข้าวมอลต์: ทราย: น้ำ บ่มพักทิ้งไว้ เป็นเวลา 14 วัน และนำมาตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพ น้ำหนัก ปริมาณการสะสมน้ำในวัสดุ จากผลการศึกษารูปได้ว่า กากข้าวมอลต์สามารถนำมาผลิตเป็นอิฐได้ โดยในชุดลำดับการทดลองที่ 12 เป็นอัตราส่วนการผลิตอิฐแบบไม่ต้องเผาที่ได้ผลดีที่สุดที่ปูนซีเมนต์: ทราย: กากข้าวมอลต์: น้ำ (1.5 : 0.1 : 0.3 : 0.9) หน่วยเป็นกิโลกรัม ลักษณะทางกายภาพของอิฐ เนื้ออิฐมีความแน่นดี มีผิวเป็นรูพรุนเล็กน้อย ขอบมุมมีมิติ มีน้ำหนักเบาและขนาดของตัวอิฐจากกากข้าวมอลต์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น (มอก.827-2531) (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2541) ปริมาณการสะสมน้ำในอิฐอยู่ในสภาวะแห้ง เมื่อนำไปเทียบกับมาตรฐาน (DIN 1052-1 Testo SE & Co. KGaA, 2531) ของผู้ผลิต และยังพบว่า กากข้าวมอลต์มีอัตราการดูดซึมน้ำค่อนข้างสูง ทำให้ในบางอัตราส่วนอิฐไม่สามารถขึ้นรูปเป็นก้อนได้ ส่งผลให้สมมติงานวิจัยที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ว่า กากข้าวมอลต์ที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตเบียร์นำมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐที่ปริมาณแตกต่างกันไม่ส่งผลต่อการผลิตอิฐที่มีกากข้าวมอลต์เป็นส่วนผสมนั้นไม่เป็นจริง เพราะปริมาณที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงของกากข้าวมอลต์มีผลต่อการผลิตอิฐ นอกจากนี้ยังเป็นส่วนสำคัญที่ต้องคำนึงถึง ปริมาณน้ำสามารถช่วยให้ปูนซีเมนต์ประสานได้ทั่วก้อนอิฐ ช่วยให้กากข้าวมอลต์สามารถดูดซึมน้ำจนมีความอึดตัวดี และเพื่อป้องกันการแตกร้าวของตัวอิฐจากสภาวะน้ำไม่เพียงพอ เมื่อพิจารณาการนำกากข้าวมอลต์ทดแทนทรายผลปรากฏว่า ไม่สามารถใช้กากข้าวมอลต์ทดแทนทรายได้ทั้งหมด ต้องมีการเติมทรายเข้าไปบางส่วนเนื่องจากทรายมีเนื้อที่ละเอียดกว่า สามารถกระจายตัวได้ดีกว่า เพื่อช่วยประสานเนื้อของอิฐจากกากข้าวมอลต์ให้จับตัวเป็นก้อนได้ดีและ

ในเรื่องของการนำไปใช้งาน และเมื่อเปรียบเทียบอิฐจากข้าวมอลต์กับอิฐที่มีจำหน่ายที่พบเห็นได้ในปัจจุบัน เป็นทางเลือกสำหรับนำไปใช้งาน ดังตารางที่ 5.1 พบว่า อิฐจากข้าวมอลต์ในชุดการทดลองที่ 12 มีราคาจำหน่ายต่อก้อนและน้ำหนักไม่สูงมากนัก เมื่อพิจารณากับอิฐชนิดอื่น พบว่าราคาอิฐจากข้าวมอลต์ใกล้เคียงกับอิฐบล็อก น้ำหนักต่อตารางเมตรก็มีความใกล้เคียงกับอิฐมวลเบาแต่พบว่าราคาต่อตารางเมตรของอิฐจากข้าวมอลต์ค่อนข้างสูงกว่าอิฐชนิดอื่น ๆ

ตารางที่ 5.1: การเปรียบเทียบระหว่างอิฐจากข้าวมอลต์กับอิฐชนิดอื่น

ลำดับ	รายการ	อิฐมอญ	อิฐบล็อก	อิฐมวลเบา	อิฐจากข้าวมอลต์
1	ขนาด (เซนติเมตร)	4X6.5X16	19X39X7	20X60X7.5	6X20X10
2	น้ำหนัก (ต่อ 1 ก้อน)	0.60 กก.	8.00 กก.	7.40 กก.	1.37 กก.
3	ราคาจำหน่าย	1 บาท/ก้อน	6 บาท/ก้อน	22 บาท/ก้อน	5 บาท/ก้อน
4	จำนวนอิฐต่อตารางเมตร	130 ก้อน	13 ก้อน	9 ก้อน	50 ก้อน
5	น้ำหนักอิฐต่อตารางเมตร	78 กก.	104 กก.	66 กก.	69 กก.
6	ราคาต่อตารางเมตร	130 บาท	78 บาท	198 บาท	250 บาท

ข้อมูลราคา ณ วันที่ 25 เมษายน 2564

5.2 ข้อเสนอแนะ

ผลจากการดำเนินงานวิจัยการศึกษาการผลิตอิฐจากกากข้าวมอลต์ที่เป็นวัสดุเหลือใช้ในการผลิตเบียร์ โดยการจำลองทำอิฐด้วยวิธีการแบบไม่เผา พบว่า กากข้าวมอลต์สามารถนำมาพัฒนาเป็นอิฐได้ โดยอิฐจากข้าวมอลต์ในงานวิจัยนี้ไม่ได้ทำการทดสอบตามเกณฑ์ของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น (มอก.827-2531) (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2541) เนื่องจากในระหว่างที่ผู้วิจัยได้ดำเนินงานวิจัยนี้ มีระยะเวลาดำเนินการอยู่ในช่วงสถานการณ์โรคระบาดโควิด 19 ไม่สามารถขอข้อมูลและส่งอิฐไปทดสอบที่องค์กรภายนอกที่เกี่ยวข้องได้ หากต้องการนำไปใช้งานเชิงพาณิชย์หรือใช้ในงานก่อผนังที่ไม่รับแรง จำเป็นต้องมีการศึกษาพัฒนาเพิ่มเติมในด้านของความแข็งแรง การต้านทานความร้อน การดูดซับเสียง และความทนทานต่อสภาพแวดล้อม เป็นต้น เพื่อประโยชน์ต่อการพัฒนาสูตรนวัตกรรมใหม่ที่ยั่งยืนต่อไป

บรรณานุกรม

- กนกเนตร เพ็ชรทองช่วย และโสภา วิศิษฐ์ศักดิ์. (2561). การพัฒนาและศึกษาคุณสมบัติด้านการรับน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกจากฟางข้าว. *วารสารศิลปกรรมศาสตร์วิชาการ วิจัย และงานสร้างสรรค์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี*, 5(1), 328–334.
- กวี หวังนิเวศน์กุล. (2552). *วัสดุวิศวกรรมก่อสร้าง*. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- กระทรวงอุตสาหกรรม. (2541). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น (827-2531)*. สืบค้นจาก https://www.tisi.go.th/data/PR/pdf/R827_2531_00.pdf.
- กิตติชาติ เผ่าพงศ์ไพบุลย์, กรกนก บุญเสริม, วีระ หอสกุลไท และปริญญา จินดาประเสริฐ. (2562). การพัฒนาอิฐบล็อกประสานผสมเถ้าชีวมวลเพื่อใช้เป็นวัสดุฉนวนกันความร้อน. *วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา*, 30(2), 1–11.
- กกกิจ ยิ่งเจริญกิจขจร และทวิช กล้าแท้. (2561). *การประยุกต์ใช้หอยนางรมสดในการผลิตบล็อกประสานเพื่อชุมชน* (รายงานผลการวิจัย). สงขลา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.
- คัมภีร์ นนทราช. (2550). *การพัฒนาจากเปียร์เป็นแผ่นวัสดุทดแทนไม้*. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- จิตวรรณ เครือคำ. (2555). *ลักษณะเฉพาะและสมบัติทางกายภาพเคมีของกากเปียร์เพื่อการประยุกต์กระถางปลูกต้นไม้ที่ย่อยสลายได้*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชัยธร เกิดลำเจียก. (2553). *การผลิตก๊าซชีวภาพความชื้นต่ำจากกากเปียร์สด*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- โชคชัย วณู. (2558). *การหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเปียร์จากข้าวไทยเป็นส่วนประกอบหลักโดยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนองและการประยุกต์ใช้ในการผลิตเปียร์ระดับกิ่งอุตสาหกรรม*. สืบค้นจาก <http://sutir.sut.ac.th:8080/jspui/bitstream/123456789/5692/2/fulltext.pdf>.
- ณัฐพงศ์ จันทรเพ็ชร. (2562). *การปรับปรุงคุณภาพอิฐมอดูแบบไม่ต้องเผาด้วยเส้นใยฟางข้าวเหลือทิ้งในพื้นที่ภาคกลางเพื่อเชิงพาณิชย์อย่างยั่งยืน* (รายงานผลการวิจัย). พระนครศรีอยุธยา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.
- ณัฐวุฒิ อินทบุตร. (2561). *การศึกษาและพัฒนาอิฐบล็อกประสานจากดินตะกอนที่เหลือทิ้งในการผลิตน้ำประปาและผักตบชวา* (รายงานผลการวิจัย). นนทบุรี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.

- ทะนุพงศ์ กุสุมา ณ อยุธยา. (2564). *สองหมอฟาร์ม ที่อุตรฯ จำหน่ายกากมอลต์เบียร์ ลดต้นทุน ค่าอาหารสัตว์ กำไรเพิ่มอย่างเห็นชัด*. สืบค้นจาก https://www.technologychaoban.com/thai-local-wisdom/article_92491.
- บ้านสวนลุงแผน. (2561). *วิธีทำอิฐบล็อกจากดินด้วยตนเองง่าย ๆ ด้วยงบสบายกระเป๋า*. สืบค้นจาก <https://www.baannoi.com>.
- บริษัท ควอลิตี้คอนสตรัคชั่นโปรดักส์ จำกัด (มหาชน). (ม.ป.ป.). *อิฐมวลเบาคิวคอน*. สืบค้นจาก <https://qcon.co.th/th/products/qcon-block>.
- บริษัท โซลิตสตาร์ จำกัด. (ม.ป.ป.). *อิฐทนไฟ*. สืบค้นจาก <https://apk.co.th/collections/อิฐทนไฟ/>.
- บริษัท ทีพีโอ โพลีน จำกัด (มหาชน). (ม.ป.ป.). *ปูนซีเมนต์ ตราทีพีโอ*. สืบค้นจาก <https://www.tpipolene.co.th/en/cement-en/masonry/item/336-green>.
- บริษัท นครหลวงคอนกรีต จำกัด. (ม.ป.ป.). *ปูนซีเมนต์ ตรานกอินทรี*. สืบค้นจาก <https://inseeconcrete.siamcitycement.com>.
- บริษัท บ้านฉางสามเจริญ จำกัด. (ม.ป.ป.). *ปูนซีเมนต์ขาว ตราเสือ*. สืบค้นจาก <https://bc-samcharoen.com/product/tiger-decor-color-render-white-wh01-2mm-scratch>.
- บริษัท บุญชัยคำวัตถุก่อสร้าง จำกัด. (ม.ป.ป.). *อิฐแก้ว*. สืบค้นจาก <https://www.scghomebuild.com>.
- บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด. (ม.ป.ป.). *ชนิดของปูนซีเมนต์*. สืบค้นจาก www.scghome.com.
- ประชุม คำพุฒ. (2562). *ผลิตภัณฑ์อิฐบล็อกประสานจากเศษก้านใบยาสูบ*. ใน *งานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ มหาวิทยาลัยรังสิต* (หน้า 236-240). สืบค้นจาก <https://rsucon.rsu.ac.th/files/proceedings/nation2019/NA19-069.pdf>.
- ปราโมทย์ แพงคำ, สาทิสรัตน์ พรหมจันทร์, สหส นุชนารถ และวิโรจน์ สินตะละ. (2543). *ผลของระดับกากเบียร์แห้งในอาหารต่อผลผลิตและองค์ประกอบของน้ำนมในโคนมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเซียน*. *วารสารเกษตร*, 16(1), 83-91.
- ปิยพร อรุณเกรียงไกร. (2562). *สำรวจโอกาสในจักรวาล ‘ขยะ’ จากสายพานอุตสาหกรรมเบียร์รายใหญ่ของไทย*. สืบค้นจาก <https://www.creativethailand.org/new/article/people/32264/th#people-dec-19>.
- วิชาการดอตคอม. (2555). *การผลิตเบียร์*. สืบค้นจาก <https://www.bloggang.com/m/viewdiary.php?id=greenpluss&group=24>.
- วรพงศ์ วรสุนทรโรสถ และพงศ์พันธ์ วรสุนทรโรสถ. (2556). *วัสดุก่อสร้าง*. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.

- ศุภกิจ ศรีเรือง. (2562). *คู่มือการผลิตอิฐบล็อกประสาน*. เชียงใหม่: มูลนิธิโครงการหลวง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.
- ศูนย์ผลิตภัณฑ์อิฐ บ.ป.ก. (กรุงเทพฯ). (ม.ป.ป. ก). *ความเป็นมาของเรา บ.ป.ก.* สืบค้นจาก <https://bpk.in.th/about-us/>.
- ศูนย์ผลิตภัณฑ์อิฐ บ.ป.ก. (กรุงเทพฯ). (ม.ป.ป. ข). *ผลิตภัณฑ์*. สืบค้นจาก <http://www.bpkbrick.co.th/product.html>.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.). (2563). *ศิลาแลง*. สืบค้นจาก <https://www.scimath.org/image-earthscience/item/11255-2020-01-03-01-34-26>.
- สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย. (2561). รายงานประจำปีสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย. สืบค้นจาก https://www.dip.go.th/uploadcontent/Ploypilin/Annual%20Report__2561.pdf.
- สัญญา บุรา, สุภาพ เดชคำภู และจักรพงษ์ ศิริชัยวรารณ. (2562). การประยุกต์ใช้เชื้อเพลิงในการผลิตอิฐบล็อกประสานซีเมนต์ผสม. *วารสารวิจัยและนวัตกรรมการอาชีวศึกษา*, 3(2), 55–58.
- สาวิตรี อึ้งฉางค์กรชัย (บก.). (2562). รายงานสถานการณ์การบริโภคเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ในสังคมไทยประจำปี พ.ศ. 2560. กรุงเทพฯ: สหมิตรพัฒนาการพิมพ์ (1992).
- สิทธิพร แจ่มสุวรรณ. (2556). *วัสดุก่อสร้าง* [เอกสารประกอบการศึกษา]. สืบค้นจาก <https://www.attc.ac.th/page/db/Unit3.pdf>.
- สุกรี เจริญสุข, อารีพร มาละ และเชฟฟิลา มะดาแฮ. (2562). อิฐบล็อกประสานที่มีส่วนผสมของเถ้ากะลามะพร้าว. *วารสารฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป*, 3(1), 82–89.
- สมคณ เกียรติกิจ. (2556). ความหนาแน่น กำลังรับแรงอัด และการดูดซึมน้ำของบล็อกคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ผสมกับดินเหนียวและเศษใบไม้. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 21(3), 213–216.
- อาทร ชูพลสัตย์ และนิชาภา มินาบูลย์. (2556). *บล็อกประสานจากขยะคอนกรีต* (รายงานผลการวิจัย). นครปฐม: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์.
- อรรณณ จันทสุโข. (2563). แนวทางและการพัฒนาการผลิตอิฐบล็อกประสานรักษ์โลก. *วารสารวิชาการสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย*, 8(2), 1–12.
- Testo SE & Co. KGaA. (1988). *Manual Testo 601*. Retrieved from <https://static-int.testo.com/media/24/75/c20d9e9a1aae/testo-606-1-Instruction-manual.pdf>.



ภาคผนวก

**BANGKOK
UNIVERSITY**

THE CREATIVE UNIVERSITY



ภาคผนวก ก

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

มอก.827-2531

**BANGKOK
UNIVERSITY**

THE CREATIVE UNIVERSITY



มอก. 827—2531

UDC 691.327-431:666.972:625.821



มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

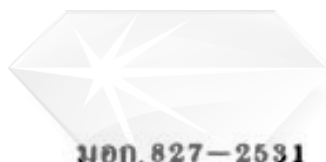
STANDARD FOR INTERLOCKING CONCRETE
PAVING BLOCKS

BANGKOK
UNIVERSITY
THE CREATIVE UNIVERSITY

กระทรวงอุตสาหกรรม

ISBN 974-8126-09-9

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น



มอก. 827-2531

พิมพ์เพิ่มเติมครั้งที่ 3 พ.ศ. 2541 จำนวน 200 เล่ม

BANGKOK
UNIVERSITY

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
กระทรวงอุตสาหกรรม ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์ 2023300

ประกาศในราชกิจจานุเบกษาฉบับพิเศษ เล่ม 106 ตอนที่ 46
วันที่ 24 มีนาคม พุทธศักราช 2532



ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 1462 (พ.ศ. 2531)

ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พ.ศ. 2511

เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม ออกประกาศกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น มาตรฐานเลขที่ มอก. 827-2531 ไว้ ดังมีรายการละเอียดแห่งท้ายประกาศนี้

ประกาศ ณ วันที่ 19 ธันวาคม พ.ศ. 2531

บรรหาร ศิลปอาชา

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

(5)

มทก. 827 2531

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

1 ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนด ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ส่วนประกอบและการทำ คุณสมบัติที่โครงการ เครื่องหมายและฉลาก การติดตั้งอย่างและเกณฑ์ตัดสิน และการทดสอบคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

2. บทนิยาม

THE CREATIVE UNIVERSITY

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

- 2.1 คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ซึ่งต่อไปในมาตรฐานนี้จะเรียกว่า "บล็อก" หมายถึง ก้อนคอนกรีตที่สามารถนำมาวางเรียงประสมกันได้อย่างต่อเนื่อง (ดังตัวอย่างในภาคผนวก ก.) มีสีตามกรรมชาติ หรือแฉะมีผงสีเจือปนอยู่ทั้งบล็อกหรือเฉพาะที่ขึ้นผิวหน้า

มอก.827 2531

- และจะมีรูปร่างแบนโคกได้ เหมาะสำหรับการใช้พื้น เช่น ถนน ทางเท้า ลานจอดรถ และลานกองเก็บวัสดุ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการออกแบบโครงสร้างชั้นพื้นและชั้นรองพื้น ให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งาน
- 2.2 ชั้นผิวหน้า หมายถึง ชั้นผิวของบล็อกส่วนที่รับการเสียดสี และอาจมีการตกแต่งผิวก็ได้
- 2.3 ความโค้งจาก(squareness) หมายถึง ความโค้งจากของค้ำข้าง โดยรอบกับพื้นผิวล่างของบล็อก และการขนานกันของพื้นผิวหน้ากับพื้นผิวล่าง

3. ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

- 3.1 มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของบล็อก ให้เป็นไปตามตารางที่ 1
- การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 8.1
- 3.2 การเสแฉก (ตำมี)
- ต้องไม่เกิน 7 มิลลิเมตร (รูปที่ 1)
- การวัดให้ปฏิบัติตามข้อ 8.2

มอก. 827-2531

4.1.4 สีซีเมนต์ (ถ้ามี)

ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สีซีเมนต์
มาตรฐานเลขที่ มอก. 469

4.1.5 น้ำ

น้ำที่ใช้ต้องเป็นน้ำสะอาด

4.1.6 ส่วนผสมอื่น ๆ (ถ้ามี)

ต้องไม่มีผลเสียต่อการใช้งานของบล็อก

4.2 การทำ

ใช้เครื่องอัดและ/หรือเขย่าส่วนประกอบต่าง ๆ ตามข้อ 4.1 ให้เป็นแผ่น ถ้าขึ้นผิวหน้าทำเป็นสี น้ำหนักของผงสีที่ผสมต้องไม่เกินร้อยละ 10 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ที่ใช้ในส่วนผสมของชั้นผิวหน้านั้น ในกระบวนการผลิต ต้องทำให้ชั้นผิวหน้าติดกับตัวก้อนในเวลาที่ยังอ่อนนุ่ม เมื่อจับบล็อกออกจากแม่พิมพ์แล้ว ให้นำไปผึ่งด้วยกรรมวิธีที่เหมาะสม

5. คุณลักษณะที่ต้องการ

5.1 ลักษณะทั่วไป

บล็อกต้องมีเนื้อแน่น ไม่ร้าว และสีของชั้นผิวหน้าต้องสม่ำเสมอ การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

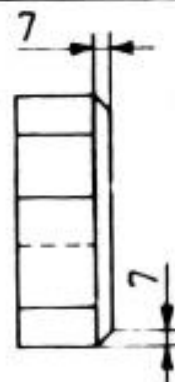
มคอ. 827 2531

ตารางที่ 1 มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของบด็อก

(ท้าย 3.1)

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

มิติ	เกณฑ์ที่กำหนด	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน
ความกว้างและความยาว	ไม่เกิน 295	± 2
ความหนา	60	± 2
	80	
	100	± 3
	120	
ความหนาของชั้นผิวหน้า (เฉพาะชั้นผิวหน้าที่ทำเป็นสี)	ค่าสุด 3	



หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 1 การสแกน

(ท้าย 3.2)

มอก. 027 2531

4 ส่วนประกอบนอก"การทำ

4.1 ส่วนประกอบ

4.1.1 ปูนซีเมนต์

ให้ใช้ปูนซีเมนต์อย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้

- 4.1.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ที่เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 1 ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ มาตรฐานเลขที่ มอก. 15 เล่ม 1
- 4.1.1.2 ปูนซีเมนต์ผสม ที่เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ผสม มาตรฐานเลขที่ มอก. 80

4.1.2 วัสดุผสม

ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วัสดุผสมคอนกรีต มาตรฐานเลขที่ มอก. 566

4.1.3 ผงสี (ถ้ามี)

ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ผงสี (ในกรณีที่ยังไม่มีการประกาศกำหนดมาตรฐานดังกล่าว ให้เป็นไปตาม BS 1014)

มอก. 827-2531

4.1.4 สีซีเมนต์ (ถ้ามี)

ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สีซีเมนต์
มาตรฐานเลขที่ มอก. 469

4.1.5 น้ำ

น้ำที่ใช้ต้องเป็นน้ำสะอาด

4.1.6 ส่วนผสมอื่น ๆ (ถ้ามี)

ต้องไม่มีผลเสียต่อการใช้งานของบล็อก

4.2 การทำ

ใช้เครื่องอัดและ/หรือเขย่าส่วนประกอบต่าง ๆ ตามข้อ 4.1 ให้เป็นแผ่น ถ้าขึ้นผิวหน้าทำเป็นสี น้ำหนักของผงสีที่ผสมต้องไม่เกินร้อยละ 10 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ที่ใช้ในส่วนผสมของชั้นผิวหน้านั้น ในกระบวนการผลิต ต้องทำให้ชั้นผิวหน้าติดกับตัวก้อนในเวลาที่ยังเนื้อเหนียว เมื่อนำบล็อกออกจากแม่พิมพ์แล้ว ให้นำไปบ่มด้วยกรรมวิธีที่เหมาะสม

5. คุณลักษณะที่ต้องการ

5.1 ลักษณะทั่วไป

บล็อกต้องมีเนื้อแน่น ไม่ร้าว และสีของชั้นผิวหน้าต้องสม่ำเสมอ
การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

มยท. 827- 2531

5.2 ความโค้งงอ

5.2.1 บล็อกที่มีเกณฑ์ที่กำหนดของความหนาไม่เกิน 80 มิลลิเมตร จะมีความเบี่ยงเบนของความโค้งงอได้ไม่เกิน 2 มิลลิเมตร

5.2.2 บล็อกที่มีเกณฑ์ที่กำหนดของความหนาเกิน 80 มิลลิเมตร จะมีความเบี่ยงเบนของความโค้งงอได้ไม่เกิน 3 มิลลิเมตร

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 8.3

5.3 ความต้านแรงอัด

ความต้านแรงอัดของบล็อกแต่ละก้อน ต้องไม่น้อยกว่า 35 เมกะพาสคัล และค่าเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า 40 เมกะพาสคัล

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 8.4

6. เครื่องหมายและฉลาก

6.1 ให้หาเครื่องหมายและฉลากตามข้อ 6.1.1 หรือข้อ 6.1.2 ดังต่อไปนี้

6.1.1 บล็อกทุกก้อน อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมาย แจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

(1) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

6.1.2 ที่แนววัสดุที่ใช้ผูกมัดบล็อกเข้าด้วยกันเป็นหน่วยทุกหน่วยอย่าง

มทก. 827 2531

นักพิมพ์มีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียด
ไว้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

- (1) ความกว้าง x ความยาว x ความหนา เป็นมิลลิเมตร
- (2) จำนวน
- (3) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จด
ทะเบียน

หมายเหตุ การผูกมัดลูกเข้าด้วยกันเป็นหน่วยแต่ละหน่วยต้อง
ขนย้ายได้ทั้งหน่วยโดยไม่แยกจากกัน

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่
กำหนดไว้ข้างต้น

- 6.2 ผู้ผลิตผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้ จะแสดงเครื่องหมายมาตรฐานกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนั้นได้ ต่อไปได้จาก
อนุญาตจากคณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแล้ว

THE CREATIVE UNIVERSITY

7. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

- 7.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึง บล็อกที่มีขนาด รูปร่าง และสีเดียวกัน ทำขึ้น
โดยกรรมวิธีเดียวกัน ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลา
เดียวกัน
- 7.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่าง

มก. 827 2531

ที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากัน
ทางวิชาการที่แผนที่กำหนดไว้

7.2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบขนาด (ยกเว้นความหนาของชั้นผิวหน้า) ลักษณะทั่วไปและความได้ฉาก

7.2.1.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากกลุ่มเดียวกัน ตามจำนวนที่กำหนดในตารางที่ 2

7.2.1.2 จำนวนตัวอย่างที่ไม่เป็นไปตามข้อ 3. (ยกเว้นความหนาของชั้นผิวหน้า) ข้อ 5.1 และข้อ 5.2 ในแต่ละรายการ ต้องไม่เกินเลขจำนวนที่ยอมรับที่กำหนดในตารางที่ 2 จึงจะถือว่าบล็อกนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

7.2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบขนาด (เฉพาะความหนาของชั้นผิวหน้า) และความต้านแรงยึด

7.2.2.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากตัวอย่างที่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดในเรื่องขนาด (ยกเว้นความหนาของชั้นผิวหน้า) ลักษณะทั่วไป และความได้ฉากแล้ว จำนวน 5 ก้อน แล้วนำไปทดสอบความต้านแรงยึด และขนาด (เฉพาะความหนาของชั้นผิวหน้า) ตามลำดับ

7.2.2.2 ตัวอย่างทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 3. (เฉพาะ

มอก. 827-2531

ขอ เหนือของชั้นผิวหน้า) และข้อ 5.3 จึงจะถือว่า
บล็อกฐานนั้น เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ตารางที่ 2 แบบการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบขนาด (ยกเว้นความ
หนาของชั้นผิวหน้า) ลักษณะทั่วไป และความได้ฉาก
(ข้อ 7.2.1)

ขนาดฐาน ก่อน	ขนาดตัวอย่าง ก่อน	เลขจำนวน ที่ยอมรับ
ไม่เกิน 10 000	5	0
10 001 ถึง 35 000	20	1
35 001 ถึง 150 000	32	2
ตั้งแต่ 150 001 ขึ้นไป	50	3

7.3 เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างบล็อกต้องเป็นไปตามข้อ 7.2.1.2 และข้อ 7.2.2.2
ทุกข้อ จึงจะถือว่าบล็อกฐานนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

8. การทดสอบ

บล็อกพื้นมาทดสอบ ต้องมีอย่างน้อยน้อยกว่า 7 วัน

มอก. 827-2531

8.1 มติ

8.1.1 ความกว้างและความยาว

ใช้เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 1.0 มิลลิเมตร วัดความกว้างและความยาวของบล็อกตัวอย่างบริเวณที่กว้างและยาวมากที่สุด

8.1.2 ความหนา

8.1.2.1 ความหนาของบล็อก

ใช้เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 1.0 มิลลิเมตร วัดความหนาของบล็อกตัวอย่าง (รวมชั้นผิวหน้า) 4 แห่ง แล้วรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย

8.1.2.2 ความหนาของชั้นผิวหน้า

ตัดบล็อกตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบความต้านแรงอัดแล้ว ออกเป็น 2 ชิ้น แล้ววัดความหนาของชั้นผิวหน้าของชิ้นตัวอย่างด้วยเครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร โดยวัดอย่างน้อย 4 แห่ง

หมายเหตุ ชิ้นตัวอย่าง ที่นำมาวัดความหนาของชั้นผิวหน้า อย่างน้อยต้องมีพื้นที่ 1 ใน 4 ของชิ้นตัวอย่างเดิมก่อน และตำแหน่งที่วัดแต่ละตำแหน่งควรเป็นบริเวณที่มีควมหนาของชั้นผิวหน้าสม่ำเสมอ และไม่เป็นบริเวณที่มีเกรน

มอก.827 2531

8.2 การทดสอบ(ถ้ามี)

ใช้เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 1.0 มิลลิเมตร

8.3 ความไค้ฉาก

8.3.1 ความไค้ฉากของคานข้างโดยรอบกับพื้นผิวล่างของบล็อก

8.3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- (1) พื้นเรียบสม่ำเสมอและไค้ระดับ
- (2) เครื่องวัดแบบสี่ผด
- (3) เหล็กฉาก

8.3.1.2 วิธีวัด

วัดความเบี่ยงเบน ของความไค้ฉากของคานข้างกับพื้น

ผิวล่างของบล็อกตัวอย่างชุด ๆ คาน คานละ 1 แห่ง

8.3.2 ความไค้ฉากของพื้นผิวหน้ากับพื้นผิวล่างของบล็อก

8.3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- (1) พื้นเรียบสม่ำเสมอและไค้ระดับ
- (2) เครื่องวัดแบบมีหน้าปัด พร้อมขาตั้ง

8.3.2.2 วิธีวัด

วางบล็อกตัวอย่างคานที่เรียบและสม่ำเสมอบนพื้นเรียบ

สม่ำเสมอและไค้ระดับ แล้วใช้เครื่องวัดแบบมีหน้าปัด

มอก. R27-2531

วัดความแข็งของแผ่นของควม ได้จากของพื้นผิวหน้ากับพื้น
ผิวล่าง

8.4 ความต้านแรงอัด

8.4.1 เครื่องมือ

8.4.1.1 เครื่องทดสอบแรงกดที่ให้แรงกดได้ไม่น้อยกว่า 1 000
กิโลนิวตัน และสามารถปรับความเร็วในการเพิ่มแรง
กดได้

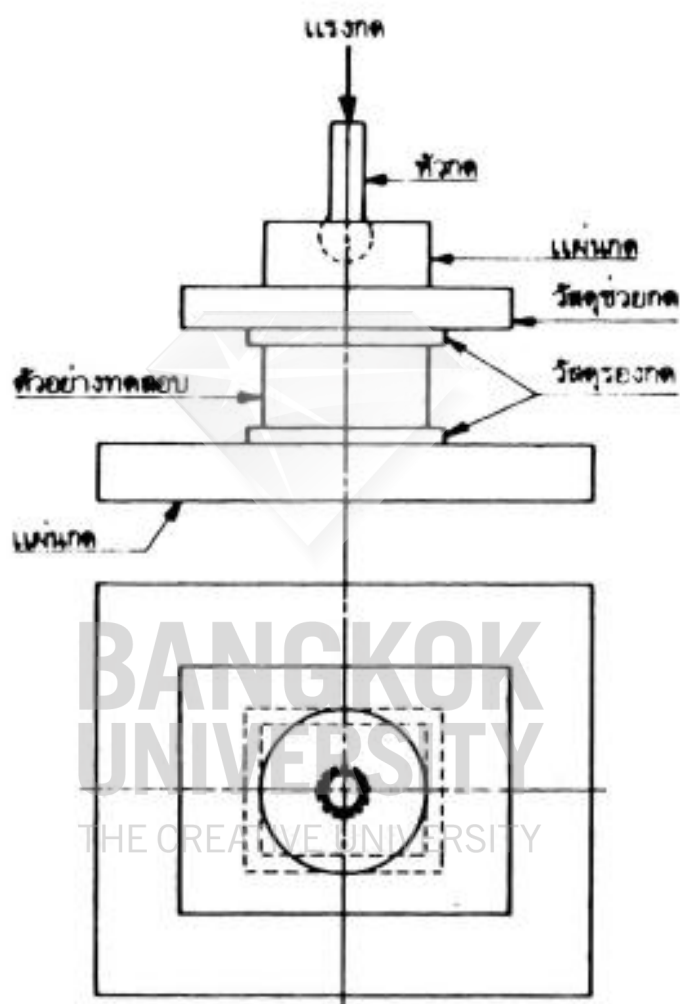
8.4.1.2 แผ่นกด (ดังตัวอย่างในรูปที่ 2)

แผ่นกดแต่ละแผ่นต้องหนาไม่น้อยกว่า 12 มิลลิเมตร
ทำด้วยวัสดุที่มีความแข็งไม่น้อยกว่า 60 HRC สำหรับ
แผ่นกดแผ่นบนสามารถปรับหมุนได้ทุกทิศทาง และมี
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 150 มิลลิเมตร

8.4.1.3 วัสดุช่วยกด (ดังตัวอย่างในรูปที่ 2)

ในการฉีกพื้นผิวของแผ่นกดแผ่นบน ไม่ครอบคลุมพื้นที่ของ
บล็อกตัวอย่างได้ทั้งหมด ให้ใช้วัสดุช่วยกดที่หนาไม่น้อย
กว่า 12 มิลลิเมตร และมีความแข็งไม่น้อยกว่า 60
HRC ช่วยกด

มยท. 827 2531



รูปที่ 2 ตัวอย่างแผ่นก้น วัสดุช่วยยกและวัสดุรองก้น และตำแหน่งทดสอบ
(ข้อ 8.4.1.2 ข้อ 8.4.1.3 ข้อ 8.4.1.4 และข้อ 8.4.2.1)

มอก.827-2531

8.4.1.4 วัสดุรองกค (ตั้งตัวอย่างในรูปที่ 2)

วัสดุรองกคที่ใต้ต้องเป็นกระจกแข็งหรือไม้กัท หรือไม้เนื้ออ่อน หรือแผ่นยาง หนาไม่น้อยกว่า 4 มิลลิเมตร และต้องมีพื้นที่ครอบคลุมพื้นที่ของบล็อกตัวอย่าง

8.4.2 วิธีทดสอบ

8.4.2.1 จักแนวศูนย์กลางของบล็อกตัวอย่าง (ในกรณีที่มีรูปทรงอสมมาตร ศูนย์กลางของบล็อกตัวอย่าง คือจุดรวมมวล) หัวกด แผ่นกด และวัสดุช่วยกด (ถ้ามี) ให้ผู้นำนวนเดียวกัน(รูปที่ 2)

8.4.2.2 กดบล็อกตัวอย่าง โดยเพิ่มแรงกดในอัตราที่สม่ำเสมอจนได้แรงกดประมาณครึ่งหนึ่งของแรงกดสูงสุดที่คาดว่าบล็อกตัวอย่างจะรับได้ เพิ่มแรงกดในอัตราที่สม่ำเสมอจนถึงแรงกดสูงสุดที่บล็อกตัวอย่างรับได้ ภายในเวลา 1 ถึง 2 นาที บันทึกค่าแรงกดสูงสุดที่บล็อกตัวอย่างรับได้

8.4.3 วิธีคำนวณ

คำนวณหาค่าความดันแรงอัดของบล็อก เป็นเมกะพาสคัลจากสูตร

มอก. 827-2531

$$P = \frac{F \times C}{A}$$

เมื่อ P คือ ความดันแรงกด เป็นเมกะพาสคัล

F คือ แรงกดสูงสุดที่เหล็กตัวหม่าวรับได้ เป็นนิวตัน

C คือ ตัวประกอบปรับค่าความดันแรงอัด

A คือ พื้นที่ผิวหน้าที่ได้รับแรงกดของบล็อกตัวหม่าว เป็นตารางมิลลิเมตร

หมายเหตุ 1. ในกรณีที่ต้องการหาพื้นที่ผิวหน้า ที่รับแรงกดของบล็อกตัวอย่างใดยาก อาจใช้วิธีหาพื้นที่ดังนี
วางแผ่นพลาสติกใส ทาบบนผิวหน้าบล็อกตัวอย่าง ใช้ปากกาเขียนพลาสติกยึดตามเส้นรอบรูปของผิวหน้า แล้วนำแผ่นพลาสติกไปลอกลงบนกระดาษคาร์ตขนาดกว้าง 100 มิลลิเมตร ยาว 200 มิลลิเมตร ด้วยกระดาษคาร์บอน หลังจากนั้นใช้กรรไกรตัดตามเส้นที่ขีดไว้ได้อย่างประณีต แล้วนำแผ่นกระดาษคาร์ตที่ได้ไปชั่ง และอ่านค่าให้ละเอียดถึง 0.01 กรัม แล้วคำนวณหาพื้นที่ จากสูตร

$$A = 20,000 \text{ M/M}_i$$

เมื่อ A คือ พื้นที่ผิวหน้าที่ได้รับแรงกด ของบล็อกตัวอย่าง เป็นตารางมิลลิเมตร

M คือ มวลของกระดาษคาร์ต ที่แสดง

มทก. 827 2531

พื้นที่ผิวหน้า แบบเดี่ยวทึบเกลือก

ตัวอย่าง เป็นกรัม

M₁ คือ มวลของกระดาษการ์ด รูปสี่

เหลี่ยมผืนผ้า เป็นกรัม

2. คำนวณประกอบปรับค่าความต้านแรงกดให้เป็นไปตามตารางที่ 3

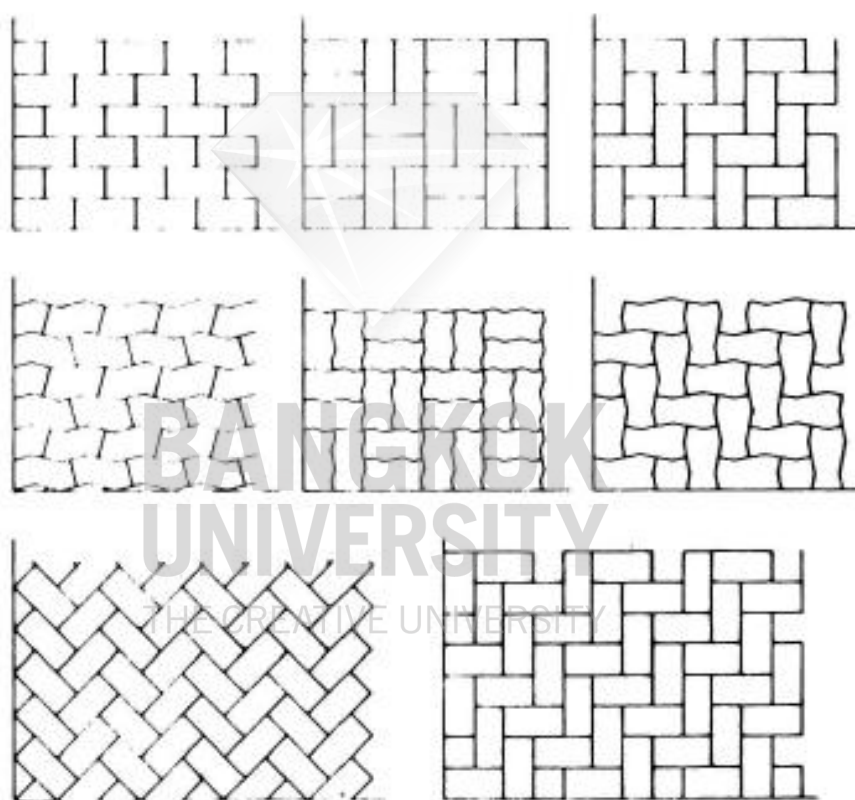
ตารางที่ 3 คำนวณประกอบปรับค่าความต้านแรงอัด

(หมายเหตุ 2 ท้ายข้อ 8.4.3)

ความหนาบล็อก มิลลิเมตร	คำนวณประกอบปรับค่าความต้านแรงอัด	
	ไม่มีการลบมุม	มีการลบมุม
60	1.00	1.03
80	1.12	1.18
100	1.18	1.24
120	1.21	1.27

มก. 827 2531

ภาคผนวก ก
ตัวอย่างการวางเรียงประสาน
(ข้อ 2.1)





ภาคผนวก ข

มาตรฐาน DIN (Deutsches Institut für Normung)

DIN 1052-1 (4/88) Para. 4.2.1.

BANGKOK
UNIVERSITY
THE CREATIVE UNIVERSITY

Short manual testo 606-1



en

Basic settings

Instrument off > press and hold 2s > select with () ,
 confirm with () :

Auto off-Funktion: **OFF, ON**

Switching the instrument on

Press .

Switching the display light on (for 10s)

Instrument on > press

Select display mode

Instrument on > select with :

Current reading > **Hold**: Readings are held

Switching the instrument off:

Instrument on > press and hold 2s.

Safety and the environment

About this document

- > Please read this documentation through carefully and familiarise yourself with the product before putting it to use. Keep this document to hand so that you can refer to it when necessary. Hand this documentation on to any subsequent users of the product.

- > Pay particular attention to information emphasised by the following symbols:



With the signal word **Caution!**:

Warns against hazards which could result in minor physical injury or damage to equipment if the precautionary measures indicated are not taken.



Important.

Avoid personal injury/damage to equipment

- > Only operate the measuring instrument properly, for its intended purpose and within the parameters specified in the technical data. Do not use force.
- > Never store the product together with solvents, acids or other aggressive substances.
- > Only carry out the maintenance and repair work that is described in the documentation. Follow the prescribed steps when doing so. Use only OEM spare parts from Testo.

Protecting the environment

- > Take faulty rechargeable batteries as well as spent batteries to the collection points provided for them.
- > Send the product back to Testo at the end of its useful life. We will ensure that it is disposed of in an environmentally friendly manner.

Specifications

en

Functions and use

The testo 606-1 is a material moisture measuring instrument. It is normally used to determine the material moisture content in wood or building materials. The measurement procedure used is suitable for overview measurement to determine whether the material is continuing to dry out. The material moisture is given in % by weight.

Technical data

Measurement data

- Sensors:
Electrical resistance (conductivity measurement)-
Parameters:
% by weight material moisture (wood, building materials),
- Measuring ranges:
See chapter Using the Product
- Resolutions:
0.1 %
- Accuracies (Nominal temperature 25 °C, ± 1 Digit):
Conductivity measurement ± 1 %,
- Measuring rate:
0.5 s, humidity: 1s

Further instrument data

- Protection class: IP20
- Ambient conditions:
-10...50 °C, 14...122 °F
- Storage/transport conditions:
-40...70 °C, -40...158 °F
- Voltage supply:
2x 1.5 V type AAA
- Battery life:
130 h (without display light)
- Dimensions:
119x46x25mm / 4.69x1.81x0.98" (inc. protection cap)
- Weight: 90 g / 3.2 oz (inc. batteries and protection cap)

Examinations and licenses

- As declared in the Certificate of Conformity, this product complies with Directive 2014/30/EU.

Warranty

- Duration: 2 years, warranty conditions: see www.testo.com/warranty

14 Product description

Product description

At a glance



First steps

➤ Inserting batteries:

- 1 To open the battery compartment, push the battery cover down.
- 2 Insert batteries (2x 1.5 V type AAA). Observe the polarity!
- 3 To close the battery compartment, push the battery cover back on.

➤ Basic settings (configuration mode):

Adjustable functions

· Auto off function: **OFF, ON** (instrument switches off automatically if no key is pressed for 10 minutes)

- 1 When switching the instrument on, press and hold until and appear on the display (configuration mode).
 - The adjustable function is displayed. The current setting flashes.
- 2 Press () several times until the desired setting flashes.
- 3 Press () to confirm the input.
 - The instrument changes to measuring mode.

Using the product

en

i To guarantee correct readings:

- Repeat the measurement at several points. The differing resistance of the wood, with or across the grain, may have an impact on the measurement result. If the injection needles are inserted with the grain, this may result in slightly higher readings because the resistance in the material is lower.
- A measurement is only implemented as far as the depth that the injection needles are inserted within the material. Insert the measuring needles as far as possible (4 to 5 mm).
- When measuring fuel moisture content, it is advisable to split the log prior to measurement and to measure at three points. Measuring points: each 5 cm away from the left and right cut edge and once in the centre of the log.

i The values displayed are highly dependent on the building material/manufacturer used, and on the ambient conditions. As the materials are natural, the same materials can vary from batch to batch.

➤ Switching the instrument on:

- > Press .
- Measuring mode is opened.

➤ Switching the display light on:

- ✓ The instrument is switched on.
- > Press .
- The display light goes out automatically if no key is pressed for 10 seconds.

➤ Setting the material characteristic curve:

- ### **i** The material moisture is indicated in the top line of the display. The material symbol (wood) or (building material) is displayed with the relevant material number (see enclosed sticker for the inside of the protective cap).

Settable materials	Measuring range
1. beech, spruce, larch, birch, cherry, walnut	8.8...54.8 % by weight
2. oak, pine, maple, ash-tree, douglas fir, meranti	7.0...47.9 % by weight
3. cement screed, concrete	0.9...22.1 % by weight
4. anhydrite screed	0.0...11.0 % by weight
5. cement mortar	0.7...8.6 % by weight
6. lime mortar, plaster	0.6...9.9 % by weight
7. bricks	0.1...16.5 % by weight

16 Using the product

- > Press  several times until the desired material characteristic curve appears.
- Testing the instrument function:
 - 1 Press  several times until Test: lights up.
 - 2 Connect sensing electrodes with the contacts of the test resistor on the top of the protection cap.
 - Test flashes.
 - Test: ok lights up: instrument is functioning.
 - Test: ok does not light up: test not possible, see chapter 'Tips and assistance'.
 - 3 Press  back to measurement menu.
- Changing the display view:

Adjustable views

 - Current reading
 - **Hold:** Readings are held.
 - > Press  until the desired view appears.
- Switching the instrument off:
 - > Press  and hold until the display goes out.

Maintaining the product

- Changing batteries:
 - 1 To open the battery compartment, push the battery cover down.
 - 2 Remove used batteries and insert new batteries (2x 1.5 V type AAA). Observe the polarity!
 - 3 To close the battery compartment, push the battery cover back on.
- Cleaning the housing:
 - > Clean the housing with a moist cloth (soap suds) if it is dirty. Do not use aggressive cleaning agents or solvents!

Tips and assistance

en

Questions and answers

Question	Possible causes/solutions
Hi or Lo	Readings outside the measuring range (too high, too low): Readings outside the measuring range (too high, too low): for materials that have not been specially dried or moistened, the measurement results should always be within the measuring range.
	Residual capacity <10 min: Change batteries.
Testing the instrument function: Test ok does not light up	- Clean sensing electrodes and contacts on the top of the protection cap. - If the error message appears again, send the instrument to Testo Customer Service.
Meas. electrodes defective/worn	Send instrument to Testo customer service.

The material's measured moisture content is relative to the dry weight (0% moisture) of the relevant material. The stored material characteristic curves were determined using the Darr (wet and dry weighing) method. The specified measuring ranges are derived from this.

Conversion to percent by weight

Percent by weight = (wet weight - dry weight) * 100 / dry weight

Example

Wet weight: 180 g

Dry weight: 150 g

Percent by weight: $(180 - 150) * 100 / 150 = 20\%$

Conversion to water content

Water content % = (wet weight - dry weight) * 100 / wet weight

Example

Wet weight: 180 g

Dry weight: 150 g

Water content %: $(180 - 150) * 100 / 180 = 16.6\%$

18 Tips and assistance

What constitutes dry, or at risk, or damp?

The values indicated serve as guideline figures for assessing the materials. The values are typical inner area values

Characteristic curve	Material	Dry	At risk	Damp / very damp
Characteristic curve 1 or 2 inside heated	Beech, fir, larch...	< 12	12...15	> 15
Characteristic curve 1 or 2 inside unheated	Oak, pine, maple wood...	< 15	15...20	> 20
Characteristic curve 3	Cement screed	< 3	3...5	> 5
Characteristic curve 3	Concrete	< 2.2	2.2...4.4	> 4.4
Characteristic curve 4	Anhydrite screed	< 0.5	0.5...1	> 1
Characteristic curve 5	Cement mortar	< 3	3...5	> 5
Characteristic curve 6	Lime mortar	< 2	2...4	> 4
Characteristic curve 6	Gypsum	< 2	2...4	> 4
Characteristic curve 7	Brick	< 1	1...3	> 3

Guideline values for the installation moisture of wood, which sets in as an average after a certain period in use-status (DIN 1052-1 (4/88) Para. 4.2.1.):

Char. curve	Application area	Wood humidity in % by weight
1 or 2	buildings closed on all sides with heating	9 ± 3
1 or 2	buildings closed on all sides without heating	12 ± 3
1 or 2	roofed open buildings	15 ± 3
1 or 2	constructions which are open to the weather on all sides	18 ± 6

If we could not answer your question, please contact your dealer or Testo Customer Service. For contact details, please visit www.testo.com/service-contact.

ประวัติเจ้าของผลงาน

ชื่อ-นามสกุล	เบญจพล ศรีสันติสุข
อีเมล	Benjapol.sris@bumail.net, benkeronz@hotmail.com
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2562	ศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาบริหารธุรกิจ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สาขาการจัดการออกแบบภายใน มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
พ.ศ. 2556	สำเร็จการศึกษาปริญญาโท สาขาบริหารธุรกิจ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ และการออกแบบ สาขาการออกแบบบรรจุภัณฑ์ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร วิทยาเขตจตุจักร
พ.ศ. 2553	สำเร็จมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเทพศิรินทร์
ประสบการณ์ทำงาน	
พ.ศ. 2563 - 2566	ที่ปรึกษาควบคุมงานโครงการก่อสร้างหอพักแพทย์ พยาบาล และบุคลากร ของคณะแพทยศาสตร์วชิรพยาบาล มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช บริษัท อีคอนพลัส จำกัด
พ.ศ. 2563 - 2561	ควบคุมงานก่อสร้าง ตกแต่งภายใน และติดต่อประสานงาน บริษัท พอชชีฟ สตูดีโอ จำกัด
พ.ศ. 2561 - 2557	ฝ่ายดูแลบริหารทั่วไป จัดซื้อ และ จป. บริษัท ศิลาเลิศจิต จำกัด
พ.ศ. 2557 - 2555	ผู้ช่วยนักวิจัย สำนักวิจัยวัสดุทดแทนไม้และกาบตีไม้ กรมป่าไม้
พ.ศ. 2555 - 2553	ควบคุมงานก่อสร้าง ตกแต่งภายใน และติดต่อประสานงาน บริษัท ดีเอฟ อินเตอร์ จำกัด
ผลงานวิชาการ	การศึกษาการผลิตอิฐจากกากข้าวโมลต์ที่เป็นวัสดุเหลือใช้ในการ ผลิตเบียร์ งานประชุมวิชาการเพื่อนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ครั้งที่ 9 ประจำปีการศึกษา 2565 “การจัดการศึกษาที่มีคุณภาพ อย่างทั่วถึง เพื่อการทำงานที่หลากหลายกับการพัฒนาอย่างยั่งยืน ในสังคมวิถีใหม่” มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย