



รายงานการวิจัย

โครงการวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบสะสมความร้อนของคอนกรีตบล็อก
ในอาคารเก็บพืชผลทางการเกษตร

The Concrete Block Development in Heat Storage System for Postharvest Building

ผู้วิจัย

นาย ธรรมมา เจียรธราวานิช

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบประมาณแผ่นดิน ปี พ.ศ. 2556

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

รายงานการวิจัย

โครงการวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบสะสมความร้อนของคอนกรีตบล็อก

ในอาคารเก็บพืชผลทางการเกษตร

The Concrete Block Development in Heat Storage System for Postharvest Building

ผู้วิจัย

นาย ธรรมมา เจียรธรวานิช

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบประมาณแผ่นดิน ปี พ.ศ. 2556

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับนี้คงสำเร็จลงด้วยดีไม่ได้หากขาดการสนับสนุนจากบุคคลหรือหน่วยงานต่าง ๆ ต่อไปนี้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ หน่วยงานที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ปี พ.ศ. 2556

อาจารย์สุภกิจ เต็กศิริ หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเซนต์จอห์น อาจารย์สุวิมล จันทร์แก้ว อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเซนต์จอห์น ช่วยดูแลแนะนำและให้คำปรึกษาต่าง ๆ ในการทำงานวิจัย และคุณอาทิตย์ แก้วประเสริฐ ที่คอยช่วยอำนวยความสะดวกในการเก็บรวบรวมข้อมูลในการทำวิจัย

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ สำหรับความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาในการทำวิจัย

กองคลัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ สำหรับความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาในการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และพี่ ๆ ทุกคนที่ให้การสนับสนุนในด้านการศึกษา ให้กำลังใจและเข้าใจตลอดระยะเวลาการทำงานวิจัย จนกระทั่งผู้วิจัยสามารถทำงานวิจัยสำเร็จลงได้

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยเรื่องการพัฒนากระเบื้องเคลือบความร้อนของคอนกรีตบล็อกในอาคารเก็บพืชผลทางการเกษตรครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาสัดส่วนของปูนซีเมนต์ในการสร้างสมบัติการสะสมความร้อนของแผ่นคอนกรีตบล็อก โดยอาศัยการสะสมพลังงานความร้อนเพื่อสร้างสภาพการเปลี่ยนเฟสของวัสดุ ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้พาราฟินเป็นวัสดุสะสมความร้อน โดยในงานวิจัยได้ศึกษาประสิทธิภาพการสะสมความร้อนและการดูดความชื้นของแผ่นคอนกรีตบล็อกในการทดลองทำการหล่อแผ่นบล็อกคอนกรีตในแม่พิมพ์เหล็ก ซึ่งการหล่อแบ่งออกเป็น 3 ชั้น ในชั้นที่ 1 คอนกรีตหนา 30 มิลลิเมตร ชั้นที่ 2 พาราฟินหนา 5 มิลลิเมตร ชั้นที่ 3 ซีเมนต์เกรนิตหนา 15 มิลลิเมตร จากผลการศึกษาแผ่นคอนกรีตบล็อกสะสมความร้อน พบว่าแผ่นคอนกรีตบล็อกสะสมความร้อนที่มีพาราฟินอยู่ร้อยละ 40 และร้อยละ 60 นั้นผ่านมาตรฐานมอก.378-2531 และที่พาราฟินร้อยละ 40 ได้ค่าเฉลี่ยแรงคัดตามขวางที่ 28 วันมากที่สุด คือ 7.83 เมกะพาสคัล สำหรับการทดสอบการดูดซึมน้ำพบว่า คอนกรีตบล็อกทุกประเภทอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และให้ค่าการดูดซึมน้ำอยู่ในระดับต่ำ ส่วนการทดสอบค่าความร้อนพบว่าตัวอย่างแบบพาราฟินร้อยละ 40 สะสมความร้อนได้จากอุณหภูมิปกติ 7.18 องศาเซลเซียส แต่ตัวอย่างแบบพาราฟินร้อยละ 60 เก็บอุณหภูมิได้ต่ำกว่าเนื่องจากพาราฟินซึมออกจากแผ่นตัวอย่างจึงทำให้สะสมความร้อนได้น้อยลง และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 ให้ค่าการนำความร้อนต่ำที่สุด เท่ากับ 0.385 ดังนั้นจึงเลือกนำผลของพาราฟินร้อยละ 40 ไปหล่อเป็นแผ่นคอนกรีตบล็อก และทั้งนี้เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการสะสมความร้อนให้มากขึ้น จึงให้ผิวหน้าของแผ่นคอนกรีตผสมเกลือและชั้นล่างผสมผงไฟเบอร์กลาส โดยทดลองแปรผลสัดส่วนของเกลือและผงไฟเบอร์เป็น 6 สูตรดังนี้อัตราส่วน 5:5 10:5 15:5 5:10 10:10 และ 15:10 ตามลำดับ พบว่าคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสสูตรที่ 4 สะสมความร้อนได้จากอุณหภูมิปกติมากที่สุดคือ 9.82 องศาเซลเซียส และนำความร้อนต่ำที่สุดเท่ากับ 0.213 ดังนั้นสรุปว่าการสะสมความร้อนที่สูงย่อมส่งผลดีกว่าจึงเลือกใช้สูตรที่ 4 (5:10) โดยมีเกลือผสมที่ผิวหน้าร้อยละ 5 ผงไฟเบอร์ผสมด้านล่างร้อยละ 10 และมีพาราฟินอยู่ตรงกลางร้อยละ 40 และเมื่อสร้างเป็นโรงอบแห้งพบว่า โรงอบแห้งมีอุณหภูมิและความชื้นสอดคล้องกับหลักการการอบแห้งเป็นอย่างดีและจุดของการเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำของอากาศชั้นนั้นคงที่ ด้านต้นทุนการผลิตแผ่นคอนกรีตบล็อก คิดเป็นเงิน 145 บาทต่อบล็อกคอนกรีต 1 แผ่น และราคาประเมินต้นทุนวัตถุดิบในการสร้างโรงอบต้นแบบคิดเป็นเงิน 3,650 บาท

Abstract

The aim of this research was to study the condition to used paraffin wax in concrete block for restoration the latent heat in drying mechanism. The object is related the efficient humidity for drying house in the salt condition of the concrete block mixed on the top layer. The method and material we used portland cement were cast in the steel mold to 3 layers. Then each layers vary the mixed concrete included the top layer 15 mm, for the granite granule the middle layer was 5 mm, the paraffin wax sheet used in this part and the last layer in the general mixed in concrete were 30 mm, in thick. The study of heat, concrete tile, the concrete tile with paraffin heat is 40% and 60% of the standard 378-2531 Standard for the average transverse bending shall not be less than 3 MPa. The most transverse bending force on the 28th which the sample with paraffin material is 40 % the average cross-section of 7.83 MPa. tests, The absorption of water for all of type concrete block within standard and water absorption values are low. The average heat from the tile samples for the paraffin 40% more than normal temperature to 7.18 degrees celsius. The minimum thermal conductivity is the tile samples for the paraffin 40% to 0.385 W/(m*K). In the result for 40% paraffin used in the next concrete block that used in the bottom plate of the drying house. We mixed the salt in to the top layer and glass wool at the bottom layer 5:5, 10:5, 15:5, 5:10, 10:10 and 15:10. That found the tile samples for the paraffin mixed the salt and glass wool 5:10 formula have the average heat more than normal temperature to 9.82 degrees celsius. And the minimum thermal conductivity is 0.213 W/(m*K). The result shown that 5:10 formula was good strength and good heat storage too. The concrete block were used in the drying house generate the heat form the sun and dry the atmosphere of the house. The cost of producing concrete block is 145 baht per sheet and the costs of raw materials to build a prototype drying house is 3,650 baht.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ.....	ข
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ญ

บทที่

1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงการ.....	3
2 การทบทวนวรรณกรรม.....	4
2.1 วัสดุที่ใช้ในการทำวิจัย.....	4
2.2 วัสดุเปลี่ยนเฟส (Phase change materials; PCMS).....	7
2.3 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุ (The Role of Thermal Mass).....	8
2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสงอาทิตย์.....	11
2.5 เครื่องมือวัดและวิธีการวัด.....	13
2.6 ทฤษฎีเกี่ยวกับความสัมพันธ์กับงานเกษตรกรรม.....	16
2.7 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	19
2.8 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	21
3 เนื้อหาการวิจัย.....	28
3.1 ข้อมูลทั่วไปของชิ้นงานทดลอง.....	28

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 สูตรผสมของคอนกรีตในการทดลอง.....	29
3.3 ขั้นตอนการผสม.....	31
3.4 การทดสอบสมบัติของคอนกรีต.....	35
3.5 การสร้างโรดต้นแบบในการทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นคอนกรีต.....	46
4 ผลการวิจัย.....	49
4.1 ผลการทดสอบสมบัติคอนกรีตบล็อกเบื้องต้น.....	49
4.2 ผลการทดสอบสมบัติคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาส.....	74
4.3 การสร้างโรดต้นแบบในการทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นคอนกรีตบล็อก.....	104
4.4 การประเมินต้นทุนการผลิตแผ่นคอนกรีตบล็อก.....	109
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	112
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	112
5.2 อภิปรายผล.....	119
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	120
บรรณานุกรม.....	121
ภาคผนวก.....	122
ภาคผนวก ก	
หนังสือขอเข้าใช้พื้นที่ในการเก็บข้อมูล.....	123
ภาคผนวก ข	
แบบรายละเอียดโรดต้นแบบ.....	126
ภาคผนวก ค	
ผลการทดสอบความต้านแรงค้ำตามขวางสำหรับพาราฟินผสมร้อยละ 40 และร้อยละ 60.....	131
ภาคผนวก ง	
ผลการทดสอบความต้านแรงค้ำตามขวางของคอนกรีตปูพื้นที่มีพาราฟินร้อยละ 40.....	135

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก จ

ผลการวิเคราะห์ผ่านโปรแกรมทางสถิติ.....143

ภาคผนวก ฉ

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น 378-2531.....150



สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ความเข้มแสงและศักยภาพเชิงพลังงานแสงอาทิตย์ทั่วประเทศ.....	12
2.2 สถิติความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%) ของประเทศไทยในช่วงฤดูกาลต่างๆ.....	17
2.3 สูตรคำนวณในการสร้างตาราง CRD ANOVA.....	24
2.4 ตารางการคำนวณ CRD ANOVA.....	25
2.5 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกสองทาง.....	26
2.6 ตาราง ANOVA ในการวิเคราะห์แบบ Two Way.....	26
3.1 สัดส่วนการผสมคอนกรีตโดยน้ำหนัก.....	31
3.2 ผลการทดสอบมิติของแผ่นคอนกรีตบล็อก.....	36
3.3 ค่าความต้านแรงคัดตามขวางของคอนกรีต.....	39
3.4 ค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีต.....	41
3.5 ผลการทดสอบการสะสมความร้อนของคอนกรีต.....	45
4.1 ผลการทดสอบมิติของแผ่นคอนกรีตบล็อก.....	50
4.2 การเปรียบเทียบมิติด้านความหนาของคอนกรีตบล็อก จำแนกตามประเภทส่วนผสมของคอนกรีต.....	52
4.3 การเปรียบเทียบมิติด้านความกว้างของคอนกรีตบล็อก จำแนกตามประเภทส่วนผสมของคอนกรีต.....	54
4.4 การเปรียบเทียบมิติด้านความยาวของคอนกรีตบล็อก จำแนกตามประเภทส่วนผสมของคอนกรีต.....	56
4.5 สรุปค่าความต้านแรงคัดตามขวางของคอนกรีตบล็อกประเภทต่างๆ ที่ระยะเวลาบ่มแตกต่างกัน.....	58
4.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความต้านแรงคัดตามขวางของคอนกรีตบล็อกประเภทต่างๆ ที่ระยะเวลาบ่มแตกต่างกัน.....	60
4.7 ผลทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อก.....	63
4.8 ค่าอุณหภูมิของการสะสมความร้อนของคอนกรีตบล็อกประเภทต่างๆ.....	65
4.9 การเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิปกติภายนอกและอุณหภูมิในห้องทดลอง.....	67
4.10 การเปรียบเทียบด้านการสะสมความร้อนของคอนกรีตบล็อก จำแนกตามประเภทส่วนผสมของคอนกรีต.....	68

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.11 ค่าการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกประเภทต่างๆ.....	71
4.12 สรุปผลการทดสอบสมบัติคอนกรีตบล็อกประเภทต่างๆ.....	73
4.13 ผลการทดสอบมิติต้นความหนาของแผ่นคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาส.....	75
4.14 การเปรียบเทียบมิติต้นความหนาของคอนกรีตบล็อกพาราฟิน จำแนกตามประเภทส่วนผสมของคอนกรีต.....	77
4.15 ผลการทดสอบมิติต้นความกว้างของแผ่นคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาส.....	78
4.16 การเปรียบเทียบมิติต้นความกว้างของคอนกรีตบล็อกพาราฟิน จำแนกตามประเภทส่วนผสมของคอนกรีต.....	80
4.17 ผลการทดสอบมิติต้นความยาวของแผ่นคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาส.....	81
4.18 การเปรียบเทียบมิติต้นความยาวของคอนกรีตบล็อกพาราฟิน จำแนกตามประเภทส่วนผสมของคอนกรีต.....	83
4.19 สรุปค่าความต้านแรงดัดตามขวางของคอนกรีตบล็อกพาราฟินประเภทต่างๆ ที่ระยะเวลาบ่มแตกต่างกัน.....	85
4.20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความต้านแรงดัดตามขวางของคอนกรีตบล็อกพาราฟินประเภทต่างๆ ที่ระยะเวลาบ่มแตกต่างกัน.....	87
4.21 ผลทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกพาราฟิน.....	90
4.22 ค่าอุณหภูมิการสะสมความร้อนของคอนกรีตบล็อกพาราฟินประเภทต่างๆ.....	92
4.23 การเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิปกติภายนอกและอุณหภูมิในห้องทดลอง.....	96
4.24 การเปรียบเทียบด้านการสะสมความร้อนของคอนกรีตบล็อกพาราฟิน จำแนกตามประเภทส่วนผสมของคอนกรีตบล็อก.....	98
4.25 ค่าการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกพาราฟินประเภทต่างๆ.....	101
4.26 สรุปผลการทดสอบสมบัติคอนกรีตบล็อกพาราฟินประเภทต่างๆ.....	103
5.1 สรุปผลการทดสอบสมบัติคอนกรีตบล็อกประเภทต่างๆ.....	112
5.2 สรุปผลการทดสอบสมบัติคอนกรีตบล็อกพาราฟินประเภทต่างๆ.....	115

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1 แสดงการนำความร้อนผ่านแผ่นสี่เหลี่ยม	9
2.2 แผนที่ตั้งสื่อดวงอาทิตย์	12
2.3 กราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นความต้านทานของขดลวด	14
2.4 หลักการและวงจรอย่างง่ายของสายวัดอุณหภูมิ (Thermocouple)	15
2.5 ระบบการเก็บข้อมูล	16
3.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 คราซัง มาตรฐานปูนหล่อ ASTM C150	28
3.2 ลักษณะของแผ่นคอนกรีตบล็อก	29
3.3 แผนผังแสดงการผสมคอนกรีต	32
3.4 ร้อนหินผ่านตะแกรงขนาด 3/4 นิ้ว และล้างทำความสะอาดหิน	33
3.5 เตรียมหินแกรนิตบด	33
3.6 การเตรียมแผ่นพาราฟิน	33
3.7 การเตรียมแบบหล่อ และ ทาน้ำมันที่แบบ	34
3.8 การผสมและถอดแบบคอนกรีตตามมาตรฐาน มอก. 378-2531	34
3.9 ลักษณะวางแผ่นพาราฟินและการถอดออกจากแบบ	35
3.10 การทดสอบแรงอัดคอนกรีต	38
3.11 การแช่น้ำเพื่อวัดค่าการดูดซึมน้ำ	40
3.12 การอบแผ่นคอนกรีตบล็อกเพื่อหาการดูดซึมน้ำ	40
3.13 การทดสอบการสะสมความร้อนของแผ่นคอนกรีตบล็อก	42
3.14 การเจาะรูแผ่นทดสอบเพื่อหาค่าความร้อนของแผ่นตัวอย่าง	42
3.15 การทดสอบวัดค่าความร้อนจากแผ่นตัวอย่าง	43
3.16 การทดสอบหาเวลาที่ทำให้แผ่นตัวอย่างมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิปกติ	43
3.17 เตรียมกล่องทดสอบเพื่อหาค่าความร้อนของแผ่นทดสอบ	44
3.18 การปิดรอยต่อระหว่างแผ่นอะคลิลิกกับอิฐบล็อกคอนกรีต	44
3.19 แผนการทดลองวัดค่าความร้อน	46
3.20 แบบรายละเอียดโครงสร้าง	47
3.21 ตำแหน่งการทดลองวัดค่าความชื้นและวัดอุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง	48

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4.1 แผนภูมิพิสัยควบคุมมิติด้านความหนาของคอนกรีตบล็อก.....	51
4.2 แผนภูมิพิสัยควบคุมมิติด้านความกว้างของคอนกรีตบล็อก.....	53
4.3 แผนภูมิพิสัยควบคุมมิติด้านความยาวของคอนกรีตบล็อก.....	55
4.4 ค่าเฉลี่ยความต้านแรงดัดตามขวางของคอนกรีตบล็อกประเภทต่างๆ ที่ระยะเวลาบ่มที่แตกต่างกัน.....	59
4.5 Box Plot ค่าความต้านแรงดัดตามขวางของคอนกรีตแต่ละชนิด ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ.....	61
4.6 ร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกประเภทต่างๆ.....	63
4.7 การทดสอบวัดอุณหภูมิของการสะสมความร้อน.....	64
4.8 อุณหภูมิปกติและอุณหภูมิในห้องทดลองของแผ่นคอนกรีตบล็อกแต่ละช่วงเวลา.....	66
4.9 อุณหภูมิปกติและอุณหภูมิในห้องทดลองของแผ่นคอนกรีตบล็อกประเภทต่างๆ.....	67
4.10 ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิปกติกับอุณหภูมิในห้องทดลองของแผ่นคอนกรีตบล็อกแต่ละช่วงเวลา.....	69
4.11 ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิปกติกับอุณหภูมิในห้องทดลองของคอนกรีตบล็อก.....	70
4.12 ค่าการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกประเภทต่างๆ.....	72
4.13 แผนภูมิพิสัยควบคุมมิติด้านความหนาของคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาส.....	76
4.14 แผนภูมิพิสัยควบคุมมิติด้านความกว้างของคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาส.....	79
4.15 แผนภูมิพิสัยควบคุมมิติด้านความยาวของคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาส.....	82
4.16 ค่าเฉลี่ยความต้านแรงดัดตามขวางของคอนกรีตบล็อกพาราฟิน ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ.....	86
4.17 Box Plot ค่าความต้านแรงดัดตามขวางของคอนกรีตบล็อกแต่ละชนิด ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ.....	88
4.18 ร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกพาราฟินประเภทต่างๆ.....	90
4.19 อุณหภูมิปกติและอุณหภูมิในห้องทดลองของแผ่นคอนกรีตบล็อกพาราฟินแต่ละช่วงเวลา.....	95

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4.20 อุณหภูมิปกติและอุณหภูมิในห้องทดลองของแผ่นคอนกรีตบล็อกประเภทต่างๆ.....	96
4.21 ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิปกติกับอุณหภูมิในห้องทดลองของแผ่นคอนกรีตบล็อก พาราฟินแต่ละช่วงเวลา.....	99
4.22 ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิปกติกับอุณหภูมิในห้องทดลองของคอนกรีตบล็อก พาราฟิน.....	99
4.23 ค่าการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกพาราฟินประเภทต่างๆ.....	101
4.24 การวางแผ่นคอนกรีตบล็อกปูพื้น โรงอบแห้งจำลอง.....	105
4.25 ขาแนวแผ่นคอนกรีตบล็อกปูพื้น โรงอบแห้งจำลอง.....	105
4.26 การก่อผนังโรงอบแห้งจำลอง.....	105
4.27 หลังคาโรงอบแห้งจำลองใสเพื่อให้แสงแดดส่องถึงพื้นคอนกรีตบล็อก.....	106
4.28 การจำลองการวางพริกในโรงอบแห้งจำลอง.....	106
4.29 การเปิดช่องมองที่ประตูโรงอบแห้ง.....	107
4.30 การจำลองการวางพริกในโรงอบแห้งจำลองเพื่อตากแห้ง.....	107
4.31 การวัดอุณหภูมิตรงบริเวณกึ่งกลางของโรงอบแห้ง.....	108
4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิภายในโรงอบและความชื้นสัมพัทธ์ ตรงบริเวณกึ่งกลางของโรงอบแห้ง.....	109

บทที่ 1

บทนำ

การศึกษาวิจัยเริ่มต้นมาจากการเห็นถึงความสำคัญของปัญหาที่เกิดขึ้นและนำมาวิเคราะห์หาคำตอบหรือหนทางแก้ไขปัญหาโดยใช้หลักทฤษฎีประกอบ ซึ่งต้องเริ่มจากการวางกรอบการวิจัย กำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขตของการศึกษา ระบุขั้นตอนการดำเนินงาน และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษาวิจัย

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

เนื่องจากประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนชื้น การเก็บเกี่ยวพืชผลทางการเกษตรหลักๆ ที่สำคัญ เช่น ข้าว ข้าวโพด และพริก ซึ่งเป็นพืชไร่ต้องเก็บไว้ในที่แห้งความชื้นต่ำ โดยเงื่อนไขดังกล่าวเป็นการช่วยยืดอายุในการเก็บรักษา เกษตรกรจึงต้องอาศัยวิธีการตากแห้งด้วยแสงแดดซึ่งเป็นวิธีการทำให้แห้งที่ง่ายที่สุด และโดยทั่วไปแล้วแสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านมายังประเทศไทยมีปริมาณความเข้มของแสงโดยเฉลี่ย $17.4 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$ ซึ่งถือว่าเพียงพอต่อการทำให้พืชผลทางการเกษตรเหล่านั้นแห้งได้ดี แต่ถ้าอยู่ในช่วงฤดูฝนเทคนิคแบบพื้นบ้านนี้ก็ไม่ได้ช่วยให้เกิดประโยชน์มากนัก ทั้งนี้ก็ได้มีนักวิจัยหลายท่านได้พยายามออกแบบเทคนิคและอุปกรณ์ต่างๆเพื่อนำมาใช้ในการอบแห้ง ซึ่งถือว่าเป็นเทคนิคที่ช่วยเหลือเกษตรกรได้เป็นอย่างดี แต่ในระดับของการผลิตในภาคเกษตรกรรมแล้วยังพบว่า พืชผลที่ผลิตได้ต่อช่วงฤดูการเก็บเกี่ยวยังมีสูงมากและเครื่องมือและเทคนิคที่มีอยู่แล้วยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของเกษตรกร อีกทั้งยังมีการลงทุนในระดับสูง โดยภูมิปัญญาของเกษตรกรในสมัยโบราณยังพบว่าเทคนิคที่ทำภายหลังจากการเก็บเกี่ยวแล้วคือการเก็บรักษาภายหลังจากตากแห้งแล้วได้จัดเก็บไว้ในยุ้งฉางเพื่อรอการจำหน่าย แต่วิวัฒนาการด้านการเก็บเกี่ยวสูงขึ้นทำให้เกษตรกรเลิกใช้วิธีนี้ และหันไปพึ่งการขายโดยทันทีที่บริเวณหน้าโรงสีข้าว ทำให้ราคาต่ำกว่าที่ควรจะเป็น เนื่องจากข้าวเองยังมีความชื้น และในกรณีของพริกแห้งที่พบว่ามีการค้าหลายแห่งที่นำพริกแห้งที่ยังมีความชื้นอยู่ไปแปรรูปทำให้ปนเปื้อนเชื้อราทำให้พบสารพิษอะฟลาทอกซินมากขึ้น

ดังนั้นการสร้างโรงเก็บจะช่วยทำให้พืชผลมีความชื้นลดลง เป็นทางเลือกที่ช่วยสร้างมูลค่าให้กับผลิตผลทางการเกษตรเหล่านั้น แต่ในโรงเก็บแบบเดิมที่เกษตรกรสร้างขึ้นเองพบว่าไม่สามารถช่วยสร้างประสิทธิภาพ เนื่องจากการออกแบบไม่ได้ถูกสร้างให้มีระบบระบายอากาศและการสร้างความ

ร้อนที่ช่วยลดความชื้นได้ ดังนั้นคอนกรีตบล็อกเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ก่อสร้างที่สามารถสร้างให้มีกลไกการดูดความชื้นและสะสมความร้อนได้ แต่ก็ยังไม่มีงานวิจัยใดที่ได้กล่าวถึงโรงเก็บที่มีลักษณะดังกล่าว โดยส่วนใหญ่นักวิจัยมุ่งเน้นการสร้างโรงอบแห้งผลิตภัณฑ์เป็นส่วนใหญ่ ทางผู้วิจัยจึงมีความคิดที่จะศึกษาสมบัติทางความร้อน การสะสมความร้อน และการดูดความชื้น ที่เหมาะสมในการสร้างโรงเก็บที่สามารถเพิ่มคุณลักษณะผลิตผลทางการเกษตรที่พึงประสงค์และตรงต่อความต้องการเพื่อใช้ในการแปรรูปต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสัดส่วนของปูนซีเมนต์ในการสร้างสมบัติการสะสมความร้อนของแผ่นคอนกรีตบล็อก
- 1.2.2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการสะสมความร้อนของแผ่นคอนกรีตบล็อก
- 1.2.3 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซึมน้ำของแผ่นคอนกรีตบล็อก

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1.3.1 คอนกรีต ผสมด้วยสูตรงานคอนกรีตโครงสร้างได้แก่ ปูนซีเมนต์งานโครงสร้าง ทรายละเอียด และหินเกล็ด ถูกผสมกันและทำเป็นลักษณะแซนวิช คือ ลักษณะของผนังด้านนอกที่สัมผัสแสงแดดเป็นผิวคอนกรีตที่ผสมด้วยเส้นใยไฟเบอร์กลาส โครงสร้างบริเวณตรงกลางแผ่นผสมด้วยสูตรคอนกรีตงานโครงสร้างสอดไส้พาราฟินแผ่น และผนังผิวด้านตรงข้ามเป็นคอนกรีตที่ผสมเกลือแกง
- 1.3.2 แผ่นคอนกรีตบล็อกสร้างขึ้นมีขนาด 30 x 30 ตารางเซนติเมตร และหนา 5 เซนติเมตร
- 1.3.3 ศึกษาการถ่ายเทความร้อนผ่านคอนกรีตบล็อกเข้าสู่บรรยากาศภายในห้องทดสอบ
- 1.3.4 ศึกษาการสะสมความร้อนของแผ่นบล็อกคอนกรีตในตู้อบทดสอบ โดยทดสอบที่อุณหภูมิทดสอบ 40 องศาเซลเซียส
- 1.3.5 ศึกษาประสิทธิภาพของการดูดความชื้น โดยทดสอบวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.4.1 การเตรียมข้อมูลเพื่อดำเนินการวิจัย การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
- 1.4.2 การติดต่อสถานที่ที่จะดำเนินการทดสอบเก็บข้อมูล
- 1.4.3 การตั้งสมมติฐานการวิจัย เกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาระบบสะสมความร้อนของคอนกรีตบล็อกในการเก็บพืชผลทางการเกษตร และออกแบบผลการทดสอบที่ครอบคลุมปัจจัยดังกล่าว
- 1.4.4 การทดสอบเก็บรวบรวมข้อมูล
- 1.4.5 ประมวลผลด้วยเครื่องมือทางสถิติวิจัยเพื่อสรุปผลการวิจัย
- 1.4.6 นำเสนอผลการวิจัยเมื่อดำเนินการวิจัยแล้วเสร็จ ต่อที่ประชุมคณะกรรมการฝ่ายวิจัย
- 1.4.7 ผู้วิจัยตีพิมพ์เผยแพร่งานวิจัยต่อสาธารณชน เพื่อเป็นประโยชน์ในมุมกว้างต่อไป

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงการ

- 1.5.1 เพิ่มทางเลือกในการใช้วัสดุดูดซับความร้อนในอาคารเก็บพืชผลทางการเกษตร
- 1.5.2 ได้คอนกรีตบล็อกที่มีคุณสมบัติการสะสมความร้อน
- 1.5.3 เพิ่มประสิทธิภาพในการอบในช่วงเวลาที่ไม่ใช่แสงแดด
- 1.5.4 ลดความชื้นในโรงอบแห้งลงด้วยระบบพึ่งพาตนเอง

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม

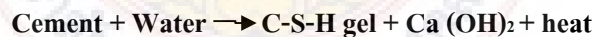
การศึกษาวิจัยหลังจากกำหนดกรอบของการวิจัยแล้ว ต้องศึกษาข้อมูลทั่วไปของงานที่จะทำการวิจัย และทบทวนงานวรรณกรรมที่เคยมีผู้ศึกษาวิจัยไว้ ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดต่าง ๆ ได้ดังนี้

2.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

2.1.1 คอนกรีตบล็อก คอนกรีตสามารถแยกพิจารณาออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. ส่วนที่เป็นตัวประสาน ได้แก่ ปูนซีเมนต์กับน้ำและน้ำยาผสมคอนกรีต
2. ส่วนที่เป็นมวลรวม ได้แก่ ทราย หิน หรือ กรวด

เมื่อนำวัสดุต่างๆ ของคอนกรีตมาผสมกัน คอนกรีตจะเป็นของเหลวมีความหนืดเวลาหนึ่งซึ่งสามารถนำไปเทลงแบบหล่อตามต้องการได้ เมื่ออายุมากขึ้นคอนกรีตก็จะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวมาเป็นกึ่งเหลวกึ่งแข็ง และในเวลาต่อมาก็จะเป็นของแข็งในที่สุดซึ่งสามารถรับกำลังอัดได้มากขึ้นเรื่อยๆ ตามอายุของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นจนถึงช่วงเวลาหนึ่งความสามารถรับกำลังอัดก็จะเริ่มคงที่การที่ปูนซีเมนต์รวมตัวกับน้ำแล้วเกิดการก่อตัวและแข็งตัวของปูนซีเมนต์ขึ้น เรียกลักษณะเช่นนี้ว่า “การเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน” ซึ่งเกิดจากสารประกอบในซีเมนต์ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับน้ำเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ดังนั้นจึงรู้สึกว่าร้อนขึ้นเมื่อสัมผัสกับปูนซีเมนต์ที่ทำปฏิกิริยากับน้ำ สามารถเขียนเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ง่าย ๆ ได้ดังนี้



คำอธิบาย

Cement	= แทนสารประกอบต่าง ๆ ในปูนซีเมนต์
Water	= แทนน้ำ
C-S-H gel	= แทนแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate) เป็นองค์ประกอบที่ทำให้กำลังกับคอนกรีต

Ca (OH)_2 = เป็นผลที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชัน ทำให้ซีเมนต์เพสต์มีคุณสมบัติเป็นด่างอย่างมาก pH ประมาณ 12.5 ช่วยป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กเสริมได้อย่างดีมาก

Heat = เป็นความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน

และองค์ประกอบของการสร้างเป็นคอนกรีตขึ้นมาใช้งานได้แก่

1. **ปูนซีเมนต์** ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในงานก่อสร้างต้องเป็นปูนซีเมนต์ที่บรรจุถุงเรียบร้อยตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) หรือเป็นปูนซีเมนต์ที่เก็บในภาชนะบรรจุของบริษัทผู้ผลิต ห้ามใช้ปูนซีเมนต์เสื่อมสภาพหรือไม่ได้มาตรฐาน เช่น ปูนซีเมนต์ซึ่งแข็งตัวจับกันเป็นก้อน เป็นต้น
2. **มวลรวมละเอียด** ส่วนมากจะเป็นทราย ทรายที่ใช้ผสมคอนกรีตจะต้องมีความละเอียดพอดี โดยมี Fineness Modulus ระหว่าง 2.3 และ 3.1 ถ้าน้อยกว่า 2.3 จะเข้าลักษณะทรายละเอียดต้องสะอาด ไม่มีฝุ่นหรือขยะปะปนมากเกินไป
3. **มวลรวมหยาบ** ธรรมชาติจะใช้ทั้งหินย่อยและกรวดเป็นมวลรวมหยาบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความยากง่ายในการหาวัสดุ ปกติวิศวกรจะระบุไว้ในข้อกำหนดว่าให้ใช้ชนิดใด ผู้ควบคุมงานจะต้องหมั่นตรวจวัสดุที่ส่งเข้ามาอยู่เสมอเป็นประจำเพราะอาจไม่ใช่วัสดุจากแหล่งเดียวกัน และอาจมีสิ่งปนเปื้อนได้ เช่น หินผุ หรือหินอื่นที่มีคุณภาพต่ำกว่าที่กำหนด
4. **น้ำ** ในข้อกำหนดต้องเป็นน้ำสะอาดสามารถใช้ดื่มได้ ซึ่งโดยมากมักหมายถึงน้ำประปา ในกรณีที่ไม่สามารถหาน้ำที่สะอาดได้ จำเป็นต้องใช้น้ำที่ขุ่นในการผสมคอนกรีต ต้องทำให้ใสก่อนจึงจะนำมาใช้ได้ โดยอาจใช้ปูนซีเมนต์ 1 ลิตร ต่อน้ำขุ่น 200 ลิตร ผสมทิ้งไว้ 5 นาที หรือจนตกตะกอนนอนก้นหมดแล้ว จึงตักเอาน้ำใสมานำมาใช้ได้ แต่ทั้งนี้ น้ำต้องผ่านการทดสอบคุณสมบัติอื่น ๆ ก่อนนำมาใช้
5. **บางกรณีข้อกำหนดระบุไว้ให้ใช้สารผสมเพิ่มบางชนิด** เช่น สารกันซึม สารกระจายกักฟองอากาศ สารหน่วง และสารเร่งการก่อตัว เป็นต้น ผู้ควบคุมงานจะต้องดูว่าสารผสมเพิ่มที่นำมาใช้จะต้องตรงกับชนิดที่ได้รับอนุมัติจากวิศวกรผู้รับผิดชอบแล้ว

2.1.2 การผสมคอนกรีตในโครงการก่อสร้างขนาดเล็ก อาจทำการผสมคอนกรีตในสถานที่ก่อสร้าง อาจผสมด้วยมือ หรือเครื่องผสมคอนกรีตก็ได้ ถ้าใช้เครื่องผสมคอนกรีต ที่มีความจุ 1 ลูกบาศก์เมตร หรือน้อยกว่า ต้องใช้เวลาผสมนานอย่างน้อย 1.5 นาที และให้เพิ่มระยะเวลาผสม 15 วินาที ทุก ๆ ความจุที่เพิ่มขึ้น 0.5 ลูกบาศก์เมตร ใส่วัสดุผสมแห้งก่อนและทำการผสมวัสดุแห้ง จากนั้นจึงค่อยใส่น้ำประมาณร้อยละ 10 ลงไปในเครื่องผสม ส่วนวัสดุและน้ำที่เหลือค่อย ๆ ใส่อีกอย่างสม่ำเสมอ และอีกร้อยละ 10 สุดท้ายค่อยเติมไปหลังจากใส่วัสดุผสมหมดแล้ว โดยที่เครื่องผสมต้องหมุนด้วยความเร็วสม่ำเสมอตามที่ผู้ผลิตกำหนดอัตราความเร็ว การผสมคอนกรีตส่วนใหญ่ จะใช้นับบั้งก็ ซึ่งทำให้ส่วนผสมคลาดเคลื่อนได้ ควรทำกะบะตวง หิน ทราย

2.1.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับการนำความร้อนของคอนกรีต

ค่า R หรือ R-value คือค่าแสดงความสามารถในการต้านการไหลของความร้อนของวัสดุต่างๆ ตามมาตรฐานการทดสอบของทวีปอเมริกาเหนือ มีหน่วยเป็น $\text{K}\cdot\text{m}^2/\text{W}$ หรือ $\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F}\cdot\text{hr}/\text{Btu}$ ซึ่งยังมีค่าสูงก็ยิ่งกันการไหลผ่านของความร้อนได้ดีขึ้น ค่า R นี้คิดคำนวณได้จากค่ายู หรือ U-factor หรือ U-value ซึ่งก็คือค่าความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของวัสดุโดย $R=1/U$ หรือ $U=1/R$ นั่นเอง

ตัวอย่างค่า R ของวัสดุต่างๆ มีดังนี้

- แผ่นโฟมโพลีเอทิลีน (Polyethylene Foam) = R-2
- แผ่นโฟมยูเรีย ฟอรัมาลดีไฮด์ (Urea-formaldehyde Foam) = R-4 ถึง R-4.6
- แผ่นโพลียูรีเทน (Polyurethane rigid panel) = R-6.8 ถึง R-8
- กระดาษแข็ง (Cardboard) = R-3 ถึง R-4
- แผ่นไม้ (Wood panel) = R-2.5
- ฟางมัด (Straw bale) = R-1.45
- กระจกหน้าต่าง 1 ชั้น (Single pane glass) = R-1
- ส่วนวัสดุเช่น อิฐมวลเบา หิน ทราย หรือคอนกรีต จะมีค่า R ต่ำ น้อยกว่า 1 อย่างไรก็ตามก็ไม่ได้จะเป็นวัสดุกันความร้อนไม่ดีเพราะความสามารถในการป้องกันความร้อนของวัสดุ มิได้ขึ้นอยู่กับความต้านทานการไหลผ่านความร้อนของวัสดุนั้นอย่างเดียว

การหาค่า R ของคอนกรีตก็สามารถหาได้ดังนี้ โดยเอาความหนาของคอนกรีตคูณกับค่าความต้านทานความร้อนของคอนกรีต ในกรณีของคอนกรีตทั่วไปที่ใช้ในประเทศ ซึ่งมีหินปูนเป็นมวลรวมหยาบและไม่ใส่สารกักอากาศ (non-air entrained) ค่าความต้านทานความร้อน (Heat Resistivity) จะอยู่ที่ประมาณ $0.035 \text{ ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} \cdot \text{hr} / \text{Btu} \cdot \text{cm}$ เช่นถ้าคอนกรีตที่มีความหนา 20 ซม. จะมีค่า $R = R-0.71$ เท่านั้นเอง แต่เมื่อเทียบกับกระจกหน้าต่าง 1 ชั้น (R-1) ถึงแม้ว่าคอนกรีตจะมีค่า R ที่ต่ำกว่า แต่ในความเป็นจริงแล้วจะเห็นได้ว่าคอนกรีตกันความร้อนได้ดีกว่ากระจกแน่นอน สาเหตุก็เนื่องมาจากมาตรฐานในการทดสอบนั้น กำหนดอุณหภูมิไว้ที่ 24 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เพียงร้อยละ 50 และห้ามมิให้อากาศถ่ายเท ซึ่งมีได้สะท้อนให้เห็นถึงลักษณะหรือสภาพของการใช้งานจริง

2.2 วัสดุเปลี่ยนเฟส (Phase change materials; PCMS)

วัสดุที่เปลี่ยนเฟส (PCMS) เป็นสารที่มีความร้อนสูงจากฟิวชั่นซึ่งละลายและของแข็งที่อุณหภูมิบางมีความสามารถในการจัดเก็บและปล่อยพลังงานจำนวนมาก ความร้อนจะถูกดูดซึมหรือปล่อยออกมาเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงวัสดุจากของแข็งเป็นของเหลวและในทางกลับกัน ซึ่ง PCMS จะจัดเป็นที่เก็บความร้อนแฝง (LHS) หน่วย PCMS เก็บความร้อนแฝงสามารถทำได้ผ่านทั้งสถานะของแข็งของแข็ง สถานะของแข็งของเหลว และสถานะของแข็งก๊าซ รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงเฟสสถานะของเหลวก๊าซ อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงเฟสเดียวที่ใช้สำหรับ PCMS คือการเปลี่ยนแปลงที่เป็นสถานะของแข็งของเหลว สถานะของเหลวก๊าซการเปลี่ยนแปลงเฟสไม่ได้ในทางปฏิบัติสำหรับการใช้งานเป็นที่เก็บความร้อนเนื่องจากปริมาณขนาดใหญ่หรือแรงกดดันสูงจำเป็นต้องจัดเก็บวัสดุเมื่ออยู่ในขั้นตอนก๊าซ เปลี่ยนสถานะของเหลวก๊าซจะมีความร้อนสูงกว่าของการเปลี่ยนแปลงการเปลี่ยนสถานะของแข็งของเหลว สถานะของแข็งของแข็งการเปลี่ยนเฟสมักจะช้ามากและมีความร้อนค่อนข้างต่ำของการเปลี่ยนแปลง

พาราฟิน ($\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$) และกรดไขมัน ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{COOH}$)

ข้อดี

- โดยไม่ต้องแช่แข็ง super cooling มาก
- ความสามารถในการละลายสอดคล้อง

- คุณสมบัติ nucleating ตนเอง
- ความเข้ากันได้กับวัสดุธรรมชาติของการก่อสร้าง
- แยกไม่มี
- ความเสถียรทางเคมี
- ความร้อนสูงของผิวชั้น
- ปลดปล่อยและไม่เกิดปฏิกิริยา
- ริโซเกิด

ข้อเสีย

- การนำความร้อนต่ำในสถานะของแข็ง อัตราการถ่ายโอนความร้อนสูงจะต้องอยู่ในวงจรการแช่แข็ง
- แผลงความร้อนความจุปริมาตรต่ำ
- ไวไฟ นี้สามารถบรรเทาได้อย่างง่ายดายโดยสถานะที่เหมาะสม

2.3 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุ (The Role of Thermal Mass)

อุณหภูมิอากาศภายในอาคารนั้นขึ้นอยู่กับอิทธิพลปัจจัยภายนอกหลายอย่าง โครงสร้างและคุณสมบัติของวัสดุก็เช่นกัน อาคารที่ใช้งานโดยปราศจากเครื่องช่วยลดอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารให้เข้าภวะน่าสบายนั้น ส่วนใหญ่ก็จะขึ้นอยู่กับปัจจัยตัวแปรภายในมากมาย เช่นลักษณะทางกายภาพของอาคารที่เกิดขึ้นภายในและภายนอกอาคาร ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 กรณี

1. การนำความร้อน (Heat Conduction)
2. การพาความร้อน (Heat Convection)
3. การแผ่รังสีความร้อน (Heat Radiation)

การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นเมื่อมีความร้อนแตกต่างของอุณหภูมิระหว่าง 2 สิ่ง โดยที่จะถ่ายเทจากสิ่งที่มีอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิที่ต่ำ เมื่อระยะเวลาผ่านไปหลังจากเริ่มมีการถ่ายเทความร้อน สิ่งที่มีอุณหภูมิเริ่มสูงในตอนเริ่มต้น ก็จะมีอุณหภูมิลดต่ำลงและสิ่งที่มีอุณหภูมิต่ำในตอนเริ่มต้น ก็จะมีอุณหภูมิเริ่มสูงขึ้นในจนทั้งสองมีอุณหภูมิเท่ากันจึงหยุดการถ่ายเทความร้อนหรือเรียกว่า มีความสมดุลทางพลังงานความร้อน

2.3.1 การนำความร้อน

การนำความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนผ่านในเนื้อวัตถุซึ่งจะเป็นวัตถุที่เป็นของแข็งโดยความร้อนมีการถ่ายเกิดขึ้นได้เนื่องจากพลังงานของการสั่นสะเทือนในการปะทะกันของอะตอมหรือโมเลกุลของของแข็งนั้น สำหรับของแข็งเป็นประเภทโลหะ จะมีอิเล็กตรอนอิสระที่เคลื่อนที่เป็นจำนวนมาก จึงมีค่าสภาพการนำความร้อนสูง เหมาะกับการนำ (Insulator) ในงานที่ไม่ต้องการให้มีความสูญเสียพลังงานความร้อน

กฎการนำความร้อนเป็นไปตามสมการของฟูเรียร์ (Fourier's equation) คือ

$$\dot{Q} = -kA \frac{dT}{dx}$$

สมการที่ 2.1

$$q' = -k \frac{dT}{dx}$$

สมการที่ 2.2

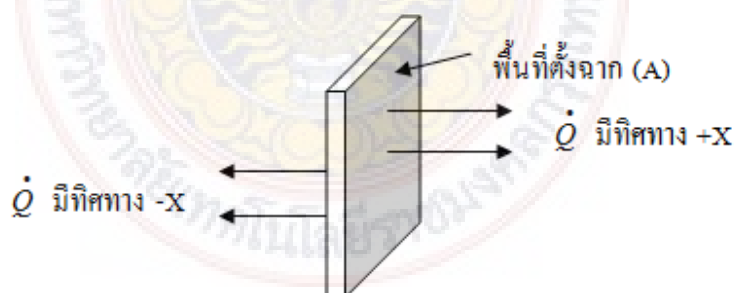
$\dot{Q}$ คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน หน่วยวัตต์ (W)

q' คือ ค่าความหนาแน่นของอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่หน่วย วัตต์ต่อตารางเมตร $\left(\frac{W}{m^2}\right)$

k คือ ค่าสภาพการนำความร้อนของเนื้อวัตถุ หน่วย วัตต์ต่อตารางเมตรเซลเซียส $\left(\frac{W}{m^2C}\right)$

A คือ พื้นที่ตัดฉากกับพื้นที่ถ่ายเทความร้อน หน่วย ตารางเมตร (m^2)

$\frac{dT}{dx}$ คือ ฟังก์ชันการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตามระยะความหนา (x) ของเนื้อวัตถุ



ภาพที่ 2.1 แสดงการนำความร้อนผ่านแผ่นสี่เหลี่ยม

ที่มา: สุนันท์ ศรีฉนิตย์ (2548)

สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Conductivity: k) หน่วย วัตต์ต่อตารางเมตรเคลวิน ($W/m.K$) คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนผ่านสารในความหนา ช่วงเวลา พื้นที่และค่าความแตกต่างอุณหภูมิหนึ่งๆ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนใช้ในการวัดค่าการนำความร้อนของวัสดุ เช่น คอนกรีตมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 12.0 วัตต์ต่อตารางฟุตเคลวินหมายความว่าคอนกรีตขนาด 1 ตารางฟุต หนา 1 นิ้ว มีค่าความแตกต่างอุณหภูมิของสองด้านคอนกรีตเท่ากับ 1.0 บีทียู (BTU) แล้วจะมีการนำความร้อน 12.0 บีทียู (BTU) ผ่านในวัสดุใน 1 ชั่วโมง

2.3.2 การแผ่รังสีความร้อน

การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อน ต่างจากการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนและการพาความร้อนที่ได้กล่าวมา คือ เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยที่ไม่มีตัวกลาง โดยการแผ่รังสีความร้อนเกิดขึ้นได้เนื่องจากผิววัตถุที่อุณหภูมิสูงมากจนสามารถส่งถ่ายพลังงานความร้อนออกมาในรูปของคลื่นแสงในช่วงความยาวคลื่นช่วงหนึ่ง ตัวอย่างที่ได้เห็นอยู่ ได้แก่ ดวงอาทิตย์ส่งพลังงานความร้อนมายังพื้นผิวโลกโดยการแผ่รังสีความร้อน

อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อนออกจากพื้นผิวหนึ่ง เมื่อคิดเป็นเชิงอุดมคติ เรียกพื้นผิวนั้นว่า เป็นแบบวัตถุดำ (Black body) ซึ่งจากการที่ได้มีการวิเคราะห์ถึงกายภาพของคลื่นจะพบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเป็นสัดส่วนกับค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์ของพื้นผิวกกำลังสี่

$$\dot{Q} = \sigma AT^4$$

สมการที่ 2.3

เมื่อ T คืออุณหภูมิสัมบูรณ์ในหน่วยเคลวิน (K) สำหรับระบบสากลมาตรฐาน หรือ ในหน่วยแรงคิน (R) สำหรับระบบอังกฤษ

σ คือ ค่าคงที่ของการแปรผันมีชื่อเรียกตามผู้ที่ได้ศึกษาวิเคราะห์ถึงการแผ่รังสีความร้อน คือ ค่าคงที่ของสเตฟาน โบลซ์มานน์ (Stefan – Boltzmann's Constant) มีค่าเท่ากับ 5.669×10^{-8} วัตต์ต่อตารางเมตรเคลวิน ($W/m^2.K$) ในระบบสากลมาตรฐาน

สมการที่ 2.3 นี้ใช้สำหรับเพียงหาอัตราการแผ่รังสีความร้อนของผิวหนึ่งเป็นแบบวัตถุดำเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามในการหาอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อนระหว่าง 2 พื้นผิว ก็จะเป็นตามกฎแบบนี้ คือเป็นสัดส่วนกับผลต่างของกำลังสี่ของอุณหภูมิสัมบูรณ์ของพื้นผิวทั้งสอง

$$Q \propto \sigma A (T_1^4 - T_2^4)$$

สมการที่ 2.4

2.3.3 การพาความร้อน (Convection)

การพาความร้อนคือการถ่ายเทความร้อนโดยการเคลื่อนที่ของของไหลผ่านตัวกลาง เช่น อากาศ และน้ำ เมื่อสสารถูกทำให้ร้อนโมเลกุลจะเคลื่อนไหวนเร็วและแตกกระจายออกไปในทิศทางต่างๆ ก่อให้เกิดการขยายตัวของสสารนั้นๆ โดยของแข็งจะมีการเพิ่มปริมาตรขึ้น ของเหลวและก๊าซจะมีความหนาแน่นต่ำลงและลอยตัวขึ้น

2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสงอาทิตย์

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ได้ดำเนินโครงการพัฒนาเครือข่ายสถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สำหรับประเทศไทย เมื่อปีพ.ศ. 2543 เพื่อให้ได้รับข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่มีความละเอียดถูกต้องและสามารถตอบสนองต่อความต้องการในด้านการวิจัย พัฒนาและประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจตรวจวัดได้แก่ เครื่องมือวัดความเข้มแสงอาทิตย์ เป็นการวัดรังสีรวมของความเข้มแสงอาทิตย์ เครื่องมือที่ใช้เรียกว่า ไพราโนมิเตอร์ (Pyranometer) ซึ่งปัจจุบันที่กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานใช้วัดมี 2 ชนิด คือ

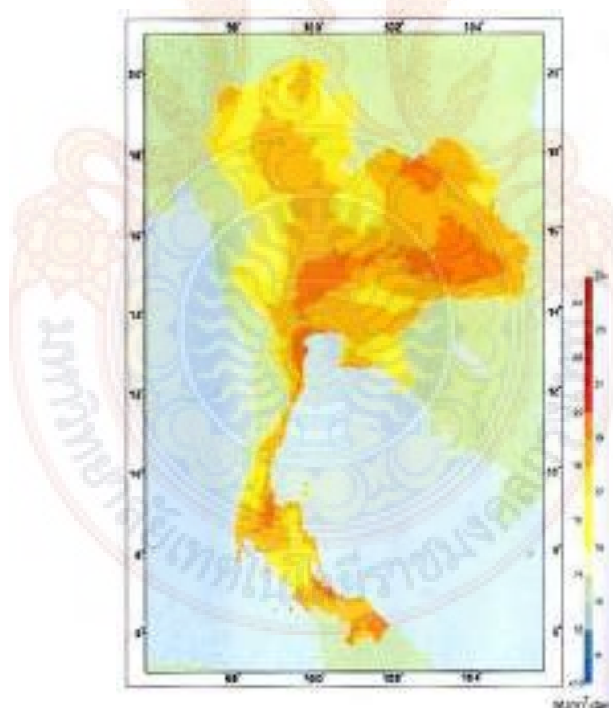
1. ไพราโนมิเตอร์ ที่ใช้ Thermomechanical Sensor หรือแบบ Bimetallic ซึ่งมี sensor เป็นแถบโลหะ 2 แถบ โดยแถบหนึ่งเป็นสีขาว และอีกแถบหนึ่งเป็นสีดำ เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบแถบสีดำจะดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ และขยายตัวได้มากกว่าแถบสีขาว แรงที่เกิดจากการขยายตัวดังกล่าวจะไปขับเคลื่อนหัวปากกาให้บันทึกข้อมูลเป็น ลายเส้นลงบนกระดาษกราฟ ซึ่งพันดิรอบกระบอกกลมที่มีการขับเคลื่อนด้วยระบบไขลาน หรือระบบนาฬิกาใช้แบตเตอรี่

2. ไพราโนมิเตอร์ ที่ใช้ Thermoelectric Sensor หรือแบบ Thermopile ซึ่งมี sensor ทำด้วยโลหะ 2 ชนิด ซึ่งเชื่อมปลายทั้งสองติดกันโดยปลายข้างหนึ่งทำหน้าที่เป็น hot junction และอีกข้างหนึ่งเป็น cold junction เมื่อ hot junction ถูกรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบจะทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของ junction ทั้งสอง และก่อให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (electromotive force) ขึ้นในวงจรที่ประกอบด้วยโลหะทั้งสองจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นสามารถนำไปคำนวณหาความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบได้

ตารางที่ 2.1 ความเข้มแสงและศักยภาพเชิงพลังงานแสงอาทิตย์ทั่วประเทศ

แหล่งทางภูมิศาสตร์	ความเข้มแสงเฉลี่ยรายปี (เมกะจูล/ตารางเมตร.วัน)	ศักยภาพเชิงพลังงาน (พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ)
ทั่วประเทศ	18.2	554,070.6

จากแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย (พ.ศ. 2542) โดยกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานและคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร พบว่าการกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ตามบริเวณต่างๆ ในแต่ละเดือนของประเทศไทย ได้รับอิทธิพลสำคัญจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายน และพฤษภาคม โดยมีค่าอยู่ในช่วง 20 ถึง 24 MJ/m²-day



ภาพที่ 2.2 แผนที่รังสีดวงอาทิตย์

ที่มา: Serm Janjai (2010)

เมื่อพิจารณาแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี พบว่าบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยครอบคลุมบางส่วนของจังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ชัยภูมิ อุบลราชธานี และอุดรธานี และบางส่วนของภาคกลางที่จังหวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท อโยธยา และลพบุรี โดยได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี 19 ถึง 20 MJ/m²-day พื้นที่ดังกล่าวคิดเป็นร้อยละ 14.3 ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ นอกจากนี้ยังพบว่าร้อยละ 50.2 ของพื้นที่ทั้งหมดได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี ในช่วง 18-19 MJ/m²-day จากการคำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศพบว่ามีความเท่ากับ 18.2 MJ/m²-day จากผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง

2.5 เครื่องมือวัดและวิธีการวัด

2.5.1 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบที่ใช้สารกึ่งตัวนำ (Resistance Temperature Detector: RTD)

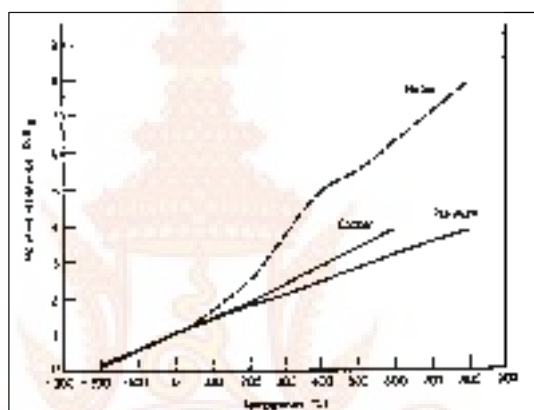
ค่าความต้านทานไฟฟ้าของตัวนำหรือสารกึ่งตัวนำจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิของสารนั้นเปลี่ยนแปลงไป จากหลักการง่ายๆ นี้สามารถนำมาใช้สร้างเครื่องมือวัดอุณหภูมิได้ ความสัมพันธ์ของความต้านทานกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปของวัสดุนั้น เครื่องมือวัดที่ใช้หลักแบ่งออกเป็นสองพวกใหญ่ๆ คือประเภทสารตัวนำซึ่งค่าความต้านทานของสารตัวนำนี้จะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิของสารสูงขึ้น เรียกอุปกรณ์ชนิดนี้ว่า เครื่องวัดอุณหภูมิแบบที่ใช้สารกึ่งตัวนำ กำหนดให้ขดลวดมีความต้านทาน R_0 ขณะที่อุณหภูมิ T_0 และเมื่ออุณหภูมิของขดลวดเปลี่ยนไปเล็กน้อยกลายเป็น T ความต้านทานของขดลวดที่อุณหภูมิใหม่สามารถหาได้จากรอบอุณหภูมิ T_0 ได้เป็น

$$R = R_0 \{1 + \alpha(T - T_0) + \beta(T - T_0)^2 + \dots\} \quad \text{สมการที่ 2.5}$$

โดยค่า $\alpha, \beta, \dots$ เป็นค่าคงที่ของวัสดุอย่างไรก็ตามจากการทดลองจะพบว่าในช่วงอุณหภูมิที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ดังนั้นสามารถที่จะประมาณได้ว่าการเปลี่ยนแปลงนั้นเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้น ดังที่แสดงในภาพที่ 2.3 ดังนั้นเมื่อความสัมพันธ์เป็นความสัมพันธ์เชิงเส้น ซึ่งสามารถที่จะลดรูปของสมการที่ 2.5 ให้มาอยู่ในรูปเชิงเส้นได้เป็น

$$R = R_0 \{1 + \alpha(T - T_0)\} \quad \text{สมการที่ 2.6}$$

วัสดุที่นิยมนำมาใช้ใน RTD มากที่สุดก็คือ แพลตินัม เพราะว่า แพลตินัม นั้นเป็นโลหะที่มีการเปลี่ยนแปลงความต้านทานตามอุณหภูมิที่แน่นอน สามารถทำซ้ำได้ สามารถที่จะคาดหวังผลลัพธ์ได้ นอกจากนี้ยังสามารถที่จะเปรียบวัดและเทียบค่าที่สามารถให้ความแม่นยำสูง นอกจากนี้การใช้ความสัมพันธ์เชิงเส้นนั้นยังสามารถใช้ได้ในช่วงอุณหภูมิที่กว้าง และประการที่สำคัญคือ แพลตินัมเป็นธาตุที่คงตัวมากจึงสามารถใช้วัดในย่านอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูงได้ ซึ่งด้วยเหตุผลทั้งหมดนี้จึงทำให้ ITS-90 ได้เลือกใช้ RTD ที่ใช้แพลตินัมเป็นเครื่องมือเปรียบวัดอุณหภูมิมาตรฐาน



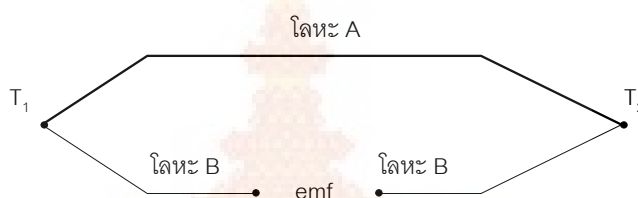
ภาพที่ 2.3 กราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นความต้านทานของขดลวด

ที่มา: สุนันท์ ศรีษะณินิตย์ (2548)

ขดลวด แพลตินัม ที่ใช้เป็นมาตรฐาน ITS-90 นั้นควรมีค่า α ไม่ต่ำกว่า $0.003925\ ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ซึ่งจะเป็นค่าที่กำหนดความบริสุทธิ์ของลวด แพลตินัม และถ้าหากว่าได้มีการสร้าง RTD ด้วยความระมัดระวังทุกขั้นตอนแล้วพบว่า RTD สามารถให้ความถูกต้องได้สูงมาก โดยความผิดพลาดประมาณ $0.005\ ^{\circ}\text{C}$ ข้อควรระวังสองประการของการใช้ RTD ก็คือ ต้องระวังการเกิด ความเค้นจากความร้อน (Thermal stress) ขึ้นบนขดลวด เพราะจะทำให้ความต้านทานของ RTD เปลี่ยนไปแม้ว่าอุณหภูมิไม่มีการเปลี่ยนแปลงก็ตาม ควรระวังการสีกกร่อนและไม่ควรใช้ RTD ที่อุณหภูมิสูงมากจนทำให้โลหะสูญเสียคุณสมบัติทางความต้านทานไฟฟ้า

2.5.2 สายวัดอุณหภูมิ (Thermocouple)

การนำโลหะสองชนิดที่ต่างกัน นำมาต่อเข้าด้วยกัน เป็นวงรอบ ถ้าที่จุดต่อ (Junction) ทั้งสองนั้นมีอุณหภูมิแตกต่างกัน จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Electromotive force : Emf) ขึ้น โดยขนาดของ Emf นั้นจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้และความแตกต่างของอุณหภูมิที่จุดต่อทั้งสองนั้น ปรากฏการณ์นี้ต่อมาได้เรียกว่า ผลของซีแบ็กและจากหลักการนี้ก็เป็นที่มาของเครื่องวัดอุณหภูมิที่เรียกว่า หัววัดอุณหภูมิ (Thermocouple) ภาพที่ 2.4 แสดงหลักการและวงจรอย่างง่ายของ หัววัดอุณหภูมิ



ภาพที่ 2.4 หลักการและวงจรอย่างง่ายของสายวัดอุณหภูมิ (Thermocouple)

ที่มา: สุนันท์ ศรีณนิตย์ (2548)

สำหรับความสัมพันธ์ของ Emf จะเป็นไปตามสมการ (ถ้า $T_2 > T_1$)

$$Emf = \alpha(T_2 - T_1)$$

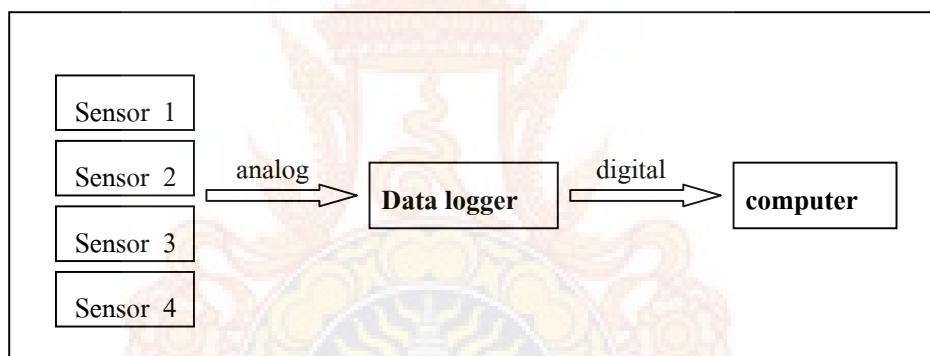
สมการที่ 2.7

ปรากฏการณ์การเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมินี้เป็นผลเนื่องมาจากการไหลของความร้อนและไฟฟ้าภายในสารตัวนำไฟฟ้า หรือถ้าจะกล่าวให้ชัดเจนยิ่งขึ้นก็อาจจะกล่าวได้ว่า ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นมาได้จากคู่อุปกรณ์ (Couple) ของ Entropy และ Electricity ในความหมายของ Couple ในที่นี้หมายความว่าความต่างศักย์ไฟฟ้าอาจจะทำให้เกิดการไหลของความร้อนได้ หรือ ความแตกต่างของอุณหภูมิก็อาจจะทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าได้ อุปกรณ์ที่ใช้หลักการนี้วัดอุณหภูมิจึงเรียกว่า Thermocouple

2.5.3 อุปกรณ์เก็บข้อมูล (Data Logger)

อุปกรณ์เก็บข้อมูล (Data logger) คือ ระบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดการและเก็บข้อมูล พื้นฐานของระบบอุปกรณ์เก็บข้อมูล (Data logger) ประกอบไปด้วย อุปกรณ์ที่ใช้อ่านค่า (Scanner) และตัวบันทึกข้อมูล ซึ่งรับข้อมูลเข้า ที่เป็นระบบ สัญญาณวิทยุ จาก ตัววัดอุณหภูมิ Sensor แล้วทำการเปลี่ยนข้อมูลเป็นระบบตัวเลขและเก็บข้อมูลไว้ในหน่วยความจำเพื่อนำไปใช้ต่อไป

การเก็บข้อมูลสัญญาณจากตัวตรวจวัดจะผ่านเข้าไปในอุปกรณ์ที่ใช้อ่านค่า ความเร็วของการทำงานขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพและความละเอียดที่ต้องการออกจาก อุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดการและเก็บข้อมูลจะเป็นค่าที่แสดงในจอภาพมิเตอร์ แสดงเป็นแรงดันออกจากการบันทึกข้อมูลจาก อุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดการและเก็บข้อมูลโดยมากจะพิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์ อย่างไรก็ตามยังสามารถเก็บบันทึกข้อมูลไว้ในอุปกรณ์อื่นได้อีกด้วย เช่น แถบแม่เหล็ก ฮาร์ดดิสก์คอมพิวเตอร์



ภาพที่ 2.5 ระบบการเก็บข้อมูล

2.6 ทฤษฎีเกี่ยวกับความสัมพันธ์กับงานเกษตรกรรม

ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเป็นอัตราส่วนของจำนวนไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ ต่อจำนวนไอน้ำที่อาจมีได้จนอิ่มตัวเต็มที่ในอากาศเดียวกันนั้น ความชื้นสัมพัทธ์จึงกำหนดเป็นร้อยละ โดยให้จำนวนความชื้นที่อิ่มตัวเต็มที่ป็นร้อยละ 100

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนใกล้เส้นศูนย์สูตร จึงมีอากาศร้อนชื้นปกคลุมเกือบตลอดปี เว้นแต่บริเวณที่อยู่ลึกเข้าไปในแผ่นดิน ตั้งแต่ภาคกลางขึ้นไป ความชื้นสัมพัทธ์จะลดลงชัดเจน ในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน โดยเฉพาะฤดูร้อน จะเป็นช่วงที่ความชื้นสัมพัทธ์ลดต่ำสุดในรอบปี

ในบริเวณดังกล่าวมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดปีร้อยละ 72-74 และจะลดลงเหลือร้อยละ 62-69 ในช่วงฤดูร้อน

ตารางที่ 2.2 สถิติความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%) ของประเทศไทยในช่วงฤดูกาลต่างๆ

ภาค	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	ตลอดปี
เหนือ	73	62	81	74
ตะวันออกเฉียงเหนือ	69	65	80	72
กลาง	71	69	79	73
ตะวันออก	71	74	81	76
ใต้ฝั่งตะวันออก	81	77	78	79
ใต้ฝั่งตะวันตก	77	76	84	80

(อ้างอิงจาก กรมอุตุนิยมวิทยา <http://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=56>)

การหาความชื้นของวัสดุเกษตรและอาหาร

การหาความชื้นของวัสดุเกษตรและอาหาร แบ่งได้ออกเป็น 2 มาตรฐาน คือ มาตรฐานเปียก และมาตรฐานแห้ง ร้อยละความชื้นมาตรฐานเปียกหาได้จากอัตราส่วนมวลของน้ำในอาหารต่อมวลชื้นของอาหาร ($M_w + M_s$) คูณด้วย 100 ดังสมการที่ 2.8

$$\%MC_{wb} = \frac{M_w}{M_w + M_s} \times 100 \quad \text{สมการที่ 2.8}$$

เมื่อ $\%MC_{wb}$ คือ ร้อยละความชื้นมาตรฐานเปียก M_w คือมวลของน้ำในอาหาร และ M_s คือมวลแห้งของอาหาร ในทางตรงกันข้าม เพอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งสามารถหาได้จากอัตราส่วนของมวลของน้ำในอาหารต่อมวลแห้งของอาหารคูณด้วย 100 ดังสมการที่ 2.9

$$\%MC_{db} = \frac{M_w}{M_s} \times 100 \quad \text{สมการที่ 2.9}$$

หรือสมการเพิ่มเติม ดังสมการที่ 2.10 และสมการที่ 2.11

$$\%MC_{\text{wet}} = \frac{\%MC_{\text{db}}}{100 + \%MC_{\text{db}}} \times 100$$

สมการที่ 2.10

$$\%MC_{\text{db}} = \frac{\%MC_{\text{wet}}}{100 - \%MC_{\text{wet}}} \times 100$$

สมการที่ 2.11

แนวโน้มในการใช้ความชื้นมาตรฐานเพื่อการอ้างอิงในงานวิจัย มักจะใช้ความชื้นมาตรฐานแห้งมากกว่ามาตรฐานเปียก เนื่องจากการอ้างอิงโดยใช้มาตรฐานเปียกนั้นอาจมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากมีมวลชื้นของวัสดุเข้ามาเกี่ยวข้องในการคำนวณ อย่างไรก็ตามในการอ้างอิงทั่วไปการใช้ค่าความชื้นมาตรฐานเปียกน่าจะสื่อความหมายให้เข้าใจได้ง่ายกว่าความชื้นมาตรฐานแห้ง ความชื้นของอาหารสามารถหาได้ 2 วิธี คือ วิธีทางตรงและวิธีทางอ้อม วิธีทางตรงนั้นจะใช้ตู้อบในการหาความชื้น อาจเป็นตู้อบไล่ความชื้นธรรมดาหรือเป็นตู้อบสุญญากาศก็ได้ดังนี้

ผลไม้แห้ง	อบที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ในตู้อบสุญญากาศ
นมผงแห้ง	อบที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ในตู้อบสุญญากาศ
กากน้ำตาล	อบที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในตู้อบสุญญากาศ
เมล็ดพันธุ์	อบที่ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง ในตู้อบไล่ความชื้นปกติ หรืออบที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72-96 ชั่วโมง ในตู้อบไล่ความชื้นปกติ

อย่างไรก็ตามตัวเลขดังกล่าวเป็นเพียงข้อเสนอแนะเท่านั้น เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการหาความชื้นโดยการอบอาจสังเกตได้จากน้ำหนักแห้งของวัสดุที่เปลี่ยนไป หากพบว่าน้ำหนักของวัสดุยังมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อครบเวลาอบที่กำหนดไว้ แสดงว่าความชื้นในอาหารยังถูกกำจัดออกไปได้ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นจึงควรอบต่อไปจนกระทั่งน้ำหนักวัสดุที่อบนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลง การหาความชื้นของอาหารบางชนิดสามารถหารายละเอียดอ้างอิงเพิ่มเติมได้จากมาตรฐานของ Association of Official Agricultural Chemists หรือ AOAC

(อ้างอิงจาก http://coursewares.mju.ac.th:81/e-learning47/ea341/lesson3/ch03_1.pdf)

2.7 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในระบบอบแห้งจากพลังงานแสงอาทิตย์ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนั้น ได้มีผู้วิจัยศึกษาระบบการอบแห้งและการสร้างโรงอบแห้งในหลายรูปแบบ โดยรูปแบบของโรงอบแห้งนั้นอาศัยการแผ่รังสีความร้อนเข้ามาในโรงอบแห้งที่ทำจากกระจกใส และมีผลทำให้อากาศภายในโรงอบแห้งสูงขึ้น ในหลักการดังกล่าวนี้เองมีความเกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่ทางคณะสนใจศึกษาว่า จากรูปแบบที่ได้มีนักวิจัยหลายท่านได้ศึกษามา มีความเกี่ยวข้องและสามารถประยุกต์ใช้ได้จึงได้ศึกษาจากงานวิจัยต่างๆ ดังนี้คือ

Solar drying problem in Togo : research and development solar drying in Africa ; Amouzou et al., (1986) ได้ออกแบบระบบการดูดซับความร้อนและการใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุที่รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ โดยออกแบบให้มีลักษณะของห้องอบนั้นมีขนาดยาว 1.12 เมตร กว้าง 1.3 เมตร และสูง 0.67 เมตร มีแผ่นรับความร้อนเป็นแผ่นสังกะสีทาสีดำ มีห้องอบที่สามารถอบแห้งได้ถึง 10-15 กก. หลักการทำงานของห้องอบนี้พบว่าเมื่อแสงแดดตกกระทบผ่านกระจกใสมาแล้วสัมผัสกับแผ่นสังกะสีสีดำ เกิดการนำความร้อนและแผ่นความร้อนให้ห้องอบขึ้น และความร้อนดังกล่าวได้ผ่านเข้าไปสู่ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ผลคือความร้อนทำให้น้ำบริเวณระเหยกลายเป็นไอและผลิตผลมีความแห้ง ทั้งนี้ระยะเวลาในการอบแห้งใช้เวลาในตู้อบถึง 3 วัน และจากงานวิจัยนี้ได้สามารถนำไปใช้จริงในชนบท

The staircase solar dryer: design and characteristics ; Hallack et al., (1996) ได้ศึกษาพัฒนาการทำตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ ให้สามารถสร้างขึ้นมาแบบง่ายๆ โดยอาศัยการวางแผ่นเหล็ก 2 ชั้นที่รับพลังงานแสงอาทิตย์และยังสร้างฉนวนกันความร้อนไว้ใต้แผ่นเหล็กดังกล่าวเพื่อไม่ให้ความร้อนสะสมในแผ่นเหล็กสูญเสียไปในทิศทางอื่น จากนั้นสร้างปล่องระบายอากาศขึ้นมาโดยมีรูปร่างเป็นทรงกระบอก ขนาดความสูง 10 เซนติเมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตรด้วยเช่นกัน ปล่องระบายอากาศนี้ประยุกต์ใช้เพื่อระบายอากาศภายในห้องอบให้มีการไหลเวียนของอากาศร้อนและอากาศเย็นที่จะเข้ามาแทนที่ ทั้งนี้การระบายอากาศช่วยให้เกิดความสมดุลของระบบและจากผลงานวิจัยพบว่าใช้เวลาในการอบแห้งสั้นลง

A solar air heater with composite-absorber systems for food dehydration ; Madhlopa et al., (2002) ได้พัฒนาการอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์ โดยอาศัยการใช้หลักการวัสดุคอมโพสิตที่ทำหน้าที่หลายอย่างในแผ่นเดียวกัน ประกอบด้วยแผ่นเพลทนำความร้อน ตะแกรงเหล็ก และแผ่นกระจก ผลที่ได้จากการศึกษาพบว่าการที่มีตะแกรงเหล็กนี้ช่วยเพิ่มความร้อนให้แก่ตู้อบสูงขึ้นมากกว่า 40 องศาเซลเซียส และยังพบว่ามีประสิทธิภาพในการอบแห้งสูงเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 21

Design, development and performance testing of a new natural convection solar dryer ; Pangavhane et al., (2002) ได้ออกแบบระบบการอบแห้งด้วยการระบายความร้อนแบบมีอากาศหมุนเวียนซึ่งมีส่วนประกอบอยู่ 2 ส่วนคือชุดให้ความร้อน และชุดดูด โดยที่ชุดให้ความร้อนทำเป็นช่องทางไหลของอากาศร้อนที่ทำจากอะลูมิเนียมเป็นรูปตัวยู และชุดนี้สัมผัสแสงแดดโดยตรงทำให้ความร้อนจากการแผ่รังสีของแสงอาทิตย์สัมผัสผิวอะลูมิเนียมและทำให้เกิดการนำความร้อนอากาศภายในห้องตัวร้อนขึ้นและไหลตัวเข้าไปสู่ชุดห้องอบทำให้อุณหภูมิของห้องอบสูงขึ้น

Development of thermal energy storage Concrete ; Zhang et al., (2004) ได้ศึกษาการสะสมความร้อนของคอนกรีตเพื่อนำไปใช้ในการอบแห้ง โดยได้อาศัยหลักการการเปลี่ยนแปลงสถานะของซีเมนต์พาราฟินเหลวที่ถูกไหลแพร่ซึมเข้าไปในวัสดุพูนที่นำไปใช้สร้างเป็นแผ่นคอนกรีต ผลการศึกษาพบว่าพูนที่เกิดในวัสดุนี้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสถานะของพาราฟินเหลว เนื่องจากปริมาณและขนาดที่พาราฟินเหลวใช้ดูดซับเอาความร้อนในปริมาณสูงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเฟสที่ช้าลง

An investigation on the performance improvement of greenhouse- type agricultural dryers ; Koyuncu (2006) ได้สร้างโรงอบแห้งขนาดใหญ่โดยอาศัยหลักการทางธรรมชาติคือการไหลเวียนของอากาศร้อน ซึ่งอากาศร้อนนี้สามารถนำพาความชื้นที่ผิวของผลิตภัณฑ์การเกษตรออกไปได้ง่ายและเป็นการใช้พลังงานราคาถูก โดยอาศัยแหล่งพลังงานคือแสงอาทิตย์ ทั้งนี้ยังพบว่าการสร้างโรงอบแห้งจากหลักการดังกล่าวนี้สามารถเพิ่มอุณหภูมิของห้องให้สูงขึ้นจากเดิม 5-6 องศาเซลเซียส

Development and dissemination of the SILPAKORN-TYPE solar greenhouse dryer ; Serm Janjai et al., (2006) ได้สร้างโรงอบแห้งชื่อ โรงอบแห้งศิลปากร โดยพัฒนาจากโรงอบแห้งเดิมที่อาศัยการแผ่รังสีเป็นแหล่งพลังงานความร้อน และได้ออกแบบให้พื้นโรงอบแห้งเป็นพื้นคอนกรีตที่เป็นสีดำสามารถดูดซับความร้อนจากแสงอาทิตย์และใช้เป็นแหล่งความร้อนภายในโรงอบแห้ง นอกจากนี้ยังประยุกต์ใช้พัดลมที่ใช้ไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์เป็นตัวช่วยระบายอากาศภายในโรงอบแห้งอีกด้วย จากผลการศึกษาพบว่าโรงอบแห้งนี้สามารถอบแห้งพริกที่มีความชื้นร้อยละ 80 ให้เหลือร้อยละ 10 ในเวลา 3 วันได้เป็นอย่างดี

Thermal performance analysis and economic evaluation of roof-integrated solar concrete collector ; Rangsit et al., (2011) ได้ศึกษาการใช้คอนกรีตเพื่อเป็นตัวสะสมความร้อน โดยได้ออกแบบให้เพดานคอนกรีตของตึกมีท่อน้ำ PVC ฝังอยู่ภายใน จากนั้นปล่อยน้ำให้วิ่งผ่านท่อดังกล่าวแล้ว

ทำการศึกษาความร้อนที่ได้ พบว่าอุณหภูมิของน้ำเมื่อไหลผ่านท่อ PVC ที่ฝังอยู่ในคอนกรีตนั้นมีอุณหภูมิสูงอยู่ที่ 40-50 องศาเซลเซียส

และจากงานวิจัยที่ได้อ้างอิงมามีความเป็นไปได้และมีความน่าสนใจที่จะนำเอาแนวคิดของการสะสมความร้อนของแผ่นคอนกรีตมาใช้ในการสร้างโรงเก็บพืชผลทางการเกษตร

2.8 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 การทดสอบสมมติฐานโดยวิธีการทางสถิติ

การทดสอบในขั้นตอนนี้ เพื่อวิเคราะห์หาความแตกต่างของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยในการศึกษาครั้งนี้จะใช้วิธีการทางสถิติ คือ การวิเคราะห์ค่าทางสถิติเบื้องต้น การทดสอบ t-test การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One -Way Analysis of Variances) และการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two -Way Analysis of Variances) ดังนี้

1. การทดสอบ t-test

กระบวนการทางสถิติ t-test เป็นเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย 2 ค่า นอกจากนั้นยังแสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในแต่ละตัวแปรด้วย ซึ่งสถิติ t-test สามารถแบ่งการวิเคราะห์ได้เป็น 2 กรณี

กรณีที่ 1 กลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 ไม่สัมพันธ์กัน (อิสระต่อกัน) เรียกว่า Independent t-test

ถ้ากลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 ไม่สัมพันธ์กัน (อิสระต่อกัน) ในการทดสอบสมมติฐานที่ต้องการหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างกลุ่มหนึ่งว่าแตกต่างจากอีกกลุ่มหนึ่งหรือไม่ เช่น ต้องการทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกลุ่มที่ได้รับการสอนแบบปกติกับกลุ่มที่ได้รับการสอนแบบพิเศษว่าจะมีคะแนนเฉลี่ยแตกต่างกันหรือไม่ ในกรณีนี้กลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มเป็นอิสระจากกัน ซึ่งสามารถตั้งสมมติฐานได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{สมมติฐาน 1} \quad H_0 : \mu_1 &= \mu_2 \\ H_1 : \mu_1 &\neq \mu_2 \quad \text{หรือ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{สมมติฐาน 2} \quad H_0 : \mu_1 &= \mu_2 \\ H_1 : \mu_1 &> \mu_2 \quad \text{หรือ} \end{aligned}$$

สมมติฐาน 3 $H_0 : \mu_1 = \mu_2$
 $H_1 : \mu_1 < \mu_2$

สูตรคำนวณ

ขั้นแรก คำนวณหาว่ากลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มมีความแปรปรวนแตกต่างกันหรือไม่ ด้วยสูตร F-test มีสมมติฐานดังนี้

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

คำนวณด้วยสูตร

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2}; \quad df_1 = n_1 - 1; df_2 = n_2 - 1$$

พิจารณาค่า F-test ถ้า F-test ที่คำนวณได้ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($\text{Sig} > \alpha$) นั่นคือยอมรับ H_0 แสดงว่าความแปรปรวนของทั้งสองกลุ่มเท่ากัน จะใช้สูตรที่ 1 (Pooled Variance) ถ้าค่า F-test ที่คำนวณได้มีนัยสำคัญทางสถิติ ($\text{Sig} < \alpha$) นั่นคือปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 แสดงว่าความแปรปรวนของทั้งสองกลุ่มไม่เท่ากัน จะใช้สูตรที่ 2 แทน (Separate Variance)

ขั้นที่สอง เลือกใช้สูตรคำนวณค่า t-test

สูตรที่ 1 เมื่อ $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]}}$$

$$df = n_1 + n_2 - 2$$

สูตรที่ 2 เมื่อ $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

$$df = \frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2} \right)^2}{\frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} \right)^2}{n_1 - 1} + \frac{\left(\frac{S_2^2}{n_2} \right)^2}{n_2 - 1}}$$

การพิจารณาหาค่าสถิติ t ที่คำนวณได้ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($\text{Sig} > \alpha$) นั่นคือยอมรับ H_0 แสดงว่าค่าเฉลี่ยของ 2 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกัน ถ้าค่า t ที่คำนวณได้มีนัยสำคัญทางสถิติ ($\text{Sig} < \alpha$) นั่นคือปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 แสดงว่ามีค่าเฉลี่ยของ 2 กลุ่มแตกต่างกัน (มากกว่า หรือน้อยกว่า)

2. การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมีปัจจัยเดียว (Single – Factor Analysis of Variance :

Single – Factor ANOVA หรือ One – Way ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมีปัจจัยเดียว เป็นการจำแนกข้อมูลด้วยตัวแปรหรือปัจจัยเพียงตัวเดียว นั่นคือวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลโดยพิจารณาจากปัจจัยที่มีผลต่อข้อมูลเพียงปัจจัยเดียว หรือเป็นการวิเคราะห์ความแตกต่างกันของระดับต่างๆ ของปัจจัยเพียงปัจจัยเดียวนั่นเอง ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมีปัจจัยเดียว คือ การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากรที่ได้รับปัจจัยที่ต่างระดับตั้งแต่ 3 ระดับขึ้นไป นั่นคือเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประชากรตั้งแต่ 3 ประชากรขึ้นไป

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประชากร โดยการทดสอบสมมติฐานนั้น จะต้องเก็บข้อมูลตัวอย่างหรือทำการทดลองการกำหนดระดับของปัจจัยให้แก่หน่วยทดลอง (Experimental Unit) อย่างสุ่ม โดยที่จะเรียกปัจจัยว่าสิ่งทดลอง หรือ ทรีทเมนต์ (Treatment) ดังนั้นทรีทเมนต์ คือ ปัจจัยที่ทำให้ข้อมูลแตกต่างกัน หรือทรีทเมนต์ หมายถึง วิธีการหรือลักษณะต่างๆ ที่ต้องการเปรียบเทียบ โดยข้อมูลที่น่ามาใช้ในการเปรียบเทียบจะวัดได้จากหน่วยทดลอง

สำหรับการทดลองเพื่อให้ได้ข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมีปัจจัยเดียวในกรณีที่มี k ระดับ ($k \geq 3$) หรือเปรียบเทียบ k ทริทเมนต์แบ่งเป็นสองแบบใหญ่ๆ ดังนี้

1. การทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD)

เป็นการทดลองทริทเมนต์เพื่อเปรียบเทียบ k ทริทเมนต์ โดยการสุ่มอย่าง k กลุ่มอย่างเป็นอิสระกันแล้วกำหนดทริทเมนต์ให้ตัวอย่างแต่ละกลุ่มอย่างสุ่ม

2. การทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ภายในกลุ่ม (Randomized Block Design: RBD)

เป็นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบ k ทริทเมนต์ โดยแบ่งหน่วยทดลองแบบ k กลุ่ม/ชุด โดยให้แต่ละกลุ่มมีจำนวนหน่วยทดลองเท่ากับจำนวนทริทเมนต์ โดยให้แต่ละทริทเมนต์มีจำนวนหน่วยทดลองเท่ากัน คือ b หน่วย หรือเรียกว่า b บล็อกและให้หน่วยทดลองภายในแต่ละบล็อกมีลักษณะคล้ายคลึงกันมากที่สุด

สำหรับในข้อนี้จะกล่าวถึงการทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ CRD โดยละเอียดดังได้กล่าวแล้ว เมื่อต้องการเปรียบเทียบประชากร 2 กลุ่ม หรือ 2 ทริทเมนต์จะต้องสุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มอย่างเป็นอิสระกัน และใช้สถิติทดลอง Z หรือ t แต่ถ้าเปรียบเทียบตั้งแต่ 3 ทริทเมนต์ขึ้นไปจะใช้สถิติทดสอบ F

เงื่อนไขของการวิเคราะห์ความแปรปรวน

ในการทดสอบสมมติฐานการเท่ากันของค่าเฉลี่ยของประชากรตั้งแต่ 3 กลุ่มขึ้นไป จะต้องมียุเงื่อนไขดังนี้

1. ประชากรทั้ง k กลุ่ม มีการแจกแจงแบบปกติ
2. ค่าแปรปรวนของแต่ละประชากรเท่ากัน
3. การสุ่มตัวอย่างแต่ละชุดจากแต่ละประชากรจะเป็นอิสระกัน

ตารางที่ 2.3 สูตรคำนวณในการสร้างตาราง CRD ANOVA

$CM (Correction for Mean) = (SS_{x_{ij}})^2 / n = (S_{x_i})^2 / n$	
$SST = SS_{x_{2ij}} - CM$	$SST_{\tau} = ST_{2i} / n_i - CM \quad SSE = SST - SST_{\tau}$
$MSE = SSE / (n - k) \quad MST_{\tau} / (k - 1)$	
สถิติทดสอบ $MST_{\tau} / MSE \sim F_{k-1; n-k}$	

ตารางที่ 2.4 ตารางการคำนวณ CRD ANOVA

แหล่งแปรปรวนหรือ แหล่งความผันแปร	องศา อิสระ	ผลบวกกำลังสอง	ค่าเฉลี่ยกำลังสอง	F
	df	SS (Sum of Square)	MR (Mean Square) = SS/DF	MST_{τ} / MSE
ระหว่างทรีตเมนต์ (Treatment)	k-1	SST_{τ}	MST_{τ}	
ภายในทรีตเมนต์ (ความคลาดเคลื่อน)	n-k	SSE	MSE	
ผลรวม (Total)	n-1	SST		

สรุปการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมีปัจจัยเดียว เพื่อทดสอบความแตกต่างระหว่าง ค่าเฉลี่ย
ประชากร k กลุ่ม

เขตปฏิเสธ จะปฏิเสธ H_0 ถ้า $F > F_{1-\alpha; k-1, n-k}$

สมมติฐาน $H_0: (\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \dots = \mu_k)$

H_1 : มี $\mu_i \neq \mu_j$ อย่างน้อย 1 คู่ ; $i \neq j$

สถิติทดสอบ $F = MST_{\tau} / MSE$

3. การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกสองทาง (Two – Factor Analysis of Variance

: Two – Factor ANOVA หรือ Two – Way ANOVA)

เป็นวิธีที่ใช้วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย โดยมีลักษณะที่ต้องการวิเคราะห์อยู่ 2
ลักษณะ เช่น โดยลักษณะแรกที่น่าสนใจมักจะเรียกกันว่า Treatment และลักษณะที่สองมักจะเรียกกันว่า
Block ซึ่งตารางการจำแนกข้อมูลชนิด 2 ทางก็จะเป็นดังนี้

ตารางที่ 2.5 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกสองทาง

Block (ลักษณะที่ 2)	Treatment (ลักษณะแรกที่ต้องการเปรียบเทียบ)					รวม
	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 3	...	กลุ่มที่ k	
1	x_{11}	x_{21}	x_{31}	...	x_{k1}	B_1
2	x_{12}	x_{22}	x_{32}	...	x_{k2}	B_2
3	x_{13}	x_{23}	x_{33}	...	x_{k3}	B_3
:	:	:	:	...	:	:
n	x_{1n}	x_{2n}	x_{3n}	...	x_{kn}	B_n
ผลรวม	T_1	T_2	T_3	...	T_k	TB

$$TB = \text{ผลรวมของค่าสังเกตทั้งหมด} = \sum \sum x_{ij} \quad i = 1 \text{ ถึง } k, j = 1 \text{ ถึง } n$$

$$T_i = \text{ผลรวมของ Treatment} \quad B_j = \text{ผลรวมของ Block}$$

$$SST = \sum \sum x_{ij}^2 - CM \quad SStr = \sum \frac{T_i^2}{n} - CM \quad SSB = \sum \frac{B_j^2}{k} - CM$$

$$SSE = SST - SStr - SSB$$

ตารางที่ 2.6 ตาราง ANOVA ในการวิเคราะห์แบบ Two Way

Source (แหล่งของความแปรปรวน)	องศาอิสระ	ผลบวกกำลังสอง	ค่าเฉลี่ยกำลังสอง	F
	df	SS	MS=SS/df	
ระหว่าง Treatment	k-1	SSTr	MSTr	MSTr/MSE
ระหว่าง Block	n-1	SSB	MSB	MSB/MSE
ความคลาดเคลื่อน	(k-1)(n-1)	SSE	MSE	
รวม	N-1	SST		

การวิเคราะห์ความแปรปรวน 2 ทาง

1. ตั้งสมมติฐาน

สำหรับ Treatment $H_0 : \mu_{T1} = \mu_{T2} = \dots = \mu_T$ ค่าเฉลี่ยทุก Treatment เท่ากัน

H_1 : มีอย่างน้อย 1 Treatment ที่มีค่าเฉลี่ยไป จาก Treatment อื่น

สำหรับ Block $H_0 : \mu_{B1} = \mu_{B2} = \dots = \mu_B$ ค่าเฉลี่ยของทุก Block เท่ากัน

H_1 : มีอย่างน้อย 1 Block ที่ค่าเฉลี่ยต่างไปจาก Block อื่น

2. คำนวณค่าทางสถิติ STT, SSTr, SSB, SSE

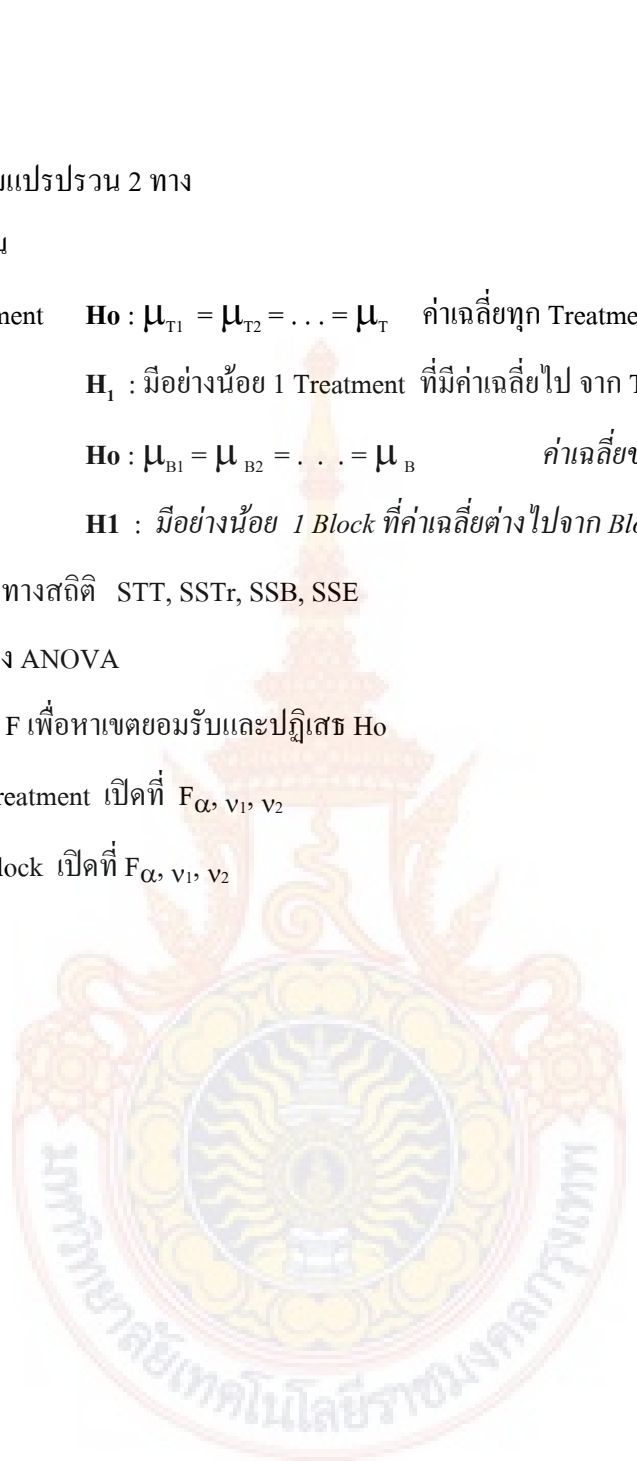
3. สร้างตาราง ANOVA

4. เปิดตาราง F เพื่อหาเขตยอมรับและปฏิเสธ H_0

สำหรับ Treatment เปิดที่ F_{α, v_1, v_2}

สำหรับ Block เปิดที่ F_{α, v_1, v_2}

5. สรุปผล



บทที่ 3

เนื้อหาการวิจัย

หลักการวิจัยเป็นการศึกษาในรูปแบบการวิจัยเชิงประยุกต์ โดยการตั้งสมมติฐานการวิจัย มีการศึกษาหาข้อมูลจากเอกสารและการทบทวนวรรณกรรม การทดสอบเป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลการทดลอง และนำข้อมูลที่ได้มาประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

3.1 ข้อมูลทั่วไปของชิ้นงานทดลอง

3.1.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 (ปูนที่ใช้ในงานโครงสร้าง เทเสา คาน เช่น ปูนตราช้างแดง) ได้รับมาตรฐาน มอก.15 เล่มที่ 1-2547 ดังภาพที่ 3.1



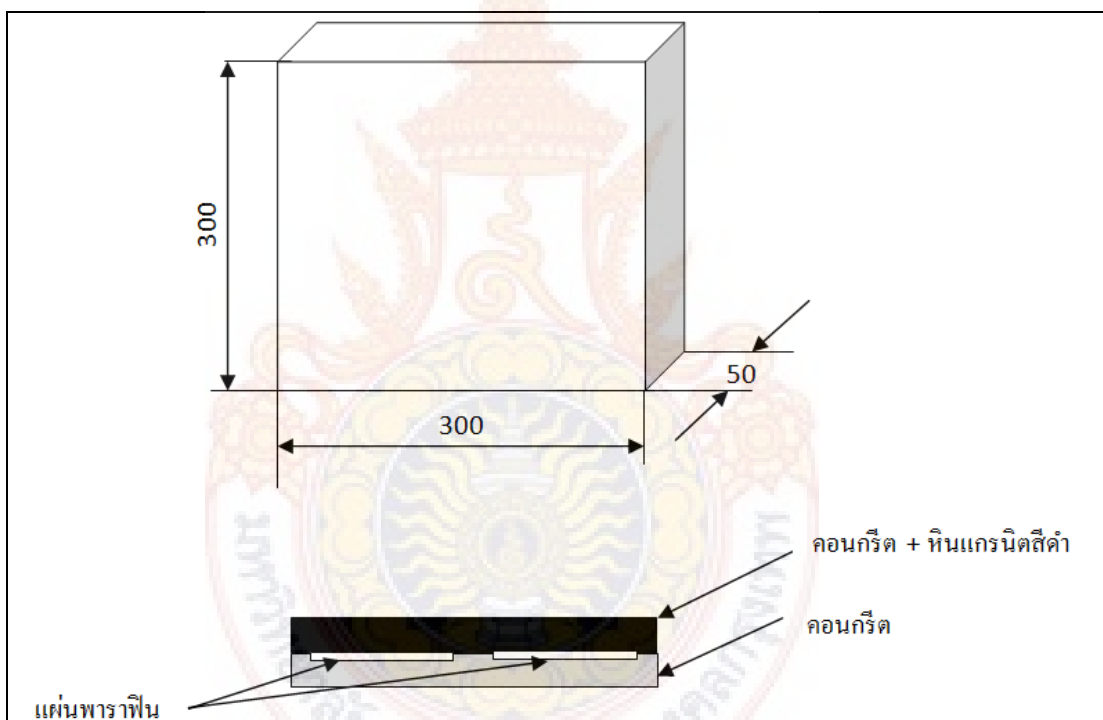
ภาพที่ 3.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ตราช้าง มาตรฐานปูนหล่อ ASTM C150

- ทรายแม่น้ำอย่างละเอียด โดยมีความละเอียดในระดับ 40 MESH
- หินฝุ่น
- ฝุ่นผงไฟเบอร์กลาส ขนาดความละเอียด 70 ไมโครเมตร

- เกลือแกง
- น้ำเปล่า
- ถังปูน
- ขันตวงอัตราส่วน

3.1.2 ขนาดทั่วไปของคอนกรีตที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดสอบวัดค่าความชื้นและการขึ้นรูปเป็นแผ่นบล็อกคอนกรีตนั้น กำหนดขนาดของคอนกรีตให้มีขนาดมาตรฐานความหนา 50 มิลลิเมตร ความกว้าง 300 มิลลิเมตร และความยาว 300 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 ลักษณะของแผ่นคอนกรีตบล็อก

3.2 สูตรผสมของคอนกรีตในการทดลอง

3.2.1 สูตรทั่วไป คือคอนกรีตเทหล่อทั่วไป ปูน : ทราย : หิน : น้ำ = 1 : 2 : 4 : 1

สูตรมาตรฐาน สัดส่วนผสมคอนกรีตและปูนอย่างง่าย (โดยน้ำหนักหรือสัดส่วน) การผสมคอนกรีตโดยน้ำหนัก (By weight) หรือโดยสัดส่วนนั้น หมายถึง การผสมคอนกรีตโดยการชั่งน้ำหนักของส่วนผสมตามอัตราส่วนที่กำหนดการผสมคอนกรีตโดยวิธีนี้จะทำให้ค่าที่แน่นอน

สะดวกต่อการปรับปรุงส่วนผสมเมื่อมีความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปในวัสดุผสม ส่วนใหญ่การผสมคอนกรีตโดยนํานํ้าหนักมักจะผสมในโรงงานผลิตคอนกรีตที่มีอุปกรณ์พร้อม เช่น ผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ (Ready-mixed concrete) ผลิตชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตสำเร็จรูป

3.2.2 สูตรคอนกรีตที่ใช้ในการทดลอง

เลือกใช้การผสมคอนกรีตโดยนํ้าหนักเพราะคอนกรีตที่ได้จะมีคุณภาพดีและมีความแน่นอนของค่ากำลังอัดที่ได้ เหมาะสำหรับงานก่อสร้างคอนกรีตที่มีการควบคุมคุณภาพ และต้องการค่ากำลังอัดปานกลาง สูงหรือสูงมาก โดยสูตรคอนกรีตที่ใช้ในการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบคอนกรีตบล็อกเบื่อดัน และการทดสอบคอนกรีตบล็อกเมื่อผสมเกลือและผงไฟเบอร์ สามารถอธิบายได้ดังนี้

3.2.2.1 การทดสอบคอนกรีตบล็อกเบื่อดัน

ทดสอบแผ่นคอนกรีตบล็อก 2 แบบคือ สูตรผสมพาราฟินร้อยละ 40 และสูตรผสมพาราฟินร้อยละ 60 ดังนี้

- แบบที่ 1 แบ่งออก 3 ชั้น ในชั้นที่ 1 คอนกรีตหนา 30 มิลลิเมตร ชั้นที่ 2 พาราฟินร้อยละ 40 ของหน้าตัด และชั้นที่ 3 ซีเมนต์แกรนิตหนา 15 มิลลิเมตร
- แบบที่ 2 แบ่งออก 3 ชั้น ในชั้นที่ 1 คอนกรีตหนา 30 มิลลิเมตร ชั้นที่ 2 พาราฟินร้อยละ 60 ของหน้าตัด และชั้นที่ 3 ซีเมนต์แกรนิตหนา 15 มิลลิเมตร

โดยตัดสินใจเลือกสูตรที่ให้ผลดีกว่าจากผลการทดสอบสมบัติของคอนกรีต หลังจากนั้นจึงนำสูตรที่เลือกไปทดลองผสมส่วนของเกลือและผงไฟเบอร์ เพื่อศึกษาการเพิ่มของการดูดความชื้นและการถ่ายเทความร้อนต่อไป

3.2.2.2 การทดสอบคอนกรีตบล็อกเมื่อผสมเกลือและผงไฟเบอร์

ทั้งนี้ในส่วนของการพิจารณาส่วนผสมกับหินแกรนิตสีดำนั้น โดยสัดส่วนได้ทดลองผสมส่วนของเกลือเพื่อศึกษาการดูดความชื้นที่เกิดขึ้น และด้านล่างของแผ่นได้ผสมส่วนของผงไฟเบอร์ เพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนลงสู่พื้นล่างของแผ่นคอนกรีต โดยคอนกรีตชนิดต่างๆ ที่ได้ทำการทดลอง ได้แก่ คอนกรีตผสมไฟเบอร์กลาสร้อยละ 5 ร้อยละ 10 และร้อยละ 15 ของปูนซีเมนต์ และคอนกรีตผสมเกลือร้อยละ 5 ร้อยละ 10 และร้อยละ 15 ของปูนซีเมนต์

3.2.3 การเตรียมตัวอย่าง

3.2.3.1 การทดสอบคอนกรีตบล็อกเบื้องต้น

เตรียมตัวอย่างแผ่นเก็บความร้อน ขนาด 300 x 300 x 50 มิลลิเมตร จำนวน 36 ตัวอย่าง แบ่งเป็น 2 แบบ แบบละ 9 ตัวอย่าง ในแต่ละชั้นของแผ่นประกอบด้วย ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบเป็นการหาหน่วยแรงคดตามมาตรฐาน มอก. (มอก.2531-378) ที่กำลังอัดประลัย 250 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

3.2.3.2 การทดสอบคอนกรีตบล็อกเมื่อผสมเกลือและผงไฟเบอร์

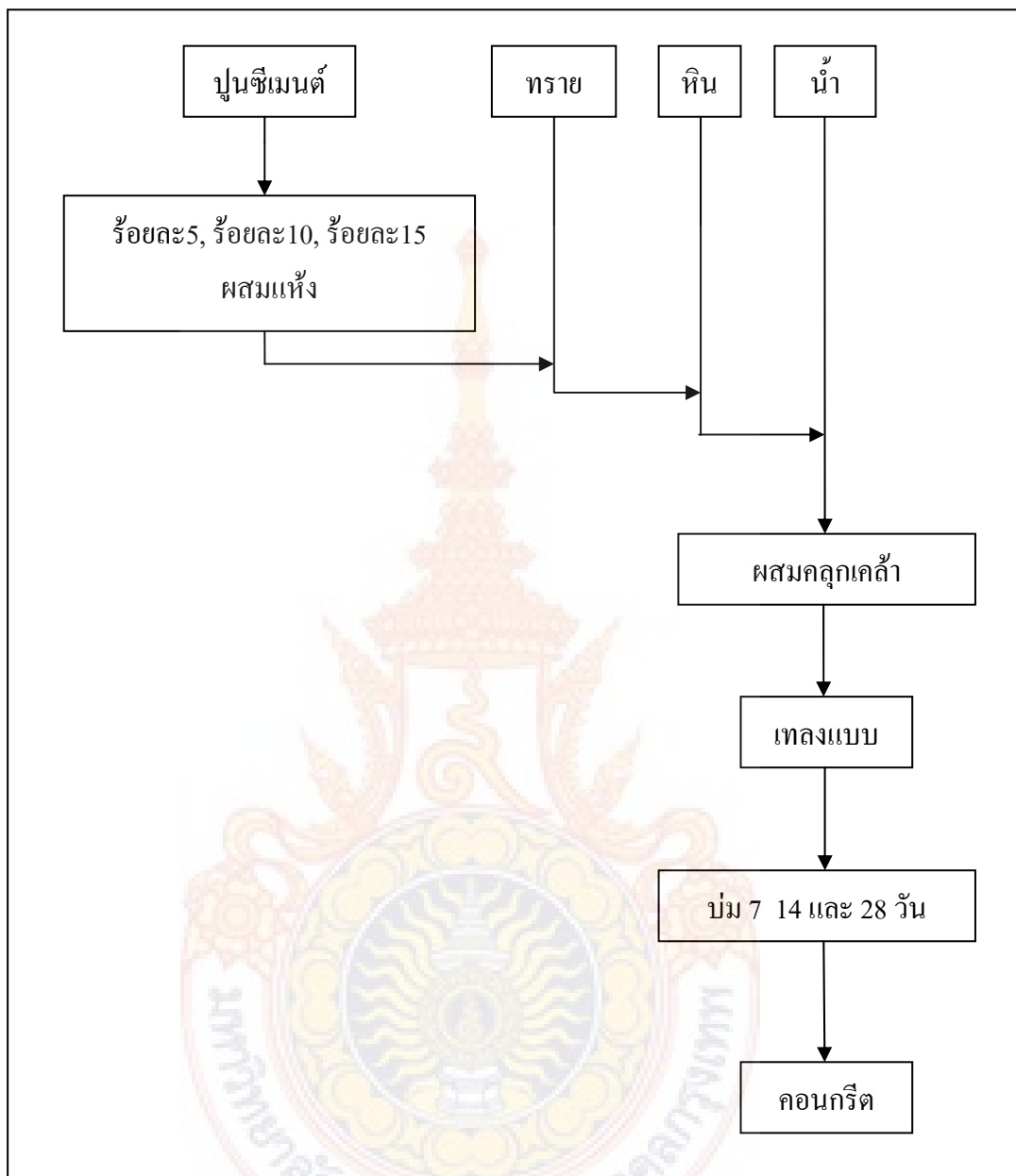
กำหนดสัดส่วนผสมคอนกรีตและปูนอย่างง่ายโดยน้ำหนัก การใช้ปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ทรายหยาบ มาตรฐานปูนหล่อ ASTM C150 ดังนั้นจึงใช้สัดส่วนของมาตรฐานคอนกรีตที่เหลือทั่วไป ปูน : ทราย : หิน : น้ำ เท่ากับ 1 : 2 : 4 : 1 การออกแบบส่วนผสมของแผ่นคอนกรีตเพื่อใช้ในการทดลองดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สัดส่วนการผสมคอนกรีตโดยน้ำหนัก

ร้อยละของปูนซีเมนต์	น้ำหนักปูน (กรัม)	น้ำหนักเกลือ (กรัม)	น้ำหนักไฟเบอร์กลาส (กรัม)
5	2,000	100	100
10	2,000	200	200
15	2,000	300	300

3.3 ขั้นตอนการผสม

ขั้นตอนการผสมคอนกรีตได้เขียนแผนผังการผสมดังแสดงในภาพที่ 3.3 ทั้งนี้ในขั้นตอนการผสมได้ผสมและเทลงในแบบเหล็ก โดยวางแผ่นพาราฟินสำเร็จรูปลงบนคอนกรีตเหลวที่ยังไม่เซตตัว จากนั้นจึงเททับด้วยผิวหน้าหินแกรนิตผสมเกลือลงไป จากนั้นในขั้นตอนการบ่มนั้นได้ทำการบ่มในน้ำเพื่อนำค่าที่ได้ไปทดสอบความแข็งแรง ทั้งนี้ยังต้องทำการทดสอบต่าง ๆ เพื่อหาคุณลักษณะเฉพาะของคอนกรีต



ภาพที่ 3.3 แผนผังแสดงการผสมคอนกรีต

3.3.1 ขั้นตอนของการเตรียมตัวอย่าง

3.3.1.1 ร่อนหินผ่านตะแกรงขนาด 3/4 นิ้ว และล้างทำความสะอาดหิน



ภาพที่ 3.4 ร่อนหินผ่านตะแกรงขนาด 3/4 นิ้ว และล้างทำความสะอาดหิน

3.3.1.2 เตรียมทรายเพื่อที่จะนำไปซัง

3.3.1.3 ล้างฝุ่นออกจากหินแกรนิตบด



ภาพที่ 3.5 เตรียมหินแกรนิตบด



ภาพที่ 3.6 การเตรียมแผ่นพาราฟิน

3.3.1.4 เตรียมปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1

3.3.1.5 นำพาราฟินที่ยังเป็นแท่งไปต้มให้ละลายแล้วเทลงในพิมพ์และตัดให้ได้ตามขนาดที่คำนวณไว้

3.3.1.6 ประกอบแบบกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นที่จัดทำไว้ ทาน้ำมันเครื่อง เพื่อป้องกันไม่ให้ก้อนตัวอย่างติดกับแบบหล่อ



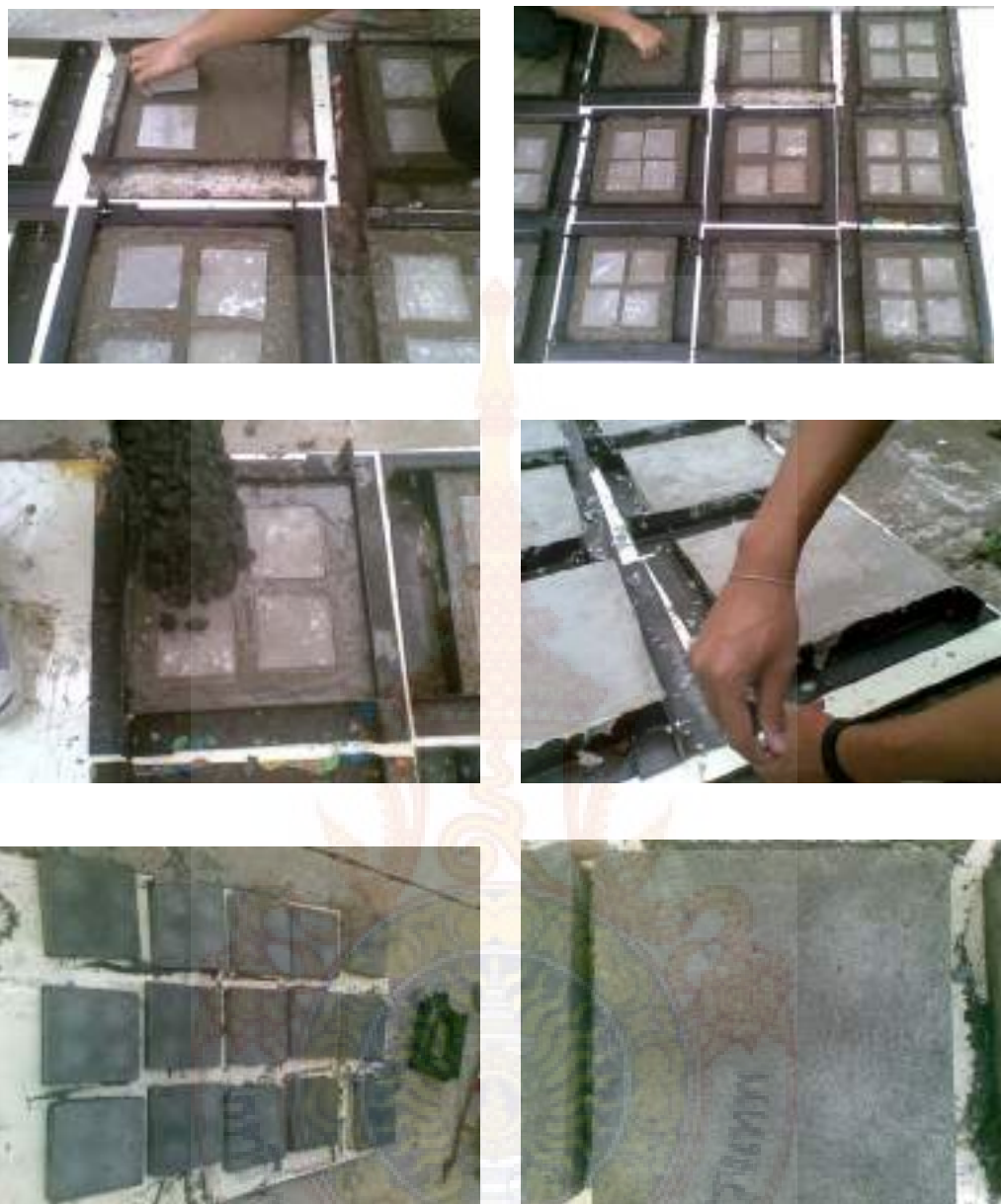
ภาพที่ 3.7 การเตรียมแบบหล่อ และ ทาน้ำมันที่แบบ

3.3.2 ขั้นตอนการทำตัวอย่างแผ่นกระเบื้องคอนกรีต

3.3.2.1 ผสมคอนกรีตตามมาตรฐาน มอก. ในอัตราส่วนที่ได้คำนวณไว้ตามรายการคำนวณ และเทคอนกรีตลงในแบบหล่อที่เตรียมไว้โดยคอนกรีตมีความหนา 50 มิลลิเมตร ทิ้งไว้จนแผ่นตัวอย่างแห้งหรือ 24 ชั่วโมงแล้วจึงถอดออกจากแบบ



ภาพที่ 3.8 การผสมและถอดแบบคอนกรีตตามมาตรฐาน มอก. 378-2531



ภาพที่ 3.9 ลักษณะวางแผ่นพาราฟินและการถอดออกจากแบบ

3.4 การทดสอบสมบัติของคอนกรีต

3.4.1 การทดสอบมิติ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ คือ เวอร์เนียคาลิเปอร์ และตลับเมตร

วิธีการทดสอบ โดยการวัดขนาดมิติของตัวอย่างทดสอบด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ พิจารณาด้านคู่ขนานที่ผิวหน้าเรียบ นำเวอร์เนียคาลิเปอร์วัดขนาดความกว้าง ยาว และหนาของตัวอย่างทดสอบ และบันทึกผลในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ผลการทดสอบมิติของแผ่นคอนกรีตบดอัด

[illegible]

3.4.2 การทดสอบค่าความแข็งแรง (การทดสอบแรงอัดหรือกำลังอัดของคอนกรีต)

อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบแรงอัดคอนกรีต ดังนี้

- 1) เครื่องทดสอบกำลังอัดคอนกรีต มาตรฐานเครื่อง BS1610 Part1:1992 (UNIT TEST SCIENTIFIC)
- 2) เครื่องชั่งน้ำหนัก
- 3) เวอร์เนียคาลิเปอร์
- 4) ตลับเมตร

วิธีการทดสอบแรงอัดคอนกรีต มีลำดับขั้นตอนดังนี้

- 1) วัดขนาดมิติของตัวอย่างทดสอบด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์
- 2) ตัวอย่างทดสอบ พิจารณาด้านคู่ขนานที่ผิวหน้าเรียบ นำเวอร์เนียคาลิเปอร์วัดขนาดความกว้าง ยาว และหนาของตัวอย่างทดสอบ
- 3) นำตัวอย่างทดสอบขึ้นชั่งน้ำหนัก
- 4) ทำความสะอาดผิวทั้งด้านบนและด้านล่างของเครื่องทดสอบกำลังอัดคอนกรีต นำตัวอย่างทดสอบเข้าเครื่องทดสอบกำลังอัดคอนกรีต
- 5) ตัวอย่างทดสอบนำด้านที่เลือกเข้าไว้วางบนแท่นของเครื่องทดสอบกำลังอัดคอนกรีต
- 6) ตำแหน่งของแนวแกนของตัวอย่างทดสอบต้องตรงกับแนวศูนย์กลางของน้ำหนักกดและผิวแท่นต้องสัมผัสกับแท่นทดสอบแนบสนิท
- 7) การควบคุมอัตราการกดของเครื่องทดสอบกำลังอัดคอนกรีตอย่างสม่ำเสมอและไม่กระตุก เครื่องทดสอบแบบหมุดเกลียว (Screw-type) จะต้องเป็นเครื่องที่หัวกดสามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วประมาณ 1.3 มิลลิเมตร/นาที เครื่องทดสอบแบบไฮดรอลิก ต้องเป็นเครื่องที่สามารถให้น้ำหนักกดด้วยอัตราคงที่ อยู่ในช่วง 0.14 ถึง 0.34 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตรต่อวินาที ในช่วงครึ่งแรกของน้ำหนักกดสูงสุดที่ตัวอย่างทดสอบจะรับได้นั้น ยอมให้ใช้อัตราการกดสูงกว่ากำหนดได้ และในการควบคุมเครื่องทดสอบขณะที่ตัวอย่างทดสอบถึงจุดครากอย่างรวดเร็วทันทีก่อนถึงจุดประลัย ห้ามปรับอัตราการกดหรือส่วนใด ๆ ของเครื่องทดสอบแรงอัดคอนกรีต
- 8) กดจนกระทั่งตัวอย่างทดสอบถึงจุดประลัย บันทึกค่าน้ำหนักกดสูงสุดที่แท่นทดสอบสามารถรับได้ และบันทึกสัญลักษณ์การแตกของตัวอย่างทดสอบลงในตารางที่ 3.3



ภาพที่ 3.10 การทดสอบแรงอัดคอนกรีต

ตารางที่ 3.3 ค่าความต้านแรงคัตตามขวางของคอนกรีต

ตัวอย่าง	แรงที่กด ได้ (P) (นิวตัน)	ความ หนา (t)	ความ กว้าง (b)	ความ ยาว (L)	ระยะห่าง (l) = 2L/3	ค่า $f = \frac{3Pl}{2bt^2}$	ค่าเฉลี่ย (f) 3 แผ่น
1							
2							
3							

3.4.3 การทดสอบค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีต

ทำการทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตเพื่อดูความชื้นของคอนกรีตและความสามารถในการดูดซึมน้ำ โดยการวัดน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปก่อนและหลังการนำคอนกรีตแช่ลงในน้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

วิธีการทดสอบ

- 1) แช่กระเบื้องตัวอย่างในน้ำที่มีอุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียส โดยให้ผิวน้ำอยู่เหนือผิวบนของกระเบื้องตัวอย่างไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตร และไม่เกิน 50 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นเวลา $24 \pm \frac{1}{2}$ ชั่วโมง ดังภาพที่ 3.11
- 2) นำกระเบื้องตัวอย่างขึ้นจากน้ำใช้ผ้าซับผิวภายนอกให้แห้งแล้วนำไปชั่งน้ำหนักได้ค่า (M_2)
- 3) วางกระเบื้องตัวอย่างในตู้อบโดยที่กระเบื้องตัวอย่างต้องห่างจากผิวที่ให้ความร้อน หรือกระเบื้องตัวอย่างแผ่นอื่นอย่างน้อย 25 มิลลิเมตร อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 65 ± 1 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดังภาพที่ 3.12
- 4) ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วชั่งค่า (M_1)
- 5) นำค่าที่ได้จากการชั่งที่ก่อนอบและหลังอบ หรือ (M_2), (M_1) มาคำนวณหาค่าการดูดซึมของน้ำ และบันทึกค่าในตารางที่ 3.4



ภาพที่ 3.11 การเติมน้ำเพื่อวัดค่าการดูดซึมน้ำ



ภาพที่ 3.12 การอบแผ่นคอนกรีตบล็อกเพื่อหาการดูดซึมน้ำ

ตารางที่ 3.4 ค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีต

ตัวอย่าง	มวลตัวอย่างอบแห้ง (M_1 , กิโลกรัม)				มวลตัวอย่างอิ่มน้ำ (M_2 , กิโลกรัม)				ร้อยละ การดูดซึมน้ำ [($M_2 - M_1$)/ M_1]*100
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
คอนกรีต มาตรฐาน									
ร้อยละ 40									
ร้อยละ 60									
5 : 5									
10 : 5									
15 : 5									
5 : 10									
10 : 10									
15 : 10									

3.4.4 การทดสอบการสะสมความร้อนของคอนกรีต

วัสดุและอุปกรณ์นั้นจะต้องประกอบไปด้วยคอนกรีตชนิดต่างๆ ที่ได้ทำการทดลอง โดยในการทดสอบการสะสมความร้อนนั้นจำเป็นที่จะต้องมีการดูดความร้อน เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของการทำงานของกระแสไฟและการให้อุณหภูมิต่อเครื่องวัดค่าความร้อน ดังแสดงในภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.13 การทดสอบการสะสมความร้อนของแผ่นคอนกรีตบดอัด

วิธีการทดสอบ

- 1) เตรียมแผ่นคอนกรีตตัวอย่างทั้ง 3 แผ่นไปตากแดดจนแห้ง
- 2) วัดแผ่นคอนกรีตตัวอย่างที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางและเจาะรูที่ ความลึก 250 มิลลิเมตร



ภาพที่ 3.14 การเจาะรูแผ่นทดสอบเพื่อหาค่าความร้อนของแผ่นตัวอย่าง

- 3) นำแผ่นคอนกรีตตัวอย่างทั้ง 3 แผ่นไปตากแดดเพื่อวัดอุณหภูมิในช่วงเวลาต่างๆ เพื่อหาอุณหภูมิสูงสุด



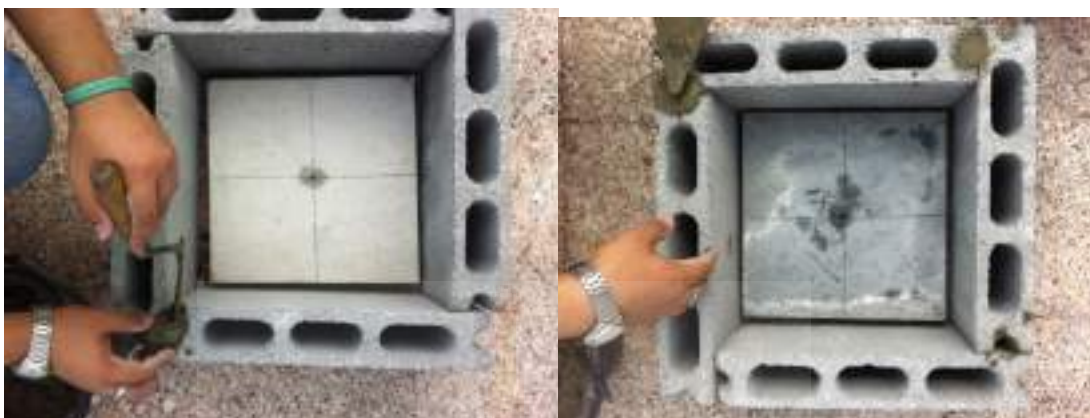
ภาพที่ 3.15 การทดสอบวัดค่าความร้อนจากแผ่นตัวอย่าง

- 4) นำกระเบื้องคอนกรีตตัวอย่างทั้ง 3 แผ่นที่วัดอุณหภูมิแล้วไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้ในขั้นตอนที่ 3 เพื่อวัดการคายความร้อนของกระเบื้องคอนกรีตตัวอย่างทั้ง 3 แผ่น



ภาพที่ 3.16 การทดสอบหาเวลาที่ทำให้แผ่นตัวอย่างมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิปกติ

- 5) สร้างกล่องขนาด 390x390x190 มิลลิเมตร เพื่อนำกระเบื้องคอนกรีตไปทดสอบหาค่าความร้อน
- 6) เตรียมอิฐบล็อกเพื่อสร้างเป็นกล่องสี่เหลี่ยมเพื่อวางแผ่นกระเบื้องคอนกรีต



ภาพที่ 3.17 เตรียมกล่องทดสอบเพื่อหาค่าความร้อนของแผ่นทดสอบ

- 7) เจาะรูที่กลางแผ่นอะคริลิกขนาด 5 มิลลิเมตรเพื่อใส่เครื่องวัดอุณหภูมิ
- 8) นำแผ่นอะคริลิกวางปิดด้านบนกล่องอิฐบล็อกจากแล้วนำซิลิโคนอุดแนวที่สัมผัสกับกล่องอิฐบล็อกจากให้สนิท



ภาพที่ 3.18 การปิดรอยต่อระหว่างแผ่นอะคริลิกกับอิฐบล็อกจากคอนกรีต

- 9) ทำการวัดอุณหภูมิภายในกล่องตัวอย่างและภายนอกกล่องในช่วงเวลาต่างๆ

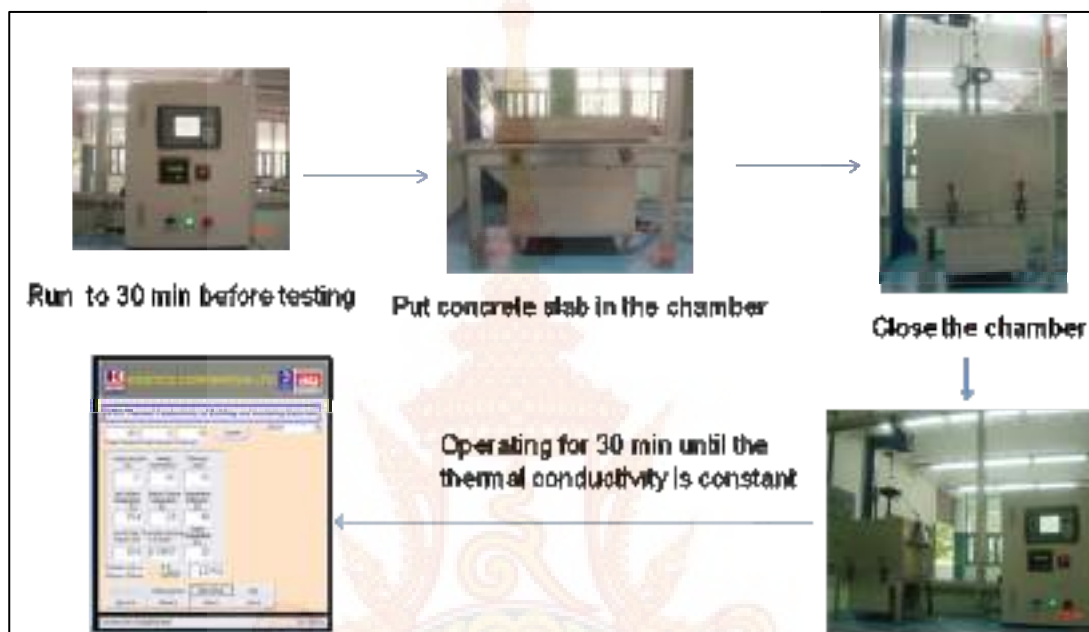
การออกแบบตารางเก็บข้อมูลผลการทดลองเพื่อวัดค่าการสะสมความร้อนของแผ่นคอนกรีตบล็อกชนิดต่างๆ โดยวัดผล 4 ช่วงเวลา คือ 8.00 น. 12.00 น. 15.00 น. 18.00 น. และ 21.00 น. ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ผลการทดสอบการสะสมความร้อนของคอนกรีต

[illegible]

3.4.5 การทดสอบการนำความร้อนของคอนกรีต

การทดสอบการนำความร้อนของคอนกรีต เป็นการศึกษาสมบัติทางความร้อนของชั้นคอนกรีตที่ผสมด้วยวัสดุต่างๆ ในการศึกษาสมบัติทางความร้อนได้ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM 177 C ดังภาพที่ 3.19

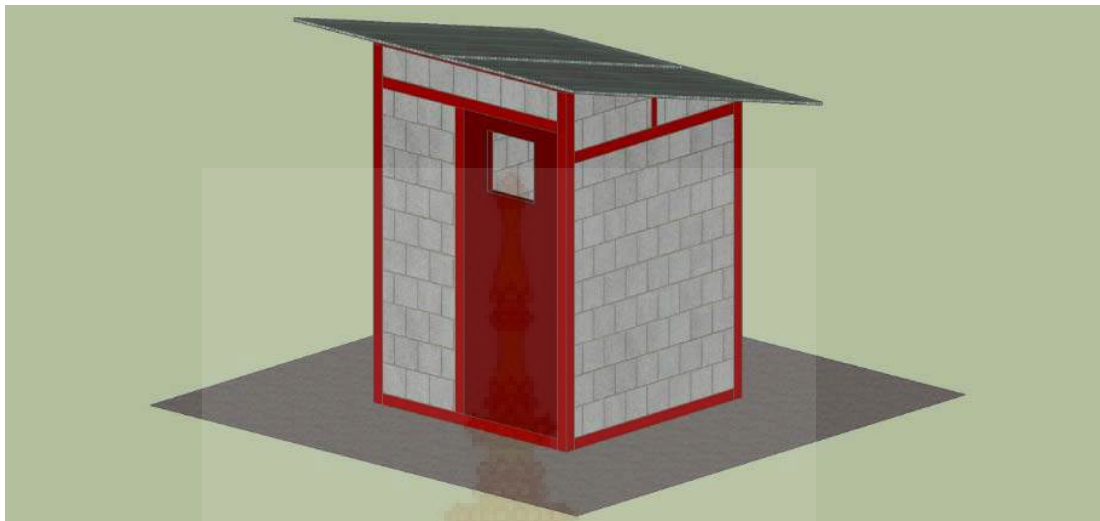


ภาพที่ 3.19 แผนการทดลองวัดค่าความร้อน

3.5 การสร้างโรงต้นแบบในการทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นคอนกรีต

3.5.1 ลักษณะโครงสร้างโรงต้นแบบ

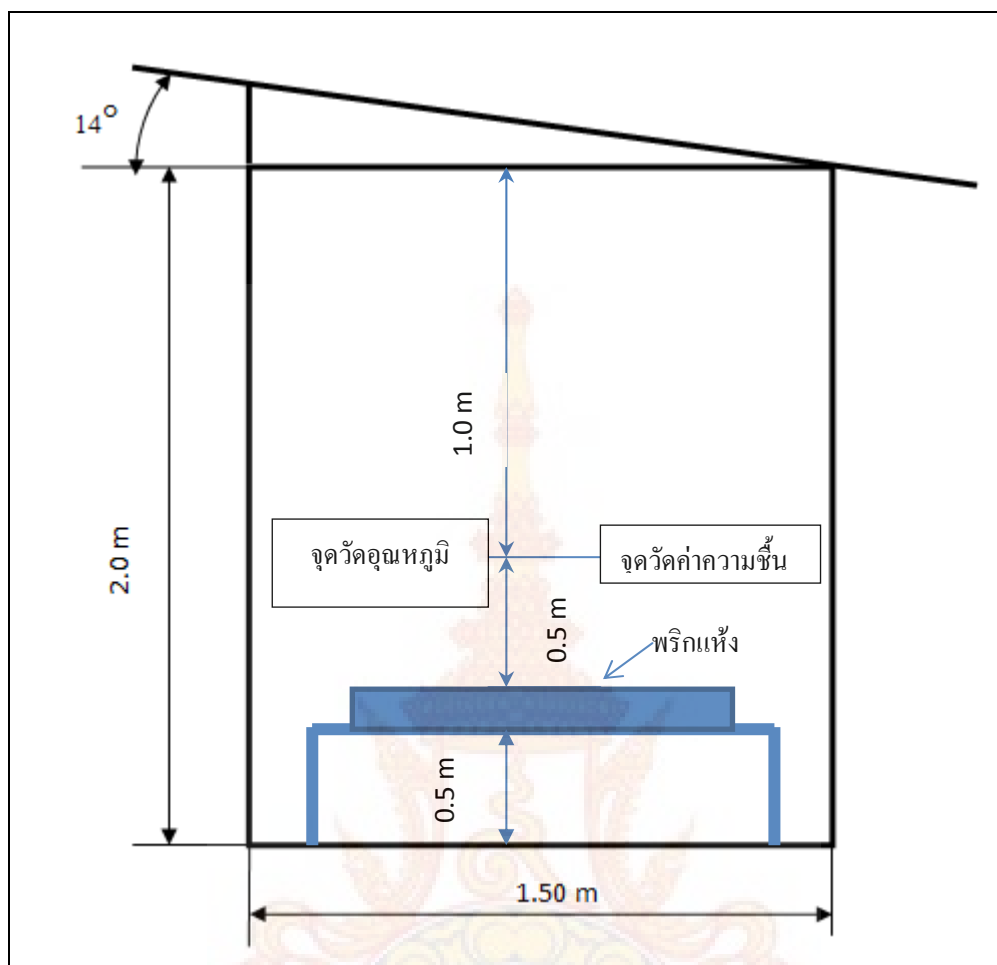
คอนกรีตที่ผ่านการทดสอบในส่วนผสมที่ถูกต้องและมีค่าที่เหมาะสมจากการทดลอง จะนำมาใช้วางเป็นแผ่นปูพื้นในโรงต้นแบบเพื่อทำการวัดค่าปริมาณความชื้นที่เกิดขึ้นภายในโรงอบ โดยกำหนดให้มีขนาดของพื้นที่ในการวางคือ 1.50 x 1.50 เมตร และผนังของโรงต้นแบบก่อด้วยอิฐบล็อกตามขนาดมาตรฐานในการก่อสร้างทั่วไป โดยมีการกำหนดความสูงเป็น 2.00 เมตร โดยรายละเอียด ดังภาพที่ 3.20 และในภาคผนวก ข



ภาพที่ 3.20 แบบรายละเอียดโรงต้นแบบ

3.5.2 วิธีการทดลองวัดค่าอุณหภูมิของความร้อนในห้องอบแห้ง

การอบแห้งเป็นกระบวนการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรเพื่อป้องกันการเสื่อมเสีย ซึ่งทำให้เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ซึ่งถือเป็นการยืดอายุการเก็บรักษา วิธีการทดลองในการวัดค่าอุณหภูมิของความร้อนในห้องอบแห้งนั้น อากาศภายในมีความชื้นคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำ จึงมีผลต่อการทำให้อัตราการแห้งคงที่ และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การแพร่กระจายของน้ำดีขึ้น จึงมีผลต่อช่วงการทำแห้งลดลงด้วย ซึ่งความชื้นในอากาศมักเรียกเป็นความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) คืออัตราส่วนระหว่างปริมาณความชื้นที่มีอยู่จริงในอากาศกับปริมาณความชื้นอิ่มตัวที่อุณหภูมิเดียวกัน ถ้าอากาศชื้นมากจะมีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 นั้นหมายความว่าอากาศรับความชื้นได้เต็มที่แล้วไม่สามารถรับความชื้นได้อีก โดยทั้งนี้ได้ทำการทดลองวัดค่าความชื้นและวัดอุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง โดยการทดลองนี้ได้ใช้ฟริกชีฟแห้งในห้องทดลองมาทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของความชื้นและอุณหภูมิห้องอบแห้งที่ทำให้ฟริกแห้งเก็บได้ยาวนานขึ้น โดยรายละเอียด ดังภาพที่ 3.21



ภาพที่ 3.21 ตำแหน่งการทดลองวัดค่าความชื้นและวัดอุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ผลการทดสอบสมบัติคอนกรีตบล็อกเบื้องต้น

โดยออกแบบการทดสอบแผ่นคอนกรีตบล็อก 2 แบบคือ สูตรผสมพาราฟินร้อยละ 40 และ สูตรผสมพาราฟินร้อยละ 60 ดังนี้

- แบบที่ 1 แบ่งออก 3 ชั้น ในชั้นที่ 1 คอนกรีตหนา 30 มิลลิเมตร ชั้นที่ 2 พาราฟิน ร้อยละ 40 ของหน้าตัด และชั้นที่ 3 ซีเมนต์แกรนิตหนา 15 มิลลิเมตร
- แบบที่ 2 แบ่งออก 3 ชั้น ในชั้นที่ 1 คอนกรีตหนา 30 มิลลิเมตร ชั้นที่ 2 พาราฟิน ร้อยละ 60 ของหน้าตัด และชั้นที่ 3 ซีเมนต์แกรนิตหนา 15 มิลลิเมตร

ซึ่งสามารถสรุปผลการทดสอบสมบัติของคอนกรีตบล็อกทั้ง 2 แบบ เปรียบเทียบกับ คอนกรีตบล็อกมาตรฐาน โดยมีรายละเอียดการทดสอบดังนี้

4.1.1 การทดสอบมิติ

การเปรียบเทียบมิติแผ่นคอนกรีตบล็อกคู่พูนกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 378-2531 ซึ่งต้องมีเกณฑ์การคลาดเคลื่อนไม่เกิน 3 มิลลิเมตรจากค่าคอนกรีตมาตรฐาน คือ ความหนา 50 มิลลิเมตร ความกว้าง 300 มิลลิเมตร และความยาว 300 มิลลิเมตร ได้ผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบมิติของแผ่นคอนกรีตบดอัด

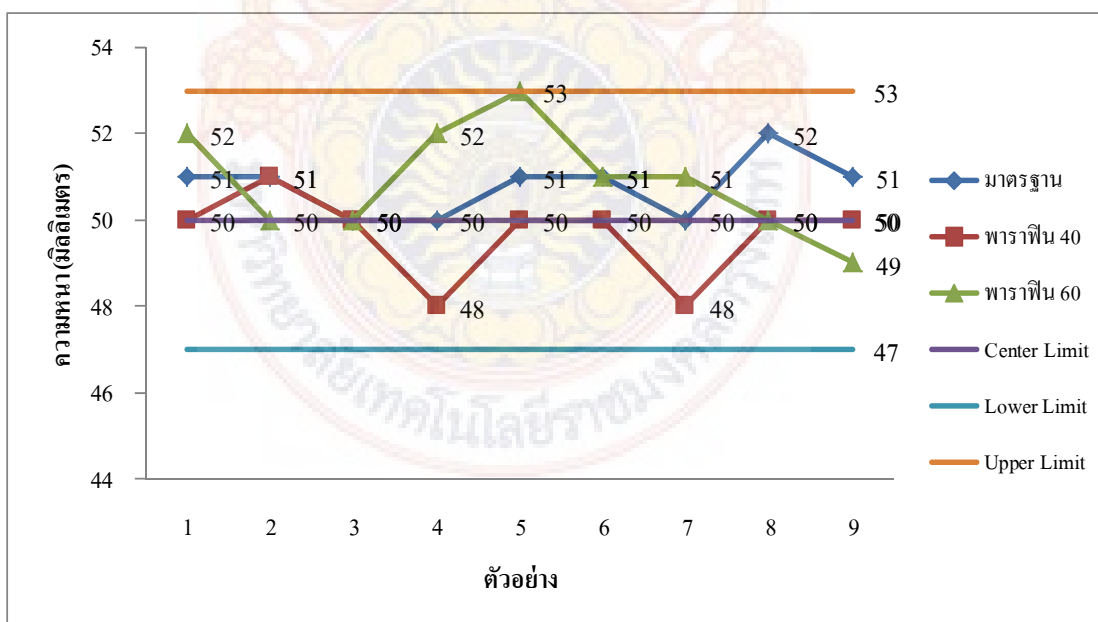
ตัวอย่าง	ความหนา (มิลลิเมตร)			ความกว้าง (มิลลิเมตร)			ความยาว (มิลลิเมตร)		
	มาตรฐาน	พาราฟิน 40	พาราฟิน 60	มาตรฐาน	พาราฟิน 40	พาราฟิน 60	มาตรฐาน	พาราฟิน 40	พาราฟิน 60
1	51	50	52	300	297	300	301	300	300.5
2	51	51	50	299	299	300	301	300	300
3	50	50	50	301	300	299	301	300	302.5
4	50	48	52	298	300	300	303	301	303
5	51	50	53	301	297	298	303	300	301
6	51	50	51	301	300	298	303	302	301
7	50	48	51	300	300	298	302	301	300
8	52	50	50	300	297	301	302	300	301
9	51	50	49	300	300	298	302	302	300
ค่าเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	50.78	49.67	50.89	300.00	298.89	299.11	302.00	300.67	301.00

โดยสรุปพบว่า ค่าความหนาเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกมาตรฐานเท่ากับ 50.78 มิลลิเมตร คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 เท่ากับ 49.67 มิลลิเมตร และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 เท่ากับ 50.89 มิลลิเมตร สำหรับค่าความกว้างเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกมาตรฐานเท่ากับ 300 มิลลิเมตร คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 เท่ากับ 298.89 มิลลิเมตร และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 เท่ากับ 299.11 มิลลิเมตร ในส่วนค่าความยาวเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกมาตรฐานเท่ากับ 302 มิลลิเมตร คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 เท่ากับ 300.67 มิลลิเมตร และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 เท่ากับ 301 มิลลิเมตร

จากผลการทดสอบมิติของคอนกรีตบล็อก สามารถนำไปวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิพิสัยควบคุมเพื่อดูขอบเขตของมิติแผ่นคอนกรีตบล็อกที่ทดสอบว่าอยู่ในช่วงพิสัยของค่ามาตรฐานหรือไม่ และวิเคราะห์หาความแตกต่างด้านมิติระหว่างคอนกรีตบล็อกมาตรฐานกับคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟิน โดยใช้การทดสอบสมมติฐานด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว One Way Analysis of Variance (One Way ANOVA) ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

4.1.1.1 ความหนา

แผนภูมิพิสัยควบคุมมิติด้านความหนาแสดงดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 แผนภูมิพิสัยควบคุมมิติด้านความหนาของคอนกรีตบล็อก

จากภาพที่ 4.1 มิติด้านความหนาของคอนกรีตบล็อก มีค่ามาตรฐานเท่ากับ 50 ± 3 มิลลิเมตร คืออยู่ในช่วง 47 – 53 มิลลิเมตร พบว่าทั้งคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 ให้ค่าความหนาอยู่ในมาตรฐานที่กำหนด

หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของมิติด้านความหนา ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว One Way Analysis of Variance (One Way ANOVA) โดยตั้งสมมติฐานหลักได้ว่า มิติด้านความหนาของคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 ไม่แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

$$\text{สมมติฐาน } H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า}$$

เมื่อ μ_1 = ค่าเฉลี่ยความหนาของคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน

μ_2 = ค่าเฉลี่ยความหนาของคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40

μ_3 = ค่าเฉลี่ยความหนาของคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60

การตัดสินใจที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.01$

ผลการทดสอบสมมติฐานมิติด้านความหนา ได้ผลดังตารางที่ 4.2

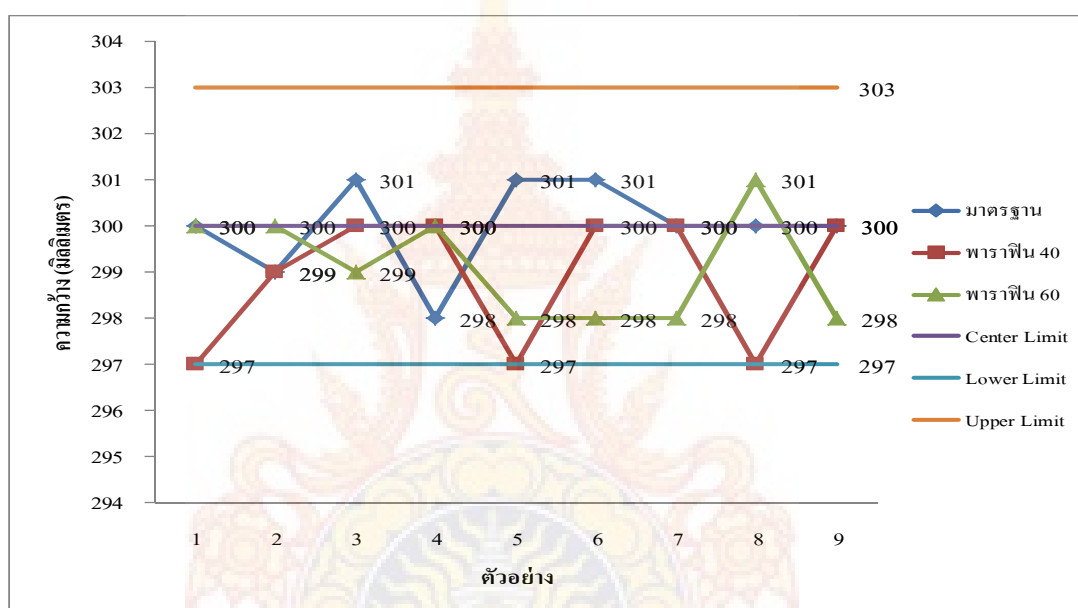
ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบมิติด้านความหนาของคอนกรีตบล็อก จำแนกตามประเภทส่วนผสมของคอนกรีต

แหล่งข้อมูล	DF	SS	MS	F	P
ความหนา	2	8.22	4.11	4.04	0.031
Error	24	24.44	1.02		
Total	26	32.67			
ประเภทของ คอนกรีตบล็อก	จำนวน (แผ่น)	มิติด้านความหนา			
		ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
มาตรฐาน	9	50.778	0.667		
พาราฟิน 40	9	49.667	1.000		
พาราฟิน 60	9	50.889	1.269		

จากตารางที่ 4.2 พบว่า ค่า P-value เท่ากับ 0.031 มีค่ามากกว่า ระดับนัยสำคัญที่ 0.01 จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า มิติด้านความหนาของคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 หรือที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

4.1.1.2 ความกว้าง

แผนภูมิพิสัยควบคุมมิติด้านความกว้างแสดงดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 แผนภูมิพิสัยควบคุมมิติด้านความกว้างของคอนกรีตบล็อก

จากภาพที่ 4.2 มิติด้านความกว้างของคอนกรีตบล็อก มีค่ามาตรฐานเท่ากับ 300 ± 3 มิลลิเมตร คืออยู่ในช่วง 297 – 303 มิลลิเมตร พบว่าทั้งคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 ให้ค่าความกว้างอยู่ในมาตรฐานที่กำหนด

หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของมิติด้านความกว้าง ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว One Way Analysis of Variance (One Way ANOVA) โดยตั้งสมมติฐานหลักได้ว่า มิติด้านความกว้างของคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 ไม่แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

สมมติฐาน $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$ อย่างน้อย 1 ค่า

เมื่อ μ_1 = ค่าเฉลี่ยความกว้างของคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน

μ_2 = ค่าเฉลี่ยความกว้างของคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40

μ_3 = ค่าเฉลี่ยความกว้างของคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60

การตัดสินใจที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.01$

ผลการทดสอบสมมติฐานมิติด้านความกว้าง ได้ผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบมิติด้านความกว้างของคอนกรีตบล็อก จำแนกตามประเภทส่วนผสมของคอนกรีต

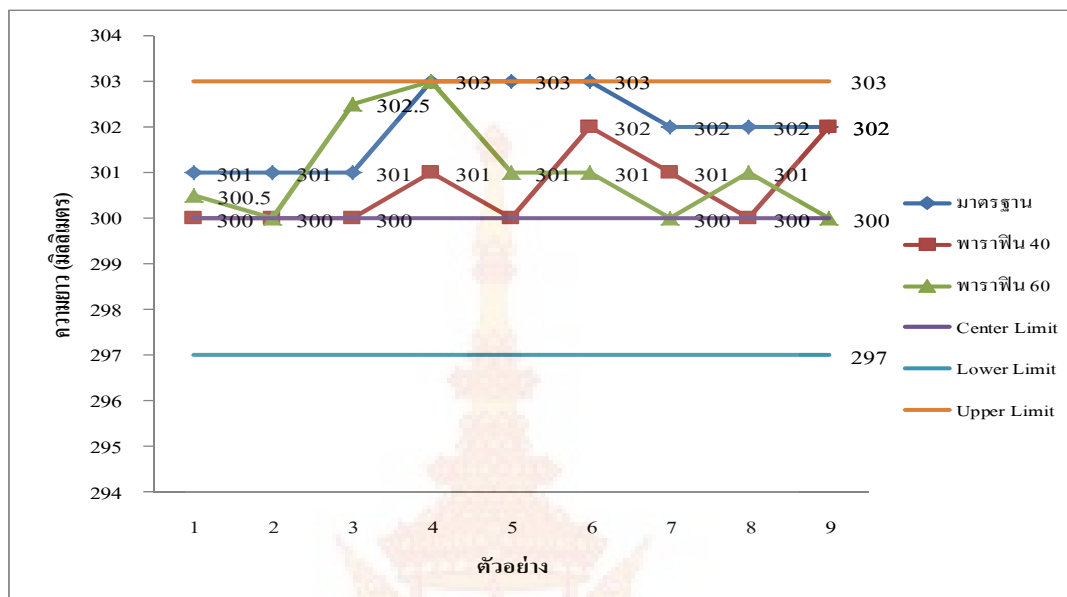
แหล่งข้อมูล	DF	SS	MS	F	P
ความกว้าง	2	6.22	3.11	2.09	0.146
Error	24	35.78	1.49		
Total	26	42.00			

ประเภทของ คอนกรีตบล็อก	จำนวน (แผ่น)	มิติด้านความกว้าง	
		ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
มาตรฐาน	9	300.00	1.00
พาราฟิน 40	9	298.89	1.45
พาราฟิน 60	9	299.11	1.17

จากตารางที่ 4.3 พบว่า ค่า P-value เท่ากับ 0.146 มีค่ามากกว่า ระดับนัยสำคัญที่ 0.01 จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า มิติด้านความกว้างของคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 หรือที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

4.1.1.3 ความยาว

แผนภูมิพิสัยควบคุมมิติด้านความยาวแสดงดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 แผนภูมิพิสัยควบคุมมิติด้านความยาวของคอนกรีตบล็อก

จากภาพที่ 4.3 มิติด้านความยาวของคอนกรีตบล็อก มีค่ามาตรฐานเท่ากับ 300 ± 3 มิลลิเมตร คืออยู่ในช่วง 297 – 303 มิลลิเมตร พบว่าทั้งคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 ให้ค่าความยาวอยู่ในช่วงพิสัยบน แต่ที่อยู่ในมาตรฐานที่กำหนด

หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของมิติด้านความยาว ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว One Way Analysis of Variance (One Way ANOVA) โดยตั้งสมมติฐานหลักได้ว่า มิติด้านความกว้างของคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 ไม่แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

$$\text{สมมติฐาน } H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า}$$

$$\text{เมื่อ } \mu_1 = \text{ค่าเฉลี่ยความยาวของคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน}$$

$$\mu_2 = \text{ค่าเฉลี่ยความยาวของคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40}$$

$$\mu_3 = \text{ค่าเฉลี่ยความยาวของคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60}$$

การตัดสินใจที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.01$

ผลการทดสอบสมมติฐานมิติด้านความยาว ได้ผลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบมิติด้านความยาวของคอนกรีตบล็อก จำแนกตามประเภทส่วนผสมของคอนกรีต

แหล่งข้อมูล	DF	SS	MS	F	P
ความยาว	2	8.667	4.333	4.84	0.017
Error	24	21.500	0.896		
Total	26	30.167			

ประเภทของ คอนกรีตบล็อก	จำนวน (แผ่น)	มิติด้านความยาว	
		ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
มาตรฐาน	9	302.00	0.866
พาราฟิน 40	9	300.667	0.866
พาราฟิน 60	9	301.00	1.090

จากตารางที่ 4.4 พบว่า ค่า P-value เท่ากับ 0.017 มีค่ามากกว่า ระดับนัยสำคัญที่ 0.01 จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า มิติด้านความยาวของคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 หรือที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

สรุปผลการทดสอบด้านมิติ

ดังนั้นจึงสามารถสรุปผลการทดสอบด้านมิติได้ว่า มิติด้านความหนา ความกว้าง และความยาว ของทั้งคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 ให้ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงมาตรฐานและผลไม่แตกต่างกัน

4.1.2 การทดสอบค่าความแข็งแรง (การทดสอบแรงอัดหรือกำลังอัดของคอนกรีต)

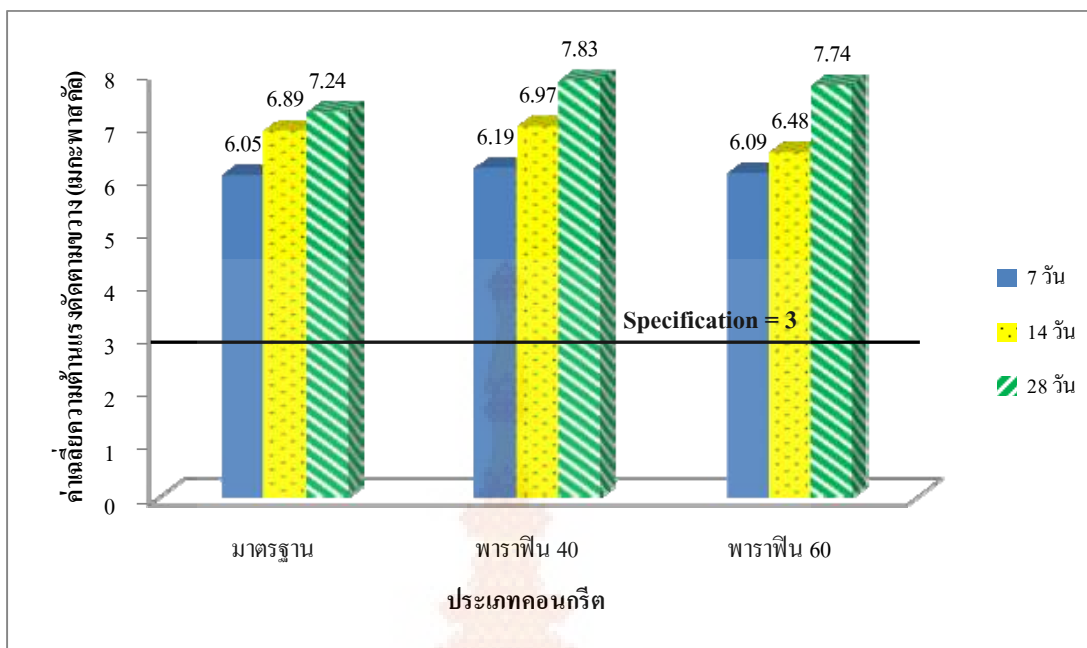
การทดสอบค่าความแข็งแรงของคอนกรีตบล็อก วัดได้จากค่าความต้านแรงดัดตามขวาง โดยมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.378-2531 กำหนดให้การรับแรงดัดตามขวางของคอนกรีตปูพื้นต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะพาสคัล และค่าเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 3 เมกะพาสคัล

การทดสอบค่าความต้านแรงคัดตามขวาง ต้องนำคอนกรีตบล็อกไปบ่มโดยการแช่น้ำเป็นเวลา 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน เพื่อเป็นการควบคุมและป้องกันไม่ให้น้ำส่วนที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาระเหยออก เพื่อช่วยให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันดำเนินการอย่างต่อเนื่อง ส่งผลต่อการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตเป็นไปอย่างสมบูรณ์ ทำให้คอนกรีตมีคุณสมบัติทนทาน ทึบน้ำ ไม่สึกกร่อน และช่วยลดการหดตัว หลังจากนั้นจึงให้แรงอัดแก่คอนกรีตจนแตกหัก ซึ่งรายละเอียดผลการบันทึกค่าความต้านแรงคัดตามขวางของคอนกรีตบล็อกทั้งหมด ได้แก่ คอนกรีตบล็อกมาตรฐาน คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค ซึ่งสามารถสรุปผลแรงคัดตามขวางได้ดังตารางที่ 4.5



ตารางที่ 4.5 สรุปค่าความต้านแรงคัดตามขวางของคอนกรีตบล็อกประเภทต่างๆ ที่ระยะเวลารับมแตกต่างกัน

ระยะเวลารับม	ความต้านแรงคัดตามขวางของประเภทคอนกรีตบล็อก (เมกะพาสคัล)											
	มาตรฐาน				พาราฟินร้อยละ 40				พาราฟินร้อยละ 60			
	1	2	3	ค่าเฉลี่ย	1	2	3	ค่าเฉลี่ย	1	2	3	ค่าเฉลี่ย
7 วัน	6.02	6.00	6.12	6.05	6.22	6.02	6.32	6.19	5.70	6.24	6.31	6.09
14 วัน	7.28	6.81	6.58	6.89	7.14	6.79	6.97	6.97	6.35	6.40	6.72	6.48
28 วัน	7.53	7.07	7.12	7.24	8.27	7.60	7.61	7.83	7.51	7.80	7.92	7.74
ค่าเฉลี่ย				6.73				7.00				6.77



ภาพที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยความต้านแรงดัดตามขวางของคอนกรีตบล็อกประเภทต่างๆ ที่ระยะเวลาบ่มที่แตกต่างกัน

สรุปผลการทดสอบความต้านแรงดัดตามขวางของคอนกรีตบล็อก จากภาพที่ 4.4 พบว่าทั้งคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 ให้ค่าความต้านแรงดัดตามขวางอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (แต่ละแผ่นไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะพาสคัล และค่าเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 3 เมกะพาสคัล)

หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าความต้านแรงดัดตามขวางของคอนกรีตประเภทต่างๆ ที่ระยะเวลาบ่มที่แตกต่างกัน ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง Two Way Analysis of Variance (Two Way ANOVA) โดยปัจจัยแรกคือจำนวนวันที่ทำการบ่มคอนกรีตบล็อก และปัจจัยที่สองคือประเภทของคอนกรีตบล็อก ว่ามีผลต่อค่าความต้านแรงดัดตามขวางของคอนกรีตบล็อกแตกต่างกันหรือไม่ จึงตั้งสมมติฐานหลักที่คอนกรีตบล็อกมาตรฐาน คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ได้ดังนี้

สมมติฐาน : จำนวนวันที่ทำการบ่มคอนกรีตมีผลต่อค่าความต้านแรงดัดตามขวางของคอนกรีตบล็อกแตกต่างกันหรือไม่

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า}$$

เมื่อ μ_1 = ค่าความต้านแรงคัดตามขวางที่ระยะเวลาการบ่มคอนกรีตบดล็อก 7 วัน

μ_2 = ค่าความต้านแรงคัดตามขวางที่ระยะเวลาการบ่มคอนกรีตบดล็อก 14 วัน

μ_3 = ค่าความต้านแรงคัดตามขวางที่ระยะเวลาการบ่มคอนกรีตบดล็อก 28 วัน

การตัดสินใจที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

สมมติฐาน : ประเภทของคอนกรีตบดล็อกมีผลต่อค่าความต้านแรงคัดตามขวางของคอนกรีตบดล็อกแตกต่างกันหรือไม่

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า}$$

เมื่อ μ_1 = ค่าความต้านแรงคัดตามขวางของคอนกรีตบดล็อกมาตรฐาน

μ_2 = ค่าความต้านแรงคัดตามขวางของคอนกรีตบดล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40

μ_3 = ค่าความต้านแรงคัดตามขวางของคอนกรีตบดล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60

การตัดสินใจที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

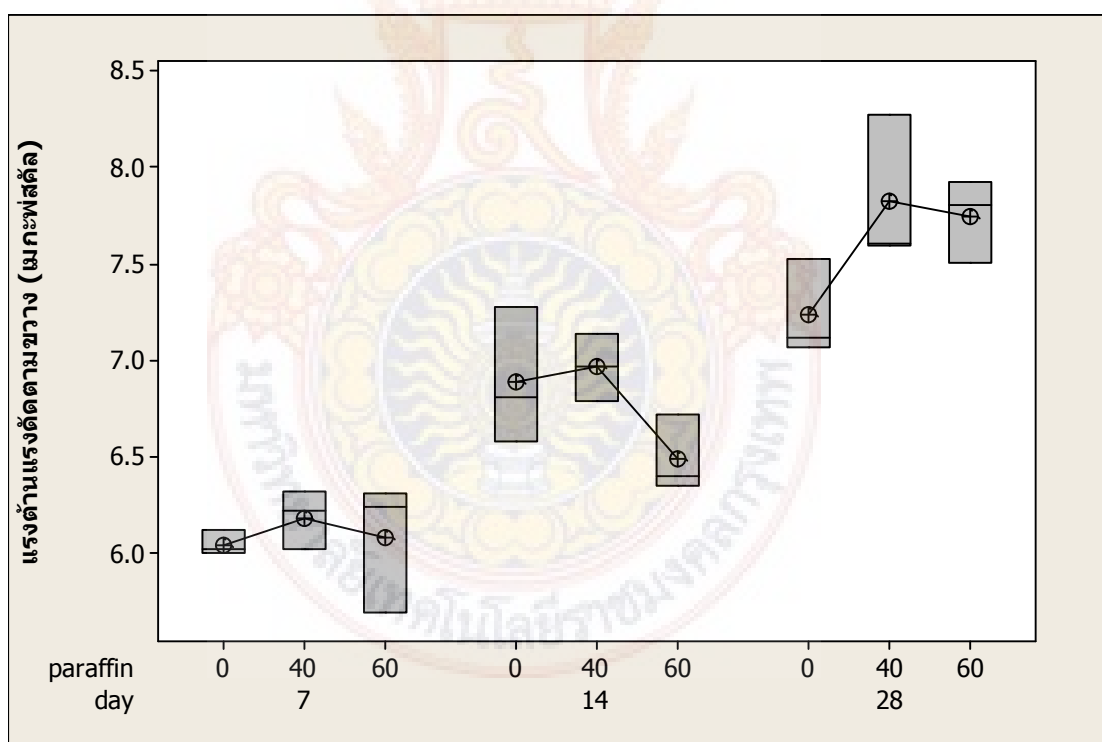
ผลการทดสอบสมมติฐานด้านความแข็งแรงของคอนกรีตบดล็อก ด้วยค่าความต้านแรงคัดตามขวางของคอนกรีต ได้ผลดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความต้านแรงคัดตามขวางของคอนกรีตบดล็อกประเภทต่างๆ ที่ระยะเวลายบ่มแตกต่างกัน

แหล่งข้อมูล	DF	SS	MS	F	P
ระยะเวลาการบ่ม	2	10.1263	5.06316	76.88	0.000
ประเภทคอนกรีต	2	0.3683	0.18416	2.80	0.088
Interaction	4	0.6609	0.16521	2.51	0.078
Error	18	1.1854	0.06586		
Total	26	12.3409			

จากตารางที่ 4.6 พบว่า Interaction ให้ค่า P-value มากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ แสดงว่าระยะเวลาการบ่มและประเภทคอนกรีตบดล็อกไม่มีผลกระทบที่เกี่ยวเนื่องต่อกัน ดังนั้นจึงศึกษาแบบวิเคราะห์แยกกัน จึงสรุปได้ว่าสมมติฐานด้านระยะเวลาการบ่ม ให้ค่า P-value น้อยกว่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าจำนวนวันที่ทำการบ่มคอนกรีตบดล็อกมีผลต่อค่าความต้านแรงคดตามขวางของคอนกรีตบดล็อกแตกต่างกัน สำหรับสมมติฐานด้านประเภทคอนกรีตบดล็อก ให้ค่า P-value มากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ประเภทคอนกรีตบดล็อกมาตรฐาน คอนกรีตบดล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบดล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 ให้ค่าความต้านแรงคดตามขวางของคอนกรีตบดล็อกไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากนั้นจึงนำไปแสดงผลด้วยแผนภูมิกล่อง (Box Plot) เพื่อศึกษาช่วงของข้อมูลทั้งหมดและความแตกต่างของค่าเฉลี่ยกับค่าสูงสุดต่ำสุด แสดงดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 Box Plot ค่าความต้านแรงคดตามขวางของคอนกรีตแต่ละชนิด ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ

จากภาพที่ 4.5 พบว่าที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน ให้ค่าแรงคดตามขวางมากที่สุด ส่วนที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน ให้ค่าแรงคดตามขวางน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการนำเสนอผลที่ผ่านมา

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า หากระยะเวลาการบ่มมาก จะให้ค่าความต้านแรงดัดตามขวางมากขึ้นด้วยเช่นกัน ซึ่งค่าความต้านแรงดัดตามขวางที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วันของคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน มีค่าเฉลี่ย 7.24 เมกะพาสคัล คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 ของหน้าตัดมีค่าเฉลี่ย 7.83 เมกะพาสคัล และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 ของหน้าตัดมีค่าเฉลี่ย 7.74 เมกะพาสคัล และพบว่าค่าความต้านทานแรงดัดต่ำสุดของคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 ยังให้ค่าสูงกว่าคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน ดังนั้นค่าเฉลี่ยความต้านแรงดัดตามขวางของคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 ให้ค่าสูงกว่าคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 และคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน

สรุปผลการทดสอบค่าความแข็งแรง

สามารถสรุปผลการทดสอบค่าความแข็งแรงได้ว่า ทั้งคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 ให้ค่าความต้านแรงดัดตามขวางอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานและไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และค่าเฉลี่ยความต้านแรงดัดตามขวางของคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 ให้ค่าสูงกว่าคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 และคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน

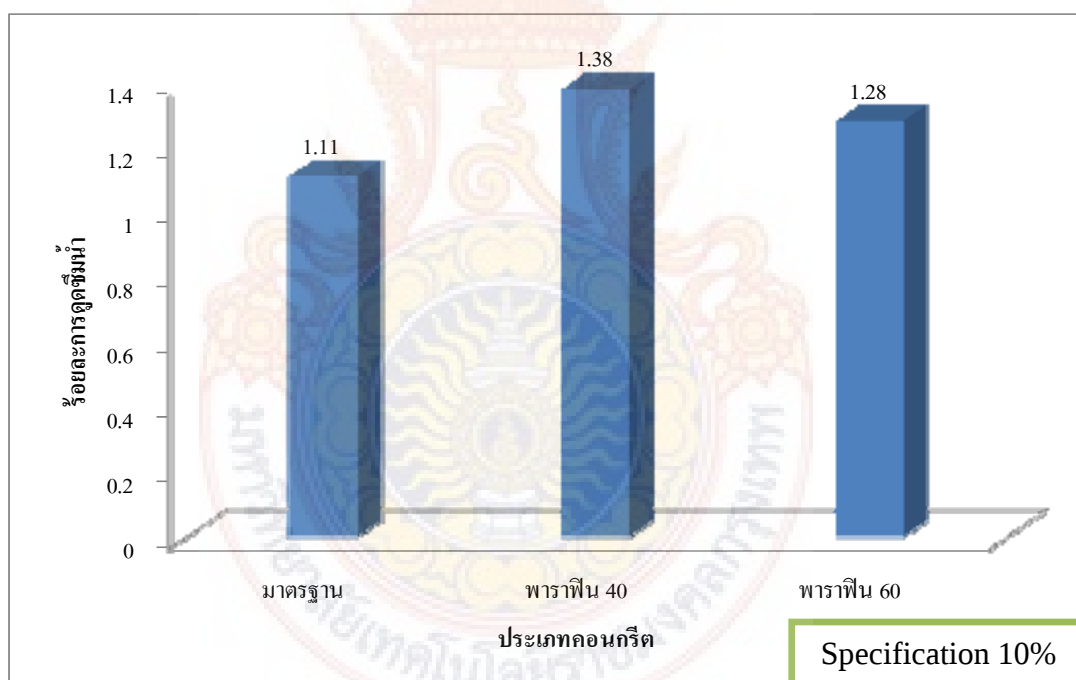
และจำนวนวันที่ทำการบ่มคอนกรีตมีผลต่อค่าความต้านแรงดัดตามขวาง โดยหากระยะเวลาการบ่มมาก จะให้ค่าความต้านแรงดัดตามขวางมากขึ้นด้วยเช่นกัน และระยะเวลาการบ่มคอนกรีตบล็อกที่ให้ค่าแรงดัดตามขวางมากที่สุดคือ 28 วัน

4.1.3 การทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ

การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกปูพื้นเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.378-2531 ต้องไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ซึ่งได้ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมาตรฐาน คอนกรีตผสมพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตผสมพาราฟินร้อยละ 60 ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อก

ตัวอย่าง	มวลตัวอย่างอบแห้ง (M_1 , กิโลกรัม)				มวลตัวอย่างอิมมersion (M_2 , กิโลกรัม)				ร้อยละ การดูดซึมน้ำ $[(M_2 - M_1)/M_1] \times 100$
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
มาตรฐาน	9.8	9.9	9.94	9.88	9.91	10.01	10.05	9.99	1.11
พาราฟิน 40	9.9	9.87	10	9.92	10.03	10.02	10.13	10.06	1.38
พาราฟิน 60	9.92	9.85	9.9	9.89	10.05	9.97	10.03	10.02	1.28



ภาพที่ 4.6 ร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกประเภทต่างๆ

จากการทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 อย่างละ 3 ตัวอย่าง ได้ค่าดังตารางที่ 4.7 นำมาแสดงผลด้วยภาพที่ 4.6 พบว่าค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกทั้งหมดทุกประเภท

อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (ไม่เกินร้อยละ 10) และให้ค่าการดูดซึมน้ำอยู่ในระดับต่ำ แต่หากเรียงลำดับการดูดซึมน้ำที่ดีที่สุดไปหาน้อยที่สุด จะได้ว่า คอนกรีตบล็อกมาตรฐาน เท่ากับร้อยละ 1.11 คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 เท่ากับร้อยละ 1.28 และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 เท่ากับร้อยละ 1.38

สรุปผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ

ดังนั้นการทดสอบการดูดซึมน้ำของทั้งคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และให้ค่าการดูดซึมน้ำอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งถือว่าคอนกรีตบล็อกอยู่ในเกณฑ์ดีมากทั้ง 3 ประเภท โดยคอนกรีตบล็อกมาตรฐานดูดซึมน้ำน้อยที่สุด และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 ดูดซึมน้ำมากที่สุด

4.1.4 การทดสอบการสะสมความร้อน

การศึกษาค่าสะสมความร้อนของคอนกรีตบล็อก ทำได้โดยการเปรียบเทียบการวัดค่าอุณหภูมิของคอนกรีตกลางแสงแดดแต่ละช่วงเวลาในอากาศปกติกับการสร้างห้องจำลองขนาด 390x390x190 มิลลิเมตรเพื่อใช้ทดสอบ และหาความแตกต่างเพื่อบ่งบอกถึงการสะสมความร้อนของคอนกรีตบล็อกที่เกิดขึ้น ดังภาพที่ 4.7



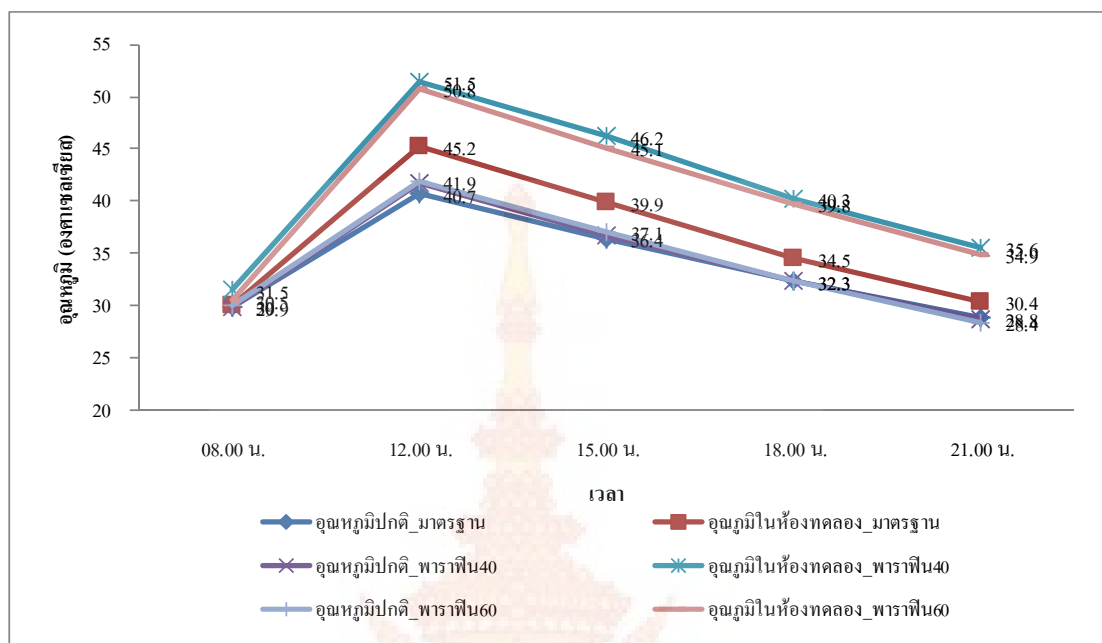
ภาพที่ 4.7 การทดสอบวัดอุณหภูมิของการสะสมความร้อน

นำผลที่ได้จากการทดลองบันทึกค่าอุณหภูมิในช่วงเวลาต่างๆ ของคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่าอุณหภูมิของการสะสมความร้อนของคอนกรีตบล็อกประเภทต่างๆ

เวลา	อุณหภูมิที่วัดได้ของแผ่นคอนกรีตบล็อกชนิดต่างๆ (องศาเซลเซียส)								
	มาตรฐาน			พาราฟิน 40			พาราฟิน 60		
	อุณหภูมิปกติ	อุณหภูมิในห้องทดลอง	ความแตกต่าง	อุณหภูมิปกติ	อุณหภูมิในห้องทดลอง	ความแตกต่าง	อุณหภูมิปกติ	อุณหภูมิในห้องทดลอง	ความแตกต่าง
08.00 น.	29.9	30.0	0.1	29.8	31.5	1.7	30.0	30.5	0.5
12.00 น.	40.7	45.2	4.5	41.7	51.5	9.8	41.9	50.8	8.9
15.00 น.	36.4	39.9	3.5	36.7	46.2	9.5	37.1	45.1	8.0
18.00 น.	32.3	34.5	2.2	32.4	40.3	7.9	32.3	39.8	7.5
21.00 น.	28.8	30.4	1.6	28.6	35.6	7.0	28.4	34.9	6.5

จากตารางที่ 4.8 นำค่าอุณหภูมิมาแสดงผลด้วยกราฟ ดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 อุณหภูมิปกติและอุณหภูมิในห้องทดลองของแผ่นคอนกรีตบล็อกแต่ละช่วงเวลา

จากภาพที่ 4.8 พบว่าอุณหภูมิในช่วงเวลา 12.00 น. ให้ค่าสูงที่สุด และจะลดลงเรื่อยๆ จนถึงเวลา 21.00 น. จะให้ค่าอุณหภูมิใกล้เคียงช่วงเวลา 8.00 น. แสดงให้เห็นว่าคอนกรีตบล็อกสามารถเก็บสะสมความร้อนระหว่างวันได้ดี และจะพบว่าค่าอุณหภูมิที่วัดได้ในห้องทดลองมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิปกติภายนอกทุกประเภทคอนกรีตบล็อก ไม่ว่าจะเป็นคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 นั้นแสดงให้เห็นว่าคอนกรีตบล็อกสามารถสะสมความร้อนได้ โดยวัสดุที่เก็บสะสมความร้อนได้ดีกว่า ซึ่งให้ค่าอุณหภูมิที่สูงที่สุดคือ คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40

จากนั้นทดสอบว่าอุณหภูมิปกติภายนอกและอุณหภูมิในห้องทดลองมีความแตกต่างกันหรือไม่ จึงใช้สถิติทดสอบ t-test โดยตั้งสมมติฐานหลักได้ว่า อุณหภูมิปกติภายนอกและอุณหภูมิในห้องทดลองของคอนกรีตบล็อกไม่มีความแตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

$$\text{สมมติฐาน } H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า}$$

$$\text{เมื่อ } \mu_1 = \text{ค่าอุณหภูมิปกติภายนอก}$$

$$\mu_2 = \text{ค่าอุณหภูมิในห้องทดลอง}$$

การตัดสินใจที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

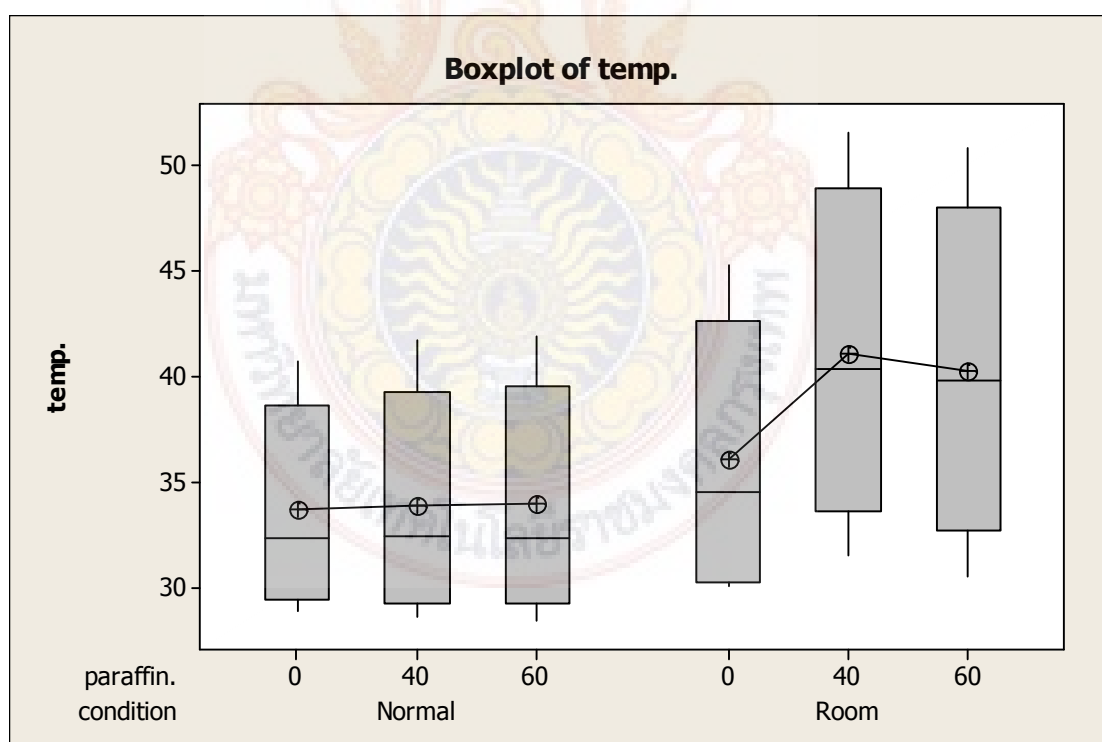
ผลการทดสอบสมมติฐานความแตกต่างของอุณหภูมิ ได้ผลดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 การเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิปกติภายนอกและอุณหภูมิในห้องทดลอง

สภาวะ	จำนวน ครั้ง	อุณหภูมิ		T	P
		ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
ปกติ	15	33.80	4.89	-2.31	0.030
ห้องทดลอง	15	39.08	7.36		

จากตารางที่ 4.9 พบว่า ค่า P-value เท่ากับ 0.030 มีค่าน้อยกว่า ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าอุณหภูมิปกติภายนอกและอุณหภูมิในห้องทดลองมีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

และนำค่าอุณหภูมิของคอนกรีตบล็อกทั้ง 3 ประเภทมาแสดงผลดังกราฟ



ภาพที่ 4.9 อุณหภูมิปกติและอุณหภูมิในห้องทดลองของแผ่นคอนกรีตบล็อกประเภทต่างๆ

จากที่ทราบว่าอุณหภูมิปกติภายนอกและอุณหภูมิในห้องทดลองมีความแตกต่างกันแล้วนั้น จากภาพที่ 4.9 พบว่าอุณหภูมิในห้องทดลองจะสูงกว่าอุณหภูมิปกติ และวัสดุคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 จะให้ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงที่สุด

อันดับต่อไปคือ การวิเคราะห์หาความแตกต่างของการสะสมความร้อนของคอนกรีตบล็อกประเภทต่างๆ ว่าแตกต่างกันหรือไม่ โดยศึกษาจากค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิปกติภายนอกกับอุณหภูมิในห้องทดลอง ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว One Way Analysis of Variance (One Way ANOVA) โดยตั้งสมมติฐานหลักได้ว่า การสะสมความร้อนของคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 ไม่แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

$$\text{สมมติฐาน } H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า}$$

เมื่อ μ_1 = ค่าเฉลี่ยการสะสมความร้อนของคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน

μ_2 = ค่าเฉลี่ยการสะสมความร้อนของคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40

μ_3 = ค่าเฉลี่ยการสะสมความร้อนของคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60

การตัดสินใจที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

ผลการทดสอบสมมติฐานของการสะสมความร้อน ได้ผลดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 การเปรียบเทียบด้านการสะสมความร้อนของคอนกรีตบล็อก จำแนกตามประเภท ส่วนผสมของคอนกรีต

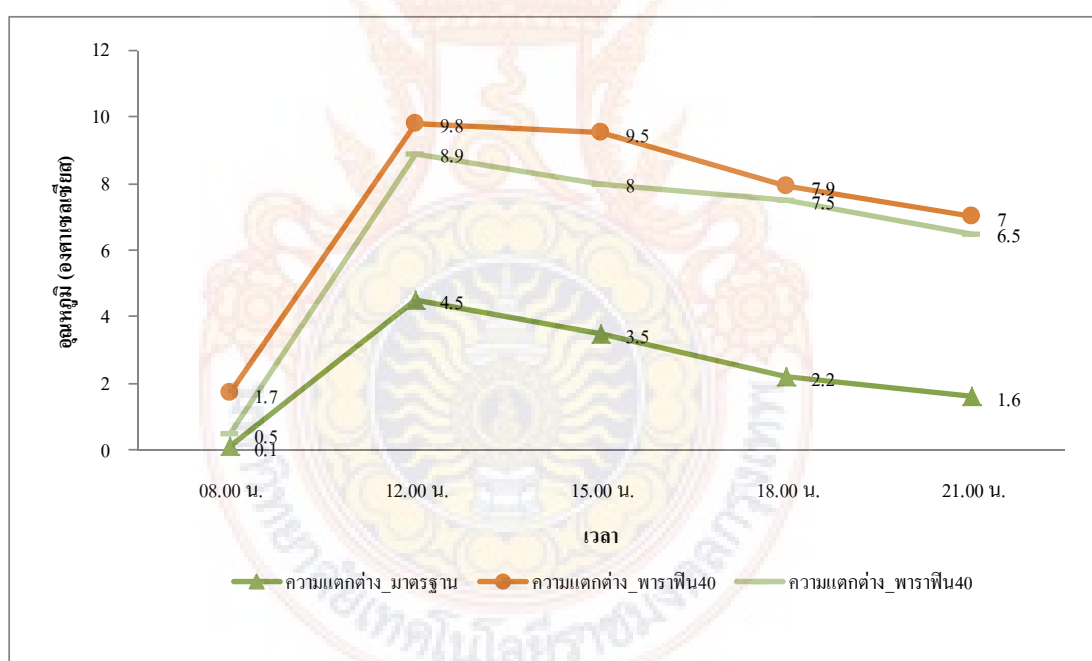
แหล่งข้อมูล	DF	SS	MS	F	P
อุณหภูมิ	2	65.10	32.55	3.94	0.048
Error	12	99.18	8.27		
Total	14	164.28			

ประเภทของ คอนกรีตบล็อก	จำนวน (แผ่น)	อุณหภูมิ	
		ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
มาตรฐาน	5	2.380	1.702
พาราฟิน 40	5	7.180	3.272
พาราฟิน 60	5	6.280	3.345

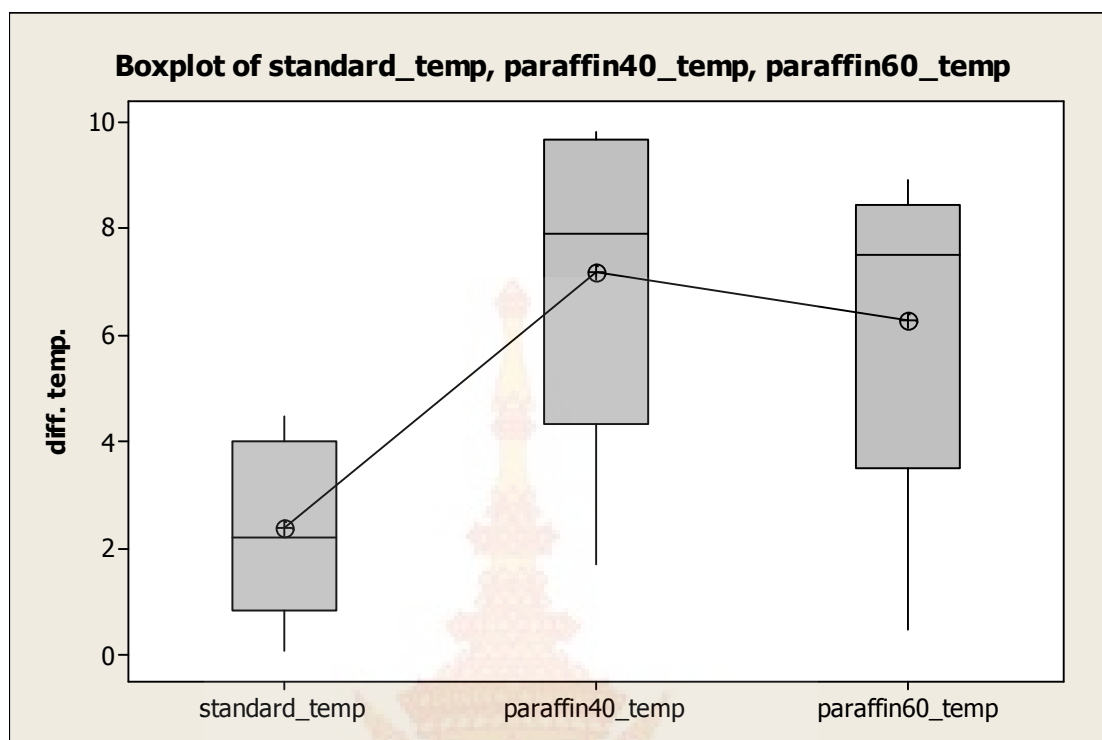
จากตารางที่ 4.10 พบว่า สมมติฐานด้านการสะสมความร้อนของคอนกรีต ให้ค่า P-value เท่ากับ 0.048 น้อยกว่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าประเภท คอนกรีตบล็อกมาตรฐาน คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟิน ร้อยละ 60 มีผลต่อการสะสมความร้อนที่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เมื่อเรียงลำดับค่าเฉลี่ยการสะสมความร้อนของคอนกรีตบล็อกจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 และคอนกรีต บล็อกมาตรฐาน เก็บอุณหภูมิได้ 7.18 6.28 และ 2.38 องศาเซลเซียส

สำหรับการเปรียบเทียบโดยการหาความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิปกติภายนอกกับอุณหภูมิ ในห้องทดลองของคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีต บล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 ในแต่ละช่วงเวลา แสดงผลดังภาพที่ 4.10 และภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.10 ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิปกติกับอุณหภูมิในห้องทดลองของแผ่นคอนกรีตบล็อกแต่ละช่วงเวลา



ภาพที่ 4.11 ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิปกติกับอุณหภูมิในห้องทดลองของคอนกรีตบล็อก

จากภาพที่ 4.10 และภาพที่ 4.11 พบว่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิปกติกับอุณหภูมิในห้องทดลองของคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 ให้ค่ามากที่สุด และลดลงตามช่วงเวลาอย่างช้า ๆ แสดงว่าคอนกรีตบล็อกชนิดนี้สามารถสะสมความร้อนได้ดีกว่าคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 และคอนกรีตบล็อกมาตรฐานตามลำดับ

สรุปผลการทดสอบการสะสมความร้อน

ค่าอุณหภูมิปกติภายนอกและอุณหภูมิในห้องทดลองของคอนกรีตบล็อกมีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และอุณหภูมิในห้องทดลองจะสูงกว่าอุณหภูมิปกติ โดยวัสดุคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 จะให้ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุด

สำหรับประเภทคอนกรีตนั้น มีผลต่อการสะสมความร้อนที่ต่างกัน โดยคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 ให้ค่าอุณหภูมิที่สะสมได้มากที่สุด และลดลงตามช่วงเวลาอย่างช้า ๆ รองลงมาคือคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 และคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าพาราฟินที่ใส่เข้าไปในแผ่นคอนกรีตบล็อกส่งผลต่อการสะสมความร้อนได้ดีขึ้น ดังแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาและอุณหภูมิที่วัดได้ พบว่าการสะสม

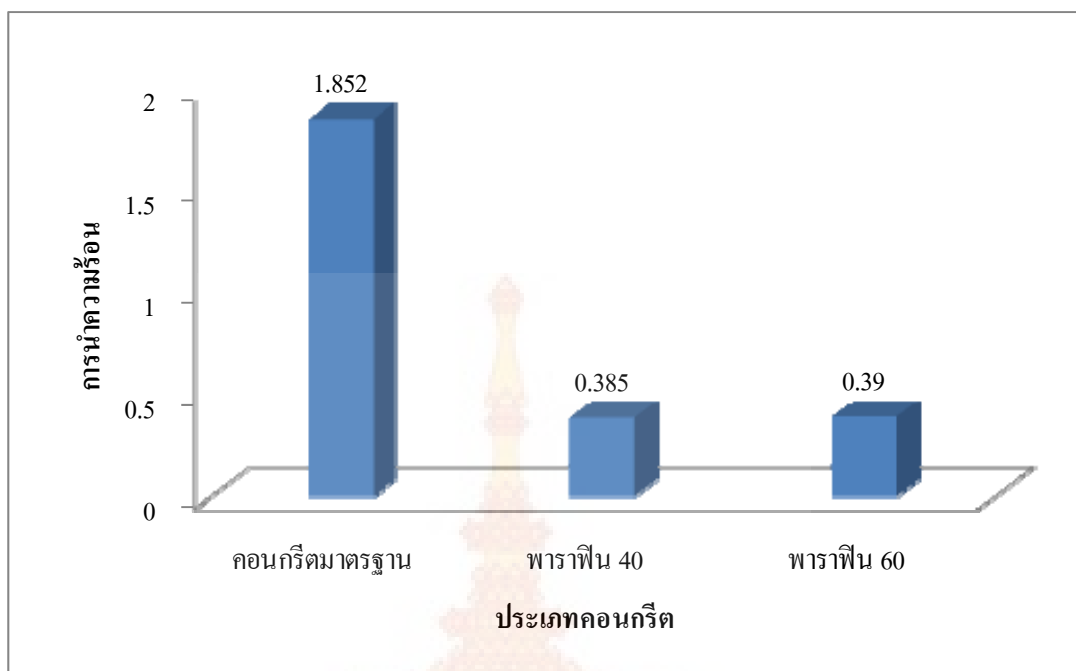
ความร้อนของแผ่นคอนกรีตบล็อกที่มีพาราฟินนั้นให้ค่าการสะสมความร้อนที่สูงกว่าแผ่นคอนกรีตบล็อกโดยทั่วไป และยังพบว่าการใช้พาราฟินมากถึงร้อยละ 60 นั้น ไม่ได้ช่วยทำให้การสะสมความร้อนดีกว่าแผ่นที่มีพาราฟินร้อยละ 40 แต่อย่างใด นั่นอาจเป็นเพราะพื้นผิวคอนกรีตมีความเป็นรูพรุนสูงกว่านั่นเอง

4.1.5 การทดสอบการนำความร้อน

ค่าการนำความร้อนเป็นสมบัติเชิงความร้อนของวัสดุที่บ่งบอกถึงอัตราเร็วของการส่งผ่านพลังงานความร้อนโดยการนำความร้อนของสารต่างๆ วัสดุแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการนำความร้อนได้แตกต่างกัน วัสดุที่มีค่าการนำความร้อนสูงแสดงว่าสามารถนำความร้อนได้ดี ส่วนวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนต่ำเรียกว่าฉนวน จะใช้เพื่อต้องการเก็บรักษาอุณหภูมิไว้ในวัสดุนั้นๆ เช่น คอนกรีตบล็อกที่ต้องการสะสมความร้อนนี้ ดังนั้นจึงทดลองวัดค่าการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ค่าการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกประเภทต่างๆ

ประเภทคอนกรีตบล็อก	ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) , W/(m*K)
มาตรฐาน	1.852
พาราฟินร้อยละ 40	0.385
พาราฟินร้อยละ 60	0.390



ภาพที่ 4.12 ค่าการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกประเภทต่างๆ

จากภาพที่ 4.12 พบว่าเมื่อใส่พาราฟินในแผ่นคอนกรีตบล็อก จะทำให้ความสามารถในการนำความร้อนน้อยลงมาก ซึ่งการนำความร้อนนี้เป็นผลทำให้เกิดการแผ่ความร้อนลงสู่พื้นล่างและทุกทิศทางของแผ่นคอนกรีตบล็อก ซึ่งแสดงว่ามีความสามารถในการเก็บสะสมความร้อนได้ดีขึ้น และจากการทดลองสรุปได้ว่าคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 ให้ค่าการนำความร้อนต่ำที่สุด เท่ากับ 0.385 ย่อมหมายความว่ามีความสามารถในการเก็บสะสมความร้อนได้ดีที่สุด

สรุปผลการนำความร้อน

คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 ให้ค่าการนำความร้อนต่ำที่สุด หมายความว่ามีความสามารถในการเก็บสะสมความร้อนได้ดีที่สุด รองลงมาคือคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 และคอนกรีตบล็อกมาตรฐานตามลำดับ

4.1.6 สรุปผลการทดสอบสมบัติคอนกรีตบล็อก

จากการทดสอบสมบัติของคอนกรีตบล็อกทั้ง 3 ประเภท คือ คอนกรีตบล็อกมาตรฐาน คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 ด้วยการ

ทดสอบ 5 รายการ ได้แก่ การทดสอบมิติ ความแข็งแรง การดูดซึมน้ำ การสะสมความร้อน และการนำความร้อน ได้ผลสรุปดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 สรุปผลการทดสอบสมบัติคอนกรีตบล็อกประเภทต่างๆ

ลำดับ	รายการ ทดสอบสมบัติ คอนกรีตบล็อก	เกณฑ์ มาตรฐาน	ประเภทคอนกรีตบล็อก			การตัดสินใจ
			มาตรฐาน	พาราฟิน 40	พาราฟิน 60	
1	มิติ	50*300*300 (± 3 มม. ³)	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	-
2	ความแข็งแรง (28 วัน)	≥ 3 เมกะ พาสคัล	7.24 (ผ่าน)	7.83 (ผ่าน)	7.74 (ผ่าน)	พาราฟิน ร้อยละ 40
3	การดูดซึมน้ำ	$\leq$ ร้อยละ 10	1.11 (ผ่าน)	1.38 (ผ่าน)	1.28 (ผ่าน)	คอนกรีต มาตรฐาน
4	การสะสมความร้อน	-	2.38	7.18	6.28	พาราฟิน ร้อยละ 40
5	การนำความร้อน	-	1.852	0.385	0.390	พาราฟิน ร้อยละ 40

หมายเหตุ : การทดสอบลำดับที่ 1, 2 และ 3 ต้องผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.

สรุปผลการทดสอบสมบัติคอนกรีตบล็อกดังตารางที่ 4.12 นั้น สรุปได้ว่ารายการทดสอบที่ต้องเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 378-2531 มี 3 รายการ คือ ด้านมิติ ความแข็งแรง และการดูดซึมน้ำ ซึ่งคอนกรีตทั้ง 3 ประเภท คือ คอนกรีตบล็อกมาตรฐาน คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 มีความแข็งแรงมากที่สุดที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน แต่คอนกรีตบล็อกมาตรฐานมีการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด ดังนั้นเมื่อพิจารณาการทดสอบด้านการสะสมความร้อนและการนำความร้อน พบว่าคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินให้ค่าที่ดี แสดงว่าพาราฟินมีกลไกสำคัญที่ช่วยเก็บสะสมพลังงานความร้อนอยู่ในรูปของพลังงานความร้อนแฝงจนทำให้พาราฟินเปลี่ยนสถานะได้ แต่พาราฟินที่ร้อยละ 60 จะละลายเมื่อได้รับความร้อนและซึมออกมาที่

ผิวของคอนกรีต ทำให้สูญเสียการสะสมความร้อนได้มากกว่าพาราฟินที่ร้อยละ 40 ดังนั้นคอนกรีตผสมพาราฟินร้อยละ 40 ให้ผลดีที่สุดทั้ง 2 รายการทดสอบ งานวิจัยนี้จึงตัดสินใจเลือกใช้พาราฟินร้อยละ 40 เป็นตัวอย่างในการใส่ในแผ่นคอนกรีตบล็อก

4.2 ผลการทดสอบสมบัติคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาส

จากการทดลองเลือกวัสดุเพื่อพัฒนาให้คอนกรีตบล็อกมีความสามารถในการสะสมความร้อนได้ดียิ่งขึ้นในเบื้องต้นนั้น ได้ผลว่าคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 ให้การสะสมความร้อนที่ดีที่สุด แต่ค่าการดูดซึมน้ำยังให้ผลไม่ดีเท่าที่ควร ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงจะทำการศึกษาพัฒนาคอนกรีตบล็อกให้มีความสามารถในการสะสมความร้อนและการดูดซึมน้ำที่ดีขึ้นต่อไป โดยเลือกวัสดุที่มีความสามารถในการดูดความชื้น และป้องกันการถ่ายเทความร้อนมาใช้ผสมในคอนกรีตบล็อกเพื่อให้ได้คุณสมบัติที่ดีขึ้น จึงทดลองผสมเกลือในส่วนผิวหน้าคอนกรีตบล็อก เพื่อศึกษาการดูดความชื้นที่เกิดขึ้น และผสมผงไฟเบอร์ที่ด้านล่างของแผ่นคอนกรีตบล็อก เพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนลงสู่พื้นล่างของแผ่นคอนกรีตบล็อก โดยทดลองในสัดส่วนที่ผสมไฟเบอร์กลาสร้อยละ 5 ร้อยละ 10 และร้อยละ 15 ของปูนซีเมนต์ และผสมเกลือร้อยละ 5 ร้อยละ 10 ร้อยละ 15 ของปูนซีเมนต์

การเตรียมตัวอย่างทำได้โดยผสมไฟเบอร์กลาสลงบนชั้นที่ 1 ในสัดส่วนร้อยละ 5 10 และ 15 ของน้ำหนักคอนกรีต และผสมเกลือแกงในชั้นที่ 3 ในสัดส่วนร้อยละ 5 10 และ 15 ของน้ำหนักคอนกรีต โดยยังคงมีพาราฟินร้อยละ 40 ในชั้นที่ 2 ของคอนกรีตตามผลการทดลองในเบื้องต้นแล้ว ได้สูตรการทดลอง 6 สูตรดังนี้

- 1) สูตรที่ 1 พาราฟิน : เกลือ : ไฟเบอร์กลาส เท่ากับ 40 : 5 : 5
- 2) สูตรที่ 2 พาราฟิน : เกลือ : ไฟเบอร์กลาส เท่ากับ 40 : 10 : 5
- 3) สูตรที่ 3 พาราฟิน : เกลือ : ไฟเบอร์กลาส เท่ากับ 40 : 15 : 5
- 4) สูตรที่ 4 พาราฟิน : เกลือ : ไฟเบอร์กลาส เท่ากับ 40 : 5 : 10
- 5) สูตรที่ 5 พาราฟิน : เกลือ : ไฟเบอร์กลาส เท่ากับ 40 : 10 : 10
- 6) สูตรที่ 6 พาราฟิน : เกลือ : ไฟเบอร์กลาส เท่ากับ 40 : 15 : 10

ซึ่งสามารถสรุปผลการทดสอบสมบัติของคอนกรีตบล็อกทั้ง 6 สูตร เปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกพาราฟินร้อยละ 40 ที่ได้เลือกจากการทดสอบในเบื้องต้น โดยมีรายละเอียดการทดสอบดังนี้

4.2.1 การทดสอบมิติ

การเปรียบเทียบมิติแผ่นคอนกรีตบดอัดผสมพาราฟินร้อยละ 40 ทั้ง 6 สูตรกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.378-2531 ซึ่งต้องมีเกณฑ์การคลาดเคลื่อนไม่เกิน 3 มิลลิเมตรจากค่าคอนกรีตมาตรฐาน คือ ความหนา 50 มิลลิเมตร ความกว้าง 300 มิลลิเมตร และความยาว 300 มิลลิเมตร ได้ผลดังนี้

4.2.1.1 ความหนา

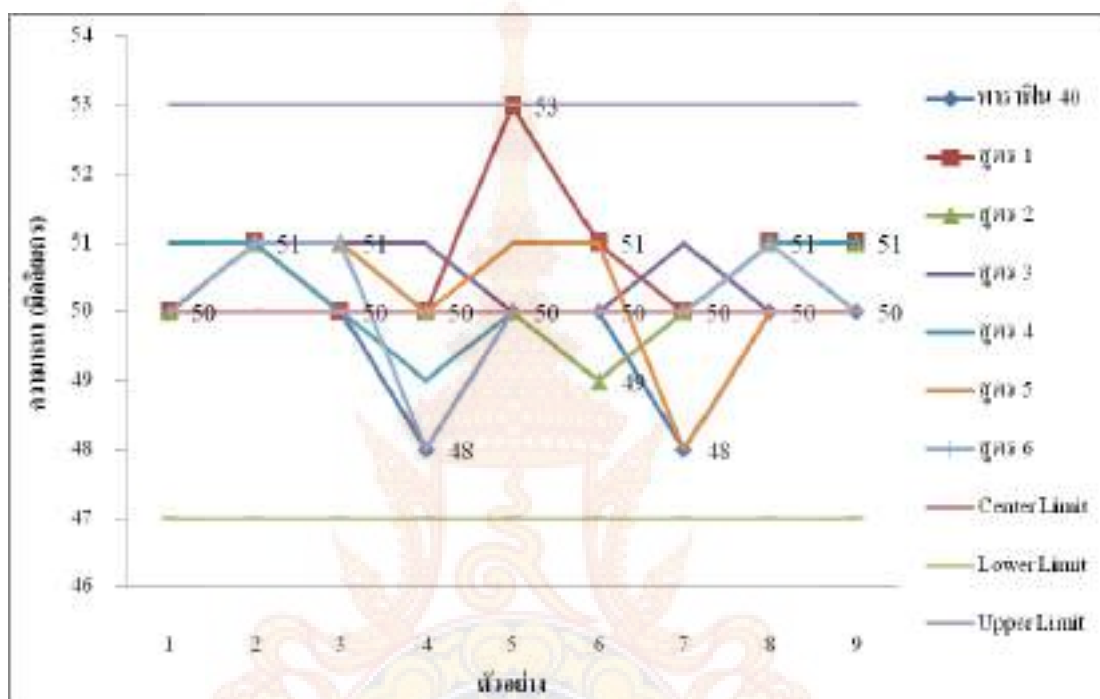
การทดสอบมิติด้านความหนาของคอนกรีตบดอัดพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาส ได้ผลดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบมิติด้านความหนาของแผ่นคอนกรีตบดอัดพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาส

ตัวอย่าง	ความหนา (มิลลิเมตร)						
	พาราฟิน 40	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5	สูตร 6
1	50	50	50	50	51	50	50
2	51	51	51	51	51	51	51
3	50	50	51	51	50	51	51
4	48	50	50	51	49	50	48
5	50	53	50	50	50	51	50
6	50	51	49	50	50	51	50
7	48	50	50	51	50	48	50
8	50	51	51	50	51	50	51
9	50	51	51	50	51	50	50
ค่าเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	49.67	50.78	50.33	50.44	50.33	50.22	50.11

โดยสรุปพบว่า ค่าความหนาเฉลี่ยของคอนกรีตบดอัดผสมพาราฟินร้อยละ 40 เท่ากับ 49.67 มิลลิเมตร และคอนกรีตบดอัดพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสทั้ง 6 สูตร มีค่าอยู่ในช่วง 50.11 – 50.78 มิลลิเมตร ซึ่งสูตรที่ 1 ให้ค่ามากที่สุด และสูตรที่ 6 ให้ค่าน้อยที่สุด

จากผลการทดสอบมิติด้านความหนาของคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาส สามารถนำไปวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิพิสัยควบคุมเพื่อดูขอบเขตของมิติความหนาของแผ่นคอนกรีตบล็อกพาราฟินที่ทดสอบว่าอยู่ในช่วงพิสัยของค่ามาตรฐาน (50 มิลลิเมตร) หรือไม่ ดังแสดงในภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.13 แผนภูมิพิสัยควบคุมมิติด้านความหนาของคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาส

จากภาพที่ 4.13 มิติด้านความหนาของคอนกรีตบล็อกมีค่ามาตรฐานเท่ากับ 50 ± 3 มิลลิเมตร และจากตัวอย่างที่ทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 48 – 53 มิลลิเมตร พบว่าทั้งคอนกรีตพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสทั้ง 6 สูตร ให้ค่าความหนาอยู่ในมาตรฐานที่กำหนด

หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของมิติด้านความหนา ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว One Way Analysis of Variance (One Way ANOVA) โดยตั้งสมมติฐานหลักได้ว่า มิติด้านความหนาของคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินทั้ง 6 สูตรไม่แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

สมมติฐาน $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_7$

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5 \neq \mu_6 \neq \mu_7$ อย่างน้อย 1 ค่า

เมื่อ μ_1 = ค่าเฉลี่ยความหนาของคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40

μ_2 = ค่าเฉลี่ยความหนาของคอนกรีตสูตร 1

μ_3 = ค่าเฉลี่ยความหนาของคอนกรีตสูตร 2

μ_4 = ค่าเฉลี่ยความหนาของคอนกรีตสูตร 3

μ_5 = ค่าเฉลี่ยความหนาของคอนกรีตสูตร 4

μ_6 = ค่าเฉลี่ยความหนาของคอนกรีตสูตร 5

μ_7 = ค่าเฉลี่ยความหนาของคอนกรีตสูตร 6

การตัดสินใจที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

ผลการทดสอบสมมติฐานมีมติด้านความหนา ได้ผลดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 การเปรียบเทียบมีติด้านความหนาของคอนกรีตบล็อกพาราฟิน จำแนกตามประเภท ส่วนผสมของคอนกรีต

แหล่งข้อมูล	DF	SS	MS	F	P
ความหนา	6	6.190	1.032	1.44	0.217
Error	56	40.222	0.718		
Total	62	46.413			

ประเภทของ คอนกรีตบล็อก	จำนวน (แผ่น)	มีติด้านความหนา	
		ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
พาราฟิน 40	9	49.667	1.000
สูตร 1	9	50.778	0.972
สูตร 2	9	50.333	0.707
สูตร 3	9	50.444	0.527
สูตร 4	9	50.333	0.707
สูตร 5	9	50.222	0.972
สูตร 6	9	50.111	0.928

จากตารางที่ 4.14 พบว่า ค่า P-value เท่ากับ 0.217 มีค่ามากกว่า ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า มิติด้านความหนาของคอนกรีตบล็อก พาราฟิน และคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสทั้ง 6 สูตรไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.2.1.2 ความกว้าง

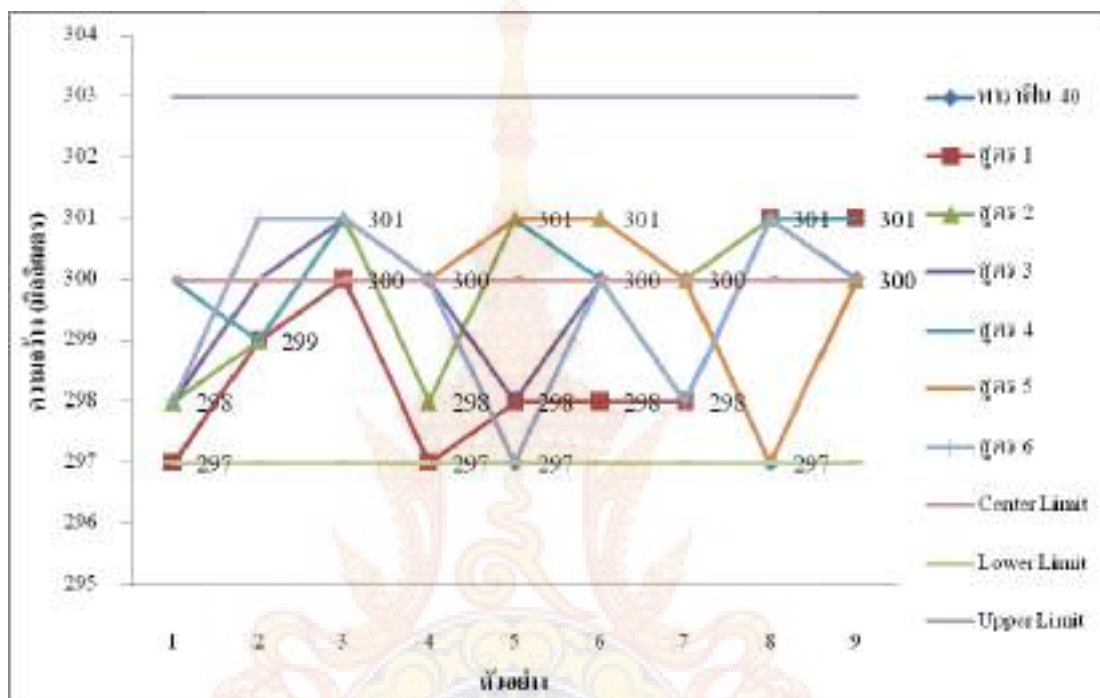
การทดสอบมิติด้านความกว้างของคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาส ได้ผลดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบมิติด้านความกว้างของแผ่นคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาส

ตัวอย่าง	ความกว้าง (มิลลิเมตร)						
	พาราฟิน 40	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5	สูตร 6
1	297	297	298	298	300	298	298
2	299	299	299	300	299	301	301
3	300	300	301	301	301	301	301
4	300	297	298	300	300	300	300
5	297	298	301	298	301	301	297
6	300	298	301	300	300	301	300
7	300	298	300	298	298	300	298
8	297	301	301	301	301	297	301
9	300	301	300	300	301	300	300
ค่าเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	298.89	298.78	299.89	299.56	300.11	299.89	299.56

โดยสรุปพบว่า ค่าความกว้างเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 เท่ากับ 298.89 มิลลิเมตร และคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสทั้ง 6 สูตร มีค่าอยู่ในช่วง 298.78 – 300.11 มิลลิเมตร ซึ่งสูตรที่ 4 ให้ค่ามากที่สุด และสูตรที่ 1 ให้ค่าน้อยที่สุด

จากผลการทดสอบมิติด้านความกว้างของคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกล็ดและไฟเบอร์กลาส สามารถนำไปวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิพิสัยควบคุมเพื่อดูขอบเขตของมิติความกว้างของแผ่นคอนกรีตบล็อกพาราฟินที่ทดสอบว่าอยู่ในช่วงพิสัยของค่ามาตรฐาน (300 มิลลิเมตร) หรือไม่ ดังแสดงในภาพที่ 4.14



ภาพที่ 4.14 แผนภูมิพิสัยควบคุมมิติด้านความกว้างของคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกล็ดและไฟเบอร์กลาส

จากภาพที่ 4.14 มิติด้านความกว้างของคอนกรีตบล็อกมีค่ามาตรฐานเท่ากับ 300 ± 3 มิลลิเมตร และจากตัวอย่างที่ทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 297 – 301 มิลลิเมตร พบว่าทั้งคอนกรีตบล็อกพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกล็ดและไฟเบอร์กลาสทั้ง 6 สูตร ให้ค่าความกว้างอยู่ในมาตรฐานที่กำหนด

หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของมิติด้านความกว้าง ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว One Way Analysis of Variance (One Way ANOVA) โดยตั้งสมมติฐานหลักได้ว่า มิติด้านความกว้างของคอนกรีตบล็อกพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกพาราฟินทั้ง 6 สูตรไม่แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

สมมติฐาน $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_7$

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5 \neq \mu_6 \neq \mu_7$ อย่างน้อย 1 ค่า

เมื่อ μ_1 = ค่าเฉลี่ยความกว้างของคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40

μ_2 = ค่าเฉลี่ยความกว้างของคอนกรีตสูตร 1

μ_3 = ค่าเฉลี่ยความกว้างของคอนกรีตสูตร 2

μ_4 = ค่าเฉลี่ยความกว้างของคอนกรีตสูตร 3

μ_5 = ค่าเฉลี่ยความกว้างของคอนกรีตสูตร 4

μ_6 = ค่าเฉลี่ยความกว้างของคอนกรีตสูตร 5

μ_7 = ค่าเฉลี่ยความกว้างของคอนกรีตสูตร 6

การตัดสินใจที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

ผลการทดสอบสมมติฐานมิติด้านความกว้าง ได้ผลดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 การเปรียบเทียบมิติด้านความกว้างของคอนกรีตบล็อกพาราฟิน จำแนกตามประเภท ส่วนผสมของคอนกรีต

แหล่งข้อมูล	DF	SS	MS	F	P
ความกว้าง	6	14.16	2.36	1.25	0.294
Error	56	105.56	1.88		
Total	62	119.71			

ประเภทของ คอนกรีตบล็อก	จำนวน (แผ่น)	มิติด้านความกว้าง	
		ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
พาราฟิน 40	9	298.89	1.45
สูตร 1	9	298.78	1.56
สูตร 2	9	299.89	1.27
สูตร 3	9	299.56	1.24
สูตร 4	9	300.11	1.05
สูตร 5	9	299.89	1.45
สูตร 6	9	299.56	1.51

จากตารางที่ 4.16 พบว่า ค่า P-value เท่ากับ 0.294 มีค่ามากกว่า ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า มิติด้านความกว้างของคอนกรีตบล็อกพาราฟิน และคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสทั้ง 6 สูตรไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.2.1.3 ความยาว

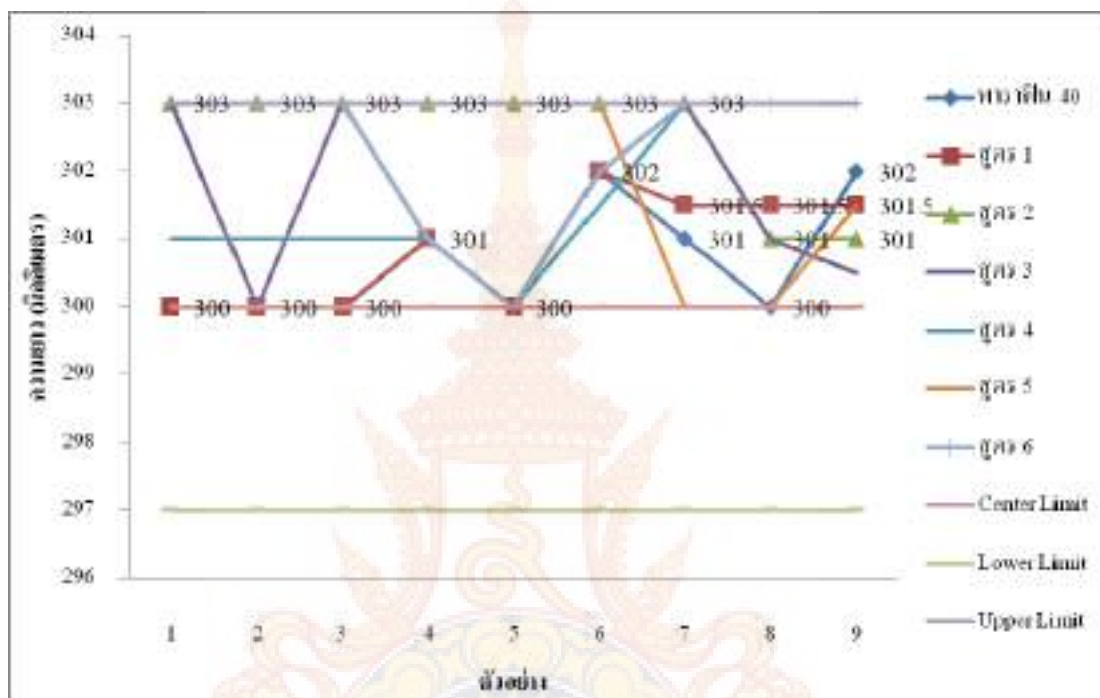
การทดสอบมิติด้านความยาวของคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาส ได้ผลดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ผลการทดสอบมิติด้านความยาวของแผ่นคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาส

ตัวอย่าง	ความยาว (มิลลิเมตร)						
	พาราฟิน 40	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5	สูตร 6
1	300	300	303	303	301	303	303
2	300	300	303	300	301	303	303
3	300	300	303	303	301	303	303
4	301	301	303	301	301	303	301
5	300	300	303	300	300	303	300
6	302	302	303	302	301.50	303	302
7	301	301.50	303	303	303	300	303
8	300	301.50	301	301	303	300	303
9	302	301.50	301	300.50	303	301.50	303
ค่าเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	300.67	300.83	302.56	301.50	301.61	302.17	302.33

โดยสรุปพบว่า ค่าความยาวเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 เท่ากับ 300.67 มิลลิเมตร และคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสทั้ง 6 สูตร มีค่าอยู่ในช่วง 300.83 – 302.56 มิลลิเมตร ซึ่งสูตรที่ 2 ให้ค่ามากที่สุด และสูตรที่ 1 ให้ค่าน้อยที่สุด

จากผลการทดสอบมิติด้านความยาวของคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาส สามารถนำไปวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิพิสัยควบคุมเพื่อดูขอบเขตของมิติความยาวของแผ่นคอนกรีตบล็อกพาราฟินที่ทดสอบว่าอยู่ในช่วงพิสัยของค่ามาตรฐาน (300 มิลลิเมตร) หรือไม่ ดังแสดงในภาพที่ 4.15



ภาพที่ 4.15 แผนภูมิพิสัยควบคุมมิติด้านความยาวของคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาส

จากภาพที่ 4.15 มิติด้านความยาวของคอนกรีตบล็อกมีค่ามาตรฐานเท่ากับ 300 ± 3 มิลลิเมตร และจากตัวอย่างที่ทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 300 – 303 มิลลิเมตร พบว่าทั้งคอนกรีตบล็อกพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสทั้ง 6 สูตร ให้ค่าความยาวอยู่ในมาตรฐานที่กำหนด แต่มีค่าอยู่ในช่วงพิสัยบน

หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของมิติด้านความยาว ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว One Way Analysis of Variance (One Way ANOVA) โดยตั้งสมมติฐานหลักได้ว่า มิติด้านความยาวของคอนกรีตบล็อกพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกพาราฟินทั้ง 6 สูตรไม่แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

สมมติฐาน $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_7$

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5 \neq \mu_6 \neq \mu_7$ อย่างน้อย 1 ค่า

เมื่อ μ_1 = ค่าเฉลี่ยความยาวของคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40

μ_2 = ค่าเฉลี่ยความยาวของคอนกรีตสูตร 1

μ_3 = ค่าเฉลี่ยความยาวของคอนกรีตสูตร 2

μ_4 = ค่าเฉลี่ยความยาวของคอนกรีตสูตร 3

μ_5 = ค่าเฉลี่ยความยาวของคอนกรีตสูตร 4

μ_6 = ค่าเฉลี่ยความยาวของคอนกรีตสูตร 5

μ_7 = ค่าเฉลี่ยความยาวของคอนกรีตสูตร 6

การตัดสินใจที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

ผลการทดสอบสมมติฐานมิติด้านความยาว ได้ผลดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.18 การเปรียบเทียบมิติด้านความยาวของคอนกรีตบล็อกพาราฟิน จำแนกตามประเภท ส่วนผสมของคอนกรีต

แหล่งข้อมูล	DF	SS	MS	F	P
ความกว้าง	6	28.89	4.81	4.17	0.002
Error	56	64.61	1.15		
Total	62	93.50			

ประเภทของ คอนกรีตบล็อก	จำนวน (แผ่น)	มิติด้านความยาว	
		ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
พาราฟิน 40	9	300.67	0.87
สูตร 1	9	300.83	0.83
สูตร 2	9	302.56	0.88
สูตร 3	9	301.50	1.27
สูตร 4	9	301.61	1.11
สูตร 5	9	302.17	1.32
สูตร 6	9	302.33	1.12

จากตารางที่ 4.18 พบว่า ค่า P-value เท่ากับ 0.002 มีค่าน้อยกว่า ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า มิติด้านความยาวของคอนกรีตบล็อกพาราฟิน และคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสทั้ง 6 สูตรแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งอาจเกิดจากความคลาดเคลื่อนจากการเทแบบคอนกรีต แต่อย่างไรก็ตามคอนกรีตบล็อกทุกสูตรผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด

สรุปผลการทดสอบด้านมิติ

สามารถสรุปผลการทดสอบด้านมิติได้ว่า มิติด้านความหนา ความกว้าง และความยาว ของทั้งคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาส ให้ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงมาตรฐานทั้งหมด

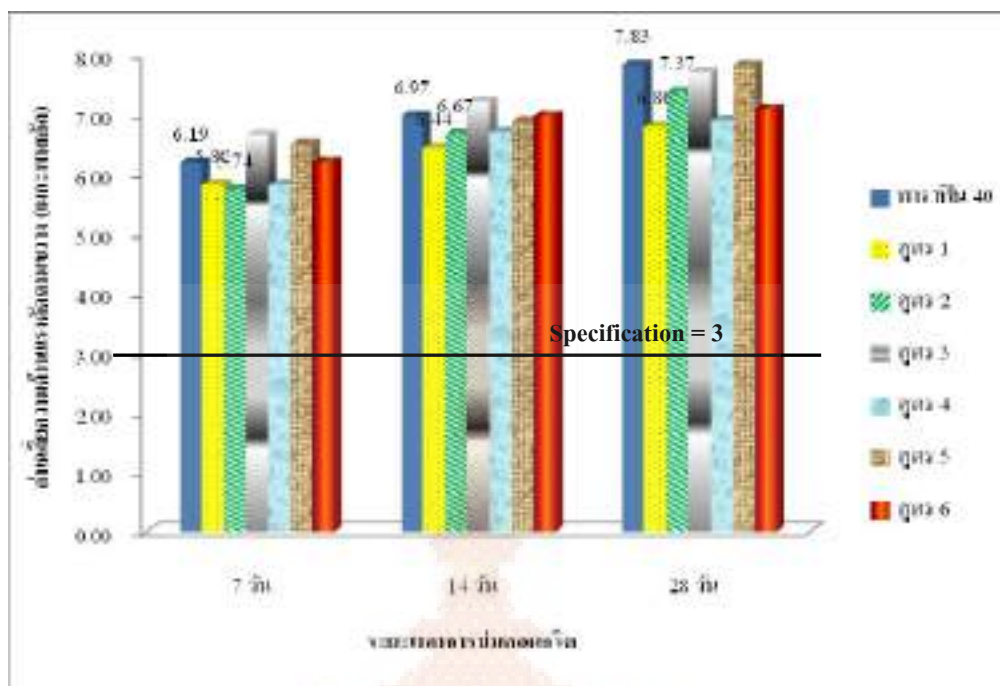
4.2.2 การทดสอบค่าความแข็งแรง (การทดสอบแรงอัดหรือกำลังอัดของคอนกรีต)

การทดสอบค่าความแข็งแรงของคอนกรีตบล็อก วัดได้จากค่าความต้านแรงดัดตามขวาง โดยมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.378-2531 กำหนดให้การรับแรงดัดตามขวางของคอนกรีตปูพื้นต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะพาสคัล และค่าเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 3 เมกะพาสคัล

การทดสอบค่าความต้านแรงดัดตามขวาง ต้องนำคอนกรีตบล็อกไปบ่ม โดยการแช่ในน้ำเป็นเวลา 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน เพื่อเป็นการควบคุมและป้องกันไม่ให้น้ำส่วนที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาระเหยออก ส่งผลต่อการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกเป็นไปอย่างสมบูรณ์ ทำให้คอนกรีตบล็อกมีคุณสมบัติทนทาน ทึบน้ำ ไม่สึกกร่อน และช่วยลดการหดตัว หลังจากนั้นจึงให้แรงอัดแก่คอนกรีตจนแตกหัก ซึ่งรายละเอียดผลการบันทึกค่าความต้านแรงดัดตามขวางของคอนกรีตบล็อกทั้งหมดที่ต้องการเปรียบเทียบเพื่อพัฒนา ได้แก่ คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสทั้ง 6 สูตร ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ง ซึ่งสามารถสรุปผลแรงดัดตามขวางได้ดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 สรุปค่าความต้านแรงค้ำตามขวางของคอนกรีตบล็อกพาราฟินประเภทต่างๆ ที่ระยะเวลาบ่มแตกต่างกัน

ประเภท คอนกรีตบล็อก	ความต้านแรงค้ำตามขวางตามระยะเวลาการบ่ม (เมกะพาสคัล)											
	7 วัน				14 วัน				28 วัน			
	1	2	3	ค่าเฉลี่ย	1	2	3	ค่าเฉลี่ย	1	2	3	ค่าเฉลี่ย
พาราฟิน 40	6.22	6.02	6.32	6.19	7.14	6.79	6.97	6.97	8.27	7.60	7.61	7.83
สูตร 1	5.86	5.59	6.00	5.82	6.85	6.06	6.41	6.44	7.08	6.80	6.51	6.80
สูตร 2	5.92	5.69	5.61	5.74	6.51	6.60	6.90	6.67	7.49	7.34	7.29	7.37
สูตร 3	6.51	6.40	7.04	6.65	6.91	7.21	7.51	7.21	7.58	7.80	7.73	7.70
สูตร 4	5.80	5.59	6.06	5.82	6.85	6.70	6.55	6.70	7.28	6.81	6.58	6.89
สูตร 5	6.87	6.42	6.19	6.49	7.23	6.81	6.58	6.87	8.25	7.60	7.60	7.82
สูตร 6	6.35	6.15	6.08	6.19	7.16	6.77	6.99	6.97	7.28	6.81	7.15	7.08
ค่าเฉลี่ย				6.13				6.83				7.36



ภาพที่ 4.16 ค่าเฉลี่ยความดัดตามขวางของคอนกรีตบดอัดพาราฟิน ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ

สรุปผลการทดสอบความดัดตามขวางของคอนกรีตบดอัดพาราฟิน จากภาพที่ 4.16 พบว่าทั้งคอนกรีตบดอัดพาราฟิน และคอนกรีตบดอัดพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสทั้ง 6 สูตร ให้ค่าความดัดตามขวางอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (แต่ละแผ่นไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะพาสคัล และค่าเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 3 เมกะพาสคัล)

หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าความดัดตามขวางของคอนกรีตบดอัดพาราฟินประเภทต่างๆ ที่ระยะเวลาบ่มแตกต่างกัน ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง Two Way Analysis of Variance (Two Way ANOVA) โดยปัจจัยแรกคือจำนวนวันที่ทำการบ่มคอนกรีตบดอัด และปัจจัยที่สองคือประเภทของคอนกรีตบดอัด ว่ามีผลต่อค่าความดัดตามขวางของคอนกรีตบดอัดแตกต่างกันหรือไม่ จึงตั้งสมมติฐานหลักของคอนกรีตบดอัดพาราฟิน และคอนกรีตบดอัดพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังนี้

สมมติฐาน : จำนวนวันที่ทำการบ่มคอนกรีตบดอัดมีผลต่อค่าความดัดตามขวางของคอนกรีตบดอัดแตกต่างกันหรือไม่

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า}$$

เมื่อ μ_1 = ค่าความดัดตามขวางที่ระยะเวลาการบ่มคอนกรีตบดอัด 7 วัน

μ_2 = ค่าความต้านแรงคัดตามขวางที่ระยะเวลาการบ่มคอนกรีตบดล็อก 14 วัน

μ_3 = ค่าความต้านแรงคัดตามขวางที่ระยะเวลาการบ่มคอนกรีตบดล็อก 28 วัน

การตัดสินใจที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

สมมติฐาน : ประเภทของคอนกรีตบดล็อกมีผลต่อค่าความต้านแรงคัดตามขวางของคอนกรีตบดล็อกแตกต่างกันหรือไม่

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_7$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5 \neq \mu_6 \neq \mu_7 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า}$$

เมื่อ μ_1 = ค่าความต้านแรงคัดตามขวางของคอนกรีตบดล็อกพาราฟิน

μ_2 = ค่าความต้านแรงคัดตามขวางของคอนกรีตบดล็อกพาราฟินสูตร 1

μ_3 = ค่าความต้านแรงคัดตามขวางของคอนกรีตบดล็อกพาราฟินสูตร 2

μ_4 = ค่าความต้านแรงคัดตามขวางของคอนกรีตบดล็อกพาราฟินสูตร 3

μ_5 = ค่าความต้านแรงคัดตามขวางของคอนกรีตบดล็อกพาราฟินสูตร 4

μ_6 = ค่าความต้านแรงคัดตามขวางของคอนกรีตบดล็อกพาราฟินสูตร 5

μ_7 = ค่าความต้านแรงคัดตามขวางของคอนกรีตบดล็อกพาราฟินสูตร 6

การตัดสินใจที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

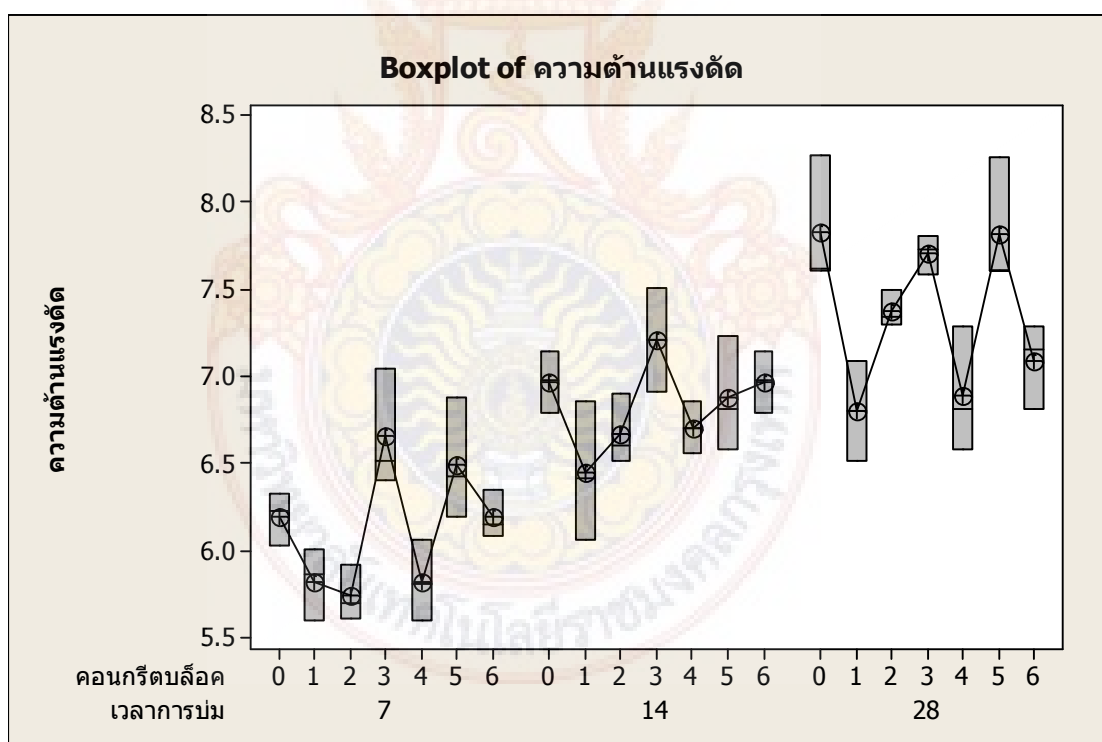
ผลการทดสอบสมมติฐานด้านความแข็งแรงของคอนกรีตบดล็อกพาราฟิน ด้วยค่าความต้านแรงคัดตามขวางของคอนกรีต ได้ผลดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความต้านแรงคัดตามขวางของคอนกรีตบดล็อกพาราฟินประเภทต่างๆ ที่ระยะเวลามบ่มแตกต่างกัน

แหล่งข้อมูล	DF	SS	MS	F	P
ระยะเวลาการบ่ม	2	15.9269	7.96347	114.20	0.000
ประเภทคอนกรีต	6	5.4597	0.90995	13.05	0.000
Interaction	12	1.4316	0.11930	1.71	0.099
Error	42	2.9289	0.06973		
Total	62	25.7472			

จากตารางที่ 4.20 พบว่า Interaction ให้ค่า P-value เท่ากับ 0.099 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ แสดงว่าระยะเวลาการบ่มและประเภทคอนกรีตไม่มีผลกระทบที่เกี่ยวเนื่องต่อกัน ดังนั้นจึงศึกษาแบบวิเคราะห์แยกกัน จึงสรุปได้ว่าสมมติฐานด้านระยะเวลาการบ่ม ให้ค่า P-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าจำนวนวันที่ทำการบ่มคอนกรีตบล็อกมีผลต่อค่าความต้านแรงคดตามขวางของคอนกรีตบล็อกแตกต่างกัน สำหรับสมมติฐานด้านประเภทคอนกรีตบล็อก ให้ค่า P-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า คอนกรีตบล็อกพาราฟินและคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสทั้ง 6 สูตร ให้ค่าความต้านแรงคดตามขวางของคอนกรีตบล็อกแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากนั้นจึงนำไปแสดงผลด้วยแผนภูมิกล่อง (Box Plot) เพื่อศึกษาช่วงของข้อมูลทั้งหมดและความแตกต่างของค่าเฉลี่ยกับค่าสูงสุดต่ำสุด แสดงดังภาพที่ 4.17



ภาพที่ 4.17 Box Plot ค่าความต้านแรงคดตามขวางของคอนกรีตบล็อกแต่ละชนิด ที่ระยะเวลาบ่มต่าง ๆ

จากภาพที่ 4.17 พบว่าที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน ให้ค่าแรงดัดตามขวางมากที่สุด ส่วนที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน ให้ค่าแรงดัดตามขวางน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการนำเสนอผลที่ผ่านมา ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า หากระยะเวลาการบ่มมาก จะให้ค่าความต้านแรงดัดตามขวางมากขึ้นด้วยเช่นกัน ซึ่งค่าความต้านแรงดัดตามขวางที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วันของคอนกรีตบล็อกพาราฟิน ให้ค่าสูงที่สุด คือ 7.83 เมกะพาสคัล และคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสสูตร 1 (40 : 5 : 5) ให้ค่าต่ำที่สุด คือ 6.80 เมกะพาสคัล

สรุปผลการทดสอบค่าความแข็งแรง

สามารถสรุปผลการทดสอบค่าความแข็งแรงได้ว่า ทั้งคอนกรีตบล็อกพาราฟิน และคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสทั้ง 6 สูตร ให้ค่าความต้านแรงดัดตามขวางอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานและแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

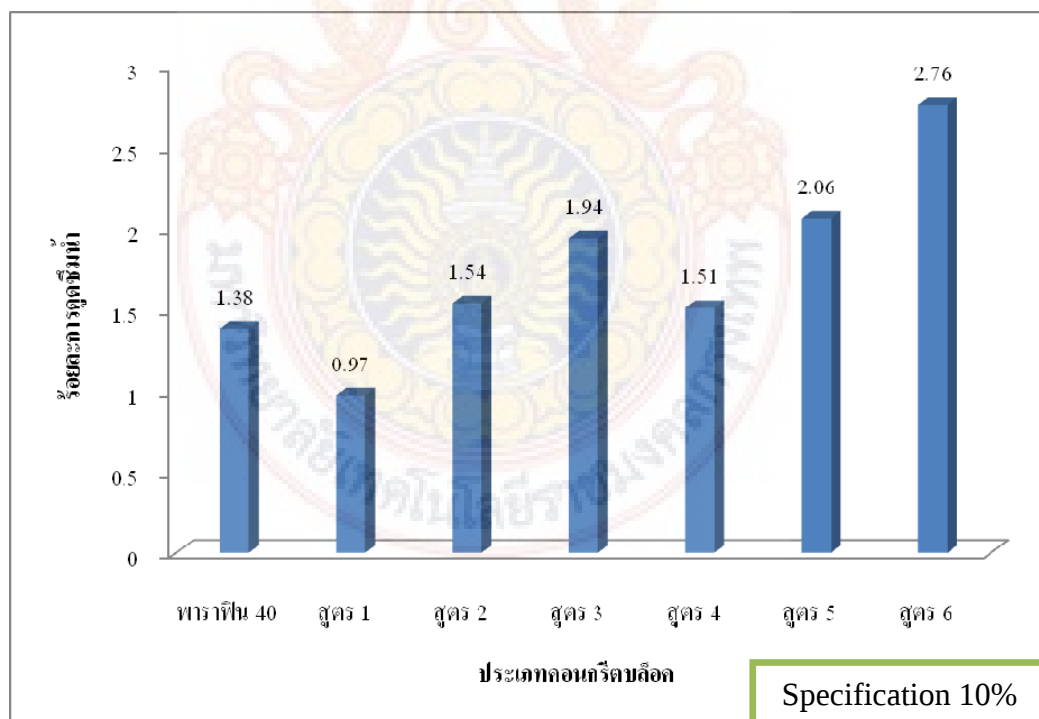
และจำนวนวันที่ทำการบ่มคอนกรีตมีผลต่อค่าความต้านแรงดัดตามขวาง โดยหากระยะเวลาการบ่มมาก จะให้ค่าความต้านแรงดัดตามขวางมากขึ้นด้วยเช่นกัน และระยะเวลาการบ่มคอนกรีตที่ให้ค่าแรงดัดตามขวางมากที่สุดคือ 28 วัน

4.2.3 การทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ

การดูดซึมน้ำของคอนกรีตปูพื้นเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 378-2531 ต้องไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ซึ่งได้ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาส ทั้ง 6 สูตร ดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 ผลทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกพาราฟิน

ตัวอย่าง	มวลตัวอย่างอบแห้ง (M_1 , กิโลกรัม)				มวลตัวอย่างอิมมersion (M_2 , กิโลกรัม)				ร้อยละ การดูดซึมน้ำ $[(M_2 - M_1)/M_1] \times 100$
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
พาราฟิน 40	9.90	9.87	10.00	9.92	10.03	10.02	10.13	10.06	1.38
สูตร 1	9.94	10.00	9.90	9.95	10.04	10.07	10.02	10.04	0.97
สูตร 2	9.95	10.01	9.97	9.98	10.10	10.15	10.14	10.13	1.54
สูตร 3	10.07	10.12	10.15	10.11	10.25	10.33	10.35	10.31	1.94
สูตร 4	9.92	9.90	9.96	9.93	10.07	10.06	10.10	10.08	1.51
สูตร 5	10.00	10.06	10.07	10.04	10.22	10.25	10.28	10.25	2.06
สูตร 6	10.13	10.14	10.13	10.13	10.41	10.44	10.39	10.41	2.76



ภาพที่ 4.18 ร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกพาราฟินประเภทต่างๆ

จากการทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสทั้ง 6 สูตร พบว่าค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตทุกประเภทอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (ไม่เกินร้อยละ 10) และให้ค่าการดูดซึมน้ำอยู่ในระดับต่ำ แต่หากเรียงลำดับการดูดซึมน้ำที่ดีที่สุดไปหาน้อยที่สุด จะได้ว่า คอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสสูตรที่ 1 (40 : 5 : 5) ให้ค่าร้อยละ 0.97 รองลงมาคือคอนกรีตบล็อกพาราฟิน 40 และคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสสูตรที่ 4 (40 : 5 : 10) ให้ค่าเท่ากับร้อยละ 1.38 และ 1.51 ตามลำดับ และคอนกรีตบล็อกพาราฟินที่ให้ค่าการดูดซึมน้ำแย่ที่สุดคือสูตรผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสสูตรที่ 6 (40 : 15 : 10) ให้ค่าเท่ากับร้อยละ 2.76

สรุปผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ

ดังนั้นการทดสอบการดูดซึมน้ำของทั้งคอนกรีตบล็อกพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสทั้ง 6 สูตร อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และให้ค่าการดูดซึมน้ำอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งถือว่าคอนกรีตบล็อกอยู่ในเกณฑ์ดีมากทั้งหมด แต่หากพิจารณาให้ค่าการดูดซึมน้ำที่ดีที่สุด (ดูดซึมน้ำน้อย) คือคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสสูตรที่ 1 (40 : 5 : 5) ให้ค่าดีกว่าคอนกรีตบล็อกพาราฟิน 40 ในเบื้องต้น

4.2.4 การทดสอบการสะสมความร้อน

การศึกษาค่าสะสมความร้อนของคอนกรีตบล็อกจากการเปรียบเทียบวัดค่าอุณหภูมิของคอนกรีตกลางแสงแดดแต่ละช่วงเวลาในอากาศปกติกับการสร้างห้องจำลองขนาด 390x390x190 มิลลิเมตรเพื่อใช้ทดสอบ และหาความแตกต่างเพื่อบ่งบอกถึงการสะสมความร้อนของคอนกรีตบล็อกที่เกิดขึ้น สามารถนำผลที่ได้จากการทดลองบันทึกค่าอุณหภูมิในช่วงเวลาต่างๆ ของคอนกรีตบล็อกพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสทั้ง 6 สูตร ดังตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 ค่าอุณหภูมิการสะสมความร้อนของคอนกรีตบล็อกพาราฟินประเภทต่างๆ

เวลา	อุณหภูมิที่วัดได้ของแผ่นคอนกรีตบล็อกชนิดต่างๆ (องศาเซลเซียส)								
	พาราฟินร้อยละ 40			สูตร 1			สูตร 2		
	อุณหภูมิปกติ	อุณหภูมิในห้องทดลอง	ความแตกต่าง	อุณหภูมิปกติ	อุณหภูมิในห้องทดลอง	ความแตกต่าง	อุณหภูมิปกติ	อุณหภูมิในห้องทดลอง	ความแตกต่าง
08.00 น.	29.8	31.5	1.7	29.7	33.1	3.4	29.6	34.8	5.2
12.00 น.	41.7	51.5	9.8	39.6	45.6	6.0	39.6	48.1	8.5
15.00 น.	36.7	46.2	9.5	36.9	43.7	6.8	36.8	48.8	12.0
18.00 น.	32.4	40.3	7.9	31.7	38.1	6.4	32.0	41.9	9.9
21.00 น.	28.6	35.6	7.0	29.0	31.0	2.0	29.1	34.0	4.9

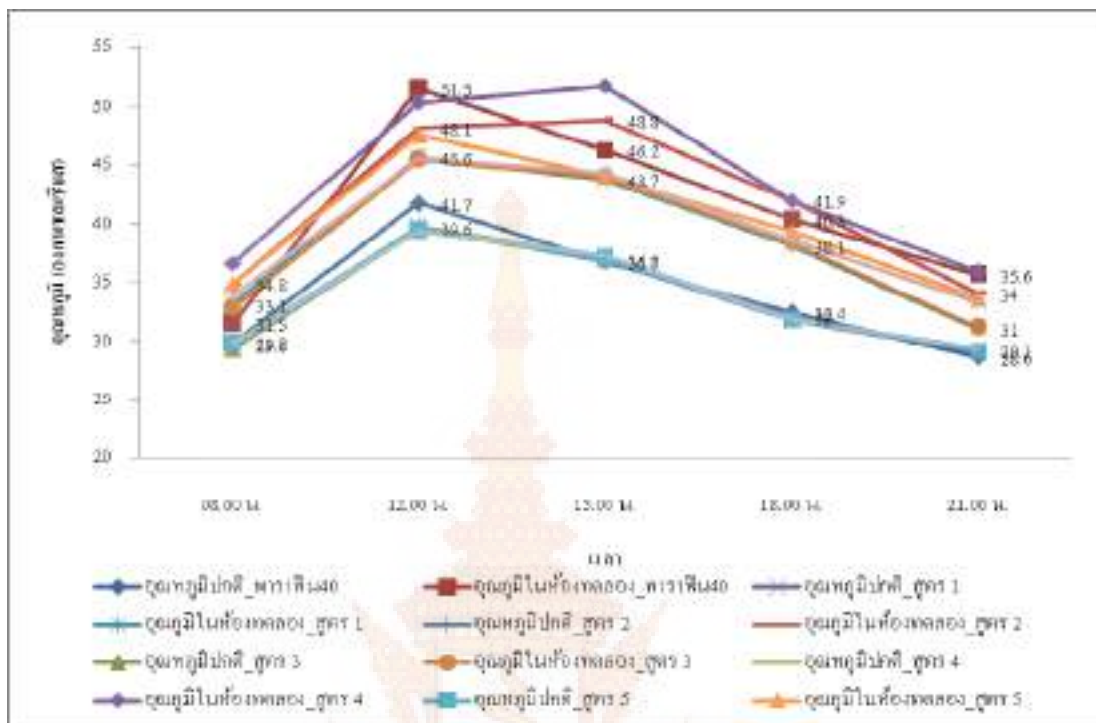
ตารางที่ 4.22 (ต่อ) ค่าอุณหภูมิการสะสมความร้อนของคอนกรีตบล็อกพาราฟินประเภทต่างๆ

เวลา	อุณหภูมิที่วัดได้ของแผ่นคอนกรีตบล็อกชนิดต่างๆ (องศาเซลเซียส)								
	สูตร 3			สูตร 4			สูตร 5		
	อุณหภูมิปกติ	อุณหภูมิในห้องทดลอง	ความแตกต่าง	อุณหภูมิปกติ	อุณหภูมิในห้องทดลอง	ความแตกต่าง	อุณหภูมิปกติ	อุณหภูมิในห้องทดลอง	ความแตกต่าง
08.00 น.	29.3	32.8	3.5	29.6	36.6	7.0	29.8	34.8	5.0
12.00 น.	39.4	45.4	6.0	39.7	50.3	10.6	39.5	47.5	8.0
15.00 น.	37.0	43.9	6.9	37.2	51.7	14.5	37.0	44.0	7.0
18.00 น.	31.8	38.3	6.5	31.7	41.9	10.2	31.8	39.3	7.5
21.00 น.	29.1	31.1	2.0	29.1	35.9	6.8	29.1	33.6	4.5

ตารางที่ 4.22 (ต่อ) ค่าอุณหภูมิการสะสมความร้อนของคอนกรีตบล็อกพาราฟินประเภทต่างๆ

เวลา	อุณหภูมิที่วัดได้ของแผ่นคอนกรีตบล็อกชนิดต่างๆ (องศาเซลเซียส)		
	สูตร 6		
	อุณหภูมิปกติ	อุณหภูมิในห้องทดลอง	ความแตกต่าง
08.00 น.	29.8	33.8	4.0
12.00 น.	39.3	45.5	6.2
15.00 น.	37.3	44.3	7.0
18.00 น.	31.8	38.6	6.8
21.00 น.	29.3	33.2	3.9

จากตารางที่ 4.22 นำค่าอุณหภูมิมาแสดงผลด้วยกราฟ ดังภาพที่ 4.19



ภาพที่ 4.19 อุณหภูมิปกติและอุณหภูมิในห้องทดลองของแผ่นคอนกรีตบล็อกพาราฟิน
แต่ละช่วงเวลา

จากภาพที่ 4.19 พบว่าอุณหภูมิในช่วงเวลา 12.00 น. ให้ค่าสูงที่สุด ยกเว้นคอนกรีตบล็อก 2 สูตรที่ให้ค่าสูงสุดในเวลา 15.00 น. คือ คอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสสูตรที่ 4 (40 : 5 : 10) และสูตรที่ 2 (40 : 10 : 5) ในห้องทดลอง และอุณหภูมิจะลดลงเรื่อยๆ จนถึงเวลา 21.00 น. จะให้ค่าอุณหภูมิใกล้เคียงช่วงเวลา 8.00 น. แสดงให้เห็นว่าคอนกรีตบล็อกสามารถเก็บสะสมความร้อนระหว่างวันได้ดี และจะพบว่าค่าอุณหภูมิที่วัดได้ในห้องทดลองมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิปกติภายนอกทุกประเภทของคอนกรีตบล็อก ไม่ว่าจะเป็นคอนกรีตบล็อกพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาส นั้นแสดงให้เห็นว่าคอนกรีตบล็อกสามารถสะสมความร้อนได้ โดยประเภทคอนกรีตที่เก็บสะสมความร้อนได้ดีกว่า ซึ่งให้ค่าอุณหภูมิที่สูงที่สุดคือ คอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสสูตรที่ 4 (40 : 5 : 10)

จากนั้นทดสอบว่าอุณหภูมิปกติภายนอกและอุณหภูมิในห้องทดลองมีความแตกต่างกันหรือไม่ จึงใช้สถิติทดสอบ t-test โดยตั้งสมมติฐานหลักได้ว่า อุณหภูมิปกติภายนอกและอุณหภูมิในห้องทดลองของคอนกรีตบล็อกไม่มีความแตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

สมมติฐาน $H_0 : \mu_1 = \mu_2$

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$ อย่างน้อย 1 ค่า

เมื่อ $\mu_1 =$ ค่าอุณหภูมิปกติภายนอก

$\mu_2 =$ ค่าอุณหภูมิในห้องทดลอง

การตัดสินใจที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

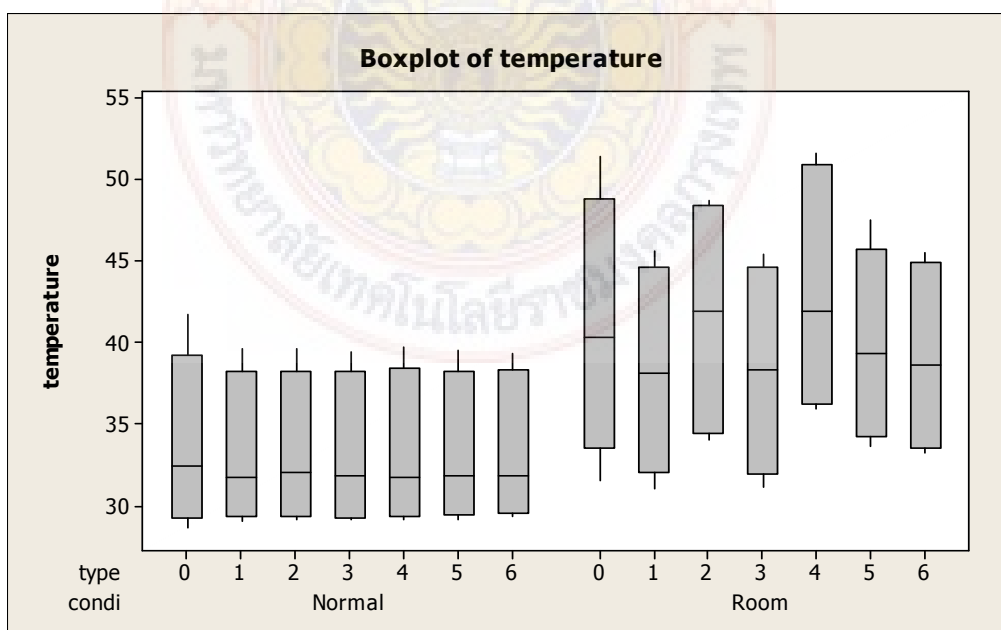
ผลการทดสอบสมมติฐานความแตกต่างของอุณหภูมิ ได้ผลดังตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 การเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิปกติภายนอกและอุณหภูมิในห้องทดลอง

สภาวะ	จำนวน ครั้ง	อุณหภูมิ		T	P
		ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
ปกติ	35	33.48	4.31	-5.17	0.000
ห้องทดลอง	35	40.19	6.37		

จากตารางที่ 4.23 พบว่า ค่า P-value เท่ากับ 0.000 มีค่าน้อยกว่า ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าอุณหภูมิปกติภายนอกและอุณหภูมิในห้องทดลองมีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

และนำค่าอุณหภูมิของคอนกรีตบล็อกทั้ง 3 ประเภทมาแสดงผลดังกราฟ



ภาพที่ 4.20 อุณหภูมิปกติและอุณหภูมิในห้องทดลองของแผ่นคอนกรีตบล็อกประเภทต่างๆ

จากที่ทราบว่าอุณหภูมิปกติภายนอกและอุณหภูมิในห้องทดลองมีความแตกต่างกันแล้วนั้น จากภาพที่ 4.20 พบว่าอุณหภูมิในห้องทดลองจะสูงกว่าอุณหภูมิปกติ และวัสดุคอนกรีตบล็อก พาราฟินสูตร 4 (40 : 5 : 10) จะให้ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงที่สุด

อันดับต่อไปคือการวิเคราะห์หาความแตกต่างของการสะสมความร้อนของคอนกรีตบล็อก พาราฟินประเภทต่างๆ ว่าแตกต่างกันหรือไม่ โดยศึกษาจากค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิปกติ ภายนอกกับอุณหภูมิในห้องทดลอง ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว One Way Analysis of Variance (One Way ANOVA) โดยตั้งสมมติฐานหลักได้ว่า การสะสมความร้อนของ คอนกรีตบล็อกพาราฟิน และคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสทั้ง 6 สูตรไม่ แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

$$\text{สมมติฐาน } H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_7$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5 \neq \mu_6 \neq \mu_7 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า}$$

เมื่อ μ_1 = ค่าเฉลี่ยการสะสมความร้อนของคอนกรีตบล็อกพาราฟิน

μ_2 = ค่าเฉลี่ยการสะสมความร้อนของคอนกรีตบล็อกพาราฟินสูตร 1

μ_3 = ค่าเฉลี่ยการสะสมความร้อนของคอนกรีตบล็อกพาราฟินสูตร 2

μ_4 = ค่าเฉลี่ยการสะสมความร้อนของคอนกรีตบล็อกพาราฟินสูตร 3

μ_5 = ค่าเฉลี่ยการสะสมความร้อนของคอนกรีตบล็อกพาราฟินสูตร 4

μ_6 = ค่าเฉลี่ยการสะสมความร้อนของคอนกรีตบล็อกพาราฟินสูตร 5

μ_7 = ค่าเฉลี่ยการสะสมความร้อนของคอนกรีตบล็อกพาราฟินสูตร 6

การตัดสินใจที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

ผลการทดสอบสมมติฐานของการสะสมความร้อน ได้ผลดังตารางที่ 4.24

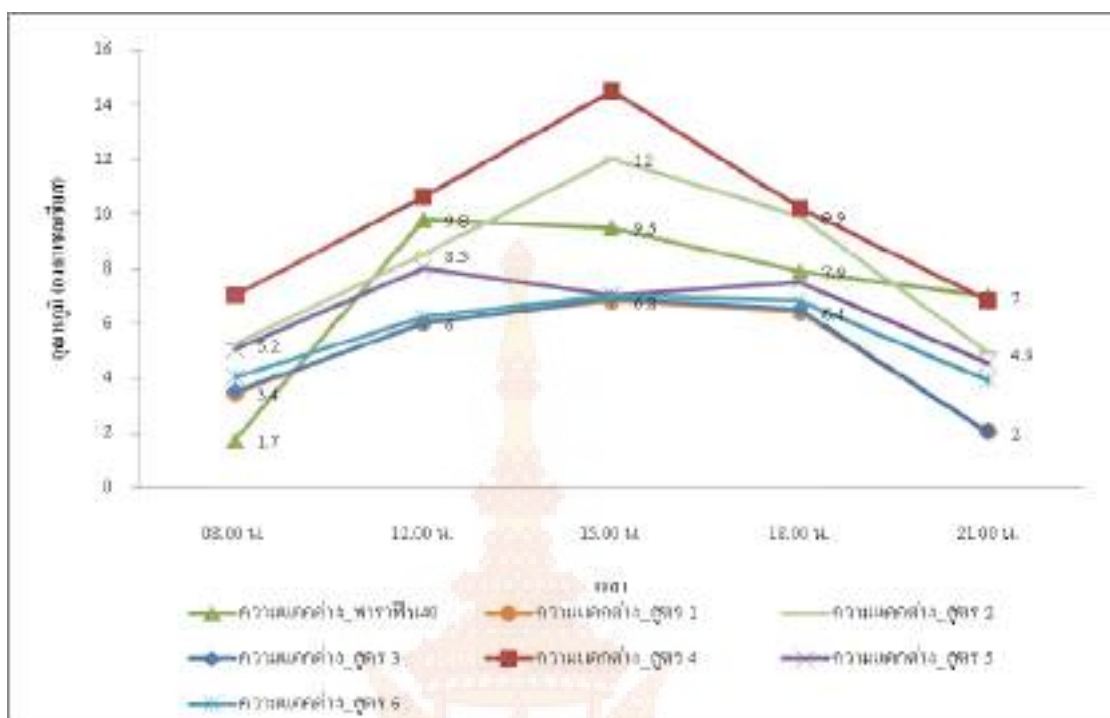
ตารางที่ 4.24 การเปรียบเทียบด้านการสะสมความร้อนของคอนกรีตบล็อกพาราฟิน จำแนกตามประเภทส่วนผสมของคอนกรีตบล็อก

แหล่งข้อมูล	DF	SS	MS	F	P
อุณหภูมิ	6	96.98	16.16	2.59	0.040
Error	28	174.56	6.23		
Total	34	271.54			

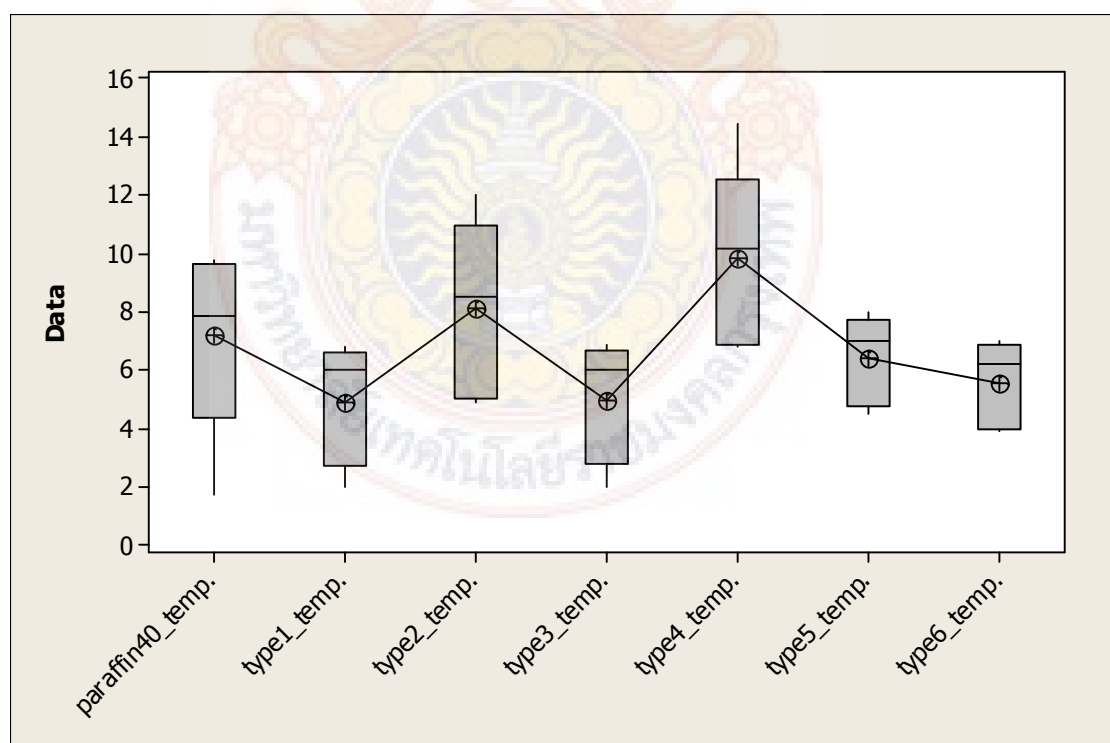
ประเภทของ คอนกรีตบล็อก	จำนวน (แผ่น)	อุณหภูมิ	
		ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
พาราฟิน 40	5	7.180	3.272
สูตร 1	5	4.920	2.105
สูตร 2	5	8.100	3.052
สูตร 3	5	4.980	2.128
สูตร 4	5	9.820	3.152
สูตร 5	5	6.400	1.557
สูตร 6	5	5.580	1.517

จากตารางที่ 4.24 พบว่า สมมติฐานด้านการสะสมความร้อนของคอนกรีต ให้ค่า P-value เท่ากับ 0.040 น้อยกว่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าประเภทคอนกรีตบล็อกพาราฟิน และคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสทั้ง 6 สูตร มีผลต่อการสะสมความร้อนที่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

สำหรับการเปรียบเทียบโดยการหาความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิปกติภายนอกกับอุณหภูมิในห้องทดลองของคอนกรีตบล็อกพาราฟิน และคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสทั้ง 6 สูตรในแต่ละช่วงเวลา แสดงผลดังภาพที่ 4.21 และภาพที่ 4.22



ภาพที่ 4.21 ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิปกติกับอุณหภูมิในห้องทดลองของแผ่นคอนกรีตบล็อก พาราฟินแต่ละช่วงเวลา



ภาพที่ 4.22 ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิปกติกับอุณหภูมิในห้องทดลองของคอนกรีตบล็อก พาราฟิน

จากภาพที่ 4.21 และภาพที่ 4.22 พบว่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิปกติกับอุณหภูมิในห้องทดลองของคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสสูตรที่ 4 (40 : 5 : 10) ให้ค่ามากที่สุด แสดงว่าคอนกรีตบล็อกชนิดนี้สามารถสะสมความร้อนได้ดีกว่าคอนกรีตบล็อกพาราฟินชนิดอื่นๆ ในทางตรงกันข้ามกันพบว่าคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสสูตรที่ 1 (40 : 5 : 5) ให้ค่าน้อยที่สุด แสดงว่าสะสมความร้อนได้ต่ำที่สุด

สรุปผลการทดสอบการสะสมความร้อน

ค่าอุณหภูมิปกติภายนอกและอุณหภูมิในห้องทดลองของคอนกรีตบล็อกมีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และอุณหภูมิในห้องทดลองจะสูงกว่าอุณหภูมิปกติ โดยคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสสูตรที่ 4 (40 : 5 : 10) จะให้ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงที่สุด

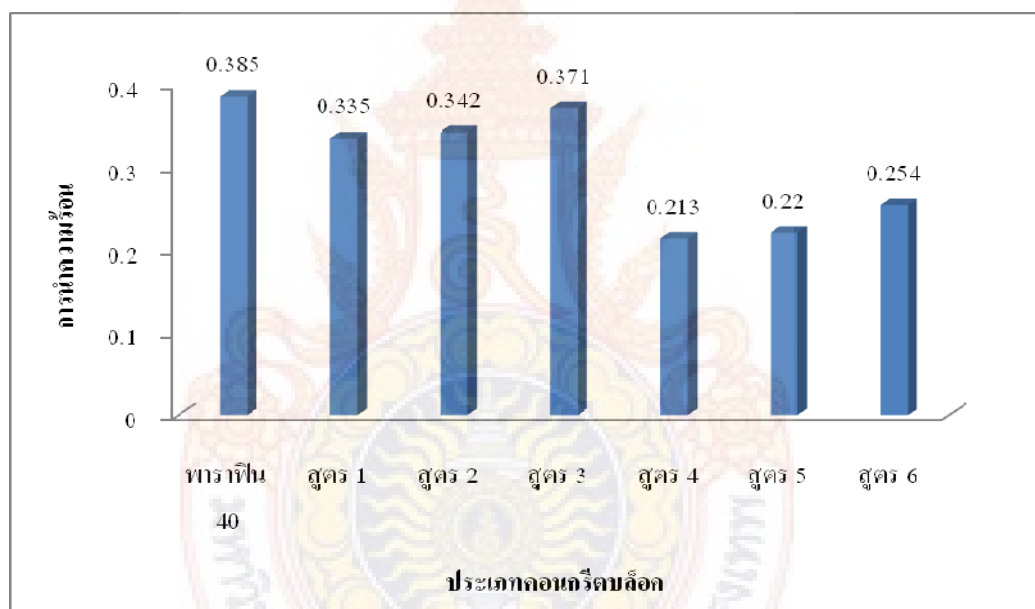
สำหรับประเภทคอนกรีตบล็อกนั้น มีผลต่อการสะสมความร้อนที่แตกต่างกัน โดยคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสสูตรที่ 4 (40 : 5 : 10) ให้ค่าอุณหภูมิที่สะสมได้มากที่สุด ซึ่งดีกว่าคอนกรีตบล็อกพาราฟิน 40 ในเบื้องต้น

4.2.5 การทดสอบการนำความร้อน

ค่าการนำความร้อนเป็นสมบัติเชิงความร้อนของวัสดุที่บ่งบอกถึงอัตราเร็วของการส่งผ่านพลังงานความร้อน วัสดุที่มีค่าการนำความร้อนต่ำเรียกว่าฉนวน จะใช้เพื่อต้องการเก็บรักษาอุณหภูมิไว้ในวัสดุนั้นๆ เช่น คอนกรีตบล็อกที่ต้องการสะสมความร้อนนี้ ในการทดสอบเบื้องต้นพบว่าคอนกรีตบล็อกพาราฟินร้อยละ 40 ให้ค่าการนำความร้อนต่ำ เหมาะแก่การสะสมความร้อนได้ดี ดังนั้นจึงนำมาทดสอบการใส่เกลือและไฟเบอร์กลาสเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเก็บสะสมความร้อนได้ดียิ่งขึ้น ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.25

ตารางที่ 4.25 ค่าการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกพาราฟินประเภทต่างๆ

ประเภทคอนกรีตบล็อกพาราฟิน	ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) , W/(m*K)
พาราฟิน 40	0.385
สูตร 1	0.335
สูตร 2	0.342
สูตร 3	0.371
สูตร 4	0.213
สูตร 5	0.220
สูตร 6	0.254



ภาพที่ 4.23 ค่าการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกพาราฟินประเภทต่างๆ

จากภาพที่ 4.23 พบว่าคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสสูตรที่ 4 (40 : 5 : 10) ให้ค่าการนำความร้อนต่ำที่สุด เท่ากับ 0.213 แสดงว่ามีความสามารถในการเก็บสะสมความร้อนได้ดีที่สุด ซึ่งจะเห็นว่ดีกว่าคอนกรีตบล็อกพาราฟิน 40 ในเบื้องต้น

สรุปผลการนำความร้อน

คอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสสูตรที่ 4 (40 : 5 : 10) ให้ค่าการนำความร้อนต่ำที่สุด หมายความว่ามีความสามารถในการเก็บสะสมความร้อนได้ดีที่สุด รองลงมาคือ

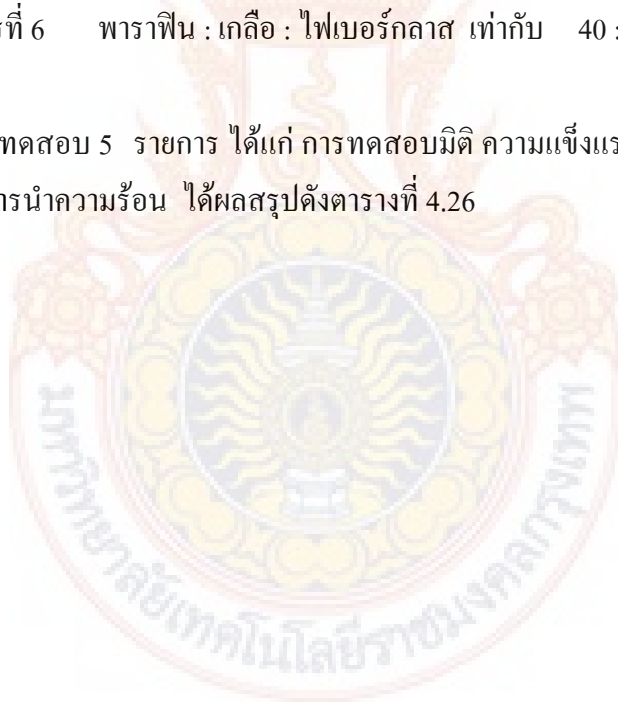
คอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสสูตรที่ 5 (40 : 10 : 10) และสูตรที่ 6 (40 : 15 : 10) ตามลำดับ นั้นแสดงให้เห็นว่าไฟเบอร์กลาสมาจะสามารถสะสมความร้อนได้ดี และถ้าเกลือมากจะส่งผลให้การนำความร้อนได้ดีขึ้น ทำให้สะสมความร้อนได้น้อยลง

4.2.6 สรุปผลการทดสอบสมบัติคอนกรีตบล็อกพาราฟิน

จากการทดสอบสมบัติของคอนกรีตบล็อกพาราฟินทุกประเภท คือ คอนกรีตบล็อกพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสทั้ง 6 สูตร คือ

- 1) สูตรที่ 1 พาราฟิน : เกลือ : ไฟเบอร์กลาส เท่ากับ 40 : 5 : 5
- 2) สูตรที่ 2 พาราฟิน : เกลือ : ไฟเบอร์กลาส เท่ากับ 40 : 10 : 5
- 3) สูตรที่ 3 พาราฟิน : เกลือ : ไฟเบอร์กลาส เท่ากับ 40 : 15 : 5
- 4) สูตรที่ 4 พาราฟิน : เกลือ : ไฟเบอร์กลาส เท่ากับ 40 : 5 : 10
- 5) สูตรที่ 5 พาราฟิน : เกลือ : ไฟเบอร์กลาส เท่ากับ 40 : 10 : 10
- 6) สูตรที่ 6 พาราฟิน : เกลือ : ไฟเบอร์กลาส เท่ากับ 40 : 15 : 10

ด้วยการทดสอบ 5 รายการ ได้แก่ การทดสอบมิติ ความแข็งแรง การดูดซึมน้ำ การสะสมความร้อน และการนำความร้อน ได้ผลสรุปดังตารางที่ 4.26



ตารางที่ 4.26 สรุปผลการทดสอบสมบัติคอนกรีตบล็อกพาราฟินประเภทต่างๆ

ลำดับ	รายการ ทดสอบสมบัติ คอนกรีตบล็อก	เกณฑ์ มาตรฐาน	ประเภทคอนกรีตบล็อกพาราฟิน							การตัดสินใจ
			พาราฟิน 40	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5	สูตร 6	
1	มิติ	50*300*300 (± 3 มม. ³)	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	-
2	ความแข็งแรง (28 วัน)	≥ 3 เมกะ พาสกัล	7.83 (ผ่าน)	6.80 (ผ่าน)	7.37 (ผ่าน)	7.70 (ผ่าน)	6.89 (ผ่าน)	7.82 (ผ่าน)	7.08 (ผ่าน)	พาราฟิน 40
3	การดูดซึมน้ำ	$\leq$ ร้อยละ 10	1.38 (ผ่าน)	0.97 (ผ่าน)	1.54 (ผ่าน)	1.94 (ผ่าน)	1.51 (ผ่าน)	2.06 (ผ่าน)	2.76 (ผ่าน)	สูตร 1 (40 : 5 : 5)
4	การสะสมความร้อน	-	7.18	4.92	8.10	4.98	9.82	6.40	5.58	สูตร 4 (40 : 5 : 10)
5	การนำความร้อน	-	0.385	0.335	0.342	0.371	0.213	0.220	0.254	สูตร 4 (40 : 5 : 10)

หมายเหตุ : การทดสอบลำดับที่ 1, 2 และ 3 ต้องผ่านเกณฑ์มาตรฐาน นอก.

สรุปผลการทดสอบสมบัติคอนกรีตบล็อกดังตารางที่ 4.26 นั้น สรุปได้ว่ารายการทดสอบที่ต้องเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 378-2531 มี 3 รายการ คือ ด้านมิติ ความแข็งแรง และการดูดซึมน้ำ ซึ่งคอนกรีตทุกประเภท คือ คอนกรีตบล็อกพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสทั้ง 6 สูตร ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 มีความแข็งแรงมากที่สุดที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน แต่คอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสสูตรที่ 1 (40 : 5 : 5) มีการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด ดังนั้นเมื่อพิจารณาการทดสอบด้านการสะสมความร้อนและการนำความร้อน พบว่าคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสสูตรที่ 4 (40 : 5 : 10) ให้ค่าที่ดีที่สุด แสดงว่านอกจากพาราฟินมีกลไกสำคัญที่ช่วยเก็บสะสมพลังงานความร้อนอยู่ในรูปของพลังงานความร้อนแฝงจนทำให้พาราฟินเปลี่ยนสถานะได้แล้วนั้น ไฟเบอร์กลาสยังมีความสามารถสะสมความร้อนได้ดี และเกลือมีคุณสมบัติช่วยให้การนำความร้อน ทำให้สะสมความร้อนได้น้อยลง ดังนั้นคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสสูตรที่ 4 (40 : 5 : 10) ให้ผลดีที่สุดทั้ง 2 รายการทดสอบ

โดยสรุปงานวิจัยนี้จึงตัดสินใจเลือกใช้พาราฟินร้อยละ 40 ใส่ตรงกลาง เกลือร้อยละ 5 ผสมที่ผิวหน้า และไฟเบอร์กลาสร้อยละ 10 ผสมที่ผิวล่าง ใส่ในแผ่นคอนกรีตบล็อก เพื่อสร้างคอนกรีตบล็อกที่มีสมบัติการสะสมความร้อนได้ดี เหมาะสมในการนำไปใช้เพื่อปูพื้นโรงอบแห้งได้ต่อไป

จากผลการทดสอบสมมติฐานดังกล่าวข้างต้นโดยใช้โปรแกรมทางสถิติ ซึ่งมีองค์ประกอบหลักคือ ส่วนของการเตรียมข้อมูล (Worksheet) และส่วนของการแสดงผล (Session) ได้แสดงไว้ในภาคผนวก จ

4.3 การสร้างโรงต้นแบบในการทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นคอนกรีตบล็อก

จากผลการวิเคราะห์และทดสอบสมบัติของแผ่นคอนกรีตบล็อกดังกล่าวทำให้ทราบว่าแผ่นคอนกรีตบล็อกที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานได้จริงคือ คอนกรีตบล็อกที่มีพาราฟินเป็นไส้กลางร้อยละ 40 ผสมเกลือที่ผิวหน้าร้อยละ 5 และผสมไฟเบอร์กลาสด้านล่างร้อยละ 10 หลังจากนั้นจึงนำคอนกรีตบล็อกดังกล่าวไปทดลองวางปูพื้นบนโรงเรือนจำลองอบแห้งที่ออกแบบ ขนาด 1.50 x 1.50 x 2.00 เมตร ดังแสดงในภาพที่ 4.24



ภาพที่ 4.24 การวางแผ่นคอนกรีตบดล็อกปูพื้นโรงอบแห้งจำลอง



ภาพที่ 4.25 ขาแนวแผ่นคอนกรีตบดล็อกปูพื้นโรงอบแห้งจำลอง



ภาพที่ 4.26 การก่อผนังโรงอบแห้งจำลอง



ภาพที่ 4.27 หลังคาโรงอบแห้งจำลองใส่เพื่อให้แสงแดดส่องถึงพื้นคอนกรีตบล็อก



ภาพที่ 4.28 การจำลองการวางพริกในโรงอบแห้งจำลอง



ภาพที่ 4.29 การเปิดช่องมองที่ประตูโรงอบแห้ง



ภาพที่ 4.30 การจำลองการวางพริกในโรงอบแห้งจำลองเพื่อตากแห้ง

4.3.1 การวัดค่าอุณหภูมิภายในโรงอบแห้งที่ปูพื้นด้วยคอนกรีตบดลือคพาราฟินผสมเกลือ และไฟเบอร์กลาส (40 : 5 : 10)



ภาพที่ 4.31 การวัดอุณหภูมิตรงบริเวณกึ่งกลางของโรงอบแห้ง

จากการสร้างโรงอบจำลองและสร้างโรงอบภายใต้พื้นของการปูพื้นด้วยแผ่นคอนกรีตบล็อก ที่มีสัดส่วนเกลื้อที่ผสมลงไปพร้อมกับผงหินแกรนิตที่ปูอยู่บนผิวหน้า ซึ่งการศึกษานี้ทำการวัดอุณหภูมิโดยใช้จุดในการวัดกึ่งกลางของโรงอบแห้ง อยู่ในระยะความสูงจากพื้นบล็อกคอนกรีต 1 เมตร และจากนั้นทำการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ในจุดเดียวกัน

4.3.2 ผลของความชื้นและอุณหภูมิภายในโรงอบแห้ง

จากผลการวัดพบว่าช่วงของอุณหภูมิสอดคล้องกับการวัดค่าอุณหภูมิในโรงอบจำลองคือ ช่วงของเวลากลางวันเวลา 12.00 น. เป็นช่วงเวลาที่มีการสะสมความร้อนสูงและเมื่อความร้อนในโรงอบแห้งเพิ่มขึ้นพบว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เกิดขึ้นในโรงอบแห้งลดลง และเมื่อเวลากลางคืน ความชื้นสูงขึ้นดังแสดงในภาพที่ 4.32



ภาพที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิภายในโรงอบและความชื้นสัมพัทธ์
ตรงบริเวณกึ่งกลางของโรงอบแห้ง

จากผลการทดลองดังกล่าว โดยการประยุกต์นำแผ่นคอนกรีตบล็อกพาราฟินมาสร้างเป็นพื้นโรงอบแห้ง พาราฟินในฐานะของวัสดุเปลี่ยนเฟสได้เกิดการสะสมความร้อนและมีกลไกในการสะสมความร้อนทำให้โรงอบแห้งมีช่วงของเวลาการอบยืดยาวออกไป ตั้งแต่ 7.00 น. ถึง 20.00 น. และในการทดลองเบื้องต้นนี้ดังแสดงในกราฟพบว่า ช่วงของความชื้นที่สูงนั้น ยังมีโอกาสที่จะเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำได้ ซึ่งผลของเกลียวที่ใส่ลงไปในแผ่นคอนกรีตยังทำงานได้ไม่เต็มรูปแบบนัก โดยเกลียวที่ผสมลงบนผิวหน้าคอนกรีต สามารถทำงานได้ดีในช่วงเวลากลางวันเท่านั้น ทำให้เส้นกราฟความชื้นต่ำ และผนังของโรงอบต้นแบบนี้ใช้ผนังเป็นฉนวนบล็อกพบว่าเมื่อใช้มือสัมผัสที่ผิวของผนัง ความชื้นภายนอกสามารถผ่านผนังเข้ามาได้ ดังนั้นการสร้างผนังที่สามารถเก็บความร้อน โดยดูความชื้นภายในโรงอบไว้ในตอนกลางคืน จะสามารถช่วยลดความชื้นในโรงอบอีกทางหนึ่ง อีกทั้งในการทดลองเบื้องต้นนี้ได้ทดลองในสภาวะอากาศนิ่ง ดังนั้นการมีระบบหมุนเวียนอากาศ จะทำให้ความชื้นและอากาศร้อนภายในได้มีการไหลวนช่วยลดความชื้นภายในโรงอบออกไปด้วย

4.4 การประเมินต้นทุนการผลิตแผ่นคอนกรีตบล็อก

ในการประเมินต้นทุนการผลิตแผ่นคอนกรีตบล็อกนี้ จะประเมินเฉพาะต้นทุนวัตถุดิบเท่านั้น โดยแผ่นคอนกรีตบล็อกในการทดลองนี้มีขนาด 30 เซนติเมตร x 30 เซนติเมตร x 5

เซนติเมตร โดยมีแผ่นพาราฟินวางอยู่ด้านในและมีผิวหน้าของแผ่นคอนกรีตบดลือคผสมด้วยฝุ่นหินแกรนิต ซึ่งวัสดุทั้งหมดถูกตวงตามสัดส่วนในการทดลอง ปูน : ทราย : หิน : น้ำ คือ 1 : 2 : 4 : 1 นอกจากนี้แล้วยังมีการเพิ่มเติมส่วนของการใส่เกลือเพื่อลดความร้อนและผงไฟเบอร์ผสมลงไปเพื่อป้องกันความร้อนแผ่กระจายลงไปในด้านล่าง ซึ่งจากสรุปผลการทดลองพบว่า สูตรที่เหมาะสมที่สุดที่ให้ผลการสะสมความร้อนที่สูงกว่าสูตรอื่นๆ คือคอนกรีตบดลือคสูตรที่ 4 โดยมีเกลือผสมที่ผิวหน้าร้อยละ 5 ผงไฟเบอร์ผสมด้านล่างร้อยละ 10 และมีพาราฟินอยู่ตรงกลางร้อยละ 40 และเมื่อนำมาประเมินการกักตุนการผลิตต่อหน่วยของแผ่นคอนกรีตบดลือคสามารถอธิบายได้ดังนี้

ราคาของวัสดุที่ใช้ในการทำแผ่นคอนกรีตบดลือค ประกอบด้วย

- | | |
|---|--------------------------|
| 1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 | ราคา 300 บาทต่อถุง |
| 2. ทรายแม่น้ำอย่างละเอียด | ราคา 310 บาท ต่อ ลบ.ม. |
| 3. หินคลุก | ราคา 413 บาท ต่อ ลบ.ม. |
| 4. หินแกรนิตผง | ราคา 500 บาท ต่อ ลบ.ม. |
| 5. เกลือแกง | ราคา 100 บาทต่อถุง |
| 6. ฝุ่นผงไฟเบอร์กลาส ขนาดความละเอียด 70 ไมโครเมตร | ราคา 50 บาท ต่อ กิโลกรัม |
| 7. ก้อนพาราฟิน | ราคา 100 บาทต่อกิโลกรัม |

ต้นทุนการผลิตแผ่นคอนกรีตบดลือค ขนาด 30 เซนติเมตร x 30 เซนติเมตร x 5 เซนติเมตร คิดประเมินแบ่งออกเป็น 3 ชั้น คือชั้นบน ชั้นกลาง และชั้นล่าง ดังนี้

1. ชั้นล่างสุดประกอบด้วย ปูน : ทราย : หิน : น้ำ คือ 1 : 2 : 4 : 1 และผงไฟเบอร์ร้อยละ 10 คิดเป็นเงินจากสัดส่วนคือ $3 + 2 + 4 + 1 + 0.50 = 10.50$ บาท

2. ชั้นกลาง เพิ่มส่วนของแผ่นพาราฟิน คิดจากร้อยละ 40 ของพื้นที่ คิดเป็นเงิน 3 บาท

3. ชั้นบนสุดคิดจากสัดส่วน ปูน : ทราย : หิน : น้ำ คือ 1 : 2 : 4 : 1 แต่ใช้หินแกรนิตผง คิดเป็นเงินจากสัดส่วนคือ $3 + 2 + 4 + 2 + 0.50 = 11.50$ บาท

และวัสดุอื่นๆ ประกอบด้วย เหล็กทำแบบ ซึ่งเป็นเหล็กฉากไคร้เกรด 2 นิ้ว x 2 นิ้ว หนา 2 มิลลิเมตร จำนวน 4 เส้น ราคาเส้นละ 300 บาท คิดเป็นเงิน 1,200 บาท ซึ่งสามารถใช้สร้างแม่พิมพ์ได้ 10 ตัว ดังนั้นจึงคิดเป็นเงิน 120 บาทต่อตัว

ดังนั้นเมื่อประเมินราคาแล้วพบว่า ต้นทุนการผลิตแผ่นคอนกรีตบดลือค คิดเป็นเงินรวมทั้งสิ้น $(25 + 120)$ เท่ากับ 145 บาทต่อบล็อกคอนกรีต 1 แผ่น

และโรงอบที่สร้างขึ้นใช้แผ่นคอนกรีตบล็อกทั้งหมด 25 ก้อนเพื่อปูพื้นโรงอบ ดังนั้นจึง
สรุปราคาประเมินต้นทุนวัตถุดิบในการสร้างโรงอบขนาด 1.5 เมตร x 1.5 เมตร x 2 เมตร เป็นเงิน
ทั้งสิ้น (25 ก้อน x 145 บาทต่อแผ่น) เท่ากับ 3,650 บาท



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาวิจัยในการสร้างคอนกรีตบล็อกปูพื้นที่มีคุณสมบัติของการสะสมความร้อน และการดูดความชื้น ที่เหมาะสมสำหรับใช้สร้างอาคารเก็บพืชผลทางการเกษตร ซึ่งสามารถเพิ่มคุณลักษณะผลิตผลทางการเกษตรที่พึงประสงค์และตรงต่อความต้องการเพื่อใช้ในการแปรรูปได้นั้น สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1.1 ผลการทดสอบสมบัติคอนกรีตบล็อกเบื้องต้น

การทดสอบแผ่นคอนกรีตบล็อกในเบื้องต้นแบ่งเป็น 2 แบบคือ 1) สูตรผสมพาราฟินร้อยละ 40 และ 2) สูตรผสมพาราฟินร้อยละ 60 โดยคอนกรีตบล็อกแบ่งออกเป็น 3 ชั้น ประกอบด้วย ชั้นที่ 1 คอนกรีตหนา 30 มิลลิเมตร ชั้นที่ 2 พาราฟิน หนา 5 มิลลิเมตร และชั้นที่ 3 ซีเมนต์เกรนิต หนา 15 มิลลิเมตร และทำการทดสอบสมบัติของคอนกรีตบล็อกทั้ง 2 แบบ เปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน โดยมีรายละเอียดการทดสอบ 5 รายการดังนี้

1) การทดสอบมิติ การเปรียบเทียบมิติแผ่นคอนกรีตบล็อกปูพื้นกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.378-2531 ซึ่งต้องมีเกณฑ์การคลาดเคลื่อนไม่เกิน 3 มิลลิเมตรจากค่าคอนกรีตมาตรฐาน คือ ความหนา 50 มิลลิเมตร ความกว้าง 300 มิลลิเมตร และความยาว 300 มิลลิเมตร จากผลการทดสอบด้านมิติสรุปได้ว่า มิติด้านความหนา ความกว้าง และความยาว ของทั้งคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 ให้ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงมาตรฐานและผลไม่แตกต่างกัน

2) การทดสอบค่าความแข็งแรง (การทดสอบแรงอัดหรือกำลังอัดของคอนกรีต) วัดได้จากค่าความต้านแรงดัดตามขวาง โดยมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.378-2531 กำหนดให้การรับแรงดัดตามขวางของคอนกรีตปูพื้นต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะพาสคัล และค่าเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 3 เมกะพาสคัล จากผลการทดสอบสรุปได้ว่า ทั้งคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 ให้ค่าความต้านแรงดัดตามขวางอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานและไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และค่าเฉลี่ยความต้านแรงดัดตามขวางของคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 ให้ค่าสูงกว่าคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 และคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน และจำนวนวันที่ทำการบ่มคอนกรีตมีผลต่อค่าความต้านแรง

ตัดตามขวาง โดยหาระยะเวลาการบ่มมาก จะให้ค่าความต้านแรงตัดตามขวางมากขึ้นด้วยเช่นกัน และระยะเวลาการบ่มคอนกรีตบล็อกที่ให้ค่าแรงตัดตามขวางมากที่สุดคือ 28 วัน ซึ่งคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน มีค่าเฉลี่ย 7.24 เมกะพาสคัล คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 ของหน้าตัดมีค่าเฉลี่ย 7.83 เมกะพาสคัล และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 ของหน้าตัดมีค่าเฉลี่ย 7.74 เมกะพาสคัล

3) การทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 378-2531 ต้องไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ซึ่งผลจากการทดสอบสรุปว่าค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกทุกประเภทอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และให้ค่าการดูดซึมน้ำอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งถือว่าคอนกรีตบล็อกอยู่ในเกณฑ์ดีมากทั้ง 3 ประเภท โดยคอนกรีตบล็อกมาตรฐานดูดซึมน้ำน้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 1.11 คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 เท่ากับร้อยละ 1.28 และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 ดูดซึมน้ำมากที่สุด เท่ากับร้อยละ 1.38

4) การทดสอบการสะสมความร้อน ทำได้โดยการเปรียบเทียบการวัดค่าอุณหภูมิของคอนกรีตกลางแสงแดดแต่ละช่วงเวลาในอากาศปกติกับการสร้างห้องจำลองขนาด 390x390x190 มิลลิเมตรเพื่อใช้ทดสอบ และหาความแตกต่างเพื่อบ่งบอกถึงการสะสมความร้อนของคอนกรีตบล็อกที่เกิดขึ้น ผลจากการทดสอบสรุปได้ว่าค่าอุณหภูมิปกติภายนอกและอุณหภูมิในห้องทดลองของคอนกรีตบล็อกมีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และอุณหภูมิในห้องทดลองจะสูงกว่าอุณหภูมิปกติ โดยวัสดุคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 จะให้ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงที่สุด สำหรับประเภทคอนกรีตบล็อกนั้น มีผลต่อการสะสมความร้อนที่แตกต่างกัน โดยคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 ให้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่สะสมได้มากที่สุด และลดลงตามช่วงเวลาอย่างช้าๆ รองลงมาคือคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 และคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน เก็บอุณหภูมิได้ 7.18 6.28 และ 2.38 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าพาราฟินที่ใส่เข้าไปในแผ่นคอนกรีตบล็อกส่งผลต่อการสะสมความร้อนได้ดีขึ้น

5) การทดสอบการนำความร้อน จะบ่งบอกถึงอัตราเร็วของการส่งผ่านพลังงานความร้อน วัสดุที่มีค่าการนำความร้อนต่ำเรียกว่าฉนวน จะใช้เพื่อต้องการเก็บรักษาอุณหภูมิไว้ในวัสดุนั้นๆ เช่น คอนกรีตบล็อกที่ต้องการสะสมความร้อนนี้ จากผลการทดสอบสรุปได้ว่าเมื่อใส่พาราฟินในแผ่นคอนกรีตบล็อก จะทำให้ความสามารถในการนำความร้อนน้อยลงมาก ซึ่งการนำความร้อนนี้เป็นผลทำให้เกิดการแผ่ความร้อนลงสู่พื้นล่างและทุกทิศทางของแผ่นคอนกรีตบล็อก ซึ่งแสดงว่ามีความสามารถในการเก็บสะสมความร้อนได้ดีขึ้น สรุปได้ว่าคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 ให้ค่าการนำความร้อนต่ำที่สุด เท่ากับ 0.385 ย่อมหมายความว่ามีความสามารถในการเก็บสะสมความร้อนได้ดีที่สุด

สรุปผลการทดสอบสมบัติคอนกรีตบล็อกทั้ง 3 ประเภท คือ คอนกรีตบล็อกมาตรฐาน คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 ด้วยการทดสอบ 5 รายการ ได้แก่ การทดสอบมิติ ความแข็งแรง การดูดซึมน้ำ การสะสมความร้อน และการนำความร้อน ได้ผลสรุปดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 สรุปผลการทดสอบสมบัติคอนกรีตบล็อกประเภทต่างๆ

ลำดับ	รายการทดสอบสมบัติคอนกรีตบล็อก	เกณฑ์มาตรฐาน	ประเภทคอนกรีตบล็อก			การตัดสินใจ
			มาตรฐาน	พาราฟิน 40	พาราฟิน 60	
1	มิติ	50*300*300 (± 3 มม. ³)	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	-
2	ความแข็งแรง (28 วัน)	≥ 3 เมกะพาสคัล	7.24 (ผ่าน)	7.83 (ผ่าน)	7.74 (ผ่าน)	พาราฟิน ร้อยละ 40
3	การดูดซึมน้ำ	$\leq$ ร้อยละ 10	1.11 (ผ่าน)	1.38 (ผ่าน)	1.28 (ผ่าน)	คอนกรีต มาตรฐาน
4	การสะสมความร้อน	-	2.38	7.18	6.28	พาราฟิน ร้อยละ 40
5	การนำความร้อน	-	1.852	0.385	0.390	พาราฟิน ร้อยละ 40

หมายเหตุ : การทดสอบลำดับที่ 1, 2 และ 3 ต้องผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.

สรุปผลการทดสอบสมบัติคอนกรีตบล็อกดังตารางที่ 5.1 นั้น สรุปได้ว่ารายการทดสอบที่ต้องเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 378-2531 มี 3 รายการ คือ ด้านมิติ ความแข็งแรง และการดูดซึมน้ำ ซึ่งคอนกรีตทั้ง 3 ประเภท คือ คอนกรีตบล็อกมาตรฐาน คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 มีความแข็งแรงมากที่สุดที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน แต่คอนกรีตบล็อกมาตรฐานมีการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด ดังนั้นเมื่อพิจารณาการทดสอบด้านการสะสมความร้อนและการนำความร้อน พบว่าคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินให้ค่าที่ดี แสดงว่าพาราฟินมี

กลไกสำคัญที่ช่วยเก็บสะสมพลังงานความร้อนอยู่ในรูปของพลังงานความร้อนแฝงจนทำให้พาราฟินเปลี่ยนสถานะได้ แต่พาราฟินที่ร้อยละ 60 จะละลายเมื่อได้รับความร้อนและซึมออกมาที่ผิวของคอนกรีต ทำให้สูญเสียการสะสมความร้อนได้มากกว่าพาราฟินที่ร้อยละ 40 ดังนั้นคอนกรีตผสมพาราฟินร้อยละ 40 ให้ผลดีที่สุดทั้ง 2 รายการทดสอบ งานวิจัยนี้จึงตัดสินใจเลือกใช้พาราฟินร้อยละ 40 เป็นตัวอย่างในการใส่ในแผ่นคอนกรีตบล็อกเพื่อการพัฒนาคุณสมบัติในลำดับต่อไป

5.1.2 ผลการทดสอบสมบัติคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาส

จากผลการศึกษาในเบื้องต้นที่ได้ว่าคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 ให้การสะสมความร้อนที่ดีที่สุด แต่ค่าการดูดซึมน้ำยังให้ผลไม่ดีเท่าที่ควร ดังนั้นจึงจะทำการศึกษาพัฒนาคอนกรีตบล็อกให้มีความสามารถในการสะสมความร้อนและการดูดซึมน้ำที่ดียิ่งขึ้น โดยเลือกวัสดุที่มีความสามารถในการดูดความชื้น และป้องกันการถ่ายเทความร้อนมาใช้ผสมในคอนกรีตบล็อกเพื่อให้ได้คุณสมบัติที่ดีขึ้น จึงทดลองผสมเกลือในส่วนผิวหน้าคอนกรีตบล็อกเพื่อศึกษาการดูดความชื้นที่เกิดขึ้น และผสมผงไฟเบอร์กลาสที่ด้านล่างของแผ่นคอนกรีตบล็อก เพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนลงสู่พื้นล่างของแผ่นคอนกรีตบล็อก จึงเตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบโดยผสมไฟเบอร์กลาสในชั้นที่ 1 ในสัดส่วนร้อยละ 5, 10 และ 15 ของน้ำหนักคอนกรีต และผสมเกลือแกงในชั้นที่ 3 ในสัดส่วนร้อยละ 5, 10 และ 15 ของน้ำหนักคอนกรีต โดยยังคงมีพาราฟินร้อยละ 40 ในชั้นที่ 2 ของคอนกรีตตามผลการทดลองในเบื้องต้น จึงได้สูตรการทดลอง 6 สูตรดังนี้ สูตรที่ 1 (พาราฟิน : เกลือ : ไฟเบอร์กลาส , 40 : 5 : 5) สูตรที่ 2 (พาราฟิน : เกลือ : ไฟเบอร์กลาส , 40 : 10 : 5) สูตรที่ 3 (พาราฟิน : เกลือ : ไฟเบอร์กลาส , 40 : 15 : 5) สูตรที่ 4 (พาราฟิน : เกลือ : ไฟเบอร์กลาส , 40 : 5 : 10) สูตรที่ 5 (พาราฟิน : เกลือ : ไฟเบอร์กลาส , 40 : 10 : 10) และ สูตรที่ 6 (พาราฟิน : เกลือ : ไฟเบอร์กลาส , 40 : 15 : 10) ซึ่งสามารถสรุปผลการทดสอบสมบัติของคอนกรีตบล็อกทั้ง 6 สูตร เปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกพาราฟินร้อยละ 40 ที่ได้เลือกจากการทดสอบในเบื้องต้น โดยมีรายละเอียดการทดสอบดังนี้

1) การทดสอบมิติ ซึ่งต้องมีเกณฑ์การคลาดเคลื่อนไม่เกิน 3 มิลลิเมตรจากค่าคอนกรีตมาตรฐาน คือ ความหนา 50 มิลลิเมตร ความกว้าง 300 มิลลิเมตร และความยาว 300 มิลลิเมตร จากผลการทดสอบด้านมิติสรุปได้ว่า มิติด้านความหนา ความกว้าง และความยาว ของทั้งคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาส ให้ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงมาตรฐานทั้งหมด

2) การทดสอบค่าความแข็งแรง (การทดสอบแรงอัดหรือกำลังอัดของคอนกรีต) วัดได้จากค่าความต้านแรงดัดตามขวาง โดยมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.378-2531 กำหนดให้การ

รับแรงคัดตามขวางของคอนกรีตปูพื้นต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะพาสคัล และค่าเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 3 เมกะพาสคัล จากผลการทดสอบสรุปได้ว่า ทั้งคอนกรีตบล็อกพาราฟิน และคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสทั้ง 6 สูตร ให้ค่าความต้านแรงคัดตามขวางอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานและแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และจำนวนวันที่ทำการบ่มคอนกรีตมีผลต่อค่าความต้านแรงคัดตามขวาง โดยหากระยะเวลาการบ่มมาก จะให้ค่าความต้านแรงคัดตามขวางมากขึ้นด้วยเช่นกัน และระยะเวลาการบ่มคอนกรีตบล็อกที่ให้ค่าแรงคัดตามขวางมากที่สุดคือ 28 วัน ซึ่งคอนกรีตบล็อกพาราฟิน ให้ค่าเฉลี่ยสูงที่สุด คือ 7.83 เมกะพาสคัล และคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสสูตร 1 (40 : 5 : 5) ให้ค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 6.80 เมกะพาสคัล

3) การทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 378-2531 ต้องไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ซึ่งผลจากการทดสอบสรุปว่าค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของทั้งคอนกรีตบล็อกพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสทั้ง 6 สูตร อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และให้ค่าการดูดซึมน้ำอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ดีมาก แต่หากพิจารณาที่ค่าการดูดซึมน้ำที่ดีที่สุด (ดูดซึมน้ำน้อย) คือคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสสูตรที่ 1 (40 : 5 : 5) ให้ค่าร้อยละ 0.97 ซึ่งดีกว่าคอนกรีตบล็อกพาราฟิน 40 ในเบื้องต้นที่ให้ค่าเท่ากับร้อยละ 1.38

4) การทดสอบการสะสมความร้อน มีผลจากการทดสอบสรุปได้ว่าค่าอุณหภูมิปกติภายนอกและอุณหภูมิในห้องทดลองของคอนกรีตบล็อกมีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และอุณหภูมิในห้องทดลองจะสูงกว่าอุณหภูมิปกติ สำหรับประเภทคอนกรีตบล็อกนั้น มีผลต่อการสะสมความร้อนที่แตกต่างกัน โดยคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสสูตรที่ 4 (40 : 5 : 10) ให้ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงที่สุด และค่าอุณหภูมิที่สะสมได้มากที่สุด ซึ่งเก็บอุณหภูมิได้ 9.82 องศาเซลเซียส ดีกว่าคอนกรีตบล็อกพาราฟิน 40 ในเบื้องต้น ที่เก็บอุณหภูมิได้ 7.18 องศาเซลเซียส

5) การทดสอบการนำความร้อน จากผลการทดสอบสรุปได้ว่าคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสสูตรที่ 4 (40 : 5 : 10) ให้ค่าการนำความร้อนต่ำที่สุด เท่ากับ 0.213 แสดงว่ามีความสามารถในการเก็บสะสมความร้อนได้ดีที่สุด ซึ่งจะเห็นว่าดีกว่าคอนกรีตบล็อกพาราฟิน 40 ในเบื้องต้น ซึ่งเท่ากับ 0.385 นั้นแสดงให้เห็นว่าไฟเบอร์กลาสมากจะสามารถสะสมความร้อนได้ดี และถ้าเกลือมากจะส่งผลให้การนำความร้อนได้ดีขึ้น ทำให้สะสมความร้อนได้น้อยลง สรุปผลการทดสอบสมบัติคอนกรีตบล็อกพาราฟินทุกประเภท คือ คอนกรีตบล็อกพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสทั้ง 6 สูตร ให้ผลการทดสอบ 5 รายการ ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 สรุปผลการทดสอบสมบัติคอนกรีตบล็อกพาราฟินประเภทต่างๆ

ลำดับ	รายการ ทดสอบสมบัติ คอนกรีตบล็อก	เกณฑ์ มาตรฐาน	ประเภทคอนกรีตบล็อกพาราฟิน							การตัดสินใจ
			พาราฟิน 40	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5	สูตร 6	
1	มิติ	50*300*300 (± 3 มม. ³)	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	-
2	ความแข็งแรง (28 วัน)	≥ 3 เมกะ พาสคัล	7.83 (ผ่าน)	6.80 (ผ่าน)	7.37 (ผ่าน)	7.70 (ผ่าน)	6.89 (ผ่าน)	7.82 (ผ่าน)	7.08 (ผ่าน)	พาราฟิน 40
3	การดูดซึมน้ำ	$\leq$ ร้อยละ 10	1.38 (ผ่าน)	0.97 (ผ่าน)	1.54 (ผ่าน)	1.94 (ผ่าน)	1.51 (ผ่าน)	2.06 (ผ่าน)	2.76 (ผ่าน)	สูตร 1 (40 : 5 : 5)
4	การสะสมความร้อน	-	7.18	4.92	8.10	4.98	9.82	6.40	5.58	สูตร 4 (40 : 5 : 10)
5	การนำความร้อน	-	0.385	0.335	0.342	0.371	0.213	0.220	0.254	สูตร 4 (40 : 5 : 10)

หมายเหตุ : การทดสอบลำดับที่ 1, 2 และ 3 ต้องผ่านเกณฑ์มาตรฐาน นอก.

สรุปผลการทดสอบสมบัติคอนกรีตบล็อกดังตารางที่ 5.2 นั้น สรุปได้ว่ารายการทดสอบที่ต้องเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 378-2531 มี 3 รายการ คือ ด้านมิติ ความแข็งแรง และการดูดซึมน้ำ ซึ่งคอนกรีตทุกประเภท คือ คอนกรีตบล็อกพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสทั้ง 6 สูตร ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด และคอนกรีตบล็อกพาราฟินร้อยละ 40 มีความแข็งแรงมากที่สุดที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน แต่คอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสสูตรที่ 1 (40 : 5 : 5) มีการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด ดังนั้นเมื่อพิจารณาการทดสอบด้านการสะสมความร้อนและการนำความร้อน พบว่าคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสสูตรที่ 4 (40 : 5 : 10) ให้ค่าที่ดีที่สุด แสดงว่านอกจากพาราฟินมีกลไกสำคัญที่ช่วยเก็บสะสมพลังงานความร้อนอยู่ในรูปของพลังงานความร้อนแฝงจนทำให้พาราฟินเปลี่ยนสถานะได้แล้วนั้น ไฟเบอร์กลาสยังมีความสามารถสะสมความร้อนได้ดี และเกลือมีคุณสมบัติช่วยให้การนำความร้อน ทำให้สะสมความร้อนได้น้อยลง ดังนั้นคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสสูตรที่ 4 (40 : 5 : 10) ให้ผลดีที่สุดทั้ง 2 รายการทดสอบ

โดยสรุปงานวิจัยนี้จึงตัดสินใจเลือกใช้พาราฟินร้อยละ 40 ใส่ตรงกลาง เกลือร้อยละ 5 ผสมที่ผิวหน้า และไฟเบอร์กลาสร้อยละ 10 ผสมที่ผิวล่าง ใส่ในแผ่นคอนกรีตบล็อก เพื่อสร้างคอนกรีตบล็อกที่มีสมบัติการสะสมความร้อนได้ดี เหมาะสมในการนำไปใช้เพื่อปูพื้นโรงอบแห้งได้ต่อไป

5.1.3 การสร้างโรงต้นแบบในการทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นคอนกรีตบล็อก

จากผลการวิเคราะห์และทดสอบสมบัติของแผ่นคอนกรีตบล็อกดังกล่าวทำให้ทราบว่าแผ่นคอนกรีตบล็อกที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานได้จริงคือ คอนกรีตบล็อกที่มีพาราฟินเป็นไส้กลางร้อยละ 40 ผสมเกลือที่ผิวหน้าร้อยละ 5 และผสมไฟเบอร์กลาสด้านล่างร้อยละ 10 หลังจากนั้นจึงนำคอนกรีตบล็อกดังกล่าวไปทดลองวางปูพื้นบนโรงเรือนจำลองอบแห้ง และพบว่าการอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์ทำให้ตัวอย่างคือพริก มีความแห้งมากขึ้น ช่วยลดความชื้นและป้องกันการปนเปื้อนจากฝุ่นละอองและแมลงจากภายนอก อีกทั้งยังเป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติแสงแดดได้อย่างมีคุณค่า

ดังนั้น แผ่นพื้นคอนกรีตที่มีวัสดุพาราฟินเป็นไส้กลางร้อยละ 40 ผสมเกลือที่ผิวหน้าร้อยละ 5 และผสมไฟเบอร์กลาสด้านล่างร้อยละ 10 เหมาะสำหรับการใช้ในโรงอบแห้งของพืชผลทางการเกษตร

5.1.4 การประเมินต้นทุนการผลิตแผ่นคอนกรีตบล็อก

ในการประเมินต้นทุนการผลิตแผ่นคอนกรีตบล็อก จะประเมินเฉพาะต้นทุนวัตถุดิบเท่านั้น โดยแผ่นคอนกรีตบล็อกในการทดลองนี้มีขนาด 30 เซนติเมตร x 30 เซนติเมตร x 5 เซนติเมตร โดยมีแผ่นพาราฟินวางอยู่ด้านในและมีผิวหน้าของแผ่นคอนกรีตบล็อกผสมด้วยฝุ่นหินแกรนิต ซึ่งวัสดุทั้งหมดถูกวางตามสัดส่วนในการทดลอง ปูน : ทราย : หิน : น้ำ คือ 1 : 2 : 4 : 1 นอกจากนี้แล้วยังมีการเพิ่มเติมส่วนของการใส่เกลือเพื่อลดความร้อนและผงไฟเบอร์ผสมลงไปเพื่อป้องกันความร้อนแผ่กระจายลงไปในด้านล่าง ซึ่งจากสรุปผลการทดลองพบว่า สูตรที่เหมาะสมที่สุดที่ให้ผลการสะสมความร้อนที่สูงกว่าสูตรอื่นๆ คือคอนกรีตบล็อกสูตรที่ 4 โดยมีเกลือผสมที่ผิวหน้าร้อยละ 5 ผงไฟเบอร์ผสมด้านล่างร้อยละ 10 และมีพาราฟินอยู่ตรงกลางร้อยละ 40 ดังนั้นการประเมินต้นทุนการผลิตแผ่นคอนกรีตบล็อก จึงคิดประเมินแบ่งออกเป็น 3 ชั้น คือชั้นบน ชั้นกลาง และชั้นล่าง ดังนี้ ชั้นล่างสุดคิดเป็นเงิน 10.50 บาท ชั้นกลางคิดเป็นเงิน 3 บาท และชั้นบนสุดคิดเป็นเงิน 11.50 บาท และวัสดุอื่นๆ คือ เหล็กทำแบบ คิดเป็นเงิน 120 บาทต่อตัว

ดังนั้นเมื่อประเมินราคาแล้วพบว่า ต้นทุนการผลิตแผ่นคอนกรีตบล็อก คิดเป็นเงินรวมทั้งสิ้นเท่ากับ 145 บาทต่อบล็อกคอนกรีต 1 แผ่น

และโรงอบที่สร้างขึ้นใช้แผ่นคอนกรีตบล็อกทั้งหมด 25 ก้อนเพื่อปูพื้นโรงอบ ดังนั้นจึงสรุปราคาประเมินต้นทุนวัตถุดิบในการสร้างโรงอบขนาด 1.5 เมตร x 1.5 เมตร x 2 เมตร เป็นเงินทั้งสิ้นเท่ากับ 3,650 บาท

5.2 อภิปรายผล

การสร้างโรงอบแห้งเก็บผลผลิตทางการเกษตรนั้น เป็นแนวคิดที่มีมาแต่ดั้งเดิม จนในปัจจุบันผู้ผลิตเองไม่ได้มีพื้นที่มากพอในการสร้างโรงเก็บ รวมถึงประสิทธิภาพในการเก็บรักษา จึงเป็นเหตุให้ผู้ผลิตสินค้าทางการเกษตรและเกษตรกร นำผลผลิตที่ได้ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวเข้าสู่ตลาดหรือฝากเก็บในสถานที่เอกชน ซึ่งทำให้สินค้าระบายสู่ท้องตลาดจำนวนมาก และในกรณีที่มีการสร้างโรงเก็บ ส่วนใหญ่นิยมเน้นไปทางด้านการเก็บรักษาให้รอดพ้นจากแมลงและสัตว์เท่านั้น ไม่ได้มุ่งเน้นในการสร้างโรงเก็บที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในด้านยืดอายุการเก็บรักษา ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอและผลักดันแนวคิดในการเลือกใช้คอนกรีตบล็อกปูพื้นเพื่อเป็นทางเลือกในการสร้างประสิทธิภาพของการเก็บรักษาผลผลิต

ในด้านการสร้างพื้นโรงเรือนในการเก็บรักษา ส่วนใหญ่ได้ทำการสร้างโดยอาศัยการเทพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปที่เน้นความแข็งแรงและคงทน โดยที่ไม่รู้ว่าพื้นคอนกรีตนั้นสามารถลดความร้อนและสามารถรับความร้อนและสะสมความร้อนได้ และเมื่อคอนกรีตตากแดดและสะสมความร้อน

ทำให้เกิดพลังงานสะสมความร้อนขึ้น คอนกรีตโดยทั่วไปคายความร้อนเมื่อสถานะแวดล้อมมีอุณหภูมิลดลง ดังนั้นในการวิจัยนี้ได้เสนอแนวคิดการหน่วงความร้อนที่คอนกรีตสะสมความร้อนด้วยวัสดุพาราฟิน ซึ่งการเลือกใช้วัสดุพาราฟินเนื่องจากเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติในการเปลี่ยนเฟสจากของแข็งไปสู่ของเหลวที่อุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นได้กับห้องอบแห้งที่เป็นโรงเก็บวัสดุแบบปิดได้ดี โดยจากผลการทดลองพบว่าในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิในห้องอบสามารถทำอุณหภูมิได้ถึงช่วงนี้ และความร้อนสะสมในพาราฟินช่วยให้แผ่นคอนกรีตสะสมความร้อนได้มากกว่าคอนกรีตปกติ โดยที่สำคัญพาราฟินนี้คายความร้อนเพื่อกลับมาเป็นเฟสของแข็งได้อีกเป็นแหล่งพลังงานสำรองของแผ่นคอนกรีต ที่ช่วยยืดเวลาในการรักษาอุณหภูมิการอบออกไปได้ยาวนานกว่าการใช้คอนกรีตทั่วไปเป็นพื้นโรงอบ

สำหรับด้านการผลิต เลือกใช้วิธีการหล่อขึ้นรูป เพราะถือเป็นวิธีที่ง่ายสะดวกไม่ซับซ้อนแต่อย่างใด อีกทั้งพื้นคอนกรีตยังเสริมผสมด้วยฝุ่นไฟเบอร์กลาสที่เป็นฉนวนความร้อน เป็นผลทำให้แผ่นคอนกรีตมีกลไกการแพร่ความร้อนไปในทิศทางเดียวคือ เข้าสู่ห้องอบ จากกรรมวิธีการผลิตดังกล่าวช่วยทำให้โรงอบแห้งไม่สูญเสียความร้อนออกสู่พื้นดินด้านล่าง

อาจกล่าวได้ว่าคอนกรีตบล็อกปูพื้นแบบสะสมความร้อนนี้ เป็นทางเลือกที่ทำให้ผู้ประกอบการหรือเกษตรกรสามารถเลือกใช้วัสดุเพื่อนำไปใช้ในการเกษตรด้านการเก็บรักษาและอบแห้งได้ต่อไป

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 จากการศึกษาทดลอง ควรมีการจัดหน้าแผ่นตัวอย่างให้เรียบมากกว่านี้เพื่อป้องกันการเอียงของพาราฟิน ออกจากแผ่นตัวอย่าง

5.3.2 งานวิจัยนี้อาจมีความเป็นไปได้ที่สามารถนำพาราฟินมาทดลองอัตราส่วนที่มากหรือน้อยกว่านี้เพื่อหาค่าที่เหมาะสมต่อไป

5.3.3 การศึกษาวิจัยเรื่องผนังบล็อกคอนกรีตที่สามารถเก็บความร้อนขึ้นได้ อาจทำให้ได้ประสิทธิภาพของโรงอบที่ช่วยลดความชื้นไว้ในตอนกลางคืน และสามารถลดความชื้นในโรงอบได้ดียิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

- Amouzou, K., Gnininvani, M., Kerim, B., 1986. Solar drying problem in Togo: research and development solar drying in Africa. *In: Proceedings of a Workshop held in Dakar*; p. 252–71.
- Hallack, H., Hilal, J., Hilal, F., Rahhal, R., 1996. The staircase solar dryer: design and characteristics. **Renewable Energy**.7(2):177–83.
- Janjai, S., Intawee, P., Chaichoet, C., Sawatdisawanee, Y., 2006. Development and dissemination of the SILPAKORN-TYPE solar greenhouse dryer. *In. International conference on Green and Sustainable Innovation*. November 29 -December 1, 2006 Amora Tapae Hotel, Chiangmai Thailand.
- Janjai, S., 2010. Sola radiation maps from satellite data for Thailand, Silpakron University, Thailand.
- Koyuncu, T., 2006. An investigation on the performance improvement of greenhouse- type agricultural dryers. **Renewable Energy**.31:1055–71.
- Madhlopa, A., Jones, SA., Saka, JDK., 2002. A solar air heater with composite-absorber systems for food dehydration. **Renewable Energy**.27:27–37.
- Pangavhane, DR., Sawhney, RL., Sarsavadia, PN., 2002. Design, development and performance testing of a new natural convection solar dryer. **J. Energy**.27:579–90.
- Sarachitti, R., Chotetanorm, C., Lertsatitthanakorn, C., Rungsiyopas, M., 2011. Thermal performance analysis and economic evaluation of roof-integrated solar concrete collector, **Energy Buildings**.
- Zhang, D., Li, Z., Zhou, J., Wu, K., 2004. Development of thermal energy storage Concrete. **Cement and Concrete Research**. 34: 927–934.
- สุนันท์ ศรีณนิตย์. การถ่ายเทความร้อน. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, 2548. เข้าถึงข้อมูลเมื่อวันที่ 12 ธันวาคม 2555 http://ess.geology.ufl.edu/ess/Notes/020-Intro_ESS/Fig2.html

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

หนังสือขอเข้าใช้พื้นที่ในการเก็บข้อมูล





บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ...มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ โทรศัทพ์ ๐๒-๓๒๙, ๒๒๑๕, ..

ที่... พอ ๐๔๓๔.๐๖/ธอ ๒๐ วันที่ ๘ กุมภาพันธ์ ๒๕๕๑

เรื่อง...ขอใช้สถานที่อาคาร ๓๗ ชั้นอาคาร ๓๗

เรียน...หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

ด้วยคณะกรรมการบริหารงาน จัดสรรรายจ่าย ได้ทำวินิจฉัยโครงการ (เรื่อง การพัฒนาระบบของสม
การเรือนของคอนกรีตบดอัดในอาคารเก็บ หักสมทางกรมเกษตร ดังนั้น จึงขอใช้สถานที่ชั้นสามอาคาร ๓๗
โดยนำเงินงานเพื่อทดลอง ความร้อนของชิ้นงานทดสอบ ตั้งแต่วันที่ ๗-๑๕ กุมภาพันธ์ ๒๕๕๑

จึงเรียนมาเพื่อขออนุญาต

(นายธรรมมา จีระธรรมาธิช)

หัวหน้าโครงการวิจัย

นายธีระชน ฤกษ์ศิริณ ณ อยุธยา

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา





ที่ ศธ ๐๖๓๗.๐๔/๖๓

คณะกรรมการกลาง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

๓ ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งพระเมรุ

เขตสายไหม กรุงเทพมหานคร ๑๐๑๒๐

- 3 ธ.ค. 2556

เรื่อง พิจารณารายงานความก้าวหน้าโครงการเพื่อทำการศึกษา

เรียน คุณธนากร งามกิจ

สิ่งที่ส่งมาด้วย รายงานผลการดำเนินงาน ประจำปี ๒๕๕๖

ตามที่คณะกรรมการกลาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ได้ทำมติที่ประชุม เรื่อง "การพัฒนาระบบสารสนเทศของกองกลางในโอกาสครบรอบ ๖๐ ปีของการก่อตั้ง" โดยมีอาจารย์ดร.ธนากร งามกิจ เป็นผู้รับผิดชอบโครงการนี้ ในการนี้จึงขอความอนุเคราะห์ใช้ใช้พื้นที่เพื่อทำการศึกษาและดำเนินการวิจัยเกี่ยวกับโครงการนี้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วชิรวิทย์ งามกิจ)

คณะกรรมการกลาง

คณะกรรมการกลาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

โทรศัพท์ ๐ ๒๕๕๓ ๓๖๐๐ ถึง ๒๕๕๓ ๓๖๐๑ หรือ ๐ ๒๕๕๓ ๓๖๐๑

โทรสาร ๐ ๒๕๕๓ ๓๖๐๑

ภาคผนวก ข

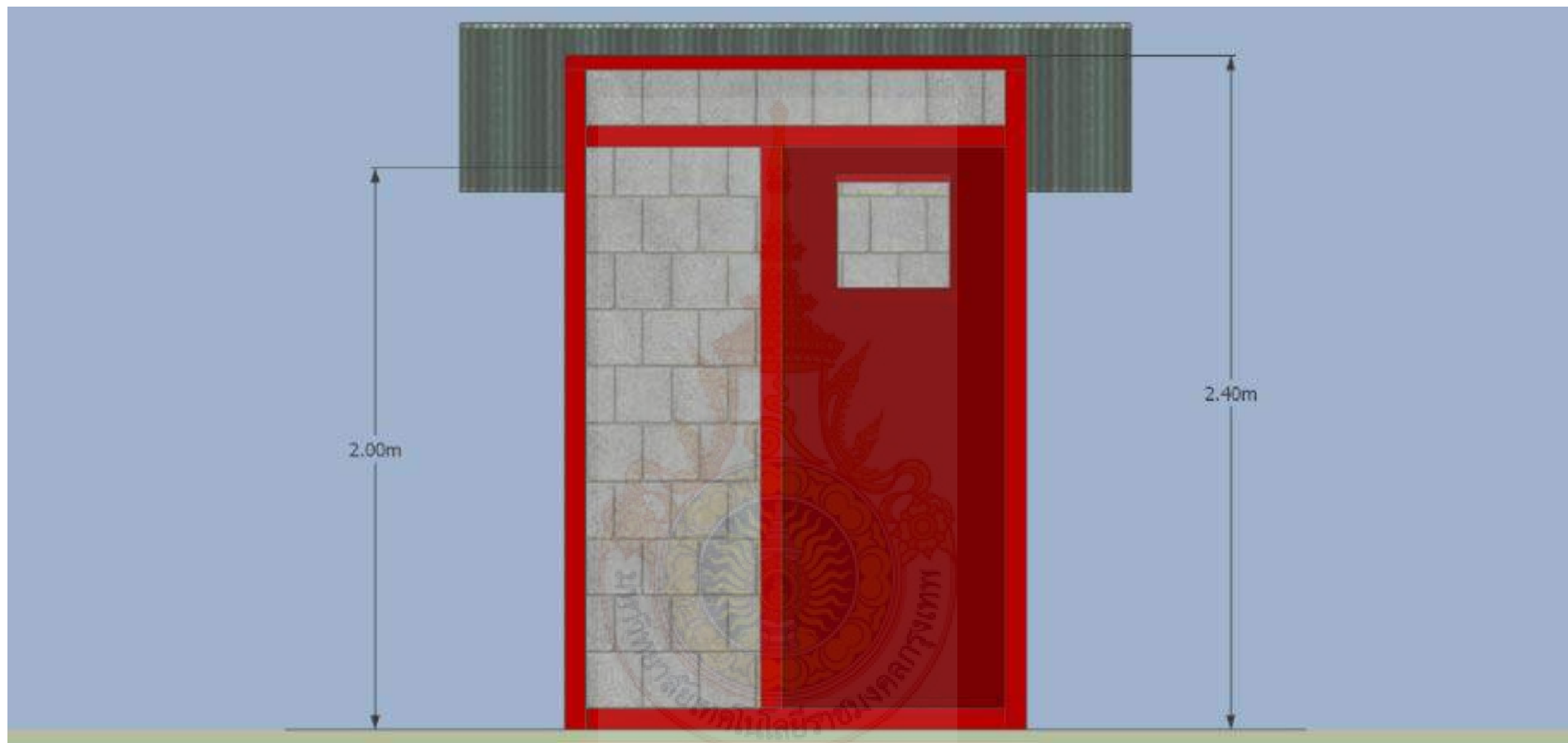
แบบรายละเอียดโรงต้นแบบ



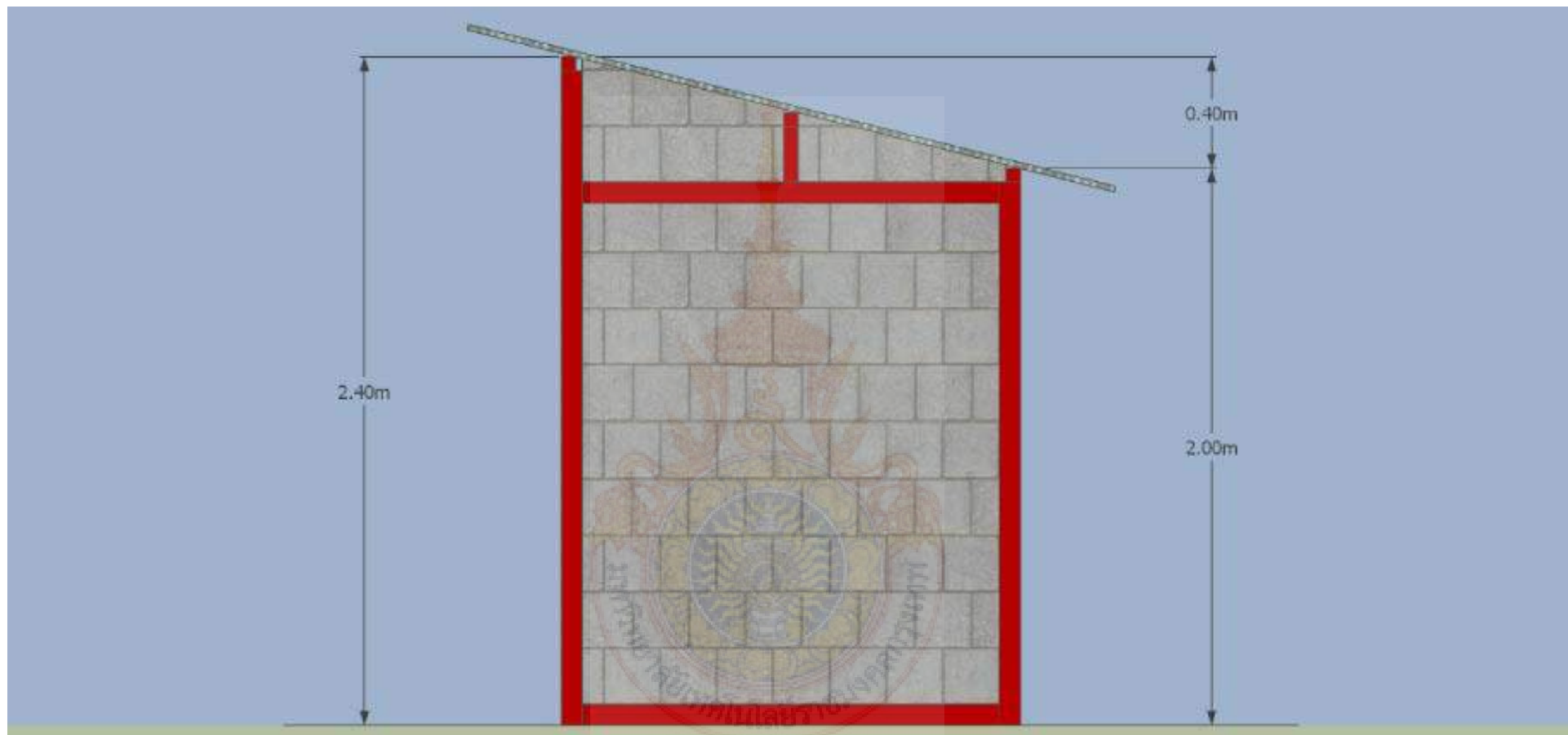
แบบรายละเอียดโรงต้นแบบ



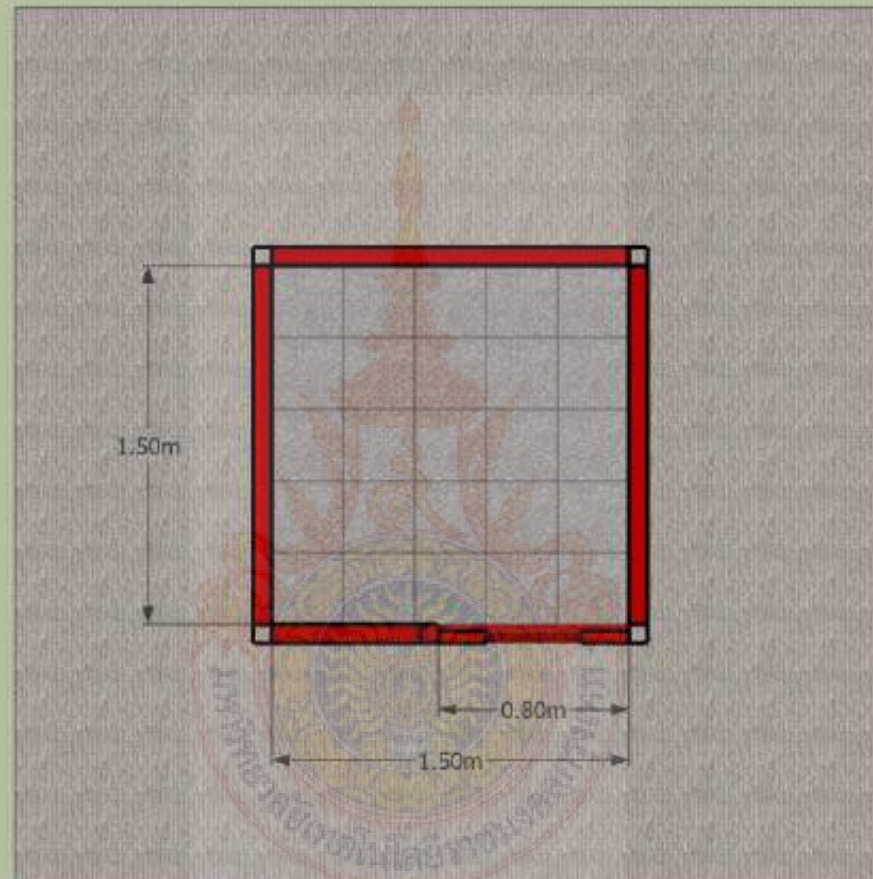
ภาพที่ ข.1 แบบรายละเอียดโรงต้นแบบ



ภาพที่ ข.2 แบบรายละเอียดโรงต้นแบบพร้อมขนาด ด้านหน้า



ภาพที่ ข.3 แบบรายละเอียดโรงต้นแบบพร้อมขนาด ด้านข้าง

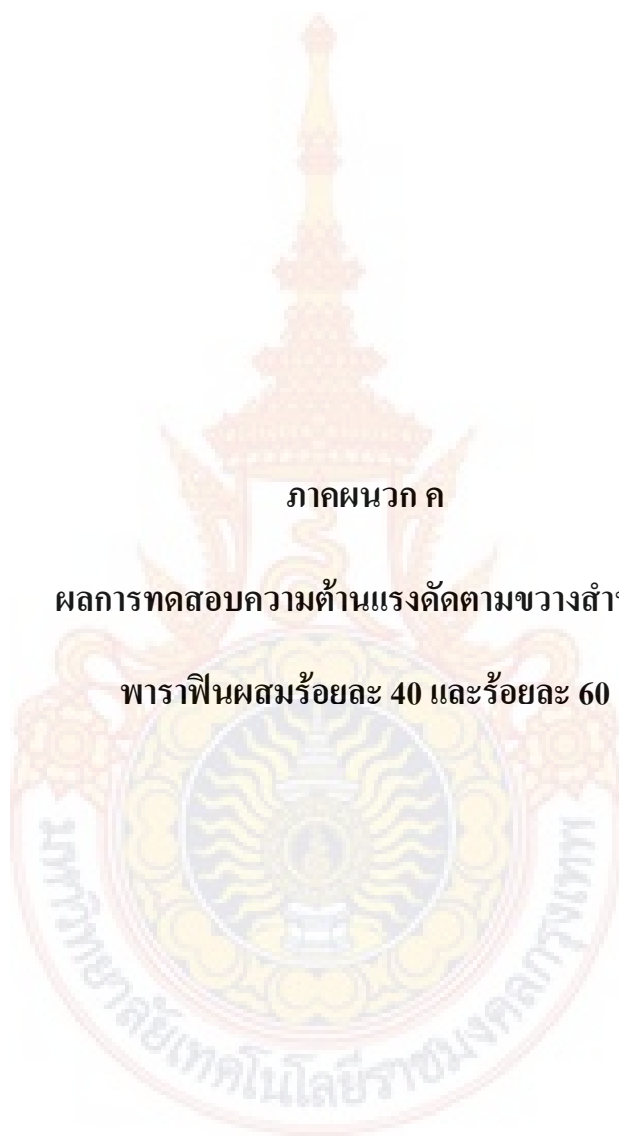


ภาพที่ ข.4 แบบรายละเอียดโรงต้นแบบพร้อมขนาด ด้านบน

ภาคผนวก ค

ผลการทดสอบความต้านแรงดัดตามขวางสำหรับ

พาราฟินผสมร้อยละ 40 และร้อยละ 60



ผลการทดสอบความต้านแรงดัดตามขวางสำหรับ พาราฟินผสมร้อยละ 40 และร้อยละ 60

ตารางที่ ก.1 ค่าความต้านแรงดัดตามขวางของกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น มาตรฐานบ่มที่ 7 วัน

ตัวอย่าง กระเบื้อง	แรงที่กดได้ (P) (นิวตัน)	ความหนา (t)	ความกว้าง (b)	ความยาว (L)	ระยะห่าง (l) = 2L/3	ค่า $f = \frac{3Pl}{2bt^2}$	ค่าเฉลี่ย (f) 3 แผ่น
1	15,600	51	300	301	200.67	6.02	6.05
2	15,500	51	299	301	200.67	6.00	
3	15,300	50	301	301	200.67	6.12	

ตารางที่ ก.2 ค่าความต้านแรงดัดตามขวางของคอนกรีตปูพื้นพาราฟินร้อยละ 40 บ่มที่ 7 วัน

ตัวอย่าง กระเบื้อง	แรงที่กดได้ (P) (นิวตัน)	ความหนา (t)	ความกว้าง (b)	ความยาว (L)	ระยะห่าง (l) = 2L/3	ค่า $f = \frac{3Pl}{2bt^2}$	ค่าเฉลี่ย (f) 3 แผ่น
1	15,400	50	297	300	200.00	6.22	6.19
2	15,600	51	299	300	200.00	6.02	
3	15,800	50	300	300	200.00	6.32	

ตารางที่ ก.3 ค่าความต้านแรงดัดตามขวางของคอนกรีตปูพื้นพาราฟินร้อยละ 60 บ่มที่ 7 วัน

ตัวอย่าง กระเบื้อง	แรงที่กดได้ (P) (นิวตัน)	ความ หนา (t)	ความกว้าง (b)	ความยาว (L)	ระยะห่าง (l) = 2L/3	ค่า $f = \frac{3Pl}{2bt^2}$	ค่าเฉลี่ย (f) 3 แผ่น
1	15,400	52	300	300.50	200.33	5.70	6.09
2	15,600	50	300	300	200.00	6.24	
3	15,600	50	299	302.50	201.67	6.31	

ตารางที่ ก.4 ค่าความต้านแรงคดตามขวางของคอนกรีตปูพื้น มาตรฐานบ่มที่ 14 วัน

ตัวอย่าง กระเบื้อง	แรงที่กดได้ (P) (นิวตัน)	ความ หนา (t)	ความกว้าง (b)	ความยาว (L)	ระยะห่าง (l) = 2L/3	ค่า $f = \frac{3Pl}{2bt^2}$	ค่าเฉลี่ย (f) 3 แผ่น
1	17,900	50	298	303	202.00	7.28	6.89
2	17,600	51	301	303	202.00	6.81	
3	17,000	51	301	303	202.00	6.58	

ตารางที่ ก.5 ค่าความต้านแรงคดตามขวางของคอนกรีตปูพื้นพาราฟินร้อยละ 40 บ่มที่ 14 วัน

ตัวอย่าง กระเบื้อง	แรงที่กดได้ (P) (นิวตัน)	ความ หนา (t)	ความกว้าง (b)	ความยาว (L)	ระยะห่าง (l) = 2L/3	ค่า $f = \frac{3Pl}{2bt^2}$	ค่าเฉลี่ย (f) 3 แผ่น
1	16,400	48	300	301	200.67	7.14	6.97
2	16,800	50	297	300	200.00	6.79	
3	17,300	50	300	302	201.33	6.97	

ตารางที่ ก.6 ค่าความต้านแรงคดตามขวางของคอนกรีตปูพื้นพาราฟินร้อยละ 60 บ่มที่ 14 วัน

ตัวอย่าง กระเบื้อง	แรงที่กดได้ (P) (นิวตัน)	ความ หนา (t)	ความกว้าง (b)	ความยาว (L)	ระยะห่าง (l) = 2L/3	ค่า $f = \frac{3Pl}{2bt^2}$	ค่าเฉลี่ย (f) 3 แผ่น
1	17,000	52	300	303	202.00	6.35	6.48
2	17,800	53	298	301	200.67	6.40	
3	17,300	51	298	301	200.67	6.72	

ตารางที่ ก.7 ค่าความต้านแรงคดตามขวางของคอนกรีตปูพื้น มาตรฐานบ่มที่ 28 วัน

ตัวอย่าง กระเบื้อง	แรงที่กดได้ (P) (นิวตัน)	ความ หนา (t)	ความกว้าง (b)	ความยาว (L)	ระยะห่าง (l) = 2L/3	ค่า $f = \frac{3Pl}{2bt^2}$	ค่าเฉลี่ย (f) 3 แผ่น
1	18,700	50	300	302	201.33	7.53	7.24
2	19,000	52	300	302	201.33	7.07	
3	18,400	51	300	302	201.33	7.12	

ตารางที่ ก.8 ค่าความต้านแรงคดตามขวางของคอนกรีตปูพื้นพาราฟินร้อยละ 40 บ่มที่ 28 วัน

ตัวอย่าง กระเบื้อง	แรงที่กดได้ (P) (นิวตัน)	ความ หนา (t)	ความกว้าง (b)	ความยาว (L)	ระยะห่าง (l) = 2L/3	ค่า $f = \frac{3Pl}{2bt^2}$	ค่าเฉลี่ย (f) 3 แผ่น
1	19,000	48	300	301	200.67	8.27	7.83
2	18,800	50	297	300	200.00	7.60	
3	18,900	50	300	302	201.33	7.61	

ตารางที่ ก.9 ค่าความต้านแรงคดตามขวางของคอนกรีตปูพื้นพาราฟินร้อยละ 60 บ่มที่ 28 วัน

ตัวอย่าง กระเบื้อง	แรงที่กดได้ (P) (นิวตัน)	ความ หนา (t)	ความกว้าง (b)	ความยาว (L)	ระยะห่าง (l) = 2L/3	ค่า $f = \frac{3Pl}{2bt^2}$	ค่าเฉลี่ย (f) 3 แผ่น
1	19,400	51	298	300	200.00	7.51	7.74
2	19,500	50	301	301	200.67	7.80	
3	18,900	49	298	300	200.00	7.92	

ภาคผนวก ง

ผลการทดสอบความต้านแรงดัดตามขวางของคอนกรีตปูพื้นที่มีพาราฟินร้อยละ 40



ผลการทดสอบความต้านแรงดัดตามขวางของคอนกรีตปูพื้นที่มีพาราฟินร้อยละ 40

ตารางที่ ง.1 ค่าความต้านแรงดัดตามขวางของคอนกรีตปูพื้นคอนกรีตผสมเกลี้อยู่ละ 5 ต่อ ไฟเบอร์กลาส

ร้อยละ 5 บ่มที่ 7 วัน

ตัวอย่าง กระเบื้อง	แรงที่กดได้ (P) (นิวตัน)	ความ หนา (t)	ความกว้าง (b)	ความยาว (L)	ระยะห่าง (l) = 2L/3	ค่า $f = \frac{3Pl}{2bt^2}$	ค่าเฉลี่ย (f) 3 แผ่น
1	14,000	50	297	300	200.00	5.66	5.66
2	14,500	51	299	300	200.00	5.59	
3	14,300	50	300	300	200.00	5.72	

ตารางที่ ง.2 ค่าความต้านแรงดัดตามขวางของคอนกรีตปูพื้นคอนกรีตผสมเกลี้อยู่ละ 5 ต่อ ไฟเบอร์กลาส

ร้อยละ 5 บ่มที่ 14 วัน

ตัวอย่าง กระเบื้อง	แรงที่กดได้ (P) (นิวตัน)	ความ หนา (t)	ความกว้าง (b)	ความยาว (L)	ระยะห่าง (l) = 2L/3	ค่า $f = \frac{3Pl}{2bt^2}$	ค่าเฉลี่ย (f) 3 แผ่น
1	16,400	50	297	301	200.67	6.65	6.34
2	16,600	53	298	300	200.00	5.95	
3	16,450	51	298	302	201.33	6.41	

ตารางที่ ๓.3 ค่าความต้านแรงค้ำตามขวางของคอนกรีตปูพื้นคอนกรีตผสมเกลี้อยู่ละ 5 ต่อ ไฟเบอร์กลาส

ร้อยละ 5 บ่มที่ 28 วัน

ตัวอย่าง กระเบื้อง	แรงที่กดได้ (P) (นิวตัน)	ความ หนา (t)	ความกว้าง (b)	ความยาว (L)	ระยะห่าง (l) = 2L/3	ค่า $f = \frac{3Pl}{2bt^2}$	ค่าเฉลี่ย (f) 3 แผ่น
1	17,500	50	298	301.50	201.00	7.08	6.83
2	17,600	51	301	301.50	201.00	6.78	
3	17,200	51	301	301.50	201.00	6.62	

ตารางที่ ๓.4 ค่าความต้านแรงค้ำตามขวางของคอนกรีตปูพื้นคอนกรีตผสมเกลี้อยู่ละ 10 ต่อ ไฟเบอร์กลาส

ร้อยละ 5 บ่มที่ 7 วัน

ตัวอย่าง กระเบื้อง	แรงที่กดได้ (P) (นิวตัน)	ความ หนา (t)	ความกว้าง (b)	ความยาว (L)	ระยะห่าง (l) = 2L/3	ค่า $f = \frac{3Pl}{2bt^2}$	ค่าเฉลี่ย (f) 3 แผ่น
1	14,550	50	298	303	202.00	5.92	5.74
2	14,600	51	299	303	202.00	5.69	
3	14,500	51	301	303	202.00	5.61	

ตารางที่ ๓.5 ค่าความต้านแรงค้ำตามขวางของคอนกรีตปูพื้นคอนกรีตผสมเกลี้อยู่ละ 10 ต่อ ไฟเบอร์กลาส

ร้อยละ 5 บ่มที่ 14 วัน

ตัวอย่าง กระเบื้อง	แรงที่กดได้ (P) (นิวตัน)	ความ หนา (t)	ความกว้าง (b)	ความยาว (L)	ระยะห่าง (l) = 2L/3	ค่า $f = \frac{3Pl}{2bt^2}$	ค่าเฉลี่ย (f) 3 แผ่น
1	17,900	50	298	303	202.00	7.28	7.14
2	17,400	50	301	303	202.00	7.01	
3	17,000	49	301	303	202.00	7.13	

ตารางที่ ง.6 ค่าความต้านแรงค้ำตามขวางของคอนกรีตปูพื้นคอนกรีตผสมเกลี้อยู่ละ 10 ต่อ ไฟเบอร์กลาส

ร้อยละ 5 บ่มที่ 28 วัน

ตัวอย่าง กระเบื้อง	แรงที่กดได้ (P) (นิวตัน)	ความ หนา (t)	ความกว้าง (b)	ความยาว (L)	ระยะห่าง (l) = 2L/3	ค่า $f = \frac{3Pl}{2bt^2}$	ค่าเฉลี่ย (f) 3 แผ่น
1	19,200	50	300	303	202.00	7.76	7.46
2	19,100	51	301	301	200.67	7.34	
3	18,900	51	300	301	200.67	7.29	

ตารางที่ ง.7 ค่าความต้านแรงค้ำตามขวางของคอนกรีตปูพื้นคอนกรีตผสมเกลี้อยู่ละ 15 ต่อ ไฟเบอร์กลาส

ร้อยละ 5 บ่มที่ 7 วัน

ตัวอย่าง กระเบื้อง	แรงที่กดได้ (P) (นิวตัน)	ความ หนา (t)	ความกว้าง (b)	ความยาว (L)	ระยะห่าง (l) = 2L/3	ค่า $f = \frac{3Pl}{2bt^2}$	ค่าเฉลี่ย (f) 3 แผ่น
1	18,680	50	298	303	202.00	7.60	7.20
2	18,100	51	300	300	200.00	6.96	
3	18,200	51	301	303	202.00	7.04	

ตารางที่ ง.8 ค่าความต้านแรงค้ำตามขวางของคอนกรีตปูพื้นคอนกรีตผสมเกลี้อยู่ละ 15 ต่อ ไฟเบอร์กลาส

ร้อยละ 5 บ่มที่ 14 วัน

ตัวอย่าง กระเบื้อง	แรงที่กดได้ (P) (นิวตัน)	ความ หนา (t)	ความกว้าง (b)	ความยาว (L)	ระยะห่าง (l) = 2L/3	ค่า $f = \frac{3Pl}{2bt^2}$	ค่าเฉลี่ย (f) 3 แผ่น
1	19,000	51	300	301	200.67	7.33	7.52
2	18,800	50	298	300	200.00	7.57	
3	19,000	50	300	302	201.33	7.65	

ตารางที่ ง.9 ค่าความต้านแรงคัดตามขวางของคอนกรีตปูพื้นคอนกรีตผสมเกลี้อยู่ละ 15 ต่อ ไฟเบอร์กลาส

ร้อยละ 5 บ่มที่ 28 วัน

ตัวอย่าง กระเบื้อง	แรงที่กดได้ (P) (นิวตัน)	ความ หนา (t)	ความกว้าง (b)	ความยาว (L)	ระยะห่าง (l) = 2L/3	ค่า $f = \frac{3Pl}{2bt^2}$	ค่าเฉลี่ย (f) 3 แผ่น
1	19,400	51	298	303	202.00	7.58	7.71
2	19,500	50	301	301	200.67	7.80	
3	19,300	50	300	300.50	200.33	7.73	

ตารางที่ ง.10 ค่าความต้านแรงคัดตามขวางของคอนกรีตปูพื้นคอนกรีตผสมเกลี้อยู่ละ 5 ต่อ ไฟเบอร์กลาส

ร้อยละ 10 บ่มที่ 7 วัน

ตัวอย่าง กระเบื้อง	แรงที่กดได้ (P) (นิวตัน)	ความ หนา (t)	ความกว้าง (b)	ความยาว (L)	ระยะห่าง (l) = 2L/3	ค่า $f = \frac{3Pl}{2bt^2}$	ค่าเฉลี่ย (f) 3 แผ่น
1	15,040	51	300	301	200.67	5.80	5.86
2	14,820	51	299	301	200.67	5.74	
3	15,140	50	301	301	200.67	6.06	

ตารางที่ ง.11 ค่าความต้านแรงคัดตามขวางของคอนกรีตปูพื้นคอนกรีตผสมเกลี้อยู่ละ 5 ต่อ ไฟเบอร์กลาส

ร้อยละ 10 บ่มที่ 14 วัน

ตัวอย่าง กระเบื้อง	แรงที่กดได้ (P) (นิวตัน)	ความ หนา (t)	ความกว้าง (b)	ความยาว (L)	ระยะห่าง (l) = 2L/3	ค่า $f = \frac{3Pl}{2bt^2}$	ค่าเฉลี่ย (f) 3 แผ่น
1	16,400	49	300	301	200.67	6.85	6.70
2	16,800	50	301	300	200.00	6.70	
3	16,300	50	300	301.50	201.00	6.55	

ตารางที่ ง.12 ค่าความต้านแรงดัดตามขวางของคอนกรีตปูพื้นคอนกรีตผสมเกลี้อยู่ละ 5 ต่อ ไฟเบอร์กลาส

ร้อยละ 10 บ่มที่ 28 วัน

ตัวอย่าง กระเบื้อง	แรงที่กดได้ (P) (นิวตัน)	ความ หนา (t)	ความกว้าง (b)	ความยาว (L)	ระยะห่าง (l) = 2L/3	ค่า $f = \frac{3Pl}{2bt^2}$	ค่าเฉลี่ย (f) 3 แผ่น
1	17,900	50	298	303	202.00	7.28	6.89
2	17,600	51	301	303	202.00	6.81	
3	17,000	51	301	303	202.00	6.58	

ตารางที่ ง.13 ค่าความต้านแรงดัดตามขวางของคอนกรีตปูพื้นคอนกรีตผสมเกลี้อยู่ละ 10 ต่อ ไฟเบอร์กลาส

ร้อยละ 10 บ่มที่ 7 วัน

ตัวอย่าง กระเบื้อง	แรงที่กดได้ (P) (นิวตัน)	ความ หนา (t)	ความกว้าง (b)	ความยาว (L)	ระยะห่าง (l) = 2L/3	ค่า $f = \frac{3Pl}{2bt^2}$	ค่าเฉลี่ย (f) 3 แผ่น
1	16,900	50	298	303	202.00	6.87	6.50
2	16,600	51	301	303	202.00	6.42	
3	16,000	51	301	303	202.00	6.19	

ตารางที่ ง.14 ค่าความต้านแรงดัดตามขวางของคอนกรีตปูพื้นคอนกรีตผสมเกลี้อยู่ละ 10 ต่อ ไฟเบอร์กลาส

ร้อยละ 10 บ่มที่ 14 วัน

ตัวอย่าง กระเบื้อง	แรงที่กดได้ (P) (นิวตัน)	ความ หนา (t)	ความกว้าง (b)	ความยาว (L)	ระยะห่าง (l) = 2L/3	ค่า $f = \frac{3Pl}{2bt^2}$	ค่าเฉลี่ย (f) 3 แผ่น
1	17,900	50	300	303	202.00	7.23	6.87
2	17,600	51	301	303	202.00	6.81	
3	17,000	51	301	303	202.00	6.58	

ตารางที่ ง.15 ค่าความต้านแรงดัดตามขวางของคอนกรีตปูพื้นคอนกรีตผสมเกลี้อยู่ละ 10 ต่อ ไฟเบอร์กลาส

ร้อยละ 10 บ่มที่ 28 วัน

ตัวอย่าง กระเบื้อง	แรงที่กดได้ (P) (นิวตัน)	ความ หนา (t)	ความกว้าง (b)	ความยาว (L)	ระยะห่าง (l) = 2L/3	ค่า $f = \frac{3Pl}{2bt^2}$	ค่าเฉลี่ย (f) 3 แผ่น
1	19,000	48	300	300	200.00	8.25	7.81
2	18,800	50	297	300	200.00	7.60	
3	18,900	50	300	301.50	201.00	7.60	

ตารางที่ ง.16 ค่าความต้านแรงดัดตามขวางของคอนกรีตปูพื้นคอนกรีตผสมเกลี้อยู่ละ 15 ต่อ ไฟเบอร์กลาส

ร้อยละ 10 บ่มที่ 7 วัน

ตัวอย่าง กระเบื้อง	แรงที่กดได้ (P) (นิวตัน)	ความ หนา (t)	ความกว้าง (b)	ความยาว (L)	ระยะห่าง (l) = 2L/3	ค่า $f = \frac{3Pl}{2bt^2}$	ค่าเฉลี่ย (f) 3 แผ่น
1	15,620	50	298	303	202.00	6.35	6.19
2	15,900	51	301	303	202.00	6.15	
3	15,700	51	301	303	202.00	6.08	

ตารางที่ ง.17 ค่าความต้านแรงดัดตามขวางของคอนกรีตปูพื้นคอนกรีตผสมเกลี้อยู่ละ 15 ต่อ ไฟเบอร์กลาส

ร้อยละ 10 บ่มที่ 14 วัน

ตัวอย่าง กระเบื้อง	แรงที่กดได้ (P) (นิวตัน)	ความ หนา (t)	ความกว้าง (b)	ความยาว (L)	ระยะห่าง (l) = 2L/3	ค่า $f = \frac{3Pl}{2bt^2}$	ค่าเฉลี่ย (f) 3 แผ่น
1	16,400	48	300	301	200.67	7.14	6.97
2	16,800	50	297	300	200.00	6.79	
3	17,300	50	300	302	201.33	6.97	

ตารางที่ ง.18 ค่าความต้านแรงดัดตามขวางของคอนกรีตปูพื้นคอนกรีตผสมเกลี้อยู่ละ 15 ต่อ ไฟเบอร์กลาส ร้อยละ 10 ปุ่มที่ 28 วัน

ตัวอย่าง กระเบื้อง	แรงที่กดได้ (P) (นิวตัน)	ความ หนา (t)	ความกว้าง (b)	ความยาว (L)	ระยะห่าง (l) = 2L/3	ค่า $f = \frac{3Pl}{2bt^2}$	ค่าเฉลี่ย (f) 3 แผ่น
1	17,900	50	298	303	202.00	7.28	7.08
2	17,600	51	301	303	202.00	6.81	
3	17,700	50	300	303	202.00	7.15	



ภาคผนวก จ

ผลการวิเคราะห์ผ่านโปรแกรมทางสถิติ



8/18/2013 7:29:32 PM

Welcome to Minitab, press F1 for help.

One-way ANOVA: thick_standard, thick_paraffin40, thick_paraffin60

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	8.22	4.11	4.04	0.031
Error	24	24.44	1.02		
Total	26	32.67			

S = 1.009 R-Sq = 25.17% R-Sq(adj) = 18.93%

Level	N	Mean	StDev
thick_standard	9	50.778	0.667
thick_paraffin40	9	49.667	1.000
thick_paraffin60	9	50.889	1.269

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	Mean	Lower CI	Upper CI
thick_standard	50.778	49.70	51.85
thick_paraffin40	49.667	48.60	50.73
thick_paraffin60	50.889	49.80	51.97

Pooled StDev = 1.009

One-way ANOVA: width_standard, width_paraffin40, width_paraffin60

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	6.22	3.11	2.09	0.146
Error	24	35.78	1.49		
Total	26	42.00			

S = 1.221 R-Sq = 14.81% R-Sq(adj) = 7.72%

Level	N	Mean	StDev
width_standard	9	300.00	1.00
width_paraffin40	9	298.89	1.45
width_paraffin60	9	299.11	1.17

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	Mean	Lower CI	Upper CI
width_standard	300.00	298.90	301.10
width_paraffin40	298.89	297.30	300.48
width_paraffin60	299.11	297.50	300.72

Pooled StDev = 1.22

One-way ANOVA: length_standard, length_paraffin40, length_paraffin60

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	8.667	4.333	4.84	0.017
Error	24	21.500	0.896		
Total	26	30.167			

S = 0.9465 R-Sq = 28.73% R-Sq(adj) = 22.79%

				Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev			
Level	N	Mean	StDev	-----+-----+-----+-----+-----			
length_standard	9	302.000	0.866	(-----*-----)			
length_paraffin40	9	300.667	0.866	(-----*-----)			
length_paraffin60	9	301.000	1.090	(-----*-----)			
				-----+-----+-----+-----+-----			
				300.30	301.00	301.70	302.40

Pooled StDev = 0.946

8/19/2013 8:53:21 AM

Welcome to Minitab, press F1 for help.

Retrieving project from file: 'F:\r56\มัลติ\มัลติ\R56_Mol\Minitab.MPJ'

Two-way ANOVA: f versus day, paraffin

Source	DF	SS	MS	F	P
day	2	10.1263	5.06316	76.88	0.000
paraffin	2	0.3683	0.18416	2.80	0.088
Interaction	4	0.6609	0.16521	2.51	0.078
Error	18	1.1854	0.06586		
Total	26	12.3409			

S = 0.2566 R-Sq = 90.39% R-Sq(adj) = 86.13%

Individual Value Plot of f vs day, paraffin**Boxplot of f**

Two-Sample T-Test and CI: Normal, Room

Two-sample T for Normal vs Room

	N	Mean	StDev	SE Mean
Normal	15	33.80	4.89	1.3
Room	15	39.08	7.36	1.9

Difference = μ (Normal) - μ (Room)

Estimate for difference: -5.28

95% CI for difference: (-9.99, -0.57)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -2.31 P-Value = 0.030 DF = 24

Boxplot of temp.

One-way ANOVA: standard_temp, paraffin40_temp, paraffin60_temp

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	65.10	32.55	3.94	0.048
Error	12	99.18	8.27		
Total	14	164.28			

S = 2.875 R-Sq = 39.63% R-Sq(adj) = 29.56%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev			
Level	N	Mean	StDev
standard_temp	5	2.380	1.702
paraffin40_temp	5	7.180	3.272
paraffin60_temp	5	6.280	3.345

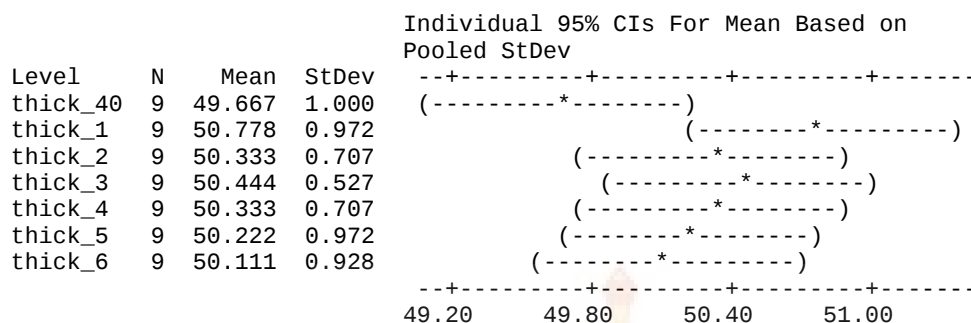
Pooled StDev = 2.875

Boxplot of standard_temp, paraffin40_temp, paraffin60_temp

One-way ANOVA: thick_40, thick_1, thick_2, thick_3, thick_4, thick_5, thick_6

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	6	6.190	1.032	1.44	0.217
Error	56	40.222	0.718		
Total	62	46.413			

S = 0.8475 R-Sq = 13.34% R-Sq(adj) = 4.05%



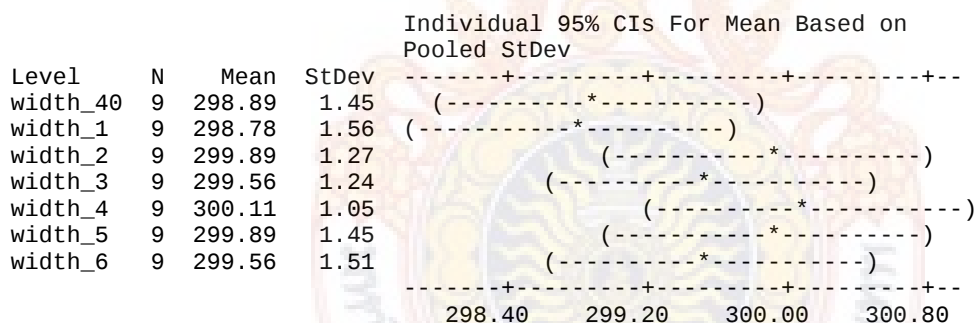
Pooled StDev = 0.847

Boxplot of thick_40, thick_1, thick_2, thick_3, thick_4, thick_5, thick_6

One-way ANOVA: width_40, width_1, width_2, width_3, width_4, width_5, width_6

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	6	14.16	2.36	1.25	0.294
Error	56	105.56	1.88		
Total	62	119.71			

S = 1.373 R-Sq = 11.83% R-Sq(adj) = 2.38%



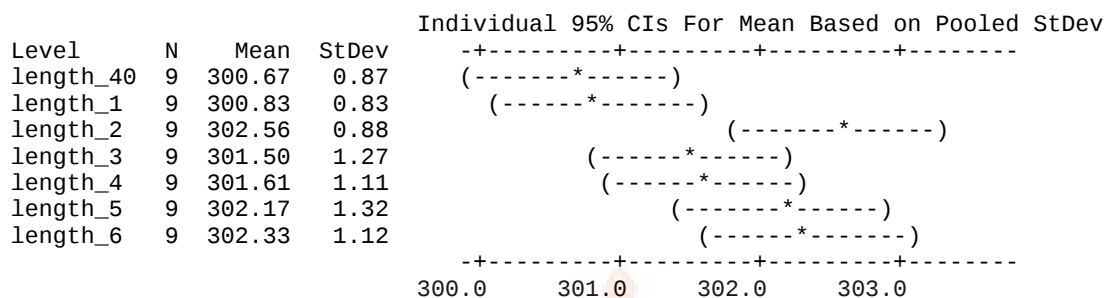
Pooled StDev = 1.37

Boxplot of width_40, width_1, width_2, width_3, width_4, width_5, width_6

One-way ANOVA: length_40, length_1, length_2, length_3, length_4, length_5, ...

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	6	28.89	4.81	4.17	0.002
Error	56	64.61	1.15		
Total	62	93.50			

S = 1.074 R-Sq = 30.90% R-Sq(adj) = 23.49%



Pooled StDev = 1.07

Boxplot of length_40, length_1, length_2, length_3, length_4, length_5, length_6

Two-way ANOVA: ความต้านแรงดัด versus เวลาการบ่ม, คอนกรีตบดอัด

Source	DF	SS	MS	F	P
เวลาการบ่ม	2	15.9269	7.96347	114.20	0.000
คอนกรีตบดอัด	6	5.4597	0.90995	13.05	0.000
Interaction	12	1.4316	0.11930	1.71	0.099
Error	42	2.9289	0.06973		
Total	62	25.7472			

S = 0.2641 R-Sq = 88.62% R-Sq(adj) = 83.21%

Boxplot of ความต้านแรงดัด

Two-Sample T-Test and CI: Normal Temp., Room Temp.

Two-sample T for Normal Temp. vs Room Temp.

	N	Mean	StDev	SE Mean
Normal Temp.	35	33.48	4.31	0.73
Room Temp.	35	40.19	6.37	1.1

Difference = mu (Normal Temp.) - mu (Room Temp.)

Estimate for difference: -6.71

95% CI for difference: (-9.31, -4.11)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -5.17 P-Value = 0.000 DF = 59

Boxplot of Normal Temp., Room Temp.

Boxplot of temperature

One-way ANOVA: paraffin40_t, type1_temp., type2_temp., type3_temp., ...

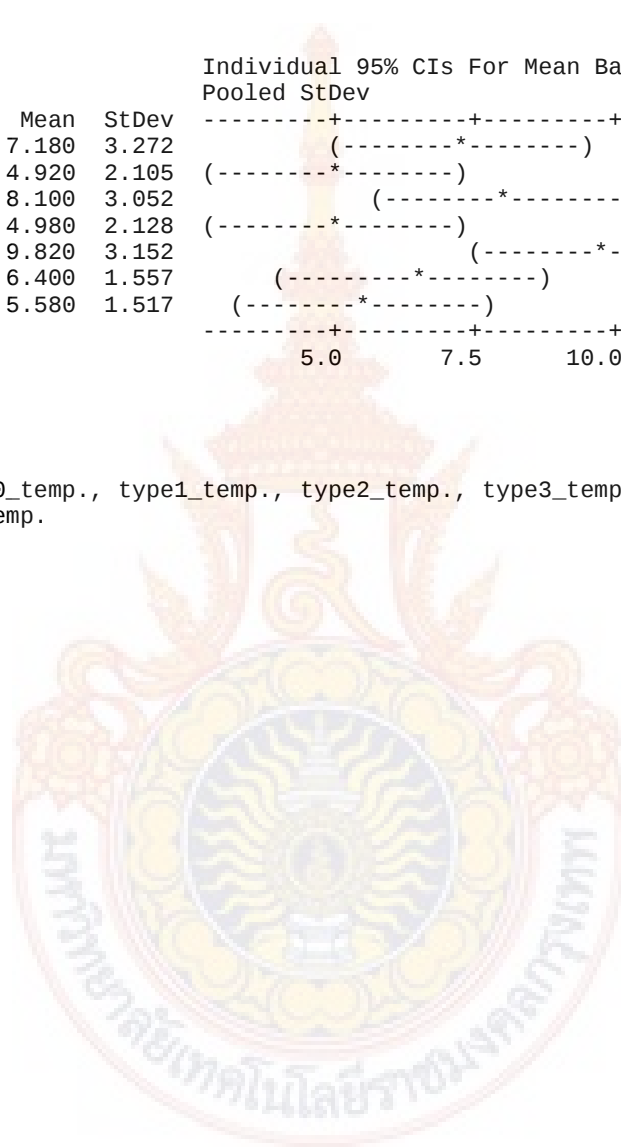
Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	6	96.98	16.16	2.59	0.040
Error	28	174.56	6.23		
Total	34	271.54			

S = 2.497 R-Sq = 35.71% R-Sq(adj) = 21.94%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
paraffin40_temp.	5	7.180	3.272	-----+-----+-----+-----+
type1_temp.	5	4.920	2.105	(-----*-----)
type2_temp.	5	8.100	3.052	(-----*-----)
type3_temp.	5	4.980	2.128	(-----*-----)
type4_temp.	5	9.820	3.152	(-----*-----)
type5_temp.	5	6.400	1.557	(-----*-----)
type6_temp.	5	5.580	1.517	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----+
				5.0 7.5 10.0 12.5

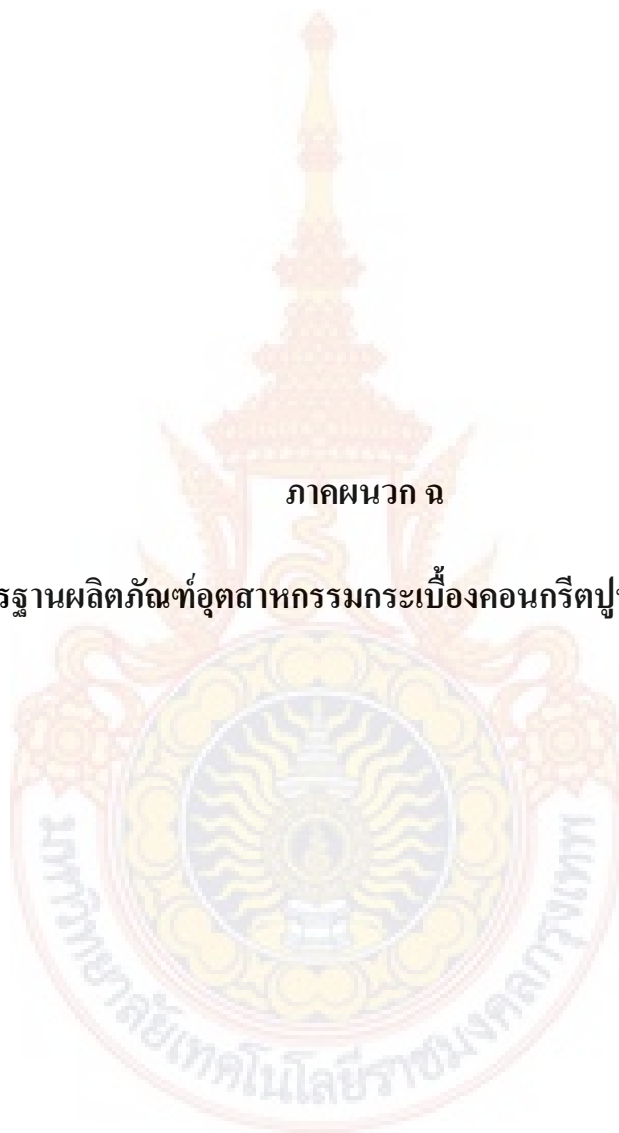
Pooled StDev = 2.497

Boxplot of paraffin40_temp., type1_temp., type2_temp., type3_temp., type4_temp., type5_temp., type6_temp.



ภาคผนวก ฉ

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น 378-2531



มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
กระเบื้องคอนกรีตปูพื้น

มอก. 878-2551
พิมพ์เพิ่มเติมครั้งที่ 5 พ.ศ. 2553 จำนวน 500 เล่ม

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
กระทรวงอุตสาหกรรม ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพฯ 10400

โทรศัพท์ 2023.400

อภิธานศัพท์

ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม ๑๐๘ ตอนที่ 18

วันที่ 2 กุมภาพันธ์ พุทธศักราช ๒๕๕๒

คณะกรรมการการวิจัยทางเกษตรปีที่ 186
มาตรฐานการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชเกษตรกรรมกระบะปอองคอมกรักปูพัน

ประธานกรรมการ

นายสุทัศน์ หงษ์พานิชกุล

กรรมการ

นายสมหมาย ใจสิงห์

นายสีหะพันธุ์ กองประโคน

นายสีหะพันธุ์ พรหมศรี

นายธานี วงศ์ใหญ่

นายปิง ภูวนะพันธ์

นายพจน ไชยรัตน์

นายวิชาญ วัชรสุเมธ

นายเอื้อชัย สุขประจง

นายฉัตรศิริ สารามารักษ์

นายอนุ ชวนมูล

นายสีทา วงศ์ชาติ

นายสีหะพันธุ์ ใจสิงห์

นายวิชัย ภูริชัยสุรัตน์

นายวิชาญ วงศ์เมศ

นายสุทัศน์ ปิไยประภา

นายพจน ใจสิงห์

นายอนุ วงศ์ทองศรี

ผู้แทนสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ วิทยา

ผู้แทนวงเกษตรกรรม

ผู้แทนกรมโยธาธิการ

ผู้แทนกรมวิทย์ฯ กระทรวงศึกษาธิการ

ผู้แทนจังหวัดสงขลา จังหวัดภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต

ผู้แทนกรมการขนส่งทางบก

ผู้แทนสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

และ เทคโนโลยีสารสนเทศ

ผู้แทนกรมการขนส่งทางบก

ผู้แทนกรมการขนส่งทางบก กระทรวงคมนาคม

ผู้แทนกรมการขนส่งทางบก กระทรวงคมนาคม

นายสุทัศน์ หงษ์พานิชกุล

นายสีหะพันธุ์ กองประโคน

นายพจน ไชยรัตน์

กรรมการและรองประธาน

นายสุทัศน์ หงษ์พานิชกุล

ผู้แทนบริษัท เทคโนโลยีการเกษตรไทย จำกัด

ผู้แทนบริษัท เทคโนโลยีการเกษตรไทย จำกัด

ผู้แทนกรมการขนส่งทางบก กระทรวงคมนาคม

ผู้แทนสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ วิทยา

นายวิชาญ

นายสีหะพันธุ์

นายสีหะพันธุ์

มาทราบโดยละเอียดที่สุดของกรม การแก้ไขของกรมนี้ขึ้น นี้ วัตถุประสงค์ให้
เป็นครั้งแรกตามมาตรฐานเลขที่ มอก. 378-2524 ในราชกิจจานุเบกษา
ฉบับพิเศษ เล่ม 98 ตอนที่ 173 วันที่ 23 กรกฎาคม พุทธศักราช 2524
ต่อมาเห็นว่ามีความจำเป็นต้องปรับปรุงมาตรฐานนี้ ไม่สอดคล้องกับกฎระเบียบ
ปัจจุบัน จึงแก้ไขปรับปรุงโดยยกเลิกมาตรฐานเดิมและกำหนดมาตรฐาน
ขึ้นใหม่

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ กำหนดขึ้นโดยใช้ข้อมูลภายในประเทศ
และเอกสารที่เกี่ยวข้องเป็นแนวทาง

IS 1157 : Part 2 : 1973 Concrete flooring tiles
and fittings
Part 2 : Metric units
Cement concrete flooring
tiles

IS:1157-1970

คณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ได้พิจารณามาตรฐานนี้แล้ว
เห็นสมควรเสนอรัฐมนตรีว่าการกระทรวง 15 แห่งราชบัณฑิต
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511



ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 1452 (พ.ศ. 2531)

ออกตามความในพระราชบัญญัติว่าด้วยการขึ้นผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พ.ศ. 2511

เรื่อง ยกเลิกและกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
กระเบื้องยางซีเมนต์ปูพื้น

โดยที่เป็นการสมควรปรับปรุงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระ
เบื้องยางซีเมนต์ปูพื้น มาตรฐานเลขที่ มอก. 378-2524

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติว่าด้วย
ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม
ออกประกาศยกเลิกการประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 525 (พ.ศ.
2524) ออกตามความในพระราชบัญญัติว่าด้วยการขึ้นผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม¹⁵³
พ.ศ. 2511 เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระเบื้องยางซีเมนต์

กรปรับปรุง ลงวันที่ 29 มิถุนายน พ.ศ. 2524 และออกประกาศกำหนด
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระเบื้องคอนกรีตปูพื้น มาตรฐานเลขที่
มอก.378-2531 ขึ้นใหม่ หวังว่าคณะกรรมการจะเห็นชอบด้วยตามประกาศนี้

ที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 60/10 ถนนวิภาวดีรังสิต กรุงเทพฯ 10150

ประกาศ ณ วันที่ 12 ธันวาคม พ.ศ. 2531

บรรหาร ศิลปอาชา

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระเบื้องคอนกรีตปูพื้น

1. ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนด ขนาดและคุณสมบัติทาง
กลศาสตร์อื่น ส่วนประกอบและการทำ คุณสมบัติที่ต้องจัดการ
เครื่องหมายและฉลาก การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน และภาว
พจน์ที่ใช้ในเอกสารนี้ผลิตภัณฑ์นี้ใช้สำหรับปูพื้นในลักษณะทางเดิน
1.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ไม่ครอบคลุมถึงกรณีใช้ลงถนนหรือ
เสริมเสถียรพื้น

2. บทนิยาม

ความหมายของวงล้อที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังนี้

- 2.1 กระเบื้องคอนกรีตปูพื้น ซึ่งทำเป็นมาตรฐานนี้จะเรียกว่า "กระ
เบื้อง" หมายถึง กระเบื้องที่ทำตามเทคนิคที่ผลิตเป็นแผ่น มีสีตาม
ธรรมชาติ หรืออาจมีสีอื่นอยู่ทั้งแผ่นหรือเฉพาะที่ขึ้นผิวหน้าก็
ได้

- 2.2 ขึ้นฉัตร หมายถึง ขึ้นฉัตรของกระเบื้องที่ทำขึ้นหรือกระเบื้องเคลือบ
 2.3 ความหนา (thickness) หมายถึง ความหนาของกระเบื้อง และความสามารถในการรับน้ำหนัก และต้านแรงดึงให้มีความแข็งแรงหรือทนต่อการแตกหัก

3. ขนาดและเกณฑ์ความคงทน

- 3.1 มีสีและเกณฑ์ความคงทนของกระเบื้องให้ไว้เป็นไปตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 มีสีและเกณฑ์ความคงทนของกระเบื้อง

(ข้อ 3.1)

มีสี	เกณฑ์ที่กำหนด	หน่วยเป็นมิลลิเมตร	
		เกณฑ์ความคงทน	เกณฑ์ความคงทน
ความกว้างและความยาว	เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (ขนาดที่ระบุไว้ในข้อกำหนด)	3	3
	เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ขนาดที่ระบุไว้ในข้อกำหนด)	3	3
ความหนา	ไม่น้อยกว่า 20	3	3

4. ส่วนประกอบและการทำ

4.1 ส่วนประกอบ

4.1.1 ปูนซีเมนต์

ให้ใช้ปูนซีเมนต์อย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้

- 4.1.1.1 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ที่เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ เล่ม 1 หรือเทียบเท่า
 4.1.1.2 ปูนซีเมนต์ผสม ที่เป็นไปตามมาตรฐาน เล่ม 1 หรือเทียบเท่า

- 4.1.1.3 ปูนซีเมนต์ผสม ที่เป็นไปตามมาตรฐาน เล่ม 1 หรือเทียบเท่า

4.1.2 มวลผสม

ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มวลผสม
 4.1.2.1 มวลผสม

4.1.3 ผงสี (ถ้ามี)

ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ผงสี (ในกรณีที่มีการใช้สีในการตกแต่งกระเบื้อง) ให้เป็นไปตาม
 4.1.3.1 ผงสี

4.1.4 สีเบสเมทัล (ดำ)

ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สีเบสเมทัล

มาตรฐานเลขที่ มอก. 459

4.1.5 น้ำ

ใช้ที่ใช้อย่างเป็นน้ำสะอาด

4.1.6 ส่วนผสมอื่น ๆ (ถ้ามี)

ต้องไม่มีผลเสียต่อกำลังใช้งานของกระเบื้อง

4.2 การทำ

ใช้เครื่องอัดและ/หรือแปรงยาส่งวนประเภทต่างๆ ตามข้อ 4.1 ให้

เป็นแผ่น อัตราส่วนของน้ำหนักระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์ไม่เกิน

0.55 ถ้าใช้ผิวหน้าทำเป็นสี น้ำหนักของผงสีที่ผสมต้องไม่เกิน

ร้อยละ 10 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ที่ใช้ในส่วนผสมของชั้นผิวหน้า

เมื่อทำการกระเบื้องออกจากพิมพ์แล้ว ให้นำไปและทำการรมสีที่

เหมาะสม

6. คุณลักษณะที่ต้องการ

5.1 ลักษณะทั่วไป

5.1.1 กระเบื้องที่ผิวหน้าเรียบความหนาต้องเท่ากับร้อยละ 1 และ

กระเบื้องที่ผิวหน้าเป็นลอน ความหนาของลอนแต่ละลอนต้อง
เท่ากับโดยตลอด

5.1.2 กระเบื้องต้องไม่ร้าว มีความได้ฉาก สอนเรียบและต่าง
(กรณีการลามูม)

5.1.3 สีของสีผิวหน้าต้องสม่ำเสมอ และไม่ละลายน้ำ

การทดสอบให้ทำโดยการตรวจวิธี

5.2 ความต้านแรงกดตามขวาง

ความต้านแรงกดตามขวางของกระเบื้องแต่ละแผ่นต้องไม่น้อยกว่า

2.5 เมกะพาสกาล และค่าเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า 3 เมกะพาสกาล

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 8.2

5.3 การดูดน้ำ

การดูดน้ำของกระเบื้องแต่ละแผ่นต้องไม่เกินร้อยละ 10

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 8.3

8. เครื่องหมายและฉลาก

8.1 ที่กระเบื้องทุกแผ่น อย่างน้อยต้องมีเลข 5 หลัก หรือเครื่องหมาย
แจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

(1) ชื่อผู้ผลิตหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

เขียน

ในกรณีที่จำเป็นต้องใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีตัวหนังสือตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

- 6.2 ผู้ทาสถิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้ จะแสดงเครื่องหมายมาตรฐานไทยผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ไว้ให้ชัดเจนเพื่อให้ผู้บริโภคสามารถเลือกซื้อได้อย่างถูกต้อง

7. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

- 7.1 รุ่น ในที่มีหน่วยถึง กระเบื้องที่มีขนาดและสีเดียวกัน ทำขึ้นโดยกรรมวิธีเดียวกัน ที่ห้าหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาดังกล่าว
- 7.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดไว้ หรืออาจให้แผนการชักตัวอย่างขึ้นที่ผู้ขายเท่านั้น

- 7.2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ทั่วไป

- 7.2.1.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากกลุ่มตัวอย่าง ตามจำนวนที่กำหนดในตารางที่ 2

- 7.2.1.2 จำนวนตัวอย่างที่นำมาเป็นไปตามข้อ 5.1 ต้องไม่เกิน

เลขจำนวนที่นิยมใช้ที่พบในตารางที่ 2 ซึ่งจะเรียกว่า กระเบื้องปูพื้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ตารางที่ 2 แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบลักษณะทั่วไป
(ข้อ 7.2.1)

ขนาดกลุ่ม แผ่น	ขนาดตัวอย่าง		เลขจำนวน ที่ยอมรับ
	แผ่น	แผ่น	
ไม่เกิน 3 200	13	1	1
3 201 ถึง 10 000	20	2	2
10 001 ถึง 35 000	32	3	3
ตั้งแต่ 35 001 ขึ้นไป	50	5	5

- 7.2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบผิว
พื้นแรงเสียดทานสูง และสารดูดซับน้ำ

- 7.2.2.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากตัวอย่างที่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดในเรื่องลักษณะทั่วไปแล้ว สำหรับทดสอบผิว
ความต้านแรงเสียดทานสูง และสารดูดซับน้ำ โดยการ
ละ 3 แผ่น

7.2.2.2 ตัวอย่างชุดฟังก์ชันต้องเป็นไปตามข้อ 3. ข้อ 5.2 และข้อ 5.3 จึงจะถือว่ากระเบื้องรับนับเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

7.3 เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างกระเบื้อง คัดลงเป็นไปตามข้อ 7.2.1.2 และข้อ 7.2.2.2 ชุดหนึ่ง จึงจะถือว่ากระเบื้องรับนับเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

8. การทดสอบ

กระเบื้องที่จะนำมาทดสอบ ต้องมีอายุไม่น้อยกว่า 7 วัน

8.1 มิติ

8.1.1 ความกว้างและควมยาว

ใช้เครื่องมือวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร วัดความกว้างและความยาวของกระเบื้องตัวอย่าง อย่างน้อยทั้งด้านละ 2 แห่ง แต่ละแห่งต้องขนานและห่างจากขอบไม่น้อยกว่า 20 มิลลิเมตร แล้วรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย

8.1.2 ความหนา

ใช้เครื่องมือวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร วัดความหนาของกระเบื้องตัวอย่าง 4 แห่ง แล้วรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย

(1) กระเบื้องที่ขึ้นผิวหน้าเป็นลอน เป็นสาคลาย หรืออื่น ๆ ให้วัดความหนาของส่วนที่บางที่สุด โดยรวมความหนาของชั้นผิวหน้า

(2) กระเบื้องที่ขึ้นผิวหน้าเรียบสม่ำเสมอ ให้วัดความหนาโดยรวมความหนาของชั้นผิวหน้า

8.2 ความแข็งแรงหักคามขวาง

8.2.1 เครื่องมือ

เครื่องทดสอบความต้านแรงหัก ทั้งสี่ด้านในรูปที่ 1

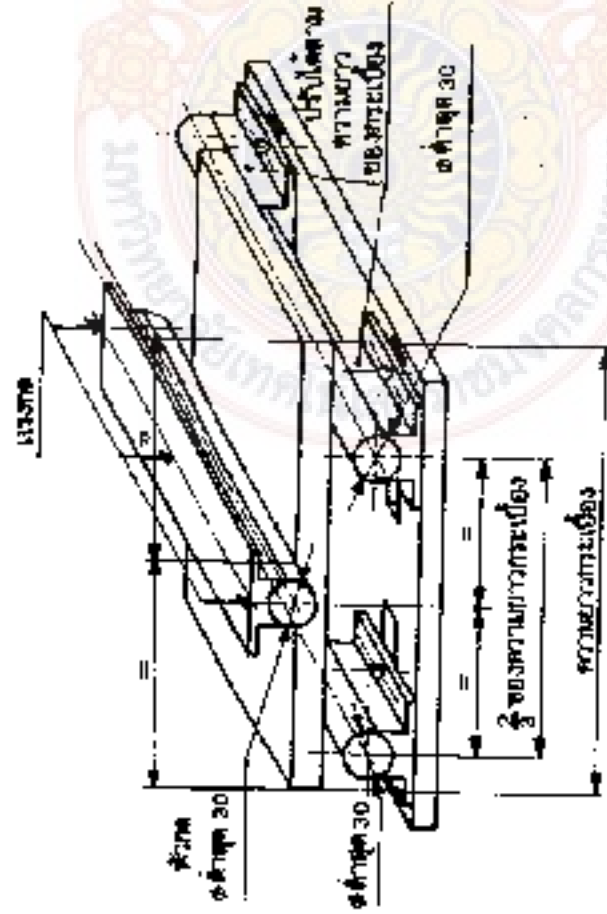
8.2.2 วิธีทดสอบ

8.2.2.1 วัดความกว้าง ความยาว และความหนาของกระเบื้องตัวอย่างตามข้อ 8.1.1 และข้อ 8.1.2 ตามลำดับ

8.2.2.2 แบ่งกระเบื้องตัวอย่างนั้นที่มีรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยม 23 + 6 ตามเศษที่เหลือ โดยให้ผิวหน้าอยู่เหนือผิวแปดของกระเบื้องตัวอย่างในแนวแกน 25 มิลลิเมตร และไม่เกิน 50 มิลลิเมตร เป็นเวลา $24 \pm 5/2$ ชั่วโมง นำกระเบื้องตัวอย่างขึ้นจากน้ำ ใช้ผ้าขาวสะอาดเช็ดให้แห้ง

8.2.2.3 วางกระเบื้องตัวอย่าง บนที่รองรับของเครื่องทดสอบ โดยให้พื้นผิวหน้าอยู่ข้างบน และให้ด้านกว้างขนานกับที่รองรับ (สำหรับกระเบื้องตัวอย่างที่ขึ้นผิวหน้าเป็นลอน

ให้วางภาระเบี่ยงตัวอย่างใดก็ได้บนระนาบฉากได้มีอยู่ที่
(ค)



หน่วยเป็นเมตร

รูปที่ 1 ตัวอย่างเครื่องทดสอบความต้านแรงกด

(ข้อ 8.2.1)

8.2.2.4 เพิ่มแรงกดบนภาระเบี่ยงตัวอย่างใดก็ได้ซึ่งทำให้ค่ากับแรง
สลับกัน ไม่เกิน 1 960 นิวตันต่อตาราง

เมตร (วัดตามความยาวของสี่เหลี่ยม) คำนวณ
ภาระหักภาระเบี่ยงตัวอย่างแยกกัน บันทึกค่าแรงกดที่กระทำ
ให้ภาระเบี่ยงตัวอย่างแยกกัน

8.2.3 วิธีคำนวณ

คำนวณหาความต้านแรงกดตามขวาง จวบจน

$$f = \frac{3Pl}{2b^2c^2}$$

เมื่อ f คือ ความต้านแรงกดตามขวาง เป็นเมกะพาสคัล

P คือ แรงกดที่ทำให้กระเบี่ยงตัวอย่างแยกกัน ให้
เป็นนิวตัน

1 คือ ระยะห่างระหว่างที่รองรับ $= \frac{2L}{3}$ เป็นมิลลิเมตร

เมื่อ L คือ ความยาว ของกระเบี่ยงตัวอย่าง
เป็นมิลลิเมตร

2 คือ ความกว้างของกระเบี่ยงตัวอย่าง เป็นมิลลิ
เมตร

3 คือ ความหนาของกระเบี่ยงตัวอย่าง เป็นมิลลิเมตร

8.3 การดูคลื่นน้ำ

8.3.1 วิธีทดสอบ

8.3.1.1 ยกกระเบื้องตัวอย่างในน้ำที่มีอุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียส โดยให้ผิวน้ำอยู่เหนือผิวบนของกระเบื้องตัวอย่างไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตรและไม่เกิน 50 มิลลิเมตร เป็นเวลา $24 \pm \frac{1}{2}$ ชั่วโมง นำกระเบื้องตัวอย่างขึ้นจากน้ำ ให้ได้ลักษณะผิวที่ปรากฏให้แห้ง แล้วนำไปใช้ (M2)

8.3.1.2 วางกระเบื้องตัวอย่างในตู้อบ โดยที่กระเบื้องตัวอย่างต้องห่างจากผิวที่ให้ความร้อน หรือกระเบื้องตัวอย่างแผ่นอื่นอย่างน้อย 25 มิลลิเมตร อบในแห้งที่อุณหภูมิ 65 ± 1 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปิดอบให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วชั่ง (M₂)

8.3.2 วิธีคำนวณ

คำนวณค่าการดูดซึมน้ำเป็นร้อยละ ให้ละเอียลงถึงสี่นิยมตำแหน่งที่ 1 จากสูตร

$$\text{การดูดซึมน้ำ ร้อยละ} = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100$$

เมื่อ M₂ คือ มวลกระเบื้องตัวอย่างเมื่อน้ำ เป็นส่วน
M₁ คือ มวลกระเบื้องตัวอย่างอบแห้ง เป็นส่วน