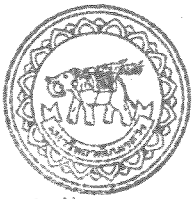
อภินันทนาการ



สำนักหอสมุด

รายงานการวิจัย

การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อหามาตรฐานการทำงาน ในกระบวนการผลิตอิฐมวลเบา

APPLICATION OF DESIGN OF EXPERIMENTS TO DETERMINE PROCESSING TIME IN A LIGHT WEIGHT CONCRETE BLOCK MANUFACTURING PROCESS

กานต์ ลี่วัฒนายิ่งยง

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน 4 ก.พ. 2565
เลขทะเบียน 1048484
เลขเรียกหนังสือ จ ๗๑ ก๒๖ ๕.๑๕ ก๓๒๘ ๒๕๕๘

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินจากงบประมาณรายได้
มหาวิทยาลัยนเรศวร
ประจำปีงบประมาณ 2558

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ..... ข

(Abstract ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 2

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Outputs) 2

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome) 2

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน 2

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน 2

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน 2

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น 3

2.1 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments : DOE) 3

2.2 อิฐมวลเบา (Light Weight Concrete Block) 5

2.3 การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) 6

2.4 การตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูล 10

2.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) 11

2.6 การวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย (Simple Regression Analysis) 13

2.7 การทดสอบความเหมาะสมของสมการถดถอย (Lack of Fit) 15

2.8 การทดสอบหาค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา 16

2.9 โปรแกรม Minitab 17

2.10 โปรแกรม Microsoft Excel 20

2.11 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 24

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงงาน 26

บทที่ 4 ผลการดำเนินโครงงาน 44

4.1 ผลการศึกษาและรวบรวมข้อมูล 44

4.2 ผลการออกแบบการทดลอง เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิเริ่มทดลอง ที่ต่างกันที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา 44

4.3 ผลการทดลองของการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิเริ่มทดลอง ที่ต่างกันที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา 45

4.4 ผลการวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติของการศึกษาผลกระทบ ของอุณหภูมิเริ่มทดลองที่ต่างกันที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา 47

4.5 ผลการสรุปการทดลองของการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิเริ่มทดลอง ที่ต่างกันที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา 51

4.6 ผลการออกแบบการทดลอง เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิเริ่มทดลองและเวลา ที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา 51

4.7 ผลการทดลองของการหาความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิเริ่มทดลองและเวลา ที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา 52

4.8 ผลการวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติของการหาความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิเริ่มทดลองและเวลา ที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา 54

4.9 ผลการออกแบบโครงสร้างโปรแกรมช่วยแสดงผล 65

4.10 ผลการเขียนผังงานของโปรแกรมช่วยแสดงผล 67

4.11 ผลการสร้างโปรแกรมช่วยแสดงผล 68

4.12 ผลการทดสอบโปรแกรมช่วยแสดงผล 72

4.13 ผลการทดลองใช้งานจริงที่โรงงานกรณีศึกษา พร้อมทั้งประเมินผล 73

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 75

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน 75

5.2 ข้อเสนอแนะ 77

เอกสารอ้างอิง 82

บทคัดย่อ

กระบวนการผลิตอิฐมวลเบามีทั้งหมด 4 ขั้นตอน คือ เริ่มจากการผสมส่วนผสมอิฐมวลเบา จากนั้นเทส่วนผสมอิฐมวลเบาลงในแบบหล่อ จากนั้นรออิฐมวลเบาก่อตัวระยะหนึ่งแล้วจะทำการตัดอิฐมวลเบาออกเป็นก้อน และสุดท้ายเป็นการจัดเก็บอิฐมวลเบา ซึ่งปัญหาที่พบ คือ ช่วงเวลาในการตัดอิฐมวลเบาออกเป็นก้อน ไม่มีการกำหนดเวลาที่แน่นอน เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวคนงานจะใช้ประสบการณ์ทำงานในการคาดคะเนเวลาการก่อตัวของอิฐมวลเบา แต่ก่อนที่จะทำการตัดอิฐมวลเบาออกเป็นก้อน จะมีการตรวจสอบการก่อตัวของอิฐมวลเบาก่อน ถ้าคาดคะเนเวลาน้อยเกินไปจะทำให้พนักงานจะต้องตรวจสอบใหม่หลายครั้ง แต่ถ้าคาดคะเนเวลามากเกินไปจะทำให้ส่วนผสมนั้นแข็งเกินไป และเมื่อตัดอิฐมวลเบาออกเป็นก้อนจะทำให้อิฐมวลเบาแตก ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงนำปัญหานี้มาทำการศึกษา เพื่อกำหนดเวลาการทำงานในกระบวนการผลิตอิฐมวลเบา โดยจากการศึกษา พบว่า อุณหภูมิเริ่มทดลองมีผลต่อเวลาการก่อตัวมากที่สุด ถ้าอุณหภูมิเริ่มทดลองสูงจะทำให้เวลาที่ใช้ในการก่อตัวน้อยลง ถ้าอุณหภูมิเริ่มทดลองต่ำจะทำให้เวลาที่ใช้ในการก่อตัวมากขึ้น ซึ่งคณะผู้จัดทำได้ทำการออกแบบการทดลองแบบปัจจัยเดียวออกเป็น 2 การทดลอง โดยการทดลองแรก จะกำหนดปัจจัยเวลาให้คงที่ และเปลี่ยนแปลงปัจจัยอุณหภูมิเริ่มทดลอง โดยผลการวิเคราะห์ พบว่า อุณหภูมิเริ่มทดลองที่ต่างกันมีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา การทดลองที่สอง จะกำหนดปัจจัยอุณหภูมิเริ่มทดลองให้คงที่ และเปลี่ยนแปลงปัจจัยเวลา โดยผลการวิเคราะห์ พบว่า เวลาที่ต่างกันมีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา จากนั้นคณะผู้วิจัยได้วิเคราะห์การถดถอยในแต่ละอุณหภูมิเริ่มทดลอง เพื่อสร้างสมการถดถอยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเริ่มทดลองและเวลา ที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา โดยจะได้สมการถดถอยทั้งหมด 7 สมการ (23-29 องศาเซลเซียส) และมีค่า R-Sq (adj) อยู่ระหว่าง 0.86-0.95 และค่า P-Value (Lack of Fit) มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่า สมการถดถอยนำไปใช้งานได้ จากนั้นเพื่อความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน คณะผู้วิจัยจึงนำสมการถดถอยไปใส่ในโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อสร้างโปรแกรมช่วยแสดงผล เมื่อได้โปรแกรมช่วยแสดงผลแล้ว คณะผู้วิจัยได้ทำการทดสอบความถูกต้องของผลลัพธ์ในการใช้งานของโปรแกรมช่วยแสดงผล พบว่า โปรแกรมช่วยแสดงผลสามารถกำหนดเวลาการทำงานที่เป็นมาตรฐาน ในกระบวนการผลิตอิฐมวลเบาในแต่ละวันได้ จากนั้น คณะผู้วิจัยจึงนำโปรแกรมช่วยแสดงผลไปให้ผู้จัดการโรงงานและพนักงานทดลองใช้งาน และประเมินความพึงพอใจในการใช้งานของโปรแกรมช่วยแสดงผล ซึ่งผลการประเมินความพึงพอใจในการใช้งานของโปรแกรมช่วยแสดงผลมีความพึงพอใจเฉลี่ย อยู่ที่ 4.79 คะแนน จากคะแนนเต็ม 5 คะแนน อยู่ในระดับมากที่สุด

Abstract

The light weight concrete block manufacturing process has 4 simple steps. First, all ingredients (i.e. cement, sand, water etc.) are mix together. Second, the mixer is poured into formwork and let it dry. Third, the dry mixer is cut into small block. Finally, all the blocks are installed. Because in the past, the setting time (letting dry time in the third step) is define by workers' experiences. Thus, a lot of times, if the setting time is too short, so the mixer is checked more often or if the setting time is too long, so the mixer is too dry and it is break while is cutting. The purpose of this project is to determine the setting time for light weight concrete block manufacturing process. Moreover, by investigation the temperature at the beginning of drying process has a big affect on the setting time. If the initial temperature is high the setting time will be less and vice vesa. In this study, there are two experimentals. In the first experimental, at each trial, hardness values of a fixed setting time with vary initial temperatures are recorded analyzed. The result shows that the different initial temperatures yield the different hardness values. In the second experimental, at each trial, hardness values of a fixed initial temperature with vary setting times are recorded analyzed. The result shows that the different setting times yield the different hardness values. The results from both experimentals are combined to create linear regression. These regressions are the relationship between the setting time and the desired hardness value at each initial temperature (23-29 $^{\circ}$C). So, there are seven equations. The R-Sq (adj) of each regression are 0.86-0.95. All of P-Value (Lack of Fit) are more than 0.05. Therefore, all of the regression are accept table. Then, the computer program was created in Microsoft Excel according to the linear regressions. The program was tested and verified. Finally, the program was validated by prospective users. Also, the prospective users evaluate the proposed computer program. The average satisfaction score is 4.79 out of 5.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ต้องขอขอบคุณความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากผู้จัดการโรงงานและพนักงานของโรงงาน SK BLOCK ที่ให้ข้อมูลในการวิจัย และเอื้อเฟื้อสถานที่ในการดำเนินการวิจัย นอกจากนี้ยังต้องขอขอบคุณครูช่างในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ และวิศวกรรมโยธาทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือ และให้ความอนุเคราะห์ในการให้อุปกรณ์เครื่องมือในการดำเนินการวิจัยมาโดยตลอด

กานต์ ลี่วัฒนายิ่งยง

กันยายน 2558

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

อิฐมวลเบา เป็นผลิตภัณฑ์คอนกรีตที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้สำหรับงานก่อสร้างผนังและพื้น ด้วยสมบัติพิเศษที่มีน้ำหนักเบาและรับแรงกดได้ดีกว่าอิฐทั่วไป ประกอบกับการออกแบบและก่อสร้างอาคารบ้านเรือนในปัจจุบัน ที่คำนึงถึงความสำคัญในเรื่องคุณภาพชีวิตของผู้อยู่อาศัยและการประหยัดพลังงาน จึงทำให้อิฐมวลเบาได้รับความนิยม และเข้ามามีบทบาทในการก่อสร้างมากขึ้น

งานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยได้ศึกษาถึงกระบวนการผลิตอิฐมวลเบาของโรงงานผลิตอิฐมวลเบาแห่งหนึ่งในจังหวัดพิษณุโลก พบว่า กระบวนการผลิตอิฐมวลเบามีทั้งหมด 4 ขั้นตอนหลักๆ คือ

ปัญหาที่พบ คือ ช่วงเวลาในการตัดอิฐมวลเบาออกเป็นก้อน ไม่มีการกำหนดเวลาที่แน่นอน เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวคนงานจะใช้ประสบการณ์ทำงานในการคาดคะเนเวลาการก่อตัวของอิฐมวลเบา เพื่อตัดอิฐมวลเบาออกเป็นก้อน นอกจากนี้ ก่อนที่จะทำการตัดอิฐมวลเบาออกเป็นก้อน จะมีการตรวจสอบการก่อตัวของอิฐมวลเบา โดยใช้นิ้วหัวแม่มือกดลงไปในแบบหล่อ ถ้าเศษอิฐมวลเบาไม่ติดนิ้วหัวแม่มือก็จะสามารถตัดได้ แต่ถ้าเศษอิฐมวลเบายังติดนิ้วหัวแม่มืออยู่ก็ให้รอต่อไปอีกระยะหนึ่งแล้วจึงจะตัดอิฐมวลเบาออกเป็นก้อน จะเห็นได้ว่า ถ้าคาดคะเนเวลาน้อยเกินไปจะทำให้พนักงานจะต้องตรวจสอบใหม่หลายครั้ง แต่ถ้าคาดคะเนเวลามากเกินไปจะทำให้ส่วนผสมนั้นแข็งเกินไป และเมื่อตัดอิฐมวลเบาออกเป็นก้อนจะทำให้อิฐมวลเบาแตก อีกทั้งยังทำให้คุณภาพของอิฐมวลเบาไม่ดี

ด้วยเหตุนี้ คณะผู้วิจัยจึงนำทฤษฎีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiments : DOE) และการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง มาช่วยหาเวลาการทำงานที่เป็นมาตรฐานในกระบวนการผลิตอิฐมวลเบาในแต่ละวัน โดยคณะผู้วิจัยได้เลือกอุณหภูมิเริ่มทดลองและเวลามาเป็นปัจจัยต้น และค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบามาเป็นปัจจัยตอบสนอง จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างอุณหภูมิเริ่มทดลองและเวลา กับค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา จนได้สมการถดถอยและเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานจะนำสมการถดถอยนี้ไปใส่ในโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อสร้างโปรแกรมช่วย

แสดงผลสมการถดถอยที่ใช้พยากรณ์ค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบาที่ช่วงอุณหภูมิเริ่มทดลองและเวลาต่างๆ โดยผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมช่วยแสดงผล คือ เวลาการทำงานที่เป็นมาตรฐาน ซึ่งจะนำไปสู่กระบวนการผลิตอิฐมวลเบาที่มีเวลาการทำงานที่เป็นมาตรฐาน และมีคุณภาพมากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเริ่มทดลองและเวลา ที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา

1.2.2 เพื่อสร้างโปรแกรมช่วยแสดงผลของเวลาการทำงานที่เป็นมาตรฐาน ในกระบวนการผลิตอิฐมวลเบาในแต่ละวัน

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Outputs)

1.3.1 สมการถดถอยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเริ่มทดลองและเวลา ที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา

1.3.2 โปรแกรมช่วยแสดงผลของเวลาการทำงานที่เป็นมาตรฐาน ในกระบวนการผลิตอิฐมวลเบาในแต่ละวัน

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

โปรแกรมช่วยแสดงผลสามารถกำหนดเวลาการทำงานที่เป็นมาตรฐาน ในกระบวนการผลิตอิฐมวลเบาในแต่ละวันได้

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน

1.5.1 ส่วนผสมที่ใช้ในการทดลอง ใช้ส่วนผสมจากโรงงานกรณีศึกษา

1.5.2 โปรแกรมช่วยแสดงผล ใช้ได้กับโรงงานกรณีศึกษาเท่านั้น

1.5.3 โปรแกรมช่วยแสดงผล ใช้ Microsoft Excel ในการสร้างโปรแกรม

1.5.4 โปรแกรมช่วยแสดงผล ใช้ได้ในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์เท่านั้น

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

1.6.1 ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.6.2 โรงงาน SK BLOCK เลขที่ 70 หมู่ 7 ตำบลวัดพริก อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000.

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

ตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2559 ถึง เดือนกันยายน พ.ศ. 2559

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments : DOE)

การออกแบบการทดลอง เป็นการวางแผนการทดลอง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงสถิติ ซึ่งทำให้สามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้

2.1.1 ส่วนประกอบต่างๆ ของการออกแบบการทดลอง

ส่วนประกอบต่างๆ ของการออกแบบการทดลองประกอบไปด้วย 6 ส่วน ดังนี้

2.1.1.1 ปัจจัย (Factor) คือ สิ่งที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองหรือตัวแปรตาม และนำมาพิจารณาในการทดลอง อาจมีลักษณะเป็นเชิงคุณภาพหรือเชิงปริมาณก็ได้ โดยสามารถแยกปัจจัยออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

ก. ปัจจัยที่ควบคุมได้ คือ ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของระดับปัจจัยได้ในการทดลอง

ข. ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ คือ ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าของระดับปัจจัยได้ในการทดลอง

2.1.1.2 ตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) คือ ตัวแปรที่ได้จากการทดลองหรือเรียกอีกอย่างว่า ตัวแปรตาม

2.1.1.3 ระดับปัจจัย (Levels of Factor) คือ จำนวนค่าของปัจจัยที่เปลี่ยนไปในหนึ่งการทดลอง เช่น อุณหภูมิเริ่มทดลองที่ระดับ 26, 27, 28, 29 และ 30 องศาเซลเซียส เป็นต้น

2.1.1.4 วิธีปฏิบัติ (Treatment) คือ ข้อกำหนดสำหรับทุกปัจจัยที่ศึกษาในการออกแบบการทดลองนั้นๆ เช่น การทำการทดลองโดยมีปัจจัย 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิเริ่มทดลองและเวลาที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งมีระดับปัจจัยที่ 2 และ 3 ระดับ ตามลำดับ จะมีวิธีการทดลองที่แตกต่างกันเท่ากับ 6 วิธี ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 วิธีปฏิบัติในการทดลองระหว่างปัจจัยอุณหภูมิและเวลา

วิธีปฏิบัติ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (ชั่วโมง)
1	26	3.5
2	26	4.0
3	26	4.5
4	28	3.5
5	28	4.0
6	28	4.5

2.1.1.5 จำนวนครั้งในการทดลอง (Experimental Runs) คือ จำนวนการทดลองทั้งหมดที่ทำการทดลอง จะมีค่าเท่ากับผลคูณของจำนวนวิธีปฏิบัติกับจำนวนครั้งที่ทำการทดลองซ้ำ เช่น วิธีปฏิบัติทั้งหมด 6 วิธี แต่ละวิธีปฏิบัติทำการทดลองซ้ำวิธีละ 3 ครั้ง ดังนั้น จำนวนครั้งในการทดลองจึงเท่ากับ 18 ครั้ง

2.1.1.6 จำนวนการทดลองซ้ำ (Replication) คือ การกำหนดวิธีการทดลอง โดยที่แต่ละวิธีการทดลองควรใช้จำนวนการทดลองซ้ำกี่ครั้ง เพื่อให้ผลการทดลองออกมามีประสิทธิภาพมากที่สุด และใช้สมการในการคำนวณหาขนาดการทดลองซ้ำ แต่บางครั้งผลลัพธ์ที่ได้จากสมการนั้นมากเกินไป จึงทำให้เกิดข้อจำกัดในการทดลอง เช่น ข้อจำกัดด้านต้นทุน ข้อจำกัดด้านเวลา และข้อจำกัดด้านความผิดพลาด เป็นต้น ด้วยข้อจำกัดที่กล่าวมานี้จึงทำให้บางครั้งการกำหนดขนาดการทดลองซ้ำ ก็ไม่ต้องทำตามผลลัพธ์ที่คำนวณออกมาเสมอไป อาจขึ้นอยู่ความเหมาะสมของผู้ทำการทดลองที่คิดว่าสมควร การกำหนดจำนวนการทดลองซ้ำหาได้ ดังสมการที่ 2.1

$$n = \frac{(Z_{\alpha/2} + Z_{\beta})^2 \sigma^2}{\delta^2} \quad \text{และ} \quad \delta = \mu - \mu_0 \qquad (2.1)$$

เมื่อ n คือ จำนวนการทดลองซ้ำ

$Z_{\alpha/2}$ คือ ค่าสถิติ หาได้จากการเปิดตารางพื้นที่ใต้เส้นโค้งปกติ โดยเปิดจากค่า $\alpha/2$ เมื่อ α คือ ระดับความเสี่ยงที่จะสรุปผลการทดลองผิดพลาด

Z_{β} คือ ค่าสถิติ หาได้จากการเปิดตารางพื้นที่ใต้เส้นโค้งปกติ โดยเปิดจากค่า β เมื่อ β คือ ระดับความเสี่ยงที่จะสรุปข้อมูลของสองกลุ่มประชากรไม่มีความแตกต่างกัน

σ^2 คือ ค่าความแปรปรวนของประชากร

δ คือ ค่าความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากร

μ และ μ_0 คือ ค่าเฉลี่ยของประชากรที่ตั้งไว้ และค่าจริง ตามลำดับ

2.1.2 ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง

ขั้นตอนในการออกแบบการทดลองมีทั้งหมด 7 ขั้นตอน ดังนี้

2.1.2.1 การนิยามปัญหา เป็นการระบุความต้องการว่าต้องการอะไรจากการทดลอง

2.1.2.2 การเลือกปัจจัย ระดับ และขอบเขตของปัจจัย เป็นการเลือกปัจจัยที่จะนำมาเปลี่ยนแปลงในระหว่างทำการทดลอง พร้อมทั้งกำหนดระดับที่จะเกิดขึ้นในการทดลอง และกำหนดขอบเขตที่ปัจจัยจะเปลี่ยนไป

2.1.2.3 การเลือกตัวแปรตอบสนอง เป็นการเลือกตัวแปรที่จะให้ผลลัพธ์เกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษาอยู่ บางครั้งในการทดลองหนึ่งอาจจะมีตัวแปรตอบสนองได้หลายตัวแปร

2.1.2.4 การเลือกแบบการทดลอง จะขึ้นอยู่กับรายละเอียดของจำนวนปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง เช่น ถ้ากรณีศึกษาปัจจัยเดียวแบบการทดลองที่ใช้ คือ การจำแนกทางเดียว (One-Way ANOVA) ถ้ากรณีศึกษาสองปัจจัย แบบการทดลองที่ใช้ คือ การจำแนกสองทาง (Two-Way ANOVA) หรือจะใช้การออกแบบแบบสมบูรณ์ในแต่ละกลุ่ม (Complete–Randomized Block Design) ก็ได้ แต่ถ้ากรณีศึกษาปัจจัยตั้งแต่สองปัจจัยขึ้นไปแบบการทดลองที่ใช้ คือ การทดลองแฟคทอเรียล (Factorial Experiment) เป็นต้น

2.1.2.5 การดำเนินการทดลอง จะต้องติดตามดูกระบวนการอย่างใกล้ชิด และปฏิบัติตามหลักการที่ได้ออกแบบไว้ เพื่อให้แน่ใจว่าการดำเนินการทุกอย่างเป็นไปตามแผน ถ้าเกิดมีข้อผิดพลาดเกี่ยวกับวิธีการทดลอง จะทำให้การทดลองนั้นใช้ไม่ได้

2.1.2.6 การวิเคราะห์ข้อมูล จะใช้ความรู้ทางด้านสถิติเข้ามาช่วยวิเคราะห์และสรุปผลรวมทั้งตัดสินความถูกต้องของข้อมูลที่เกิดขึ้นก่อนที่จะตีความข้อมูลออกมา ทำให้ข้อมูลนั้นมีเหตุผลสนับสนุนและมีความน่าเชื่อถือ

2.1.2.7 การสรุปผลและข้อเสนอแนะ จะสรุปผลและแสดงออกมาในรูปของกราฟ ตาราง หรือแผนภูมิก็ได้ เมื่อสรุปผลแล้วควรจะทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลจากการทดลองอีกครั้งหนึ่ง และให้ข้อเสนอแนะเพื่อปรับปรุงกระบวนการให้ดีขึ้น

2.2 อิฐมวลเบา (Light Weight Concrete Block)

อิฐมวลเบา คือ ผลิตภัณฑ์ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาจากอิฐทั่วไป เพื่อใช้สำหรับงานก่อสร้างผนังและพื้น ด้วยสมบัติพิเศษที่มีน้ำหนักเบา และป้องกันความร้อนได้ดี ทำให้ประหยัดการใช้พลังงาน อีกทั้งยังทนต่อเพลิงไหม้ และกันไฟได้ดีกว่าอิฐทั่วไป อิฐมวลเบาสามารถแบ่งออกตามกระบวนการผลิตได้ 2 ประเภท ดังนี้

2.2.1 อิฐมวลเบาที่ไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง (Non – Autoclaved System)

อิฐมวลเบาที่ไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง เนื้ออิฐมวลเบาจะเป็นสีปูนซีเมนต์ เป็นกระบวนการผลิตที่ใช้ต้นทุนต่ำ และทำการผลิตได้ง่าย สามารถแบ่งย่อยออกได้อีกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.2.1.1 อิฐมวลเบาที่ใช้วัสดุผสมน้ำหนักเบาเป็นส่วนผสม เช่น ขี้เลื่อย ขี้เถ้า ชานอ้อย หรือเม็ดโฟม เป็นต้น ทำให้อิฐมวลเบามีน้ำหนักที่เบาขึ้น และราคาถูก แต่จะมีอายุการใช้งานสั้นและเสื่อมสภาพเร็ว หากเกิดไฟไหม้วัสดุผสมเหล่านี้อาจเป็นพิษต่อผู้ที่อยู่อาศัย จึงเหมาะสำหรับใช้ในงานโครงสร้างที่เป็นฉนวนกันความร้อน หรือใช้สำหรับประดับผนัง

2.2.1.2 อิฐมวลเบาที่เกิดจากการใช้สารเคมีเป็นส่วนผสม (Cellular Light Weight Concrete, CLC) เป็นอิฐมวลเบาที่ผลิตโดยการเติมสารเคมีลงในส่วนผสมที่มีปูนซีเมนต์ ทราย และ

น้ำ เป็นส่วนผสมหลัก ในการเติมสารเคมีนี้เพื่อสร้างปริมาณฟองอากาศให้กระจายตัวทั่วอิฐมวลเบา และเมื่อทิ้งไว้จะทำให้อิฐมวลเบาแข็งตัวเร็วกว่าปกติ อิฐมวลเบาประเภทนี้จะมีการหดตัวสูง ทำให้ปูนฉาบแตกร้าวได้ง่าย และไม่ค่อยแข็งแรง

2.2.2 อิฐมวลเบาที่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง (Autoclaved System)

อิฐมวลเบาที่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง เนื้ออิฐมวลเบาจะเป็นผลึกสีขาว เป็นกระบวนการผลิตที่ใช้ต้นทุนสูง เพราะหลังจากผลิตอิฐมวลเบาแล้ว ต้องนำไปอบในห้องอบที่สามารถปรับอุณหภูมิ และความดันได้ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ สามารถแบ่งย่อยออกได้อีกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.2.2.1 อิฐมวลเบาที่เกิดจากการใช้ปูนขาวเป็นส่วนผสมหลักในการผลิต จะควบคุมคุณภาพได้ยาก ทำให้คุณภาพอิฐมวลเบาไม่ค่อยสม่ำเสมอ และมีการดูดซึมน้ำสูง

2.2.2.2 อิฐมวลเบาที่เกิดจากการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 เป็นส่วนผสมหลักในการผลิต การผลิตประเภทนี้จะทำให้อิฐมวลเบามีคุณภาพได้มาตรฐานสม่ำเสมอ และยังทำให้เกิดการตกผลึก (Calcium Silicate) ในเนื้ออิฐมวลเบา ทำให้อิฐมวลเบามีความแข็งแกร่ง และทนทานกว่าการผลิตประเภทอื่นๆ

2.3 การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing)

การทดสอบสมมติฐาน เป็นการทดสอบเพื่อต้องการพิสูจน์ข้อสมมติฐานเกี่ยวกับสิ่งที่กำลังศึกษาว่าเป็นจริงหรือเป็นเท็จ

2.3.1 ส่วนประกอบของการตั้งสมมติฐาน

ส่วนประกอบของการตั้งสมมติฐาน ประกอบไปด้วย 2 ส่วน ดังนี้

2.3.1.1 สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis : H_0) คือ สมมติฐานที่ทราบค่าแน่นอน มักจะเป็นสมมติฐานที่ตั้งขึ้นเพื่อต้องการจะพิสูจน์ว่าเป็นเท็จ

2.3.1.2 สมมติฐานรอง (Alternative Hypothesis : H_1) คือ สมมติฐานที่ตั้งขึ้น เพื่อให้ขัดแย้งกับสมมติฐานหลัก มักจะเป็นสมมติฐานที่ต้องการจะพิสูจน์ว่าเป็นจริง โดยสมมติฐานรองสามารถแยกออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

ก. สมมติฐานรองแบบทางเดียว เป็นสมมติฐานที่ตั้งขึ้นโดยกำหนดทิศทาง โดยการใช้เครื่องหมายมากกว่าหรือน้อยกว่าในการตั้งสมมติฐาน

ข. สมมติฐานรองแบบสองทาง เป็นสมมติฐานที่ตั้งขึ้นโดยไม่กำหนดทิศทาง โดยการใช้เครื่องหมายไม่เท่ากับในการตั้งสมมติฐาน

2.3.2 ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน

ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐานมีทั้งหมด 7 ขั้นตอน ดังนี้

2.3.2.1 ตั้งสมมติฐานหลัก $H_0 : \mu = \mu_0$

2.3.2.2 ตั้งสมมติฐานรอง

ก. กรณีทดสอบสมมติฐานสองทาง (Two-Tailed)

$$H_1 : \mu \neq \mu_0$$

ข. กรณีทดสอบสมมติฐานทางเดียวด้านบน (Upper One-Tailed)

$$H_1 : \mu > \mu_0$$

ค. กรณีทดสอบสมมติฐานทางเดียวด้านล่าง (Lower One-Tailed)

$$H_1 : \mu < \mu_0$$

เมื่อ μ_0 คือ ค่าเฉลี่ยของประชากร

2.3.2.3 กำหนดระดับนัยสำคัญ (α)

2.3.2.4 กำหนดตัวทดสอบทางสถิติที่จะใช้ทดสอบสมมติฐาน

กรณีของกลุ่มตัวอย่างน้อยกว่า 30 ($n < 30$) จะต้องทดสอบความแปรปรวน (σ_1^2 และ σ_2^2) ก่อน โดยมีขั้นตอนการทำ ดังนี้

ก. ตั้งสมมติฐาน

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

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

เมื่อ σ_1^2 คือ ค่าความแปรปรวนของประชากรกลุ่มที่ 1

σ_2^2 คือ ค่าความแปรปรวนของประชากรกลุ่มที่ 2

ข. คำนวณหาค่าสถิติ F ดังสมการที่ 2.2

$$F = \frac{S_{large}^2}{S_{small}^2} \qquad (2.2)$$

เมื่อ S_{large}^2 คือ ค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างที่มีค่าความแปรปรวนมาก

S_{small}^2 คือ ค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างที่มีค่าความแปรปรวนน้อย

จากนั้นหาค่า $F_{ตาราง}$

โดย $F_{ตาราง} = F_{\alpha/2,\ (v_1,v_2)}$ (ค่า $F_{\alpha/2,\ (v_1,v_2)}$ สามารถหาได้จากการเปิดตารางสถิติ F ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha/2$ ค่าองศาเสรี $v_1 = n_1 - 1,\ v_2 = n_2 - 1$)

เมื่อ n_1 คือ จำนวนของกลุ่มตัวอย่างจากประชากรกลุ่มที่ 1

n_2 คือ จำนวนของกลุ่มตัวอย่างจากประชากรกลุ่มที่ 2

ค. วิเคราะห์ค่า F จากสมการที่ 2.2 กับค่า $F_{ตาราง}$

ถ้า $F > F_{ตาราง}$ ให้ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 แสดงว่า ค่าความแปรปรวนสองกลุ่มไม่เท่ากัน ($\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$) ให้ใช้สมการ ดังสมการที่ 2.3

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \quad \text{และ} \quad v = \frac{\left[\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}\right]^2}{\frac{\left[\frac{S_1^2}{n_1}\right]^2}{n_1 - 1} + \frac{\left[\frac{S_2^2}{n_2}\right]^2}{n_2 - 1}} \qquad (2.3)$$

ถ้า $F < F_{ตาราง}$ ให้ยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1 แสดงว่า ค่าความแปรปรวนสองกลุ่มเท่ากัน ($\sigma_1^2 = \sigma_2^2$) ให้ใช้สมการ ดังสมการที่ 2.4

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_p\sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \qquad (2.4)$$

โดยที่ $S_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$

และ $v = n_1 + n_2 - 2$

เมื่อ $\bar{x}_1$ $\bar{x}_2$ คือ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างของประชากรกลุ่มที่ 1 และ 2

μ_1 μ_2 คือ ค่าเฉลี่ยของประชากรกลุ่มที่ 1 และ 2

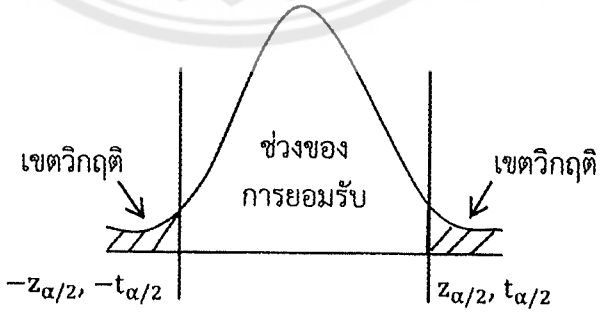
n_1 n_2 คือ จำนวนของกลุ่มตัวอย่างจากประชากรกลุ่มที่ 1 และ 2

S_1^2 S_2^2 คือ ค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างกลุ่มที่ 1 และ 2

v คือ ค่าองศาเสรี

2.3.2.5 กำหนดเขตวิกฤติตามค่าสถิติและค่าระดับนัยสำคัญที่ใช้

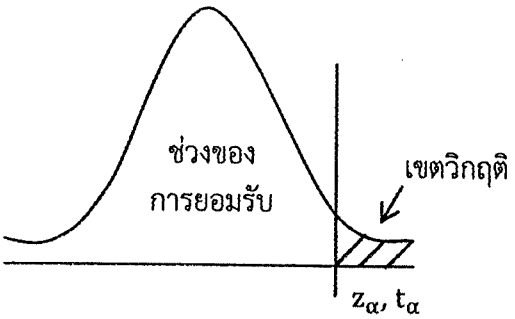
ก. กรณีทดสอบสมมติฐานสองทาง ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 พื้นที่ใต้กราฟแสดงเขตวิกฤติ กรณีทดสอบสมมติฐานสองทาง

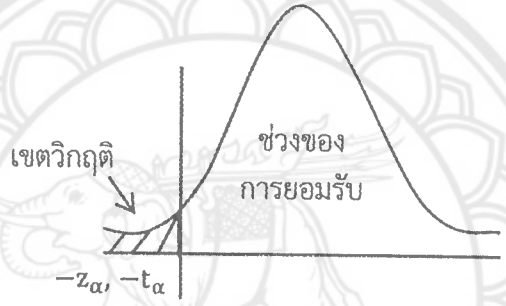
ที่มา : ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา, (2551).

ข. กรณีทดสอบสมมติฐานทางเดียวด้านบน ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 พื้นที่ใต้กราฟแสดงเขตวิกฤติ กรณีทดสอบสมมติฐานทางเดียวด้านบน
ที่มา : ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา. (2551).

ค. กรณีทดสอบสมมติฐานทางเดียวด้านล่าง ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 พื้นที่ใต้กราฟแสดงเขตวิกฤติ กรณีทดสอบสมมติฐานทางเดียวด้านล่าง
ที่มา : ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา. (2551).

2.3.2.6 คำนวณค่าสถิติในข้อ 2.3.2.4

2.3.2.7 ทดสอบสมมติฐาน โดยนำค่าที่ได้จากการคำนวณในข้อ 2.3.2.6 เปรียบเทียบกับเขตวิกฤติในข้อ 2.3.2.5

ก. ถ้าค่าที่ได้จากการคำนวณในข้อ 2.3.2.6 ตกอยู่ในเขตวิกฤติให้ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1

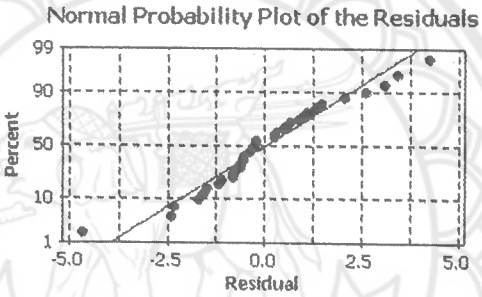
ข. ถ้าค่าที่ได้จากการคำนวณในข้อ 2.3.2.6 ตกอยู่นอกเขตวิกฤติให้ยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1

2.4 การตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูล

การตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูลจะต้องมีการตรวจสอบทั้งหมด 3 เงื่อนไข ดังนี้

2.4.1 การตรวจสอบการกระจายแบบปกติของข้อมูล

การตรวจสอบการกระจายแบบปกติของข้อมูล จะต้องตรวจสอบก่อนการทดสอบความแปรปรวนเสมอ เพื่อให้แน่ใจว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ หากไม่เช่นนั้นจะทำให้ผลการทดสอบความแปรปรวนมีความคลาดเคลื่อน โดยการตรวจสอบสามารถวิเคราะห์ได้จากกราฟการกระจายแบบแจกแจงของข้อมูล ซึ่งทำได้โดยการกำหนดให้แกน X คือ ค่าความผิดพลาด (Error) เป็นค่าที่ได้จากค่าสังเกตในแต่ละค่าลบค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตทั้งหมด และแกน Y คือ ร้อยละของความน่าจะเป็นสะสม ถ้าข้อมูลมีการกระจายแบบปกติจุดตัดจะเรียงตัวกันเป็นแนวเส้นตรง และลักษณะการเกิดจุดตัดจะต้องไม่เป็นกระจุกหรือเป็นกลุ่มๆ โดยค่าที่อยู่ห่างระหว่างจุดแต่ละจุดต้องใกล้เคียงกันเป็นส่วนมาก แต่ค่าที่อยู่ห่างเส้นต้องมีค่ามาก และน้อยต่างกันไป ดังรูปที่ 2.4

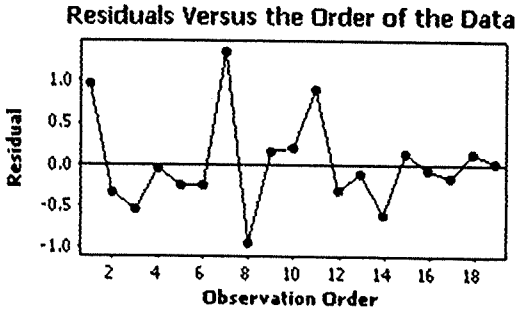


รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการกระจายตัวแบบปกติของข้อมูล

ที่มา : ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา. (2551).

2.4.2 การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล

การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูลทำได้โดยการสร้างกราฟที่กำหนดให้แกน X คือ ลำดับของข้อมูล และแกน Y คือ ค่าความผิดพลาด ถ้าข้อมูลมีความเป็นอิสระ ข้อมูลจะมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ ไม่สามารถคาดเดาค่าในอนาคตได้ และไม่มีแนวโน้มของกราฟที่จะขึ้นหรือลงเพียงอย่างเดียว ดังรูปที่ 2.5

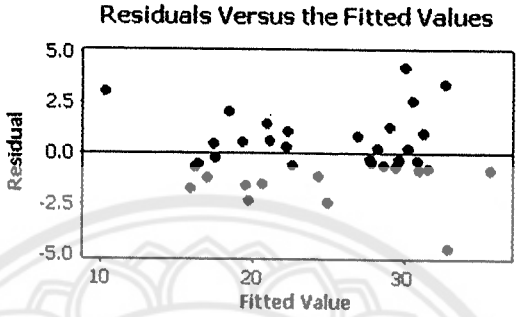


รูปที่ 2.5 ตัวอย่างความเป็นอิสระของข้อมูล

ที่มา : ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา. (2551).

2.4.3 การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนของข้อมูล

การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนของข้อมูล จะใช้แผนภูมิการกระจายค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละปัจจัย ถ้าค่าความผิดพลาดจากผลการทดลองมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอในกราฟด้านบวกและด้านลบ แสดงว่า ข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างความเสถียรของความแปรปรวนของข้อมูล

ที่มา : ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา. (2551).

2.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว เป็นวิธีการทดสอบเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต้นกับปัจจัยตอบสนองเพียงอย่างละปัจจัย จากหลายๆ ปัจจัยที่มีผลต่อการทดลองมากที่สุด โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวมีขั้นตอนการทำ ดังนี้

2.5.1 ตั้งสมมติฐาน

สมมติฐานหลัก $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \ldots = \mu_k$

สมมติฐานรอง $H_1 : \mu_i \neq \mu_j$ อย่างน้อย 1 คู่

เมื่อ μ_i คือ ค่าเฉลี่ยของประชากร กลุ่มที่ i

μ_j คือ ค่าเฉลี่ยของประชากร กลุ่มที่ j

i, j คือ จำนวนวิธีปฏิบัติ โดยที่ i, j = 1, 2, 3, ..., k และ $i \neq j$

2.5.2 หาค่าความแปรปรวนรวม (Sum Squares of Total : SS_T) ดังสมการที่ 2.5 และ 2.6 โดยค่าความแปรปรวนรวมเกิดจากค่าความแปรปรวน 2 ประเภทรวมกัน คือ

2.5.2.1 ค่าความแปรปรวนที่เกิดจากวิธีปฏิบัติ (Sum Squares of Treatment : SS_{treat}) ดังสมการที่ 2.7

2.5.2.2 ค่าความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในกลุ่ม (Sum Squares of Error : SS_E) ดังสมการที่ 2.8

ดังนั้น $$SS_T = SS_{treat} + SS_E \qquad (2.5)$$

โดยที่ $$SS_T = \sum_{j=1}^{k}\sum_{i=1}^{n} y_{ij}^2 - \frac{y_{..}^2}{N} \quad (2.6)$$

$$SS_{treat} = \sum_{i=1}^{k} \frac{y_i^2}{n_i} - \frac{y_{..}^2}{N} \quad (2.7)$$

$$SS_E = SS_T - SS_{treat} \quad (2.8)$$

เมื่อ N คือ จำนวนค่าสังเกตทั้งหมด

n_i คือ จำนวนค่าสังเกตในวิธีปฏิบัติที่ i

y_{ij} คือ ค่าสังเกต (Observations) จากวิธีปฏิบัติที่ i ตัวอย่างที่ j จากตารางที่ 2.2

$y_{i.}$ คือ ผลรวมของค่าสังเกต ทุกค่าในวิธีปฏิบัติที่ i จากตารางที่ 2.2

$y_{..}$ คือ ผลรวมของค่าสังเกต ทั้งหมดในการทดลอง จากตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การทดลองประเภทวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

Treatment	Observations				Total
1	y_{11}	y_{12}	⋯	y_{1n}	$y_{1.}$
2	y_{21}	y_{22}	⋯	y_{2n}	$y_{2.}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
k	y_{k1}	y_{k2}	⋯	y_{kn}	$y_{k.}$
					$y_{..}$

ที่มา : กานต์ ลี่วัฒนายิ่งยง. (2557).

2.5.3 นำค่า SS_T, SS_{treat} และ SS_E จากข้อ 2.5.2 มาสร้างตาราง ดังตารางที่ 2.3 โดยใส่ค่า SS_T, SS_{treat} และ SS_E ในช่อง SS และคำนวณหาค่าในช่อง df, MS และ F_c ตามลำดับ

ตารางที่ 2.3 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

Source	SS	df	MS	F_c
Between Treatments	SS_{treat}	$k-1$	$MS_{treat} = SS_{treat}/k-1$	MS_{treat}/MS_E
Error (With in Treatment)	SS_E	$N-k$	$MS_E = SS_E/N-k$	
Total	SS_T	$N-1$		

ที่มา : กานต์ ลี่วัฒนายิ่งยง. (2557).

จากนั้นหาค่า $F_{ตาราง}$ โดย $F_{ตาราง} = F_{\alpha,\ k-1,\ N-k}$ (ค่า $F_{\alpha,\ k-1,\ N-k}$ สามารถหาได้จากการเปิดตารางสถิติ F ที่ระดับนัยสำคัญ α ค่าองศาเสรี $k-1, N-k$)

2.5.4 วิเคราะห์ค่า F_c และค่า $F_{ตาราง}$

ถ้า $F_c > F_{ตาราง}$ ให้ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1

ถ้า $F_c < F_{ตาราง}$ ให้ยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1

2.5.5 สรุปผลการทดสอบ

2.6 การวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย (Simple Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย เป็นการวิเคราะห์การถดถอยเพื่อหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตามเพียง 1 ตัวแปร อาจเป็นความสัมพันธ์ตามกันหรือผกผันก็ได้ โดยการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่ายมีขั้นตอนการทำทั้งหมด 5 ขั้นตอน ดังนี้

2.6.1 คำนวณหาค่า S_{xx}, S_{yy} และ S_{xy} ดังสมการที่ 2.9-2.11

$$S_{xx} = \sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n} \quad (2.9)$$

$$S_{yy} = \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n} \quad (2.10)$$

$$S_{xy} = \sum xy - \frac{(\sum x)(\sum y)}{n} \quad (2.11)$$

เมื่อ x คือ ตัวแปรต้น

y คือ ตัวแปรตาม

n คือ จำนวนของกลุ่มตัวอย่างจากประชากร

2.6.2 คำนวณหาค่า β_0 และ β_1 ดังสมการที่ 2.12-2.13

$$\beta_0 = \bar{y} - \beta_1\bar{x} \quad (2.12)$$

$$\beta_1 = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \quad (2.13)$$

เมื่อ β_0 คือ ระยะตัดแกน Y

β_1 คือ สัมประสิทธิ์ถดถอยของประชากร หรือความชัน (Slope)

$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของตัวแปรต้น

$\bar{y}$ คือ ค่าเฉลี่ยของตัวแปรตาม

2.6.3 เขียนสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย ดังสมการที่ 2.14

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 x \qquad (2.14)$$

เมื่อ $\hat{Y}$ คือ ค่าทำนาย

2.6.4 ทดสอบสมมติฐาน

2.6.4.1 ตั้งสมมติฐาน

สมมติฐานหลัก $H_0 : \beta_1 = 0$; x และ y ไม่สัมพันธ์กัน

สมมติฐานรอง $H_1 : \beta_1 \neq 0$; x และ y สัมพันธ์กัน

2.6.4.2 คำนวณหาค่าสถิติ t ดังสมการที่ 2.15

$$t = \frac{\beta_1}{\frac{\sigma}{\sqrt{S_{xx}}}} \qquad (2.15)$$

โดยที่ $$\sigma = \sqrt{\frac{S_{yy} - (\beta_1 S_{xy})}{n-2}}$$

เมื่อ σ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร

จากนั้นหาค่า $t_{ตาราง}$ โดย $t_{ตาราง} = t_{\alpha/2,\ n-2}$ (ค่า $t_{\alpha/2,\ n-2}$ สามารถหาได้จากการเปิดตารางสถิติ t ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha/2$ ค่าองศาเสรี $v = n - 2$)

2.6.4.3 วิเคราะห์ค่า t จากสมการที่ 2.15 กับ $t_{ตาราง}$

ถ้า $t > t_{ตาราง}$ และ $t < -t_{ตาราง}$ ให้ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 แสดงว่า x และ y สัมพันธ์กัน

2.6.5 ทดสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Sample Correlation Coefficient : r) ดังสมการที่ 2.16

$$r = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx}S_{yy}}} \qquad (2.16)$$

เมื่อ r คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ถ้า $r = 0$ แสดงว่า ไม่มีความสัมพันธ์กัน

$r < 0.50$ แสดงว่า มีความสัมพันธ์กันต่ำ

$0.50 \leq r < 0.80$ แสดงว่า มีความสัมพันธ์กันปานกลาง

$r \geq 0.80$ แสดงว่า มีความสัมพันธ์กันสูง (สามารถนำสมการไปใช้งานได้)

$r < 0$ แสดงว่า ตัวแปรทั้งสองตัวนั้นมีความสัมพันธ์แบบผกผันกัน ให้ทดสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในรูปของค่าสัมบูรณ์ ดังสมการที่ 2.17

$$r = \left|\frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx}S_{yy}}}\right| \quad (2.17)$$

ที่มา : กานต์ ลีวัฒนายิ่งยง. (2557).

2.7 การทดสอบความเหมาะสมของสมการถดถอย (Lack of Fit)

การทดสอบความเหมาะสมของสมการถดถอย เป็นการทดสอบสมการถดถอยว่าสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น และตัวแปรตามได้ดีเพียงใด และสามารถใช้สมการถดถอยในการทำนาย และประมาณค่าตัวแปรตามได้อย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่ โดยการทดสอบความเหมาะสมของสมการถดถอยมีขั้นตอนการทำ ดังนี้

2.7.1 ตั้งสมมติฐาน สมมติฐานหลัก H_0 : สมการถดถอยมีความเหมาะสม

สมมติฐานรอง H_1 : สมการถดถอยไม่มีความเหมาะสม

2.7.2 หาค่าความแปรปรวนรวม ดังสมการที่ 2.18 โดยค่าความแปรปรวนรวมเกิดจากค่าความแปรปรวน 2 ประเภทรวมกัน คือ

2.7.2.1 ค่าความแปรปรวนที่เกิดจากการพยากรณ์ (Sum Squares of Regression : SS_R) ดังสมการที่ 2.19

2.7.2.2 ค่าความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในกลุ่ม ดังสมการที่ 2.20 และค่าความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในกลุ่มเกิดจากค่าความแปรปรวน 2 ประเภทรวมกัน คือ

ก. ค่าความแปรปรวนแท้จริง (Sum Squares of Pure Error : SS_{PE}) ดังสมการที่ 2.21

ข. ค่าความแปรปรวนที่เกิดจากการขาดความเหมาะสมของสมการ (Sum Squares of Lack of Fit : SS_{LOF}) ดังสมการที่ 2.22

ดังนั้น
$$SS_T = SS_R + SS_E \quad (2.18)$$

โดยที่
$$SS_R = \sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i - \bar{y})^2 \quad (2.19)$$

และ
$$SS_E = SS_{PE} + SS_{LOF} \quad (2.20)$$

โดยที่
$$SS_{PE} = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n_j}(y_{ij} - \bar{y}_i)^2 \quad (2.21)$$

$$SS_{LOF} = \sum_{i=1}^{m} n_i(\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2 \quad (2.22)$$

เมื่อ y_{ij} คือ ค่าสังเกต จากวิธีปฏิบัติที่ i ตัวอย่างที่ j

$\bar{y}_i$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกต จากวิธีปฏิบัติที่ i

$\hat{y}_i$ คือ ค่าพยากรณ์ของค่าสังเกต จากวิธีปฏิบัติที่ i

n_i คือ จำนวนค่าสังเกต ในแต่ละวิธีปฏิบัติที่ i

n_j คือ จำนวนค่าสังเกต ในแต่ละตัวอย่างที่ j

2.7.3 นำค่า SS_R, SS_E, SS_{LOF}, SS_{PE} และ SS_T จากข้อ 2.7.2 มาสร้างตาราง ดังตารางที่ 2.4 โดยใส่ค่า SS_R, SS_E, SS_{LOF}, SS_{PE} และ SS_T ในช่อง SS และคำนวณหาค่าในช่อง df, MS และ F_c ตามลำดับ

ตารางที่ 2.4 ตารางทดสอบความเหมาะสมของสมการถดถอย

Source	SS	df	MS	F_c
Regression	SS_R	1	$MS_R = SS_R/1$	
Error	SS_E	$n-2$	$MS_E = SS_E/n-2$	
Lack of Fit	SS_{LOF}	$m-2$	$MS_{LOF} = SS_{LOF}/m-2$	MS_{LOF}/MS_{PE}
Pure Error	SS_{PE}	$n-m$	$MS_{PE} = SS_{PE}/n-m$	
Total	SS_T	$n-1$		

ที่มา : ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา. (2551).

จากนั้นหาค่า $F_{ตาราง}$ โดย $F_{ตาราง} = F_{\alpha,\ m-2,\ n-m}$ (ค่า $F_{\alpha,\ m-2,\ n-m}$ สามารถหาได้จากการเปิดตารางสถิติ F ที่ระดับนัยสำคัญ α ค่าองศาเสรี $m-2, n-m$)

2.7.4 วิเคราะห์ค่า F_c และค่า $F_{ตาราง}$

ถ้า $F_c > F_{ตาราง}$ ให้ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1

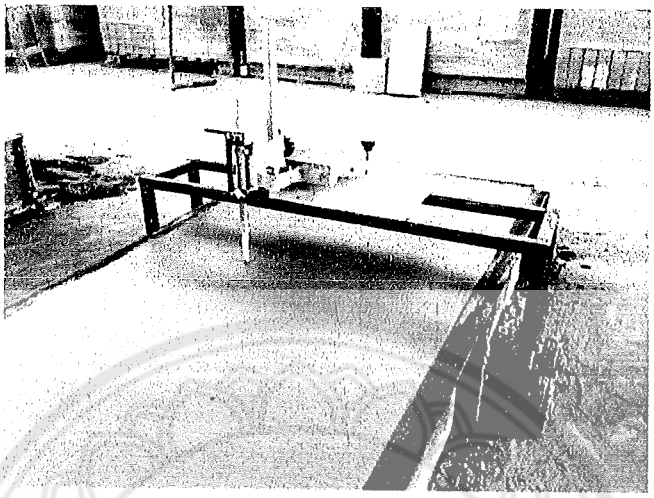
ถ้า $F_c < F_{ตาราง}$ ให้ยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1

2.7.5 สรุปผลการทดสอบ

2.8 การทดสอบหาค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา

การทดสอบหาค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบาที่ระยะเวลาต่างๆ ซึ่งจะบอกถึงช่วงระยะเวลาการก่อตัวของอิฐมวลเบาได้ และในการทดสอบหาค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบาจะใช้เครื่องมือทดสอบ ที่เรียกว่า เครื่องทดสอบแบบไวแคต (Vicat Apparatus) ดังรูปที่ 2.7 โดยใช้เข็มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ซึ่งจะนำเครื่องมือทดสอบไปทดสอบ ด้วยการปล่อยเข็มของเครื่องมือทดสอบลงในแบบหล่อที่มีส่วนผสมอิฐมวลเบา ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือทดสอบจะอ่านค่าได้เป็นระยะการจมของเข็ม มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร และสามารถวัดค่าได้สูงสุด 50 มิลลิเมตร ซึ่งระยะการจมของเข็มนี้ จะบอกถึงค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา

ว่ามีค่ามากหรือน้อย ถ้าค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบาเท่ากับ 50 มิลลิเมตร แสดงว่า ค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบาว่ามีค่าน้อย หรือยังไม่เกิดค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา แต่ถ้าค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบาน้อยกว่า 50 มิลลิเมตร แสดงว่า ค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบาว่ามีค่ามาก หรือเกิดค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา

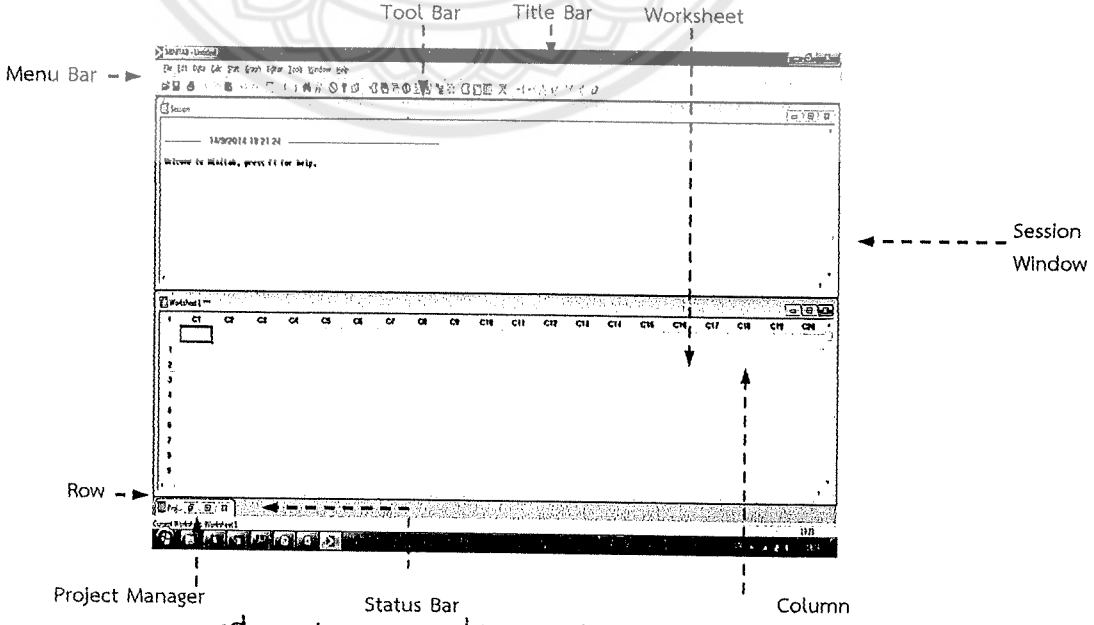


รูปที่ 2.7 เครื่องทดสอบไวแคต

2.9 โปรแกรม Minitab

โปรแกรม Minitab เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปเชิงสถิติ (Statistical Package) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติวิศวกรรม เช่น การทดสอบสมมติฐาน และการวิเคราะห์ความแปรปรวน เป็นต้น

2.9.1 ส่วนประกอบที่สำคัญของโปรแกรม Minitab



รูปที่ 2.8 ส่วนประกอบที่สำคัญของโปรแกรม Minitab

ส่วนประกอบที่สำคัญของโปรแกรม Minitab ดังรูปที่ 2.8 ประกอบไปด้วย

2.9.1.1 แถบชื่อ (Title Bar) คือ แถบแสดงชื่อสมุดงานที่กำลังใช้งานอยู่

2.9.1.2 แถบเครื่องมือ (Tool Bar) คือ แถบของกลุ่มเครื่องมือ เช่น บันทึก, เลิกทำ, ทำซ้ำ และการเพิ่มแผ่นงาน เป็นต้น

2.9.1.3 แถบรายการเลือก (Menu Bar) คือ แถบของกลุ่มคำสั่งที่แบ่งออกเป็นหมวดหมู่ โดยจะแบ่งเป็นแถบ File, Edit, Data, Calc, Stat, Graph, Editor, Tools, Window และ Help เป็นต้น

2.9.1.4 หน้าต่างแสดงผลสถิติ (Session Window) คือ หน้าต่างที่ใช้ในการแสดงผลการวิเคราะห์เชิงสถิติ เช่น ค่าเฉลี่ย, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่า P-Value เป็นต้น

2.9.1.5 แผ่นงาน (Worksheet) คือ แผ่นงานที่ใช้บันทึกข้อมูล มีลักษณะเป็นตาราง โดยแต่ละตารางเรียกว่า "เซลล์" และสามารถเพิ่มจำนวนแผ่นงานได้ตามที่ต้องการ

2.9.1.6 หลัก (Column) คือ ช่องข้อมูลที่อยู่ในแนวตั้ง

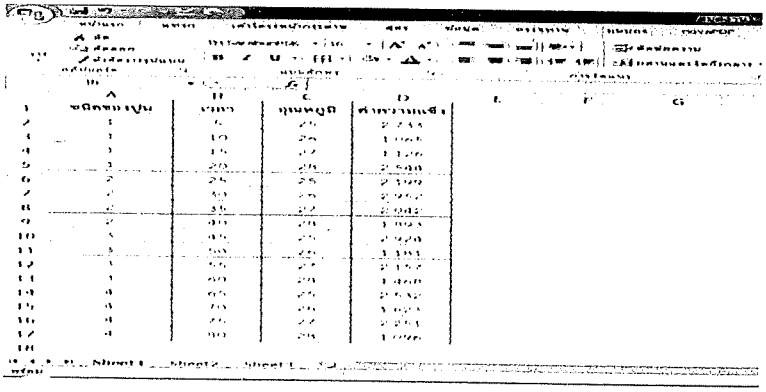
2.9.1.7 แถว (Row) คือ ช่องข้อมูลที่อยู่ในแนวนอน

2.9.1.8 หน้าต่างจัดการแฟ้มงาน (Project Manager) คือ หน้าต่างสำหรับจัดเก็บข้อมูลที่ทำการบันทึกในแต่ละครั้ง

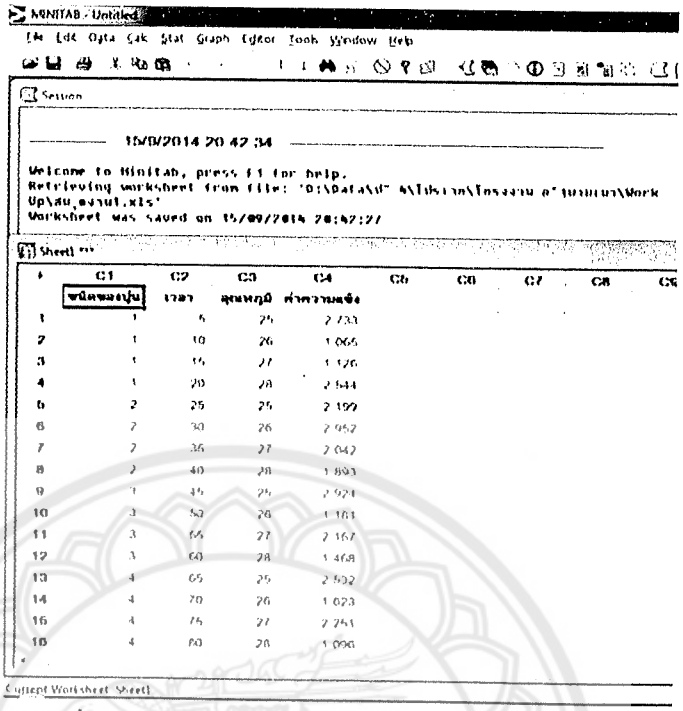
2.9.1.9 แถบสถานภาพ (Status Bar) คือ แถบที่แสดงสถานะคำสั่งที่กำลังใช้งาน โดยแสดงผลเป็นตัวอักษร

2.9.2 การเรียกข้อมูลจากโปรแกรม Microsoft Excel

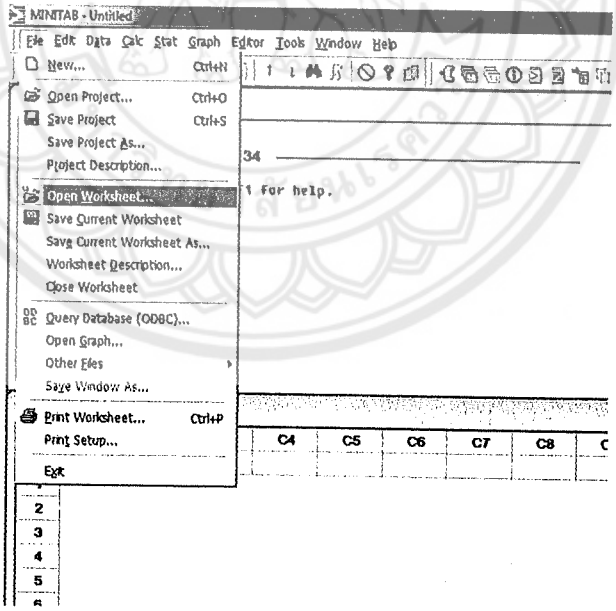
การเรียกข้อมูลจากโปรแกรม Microsoft Excel เป็นการใช้ข้อมูลตารางจากโปรแกรม Microsoft Excel ที่มีข้อมูลที่ต้องการวิเคราะห์ผลเชิงสถิติ ดังรูปที่ 2.9 โดยโปรแกรม Minitab จะคัดลอกตารางที่มีข้อมูลในโปรแกรม Microsoft Excel มาลงในโปรแกรม Minitab ดังรูปที่ 2.10 ซึ่งมีแถวและหลักเหมือนโปรแกรม Microsoft Excel ขั้นตอนการเรียกข้อมูลจากโปรแกรม Microsoft Excel ดังรูปที่ 2.11 และ 2.12



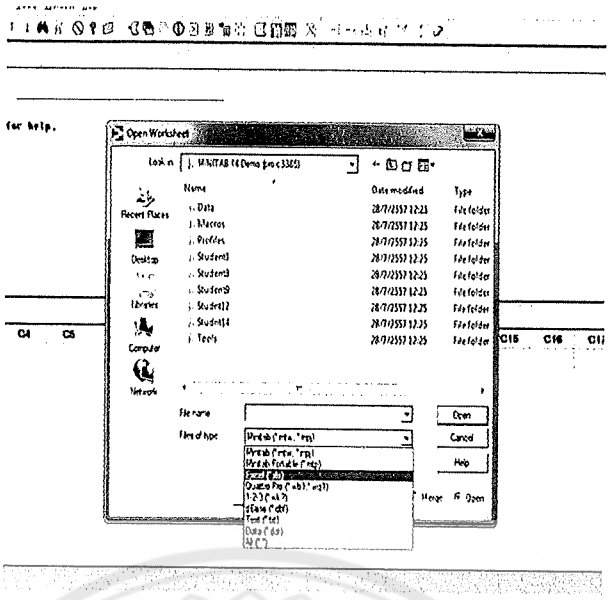
รูปที่ 2.9 ข้อมูลตารางจากโปรแกรม Microsoft Excel



รูปที่ 2.10 ข้อมูลแสดงจากโปรแกรม Minitab



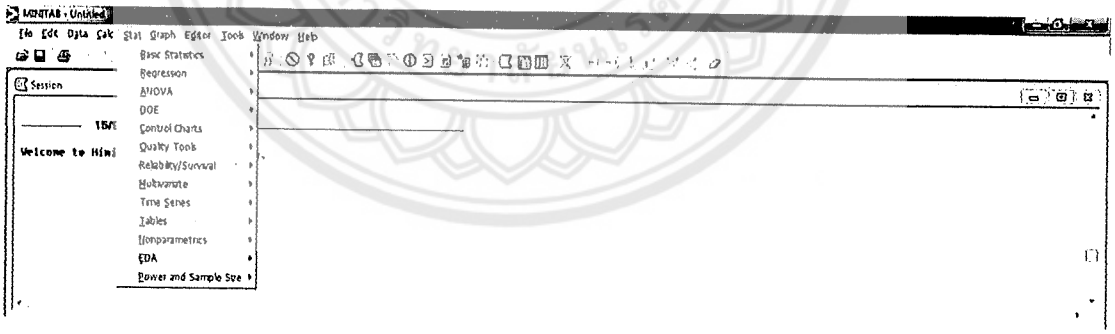
รูปที่ 2.11 ขั้นตอนการเรียกข้อมูลจากโปรแกรม Microsoft Excel 1



รูปที่ 2.12 ขั้นตอนการเรียกข้อมูลจากโปรแกรม Microsoft Excel 2

2.9.3 การใช้คำสั่งวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

การใช้คำสั่งวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ นำเมาส์ไปคลิก “Stat” ที่อยู่ในแถบรายการเลือก ดังรูปที่ 2.13 แล้วเลือกเครื่องมือวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติให้เหมาะสมกับข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ตามต้องการ



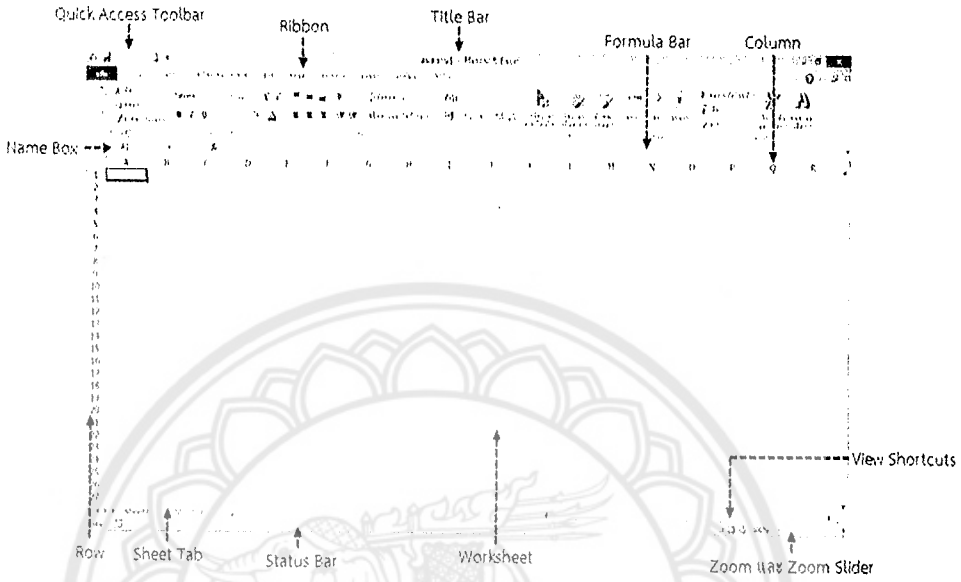
รูปที่ 2.13 การเลือกใช้คำสั่งในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

2.10 โปรแกรม Microsoft Excel

โปรแกรม Microsoft Excel เป็นโปรแกรมประเภทตารางจัดการ ซึ่งออกแบบมาสำหรับบันทึกวิเคราะห์ และแสดงข้อมูลเกี่ยวกับตัวเลขได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในรูปแบบของแผนภาพและรายงาน

การบันทึกข้อมูลลงในโปรแกรม Microsoft Excel จะบันทึกลงในช่องที่เรียกว่า “เซลล์” โดยแต่ละเซลล์อยู่บนตาราง จะประกอบด้วยแถวและหลัก ซึ่งตารางในแต่ละตารางเรียกว่า “แผ่นงาน” และ แผ่นงานหลายๆ แผ่นงานรวมกันเรียกว่า “สมุดงาน”

2.10.1 ส่วนประกอบที่สำคัญของโปรแกรม Microsoft Excel



รูปที่ 2.14 ส่วนประกอบที่สำคัญของโปรแกรม Microsoft Excel

ส่วนประกอบที่สำคัญของโปรแกรม Microsoft Excel ดังรูปที่ 2.14 ประกอบไปด้วย

2.10.1.1 แถบเครื่องมือด่วน (Quick Access Toolbar) คือ แถบของกลุ่มเครื่องมือด่วน เช่น บันทึก, เลิกทำ, ทำซ้ำ และแสดงตัวอย่างก่อนพิมพ์และพิมพ์ เป็นต้น

2.10.1.2 แถบริบบอน (Ribbon) คือ แถบของกลุ่มคำสั่งที่แบ่งออกเป็นหมวดหมู่ โดยจะแบ่งเป็นแถบ หน้าแรก; แทรก, เค้าโครงหน้ากระดาษ, สูตร, ข้อมูล, ตรวจทาน และมุมมอง เป็นต้น

2.10.1.3 แถบชื่อ (Title Bar) คือ แถบแสดงชื่อสมุดงานที่กำลังใช้งานอยู่

2.10.1.4 แถบจัดการสูตร (Formula Bar) คือ แถบที่ใช้สำหรับจัดการสูตรหรือจัดการข้อมูลภายในเซลล์ที่เลือก

2.10.1.5 หลัก (Column) คือ ช่องข้อมูลที่อยู่ในแนวตั้ง มีจำนวน 16,384 หลัก เริ่มต้นจากหลักที่ A ถึงหลักที่ XFD

2.10.1.6 แถว (Row) คือ ช่องข้อมูลที่อยู่ในแนวนอน มีจำนวน 1,048,576 แถว

2.10.1.7 แถบชื่อแผ่นงาน (Sheet Tab) คือ แถบที่ใช้แสดงชื่อของแผ่นงาน

2.10.1.8 แถบแสดงชื่อ (Name Box) คือ แถบที่แสดงชื่อเซลล์ที่เลือก โดยสามารถตั้งชื่อเซลล์ที่เลือกได้ รวมถึงสามารถใช้เลื่อนไปยังเซลล์ที่กำหนดได้

2.10.1.9 แถบสถานภาพ (Status Bar) คือ แถบแสดงสถานะต่างๆ ของโปรแกรม

2.10.1.10 แผ่นงาน (Worksheet) คือ แผ่นงานที่ใช้บันทึกข้อมูล มีลักษณะเป็นตาราง โดยแต่ละตารางเรียกว่า “เซลล์” และสามารถเพิ่มจำนวนแผ่นงานได้ตามที่ต้องการ

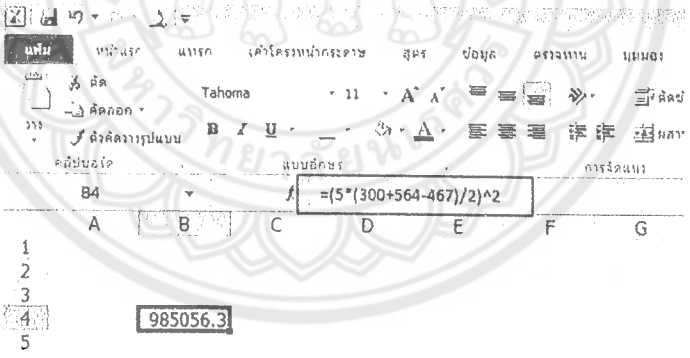
2.10.1.11 แถบมุมมองของเอกสาร (View Shortcuts) คือ แถบเครื่องมือที่ใช้สำหรับปรับมุมมองของเอกสาร

2.10.1.12 แถบ Zoom และ แถบ Zoom Slider คือ แถบเครื่องมือที่ใช้สำหรับย่อหรือขยายหน้าจอ

2.10.2 การพิมพ์สูตรและการใช้สูตรฟังก์ชันของโปรแกรม Microsoft Excel

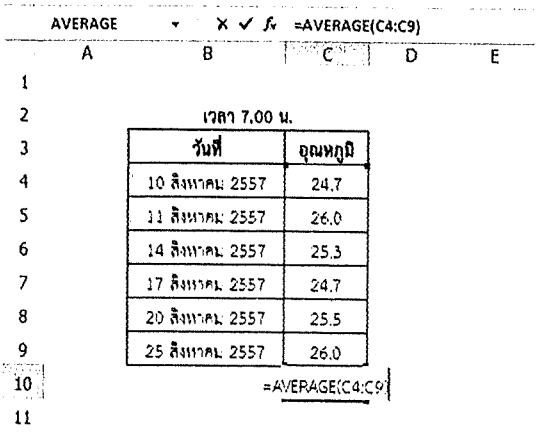
การพิมพ์สูตรและการใช้สูตรฟังก์ชันของโปรแกรม Microsoft Excel ต้องมีเครื่องหมายเท่ากับ (=) อยู่ข้างหน้าเสมอ และในขณะที่ตำแหน่งพิมพ์อยู่หลังเครื่องหมายเท่ากับนั้น เมื่อนำเมาส์ไปคลิกที่เซลล์ใดๆ จะเป็นการนำเอาชื่อเซลล์นั้นมาใช้ในการคำนวณเสมอ การพิมพ์สูตรและการใช้สูตรฟังก์ชันสามารถทำได้ 5 วิธี คือ

2.10.2.1 การพิมพ์แบบสมการคณิตศาสตร์ เป็นการคำนวณโดยใช้เครื่องหมายบวก (+), ลบ (-), คูณ (x), หาร (/), และยกกำลัง (^) ดังรูปที่ 2.15



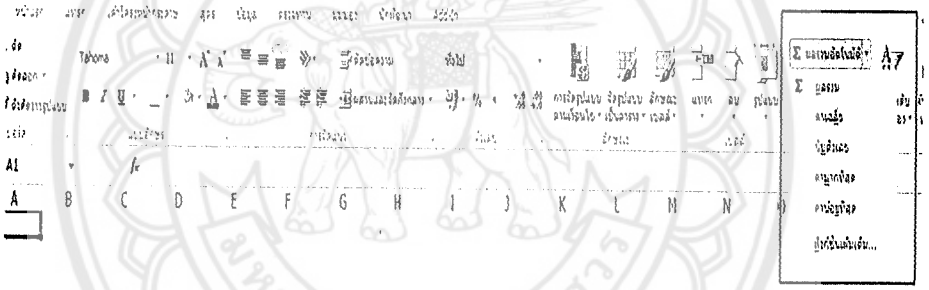
รูปที่ 2.15 การพิมพ์แบบสมการคณิตศาสตร์

2.10.2.2 การพิมพ์แบบใช้สูตรฟังก์ชัน เป็นการคำนวณโดยใช้สูตรฟังก์ชันจากแถบจัดการสูตร มีรูปแบบการพิมพ์ คือ พิมพ์เครื่องหมายเท่ากับแล้วตามด้วยชื่อสูตรฟังก์ชัน และวงเล็บ ซึ่งในวงเล็บเป็นเซลล์อ้างอิงถึงข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการคำนวณสูตรนั้น เช่น =AVERAGE(C4:C9) หมายถึง การหาค่าเฉลี่ยจากเซลล์ C4 ถึงเซลล์ C9 เป็นต้น ดังรูปที่ 2.16



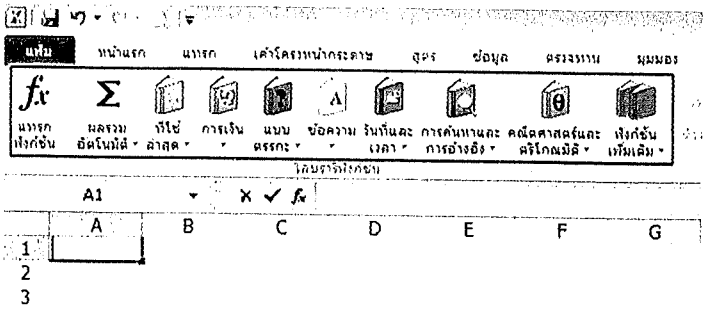
รูปที่ 2.16 การพิมพ์แบบใช้สูตรฟังก์ชัน

2.10.2.3 การใช้สูตรฟังก์ชันบนกลุ่มคำสั่งริบบอนในแถบหน้าแรก **เป็นการใช้สูตรฟังก์ชันจาก**กลุ่มคำสั่งริบบอนในแถบหน้าแรก เช่น ผลรวม, ค่าเฉลี่ย, นับตัวเลข, ค่ามากที่สุด และค่าน้อยที่สุด เป็นต้น ดังรูปที่ 2.17



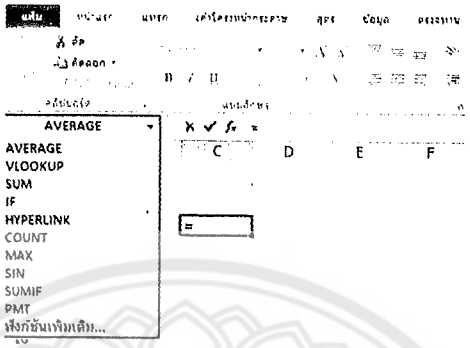
รูปที่ 2.17 การใช้สูตรฟังก์ชันบนกลุ่มคำสั่งริบบอนในแถบหน้าแรก

2.10.2.4 การใช้สูตรฟังก์ชันบนกลุ่มคำสั่งริบบอนในแถบสูตร เป็น**การใช้สูตรฟังก์ชัน**จากกลุ่มคำสั่งริบบอนในแถบสูตร เช่น การเงิน, คณิตศาสตร์และตรีโกณมิติ, แบบตรรกะ และฟังก์ชันเพิ่มเติม เป็นต้น ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 การใช้สูตรฟังก์ชันบนกลุ่มคำสั่งริบบอนในแถบสูตร

2.10.2.5 การใช้สูตรฟังก์ชันบนแถบแสดงชื่อ เป็นการใช้สูตรฟังก์ชันที่ใช้ไปล่าสุดจากแถบแสดงชื่อ โดยเริ่มต้นจากการพิมพ์เครื่องหมายเท่ากับ แล้วแถบแสดงชื่อจะเปลี่ยนเป็นชื่อสูตรขึ้น 1 สูตร ถ้าเป็นสูตรที่ต้องการใช้ก็คลิกที่ชื่อสูตรนั้นเลย แต่ถ้าต้องการใช้สูตรอื่นให้คลิกหัวลูกศรที่ช้อนสูตรออกมา แล้วคลิกเลือกสูตรที่ต้องการ ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 การใช้สูตรฟังก์ชันบนแถบแสดงชื่อ

2.11 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.11.1 ในปี พ.ศ. 2553 นางสาวณัฐสุดา แสนประสิทธิ์ และคณะ ได้ศึกษาการออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับยางธรรมชาติภายในท้องถิ่น มีจุดมุ่งหมายในการออกแบบการทดลอง เพื่อนำมาวิเคราะห์ให้ถูกต้องตามหลักการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม โดยทำการศึกษาผลกระทบของค่าความทนทานต่อแรงดึงกับค่าร้อยละของความยืดหยุ่น โดยทำการเลือกปัจจัย 2 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูป มี 4 ระดับ คือ 100, 120, 140 และ 160 องศาเซลเซียส และเวลาในการอัดขึ้นรูปมี 4 ระดับ คือ 5, 10, 15 และ 20 นาที นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ผลเชิงสถิติ เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิและเวลาในการอัดขึ้นรูปที่มีผลต่อค่าความทนทานต่อแรงดึงกับค่าร้อยละของความยืดหยุ่น ผลการศึกษา พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความทนทานต่อแรงดึงมีแนวโน้มลดลง ส่วนค่าร้อยละของความยืดหยุ่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และเมื่อเวลาในการอัดขึ้นรูปลดลงจะทำให้ค่าความทนทานต่อแรงดึงเพิ่มขึ้น ส่วนค่าร้อยละของความยืดหยุ่นลดลงเล็กน้อย ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และได้สมการแสดงความสัมพันธ์ ดังนี้

ค่าความทนทานต่อแรงดึง = $1.945 + 0.430\times10^{-3}A_1 + 9.950\times10^{-2}A_2 - 0.075\times10^{-2}A_1xA_2$

ค่าร้อยละของความยืดหยุ่น = $396.784 - 0.500A_1 - 12.792A_2 + 0.079A_1xA_2$

เมื่อ A_1 = อุณหภูมิในการขึ้นรูป สำหรับช่วง 100-160 องศาเซลเซียส

A_2 = เวลาในการอัดขึ้นรูป สำหรับช่วง 5-20 นาที

1048484 -4 ก.พ. 2565
สำนักหอสมุด
ว TP 926 .5.T5 ก4325 2558

2.11.2 ในปี พ.ศ. 2552 นายพิชิตพงศ์ ขวัญแย้ม และคณะ ได้ทำการศึกษาการออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาค่าความแข็งของเหล็ก AISI4140 ที่มีส่วนผสมของคาร์บอนประมาณร้อยละ 0.4 และผ่านการชุบแข็ง จุดมุ่งหมายในการออกแบบการทดลอง เพื่อนำค่าความแข็งมาวิเคราะห์ให้ถูกต้องตามหลักการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม โดยทำการเลือกปัจจัย 2 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิการอบให้ความร้อน มี 3 ระดับ คือ 850, 950 และ 1,050 องศาเซลเซียส และเวลาการอบให้ความร้อนมี 3 ระดับ คือ 60, 90 และ 120 นาที นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ผลเชิงสถิติ เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิและเวลาการอบให้ความร้อนที่มีผลต่อค่าความแข็งของเหล็ก AISI4140 หลังผ่านการชุบแข็ง ผลการศึกษาพบว่าช่วงเวลาที่ 60 นาที และอุณหภูมิที่ 850 องศาเซลเซียส จะมีค่าความแข็งที่แข็งที่สุด และความแข็งจะลดลงเมื่ออุณหภูมิและเวลาเพิ่มขึ้น ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าอุณหภูมิและเวลาที่เปลี่ยนไปมีผลต่อค่าความแข็งของเหล็ก AISI4140 หลังผ่านการชุบแข็ง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และได้สมการแสดงความสัมพันธ์ ดังนี้

$$Hardness = 154.82 - 0.001time - 0.0996temp - 0.000158time \times temp$$

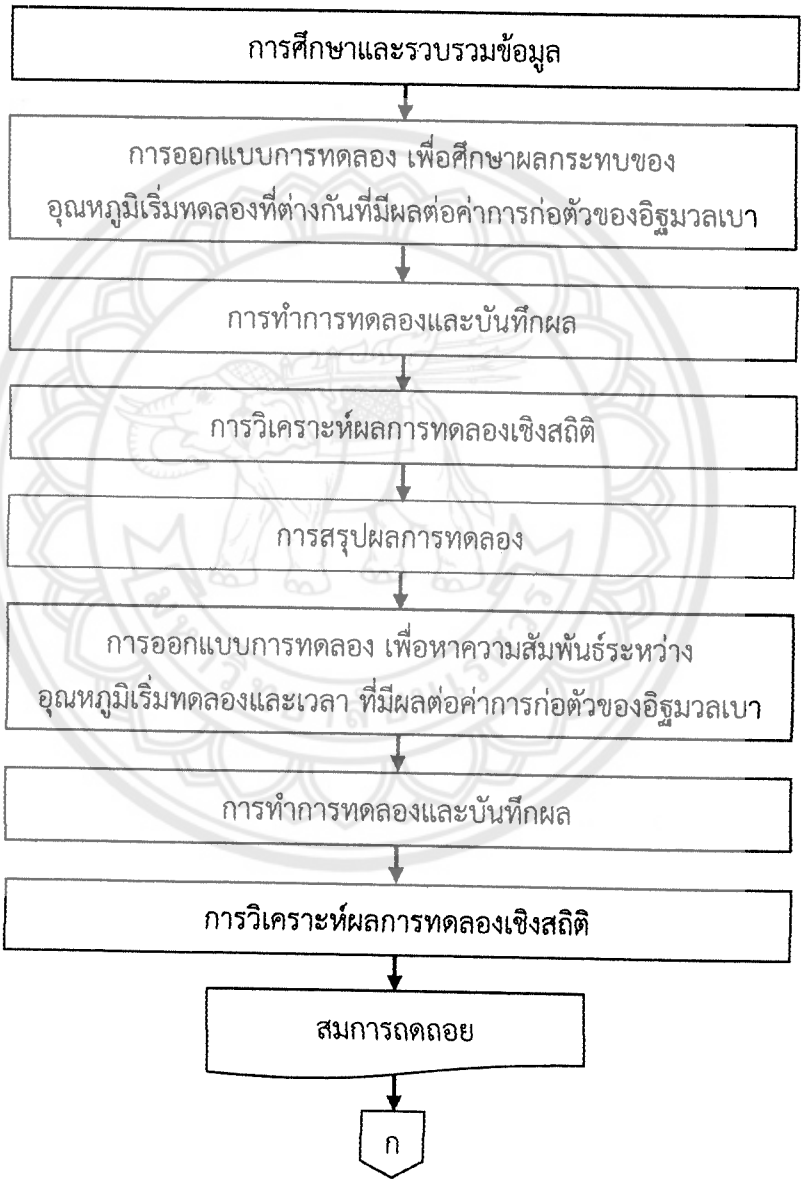
เมื่อ Hardness = ค่าความแข็ง (HRc)

temp = ค่าของอุณหภูมิ สำหรับช่วง 850-1,050 องศาเซลเซียส

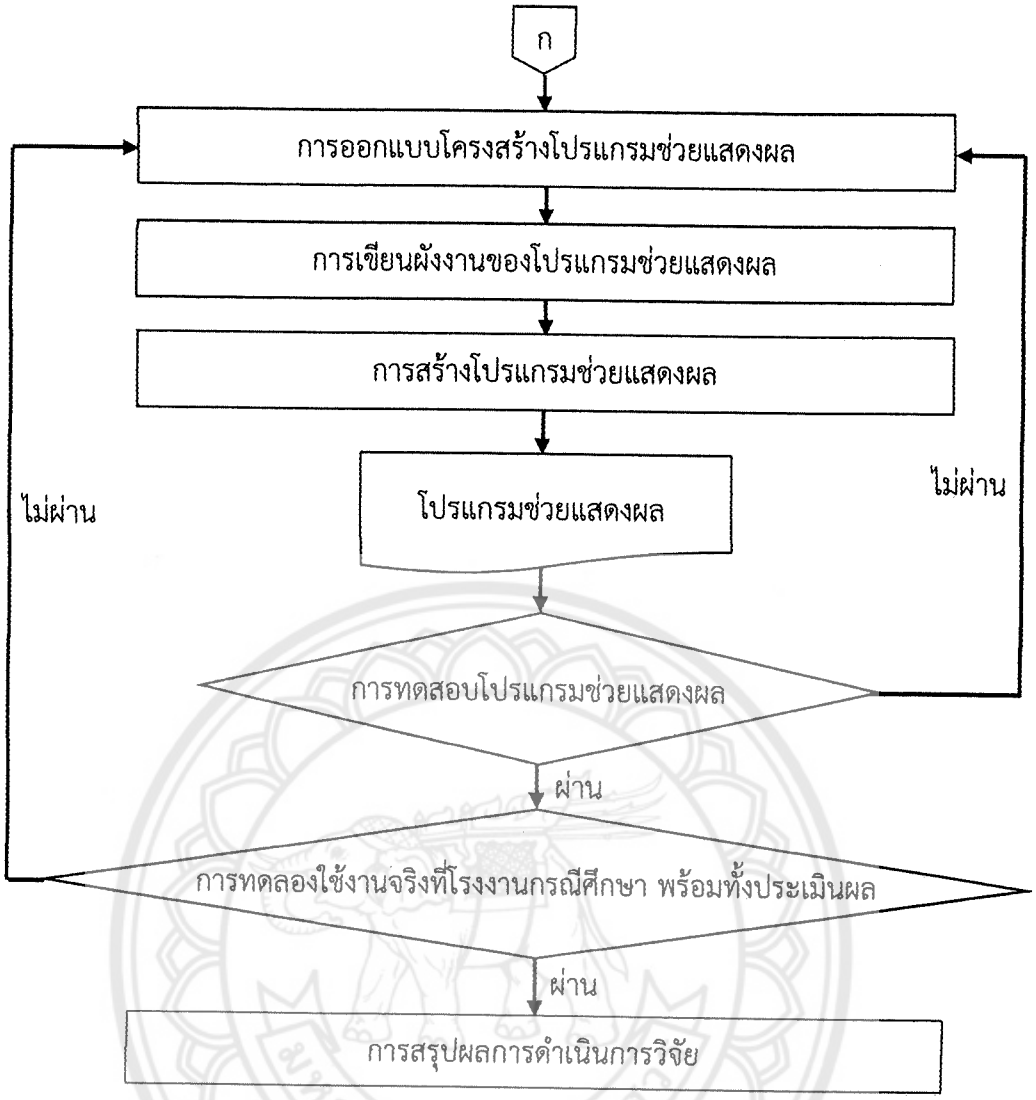
time = ค่าของเวลา สำหรับช่วง 60-120 นาที

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อกำหนดเวลาการทำงานในกระบวนการผลิตอิฐมวลเบา สามารถแสดงขั้นตอนการดำเนินโครงงานในรูปของผังงานแสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ผังงานแสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย



รูปที่ 3.1 (ต่อ) ผังงานแสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

จากการศึกษาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อกำหนดเวลาการทำงานในกระบวนการผลิตอิฐมวลเบา มีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย ดังนี้

3.1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูล

คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการวิจัยทั้งหมด โดยแหล่งข้อมูลจะได้มาจากหนังสือ งานวิจัย ปริญญานิพนธ์ และสื่อทางอินเทอร์เน็ตเป็นหลัก ดังนี้

3.1.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลอิฐมวลเบา

3.1.2 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลการออกแบบการทดลอง

3.1.3 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

3.1.4 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลการทดสอบหาค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา

3.1.5 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลโปรแกรม Minitab

3.1.6 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลโปรแกรม Microsoft Excel

3.1.7 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลโปรแกรม VBA

โดยคณะผู้วิจัยได้รวบรวมรายละเอียดทั้งหมด ไว้ในบทที่ 2 เมื่อได้ทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับโครงงานทั้งหมดแล้ว จะทำการออกแบบการทดลองต่อไป

3.2 การออกแบบการทดลอง เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิเริ่มทดลองที่ต่างกันที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา

ในขั้นตอนการออกแบบการทดลองนั้น คณะผู้วิจัยได้ทำการออกแบบการทดลอง ดังนี้

3.2.1 การกำหนดปัจจัย

ในการกำหนดปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลอง ได้แบ่งการกำหนดปัจจัยออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

3.2.1.1 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา เป็นการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง ซึ่งจากการศึกษาจะได้ปัจจัยที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา ดังนี้

ก. อุณหภูมิอากาศ

ถ้าอุณหภูมิอากาศสูงจะทำให้การก่อตัวของอิฐมวลเบาก่อตัวเร็ว แต่ถ้าอุณหภูมิอากาศต่ำจะทำให้การก่อตัวของอิฐมวลเบาก่อตัวช้า

ข. ความชื้นสัมพัทธ์

ถ้าความชื้นสัมพัทธ์สูงจะทำให้การก่อตัวของอิฐมวลเบาก่อตัวช้า แต่ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำจะทำให้การก่อตัวของอิฐมวลเบาก่อตัวเร็ว

ค. ชนิดของปูนซีเมนต์

ถ้าชนิดของปูนซีเมนต์ที่มี C_3A, C_3S และยิปซัม เป็นองค์ประกอบทางเคมีมากจะทำให้การก่อตัวของอิฐมวลเบาก่อตัวเร็ว แต่ถ้ามีองค์ประกอบทางเคมีดังกล่าวน้อยจะทำให้การก่อตัวของอิฐมวลเบาก่อตัวช้า

ง. เวลา

เป็นเวลาตั้งแต่เริ่มเทส่วนผสมจนถึงเวลาที่ส่วนผสมแข็งตัวสมบูรณ์

จ. ความหนาบางของโครงสร้าง

ถ้าโครงสร้างมีความหนาจะทำให้การก่อตัวของอิฐมวลเบาก่อตัวช้า แต่ถ้าโครงสร้างมีความบางจะทำให้การก่อตัวของอิฐมวลเบาก่อตัวเร็ว

เมื่อทราบปัจจัยที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบาแล้ว จะทำการคัดเลือกปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง จากปัจจัยที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบาต่อไป

3.2.1.2 คัดเลือกปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง เป็นการคัดเลือกปัจจัยที่จะนำใช้ในการทดลอง โดยคัดเลือกจากปัจจัยที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

ก. ปัจจัยที่เลือกใช้ในการทดลอง คือ อุณหภูมิอากาศ โดยอุณหภูมิอากาศในการทดลองนี้จะใช้เป็นอุณหภูมิอากาศเริ่มทดสอง หรืออุณหภูมิเริ่มทดลอง เหตุผลที่ทำการเลือกอุณหภูมิอากาศมาเป็นปัจจัยในการทดลอง เพราะต้องการศึกษาว่าอุณหภูมิเริ่มทดลองที่ต่างกันมีผลต่อการทดลองหรือไม่ และอุณหภูมิอากาศสามารถกำหนดอุณหภูมิเริ่มทดลองได้ โดยมีปัจจัยตอบสนอง คือ ค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา

ข. ปัจจัยที่ไม่ได้เลือกใช้ในการทดลอง มีดังนี้

ข.1 ความชื้นสัมพัทธ์

เหตุผลที่ไม่ทำการเลือกความชื้นสัมพัทธ์มาเป็นปัจจัยในการทดลอง เพราะความชื้นสัมพัทธ์แปรผกผันกับอุณหภูมิอากาศอยู่แล้ว และวัดค่าได้ยากกว่าอุณหภูมิอากาศ โดยจะแสดงตัวอย่างผลการวิเคราะห์การถดถอยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับอุณหภูมิอากาศ ในภาคผนวก ฌ

ข.2 ชนิดของปูนซีเมนต์

เหตุผลที่ไม่ทำการเลือกชนิดของปูนซีเมนต์มาเป็นปัจจัยในการทดลอง เพราะชนิดของปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการทดลองจะกำหนดให้คงที่ โดยจะใช้ชนิดเดียวกับโรงงานกรณีศึกษาใช้เป็นส่วนผสม เนื่องจากโรงงานกรณีศึกษาได้กำหนดส่วนผสมมาตรฐานไว้แล้ว

ข.3 เวลา

เหตุผลที่ไม่ทำการเลือกเวลามาเป็นปัจจัยในการทดลอง เพราะคณะผู้จัดทำต้องการศึกษาอุณหภูมิเริ่มทดลองที่ต่างกันมีผลต่อการทดลองหรือไม่ โดยไม่ได้กำหนดระดับปัจจัยเวลา แต่จะใช้เวลาเป็นระดับอ้างอิง

ข.4 ความหนาบางของโครงสร้าง

เหตุผลที่ไม่ทำการเลือกความหนาบางของโครงสร้างมาเป็นปัจจัยในการทดลอง เพราะความหนาบางของโครงสร้างที่ใช้ในการทดลองจะกำหนดให้คงที่ โดยจะใช้ขนาดเดียวกับโรงงานกรณีศึกษา เนื่องจากโรงกรณีศึกษาได้กำหนดโครงสร้างมาตรฐานไว้แล้ว

เมื่อทราบปัจจัยที่ใช้ในการทดลองแล้ว จะทำการกำหนดระดับปัจจัยของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองต่อไป

3.2.2 การกำหนดระดับปัจจัย

จากการกำหนดปัจจัยในหัวข้อที่ 3.2.1.2 คณะผู้วิจัยได้ทำการขอความอนุเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิในแต่ละวัน ในช่วงปี 2552-2556 ของจังหวัดพิษณุโลก จากกรมอุตุนิยมวิทยา พบว่าอุณหภูมิในช่วงเริ่มทดลองอยู่ในช่วง 23–29 องศาเซลเซียส ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงได้กำหนดระดับปัจจัยอุณหภูมิเริ่มทดลองจำนวน 7 ระดับ คือ 23, 24, 25, 26, 27, 28 และ 29 องศาเซลเซียส เพื่อความเหมาะสมในการทดลอง เมื่อกำหนดระดับปัจจัยแล้ว จะทำการกำหนดจำนวนการทดลองซ้ำเพื่อใช้ในการเก็บผลการทดลองต่อไป

3.2.3 การกำหนดจำนวนการทดลองซ้ำ

ในการกำหนดจำนวนการทดลองซ้ำสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.1 แต่เนื่องจากสมการดังกล่าวต้องใช้ค่าจากการทดลองในการคำนวณ ดังนั้น เบื้องต้นคณะผู้วิจัยจะทำการทดลองและเก็บผลการทดลองซ้ำจำนวน 3 ครั้ง เพื่อลดข้อจำกัดในการทดลอง เช่น ข้อจำกัดด้านต้นทุน ข้อจำกัดด้านเวลา และข้อจำกัดด้านความผิดพลาด เป็นต้น เมื่อกำหนดจำนวนการทดลองซ้ำแล้ว จะทำการกำหนดสมมติฐานการทดลอง เพื่อใช้เป็นการกำหนดสมมติฐานเกี่ยวกับสิ่งที่ต้องการทราบต่อไป

3.2.4 การกำหนดสมมติฐานการทดลอง

สมมติฐานหลัก H_0 : อุณหภูมิเริ่มทดลองที่ต่างกันไม่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา

สมมติฐานรอง H_1 : อุณหภูมิเริ่มทดลองที่ต่างกันมีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา

เมื่อ อุณหภูมิเริ่มทดลอง คือ 23, 24, 25, 26, 27, 28 และ 29 องศาเซลเซียส

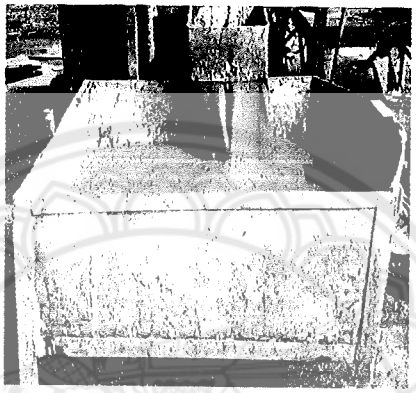
จากการที่คณะผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองแล้ว คณะผู้วิจัยจะทำการทดลองและบันทึกผล เพื่อเก็บผลการทดลองต่อไป

3.3 การทำการทดลองและบันทึกผลของการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิเริ่มทดลองที่ต่างกันที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา

เมื่อได้แบบการทดลองแล้ว คณะผู้วิจัยจะทำการทดลองและบันทึกผล ณ โรงงานกรณีศึกษา โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

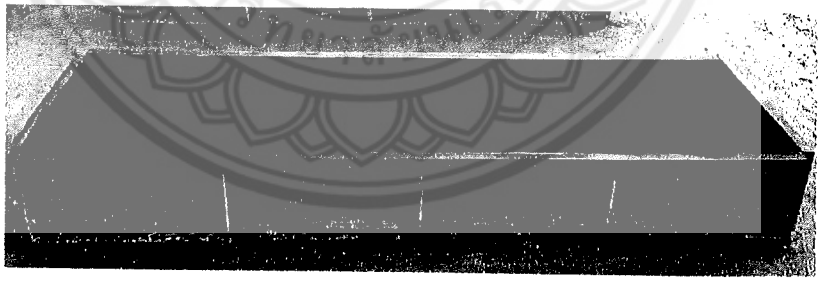
3.3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1.1 มอร์ต้า (ส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ทราย และน้ำ) ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 มอร์ต้า

3.3.1.2 แบบหล่อทำมาจากเหล็ก โดยมีขนาดกว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 240 เซนติเมตร และสูง 20 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แบบหล่อ

3.3.1.3 เครื่องทดสอบแบบไวแคต ดังรูปที่ 3.4 แสดงรายละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 2.8

รูปที่ 3.4 เครื่องทดสอบแบบไวแคต

3.3.1.4 เกรียงสามเหลี่ยมปาดปูน ใช้สำหรับปาดผิวหน้าแบบหล่อ ดังรูปที่ 3.5

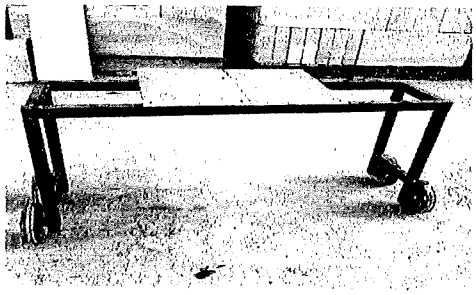
รูปที่ 3.5 สามเหลี่ยมปาดปูน

ที่มา : http://www.scalametal.com/ผลิตภัณฑ์สกาล่า/อลูมิเนียมปาดปูน-หลังเห/

3.3.1.5 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล (ความละเอียดทศนิยม 1 ตำแหน่ง) ดังรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล

3.3.1.6 ฟิกซ์เจอร์วางเครื่องทดสอบแบบไวแคต ใช้สำหรับวางเครื่องทดสอบแบบไวแคต ดังรูปที่ 3.7



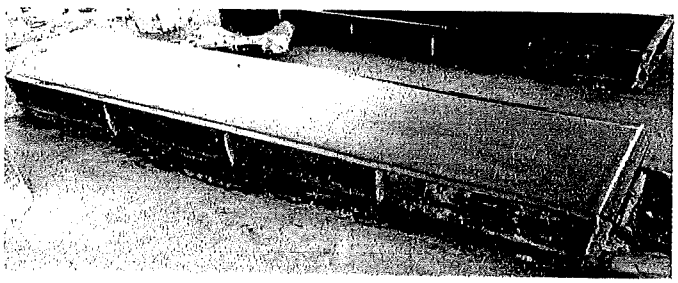
รูปที่ 3.7 ฟิกซ์เจอร์วางเครื่องทดสอบแบบไวแคต

3.3.2 ขั้นตอนในการทดลอง

3.3.2.1 จัดเตรียมส่วนผสมอิฐมวลเบา แบบหล่อ และเครื่องทดสอบแบบไวแคต โดยใช้เข็มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.8

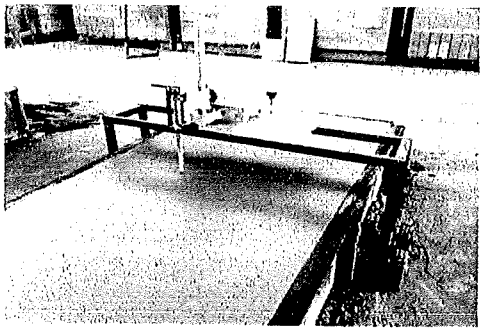
รูปที่ 3.8 จัดเตรียมเครื่องทดสอบแบบไวแคต

3.3.2.2 ผสมส่วนผสม แล้วเทลงในแบบหล่อ จากนั้นใช้สามเหลี่ยมปาดปูนปาดผิวหน้าให้เรียบ ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แบบหล่อหลังจากเทส่วนผสมและปาดผิวหน้า

3.3.2.3 นำเครื่องทดสอบแบบไวแคตวางไว้บนฟิกซ์เจอร์ที่วางคร่อมแบบหล่อที่บรรจุส่วนผสม เลื่อนให้ปลายเข็มแตะผิวของส่วนผสมพอดี และปรับเข็มบอกสเกลให้อยู่ที่ขีดศูนย์ แล้วรอเวลา 210 นาที ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 การวางเครื่องทดสอบแบบไวแคตบนฟิกซ์เจอร์

3.3.2.4 ปล่อยเข็มจมลงในส่วนผสม แล้วจับเวลา 30 วินาที จากนั้นอ่านค่าระยะการจมของเข็มพร้อมกับบันทึกค่าลงในตารางที่ 3.1 จำนวน 3 จุดต่อ 1 แบบหล่อ (การปล่อยเข็มแต่ละครั้งปลายเข็มจะต้องอยู่ห่างจากรอยเข็มเก่าไม่น้อยกว่า 40 มิลลิเมตร และห่างจากขอบแบบหล่อไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร) ดังรูปที่ 3.11

รูปที่ 3.11 ปล่อยเข็มจมลงในส่วนผสม

3.3.2.5 ทำซ้ำข้อ 3.3.2.4 ทุกๆ 30 นาที จำนวน 4 ครั้ง และ 15 นาที จำนวน 1 ครั้ง

<u>หมายเหตุ</u> ทำการทดลองซ้ำ 3 แบบหล่อ โดยเริ่มจากอุณหภูมิเริ่มทดลอง 23, 24, 25, 26, 27, 28 และ 29 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 แบบฟอร์มบันทึกผลการทดลอง 1

เวลา (นาที)	อุณหภูมิเริ่มทดลอง (องศาเซลเซียส)	ค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา (มิลลิเมตร)									หมายเหตุ
		แบบหล่อที่ 1			แบบหล่อที่ 2			แบบหล่อที่ 3			
210	23										
	24										
	25										
	26										
	27										
	28										
	29										
240	23										
	24										
	25										
	26										
	27										
	28										
	29										
270	23										
	24										
	25										
	26										
	27										
	28										
	29										
300	23										
	24										
	25										
	26										
	27										
	28										
	29										

ตารางที่ 3.1 (ต่อ) แบบฟอร์มบันทึกผลการทดลอง 1

เวลา (นาที)	อุณหภูมิเริ่มทดลอง (องศาเซลเซียส)	ค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา (มิลลิเมตร)									หมายเหตุ
		แบบหล่อที่ 1			แบบหล่อที่ 2			แบบหล่อที่ 3			
330	23										
	24										
	25										
	26										
	27										
	28										
	29										
345	23										
	24										
	25										
	26										
	27										
	28										
	29										

เมื่อคณะผู้จัดทำได้ทำการทดลองและบันทึกผลแล้ว จะนำผลการทดลองไปวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติต่อไป

3.4 การวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติของการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิเริ่มทดลองที่ต่างกันที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา

ในการวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติ คณะผู้วิจัยจะนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติ โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

3.4.1 การตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูล

การตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูล เป็นการตรวจสอบความเหมาะสมของผลการทดลอง ก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน และจะต้องมีการตรวจสอบทั้งหมด 3 เงื่อนไข ดังนี้

3.4.1.1 การตรวจสอบการกระจายแบบปกติของข้อมูล จะใช้โปรแกรม Minitab ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยพิจารณาจากกราฟการกระจายแบบแจกแจงของข้อมูล แสดงรายละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 2.4.1

3.4.1.2 การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล จะใช้โปรแกรม Minitab ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยพิจารณาจากกราฟความเป็นอิสระของข้อมูล แสดงรายละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 2.4.2

3.4.1.3 การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนของข้อมูล จะใช้โปรแกรม Minitab ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยพิจารณาจากกราฟความเสถียรของความแปรปรวนของข้อมูล แสดงรายละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 2.4.3

ในการตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูลนั้น ข้อมูลจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขการตรวจสอบทั้ง 3 เงื่อนไข เมื่อข้อมูลผ่านการตรวจสอบความเหมาะสมแล้ว จะนำข้อมูลไปวิเคราะห์ความแปรปรวนต่อไป

3.4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

การวิเคราะห์ความแปรปรวน จะใช้โปรแกรม Minitab ในการวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติ เพื่อศึกษาว่าผลของอุณหภูมิเริ่มทดลองที่ต่างกันมีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบาหรือไม่ โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว แสดงรายละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 2.5.1 เพื่อที่จะได้สรุปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

เมื่อคณะผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติแล้ว จะนำผลการวิเคราะห์ไปสรุปผลการทดลองของการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิเริ่มทดลองที่ต่างกันที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบาต่อไป

3.5 การสรุปผลการทดลองของการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิเริ่มทดลองที่ต่างกันที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา

ในการสรุปผลการทดลอง จะสรุปผลการทดลองจากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ถ้าสรุปได้ว่าอุณหภูมิเริ่มทดลองที่ต่างกันไม่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา ก็จะนำผลการวิเคราะห์ไปใช้ในการกำหนดปัจจัยของการทดลองต่อไป แต่ถ้าสรุปได้ว่าอุณหภูมิเริ่มทดลองที่ต่างกันมีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา ก็จะนำผลการวิเคราะห์ไปใช้ในการกำหนดปัจจัยของการทดลองต่อไปเช่นกัน

3.6 การออกแบบการทดลอง เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเริ่มทดลองและเวลา ที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา

ในขั้นตอนการออกแบบการทดลองนั้น คณะผู้วิจัยได้ทำการออกแบบการทดลอง ดังนี้

3.6.1 การกำหนดปัจจัย

ในการกำหนดปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลอง ได้แบ่งการกำหนดปัจจัยออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

3.6.1.1 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.2.1.1 เมื่อทราบปัจจัยที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบาแล้ว จะทำการคัดเลือกปัจจัยที่ใช้ในการทดลองจากปัจจัยที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบาต่อไป

3.6.1.2 คัดเลือกปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง เป็นการคัดเลือกปัจจัยที่จะนำใช้ในการทดลองโดยคัดเลือกจากปัจจัยที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

ก. ปัจจัยที่เลือกใช้ในการทดลอง คือ เวลา เหตุผลที่ทำการเลือกเวลา เพราะต้องการศึกษาว่าเวลาที่ต่างกันมีผลต่อการทดลองอย่างไร และเวลาสามารถควบคุมระดับในการทำการทดลองได้ โดยสามารถปรับระดับปัจจัยได้ตามความต้องการของผู้ทดลอง ซึ่งมีปัจจัยตอบสนอง คือ ค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา

ข. ปัจจัยที่ไม่ได้เลือกใช้ในการทดลองมี 4 ปัจจัย คือ อุณหภูมิอากาศ เหตุผลที่ไม่ทำการเลือกอุณหภูมิอากาศมาเป็นปัจจัยในการทดลอง เพราะจากการที่คณะผู้วิจัยได้ทำการทดลองในหัวข้อ 3.2–3.5 ทำให้ทราบว่าอุณหภูมิเริ่มทดลองช่วงใดมีผลหรือไม่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบาแล้ว ดังนั้น ในการทดลองนี้คณะผู้วิจัยจะใช้ช่วงอุณหภูมิเริ่มทดลองที่ไม่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา มาใช้เป็นระดับอ้างอิงในการหาความสัมพันธ์เพียงอย่างเดียว ส่วนที่เหลืออีก 3 ปัจจัย คือ ความชื้นสัมพัทธ์ ชนิดของปูนซีเมนต์ และความหนาบางของโครงสร้าง ให้เหตุผลที่ไม่ทำการเลือกไว้ในหัวข้อที่ 3.2.1.2

เมื่อทราบปัจจัยที่ใช้ในการทดลองแล้ว จะทำการกำหนดระดับปัจจัยของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองต่อไป

3.6.2 การกำหนดระดับปัจจัย

จากการกำหนดปัจจัยในหัวข้อที่ 3.6.1.2 คณะผู้วิจัยจะทำการกำหนดระดับปัจจัยเวลา โดยมี 6 ระดับ คือ 210, 240, 270, 300, 330 และ 345 นาที เหตุผลที่ทำการเลือกเวลาทั้ง 6 ระดับนี้ เพราะจากการที่คณะผู้จัดทำได้ทำการเก็บข้อมูลการก่อตัวของอิฐมวลเบา พบว่า อิฐมวลเบาจะเริ่มมีค่าการก่อตัวเมื่อเวลาผ่านไปแล้ว 210 นาที และคณะผู้วิจัยต้องการวัดค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบาเมื่อผ่านไปทุกๆ 30 นาที จนกระทั่งถึง 345 นาที ดังนั้น จึงได้ระดับทั้ง 6 ระดับนี้ มาใช้ในการทดลอง เมื่อกำหนดระดับปัจจัยแล้ว จะทำการกำหนดจำนวนการทดลองซ้ำ เพื่อใช้ในการเก็บผลการทดลองต่อไป

3.6.3 การกำหนดจำนวนการทดลองซ้ำ

ในการกำหนดจำนวนการทดลองซ้ำ จะกำหนดไว้ในหัวข้อที่ 3.2.3 เมื่อกำหนดจำนวนการทดลองซ้ำแล้ว จะทำการกำหนดสมมติฐานการทดลอง เพื่อใช้เป็นการกำหนดสมมติฐานเกี่ยวกับสิ่งที่ต้องการทราบต่อไป

3.6.4 การกำหนดสมมติฐานการทดลอง

สมมติฐานหลัก H_0 : เวลาที่ต่างกันไม่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา

สมมติฐานรอง H_1 : เวลาที่ต่างกันมีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา

เมื่อ เวลา คือ 210, 240, 270, 300, 330 และ 345 นาที

จากการที่คณะผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองแล้ว คณะผู้วิจัยจะทำการทดลองและบันทึกผล เพื่อเก็บผลการทดลองต่อไป

3.7 การทำการทดลองและบันทึกผลของการหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเริ่มทดลองและเวลา ที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา

เมื่อได้แบบการทดลองแล้ว คณะผู้วิจัยจะทำการทดลองและบันทึกผล ณ โรงงานกรณีศึกษา โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

3.7.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองนี้ จะใช้วัสดุและอุปกรณ์ ตามที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.3.1

3.7.2 ขั้นตอนในการทดลอง

ขั้นตอนในการทดลอง มีขั้นตอนการทดลอง ตามที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.3.2 แต่ในขั้นตอนที่ 3.3.2.4 จะบันทึกค่าลงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แบบฟอร์มบันทึกผลการทดลอง 2

อุณหภูมิเริ่มทดลอง (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	ค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา (มิลลิเมตร)									หมายเหตุ
		แบบหล่อที่ 1			แบบหล่อที่ 2			แบบหล่อที่ 3			
23	210										
	240										
	270										
	300										
	330										
	345										

ตารางที่ 3.2 (ต่อ) แบบฟอร์มบันทึกผลการทดลอง 2

อุณหภูมิเริ่มทดลอง (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	ค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา (มิลลิเมตร)									หมายเหตุ
		แบบหล่อที่ 1			แบบหล่อที่ 2			แบบหล่อที่ 3			
24	210										
	240										
	270										
	300										
	330										
	345										
25	210										
	240										
	270										
	300										
	330										
	345										
26	210										
	240										
	270										
	300										
	330										
	345										
27	210										
	240										
	270										
	300										
	330										
	345										

ตารางที่ 3.2 (ต่อ) แบบฟอร์มบันทึกผลการทดลอง 2

อุณหภูมิเริ่มทดลอง (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	ค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา (มิลลิเมตร)									หมายเหตุ
		แบบหล่อที่ 1			แบบหล่อที่ 2			แบบหล่อที่ 3			
28	210										
	240										
	270										
	300										
	330										
	345										
29	210										
	240										
	270										
	300										
	330										
	345										

เมื่อคณะผู้วิจัยได้ทำการทดลองและบันทึกผลแล้ว จะนำผลการทดลองไปวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติต่อไป

3.8 การวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติของการหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเริ่มทดลองและเวลา ที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา

ในการวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติ คณะผู้วิจัยจะนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติ โดยแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

3.8.1 การตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูล

การตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูล จะตรวจสอบตามที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.4.1 ในการตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูลนั้น ข้อมูลจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขการตรวจสอบทั้ง 3 เงื่อนไข เมื่อข้อมูลผ่านการตรวจสอบความเหมาะสมแล้ว จะนำข้อมูลไปวิเคราะห์ความแปรปรวนต่อไป

3.8.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

การวิเคราะห์ความแปรปรวน จะใช้โปรแกรม Minitab ในการวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติ เพื่อศึกษาว่าผลของเวลาที่ต่างกันมีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบาหรือไม่ โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว แสดงรายละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 2.5.1 เพื่อที่จะได้สรุปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ และเมื่อสรุปได้ว่าเวลาที่ต่างกันมีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบาแล้ว จะนำผลการทดลองไปทำการวิเคราะห์การถดถอยต่อไป

3.8.3 การวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล

การวิเคราะห์การถดถอย จะใช้โปรแกรม Minitab ในการวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเริ่มทดลองและเวลา ที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย แสดงรายละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 2.6.1 เพื่อให้ได้ความสัมพันธ์ออกมาในรูปสมการถดถอย เมื่อได้สมการถดถอยดังกล่าวแล้ว จะนำสมการถดถอยมาทดสอบความเหมาะของสมการถดถอย และพยากรณ์เพื่อหาค่าจากการพยากรณ์ไปเปรียบเทียบกับค่าการทดลองต่อไป

3.8.4 การทดสอบความเหมาะสมของสมการถดถอย

เมื่อได้สมการถดถอยแล้ว คณะผู้วิจัยจะทำการทดสอบว่าสมการถดถอยที่ได้มานั้นมีความเหมาะสมกับข้อมูลหรือไม่ โดยจะใช้การทดสอบความเหมาะสมของสมการถดถอย แสดงรายละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 2.7 ถ้าหากสมการถดถอยไม่มีความเหมาะสม จะต้องไปทำการทดลองและวิเคราะห์ผลใหม่อีกครั้ง แต่ถ้าเหมาะสมก็สามารถนำสมการถดถอยไปใช้ได้เลย

เมื่อคณะผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติ และได้สมการถดถอยที่พร้อมใช้แล้ว ถ้าหากนำสมการถดถอยไปใช้ในโรงงานจริงอาจทำให้ผู้จัดการโรงงานและพนักงานใช้งานยาก เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานจะนำสมการถดถอยนี้ ไปใส่ในโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อสร้างโปรแกรมช่วยแสดงผลต่อไป

3.9 การออกแบบโครงสร้างโปรแกรมช่วยแสดงผล

เมื่อได้สมการถดถอยแล้ว คณะผู้วิจัยจะออกแบบโครงสร้างโปรแกรมช่วยแสดงผล โดยในการออกแบบนั้น จะออกแบบแต่ละหน้าแผ่นงานว่าจะประกอบด้วยส่วนใดบ้าง เพื่อให้สะดวกและง่ายต่อการใช้งาน เมื่อทำการออกแบบโครงสร้างโปรแกรมช่วยแสดงผลแล้ว จะทำการเขียนผังงานของโปรแกรมช่วยแสดงผลต่อไป

3.10 การเขียนผังงานของโปรแกรมช่วยแสดงผล

ในการเขียนผังงานของโปรแกรมช่วยแสดงผล เป็นการเขียนผังงานเพื่อที่จะแสดงในแต่ละส่วนของโปรแกรมช่วยแสดงผลที่ได้ออกแบบมานั้นว่าเชื่อมโยงกันอย่างไร โดยจะเขียน Code ลงบนโปรแกรม Microsoft Excel เมื่อเขียนผังงานของโปรแกรมช่วยแสดงผลแล้ว คณะผู้วิจัยจะทำการสร้างโปรแกรมช่วยแสดงผลตามที่ได้ออกแบบมาต่อไป

3.11 การสร้างโปรแกรมช่วยแสดงผล

ในการสร้างโปรแกรมช่วยแสดงผล จะนำฟังก์ชันต่างๆ ในโปรแกรม Microsoft Excel มาใช้ในการเขียน Code เพื่อนำไปสร้างเป็นโปรแกรมช่วยแสดงผล เมื่อสร้างโปรแกรมช่วยแสดงผลเสร็จแล้ว คณะผู้วิจัยจะทำการทดสอบโปรแกรมช่วยแสดงผลต่อไป

3.12 การทดสอบโปรแกรมช่วยแสดงผล

ในการทดสอบโปรแกรมช่วยแสดงผล จะทดสอบโดยคณะผู้วิจัยเป็นผู้ทดสอบเอง เพื่อตรวจสอบดูว่าโปรแกรมช่วยแสดงผลที่ได้สร้างมานั้นใช้งานได้จริงหรือไม่ หรือมีปัญหาอะไรเกิดขึ้นในขณะใช้งานหรือไม่ หากโปรแกรมช่วยแสดงผลที่ได้สร้างมานั้นใช้งานไม่ได้จริง หรือมีปัญหาเกิดขึ้นขณะใช้งาน คณะผู้วิจัยจะนำโปรแกรมช่วยแสดงผลไปปรับปรุงแก้ไขจนกว่าจะสามารถใช้งานได้จริงและไม่เกิดปัญหาขึ้นขณะใช้งาน เมื่อทดสอบโปรแกรมช่วยแสดงผลแล้ว จะนำโปรแกรมช่วยแสดงผลไปทดลองใช้งานจริงต่อไป

3.13 การทดลองใช้งานจริงที่โรงงานกรณีศึกษา พร้อมทั้งประเมินผล

ในการทดลองใช้งานจริงที่โรงงานกรณีศึกษา คณะผู้วิจัยจะนำโปรแกรมช่วยแสดงผลไปให้ผู้จัดการโรงงานและพนักงานใช้งาน พร้อมทั้งประเมินผลการใช้งานของโปรแกรมช่วยแสดงผล โดยจะวัดจากความพึงพอใจจากผู้จัดการโรงงานและพนักงาน จากการทำแบบประเมินความพึงพอใจ โดยเกณฑ์ที่ใช้ในการวัดผลประเมินอยู่ในระดับคะแนนเฉลี่ย 3.51 คะแนนขึ้นไป จากคะแนนเต็ม 5 คะแนน (เกณฑ์การประเมินของสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา และสำนักงานรับรองมาตรฐานและประเมินคุณภาพการศึกษา) แต่ถ้าหากระดับคะแนนเฉลี่ยต่ำกว่า 3.51 คะแนน ก็จะนำโปรแกรมช่วยแสดงผลไปปรับปรุงแก้ไข เมื่อนำโปรแกรมช่วยแสดงผลไปทดลองใช้งานจริงที่โรงงานกรณีศึกษาและผ่านการประเมินความพึงพอใจแล้ว จะทำการสรุปผลการดำเนินโครงงานต่อไป

3.14 การสรุปผลการดำเนินโครงงาน

บทที่ 4
ผลการดำเนินงานวิจัย

จากการที่คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามหัวข้อที่ 3.1 – 3.14 ทำให้ได้ผลการดำเนินการวิจัย แสดงดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.1 ผลการศึกษาและรวบรวมข้อมูล

คณะผู้วิจัยได้ศึกษาและรวบรวมข้อมูล จากหนังสือ งานวิจัย ปริญญานิพนธ์ และสื่อทางอินเทอร์เน็ต ที่เกี่ยวข้องกับโครงงานการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อกำหนดเวลาการทำงานในกระบวนการผลิตอิฐมวลเบา ซึ่งได้ศึกษาและรวบรวมข้อมูล ดังนี้

4.1.1 อิฐมวลเบา

4.1.2 การออกแบบการทดลอง

4.1.3 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

4.1.4 การทดสอบหาค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา

4.1.5 โปรแกรม Minitab

4.1.6 โปรแกรม Microsoft Excel

4.1.7 โปรแกรม VBA

นอกจากนี้คณะผู้วิจัยได้ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในเรื่องเกี่ยวกับการออกแบบการทดลอง ซึ่งในส่วนของรายละเอียดที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมด คณะผู้จัดทำได้แสดงไว้ในบทที่ 2

4.2 ผลการออกแบบการทดลอง เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิเริ่มทดลองที่ต่างกันที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา

คณะผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองแบบปัจจัยเดียว เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต้นกับปัจจัยตอบสนองเพียงอย่างละปัจจัย โดยในการออกแบบการทดลองจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ ปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง ระดับปัจจัย จำนวนการทดลองซ้ำ และสมมติฐานที่ใช้ในการทดลอง โดยมีรายละเอียด ดังนี้

4.2.1 ปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

คณะผู้วิจัยได้คัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการทดลองมากที่สุด คือ อุณหภูมิเริ่มทดลอง เพราะต้องการศึกษาว่าอุณหภูมิเริ่มทดลองที่ต่างกันมีผลต่อการทดลองหรือไม่ โดยมีปัจจัยตอบสนอง คือ ค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา ในการทดลองนั้น คณะผู้วิจัยได้ควบคุมปัจจัยที่ควบคุมได้ตัวอื่นๆ ในหัวข้อที่ 3.2.1 ให้เหมือนกันทุกการทดลอง

4.2.2 ระดับปัจจัย

จากการกำหนดปัจจัยในหัวข้อที่ 4.2.1 คณะผู้วิจัยได้กำหนดปัจจัยเพียงปัจจัยเดียว คือ อุณหภูมิเริ่มทดลอง โดยมีการกำหนดระดับปัจจัยทั้งหมดจำนวน 7 ระดับ คือ 23, 24, 25, 26, 27, 28 และ 29 องศาเซลเซียส เพื่อให้เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนต่อการวิเคราะห์

4.2.3 จำนวนการทดลองซ้ำ

คณะผู้วิจัยได้คำนวณจำนวนการทดลองซ้ำ ดังสมการที่ 2.1 พบว่า ต้องทำการทดลองซ้ำจำนวน 17 ครั้ง แต่เพื่อลดข้อจำกัดด้านต้นทุน ข้อจำกัดด้านเวลา และข้อจำกัดด้านความผิดพลาด ดังนั้น คณะผู้วิจัยจะเก็บผลการทดลองซ้ำจำนวน 3 ครั้ง โดยจะแสดงผลการหาจำนวนการทดลองซ้ำอย่างละเอียด ในภาคผนวก ช

4.2.4 สมมติฐานที่ใช้ในการทดลอง

คณะผู้วิจัยได้ตั้งสมมติฐานขึ้น เพื่อทดสอบปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง และระดับปัจจัยที่กำหนดขึ้นมาว่ามีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบาหรือไม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยได้กำหนดสมมติฐาน ดังนี้

สมมติฐานหลัก H_0 : อุณหภูมิเริ่มทดลองที่ต่างกันไม่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา

สมมติฐานรอง H_1 : อุณหภูมิเริ่มทดลองที่ต่างกันมีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา

เมื่อ อุณหภูมิเริ่มทดลอง คือ 23, 24, 25, 26, 27, 28 และ 29 องศาเซลเซียส

จากการที่คณะผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองแล้ว คณะผู้วิจัยจะทำการทดลองและบันทึกผล เพื่อเก็บผลการทดลองต่อไป

4.3 ผลการทดลองของการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิเริ่มทดลองที่ต่างกันที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา

เมื่อคณะผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลอง ตามหัวข้อที่ 3.3 ณ โรงงานกรณีศึกษา ได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลอง 1

เวลา (นาที)	อุณหภูมิเริ่มทดลอง (องศาเซลเซียส)	ค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา (มิลลิเมตร)									หมายเหตุ
		แบบหล่อที่ 1			แบบหล่อที่ 2			แบบหล่อที่ 3			
210	23	50	50	50	50	50	50	50	50	50	ไม่มีค่าการก่อตัว
	24	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
	25	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
	26	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
	27	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
	28	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
	29	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
240	23	50	50	50	50	50	50	50	50	50	ไม่มีค่าการก่อตัว
	24	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
	25	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
	26	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
	27	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
	28	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
	29	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
270	23	50	50	50	50	50	50	50	50	50	ไม่มีค่าการก่อตัว
	24	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
	25	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
	26	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
	27	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
	28	33	32	35	30	34	32	31	34	35	
	29	31	30	33	35	32	34	32	33	31	
300	23	23	26	30	27	30	29	29	35	31	
	24	27	30	28	31	30	32	29	30	31	
	25	30	25	32	31	28	30	27	32	31	
	26	27	30	31	33	30	31	29	30	28	
	27	25	23	19	18	21	20	20	22	21	
	28	13	16	11	15	18	15	14	15	13	
	29	11	14	12	10	13	12	10	10	11	

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ผลการทดลอง 1

เวลา (นาที)	อุณหภูมิเริ่มทดลอง (องศาเซลเซียส)	ค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา (มิลลิเมตร)									หมายเหตุ
		แบบหล่อที่ 1			แบบหล่อที่ 2			แบบหล่อที่ 3			
330	23	11	11	13	12	14	10	13	11	13	
	24	15	14	16	17	16	18	14	19	18	
	25	14	16	15	15	17	18	15	16	15	
	26	15	13	17	16	13	18	17	20	19	
	27	9	7	9	7	8	8	7	9	8	
	28	7	8	6	7	9	9	8	9	9	
	29	5	6	4	5	7	6	5	6	6	
345	23	7	6	9	7	5	6	8	8	9	
	24	9	7	8	7	10	9	8	10	9	
	25	9	7	8	6	7	7	8	8	9	
	26	6	8	6	7	9	6	8	7	9	
	27	3	5	3	4	4	3	4	5	4	
	28	4	5	4	3	4	5	4	3	5	
	29	3	3	2	4	3	2	2	4	3	

หมายเหตุ การวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติจะวิเคราะห์เฉพาะที่มีค่าการก่อตัวเท่านั้น

4.4 ผลการวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติของการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิเริ่มทดลองที่ต่างกันที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา

เมื่อคณะผู้วิจัยได้ทำการทดลองและบันทึกผล ดังตารางที่ 4.1 แล้ว จากนั้นจะนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติ โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

4.4.1 การตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูล

คณะผู้วิจัยจะนำผลการทดลองมาตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูล ตามที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.4.1 ซึ่งจะต้องมีการตรวจสอบทั้งหมด 3 เงื่อนไข คือ การตรวจสอบการกระจายแบบปกติของข้อมูล การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล และการตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนของข้อมูล โดยมีรายละเอียดในการตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูล ดังนี้

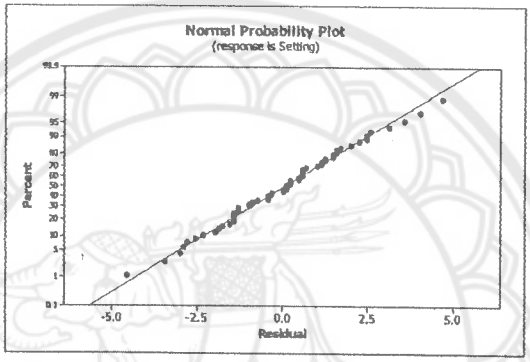
4.4.1.1 การตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูล ที่เวลา 270 นาที

จากตารางที่ 4.1 ที่เวลา 270 นาที มีเพียง 2 ระดับอุณหภูมิเริ่มทดลอง ดังนั้น จึงไม่จำเป็นจะต้องตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูล เพราะไม่สามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว จึงจะนำไปทดสอบสมมติฐานแทน ดังหัวข้อที่ 2.3

4.4.1.2 การตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูล ที่เวลา 300, 330 และ 345 นาที

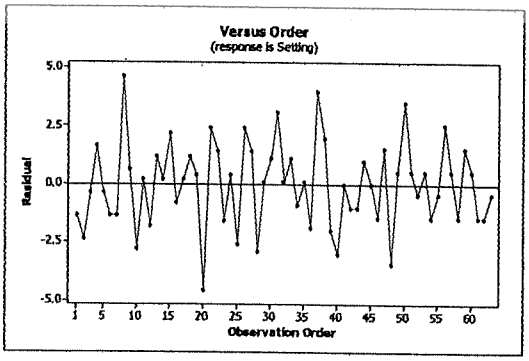
จากตารางที่ 4.1 ที่เวลา 300, 330 และ 345 นาที สามารถตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูลได้ โดยจะแสดงผลการตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูล ที่เวลา 300 นาที ดังนี้

ก. จากการตรวจสอบการกระจายแบบปกติของข้อมูล ดังรูปที่ 4.1 พบว่า ค่าความผิดพลาดของข้อมูลของค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา ที่แสดงบนกราฟมีลักษณะเรียงตัวกันเป็นแนวเส้นตรง ดังหัวข้อที่ 2.4.1 แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีลักษณะเป็นการกระจายแบบปกติ



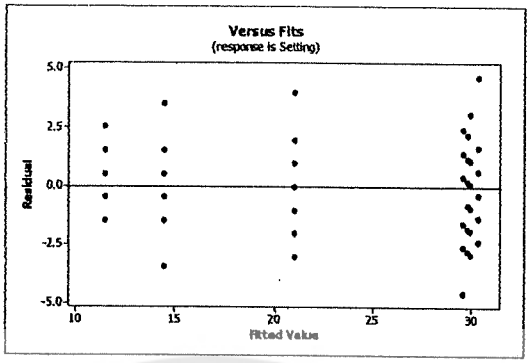
รูปที่ 4.1 กราฟการกระจายแบบปกติของข้อมูล ที่เวลา 300 นาที

ข. จากการตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล ดังรูปที่ 4.2 พบว่า ค่าความผิดพลาดของข้อมูลของค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา ที่แสดงบนกราฟมีลักษณะมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ ไม่สามารถคาดเดาค่าในอนาคตได้ และไม่มีแนวโน้มของกราฟที่จะขึ้นหรือลงเพียงอย่างเดียว ดังหัวข้อที่ 2.4.2 แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความเป็นอิสระของข้อมูล



รูปที่ 4.2 กราฟการตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล ที่เวลา 300 นาที

ค. จากการตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนของข้อมูล ดังรูปที่ 4.3 พบว่า ค่าความผิดพลาดของข้อมูลของค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา ที่แสดงบนกราฟมีลักษณะการกระจายอย่างสม่ำเสมอในกราฟด้านบวกและด้านลบ ดังหัวข้อที่ 2.4.3 แสดงว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน



รูปที่ 4.3 กราฟการตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนของข้อมูล ที่เวลา 300 นาที

ส่วนการตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูล ที่เวลา 330 และ 345 นาที สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 4.2 โดยจะแสดงผลการตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูลอย่างละเอียดในภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.2 ตารางสรุปการตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูล ที่เวลา 330 และ 345 นาที

การตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูล	เวลา (นาที)	
	330	345
การตรวจสอบการกระจายแบบปกติของข้อมูล	✓	✓
การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล	✓	✓
การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนของข้อมูล	✓	✓

หมายเหตุ เครื่องหมาย ✓ หมายถึง ผ่านการตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูล

4.4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

เมื่อผลการทดลองผ่านการตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูลตามหัวข้อที่ 4.4.1 คณะผู้วิจัยจะนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ที่เวลา 300, 330 และ 345 นาที ดังหัวข้อที่ 3.4.2 เพื่อศึกษาว่าอุณหภูมิเริ่มทดลองที่ต่างกันมีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบาหรือไม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยมีรายละเอียดในการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ดังนี้

จากตารางที่ 4.1 ที่เวลา 300, 330 และ 345 นาที สามารถวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวได้ โดยจะแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ที่เวลา 300 นาที ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ที่เวลา 300 นาที

Source	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Squares	F	P-Value
อุณหภูมิเริ่มทดลอง	3,569.78	6	594.96	157.81	0.00
Error	211.11	56	3.77		
Total	3,780.89	62			

ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ที่เวลา 330 และ 345 นาที สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.4 โดยจะแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวอย่างละเอียด ในภาคผนวก ข

ตารางที่ 4.4 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ที่เวลา 330 และ 345 นาที

เวลา (นาที)	ค่า P-Value
330	0.00
345	0.00

สมมติฐานหลัก H_0 : อุณหภูมิเริ่มทดลองที่ต่างกันไม่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา
สมมติฐานรอง H_1 : อุณหภูมิเริ่มทดลองที่ต่างกันมีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา
เมื่อ อุณหภูมิเริ่มทดลอง คือ 23, 24, 25, 26, 27, 28 และ 29 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ 4.3-4.4 พบว่า ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 นั่นคือ อุณหภูมิเริ่มทดลองที่ต่างกันมีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.4.3 การทดสอบสมมติฐาน

จากหัวข้อที่ 4.4.1.1 เนื่องจากที่เวลา 270 นาที ไม่สามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวได้ ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงทำการทดสอบสมมติฐานของอุณหภูมิเริ่มทดลอง 28 และ 29 องศาเซลเซียส และสรุปได้ว่าอุณหภูมิเริ่มทดลอง 28 และ 29 องศาเซลเซียส ไม่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยจะแสดงผลการทดสอบสมมติฐานอย่างละเอียด ในภาคผนวก ค

เมื่อคณะผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติแล้ว จะนำผลการวิเคราะห์ไปสรุปผลการทดลองของการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิเริ่มทดลองที่ต่างกันที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบาต่อไป

4.5 ผลการสรุปการทดลองของการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิเริ่มทดลองที่ต่างกันที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว สามารถสรุปได้ว่า ที่เวลา 300, 330 และ 345 นาที อุณหภูมิเริ่มทดลองที่ต่างกันมีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.6 ผลการออกแบบการทดลอง เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเริ่มทดลองและเวลา ที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา

คณะผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองแบบปัจจัยเดียว เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต้นกับปัจจัยตอบสนองเพียงอย่างละปัจจัย โดยในการออกแบบการทดลองจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ ปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง ระดับปัจจัย จำนวนการทดลองซ้ำ และสมมติฐานที่ใช้ในการทดลอง โดยมีรายละเอียด ดังนี้

4.6.1 ปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

คณะผู้วิจัยได้คัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการทดลองมากที่สุด คือ เวลา เพราะต้องการศึกษาว่าเวลาที่ต่างกันมีผลต่อการทดลองหรือไม่ และเวลาสามารถควบคุมระดับในการทำการทดลองได้ โดยสามารถปรับระดับปัจจัยได้ตามความต้องการของผู้ทดลอง ซึ่งมีปัจจัยตอบสนอง คือ ค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา ในการทดลองนั้น คณะผู้วิจัยได้ควบคุมปัจจัยที่ควบคุมได้ตัวอื่นๆ ในหัวข้อที่ 3.6.1 ให้เหมือนกันทุกการทดลอง

4.6.2 ระดับปัจจัย

จากการกำหนดปัจจัยในหัวข้อที่ 4.6.1 คณะผู้วิจัยได้กำหนดปัจจัยเพียงปัจจัยเดียว คือ เวลา โดยมีการกำหนดระดับปัจจัยทั้งหมดจำนวน 6 ระดับ คือ 210, 240, 270, 300, 330 และ 345 นาที เพื่อให้เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนต่อการวิเคราะห์

4.6.3 จำนวนการทดลองซ้ำ

คณะผู้วิจัยจะใช้การกำหนดจำนวนการทดลองซ้ำ ตามที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 4.2.3

4.6.4 สมมติฐานที่ใช้ในการทดลอง

คณะผู้วิจัยได้ตั้งสมมติฐานขึ้น เพื่อทดสอบปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง และระดับปัจจัยที่กำหนดขึ้นมาว่ามีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบาหรือไม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยได้กำหนดสมมติฐาน ดังนี้

สมมติฐานหลัก H_0 : เวลาที่ต่างกันไม่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา

สมมติฐานรอง H_1 : เวลาที่ต่างกันมีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา

เมื่อ เวลา คือ 210, 240, 270, 300, 330 และ 345 นาที

4.7 ผลการทดลองของการหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเริ่มทดลองและเวลา ที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา

เมื่อคณะผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลอง ตามหัวข้อที่ 3.7 ณ โรงงานกรณีศึกษา ได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลอง 2

อุณหภูมิเริ่มทดลอง (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	ค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา (มิลลิเมตร)									หมายเหตุ
		แบบหล่อที่ 1			แบบหล่อที่ 2			แบบหล่อที่ 3			
23	210	50	50	50	50	50	50	50	50	50	ไม่มีค่าการก่อตัว
	240	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
	270	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
	300	29	28	30	32	30	29	29	35	31	
	330	18	17	18	19	19	17	19	18	17	
	345	10	9	9	10	9	8	7	8	9	
24	210	50	50	50	50	50	50	50	50	50	ไม่มีค่าการก่อตัว
	240	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
	270	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
	300	27	30	28	31	30	32	29	30	31	
	330	15	14	16	17	16	18	14	19	18	
	345	9	7	8	7	10	9	8	10	9	
25	210	50	50	50	50	50	50	50	50	50	ไม่มีค่าการก่อตัว
	240	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
	270	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
	300	30	25	32	31	28	30	27	32	31	
	330	14	16	15	15	17	18	15	16	15	
	345	9	7	8	6	7	7	8	8	9	

ตารางที่ 4.5 (ต่อ) ผลการทดลอง 2

อุณหภูมิเริ่มทดลอง (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	ค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา (มิลลิเมตร)									หมายเหตุ
		แบบหล่อที่ 1			แบบหล่อที่ 2			แบบหล่อที่ 3			
26	210	50	50	50	50	50	50	50	50	50	ไม่มีค่าการก่อตัว
	240	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
	270	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
	300	27	30	31	33	30	31	29	30	28	
	330	15	13	17	16	13	18	17	20	19	
	345	6	8	6	7	9	6	8	7	9	
27	210	50	50	50	50	50	50	50	50	50	ไม่มีค่าการก่อตัว
	240	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
	270	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
	300	25	23	19	18	21	20	20	22	21	
	330	9	7	9	7	8	8	7	9	8	
	345	3	5	3	4	4	3	4	5	4	
28	210	50	50	50	50	50	50	50	50	50	ไม่มีค่าการก่อตัว
	240	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
	270	33	32	35	30	34	32	31	34	35	
	300	13	16	11	15	18	15	14	15	13	
	330	7	8	6	7	9	9	8	9	9	
	345	4	5	4	3	4	5	4	3	5	
29	210	50	50	50	50	50	50	50	50	50	ไม่มีค่าการก่อตัว
	240	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
	270	31	30	33	35	32	34	32	33	31	
	300	11	14	12	10	13	12	10	10	11	
	330	5	6	4	5	7	6	5	6	6	
	345	3	3	2	4	3	2	2	4	3	

<u>หมายเหตุ</u> การวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติจะวิเคราะห์เฉพาะที่มีค่าการก่อตัวเท่านั้น

4.8 ผลการวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติของการหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเริ่มทดลองและเวลา ที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา

เมื่อคณะผู้วิจัยได้ทำการทดลองและบันทึก ดังตารางที่ 4.5 แล้ว จากนั้นจะนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติ โดยแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

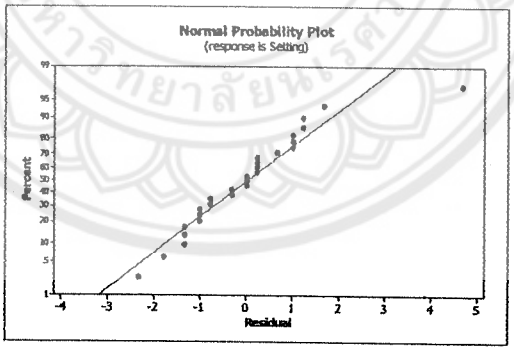
4.8.1 การตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูล

คณะผู้วิจัยจัดทำจะนำผลการทดลองมาตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูล ตามที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.8.1 ซึ่งจะต้องมีการตรวจสอบทั้งหมด 3 เงื่อนไข คือ การตรวจสอบการกระจายแบบปกติของข้อมูล การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล และการตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนของข้อมูล โดยมีรายละเอียดในการตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูล ดังนี้

4.8.1.1 การตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูล ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 23-27 องศาเซลเซียส

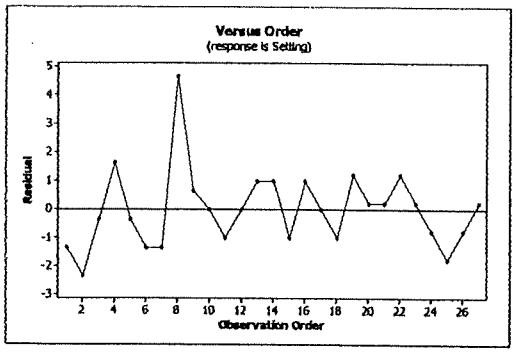
จากตารางที่ 4.5 ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 23-27 องศาเซลเซียส เวลา 300, 330 และ 345 นาที สามารถตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูลได้ โดยแสดงผลการตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูล ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 23 องศาเซลเซียส ดังนี้

ก. จากการตรวจสอบการกระจายแบบปกติของข้อมูล ดังรูปที่ 4.4 พบว่า ค่าความผิดพลาดของข้อมูลของค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา ที่แสดงบนกราฟมีลักษณะเรียงตัวกันเป็นแนวเส้นตรง ดังหัวข้อที่ 2.4.1 แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีลักษณะเป็นการกระจายแบบปกติ



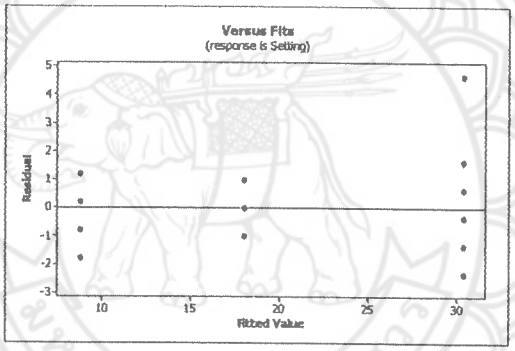
รูปที่ 4.4 กราฟการกระจายแบบปกติของข้อมูล ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 23 องศาเซลเซียส

ข. จากการตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล ดังรูปที่ 4.5 พบว่า ค่าความผิดพลาดของข้อมูลของค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา ที่แสดงบนกราฟมีลักษณะมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ ไม่สามารถคาดเดาค่าในอนาคตได้ และไม่มีแนวโน้มของกราฟที่จะขึ้นหรือลงเพียงอย่างเดียว ดังหัวข้อที่ 2.4.2 แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความเป็นอิสระของข้อมูล



รูปที่ 4.5 กราฟการตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 23 องศาเซลเซียส

ค. จากการตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนของข้อมูล ดังรูปที่ 4.6 พบว่า ค่าความผิดพลาดของข้อมูลของค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา ที่แสดงบนกราฟมีลักษณะมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอในกราฟด้านบวกและด้านลบ ดังหัวข้อที่ 2.4.3 แสดงว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน



รูปที่ 4.6 กราฟการตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนของข้อมูล ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 23 องศาเซลเซียส

ส่วนการตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูล ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 24-27 องศาเซลเซียส สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 4.6 โดยจะแสดงผลการตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูลอย่างละเอียด ในภาคผนวก ง

ตารางที่ 4.6 ตารางสรุปการตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูล ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 24-27 องศาเซลเซียส

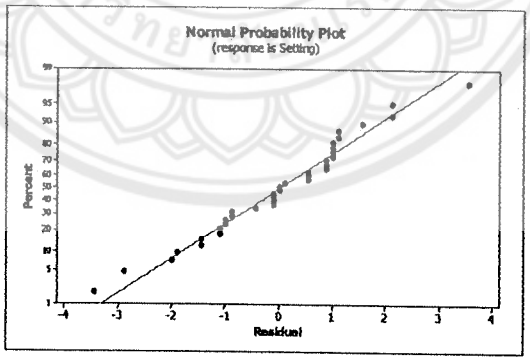
การตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูล	อุณหภูมิเริ่มทดลอง (องศาเซลเซียส)			
	24	25	26	27
การตรวจสอบการกระจายแบบปกติของข้อมูล	✓	✓	✓	✓
การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล	✓	✓	✓	✓
การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนของข้อมูล	✓	✓	✓	✓

หมายเหตุ เครื่องหมาย ✓ หมายถึง ผ่านการตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูล

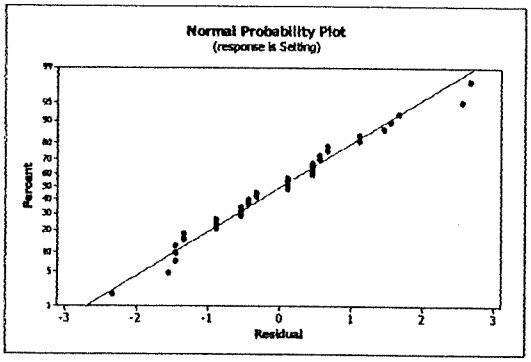
4.8.1.2 การตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูล ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 28 และ 29 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ 4.5 ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 28 และ 29 องศาเซลเซียส เวลา 270, 300, 330 และ 345 นาที สามารถตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูลได้ โดยแสดงผลการตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูล ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 28 และ 29 องศาเซลเซียส ดังนี้

ก. จากการตรวจสอบการกระจายแบบปกติของข้อมูล ดังรูปที่ 4.7 และ 4.8 พบว่า ค่าความผิดพลาดของข้อมูลของค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา ที่แสดงบนกราฟมีลักษณะเรียงตัวกันเป็นแนวเส้นตรง ดังหัวข้อที่ 2.4.1 แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีลักษณะเป็นการกระจายแบบปกติ

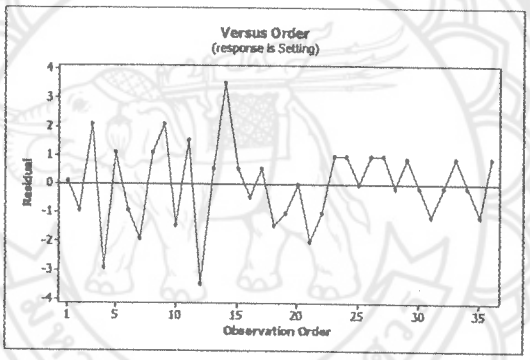


รูปที่ 4.7 กราฟการกระจายแบบปกติของข้อมูล ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 28 องศาเซลเซียส

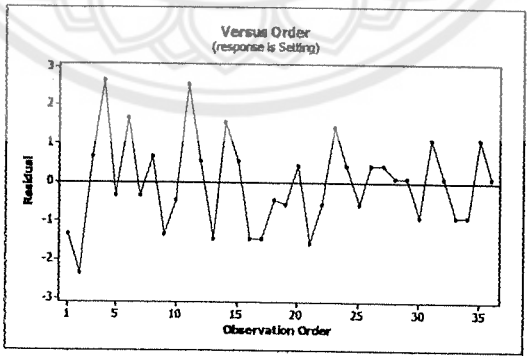


รูปที่ 4.8 กราฟการกระจายแบบปกติของข้อมูล ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 29 องศาเซลเซียส

ข. จากการตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล ดังรูปที่ 4.9 และ 4.10 พบว่า ค่าความผิดพลาดของข้อมูลของค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา ที่แสดงบนกราฟมีลักษณะมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ ไม่สามารถคาดเดาค่าในอนาคตได้ และไม่มีแนวโน้มของกราฟที่จะขึ้นหรือลงเพียงอย่างเดียว ดังหัวข้อที่ 2.4.2 แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความเป็นอิสระของข้อมูล

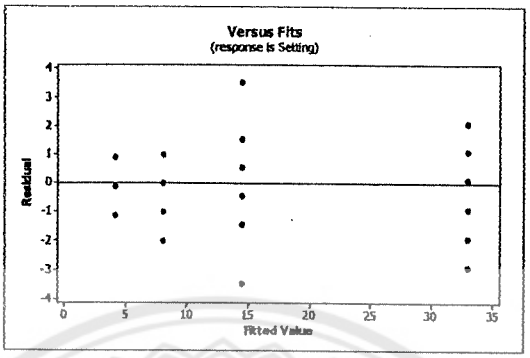


รูปที่ 4.9 กราฟการตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 28 องศาเซลเซียส

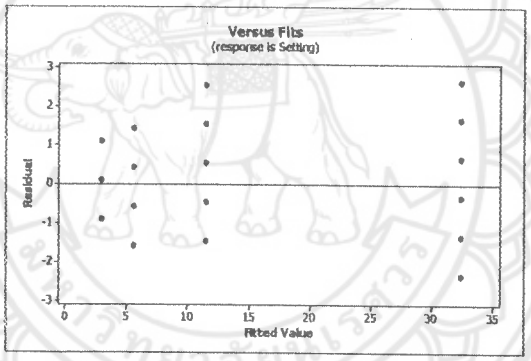


รูปที่ 4.10 กราฟการตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 29 องศาเซลเซียส

ค. จากการตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนของข้อมูล ดังรูปที่ 4.11 และ 4.12 พบว่า ค่าความผิดพลาดของข้อมูลของค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา ที่แสดงบนกราฟมีลักษณะมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอในกราฟด้านบวกและด้านลบ ดังหัวข้อที่ 2.4.3 แสดงว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน



รูปที่ 4.11 กราฟการตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนของข้อมูล ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 28 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.12 กราฟการตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนของข้อมูล ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 29 องศาเซลเซียส

4.8.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

เมื่อผลการทดลองผ่านการตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูลตามหัวข้อที่ 4.8.1 คณะผู้วิจัยจึงนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ดังหัวข้อที่ 3.8.2 เพื่อศึกษาว่าเวลาที่ต่างกันมีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบาหรือไม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยมีรายละเอียดในการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ดังนี้

4.8.2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 23-27 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ 4.5 ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 23-27 องศาเซลเซียส เวลา 300, 330 และ 345 นาที สามารถวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวได้ โดยแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 23 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 23 องศาเซลเซียส

Source	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Squares	F	P-Value
เวลา	2,105.41	2	1,052.71	508.56	0.00
Error	49.56	24	2.07		
Total	2,154.96	26			

ส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 24-27 องศาเซลเซียส สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 4.8 โดยจะแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวอย่างละเอียด ในภาคผนวก จ

ตารางที่ 4.8 ตารางสรุปวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 24-27 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิเริ่มทดลอง (องศาเซลเซียส)	ค่า P-Value
24	0.00
25	0.00
26	0.00
27	0.00

สมมติฐานหลัก H_0 : เวลาที่ต่างกันไม่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา
สมมติฐานรอง H_1 : เวลาที่ต่างกันมีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา
เมื่อ เวลา คือ 300, 330 และ 345 นาที

จากตารางที่ 4.7-4.8 พบว่า ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 นั่นคือ เวลาที่ต่างกันมีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.8.2.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 28 และ 29 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ 4.5 ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 28 และ 29 องศาเซลเซียส เวลา 270, 300, 330 และ 345 นาที สามารถวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวได้ ดังตารางที่ 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.9 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 28 องศาเซลเซียส

Source	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Squares	F	P-Value
เวลา	4,390.31	3	1,463.44	650.42	0.00
Error	72.00	32	2.25		
Total	4,462.31	35			

ตารางที่ 4.10 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 29 องศาเซลเซียส

Source	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Squares	F	P-Value
เวลา	4,804.56	3	1,601.52	1,082.11	0.00
Error	47.33	32	1.48		
Total	4,851.89	35			

สมมติฐานหลัก H_0 : เวลาที่ต่างกันไม่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา

สมมติฐานรอง H_1 : เวลาที่ต่างกันมีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา

เมื่อ เวลา คือ 270, 300, 330 และ 345 นาที

จากตารางที่ 4.9-4.10 พบว่า ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 นั่นคือ เวลาที่ต่างกันมีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 28-29 องศาเซลเซียส เมื่อเวลา คือ 270, 300, 330 และ 345 นาที ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.8.3 การวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล

ในการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล คณะผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

4.8.3.1 การวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูลแยกทุกระดับอุณหภูมิเริ่มทดลอง

การวิเคราะห์การถดถอยของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเริ่มทดลองและเวลาที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 23-29 องศาเซลเซียส คณะผู้วิจัยจะนำผลการทดลองจากตารางที่ 4.5 มาวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล โดยแสดงผลการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 23 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 การวิเคราะห์สมการถดถอย ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 23 องศาเซลเซียส

Predictor	Coef.	P-Value
Constant	373.88	0.00
ค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา	-2.65	0.00
R-Sq (adj) = 0.86		

จากตารางที่ 4.11 จะเห็นว่า ค่า R-Sq (adj) = 0.86 แสดงว่า เวลากับค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบามีความสัมพันธ์กันสูง ดังหัวข้อที่ 2.6.1 ดังนั้น สามารถสร้างสมการถดถอย ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 23 องศาเซลเซียส ดังสมการที่ 4.1 (ค่าทั้งหมดในตารางที่ 4.11 คณะผู้วิจัยได้ปัดขึ้นเป็นจำนวนเต็มในการสร้างสมการถดถอย)

$$\text{เวลา} = 374 - (2.65 \times [\text{ค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา}]) \quad \textbf{(4.1)}$$

โดยที่ เวลา = เวลาการตัดออกเป็นก้อน มีหน่วยเป็น นาที

ค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา = ระยะเข็มจม มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร

ส่วนการวิเคราะห์การถดถอยของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเริ่มทดลองและเวลา ที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 24-29 องศาเซลเซียส สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 4.12 โดยจะแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวอย่างละเอียด ในภาคผนวก ฉ

ตารางที่ 4.12 ตารางสรุปการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 24-29 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิเริ่มทดลอง (องศาเซลเซียส)	สมการถดถอย	ค่า R-Sq (adj)
24	เวลา = 371 – (2.59 x [ค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา])	0.86
25	เวลา = 369 – (2.54 x [ค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา])	0.86
26	เวลา = 366 – (2.48 x [ค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา])	0.86

ตารางที่ 4.12 (ต่อ) ตารางสรุปการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 24-29 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิเริ่มทดลอง (องศาเซลเซียส)	สมการถดถอย	ค่า R-Sq (adj)
27	เวลา = 350 – (2.20 x [ค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา])	0.86
28	เวลา = 348 – (2.46 x [ค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา])	0.95
29	เวลา = 343 – (2.35 x [ค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา])	0.94

จากตารางที่ 4.12 จะเห็นว่า ค่า R-Sq (adj) ≥ 0.80 แสดงว่า เวลากับค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบามีความสัมพันธ์กันสูง ดังหัวข้อที่ 2.6.1 ดังนั้น สามารถสร้างสมการถดถอย ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 24-29 องศาเซลเซียสได้

4.8.3.2 การวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูลรวมทุกระดับอุณหภูมิเริ่มทดลอง

การวิเคราะห์การถดถอยของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเริ่มทดลองและเวลาที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา โดยคณะผู้วิจัยจะนำผลการทดลองจากตารางที่ 4.5 มาวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล ดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 การวิเคราะห์สมการถดถอยรวมทุกระดับอุณหภูมิเริ่มทดลอง

Predictor	Coef.	P-Value
Constant	484.80	0.00
ค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา	-2.22	0.00
อุณหภูมิเริ่มทดลอง	-4.95	0.00
R-Sq (adj) = 0.91		

จากตารางที่ 4.13 จะเห็นว่า ค่า R-Sq (adj) = 0.91 แสดงว่า เวลากับค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบามีความสัมพันธ์กันสูง ดังหัวข้อที่ 2.6.1 ดังนั้น สามารถสร้างสมการถดถอย ดังสมการที่ 4.2 (ค่าทั้งหมดในตารางที่ 4.13 คณะผู้วิจัยได้ปัดขึ้นเป็นจำนวนเต็มในการสร้างสมการถดถอย)

เวลา = 484.80 – (2.22 x [ค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา]) – (4.95 x [อุณหภูมิเริ่มทดลอง]) **(4.2)**

โดยที่ อุณหภูมิเริ่มทดลอง = อุณหภูมิอากาศเริ่มทดลอง มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส

4.8.4 การทดสอบความเหมาะสมของสมการถดถอย

จากการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูลตามหัวข้อที่ 4.8.3 คณะผู้วิจัยจะทำการทดสอบว่าสมการถดถอยที่ได้มานั้น มีความเหมาะสมกับข้อมูลหรือไม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังหัวข้อที่ 3.8.4 โดยจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

4.8.4.1 สมการถดถอยแยกทุกระดับอุณหภูมิเริ่มทดลอง

การทดสอบความเหมาะสมของสมการถดถอยแยกทุกระดับอุณหภูมิเริ่มทดลอง โดยแสดงผลการทดสอบความเหมาะสมของสมการถดถอย ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 23 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ตารางสรุปการทดสอบความเหมาะสมของสมการถดถอย ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 23 องศาเซลเซียส

Source	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Squares	F	P-Value
Regression	105,793	1	105,793	315.80	0.00
Residual Error	17,395	52	335		
Lack of Fit	1,195	12	100	0.25	0.99
Pure Error	16,200	40	405		
Total	123,188	53			

ส่วนการทดสอบความเหมาะสมของสมการถดถอย ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 24-29 องศาเซลเซียส สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 4.15 โดยจะแสดงผลการทดสอบความเหมาะสมของสมการถดถอยอย่างละเอียด ในภาคผนวก ช

ตารางที่ 4.15 ตารางสรุปการทดสอบความเหมาะสมของสมการถดถอย ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 24-29 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิเริ่มทดลอง (องศาเซลเซียส)	Lack of Fit (ค่า P-Value)
24	1.00
25	1.00
26	1.00
27	1.00
28	0.38
29	0.07

สมมติฐานหลัก H_0 : สมการถดถอยมีความเหมาะสม

สมมติฐานรอง H_1 : สมการถดถอยไม่มีความเหมาะสม

จากตารางที่ 4.14-4.15 พบว่า ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.99, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 0.38 และ 0.07 ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นคือ สมการถดถอยมีความเหมาะสม ดังหัวข้อที่ 2.7 ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า สมการถดถอย ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 23-29 องศาเซลเซียส สามารถนำไปใช้งานได้

4.8.4.2 สมการถดถอยรวมทุกระดับอุณหภูมิเริ่มทดลอง

การทดสอบความเหมาะสมของสมการถดถอยรวมทุกระดับอุณหภูมิเริ่มทดลอง โดยแสดงผลการทดสอบความเหมาะสมของสมการถดถอย ดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 การทดสอบความเหมาะสมของสมการถดถอยรวมทุกระดับอุณหภูมิเริ่มทดลอง

Source	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Squares	F	P-Value
Regression	105,303	2	52,652	1,012.54	0.00
Residual Error	10,562	204	52		
Lack of Fit	10,123	102	99	24.75	0.00
Pure Error	439	102	4		
Total	115,865	206			

สมมติฐานหลัก H_0 : สมการถดถอยมีความเหมาะสม

สมมติฐานรอง H_1 : สมการถดถอยไม่มีความเหมาะสม

จากตารางที่ 4.16 พบว่า ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นคือ สมการถดถอยไม่มีความเหมาะสม ดังหัวข้อที่ 2.7 ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า สมการถดถอยรวมทุกระดับอุณหภูมิเริ่มทดลองไม่สามารถนำไปใช้งานได้

เมื่อคณะผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติ และได้สมการถดถอยที่พร้อมใช้งาน คือ สมการถดถอยแยกทุกระดับอุณหภูมิเริ่มทดลอง ถ้าหากนำสมการถดถอยไปใช้ในโรงงานจริงอาจทำให้ผู้จัดการโรงงานและพนักงานใช้งานยาก เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานจะนำสมการถดถอยนี้ ไปใส่ในโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อสร้างโปรแกรมช่วยแสดงผลต่อไป

4.9 ผลการออกแบบโครงสร้างโปรแกรมช่วยแสดงผล

คณะผู้วิจัยได้แบ่งโครงสร้างโปรแกรมช่วยแสดงผล ออกเป็น 3 หน้าต่าง ดังนี้

4.9.1 หน้าต่าง Home

หน้าต่างสำหรับกรอกข้อมูล เพื่อหาเวลาการปาดผิวหน้า และเวลาการตัดออกเป็นก้อน โดยจะมีช่องกรอกข้อมูล ช่องแสดงข้อมูล และปุ่ม VBA ดังรูปที่ 4.13

รูปที่ 4.13 การออกแบบหน้าต่าง Home

ส่วนประกอบหน้าต่าง Home ดังรูปที่ 4.13 ประกอบไปด้วย

4.9.1.1 ช่องกรอกอุณหภูมิเริ่มเท (องศาเซลเซียส)

4.9.1.2 ช่องกรอกเวลาเริ่มเท

4.9.1.3 ช่องกรอกชื่อผู้กรอกข้อมูล

4.9.1.4 ช่องแสดงเวลาการปาดผิวหน้า

4.9.1.5 ช่องแสดงเวลาการตัดออกเป็นก้อน

4.9.1.6 ช่องแสดงการตั้งค่าเวลาการปาดผิวหน้า

4.9.1.7 ช่องแสดงการตั้งค่าความแข็งก่อนตัด

4.9.1.8 ปุ่มกำหนดการตั้งค่าเอง

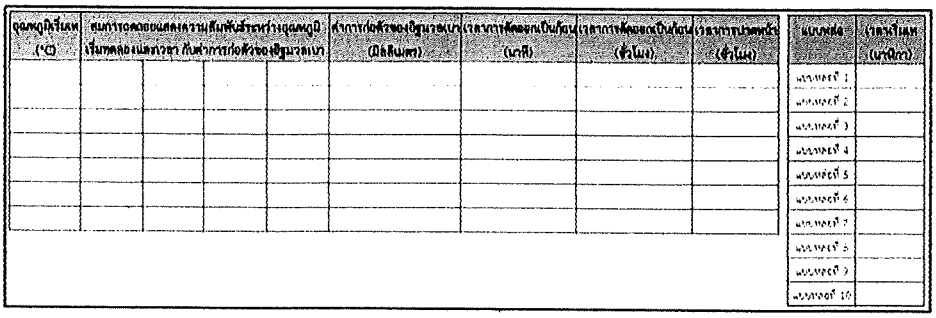
4.9.1.9 ปุ่มตั้งค่าเริ่มต้น

4.9.1.10 ปุ่มล้างข้อมูล

4.9.1.11 ปุ่มพิมพ์

4.9.2 หน้าต่าง Data

หน้าต่างสำหรับเก็บข้อมูลทั้งหมด เพื่อใช้ในการดึงค่ามาแสดงในหน้าต่างอื่นๆ โดยจะมีช่องแสดงข้อมูล ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 การออกแบบหน้าต่าง Data

ส่วนประกอบหน้าต่าง Data ดังรูปที่ 4.14 ประกอบไปด้วย

4.9.2.1 ช่องแสดงอุณหภูมิเริ่มเท (องศาเซลเซียส)

4.9.2.2 ช่องแสดงสมการถดถอยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเริ่มทดลองและเวลาที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา

4.9.2.3 ช่องแสดงค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา

4.9.2.4 ช่องแสดงเวลาการตัดออกเป็นก้อน (นาที)

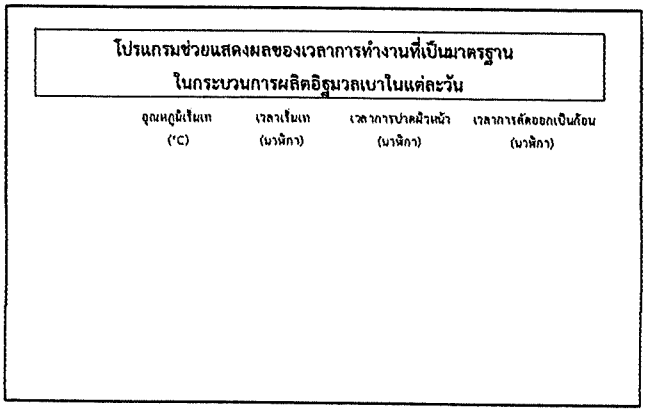
4.9.2.5 ช่องแสดงเวลาการตัดออกเป็นก้อน (ชั่วโมง)

4.9.2.6 ช่องแสดงเวลาการปาดหน้า

4.9.2.7 ช่องแสดงเวลาเริ่มเทแต่ละแบบหล่อ

4.9.3 หน้าต่าง Print

หน้าต่างสำหรับพิมพ์ข้อมูลที่กรอก และแสดงผลในหน้าต่าง Home โดยจะมีช่องแสดงข้อมูล ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 การออกแบบหน้าต่าง Print

ส่วนประกอบหน้าต่าง Print ดังรูปที่ 4.15 ประกอบไปด้วย

4.9.3.1 ช่องแสดงอุณหภูมิเริ่มเท (องศาเซลเซียส)

4.9.3.2 ช่องแสดงเวลาเริ่มเท

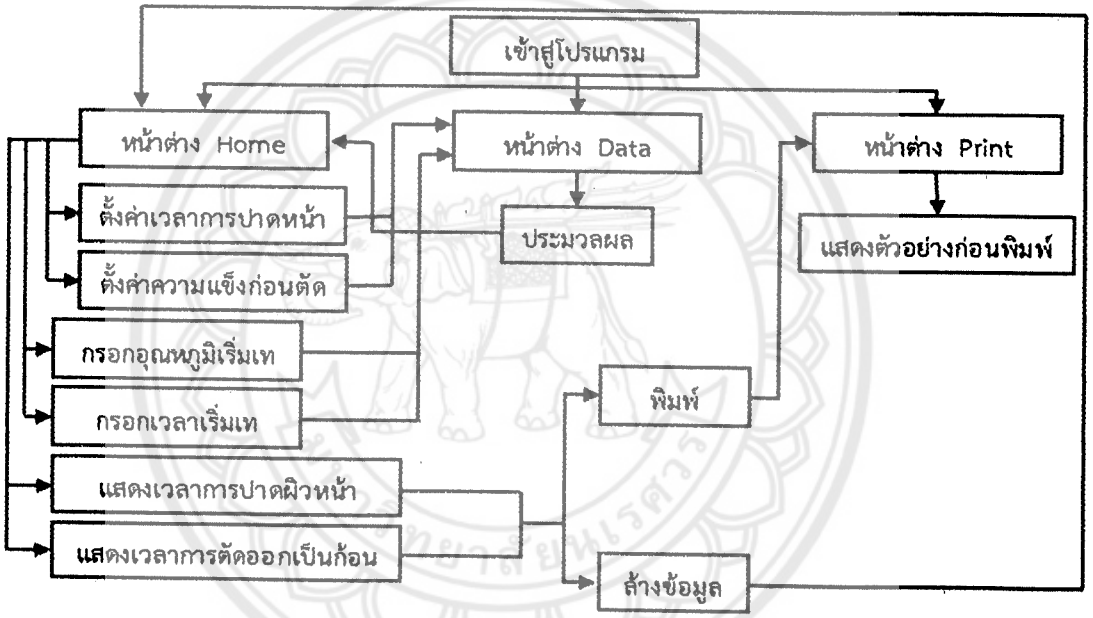
4.9.3.3 ช่องแสดงเวลาการปาดผิวหน้า

4.9.3.4 ช่องแสดงเวลาการตัดออกเป็นก้อน

4.9.3.5 ช่องแสดงชื่อผู้กรอกข้อมูล

4.10 ผลการเขียนผังงานของโปรแกรมช่วยแสดงผล

จากการออกแบบโครงสร้างโปรแกรม มีทั้งหมด 3 หน้าต่าง คณะผู้วิจัยได้นำโครงสร้างโปรแกรมนี้มาเขียนผังงานของโปรแกรม ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 ผังงานของโปรแกรมช่วยแสดงผล

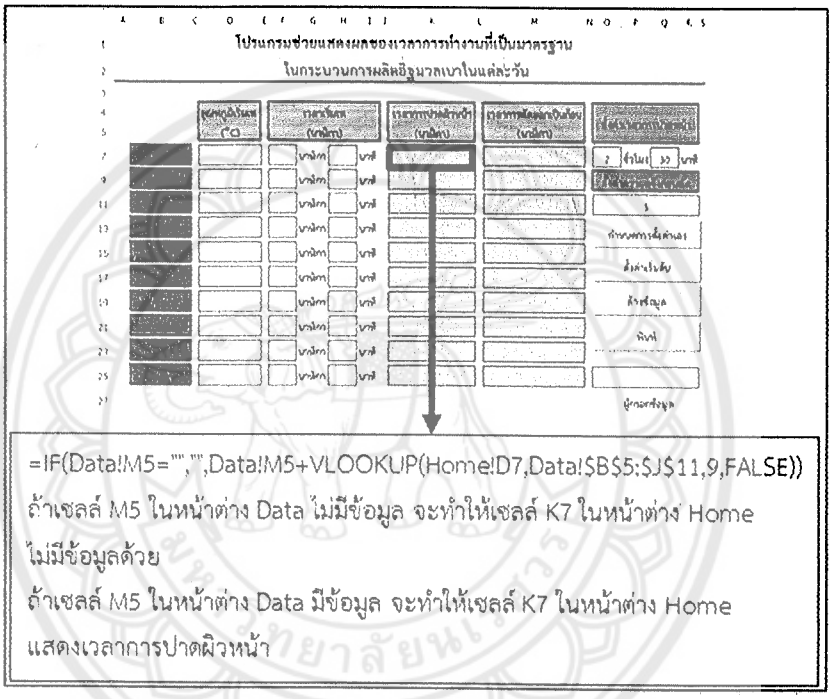
จากรูปที่ 4.16 เมื่อเข้าสู่โปรแกรมจะมี 3 หน้าต่าง คือ หน้าต่าง Home หน้าต่าง Data และหน้าต่าง Print ให้ผู้ใช้งานเริ่มที่หน้าต่าง Home จากนั้นตั้งค่าเวลาการปาดหน้า และความแข็งก่อนตัด ที่ปุ่มกำหนดการตั้งค่าเองหรือปุ่มตั้งค่าเริ่มต้น โปรแกรมจะนำข้อมูลไปประมวลผลและเก็บไว้ที่หน้าต่าง Data จากนั้นทำการกรอกอุณหภูมิเริ่มเท และเวลาเริ่มเท โปรแกรมจะดึงข้อมูลที่เก็บไว้ที่หน้าต่าง Data มาแสดงผลเวลาการปาดผิวหน้า และเวลาการตัดออกเป็นก้อนที่หน้าต่าง Home จากนั้นเมื่อกดปุ่มพิมพ์โปรแกรมจะไปที่หน้าต่าง Print โดยจะแสดงตัวอย่างก่อนพิมพ์ หรือกดปุ่มล้างข้อมูลหากต้องการกรอกข้อมูลใหม่

4.11 ผลการสร้างโปรแกรมช่วยแสดงผล

เมื่อเขียนผังงานของโปรแกรมช่วยแสดงผลแล้ว คณะผู้วิจัยจะนำฟังก์ชันต่างๆ ในหน้าต่าง Microsoft Excel และ VBA มาใช้ในการเขียน Code ดังนี้

4.11.1 หน้าต่าง Home

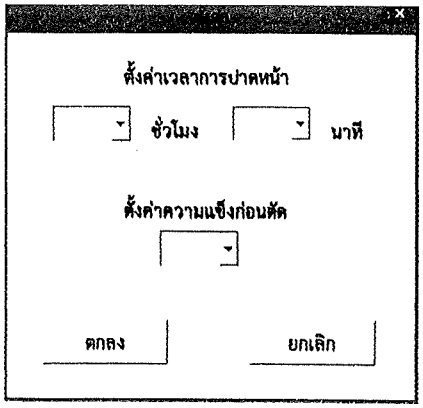
เมื่อเข้าโปรแกรมจะแสดงหน้าต่าง Home จะเป็นแบบฟอร์มให้พนักงานทำการกรอกข้อมูล โดยใช้ Code ฟังก์ชัน IF และฟังก์ชัน VLOOKUP ในช่องแสดงเวลาการปาดผิวหน้า และเวลาการตัดออกเป็นก้อน ลงบนโปรแกรม Microsoft Excel ดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 การสร้างหน้าต่าง Home

โดยมีขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม ดังนี้

4.11.1.1 ตั้งค่าเวลาการปาดหน้า และความแข็งก่อนตัด ที่ปุ่มกำหนดการตั้งค่าเอง โดยมีหน้าต่าง VBA ขึ้นมาให้เลือกเวลาการปาดหน้าตั้งแต่ 1-3 ชั่วโมง และ 0-55 นาที (ห่าง 5 นาที) และความแข็งก่อนตัดตั้งแต่ 1-8 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.18 หรือจะตั้งค่าที่ปุ่มตั้งค่าเริ่มต้น โดยจะกำหนดค่าเวลาการปาดหน้าไว้ที่ 2 ชั่วโมง 30 นาที และความแข็งก่อนตัด 5 มิลลิเมตร



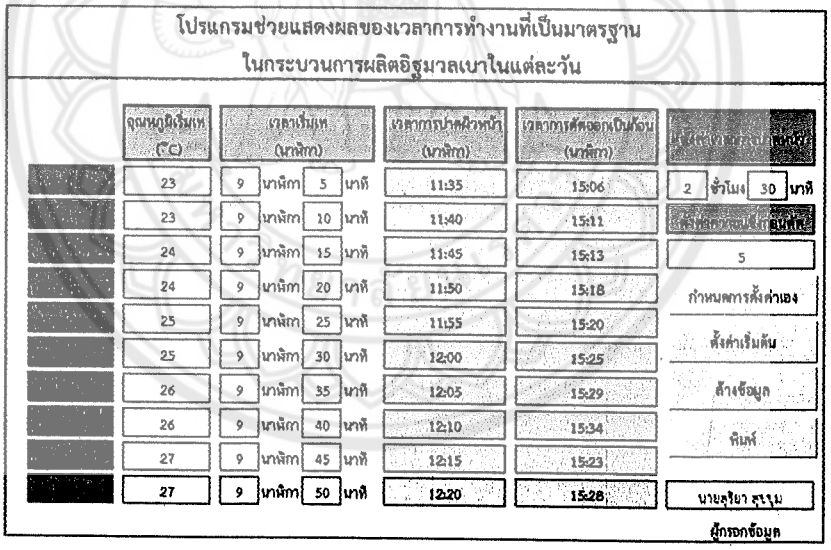
รูปที่ 4.18 หน้าต่าง VBA สำหรับตั้งค่าเวลาการปาดหน้า และความแข็งก่อนตัด

4.11.1.2 กรอกอุณหภูมิเริ่มเท โดยมีให้เลือกตั้งแต่ 23-29 องศาเซลเซียส

4.11.1.3 กรอกเวลาเริ่มเท โดยมีให้เลือกตั้งแต่ 9-12 นาฬิกา และ 0-60 นาที

4.11.1.4 กรอกชื่อผู้บันทึกข้อมูล

เมื่อกรอกข้อมูลครบแล้ว โปรแกรมจะแสดงเวลาการปาดผิวหน้า และเวลาการตัดออกเป็นก้อน ดังรูปที่ 4.19



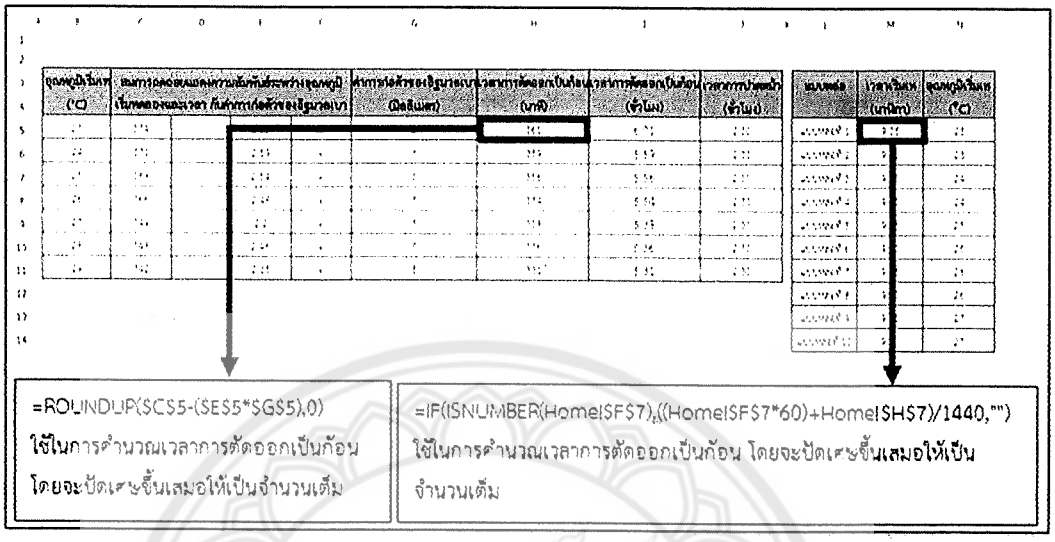
รูปที่ 4.19 การแสดงเวลาการปาดผิวหน้า และเวลาการตัดออกเป็นก้อนที่หน้าต่าง Home

4.11.1.5 กดปุ่มพิมพ์ เพื่อไปยังหน้าต่าง Print หรือกดปุ่มล้างข้อมูลหากต้องการกรอกข้อมูลใหม่

ส่วนการสร้างหน้าต่างบนโปรแกรม VBA จะแสดงผลการสร้างหน้าต่าง ในภาคผนวก ญ

4.11.2 หน้าต่าง Data

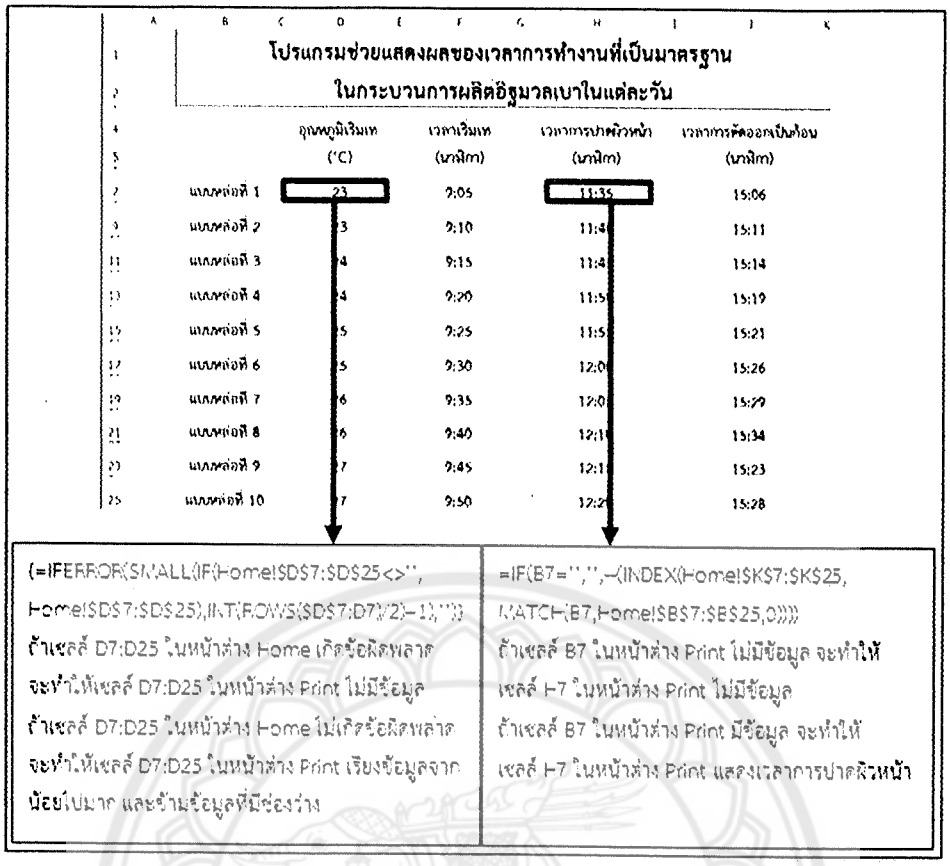
เมื่อกรอกข้อมูลจากหน้าต่าง Home โปรแกรมจะนำข้อมูลไปประมวลผลและเก็บไว้ที่หน้าต่าง Data โดยใช้ Code ฟังก์ชัน ROUNDUP และฟังก์ชัน IF ในช่องแสดงเวลาการตัดออกเป็นก้อน (นาที) และเวลาเริ่มเท ลงบนโปรแกรม Microsoft Excel ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 การประมวลผลและเก็บข้อมูลที่หน้าต่าง Data

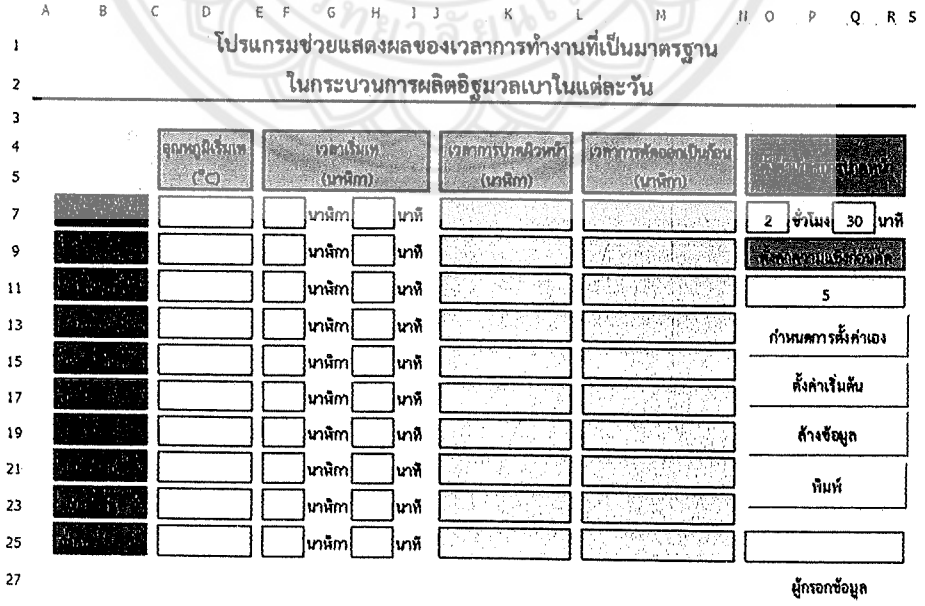
4.11.3 หน้าต่าง Print

เมื่อกรอกข้อมูลจากหน้าต่าง Home แล้วกดปุ่มพิมพ์โปรแกรมจะไปที่หน้าต่าง Print สำหรับพิมพ์ข้อมูลที่กรอก โดยใช้ Code ฟังก์ชัน IFERROR และฟังก์ชัน IF ในช่องแสดงอุณหภูมิเริ่มเท และเวลาการปาดผิวหน้า ลงบนโปรแกรม Microsoft Excel ดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 การแสดงตัวอย่างก่อนพิมพ์ที่หน้าต่าง Print

จากการออกแบบ เขียนผังงาน และสร้างหน้าต่างบนโปรแกรม Microsoft Excel ทำให้ได้โปรแกรมช่วยแสดงผล แสดงดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 โปรแกรมช่วยแสดงผล

4.12 ผลการทดสอบโปรแกรมช่วยแสดงผล

เมื่อได้โปรแกรมช่วยแสดงผล คณะผู้วิจัยได้ทำการทดสอบโปรแกรมช่วยแสดงผล เพื่อตรวจสอบดูว่าโปรแกรมช่วยแสดงผลที่ได้สร้างมานั้นใช้งานได้จริงหรือไม่ หรือมีปัญหาอะไรเกิดขึ้นในขณะใช้งานหรือไม่ โดยได้จัดทำแบบประเมินความถูกต้องของผลลัพธ์ในการใช้งานของโปรแกรมช่วยแสดงผล โดยกรอกข้อมูลอุณหภูมิเริ่มเท เวลาการตัดออกเป็นก้อน (จากโปรแกรมช่วยแสดงผล) และเวลาการตัดออกเป็นก้อน (จากการตัดจริงของพนักงาน) โดยกรอกเวลาการตัดออกเป็นก้อน (จากโปรแกรมช่วยแสดงผล) ไว้ในช่องสุดท้าย และกรอกเวลาในช่องที่เหลือให้ห่างกันช่องละ 2 นาที และทำการประเมินตั้งแต่อุณหภูมิเริ่มเท 23-29 องศาเซลเซียส จำนวนอุณหภูมิเริ่มเทละ 3 ครั้ง แต่จะยกตัวอย่างเพียงอุณหภูมิเริ่มเทละครั้ง ดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ตารางแสดงตัวอย่างผลการประเมินความถูกต้องของผลลัพธ์

ลำดับแบบหล่อ	อุณหภูมิเริ่มเท (องศาเซลเซียส)	เวลาการตัดออกเป็นก้อน (จากโปรแกรมช่วยแสดงผล)	เวลาการตัดออกเป็นก้อน (จากการตัดจริงของพนักงาน)							
1	23	15.17	15.03	15.05	15.07	15.09	15.11	15.13	15.15	15.17
			✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓
2	24	15.39	15.25	15.27	15.29	15.31	15.33	15.35	15.37	15.39
			✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓
3	25	15.25	15.11	15.13	15.15	15.17	15.19	15.21	15.23	15.25
			✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓
4	26	15.51	15.37	15.39	15.41	15.43	15.45	15.47	15.49	15.51
			✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓
5	27	15.22	15.08	15.10	15.12	15.14	15.16	15.18	15.20	15.22
			✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓
6	28	15.45	15.31	15.33	15.35	15.37	15.39	15.41	15.43	15.45
			✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓
7	29	15.01	14.47	14.49	14.51	14.53	14.55	14.57	14.59	15.01
			✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓

หมายเหตุ เครื่องหมาย ✗ หมายถึง ยังไม่สามารถตัดออกเป็นก้อนได้

เครื่องหมาย ✓ หมายถึง สามารถตัดออกเป็นก้อนได้

จากตารางที่ 4.17 จะเห็นว่า ก่อนถึงเวลาการตัดออกเป็นก้อน (จากโปรแกรมช่วยแสดงผล) คณะผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบว่าสามารถตัดออกเป็นก้อนได้หรือไม่ โดยทำการตรวจสอบทั้งหมด 8 ครั้ง รวมเป็นเวลา 16 นาที ถ้าหากครบ 8 ครั้ง ยังไม่สามารถตัดออกเป็นก้อนได้ แสดงว่า โปรแกรมช่วยแสดงผลที่สร้างมานั้นไม่สามารถใช้งานได้จริง แต่ถ้าสามารถตัดออกเป็นก้อนได้ ในครั้งที่ 8 แสดงว่า โปรแกรมช่วยแสดงผลที่สร้างมานั้นสามารถใช้งานได้จริง

ส่วนแบบประเมินความถูกต้องของผลลัพธ์ในการใช้งานของโปรแกรมช่วยแสดงผลทั้งหมดจะแสดง ในภาคผนวก ฎ

4.13 ผลการทดลองใช้งานจริงที่โรงงานกรณีศึกษา พร้อมทั้งประเมินผล

เมื่อได้ผลการทดสอบโปรแกรมช่วยแสดงผลว่าสามารถใช้งานได้จริง และไม่มีปัญหาอะไรเกิดขึ้นในขณะใช้งานแล้ว คณะผู้วิจัยได้นำโปรแกรมช่วยแสดงผล และแบบประเมินความพึงพอใจในการใช้งานของโปรแกรมช่วยแสดงผลไปให้ผู้ใช้งานโปรแกรมได้ทำการประเมินผล ซึ่งผู้ใช้งานโปรแกรมจะประกอบไปด้วย 2 ตำแหน่ง คือ ผู้จัดการโรงงานและพนักงาน จากการประเมินความพึงพอใจในการใช้งานของโปรแกรมช่วยแสดงผล โดยเฉลี่ยพบว่าระดับความพึงพอใจเฉลี่ยรวม คือ 4.79 คะแนน จากคะแนนเต็ม 5 คะแนน ดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 ผลการประเมินความพึงพอใจในการใช้งานของโปรแกรมช่วยแสดงผล

หัวข้อการประเมิน	ตำแหน่ง			
	ผู้จัดการโรงงาน	พนักงาน คนที่ 1	พนักงาน คนที่ 2	พนักงาน คนที่ 3
	ระดับความพึงพอใจ			
1. ความง่ายในการใช้โปรแกรม	4	5	5	5
2. ความเหมาะสมในการเลือกใช้ชนิดตัวอักษรในโปรแกรม	5	5	5	5
3. ความเหมาะสมในการเลือกใช้ขนาดตัวอักษรในโปรแกรม	5	5	5	4
4. ความเหมาะสมในการเลือกใช้สีตัวอักษรในโปรแกรม	4	4	5	5
5. ความเหมาะสมในการเลือกใช้สีพื้นหลังในโปรแกรม	5	5	4	4
6. ความถูกต้อง และชัดเจนของภาษาที่ใช้	5	5	5	5

ตารางที่ 4.18 (ต่อ) ผลการประเมินความพึงพอใจในการใช้งานของโปรแกรมช่วยแสดงผล

หัวข้อการประเมิน	ตำแหน่ง			
	ผู้จัดการโรงงาน	พนักงานคนที่ 1	พนักงานคนที่ 2	พนักงานคนที่ 3
	ระดับความพึงพอใจ			
7. รูปแบบ และความสวยงามของโปรแกรม	5	5	4	5
8. การจัดเก็บข้อมูล มีความเป็นระเบียบเรียบร้อย	5	5	5	4
9. ความพึงพอใจในผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม	5	5	5	5
10. ความรวดเร็วในการประมวลผล	5	5	5	4
11. ความพึงพอใจในตัวโปรแกรม	5	5	5	4
ระดับความพึงพอใจเฉลี่ยแต่ละบุคคล	4.90	4.91	4.82	4.55
ระดับความพึงพอใจเฉลี่ยรวม	4.79			

จากหัวข้อ 3.13 เกณฑ์ที่ใช้ในการวัดผลประเมินอยู่ในระดับคะแนนเฉลี่ย 3.51 คะแนนขึ้นไป จากคะแนนเต็ม 5 คะแนน ดังนั้น ผลการประเมินความพึงพอใจในการใช้งานของโปรแกรมช่วยแสดงผลผ่านเกณฑ์การประเมินที่ตั้งไว้

ส่วนแบบประเมินแบบประเมินความพึงพอใจในการใช้งานของโปรแกรมช่วยแสดงผลทั้งหมดจะแสดง ในภาคผนวก ฏ

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในการดำเนินการวิจัยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อกำหนดเวลาการทำงานในกระบวนการผลิตอิฐมวลเบา สามารถสรุปผลการดำเนินการวิจัยและข้อเสนอแนะ โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.1 สรุปผลการดำเนินการวิจัย

จากการดำเนินการวิจัยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อกำหนดเวลาการทำงานในกระบวนการผลิตอิฐมวลเบา สามารถสรุปผลการดำเนินโครงงานออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

5.1.1 การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิเริ่มทดลองที่ต่างกันที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา

5.1.1.1 การตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูล

จากการตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูล เพื่อตรวจสอบเงื่อนไขก่อนการทดสอบความแปรปรวน ซึ่งมีการตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูล ตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล และการตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนของข้อมูล พบว่า ข้อมูลผ่านเงื่อนไขทั้ง 3 เงื่อนไข สามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลสามารถนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนต่อได้

5.1.1.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล สามารถสรุปได้ว่า อุณหภูมิเริ่มทดลองที่ต่างกันมีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

5.1.2 การหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเริ่มทดลองและเวลา ที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา

5.1.2.1 การตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูล

จากการตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูล เพื่อตรวจสอบเงื่อนไขก่อนการทดสอบความแปรปรวน ซึ่งมีการตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูล ตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล และการตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนของข้อมูล พบว่า ข้อมูลผ่านเงื่อนไขทั้ง 3 เงื่อนไข สามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลสามารถนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนต่อได้

5.1.2.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล สามารถสรุปได้ว่า เวลามีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

5.1.2.3 การวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล

ในการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล คณะผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ก. การวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูลแยกทุกระดับอุณหภูมิเริ่มทดลอง จากการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล พบว่า ค่า R-Sq (adj) ≥ 0.80 แสดงว่า เวลากับค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบามีความสัมพันธ์กันสูง ดังนั้น สามารถสร้างสมการถดถอย ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 23-29 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงสมการถดถอย ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 23-29 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิเริ่มทดลอง (องศาเซลเซียส)	สมการถดถอย	ค่า R-Sq (adj)
23	เวลา = 374 – (2.65 x [ค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา])	0.86
24	เวลา = 371 – (2.59 x [ค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา])	0.86
25	เวลา = 368 – (2.54 x [ค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา])	0.86
26	เวลา = 366 – (2.48 x [ค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา])	0.86
27	เวลา = 349 – (2.20 x [ค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา])	0.86
28	เวลา = 348 – (2.46 x [ค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา])	0.95
29	เวลา = 342 – (2.35 x [ค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา])	0.94

ข. การวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูลรวมทุกระดับอุณหภูมิเริ่มทดลอง จากการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล พบว่า ค่า R-Sq (adj) ≥ 0.80 แสดงว่า เวลา อุณหภูมิเริ่มทดลอง และค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบามีความสัมพันธ์กันสูง ดังนั้น สามารถสร้างสมการถดถอย ดังสมการที่ 5.1

เวลา = 484.80 – (2.22 x [ค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา]) – (4.95 x [อุณหภูมิเริ่มทดลอง]) **(5.1)**

5.1.2.4 การทดสอบความเหมาะสมของสมการถดถอย

ในการทดสอบความเหมาะสมของสมการถดถอย คณะผู้วิจัยจะทำการทดสอบความเหมาะสมของสมการถดถอย โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ก. จากการทดสอบความเหมาะสมของสมการถดถอยแยกทุกระดับอุณหภูมิเริ่มทดลอง ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 23-29 องศาเซลเซียส พบว่า ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.99, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 0.38 และ 0.07 ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นคือ สมการ

ถดถอยมีความเหมาะสม ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า สมการถดถอย ที่อุณหภูมิเริ่มทดลอง 23-29 องศาเซลเซียส สามารถนำไปใช้งานได้

ข. จากการทดสอบความเหมาะสมของสมการถดถอยรวมทุกระดับอุณหภูมิเริ่มทดลอง พบว่า ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นคือ สมการถดถอยไม่มีความเหมาะสม ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า สมการถดถอยไม่สามารถนำไปใช้งานได้

5.1.3 โปรแกรมช่วยแสดงผล

คณะผู้วิจัยได้สร้างโปรแกรมช่วยแสดงผล เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานของผู้จัดการโรงงานและพนักงาน โดยสร้างในโปรแกรม Microsoft Excel มีหน้าต่างทั้งหมด 3 หน้าต่าง ดังนี้

5.1.3.1 หน้าต่าง Home เป็นหน้าต่างสำหรับกรอกข้อมูล เพื่อหาเวลาการปาดผิวหน้าและเวลาการตัดออกเป็นก้อน และเป็นหน้าต่างสำหรับตั้งค่าเวลาการปาดผิวหน้า โดยจะมีเวลาให้เลือกตั้งแต่ 1 ชั่วโมง ถึง 4 ชั่วโมง และตั้งค่าความแข็งก่อนตัดหรือค่าการก่อตัว โดยจะมีค่าให้เลือกตั้งแต่ 1 ถึง 8 มิลลิเมตร โดย 1 มิลลิเมตร จะมีค่าความแข็งก่อนตัดมากที่สุด

5.1.3.2 หน้าต่าง Data เป็นหน้าต่างสำหรับเก็บข้อมูลทั้งหมด เพื่อใช้ในการดึงค่ามาแสดงในหน้าต่างอื่นๆ

5.1.3.3 หน้าต่าง Print เป็นหน้าต่างสำหรับพิมพ์ข้อมูลที่กรอก และแสดงผลในหน้าต่าง Home

เมื่อนำโปรแกรมช่วยแสดงผลไปใช้งาน ณ โรงงานกรณีศึกษา พบว่า สามารถใช้งานได้จริง ไม่มีปัญหาอะไรเกิดขึ้นในขณะใช้งาน และผ่านเกณฑ์การประเมินความพึงพอใจในการใช้งานของโปรแกรมช่วยแสดงผลจากผู้จัดการโรงงานและพนักงาน ในระดับคะแนนเฉลี่ย 4.79 คะแนน จากคะแนนเต็ม 5 คะแนน อยู่ในระดับมากที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินการวิจัยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อกำหนดเวลาการทำงานในกระบวนการผลิตอิฐมวลเบา มีข้อเสนอแนะ ดังนี้

5.2.1 จากการดำเนินการวิจัยในขั้นตอนการทำการทดลองและบันทึกผล พบว่า มีเวลาในการทำการทดลองและบันทึกผลน้อยเกินไป ทำให้ได้สมการถดถอยที่ไม่หลากหลายอุณหภูมิเริ่มทดลอง ถ้าหากผู้ที่สนใจจะศึกษา ควรทำการทดลองและและบันทึกผลอย่างน้อย 1 ปี เพื่อให้ได้ครบทุกฤดู และให้ค่าการทดลองที่แม่นยำ

5.2.2 ควรศึกษาปัจจัยอื่นที่มีผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบาให้ละเอียด เพราะอาจจะส่งผลต่อค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบา

5.2.3 ควรมีเครื่องมือในการวัดค่าการก่อตัว เพื่อใช้เป็นมาตรฐานในการวัดค่าการก่อตัวของอิฐมวลเบาก่อนการตัดออกเป็นก้อน

เอกสารอ้างอิง

กานต์ ลี่วัฒนายิ่งยง. (2557). **สถิติวิศวกรรม (Engineering Statistics).** ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

กิตติศักดิ์ ชูเขียว และคณะ. (2555). **การออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อข้อบกพร่องในงานหล่อแบบทรายชื้น.** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา. (2551). **การออกแบบการทดลองและวิเคราะห์การทดลอง.** กรุงเทพฯ: บริษัท สำนักพิมพ์ท้อป จำกัด.

ปารเมศ ชุติมา. (2545). **การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พัชราวุธ ประพัฒน์วงศ์ และคณะ. (2552). **การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาความเร็วตัดและอัตราป้อนในการไสที่มีผลกระทบต่อความเรียบผิวของเหล็ก ST37.** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

พิชิตพงศ์ ขวัญแย้ม และคณะ. (2552). **การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่มีผลกระทบต่อค่าความแข็งของเหล็ก AISI4140 ที่ผ่านการชุบแข็ง.** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

ยอดชาย สิงห์ทอง และคณะ. (2549). **การศึกษาผลกระทบของฝุ่นหินแทนที่ปริมาณทรายในอิฐมวลเบาแบบเติมฟองอากาศไม่อบไอน้ำ.** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยนเรศวร.