โครงงาน 34/2562 (วศบ.อุตสาหการ)

การหาสัดส่วนที่เหมาะสมของการใช้ดินตะกอนเป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลอง

นายจิรัสย์ วงศ์แก่นจันทร์ รหัสนักศึกษา 570610504

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ปีการศึกษา 2562

หัวข้อโครงงาน	การหาสัดส่วนที่เหมาะสมของการใช้ดินตะกอนเป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐ ด้วยเทคนิคออกแบบการทดลอง
โดย	นายจิรัสย์ วงศ์แก่นจันทร์ รหัสนักศึกษา 570610504
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ณรงค์ เพชรชารี
ปีการศึกษา	2562

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อนุมัติให้นับโครงงานนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

กรรมการสอบโครงงาน

..... ประธานกรรมการ

(อ.ณรงค์ เพชรชารี)

..... กรรมการ

(รศ.ดร.วิมลิน เหล่าศิริถาวร)

..... กรรมการ

(ผศ.ดร.วสวัชร นาคเขียว)

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิจัยเรื่องการหาสัดส่วนที่เหมาะสมของดินตะกอนน้ำประปาเป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐด้วยเทคนิคออกแบบการทดลอง ประสบความสำเร็จลุล่วงได้ดีเนื่องจากความอนุเคราะห์ และความช่วยเหลือจากบุคคลต่าง ๆ ดังนี้ ขอขอบพระคุณอาจารย์ณรงค์ เพชรชารี อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ผู้ซึ่งให้ความรู้และคำปรึกษาเกี่ยวกับแนวทางในการดำเนินโครงงาน คำแนะนำต่าง ๆ ตลอดจนแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างทำโครงงาน พร้อมทั้งการตรวจสอบแก้ไข จนกระทั่งโครงงานวิจัยเสร็จสมบูรณ์

อีกทั้งขอขอบพระคุณกรรมการคุมสอบ ได้แก่ รศ.ดร. วิมลิน เหล่าศิริถาวร ผศ.ดร.วสวัชร นาคเขียว และผศ.ดร.วริษา วิสิทธิพานิช ที่ให้คำแนะนำสำหรับการปรับปรุงงานวิจัยให้เป็นไปในทิศทางที่ดีไปมากกว่าเดิม และช่วยแก้ไขในจุดที่ไม่สามารถเป็นไปได้ตามความเป็นจริง

ขอขอบพระคุณ อ.ดร.ชวิศ บุญมี ผู้ให้คำแนะนำและคำปรึกษาในการปรับปรุงและความรู้ในการออกแบบการทดลองที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณนายชิงเยี่ยม พัฒนศิษฎางกูร ผู้มีโรงงานทำปูนซีเมนต์ ช่วยอนุเคราะห์เครื่อง Universal Testing Machine ในการทดสอบค่าความต้านแรงอัด

อีกทั้งขอขอบคุณธนิดา ซุนตระกูล ที่เป็นที่ปรึกษาที่ดีและให้ความช่วยเหลือเรื่อยมาตลอดจนจบวิจัยเล่มนี้

สุดท้ายนี้ทางผู้ดำเนินงานวิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า โครงงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่เกี่ยวข้องและผู้ที่สนใจศึกษา หากมีข้อบกพร่องหรือผิดพลาดประการใด ทางผู้วิจัยต้องขออภัยเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

จิรัสย์ วงศ์แก่นจันทร์

หัวข้อโครงงาน	การหาสัดส่วนที่เหมาะสมของการใช้ดินตะกอนเป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐด้วยเทคนิคออกแบบการทดลอง
โดย	นายจิรัสย์ วงศ์แก่นจันทร์ รหัสนักศึกษา 570610504
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ณรงค์ เพชรชารี
ปีการศึกษา	2562

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีความประสงค์ที่จะใช้ดินตะกอนจากการประปาส่วนภูมิภาค สาขาเชียงใหม่ (ชั้นพิเศษ) เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐมอญ โดยในงานวิจัยชิ้นนี้ ผู้วิจัยจะศึกษาหาสัดส่วนที่เหมาะสมในสูตรการผลิตอิฐมอญที่มีคุณภาพตามมาตราฐาน มอก. 77-2545 เพื่อลดต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตอิฐมอญ การทดลองเป็นการทดลองเชิงแฟกทอเรียล โดยกำหนดปัจจัย 4 ปัจจัยคือ 1) ดินเหนียว 2) ดินตะกอน 3) ขี้เถ้า และ 4) น้ำ ทดลองทั้งหมด 2 ระดับ (สูงสุดและต่ำสุด) ทดลองซ้ำ 1 ครั้ง จึงมีทั้งหมด 32 การทดลอง จากนั้นจะวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม MINITAB ทำการหาค่า Response Optimization หลังจากทราบข้อมูลจากการทดลองแล้วทำให้ได้สัดส่วนที่เหมาะสมของการใช้ดินตะกอนมาผสมในการผลิตอิฐ โดยที่สูตรใหม่ที่มีการผสมดินตะกอนจากน้ำประปานั้นจะมีสัดส่วนประกอบด้วย ดินเหนียวที่ใช้ 760 กรัม ดินตะกอนน้ำประปาที่ใช้ 372 กรัม ขี้เถ้าที่ใช้ คือ 280 กรัม และน้ำที่ใช้ 27 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักอิฐ ซึ่งคาดว่าส่วนผสมใหม่ทำให้จะมีค่าความต้านแรงอัดอยู่ที่ 23 เมกะปาสคาล เป็นไปตามมาตรฐานที่ มอก. กำหนด โดยเมื่อนำมาทำการเปรียบเทียบต้นทุนสูตรการผลิตอิฐก่อนการปรับปรุงและหลังการ ปรับปรุงนั้นพบว่าต้นทุนการผลิตต่อก้อนหลังการปรับปรุงอยู่ที่ 0.983 บาท เปรียบเทียบกับต้นทุน การผลิตก่อนการปรับปรุงที่ใช้ปริมาณดินเหนียว 950 กรัม ขี้เถ้า 280 กรัม ปริมาณน้ำ 369 กรัม โดย ต้นทุนต่อก้อนจะอยู่ที่ 0.996 บาท ดังนั้นแล้วจึงจะสรุปได้ว่า การใช้ดินตะกอนน้ำประปาจะลดต้นทุน ได้ 0.013 บาทต่อก้อน

Project Title	Optimal Proportion of Sludge in Common Bricks by Design of Experiment
Name	Mr. Jiras Wongkaenchan Code 570610504
Department	Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University
Project Advisor	Narong Petcharee, M.Eng
Academic	Year 2019

ABSTRACT

This project aims to study optimal proportion of sediments in common bricks by design of experiment to meet the requirement of TIS 77-2545 to reduce production cost. The experiment is a factorial experiment with 4 factors: 1) clay 2) sludge 3) ash ,and 4) water, for 2 levels (maximum and minimum level) repeated once. Thus, this research included 32 experiments. Then, the data was analyzed by the MINITAB program to find Response Optimization to gain suitable proportion of sludge in common bricks. The new recipe consisted of clay for 760 grams, sludge for 372 grams, ash for 280 grams, and water for 27 percent of brick weight. It is shown that the new recipe had compressive strength of 23 MPa which is consistent with standard set by TIS standard. When comparing the cost of brick production before and after an improvement, it was revealed that the production cost per block was 0.983 baht after the improvement and 0.996 after the improvement. Therefore, it can be concluded that adding sludge in common bricks helps reducing the production cost by 0.013 baht per block.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 อิฐมอญ	4
2.2 ตะกอนดินประปาจากการประปาส่วนภูมิภาคสาขาเชียงใหม่ (ชั้นพิเศษ)	6
2.3 ดินเหนียว	7
2.4 เถ้าลอย	8
2.5 น้ำ	9
2.6 การออกแบบการทดลอง	9
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ	18
3.1 ศึกษากระบวนการผลิตน้ำประปาและอิฐก่อสร้างสามัญและทำการทดลองเบื้องต้น	19
3.2. วิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความต้านแรงอัดตามมาตรฐานอิฐก่อสร้างสามัญ ตามมอก. 77-2545	19
3.3 ออกแบบการทดลองเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของการผลิตอิฐก่อสร้างสามัญ	19
3.4 ทำการทดลองและวิเคราะห์โดยใช้การวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization)	20

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.5 สรุปผลและเปรียบเทียบต้นทุนของอิฐ 22

3.6 จัดทำรายงานโครงงานวิจัย 22

บทที่ 4 ผลการดำเนินโครงงานวิจัย 23

4.1 ศึกษากระบวนการผลิตน้ำประปาและอิฐก่อสร้างสามัญและทำการทดลองเบื้องต้น 23

4.2 วิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความต้านแรงอัดตามมาตรฐานอิฐก่อสร้างสามัญ ตาม มอก. 77-2545 32

4.3 ออกแบบการทดลองเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของการผลิตอิฐก่อสร้างสามัญ 33

4.4 ทำการทดลองและวิเคราะห์โดยใช้การวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization) 34

4.5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 38

4.6 การหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม 40

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ 42

5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย 42

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ 44

5.3 ข้อเสนอแนะ 44

บรรณานุกรม 45

ประวัติผู้เขียน

สารบัญตาราง

ตาราง

หน้า

2.1 ประเภทและลักษณะของการทดลองต่าง ๆ 12

4.1 สัดส่วนส่วนผสมของการผลิตอิฐมอญของการทดลองเบื้องต้น 27

4.2 น้ำหนักของส่วนผสมของอิฐที่ใช้ในการทดลอง 29

4.3 ผลการทดสอบค่าความต้านแรงอัดของอิฐเบื้องต้น 32

4.4 ปัจจัยและระดับของปัจจัยในการทดลอง 33

4.5 ตารางสำหรับการทดลองสำหรับการทดลองแฟกทอเรียล 2^k 34

4.6 ผลการทดลองเรียงตาม Design Matrix จากโปรแกรมมินิแท็บ (MINITAB) 34

4.7 ปัจจัยและระดับที่เหมาะสม 41

5.1 การเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตอิฐมอญก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง 43

สารบัญภาพ

ภาพ

หน้า

1.1 กระบวนการผลิตน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค 1

1.2 ดินตะกอนน้ำประปา 2

2.1 ปัจจัยและพารามิเตอร์ของกระบวนการ 10

2.2 อิทธิพลของปัจจัยร่วมที่ไม่มีผลและมีผล 14

2.3 ตารางการทดลองแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย 15

3.1 วิธีการดำเนินโครงงาน 18

4.1 ขั้นตอนในการเตรียมดิน 24

4.2 ดินที่ผ่านการหมัก 24

4.3 ขั้นตอนการขึ้นรูปและพิมพ์อิฐ 25

4.4 ขั้นตอนในการตากอิฐให้แห้ง 25

4.5 ขั้นตอนการเผาอิฐ 26

4.6 แม่พิมพ์อิฐขนาด 14.5x7x4.5 เซนติเมตร 27

4.7 ขั้นตอนการผสมดินในการทดลองเบื้องต้น 29

4.8 ขั้นตอนการหมักดินในการทดลองเบื้องต้น 30

4.9 ขั้นตอนการพิมพ์อิฐในการทดลองเบื้องต้น 30

4.10 ขั้นตอนการเผาอิฐในการทดลองเบื้องต้น 31

4.11 ทดสอบค่าความต้านแรงอัดของอิฐ 31

4.12 ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงแบบปกติ 36

4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของการเก็บข้อมูล 37

4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต 37

4.15 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง 38

4.16 ผลกระทบหลักของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง 39

4.17 ผลอันตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง 40

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ

หน้า

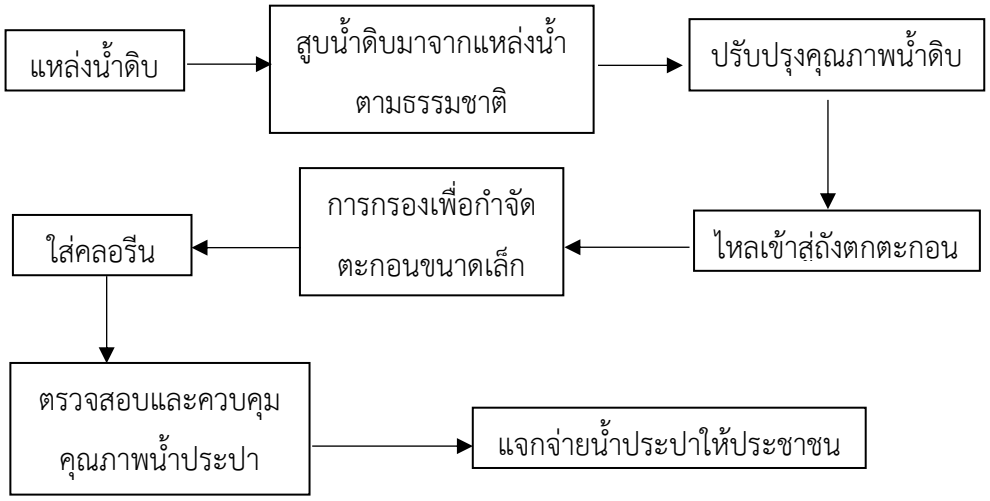
4.18 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนที่เหมาะสมของอิฐ 40

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำโครงงาน

ในปัจจุบันการผลิตน้ำประปานั้นจะเริ่มต้นจากแหล่งน้ำดิบตามธรรมชาติที่มีสารแขวนลอยปนอยู่ ซึ่งหลังจากผ่านกระบวนการในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำดิบแล้ว จะต้องนำมาไหลผ่านถังตกตะกอนเพื่อให้ตะกอนที่มีขนาดเล็กรวมตัวกันเป็นตะกอนที่มีขนาดใหญ่และตกลงสู่ก้นถังจนได้น้ำที่มีความใสสะอาดขึ้นมาเพื่อนำไปแจกจ่ายให้ชาวบ้านใช้ในการอุปโภคบริโภค ดังแสดงให้เห็นในภาพ 1.1 แต่อย่างไรก็ตาม ในขั้นตอนของการตกตะกอนนั้นพบว่าตะกอนดินที่ถูกแยกออกมาจากน้ำดิบมีอยู่เป็นปริมาณมาก ถือเป็นของเสียจากกระบวนการผลิตน้ำประปา โดยดินตะกอนจากกระบวนการนี้ไม่ค่อยนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์เท่าที่ควรและการประปาต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดอย่างสิ้นเปลือง



ภาพ 1.1 กระบวนการผลิตน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค

ภาพ 1.2 ดินตะกอนน้ำประปา

ที่มา: http://www.kehakaset.com

ทั้งนี้ ในงานวิจัยของดวงกมล และคณะ (2547) มีการนำดินตะกอนจากน้ำประปามาทดสอบแล็บและตรวจหาแร่ธาตุเพื่อประยุกต์ใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ พบความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในการผลิตอิฐมอญ ดังนั้นแล้วผู้วิจัยจึงมีความประสงค์ที่จะใช้ดินตะกอนจากการประปาส่วนภูมิภาค สาขาเชียงใหม่ (ชั้นพิเศษ) เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐมอญ โดยในงานวิจัยชิ้นนี้ ผู้วิ จัยจะศึกษาหาสัดส่วนที่เหมาะสมในสูตรการผลิตอิฐมอญที่มีคุณภาพตามมาตราฐาน มอก. 77-2545 เพื่อลดต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตอิฐมอญ เป็นแนวทางในการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมผลิตอิฐมอญ และอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่น ๆ ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมในสูตรการผลิตอิฐมอญที่มีคุณภาพตามมาตราฐาน มอก. 77-2545 กำลังต้านแรงอัด

1.2.2 เพื่อลดต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตอิฐ

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ทำการทดลองโดยใช้ดินตะกอนจากการประปาส่วนภูมิภาค สาขาเชียงใหม่ (ชั้นพิเศษ) เท่านั้น

1.3.2 ใช้ดินเหนียวภายในอำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่เท่านั้น

1.3.3 ทดสอบมาตรฐานของอิฐก่อสร้างสามัญตาม มอก.77-2545 กำลังต้านแรงอัดสำหรับผลิตภัณฑ์อิฐก่อสร้างสามัญ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เป็นการใช้ประโยชน์จากดินตะกอนที่ถือเป็นของเสียจากกระบวนการผลิตน้ำประปา โดยนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอิฐก่อสร้างสามัญ

1.4.2 เป็นประโยชน์ต่อการประปาส่วนภูมิภาค สาขาเชียงใหม่ (ชั้นพิเศษ) และผู้ประกอบการผลิตอิฐก่อสร้างสามัญ เนื่องจากถือเป็นการสร้างมูลค่าให้กับดินตะกอน และยังลดต้นทุนในการผลิตอิฐมอญ

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการทำวิจัยชิ้นนี้ เพื่อที่จะบรรลุวัตถุประสงค์ในการหาสัดส่วนที่เหมาะสมของส่วนผสมในการผลิตอิฐมอญให้เป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 77-2545 แล้วนั้น จะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีความสำคัญในการผลิตอิฐมอญด้วย โดยในบทนี้ ผู้วิจัยจะกล่าวถึงรายละเอียดของหลักการและทฤษฎีที่มีความเกี่ยวข้องและผู้วิจัยได้เลือกมาใช้ในงานวิจัย ดังต่อไปนี้

2.1 อิฐมอญ

อิฐมอญ อิฐแดง หรืออิฐดินเผา มีประวัติและเป็นที่รู้จักกันมาอย่างยาวนาน ซึ่งจะเห็นได้จากหลักฐานทางประวัติศาสตร์ที่ยังคงหลงเหลือในปัจจุบัน อันได้แก่ โบราณสถานต่าง ๆ ที่มีมาตั้งแต่โบราณ โดยอิฐสามัญ หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่าอิฐมอญ เป็นอิฐขนาดเล็ก ทำมาจากดินเหนียว น้ำ และวัสดุผสมเพิ่มเติม เช่น ขี้เถ้า แกลบ ทราย ผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม จากนั้นใส่แบบพิมพ์อัดเป็นก้อนสี่เหลี่ยมตามขนาดที่ต้องการ ทิ้งไว้ให้แห้ง จากนั้นจึงนำเข้าเตาเผาไปเผาจนสุก อิฐชนิดนี้มีขนาดและสัดส่วนไม่ตายตัว ขึ้นอยู่กับรูปแบบและแหล่งผลิต

อิฐมอญนั้นแบ่งออกเป็นอิฐมอญตัน (Solid Brick) และอิฐมอญกลวง (Hollow Brick) โดยมาตรฐาน American Society for Testing and Materials (ASTM) ได้ให้คำนิยามอิฐมอญตันและอิฐมอญกลวง ดังนี้ อิฐมอญตันเป็นอิฐที่มีพื้นที่หน้าตัดสุทธิในการรับแรงในทุก ระนาบที่ขนานกับพื้นที่รับแรงดังกล่าวที่ไม่น้อยกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ ส่วนอิฐมอญกลวงจะมีพื้นที่หน้าตัดดังกล่าวอยู่ที่ระหว่าง 40-75 เปอร์เซ็นต์ การที่อิฐมอญมีรูกลวงนั้นก็เพื่อที่จะทำให้อิฐถูกเผาได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งจะเป็นผลให้อิฐมีกำลังรับแรงต่าง ๆ ได้ดียิ่งขึ้น โดยทั่วไปแล้วจะมีอยู่ทั้งหมด 4 ขนาด ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย(มอก.) 77-2545 ได้แก่ ขนาด 65x140x40 มิลลิเมตร 90x190x40 มิลลิเมตร 90x190x65 มิลลิเมตรและ 90x190x90 มิลลิเมตร

ในการก่อสร้างอิฐก่อ (Masonry Structure) อิฐมอญจะถูกจัดเรียงในรูปแบบต่าง ๆ และใช้ปูนก่อ (ซึ่งได้จากการผสมปูนซีเมนต์ผสม ทราย น้ำ หรือปูนซีเมตร์ปอร์ตแลนด์ ปูนขาว ทราย น้ำ ในอัตราส่วนที่เหมาะสม) เป็นตัวประสานก้อนอิฐมอญเข้าด้วยกัน ดังนั้นอิฐก่อในลักษณะนี้จะถูกออกแบบให้รับแรงกดอัดเท่านั้น เนื่องจากมีกำลังรับแรงดึงที่ต่ำมาก ถ้าอิฐก่อถูกเสริมด้วยเหล็กกล้าแล้ว เราจะเรียกอิฐก่อว่า อิฐเสริมเหล็ก ซึ่งจะมีความสามารถในการรับแรงได้ดีกว่า

การที่อิฐมอญของแต่ละแห่งมีคุณภาพที่แตกต่างกันออกไปนั้นขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ผสม ซึ่งการตรวจสอบคุณภาพจะดูที่คุณสมบัติต่าง ๆ ของอิฐทางด้านกายภาพและทางกล ได้แก่

2.1.1 การทดสอบคุณภาพทางกายภาพ

การวัดขนาดของอิฐมอญ (Measurement of Size)

1) เครื่องมือที่ใช้วัดที่มีความละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร

2) ตัวอย่างทดสอบเป็นอิฐเต็มก้อนที่อยู่ในสภาพสมบูรณ์ คือ ไม่มีรอยแตกหัก บิ่น

3) วิธีทดสอบโดยวัดความกว้าง ความยาว และความสูงของแต่ละตัวอย่างทดสอบ 3 จุด ให้ละเอียด 0.05 มิลลิเมตร

การทดสอบความหนาแน่นของอิฐ (Density of Brick)

ความหนาแน่นชองอิฐ หมายถึง อัตราส่วนระหว่างมวลของอิฐต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของอิฐ เมื่อมวลของอิฐหาได้โดยการชั่ง ซึ่งมีหน่วยเป็นกรัม ส่วนปริมาตรของอิฐนั้นมีหน่วยเป็นลูกบาศก์มิลลิเมตร เป็นต้น จากความสัมพันธ์ดังกล่าว จะได้ว่า

$$\rho = \frac{m}{v} \tag{2.1}$$

โดยที่ ρ = ความหนาแน่นของอิฐ (กรัม/ลูกบาศก์มิลลิเมตร)

m = มวลของอิฐ หาได้โดยการชั่ง (กรัม)

v = ปริมาตรของอิฐ (ลูกบาศก์มิลลิเมตร)

ความหนาแน่นของอิฐเป็นการศึกษาคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์ หรือทางด้านกายภาพ น้ำหนักของอิฐขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาประกอบ และเวลามากน้อยในกระบวนการเผา แม้แต่กรรมวิธีการอัดพิมพ์ก็ทำให้มีน้ำหนักแตกต่างกันได้ แต่โดยประมาณแล้วน้ำหนักของอิฐมอญจะหนักประมาณ 300,440 กรัมต่อก้อน ความหนาแน่นของอิฐสภาพธรรมชาติ (Moist Density) มีค่าประมาณ 1,500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความหนาแน่นของอิฐสามารถบอกความแข็งแรงของอิฐได้ หากความหนาแน่นของอิฐออกมาน้อย ความทนทานต่อการับแรงอัดไม่ดี เพราะว่าเนื้อวัสดุไม่แน่น

2.1.2 การทดสอบคุณภาพทางกล

การทดสอบการรับแรงอัดของอิฐ

กำลังรับแรงอัดของอิฐมอญขึ้นอยู่กับชนิดของดินเหนียวที่ใช้ในการผลิต กรรมวิธีการผลิต และการที่ดินเหนียวถูกเผา โดยทั่วไปแล้วกำลังรับแรงอัดของอิฐมอญจะมีค่ามากกว่าที่กำหนดไว้ โดย ASTM และสำหรับอิฐที่ทำจากดินเหนียวชนิดเดียวกันและกรรมวิธีการผลิตที่เหมือนกัน อิฐที่ถูกเผาที่อุณหภูมิสูงและเป็นเวลาที่นานกว่า อิฐก็จะมีกำลังสูงกว่า สูตรที่ใช้ในการคำนวณความต้านทานแรงอัดของอิฐแต่ละชุดพร้อมทั้งค่าเฉลี่ยของอิฐทั้งชุด และหาค่าเฉลี่ยของอิฐแต่ละก้อน

$$\text{กำลังรับแรงอัด} = \frac{P}{A} \qquad (2.2)$$

โดยที่ P = น้ำหนักรถบรรทุกสูงสุด (นิวตัน)

A = พื้นที่รับแรง (ตารางมิลลิเมตร)

ซึ่งอิฐมอญมีทั้งข้อดีและข้อเสีย ดังนี้

1) ข้อดีของอิฐมอญ

- มีความแข็งแรงและทนทาน
- มีความทึบเสียงสูง
- ต้านทานต่อไฟไหม้สูง
- เก็บรักษาอุณหภูมิภายในตัวโครงสร้างได้ดี
- มีความสวยงาม เนื่องจากสามารถนำมาก่อสร้างให้มีรูปแบบใด ๆ ก็ได้
- มีราคาค่อนข้างถูกและค่าบำรุงรักษาต่ำ
- ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมมากเท่ากับวัสดุชนิดอื่น ๆ เช่น คอนกรีต หรือเหล็ก

2) ข้อเสียของอิฐมอญ

- มีการวิเคราะห์และการแบบที่ต้องการรายละเอียดและความถูกต้องสูงจึงทำได้ยาก
- การก่อสร้างโดยใช้โครงสร้างอิฐต้องทำโดยแรงงานที่มีความเชี่ยวชาญ

2.2 ตะกอนดินประปาจากการประปาส่วนภูมิภาคสาขาเชียงใหม่ (ชั้นพิเศษ)

การประปาส่วนภูมิภาคได้สารเคมีหลายชนิดมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำในกระบวนการผลิตน้ำประปา โดยเลือกใช้ทั้งชนิดและปริมาณให้เหมาะสมกับคุณภาพแหล่งน้ำ และเกณฑ์กำหนดในแต่ละขั้นตอนของระบบผลิตน้ำ คุณภาพน้ำดิบมีความหลากหลายแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดแหล่งน้ำ แหล่งกำเนิดมลพิษ การใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำ รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในแต่ละฤดูกาล หรือการได้รับผลกระทบจากอุบัติเหตุทางน้ำ เป็นต้น ถ้าใช้สารเคมีน้อยเกินไป ส่งผลทำให้ไม่สามารถควบคุมคุณภาพน้ำได้ตามมาตรฐานที่กำหนด ส่วนถ้าใช้มากเกินไปก็มีผลเสียคือ สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย และอันตรายจากสารเคมีตกค้าง

สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการสร้างตะกอน (Coagulation) หรือที่เรียกว่าสาร Coagulant เป็นสารเคมีที่สามารถแตกตัวให้อนุภาคที่เป็นประจุบวก (Coation) เมื่อเติมลงไปในน้ำจะเกิดการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์และสารแขวนลอยในรูปของความขุ่น สี สารอินทรีย์ เป็นต้น ภายใต้สภาพน้ำที่มีความปั่นป่วนอย่างรุนแรง ในขั้นตอนการกวนเร็ว (Rapid Mixing) เกิดการสร้างตะกอนและรวมตัวกัน (Flocculation) เป็นฟล็อค (Floc) ขนาดใหญ่ที่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น สามารถตกตะกอนได้ในถังตกตะกอน

สารเคมีที่การประปาส่วนภูมิภาคสาขาเชียงใหม่ (ชั้นพิเศษ) ใช้ในการสร้างตะกอน ได้แก่ โพ-ลีอลูมินัมคลอไรด์ (Poly Aluminium Chloride: PACL) หรือปูนขาว และสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอน ได้แก่ โพลิเมอร์ (Polymer) โดยในระหว่างกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ จะเติมโพ-ลีอลูมินัมคลอไรด์ (Poly Aluminium Chloride: PACL) ลงไปในถังกวนเพื่อช่วยในสร้างตะกอนและปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำดิบ หลังจากนั้นน้ำที่ผสมปูนขาวแล้วจะไหลเข้าสู่ถังตกตะกอน ที่เติมโพลิเมอร์ลงไปเพื่อช่วยในการตกตะกอนให้ตะกอนที่มีขนาดเล็กรวมตัวกันเป็นตะกอนขนาดใหญ่และตกลงสู่ก้นถัง จนได้น้ำที่มีความใสสะอาดพร้อมเข้าสู่กระบวนการฆ่าเชื้อและกรองต่อไป โดยในถังตกตะกอนจะมีตะกอนสะสมอยู่เป็นปริมาณมากขึ้นเรื่อย ๆ ทางการประปาส่วนภูมิภาคจะนำตะกอนออกไปทิ้งในบ่อพักตะกอน นำมาตากแดดให้แห้งเพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการกำจัดต่อไป

ในงานวิจัยชิ้นนี้ ผู้วิจัยสนใจนำดินตะกอนที่เป็นของเสียจากน้ำประปาส่วนภูมิภาคสาขาเชียงใหม่ (ชั้นพิเศษ) มาใช้เป็นส่วนผสมเพื่อลดต้นทุนในการผลิตอิฐมอญ จึงจะนำดินตะกอนที่ตากแห้งไว้หลังจากผ่านกระบวนการผลิตน้ำประปาแล้วมาเพิ่มคุณค่า เนื้อดินตะกอนประปาจะมีลักษณะละเอียดและเนียนมาก ทำให้ไม่จำเป็นต้องนำมาบดหรือกรองอีก นอกจากนั้นแล้วยังมีสีออกส้มแดง เนื่องจากประกอบไปด้วยสารต่าง ๆ จำนวนมาก เช่น ซิลิก้า เหล็ก และอลูมินา เป็นต้น หากต้องการให้ได้สีอื่น ๆ ก็เพียงผสมเนื้อดินอื่นเพิ่มลงไป โดยมีค่าความถ่วงจำเพาะคือ 2.65 (ดวงกมล สุริยฉัตร และคณะ, 2547)

แต่อย่างไรก็ตาม ข้อเสียของดินตะกอนประปาก็คือมีการหดตัวสูง เนื่องจากมีปริมาณเนื้อดินน้อย แต่มีส่วนผสมของธาตุอื่น ๆ มาก นอกจากนั้นแล้วดินตะกอนในแต่ละครั้งและแต่ละที่อาจจะไม่เหมือนกัน เช่น ในฤดูฝนจะมีเนื้อดินมากกว่าฤดูแล้ง แต่ไม่ถือว่าเป็นปัญหาใหญ่ เพราะสามารถปรับปรุงดินได้

2.3 ดินเหนียว

ดินเหนียว เป็นดินที่เกิดจากตะกอนที่พัดพามาทับถมกัน โดยทั่วไปมีความถ่วงจำเพาะ 2.7 ธรรมชาติของดินเหนียวจะประกอบด้วยแร่เคโอลิไนต์ (Kaolinite) เป็นส่วนใหญ่ โดยแร่เคโอลิไนต์ที่พบในดินเหนียว มักมีผลึกที่ไม่สมบูรณ์และมีขนาดเล็ก นอกจากนี้ยังพบแร่ดินชนิดอื่น ๆ อาทิ มอนมอ

ริลโลไนต์ (Monmorillonite) อิลไลต์ (Illite) ควอร์ทซ์ (Quartz) แร่ไมกา (Mica) แร่เหล็กออกไซด์ (Iron oxide) รวมทั้งมักมีสารอินทรีย์ปะปนอยู่เสมอ

ดินเหนียวมีสมบัติเด่นในการนำมาขึ้นรูปคือ มีความเหนียว และเมื่อแห้งจะมีความแข็งแรงสูง ทำให้ผลิตภัณฑ์หลังแห้งมีความแข็งแรง แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อแห้งแล้ว ดินเหนียวมักมีการหดตัวสูง ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีการแตกร้าว ดังนั้นจึงไม่นิยมใช้เนื้อดินเหนียวในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เพียงอย่างเดียว แต่ต้องมีการผสมวัสดุที่ไม่มีความเหนียว เช่น แกลบ หรือทรายเพื่อลดการดึงตัวและหดตัวด้วย ซึ่งจะช่วยลดปัญหาการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวของดินได้ ดินเหนียวหลายชนิดมีช่วงอุณหภูมิที่จะเปลี่ยนไปเป็นเนื้อแก้วกว้าง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ คือ ช่วยปรับปรุงเนื้อผลิตภัณฑ์หลังการเผาให้ดีขึ้น ในการใช้ประโยชน์จากดินเหนียวนั้น นอกจากใช้เป็นเนื้อดินปั้นสำหรับหัตถกรรมพื้นบ้านแล้ว ยังนิยมนำมาใช้ผสมกับดินขาว เพื่อเพิ่มความเหนียวหรือช่วยให้น้ำดินมีการไหลตัวดียิ่งขึ้น

ในปัจจุบันประเทศไทยมีแหล่งดินเหนียวอยู่มากมายหลายแหล่ง ที่ได้นำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเซรามิก และอุตสาหกรรมอิฐมอญ เช่น ที่จังหวัดอยุธยา แพร่ ลำปาง เชียงใหม่ และเชียงราย แต่อย่างไรก็ตาม แม้ว่าดินเหนียวจะมีอยู่ในหลายพื้นที่ก็ตาม แต่การนำดินเหนียวจากแหล่งต่าง ๆ มาใช้ก็ควรใช้อย่างมีคุณค่าและให้เกิดประโยชน์สูงสุด เพราะเมื่อดินเหนียวหมดไปแล้วก็จะต้องใช้เวลานานทับถมเป็นเวลานานหลายร้อยหลายปีกว่าที่จะเกิดการทดแทนใหม่ได้

2.4 เถ้าลอย

เถ้าลอยหรือเถ้าถ่านหิน (Fly Ash หรือ Pulverized Fuel Ash) ได้จากการเผาถ่านหินในโรงงาน โรงไฟฟ้า หินเถ้าลอยจะถูกดักจับไว้ด้วยตัวดักจับ แล้วรวบรวมเก็บไว้ในไซโล มีสีเทาดำ หรือน้ำตาล เถ้าลอยมีคุณสมบัติเป็นปอซโซลาน (Pozzolan) สังเคราะห์ประเภทหนึ่ง มีส่วนประกอบหลักเป็นอัญรูปของซิลิกา และอลูมินา เมื่ออยู่ในสภาพแห้งและป่นเป็นฝุ่นจะไม่มีคุณสมบัติเชื่อมเกาะระหว่างอนุภาค แต่เมื่อสัมผัสเข้ากับน้ำภายใต้อุณหภูมิปกติ จะสามารถทำปฏิกิริยากับสาร Ca(OH)2 และเมื่อเกิดเป็นสารใหม่ที่มีคุณสมบัติเชื่อมประสาน (Cementitious Substance) ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของถ่านหิน อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา และช่วงเวลาของการเผา ดังนั้นคุณภาพและความสม่ำเสมอของเถ้าลอยจึงขึ้นอยู่กับแหล่งที่เผาถ่าน

เถ้าลอยทั่วไปจะมีค่าถ่วงจำเพาะที่ 2.65 ประกอบด้วยออกไซด์ของแร่ธาตุต่าง ๆ ได้แก่ ซิลิ-กาออกไซด์ อลูมินาออกไซด์ เหล็กออกไซด์ แคลเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ และซัลเฟอร์ได-ออกไซด์ เป็นต้น ส่วนประกอบทางเคมีเหล่านี้จะมีค่าต่างกันในเชิงปริมาณตามแหล่งหรือชนิดของถ่านหิน กระบวนการเผา และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา

อนุภาคเถ้าลอยโดยทั่วไปจะมีรูปร่างค่อนข้างกลมหรือเกือบกลม บางครั้งอาจพบลักษณะเป็นรู พรุน มีน้ำหนักเบา ลอยน้ำได้ หรือมีรูปร่างไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เผาถ่านหิน

2.5 น้ำ

น้ำที่ใช้ในการผสมอิฐจะต้องเป็นน้ำที่มีความสะอาด ปราศจากกลิ่น สี น้ำมัน กรด ด่าง และอินทรีย์สารใด ๆ โดยทั่วไปน้ำที่ใช้ในการผสมอิฐจะเป็นน้ำที่ดื่มได้ มีรสจืด และปริมาณน้ำที่ใช้ต้องมีความพอเหมาะเพื่อจะเป็นตัวประสานส่วนผสมต่าง ๆ เข้าด้วยกัน หากใช้น้ำมากหรือน้อยเกินไปส่วนผสมทั้งหลายจะเกิดการแยกตัวและไม่สามารถขึ้นรูปอิฐได้ เมื่อใช้น้ำในสัดส่วนที่เหมาะสม ดินจะรวมกับส่วนผสมอื่น ๆ ได้ จับตัวกันเป็นก้อนและสามารถขึ้นรูปได้ก่อนจะนำไปตาก

2.6 การออกแบบการทดลอง

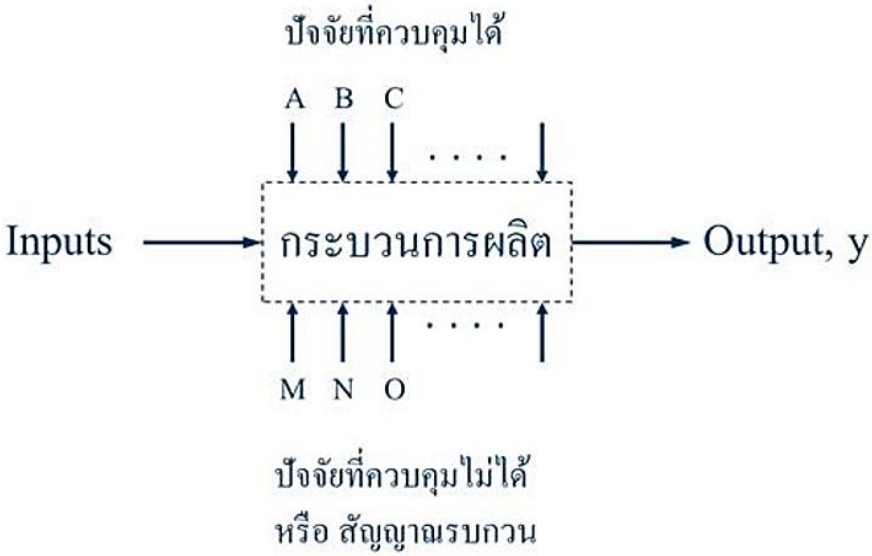
การออกแบบการทดลองเป็นกระบวนการในการวางแผนการทดลองและนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อตรวจสอบดูว่าปัจจัย (Factor) หรือตัวแปร (Input Variable) ใดที่มีผลต่อปัญหาที่เกิดขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์คือ เพื่อทดสอบผลกระทบหลังของปัจจัยที่มีต่อตัวแปรตอบสนอง (Main Effect) และผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย (Interaction Effect) พร้อมทั้งหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ส่งผลให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าที่ต้องการ

ส่วนประกอบของการทดลองมีดังนี้

1) ทรีทเมนต์ (Treatment) คือ สิ่งหรือวิธีที่เราปฏิบัติต่อสิ่งทดลอง เพื่อทำการวัดผลเปรียบเทียบตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง

2) หน่วยทดลอง (Experiment Unit) คือ มาตรฐานหรือหน่วยที่ใช้วัดอิทธิพลของทรีทเมนต์ โดยคำจำกัดความแล้วหมายถึง สิ่งหนึ่งหรือกลุ่มหนึ่งของการทดลอง ซึ่งได้รับจากทรีทเมนต์เดียวกันในการกระทำครั้งใดครั้งหนึ่ง หน่วยทดลองมีขนาดไม่จำกัด อาจผันแปรปจากการทดลองหนึ่งสู่อีกการทดลองหนึ่งแม้จะใช้สิ่งทดลองเหมือนกันก็ตาม ในการทำการทดลองแต่ละครั้งจึงต้องให้คำจำกัดความของหน่วยทดลองให้ชัดเจน

3) ปัจจัย (Factor) ได้แก่ กลุ่มของทรีทเมนต์ทั้งหลายที่มีความเกี่ยวข้องกัน อาจจะใช้คำว่าตัวแปรอิสระก็ได้ ปัจจัยนั้นอาจเป็นได้ทั้งข้อมูลเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ แสดงดังภาพ 2.1



ภาพ 2.1 ปัจจัยและพารามิเตอร์ของกระบวนการ

โดยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการที่ศึกษาประกอบด้วยตัวแปร 2 ประเภท ดังนี้

1) ตัวแปรนำเข้า (Input Variables) คือตัวแปรอิสระในกระบวนการ แบ่งได้หลายแบบ ดังนี้

- แบ่งตามชนิดของข้อมูลของตัวแปร ได้แก่ ตัวแปรต่อเนื่อง (Continuous Variables) ตัวแปรไม่ต่อเนื่อง (Discrete Variables)

- แบ่งตามความสามารถในการควบคุมปัจจัยในการทดลอง ได้แก่ ตัวแปรที่ควบคุมหรือปรับค่าได้ (Controllable Variables) ตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Variables)

2) ตัวแปรผลตอบของกระบวนการ (Output/ Responses Variables) คือผลลัพธ์ของกระบวนการหรือจากการทดลองหรือคือตัวแปรตามที่ขึ้นกับระดับของตัวแปรนำเข้า

หลักการพื้นฐาน 3 ประการสำหรับการออกแบบการทดลอง คือ

การทดลองซ้ำ (Replication) หมายถึง ทำการทดลองภายใต้เงื่อนไขเดียวกันมากกว่า 1 ครั้ง ซึ่งมีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการ คือ ประการแรกทำให้ผู้ทดลองสามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ และประการที่สองคือ ถ้าค่าเฉลี่ยถูกนำมาใช้เพื่อประมาณผลที่เกอดขึ้นจากปัจจัยหนึ่งในการทดลอง ดังนั้นแล้วการทดลองซ้ำจะทำให้ผู้ทดลองสามารถหาตัวประมาณที่ถูกต้องยิ่งขึ้นในการประมาณผลกระทบนี้ได้

หลักการสุ่ม (Randomization) หมายถึง การทดลองทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลองและลำดับของการทดลองที่ใช้ในแต่ละครั้งแบบสุ่ม วิธีการทางสถิติกำหนดว่าข้อมูล (หรือความผิดพลาด) จะต้องเป็นตัวแปรสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระ หลักการสุ่มจะทำให้สมมติฐานเป็นจริง โดยการออกแบบการทดลองแบบสุ่มจะทำให้สามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจจะปรากฏในการทดลองได้ ซึ่งเป็นพื้นฐานหลักสำหรับการใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบการทดลอง

การบล็อก (Blocking) หมายถึง การใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ และผู้ทำการทดลองชุดเดียวกันตลอดการทดลอง เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรง (Precision) ให้แก่การทดลอง บล็อกอันนึงจะหมายถึง ส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันมากกว่าเซ็ตทั้งหมดของวัสดุ การเปรียบเทียบเงื่อนไขที่น่าสนใจต่าง ๆ ภายในแต่ละบล็อก จะเกิดขึ้นได้จากการบล็อกนั่นเอง

2.6.1 ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง

การประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองสำหรับปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพในกระบวนการได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิผล ทุกคนที่เกี่ยวข้องในการทดลองมีความจำเป็นต้องมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการในแต่ละขั้นตอนของการออกแบบการทดลองอย่างชัดเจน ซึ่งขั้นตอนในการออกแบบการทดลองสรุปได้ดังนี้

1) ทำความเข้าใจถึงปัญหา ขั้นตอนการศึกษาปัญหา ต้องตระหนักได้ว่าปัญหาคืออะไร ต้องการข้อมูลจากแหล่งใดบ้าง เพื่อกำหนดเป้าหมายของการศึกษาให้ชัดเจน จากการศึกษาในขั้นตอนนี้บ่อยครั้งพบว่ามีส่วนทำให้ผู้วิเคราะห์เกิดความเข้าใจกระบวนการได้ดียิ่งขึ้น และนำไปสู่แนวทางการแก้ไขปัญหาในที่สุด

2) ขั้นตอนการกำหนดค่าผลตอบ (Response) ที่ต้องการศึกษา เป็นขั้นตอนที่ผู้ทำการทดลองต้องกำหนดคุณลักษณะทางคุณภาพที่มั่นใจได้ว่าเป็นสิ่งที่ต้องการปรับปรุงของกระบวนการที่ทำการศึกษาอยู่ อาจเป็นผลมาจากการทำ SPC (Statistical Process Control) คือการควบคุมกระบวนการด้วยหลักการทางสถิติ นำมาเป็นตัวช่วยในการวิเคราะห์และตัดสินใจ โดยการนำศาสตร์และองค์ความรู้ในเรื่องของการตัดสินใจมาใช้ในการดูภาพรวมการทำงาน (Monitoring) ตอบสนอง (Corrective Action) และการบันทึกข้อมูล (Documentation) ผลของสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิต อันได้แก่ เครื่องจักร วัตถุดิบ บุคลากร วิธีการทำงาน รวมไปถึงสภาพแวดล้อมต่าง ๆ) ทั้งนี้ต้องมั่นใจได้ว่าระบบการวัดมีความสามารถเพียงพอ เนื่องจากหากระบบการวัดไม่มีความสามารถ จะทำให้การบ่งชี้ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าผลตอบไม่ชัดเจน เพราะผลการทดลองจะบ่งชี้ความแตกต่างของผลปัจจัยได้เฉพาะปัจจัยที่ส่งผลสูง ๆ เท่านั้น ในขณะที่ปัจจัยที่ส่งผลระดับต่ำถึงปานกลางจะไม่สามารถแบ่งแยกได้

3) การกำหนดปัจจัยที่ต้องควบคุม และระดับของปัจจัย เป็นขั้นตอนที่ผู้ทำการทดลองต้องเลือกปัจจัยที่สงสัยว่าจะส่งผลต่อค่าผลตอบ (Response) พร้อมทั้งระดับของแต่ละปัจจัยที่ปรับเปลี่ยนได้ โดยจะต้องพิจารณาให้สอดคล้องกับสภาพการดำเนินการจริง ซึ่งจะต้องอาศัยข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญหรือประสบการณ์ทำงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ หากกำหนดจำนวนปัจจัยและระดับของปัจจัยไม่ครอบคลุม จะทำให้ไม่ได้ผลการทดลองที่นำไปสู่การแก้ปัญหาได้อย่างแท้จริง

ในขณะที่การกำหนดปัจจัยมากเกินไปจะส่งผลต่อต้นทุนและเวลาในการทำการทดลอง อย่างไรก็ตาม กรณีที่มีจำนวนปัจจัยเกี่ยวข้องมาก ผู้ทำการทดลองสามารถคัดกรองปัจจัยการทดลองเบื้องต้นหรือ Screening Experiment ก่อนที่จะทำการทดลองโดยละเอียดกับปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อค่าผลตอบ (Response) อย่างแท้จริงต่อไป

4) การกำหนดรูปแบบการทดลอง เมื่อ 3 ขั้นตอนแรกทำอย่างถูกต้อง ขั้นตอนนี้จะไม่มีความซับซ้อนมากนัก ผู้ทำการทดลองต้องเลือกรูปแบบ (Design) ของการทดลอง ซึ่งรวมถึงขนาดตัวอย่าง จำนวนครั้งในการทดลองซ้ำ (จำนวน Replication) การกำหนดลำดับการทดลองอย่างสุ่ม เป็นต้น โดยแนวทางการเลือกวิธีการออกแบบการทดลองสามารถเลือกได้จากลักษณะของปัจจัย ดังตาราง 2.1

ตาราง 2.1 ประเภทและลักษณะของการทดลองต่าง ๆ

รูปแบบการทดลอง	ลักษณะการทดลอง	เวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์	ความถูกต้อง	งบประมาณ
Single Factor	การทดลองสำหรับหนึ่งปัจจัย โดยคาดว่าปัจจัยดังกล่าวมีผลกระทบสูงสุดต่อปัญหา	รวดเร็ว	ปานกลาง	น้อย
Factorial Design	การทดลองที่มีมากกว่า 1 ปัจจัย และเป็นการทดลองเต็มรูปแบบ	นาน	มากที่สุด	มาก
2^k Design	การทดลองที่มีมากกว่า 1 ปัจจัย และเป็นการทดลองเต็มรูปแบบ แต่กำหนดระดับของปัจจัยให้อยู่ที่ปัจจัยละ 2 ระดับเท่านั้น	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
2^{k-p} Design	การทดลองที่มีมากกว่า 1 ปัจจัย แต่ไม่ทำการทดลองเต็มรูปแบบ	รวดเร็ว	น้อย	น้อย
Mixture Design	การออกแบบการทดลองแบบผสม ที่มากกว่า 1 ปัจจัย โดยผสมส่วนผสมทั้งหมดรวมกันที่ 100 เปอร์เซ็นต์	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง

โดยในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้การทดลองแบบ 2^k Design เนื่องจากมีความเหมาะสมมากกว่าการทดลองประเภทอื่น ๆ เมื่อคำนึงถึงระยะเวลาและงบประมาณที่จำกัดในการทำวิจัย

5) การทดลองและการเก็บข้อมูล ผู้ทดลองต้องควบคุมการทดลองให้เป็นไปตามแผนที่วางไว้ ความผิดพลาดทั้งจากการทดลองและการเก็บข้อมูล จะส่งผลให้การทดลองขาดความน่าเชื่อถือและไม่สามารถนำไปวิเคราะห์อะไรได้ เช่น การไม่ทำการทดลองตามหลักการของการสุ่มจะส่งผลให้อิทธิพลของ Noise Factors ไม่กระจายเฉลี่ย ทำให้ผลของการทดลองแต่ละครั้งขึ้นอยู่กับผลการทดลองครั้งก่อนหรือครั้งอื่น ๆ (ไม่เป็นอิสระต่อกัน) หรือมี Autocorrelation ระหว่างข้อมูลการทดลอง เป็นต้น

6) การวิเคราะห์ข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูลทำตามหลักการของการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) การวิเคราะห์ด้วยกราฟ การวิเคราะห์สมการเส้นถดถอยทั้งแบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น ในการวิเคราะห์จริง ผู้วิเคราะห์มีซอฟต์แวร์ทางสถิติช่วยในการวิเคราะห์หลากหลายชนิด แต่อย่างไรก็ตามผู้วิเคราะห์ควรเข้าใจหลักการทางสถิติเพื่อการแปลความหมายที่ถูกต้องด้วย

7) การสรุปและนำเสนอแนวทางการปรับปรุง เมื่อทราบผลการวิเคราะห์ การสรุปผล และแนะนำการดำเนินการเพื่อปรับปรุงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญยิ่ง ผู้วิเคราะห์อาจใช้เครื่องมือ เช่น กราฟ เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ต่าง ๆ และผลที่คาดว่าจะได้รับจากการปรับปรุงแก่ผู้ที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ควรมีการทดลองเพื่อยืนยันข้อแนะนำการปรับปรุงอีกครั้งก่อนการประยุกต์ใช้จริง นอกจากนี้ควรมีการตรวจ ติดตามผลการปรับปรุงด้วยเครื่องมือของ SPC ที่เหมาะสมต่อไป

2.6.2 แผนการทดลองแบบแฟกทอเรียล

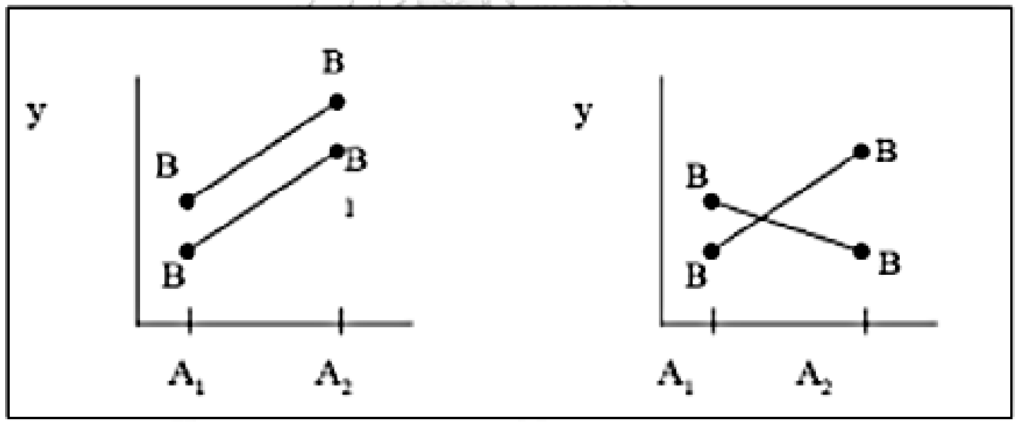
การทดลองแบบแฟกทอเรียล คือทำการทดลองเงื่อนไขเดียวกันมากกว่า 1 ครั้ง ($n \geq 2$) ปกติจำนวนการทดลองซ้ำสำหรับแต่ละเงื่อนไขการทดลองจะมีจำนวนเท่ากัน การทดลองซ้ำจะช่วยให้ผลการทดลองมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น โดยเฉพาะในงานวิจัยหรือการศึกษาที่ต้องการระดับความน่าเชื่อถือหรือความถูกต้องสูง การวิเคราะห์ผล เช่น การคำนวณค่าผลกระทบใช้ค่าเฉลี่ยในการคำนวณ นอกจากนี้การทดลองซ้ำทำให้สามารถประมาณค่าความแปรปรวนที่เกิดจากความผิดพลาดจากการทดลองได้ (MS_E หรือ S^2_E) หรือเรียกว่า “Replication Errors” หรือ “Pure Errors” การทำการทดลองภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน ผู้ทดลองอาจจะหวังว่าผลลัพธ์จากการทดลองจะต้องมีค่าเท่ากัน แต่ในการทดลองจริงนั้นเป็นไปได้ยาก แม้ผู้ทดลองจะทำการทดลองอย่างระมัดระวังและมีการวางแผนมาอย่างดีแล้วก็ตาม (โดยใช้หลักการสุ่มและหลักการควบคุม) แต่ก็ยังมีความผิดพลาดเกิดขึ้นในการทดลอง เนื่องจากมีปัจจัยรบกวนที่อยู่นอกเหนือการควบคุมหรือเกิดจากความผิดพลาดของเครื่องมือวัด ผู้ทดลอง วัตถุดิบ เครื่องจักร สภาวะแวดล้อมในการทดลอง ฯลฯ โดยค่าความแปรปรวน

ดังกล่าวจะใช้ในการตรวจสอบว่าผลกระทบใดที่มีผลต่อกระบวนการอย่างมีนับสำคัญบ้าง และใช้สำหรับวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน

การทดลองแบบแฟกทอเรียล เป็นการทดลองที่มุ่งศึกษาอิทธิพลของปัจจัยมากกว่าหนึ่งปัจจัยพร้อม ๆ กัน โดยให้ความสนใจต่ออิทธิพลร่วมของปัจจัย ซึ่งเป็นอิทธิพลที่ส่งผลให้กับตัวแปรตอบสนอง โดยทั่วไปอาจกล่าวได้ว่าการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเป็นแผนการทดลองที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการตรวจสอบอิทธิพลของหลาย ๆ ปัจจัยพร้อมกัน คำว่าแฟกทอเรียลหมายถึง การทดลองที่สมบูรณ์ในแต่ละครั้ง หรือแต่ละการทดลองซ้ำของการทดลองนั้น กล่าวคือมีการใช้ระดับของปัจจัยต่าง ๆ ร่วมกัน จึงสามารถตรวจสอบอิทธิพลต่าง ๆ ในการทดลองครั้งหนึ่ง ๆ พร้อมกันได้ เช่น ถ้าปัจจัย A มี a ระดับ ปัจจัย B มี b ระดับ แต่ละการทดลองซ้ำจะมี ab treatment combination แบ่งได้ 2 ประเภท คือ

อิทธิพลหลัก (Main Effect) คือ อิทธิพลของปัจจัยที่แสดงต่อตัวแปรตอบสนองด้วยตัวมันเองเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่เกิดขึ้น

อิทธิพลร่วม (Interaction Effect) คือ อิทธิพลของปัจจัยหนึ่งที่จะเปลี่ยนไปเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยร่วมกัน ดังแสดงในภาพ 2.2



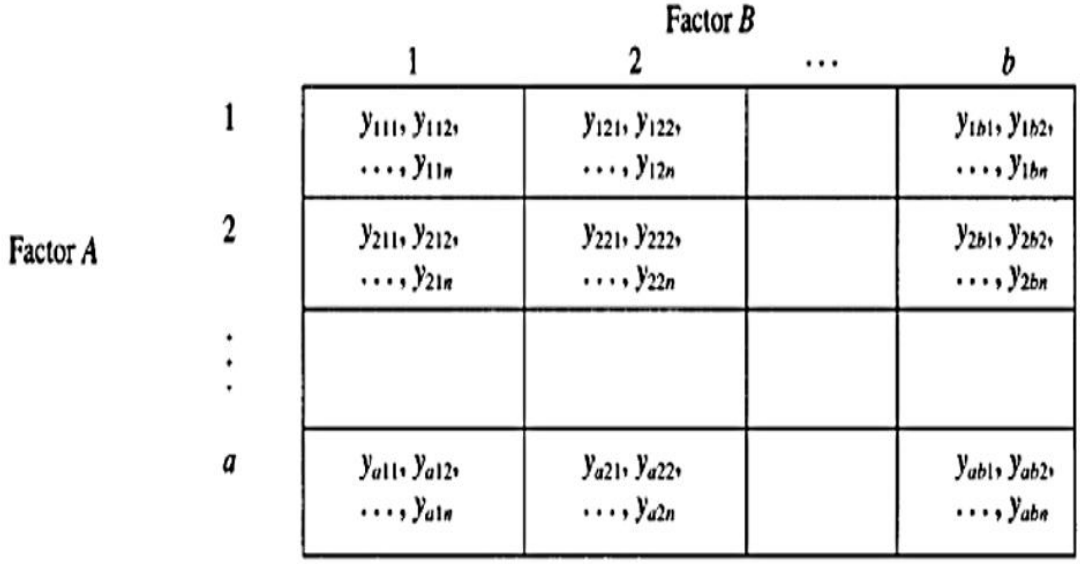
(1) อิทธิพลของปัจจัยร่วมไม่มีผล (2) อิทธิพลของปัจจัยร่วมมีผล

ภาพ 2.2 อิทธิพลของปัจจัยร่วมที่ไม่มีผลและมีผล

การทดลองแบบแฟกทอเรียลนั้นเป็นการประกอบกันของทรีทเมนต์ ไม่ใช่ชนิดของแผนการทดลอง การประกอบกันของทรีทเมนต์นี้อาจจะใช้แผนการทดลองแบบใดก็ได้ เช่น การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ แบบสุ่มบล็อก หรือจัตุรัสลาตินก็ได้ ดังแสดงในภาพ 2.3

โครงรูปข้อมูล

สมมติการทดลองปัจจัย A มี I ระดับ (i = 1, 2, ..., a) และปัจจัย B มี j ระดับ (j = 1, 2, ..., b) ทำการทดลอง k ซ้ำ (k = 1, 2, ..., n) การทดลองแฟกทอเรียลของปัจจัย 2 ปัจจัย



ภาพ 2.3 ตารางการทดลองแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย

ตัวแบบทางสถิติของแผนการทดลองนี้ คือ

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk} \begin{cases} i = 1,2,\ldots,a \\ j = 1,2,\ldots,b \\ k = 1,2,\ldots,n \end{cases} \quad (2.3)$$

โดยที่ y_{ijk} คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร

τ_i คือ อิทธิพลของปัจจัย A ที่เกิดจากทรีทเมนต์ที่ i

β_j คือ อิทธิพลของปัจจัย B ที่เกิดจากทรีทเมนต์ที่ j

$(\tau\beta)_{ij}$ คือ อิทธิพลร่วมของปัจจัย A ที่เกิดจากทรีทเมนต์ที่ 1 และปัจจัย B ที่เกิดจากทรีทเมนต์ที่ j

ϵ_{ijk} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

แผนการทดลองแบบแฟกทอเรียลทั่วไปมีรูปแบบ คือ A x B x C ... แฟกทอเรียล เช่น แฟกทอเรียล 3x2x3 รูปแบบของการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลที่สำคัญ ได้แก่ 1. 2^k แฟกทอเรียล ใช้กับการออกแบบการทดลองแบบหลายปัจจัย ที่มีการกำหนดระดับของปัจจัยไว้ที่ 2 ระดับ ในปัจจัยทั้งหมด k ปัจจัย 2. 3^kแฟกทอเรียล ใช้กับการทดลองหลายปัจจัยที่กำหนดระดับของปัจจัยไว้ 3 ระดับ ในปัจจัยทั้งหมด k ปัจจัย โดยรูปแบบของ 2^k แฟกทอเรียลเหมาะกับรูปแบบที่มีความเป็นเส้นตรง ซึ่งจะทำให้สามารถตีความข้อมูลได้อย่างถูกต้อง แต่ถ้าหากว่าอิทธิพลของปัจจัยต่อตัวแปรตอบสนองมีความเป็นเส้นตรงไม่ดีแล้ว ใช้แบบ 3^k แฟกทอเรียลแทนจะเหมาะสมกว่า

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยของดวงกมล สุริยฉัตร (2547) ได้ศึกษาและเก็บตัวอย่างจากดินตะกอนน้ำประปานครหลวง จากการศึกษาผลการทดลองเปรียบเทียบส่วนประกอบทางเคมี ระหว่างตะกอนดินจากน้ำประปากับดินจากผู้ประกอบการเครื่องปั้นดินเผาในเขตภาคกลาง/ภาคเหนือ พบว่าตะกอนดินจากน้ำประปามีคุณสมบัติทั่วไปใกล้เคียงกับดินจากผู้ประกอบการดังกล่าว โดยจากการวิเคราะห์พบว่ามีปริมาณของ Fe_2O_3 , SiO_2 และ Al_2O_3 ใกล้เคียงกับดินเหนียวสีแดง ซึ่งเป็นวัตถุดิบสำคัญในอุตสาหกรรมเซรามิก จากผลการศึกษาในเบื้องต้นพบว่าตะกอนดินจากกระบวนการผลิตน้ำประปาสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมได้ รวมทั้งเป็นการลดของเสียทั้งจากภาคอุตสาหกรรมที่ถูกปล่อยเข้าสู่สิ่งแวดล้อมอีกด้วย

งานวิจัยของวีระชัย อารีรักษ์ และคณะ (2560) จากการทดลองและวิเคราะห์ปัจจัยปริมาณปูนซีเมนต์ ปริมาณหินฝุ่นที่ผสมในทราย ปริมาณหิน และปริมาณน้ำ ว่ามีผลต่อค่าการรับแรงอัดของคอนกรีต ซึ่งในขั้นตอนนี้จะนำปัจจัยเหล่านี้มาทำการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล ที่มีการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง มีจำนวนการทดลองทั้งสิ้น 162 การทดลอง เพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสม ซึ่งจากการทำการทดลองพบว่าปัจจัยทั้งหมดมีผลต่อค่าการรับแรงอัดของคอนกรีตอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีระดับปัจจัยที่เหมาะสม คือ ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ 285 กิโลกรัม ปริมาณหินฝุ่นที่ 263 กิโลกรัม ปริมาณหินที่ 1090 กิโลกรัม และ ปริมาณน้ำที่ 175 กิโลกรัม

ในงานวิจัยของฆนนัช พระพุทธคุณ และธีรเดช วุฒิพรพันธ์ (2554) หาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผสมคอนกรีตเพื่อรับแรงอัดในช่วง 240 ถึง 260 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยใช้ปริมาณของปูนซีเมนต์เท่าเดิม ผู้วิจัยใช้วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล ซึ่งประกอบด้วย 4 ปัจจัยหลัก ได้แก่ ขนาดของหิน ขนาดของทราย อัตราส่วนผสมมวลรวม และระยะเวลาการบ่มคอนกรีต โดยทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 6 ครั้ง และใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ผลการศึกษาพบว่าทุกปัจจัยมีผลต่อการรับแรงอัดคอนกรีตอย่าง มีนัยสำคัญ ($p\text{-value} < 0.001$) และสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับการผลิตคอนกรีตดังกล่าว ได้แก่ การใช้หินขนาด 1 นิ้ว ใช้ทรายชนิดหยาบ ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างหินกับทรายเป็น 42 เปอร์เซ็นต์ต่อ 58 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และใช้เวลาในการบ่มคอนกรีตเท่ากับ 7 วัน จากผลการทดลองดังกล่าว ทำให้โรงงานสามารถผลิตคอนกรีตผสมเสร็จที่รับแรงอัดในช่วง 240 ถึง 260 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรได้โดยใช้ปริมาณของปูนซีเมนต์เท่าเดิมตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

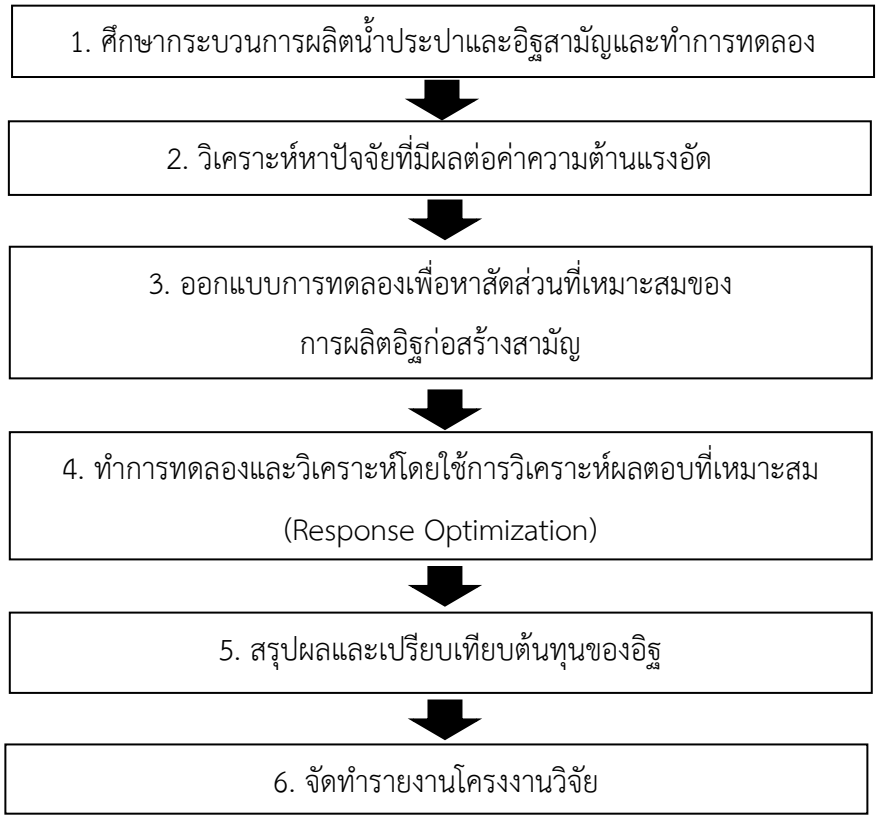
งานวิจัยของอมรรัตน์ พรประเสริฐ และภีม พรประเสริฐ (2562) ศึกษาอัตราส่วนวัตถุดิบที่เหมาะสมต่อคุณสมบัติด้านความแข็งแรงของอิฐมอญ กรณีศึกษากลุ่มชุมชนริมแม่น้ำมูล อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี งานวิจัยเริ่มจากเตรียมวัตถุดิบและออกแบบการทดลองอย่างง่ายตาม

หลักการแผนภาพกำหนดอัตราส่วน โดยกำหนดให้ดินเหนียวเป็นอัตราส่วนหลัก ได้ส่วนผสมทั้งหมด 10 อัตราส่วน ทำการทดลองอัตราส่วนละ 10 ก้อน จากนั้นทำการทดสอบคุณสมบัติด้านการรับแรงอัดหลังจากการเผาอิฐที่อุณหภูมิ 850 องศา เป็นเวลา 11 วัน และเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.77-2545 ผลงานวิจัยพบว่ามีอัตราส่วนผสมระหว่างดินเหนียว ทราย และขี้เถ้าแกลบ 3 อัตราส่วนที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม โดยมีค่าเฉลี่ยการรับแรงอัด คือ 39.78 38.93 และ 37.57 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ อัตราส่วนที่ต้นทุนต่ำที่สุดมีค่าการรับแรงอัดเฉลี่ย 36.73 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ประกอบด้วย ดินเหนียว ทราย ขี้เถ้าแกลบ ในอัตราส่วน 70 : 20: 10 ซึ่งคุณสมบัติการรับแรงอัดดังกล่าว สามารถนำไปใช้ในงานก่อสร้างบ้านพักอาศัยและอาคารอื่น ๆ ได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการ

ผู้วิจัยต้องการนำดินตะกอนซึ่งเป็นของเสียจากการผลิตน้ำประปาส่วนภูมิภาคสาขาเชียงใหม่ (ชั้นพิเศษ) มาใช้ประโยชน์เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐมอญเพื่อลดต้นทุนในการผลิต โดยผู้วิจัยจะศึกษาหาสัดส่วนที่เหมาะสมในสูตรการผลิตอิฐที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน มอก. 77-2545 สำหรับอิฐก่อสร้างสามัญ ดังนั้นแล้วผู้วิจัยจึงมีขั้นตอนในการดำเนินการดังภาพ 3.1



ภาพ 3.1 วิธีการดำเนินโครงงาน

3.1 ศึกษากระบวนการผลิตน้ำประปาและอิฐก่อสร้างสามัญ และทำการทดลองเบื้องต้น

3.1.1 ศึกษาประบวนการผลิตน้ำประปา

โดยทำการศึกษากระบวนการผลิตน้ำประปาโดยรวมจากการประปาส่วนภูมิภาคสาขาเชียงใหม่ (ชั้นพิเศษ) เพื่อให้ทราบว่าตะกอนน้ำประปาเกิดขึ้นในขั้นตอนใด เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการผลิตแล้ว มีปริมาณตะกอนดินของเสียทั้งหมดเท่าไหร่ และมีค่าใช้จ่ายในการกำจัดตะกอนกี่บาท

3.1.2 ศึกษากระบวนการผลิตอิฐก่อสร้างสามัญ

โดยทำการศึกษากระบวนการผลิตอิฐก่อสร้างสามัญจากหมู่บ้านอิฐมอญ ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลส่วนผสมในการผลิต รวมไปถึงขั้นตอนการผลิต เพื่อนำไปวิเคราะห์สัดส่วนของส่วนผสมที่จะใช้ในการทดลอง

3.1.3 ทำการทดลองเบื้องต้น

เนื่องจากผู้วิจัยต้องการศึกษาว่าดินเหนียวและดินตะกอนมีผลกับค่าความต้านแรงอัดมากน้อยเพียงใดก่อนจะออกแบบการทดลองจริงว่าสามารถใส่ดินตะกอนเป็นส่วนผสมเพิ่มเติมแทนที่ดินเหนียวได้มากและน้อยที่สุดเท่าไหร่ และค่าความต้านแรงอัดนั้นยังเป็นไปตามมาตราฐาน มอก. 77-2545 ดังนั้นผู้วิจัยจะทำการทดลองเบื้องต้นก่อน เพื่อหาสัดส่วนในการผสมดินตะกอนกับส่วนผสมทั้งหมดว่ามีผลต่อความต้านทานแรงอัดของอิฐมากน้อยเท่าไหร่ จากนั้นจึงจะสามารถพิจารณาวิธีออกแบบการทดลองที่จะลดต้นทุนของส่วนผสมต่าง ๆ ในการผลิตอิฐมอญตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยได้

3.2 วิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความต้านแรงอัด

หลังจากที่ทราบสัดส่วนของส่วนผสมแต่ละสูตรว่ามีผลต่อค่าความต้านแรงอัดเท่าไหร่ ผู้วิจัยจะนำข้อมูลจากการทดลองเบื้องต้นดังกล่าวมาวิเคราะห์หาว่าปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลต่อค่าความต้านแรงอัด และระดับของปัจจัยสูงสุดและต่ำสุดจะเป็นเท่าไหร่

3.3 ออกแบบการทดลองเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของการผลิตอิฐก่อสร้างสามัญ

งานวิจัยนี้จะใช้วิธีออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล โดยจะกำหนดจำนวนการทดลอง การกำหนดจำนวนแบบการทดลองจากปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความต้านแรงอัด ตามมาตรฐาน มอก. 77-2545 ซึ่งขั้นตอนในการออกแบบการทดลองมีดังนี้

1) การทดลองซ้ำ (Replication)

2) การสุ่ม (Randomization)

3) การบล็อก (Blocking)

การทดลองซ้ำ (Replication) คือ การนำการทดลองที่ได้จากการดำเนินการมาทำการดำเนินการซ้ำอีก โดยมีระดับของปัจจัยทุกอย่างเหมือนเดิม ซึ่งการทดลองซ้ำจะช่วยในการประมาณค่าความผิดพลาดของการทดลอง และยังช่วยให้การทดลองมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

การสุ่ม (Randomization) หมายถึง การจัดลำดับของการทดลองในแต่ละการทดลองเพื่อเป็นการช่วยลดผลกระทบจากปัจจัยภายนอกที่อาจเกิดขึ้นกับการทดลองได้ ซึ่งในการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลนี้จะใช้โปรแกรมมินิแท็บ (MINITAB) ช่วยในการสุ่มลำดับในการทดลองแต่ละการทดลอง

การบล็อก (Blocking) เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรงให้แก่การทดลอง บล็อกอันหนึ่งอาจหมายถึง ส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันมากกว่าเซตทั้งหมดของวัสดุ การเปรียบเทียบเงื่อนไขที่น่าสนใจต่าง ๆ ภายในแต่ละบล็อกจะเกิดขึ้นจากการทำบล็อกกิ้ง โดยที่การทดลองนี้จะทำหนึ่งบล็อกเพื่อลดความแปรปวนหรือปัจจัยอื่น ๆ ที่อาจส่งผลต่อการทดลอง โดยจะทำการเผาอิฐพร้อมกันทั้งหมดในครั้งเดียว

3.4. ทำการทดลองและวิเคราะห์โดยใช้การวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization)

3.4.1 ทำการทดลอง

ขั้นตอนการดำเนินการทดลองใช้การทดลองแบบฟูลแฟกทอเรียล 2 ส่วนปัจจัยที่ไม่ต้องการศึกษาจะกำหนดให้อยู่ในลักษณะที่เหมือนกัน เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการดำเนินการทดลอง ซึ่งสิ่งต่าง ๆ ที่ต้องดำเนินการควบคุมมีดังนี้

1) ใช้การเผาอิฐพร้อมกันทุกก้อนทดลอง และวางไว้แถวกลาง ให้ความร้อนสม่ำเสมอกัน เพื่อป้องกันปัจจัยภายนอกอื่น ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้น

2) ใช้เครื่องจักร เครื่องมือ และแม่แบบในการดำเนินการชนิดเดียวกัน

ซึ่งในแต่ละการดำเนินการทดลองนั้น จะทำการสุ่มโดยใช้โปรแกรมมินิแท็บ (MINITAB) โดยดำเนินการทดลองตามลำดับที่เรียงไว้ในช่อง “Run Order” เมื่อทำการทดสอบค่าการรับแรงอัดของอิฐแล้ว จะทำการบันทึกผลลงในช่อง “ค่าการรับแรงอัด”

ผู้วิจัยจะดำเนินการทดลองตามการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล โดยทำซ้ำ 1 ครั้ง เพื่อศึกษาหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมในการหาสัดส่วนของส่วนผสมในการผลิตอิฐที่มีผลต่อการรับแรงอัดของอิฐ

3.4.2 วิเคราะห์ผลโดยใช้การวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization)

เมื่อทำการทดลองแล้ว ผู้วิจัยจะตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง ซึ่งเป็นการตรวจสอบ ความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองที่มีความคลาดเคลื่อนจากปัจจัยที่ไม่ได้

ควบคุมจำนวนมาก โดยจะทำการทดสอบ 3 ส่วน คือ สมมติฐานการแจกแจงแบบปกติ สมมติฐานของความเป็น อิสระ และสมมติฐานของความแปรปรวนของข้อมูล โดยขั้นตอนการตรวจสอบแสดงดังนี้

1) การทดสอบสมมติฐานแบบแจกแจงปกติ

ทำการทดสอบโดยนำส่วนตกค้าง (Residual) ของค่าตัวแปรตอบสนองมาพิจารณาการกระจายตัวของส่วนตกค้างว่ามีการแจกแจงแบบลักษณะใด ซึ่งหากกราฟมีการแจกแจงแบบปกติ ก็ควรจะมีลักษณะการกระจายที่มีแนวโน้มใกล้เคียงหรือเป็นเส้นตรง และเมื่อทำการทดสอบสมมติฐานการแจกแจงปกติแล้วจะมีค่า P-value มากกว่า 0.05 จะได้ว่าข้อมูลที่ได้จากผลการทดลองเป็นไปตามสมมติฐานของการแจกแจงแบบปกติ

2) การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ จะพิจารณาความสัมพันธ์ของแผนภาพการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residual) และลำดับของการเก็บข้อมูล (Observation Order) โดยลักษณะของข้อมูลต้องไม่มีลักษณะที่เป็นแนวโน้ม ควรจะเป็นการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบ

3) ทดสอบสมมติฐานของความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

การทดสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนโดยการพิจารณาการกระจายระหว่างส่วนตกค้างกับผลตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย (Fitted Value) เพื่อตรวจสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ค่าความแปรปรวนจะมีเสถียรภาพอยู่ในระดับที่ดี เมื่อการกระจายตัวไม่มีลักษณะที่เป็นรูปแบบหรือโครงสร้างใด ๆ ทั้งสิ้น

4) การวิเคราะห์ผลการทดลองโดยวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization)

สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลอง จะทำได้โดยการนำผลการทดลองมาวิเคราะห์โดยโปรแกรมมินิแท็บ (MINITAB) ซึ่งมีการดำเนินการทดลองซ้ำอีก 1 ครั้ง การใช้โปรแกรมมินิแท็บ (MINITAB) วิเคราะห์นั้นจะทำโดยการพิจารณาค่า P-value ซึ่งจะเริ่มพิจารณาจากปัจจัยหลักที่คาดว่าจะส่งผลต่อค่าการรับแรงอัดของอิฐ ได้แก่ สัดส่วนของดินเหนียว แกลบ น้ำ และดินตะกอน โดยจะทำการพิจารณาค่า P-value ของปัจจัยนั้น ๆ หากค่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 จะทำให้สรุปได้ว่าปัจจัยนั้นมีผลต่อค่าการรับแรงอัดของอิฐ

การหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมของการนำดินตะกอนมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐให้มีค่ากำลังอัดเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด ผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์โดยใช้การวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization) ในโปรแกรมมินิแท็บ (MINITAB) ซึ่งจะกำหนดค่าขอบเขตล่าง (Lower) ไว้ที่ 21 เมกะปาสคาล ตามค่าความต้านแรงอัดต่ำสุดของมาตรฐาน มอก. 77-2545 ค่าขอบเขตบน (Upper) จะกำหนดตามค่าความต้านแรงอัดสูงที่สุดที่วัดได้จากอิฐจากการทดลอง และกำหนดค่าเป้าหมาย (Target) ค่าเฉลี่ยของขอบเขตล่างและขอบเขตบน

3.5 สรุปผลและเปรียบเทียบต้นทุนของอิฐ

หลังจากได้ค่าสัดส่วนที่เหมาะสมของการนำดินตะกอนมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐมอญแล้ว ผู้วิจัยจะเปรียบเทียบต้นทุนอิฐมอญทั่วไปที่ผลิตในหมู่บ้านอิฐกับอิฐมอญที่เพิ่มดินตะกอนน้ำประปาเข้าไป

3.6 จัดทำรายงานโครงงานวิจัย

สรุปผลที่ได้จากการวิเคราะห์ และจัดทำเป็นรายงาน

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานของโครงงานวิจัย

การทำโครงงานวิจัยนี้ เป็นการหาสัดส่วนที่เหมาะสมของดินตะกอนน้ำประปาในการผลิตอิฐก่อสร้างสามัญ เพื่อลดต้นทุนการผลิตอิฐ โดยเริ่มจากการศึกษากระบวนการผลิตน้ำประและอิฐก่อสร้างสามัญ ทำการทดลองเบื้องต้น แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความต้านแรงอัด จากนั้นจะออกแบบการทดลองเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของการผลิตอิฐ โดยทำการทดลองเชิงแฟกทอเรียลและวิเคราะห์ผลโดยใช้การวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization) สุดท้ายแล้วจะสรุปผลสัดส่วนที่เหมาะสมของการผลิตอิฐมอญ และเปรียบเทียบต้นทุนในการผลิตอิฐก่อนและหลังทำการปรับปรุง ซึ่งมีผลการดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้

4.1 ศึกษากระบวนการผลิตน้ำประปาและอิฐก่อสร้างสามัญ และทำการทดลองเบื้องต้น

4.1.1 ศึกษากระบวนการผลิตน้ำประปา

จากการศึกษากระบวนการผลิตน้ำประปา ณ การประปาส่วนภูมิภาคสาขาเชียงใหม่ (ชั้นพิเศษ) จะมีขั้นตอนในการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบและปรับค่า pH ให้เหมาะสมต่อการอุปโภคบริโภค โดยจะใส่สารเคมีและสารก่อตะกอนลงไปในถังตกตะกอน เพื่อให้สิ่งที่ปนเปื้อนมากับน้ำและสารเคมีต่าง ๆ ที่ใส่ในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพของน้ำดิบตกตะกอนแยกออกมาจากน้ำ หลังจากนั้นจะฆ่าเชื้อด้วยสารเคมี ก่อนจะผ่านการกรองด้วยหินและทรายเพื่อให้ได้น้ำที่สะอาดออกมา เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการผลิตน้ำประปา จะมีตะกอนเกิดขึ้นภายในถังตกตะกอน อันถือว่าเป็นของเสีย โดยจะไหลผ่านท่อปล่อยตะกอนลงไปในบ่อพักตะกอน เมื่อบ่อพักตะกอนเต็ม ก็จะใช้รถตักดินตะกอนขึ้นมาตากแดดจนแห้ง รอการนำไปกำจัดด้วยวิธีการถมต่อไป พบว่ามีปริมาณดินตะกอนประมาณ 4-6 ตันต่อปี ทำให้มีต้นทุนในการกำจัดประมาณ 150,000-300,000 บาทต่อปี ซึ่งผู้วิจัยเล็งเห็นว่าดินตะกอนจากน้ำประปาสามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ จึงสนใจนำมาเป็นส่วนผสมเพิ่มเติมในการผลิตอิฐ

4.1.2 ศึกษากระบวนการผลิตอิฐก่อสร้างสามัญ

จากการเก็บรวบรวมข้อมูล ขั้นตอน กระบวนการผลิต และส่วนผสมทั้งหมดในการผลิตอิฐมอญจากหมู่บ้านผลิตอิฐมอญแห่งหนึ่งในตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ สามารถสรุปเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

1) ขั้นตอนการเตรียมดินเหนียว จะใช้บ่อในการหมักดิน โดยใส่ดินเหนียวและขี้เถ้าที่เป็นส่วนผสมแห้งลงไปในบ่อ จากนั้นเติมน้ำลงไปเพื่อผสมส่วนผสมให้เข้ากัน หมักทิ้งไว้เป็นเวลาประมาณ 2-3 วัน เพื่อให้ดินเหนียวรวมตัวกันจนมีความขันเหนียวที่สามารถขึ้นรูปอิฐได้ ดังภาพ 4.1

ภาพ 4.1 ขั้นตอนในการเตรียมดิน

2) นำดินที่หมักเสร็จเรียบร้อยแล้วใส่เครื่องโม่เพื่อกวนส่วนผสมให้มีความละเอียดและเข้ากัน ก่อนจะนำไปใส่ในแท่นพิมพ์อิฐ ซึ่งจะทำหน้าที่เสมือนเป็นแม่พิมพ์ ผู้ผลิตสามารถเลือกลาย ขนาด และรูของอิฐตามที่ต้องการได้ เมื่อนำไปใส่ในแท่นพิมพ์อิฐแล้ว ดินเหนียวจะขึ้นรูปและไหลออกมาจากแท่นพิมพ์เป็นก้อนยาว จากนั้นจะถูกตัดเพื่อให้ได้ขนาดความยาวตามต้องการ ดังภาพ 4.2 และ 4.3

ภาพ 4.2 ดินที่ผ่านการหมัก

ภาพ 4.3 ขั้นตอนการขึ้นรูปและพิมพ์อิฐ

3) จากนั้นนำอิฐไปตากแดดให้แห้งสนิท โดยจะใช้เวลาประมาณ 3-4 วัน ดังภาพ 4.4

ภาพ 4.4 ขั้นตอนในการตากอิฐให้แห้ง

4) นำอิฐที่แห้งสนิทแล้วมาวางเรียงกันจนเต็มเตา ใช้เวลาเผาอิฐทั้งหมด 14 ชั่วโมงสำหรับเตาเผาอิฐขนาด 12,000 ก้อน โดยเชื้อเพลิงที่ใช้จะเป็นฟืน และต้องมีคนดูแลตลอดเพื่อไม่ให้ไฟดับ เมื่อครบกำหนด 14 ชั่วโมง จะต้องรออิฐที่สุกแล้วเย็นตัวลงอีกประมาณ 3-4 วัน อิฐที่สมบูรณ์แล้วจะมีสีแดงพร้อมนำไปใช้งานได้ ดังภาพ 4.5

ภาพ 4.5 ขั้นตอนการเผาอิฐ

4.3 ทำการทดลองเบื้องต้น

หลังจากศึกษาและทำความเข้าใจกระบวนการผลิตอิฐมอญแล้ว ผู้วิจัยจึงทำการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาสัดส่วนในการผสมดินตะกอนกับส่วนผสมทั้งหมดว่ามีผลต่อความต้านทานแรงอัดของอิฐมากน้อยเท่าไหร่ เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 77-2545 จากนั้นจึงจะสามารถพิจารณาวิธีออกแบบการทดลองที่จะลดต้นทุนของส่วนผสมต่าง ๆ ในการผลิตอิฐมอญตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

จากการศึกษาวัตถุดิบในการผลิตอิฐมอญ พบว่าสัดส่วนส่วนผสมของการผลิตอิฐมอญที่หมู่บ้านอิฐมอญคือ ดินเหนียว:ขี้เถ้า (10:3) และใช้ปริมาณน้ำ 30 เปอร์เซ็นต์ของมวลหยาบรวม จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการทดลองเบื้องต้น โดยเพิ่มอัตราส่วนของดินตะกอนน้ำประปาเข้าไปแทนที่ดินเหนียว ส่วนขี้เถ้าและน้ำนั้นจะยังคงอัตราส่วนเดิม เนื่องจากขี้เถ้าเป็นเพียงตัวช่วยให้อิฐสุกทั่วกันทั้งก้อน ไม่แตกระหว่างการเผาเพราะฟองอากาศจากน้ำภายในอิฐในขั้นตอนการเผา ส่วนน้ำเป็นเพียงตัวช่วยผสมส่วนผสมเข้าด้วยกัน และจะหายไปในขั้นตอนการนำอิฐไปตากแดด

นอกจากนั้นแล้ว ผู้วิจัยต้องการศึกษาว่าดินเหนียวและดินตะกอนมีผลกับค่าความต้านแรงอัดมากน้อยเพียงใด ก่อนจะออกแบบการทดลองจริงว่าสามารถใส่ดินตะกอนเป็นส่วนผสมเพิ่มเติมแทนที่ดินเหนียวได้มากและน้อยที่สุดเท่าไหร่ และค่าความต้านแรงอัดนั้นยังเป็นไปตามมาตราฐาน มอก. 77-2545 จึงได้สัดส่วนการผลิตอิฐมอญที่ผู้วิจัยทำการศึกษาเบื้องต้นตามตาราง 4.1 โดยสูตรแรกคือสัดส่วนทั่วไปของการผลิตอิฐมอญจากการศึกษาที่หมู่บ้านอิฐมอญ และสูตรต่อมาคือการเพิ่มดิน

ตะกอนน้ำประปาเข้าไปแทนที่ดินเหนียว จึงได้ทดลองปรับเปลี่ยนส่วนผสมของการผลิตอิฐมอญ ดังตาราง 4.1

ตาราง 4.1 สัดส่วนส่วนผสมของการผลิตอิฐมอญของการทดลองเบื้องต้น

ดินเหนียว	ดินตะกอนน้ำประปา
10	0
8	2
6	4
4	6

จากการศึกษาวิธีการผลิตอิฐนั้น ผู้วิจัยพบข้อจำกัดของการกวนส่วนผสมโดยใช้เครื่องโม่ เนื่องจากในการผลิตอิฐ เครื่องโม่จะกวนส่วนผสมทั้งหมดเข้าด้วยกันใน 1 ครั้ง และเป็นปริมาณมาก แต่ในการทดลองเบื้องต้นของผู้วิจัย ส่วนผสมในการผลิตอิฐแต่ละสูตรไม่เท่ากัน หากใช้เครื่องโม่จะทำให้เสียเวลาและทรัพยากรโดยเปล่าประโยชน์ เพื่อลดความสูญเปล่าที่อาจจะเกิดขึ้น ผู้วิจัยจึงเลือกขั้นตอนดังนี้

1) การออกแบบสัดส่วนการผลิตอิฐมอญเบื้องต้น ดังนี้

ทำแม่พิมพ์แบบ โดยที่ขนาดของอิฐตามมาตรฐาน มอก. 77-2545 เป็น 14x6.5x4 เซนติเมตร แต่เนื่องจากอิฐมีการหดตัวจากการสูญเสียน้ำและการเผา จึงได้ทำแม่พิมพ์อิฐที่มีขนาดใหญ่กว่าปกติ 0.5 เซนติเมตร ได้เป็น 14.5x7x4.5 เซนติเมตร ดังภาพ 4.6

ภาพ 4.6 แม่พิมพ์อิฐขนาด 14.5x7x4.5 เซนติเมตร

หามวลหยาบรวมของอิฐ จากสูตรสัดส่วนส่วนผสมที่ 2 ในตาราง 4.1

ปริมาตรดินเหนียว = ปริมาตรของอิฐ x อัตราส่วนของดินเหนียวต่อส่วนผสม

= 14.5 x 7 x 4.5 x 8 13

= 281 ลูกบาศก์เซนติเมตร

มวลดินเหนียว = ปริมาตรดินเหนียว x ความถ่วงจำเพาะ

= 281 x 2.7

= 760 กรัม

ปริมาตรดินตะกอน = ปริมาตรของอิฐ x อัตราส่วนของดินตะกอนต่อส่วนผสม

= 14.5 x 7 x 4.5 x 2 13

= 70 ลูกบาศก์เซนติเมตร

มวลดินตะกอน = ปริมาตรดินตะกอน x ความถ่วงจำเพาะ

= 70 x 2.65

= 186 กรัม

ปริมาตรขี้เถ้า = ปริมาตรของอิฐ x อัตราส่วนของขี้เถ้าต่อส่วนผสม

= 14.5 x 7 x 4.5 x 3 13

= 105 ลูกบาศก์เซนติเมตร

มวลขี้เถ้า = ปริมาตรขี้เถ้า x ความถ่วงจำเพาะ

= 105 x 2.65

= 280 กรัม

มวลหยาบรวมของอิฐ = มวลดินเหนียว + มวลตะกอน + มวลขี้เถ้า

= 760 + 186 + 280

= 1,226 กรัม

มวลน้ำ = 30 เปอร์เซ็นต์ของมวลหยาบรวม

= 368 กรัม

หลังจากคำนวณสัดส่วนส่วนผสมในการผลิตอิฐแล้ว จะได้น้ำหนักของส่วนผสมที่ใช้ในการทดลอง ดังตาราง 4.2

ตาราง 4.2 น้ำหนักของส่วนผสมของอิฐที่ใช้ในการทดลอง

อัตราส่วนผสมของอิฐ (ดินเหนียว:ดินตะกอน)	มวลดินเหนียว (กรัม)	มวลดินตะกอน (กรัม)
10:0	950	0
8:2	760	186
6:4	570	372
4:6	380	560

2) ผสมอิฐโดยใช้มือเพื่อให้ได้ส่วนผสมที่ถูกต้องในเวลาที่สั้นลง โดยจะทำอิฐขึ้นมาสูตรละสองก้อน ผู้วิจัยเลือกผสมแห้งในกะละมังแทนบ่อ เนื่องจากใช้ปริมาณส่วนผสมไม่มาก จากนั้นคนส่วนผสมแห้งให้เข้ากัน ก่อนจะเติมน้ำลงไปผสมให้เข้ากัน ดังภาพ 4.7

ภาพ 4.7 ขั้นตอนการผสมดินในการทดลองเบื้องต้น

3) เทส่วนผสมทั้งหมดลงไปในถุงที่มีเลขเขียนกำกับไว้ ทำจนครบทุกสูตร จากนั้นหมักดินทิ้งไว้ 2 วัน เพื่อให้ดินผสมกันจนได้ที่ ดังภาพ 4.8

ภาพ 4.8 ขั้นตอนการหมักดินในการทดลองเบื้องต้น

4) นำดินเหนียวที่เตรียมเสร็จแล้วใส่แม่พิมพ์ จากนั้นนำไปตากแดด 3-4 วัน เพื่อให้แห้งสนิท และเก็บรอรอบเผาครั้งต่อไป ดังภาพ 4.9

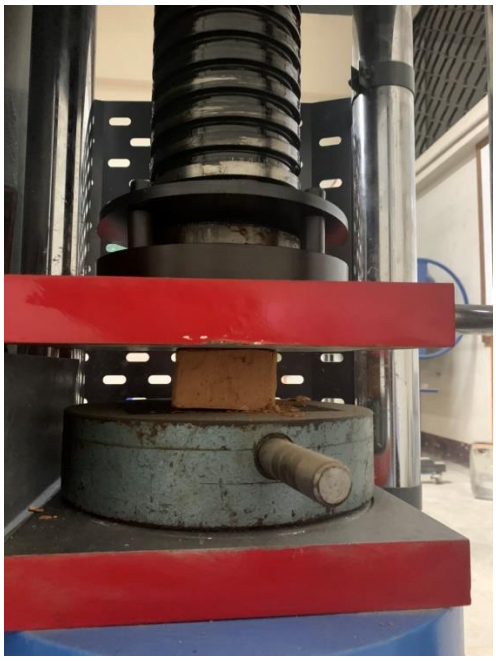
ภาพ 4.9 ขั้นตอนการพิมพ์อิฐในการทดลองเบื้องต้น

4) เผาอิฐพร้อมกันทั้งหมดนับเป็น 1 บล็อกกิ้ง เพื่อควบคุมปัจจัยภายนอกและความแปรปรวนที่จะเกิดขึ้นหากใช้รอบเผาที่ต่างกัน โดยจะวางอิฐบนแถวกลาง เพื่อลดการแตกระหว่างเผา เพราะตรงกลางนั้นจะมีความร้อนพอดี ไม่ร้อนเกินไปเท่าแถวบน หรือแตกเพราะรับน้ำหนักอิฐด้านบนเมื่อวางในแถวล่าง ใช้เวลาเผาทั้งสิ้น 14 ชั่วโมง จากนั้นจึงพักอิฐให้เย็น ดังภาพ 4.10

ภาพ 4.10 ขั้นตอนการเผาอิฐในการทดลองเบื้องต้น

5) ทดสอบค่าความต้านแรงอัดของอิฐเบื้องต้น

ผู้วิจัยได้ทำอิฐมาสูตรละ 2 ก้อน โดยเตรียมผิวอิฐด้วยปูนปลาสเตอร์ทั้งผิวด้านบนและด้านล่าง มีความหนาไม่น้อยกว่า 3 มิลลิเมตรและขนานกัน เพื่อช่วยให้อิฐรับแรงต้านได้เสมอทั่วกันทั้งก้อน จากนั้นนำเข้าเครื่องทดสอบความต้านแรงอัดด้วยเครื่อง Universal Testing Machine ดังภาพ 4.11 ผลการทดสอบเป็นไปดังตาราง 4.3



ภาพ 4.11 ทดสอบค่าความต้านแรงอัดของอิฐ

ตาราง 4.3 ผลการทดสอบค่าความต้านแรงอัดของอิฐเบื้องต้น

อัตราส่วนผสมของอิฐ (ดินเหนียว:ดินตะกอน)	ผลการทดลอง (เมกะปาสคาล)	
	อิฐตัวอย่างที่ 1	อิฐตัวอย่างที่ 2
10:0	28.0	29.8
8:2	26.2	25.0
6:4	22.2	21.6
4:6	15.4	16.3

จากผลการทดลองจะพบว่า ค่าความต้านแรงอัดของอิฐตัวอย่างทั้ง 2 ก้อน เมื่อผสมสัดส่วนของดินเหนียว:ดินตะกอน คือ 10:0 (สูตรที่ 1) 8:9 (สูตรที่ 2) และ 6:4 (สูตรที่ 3) มีผลการทดสอบที่เป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 77-2545 มีค่าความต้านแรงอัดมากกว่า 21 เมกะปาสคาล ในทางกลับกันสูตรอิฐที่ 4 ที่มีสัดส่วนดินเหนียว:ดินตะกอนเป็น 4:6 นั้นมีค่าความต้านแรงอัดน้อยกว่ามาตรฐาน ได้แก่ 15.4 และ 16.3 เมกะปาสคาล

6) พิจารณาอัตราส่วนของส่วนผสมของอิฐ ผู้วิจัยต้องการนำดินตะกอนน้ำประปาจากการประปาส่วนภูมิภาคสาขาเชียงใหม่ (ชั้นพิเศษ) ที่เป็นของเสียจากการผลิตน้ำประปามาใช้ทดแทนดินเหนียว จึงเลือกพิจารณาสูตรที่ 2 และ 3 เนื่องจากค่าความต้านแรงอัดของสูตรดังกล่าวเป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 77-2545 (ค่าเฉลี่ยต้องไม่ต่ำกว่า 21 เมกะปาสคาล) ส่วนสูตรที่ 4 นั้นไม่สามารถนำมาพิจารณาได้ เพราะมีค่าความต้านแรงอัดต่ำกว่ามาตรฐาน

4.2 วิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความต้านแรงอัดตามมาตรฐานอิฐก่อสร้างสามัญตาม มอก. 77-2545

เนื่องจากงานวิจัยชิ้นนี้ ผู้วิจัยต้องการหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตอิฐก่อสร้างสามัญด้วยวิธีการออกแบบการทดลองเพื่อนำดินตะกอนของเสียจากน้ำประปาที่มีอยู่เป็นปริมาณมากและไม่ได้นำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ จึงต้องการนำดินตะกอนมาเป็นส่วนผสมเพิ่มเติมในการผลิตอิฐก่อสร้างสามัญเพื่อลดต้นทุนให้แก่ผู้ผลิต

แต่อย่างไรก็ตามนั้น การเพิ่มส่วนผสมใดใดลงไปในกระบวนการผลิตอิฐก่อสร้างสามัญจะต้องได้สัดส่วนของส่วนผสมที่เหมาะสมและเป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 77-2545 กำลังต้านแรงอัด โดยปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องและมีผลต่อมาตรฐานดังกล่าว ได้แก่ ดินเหนียว ขี้เถ้า น้ำ และดินตะกอนน้ำประปา

ผู้วิจัยได้กำหนดปัจจัยที่จะนำมาทำการทดลองตามที่ได้กล่าวไปข้างต้น ส่วนระดับของปัจจัยที่จะนำมาทดลองนั้นผู้วิจัยได้มาจากการทดลองเบื้องต้น โดยค่าสูงสุดและต่ำสุดจะกำหนดตามสูตรที่

2 และสูตรที่ 3 จากตาราง 4.3 ที่มีสัดส่วนส่วนผสมการผลิตอิฐ คือ 8:2 และ 6:4 (ดินเหนียว:ดินตะกอน) ในการทดลองผู้วิจัยสนใจที่จะหาสัดส่วนที่เหมาะสมของส่วนผสมทั้งหมดที่ใช้เพื่อดูว่าจะเป็นไปตามมาตรฐานค่าความต้านแรงอัดของอิฐ มอก. 77-2545 หรือไม่ และจะประเมินระดับของปัจจัยขี้เถ้าสูงสุดและต่ำสุด คือ 2 ส่วน และ 3 ส่วน คิดเป็น 280 และ 186 กรัม ตามลำดับ ระดับปัจจัยของน้ำสูงสุดและต่ำสุด คือ 30 และ 25 เปอร์เซ็นต์ของมวลหยาบรวม ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตาราง 4.4

ตาราง 4.4 ปัจจัยและระดับของปัจจัยในการทดลอง

ปัจจัย	รหัส	ระดับของปัจจัย (กรัม)
ดินเหนียว	1	760
	-1	570
ดินตะกอน	1	372
	-1	186
ขี้เถ้า	1	280
	-1	186
น้ำ	1	30 (เปอร์เซ็นต์ของมวลหยาบรวม)
	-1	25 (เปอร์เซ็นต์ของมวลหยาบรวม)

4.3 ออกแบบการทดลองเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของการผลิตอิฐก่อสร้างสามัญ

จากการศึกษากระบวนการในการผลิตอิฐมอญและวิธีการออกแบบการทดลอง สามารถอธิบายลำดับการทดลองตามการทดลองเบื้องต้นได้ดังนี้

1) ผสมส่วนผสมตามค่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าต้านแรงอัดตามลำดับการสุ่ม โดยมีทั้งหมด 4 ปัจจัย แต่ละปัจจัยจะทำการทดลองทั้งสิ้น 2 ระดับ ดังนั้นแล้วจะต้องทำอิฐขึ้นมาทั้งหมด 16 สูตร สูตรละ 2 ก้อน รวมเป็น 32 ก้อน โดยจะสุ่มลำดับการผสมของแต่ละปัจจัยด้วยโปรแกรมมินิแท็บ (MINITAB)

2) จากนั้นนำอิฐทั้งหมดไปตากแดดให้แห้งสนิท ก่อนนำเข้าสู่กระบวนการเผาพร้อมกันทั้งหมด นับเป็นหนึ่งบล็อกกิ้งเพื่อควบคุมปัจจัยภายนอกและความแปรปรวนที่จะเกิดขึ้น ใช้เวลาเผาทั้งสิ้น 14 ชั่วโมง

3) ทำการทดลองตามลำดับที่เรียงไว้ในช่อง “Run Order” ของโปรแกรมมินิแท็บ (MINITAB) เมื่อทำการทดสอบค่าการรับแรงอัดของอิฐแต่ละก้อนแล้ว จะบันทึกผลลงในช่อง “ค่าความต้านแรงอัด”

4) ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองและวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรมมินิแท็บ (MINITAB) ก่อนจะใช้การวิเคราะห์ค่าผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization) เพื่อหาสัดส่วนปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตอิฐมอญตามมาตรฐาน มอก. 77-2545 ผู้ดำเนินงานวิจัยใช้หลักการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k ซึ่งมีปัจจัยที่ใช้ทำการทดลอง 4 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับการทดลอง (ต่ำและสูง) โดยตาราง 4.5 จะเป็นการแสดงถึงช่วงปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

ตาราง 4.5 ตารางสำหรับการทดลองแฟกทอเรียล 2^k

ปัจจัย	รหัส	ระดับของปัจจัย (กรัม)
ดินเหนียว	1	760
	-1	570
ดินตะกอน	1	372
	-1	186
ขี้เถ้า	1	280
	-1	186
น้ำ	1	30 (เปอร์เซ็นต์ของมวลหยาบรวม)
	-1	25 (เปอร์เซ็นต์ของมวลหยาบรวม)

4.4 ทำการทดลองและวิเคราะห์โดยใช้การวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization)

4.4.1 ทำการทดลอง

จากการดำเนินการทดลองตามการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^4 โดยทำซ้ำ 1 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 32 การทดลอง เพื่อศึกษาหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมในการหาสัดส่วนของดินตะกอนที่เป็นส่วนผสมเพิ่มเติมในการผลิตอิฐมอญที่มีผลต่อค่าความต้านแรงอัดของอิฐ ซึ่งได้ผลการทดลองที่ปรากฏในช่อง “ค่าความต้านแรงอัด” ดังแสดงในตาราง 4.6

ตาราง 4.6 ผลการทดลองเรียงตาม Design Matrix จากโปรแกรมมินิแท็บ (MINITAB)

Std Order	Run Order	PyType	Blocks	ดินเหนียว	ดินตะกอน	ขี้เถ้า	น้ำ	ค่าความต้านแรงอัด
21	1	1	1	-1	-1	1	-1	22.05
9	2	1	1	-1	-1	-1	1	19.90
30	3	1	1	1	-1	1	1	23.85
8	4	1	1	1	1	1	-1	23.50

ตาราง 4.6 ผลการทดลองเรียงตาม Design Matrix จากโปรแกรมมินิแท็บ (MINITAB) (ต่อ)

Std Order	Run Order	PyType	Blocks	ดินเหนียว	ดินตะกอน	ขี้เถ้า	น้ำ	ค่าความต้านแรงอัด
19	5	1	1	-1	1	-1	-1	19.50
28	6	1	1	1	1	-1	1	26.30
2	7	1	1	1	-1	-1	-1	20.20
22	8	1	1	1	-1	1	-1	20.70
31	9	1	1	-1	1	1	1	23.00
13	10	1	1	-1	-1	1	1	20.60
5	11	1	1	-1	-1	1	-1	18.75
14	12	1	1	1	-1	1	1	23.10
1	13	1	1	-1	-1	-1	-1	18.30
16	14	1	1	1	1	1	1	25.55
29	15	1	1	-1	-1	1	1	21.60
7	16	1	1	-1	1	1	-1	17.70
23	17	1	1	-1	1	1	-1	19.50
10	18	1	1	1	-1	-1	1	23.40
20	19	1	1	1	1	-1	-1	22.05
24	20	1	1	1	1	1	-1	23.10
11	21	1	1	-1	1	-1	1	24.10
3	22	1	1	-1	1	-1	-1	18.45
26	23	1	1	1	-1	-1	1	23.10
12	24	1	1	1	1	-1	1	25.50
6	25	1	1	1	-1	1	-1	20.70
17	26	1	1	-1	-1	-1	-1	17.70
18	27	1	1	1	-1	-1	-1	20.10
25	28	1	1	-1	-1	-1	1	20.10
32	29	1	1	1	1	1	1	25.95
27	30	1	1	-1	1	-1	1	21.60
4	31	1	1	1	1	-1	-1	19.5
15	32	1	1	-1	1	1	1	22.50

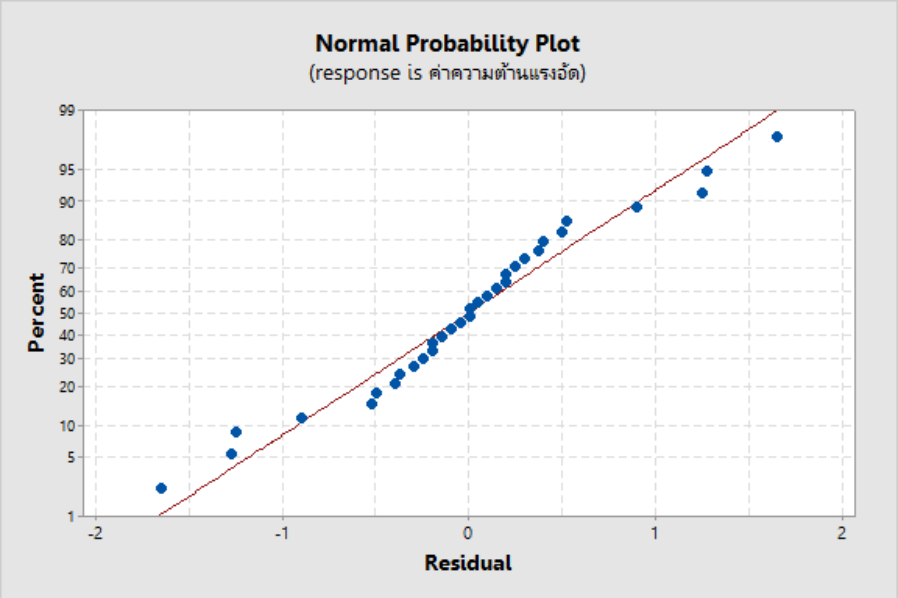
4.4.2 วิเคราะห์ผลโดยการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization)

การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลองเพื่อเป็นการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองที่มีความคลาดเคลื่อนจากปัจจัยที่ไม่ได้ควบคุมจำนวนมาก โดยจะทำการทดสอบ 3 ส่วน คือ สมมติฐานการแจกแจงแบบปกติ สมมติฐานของความเป็นอิสระ สมมติฐานของความแปรปรวนของข้อมูล โดยขั้นตอนในการตรวจสอบแสดงได้ดังนี้

1) การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงแบบปกติ

ทำการทดสอบโดยนำส่วนตกค้าง (Residual) ของค่าตัวแปรตอบสนองมาพิจารณาการกระจายตัวของส่วนตกค้างว่ามีการแจกแจงแบบลักษณะใด ซึ่งหากกราฟมีการแจกแจงแบบปกติควรจะมีลักษณะการกระจายที่มีแนวโน้มใกล้เคียงหรือเป็นเส้นตรง และทำการทดสอบสมมติฐานการแจกแจงแบบปกติแล้วมีค่า P-value มากกว่า 0.05

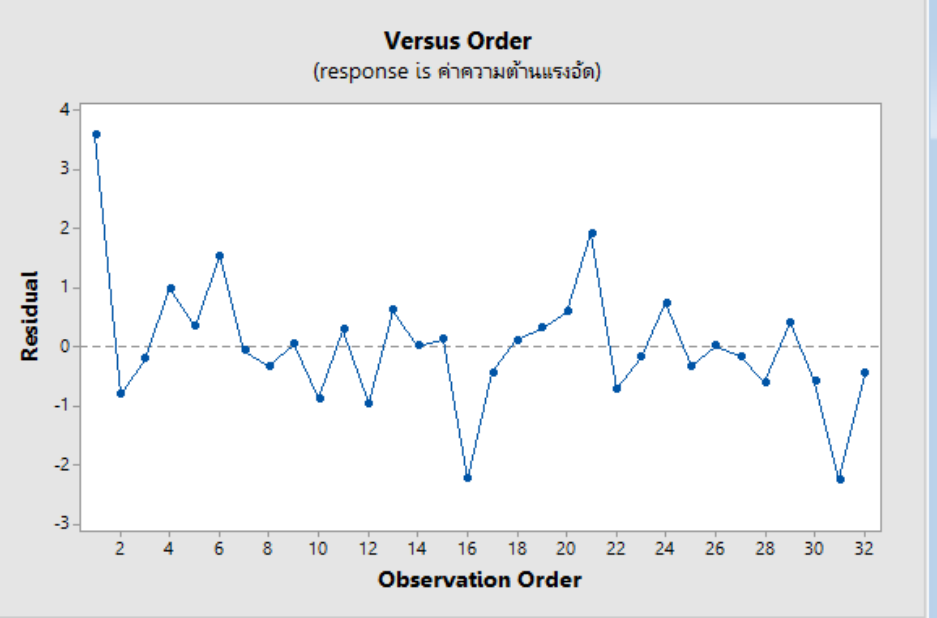
จากภาพ 4.12 เป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบข้อมูลด้วยโปรแกรมมินิแท็บ (MINITAB) พบว่า ส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวเป็นแนวเส้นตรง จึงทำให้ประมาณได้ว่าข้อมูลที่ได้จากผลการทดลองเป็นไปตามสมมติฐานของการแจกแจงแบบปกติ



ภาพ 4.12 ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงแบบปกติ

2) การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ

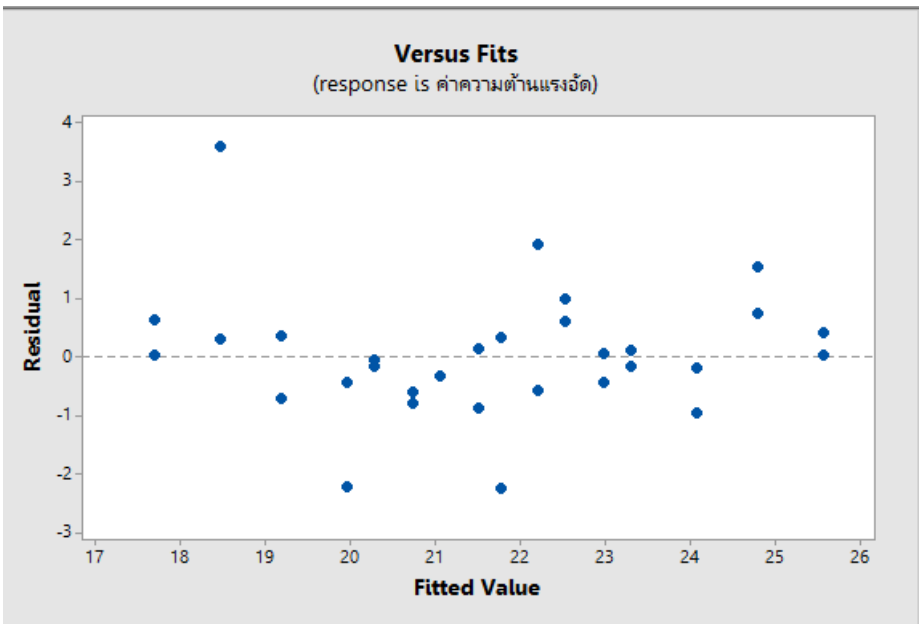
การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระจะพิจารณาความสัมพันธ์ของแผนภาพการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residual) และลำดับของการเก็บข้อมูล (Observation Order) โดยลักษณะข้อมูลต้องไม่มีลักษณะที่เป็นแนวโน้ม ควรจะเป็นการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบ จากภาพ 4.13 เป็นการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับการเก็บของข้อมูล ซึ่งแสดงให้เห็นว่าลักษณะการกระจายตัวเป็นอิสระต่อกัน จึงสรุปได้ว่าข้อมูลเป็นอิสระต่อกัน



ภาพ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของการเก็บข้อมูล

3) ทดสอบสมมติฐานของความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

การทดสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน โดยการพิจารณาการกระจายระหว่างส่วนตกค้างกับผลตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย (Fitted Value) เพื่อตรวจสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน พบว่าค่าความแปรปรวนมีเสถียรภาพอยู่ในระกับที่น่าพอใจ ดังภาพ 4.14 เนื่องจากการกระจายตัวไม่มีลักษณะที่เป็นรูปแบบหรือโครงสร้างใด ๆ ทั้งสิ้น จึงสรุปได้ว่าค่าส่วนตกค้างที่เสถียรภาพของความแปรปรวนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้



ภาพ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต

จากการทดสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลองดังแสดงในภาพ 4.12 ถึง 4.14 พบว่ารูปแบบของค่าส่วนตกค้างเป็นไปตามสมมติฐานที่ถูกต้องตามข้อกำหนด ได้แก่ ข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน และข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

4.5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลองจะทำได้โดยการนำผลการทดลองมาทำการวิเคราะห์ โดยการใช้โปรแกรมมินิแท็บ (MINITAB) ดังภาพ 4.15

Factorial Regression: ค่าความต้านแรงอัด versus ดินเหนียว, ... อน, ขี้เถ้า, น้ำ Menu

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	15	168.821	11.2547	11.52	0.000
Linear	4	148.473	37.1182	38.00	0.000
ดินเหนียว	1	53.174	53.1738	54.44	0.000
ตะกอน	1	17.479	17.4788	17.89	0.001
ขี้เถ้า	1	4.766	4.7663	4.88	0.042
น้ำ	1	73.054	73.0538	74.79	0.000
2-Way Interactions	6	12.332	2.0554	2.10	0.110
ดินเหนียว*ตะกอน	1	2.503	2.5032	2.56	0.129
ดินเหนียว*ขี้เถ้า	1	0.002	0.0020	0.00	0.965
ดินเหนียว*น้ำ	1	0.928	0.9282	0.95	0.344
ตะกอน*ขี้เถ้า	1	0.705	0.7051	0.72	0.408
ตะกอน*น้ำ	1	6.169	6.1688	6.32	0.023
ขี้เถ้า*น้ำ	1	2.025	2.0251	2.07	0.169
3-Way Interactions	4	6.090	1.5226	1.56	0.233
ดินเหนียว*ตะกอน*ขี้เถ้า	1	3.885	3.8851	3.98	0.063
ดินเหนียว*ตะกอน*น้ำ	1	1.643	1.6426	1.68	0.213
ดินเหนียว*ขี้เถ้า*น้ำ	1	0.488	0.4876	0.50	0.490
ตะกอน*ขี้เถ้า*น้ำ	1	0.075	0.0751	0.08	0.785
4-Way Interactions	1	1.926	1.9257	1.97	0.179
ดินเหนียว*ตะกอน*ขี้เถ้า*น้ำ	1	1.926	1.9257	1.97	0.179
Error	16	15.629	0.9768		
Total	31	184.450			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.988330	91.53%	83.58%	66.11%

ภาพ 4.15 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง

จากภาพ 4.15 เป็นผลการวิเคราะห์ของการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล ซึ่งทำการทดลองซ้ำ 1 ครั้ง โดยใช้โปรแกรมมินิแท็บ (MINITAB) การวิเคราะห์นั้นทำได้โดยการพิจารณาค่า P-value ซึ่งจะเริ่มจากการพิจารณาปัจจัยหลักที่คาดว่าจะส่งผลต่อค่าความต้านแรงอัดของอิฐ ได้แก่ ดินเหนียว ดินตะกอนน้ำประปา ขี้เถ้า และน้ำ โดยจะทำการพิจารณาค่า P-value นั้น หากค่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 จะสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยนั้นมีผลต่อค่าความต้านแรงอัดของอิฐ

จากภาพ 4.15 พบว่า ค่าความผันแปรของข้อมูลที่สามารถอธิบายได้คือ ค่า R-Squared ซึ่งมีค่าอยู่ที่ 91.53 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าการทดลองนี้ข้อมูลมีความสอดคล้องกับสมการเส้นตรงที่ 91.53 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอีก 8.47 เปอร์เซ็นต์ที่เหลืออธิบายได้ว่าเกิดจากปัจจัยรบกวนที่ไม่สามารถควบคุมได้ระหว่างการทดลอง โดยค่า R-Squared ที่กล่าวมานั้นสามารถบ่งบอกว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองสามารถนำมาใช้วิเคราะห์ได้

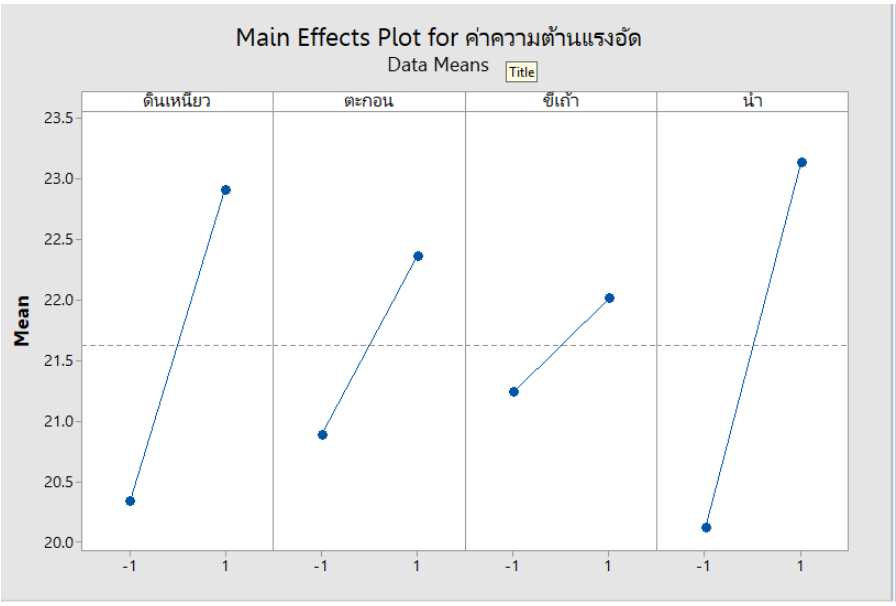
เมื่อได้ทำการพิจารณาในช่อง P-value จากภาพ 4.15 จะพบว่าค่า P-value ของปัจจัยดินเหนียว ดินตะกอนน้ำประปา ขี้เถ้า และน้ำ มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อค่าความต้านแรงอัดของอิฐอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

จากนั้นจะพิจารณาในส่วนของอันตรกิริยาระหว่าง 2 ปัจจัยทุก ๆ คู่ พบว่าค่าปัจจัยดินตะกอนกับน้ำมีอิทธิพลต่อค่าความต้านแรงอัดของอิฐอย่างมีนัยสำคัญ โดยพิจารณาจากค่า P-value ที่ได้นั้นมีค่าน้อยกว่าค่านัยสำคัญ (P-value < 0.05) อันตรกิริยาระหว่าง 3 ปัจจัยและ 4 ปัจจัย พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่มีอิทธิพลต่อค่าความต้านแรงอัดของอิฐ เนื่องจากค่า P-value ที่ได้นั้นมากกว่าค่านัยสำคัญ (P-value > 0.05)

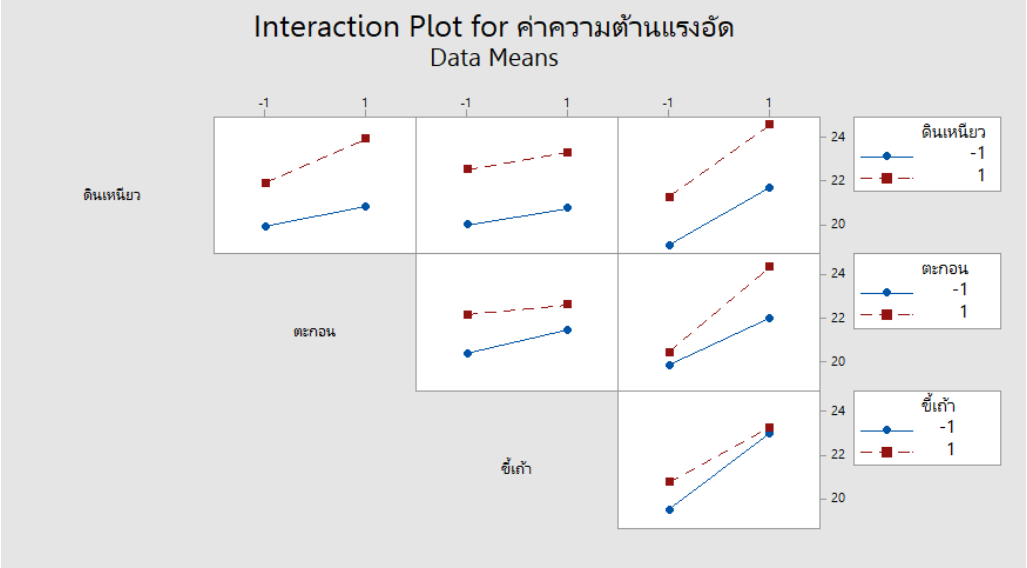
หลังจากทำการ Fixed Model แล้ว โดยรวมเฉพาะเทอมที่จำเป็น คือเฉพาะที่มีนัยสำคัญเท่านั้น จะเป็นดังสมการ

Y = 21.623 + 1.289 ดินเหนียว + 0.739 ตะกอน + 0.386 ขี้เถ้า + 1.511 น้ำ
+ 0.439 ตะกอน*น้ำ

ผลกระทบหลักของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองแสดงดังภาพ 4.16 และผลอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองดังภาพ 4.17



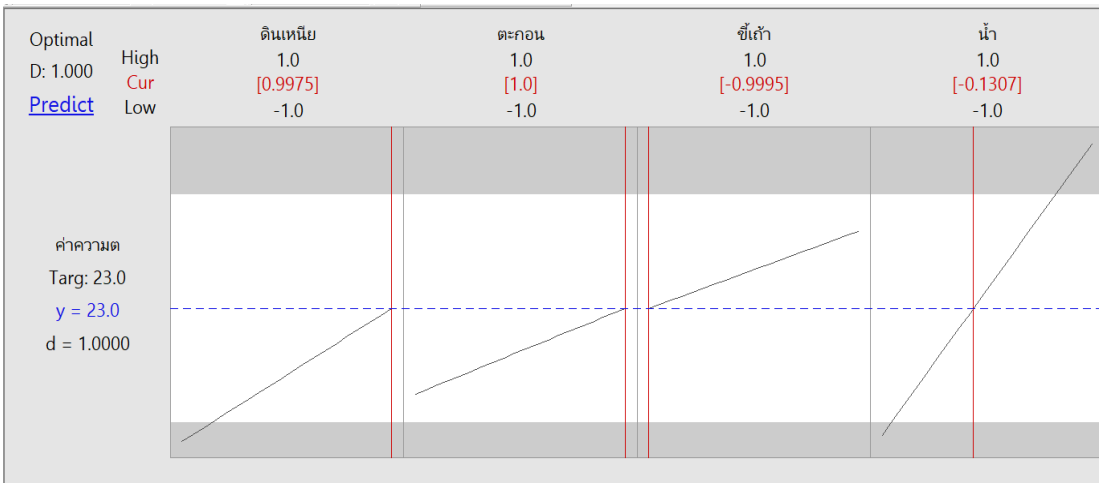
ภาพ 4.16 ผลกระทบหลักของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง



ภาพ 4.17 ผลอันตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง

4.6 การหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

การหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมของการนำดินตะกอนน้ำประปามาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐมอญให้มีค่าความต้านแรงอัดเป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 77-2545 ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ผลตอบที่เหมาะสม (Response Optimization) ในโปรแกรมมินิแท็บ (MINITAB) ผู้วิจัยได้กำหนดค่าขอบเขตล่าง (Lower) ไว้ที่ 21 เมกะปาสคาล ค่าขอบเขตบน (Upper) อยู่ที่ 26 เมกะปาสคาล และกำหนดค่าเป้าหมาย (Target) ไว้ที่ 23 เมกะปาสคาล ผลที่ได้จะแสดงค่าของปัจจัยที่เหมาะสมของส่วนผสมที่ค่าความต้านแรงอัดของอิฐอยู่ที่ระหว่าง 21 ถึง 26 เมกะปาสคาล ดังแสดงในภาพ 4.18 และตาราง 4.7



ภาพ 4.18 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนที่เหมาะสมของอิฐ

ตาราง 4.7 ปัจจัยและระดับที่เหมาะสม

ลำดับ	ปัจจัย	ระดับปัจจัยที่เหมาะสม (กรัม)
1	ดินเหนียว	760
2	ดินตะกอนน้ำประปา	372
3	ขี้เถ้า	280
4	น้ำ	27 (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักอิฐ)

จากตาราง 4.7 เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย ทำให้สามารถสรุปได้ว่าค่าของระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่มีผลต่อค่าความต้านแรงอัดของอิฐซึ่งทำให้ค่าต้านแรงอัดของอิฐอยู่ที่ระหว่าง 21-26 เมกะปาสคาล โดยการออกแบบต่อหนึ่งก้อนอิฐ คือ ปริมาณดินเหนียวที่ใช้ 760 กรัม ดินตะกอนน้ำประปาที่ใช้ คือ 372 กรัม ขี้เถ้าที่ใช้ คือ 280 กรัม และปริมาณน้ำที่ใช้ 27 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักอิฐ

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินการศึกษาวิจัยเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของการใช้ดินตะกอนเป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐเพื่อลดต้นทุนและให้เป็นไปตามมาตรฐาน มอก. ค่าต้านแรงอัด 77-2545 โดยใช้เทคนิควิศวกรรมอุตสาหการมาใช้ในการศึกษา วิเคราะห์ปัญหา แนวทางแก้ไข รวมถึงการดำเนินการหาสัดส่วนที่เหมาะสมของส่วนผสมในการผลิตอิฐมอญ

5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

จากที่ได้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย คือ ปริมาณดินเหนียว ปริมาณดินตะกอนน้ำประปา ปริมาณขี้เถ้า และปริมาณน้ำว่ามีผลต่อค่าความต้านแรงอัดของอิฐหรือไม่ โดยใช้หลักการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลที่มีการทำซ้ำ 1 ครั้ง มีจำนวนการทดลองทั้งสิ้น 32 การทดลองเพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสม

โดยในการดำเนินงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะใช้ส่วนผสมแห้งผสมให้เข้ากันทั้งหมดก่อนที่จะเติมน้ำลงไปตามลำดับขั้นตอนการสุ่มที่วางไว้ หมักทิ้งไว้ 2 วันก่อนจะนำมาขึ้นรูปอิฐที่มีขนาด 14.5x4.5x7 เซนติเมตร อันเป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 77-2545 แล้วนำไปตากแดดเป็นระยะเวลาประมาณ 3-4 วันเพื่อให้อิฐแห้งสนิท ก่อนที่จะนำอิฐทั้งหมดเข้าเตาเผาพร้อมกันทั้งหมดเพื่อควบคุมความแปรปรวน ซึ่งในการทดลองนี้จะนับว่ามีเพียงหนึ่งบล็อกกิ้ง กระบวนการเผาจะใช้เวลาทั้งหมด 14 ชั่วโมง โดยมีฟืนเป็นเชื้อเพลิงในการเผา หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการเผา จะพักอิฐให้เย็นตัวลงตามอุณหภูมิปกติใช้เวลา 2-3 วัน ก็เป็นอันเรียบร้อยสำหรับกระบวนการผลิตอิฐ

ต่อมาจะนำมาทดสอบค่าความต้านแรงอัด ซึ่งจะต้องนำอิฐทั้งหมดมาทำการแคปผิวของอิฐให้เรียบและให้ผิวด้านบนขนานกันกับผิวด้านล่าง โดยใช้ปูนปลาสเตอร์เพื่อช่วยให้การวัดค่าความต้านแรงอัดมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ทำการทดสอบโดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine กดเข้า

ที่ตัวอิฐแล้วบันทึกค่าสูงสุดที่ได้จากทดสอบ

เมื่อทราบถึงข้อมูลทั้งหมดก็จะนำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม MINITAB ทำการหาค่า Response Optimization กำหนดค่าขอบเขตล่าง (Lower) ไว้ที่ 21 เมกะปาสคาล ตามค่าขั้นต่ำของมาตรฐาน มอก.77 2545 ค่าขอบเขตบน (Upper) อยู่ที่ 26 เมกะปาสคาล ตามค่าสูงสุงที่บันทึกได้จากการทดสอบ และกำหนดค่าเป้าหมาย (Target) ไว้ที่ 23 ทำให้ทราบได้ว่าปัจจัยซึ่งมาจากการทำการทดลองพบว่าปัจจัยทั้งหมดมีผลต่อค่าความต้านแรงอัดของอิฐอย่างนัยสำคัญ และมีระดับปัจจัยที่เหมาะสม คือ ปริมาณดินเหนียวที่ใช้ 760 กรัม ปริมาณดินตะกอนน้ำประปาที่ใช้ คือ 372 กรัม ประมาณขี้เถ้าที่ใช้ คือ 280 กรัม และ ปริมาณน้ำที่ใช้ 27 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักอิฐ จะส่งผลให้ค่าความต้านแรงอัดอยู่ในระหว่าง 21–26 เมกะปาสคาล เป็นไปตามที่มาตรฐาน มอก. 77-2545 กำหนด

หลังจากทราบข้อมูลจากการทดลองแล้วทำให้ได้สัดส่วนที่เหมาะสมของการใช้ดินตะกอนมาผสมในการผลิตอิฐ โดยที่สูตรใหม่ที่มีการผสมดินตะกอนจากน้ำประปานั้นจะมีสัดส่วนประกอบด้วยดินเหนียวที่ใช้ 760 กรัม ดินตะกอนน้ำประปาที่ใช้ 372 กรัม ขี้เถ้าที่ใช้ คือ 280 กรัม และน้ำที่ใช้ 27 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักอิฐ ซึ่งคาดว่าส่วนผสมใหม่ทำให้จะมีค่าความต้านแรงอัดอยู่ที่ระหว่าง 21-26 เมกะปาสคาล เป็นไปตามมาตรฐานที่ มอก. กำหนด โดยเมื่อนำมาทำการเปรียบเทียบต้นทุนสูตรการผลิตอิฐก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงนั้นจะเป็นดังตาราง 5.1

ตาราง 5.1 การเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตอิฐมอญก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

ประเภท	ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง	
	กรัม	บาท	กรัม	บาท
ดินเหนียว	950	0.7125	760	0.57
ขี้เถ้า	280	0.28	280	0.28
ดินตะกอน	0	0	372	0.13
ปริมาณน้ำที่ใช้	370	0.0031	381	0.0032
น้ำหนักต่อก้อน (กรัม)	1,600		1,793	
ค่าความต้านแรงอัดเฉลี่ย (เมกะปาสคาล)	28		23	
มูลค่าต้นทุนต่อก้อน (บาท)	0.996		0.983	

จากตาราง 5.1 พบว่าต้นทุนการผลิตต่อก้อนหลังการปรับปรุงอยู่ที่ 0.983 บาท เปรียบเทียบกับต้นทุนการผลิตก่อนการปรับปรุงที่ใช้ปริมาณดินเหนียว 950 กรัม ขี้เถ้า 280 กรัม ปริมาณน้ำ 369 กรัม โดยต้นทุนต่อก้อนจะอยู่ที่ 0.996 บาท ดังนั้นแล้วจึงจะสรุปได้ว่าการใช้ดินตะกอนน้ำประปาจะ

ลดต้นทุนได้ 0.013 บาทต่อก้อน และมีค่าความต้านแรงอัดที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่มอกกำหนดไว้ที่อย่างน้อย 21 เมกะปาสคาล

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

- ข้อมูลสัดส่วนส่วนผสมที่หมู่บ้านอิฐมอญ ตำบลสุเทพ จังหวัดเชียงใหม่ไม่ละเอียดครบถ้วนถึงสัดส่วนต่อก้อน เนื่องจากเป็นการผลิตครั้งละจำนวนมาก ผู้วิจัยจึงแก้ปัญหาโดยการเก็บข้อมูลส่วนผสม และชั่งน้ำหนักในการคำนวณส่วนผสมเทียบจริงของการผลิต และได้เสนอวิธีการเก็บข้อมูลต้นทุนเป็นแบบฟอร์มเพื่อบันทึกค่าใช้จ่ายของส่วนผสมต่าง ๆ ในการผลิตต่อรอบ เพื่อให้ประหยัดต้นทุนได้อย่างเห็นผลมากขึ้น

- โปรแกรมมินิแท็บ (MINITAB) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลผลตอบของแต่ละปัจจัย ตัวผู้ทำวิจัยไม่มีความชำนาญในการใช้โปรแกรมและวิเคราะห์ผลอย่างถ่องแท้ จึงทำให้ข้อมูลและผลที่ได้จากการวิเคราะห์อาจมีความไม่ครอบคลุมและเกิดข้อผิดพลาดได้ ทำการแก้ไขปัญหาโดยการศึกษาหาความรู้เพิ่มเติมจากหนังสือและผู้เชี่ยวชาญ

- ในช่วงระหว่างทำการทดลองมีฝนผิดฤดู ทำให้ไม่สามารถนำก้อนอิฐไปตากแดดได้ ต้องเลื่อนกำหนดการทดลองออกไป อีกทั้งรอบการเผาแต่ละครั้งต้องรอเวลานานนับเดือน เนื่องจากต้องรอให้มีจำนวนอิฐเต็มเตาเผา จำนวนประมาณ 7,000 ก้อนต่อรอบจึงจะทำการเผาได้ เป็นผลทำให้การทดลองล่าช้าต้องรอรอบเผา นอกจากนี้แล้วเมื่อผู้วิจัยขึ้นรูปอิฐเสร็จเรียบร้อยแล้ว อยู่ในระหว่างรอการเผา ยังประสบปัญหาฝุ่น PM 2.5 เชียงใหม่ออกประกาศห้ามเผาเด็จขาดเป็นเวลา 3 เดือน ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ไปจนถึงเดือนเมษายน ปี พ.ศ. 2563 ทำให้ต้องนำอิฐไปเผาที่โรงอิฐมอญจังหวัดลำปางแทน เป็นผลให้รอบการเผาไม่มีความต่อเนื่องทันทีหลังจากอิฐแห้งแล้ว นับเป็นเหตุสุดวิสัย

5.3 ข้อเสนอแนะ

การทำโครงงานวิจัยเกี่ยวกับการหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมของการนำดินตะกอนของเสียจากการผลิตน้ำประปามาเป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐก่อสร้างสามัญ ต้องมีการทดลองเพิ่มเติมของสัดส่วนที่เหมาะสมในการใช้ในปริมาณมากเพื่อหาค่าที่เหมาะสมอีกครั้งก่อนนำมาใช้จริง เพราะการผลิตโดยใช้ส่วนผสมจำนวนมากอาจมีตัวแปรมากขึ้นหรือมีความแปรปรวนมากขึ้นตามไปด้วย และควรมีการกำหนดขั้นตอนการทำงานให้มีมาตรฐานมากขึ้นเพื่อลดความสูญเปล่าของแรงงาน

บรรณานุกรม

การประปาส่วนภูมิภาค. (2561). คู่มือกระบวนการหลักด้านกระบวนการผลิตน้ำประปาและควบคุมคุณภาพน้ำ ภาคทฤษฎี. การประปาส่วนภูมิภาค: เชียงใหม่.

ฆนนัช พระพุทธคุณ และธีรเดช วุฒิพรพันธ์. (2554). การศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จโดยวิธีการทดลองเชิงแฟกทอเรียล. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ.

ดวงกมล สุริยฉัตร และคณะ. (2547). การประยุกต์ใช้ตะกอนดินจากน้ำประปา. กรุงเทพฯ: สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่.

ภราดร ชุไชยสงค์ และสุพรรณ วงทอง. (2552). การศึกษาคุณสมบัติของอิฐมอญที่ผลิตในจังหวัดชลบุรี. ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา

มอก.77-2545: อิฐก่อสร้างสามัญ

วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. Brick Test การทดสอบกำลังอัด และการดูดกลืนน้ำของอิฐ. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

วีระชัย อารีรักษ์ และคณะ. (2560). การหาสัดส่วนที่เหมาะสมของการใช้หินฝุ่นเป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จโดยวิธีซิกซ์ ซิกมา. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สมเกียรติ รอดดียิ่ง. (2541). การพัฒนาคุณภาพอิฐมอญที่ผลิตจากตะกอนน้ำประปา. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.

อมรรัตร์ พรประเสริฐ และภีม พรประเสริฐ. (2562). การศึกษาอัตราส่วนวัตถุดิบที่เหมาะสมต่อคุณสมบัติด้านความแข็งแรงของอิฐมอญ กรณีศึกษากลุ่มชุมชนริมแม่น้ำมูลอำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี. อุบลราชธานี: มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อสกุล : นายจิรัสย์ วงศ์แก่นจันทร์

รหัสนักศึกษา : 570610504

วัน เดือน ปีเกิด : 18 กรกฎาคม 2538

ประวัติการศึกษา : กำลังศึกษาระดับอุดมศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สาขาวิชาวิศวอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนยุพราชวิทยาลัย จังหวัดเชียงใหม่
สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนเทศบาล 1 กิตติขจร จังหวัดตาก

ที่อยู่ปัจจุบัน : 157/53 ซ. 2 ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200