รายงานการวิจัย

นวัตกรรมอิฐบล็อกประสานที่ใช้ขยะโพลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET)

Innovation of Interlocking Block Utilizing Wasted Polyethylene Terephthalate (PET)

ชูเกียรติ ชูสกุล
ขวัญชีวา หยงสตาร์
สุพร ฤทธิภักดี
Chookiat Choosakul
Khwamchiwa Yongsata
Suporn Rittipakdee

วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
งบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ ๒๕๖๖

นวัตกรรมอิฐบล็อกประสานที่ใช้ขยะโพลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET)

ชูเกียรติ ชูสกุล
สุพร ฤทธิภักดี
ขวัญชีวา หยงสตาร์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์พัฒนาสมบัติของอิฐบล็อกประสาน โดยผสมขยะพลาสติก PET แทนที่ดินลูกรัง ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยปริมาตร ใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินลูกรังเท่ากับ 1: 6 ปริมาณน้ำได้จากการทดสอบการบดอัดดินในห้องปฏิบัติการ โดยใช้มาตรฐานการทดสอบความแน่นแบบมาตรฐาน (Standard Compaction Test) ขึ้นรูปบล็อกประสานด้วยเครื่องอัดแบบมือโยก ขนาด 12.5 x 25 x 10 เซนติเมตร ทดสอบสมบัติเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน (มผช. 602/2547) ผลการทดสอบพบว่าค่ากำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกประสานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาตรที่เพิ่มขึ้นของขยะพลาสติก PET ซึ่งทุกอัตราส่วนผสมผ่านเกณฑ์ มผช. 602/2547 ชนิดไม่รับน้ำหนัก ในส่วนค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสานจะเพิ่มขึ้นตามปริมาตรการเพิ่มขึ้นของขยะพลาสติก PET โดยผ่านเกณฑ์ มผช. 602/2547 ชนิดรับน้ำหนัก อัตราส่วนของขยะพลาสติก PET ที่ดีที่สุดในการศึกษาครั้งนี้คือ ร้อยละ20 โดยมีค่ากำลังรับแรงอัด 5.0 MPa ค่าการดูดกลืนน้ำ 251.27 กก./ลบ.ม. และค่าความหนาแน่น 1,592.25 กก./ลบ.ม. ที่อายุการบ่ม 28 วัน

คำสำคัญ: อิฐบล็อกประสาน, ขยะพลาสติก, โพลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต, ดินลูกรัง

Innovation of Interlocking Block Utilizing Wasted Polyethylene Terephthalate (PET)

Chookiat Choosakul
Suporn Rittpakdee
Khwanchiwa Yongsata

Abstract

The objective of the research was to enhance the properties of interlocking block by incorporating PET plastic waste, substituting 0, 5, 10, 15, and 20 percent of gravel soil by volume. A cement-to-gravel ratio of 1:6 was utilized, with water content determined through soil compaction tests in the laboratory, employing the Standard Compaction Test. Interlocking block, sized 12.5 x 25 x 10 centimeters, were formed using a hand rocker compactor. These interlocking block were then tested against the interlocking block community product standard (TCPS 602/2004). The results indicated that the compressive strength of the interlocking block tended to increase as the volume of PET plastic waste increased. Moreover, all components met the criteria of TCPS 602/2004 for non-load-bearing types. However, the water absorption value of the interlocking block increased with the volume of PET plastic waste. The optimal ratio of PET plastic waste determined in this study was 20 percent, resulting in a compressive strength of 5.0 MPa, a water absorption value of 251.27 kg/m³, and a density of 1,592.25 kg/m³ after a curing period of 28 days.

.

Keywords: Interlocking Block, laterite soil, PET, Plastic Waste, Polyethylene Terephthalate.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง “นวัตกรรมอิฐบล็อกประสานที่ใช้ขยะโพลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET)” ได้รับการสนับสนุนงบประมาณ ทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ปีงบประมาณ ๒๕๖๖

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณนายกีรติ คงกัน นายฤทธิชัย ไชยศรีและนายสานิตย์ จวบความสุข นักศึกษาหลักสูตรวิชาวิศวกรรมโยธา สาขาวิศวกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ ที่ได้ร่วมมือในการเก็บข้อมูลและทดสอบ ขอขอบคุณนายศุภวัฒน์ จันทร์ปราง และหลักสูตรวิชาวิศวกรรมโยธา สาขาวิศวกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในการทดสอบ

ชูเกียรติ ชูสกุล
หัวหน้าโครงการวิจัย
๑ มีนาคม ๒๕๖๗

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	จ
สารบัญภาพ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและการนำโครงการวิจัยไปใช้ประโยชน์	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่สำคัญและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 อิฐบล็อกประสาน	5
2.2 PET/PETP (Polyethylene terephthalate)	13
2.3 การทดสอบหาปริมาณน้ำของอิฐบล็อกประสานผสมฝุ่นหินผุ	14
2.4 การทดสอบคุณสมบัติอิฐบล็อกประสาน	16
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	
3.1 เตรียมวัสดุที่ใช้ในการศึกษา	21
3.2 ทดสอบคุณสมบัติของวัสดุผสม	21
3.3 การหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม	23
3.4 ออกแบบอัตราส่วนผสมอิฐบล็อกประสาน	27
3.5 ขั้นตอนการผลิตอิฐบล็อกประสาน	28
3.6 ขั้นตอนการบ่มอิฐบล็อกประสาน	30
3.7 ทดสอบคุณสมบัติของอิฐบล็อกประสาน	31
3.8 การวิเคราะห์ของอิฐบล็อกประสานผสมฝุ่นหินผุในการนำไปใช้จริง	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดสอบ และการวิเคราะห์ผล	
4.1 ผลการทดสอบสมบัติพื้นฐานของดินลูกรัง	39
4.2 ผลการทดสอบสมบัติพื้นฐานของพลาสติก PET	39
4.3 ผลการทดสอบสมบัติอิฐบล็อกประสาน	41
4.4 การวิเคราะห์ราคาต้นทุนในการผลิตอิฐบล็อกประสาน	44
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	47
5.2 ข้อเสนอแนะ	48
บรรณานุกรม	49
ภาคผนวก ก ผลการทดสอบสมบัติของวัสดุและการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม	53
ภาคผนวก ข ผลการทดสอบของอิฐบล็อกประสาน	91

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	อัตราส่วนผสมของอิฐบล็อกประสาน	27
3.2	จำนวนก้อนตัวอย่างที่บ่ม	31
4.1	สมบัติพื้นฐานของดินลูกรัง	39
4.2	สมบัติพื้นฐานของพลาสติก PET	40
4.3	ผลการทดสอบค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมต่อความหนาแน่นแห้งสูงสุด	40
4.4	รูปร่าง และรอยบิ่นของอิฐบล็อกประสาน	42
4.5	ความหนาแน่นแห้ง และการดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสาน	43
4.6	รายละเอียดต้นทุนการผลิตอิฐบล็อกประสานแต่ละอัตราส่วนต่อก้อนโดยไม่รวมค่าแรง	45
4.7	ปริมาณพลาสติก PET บดที่ใช้ในอิฐบล็อกประสาน	45
ก-1	ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (Control) ครั้งที่ 1	54
ก-2	ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (Control) ครั้งที่ 2	56
ก-3	ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (Control) ครั้งที่ 3	58
ก-4	ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (PET5) ครั้งที่ 1	60
ก-5	ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (PET5) ครั้งที่ 2	62
ก-6	ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (PET5) ครั้งที่ 3	64
ก-7	ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (PET10) ครั้งที่ 1	66
ก-8	ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (PET10) ครั้งที่ 2	68
ก-9	ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (PET10) ครั้งที่ 3	70
ก-10	ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (PET15) ครั้งที่ 1	72
ก-11	ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (PET15) ครั้งที่ 2	74
ก-12	ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (PET15) ครั้งที่ 3	76
ก-13	ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (PET20) ครั้งที่ 1	78
ก-14	ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (PET20) ครั้งที่ 2	80
ก-15	ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (PET20) ครั้งที่ 3	82
ก-16	ผลการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของดินลูกรัง	84
ก-17	ผลการทดสอบการวิเคราะห์ขนาดคละของดินลูกรัง	85
ก-18	ผลการทดสอบหาค่าพิกัดพลาสติก	86
ก-19	ผลการทดสอบหาค่าพิกัดเหลว	87
ก-20	ค่าความถ่วงจำเพาะของพลาสติก PET	88
ก-21	ค่าปริมาณความชื้นของพลาสติก PET	88
ก-22	ค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์	89
ข-1	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกประสาน อัตราส่วน 1:6 ที่อายุการบ่ม 7 วัน	92
ข-2	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกประสาน อัตราส่วน 1:6 ที่อายุการบ่ม 14 วัน	94

สารบัญตาราง (ต่อ)

ข-3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกประสาน อัตราส่วน 1:6 ที่อายุการบ่ม 28 วัน 96
ข-4 ผลการทดสอบความหนาแน่นแห้งของอิฐบล็อกประสาน อัตราส่วน 1:6
ที่อายุการบ่ม 28 วัน 98
ข-5 ผลการทดสอบการดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสาน อัตราส่วน 1:6
ที่อายุการบ่ม 28 วัน 100

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	อิฐบล็อกประสาน	5
2.2	เครื่องอัดบล็อกประสานแบบซินวาแรม (แบบมือโยก)	6
2.3	เครื่องอัดบล็อกประสานแบบไฮโดรลิค	6
2.4	กราฟความต้านทานแรงอัดที่อัตราส่วนผสมต่างๆ	12
2.5	ลักษณะวิธีการบ่มด้วยความชื้น	13
2.6	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและค่าปริมาณความชื้น	15
3.1	การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุผสม	22
3.2	การทดสอบหาขนาดคละ และค่าโมดูลัสความละเอียดของดินลูกรัง	23
3.3	การชั่งวัสดุผสม	24
3.4	ขั้นตอนผสมวัสดุผสม	24
3.5	ขั้นตอนใช้ค้อนตอกดิน	24
3.6	ปาดแต่งวัสดุมวลรวมหน้าโมล	25
3.7	ขั้นตอนชั่งน้ำหนักโมล	25
3.8	การนำดินออกจากโมล	25
3.9	การเก็บตัวอย่างดินและชั่งน้ำหนัก	26
3.10	เก็บตัวอย่างทั้งหมด 3 ตัวอย่าง	26
3.11	ชั่งน้ำหนักหลังผ่านการอบ	26
3.12	ขนาดอิฐบล็อกประสาน	27
3.13	ชั่งส่วนผสม	28
3.14	ผสมวัสดุเข้าด้วยกัน	29
3.15	นำส่วนผสมทั้งหมดเข้าเครื่องอัด	29
3.16	นำก้อนตัวอย่างออกจากเครื่องอัด	29
3.17	เก็บก้อนตัวอย่างไว้ที่ร่ม ให้เซ็ตตัว	30
3.18	รดน้ำหรือฉีดพ่นน้ำที่อิฐบล็อกประสาน	30
3.19	นำอิฐบล็อกประสานบ่มในถุง	31
3.20	นำก้อนตัวอย่างมาทำเครื่องหมาย	31
3.21	นำก้อนตัวอย่างมาเขียนเครื่องหมาย	32
3.22	วัดขนาดก้อนตัวอย่าง	32
3.23	ตัดด้านบนหัวอิฐบล็อกประสาน	33
3.24	ปูนมอร์ตาร์หยอดที่รูอิฐบล็อกปประสาน	33
3.25	เคลือบผิวด้วยปูนปลาสเตอร์	33

สารบัญภาพ (ต่อ)

3.26 นำก้อนตัวอย่างเข้าเครื่องทดสอบ 34
3.27 ก้อนตัวอย่างถึงจุดประลัย 34
3.28 นำก้อนตัวอย่างแช่น้ำ 24 ชั่วโมง แล้วชั่งหามวล 35
3.29 นำก้อนตัวอย่างแช่น้ำ 24 ชั่วโมง แล้วชั่งหามวล 35
3.30 ชั่งน้ำหนักอิ่มตัวด้วยน้ำ 36
3.31 อบก้อนตัวอย่างอุณหภูมิ 105±5 องศาเซียลเซียส ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง 36
3.32 ชั่งน้ำหนักก้อนตัวอย่างในน้ำ 36
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและปริมาณน้ำที่เหมาะสมของอัตราส่วนที่ออกแบบ 41
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและการดูดซึมน้ำของอิฐบล็อกประสานของอัตราส่วนที่ออกแบบ 43
4.3 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงอัด และอัตราส่วนผสมกับอายุการบ่มของอิฐบล็อกประสาน 44
ก-1 ปริมาณน้ำสูงสุดและความหนาแน่นแห้งสูงสุด Control ครั้งที่ 1 55
ก-2 ปริมาณน้ำสูงสุดและความหนาแน่นแห้งสูงสุด Control ครั้งที่ 2 57
ก-3 ปริมาณน้ำสูงสุดและความหนาแน่นแห้งสูงสุด Control ครั้งที่ 3 59
ก-4 ปริมาณน้ำสูงสุดและความหนาแน่นแห้งสูงสุด PET5 ครั้งที่ 1 61
ก-5 ปริมาณน้ำสูงสุดและความหนาแน่นแห้งสูงสุด PET5 ครั้งที่ 2 63
ก-6 ปริมาณน้ำสูงสุดและความหนาแน่นแห้งสูงสุด PET5 ครั้งที่ 3 65
ก-7 ปริมาณน้ำสูงสุดและความหนาแน่นแห้งสูงสุด PET10 ครั้งที่ 1 67
ก-8 ปริมาณน้ำสูงสุดและความหนาแน่นแห้งสูงสุด PET10 ครั้งที่ 2 69
ก-9 ปริมาณน้ำสูงสุดและความหนาแน่นแห้งสูงสุด PET10 ครั้งที่ 3 71
ก-10 ปริมาณน้ำสูงสุดและความหนาแน่นแห้งสูงสุด PET15 ครั้งที่ 1 73
ก-11 ปริมาณน้ำสูงสุดและความหนาแน่นแห้งสูงสุด PET15 ครั้งที่ 2 75
ก-12 ปริมาณน้ำสูงสุดและความหนาแน่นแห้งสูงสุด PET15 ครั้งที่ 3 77
ก-13 ปริมาณน้ำสูงสุดและความหนาแน่นแห้งสูงสุด PET20 ครั้งที่ 1 79
ก-14 ปริมาณน้ำสูงสุดและความหนาแน่นแห้งสูงสุด PET20 ครั้งที่ 2 81
ก-15 ปริมาณน้ำสูงสุดและความหนาแน่นแห้งสูงสุด PET20 ครั้งที่ 3 83
ก-16 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ผ่านและขนาดตะแกรง 86
ก-17 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นและจำนวนครั้งการตอก 87

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัจจุบันมีหลายหน่วยงานของภาครัฐสนับสนุนให้มีการใช้อิฐบล็อกประสานในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยในระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนัก เนื่องจากเป็นการลดต้นทุนในการก่อสร้างและเป็นการใช้วัตถุดิบที่มีในท้องถิ่นในการผลิตอิฐบล็อกประสาน และยังเป็นการลดการใช้ปูนซีเมนต์ ซึ่งเป็นสาเหตุของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศในสัดส่วนร้อยละ 7 ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดทั่วโลก ที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ข้อดีของการใช้อิฐบล็อกประสานคือเป็นวัสดุที่ใช้ก่อสร้างบ้านด้วยระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนัก (load bearing wall) โดยไม่ต้องใช้เสาหรือคาน จึงเหมาะสำหรับการก่อสร้างในชนบท เนื่องจากเป็นการลดการใช้ไม้แบบ เหล็กเสริมและปูนซีเมนต์ ซึ่งเป็นวัสดุที่มีราคาแพงและต้องขนส่งจากแหล่งผลิตที่อยู่ห่างไกล นอกจากนี้ดินลูกรัง ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตอิฐบล็อกประสานก็สามารถหาได้ทั่วทุกภูมิภาคของประเทศ และจากการที่ผิวของอิฐบล็อกประสานมีผิวเรียบและสีสันสวยงามจึงไม่จำเป็นต้องทำการฉาบปูน ทำให้ค่าก่อสร้างด้วยระบบนี้มีราคาถูกกว่าระบบเสา-คาน ถึงร้อยละ 20-30 นอกจากนี้ ยังสามารถนำไปเป็นวัสดุตกแต่งได้อย่างสวยงาม เช่น ก่อเป็นผนังของบ่อน้ำสำหรับแต่งสวน หรือก่อเป็นรั้ว สิ่งหนึ่งที่อิฐบล็อกประสานมีความได้เปรียบวัสดุก่อสร้างชนิดอื่น ๆ ในประเภทเดียวกัน คือ การลดอุณหภูมิภายในอาคาร ช่วยทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายค่าไฟฟ้าได้ส่วนหนึ่ง เพราะความหนาของอิฐบล็อกประสานประมาณ 5 นิ้ว และน้ำหนักประมาณ 5 - 7 กิโลกรัม จึงทำให้ความร้อนจากแสงแดดระบายความร้อนออกมาอีกด้านหนึ่งน้อยมาก (www.thai-blockprasan.blogspot.com)

ขยะของเสีย โดยเฉพาะพลาสติก นับเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยตรง ทำให้มีหลายคนพยายามที่จะคิดค้นวิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวนี้อย่างสร้างสรรค์ ซึ่งการเก็บรวบรวมขยะพลาสติกเหล่านี้เพื่อนำมาใช้ประโยชน์อย่างอื่น ก็เป็นอีกหนึ่งวิธีการที่น่าสนใจอย่างยิ่ง ตัวอย่างเช่น บริษัท ByFusion จากสหรัฐอเมริกา ได้มีแนวคิดพัฒนาเทคโนโลยีรีไซเคิลขยะพลาสติกจากเป็นอิฐบล็อกก่อสร้าง ที่มีความแข็งแรงสามารถนำมาใช้งานได้จริง ซึ่งวิธีการดังกล่าวนี้จะเป็นการแก้ไขปัญหาอย่างยั่งยืน และสร้างคุณประโยชน์มากกว่าการนำขยะพลาสติกไปทำลายทิ้ง ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ และก่อให้เกิดปัญหาต่อสภาพแวดล้อม (ภัทรภณ, 2563) ขวดพลาสติกเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ก่อให้เกิดขยะพลาสติกปริมาณมหาศาลไม่แพ้ถุงพลาสติก โดยขวดพลาสติกที่ใช้บรรจุเครื่องดื่มทั้งหลายที่ถูกผลิตขึ้นมาจำนวนมาก และก็มีบางส่วนเท่านั้นที่ถูกจัดเก็บและนำเข้ากระบวนการรีไซเคิลอย่างเหมาะสม ทำให้ขวดพลาสติกที่เหลือต้องถูกนำไปฝังกลบ และบางส่วนก็เล็ดลอดลงสู่ทะเลส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมแวดล้อมอย่างมาก หลายประเทศจึงหันมารณรงค์ในเรื่องการรีไซเคิลขวดพลาสติกเพื่อช่วยลดปัญหาขยะโลก (Eco inclusion, 2014) และจากการวิจัยของ Ennahal, et al. (2021) พบว่าการนำขยะพลาสติกมาเป็นมวลรวม ทำให้มวลรวมมีน้ำหนักเบาและการดูดซึมน้ำต่ำเมื่อเทียบกับมวลรวมธรรมชาติ และสามารถทดแทนมวลรวมทรายได้ถึงร้อยละ 30 สำหรับผลิตมอร์ตาร์

วิกฤตการแพร่ระบาดของไวรัสโควิด-19 ในช่วงปี 2563 ถือว่าเป็นปรากฏการณ์ของขยะพลาสติกที่เพิ่มขึ้นพุ่งพรวดขึ้นร้อยละ 40 และเมื่อโควิด-19 กลับมาระบาดในระลอกใหม่อีกครั้งตั้งแต่ช่วงเดือนเมษายน 2564 จนถึงขณะนี้ยิ่งเป็นการซ้ำเติมสถานการณ์ปัญหาขยะพลาสติกให้หนักหน่วงมากขึ้นโดยพลาสติกที่เกิดขึ้นใหม่มีจำนวน 27.35 ล้านตัน /ปี แต่มีพลาสติกเพียงร้อยละ 20 ที่ถูกนำกลับมาใช้ใหม่และยังมีพลาสติกอีกร้อยละ 80 ที่ถูกทิ้งอยู่ตามถังขยะ (กรมควบคุมมลพิษ , 2563) และในปี 2563 มีการใช้ขวดน้ำพลาสติกโพลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene Terephthalate : PET) ประมาณ 386,000 ตันต่อปี (บริษัท คัดแยกขยะเพื่อรีไซเคิล วงษ์พาณิชย์ จำกัด , 2563) เนื่องจากกฎหมายประเทศไทยห้ามไม่ให้นำพลาสติกใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่กับบรรจุภัณฑ์ที่สัมผัสกับอาหารซึ่งข้อห้ามนี้ครอบคลุมถึงเม็ดพลาสติกรีไซเคิลที่ผ่านการกระบวนการรีไซเคิลแล้ว (Recycled Polyethylene Terephthalate: rPET) โดยขณะนี้ยังอยู่ในช่วงของการผลักดันให้มีการพิจารณาแก้กฎหมายเพื่อให้สามารถนำ rPET มาใช้แต่เม็ดพลาสติกรีไซเคิล rPET สามารถนำไปผลิตเป็นสินค้าได้อีกหลากหลาย ไม่ว่าจะเป็น เสื้อผ้ายืด เสื้อกันหนาว พรม และใยสังเคราะห์ในหมอนได้ กระเป๋าเป้ รองเท้า ส่วนฝาขวดซึ่งเป็นพลาสติกประเภท HDPE สามารถรีไซเคิลและนำมาทำขวดน้ำมันเครื่อง ท่อลังพลาสติก และไม้เทียม (Brand Buffet, 2019) และเมื่อขวดพลาสติกเป็นวัสดุที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพซึ่งประกอบด้วย PET และใช้เวลาประมาณ 450 ปี ในการย่อยสลายในมาเลเซียพลาสติกเกือบร้อยละ 13.2 มีส่วนทำให้เกิดขยะมูลฝอยในเขตเทศบาลโดยที่ร้อยละ 2.5 เป็นขยะ PET เพื่อลดปริมาณขยะจึงได้ริเริ่มอิฐประสานที่ผลิตโดยขวดพลาสติกเหลือทิ้งถูกนำมาใช้แทนอิฐธรรมดาที่ใช้ซีเมนต์และดินเหนียว โดยนำขวดพลาสติกที่ประกอบด้วย PET และ Polyurethane binder กลับมาใช้ใหม่โดยการผลิตอิฐประสานที่ช่วยลดปริมาณขยะพลาสติกและมลพิษ (Alaloul, et.al., 2020) โดยในปัจจุบันได้มีการนำขวด PET มาประยุกต์ใช้งานก่อสร้างหลายชนิดยกตัวอย่าง เช่น (ภัทรภณ, 2563) นำขวด PET ผลิตคอนกรีตบล็อกสามารถทำให้คอนกรีตบล็อกรับกำลังรับแรงอัดได้มากขึ้น แคโรไลน์ แชเฟอร์ และไมเคิล ออร์เตก้า นักศึกษาจาก MIT ได้ค้นพบความเป็นไปได้ที่จะรวมเอาพลาสติกเข้ากับคอนกรีตนี้ในชั้นเรียนวิชาโครงการออกแบบระบบนิวเคลียร์ ซึ่งในอนาคตทีมวิจัยมีความตั้งใจจะทดลองกับพลาสติกชนิดอื่น ๆ ด้วยรังสีแกมม่าแบบอื่น ๆ ด้วย เพื่อดูความเปลี่ยนแปลงของคอนกรีตที่ได้ (Builder News, 2017) และ (Thorneycroft, et al., 2018) นำขวด PET ไปทดแทนทรายในการผลิตคอนกรีต

ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการผลิตนวัตกรรมจากขยะพลาสติก PET สู่การนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างเป็นรูปธรรม แก้ไขปัญหาและการจัดการขยะอย่างครบวงจร โดยใช้เทคโนโลยีและนวัตกรรมในการสร้างมูลค่าเพิ่มให้ขยะพลาสติก สร้างรายได้แก่ชุมชน สร้างความตระหนักต่อปัญหาการจัดการขยะพลาสติกในวงกว้าง รวมทั้งสร้างระบบเศรษฐกิจแบบหมุนเวียนที่มุ่งลดของเสียและใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด มุ่งสร้างความตระหนักในด้านสิ่งแวดล้อมและรณรงค์ให้ประชาชนมีส่วนร่วมในการแก้ปัญหาขยะในพื้นที่แหล่งท่องเที่ยวทางทะเลในประเทศไทยรวมถึงพื้นที่ชายฝั่ง พร้อมทั้งสนับสนุนการจัดเก็บขยะพลาสติกประเภท PET เช่น ขวดพลาสติกใส และขยะพลาสติกประเภท PET เช่น ถุงพลาสติก ที่ทิ้งในทะเลและพื้นที่ชายฝั่งมาใช้ซ้ำโดยการแปรรูปเป็นวัตถุดิบที่มีมูลค่าสูงขึ้น เพื่อสนับสนุนการใช้ประโยชน์จากขยะพลาสติกอย่างคุ้มค่าและยาวนาน มุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีเป้าหมายสำคัญ คือ ส่งเสริมการจัดการปัญหาขยะพลาสติกใน

ทะเลอย่างยั่งยืน ผ่านการแปรรูปขยะพลาสติกให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) ช่วยส่งเสริมการท่องเที่ยวอย่างรับผิดชอบ (Responsible Tourism) และการอนุรักษ์ท้องทะเลไทยอย่างยั่งยืน มุ่งให้ประชาชนช่วยแก้ปัญหาขยะพลาสติก ในพื้นที่แหล่งท่องเที่ยวทางทะเลในประเทศไทย นำกลับมาแปรรูปเป็นวัสดุก่อสร้าง ตามแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) ซึ่งนอกจากจะช่วยสนับสนุนการใช้ประโยชน์จากพลาสติกอย่างคุ้มค่า ยังสามารถนำไปสู่การลดขยะในทะเลและอนุรักษ์ท้องทะเลให้มีความอุดมสมบูรณ์ และสวยงามเพื่อการจัดการขยะในทะเลอย่างยั่งยืน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาอิฐบล็อกประสานโดยใช้ขยะพลาสติก PET แทนที่ดินลูกรังบางส่วน ให้มีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐาน มผช. 602/2547

1.2.2 เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการนำขยะพลาสติก PET แทนที่ดินลูกรัง สำหรับผลิตอิฐบล็อกประสาน

1.2.3 สร้างนวัตกรรมอิฐบล็อกประสานผสมขยะพลาสติก PET โดยมีคุณสมบัติด้านการดูดกลืนน้ำต่ำ มีน้ำหนักเบา และต้นทุนการผลิตต่ำ

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 อิฐบล็อกประสานทดสอบมีขนาด 12.5 × 25.0 × 10.0 เซนติเมตร

1.3.2 อัตราส่วนในการผสมอิฐบล็อกประสาน (ปูนซีเมนต์: ดินลูกรัง) เท่ากับ 1: 7 โดยน้ำหนัก

1.3.3 อัตราส่วนการแทนที่ดินลูกรังด้วยขยะพลาสติก PET ร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยปริมาตร

1.3.4 ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตรา SCG

1.3.5 ใช้ดินลูกรังที่ใช้ ได้จากอำเภอขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช นำมาร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน เบอร์ 4

1.3.6 ปริมาณน้ำที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปตัวอย่าง โดยทดสอบตามมาตรฐาน Standard Proctor Test (Optimum Moisture Content, OMC) ตามมาตรฐาน ASTM D698

1.3.7 การทดสอบคุณสมบัติของมวลรวม

1.3.7.1 ทดสอบขนาดคละของดินลูกรัง ตามมาตรฐาน ASTM C33

1.3.7.2 ทดสอบหน่วยน้ำหนักของดินลูกรัง ตามมาตรฐาน ASTM C29

1.3.7.3 ทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของดินลูกรัง ตามมาตรฐาน ASTM C127

1.3.7.4 ทดสอบค่าการดูดซึมน้ำของดินลูกรัง ตามมาตรฐาน ASTM C127

1.3.8 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของอิฐบล็อกประสาน

1.3.8.1 กำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกประสานที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน ตามมาตรฐาน ASTM C140

1.3.8.2 ความหนาแน่นของอิฐบล็อกประสานที่อายุ 28 วัน ตามมาตรฐาน ASTM C140

1.3.8.3 ปริมาณการดูดซึมน้ำของอิฐบล็อกประสานที่อายุ 28 วัน ตามมาตรฐาน ASTM C140

1.3.8.4 การหดตัวแห้งของอิฐบล็อกประสาน ที่อายุ 28 วัน ตามมาตรฐาน ASTM C426

1.3.9 ศึกษาคุณสมบัติทางกลโดยเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 602-2547)

1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1.4.1 รวบรวมขยะพลาสติกประเภทขวดพลาสติก PET ในอำเภอขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช แล้วนำมาบด

1.4.2 ทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุผสม (ดินลูกรัง และขยะพลาสติก PET)

1.4.3 หาปริมาณน้ำที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปตัวอย่าง โดยทดสอบตามมาตรฐาน Standard Proctor Test (Optimum Moisture Content, OMC) ตามมาตรฐาน ASTM D698

1.4.4 ออกแบบอัตราส่วนผสมอิฐบล็อกประสานผสมขยะพลาสติก PET

1.4.5 ผลิตอิฐบล็อกประสานตัวอย่างขนาด 12.5 × 25.0 × 10.0 เซนติเมตร ทำการอัดอิฐบล็อกประสานเรียบร้อยแล้วจึงถอดคอนกรีตหล่อออกจากแบบหล่อ ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปบ่มในน้ำตามระยะเวลาที่ทำการทดสอบ โดยจะทำการเตรียมชิ้นทดสอบในแต่ละอัตราส่วน จำนวน 5 ก้อน รวมทั้งหมดจำนวน 75 ก้อน

1.4.6 ทดสอบกำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกประสาน ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 109-2517หรือมาตรฐาน ASTM C140 ที่อายุการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

1.4.7 ทดสอบหาค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรและการดูดซึมน้ำของอิฐบล็อกประสาน ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 109-2517 หรือมาตรฐาน ASTM C140 ที่อายุการบ่ม 28 วัน

1.4.8 วิเคราะห์ผลการศึกษา

1.4.9 สรุปผลการศึกษาและจัดทำรูปเล่ม

1.4.10 นำเสนอผลการศึกษาในงานประชุมวิชาการต่างๆ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและการนำโครงการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1.5.1 ทราบคุณสมบัติของอิฐบล็อกประสานที่ใช้ขยะโพลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET)

1.5.2 ทราบส่วนผสมที่เหมาะสมในการใช้ขยะโพลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) ทดแทนดินลูกรังในการผลิตอิฐบล็อกประสาน

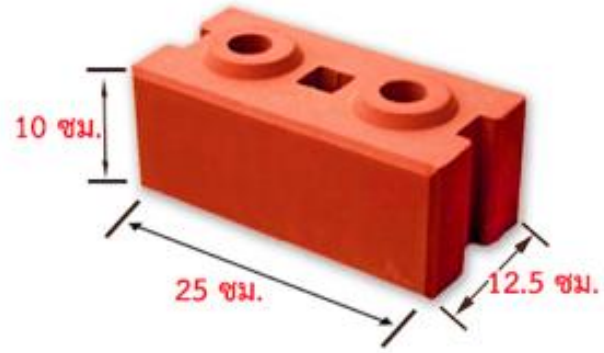
1.5.3 นวัตกรรมอิฐบล็อกประสานที่ใช้ขยะโพลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต ที่มีคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 602/2547)

1.5.4 เพิ่มมูลค่าให้กับขยะโพลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) และช่วยลดต้นทุนในการผลิตอิฐบล็อกประสานสำหรับผู้ประกอบการ

บทที่ 2
ทฤษฎีที่สำคัญและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อิฐบล็อกประสาน

อิฐบล็อกประสานมีชื่อเรียกหลายอย่าง เช่น บล็อกประสาน บล็อกประสาน วว. ดินซีเมนต์บล็อก และอิฐดินแดง เป็นต้น อิฐบล็อกประสานที่นิยมใช้มีขนาดดังภาพที่ 2.1 หน่วยงานที่มีการสนับสนุนการใช้บล็อกประสานอย่างจริงจัง ได้แก่ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย บล็อกประสานเป็นวัสดุก่อสำหรับอาคารในระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนัก ช่วยลดต้นทุนค่าก่อสร้าง และระยะเวลาการก่อสร้าง บล็อกประสานผลิตจาก ดินลูกรัง ทราย และนำมาผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสม แล้วนำมาอัดเป็นก้อนด้วยเครื่องอัดบล็อกประสานด้วยมือ ซึ่งเรียกว่า เครื่องซินวาแรม (Cinva-ramblock molding machine) ดังภาพที่ 2.2 หรือแบบระบบไฮโดรลิก ดังภาพที่ 2.3 เมื่อได้บล็อกประสานสำเร็จรูปออกมา ก็นำมาผึ่งลมและแดดและหล่อเลี้ยงด้วยน้ำเป็นช่วง ๆ เก็บไว้ประมาณ 10 - 15 วัน เนื้ออิฐจะจัดตัวกันแน่น จนมีความแข็งแกร่ง (ประณต, 2548)



ภาพที่ 2.1 อิฐบล็อกประสาน (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2555)
แห่งประเทศไทย, 2555)

อิฐบล็อกประสานมีความสวยงามตามธรรมชาติ ไม่ต้องฉาบปูนหรือทาสี มีความแข็งแกร่งทนทาน สามารถนำมาก่อสร้างบ้านด้วยระบบผนังรับน้ำหนัก ไม่ต้องใช้ช่างฝีมือสูงในการก่อสร้าง สามารถนำไปสร้างอาคารสำนักงาน หรือบ้านพักอาศัย อาคารที่สร้างด้วยระบบนี้ประหยัดค่าก่อสร้างได้ในส่วนของงานโครงสร้าง (ปูนซีเมนต์ เหล็กเสริม ไม้แบบ และค้ำยัน) งานสถาปัตยกรรม เนื่องจากไม่จำเป็นต้องฉาบหรือทาสี จากการศึกษาสถานการณ์การใช้บล็อกประสานในปัจจุบัน พบว่ามีประชาชนให้ความสนใจบล็อกประสานเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากราคาวัสดุก่อสร้างไม่ว่าจะเป็นปูนซีเมนต์และเหล็กเสริม มีราคาเพิ่มสูงขึ้นตามสภาวะของราคาน้ำมันในตลาดโลก การที่ประชาชนนิยมนำบล็อกประสานมาตกแต่งสถานที่ ก็เป็นอีกทางหนึ่งที่ทำให้ผู้พบเห็นมีความสนใจและนำบล็อกประสานไปใช้เพิ่มมากขึ้น แต่ข้อมูลที่จำเป็นเกี่ยวกับคุณสมบัติในการรับน้ำหนักหรือข้อควรระวังในการใช้ยังมีน้อยมาก ดังนั้นการวิจัยเกี่ยวกับบล็อกประสานจึงควรทำอย่างต่อเนื่องทั้งในแง่ของงานโครงสร้างและองค์ประกอบอื่น ๆ ของอิฐประสาน

ภาพที่ 2.2 เครื่องอัดบล็อกประสานแบบซินวาแรม (แบบมือโยก)

ภาพที่ 2.3 เครื่องอัดบล็อกประสานระบบไฮโดรลิก

2.1.2 วัสดุที่ใช้ในการผลิตบล็อกประสาน

วัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมอิฐบล็อกประสานมีดังนี้

2.1.2.1 ปูนซีเมนต์ หมายถึง สารประกอบที่มีลักษณะเป็นผง บดละเอียดเมื่อได้ผสมกับน้ำตามอัตราส่วนที่พอดีแล้วทิ้งไว้ระยะหนึ่งจะแข็งตัว โดยมนุษย์ในสมัยโบราณได้ค้นพบว่าเมื่อเอาหินบางชนิดมาทำการเผาจนสลายเป็นผงแล้วบดให้ละเอียดแล้วนำมาผสมน้ำทิ้งไว้ชั่วเวลาหนึ่ง จะได้ผลผลิตที่แข็งเป็นก้อนเปรียบเสมือนหิน เป็นรูปร่างตามต้องการปูนซีเมนต์ ในปัจจุบันปูนซีเมนต์ทำจากวัตถุดิบที่มีธาตุอะลูมินั่ม หรือซิลิก้า ซึ่งได้แก่ ดินดำ ดินขาว หรือศิลาแลง ซึ่งมีธาตุเหล็กมาผสมเข้าด้วยกัน ปูนซีเมนต์ที่ผลิตในประเทศไทย ส่วนใหญ่จะผลิตตามมาตรฐานของอเมริกา (ASTM C-150) และของอังกฤษ (British Standard; B.S.) ตามมาตรฐานมอก.15 ของไทยได้แบ่งปูนซีเมนต์ออกเป็น 5 ประเภทคือ

1) Normal Portland Cement เป็นปูนซีเมนต์ธรรมดาเหมาะกับงานก่อสร้างคอนกรีตทั่ว ๆ ไปที่ไม่ต้องการคุณสมบัติพิเศษเพิ่มเติม เช่น คานเสาพื้นถนน ค.ส.ล. เป็นต้น แต่ไม่เหมาะกับงานที่ต้องสัมผัสกับเกลือซัลเฟต ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่มีจำหน่าย ได้แก่ ตราช้างเพชร (เม็ดเดียว) พญานาคเขียว TPI (แดง) ภูเขาและดาวเทียม

2) Modified Portland Cement เป็นปูนซีเมนต์ดัดแปลงเพื่อให้สามารถต้านทานเกลือซัลเฟตได้ปานกลางและ จะเกิดความร้อนปานกลางในช่วงหล่อเหมาะกับงานโครงสร้างขนาดใหญ่ เช่น ตอม่อสะพานท่าเทียบเรือ เขื่อน เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่เคยมีจำหน่ายได้แก่ ตราพญานาคเจ็ดเศียร (ปัจจุบันเลิกผลิตแล้ว)

3) High-Early Strength Portland Cement เป็นปูนซีเมนต์ที่สามารถให้กำลังได้รวดเร็วในเวลาอันสั้น หลังจากเทแล้วสามารถใช้งานได้ภายใน 3 - 7 วันเหมาะกับงานที่เร่งด่วน เช่น คอนกรีตอัดแรง เสาเข็ม พื้นถนนที่จราจรคับคั่ง เป็นต้นผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่มีจำหน่าย ได้แก่ ตราเอราวัณสามเพชร TPI (ดำ) และพญานาคแคง

4) Low-Heat Portland Cement เป็นปูนซีเมนต์ชนิดพิเศษที่มีอัตราความร้อนต่ำกำลังของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ซึ่งส่งผลดีทำให้การขยายตัวน้อยช่วยลดการแตกร้าว เหมาะกับงานสร้างเขื่อนขนาดใหญ่ ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ในประเทศไทยยังไม่มีการผลิตจำหน่าย

5) Sulfate-Resistant Portland Cement เป็นปูนซีเมนต์ที่ทนต่อเกลือซัลเฟตได้สูง เหมาะกับงานก่อสร้างบริเวณดินเค็ม หรือใกล้กับทะเล ผลิตภัณฑ์ ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่มีจำหน่าย ได้แก่ ตราปลาฉลาม TPI (ฟ้า) และตราช้างฟ้า (ปัจจุบันเลิกผลิตแล้ว)

ในการผลิตบล็อกประสาน ปูนซีเมนต์ที่ใช้จะเลือกใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ควรเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอรตแลนด์ เลม 1 ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพมาตรฐานเลขที่ มอก.15 เล่ม 1

2.1.2.2 ดินลูกรัง (Skeletal Soils)

ดินที่ใช้ในการผลิต วัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสม หรือมวลรวมละเอียดของบล็อกประสานควรมีขนาดเล็กกว่า 4 มม. ได้แก่ ดินลูกรัง หินฝุ่น ทราย และเถ้าลอย (Fly Ash) จากโรงงานผลิตไฟฟ้า โดยมวลรวมละเอียดที่ใช้ควรมีลักษณะตามมาตรฐานการแบ่งชั้นคุณภาพดินและมวลรวม สำหรับงานก่อสร้างทางหลวง (ASTM D3282 Standard Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes) คือ มีฝุ่นดินไม่เกินร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก หรือทดสอบเบื้องต้นโดยนำดินใส่ขวดครึ่งหนึ่ง เติมน้ำแล้วเขย่าให้เข้ากัน เมื่อหยุดเขย่า สังเกตส่วนที่ตกตะกอนทันทีแล้วขีดเส้นไว้ รอจนตกตะกอนทั้งหมดจนน้ำใส แล้ววัดตะกอนฝุ่นไม่ควรเกินร้อยละ 15 โดยปริมาตร ถ้าวัตถุดิบมีมวลหยาบผสมอยู่มากสามารถใช้เครื่องบดร่อน จะทำให้ผิวบล็อกเรียบขึ้น ต้องทดสอบคุณภาพดินหรือมวลรวมเนื่องจากดินแต่ละแหล่งจะมีคุณสมบัติต่างๆ ที่ไม่เหมือนกัน ดินบางประเภทเหมาะสมต่อการใช้งาน แต่บางประเภทที่ไม่เหมาะสมต่อการใช้งาน ถ้านำมาใช้จะทำให้ต้นทุนการผลิตสูง หรือเมื่อผลิตออกมาแล้วจะได้บล็อกที่ไม่แข็งแรง บล็อกประสานเป็นคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักประเภทหนึ่งที่ใช้เป็นโครงสร้างแทนเสาคานได้ ซึ่งมีความแข็งแกร่งสูงกว่าอิฐ หรือคอนกรีตบล็อกทั่วไปที่ขายตามท้องตลาดมาก เพราะอิฐทั่วไปใช้เป็นผนังไม่รับน้ำหนักได้เพียงอย่างเดียว ปูนซีเมนต์จึงเป็นต้นทุนวัตถุดิบหลักที่มากที่สุด ในการผลิตบล็อก 1 ก้อนเพื่อให้ได้ความ

แข็งแกร่งเพียงพอ การคัดเลือกและหาส่วนผสมดินที่ดีอาจช่วยลดสัดส่วนการใช้ปูนซีเมนต์ต่อก้อนได้สูงสุดจากอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดิน 1: 6 เป็น 1: 12 ได้ ซึ่งลดการใช้ปูนซีเมนต์ได้ครึ่งหนึ่ง หรือประมาณ 50 สตางค์ต่อก้อน การทดสอบเพื่อกำหนดสูตรส่วนผสมโดยละเอียด เพิ่มการกำหนดสัดส่วนปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการผลิตตามหลักสถิติ เพื่อให้ได้สัดส่วนที่ใช้ปูนซีเมนต์น้อยที่สุด โดยการปรับอัตราส่วนปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการผสม และนำมาหาค่าความต้านทานแรงอัด ซึ่งจะทำให้ทราบค่าความสัมพันธ์ระหว่างปูนซีเมนต์ที่ใช้ และความต้านทานแรงอัด และกำหนดสัดส่วนปูนซีเมนต์ให้ได้ค่าความต้านทานแรงอัดที่ประมาณ 70+ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร เผื่อไว้ เพื่อความสบายใจของผู้ใช้ และปริมาณการขายในอนาคต อัตราส่วนผสมที่แท้จริงจะขึ้นอยู่กับการผลิตจะสามารถผลิตบล็อกให้รับกำลังผ่านมาตรฐานได้ที่อัตราส่วนเท่าไร ดังนั้นถ้าหากมีแหล่งดิน และเครื่องจักรพร้อมอยู่แล้วอาจลองอัดบล็อก 12 ที่หลายๆ อัตราส่วน ไล่ตั้งแต่ 1: 5 ถึง 1: 10 แล้วพิจารณาว่าอัตราส่วนใดที่ใช้แล้วทำงานง่าย บล็อกแข็งแรงดี ขอบมุม ไม่รุ่ย ไม่ร้าวเมื่อแห้ง ไม่ยุ่ยเมื่อถูกน้ำ แล้วค่อยทดสอบการรับกำลังอัดว่าผ่านมาตรฐานหรือไม่ ถ้าผ่านก็ถือว่าใช้ได้ อัตราส่วนผสมที่แท้จริงจะดูจากใช้ปูนซีเมนต์ผลทดสอบการรับกำลังอัดว่าผสมที่อัตราส่วนเท่าไร แล้วกำลังรับแรงอัดยังผ่านมาตรฐานอยู่เพราะถ้าผสมปูนซีเมนต์มากเกินก็จะเปลืองต้นทุนโดยเปล่าประโยชน์ แต่ถ้าน้อยเกินก็อาจได้กำลังไม่เพียงพอ การพัฒนาส่วนผสมดินด้วยตนเองกรณีฝุ่นดินมากจากที่ได้กล่าวในการทดสอบดินด้วยตนเองเราต้องการเนื้อฝุ่นไม่เกินร้อยละ 35 ถ้ามีเนื้อฝุ่นมากเราอาจผสมหินฝุ่นหรือทรายเลือกวัตถุดิบตัวที่มีราคาถูก นำขวดเปล่ามาชั่งน้ำหนัก ตวงดินใส่ขวดประมาณ 1/3 ของขวด ชั่งน้ำหนักขวดจะได้น้ำหนักดินที่ใช้หรือปริมาตรที่ตวง เติมน้ำไว้ครึ่งขวด นำหินฝุ่นหรือทรายมาชั่งน้ำหนักแล้วค่อยๆ เติมลงในขวดเดียวกัน จนสัดส่วนฝุ่นดินลดลงจนเหลือประมาณร้อยละ 35 ชั่งน้ำหนักดินที่เหลือหรือจำนวนปริมาตรที่ตวงใส่ขวด จะได้ส่วนผสมวัตถุดิบโดยประมาณสำหรับผลิตบล็อกประสานให้มีคุณภาพดี

2.1.2.3 น้ำ

น้ำที่ใช้ในการผสมดินซีเมนต์ต้องเป็นน้ำสะอาด ปราศจากสารเจือปน หรือสารอินทรีย์ต่าง ๆ ไม่มีความเป็นกรดด่าง หรือคราบน้ำมัน ดังนั้นถ้าไม่แน่ใจก็ใช้น้ำสะอาดที่ใช้ดื่มได้ เพราะว่าน้ำจะเป็นตัวเข้าไปทำปฏิกิริยากับซีเมนต์โดยตรง ดังนั้นถ้าในน้ำมีสารอินทรีย์ หรือมีสภาพเป็นกรด ด่าง จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ไม่เต็มที่ ทำให้ได้กำลังไม่สูงมากเท่าที่ต้องการ บล็อกที่ผลิตออกมาจะไม่ได้มาตรฐาน น้ำเป็นส่วนประกอบสำคัญควรสะอาดใสไม่มีกลิ่นไม่มีรสและสามารถดื่มได้ หรือถ้าไม่สามารถดื่มได้ก็ควรมีคุณสมบัติผ่านข้อกำหนด นอกจากนี้น้ำจะต้องไม่มีสิ่งเจือปนต่าง ๆ ที่ส่งผลเสีย โดยปกติน้ำประปาที่มีคุณสมบัติเหมาะแก่การบริโภคสามารถใช้ผสมได้น้ำที่มีคอลไรค์ เช่น น้ำทะเล น้ำเค็ม และน้ำกร่อย ไม่เหมาะกับการผสม ปริมาณน้ำที่เหมาะสมในส่วนผสมนอกจากจะมีผลต่อความแข็งแรงและความคงทน

2.1.2.4 ทรายละเอียด หินฝุ่น

ทรายละเอียด หินฝุ่น จะใช้ในกรณีที่ดินที่เป็นแหล่งวัตถุดิบมีสภาพไม่เหมาะสม และต้องมีการปรับปรุงคุณภาพก่อนนำมาผลิต เพื่อปรับสัดส่วนขนาดคละใหม่ให้มีความเหมาะสม วัสดุที่นำมาใช้ผสมเพื่อปรับขนาดคละต้องทราบแหล่งของวัตถุดิบที่แน่นอน เนื่องจากวัตถุดิบแต่ละที่คุณสมบัติจะแตกต่างกัน ทำให้เกิดความแปรปรวนได้ถ้าใช้จากคนละแหล่ง ดินที่มีขนาดคละดี คือจะ

มีสัดส่วนของดินขนาดเม็ดใหญ่ ขนาดเม็ดกลาง และขนาดเม็ดเล็ก ปนกันอยู่อย่างเหมาะสม เม็ดดินที่มีขนาดเล็กก็จะเข้าไปแทรกตัวอยู่ระหว่างเม็ดใหญ่ทำให้เกิดความแน่น และความแข็งแรงตามมา ลองเปรียบเทียบง่ายๆ กับการนำลูกปืนมาวางเรียงในกล่องจะเห็นได้ว่า จะมีช่องว่างระหว่างเม็ดลูกปืนอยู่มาก แต่ถ้าเราหาลูกปืนซึ่งมีขนาดเล็กๆ เพิ่มลงไป ช่องว่างก็จะลดลงเนื่องจากลูกปืนเม็ดเล็กจะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างลูกปืนเม็ดใหญ่

2.1.3 อัตราส่วนผสมของบล็อกประสาน

ส่วนผสมของบล็อกประสานที่เหมาะสม ได้จากทำการทดลองในห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่มีอัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมประมาณ 1 : 6 ถึง 1 : 7 โดยน้ำหนักทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของมวลรวมเป็นหลัก

2.1.3.1 สัดส่วนการผลิตวัสดุบล็อกประสานในอัตราส่วน ปูนซีเมนต์: ดินลูกรังเท่ากับ 1: 7 โดยใช้ดินลูกรังผสมทรายเท่ากัน ในจังหวัดปราจีนบุรี บล็อกมีขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 125 x 25 x 10 เซนติเมตร ผลการทดสอบกำลังแรงอัดสูงสุด 8.04 MPa ที่อายุบ่ม 28 วัน ผ่านมาตรฐาน มอก.57-2533 คอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนัก (พันธ์ศักดิ์ ดาวเรือง, 2549)

2.1.3.2 สัดส่วนการผลิตวัสดุบล็อกประสานในอัตราส่วน ปูนซีเมนต์: ดินลูกรังเท่ากับ 1: 7 ใช้ดินลูกรังในจังหวัดปราจีนบุรีและนครนายก บล็อกมีขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 12.5 x 25 x 10 เซนติเมตร ผลการทดสอบกำลังแรงอัดสูงสุด 11.21 MPa ที่อายุบ่ม 28 วัน ผ่านมาตรฐานมอก. 57 – 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนัก (พันธ์ศักดิ์ ดาวเรือง, 2552)

2.1.3.3 สัดส่วนการผลิตวัสดุบล็อกประสานในอัตราส่วน ปูนซีเมนต์: ดินลูกรังเท่ากับ 1: 6 โดยใช้ดินลูกรังเปรียบเทียบกับหินฝุ่น บล็อกมีขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 12.5 x 25 x 10 เซนติเมตร ผลการทดสอบกำลังแรงอัดสูงสุด 10.28 MPa ที่อายุบ่ม 28 วันผ่านมาตรฐานมอก. 57-2533 คอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนัก (อาทร ชูพลสัตย์ ณรงค์ กุหลาบ และณิชาภา มินาบูลย์, 2559)

2.1.3.4 สัดส่วนการผลิตวัสดุบล็อกประสานในอัตราส่วน ปูนซีเมนต์: ดินลูกรังเท่ากับ 1: 7 โดยใช้ดินลูกรังในจังหวัดราชบุรีทดแทนปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบในอัตราส่วนตั้งแต่ 5, 10, 15 และ 20% ผลการทดสอบพบว่าทดแทนในอัตราส่วน 20% ได้กำลังแรงอัดสูงสุด 14.77 MPa ที่อายุบ่ม 28 วันได้มาตรฐานมอก. 57-2533 คอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนัก (ธนธร เงินชูกลิ่น, 2554)

2.1.3.5 สัดส่วนการผลิตวัสดุบล็อกประสานในอัตราส่วน ปูนซีเมนต์: ดินลูกรังเท่ากับ 1: 4 กรณีศึกษาที่ 1 ทดแทนปูนซีเมนต์ด้วยกะลาปาล์มในอัตราส่วนตั้งแต่ 10 - 80% ผลการทดสอบพบว่าทดแทนในอัตราส่วน 60% ได้กำลังแรงอัดสูงสุด 2.98 MPa ที่อายุบ่ม 28 วันได้มาตรฐานมอก. 58-2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักและกรณีศึกษาที่ 2 ได้ทดแทนปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าปาล์มน้ำมันในอัตราส่วนตั้งแต่ 10 - 50% ผลการทดสอบพบว่าทดแทนในอัตราส่วน 50% ได้กำลังแรงอัดสูงสุด 5.50 MPa ที่อายุบ่ม 28 วันได้มาตรฐานมอก. 58–2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก (จรูญ เจริญเนตรกุล และ อัมพร หมัดแสละ, 2554)

2.1.3.6 สัดส่วนการผลิตวัสดุบล็อกประสานในอัตราส่วน ปูนซีเมนต์: ดินลูกรังเท่ากับ 1: 6 และ 1: 8 ทดแทนเถ้าลอยถ่านหินในอัตราส่วนตั้งแต่ 10 - 50% ผลการทดสอบพบว่าอัตรา 1: 6

ทดแทนในอัตราส่วน 50% ได้กำลังแรงอัดสูงสุด 3.38 MPa ที่อายุบ่ม 28 วัน ได้มาตรฐานมอก.58 - 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก (สำเร็จ สารมาคม, 2556)

จากการศึกษาวิธีการกำหนดอัตราส่วนผสมในการผลิตวัสดุบล็อกประสาน พบว่าสัดส่วนการผลิตวัสดุบล็อกประสานเมื่อทดแทนขี้เถ้าในอัตราส่วนที่สูงนั้น ควรใช้สัดส่วนการผสมในอัตราส่วนปูนซีเมนต์: ดินลูกรังเท่ากับ 1:6 สามารถรับกำลังแรงอัดได้มาตรฐานมอก. 58-2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก

สรุปจากการศึกษาวิธีการกำหนดอัตราส่วนผสมในการผลิตวัสดุบล็อกประสาน พบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมกับการผลิตวัสดุบล็อกประสานที่สามารถรับกำลังแรงอัดตามมอก. 58 - 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก ควรใช้สัดส่วนการผสมในอัตราส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์: ดินลูกรังเท่ากับ 1: 6 และ 1: 7

2.1.4 มาตรฐานของอิฐบล็อกประสาน

อิฐบล็อกประสานยังไม่มีการทำมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) แต่มีการจัดทำเป็นมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.) ได้แก่ มผช. 602/2547 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน ซึ่งแบ่งชนิดของอิฐบล็อกประสานออกเป็น 2 ชนิดคือ 1) ชนิดรับน้ำหนัก กำหนดความต้านทานแรงอัดต้องไม่น้อยกว่า 7.0 เมกะพาสคาล และมีการกำหนดค่าการดูดกลืนน้ำสูงสุด อยู่ในช่วง 208-288 กก./ลบ.ม. ขึ้นอยู่กับหน่วยน้ำหนักของบล็อกประสาน และ 2) ชนิดไม่รับน้ำหนัก กำหนดความต้านทานแรงอัดต้องไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะพาสคาล

2.1.5 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติของอิฐบล็อกประสาน

2.1.5.1 ลักษณะของดินมวลรวม ดินในแต่ละแหล่งจะมีคุณสมบัติต่างๆ ที่ไม่เหมือนกันดินบางประเภทเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานแต่บางประเภทก็ไม่เหมาะสมต่อการใช้งานซึ่งดินที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐบล็อกประสานควรมีคุณสมบัติที่สำคัญต่างๆ ตามที่ได้มีการแนะนำไว้ดังนี้

1. ดินลูกรังจะมีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 2.7 ถึง 3.0 และจากลักษณะภายนอกจะเห็นได้ชัดว่าดินจะมีสีน้ำตาลแดงมีรูปร่างเป็นก้อนเหลี่ยมมน (วรากร ไม้เรียง จิราพัฒน์ โชติไกร และประทีป ดวงเดือน, 2525)

2. ปริมาณความชื้นของดินที่เหมาะสมนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐบล็อกประสานควรมีปริมาณความชื้น 1.5% ถึง 2.0% หลังจากผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 105±5 องศาเซลเซียส และถ้าดินมีความชื้นมากเกินควรนำดินไปตากให้แห้ง (แผนธุรกิจอิฐบล็อกประสาน มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2550)

3. การผลิตอิฐบล็อกประสานให้ได้คุณภาพวัตถุต้องอยู่ในสภาพที่แห้งเพราะปริมาณความชื้นที่มากเกินจะมีผลต่อการผสมคลุกเคล้ามวลรวมกับปูนซีเมนต์ให้เข้ากันถ้าปริมาณความชื้นมากส่วนผสมจะเกาะกันเป็นก้อนทำให้ส่วนคลุกเคล้าเข้ากันได้ไม่ดีทำให้ความแข็งแรงของอิฐบล็อกประสานลดลง (วุฒินัย กกกำแหง และพิชิตเจนบรรจง, 2552)

4. ความเหนียวของดินก็มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของอิฐบล็อกประสานกล่าวคือดินที่มีความเหนียวมาก ไม่เหมาะสมสำหรับทำอิฐบล็อกประสานเนื่องจากทำให้การบดอัดให้แน่นทำได้

ยากและเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นจะทำให้อิฐ ดิน และซีเมนต์เกิดของตัว ดังนั้นดินที่เหมาะสมควรมีขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit) ไม่เกิน 50% และดัชนีพลาสติก (Plasticity Index) ไม่เกิน 18%

2.1.5.2 ปริมาณปูนซีเมนต์ การทำอิฐบล็อกประสานหากใช้ปูนซีเมนต์มากจะช่วยให้ความแข็งแรงคงทนขึ้น ปูนซีเมนต์ที่ใช้จะใช้ปูนซีเมนต์ที่เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2556)

2.1.5.3 ปริมาณน้ำ ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมอิฐบล็อกประสานดินซีเมนต์สามารถหาได้จากการทดสอบการบดอัดของดินโดยพิจารณาเลือกจากจุดที่มีค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) และปริมาณความชื้นสูงสุด (Optimum Moisture Content) ซึ่งเป็นจุดสูงสุดของโค้งที่มีปริมาณน้ำเหมาะสมที่สุดต่อการนำไปใช้ให้ความชื้นแก่ส่วนผสมในการผลิตอิฐบล็อกประสาน (แผนธุรกิจอิฐบล็อกประสานมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2550)

2.1.5.4 การบ่ม การบ่มเป็นสิ่งสำคัญที่มีผลกระทบต่อกำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกประสานดินซีเมนต์เพราะช่วยป้องกันไม่ให้ความชื้นในบล็อกประสานดินซีเมนต์หายไปและยังทำให้การทำปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์เป็นไปอย่างต่อเนื่องโดยกำลังของอิฐบล็อกประสานดินซีเมนต์จะเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่มซึ่งปกติการบ่มควรใช้เวลาอย่างน้อย 7 วัน

2.1.6 ขั้นตอนการผลิตอิฐบล็อกประสาน

1. เก็บตัวอย่างวัตถุดิบ ทดสอบแหล่งวัตถุดิบเพื่อหาแหล่งที่เหมาะสมที่สุด และกำหนดส่วนผสมที่เหมาะสม

2. เตรียมวัตถุดิบ ถ้ามีความชื้นมากควรนำไปตากให้แห้ง และกองเก็บวัตถุดิบในที่ร่มให้มากเพียงพอที่จะทำการผลิตตลอดฤดูฝน หากดินเป็นก้อน หรือมีมวลหยาบน้อยควรร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2–4 มม. ไม่ควรใช้ตะแกรงตาละเอียด เพราะจะทำให้ได้แต่เนื้อฝุ่นดิน ทำให้ก้อนบล็อกไม่มีความแข็งแรง ถ้าเนื้อดินมีก้อนใหญ่หรือมวลหยาบมากควรใช้เครื่องบดร่อน กองเก็บในที่ร่มเพื่อรอผลิต

3. ในการตวงวัตถุดิบสามารถตวงส่วนผสมได้ 2 วิธีคือ ตวงด้วยปริมาตร และการตวงวัดด้วยน้ำหนัก การตวงด้วยน้ำหนักจะทำให้การผลิตสามารถความคุมคุณภาพได้แน่นอน แต่อาจตวงโดยปริมาตรจะสะดวกรวดเร็วกว่า โดยการหาน้ำหนักของดินเต็มภาชนะตวง เช่น ถังปูน แล้วคำนวณแปลงอัตราส่วนโดยน้ำหนักเป็นโดยปริมาตร

4. ในการผสมให้คลุกเคล้าส่วนผสมแห้งหรือมวลรวมกับซีเมนต์ให้เข้ากันก่อน ในกรณีที่ดินชื้นเกาะกันเป็นก้อน การผสมกับปูนซีเมนต์จะทำให้ส่วนผสมไม่เข้ากันดี หรือปูนซีเมนต์ไม่สามารถแทรกเข้าไปในก้อนดินที่จับตัวเป็นก้อนได้ ทำให้ความแข็งแรงลดลง เมื่อโดนฝนจะทำให้บล็อกเป็นรูขนาดเท่าก้อนดินที่ไม่มีปูนซีเมนต์เข้าไปผสมจึงเป็นจุดที่ต้องให้ความสำคัญ

5. ในการอัดบล็อก ควรใช้ส่วนผสมให้หมดภายใน 30 นาที หลังจากผสมน้ำเพื่อป้องกันปูนซีเมนต์เสื่อมก่อนอัดขึ้นรูป

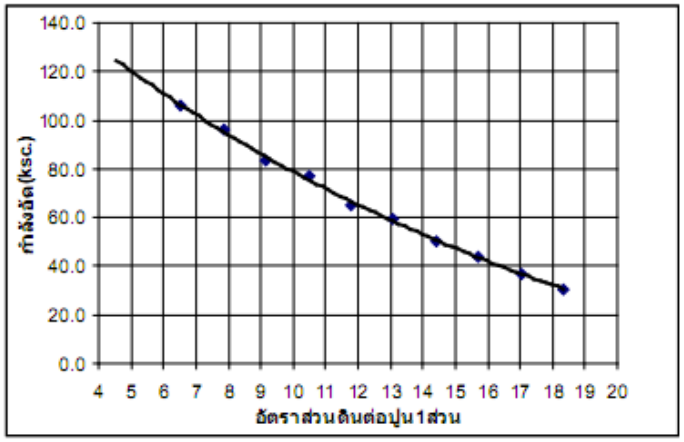
6. อิฐบล็อกประสาน ที่อัดเป็นก้อนแล้วควรผึ่งในที่ร่มอย่างน้อย 1 วัน จึงเริ่มบ่มจนอายุครบ 7-28 วัน

การผสมน้ำหรือการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม การหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมทำให้สามารถอัดบล็อกได้ความหนาแน่นสูงขึ้นโดยใช้แรงอัดเท่าเดิม ทำให้ความแข็งแรงของก้อนเพิ่มมากขึ้น ในส่วนนี้หากทำรวมกับการหาสัดส่วนปูนซีเมนต์จะทำให้สามารถลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์หรือลดต้นทุนได้สูงสุดถึงก้อนละ 50 สตางค์ โดยในที่นี้จะแนะนำ วิธีการเติมน้ำ 2 วิธีคือ

1. การหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมด้วย ถังบัวรดน้ำ เติมน้ำ ให้เกือบเต็มถังบัวรดน้ำ ชั่งน้ำหนักบันทึกผล เติมน้ำลงในส่วนผสม จนส่วนผสมเริ่มมีความชื้น นำส่วนผสมไปอัดบล็อก พร้อมกับหาน้ำหนักก้อนที่มากที่สุดที่สามารถอัดได้โดยไม่ใช้แรงมากเกินไปบันทึกผลน้ำหนัก ถังบัวรดน้ำ และน้ำหนักบล็อกสูงสุด ทำซ้ำโดยการเติมน้ำเพิ่ม และหาน้ำหนักก้อนสูงสุด ทำซ้ำจนกระทั่งเมื่ออัดบล็อกแล้วจะมีน้ำถูกบีบออกมาจากก้อน ซึ่งจะเป็นจุดที่มีปริมาณน้ำในก้อนมากเกินพอดี ที่จุดนี้ก้อนบล็อกที่อัดได้จะเสียรูปขณะที่ยกออกมาจากเครื่องอัด หรือเกิดการแอ่นตัวอย่างเห็นได้ชัด เมื่อได้จุดที่มีปริมาณน้ำมากเกินพอดีให้บันทึกค่าไว้ ส่วนปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตคือปริมาณน้ำก่อนถึงจุดที่บล็อกจะมีน้ำถูกบีบออกมาจากก้อนโดยใช้น้ำหนักต่อก้อนเท่ากับน้ำหนักที่ได้จากการทดสอบ

2. การผสมน้ำ โดยใช้สายยางต่อหัวฉีดฝอย เป็นการเติมน้ำ โดยอาศัยประสบการณ์ โดยอาศัยการจดจำความเย็น และความชื้นในส่วนผสม การใช้หัวฉีดฝอยจะมีข้อดีคือ สะดวกรวดเร็ว ความชื้นกระจายทั่วถึง ถ้าขาดความชำนาญคุณภาพจะไม่แน่นอน น้ำที่ใช้ผสมมีหน้าที่หลักคือเป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีกับปูนซีเมนต์ นอกจากนั้นหน้าที่หลักที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือน้ำจะเป็นเสมือนสารหล่อลื่นทำให้แรงเสียดทานระหว่างเม็ดดินลดลง ทำให้การบดอัดดินลงในเครื่องอัดทำได้ง่ายขึ้น

3. อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อวัตถุดิบของบล็อกประสาน อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบในการผลิตบล็อกประสานหาจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยส่วนใหญ่แนะนำให้ผลิตที่อัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมประมาณ 1: 6 ถึง 1: 7 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของมวลรวมเป็นหลัก แต่อาจปรับส่วนด้วยตนเองได้ โดยการผสมปูนซีเมนต์กับวัตถุดิบในอัตราส่วนที่ต่าง ๆ กันไป เช่น ผลิตบล็อกด้วยอัตราส่วน 1: 6, 1: 7, 1: 8 และ 1: 9 จำนวนสูตรละ 3 ก้อน แล้วทดสอบความต้านทานแรงอัด เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนปูนซีเมนต์ที่ใช้ และความต้านทานแรงอัดที่ได้ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 กราฟความต้านทานแรงอัดที่อัตราส่วนผสมต่างๆ

จากภาพที่ 4 แสดงในแกนตั้งเป็นกำลังอัด แกนนอนเป็นอัตราส่วนของดินที่ผสมต่อปูนซีเมนต์ 1 ส่วน โดยกำลังตามมาตรฐานจะอยู่ประมาณ 7 MPa (ประมาณ 70 กก./ตร.ซม.) ดังนั้นอัตราส่วนดินที่แนะนำจึงอยู่ในช่วงประมาณปูนซีเมนต์ 1 ส่วนต่อดิน 6-8 ส่วน โดยอัตราส่วนที่น้อยกว่านี้ถึงแม้กำลังจะดีขึ้นแต่ในแง่การลงทุนไม่คุ้มเนื่องจากต้องเปลืองปริมาณปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นมาก และในอัตราส่วนดินที่มากเกินไปก็อาจจะทำให้กำลังไม่ได้ตามมาตรฐานโดยสังเกตได้จากค่าอัตราส่วนซีเมนต์ต่อดินที่ประมาณ 1: 8 ขึ้นไปกำลังมีแนวโน้มที่จะลดลงต่ำกว่า 7 MPa แต่ทั้งนี้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินจะเป็นเท่าไรแน่ขึ้นอยู่กับแหล่งดินที่นำมาใช้ ดังนั้นเมื่อผลิตแล้วอย่าลืมทดสอบด้านกำลังอัดด้วยว่าได้เท่าไรแน่จะได้ทราบถึงปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมจริง ๆ ที่ควรใช้ เพื่อไม่ให้สิ้นเปลืองเกินไปหรือกำลังไม่ได้มาตรฐาน

4. วิธีการบ่ม หลังจากนำบล็อกออกจากเครื่องอัดแล้ว บ่มในที่ร่มจนมีอายุครบ 1 วัน ไม่ควรตากแดด เพราะน้ำ จะระเหยเร็ว ทำให้ปูนซีเมนต์ขาดน้ำ ส่งผลให้ปฏิกิริยาเกิดไม่เต็มที่ บล็อกที่ได้จะไม่แข็งแรงตามที่ต้องการ หรืออาจเกิดรอยแตกร้าวที่ผิวจากการแห้งเร็ว เมื่อบ่มจนครบ 1 วัน นำมาจัดเรียงแล้วคลุมด้วยผ้าพลาสติกไม่ให้ไอน้ำระเหยออก แสดงดังภาพที่ 2.5 บ่มด้วยความชื้นทิ้งไว้อีก 7 วันบล็อกประสานจะมีความแข็งแรงพร้อมส่งออกจำหน่ายหรือใช้งานได้ไม่ควรขนส่งก่อนกำหนด เพราะจะทำให้ก้อนบิ่น หรือเกิดการแตกร้าวได้ง่าย ในดินบางประเภทการรดน้ำในช่วง 1-3 วันแรกน้ำอาจละลายเกลือ หรือด่างต่าง ๆ ในปูนที่ใช้ผสมกับดินให้ไหลออกมาจนเกิดคราบสีขาวแข็งติดผิวจนบล็อกไม่สวย จึงควรพิจารณารดน้ำตามความเหมาะสม โดยให้มีความชื้นอยู่ตลอดเวลาแต่อย่าให้น้ำมากจนชุ่มโชก

ภาพที่ 2.5 ลักษณะวิธีการบ่มด้วยความชื้น

2.2 PET/PETP (Polyethylene terephthalate)

PET เป็นพลาสติกที่เกิดจากโมโนเมอร์หลาย ๆ ตัว นอกจากนั้นยังเป็นไฟเบอร์สังเคราะห์ที่ใช้ในการผลิตบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ ทั้งยังมีคุณสมบัติเป็นพลาสติกกึ่งแข็งไปจนถึงของแข็งโดยการปรับความหนา มีน้ำหนักเบา หากนำ PET มาขึ้นรูปเป็นขวด ก็จะได้ขวดที่มีน้ำหนักเบา ไม่แตก เพราะมีความเหนียวและทนทาน มีการยืดหยุ่นต่อแรงกระแทก และไม่แตกเมื่อถูกแรงกดดัน และ PET ยังเป็นพลาสติกที่แก๊สซึมผ่านได้ยากกว่าพลาสติกราคาถูก ดังนั้น จึงถูกนำมาบรรจุเป็นขวดน้ำอัดลม, น้ำดื่ม, น้ำผลไม้, เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ โดย PET มีสัญลักษณ์สำหรับการใช้ recycle คือ หมายเลข 1 ในกรณีสิ่งทอ PET ซึ่งมักถูกเรียกว่าเป็น Polyester โดยถูกใช้งาน ในรูปของเส้นใยสังเคราะห์เป็นส่วน

ใหญ่ แต่มีข้อเสียคือ ฝุ่น และสิ่งสกปรกเกาะติดได้ง่าย ดูดซับเหงื่อได้ไม่ดี จึงนิยมนำไปผสมกับผ้าฝ้าย (www.telepart.net, 2563)

2.3 การทดสอบหาปริมาณน้ำของอิฐบล็อกประสานผสมฝุ่นหินผุ

2.3.1 การทดสอบการบดอัดดิน (เชิดพันธ์ อมรกุล และสุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์, 2557)

การบดอัดดินคือ การปรับปรุงคุณภาพดินโดยการประยุกต์ใช้พลังงานเชิงกล เป็นการปรับปรุงคุณภาพดิน ปริมาณความชื้นที่มีความเหมาะสมที่สุด สำหรับดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่นจะปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการบดอัดโดยอาศัยการสั่นสะเทือนสำหรับดินเม็ดละเอียด สามารถทดสอบการบดอัดดินได้ในห้องปฏิบัติการ โดยวิธีของ Proctor แต่ถ้าเป็นในสนามสามารถเลือกใช้เครื่องจักรบดอัดชนิดต่าง ๆ กัน พิจารณาความเหมาะสมตามชนิดของดินจุดประสงค์ของการบดอัดดินก็เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของมวลดิน ก่อให้เกิดประโยชน์ดังนี้

1. ลดการทรุดตัวของดิน
2. เพิ่มกำลังต้านทานแรงเฉือนของดิน และปรับปรุงเสถียรภาพความลาดชัน
3. ปรับปรุงกำลังต้านทานน้ำหนักของพื้นทาง
4. ไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาตร เช่น สาเหตุจากการบวมตัว และการหดตัวของดิน
5. ลดการซึมผ่านของน้ำในดิน

พื้นฐานการบดอัดดินที่มีความเชื่อมแน่น ได้ถูกสร้างความสัมพันธ์ขึ้นโดยเริ่มต้นเมื่อมีการสร้างเขื่อนเพื่อกักเก็บน้ำใน Los Angeles และได้พัฒนาหลักการบดอัดดิน แล้วนำวิธีการทดสอบนี้ไปใช้ในห้องปฏิบัติการโดยเรียกวิธีดังกล่าวว่า Proctor Test มีวิธีการทดสอบ 2 แบบคือ การบดอัดแบบมาตรฐาน และการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน

1. ความหนาแน่นแห้ง
2. ปริมาณความชื้น
3. พลังงานในการบดอัด
4. ชนิดของดิน

ค่าพลังงานต่อปริมาณของการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน จะมีค่าสูงกว่าการบดอัดแบบมาตรฐานเท่ากับ 4.5 เท่า แต่การบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานจะได้ความหนาแน่นแห้งสูงกว่าการบดอัดแบบมาตรฐานเพียง 10% เท่านั่น

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและความชื้นจากผลการบดอัดในห้องทดลองการบดในห้องทดลอง โดยทำการบดอัด 4-6 ครั้ง ครอบคลุมค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด ดังภาพที่ 2.6 วิธีการทดสอบ

1. วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูงของ Mold พร้อมทั้งคำนวณหาปริมาตรของ Mold
2. ชั่งน้ำหนักของ Mold ให้ได้ละเอียดถึง 0.01 กิโลกรัม
3. ชั่งน้ำหนักดินตัวอย่างที่เตรียมไว้อย่างน้อย 4 กิโลกรัม ผสมน้ำลงไป 3-4% คลุกเคล้ากันให้ทั่วจนได้ ความชื้นของดินสม่ำเสมอกัน

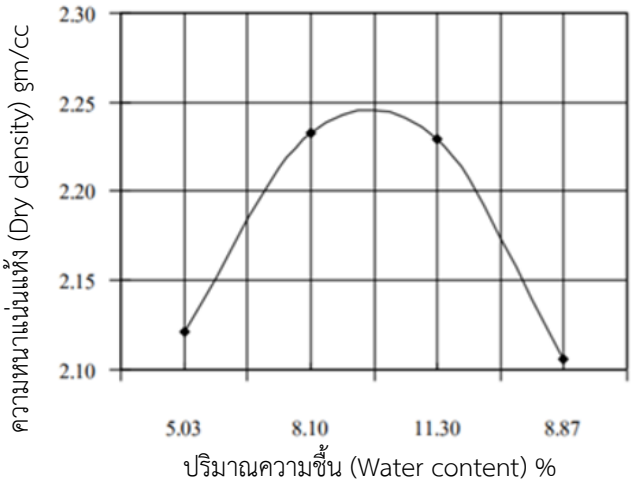
4. ตักดินใส่ใน Mold ที่ประกอบ Collar และ Base Plate แล้วกะแบ่งปริมาตรของดินที่ใส่ให้ได้จำนวน 3 ชั้นเท่าๆ กัน เมื่อ Compact เสร็จแล้ว ขั้นสุดท้ายให้เหลือพ้นส่วนบนของ Mold เล็กน้อย ประมาณ 1-2 เซนติเมตร

5. ใช้ Hammer ขนาด 5.5 lb. Compact ดินใน Mold ในแต่ละชั้น ชั้นละ 25 ครั้ง และต้องพยายาม Compact ให้ได้ความแน่นของดินในแต่ละชั้นสม่ำเสมอเท่ากันโดยตลอดขณะ Compact ตัว Mold จะต้องวางบนพื้นคอนกรีตที่เรียบและแข็ง

6. เมื่อ Compact ครบจำนวนครั้งแล้วถอด Collar ของ Mold ออก ใช้บรรทัดเหล็กปาดดินส่วนที่สูงเกินปาก Mold ออก และอุดแต่งผิวดินให้เรียบเสมอปาก Mold ใช้แปรงปัดทำความสะอาดดินที่ค้างอยู่นอก Mold แล้วถอด Base Plate ออก นำไปชั่งหาน้ำหนักดินใน Mold ให้ได้ละเอียดถึง 0.01 กิโลกรัม

7. ดันแท่งตัวอย่างดินออกจาก Mold แล้วผ่ากลางตามแนวตั้ง เก็บดินตัวอย่างตามแนวผ่านี้อย่างน้อย 100 กรัม ไปชั่งน้ำหนักและเข้าอบในเตาอบเพื่อคำนวณหาปริมาณความชื้นต่อไป

8. เอาตัวอย่างที่เตรียมไว้มาอย่างน้อย 4 กิโลกรัม แล้วผสมน้ำเพิ่มอีกประมาณ 3% คลุกเคล้าให้ทั่วสม่ำเสมอ แล้วทำการทดลองซ้ำตามข้อ 4 ถึง 7 จนกระทั่งน้ำหนักดินใน Mold ที่ชั่งได้ครั้งสุดท้ายลดลง และอย่างน้อยควรจะเปลี่ยนหรือเพิ่มปริมาณน้ำถึง 5 ครั้ง



ภาพที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและค่าปริมาณความชื้น (เชิดพันธ์ อมรกุล และสุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์, 2557)

การคำนวณ

Wet Density ของดิน

$$\frac{\text{Wet Weight}}{\text{Volume of Mold}} \qquad (2\text{-}1)$$

Dry Density

$$\frac{W}{V\,(1 + w)} \qquad (2\text{-}2)$$

เมื่อ

W = น้ำหนักดิน (Wet Weight) ใน Mold

V = ปริมาตรของ Mold

w = เปอร์เซ็นต์ความชื้นของดิน (Water Content)

2.4 การทดสอบคุณสมบัติอิฐบล็อกประสาน

2.4.1 การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัด

การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัด โดยนำตัวอย่างอิฐมาตัดให้มีขนาด 10.3x10.3x10.3 เซนติเมตร เพื่อให้สามารถนำเอาตัวอย่างเข้าเครื่องทดสอบได้ จากนั้นนำค่าที่ได้จากการทดสอบซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลนิวตัน มาแปลงหน่วยเป็นกิโลกรัม แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณเพื่อหาค่าความสามารถในการรับกำลังอัดของอิฐจากสมการที่ 2-3

$$\sigma = \frac{P}{A} \tag{2-3}$$

เมื่อ σ = กำลังรับแรงอัดของตัวอย่าง (กก./ตร.ซม.)

P = แรงอัดสูงสุดที่จุดประลัย (กก.)

A = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างทดสอบ (ตร.ซม.)

2.4.2 การทดสอบหาค่าการดูดซึม

อบตัวอย่างที่จะทำการทดสอบให้แห้งจนน้ำหนักคงที่ เป็นเวลาไม่ต่ำกว่า 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ±5 องศาเซลเซียส แล้วทิ้งให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องไม่น้อยกว่า 4 ชั่วโมง จากนั้นวัดมวลและมิติของตัวอย่างทดสอบ แล้วนำไปแช่ในน้ำสะอาดให้ท่วมเป็นเวลา 24 ชั่วโมงจึงยกออกมาใช้ผ้าชุ่มน้ำเช็ดที่ผิวและชั่งให้เสร็จภายใน 3 นาที น้ำหนักที่ชั่งได้นี้ถือเป็นน้ำหนักอิฐที่ดูดกลืนน้ำ การคำนวณหาค่าการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) ของตัวอย่างทดสอบ โดยการเปรียบเทียบน้ำหนักของอิฐตัวอย่างที่แช่น้ำ 24 ชั่วโมง กับน้ำหนักของอิฐตัวอย่างที่อบในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ระยะเวลาเท่ากัน โดยใช้สมการการคำนวณหาค่าร้อยละการดูดซึมโดยการอาศัย สมการที่ 2-4

$$\%\ \text{Absorption} = \frac{W_w - W_d}{W_d} \times 100\ \% \tag{2-4}$$

เมื่อ % Absorption = ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ

W_w = น้ำหนักอิฐเปียก, กรัม

W_d = น้ำหนักอิฐแห้ง, กรัม

2.5.3 การทดสอบความหนาแน่น

ทำการทดสอบความหนาแน่น โดยการนำตัวอย่างที่บ่มไว้ตามอายุที่ 7 และ 14 วัน นำมาชั่งน้ำหนักโดยใช้หน่วยวัดเป็นกรัม ทำการวัดขนาดตัวอย่าง กว้างxยาวxหนา นำค่าที่ได้ไปแทนที่ในสมการที่ 2-5 เพื่อหาค่าความหนาแน่นของอิฐ

$$\rho = \frac{W}{V} \qquad (2\text{-}5)$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นของอิฐ, กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
W = น้ำหนักของอิฐ, กรัม
V = ปริมาตรของอิฐ, ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วรุตม์ (2557) ศึกษาการใช้ขยะพลาสติก เพื่อทำกระเบื้องมุงหลังคาที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมตามมาตรฐานฉลากเขียวผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของวัสดุที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้จะนับเป็นวัสดุเขียว การทดลองนี้ทำขึ้นโดยเปรียบเทียบสมรรถนะของส่วนผสมใหม่จากพลาสติกรีไซเคิลและพลาสติกที่มีอยู่ในท้องตลาด ผลการทดสอบถูกนำมาใช้สำหรับการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อสร้างแบบจำลองของหลังคาพลาสติกที่มีอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของพลาสติกใหม่ และพลาสติกรีไซเคิล ผลการวิจัยครั้งนี้ยังแสดงให้เห็นศักยภาพในการทำผลิตภัณฑ์ใหม่และการลงทุน

เวชสวรรค (2561) ได้ประยุกตใชถนนแอสฟลตคอนกรีตเพื่อลดปญหาขยะพลาสติกในชุมชน เป็นการศึกษากระบวนการสร้างถนนแอสฟลตคอนกรีตด้วยขยะพลาสติกที่ได้จากการคัดแยกภายในชุมชนวัดแม่สาหลวงและพื้นที่ข้างเคียง เพื่อนำมาออกแบบและกำหนดสวนผสมเฉพาะงาน (job mix formula) โดยใชขยะถุงพลาสติกที่ได้จากการคัดแยกมาผสมกับวัสดุมวลรวมคละและยางแอสฟลตซีเมนต (AC 60 – 70) แลวนำไปทำเป็นก้อนตัวอย่างเพื่อทดสอบหาคุณสมบัติทางวิศวกรรมในหองปฏิบัติการโดยวิธีมารแชลล์ (Marshal test) แลวนำสวนผสมที่เหมาะสมที่สุดตามเกณฑมาตรฐานของกรมทางหลวงที่ ทล.-ม. 408/2532 ไปใชในการกำหนดสวนผสมของวัสดุที่ใช ในการก่อสร้างถนนทางเข้าวัดแม่สาหลวง อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ จากผลการทดลองพบว่าขยะถุงพลาสติกสามารถเพิ่มคาเสถียรภาพของถนนแอสฟลตคอนกรีตได้สูงถึง 21.8 kN มากกวาถนนแอสฟลตคอนกรีตแบบธรรมดาที่มีคาเสถียรภาพเพียง 10.8 kN และสูงกว่าเกณฑมาตรฐานของกรมทางหลวงที่กำหนดคาเสถียรภาพไวตองไม่นอยกวา 8.0 kN สามารถนำก่อสร้างถนนที่มีความยาวประมาณ 150 เมตร พื้นที่ประมาณ 600 ตร.ม. และมีความหนา 5 ซม. ภายในชุมชนได้และที่สำคัญยังทำใหชุมชนในพื้นที่เป้าหมายกำจัดปริมาณขยะถุงพลาสติกได้มากถึง 540 kg

กมล และ อรุณวดี (2561) ศึกษากำลังรับแรงอัด การดูดกลืนน้ำ และความคงทนของบล็อกประสานที่เคลือบด้วยน้ำยาเคลือบผิว โดยใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินลูกรังเท่ากับ 1: 7 ผลิตด้วยก้อนตัวอย่างขนาด 5 x 5 x 5 ซม. นำไปบ่มจนครบอายุ 7 วัน หลังจากนั้นจึงนำไปทาน้ำยาเคลือบผิวของบล็อกประสาน 3 ชนิด คือ น้ำยาอะครีลิกเรซิน น้ำยาซิลิโคน และน้ำยาไซลอกเซน ผลการศึกษาสรุปได้ว่า น้ำยาทั้ง 3 ชนิด สามารถลดการดูดกลืนน้ำของบล็อกประสานได้ โดยน้ำยาไซลอกเซนมี

การดูดกลืนน้ำน้อยที่สุด ด้านกำลังรับแรงอัดพบว่าน้ำยาเคลือบทั้ง 3 ชนิดมีแนวโน้มไม่มีผลต่อความสามารถในการรับกำลังอัด ในส่วนความคงทนพบว่า บล็อกประสานที่เคลือบน้ำยาอะครีลิกเรซินจะมีการสูญเสียของน้ำหนักน้อยที่สุดจากการทดสอบ wet and dry process

ประชุม (2562) ศึกษาการใช้เศษก้านใบยาสูบบดย่อยเป็นมวลรวมในการผลิตอิฐบล็อกประสาน กำหนดอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ 1 ต่อดินลูกรัง ต่อเศษก้านใบยาสูบบดย่อยเท่ากับ 1: 7: 0, 1: 6: 1, 1: 5.5: 1.5, 1: 5: 2, 1: 4.5: 2.5 และ 1: 4: 3 โดยปริมาตร อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.5 โดยน้ำหนัก ทำการอัดขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัดแบบมือโยก ได้ขนาดอิฐบล็อกประสานเท่ากับ 12.5 x 25.0 x 10.0 ซม. ทำการทดสอบสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช. 602/2547 ผลการทดสอบพบว่า เมื่อผสมเศษก้านใบยาสูบบดย่อยในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้ความต้านทานแรงอัด และความหนาแน่น มีแนวโน้มลดลง ส่วนปริมาณความชื้นและการดูดซึมน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยที่อัตราส่วน 1: 5.5: 1.5 มีค่าความต้านทานแรงอัดที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 2.81 เมกะพาสคัล สามารถจัดเป็นอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับแรง มีความเหมาะสมสามารถนำไปพัฒนาต่อในเชิงพาณิชย์ได้

Nuttawut (2020) ศึกษาการใช้วัสดุธรรมชาติในการผลิตบล็อกประสานสำหรับการนำความร้อนและการดูดซับเสียงโดยการผสมฟางข้าวและขี้เถ้าแกลบ อัตราส่วนดิน ซีเมนต์ และทรายที่ใช้ในการผสมคือ 5: 1: 1 อัตราส่วนการผสมฟางข้าวเท่ากับร้อยละ 0, 1, 2 และ 3 และเถ้าแกลบเท่ากับร้อยละ 10, 20 และ 30 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ ทดสอบการวัดกำลังอัด น้ำหนักต่อหน่วย การดูดซับน้ำ ความพรุน การนำความร้อน และการดูดซับเสียงโดยใช้บล็อกเมื่ออายุ 28 วัน ผลการวิจัยพบว่าการเพิ่มฟางข้าวทำให้เกิดให้กำลังอัดลดลง ขณะที่ความพรุนและการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น การเติมขี้เถ้าแกลบช่วยเพิ่มกำลังรับแรงอัดและน้ำหนักต่อหน่วย คุณสมบัติทั้งหมดนี้ผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2533 (มอก. 2533) การเพิ่มขึ้นของฟางข้าวและขี้เถ้าแกลบส่งผลให้ค่าการนำความร้อนต่ำและดีขึ้น การดูดซับเสียง ดังนั้นฟางข้าวและขี้เถ้าแกลบจึงเป็นวัสดุที่น่าสนใจในการผลิตประหยัดพลังงานวัสดุก่อสร้าง

วุฒินัย และคณะ (2563) ศึกษาการใช้เถ้าชนิดต่าง ๆ ได้แก่ เถ้าแกลบ, เถ้าถ่าน และเถ้าลอยมาใช้เป็นวัสดุตั้งต้นที่เรียกว่า ปอซโซลานในการสร้างจีโอพอลิเมอร์, เพื่อทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์ในส่วนผสมของการผลิตบล็อกประสาน. เถ้าที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานประเภทต่าง ๆ ได้แก่ เถ้าแกลบจากโรงงานกระเบื้องคอตโต้ จ.สระบุรี, เถ้าถ่านจากโรงงานดินเผา จ. นครราชสีมา และเถ้าลอยลิกไนต์จากกระบวนการผลิตไฟฟ้าของโรงงานน้ำตาล จ.กาญจนบุรี. โดยผสมปอซโซลานทั้ง 3 ชนิด ในอัตราส่วนร้อยละ 5, 10 และ 15 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์, เพิ่มเข้าไปในส่วนผสมดินซีเมนต์ที่อัตราส่วนการผลิต ปูนซีเมนต์ต่อดินลูกรัง 1: 5, 1: 7 และ 1: 9 ผลการวิจัยพบว่า การเติมปอซโซลานชนิด เถ้าแกลบร้อยละ 5 ที่อัตราส่วนผสมปูน 1: 5 จะได้บล็อกที่มีกำลังอัดเฉลี่ยสูงสุด 372 กิโลกรัม/ตร.ซม. สูงกว่าอัตราส่วนผสมปูนต่อดินที่เท่ากันที่ไม่เติมดินปอซโซลานที่ 180.8 กก./ตร.ซม. หรือคิดเป็นกำลังอัดที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 206 และกำลังอัดจะลดลงเมื่อเพิ่มเถ้าแกลบเพิ่มมากขึ้นเป็น 339 และ 296 กิโลกรัม/ตร.ซม. ตามลำดับ อย่างไรก็ตามทุกอัตราส่วนผสมที่ทดสอบของปอซโซลาน มีกำลังอัดมากกว่าที่ใช้ปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียว และมีกำลังอัดสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนด 70 กิโลกรัม/ตร.ซม. แสดงว่าการผสมปอซโซลานเพิ่มมีความเหมาะสมในการผลิตบล็อกประสาน หาก

พิจารณาต้นทุนจากกำลังอัดที่ใกล้เคียงกันก่อนและหลังการผสมเพิ่มปอซโซลาน เทียบระหว่างอัตราส่วนผสมปูนต่อดินที่ 1: 5 ที่กำลังอัด 180.8 กก./ตร.ซม. ต้นทุนวัตถุดิบในการผลิต 6.63 บาท/ก้อน และที่อัตราส่วน 1:9 ผสมปอซโซลานร้อยละ 15 ได้กำลังอัด 213 กก./ตร.ซม. ต้นทุนวัตถุดิบในการผลิต 5.49 บาท/ก้อน, ทำให้มีค่าใช้จ่ายลดลง 1.14 บาท/ก้อน คิดเป็นร้อยละ 17.19 ตามผลการทดสอบ ในการผลิตจริงจึงแนะนำให้ผลิตที่อัตราส่วนผสมปูน:ดินลูกรัง 1: 9 ผสมปอซโซลานร้อยละ 15 โดยที่คุณภาพบล็อกผ่านมาตรฐานทั้งค่ากำลังอัดและการดูดกลืนน้ำ

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการ

วิธีการดำเนินการการวิจัยนวัตกรรมอิฐบล็อกประสานที่ใช้ขยะโพลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) โดยวิธีการดำเนินงานจะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เตรียมวัสดุที่ใช้ในการศึกษา
2. ทดสอบคุณสมบัติของดินลูกรัง และขยะโพลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET)
3. ออกแบบอัตราส่วนผสมอิฐบล็อกประสาน
4. หาปริมาณน้ำที่เหมาะสม
5. ผลิตอิฐบล็อกประสาน
6. บ่มอิฐบล็อกประสาน
7. ทดสอบคุณสมบัติของอิฐบล็อกประสาน
6. วิเคราะห์และประเมินผล
7. สรุปขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 เตรียมวัสดุที่ใช้ในการศึกษา

3.1.1 ปูนซีเมนต์

ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตรา SCG ของบริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด ผลิตขึ้นโดยมีคุณสมบัติตามกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มอก. 15-2514/2517 ประเภทที่ 1 และมาตรฐาน ASTM (150-71 Type 1)

3.1.2 ดินลูกรัง

ดินลูกรัง นำมาผสมเข้าด้วยกันทั้งหมด แล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 และค้างตะแกรงเบอร์ 200 แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 $\pm$ 5 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบ 24 ชั่วโมง

3.1.3 ขยะโพลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET)

นำขวดพลาสติกโพลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) มาบด และร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 แล้วตวงชั่งน้ำหนักเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อนำไปเป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐบล็อกประสาน

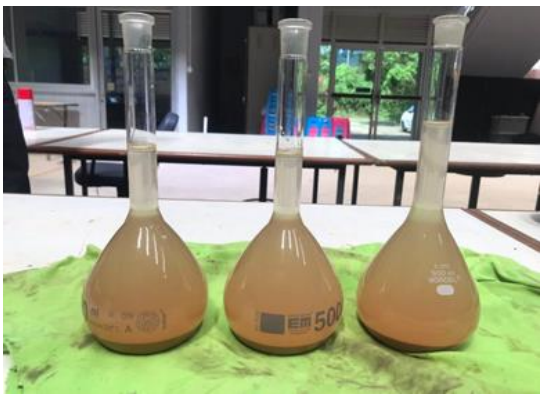
3.1.4 น้ำ

น้ำที่ใช้ในการผลิตอิฐบล็อกประสาน ใช้ประปา

3.2 ทดสอบคุณสมบัติของวัสดุผสม

3.2.1 ค่าความถ่วงจำเพาะของดินลูกรังและพลาสติก PET

เป็นวิธีการทดลองหาความถ่วงจำเพาะของดินลูกรังและพลาสติก PET ที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) โดยใช้ขวด Pycnometer ขนาด 500 มิลลิลิตร มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบคือ ASTM D 854–00 Standard Test Methods for Specific Gravity Of Soil Solids By Water Pycnometer ดังภาพที่ 3.1



(a) การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะดินลูกรัง

(b) การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะพลาสติก

ภาพที่ 3.1 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุผสม

3.2.2 หน่วยน้ำหนัก และช่องว่างของพลาสติก PET

เป็นการทดสอบตาม ASTM C 29M-17a โดยค่าหน่วยน้ำหนักที่ได้จากการทดสอบสามารถนำไปใช้สำหรับปรับเปลี่ยนน้ำหนักของมวลรวมเป็นปริมาตรในการคำนวณสัดส่วนผสมอิฐบล็อกประสาน หน่วยน้ำหนักจะขึ้นอยู่กับการกระจายขนาดรูปร่างของมวลรวมสภาพการอัดแน่น และปริมาณความชื้น

3.2.3 ปริมาณความชื้นดินลูกรัง

เพื่อทดสอบหาค่าปริมาณความชื้นตามธรรมชาติในมวลดินลูกรัง เพื่อหาค่าปริมาณน้ำที่อยู่ในช่องว่างตามธรรมชาติในมวลดิน โดยวิธีตู้อบธรรมดา หากดินมีความชื้นมากค่าปริมาณน้ำในดินก็จะสูง ทดสอบโดยวิธีตูอบธรรมดาตามมาตรฐาน ASTM D 2216-98 Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and rock by mass

3.2.4 ขีดความข้นเหลวของดิน

วิธีการทดลองหาขีดจำกัดเหลวหมายถึง ปริมาณความชื้นที่น้อยที่สุดในดินที่ทำให้ดินสามารถไหลตัวได้ด้วยน้ำหนักของตัวเอง มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบคือ ASTM D 4318-93 Test Method for Liquid Limit , Plastic Limit , and Plasticity Index of Soils

ขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit) เป็นปริมาณความชื้นในดินที่ทำให้ดินมีสภาพเหมือนของไหลสามารถไหลตัวได้ด้วยน้ำหนักของตัวเอง หรือเป็นปริมาณความชื้นที่ทำให้ดินในเครื่องมือทดลอง Liquid Limit Device ไหลมาชนกันเป็นแนวยาว 12.7 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว) เมื่อทำการเคาะเครื่องมือทดลองโดยมี ระยะตกแบบอิสระสูง 10 มิลลิเมตร และได้จำนวนครั้งการเคาะ เท่ากับ 25 ครั้งพอดี

ขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit) เป็นปริมาณความชื้นในดินที่ทำให้ดินเปลี่ยนจากสภาพยืดหยุ่นตัวสมบูรณ์หรือ พลาสติกเป็นกึ่งของแข็งที่มีลักษณะยืดหยุ่นตัวน้อยลง หรือเป็นปริมาณความชื้นของดินในสภาพที่เมื่อนำดินมาคลึงเป็นเส้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มิลลิเมตร (1/8 นิ้ว) และเกิดรอยแตกขึ้นที่ผิวดินพอดี

3.2.5 ขนาดคละของดินลูกรัง

เป็นการทดลองเพื่อหาขนาดเม็ดดินของมวลดิน และการกระจายส่วนคละของเม็ดดิน โดยใช้วิธีการร่อนผ่านตะแกรง สำหรับเบอร์ตะแกรงที่นิยมใช้กันก็คือ ขนาด 3/8 นิ้ว เบอร์4 10 20 40 100 และ 200 โดยเบอร์ตะเกรงที่จะขาดไม่ได้ก็คือเบอร์ 4 100 200 ซึ่งตะแกรงที่มีช่องเปิดใหญ่ที่สุด จะอยู่บน และไล่ตามลำดับลงมา ดินหรือหินที่เล็กกว่าช่องเปิดของตะแกรงก็จะหล่นลงมาในชั้นต่อไป ดินที่ใหญ่กว่าช่องเปิดของตะแกรงก็จะค้างอยู่บนตะแกรง การจำแนกประเภทของดินทางด้านวิศวกรรม โดยส่วนใหญ่แล้วจะใช้ตามมาตรฐาน Unified Soil Classification System ASTM D-2487 ดังภาพที่ 3.2

ภาพที่ 3.2 การทดสอบหาขนาดคละ และค่าโมดูลัสความละเอียดของดินลูกรัง

3.3 การหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม

การหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมต่อความหนาแน่นแห้งสูงสุด โดยทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมตามมาตรฐาน Standard Proctor Test (Optimum Moisture Content, O.M.C.) กำหนดการทดสอบทั้งหมด 5 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 3 ครั้ง ทดสอบปริมาณน้ำ ครั้งแรกใช้ 5% หลังจากนั้นเพิ่มขึ้นครั้งล่ะ 3% ซึ่งมีอัตราส่วนผสมวัสดุอิฐบล็อกประสาน (ตามตาราง 3.1) ปูนซีเมนต์ต่อดินลูกรังที่ 1 : 6

1. เตรียมวัสดุอุปกรณ์
   - โมล (ขนาด 4 นิ้ว)
   - ตุ้มตอกอัดดินน้ำหนัก (2.5 กิโลกรัม)
   - เครื่องดันแม่แรง
   - ตู้อบ (อุณหภูมิ 105±5 องศาเซลเซียส)
   - เครื่องชั่งน้ำหนัก (0.01 กิโลกรัม)
2. ขั้นตอนการทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม
   1) ชั่งตวงวัสดุผสมตามสัดส่วนที่กำหนด ดังภาพที่ 3.3

(a) ชั่งน้ำหนักดินลูกรัง

(b) ชั่งน้ำหนักพลาสติก PET บด

(c) ชั่งน้ำหนักปูนซีเมนต์

ภาพที่ 3.3 การชั่งวัสดุผสม

2) เทส่วนผสมลงในภาชนะ ผสมวัตถุดิบ ดินลูกรัง ปูนซีเมนต์ ขยะพลาสติก PET ผสมจนเข้ากัน และเทน้ำสะอาดบริสุทธิ์แล้วผสมให้เข้ากัน ดังภาพที่ 3.4

(a) ใส่ส่วนผสมทั้งหมด

(b) ใส่น้ำตามอัตราส่วนแล้วผสมให้เข้ากัน

ภาพที่ 3.4 ขั้นตอนผสมวัสดุผสม

3) ตักส่วนผสมลงในโมลชั้นที่ 1 ดังภาพที่ 3.5 (a) แล้วใช้ค้อนตอกจำนวน 25 ครั้ง ดังภาพที่ 3.5 (b) ทำซ้ำ จำนวน 3 ชั้น ดังภาพที่ 3.5 (c)

(a) ใส่ดินในโมล

(b) ใช้ลูกตุ้มตอกดิน 25 ครั้ง

(c) ทำซ้ำจนครบ 3 ชั้น

ภาพที่ 3.5 ขั้นตอนใช้ค้อนตอกดิน

4) นำโมลชั้นบนออก แล้วปาดหน้าดินให้เรียบใช้แปรงทำความสะอาดรอบ ๆ โมล ดังภาพที่ 3.6

ภาพที่ 3.6 ปาดแต่งวัสดุมวลรวมหน้าโมล

5) นำโมลที่ปาดแต่งวัสดุมวลรวมแล้วไปชั่งน้ำหนัก แล้วจดบันทึกค่า ดังภาพที่ 3.7

ภาพที่ 3.7 ขั้นตอนชั่งน้ำหนักโมล

6) ถอดฐานโมลออก แล้วนำไปเข้าเครื่องดันแม่แรงดันจนดินชั้นกลางในโมลออกมา ดังภาพที่ 3.8

ภาพที่ 3.8 การนำดินออกจากโมล

7) เก็บตัวอย่างดินที่ตรงกลางโมลไปชั่งน้ำหนัก แล้วจดบันทึกค่า ดังภาพที่ 3.9

ภาพที่ 3.9 การเก็บตัวอย่างดินและชั่งน้ำหนัก

8) เก็บตัวอย่างทั้งหมด 3 ตัวอย่าง จนครบ 3 ครั้งต่อตัวอย่าง ตัวอย่างละ 3 รอบ แล้วนำตัวอย่างไปเข้าเครื่องอบที่อุณหภูมิ 105±5 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ดังภาพที่ 3.10

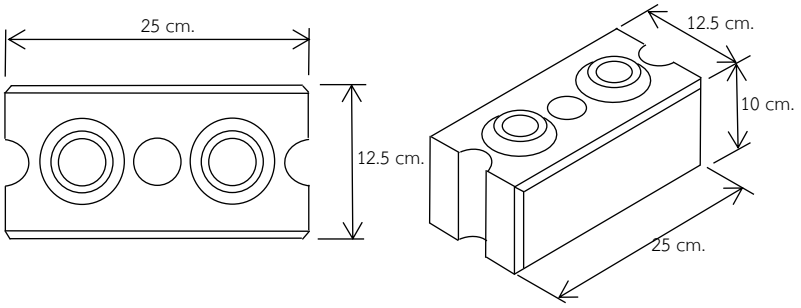
ภาพที่ 3.10 เก็บตัวอย่างทั้งหมด 3 ตัวอย่าง

9) เมื่อครบกำหนดนำตัวอย่างดินออกจากเครื่องอบ แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก และจดบันทึกค่า ดังภาพที่ 3.11

ภาพที่ 3.11 ชั่งน้ำหนักหลังผ่านการอบ

3.4 ออกแบบอัตราส่วนผสมอิฐบล็อกประสาน

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้หลักเกณฑ์เดียวกับการผลิตอิฐในท้องตลาดที่ใช้เครื่องมือที่มีคุณภาพในการทำอิฐบล็อกประสาน เพื่อให้ค่าที่ได้มีความแน่นอนและยอมรับได้โดยเลือกรูปแบบของตัวอย่างรูปทรงบล็อกตรงหรือทรงสี่เหลี่ยมใช้สำหรับก่อสร้างอาคารขนาด 12.5 x 25 x 10 เซนติเมตร ดังแสดงในภาพที่ 3.12 น้ำหนักส่วนผสมรวมระหว่างปูนซีเมนต์กับฝุ่นหินผุ เท่ากับ 30 กิโลกรัม



ภาพที่ 3.12 ขนาดอิฐบล็อกประสาน
(สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2556)

การออกแบบอัตราส่วนผสมของอิฐบล็อกประสานผสมขยะพลาสติก PET แทนที่ดินลูกรังโดยปริมาตร อัตราส่วนผสมของก้อนตัวอย่างใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ : ดินลูกรัง เท่ากับ 1 : 6 (เพ็ญชาย เวียงใต้ ปิยะพล สีหาบุตร และเจษฎ์ศิริ เถื่อนมูลล่ะ, 2561) ในการผลิตอิฐบล็อกประสานเพื่อชุมชน พบว่าในอัตราส่วน 1 : 6 ผ่านเกณฑ์ มผช. 602/2547 นั้นคือปูนซีเมนต์ 1 ส่วนต่อดินลูกรัง 6 ส่วน การผลิตอิฐบล็อกประสานผสมขยะพลาสติก PET แทนที่ดินลูกรังน้ำหนักส่วนผสมรวมระหว่างปูนซีเมนต์และดินลูกรังกับขยะพลาสติก PET เท่ากับ 30 กิโลกรัม ตามมาตรฐาน มผช. 602/2547 โดยอัตราส่วนผสมดังแสดงในตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมของอิฐบล็อกประสาน

อัตราส่วนผสม	อัตราส่วนผสม					
	ปูนซีเมนต์ (กก.)	ดินลูกรัง (กก.)	PET (กก.)	น้ำหนักรวม (กก.)	น้ำ (%)	น้ำ (กก.)
Control	4.285	25.715	-	30	17.060	5.120
PET 5	4.285	24.429	0.618	29.332	13.630	4.000
PET 10	4.285	23.144	1.236	28.664	15.530	4.450
PET 15	4.285	21.858	1.853	27.996	15.970	4.470
PET 20	4.285	20.572	2.471	27.328	16.760	4.580

หมายเหตุ : Control คือ อิฐบล็อกประสานควบคุม
PET 5 คือ อิฐบล็อกประสานผสมขยะพลาสติก PET ทดแทนดินลูกรัง 5%

3.5 ขั้นตอนการผลิตอิฐบล็อกประสาน

3.5.1 เครื่องมือ

1) เครื่องอัดขึ้นรูปอิฐบล็อกประสานเครื่องอัดแบบมือโยก

2) เครื่องผสม ผสมวัตถุดิบให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวก่อนจะนำมาเข้าเครื่องอัดขึ้นรูปเป็นอิฐบล็อกประสาน

3) เครื่องบดดินลูกรัง ใช้บดดินลูกรังให้มีขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ได้เพื่อให้เนื้อดินมีความละเอียดทั้งก้อน

4) เครื่องชั่งใช้ในการชั่งวัสดุให้มีน้ำหนักตามอัตราส่วนที่ต้องการความละเอียด 0.01 กิโลกรัม

3.5.2 การผลิตอิฐบล็อกประสาน

ขั้นตอนในการผลิตอิฐบล็อกประสานมีขั้นตอนดังนี้

1) ชั่งดินลูกรัง ปูนซีเมนต์ ขยะพลาสติก PET บด และน้ำ ตามลำดับ ดังภาพที่ 3.13

(a) ดินลูกรัง

(b) ปูนซีเมนต์

(c) ขยะพลาสติก PET บด

(d) น้ำ

ภาพที่ 3.13 ชั่งส่วนผสม

2) การผสม ควรผสมดินแห้งหรือมวลรวมกับซีเมนต์ให้เข้ากันก่อน และค่อยๆ เติมน้ำโดยใช้ฝักบัว หรือหัวฉีดพ่นให้เป็นละอองกว้าง น้ำที่ใช้ควรเป็นน้ำสะอาด ใช้ผสมหลังจากผสมดิน และ

ซีเมนต์เข้ากันแล้วในปริมาณที่พอเหมาะ ใช้ปริมาณน้ำที่เหมาะสมจากตารางที่ 3.1 การผสมดังแสดงในภาพที่ 3.14

ภาพที่ 3.14 ผสมวัสดุเข้าด้วยกัน

3) นำดินที่ผสมเข้ากันแล้วไปเข้าเครื่องอัด โดยใช้การชั่งน้ำหนักบรรจุส่วนผสมลงในเครื่องอัดประมาณ 5.5 กิโลกรัม และควรใช้ส่วนผสมให้หมดภายใน 120 นาที หลังจากผสมน้ำเพื่อป้องกันปูนก่อตัวก่อนอัดขึ้นรูป ดังแสดงในภาพที่ 3.15

ภาพที่ 3.15 นำส่วนผสมทั้งหมดเข้าเครื่องอัด

4) นำก้อนตัวอย่างอิฐบล็อกประสานที่ขึ้นรูปแล้วออกจากเครื่องอัด ดังแสดงในภาพที่ 3.16

ภาพที่ 3.16 นำก้อนตัวอย่างออกจากเครื่องอัด

5) อิฐบล็อกประสานที่อัดเป็นก้อนแล้วให้เก็บในที่ร่มอย่างน้อย 1 วัน ดังภาพที่ 3.17

ภาพที่ 3.17 เก็บก้อนตัวอย่างไว้ที่ร่ม ให้เซ็ตตัว

3.6 ขั้นตอนการบ่มอิฐบล็อกประสาน

3.6.1 รดน้ำด้วยฝักบัวหรือฉีดพ่นเป็นละอองให้ชุ่ม ดังภาพที่ 3.18

ภาพที่ 3.18 รดน้ำหรือฉีดพ่นน้ำที่อิฐบล็อกประสาน

3.6.2 นำอิฐบล็อกประสานใส่ถุงเพื่อไม่ให้ไอน้ำระเหยออก บ่มจนอายุครบ 7, 14 และ 28 วัน ดังภาพที่ 3.19

ภาพที่ 3.19 นำอิฐบล็อกประสานบ่มในถุง

3.6.3 นำก้อนตัวอย่างมาทำเครื่องหมายระบุอัตราส่วนและอายุการบ่ม ดังภาพที่ 3.20

ภาพที่ 3.20 นำก้อนตัวอย่างมาทำเครื่องหมาย

ตารางที่ 3.2 จำนวนก้อนตัวอย่างที่บ่ม

ตัวอย่าง	**จำนวน (ก้อน)**			
	7 วัน	**14 วัน**	**28 วัน**	**รวม**
Control	5	5	10	20
PET5	5	5	10	20
PET10	5	5	10	20
PET15	5	5	10	20
PET20	5	5	10	20
รวม				**100**

3.7 ทดสอบคุณสมบัติของอิฐบล็อกประสาน

ในการทดสอบจะมุ่งเน้นตรวจสอบคุณสมบัติของอิฐบล็อกประสานเพื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 602/2547) โดยดำเนินการทดสอบดังต่อไปนี้

3.7.1 ทดสอบกำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกประสาน

การทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) ของก้อนตัวอย่างอิฐบล็อกประสานตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 602/2547) โดยมีวิธีการทดสอบดังนี้

1) นำก้อนตัวอย่างมาเขียนหมายเลขและทำเครื่องหมายให้ชัดเจน ดังแสดงในภาพที่ 3.21

ภาพที่ 3.21 นำก้อนตัวอย่างมาเขียนเครื่องหมาย

2) วัดขนาดของตัวอย่างโดยการวัดความยาวของก้อนอิฐของหน้ายาวทั้ง 4 หน้าโดยวัดที่จุดกึ่งกลางของแต่ละหน้าบันทึกผลทั้ง 4 หน้าให้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตรและนำมาหาค่าเฉลี่ยให้ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตรและวัดความหนาและความกว้างของอิฐโดยวิธีเดียวกันกับการวัดความยาว ดังแสดงในภาพที่ 3.22

ภาพที่ 3.22 วัดขนาดก้อนตัวอย่าง

3) ใช้เครื่องเจียร์ตัดด้านบนหัวอิฐบล็อกประสานให้เรียบเสมอกัน ดังแสดงในภาพที่ 3.23

ภาพที่ 3.23 ตัดด้านบนหัวอิฐบล็อกประสาน

4) ใช้ปูนมอร์ตาร์หยอดที่รูอิฐบล็อกประสานให้ครบทุกรู แล้วบ่มมอร์ตาร์เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง ดังแสดงในภาพที่ 3.24

ภาพที่ 3.24 ปูนมอร์ตาร์หยอดที่รูอิฐบล็อกประสาน

5) นำอิฐตัวอย่างมาเคลือบผิวด้วยปูนปลาสเตอร์ทั้งสองหน้า หนาไม่เกิน 3 มิลลิเมตรให้เรียบ แล้วทิ้งไว้ให้แห้งไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง ดังแสดงในภาพที่ 3.25

ภาพที่ 3.25 เคลือบผิวด้วยปูนปลาสเตอร์

6) นำก้อนตัวอย่างที่เคลือบด้วยปูนปลาสเตอร์เสร็จแล้ว มาวางในเครื่องทดสอบโดยวางในแนวของการก่ออิฐ ดังแสดงในภาพที่ 3.26

ภาพที่ 3.26 นำก้อนตัวอย่างเข้าเครื่องทดสอบ

7) เริ่มทำการกดก้อนตัวอย่างโดยให้น้ำหนักกดเป็นไปอย่างสม่ำเสมอไม่กระตุก กดจนกระทั่งก้อนตัวอย่างถึงจุดประลัย ทำการบันทึกค่าน้ำหนักสูงสุดและทำซ้ำจนครบ ดังแสดงในภาพที่ 2.27

ภาพที่ 3.27 ก้อนตัวอย่างถึงจุดประลัย

8) คำนวณความต้านแรงอัดของก้อนตัวอย่างทั้งหมดและนำมาหาค่าเฉลี่ยกำลังต้านแรงอัดของอิฐบล็อกประสาน

ความต้านแรงอัดของแท่งทดสอบ (MPa) = P / A

เมื่อ P คือ แรงกดสูงสุดเมื่อแท่งทดสอบรับได้ (N)

A คือ พื้นที่หน้าตัดที่รับแรงกด (mm^2)

3.7.2 ทดสอบหาการดูดซึมน้ำของอิฐบล็อกประสาน

สูตรคำนวณ

การดูดซึมน้ำ = (น้ำหนักอิฐแช่น้ำ - น้ำหนักอิฐอบแห้ง ÷ น้ำหนักอิฐอบแห้ง) × 100

วิธีทดสอบ

1) บ่มก้อนตัวอย่างให้ครบ 28 วัน หลังจากนั้นเอาไปแช่น้ำ 1 วัน แล้วนำขึ้นมาเช็ดให้พอหมาด ชั่งน้ำหนัก และจดบันทึกค่า ดังแสดงในภาพที่ 3.28

ภาพที่ 3.28 นำก้อนตัวอย่างแช่น้ำ 24 ชั่วโมง แล้วชั่งหามวล

2) นำก้อนตัวอย่างไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105±5 องศาเซลเซียส และปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องประมาณ 1-3 ชั่วโมงแล้วชั่งหามวล มวลที่ได้เป็นมวลวัสดุอบแห้งในอากาศ ดังแสดงในภาพที่ 3.29

ภาพที่ 3.29 นำก้อนตัวอย่างอบความร้อน 24 ชั่วโมง แล้วชั่งหามวล

3.7.3 ทดสอบความหนาแน่น

สูตรคำนวณ

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\text{น้ำหนักชั่งหลังอบแห้ง} \times 1000}{\text{น้ำหนักอิ่มตัวด้วยน้ำ - น้ำหนักชั่งในน้ำ}}$$

วิธีทดสอบ

เลือกก้อนตัวอย่างหลังจากการบ่ม 28 วัน แล้วนำไปแช่น้ำ 1 วันจำนวน 4 ก้อน และทดสอบดังนี้

1) เช็ดก้อนตัวอย่างให้พอหมาด แล้วชั่งน้ำหนัก และจดบันทึกค่า ดังแสดงในภาพที่ 3.30

ภาพที่ 3.30 ชั่งน้ำหนักอิ่มตัวด้วยน้ำ

2) อบก้อนตัวอย่างอุณหภูมิ 105±5 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักก้อนตัวอย่างหลังอบแห้ง ดังแสดงในภาพที่ 3.31

ภาพที่ 3.31 อบก้อนตัวอย่างอุณหภูมิ 105±5 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

3) ชั่งน้ำหนักก้อนตัวอย่างในน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 3.32

ภาพที่ 3.32 ชั่งน้ำหนักก้อนตัวอย่างในน้ำ

3.8 การวิเคราะห์ของอิฐบล็อกประสานผสมฝุ่นหินผุในการนำไปใช้จริง

3.8.1 คุณสมบัติของวัสดุ

1. ความถ่วงจำเพาะของดินลูกรัง พิจารณาตาม ASTM D 854 - 00
2. ปริมาณในดินลูกรัง พิจารณาตาม ASTM D 3282 – 15
3. พิกัดความข้นเหลวของดินลูกรัง พิจารณาตาม ASTM D 423 - 66
4. ขนาดคละของดินลูกรัง พิจารณาตาม ASTM D 423 - 66
5. ปริมาณน้ำที่เหมาะสม พิจารณาตาม มยผ. 2101 - 57

3.8.2 คุณสมบัติของอิฐบล็อกประสานผสมฝุ่นหินผุทดแทนปูนซีเมนต์

1. ความสามารถทางด้านกำลังอัด พิจารณาตาม มผช.602/2547
2. การดูดซึมน้ำ พิจารณาตาม มผช.602/2547
3. ความหนาแน่นแห้ง พิจารณาตาม มอก.57 – 2530

บทที่ 4
ผลการทดสอบ และการวิเคราะห์ผล

ในบทนี้กล่าวถึงผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผลการทดสอบของงานวิจัยนี้ ซึ่งประกอบด้วยสมบัติของดินลูกรังและขยะพลาสติก PET และผลการทดสอบสมบัติของอิฐบล็อกประสานที่ใช้ขยะโพลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการทดสอบสมบัติพื้นฐานของดินลูกรัง

ตารางที่ 4.1 สมบัติพื้นฐานของดินลูกรัง

คุณสมบัติ	ผลการทดสอบ
ความถ่วงจำเพาะ	2.77
ขีดจำกัดเหลว (%)	36.80
ขีดจำกัดพลาสติก (%)	31.11
ค่าพิกัดพลาสติก (%)	5.69
ค่าปริมาณความชื้นดินลูกรัง (%)	3.66
ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (%)	7.90
ผ่านตะแกรงเบอร์ 40 (%)	36.80

ผลการทดสอบสมบัติพื้นฐานของดินลูกรัง ซึ่งได้แก่ค่าความถ่วงจำเพาะ และสมบัติด้าน Atterberg Limit เพื่อทราบสมบัติของดินลูกรัง และหาค่าขีดความสามารถในการเปลี่ยนแปลงลักษณะของดินลูกรัง ดังแสดงผลในตารางที่ 4.1 พบว่าดินลูกรังที่นำมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้มีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ที่ 2.77 ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์ทั่วไป 2.70 - 3.00 (ทวิช กล้าแท้ และกงกิจ ยิ่งเจริญกิจขจร , 2561) มีค่าขีดจำกัดเหลวเท่ากับ 36.8% ค่าขีดจำกัดพลาสติกเท่ากับ 31.11% และค่าพิกัดพลาสติกเท่ากับ 5.69% จากค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าดินลูกรังที่นำมาทดสอบมีค่าความสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงเป็นของเหลวค่อนข้างสูงกล่าวคือ หากมีการผสมน้ำในปริมาณมากเกินไปจะทำให้ดินลูกรังชนิดนี้ไม่สามารถขึ้นรูปได้

4.2 ผลการทดสอบสมบัติพื้นฐานของพลาสติก PET

ผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะ และค่าปริมาณความชื้น รวมถึงค่าหน่วยน้ำหนักอัดแน่นของพลาสติก PET ดังแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่าค่าความถ่วงจำเพาะมีค่า 1.33 โดยมีค่าน้อยกว่าดินลูกรังถึง 52% และค่าปริมาณความชื้นมีค่า 0% ในส่วนของค่าหน่วยน้ำหนักอัดแน่นมีค่า 447 กก.ต่อ ลบ.ม. เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับดินลูกรังพบว่าค่าหน่วยน้ำหนักอัดแน่นมีค่าน้อยกว่าดินลูกรังซึ่งเมื่อนำมาเป็นวัสดุผสมแทนที่ดินลูกรังอาจส่งผลให้อิฐบล็อกประสานมีความหนาแน่นลดลง

ตารางที่ 4.2 สมบัติพื้นฐานของพลาสติก PET

คุณสมบัติ	ผลการทดสอบ
ความถ่วงจำเพาะ	1.33
ค่าปริมาณความชื้นพลาสติก (%)	0
ค่าหน่วยน้ำหนักอัดแน่น (กก./ลบ.ม.)	447

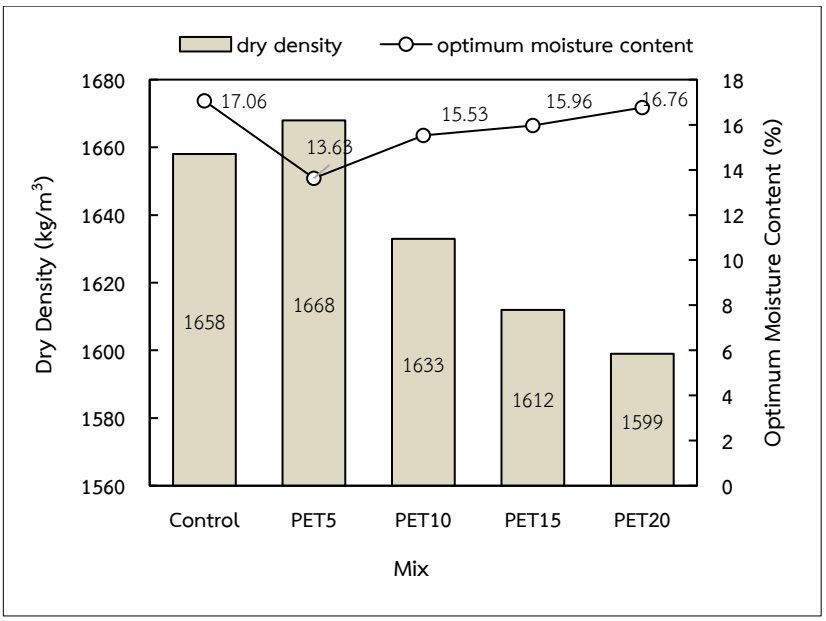
4.3 ผลการทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมต่อความหนาแน่นแห้งสูงสุด

ผลการทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมต่อความหนาแน่นแห้งสูงสุด โดยทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมตาม Standard Proctor Test (Optimum Moisture Content, O.M.C.) กำหนดการทดสอบทั้งหมด 5 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 3 ครั้ง ทดสอบปริมาณน้ำเริ่มตั้งแต่ 5% และครั้งต่อไปเพิ่มน้ำครั้งละ 3% จนกว่าความหนาแน่นเปียกมีน้ำหนักลดลง 2 ครั้ง ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.1

ผลการทดสอบหาค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสม และความหนาแน่นแห้งของอัตราส่วนผสม พบว่าอัตราส่วนผสมของ Control มีค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมต่ำสุดเนื่องจากมีปริมาณดินลูกรังมากกว่าอัตราส่วนผสมอื่น เมื่อสังเกต PET5 ปริมาณน้ำที่เหมาะสมเพิ่มขึ้นและความหนาแน่นแห้งก็สูงขึ้นด้วย แต่เมื่อปริมาณพลาสติก PET เพิ่มขึ้นเป็น 10% ปริมาณน้ำที่เหมาะสมเพิ่มขึ้นแต่ความหนาแน่นลดลง จึงพิจารณาได้ว่าการแทนที่ของพลาสติก PET ที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้ค่าปริมาณน้ำแปรผกผันกับความหนาแน่นแห้ง โดยอัตราการใช้พลาสติก PET 5% จะส่งผลให้ความหนาแน่นของส่วนผสมสูงกว่า Control อาจเกิดจากช่องว่างระหว่างพลาสติก PET จึงทำให้ปริมาณน้ำค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากปริมาณน้ำที่สูงขึ้นจึงช่วยอุดช่องว่างระหว่างพลาสติก PET กับดินลูกรัง

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมต่อความหนาแน่นแห้งสูงสุด

อัตราส่วนผสม	ปริมาณน้ำที่เหมาะสม (%)				ความหนาแน่นแห้ง (กก./ลบ.ม.)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
Control	19.00	18.60	13.60	17.06	1,619	1,662	1,693	1,658
PET5	13.00	14.80	13.10	13.63	1,642	1,672	1,689	1,668
PET10	15.00	15.60	16.00	15.53	1,622	1,650	1,628	1,633
PET15	15.90	16.00	16.00	15.96	1,639	1,584	1,612	1,612
PET20	16.50	16.80	17.00	16.76	1,609	1,590	1,598	1,599



ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้ง และปริมาณน้ำที่เหมาะสมของอัตราส่วนที่ออกแบบ

4.3 ผลการทดสอบสมบัติอิฐบล็อกประสาน

4.3.1 ลักษณะทั่วไป

จากตารางที่ 4.4 พบว่าอิฐบล็อกประสานผสมขยะพลาสติก PET มีการคลาดเคลื่อนแต่ละมิติไม่เกิน ± 1.1 มิลลิเมตร เมื่อทำการเปรียบเทียบกับ มผช. 602/2547 พบว่ามิติของอิฐบล็อกประสานผสมพลาสติก PET ทั้งหมดเป็นไปตามมาตรฐานกำหนด คือต้องมีมิติความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± 2 มิลลิเมตร ซึ่งอิฐบล็อกประสานผสมพลาสติก PET ทั้งหมดผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ในส่วนของผิวอิฐบล็อกประสานยิ่งการแทนที่ของพลาสติก PET เพิ่มขึ้นผิวรอบด้านจะมีความเรียบลดลงตามปริมาณการแทนที่ และอาจจะมีการหลุดลอกของพลาสติก PET แต่ในส่วนอิฐบล็อกประสานไม่มีรอยร้าวแตกลึกแต่อย่างใด

4.3.2 ความหนาแน่นแห้ง และการดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสาน

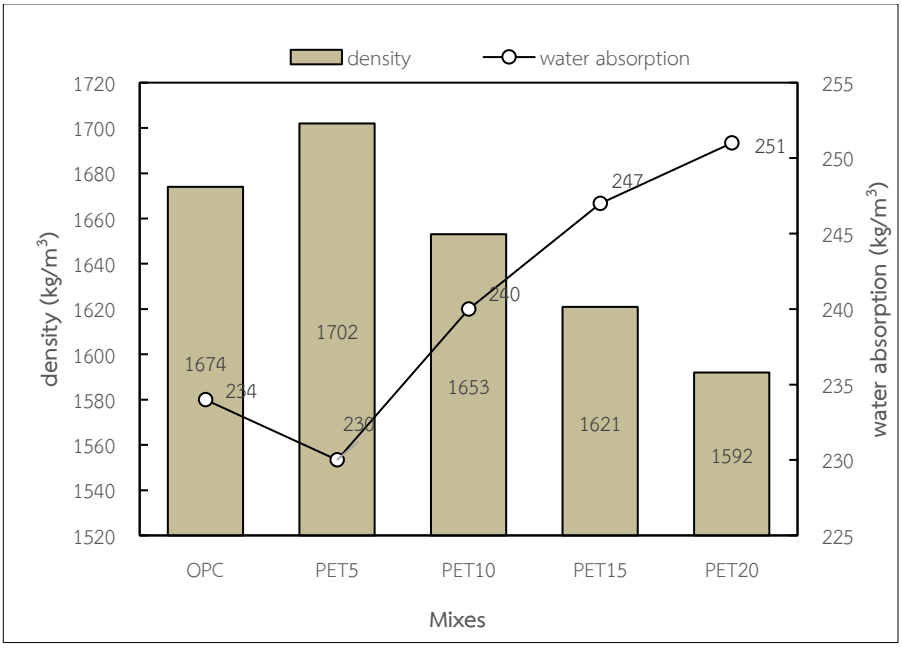
ผลการทดสอบความหนาแน่นแห้ง และการดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสาน ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.2 ผลการทดสอบความหนาแน่นแห้ง และการดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสานแสดงให้เห็นว่าการดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสานมีค่าเพิ่มขึ้นในขณะที่ความหนาแน่นลดลง กล่าวคือบล็อกประสานที่มีความหนาแน่นมากขึ้นจะส่งผลให้มีการดูดกลืนน้ำได้น้อยลงกลับกันความหนาแน่นที่ลดลงก็จะมีการดูดกลืนน้ำได้มากขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อทำการเปรียบเทียบกับ มผช. 602/2547 พบว่าการทดสอบการดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสานที่ทดแทนดินลูกรังบางส่วนด้วยขยะพลาสติก PET ทั้งหมดเป็นไปตามมาตรฐานกำหนด คือต้องมีค่าการดูดกลืนน้ำเฉลี่ยจากอิฐบล็อกประสานทั้ง 5 ก้อน ไม่มากกว่า 208-288 กก./ลบ.ม. ซึ่งอิฐบล็อกประสานผสมขยะพลาสติก PET ทั้งหมดผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ 4.4 รูปร่าง และรอยบิ่นของอิฐบล็อกประสาน

ภาพมิติ	ขนาดบล็อกประสาน (เซนติเมตร)			ระยะขอบบิ่น (เซนติเมตร)			ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน
	กว้าง	ยาว	สูง	กว้าง	ยาว	สูง	(มิลลิเมตร)
	12.51	25.15	10.15	0.01	0.15	0.15	1.03
	12.51	25.10	10.16	0.01	0.10	0.16	0.9
	12.48	24.95	10.05	0.02	0.05	0.05	0.4
	12.50	25.05	10.05	0.00	0.05	0.05	0.33
	12.46	24.96	10.17	0.04	0.04	0.17	0.83

ตารางที่ 4.5 ความหนาแน่นแห้ง และการดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสาน

อัตราส่วนผสม	ความหนาแน่นแห้ง (กก./ลบ.ม.)	การดูดกลืนน้ำ (กก./ลบ.ม.)
Control	1,674	234
PET5	1,702	230
PET10	1,653	240
PET15	1,621	247
PET20	1,592	251

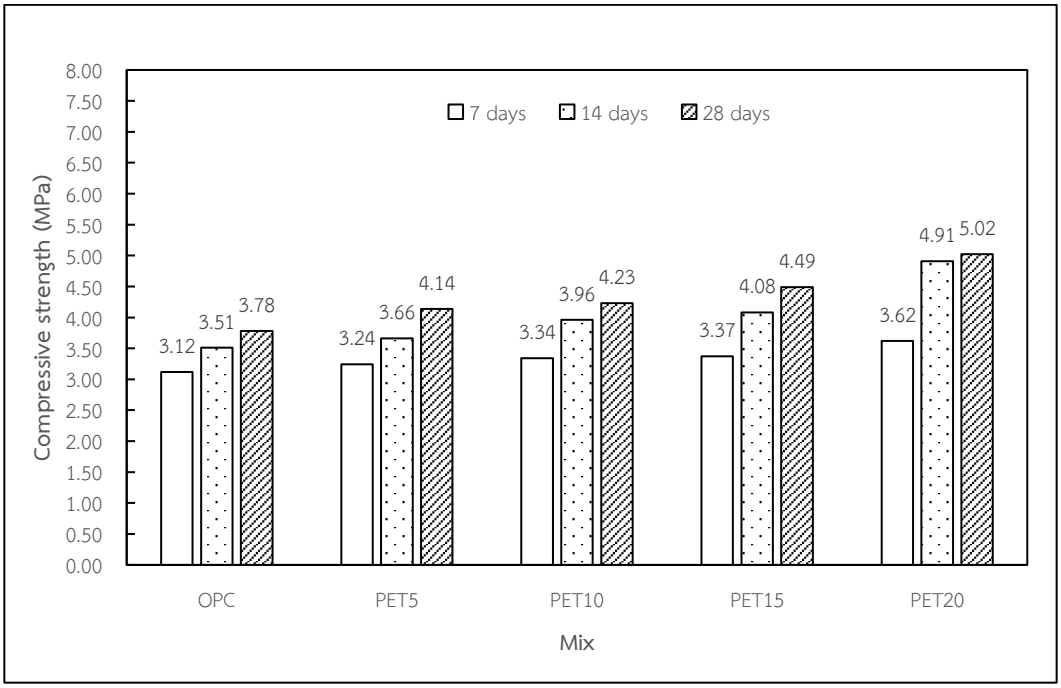


ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้ง และการดูดซึมน้ำของอิฐบล็อกประสานของอัตราส่วนที่ออกแบบ

4.3.3 ค่าความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกประสาน

ผลการทดสอบความจ้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกประสานดังแสดงในภาพที่ 4.3 พบว่าค่าความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกประสานที่อายุทดสอบ 7, 14 และ 28 วัน มีค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการบ่มมากขึ้น ซึ่งอายุการบ่มจะช่วยให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ซึ่งจะส่งผลให้การพัฒนากำลังอัดของอิฐบล็อกประสานเป็นไปอย่างต่อเนื่อง (สถิตย์พงษ์ วงศ์สง่า และคณะ, 2563) โดยการแทนที่ของพลาสติก PET เพิ่มขึ้น ส่งผลให้กำลังอัดของอิฐบล็อกประสานมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 5% ต่อการเพิ่มขึ้นของพลาสติก PET 5% เมื่อนำค่ากำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกประสานที่ได้ไปเปรียบเทียบกับ มผช. 602/2547 ชนิดรับน้ำหนักเฉลี่ยได้ไม่น้อยกว่า 7.0 MPa และชนิดไม่รับน้ำหนักเฉลี่ยได้ไม่น้อยกว่า 2.5 MPa ที่อายุทดสอบ 7, 14 และ 28 วัน พบว่าผลการ

ทดสอบที่อัตราส่วนการแทนที่ 0, 5, 10, 15 และ 20% ซึ่งจะให้ค่ากำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกประสานผ่านเกณฑ์ชนิดไม่รับน้ำหนัก



ภาพที่ 4.3 ค่าสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงอัด และอัตราส่วนผสมกับอายุการบ่มของอิฐบล็อกประสาน

4.4 การวิเคราะห์ราคาต้นทุนในการผลิตอิฐบล็อกประสาน (ราคากลาง ณ เดือน กันยายน 2566)

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำพลาสติก PET มาแทนที่ดินลูกรังบางส่วนในอิฐบล็อกประสานในอัตราส่วน 0, 5, 10, 15 และ 20% โดยปริมาตรของวัสดุประสานโดยกำหนดอัตราส่วนวัสดุประสานต่อดินลูกรัง 1 : 6 โดยปริมาตร เมื่อมาวิเคราะห์หาราคาต้นทุนในการผลิตอิฐบล็อกประสาน มีวิธีวิเคราะห์ดังต่อไปนี้ (โดยไม่รวมค่าแรง)

1. ปูนซีเมนต์ ถุงละ 180 บาท ต่อ 50 กิโลกรัม เท่ากับ ราคา 3.6 บาทต่อกิโลกรัม
2. ดินลูกรัง ลูกบาศก์เมตรละ 550 บาท ต่อ 1,500 กิโลกรัม เท่ากับ ราคา 0.366 บาทต่อกิโลกรัม
3. พลาสติก PET 1 กิโลกรัม ราคา 8 บาทต่อกิโลกรัม
4. น้ำประปาสะอาด (ประเภทที่ 2 ราชการ) 150 บาท ต่อ 9 ลูกบาศก์เมตร เท่ากับ ราคา 0.017 บาท ต่อกิโลกรัมหรือลิตร

ตารางที่ 4.6 รายละเอียดต้นทุนการผลิตอิฐบล็อกประสานแต่ละอัตราส่วนต่อก้อน โดยไม่รวมค่าแรง (ราคากลาง ณ เดือนกันยายน 2566)

อัตราส่วนผสม	ราคาดินลูกรัง (บาท)	ราคาปูนซีเมนต์ (บาท)	ราคาพลาสติกPET (บาท)	ราคาน้ำประปา (บาท)	รวมต้นทุน (บาท)
Control	1.882	3.082	0	0.014	4.978
PET5	1.788	3.082	0.988	0.015	5.873
PET10	1.694	3.082	1.977	0.015	6.768
PET15	1.600	3.082	2.965	0.016	7.663
PET20	1.506	3.082	3.954	0.014	8.556

หมายเหตุ : ราคาอิฐบล็อกประสานที่ขายตามท้องตลาดมีราคาประมาณ 11 บาท (ร้าน เค.พี.บล็อกประสาน นครศรีธรรมราช)

พิจารณาจากตารางที่ 4.6 เมื่อเพิ่มพลาสติก PET บดทำให้ต้นทุนเพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณ 0.988 บาท ต่อการเพิ่มขึ้น 5% ของพลาสติก PET ซึ่งราคาของอิฐบล็อกประสานที่ผสมขยะพลาสติก PET ยังมีราคาถูกกว่าตามท้องตลาดจึงมีแนวคิดอบรมให้ชุมชนริเริ่มการใช้พลาสติก PET มาสร้างรายได้ในชุมชนจากการผลิตอิฐบล็อกประสานผสมขยะพลาสติก PET ในอัตราส่วน 5, 10, 15 และ 20% โดยปริมาตร ซึ่งในจำนวน 1 ก้อน มีปริมาณที่ใช้พลาสติก PET บด เท่ากับ 0.124, 0.247, 0.370 และ 0.494 กิโลกรัม ซึ่งหากทำการผลิตแต่ละอัตราส่วนเป็นจำนวน 1,000 ก้อน สามารถลดปริมาณขยะพลาสติก PET ได้เท่ากับ 124, 247, 370, และ 494 กิโลกรัม ดังตารางที่ 4.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.7 ปริมาณพลาสติก PET บดที่ใช้ในอิฐบล็อกประสาน

อัตราส่วนการที่อิฐบล็อกประสาน (%)	พลาสติก PET บด (กก.)	
	จำนวน 1 ก้อน	จำนวน 1,000 ก้อน
0	0	0
5	0.124	124
10	0.247	247
15	0.370	370
20	0.494	494

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 คุณสมบัติของวัสดุ

จากผลการทดสอบคุณสมบัติของดินลูกรัง แล้วนำมาจำแนกตาม ระบบ Unified (Classification) พบว่าดินลูกรังที่ใช้จัดอยู่ในกลุ่ม ML, OL เป็นตะกอนทรายอนินทรีย์ และทรายละเอียดมาก หินฝุ่น ทรายละเอียดปนตะกอนทรายหรือดินเหนียวมีความเหนียวเล็กน้อย หรือตะกอนทรายอนินทรีย์ และดินเหนียวปนตะกอนทรายอินทรีย์ มีความเหนียวต่ำ โดย ความถ่วงจำเพาะ มีค่าเท่ากับ 2.73 ขีดจำกัดเหลว มีค่าเท่ากับ 39.28 ขีดจำกัดพลาสติก มีค่าเท่ากับ 35.27 ค่าพิกัดพลาสติก มีค่าเท่ากับ 4.01 โดยในส่วนฝุ่นหินผุมีค่าความถ่วงจำเพาะ มีค่าเท่ากับ 3.16

5.1.2 คุณสมบัติของอิฐบล็อกประสาน

5.1.2.1 ค่ากำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกประสานเมื่อได้ไปพิจารณาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มผช. 602/2547 (ชนิดรับน้ำหนัก) โดยกำหนดให้สามารถรับกำลังแรงอัดเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 7.0 MPa ผลการทดสอบพบว่าอิฐบล็อกประสานที่อายุการบ่มที่ 7, 14 และ28 วัน ในอัตราส่วนการแทนที่ 0, 10, 20 และ30% อัตราส่วนวัสดุประสานต่อดินลูกรัง 1: 6 มีค่ากำลังรับแรงอัด ไม่ผ่านตามมาตรฐานดังกล่าว

5.1.2.2 ค่ากำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกประสานไปพิจารณาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มผช. 602/2547 (ชนิดไม่รับน้ำหนัก) โดยกำหนดให้สามารถรับกำลังแรงอัดเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 2.5 MPa ผลการทดสอบพบว่าอิฐบล็อกประสานตัวอย่างที่อายุการบ่มที่ 7, 14 และ 28 วัน ในอัตราส่วนการแทนที่ 0, 10, 20 และ 30% อัตราส่วนวัสดุประสานต่อดินลูกรัง 1: 6 มีค่ากำลังรับแรงอัดผ่านตามมาตรฐานดังกล่าว

5.1.2.3 ความหนาแน่นแห้งและการดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสานผสมฝุ่นหินผุทุกอัตราส่วนผสม ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มผช. 602/2547 (ชนิดรับน้ำหนัก)

5.1.3 การคำนวณต้นทุนราคาการผลิต

การใช้ฝุ่นหินผุทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วน ช่วยลดต้นทุนในการผลิตอิฐบล็อกประสานเฉลี่ย 27.2% หรือ 2.72 บาทต่อก้อน ชนิดไม่รับน้ำหนักที่อัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ 30% (เมื่อเทียบกับราคาตลาด)

เมื่อพิจารณาผลการศึกษาครั้งนี้ สรุปได้ว่า อิฐบล็อกประสานผสมฝุ่นหินผุที่มีการทดแทนที่ปูนซีเมนต์ 30% ดีที่สุด เพราะค่ากำลังรับแรงอัด และค่าการดูดกลืนน้ำผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน (มผช. 602/2547) และมีต้นทุนการผลิตที่น้อยที่สุด เมื่อเทียบกับต้นทุนการผลิตที่ 0% โดยจากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าฝุ่นหินผุสามารถนำมาเป็นวัสดุทางเลือกชนิดใหม่ในงานอิฐบล็อกประสานได้ชนิดไม่รับน้ำหนัก เมื่อมีการใช้ในปริมาณที่เหมาะสมและมีการควบคุม

ปริมาณน้ำที่พอเหมาะ เนื่องจากฝุ่นหินผุมีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับใช้ในงานอิฐบล็อกประสาน หรือนำมาใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ ในการผลิตวัสดุก่อสร้างชนิดอื่น ซึ่งนอกจากจะสามารถลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์โดยตรงแล้วหากมีการส่งเสริมและให้ความรู้แก่ชุมชนที่มีวัสดุประเภทหินผุอยู่มาก อาจเป็นการสร้างรายได้และอาชีพ รวมถึงการนำหินผุใช้ให้เกิดประโยชน์และสามารถใช้งานได้จริงในชุมชนได้อีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ต้องทดลองอัดโดยการชั่งส่วนผสมให้เหมาะสม เพื่อหาน้ำหนักที่อัดได้ในแต่ละก้อน
2. ควรทาน้ำมันให้น้อยที่สุด เพราะถ้าเมื่อทาน้ำมันมากจนเกินไปจะทำให้ก้อนตัวอย่างติดกับบล็อก จะส่งผลให้ก้อนตัวอย่างแตกได้
3. ควรศึกษาโดยเพิ่มการนำฝุ่นหินผุมาทดแทนปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น (40 และ 50%)

บรรณานุกรม

กมล อมรฟ้า และ อรุณวดี สังข์วรรณ. 2561. สมบัติทางวิศวกรรมของบล็อกประสานที่เคลือบด้วยน้ำยาเคลือบผิว, น.27-35. *ใน* **รายงานการประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ครั้งที่ 3**, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล.

กรมควบคุมมลพิษ. 2563. **ปริมาณพลาสติกในช่วงโควิด 19 ในปี 2563**. แหล่งที่มา: https://www.pcd.go.th, 29 กรกฎาคม 2565.

กงกิจ ยิ่งเจริญกิจขจร และทวิช กล้าแท้. 2561. การประยุกต์ใช้เปลือกหอยนางรมบดในการผลิตบล็อกประสานเพื่อชุมชน. รายงานวิจัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.

กลุ่มวิเคราะห์ ทดสอบและควบคุมคุณภาพ สำนักวิเคราะห์ วิจัยและพัฒนา. 2558. **คู่มือการปฏิบัติงานควบคุมคุณภาพการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต**. กรุงเทพฯ : กรมทางหลวงชนบท.

จรูญ เจริญเนตรกุล และอัมพร หมัดแสละ. 2554. บล็อกประสานผสมเถ้าและกะลาปาล์มน้ำมัน. รายงานวิจัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.

ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร. 2549. **คอนกรีตเทคโนโลยี**. พิมพ์ครั้งที่ 13. บริษัท ผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้างจำกัด, กรุงเทพฯ

ชูเกียรติ ชูสกุล. 2553. การศึกษาคุณสมบัติฝุ่นหินผุเพื่อทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์สำหรับงานก่อและงานฉาบ. น. 213-217. *ใน* **รายงานการประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 6**, จังหวัดเพชรบุรี.

ชูเกียรติ ชูสกุล. 2559. **คอนกรีตเทคโนโลยี ทฤษฎีและปฏิบัติ**. บริษัท ทริปเพิ้ล กรุ๊ป จำกัด, กรุงเทพฯ.

ธนธร เงินชูกลิ่น. 2554. การประยุกต์ใช้เถ้าแถลบในการผลิตบล็อกประสาน. สารนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมการก่อสร้าง, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

บริษัท คัดแยกขยะเพื่อรีไซเคิล วงษ์พาณิชย์ จำกัด. 2563. **ปริมาณการใช้ขวดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต**. แหล่งที่มา: https://www.wongpanit.com, 29 กรกฎาคม 2565.

ประชุม คำพุฒ. 2562. ผลิตภัณฑ์อิฐบล็อกประสานจากเศษก้านใบยาสูบใช้ก้านใบยาสูบ. น. 231-240. *ใน* **งานประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยรังสิต ประจำปี 2562**. มหาวิทยาลัยรังสิต, กรุงเทพฯ.

ปิติ สุคนธสุขกุล. 2556. **คอนกรีต**. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์วรรณกวี, กรุงเทพฯ :

ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล. 2552. **ปูนซีเมนต์ปอซโซลานและคอนกรีต**. พิมพ์ครั้งที่ 2. สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล. 2556. **ปูนซีเมนต์ปอซโซลานและคอนกรีต**. พิมพ์ครั้งที่ 7. สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

เพ็ญชาย เวียงใต้, ปิยะพล สีหาบุตร และเจษฎ์ศิริ เถื่อนมูลล่ะ. 2561. อิฐบล็อกประสานผสมวัสดุเหลือทิ้งเพื่อพัฒนาเป็นผนังรับแรง และลดการแพร่ความร้อน. รายงานวิจัย, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.

ภัทรภณ บูรณากาญจน์. 2020. สมบัติของคอนกรีตบล็อกที่มีการใช้ขวดพลาสติก Polyethylene Terephthalate (PET) เป็นส่วนประกอบ. **Thai Journal of Science and Technology** 9(1): 180-196.

ภัทระ เกิดอินทร์ สุรศักดิ์ นิยมพานิชพัฒนา ธนกฤต นิสดล และอนุวัฒน์ พลหนุ่ย. 2565. อิฐบล็อกประสานผสมเศษพลาสติก. **Industrial Technology Journal** 7(2): 137-148.

วรุตม์ รัตนภักดี และภัทรนันท์ ทักขนนท์. 2557. แผ่นหลังคาพลาสติกรีไซเคิลเพื่อการป้องกันความร้อน. น. 88-95. *In* **Proceedings of Built Environment Research Associates Conference. 5,** Thammasat Design School.

วุฒินัย กกกำแหง และคณะ. 2563. การวิจัยและพัฒนาการลดการใช้ปูนซีเมนต์ในบล็อกประสาน. *Thailand Institute of Scientific and Technological Research 2020*, Pathum Thani.

เวชสวรรค หล่ากาศ. 2561. การประยุกต์ใช้ถนนแอสฟลตคอนกรีตเพื่อลดปัญหาขยะพลาสติกในชุมชน: กรณีศึกษา ถนนทางเข้าวัดแม่สาหลวง จังหวัดเชียงใหม่. **วารสารวิทยาศาสตร มข.** *46* (4): 812-821.

สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์ และเฉลิมชัย ไชยธงรัตน์. 2561. การรีไซเคิลเศษเมลามีนฟอร์มาดีไฮด์ซึ่งเป็นเศษของเสียจากกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เมลามีน. รายงานวิจัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2547. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐบล็อกประสาน (มผช.602/2547)**.** กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2547. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์, เล่ม 1 ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ: มอก. 15-2547. กรุงเทพฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2547. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์, เล่ม 1 ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ: มอก. 15-2547. กรุงเทพฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม.

Alaloul, W. S., John, V. O. and Musarat, M. A. 2020. Mechanical and thermal properties of interlocking bricks utilizing wasted polyethylene terephthalate. **International Journal of Concrete Structures and Materials** 14: 1-11.

American Society of Testing Materials ASTM C29: Standard Test Method for Unit Weight and Voids in Aggregates, **Annual Book of ASTM Standards**, 2001, Vol. 04.02: 1-4.

American Society of Testing Materials ASTM C 33: Standard Specification for Concrete Aggregates, **Annual Book of ASTM Standards**, Philadelphia, 1997; 04.02: 10-17.

American Society of Testing Materials ASTM C 127: Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate, **Annual Book of ASTM Standards**, Philadelphia, 2001, Vol. 04.02: 64-68.

American Society of Testing Materials ASTM C 128: Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate **Annual Book of ASTM Standards**, Philadelphia, 2001, Vol. 04.02: 69-73.

American Society of Testing Materials ASTM C 136: Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, **Annual Book of ASTM Standards**, Philadelphia, 2001, Vol. 04.02: 78-82.

American Society of Testing Materials ASTM C 143: Standard Practice for Slump of Hydraulic-Cement Concrete, **Annual Book of ASTM Standards**, Philadelphia, 2001, Vol. 04.02: 89-91.

American Society for Testing and Material, ASTM C 618: Standard Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete, **Annual Book of ASTM Standards**, Philadelphia, 2001, Vol. 04.02: 310-313.

Choosakul, C. 2010. A Study of Decomposed-rock Dust as a Partial Replacement of Portland Cement for Bricking and Plastering Work. pp. 20-22. In **Proceeding of the sixth Annual Concrete Conference**, Phetchaburi.

Cordeiro G. C., Toledo Filho R. D., Tavares L. M. and Fairbairn E.M. R. 2008. Pozzolanic activity and filler effect of sugar cane bagasse ash in Portland cement and lime mortars. **Cement Concrete Compos** .30: 410–418.

Eco inclusion. 2014. **Brick blocks from recycled plastic bottles helping to reduce waste and solve the housing problem in Argentina**. Available Source: (www.thai-blockprasan.blogspot.com, Jan 9, 2023.

Ennahal, I., Maherzi, W., Benzerzour, M., Mamindy, Y., & Abriak, N. E. 2021. **Performance of lightweight aggregates comprised of sediments and thermoplastic waste**. *Waste and Biomass Valorization*, *12*(1), 515-530. Available Source: https:/ / www. creativecitizen. com/ fundacion-ecoinclusion/ , April 20, 2020.

Fraay, A.L.A., Bijen, J.M. and Haan, Y.M.D. 1989. The Reaction of Fly Ash in Concrete. A Critical Examination. **Cement and Concrete Research** 19: 235-246.

Hansen, T.C. 1990. Long-Term Strength of High Fly Ash Concrete. **Cement and Concrete Research** 20: 193-196.

Kiattikomol, K., Jaturapitakkul, C., Songpiriyakij, S. and Chutubtim, S. 2001. A study of ground coarse fly ashes with different finenesses from various sources pozzolanic materials**. Cement & Concrete Composites** 23: 335-343.

Intaboot, N. 2020. Innovation of interlocking block mixing with biomass for sound absorption and thermal conductivity in Thailand. **Journal of Advanced Concrete Technology** 18(8): 473-480.

Pimraksa, K. and Chindaprasirt, P. 2009. Lightweight bricks made of diatomaceous earth, lime and gypsum. **Ceramics International** 35: 417-478.

Schaefer, C. E., Kupwade-Patil, K., Ortega, M., Soriano, C., Büyüköztürk, O., White, A. E. and Short, M. P. 2018. Irradiated recycled plastic as a concrete additive for improved chemo-mechanical properties and lower carbon footprint. **Waste management** 71: 426-439.

Thorneycroft, J., Orr, J., Savoikar, P. and Ball, R. J. 2018. Performance of structural concrete with recycled plastic waste as a partial replacement for sand. **Construction and Building Materials** 161: 63-69.

Tangpagasita, T., Cheerarotb, R., Jaturapitakkula, C., and Kiattikomo, K. 2005. Packing effect and pozzolanic reaction of fly ash in mortar. **Cement and Concrete Research** 35: 1145–1151.

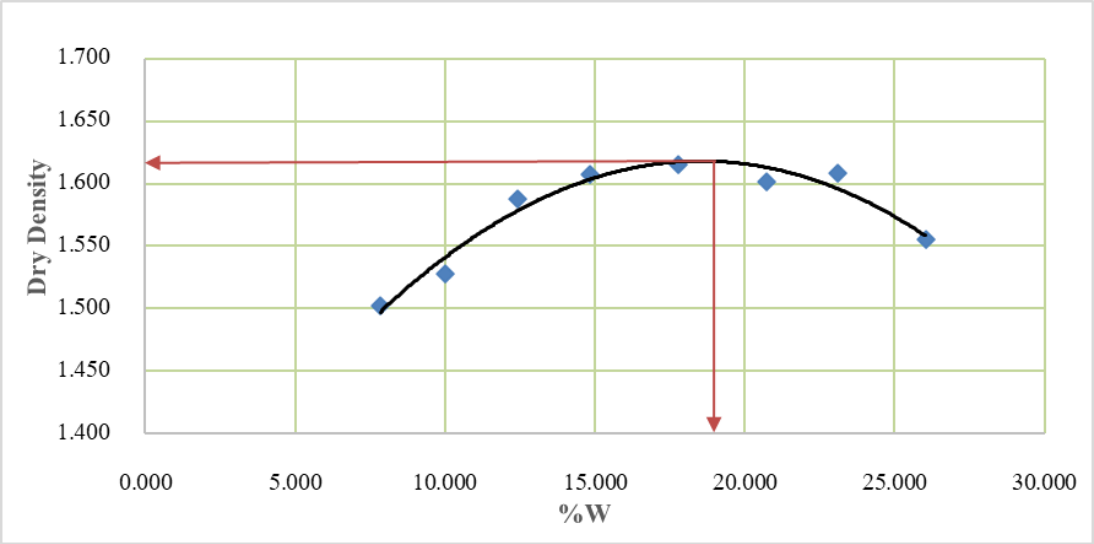
ภาคผนวก ก

ผลการทดสอบสมบัติของวัสดุและการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม

1. การทดสอบหาปริมาณน้ำ มาตรฐาน Standard Proctor Test

ตารางที่ ก-1 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (Control) ครั้งที่ 1

TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD																																
WATER CONTENT DETERMINATION																																
TRIAL NO.	5%			8%			11%			14%			17%			20%			23%			26%			29%			32%				
WET SOIL+CAN (g)	25.7	27.6	23.1	27.6	26.4	29.5	28.1	29.8	26.9	20.8	20.4	26.9	9.7	9.2	10.6	12.3	13.8	11.4	11.7	24.2	27.8	34.4	25.9	27.4	35.0	34.7	34.4	29.0	28.3	23.3		
DAY SOIL + CAN, (g)	25.5	27.5	23.0	27.4	26.1	29.2	27.6	29.4	26.5	20.3	19.7	26.3	9.1	8.7	10.0	11.4	12.6	10.6	10.7	22.8	25.9	31.0	24.1	25.1	31.9	32.1	31.1	25.5	24.9	21.4		
WT. OF CAN, (g)	20.9	21.5	16.7	21.1	17.0	21.8	20.8	21.5	20.4	14.0	12.9	19.0	4.4	4.4	4.7	4.6	4.5	4.6	4.5	13.3	13.4	13.4	13.6	13.3	18.6	21.1	17.3	13.7	13.1	14.7		
WT. OF WATER, (g)	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.5	0.4	0.4	0.5	0.7	0.6	0.6	0.5	0.6	0.9	1.2	0.8	1.0	1.4	1.9	3.4	1.8	2.3	3.1	2.6	3.3	3.5	3.4	1.9		
WT. OF DRY SOIL, (g)	4.6	6.0	6.3	6.3	9.1	7.4	6.8	7.9	6.1	6.3	6.8	7.3	4.7	4.3	5.3	6.8	8.1	6.0	6.2	9.5	12.5	17.6	10.5	11.8	13.3	11.0	13.8	11.8	11.8	6.7		
% WATER CONTENT	4.3	1.7	1.6	3.2	3.3	4.1	7.4	5.1	6.6	7.9	10.3	8.2	12.8	11.6	11.3	13.2	14.8	13.3	16.1	14.7	15.2	19.3	17.1	19.5	23.3	23.6	23.9	29.7	28.8	28.4		
% WC AVERAGE	2.53			3.51			6.32			8.82			11.90			13.79			15.36			18.65			23.62			28.94				
DENSITY DETERMINASTION																																
WT. OF SOIL + MOLD (g)	5,548			5,595			5,654			5,698			5,750			5,797			5,828			5,885			5,862			5,833				
WT. OF MOLD (g)	4,113			4,113			4,113			4,113			4,113			4,113			4,113			4,113			4,113			4,113				
WT. OF SOIL IN MOLD (g)	1,435			1,482			1,541			1,585			1,637			1,684			1,715			1,772			1,749			1,720				
VOL MOLD	914.15			914.15			914.15			914.15			914.15			914.15			914.15			914.15			914.15			914.15				
WET DENSITY	1.57			1.62			1.69			1.73			1.79			1.84			1.88			1.94			1.91			1.88				
DRY DENSITY	1.53			1.57			1.59			1.59			1.60			1.62			1.63			1.63			1.55			1.46				

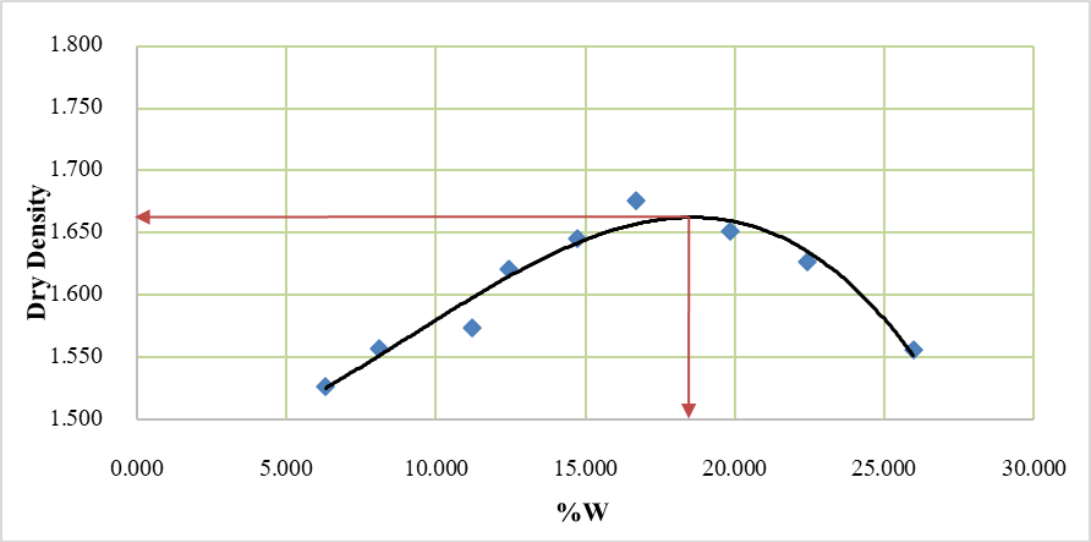


ภาพที่ ก-1 ปริมาณน้ำสูงสุดและความหนาแน่นแห้งสูงสุด Control ครั้งที่ 1

จากผลการทดสอบดังภาพที่ ก- 1 ได้ค่าปริมาณน้ำสูงสุดเท่ากับ 19% ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดเท่ากับ 1.61 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร

ตารางที่ ก-2 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (Control) ครั้งที่ 2

TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD																														
WATER CONTENT DETERMINATION																														
TRIAL NO.	5%			8%			11%			14%			17%			20%			23%			26%			29%			32%		
WET SOIL+CAN (g)	24.2	35.3	30.1	27.7	22.9	32.7	26.2	35.7	30.6	29.1	36.4	25.4	34.0	43.1	33.4	35.3	31.8	34.1	14.4	22.0	15.7	36.7	30.2	31.2	29.4	35.0	34.4	29.1	23.9	22.4
DAY SOIL + CAN, (g)	23.8	34.5	29.0	27.0	22.1	31.7	24.7	34.0	28.9	27.0	33.9	24.1	31.7	40.6	31.0	33.0	29.0	31.7	12.7	19.0	13.9	32.5	27.1	28.0	26.1	29.3	29.2	25.7	19.5	18.5
WT. OF CAN, (g)	15.8	19.0	16.5	17.0	11.9	21.1	12.6	16.7	14.0	12.0	13.0	12.7	17.0	21.1	15.8	12.9	12.9	20.4	4.4	4.1	4.4	13.5	13.6	13.6	13.6	6.6	9.5	13.4	4.4	4.7
WT. OF WATER, (g)	0.4	0.8	1.1	0.7	0.8	1.0	1.5	1.7	1.7	2.1	2.5	1.3	2.3	2.5	2.4	2.3	2.8	2.4	1.7	3.0	1.8	4.2	3.1	3.2	3.3	5.7	5.2	3.4	4.4	3.9
WT. OF DRY SOIL, (g)	8.0	15.5	12.5	10.0	10.2	10.6	12.1	17.3	14.9	15.0	20.9	11.4	14.7	19.5	15.2	20.1	16.1	11.3	8.3	14.9	9.5	19.0	13.5	14.4	12.5	22.7	19.7	12.3	15.1	13.8
% WATER CONTENT	5.0	5.2	8.8	7.0	7.8	9.4	12.4	9.8	11.4	14.0	12.0	11.4	15.6	12.8	15.8	11.4	17.4	21.2	20.5	20.1	18.9	22.1	23.0	22.2	26.4	25.1	26.4	27.6	29.1	28.3
% WC AVERAGE	6.32			8.09			11.21			12.46			14.75			16.69			19.85			22.43			25.97			28.35		
DENSITY DETERMINASTION																														
WT. OF SOIL + MOLD (g)	5,576			5,632			5,694			5,761			5,821			5,883			5,905			5,917			5,887			5,845		
WT. OF MOLD (g)	4,077			4,077			4,077			4,077			4,077			4,077			4,077			4,077			4,077			4,077		
WT. OF SOIL IN MOLD (g)	1,499			1,555			1,617			1,684			1,744			1,806			1,828			1,840			1,810			1,768		
VOL MOLD	923.56			923.56			923.56			923.56			923.56			923.56			923.56			923.56			923.56			923.56		
WET DENSITY	1.62			1.68			1.75			1.82			1.89			1.96			1.98			1.99			1.96			1.91		
DRY DENSITY	1.53			1.56			1.57			1.62			1.65			1.68			1.65			1.63			1.56			1.49		

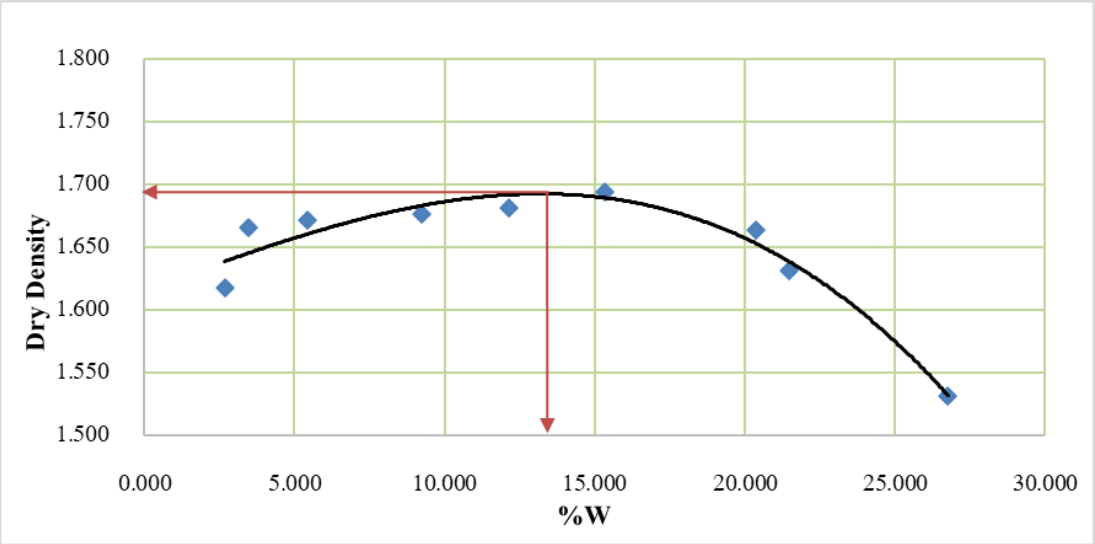


ภาพที่ ก-2 ปริมาณน้ำสูงสุดและความหนาแน่นแห้งสูงสุด Control ครั้งที่ 2

จากผลการทดสอบดังภาพที่ ก-2 จะได้ค่าปริมาณน้ำสูงสุดเท่ากับ 18.6% ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดเท่ากับ 1.662 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร

ตารางที่ ก-3 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (Control) ครั้งที่ 3

TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD																												
WATER CONTENT DETERMINATION																												
TRIAL NO.	5%			8%			11%			14%			17%			20%			23%			26%			29%		
WET SOIL+CAN (g)	27.4	36.2	30.6	32.0	28.8	23.9	31.3	27.4	19.7	22.8	24.5	26.5	35.2	39.8	37.4	28.8	37.4	34.0	43.2	47.4	40.4	44.2	33.4	41.1	43.4	43.9	44.4
DAY SOIL + CAN, (g)	27.1	35.8	30.3	31.9	28.1	23.5	30.6	26.6	19.5	22.0	23.4	25.5	33.9	37.5	35.8	26.5	34.0	32.5	39.6	43.2	37.1	39.8	29.9	36.4	37.6	37.9	38.0
WT. OF CAN, (g)	17.0	21.9	16.7	21.1	15.2	13.7	20.8	14.0	12.5	12.6	12.3	14.8	21.6	20.8	22.6	12.1	14.2	20.8	22.0	21.7	21.5	20.5	12.9	14.0	15.6	15.0	14.9
WT. OF WATER, (g)	0.3	0.4	0.3	0.1	0.7	0.4	0.7	0.8	0.2	0.8	1.1	1.0	1.3	2.3	1.6	2.3	3.4	1.5	3.6	4.2	3.3	4.4	3.5	4.7	5.8	6.0	6.4
WT. OF DRY SOIL, (g)	10.1	13.9	13.6	10.8	12.9	9.8	9.8	12.6	7.0	9.4	11.1	10.7	12.3	16.7	13.2	14.4	19.8	11.7	17.6	21.5	15.6	19.3	17.0	22.4	22.0	22.9	23.1
% WATER CONTENT	3.0	2.9	2.2	0.9	5.4	4.1	7.1	6.3	2.9	8.5	9.9	9.3	10.6	13.8	12.1	16.0	17.2	12.8	20.5	19.5	21.2	22.8	20.6	21.0	26.4	26.2	27.7
% WC AVERAGE	2.68			3.48			5.45			9.26			12.15			15.32			20.38			21.46			26.76		
DENSITY DETERMINASTION																												
WT. OF SOIL + MOLD (g)	5,611			5,669			5,705			5,769			5,819			5,882			5,927			5,907			5,870		
WT. OF MOLD (g)	4,077			4,077			4,077			4,077			4,077			4,077			4,077			4,077			4,077		
WT. OF SOIL IN MOLD (g)	1,534			1,592			1,628			1,692			1,742			1,805			1,850			1,830			1,793		
VOL MOLD	923.56			923.56			923.56			923.56			923.56			923.56			923.56			923.56			923.56		
WET DENSITY	1.66			1.72			1.76			1.83			1.89			1.95			2.00			1.98			1.94		
DRY DENSITY	1.62			1.67			1.67			1.68			1.68			1.69			1.66			1.63			1.53		

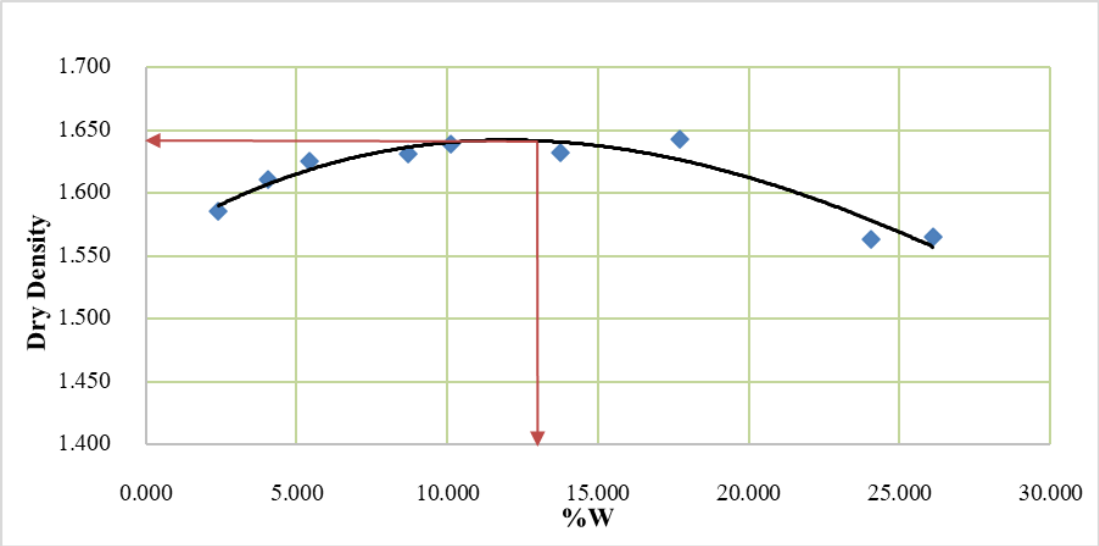


ภาพที่ ก-3 ปริมาณน้ำสูงสุดและความหนาแน่นแห้งสูงสุด Control ครั้งที่ 3

จากผลการทดสอบดังภาพที่ ก-3 จะได้ค่าปริมาณน้ำสูงสุดเท่ากับ 13.6% ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดเท่ากับ 1.693 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร

ตารางที่ ก-4 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (PET5) ครั้งที่ 1

TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD																										
WATER CONTENT DETERMINATION																										
TRIAL NO.	5%			8%			11%			14%			17%			20%			23%			26%			29%		
WET SOIL+CAN (g)	20.0	20.9	21.5	19.7	30.7	18.0	30.4	25.4	24.4	10.1	12.2	9.4	19.7	19.8	12.5	17.1	15.6	22.3	26.8	31.9	31.4	28.4	25.1	28.7	27.9	44.0	39.1
DAY SOIL + CAN, (g)	19.8	20.7	21.3	19.5	30.3	17.8	30.2	24.6	23.9	9.7	11.6	9.0	19.1	19.2	12.0	16.2	14.8	20.9	24.7	29.2	28.9	26.3	23.3	25.3	25.4	39.0	35.2
WT. OF CAN, (g)	12.4	12.3	12.0	14.8	20.7	12.4	24.2	12.6	15.9	4.8	4.5	4.8	13.2	13.6	6.7	9.4	6.7	13.2	12.8	13.9	14.9	15.6	14.1	15.0	15.2	19.6	21.3
WT. OF WATER, (g)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.2	0.2	0.8	0.5	0.4	0.6	0.4	0.6	0.6	0.5	0.9	0.8	1.4	2.1	2.7	2.5	2.1	1.8	3.4	2.5	5.0	3.9
WT. OF DRY SOIL, (g)	7.4	8.4	9.3	4.7	9.6	5.4	6.0	12.0	8.0	4.9	7.1	4.2	5.9	5.6	5.3	6.8	8.1	7.7	11.9	15.3	14.0	10.7	9.2	10.3	10.2	19.4	13.9
% WATER CONTENT	2.7	2.4	2.2	4.3	4.2	3.7	3.3	6.7	6.3	8.2	8.5	9.5	10.2	10.7	9.4	13.2	9.9	18.2	17.6	17.6	17.9	19.6	19.6	33.0	24.5	25.8	28.1
% WC AVERAGE	2.41			4.04			5.42			8.71			10.11			13.76			17.72			24.07			26.11		
DENSITY DETERMINASTION																										
WT. OF SOIL + MOLD (g)	5,586			5,634			5,668			5,722			5,751			5,798			5,868			5,874			5,905		
WT. OF MOLD (g)	4,109			4,109			4,109			4,109			4,109			4,109			4,109			4,109			4,109		
WT. OF SOIL IN MOLD (g)	1,477			1,525			1,559			1,613			1,642			1,689			1,759			1,765			1,796		
VOL MOLD	909.66			909.66			909.66			909.66			909.66			909.66			909.66			909.66			909.66		
WET DENSITY	1.62			1.68			1.71			1.77			1.81			1.86			1.93			1.94			1.97		
DRY DENSITY	1.59			1.61			1.63			1.63			1.64			1.63			1.64			1.56			1.57		

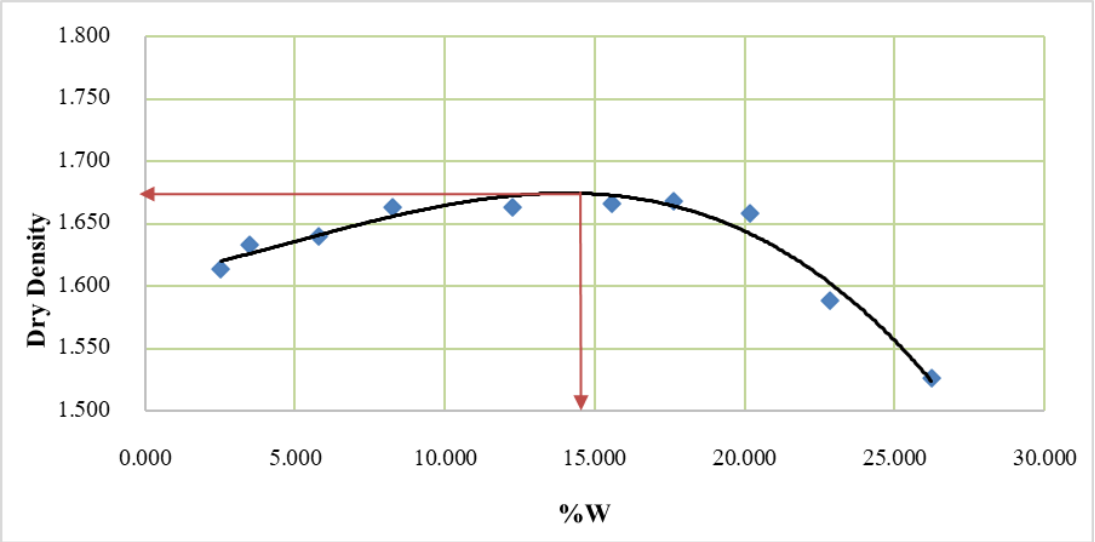


ภาพที่ ก-4 ปริมาณน้ำสูงสุดและความหนาแน่นแห้งสูงสุด PET5 ครั้งที่ 1

จากผลการทดสอบดังภาพที่ ก-4 จะได้ค่าปริมาณน้ำสูงสุดเท่ากับ 13% ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดเท่ากับ 1.642 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร

ตารางที่ ก-5 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (PET5) ครั้งที่ 2

TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD																														
WATER CONTENT DETERMINATION																														
TRIAL NO.	5%			8%			11%			14%			17%			20%			23%			26%			29%			32%		
WET SOIL+CAN (g)	25.7	27.6	23.1	27.6	26.4	29.5	28.1	29.8	26.8	30.6	26.6	33.5	40.4	30.1	29.6	39.6	37.4	26.2	24.5	35.9	25.7	19.0	23.5	21.7	24.2	24.7	23.2	24.6	14.4	15.8
DAY SOIL + CAN, (g)	25.5	27.5	23.0	27.4	26.1	29.2	27.6	29.4	26.5	30.0	25.9	32.6	38.2	28.3	27.7	37.2	34.4	24.2	22.4	32.5	22.7	18.1	21.8	20.2	22.2	22.4	21.5	22.4	12.3	13.3
WT. OF CAN, (g)	20.9	21.5	16.7	21.1	17.0	21.8	20.8	21.5	20.4	20.7	18.8	21.9	20.3	13.0	12.8	20.8	14.8	12.3	9.5	13.6	6.6	13.4	13.4	13.1	13.2	13.5	13.2	13.6	4.1	4.4
WT. OF WATER, (g)	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.5	0.4	0.3	0.6	0.7	0.9	2.2	1.8	1.9	2.4	3.0	2.0	2.1	3.4	3.0	0.9	1.7	1.5	2.0	2.3	1.7	2.2	2.1	2.5
WT. OF DRY SOIL, (g)	4.6	6.0	6.3	6.3	9.1	7.4	6.8	7.9	6.1	9.3	7.1	10.7	17.9	15.3	14.9	16.4	19.6	11.9	12.9	18.9	16.1	4.7	8.4	7.1	9.0	8.9	8.3	8.8	8.2	8.9
% WATER CONTENT	4.3	1.7	1.6	3.2	3.3	4.1	7.4	5.1	4.9	6.5	9.9	8.4	12.3	11.8	12.8	14.6	15.3	16.8	16.3	18.0	18.6	19.1	20.2	21.1	22.2	25.8	20.5	25.0	25.6	28.1
% WC AVERAGE	2.53			3.51			5.78			8.24			12.27			15.58			17.63			20.17			22.85			26.23		
DENSITY DETERMINASTION																														
WT. OF SOIL + MOLD (g)	5,589			5,622			5,662			5,722			5,784			5,837			5,871			5,899			5,861			5,838		
WT. OF MOLD (g)	4,075			4,075			4,075			4,075			4,075			4,075			4,075			4,075			4,075			4,075		
WT. OF SOIL IN MOLD (g)	1,514			1,547			1,587			1,647			1,709			1,762			1,796			1,824			1,786			1,763		
VOL MOLD	915.12			915.12			915.12			915.12			915.12			915.12			915.12			915.12			915.12			915.12		
WET DENSITY	1.65			1.69			1.73			1.80			1.87			1.93			1.96			1.99			1.95			1.93		
DRY DENSITY	1.61			1.63			1.64			1.66			1.66			1.67			1.67			1.66			1.59			1.53		

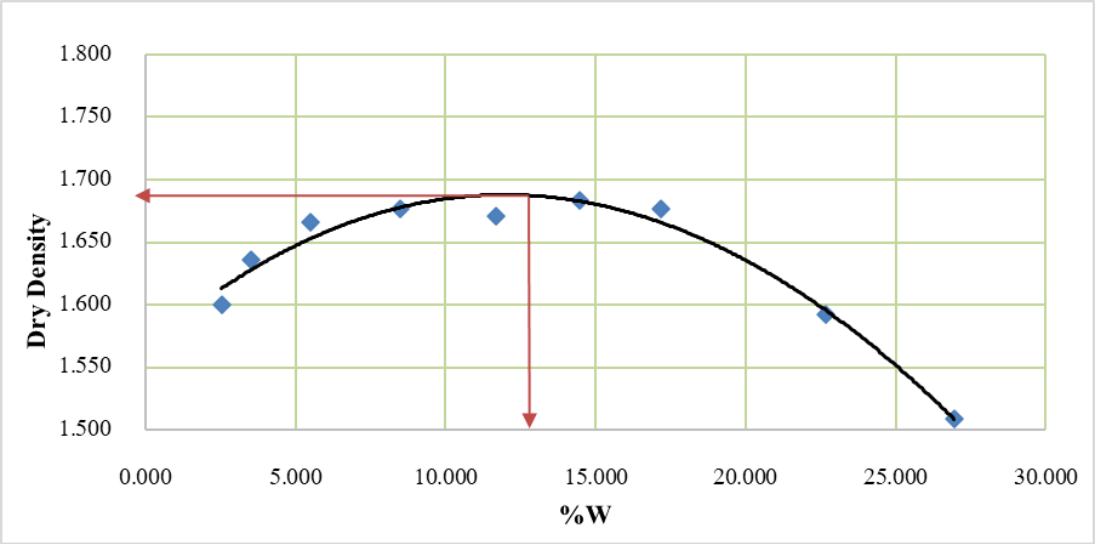


ภาพที่ ก-5 ปริมาณน้ำสูงสุดและความหนาแน่นแห้งสูงสุด PET5 ครั้งที่ 2

จากผลการทดสอบดังภาพที่ ก-5 จะได้ค่าปริมาณน้ำสูงสุดเท่ากับ 14.8% ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดเท่ากับ 1.672 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร

ตารางที่ ก-6 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (PET5) ครั้งที่ 3

TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD																										
WATER CONTENT DETERMINATION																										
TRIAL NO.	5%			8%			11%			14%			17%			20%			23%			26%			29%		
WET SOIL+CAN (g)	25.7	27.6	23.1	27.6	26.4	29.5	24.2	19.5	14.5	14.1	17.7	15.6	14.8	28.6	12.8	14.5	13.6	13.7	20.5	17.2	24.0	26.1	38.5	37.8	36.7	27.2	36.3
DAY SOIL + CAN, (g)	25.5	27.5	23.0	27.4	26.1	29.2	23.7	19.0	13.8	13.5	16.4	14.8	13.7	27.1	11.9	13.0	12.6	12.6	18.5	15.4	21.7	23.5	35.7	34.8	33.6	24.4	32.7
WT. OF CAN, (g)	20.9	21.5	16.7	21.1	17.0	21.8	13.6	6.6	4.5	4.4	4.8	4.4	4.1	13.4	4.8	4.4	4.5	4.5	6.6	4.1	9.5	12.8	22.0	21.9	21.4	13.5	20.6
WT. OF WATER, (g)	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.5	0.5	0.7	0.6	1.3	0.8	1.1	1.5	0.9	1.5	1.0	1.1	2.0	1.8	2.3	2.6	2.8	3.0	3.1	2.8	3.6
WT. OF DRY SOIL, (g)	4.6	6.0	6.3	6.3	9.1	7.4	10.1	12.4	9.3	9.1	11.6	10.4	9.6	13.7	7.1	8.6	8.1	8.1	11.9	11.3	12.2	10.7	13.7	12.9	12.2	10.9	12.1
% WATER CONTENT	4.3	1.7	1.6	3.2	3.3	4.1	5.0	4.0	7.5	6.6	11.2	7.7	11.5	10.9	12.7	17.4	12.3	13.6	16.8	15.9	18.9	24.3	20.4	23.3	25.4	25.7	29.8
% WC AVERAGE	2.53			3.51			5.50			8.50			11.69			14.46			17.20			22.66			26.95		
DENSITY DETERMINASTION																										
WT. OF SOIL + MOLD (g)	5,615			5,664			5,724			5,781			5,825			5,882			5,918			5,908			5,874		
WT. OF MOLD (g)	4,113			4,114			4,115			4,116			4,117			4,118			4,119			4,120			4,121		
WT. OF SOIL IN MOLD (g)	1,502			1,550			1,609			1,665			1,708			1,764			1,799			1,788			1,753		
VOL MOLD	915.30			915.30			915.30			915.30			915.30			915.30			915.30			915.30			915.30		
WET DENSITY	1.64			1.69			1.76			1.82			1.87			1.93			1.97			1.95			1.92		
DRY DENSITY	1.60			1.64			1.67			1.68			1.67			1.68			1.68			1.59			1.51		

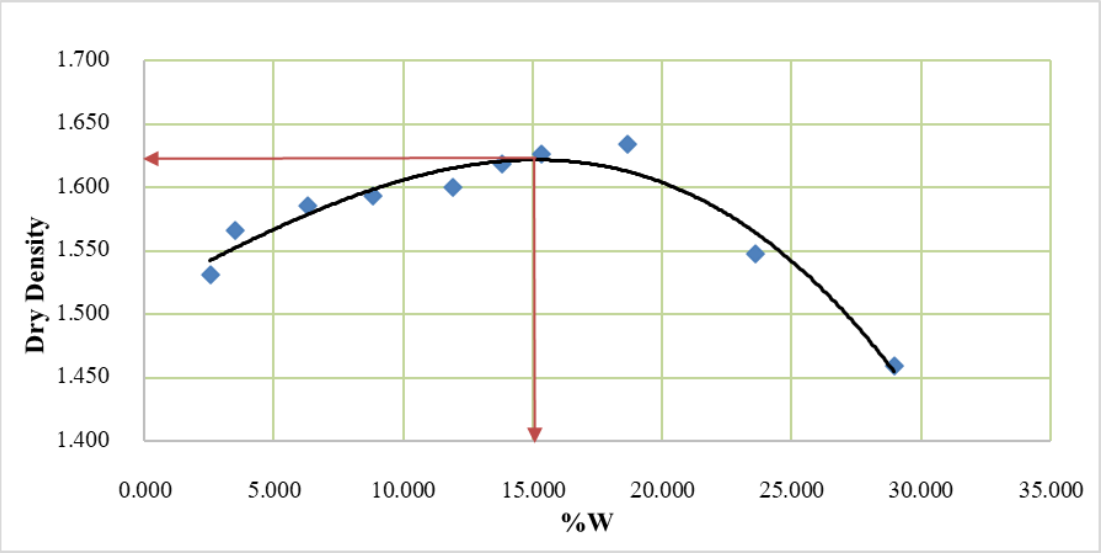


ภาพที่ ก-6 ปริมาณน้ำสูงสุดและความหนาแน่นแห้งสูงสุด PET5 ครั้งที่ 3

จากผลการทดสอบดังภาพที่ ก-6 จะได้ค่าปริมาณน้ำสูงสุดเท่ากับ 13.1% ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดเท่ากับ 1.689 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร

ตารางที่ ก-7 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (PET10) ครั้งที่ 1

TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD																														
WATER CONTENT DETERMINATION																														
TRIAL NO.	5%			8%			11%			14%			17%			20%			23%			26%			29%			32%		
WET SOIL+CAN (g)	25.7	27.6	23.1	27.6	26.4	29.5	28.1	29.8	26.9	20.8	20.4	26.9	9.7	9.2	10.6	12.3	13.8	11.4	11.7	24.2	27.8	34.4	25.9	27.4	35.0	34.7	34.4	29.0	28.3	23.3
DAY SOIL + CAN, (g)	25.5	27.5	23.0	27.4	26.1	29.2	27.6	29.4	26.5	20.3	19.7	26.3	9.1	8.7	10.0	11.4	12.6	10.6	10.7	22.8	25.9	31.0	24.1	25.1	31.9	32.1	31.1	25.5	24.9	21.4
WT. OF CAN, (g)	20.9	21.5	16.7	21.1	17.0	21.8	20.8	21.5	20.4	14.0	12.9	19.0	4.4	4.4	4.7	4.6	4.5	4.6	4.5	13.3	13.4	13.4	13.6	13.3	18.6	21.1	17.3	13.7	13.1	14.7
WT. OF WATER, (g)	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.5	0.4	0.4	0.5	0.7	0.6	0.6	0.5	0.6	0.9	1.2	0.8	1.0	1.4	1.9	3.4	1.8	2.3	3.1	2.6	3.3	3.5	3.4	1.9
WT. OF DRY SOIL, (g)	4.6	6.0	6.3	6.3	9.1	7.4	6.8	7.9	6.1	6.3	6.8	7.3	4.7	4.3	5.3	6.8	8.1	6.0	6.2	9.5	12.5	17.6	10.5	11.8	13.3	11.0	13.8	11.8	11.8	6.7
% WATER CONTENT	4.3	1.7	1.6	3.2	3.3	4.1	7.4	5.1	6.6	7.9	10.3	8.2	12.8	11.6	11.3	13.2	14.8	13.3	16.1	14.7	15.2	19.3	17.1	19.5	23.3	23.6	23.9	29.7	28.8	28.4
% WC AVERAGE	2.53			3.51			6.32			8.82			11.90			13.79			15.36			18.65			23.62			28.94		
DENSITY DETERMINASTION																														
WT. OF SOIL + MOLD (g)	5,548			5,595			5,654			5,698			5,750			5,797			5,828			5,885			5,862			5,833		
WT. OF MOLD (g)	4,113			4,113			4,113			4,113			4,113			4,113			4,113			4,113			4,113			4,113		
WT. OF SOIL IN MOLD (g)	1,435			1,482			1,541			1,585			1,637			1,684			1,715			1,772			1,749			1,720		
VOL MOLD	914.15			914.15			914.15			914.15			914.15			914.15			914.15			914.15			914.15			914.15		
WET DENSITY	1.57			1.62			1.69			1.73			1.79			1.84			1.88			1.94			1.91			1.88		
DRY DENSITY	1.53			1.57			1.59			1.59			1.60			1.62			1.63			1.63			1.55			1.46		

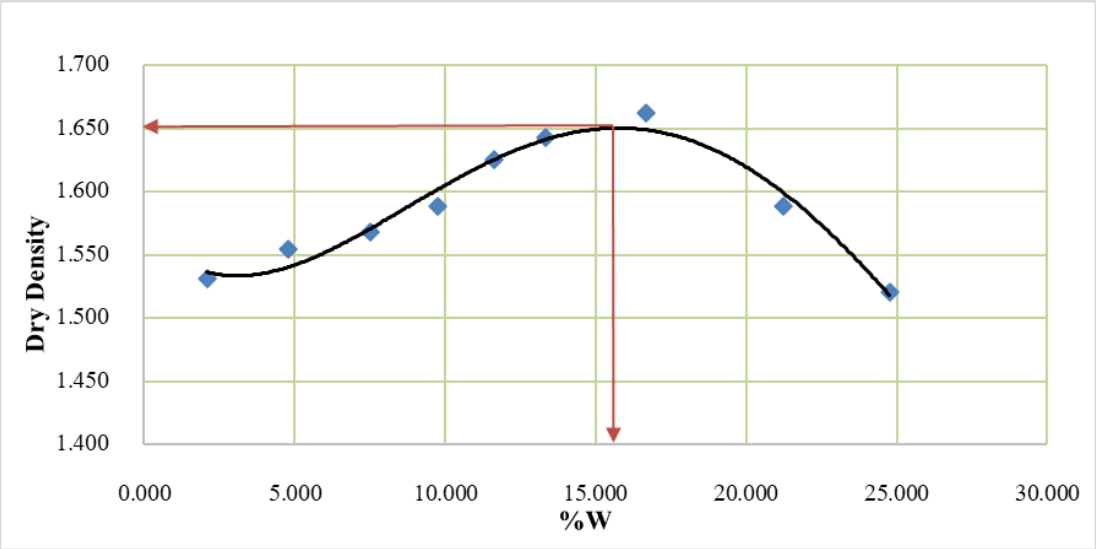


ภาพที่ ก-7 ปริมาณน้ำสูงสุดและความหนาแน่นแห้งสูงสุด PET10 ครั้งที่ 1

จากผลการทดสอบดังภาพที่ ก-7 จะได้ค่าปริมาณน้ำสูงสุดเท่ากับ 15% ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดเท่ากับ 1.622 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร

ตารางที่ ก-8 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (PET10) ครั้งที่ 2

TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD																												
WATER CONTENT DETERMINATION																												
TRIAL NO.	5%			8%			11%			14%			17%			20%			23%			26%			29%		
WET SOIL+CAN (g)	27.9	36.8	39.6	31.2	26.4	25.6	21	21	28	24	22	23	26	23	22	31	35	26	30	31	28	11	12	13	13	14	13
DAY SOIL + CAN, (g)	27.7	36.6	39.3	30.8	25.9	25.1	20	20	27	23	22	23	25	22	21	30	33	25	28	28	27	9.9	10	12	12	12	12
WT. OF CAN, (g)	18.2	26.3	25.6	20.8	16.0	15.7	13	12	18	13	12	14	16	14	14	21	21	12	17	17	21	4.5	4.1	4.4	4.5	4.5	4.8
WT. OF WATER, (g)	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.7	0.6	1	0.9	0.8	1.1	0.9	0.8	1.1	1.8	1.5	1.8	2.3	0.9	1.3	1.4	1.2	1.6	2.2	1.5
WT. OF DRY SOIL, (g)	9.5	10	14	10	9.9	9.4	7.4	7.6	9.2	9.6	9.7	8.4	8.5	8.9	6.8	8.4	12	13	11	11	6.8	5.4	6.1	7.2	7.1	7.4	6.8
% WATER CONTENT	2.1	1.9	2.2	4.0	5.1	5.3	6.8	9.2	6.5	10.4	9.3	9.5	12.9	10.1	11.8	13.1	15.0	11.9	16.7	20.2	13.2	24.1	23.0	16.7	22.5	29.7	22.1
% WC AVERAGE	2.08			4.79			7.50			9.74			11.61			13.33			16.69			21.23			24.77		
DENSITY DETERMINASTION																												
WT. OF SOIL + MOLD (g)	5,542			5,602			5,654			5,707			5,771			5,815			5,886			5,874			5,848		
WT. OF MOLD (g)	4,113			4,113			4,113			4,113			4,113			4,113			4,113			4,113			4,113		
WT. OF SOIL IN MOLD (g)	1,429			1,489			1,541			1,594			1,658			1,702			1,773			1,761			1,735		
VOL MOLD	914.15			914.15			914.15			914.15			914.15			914.15			914.15			914.15			914.15		
WET DENSITY	1.56			1.63			1.69			1.74			1.81			1.86			1.94			1.93			1.90		
DRY DENSITY	1.53			1.55			1.57			1.59			1.63			1.64			1.66			1.59			1.52		

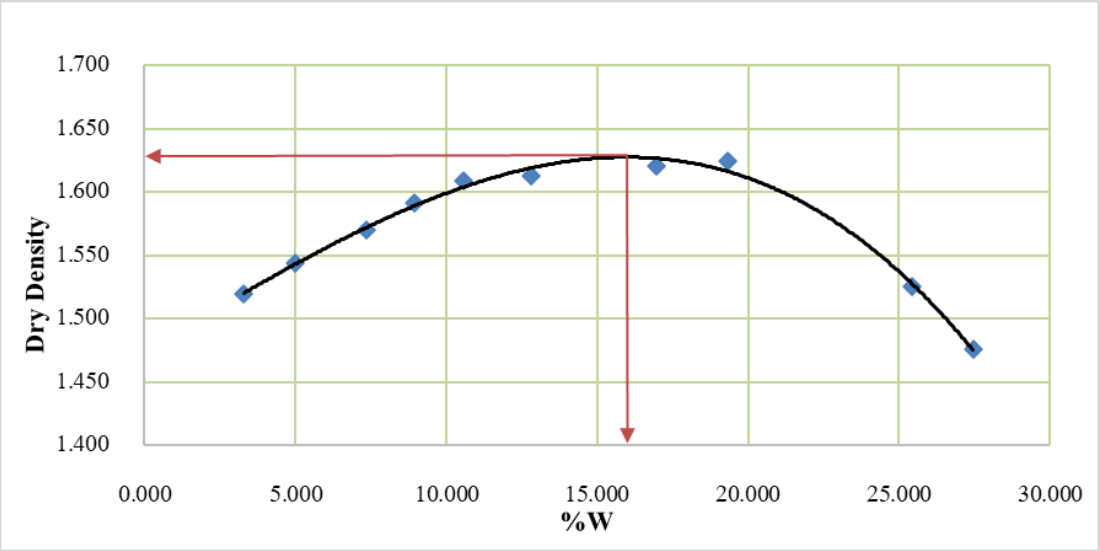


ภาพที่ ก-8 ปริมาณน้ำสูงสุดและความหนาแน่นแห้งสูงสุด PET10 ครั้งที่ 2

จากผลการทดสอบดังภาพที่ ก-8 จะได้ค่าปริมาณน้ำสูงสุดเท่ากับ 15.6% ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดเท่ากับ 1.650 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร

ตารางที่ ก-9 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (PET10) ครั้งที่ 3

TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD																														
WATER CONTENT DETERMINATION																														
TRIAL NO.	5%			8%			11%			14%			17%			20%			23%			26%			29%			32%		
WET SOIL+CAN (g)	27.9	33.5	32.9	30.6	27.9	28.7	25.4	26.2	28.1	22.7	21.8	25.6	20.3	18.8	18.8	23.3	25.9	20.6	23.2	29.7	30.5	23.1	19.1	20.4	25.4	25.6	25.3	25.7	25.4	23.2
DAY SOIL + CAN, (g)	27.7	33.3	32.5	30.2	27.4	28.3	24.8	25.7	27.6	21.9	21.1	24.9	19.5	18.2	18.2	22.3	24.6	19.5	21.7	27.9	29.0	20.7	17.5	18.8	23.0	23.2	22.6	24.1	23.8	22.0
WT. OF CAN, (g)	20.7	25.1	22.5	22.1	17.9	19.9	17.7	17.9	20.0	14.0	12.9	17.1	12.9	11.6	12.0	14.7	14.5	10.2	13.2	17.4	19.3	9.3	9.2	9.2	12.8	14.0	12.3	17.8	17.5	18.2
WT. OF WATER, (g)	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.4	0.6	0.6	0.5	0.8	0.7	0.7	0.8	0.6	0.6	1.0	1.3	1.2	1.5	1.9	1.5	2.5	1.6	1.7	2.5	2.4	2.7	1.6	1.6	1.2
WT. OF DRY SOIL, (g)	7.1	8.2	10.0	8.2	9.5	8.4	7.1	7.8	7.7	8.0	8.3	7.9	6.6	6.6	6.2	7.6	10.1	9.3	8.5	10.5	9.7	11.4	8.3	9.6	10.2	9.2	10.3	6.3	6.3	3.8
% WATER CONTENT	2.8	3.1	4.0	4.9	5.3	4.8	8.5	7.1	6.5	9.4	8.5	8.9	12.9	9.1	9.8	13.2	12.9	12.4	17.6	17.7	15.5	21.5	19.3	17.2	24.0	26.1	26.2	25.4	25.4	31.6
% WC AVERAGE	3.30			4.98			7.36			8.95			10.58			12.82			16.96			19.32			25.44			27.46		
DENSITY DETERMINASTION																														
WT. OF SOIL + MOLD (g)	5,548			5,595			5,654			5,698			5,740			5,777			5,846			5,885			5,862			5,833		
WT. OF MOLD (g)	4,113			4,113			4,113			4,113			4,113			4,113			4,113			4,113			4,113			4,113		
WT. OF SOIL IN MOLD (g)	1,435			1,482			1,541			1,585			1,627			1,664			1,733			1,772			1,749			1,720		
VOL MOLD	914.15			914.15			914.15			914.15			914.15			914.15			914.15			914.15			914.15			914.15		
WET DENSITY	1.57			1.62			1.69			1.73			1.78			1.82			1.90			1.94			1.91			1.88		
DRY DENSITY	1.52			1.54			1.57			1.59			1.61			1.61			1.62			1.62			1.53			1.48		

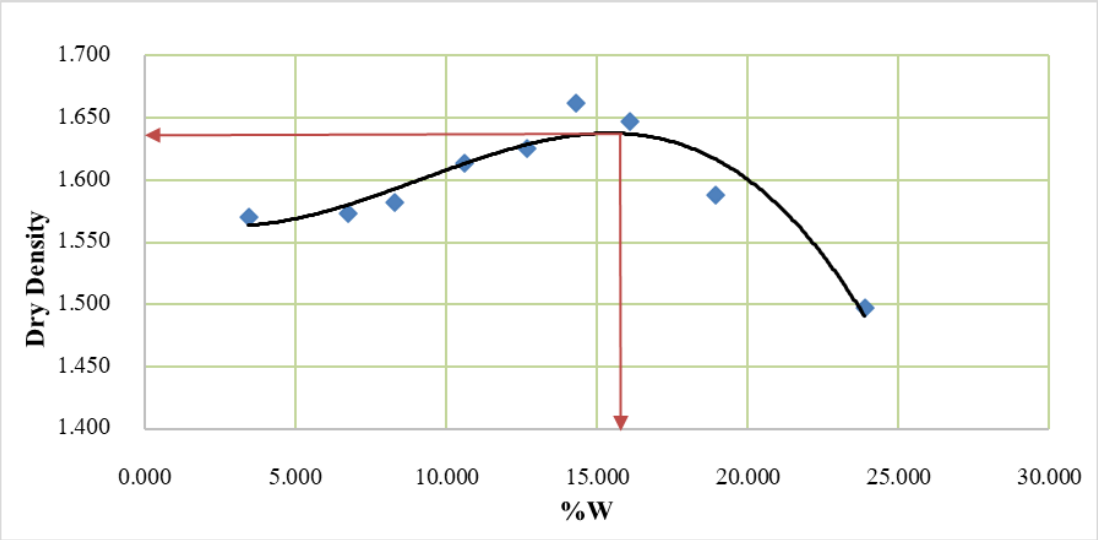


ภาพที่ ก-9 ปริมาณน้ำสูงสุดและความหนาแน่นแห้งสูงสุด PET10 ครั้งที่ 3

จากผลการทดสอบดังภาพที่ ก-9 จะได้ค่าปริมาณน้ำสูงสุดเท่ากับ 16% ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดเท่ากับ 1.628 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร

ตารางที่ ก-10 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (PET15) ครั้งที่ 1

TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD																											
WATER CONTENT DETERMINATION																											
TRIAL NO.	5%			8%			11%			14%			17%			20%			23%			26%			29%		
WET SOIL+CAN (g)	24.4	43.8	28.9	30.7	27.6	23.6	30.8	32.1	32.9	21.7	24.0	21.6	34.1	29.0	33.7	17.8	18.8	12.5	34.1	29.1	25.8	10.2	11.2	9.8	21.0	22.0	15.6
DAY SOIL + CAN, (g)	24.1	43.0	28.7	30.2	26.7	22.8	29.8	31.2	32.1	20.9	22.8	20.6	33.0	27.2	32.2	17.4	18.0	11.7	32.1	27.2	24.2	9.3	10.0	9.1	19.6	20.3	13.9
WT. OF CAN, (g)	16.6	21.6	21.1	21.3	13.9	12.3	18.7	20.7	21.2	12.7	11.8	11.6	20.4	16.3	20.5	13.5	13.3	6.6	19.9	15.5	14.0	4.6	4.4	4.8	13.6	13.5	6.6
WT. OF WATER, (g)	0.3	0.8	0.2	0.5	0.9	0.8	1.0	0.9	0.8	0.8	1.2	1.0	1.1	1.8	1.5	0.4	0.8	0.8	2.0	1.9	1.6	0.9	1.2	0.7	1.4	1.7	1.7
WT. OF DRY SOIL, (g)	7.5	21.4	7.6	8.9	12.8	10.5	11.1	10.5	10.9	8.2	11.0	9.0	12.6	10.9	11.7	3.9	4.7	5.1	12.2	11.7	10.2	4.7	5.6	4.3	6.0	6.8	7.3
% WATER CONTENT	4.0	3.7	2.6	5.6	7.0	7.6	9.0	8.6	7.3	9.8	10.9	11.1	8.7	16.5	12.8	10.3	17.0	15.7	16.4	16.2	15.7	19.1	21.4	16.3	23.3	25.0	23.3
% WC AVERAGE	3.46			6.76			8.31			10.59			12.69			14.32			16.11			18.95			23.87		
DENSITY DETERMINASTION																											
WT. OF SOIL + MOLD (g)	5,603			5,653			5,684			5,750			5,793			5,856			5,867			5,845			5,814		
WT. OF MOLD (g)	4,112			4,112			4,112			4,112			4,112			4,112			4,112			4,112			4,112		
WT. OF SOIL IN MOLD (g)	1,491			1,541			1,572			1,638			1,681			1,744			1,755			1,733			1,702		
VOL MOLD	917.69			917.69			917.69			917.69			917.69			917.69			917.69			917.69			917.69		
WET DENSITY	1.62			1.68			1.71			1.78			1.83			1.90			1.91			1.89			1.85		
DRY DENSITY	1.57			1.57			1.58			1.61			1.63			1.66			1.65			1.59			1.50		

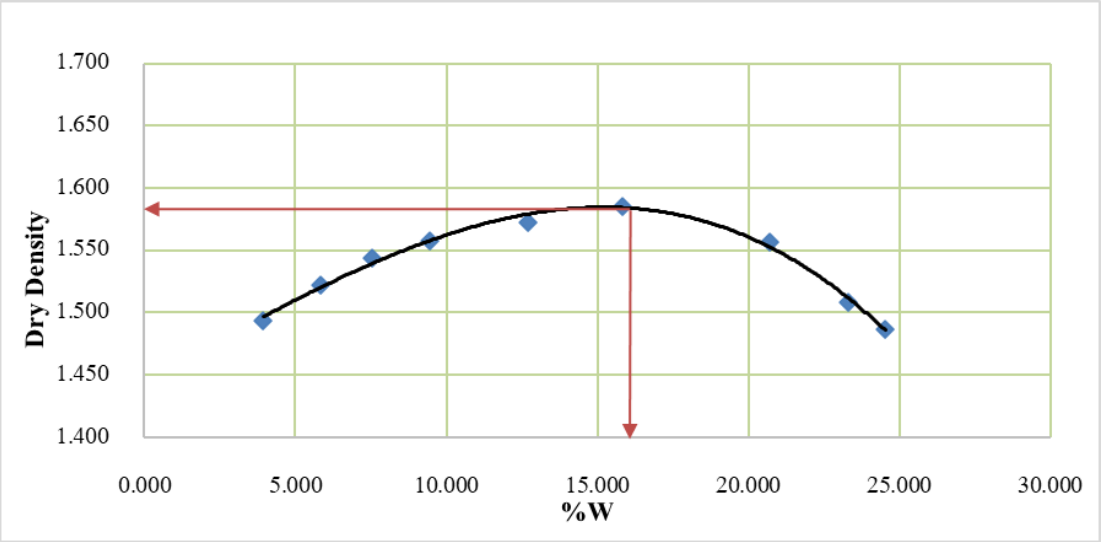


ภาพที่ ก-10 ปริมาณน้ำสูงสุดและความหนาแน่นแห้งสูงสุด PET15 ครั้งที่ 1

จากผลการทดสอบดังภาพที่ ก-10 จะได้ค่าปริมาณน้ำสูงสุดเท่ากับ 15.9% ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดเท่ากับ 1.639 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร

ตารางที่ ก-11 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (PET15) ครั้งที่ 2

TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD																											
WATER CONTENT DETERMINATION																											
TRIAL NO.	5%			8%			11%			14%			17%			20%			23%			26%			29%		
WET SOIL+CAN (g)	20.1	20.7	22.6	29.2	26.1	20.6	28.7	30.1	27.9	35.4	33.9	26.1	27.8	21.3	21.0	29.1	35.7	32.6	11.9	16.8	12.0	24.1	22.4	22.0	11.3	12.8	12.6
DAY SOIL + CAN, (g)	19.9	20.4	22.1	28.7	25.4	20.2	28.0	29.4	27.3	34.4	32.8	24.9	27.2	20.2	19.9	27.8	33.5	31.0	10.7	14.6	10.7	22.1	20.6	20.4	9.9	10.8	11.4
WT. OF CAN, (g)	12.5	12.1	13.0	19.3	14.5	13.2	18.9	20.1	19.2	20.3	21.3	14.6	21.4	11.8	12.4	19.0	20.9	20.5	4.5	4.5	4.5	13.3	13.4	13.2	4.1	4.4	4.8
WT. OF WATER, (g)	0.2	0.3	0.5	0.5	0.7	0.4	0.7	0.7	0.6	1.0	1.1	1.2	0.6	1.1	1.1	1.3	2.2	1.6	1.2	2.2	1.3	2.0	1.8	1.6	1.4	2.0	1.2
WT. OF DRY SOIL, (g)	7.4	8.3	9.1	9.4	10.9	7.0	9.1	9.3	8.1	14.1	11.5	10.3	5.8	8.4	7.5	8.8	12.6	10.5	6.2	10.1	6.2	8.8	7.2	7.2	5.8	6.4	6.6
% WATER CONTENT	2.7	3.6	5.5	5.3	6.4	5.7	7.7	7.5	7.4	7.1	9.6	11.7	10.3	13.1	14.7	14.8	17.5	15.2	19.4	21.8	21.0	22.7	25.0	22.2	24.1	31.3	18.2
% WC AVERAGE	3.94			5.82			7.54			9.44			12.70			15.82			20.70			23.32			24.52		
DENSITY DETERMINASTION																											
WT. OF SOIL + MOLD (g)	5,534			5,587			5,633			5,673			5,735			5,794			5,833			5,816			5,807		
WT. OF MOLD (g)	4,113			4,113			4,113			4,113			4,113			4,113			4,113			4,113			4,113		
WT. OF SOIL IN MOLD (g)	1,421			1,474			1,520			1,560			1,622			1,681			1,720			1,703			1,694		
VOL MOLD	915.30			915.30			915.30			915.30			915.30			915.30			915.30			915.30			915.30		
WET DENSITY	1.55			1.61			1.66			1.70			1.77			1.84			1.88			1.86			1.85		
DRY DENSITY	1.49			1.52			1.54			1.56			1.57			1.59			1.56			1.51			1.49		

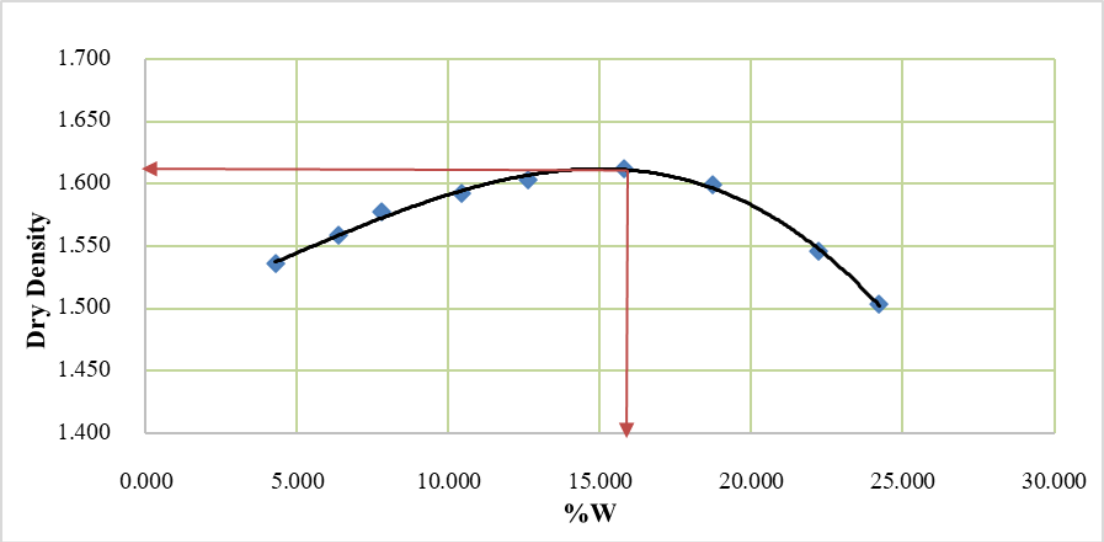


ภาพที่ ก-11 ปริมาณน้ำสูงสุดและความหนาแน่นแห้งสูงสุด PET15 ครั้งที่ 2

จากผลการทดสอบจากภาพที่ ก-11 จะได้ค่าปริมาณน้ำสูงสุดเท่ากับ 16% ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดเท่ากับ 1.584 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร

ตารางที่ ก-12 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (PET15) ครั้งที่ 3

TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD																											
WATER CONTENT DETERMINATION																											
TRIAL NO.	5%			8%			11%			14%			17%			20%			23%			26%			29%		
WET SOIL+CAN (g)	23.6	33.6	27.1	31.6	28.5	23.8	30.8	32.2	31.5	29.5	29.9	24.7	31.8	25.9	28.1	24.9	28.6	23.9	23.4	23.4	19.3	11.3	12.6	11.8	24.4	24.1	20.7
DAY SOIL + CAN, (g)	23.3	33.0	26.7	31.1	27.7	23.2	30.0	31.4	30.8	28.5	28.7	23.6	30.9	24.5	26.8	24.0	27.1	22.7	21.8	21.2	17.8	10.2	11.0	10.8	22.7	22.3	19.0
WT. OF CAN, (g)	15.9	18.2	18.4	22.0	15.9	14.5	19.9	21.5	21.3	17.4	17.5	14.1	21.7	14.9	17.3	17.7	18.5	15.1	12.6	10.4	9.7	5.0	5.1	5.4	15.4	15.4	11.8
WT. OF WATER, (g)	0.3	0.6	0.4	0.5	0.8	0.6	0.8	0.8	0.7	1.0	1.2	1.1	0.9	1.4	1.3	0.9	1.5	1.2	1.6	2.2	1.5	1.1	1.6	1.0	1.7	1.8	1.7
WT. OF DRY SOIL, (g)	7.5	14.9	8.4	9.1	11.8	8.8	10.1	9.9	9.5	11.1	11.3	9.5	9.2	9.7	9.6	6.4	8.6	7.6	9.2	10.8	8.2	5.3	5.9	5.4	7.4	7.0	7.2
% WATER CONTENT	4.0	4.0	4.8	5.5	6.8	6.9	7.9	8.1	7.4	9.0	10.7	11.6	9.8	14.5	13.6	14.2	17.4	15.8	17.4	20.4	18.4	21.0	27.1	18.5	23.1	25.9	23.6
% WC AVERAGE	4.29			6.38			7.79			10.42			12.63			15.80			18.72			22.20			24.21		
DENSITY DETERMINASTION																											
WT. OF SOIL + MOLD (g)	5,579			5,631			5,669			5,722			5,766			5,822			5,851			5,842			5,822		
WT. OF MOLD (g)	4,113			4,113			4,113			4,113			4,113			4,113			4,113			4,113			4,113		
WT. OF SOIL IN MOLD (g)	1,466			1,518			1,556			1,609			1,653			1,709			1,738			1,729			1,709		
VOL MOLD	915.30			915.30			915.30			915.30			915.30			915.30			915.30			915.30			915.30		
WET DENSITY	1.60			1.66			1.70			1.76			1.81			1.87			1.90			1.89			1.87		
DRY DENSITY	1.54			1.56			1.58			1.59			1.60			1.61			1.60			1.55			1.50		

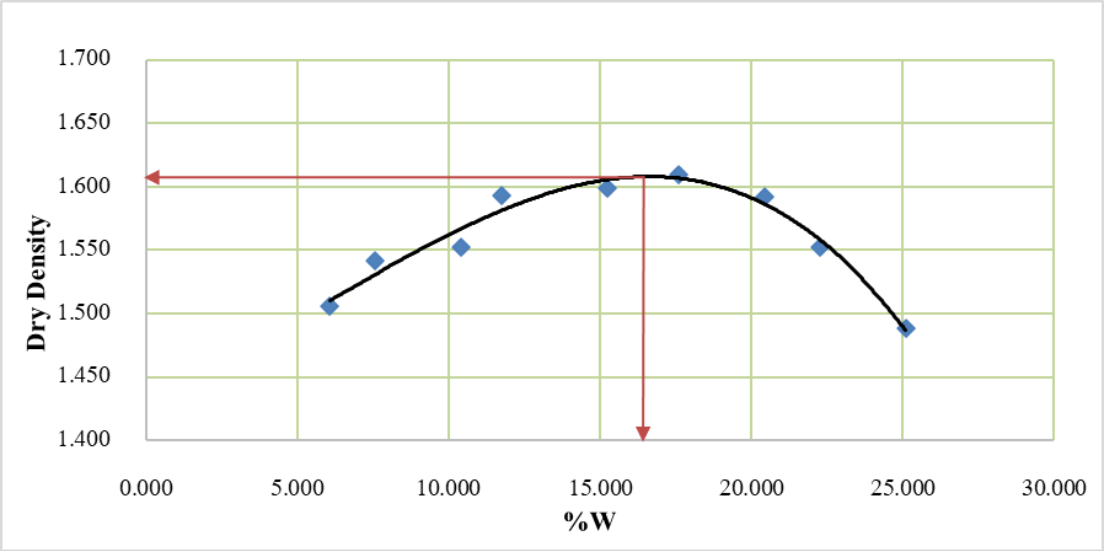


ภาพที่ ก-12 ปริมาณน้ำสูงสุดและความหนาแน่นแห้งสูงสุด PET15 ครั้งที่ 3

จากผลการทดสอบดังภาพที่ ก-12 จะได้ค่าปริมาณน้ำสูงสุดเท่ากับ 16% ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดเท่ากับ 1.612 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร

ตารางที่ ก-13 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (PET20) ครั้งที่ 1

TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD																										
WATER CONTENT DETERMINATION																										
TRIAL NO.	5%			8%			11%			14%			17%			20%			23%			26%			29%		
WET SOIL+CAN (g)	31.3	32.1	45.2	41.2	46.9	41.2	45.2	29.1	46.0	33.3	39.1	33.6	23.7	36.0	26.9	41.6	42.0	38.3	21.7	20.1	18.5	19.6	19.7	20.1	20.2	21.0	12.0
DAY SOIL + CAN, (g)	30.6	31.6	43.7	39.9	45.1	39.5	42.8	27.5	43.9	32.3	36.7	32.1	22.5	33.3	25.3	38.4	38.8	35.8	20.4	18.9	17.6	18.6	18.3	18.9	18.9	19.5	10.4
WT. OF CAN, (g)	21.1	22.2	16.7	22.4	21.7	17.0	21.4	12.7	21.2	22.0	16.8	21.0	14.1	14.8	15.8	20.4	21.0	21.1	13.5	13.2	13.4	13.1	13.0	13.5	13.4	13.5	4.4
WT. OF WATER, (g)	0.7	0.5	1.5	1.3	1.8	1.7	2.4	1.6	2.1	1.0	2.4	1.5	1.2	2.7	1.6	3.2	3.2	2.5	1.3	1.2	0.9	1.0	1.4	1.2	1.3	1.5	1.6
WT. OF DRY SOIL, (g)	9.5	9.4	27.0	17.5	23.4	22.5	21.4	14.8	22.7	10.3	19.9	11.1	8.4	18.5	9.5	18.0	17.8	14.7	6.9	5.7	4.2	5.5	5.3	5.4	5.5	6.0	6.0
% WATER CONTENT	7.4	5.3	5.6	7.4	7.7	7.6	11.2	10.8	9.3	9.7	12.1	13.5	14.3	14.6	16.8	17.8	18.0	17.0	18.8	21.1	21.4	18.2	26.4	22.2	23.6	25.0	26.7
% WC AVERAGE	6.08			7.56			10.43			11.76			15.24			17.59			20.44			22.27			25.10		
DENSITY DETERMINASTION																										
WT. OF SOIL + MOLD (g)	5,555			5,610			5,661			5,721			5,777			5,822			5,845			5,827			5,794		
WT. OF MOLD (g)	4,112			4,112			4,112			4,112			4,112			4,112			4,112			4,112			4,112		
WT. OF SOIL IN MOLD (g)	1,443			1,498			1,549			1,609			1,665			1,710			1,733			1,715			1,682		
VOL MOLD	903.65			903.65			903.65			903.65			903.65			903.65			903.65			903.65			903.65		
WET DENSITY	1.60			1.66			1.71			1.78			1.84			1.89			1.92			1.90			1.86		
DRY DENSITY	1.51			1.54			1.55			1.59			1.60			1.61			1.59			1.55			1.49		

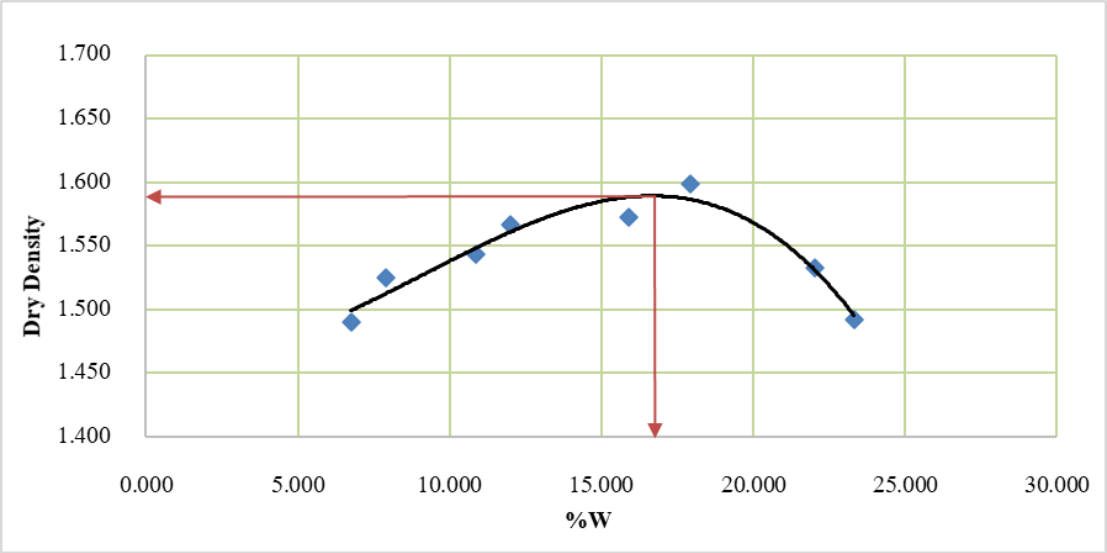


ภาพที่ ก-13 ปริมาณน้ำสูงสุด และความหนาแน่นแห้งสูงสุด (PET 20) ครั้งที่ 1

จากผลการทดสอบดังภาพที่ ก-13 จะได้ค่าปริมาณน้ำสูงสุดเท่ากับ 16.5% ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดเท่ากับ 1.609 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร

ตารางที่ ก-14 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (PET20) ครั้งที่ 2

TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD																								
WATER CONTENT DETERMINATION																								
TRIAL NO.	5%			8%			11%			14%			17%			20%			23%			26%		
WET SOIL+CAN (g)	25.4	42.7	27.6	29.4	26.3	22.5	31.9	30.1	19.7	21.6	23.0	22.2	8.5	10.9	9.9	10.7	11.7	10.7	20.3	21.5	22.8	32.1	20.6	22.4
DAY SOIL + CAN, (g)	24.8	41.5	27.1	28.4	25.5	22.0	30.7	28.7	18.9	20.7	21.8	21.1	7.9	9.8	9.4	9.9	10.5	9.8	19.0	19.9	21.3	30.6	18.3	20.7
WT. OF CAN, (g)	16.3	21.6	20.1	16.2	16.0	14.9	19.9	17.3	10.2	12.4	12.6	12.0	4.4	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	13.3	13.1	13.7	23.7	9.5	13.0
WT. OF WATER, (g)	0.6	1.2	0.5	1.0	0.8	0.5	1.2	1.4	0.8	0.9	1.2	1.1	0.6	1.1	0.5	0.8	1.2	0.9	1.3	1.6	1.5	1.5	2.3	1.7
WT. OF DRY SOIL, (g)	8.5	19.9	7.0	12.2	9.5	7.1	10.8	11.4	8.7	8.3	9.2	9.1	3.5	5.4	4.9	5.3	5.8	5.0	5.7	6.8	7.6	6.9	8.8	7.7
% WATER CONTENT	7.1	6.0	7.1	8.2	8.4	7.0	11.1	12.3	9.2	10.8	13.0	12.1	17.1	20.4	10.2	15.1	20.7	18.0	22.8	23.5	19.7	21.7	26.1	22.1
% WC AVERAGE	6.74			7.89			10.86			11.99			15.91			17.93			22.02			23.32		
DENSITY DETERMINASTION																								
WT. OF SOIL + MOLD (g)	5,582			5,632			5,692			5,732			5,795			5,852			5,839			5,811		
WT. OF MOLD (g)	4,122			4,122			4,122			4,122			4,122			4,122			4,122			4,122		
WT. OF SOIL IN MOLD (g)	1,460			1,510			1,570			1,610			1,673			1,730			1,717			1,689		
VOL MOLD	917.69			917.69			917.69			917.69			917.69			917.69			917.69			917.69		
WET DENSITY	1.59			1.65			1.71			1.75			1.82			1.89			1.87			1.84		
DRY DENSITY	1.49			1.53			1.54			1.57			1.57			1.60			1.53			1.49		

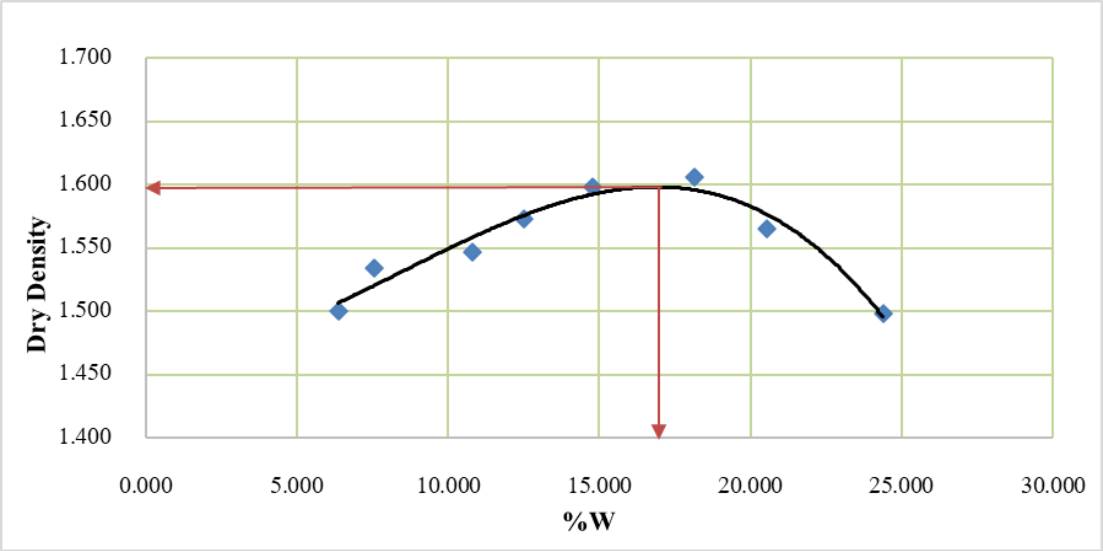


ภาพที่ ก-14 ปริมาณน้ำสูงสุด และความหนาแน่นแห้งสูงสุด (PET) ครั้งที่ 2

จากผลการทดสอบดังภาพที่ ก-14 จะได้ค่าปริมาณน้ำสูงสุดเท่ากับ 16.8% ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดเท่ากับ 1.590 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร

ตารางที่ ก-15 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (PET20) ครั้งที่ 3

TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD																								
WATER CONTENT DETERMINATION																								
TRIAL NO.	5%			8%			11%			14%			17%			20%			23%			26%		
WET SOIL+CAN (g)	29.4	38.4	35.4	35.3	36.6	31.9	38.1	29.6	32.5	26.5	31.2	28.1	16.5	23.8	18.5	26.0	27.1	24.5	21.0	20.9	20.7	26.2	20.5	22.5
DAY SOIL + CAN, (g)	28.7	37.6	34.4	34.2	35.3	30.8	36.2	28.1	31.0	25.4	29.4	26.8	15.6	22.1	17.4	24.1	24.8	22.8	19.7	19.6	19.5	24.8	18.6	21.0
WT. OF CAN, (g)	19.7	22.9	17.4	19.3	18.9	15.9	20.5	14.0	15.5	16.1	14.9	17.0	9.8	10.1	9.9	12.6	13.1	13.5	13.4	13.3	13.6	18.8	11.5	14.5
WT. OF WATER, (g)	0.7	0.8	1	1.1	1.3	1.1	1.9	1.5	1.5	1.1	1.8	1.3	0.9	1.7	1.1	1.9	2.3	1.7	1.3	1.3	1.2	1.4	1.9	1.5
WT. OF DRY SOIL, (g)	9.0	14.7	17.0	14.9	16.4	14.9	15.7	14.1	15.5	9.3	14.5	9.8	5.8	12	7.5	12	12	9.3	6.3	6.3	5.9	6	7.1	6.5
% WATER CONTENT	7.8	5.4	5.9	7.4	7.9	7.4	12.1	10.6	9.7	11.8	12.4	13.3	15.5	14.2	14.7	16.5	19.7	18.3	20.6	20.6	20.3	23.3	26.8	23.1
% WC AVERAGE	6.37			7.56			10.81			12.50			14.78			18.15			20.54			24.39		
DENSITY DETERMINASTION																								
WT. OF SOIL + MOLD (g)	5,570			5,620			5,678			5,729			5,788			5,845			5,835			5,814		
WT. OF MOLD (g)	4,117			4,117			4,117			4,117			4,117			4,117			4,117			4,117		
WT. OF SOIL IN MOLD (g)	1,453			1,503			1,561			1,612			1,671			1,728			1,718			1,697		
VOL MOLD	910.75			910.75			910.75			910.75			910.75			910.75			910.75			910.75		
WET DENSITY	1.60			1.65			1.71			1.77			1.83			1.90			1.89			1.86		
DRY DENSITY	1.50			1.53			1.55			1.57			1.60			1.61			1.56			1.50		



ภาพที่ ก-15 ปริมาณน้ำสูงสุด และความหนาแน่นแห้งสูงสุด (PET20) ครั้งที่ 3

จากผลการทดสอบดังภาพที่ ก-15 จะได้ค่าปริมาณน้ำสูงสุดเท่ากับ 17% ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดเท่ากับ 1.598 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร

2. ผลการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของดินลูกรัง

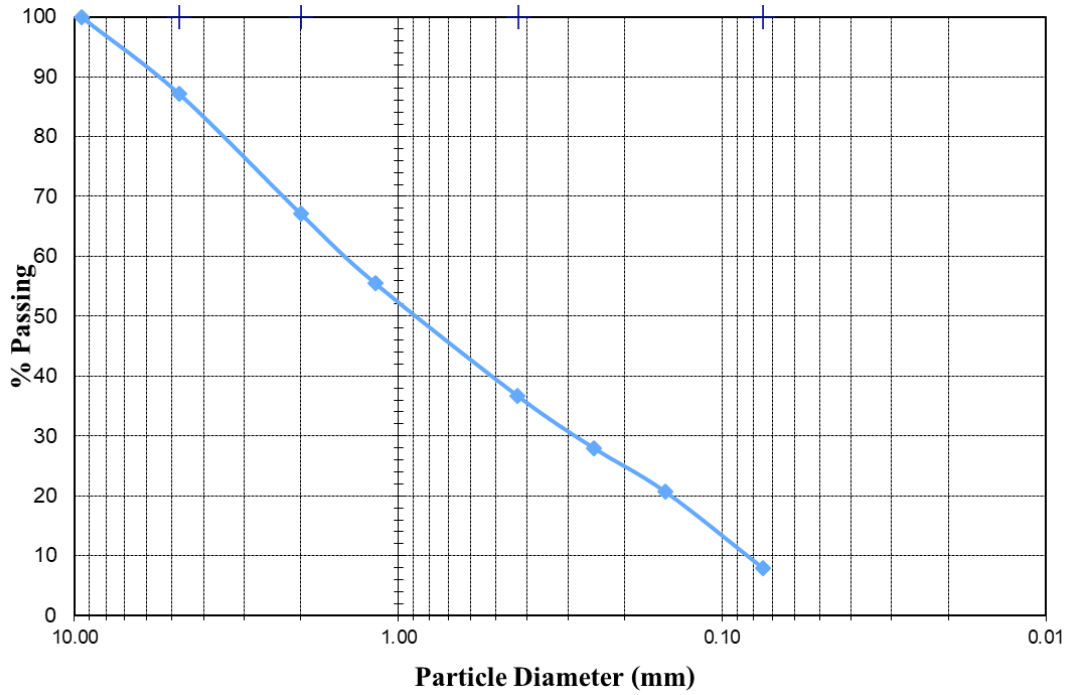
ตารางที่ ก-16 ผลการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของดินลูกรัง

SPECIFIC GRAVITY TEST			
TRIAL NO.	1	2	3
TEMPERTURE, (C)	27	29	30
FLASK + WATER, (g)	656.40	655.10	657.40
FLASK + WATER + SOIL, (g)	686.10	685.40	687.20
CONTAINER NO.	P1	P2	P3
DRY SOIL + CONTAINER, (g)	149.90	146.10	142.20
WT. OF CONTAINER, (g)	103.60	99.00	95.40
DRY SOIL, (g)	46.30	47.10	46.80
GT	0.99	0.99	0.99
G.S.	2.77	2.79	2.74
AVERAGE G.S.	2.77		

3. ผลการทดสอบการวิเคราะห์ขนาดคละของดินลูกรัง

ตารางที่ ก-17 ผลการทดสอบการวิเคราะห์ขนาดคละของดินลูกรัง

SIEVE ANAL YSIS						
Specific Gravity of Soil, Gs			2.77		**REMARK;**	
Weight of Dry Soil, (g)			1,000.00			
Sieves Standard						
Sieve Number	Diameter (mm.)	Mass of Sieve (g)	Mass of Sieve & Soil (g)	Soil Retained (g)	Soil Retained (%)	Soil Passing (%)
# 3/8	9.50	797.20	0.00	0.00	0.00	100.00
# 4	4.75	754.60	883.80	128.20	12.82	87.18
# 10	2.00	670.40	871.00	200.70	20.07	67.11
# 16	1.18	643.40	759.00	115.80	11.58	55.53
# 40	0.43	571.40	760.00	187.70	18.77	36.76
# 60	0.25	539.20	626.00	87.50	8.75	28.01
# 100	0.15	515.70	588.30	73.40	7.34	20.67
# 200	0.08	496.60	623.90	127.60	12.76	7.91
Pan		484.20	563.00	79.10	7.91	0.00
TOTAL				1,000.00	100.00	



ภาพที่ ก-16 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ผ่านและขนาดตะแกรง

4. ผลการทดสอบหาพิกัดพลาสติก

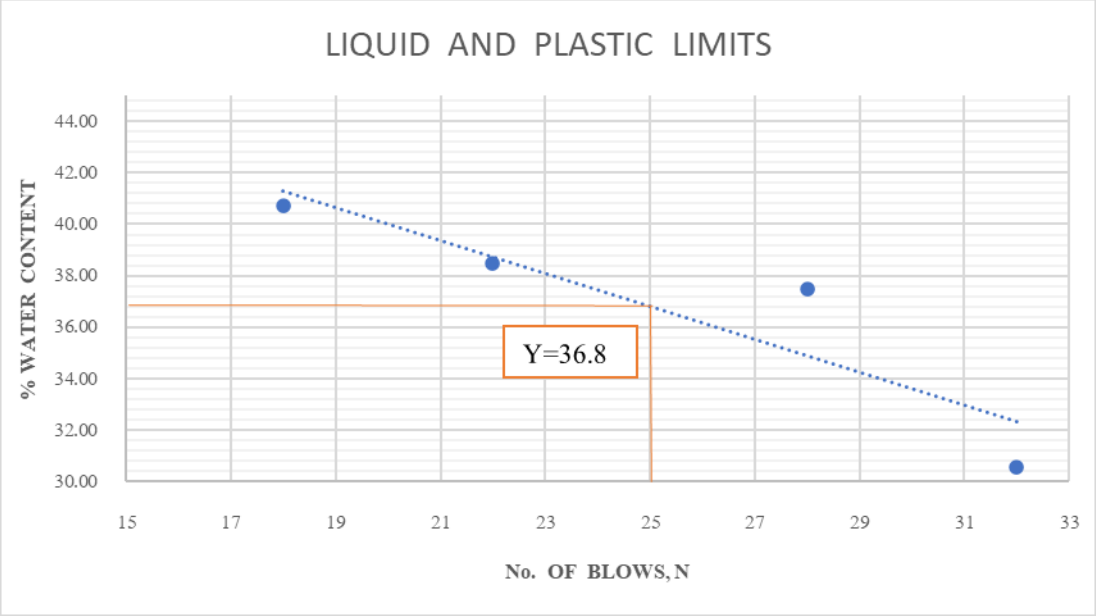
ตารางที่ ก-18 ผลการทดสอบหาพิกัดพลาสติก

PLASTIC LIMIT TEST			
TRIAL NO.	1	2	3
CAN NO.	A1	A2	A3
WET SOIL + CAN, (g)	20.60	22.20	22.70
DAY SOIL + CAN, (g)	20.30	21.90	22.40
WT. OF CAN, (g)	19.40	20.90	21.40
WT. OF WATER, (g)	0.30	0.30	0.30
WT. OF DRY SOIL, (g)	0.90	1.00	1.00
%WATER CONTENT	33.33	30.00	30.00
AVERAGE	31.11		

5. ผลการทดสอบหาค่าพิกัดเหลว (Liquid Limits)

ตารางที่ ก-19 ผลการทดสอบหาหาค่าพิกัดเหลว (Liquid Limits)

LIQUID LIMIT TEST				
Determination No.	1	2	3	4
NO. OF BLOWS, (N)	32	28	22	18
CAN NO.	B1	B2	B3	B4
WET SOIL + CAN, (g)	25.00	26.60	15.90	31.60
DRY SOIL + CAN, (g)	23.90	24.50	14.90	29.40
WT. OF CAN, (g)	20.30	18.90	12.30	24.00
WT. OF WATER, (g)	1.10	2.10	1.00	2.20
WT. OF DRY SOIL, (g)	3.60	5.60	2.60	5.40
%WATER CONTENT	30.56	37.50	38.46	40.74



ภาพที่ ก-17 ความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์ความชื้นและจำนวนครั้งการตอก

6. ผลการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของพลาสติก PET

ตารางที่ ก-20 ค่าความถ่วงจำเพาะของพลาสติก PET

SPECIFIC GRAVITY TEST			
TRIAL NO.	1	2	2
TEMPERTURE, (C)	28	28	28
FLASK + WATER, (g)	656.30	660.60	659.20
FLASK + WATER + PET, (g)	680.90	685.60	684.50
CONTAINER NO.	P1	P2	P3
DRY PET + CONTAINER, (g)	201.90	204.40	201.50
WT. OF CONTAINER, (g)	102.80	105.40	101.80
DRY PET, (g)	99.10	99.00	99.70
GT	1.00	1.00	1.00
G.S.	1.33	1.33	1.34
AVERAGE G.S.	1.33		

7. ผลการทดสอบหาค่าปริมาณความชื้นของพลาสติก PET

ตารางที่ ก-21 ค่าปริมาณความชื้นของพลาสติก PET

ผลการทดสอบค่าปริมาณความชื้นพลาสติก			
Can No	1	2	3
Wt. of Can – Wet PET ; g.	19.60	17.70	25.40
Wt. of Can – Dry PET ; g.	19.60	17.70	25.40
Wt. of Can ; g.	15.00	13.20	21.20
Wt. of Dry PET ; g.	4.60	4.50	4.20
Wt. water ; g.	0.00	0.00	0.00
Water content ; %	0.00	0.00	0.00
Average Water content; % (มาตรฐาน $\leq$ 0.03 %)	0.00		

8. ผลการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์

ตารางที่ ก-22 ค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์

ครั้งที่	**1**	**2**	**3**
ขีดระดับเริ่มต้นของน้ำมันก๊าด, (ml.)	0.40	0.50	0.50
อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำมันก๊าด, (c)	27.00	28.00	29.00
น้ำหนักเริ่มต้นของภาชนะ + น้ำมันก๊าด, (g)	346.90	311.10	309.70
ขีดระดับสุดท้ายของน้ำมันก๊าด, (ml.)	27.50	28.00	29.00
อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำมันก๊าด, (c)	21.00	22.00	20.50
น้ำหนักสุดท้ายของภาชนะ + น้ำมันก๊าด, (g)	410.90	376.30	378.10
น้ำหนักปูนซีเมนต์, Wc (g)	64.00	65.20	68.40
ปริมาตรที่ถูกแทนที่, Vc (cm^3)	20.60	21.50	20.00
ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์	3.11	3.03	3.42
ค่าเฉลี่ยความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์	3.19		

ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบของอิฐบล็อกประสาน

ตารางที่ ข-1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกประสาน อัตราส่วน 1 : 6 ที่อายุการบ่ม 7 วัน

อัตราส่วนผสม	ตัวอย่างที่	ขนาด (cm)			น้ำหนัก (kg)	พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	แรงอัด (Ton)	กำลังแรงอัด (ksc)	กำลังรับแรงอัด (MPa)	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัด (MPa)
		กว้าง	ยาว	สูง						
Control	1	12.610	25.110	10.110	5.434	312.137	9.810	31.428	3.080	3.117
	2	12.490	25.090	10.010	5.455	308.874	9.710	31.437	3.081	
	3	12.580	25.030	10.120	5.485	310.377	10.120	32.605	3.195	
	4	12.490	24.990	10.090	5.481	307.625	9.720	31.597	3.096	
	5	12.430	25.120	10.000	5.449	307.742	9.830	31.942	3.130	
PET5	1	12.460	25.050	10.110	5.576	307.623	10.820	35.173	3.447	3.235
	2	12.430	25.100	10.050	5.450	307.493	9.840	32.001	3.136	
	3	12.510	24.980	10.190	5.587	308.000	10.460	33.961	3.328	
	4	12.490	25.020	9.950	5.546	308.000	10.080	32.727	3.207	
	5	12.430	24.980	10.080	5.585	306.001	9.540	31.176	3.055	
PET10	1	12.460	25.120	10.110	5.462	308.495	11.470	37.180	3.644	3.340
	2	12.480	25.210	10.130	5.548	310.121	10.790	34.793	3.410	
	3	12.470	25.000	10.170	5.303	307.250	10.420	33.914	3.324	
	4	12.500	24.930	10.130	5.342	307.125	9.930	32.332	3.169	
	5	12.510	25.150	10.130	5.545	310.127	9.980	32.180	3.154	

ตารางที่ ข-1 (ต่อ)

อัตราส่วนผสม	ตัวอย่างที่	ขนาด (cm)			น้ำหนัก (kg)	พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	แรงอัด (Ton)	กำลังแรงอัด (ksc)	กำลังรับแรงอัด (MPa)	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัด (MPa)
		กว้าง	ยาว	สูง						
PET15	1	12.500	25.120	10.120	5.465	309.500	11.410	36.866	3.613	3.371
	2	12.450	25.000	10.100	5.356	306.750	10.520	34.295	3.361	
	3	12.480	25.000	10.120	5.360	307.500	10.650	34.634	3.394	
	4	12.500	24.900	10.200	5.423	306.750	10.170	33.154	3.249	
	5	12.420	25.090	10.200	5.463	307.118	10.150	33.049	3.239	
PET20	1	12.530	25.060	10.200	5.428	309.502	11.820	38.190	3.743	3.625
	2	12.430	25.110	10.050	5.388	307.617	10.280	33.418	3.275	
	3	12.490	25.050	10.100	5.271	308.375	12.340	40.016	3.922	
	4	12.050	25.110	10.080	5.293	298.076	11.920	39.990	3.919	
	5	12.480	25.090	10.110	5.358	308.623	10.280	33.309	3.264	

ตารางที่ ข-2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกประสาน อัตราส่วน 1 : 6 ที่อายุการบ่ม 14 วัน

อัตราส่วนผสม	ตัวอย่างที่	ขนาด (cm)			น้ำหนัก (kg)	พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	แรงอัด (Ton)	กำลังแรงอัด (ksc)	กำลังรับแรงอัด (MPa)	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัด (MPa)
		กว้าง	ยาว	สูง						
Control	1	12.510	25.150	10.150	5.421	310.127	11.280	36.372	3.564	3.513
	2	12.480	25.100	10.100	5.409	308.748	10.930	35.401	3.469	
	3	12.520	25.000	10.050	5.414	308.500	11.050	35.818	3.510	
	4	12.530	25.000	10.120	5.399	308.750	11.150	36.113	3.539	
	5	12.510	25.050	10.090	5.419	308.876	10.980	35.548	3.484	
PET5	1	12.510	24.900	10.160	5.433	306.999	11.210	36.515	3.578	3.660
	2	12.450	24.900	10.150	5.440	305.505	11.670	38.199	3.744	
	3	12.500	25.000	10.200	5.425	308.000	11.240	36.494	3.576	
	4	12.550	25.010	10.000	5.436	309.376	11.240	36.331	3.560	
	5	12.450	25.000	10.100	5.387	306.750	12.020	39.185	3.840	
PET10	1	12.480	24.950	10.050	5.375	306.876	12.050	39.267	3.848	3.959
	2	12.510	25.000	10.100	5.439	308.250	12.260	39.773	3.898	
	3	12.490	24.930	10.150	5.355	306.876	12.700	41.385	4.056	
	4	12.450	24.960	10.050	5.438	306.252	12.140	39.641	3.885	
	5	12.490	24.950	9.980	5.440	307.126	12.870	41.905	4.107	

ตารางที่ ข-2 (ต่อ)

อัตราส่วนผสม	ตัวอย่างที่	ขนาด (cm)			น้ำหนัก (kg)	พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	แรงอัด (Ton)	กำลังแรงอัด (ksc)	กำลังรับแรงอัด (MPa)	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัด (MPa)
		กว้าง	ยาว	สูง						
BPE 15	1	12.500	25.050	10.050	5.378	308.625	12.580	40.761	3.995	4.078
	2	12.520	25.000	10.150	5.354	308.500	13.340	43.241	4.238	
	3	12.500	25.000	10.050	5.363	308.000	13.100	42.532	4.168	
	4	12.530	25.030	10.180	5.402	309.126	12.370	40.016	3.922	
	5	12.500	25.000	10.020	5.356	308.000	12.780	41.494	4.066	
BPE 20	1	12.460	24.960	10.170	5.263	306.502	16.230	52.952	5.189	4.907
	2	12.550	25.100	10.150	5.217	310.505	14.880	47.922	4.696	
	3	12.490	24.930	10.140	5.260	306.876	15.720	51.226	5.020	
	4	12.470	24.950	10.000	5.226	306.627	15.310	49.930	4.893	
	5	12.540	25.020	10.180	5.215	309.251	14.940	48.310	4.734	

ตารางที่ ข-3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกประสาน อัตราส่วน 1 : 6 ที่อายุการบ่ม 28 วัน

อัตราส่วนผสม	ตัวอย่างที่	ขนาด (cm)			น้ำหนัก (kg)	พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	แรงอัด (Ton)	กำลังแรงอัด (ksc)	กำลังรับแรงอัด (MPa)	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัด (MPa)
		กว้าง	ยาว	สูง						
Control	1	12.560	25.130	10.130	5.270	311.133	11.960	38.440	3.767	3.776
	2	12.485	25.095	10.055	5.453	308.811	12.270	39.733	3.894	
	3	12.550	25.015	10.085	5.347	309.438	11.560	37.358	3.661	
	4	12.510	24.995	10.105	5.178	308.187	12.110	39.294	3.851	
	5	12.470	25.085	10.045	5.245	308.310	11.660	37.819	3.706	
PET5	1	12.485	24.975	10.135	5.428	307.313	12.950	42.139	4.130	4.140
	2	12.440	25.000	10.100	5.403	306.500	12.680	41.370	4.054	
	3	12.510	24.990	10.195	5.434	308.125	13.530	43.911	4.303	
	4	12.500	25.000	9.975	5.398	308.000	12.620	40.974	4.015	
	5	12.440	24.990	10.090	5.405	306.376	13.120	42.823	4.197	
PET10	1	12.470	25.035	10.080	5.370	307.686	13.020	42.316	4.147	4.230
	2	12.495	25.105	10.115	5.339	309.187	12.980	41.981	4.114	
	3	12.480	24.965	10.160	5.401	307.063	12.780	41.620	4.079	
	4	12.475	24.945	10.090	5.323	306.689	14.600	47.605	4.665	
	5	12.500	25.050	10.055	5.361	308.625	13.060	42.317	4.147	

ตารางที่ ข-3 (ต่อ)

อัตราส่วนผสม	ตัวอย่างที่	ขนาด (cm)			น้ำหนัก (kg)	พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	แรงอัด (Ton)	กำลังแรงอัด (ksc)	กำลังรับแรงอัด (MPa)	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัด (MPa)
		กว้าง	ยาว	สูง						
PET10	1	12.500	25.085	10.085	5.236	309.063	13.680	44.263	4.338	4.487
	2	12.485	25.000	10.125	5.128	307.625	14.780	48.046	4.708	
	3	12.490	25.000	10.085	5.282	307.750	13.850	45.004	4.410	
	4	12.515	24.965	10.190	5.337	307.937	13.590	44.132	4.325	
	5	12.460	25.045	10.110	5.277	307.561	14.600	47.470	4.652	
PET20	1	12.495	25.010	10.185	5.001	308.000	16.260	52.792	5.174	5.015
	2	12.490	25.105	10.100	4.969	309.061	15.680	50.734	4.972	
	3	12.490	24.990	10.120	5.099	307.625	16.320	53.052	5.199	
	4	12.260	25.030	10.040	5.272	302.368	15.450	51.097	5.007	
	5	12.510	25.055	10.145	4.975	308.938	14.890	48.197	4.723	

ตารางที่ ข-4 ผลการทดสอบความหนาแน่นแห้งของอิฐบล็อกประสาน อัตราส่วน 1 : 6 ที่อายุการบ่ม 28 วัน

อัตราส่วนผสม	ตัวอย่าง	น้ำหนักอิ่มตัวด้วยน้ำ (kg)	น้ำหนักชั่งในน้ำ (kg)	น้ำหนักหลังอบแห้ง (kg)	ความหนาแน่น (kg/m^3)	ความหนาแน่นเฉลี่ย (kg/m^3)
Control	1	5.406	2.531	4.601	1,600.348	
	2	5.686	2.789	5.017	1,731.792	
	3	5.446	2.560	4.807	1,665.627	1,673.578
	4	5.538	2.590	4.797	1,627.205	
	5	5.469	2.680	4.861	1,742.919	
PET5	1	5.330	2.685	4.862	1,838.185	
	2	5.765	2.655	4.861	1,563.023	
	3	5.380	2.583	4.723	1,688.595	1,701.548
	4	5.422	2.715	4.963	1,833.395	
	5	5.582	2.619	4.695	1,584.543	
PET10	1	5.608	2.697	4.878	1,675.713	
	2	5.481	2.591	4.777	1,652.941	
	3	5.423	2.522	4.750	1,637.366	1,653.368
	4	5.500	2.603	4.785	1,651.709	
	5	5.346	2.536	4.634	1,649.110	

ตารางที่ ข-4 (ต่อ)

อัตราส่วนผสม	ตัวอย่าง	น้ำหนักอิ่มตัวด้วยน้ำ (kg)	น้ำหนักชั่งในน้ำ (kg)	น้ำหนักหลังอบแห้ง (kg)	ความหนาแน่น (kg/m³)	ความหนาแน่นเฉลี่ย (kg/m³)
PET15	1	5.386	2.447	4.617	1,570.942	1,621.420
	2	5.337	2.486	4.571	1,603.297	
	3	5.447	2.582	4.801	1,675.742	
	4	5.374	2.547	4.608	1,629.996	
	5	5.291	2.467	4.595	1,627.125	
PET20	1	5.370	2.577	4.626	1,656.284	1,592.116
	2	5.246	2.344	4.524	1,558.925	
	3	5.146	2.324	4.406	1,561.304	
	4	5.374	2.445	4.593	1,568.112	
	5	5.290	2.457	4.578	1,615.955	

ตารางที่ ข-5 ผลการทดสอบการดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสาน อัตราส่วน 1 : 6 ที่อายุการบ่ม 28 วัน

อัตราส่วนผสม	ตัวอย่าง	น้ำหนักอิฐแห้ง (kg)	น้ำหนักอิฐเปียก (kg)	น้ำหนักน้ำในอิฐ (kg)	การดูดซึม (%)	การดูดซึม (kg/m^3)	ค่าเฉลี่ยการดูดซึม (kg/m^3)
Control	1	4.601	5.406	0.805	14.891	269.318	234.141
	2	5.017	5.686	0.669	11.766	227.276	
	3	4.807	5.446	0.639	11.733	215.975	
	4	4.797	5.538	0.741	13.380	251.025	
	5	4.861	5.469	0.608	11.117	207.113	
PET5	1	4.862	5.330	0.468	8.780	158.547	229.561
	2	4.861	5.765	0.904	15.681	308.175	
	3	4.723	5.380	0.657	12.212	220.651	
	4	4.963	5.422	0.459	8.466	157.621	
	5	4.695	5.582	0.887	15.890	302.810	
PET10	1	4.878	5.608	0.730	13.017	248.338	239.855
	2	4.777	5.481	0.704	12.844	237.442	
	3	4.750	5.423	0.673	12.410	227.631	
	4	4.785	5.500	0.715	13.000	243.828	
	5	4.634	5.346	0.712	13.318	242.038	

ตารางที่ ข-5 (ต่อ)

อัตราส่วนผสม	ตัวอย่าง	น้ำหนักอิฐแห้ง (kg)	น้ำหนักอิฐเปียก (kg)	น้ำหนักน้ำในอิฐ (kg)	การดูดซึม (%)	การดูดซึม (kg/m³)	ค่าเฉลี่ยการดูดซึม (kg/m³)
PET15	1	4.617	5.386	0.769	14.278	260.247	246.611
	2	4.571	5.337	0.766	14.353	259.481	
	3	4.801	5.447	0.646	11.860	219.605	
	4	4.608	5.374	0.766	14.254	257.550	
	5	4.595	5.291	0.696	13.154	236.171	
PET20	1	4.626	5.370	0.744	13.855	250.222	251.267
	2	4.524	5.246	0.722	13.763	243.980	
	3	4.406	5.146	0.740	14.380	250.797	
	4	4.593	5.374	0.781	14.533	271.701	
	5	4.578	5.290	0.712	13.459	239.634	