



การหาส่วนผสมของทรายแบบหล่อที่เหมาะสม:

กรณีศึกษาโรงงานหล่อโลหะตัวอย่าง



นายสุรพงศ์ คชพงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา การจัดการงานวิศวกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสยาม

พุทธศักราช 2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสยาม



Determining Appropriate Mixture Components of Sand Mold:

A Case Study of a Casting Factory

Mr. Surapong Kochapong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Engineering Management

Graduate School Siam University

2022



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสยาม
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ปริญญา

การจัดการงานวิศวกรรม
(สาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย
(คณะ)

เรื่อง การหาส่วนผสมของทรายแบบหล่อที่เหมาะสม: กรณีศึกษาโรงงานหล่อโลหะตัวอย่าง
Determining Appropriate Mixture Components of Sand Mold: A Case Study of a Casting
Factory

ผู้แต่ง นาย สุรพงศ์ กชพงศ์
Mr. Surapong Kochapong

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. ยุทธชัย บรรเทึงจิตร)

อาจารย์ที่ปรึกษาที่หลัก.....
(ดร. วีระกานต์ ดอกจันทร์)

อาจารย์ที่ปรึกษาที่ร่วม.....
(ดร. เขาวนระ ฉายนสง)

กรรมการ.....
(รองศาสตราจารย์ ศันสนีย์ สุภภา)

กรรมการ.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อาทิตย์ ไสตรโยม)

ประธานกรรมการ.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. ยุทธชัย บรรเทึงจิตร)

ผู้อำนวยการหลักสูตร

วันที่ 21 เดือน พ.ย พ.ศ. 2565

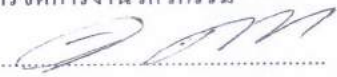
บทคัดย่อ


งานวิจัยเรื่อง : การหาส่วนผสมของทรายแบบหล่อที่เหมาะสม: กรณีศึกษาโรงงาน
หล่อโลหะตัวอย่าง

โดย : นายสุรพงศ์ ฤชพงศ์

ชื่อปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา : การจัดการงานวิศวกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา : 
(ดร.วีรกาจ ดอกจันทร์)

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : 
(ดร.เชาวนะ ฉายแสง)

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสัดส่วนผสมที่ใช้ในการทำแบบหล่อทราย ประกอบด้วย ทราย เบนโทไนต์ และน้ำ โดยโรงงานตัวอย่างมีปัญหาคูณภาพทรายหล่อแบบไม่ได้มาตรฐานตามที่โรงงานกำหนด ส่งผลให้ผิวชิ้นงานหล่อเสียสูงถึงร้อยละ 5-6 ของประเภทของเสียทั้งหมด จึงมีความจำเป็นต้องปรับปรุงอัตราส่วนผสมของทรายที่ทำแบบหล่อ โดยการหาสูตรที่เหมาะสมที่สุด เพื่อลดปัญหาผิวชิ้นงานหล่อเสีย

การวิจัยครั้งนี้ใช้การออกแบบการทดลอง โดยกำหนดปัจจัยหลัก 3 ปัจจัยได้แก่ ทรายมีสัดส่วนผสมร้อยละ 94.00 - 96.50 โดยแบ่งการทดลองเป็น 8 ระดับ เบนโทไนต์มีสัดส่วนส่วนร้อยละ 3.00 - 5.00 แบ่งเป็น 8 ระดับ ละอุน้ำมีสัดส่วนร้อยละ 0.5 - 1 และแบ่งเป็น 8 ระดับ จึงทำให้มี 8 การทดลอง โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง รวมการทดลองทั้งหมด 24 ครั้ง

ผลวิจัยพบว่า ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับส่วนผสมที่ใช้ทำแบบหล่อทรายที่เหมาะสมที่สุด เมื่อ $x+y+z = 100$ โดย x, y และ z คือทราย เบนโทไนต์ และน้ำตามลำดับ สูตรที่ได้คือ 1.สมการค่าของค่า Compact (C) หรือความสามารถในกดอัด จะได้ว่า $C = 50.444x + 35.983y + 103.198z$ 2.สมการค่า Perm (P) หรือความสามารถในการปล่อยซิมอากาศ จะได้ว่า $P = 67.977x + 130.753y - 251.266z$ 3.สมการค่า GCS หรือความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก จะได้ว่า $GCS = 0.533x + 2.737y - 7.916z$ และ 4.สมการค่า Moisture (M) หรือค่าความชื้น จะได้ว่า $M = 68.348x + 64.64y + 85.369z$ ซึ่งเมื่อนำอัตราส่วนผสม ทราย เบนโทไนต์ และน้ำ แทนค่าในสมการทั้ง 4 ผลอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด คือ ทรายร้อยละ 94 เบนโทไนต์ร้อยละ 5 และน้ำร้อยละ 1 ตรงตามมาตรฐานตามที่โรงงานตัวอย่างกำหนด และเมื่อนำไปใช้จริงในโรงงานตัวอย่าง พบว่าผิวชิ้นงานหล่อเสียของข้อจ่อ 90 องศา ขนาด 1 นิ้ว (AL90, 1") ลดลงจากร้อยละ 6.15 เหลือร้อยละ 2.13

คำสำคัญ: ทราย แบบหล่อ สูตรทรายแบบหล่อ

Abstract

Title : Determining Appropriate Mixture Components of Sand Mold:
A Case Study of a Casting Factory

By : Mr. Surapong Kochapong

Degree : Master of Engineering

Major Field : Engineering Management

Thesis Advisor : 
.....
(Dr. Weerakarj Dokchan)

Thesis Co-Advisor : 
.....
(Dr. Chaowana Chaisang)


21 11 22
.....

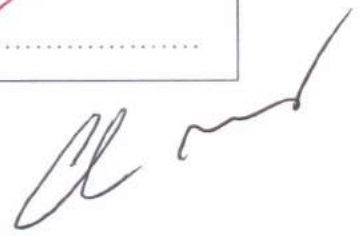
The objective of this thesis was to study the factors related to the mixed proportions used in sand casting, containing sand, bentonite and water. The sample factory had problems with the quality of casting items that did not meet the standards. As a result, the surface defects of castings were as high as 5-6 percent of all types of them. Therefore, it was necessary to improve the mixing ratio of the sand mold to reduce the problem of casting surface defects.

An experimental design was used in this research by determining 3 main factors, including sand (x) with mixed proportion of 94.00 - 96.50 percent, divided into 8 levels. Bentonite (y) had a ratio of 3.00 - 5.00 percent, divided into 8 levels, and water (z) had a ratio of 0.5-1 percent, divided into 8 levels. Thus, 8 experiments were conducted with 3 replications for each level total of 24 trials.

The results showed that the most suitable mix ratio used to make sand castings, when $x+y+z = 100$ percent. Therefore, the equations obtained were: 1) the value equation of compact (C) = $50.444x + 35.983y + 103.198z$; 2) perm (P) equation or $P = 67.977x + 130.753y - 251.266z$; 3) green compressive strength equation (GCS) = $0.533x + 2.737y - 7.916z$; and 4) moisture equation (M) or $M = 68.348x + 64.64y + 85.369z$. When using 94% sand, 5% bentonite, and 1% water, substitute the values in the four equations, the sand casting mixture met the standards. When this ratio was used in the sample factory, it was found that the surface defects of the casting parts of the 1-inch 90 degree elbow decreased from 6.15 to 2.13 percent.

Keywords: sand casting, sand casting formula

Approved by: 
.....



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยการให้คำปรึกษาและแนะนำ พร้อมทั้งได้ช่วยเหลือจาก ดร.วีรกาจ ดอกจันทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร.เชาวนะ ฉายแสง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รวมถึงคณาจารย์บัณฑิตวิทยาลัย สาขาการจัดการงานวิศวกรรม มหาวิทยาลัยสยามทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำพร้อมทั้งตรวจทานการแก้ไขงานจนทำให้งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จได้

ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้บริหารและพนักงานบริษัททุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำการทำวิจัยและการเก็บข้อมูลอันเป็นประโยชน์ต่อการวิจัย จนทำให้การวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ และสิ่งที่สำคัญที่สุดขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา คุณครู อาจารย์ ที่เคยสั่งสอนทุกๆ ท่านรวมทั้งเพื่อนๆ ทุกคน ที่คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำและสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการทำวิจัยทำให้เกิดประโยชน์



สุรพงศ์ กชพงศ์
คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา	3
1.6 นิยามศัพท์	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวข้องกับแบบหล่อทราย	6
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	22
3.1 ศึกษาข้อมูลพื้นฐาน โรงงานกรณีศึกษา	22
3.2 สํารวจงานวิจัยและรวบรวมทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับแบบหล่อทราย และการนำทรายที่ผ่านการใช้งานแล้วนำกลับมาทำเป็นแบบหล่อทราย รวมทั้งการศึกษาผลกระทบของแบบหล่อทรายที่มีผลต่อชิ้นงานหล่อ	22
3.3 กำหนดอัตราส่วนและข้อจำกัดปริมาณของส่วนผสมแบบหล่อทรายตามแผนการทดลองแบบส่วนผสม (mixture experiment)	22
3.4 ทดสอบสมบัติเชิงกลของแบบหล่อทรายพร้อมบันทึกผล	25
3.5 วิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดของแบบหล่อทราย ที่ทำให้สมบัติของแบบหล่อทรายตรงตามมาตรฐาน	29
บทที่ 4 ผลการวิจัย	31
4.1 การศึกษาผลการทดลองเรื่อง การหาส่วนผสมแบบหล่อทรายที่เหมาะสมในอุตสาหกรรม กรณีศึกษาโรงงานหล่อโลหะตัวอย่าง	31
4.2 การศึกษาโปรแกรม เพื่อใช้วิเคราะห์ข้อมูล	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
4.3 การพัฒนาสมการคณิตศาสตร์สำหรับอัตราส่วนผสมทรายทำแบบหล่อ	42
4.4 การนำสมการไปประยุกต์ใช้กับโรงงานหล่อโลหะตัวอย่าง	43
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	45
5.1 การอภิปรายการวิจัย	45
5.2 สรุปผลการวิจัย	51
5.3 ข้อเสนอแนะ	52
บรรณานุกรม	53
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	54



สารบัญรูป

รูปที่		หน้าที่
3.1	ทรายที่จะนำไปผสม	23
3.2	เบนโทไนด์ที่จะนำไปผสม	24
3.3	ทรายที่ผสมกับเบนโทไนด์และน้ำ	24
3.4	ทรายที่ผ่านการผสมเบนโทไนด์ และน้ำและผ่านการกวนแล้ว	25
3.5	นำทรายมาชั่งน้ำหนักโดยต้องคือน้ำหนักถ้วยที่ตวงด้วย	26
3.6	นำทรายที่ผ่านการชั่งน้ำหนักแล้วเข้าเตาอบ	26
3.7	นำทรายร่วนเข้ากระบอกลอด	27
3.8	ทดสอบความสามารถในการกดอัดในสภาพเปียก	27
3.9	ทดสอบความสามารถในการกดอัด	28
3.10	ทดสอบความสามารถในการปล่อยซึ่มอากาศ	28
4.1	หลักการวิธีอ่านค่า x, y, z	37
4.2	กราฟค่า Compact (C) หรือความสามารถในการกดอัด	38
4.3	กราฟค่า Perm (P) หรือ ความสามารถในการปล่อยซึ่มอากาศ	39
4.4	กราฟค่า GCS หรือ ความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก	40
4.5	กราฟค่า Moisture (M) หรือ ความชื้น	41
4.6	ผลแสดงกราฟแกน x, y, z หรือ ทราย, เบนโทไนด์ และน้ำ	42
5.1	กราฟและสมการของความสามารถในกดอัด(Compact)	47
5.2	แสดงกราฟ และสมการของ Perm (P) หรือ ความสามารถในการปล่อยซึ่มอากาศ	48
5.3	แสดงกราฟและสมการของความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก GCS	49
5.4	แสดงกราฟและสมการของค่าความชื้น Moisture	49

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้าที่
3.1 ตารางการดำเนินงานทำวิทยานิพนธ์	30
4.1 ตารางแสดงอัตราส่วนผสมระหว่างทราย เบนโทไนต์ และน้ำ คิดเป็นร้อยละ	32
4.2 ตารางแสดงการทดลองรอบที่ 1 (Repeatation ที่ 1)	33
4.3 ตารางแสดงการทดลองรอบที่ 2 (Repeatation ที่ 2)	34
4.4 ตารางแสดงการทดลองรอบที่ 3 (Repeatation ที่ 3)	35
4.5 ตารางแสดงผลการทดลองเฉลี่ยของการทดลองทั้ง 3 รอบ (3Repeatation)	37
4.6 ตารางแสดงของเสียหลังจากปรับปรุง	44
5.1 ตารางแสดงอัตราส่วนเป็นร้อยละ ของทราย เบนโทไนต์ และน้ำที่ใช้ในการทดลองแต่ละครั้ง	46
5.2 ผลการทดลองเฉลี่ยของการทดลองทั้ง 3 รอบ (3Repeatation)	46
5.3 ตารางแสดงของเสียการหล่อโลหะข้องอ 90 องศา ขนาด 1 นิ้ว (AL90, 1") จำนวน 8,400 ตัว เมื่อใช้ส่วนผสมแบบหล่อทรายที่มีทรายเป็นส่วนประกอบร้อยละ 94, เบนโทไนต์ ร้อยละ 5, น้ำร้อยละ 1	52

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาทางเศรษฐกิจของไทยคือ อุตสาหกรรมเหล็ก เพราะเหล็กจำเป็นต่อการผลิตอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่างๆ การขยายตัวของเศรษฐกิจจึงมีผลกับอุตสาหกรรมเหล็กหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้า และอุตสาหกรรมก่อสร้าง เป็นต้น ดังนั้นอุตสาหกรรมกลุ่มดังกล่าว จึงมีผลต่อความต้องการต่อการใช้เหล็ก

ในช่วงที่ผ่านมา เศรษฐกิจของไทยมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว ทั้งอุตสาหกรรมการผลิตภาคอสังหาริมทรัพย์ ภาคการก่อสร้าง และภาคบริการ ทำให้มีความต้องการใช้เหล็กในประเทศเพิ่มขึ้น เช่น เหล็กเส้นสำหรับก่อสร้าง และเหล็กแผ่นหลากหลายประเภท จึงมีการนำเข้าเหล็กหลายประเภท เพื่อมาใช้ภายในประเทศ ปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเหล็กแผ่นในประเทศหลายรายได้มีการขยายกำลังในการผลิตเพื่อที่จะรองรับแนวโน้มความต้องการที่เพิ่มสูงขึ้น

โดยโรงงานอุตสาหกรรมหล่อโลหะไทยในประเทศไทยมีทั้งสิ้น 444 โรงงาน(ลงทะเบียนไว้กับกรมโรงงานอุตสาหกรรม) จำแนกออกเป็นโรงงานขนาดย่อม คิดเป็นร้อยละ 84.45 โรงงานขนาดกลาง คิดเป็นร้อยละ 13.30 และโรงงานขนาดใหญ่คิดเป็นร้อยละ 2.25 โดยที่อุตสาหกรรมหล่อโลหะไทยได้มีการจ้างงานที่แจ้งไว้กับทางกรมโรงงานอุตสาหกรรม จำนวน 16,746 คน ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑลมีจำนวน 11,313 คน โดยแรงงานเหล่านี้กระจายอยู่ในโรงงานขนาดย่อม 273 โรงงาน มีจำนวน 4,345 คน โรงงานขนาดกลาง 37 โรงงาน มีจำนวน 3,251 คน และโรงงานขนาดใหญ่ 9 โรงงาน มีจำนวน 3,717 คน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2559) ยิ่งแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของโรงงานอุตสาหกรรมหล่อโลหะไทย

อย่างไรก็ตามอุตสาหกรรมหล่อโลหะอาจได้รับผลกระทบจากปัจจัยหลายๆด้าน ได้แก่ ราคาวัตุดิบที่มีแนวโน้มว่าจะสูงขึ้นเรื่อย การขาดแคลนช่างที่มีความชำนาญงาน ในการหล่อโลหะ ความไม่ทันสมัยของเครื่องจักรภายในโรงงาน คุณภาพหรือมาตรฐานการหล่อโลหะ เป็นต้น ดังนั้น

การรักษาระดับและคุณภาพของสินค้า ก็จะช่วยพัฒนาศักยภาพการแข่งขันทั้งภายใน และภายนอกประเทศได้

โรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานหล่อโลหะชนิดแบบหล่อทรายขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่สำคัญของโรงงานคือข้อต่อเหล็กและข้อต่อทองเหลือง มีกำลังการผลิตเดือนละ 1,050 ตัน โดยแบ่งเป็น ข้อต่อเหล็ก 900 ตันต่อเดือน และข้อต่อทองเหลือง 150 ตันต่อเดือน โดยการผลิตจะรับคำสั่งจากลูกค้าโดยตรง ผลิตเพื่อการส่งออกภายนอกประเทศร้อยละ 90 และผลิตเพื่อให้ลูกค้าภายในประเทศร้อยละ 10 จากการสอบถามข้อมูลปัญหาของโรงงานพบว่า มีชิ้นงานเสียร้อยละ 10 (3,000 กิโลกรัม) ต่อวัน ซึ่งปัญหาที่พบส่วนใหญ่เกิดจากสภาพแวดล้อมภายนอกร้อยละ 2 การออกแบบที่ผิดพลาด ร้อยละ 2-3 และเกิดจากแม่แบบหล่อทรายคิดเป็นร้อยละ 6 (1,800 กิโลกรัมต่อวัน)

ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้จึงมุ่งที่จะปรับปรุงแม่แบบหล่อทรายสำหรับใช้ในการหล่อโลหะ เนื่องจากเป็นสาเหตุหลักของของเสียที่เกิดขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อกำหนดค่าสัดส่วน ส่วนผสมที่เหมาะสมในการทำแม่แบบหล่อทรายในอุตสาหกรรมงานหล่อโลหะ

1.2.2 เพื่อลดร้อยละของของเสียของข้อต่อโลหะ ที่มีสาเหตุจากแม่แบบหล่อทรายให้ลดลง

1.3 ขอบเขตของการศึกษาและดำเนินการวิจัย

1.3.1 ศึกษาปรับปรุงเฉพาะสัดส่วนผสมที่เหมาะสมในการสร้างแม่แบบหล่อทราย

1.3.2 ระยะเวลาการศึกษา 1 สิงหาคม พ.ศ.2563 ถึง 30 ต.ค. พ.ศ.2563

1.3.3 มาตรฐานที่ใช้ในโรงงานตัวอย่างเพื่อกำหนดคุณสมบัติแม่แบบหล่อทรายคือ

A.F.S.(American Society Foundry)

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาข้อมูลพื้นฐานต่างๆ ภายในโรงงานกรณีศึกษา เน้นไปที่การศึกษาส่วนผสมของแบบหล่อทรายปัจจุบันที่ใช้ภายในโรงงานกรณีศึกษา

1.4.2 ศึกษางานวิจัยและศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทำแบบหล่อทราย

1.4.3 กำหนดสัดส่วนและข้อจำกัดปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในการทำแบบหล่อทรายที่จะทดลอง

1.4.4 ทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของแม่แบบหล่อทราย ได้แก่ ความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก ความสามารถในการปล่อยชิ้นอากาศ ความชื้น และความสามารถในการกดอัด พร้อมบันทึกผล

1.4.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง เพื่อหาสัดส่วนส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดในการทำแม่แบบหล่อทราย

1.4.6 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะที่เหมาะสมในการทำแบบหล่อทรายให้โรงงานกรณีตัวอย่างพิจารณา

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.5.1 แบบหล่อทราย (Sand Casting)

การหล่อโลหะ โดยวิธีแบบหล่อทราย การออกแบบงานหล่อ และการสร้างกระสวน (Mold) ให้ได้รูปร่างตามต้องการ หากลักษณะงานที่ต้องการให้มีโพรงจะต้องมีขั้นตอนการทำได้แบบเพิ่มมาอีก และก่อนเทจะต้องประกอบได้แบบเข้ากับแบบทรายหล่อให้เรียบร้อย ในขั้นตอนการเตรียมน้ำโลหะ จะต้องมีการควบคุมคุณภาพของน้ำโลหะให้ได้ส่วนผสมตามที่กำหนดเสียก่อน จึงนำไปเทลงในแบบหล่อที่เตรียมไว้ เมื่อเทหล่อแล้ว ปล่อยให้งานหล่อแข็งตัวสมบูรณ์และเย็นตัวลงก่อน จึงทำการรื้อแบบหล่อในขั้นตอนต่อไป จากนั้นจึงเอาชิ้นงานมาตกแต่งหรือนำไปผ่านกระบวนการทางความร้อนจึงจะได้ชิ้นงานสำเร็จที่จะนำไปใช้งานต่อไป

ข้อดี

- สามารถหล่อ โลหะได้เกือบทุกชนิด
- นำพนักงานหล่อได้ไม่จำกัด
- ทรายสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (อาจต้องผสมทรายใหม่ด้วย)
- ผลิตในปริมาณมากๆ

ข้อเสีย

- ผิวงานมีลักษณะหยาบ
- การเผื่อขนาดชิ้นงานมาก
- แม่พิมพ์มีการสึกกร่อนมาก (ขึ้นอยู่กับชนิดของแม่พิมพ์)
- โอกาสเกิด Defect ชนิด Pin Hole สูง

1.5.2 เบนโทไนต์ (Bentonite)

เป็นแร่ดิน (Clay Mineral) ที่มีคุณสมบัติการพองตัวสูง ในทางธรณีวิทยา แร่เบนโทไนต์ อยู่ในตระกูลของแร่ดิน มีสัดส่วนจำนวนธาตุองค์ประกอบที่แตกต่างกันไปตามแหล่งที่พบ ซึ่งทำให้เกิดลักษณะทางกายภาพและทางเคมีที่ไม่ซ้ำกัน ส่วนใหญ่กำเนิดมาจากภูเขาไฟ แร่ดินที่ใช้ประโยชน์ทางการค้าได้ส่วนใหญ่จะเกิดจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์ระหว่างน้ำกับ หินหรือแร่ธาตุของภูเขาไฟที่สามารถรวมตัวได้ในน้ำ ในทางทรัพยากรธรณี แร่เบนโทไนต์ ประกอบด้วยแร่มอนต์มอริลโลไนท์ (Montmorillonite: ซิลิเกตที่มีลักษณะอ่อน และคล้ายดิน) เป็นหลัก ปะปนอยู่ร่วมกับแร่ธาตุต่างๆ เช่น เฟลด์สปาร์ (Feldspar), แคลไซต์ (Calcite), ซิลิกา (Silica), ยิปซั่ม (Gypsum) ฯลฯ แร่มอนต์มอริลโลไนท์ (Montmorillonite) อยู่ในกลุ่มดินสเมคไทต์ (Smectite) ซึ่งรวมถึงแร่ที่มีคุณสมบัติการทำงานคล้ายคลึงกันเช่น ไบเดลไลต์ (Beidellite), ซาโปไนต์ (Saponite), เฮคโตไรต์ (Hectorite)

1.5.3 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

DOE หรือการออกแบบการทดลอง การทดลองที่ได้รับการออกแบบมาอย่างดีจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสืบค้นตัวแปรในกระบวนการ (Process variable) หรือตัวแปรของผลิตภัณฑ์ (Product variable) หรือองค์ประกอบของกระบวนการและผลิตภัณฑ์ที่มีผลต่อคุณภาพและประสิทธิภาพในการผลิต เนื่องด้วยทรัพยากรที่มีอย่างจำกัด (เวลา ต้นทุนการทดลอง บุคลากร วัสดุ ที่ใช้ในการทดลอง และอื่นๆ) ดังนั้นการทดลองแต่ละครั้งจะต้องให้สาระข้อมูลที่สำคัญที่สุด ซึ่ง

การทดลองที่มีการวางแผนที่ดีจะทำให้ได้สาระข้อมูลที่สำคัญและมีคุณภาพมากกว่าการทดลองที่เกิดขึ้นโดยไม่ได้รับการวางแผนมาก่อน การทดลองที่ได้รับการออกแบบมาโดยมากจะมี 4 ขั้นตอน คือ การวางแผน การคัดเลือก การหาค่าที่ดีที่สุด และการทวนสอบ



บทที่ 2

ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับแบบหล่อทราย

2.1.1 ส่วนประกอบพื้นฐานของทรายที่ใช้ทำแบบหล่อ

ทรายที่ใช้ในการทำแบบหล่อ (นิกร มหกรรมโกลา และ พิพัฒน์ สุจิตธรรมกุล, 2539) หมายถึง ทรายที่ทนความร้อนได้สูง ต้นทุนต่ำ ทำให้เปียกหรือหมาดได้ง่าย การอัดตัวมีความแน่นพอดี ไม่ร่วนตัวง่าย บั่นเป็นรูปต่างๆ ได้ง่าย มีอายุยืนยาว ด้านทานต่อน้ำหนักโลหะได้ดี มีอัตราการผ่านดี มีปริมาณน้ำที่พอดี ไหลตามซอกมุมของแบบได้ดี โดยส่วนประกอบที่ใช้ในทรายหล่อโดยทั่วไปคือ (สุกชัย ประเสริฐกุล, 2547)

2.1.1.1 เม็ดทรายหล่อที่ใช้ในงานหล่อ

เม็ดทราย หมายถึง ก้อนวัสดุเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.05-2.5 มิลลิเมตร แยกสลายมาจากหิน โดยธรรมชาติหรือจากการบดย่อยหิน องค์ประกอบทางเคมีหลักคือ ซิลิกา ซึ่งมีองค์ประกอบอื่นๆ เช่น เฟลสปาร์ ไมกา และออกไซด์ของโลหะปนเปื้อนในเนื้อเม็ดทรายด้วย โดยเม็ดทรายซิลิกาจากธรรมชาติที่ใช้ในงานหล่อควรจะมีดินเหนียวระปนมาน้อยกว่า 5% เรียกว่า unbounded sand โดยทรายซิลิกาเป็นเม็ดทรายที่สามารถตกตะกอนรวมกันโดยกระแสน้ำ กระแสลม ซึ่งเม็ดทรายอาจมีความสกรปรกเนื่องจากการปนเปื้อนและความบริสุทธิ์อาจไม่เพียงพอที่จะใช้งาน โดยในทางปฏิบัติเม็ดทรายเหล่านี้จะถูกนำมาร้อนคัดขนาด และทำให้แห้ง ซึ่งทำให้แยกออกได้เป็น ทรายเม็ดกลม (round), เม็ดเหลี่ยม (angular) และเม็ดมน (sub-angular)

ทรายเม็ดกลม (round) ทรายเม็ดกลมที่ใหญ่และสม่ำเสมอจะทำให้การทำแบบง่าย และมีอัตราการผ่านดี เนื่องจากเม็ดทรายกลมมีช่องว่างระหว่างเม็ดทรายมากพอที่ทำให้ก๊าซหนีสู่บรรยากาศได้ดี และทรายเม็ดกลมมีความแข็งแรงต่อการเพิ่มขึ้นของความร้อนอย่างกะทันหัน และไม่เกิดจุดเสียแบบสเคป

ทรายเม็ดเหลี่ยม (angular) ทรายเม็ดเหลี่ยมเมื่อนำมาทำเป็นแบบ การกระทุ้งเพื่อขึ้นแบบจะกระทำได้ง่ายกว่าเม็ดกลม แต่ความแข็งแรงของแบบหล่อจะสูงกว่าทรายเม็ดกลมเพราะทรายเหลี่ยมมีการจับตัวกันเองได้ดีกว่า แต่ถ้าให้ความร้อนอย่างกะทันหัน ทรายชนิดนี้จะขยายตัว และเกิดจุดเสียแบบสเกล เพราะระยะห่างของเม็ดทรายด้วยกันเองมีน้อย

ทรายเม็ดมน (sub-angular) ลักษณะทรายเม็ดมน สมบัติทางด้านคงทนต่อความร้อน และสมบัติคงรูปในสภาพร้อน อัตราการระบายแก๊ส ความสามารถในการร่วนตัว รวมไปถึงการไหลตามซอกแบบอยู่ในเกณฑ์ที่ดี แต่ยังมีคุณสมบัติด้อยกว่าทรายเม็ดกลม เนื่องจากรูปร่างของเม็ดทรายปนกันไม่สม่ำเสมอ

2.1.1.2 ดินเหนียวที่ใช้ในงานหล่อ(Clay)

ดินเหนียวเบนโทไนต์(Bentonite Clay)

ดินเหนียวเบนโทไนต์มีชื่อทางเคมีคือ $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$ จัดอยู่ในกลุ่มแร่มอริลโลไนต์(Montmorillonite) เป็นดินเหนียวที่ถูกดูดซึมและขยายตัวได้มากทำให้มีความเหนียวสูง เหมาะสำหรับผสมกับทรายปั้นแบบ และยังทำให้ความแข็งแรงของแบบหล่อทรายในขณะนั้นมีความแข็งแรงขึ้นอีกด้วย ดินเหนียวเบนโทไนต์แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ ดินชนิดที่เป็นผงละเอียด เมื่อผสมกับน้ำแล้วจะบวมตัวขึ้นมา 4-5 เท่า เนื่องจากดูดน้ำได้ดี และมีความเหนียวมากเป็นพิเศษ มีสมบัติคล้ายกาว และดินชนิดที่ไม่บวมตัว มีความเหนียวเหมือนดินเหนียวธรรมดาแต่ดินจะไม่บวมโป่งพอง โดยปกตินิยมใช้ดินเบนโทไนต์ชนิดแรกในปริมาณเล็กน้อยเพื่อเพิ่มความเหนียวให้วัสดุดิบ และเนื้อดินชนิดต่างๆ่ายต่อการขึ้นรูป ดินเบนโทไนต์ส่วนใหญ่มีแร่เหล็กเจือปนอยู่ด้วย 3-4% จึงมีปัญหาถ้าใส่ในเนื้อดินปริมาณมาก จะทำให้สีดินที่ผสมหมองคล้ำลงจากมลทินของแร่เหล็กหลังการเผา ดังนั้น ถึงแม้ว่าดินเบนโทไนต์จะเป็นวัสดุที่มีความเหนียวสูง แต่จึงถูกจำกัดการใช้เพียงปริมาณเล็กน้อย ถ้าปริมาณดินเหนียวมากเกินไปจะทำให้ความโปร่งอากาศลดลง

ในงานวิจัยเลือกใช้ดินเหนียวโซเดียมเบนโทไนต์(Na-Bentonite) เป็นตัวประสานสมบัติของโซเดียมเบนโทไนต์มีลักษณะเป็นผงละเอียดสามารถร่อนผ่านตะแกรงขนาด

864 kg/m² เมื่อละลายน้ำจะเป็นเมือกเหนียวลื่นสามารถเกาะผิววัสดุอื่นๆ ได้ดี อุณหภูมิการหลอมละลายอยู่ประมาณ 1,038-1,338 องศาเซลเซียส

2.1.1.3 น้ำ

น้ำเป็นส่วนช่วยให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างดินเหนียวและทราย แต่ปริมาณของน้ำต้องอยู่ในขอบเขตที่เหมาะสม ถ้าปริมาณน้ำที่เติมเข้าไปเหมาะสมจะทำให้ดินเหนียวยึดเหนียวกับทรายทำให้เกิดความแข็งแรง ถ้าน้ำน้อยจะทำให้ดินเหนียวผสมกับน้ำไม่ทั่วถึงกัน ทำให้เสียความแข็งแรง แต่ถ้าน้ำมากจะทำให้แบบหล่อทรายอ่อนตัวเกินไป ทำให้สูญเสียความแข็งแรงและทำให้แบบหล่อทรายมีความแน่นของแก๊สมากและไอน้ำที่เกิดขึ้นในขณะสัมผัสกับโลหะหลอมเหลวหนีออกภายนอกได้ยาก ทำให้สูญเสียคุณสมบัติความโปร่งอากาศ(permeability)

2.1.2 สมบัติของแบบหล่อทราย

2.1.2.1 ความโปร่งอากาศ (Permeability)

สมบัติในด้านความโปร่งอากาศ เพื่อให้แก๊สที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้หรือความชื้นเมื่อโลหะหลอมเหลวสัมผัสกับทรายแบบมีทางหนีออกไปได้สะดวก เพราะถ้าแก๊สหรือไอน้ำที่เกิดขึ้นออกไม่ได้ ก็จะดันกลับเข้าไปผสมหรือแทรกอยู่กับโลหะ ซึ่งขณะนั้นยังไม่แข็งตัว ทำให้ชิ้นงานหล่อที่ได้มีรูพรุน

2.1.2.2 ความแข็งแรงอัดในสภาพเปียกและในสภาพแห้ง

ทรายแบบที่ดีจะต้องมีความแข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักตัวเอง ในขณะที่มีการเคลื่อนย้ายได้ โดยไม่พังหรือบิดเบี้ยวไปจากรูปทรงที่ทำขึ้น และสามารถที่จะรับน้ำหนักในขณะที่เทน้ำโลหะลงในแบบ ทรายแบบจะต้องแข็งแรงพอจนไม่เกิดการเซาะ (Erosion) ซึ่งเกิดจากการไหลผ่านของน้ำโลหะ

2.1.2.3 ความแข็งแรงในสภาพร้อน (Hot Strength)

ในขณะที่น้ำโลหะร้อนลงในแบบหล่อทรายแบบจะได้รับความร้อนโดยตรงจากโลหะในขณะที่ยังไม่แข็งตัว ทรายแบบที่ดีจะต้องสามารถรับน้ำหนักของโลหะได้โดยไม่มี การขยายตัวหรือพองตัวซึ่งจะทำให้ได้รูปทรงชิ้นงานตามความต้องการ

2.1.2.4 สมบัติยุบตัวเอง (Collapsibility)

นับว่าเป็นสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของทรายแบบ ในขณะที่เมื่อโลหะแข็งตัวลง รูปร่างที่ดีแล้ว ทรายแบบที่ดีจะต้องไม่คงความแข็งแรงเอาไว้ จะต้องยุบตัวเองหรืออยู่ใน สภาพร้อนขนาดความแข็งแรง ทั้งนี้ก็เพราะจะได้ง่ายต่อการรื้อโลหะที่หล่อแล้วออกมาได้ สะดวก ทรายทำแบบหล่อสามารถถูกนำกลับมาใช้ใหม่ได้หลายครั้ง ดังนั้น การเก็บ รวบรวมทรายหลังจากการแกะแบบจะต้องทำได้โดยง่ายและสะดวก

2.1.2.5 สมบัติคงรูปในสภาพร้อน (Thermal Stability)

ความร้อนจากน้ำโลหะเมื่อสัมผัสกับผนังแบบ (Mold Cavity) จะทำให้เกิดการขยายตัวของ แบบเพิ่มมากขึ้น ทำให้รูปร่างขนาดของชิ้นงานเกิดการบิดเบี้ยวไปจากเดิม ดังนั้นทรายแบบที่ดี จะต้องมีการขยายตัวน้อยที่สุดเมื่อมีการสัมผัสกับความร้อนจากน้ำโลหะ

2.1.2.6 สมบัติคงทนต่อความร้อน (Refractoriness)

ทรายแบบที่ดีจะต้องทนอุณหภูมิสูงได้โดยไม่ละลาย โดยเฉพาะโลหะหล่อ ประเภทความร้อนสูง เช่น เหล็กหล่อ (Cast iron) ซึ่งมีอุณหภูมิถึง 1300-1600 องศา เซลเซียส

2.1.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสมบัติของแบบหล่อทราย

สมบัติต่างๆของแบบหล่อทรายที่มีดินเหนียวหรือเบนโทไนต์เป็นตัวประสานจะ เปลี่ยนไปตามปริมาณความชื้นในทราย คือถ้าเพิ่มความชื้นโดยไม่เปลี่ยนปริมาณเบนโท

ไนต์ ความแข็งแรงจะเพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับจนถึงจุดสูงสุด แต่เมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นอีก ความแข็งแรงจะลดลง และเมื่อให้ปริมาณความชื้นคงที่แต่เพิ่มปริมาณเบนโทไนต์ก็จะ มีลักษณะสมบัติเช่นเดียวกัน สภาพที่แบบหล่อทรายมีความแข็งแรงและการปล่อยซึ่ม อากาศ (Permeability) สูงสุดคือ สภาพที่มีส่วนผสมของเม็ดทราย เบนโทไนต์และน้ำผสม หุ้มอยู่ด้วยความหนาระดับหนึ่ง ในกรณีที่มีความชื้นมากเกินไปจะมีผลทำให้สมบัติในด้าน ความแข็งแรงและการปล่อยซึ่มอากาศลดลง เพราะเบนโทไนต์ที่มีความชื้นมากเกินไปจะ ขยายเข้าไปอยู่ในที่ว่างระหว่างเม็ดทราย และในกรณีที่ความชื้นไม่เพียงพอก็จะทำให้ความ แข็งแรงลดลงเช่นกัน เนื่องจากความเหนียวของเบนโทไนต์ลดลง นอกจากนั้น เบนโทไนต์ ที่ยังอยู่ในสภาพผงเข้าไปอุดที่ว่างระหว่างเม็ดทรายทำให้สมบัติการปล่อยซึ่มมีค่าลดลง ดังนั้น การควบคุมปริมาณส่วนผสมจึงถือว่าเป็นเรื่องสำคัญในการควบคุมคุณภาพแบบ หล่อทราย (หริส สุตะบุตร และ เคนยิ จิยอวา, 2543)

2.1.4 การทดสอบสมบัติของทรายแบบ (Molding and Testing)

2.1.4.1 การทดสอบความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก

สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบนี้คือ เครื่อง Universal sand strength ซึ่งเป็นการทดสอบการรับแรงอัดของชิ้นงานตัวอย่าง โดยการเพิ่มแรงกระทำไปยังชิ้นตัวอย่างด้วย อัตราความเร็วสม่ำเสมอ (อัตราความเร็วของแรงกดอัดประมาณ 1.896 Kg/cm^2 ใน ระยะเวลา 15 วินาที) จนกระทั่งชิ้นงานตัวอย่างเกิดการแตกแล้วทำการที่ค่าความแข็งแรง อัดในหน่วยกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (Kg/cm^3)

2.1.4.2 การทดสอบการปล่อยซึ่มอากาศ

การทดสอบความสามารถในการปล่อยซึ่มอากาศเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบคือ เครื่อง Electric permeability meter การทดสอบนี้เป็นดัชนีชี้วัดแสดงให้เห็นถึงปริมาณ อากาศภายใต้ความดันอากาศคงที่สามารถไหลผ่านชิ้นงานตัวอย่างมาตรฐานซึ่งค่าตัวเลข ของการปล่อยซึ่มอากาศสามารถอ่านค่าจากหน้าปัดเครื่องมือทดสอบได้เลย โดยมีหน่วยวัด เป็นปาสคาล

2.1.4.3 การทดสอบค่าความสามารถในการกดอัดของทราย

การทดสอบความสามารถในการกดอัดของทรายเป็นการทดสอบสมบัติของทรายแบบ เพื่อเป็นการบ่งบอกถึงความสามารถในการกดอัดของทรายโดยไม่ทำให้แบบหล่อมีการพังหรือยุบตัว โดยใช้ชุดเครื่องมือในการทดสอบวัดแบบอัดทราย โดยใช้เครื่อง Sand rammer และ compact ability kits ทำการทดสอบโดย เตรียมชิ้นงานโดยอัดทรายแบบในกระบอกมาตรฐานด้วยเครื่องมืออัดโดยชกกลูกเบียร์ที่มีน้ำหนัก 14 ปอนด์สูงจากระดับ 2 นิ้ว ปล่อยให้ตกกระทบบนพื้นทรายตัวอย่างจำนวน 3 ครั้ง ทรายแบบตัวอย่างในกระบอกจะถูกอัดตัวกันจนแน่น และมีความสูงประมาณ $1232 \pm$ นิ้ว โดยวัดจากไม้บรรทัด

2.1.4.4 ค่าความชื้นของทราย

ปริมาณความชื้นในแบบทรายเป็นดัชนีชี้วัดแสดงให้เห็นถึงเปอร์เซ็นต์ความชื้นทรายที่มีผลต่อความแข็งแรงแบบ โดยใช้เตาอบ โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้ ซึ่งภาชนะใส่ทรายแบบด้วยเครื่องชั่งความละเอียด 3 ตำแหน่ง จดบันทึกค่าแล้วกด Tare ให้ค่าที่อ่านจากเครื่องชั่งเป็นศูนย์ จากนั้น ตักทรายแบบขนาด 50 กรัม ใส่ภาชนะใส่ทรายแบบชั่งน้ำหนักและจดบันทึกค่า และนำทรายเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที สุดท้ายก็นำทรายออกจากเตาอบแล้วชั่งด้วยเครื่องชั่ง จดบันทึกค่าที่ได้และคำนวณปริมาณความชื้น

2.1.2 การออกแบบการทดลอง

2.1.2.1 หลักการพื้นฐานของการออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลอง (Experimental Design or Design of Experiments) คือ การทดสอบครั้งเดียวหรือต่อเนื่อง โดยเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรนำเข้า (Input Variables) ในระบบหรือกระบวนการที่สนใจศึกษา เพื่อที่จะทำให้สามารถสังเกตและชี้ถึงสาเหตุต่างๆ ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ที่ได้ (Outputs or Responses) จากกระบวนการหรือระบบนั้น (ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา, 2551) โดยตัวแปรนำเข้าจะถูกจัดแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ควบคุมได้ เรียกว่า ตัวแปร (หรือปัจจัย) ที่ควบคุมได้ (Controllable Variables or Factors) หรือตัวแปร (หรือปัจจัย) ที่สามารถออกแบบได้ (Design Variables or Factors) และกลุ่มที่ไม่สามารถควบคุมได้ เรียกว่า ตัวแปร (หรือปัจจัย) ที่รบกวนระบบ

(Uncontrollable or Noise Variables (Factors) โดยทั่วไปแล้วตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้หรือตัวแปรรบกวน (Noise Variables) จะเกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมในธรรมชาติ เช่น ลม อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ฝุ่น ส่วนตัวแปรที่ควบคุมได้เช่น ที่มาของวัตถุดิบ เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต เครื่องจักร พนักงาน การออกแบบการทดลองมีหลักสำคัญ 3 ประการเพื่อช่วยให้การทดลองมีความถูกต้องเที่ยงตรง และแม่นยำ ได้แก่

2.1.2.2 หลักการสุ่มตัวอย่าง (Randomization)

โดยจัดลำดับที่เกี่ยวข้องในการทดลองให้เป็นแบบสุ่ม เช่น ลำดับสิ่งของที่ใช้ในการทดลอง ลำดับของ

การทดลองและการวัดผลว่าจะทำเงื่อนไขใดก่อน หลัง ซึ่งหลักการสุ่มจะช่วยสมดุลความผิดพลาดที่เกิดจากปัจจัยรบกวนที่ไม่สามารถควบคุมได้ หรือไม่ทราบ หรือไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ เช่น ผลกระทบที่เกิดจากความเหนื่อยล้าของผู้ปฏิบัติงาน ผลกระทบด้านสภาพแวดล้อมของการทดลอง นอกจากนั้นข้อกำหนดเบื้องต้นในการวิเคราะห์การทดลอง กำหนดให้ข้อมูลและความผิดพลาดในการทดลองจะต้องเป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบอิสระ (Independently Distributed Random Variables) และมาจากกลุ่มประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติ โดยมีค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนคงที่ แต่ในการทดลองอาจมีปัจจัยรบกวนที่ส่งผลต่อการทดลองเนื่องจากลำดับหรือเวลาในการทดลองส่งผลให้การทดลองมีความสัมพันธ์ (Correlated) กับเวลาหรือปัจจัยรบกวนอื่น ๆ ซึ่งส่งผลให้ไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดเบื้องต้นในการวิเคราะห์ทางสถิติ ซึ่งหลักการสุ่มจะช่วยสนับสนุนให้สอดคล้องกับข้อกำหนดดังกล่าวมากขึ้น

2.1.2.3 การทดลองซ้ำ (Replication)

คือการทดลองภายใต้เงื่อนไขเดียวกันมากกว่า 1 ครั้ง เพื่อยืนยันและเพิ่มความถูกต้องของผลการทดลอง ช่วยให้ผู้ทดลองสามารถคำนวณค่าความผิดพลาด (Error/Random Noises) ในการทดลองเพื่อใช้ในการประมาณค่าความแปรปรวนในการทดลองที่ใช้เป็นหน่วยพื้นฐานสำหรับเปรียบเทียบกับผลกระทบของปัจจัยว่ามีผลต่อการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ หรือไม่ โดยการทดลองซ้ำในกรณีนี้จะหมายถึงการทำซ้ำอย่างแท้จริง (True Independent Replication) ซึ่งหมายถึงการทำทดลองเงื่อนไขเดียวกันมากกว่า 1 ครั้งและในการทดลองแต่ละครั้งต้องเริ่มทำการทดลองตั้งแต่ขั้นตอนแรกจนสิ้นสุดท้าย อย่างไรก็ตามการทดลองซ้ำจะมีข้อเสียคือ สิ้นเปลืองทรัพยากรในการทดลอง

2.1.3 การบล็อก (Blocking)

ระหว่างการทดลองระดับของปัจจัยที่ไม่ได้เลือกในการศึกษามีการเปลี่ยนแปลงระดับในระหว่างการทดลองจะส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการทดลอง (Experimental Errors) ซึ่งเรียกว่าปัจจัยรบกวน (Nuisance/Noise Factors) โดยระหว่างการทดลองปัจจัยรบกวนอาจส่งผลในหลายรูปแบบดังนี้

- ส่งผลต่อการทดลองเป็นครั้งคราว ไม่สามารถคาดการณ์หรือทำนายได้
- ส่งผลต่อการทดลองตลอดเวลาและเกิดขึ้นอย่างเป็นระบบ

ผู้ทดลองต้องพยายามค้นหาแหล่งของปัจจัยรบกวนและหามาตรการในการควบคุมหรือลดความผันแปรแหล่งข้อมูล ต้องควบคุมให้ระดับของปัจจัยรบกวนมีค่าคงที่ตลอดการทดลองและให้มีการเปลี่ยนแปลงเฉพาะระดับปัจจัยที่ศึกษาเท่านั้นซึ่งเรียกว่าการบล็อก (Blocking) สามารถทำได้ดังนี้

ควบคุมสภาวะแวดล้อมหรือปัจจัยรบกวนในการทดลองให้มีสภาพใกล้เคียงกันมากที่สุด เช่น ใช้เครื่องจักรเดียวกัน คนทดลองคนเดียวกัน ทดลองในช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกัน เปลี่ยนเฉพาะเงื่อนไขของปัจจัยที่ศึกษาเท่านั้น

ให้การบล็อกแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ในการกรณีที่ระดับของปัจจัยรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงระดับอย่างมีระบบ เนื่องจากมีข้อจำกัดในการทดลอง เช่น ต้องใช้วัตถุดิบหลายล็อต คนทดลองหลายคน อุปกรณ์หลายชุด หรือผู้วัดผลหลายคน

2.1.4 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

ในการประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง มีขั้นตอนการออกแบบการทดลองแยกออกเป็น 10 ลำดับขั้นตอนคือ (สรรดิษฐ์ ชิวสุทธิศิลป์, 2556)

ขั้นตอนที่ 1 ระบุปัญหา และวัตถุประสงค์ในการทดลอง (Define the problems) ผู้ออกแบบการทดลองต้องทำความเข้าใจและศึกษาปัญหาที่จะทำการทดลองอย่างละเอียด โดยศึกษาจากหนังสือ วารสารทางวิชาการ งานวิจัย การดูงาน ฟังการทำงานของกระบวนการ (Flow process chart) หรือจากผู้เกี่ยวข้องับกระบวนการที่เกิดปัญหา

ขั้นตอนที่ 2 เลือกผลตอบที่เหมาะสม (Selection of the Response Variables) โดยเริ่มจากการเรียบเรียงผลตอบ (Response) จากการทดลองที่เป็นไปได้ทั้งหมด จากนั้นเลือกผลตอบที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ในการศึกษา และสามารถวัดผลได้ชัดเจน ซึ่งในการทดลองผลตอบอาจมีได้มากกว่า 1 ผลตอบ โดยทั่วไปผลตอบที่ใช้ในการศึกษามักเป็นค่าเฉลี่ย (Average) และ/หรือ ค่าความแปรปรวน (Variable)

ขั้นตอนที่ 3 ศึกษาความสามารถของระบบการวัดผลตอบ สิ่งที่ต้องพิจารณาในการวัดผลการทดลองคือความสามารถของระบบการวัด ซึ่งรวมถึงความสามารถของเครื่องมือวัด ผู้วัด โดยเครื่องมือต้องได้รับการบำรุงรักษาและสอบเทียบ ผู้วัดต้องได้รับการฝึกอบรมในการใช้เครื่องมือวัดและวิธีการวัดอย่างถูกต้อง ถ้าระบบการวัดไม่มีความสามารถจะส่งผลให้ผลตอบมีความผิดพลาดและไม่น่าเชื่อถือ

ขั้นตอนที่ 4 เลือกปัจจัยในการศึกษา และกำหนดช่วงของปัจจัยให้เหมาะสม โดยมีลำดับขั้นตอนดังนี้

1) ขั้นตอนที่ 4-1 วิเคราะห์ว่าปัจจัยใดมีผลต่อการทดลอง (อาจใช้ผังก้างปลา) โดยเลือกเฉพาะปัจจัยที่ปรับเปลี่ยนได้ คาดว่าสำคัญ และมีจำนวนเหมาะสม เรียกปัจจัยที่เลือกในการศึกษา (Interested/Potential Design Factors) ซึ่งปัจจัยที่เหลืต้องควบคุมให้คงที่ที่อยู่ในระดับที่เหมาะสมตลอดการทดลองเรียกปัจจัยควบคุม (Held-Constant Factors) และปัจจัยรบกวนที่ไม่สามารถควบคุมได้(Uncontrollable/ Noise Factors) ซึ่งปัจจัยนี้อาจรบกวนผลการทดลองให้ใช้หลักการสุ่ม

2) ขั้นตอนที่ 4-2 เลือกปัจจัยที่ศึกษาในการทดลอง (Interested/Potential Factors) เลือกปัจจัยจากขั้นตอนที่ 4-1 โดยอาจพิจารณาจากผังก้างปลา ผังกระบวนการที่แสดงปัจจัยนำเข้าและปัจจัยนำออก (IPO : Input Process Output Diagram)

3) ขั้นตอนที่ 4-3 คัดกรองปัจจัยเบื้องต้น ใช้ในกรณีที่ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาการทดลองมีจำนวนมากเกินกว่าที่จะสามารถทดลองได้ (มีข้อจำกัดในด้านทรัพยากร) อาจทำการคัดกรองโดยผู้เชี่ยวชาญ โดยให้คะแนนความสำคัญ ของปัจจัยในด้านความรุนแรง ความถี่ที่เกิด และโอกาสที่เกิด หรืออื่น ๆ (หลักการคล้ายการประเมิน FMEA) จากนั้นรวมคะแนนและใช้หลักพาราโต โดยตัวแปรที่คัดกรองแล้วไม่ควรเกิน 15 ตัวแปร

4) ขั้นตอนที่ 4-4 การกำหนดช่วงของปัจจัย การพิจารณาช่วงของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง พิจารณาจากคู่มือการทำงาน ประสบการณ์ และความรู้ด้านทฤษฎีของกระบวนการที่เกี่ยวข้อง การเลือกช่วงของปัจจัยที่ง่ายที่สุดคือกำหนดค่าต่ำและสูง และการกำหนดขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการทดลอง การคัดกรองควรเลือกพื้นที่ในการศึกษาขนาดใหญ่หรือกว้างที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ และกำหนดให้แคบลงเมื่อในขั้นตอนการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

ขั้นตอนที่ 5 เลือกรูปแบบวิธีการออกแบบการทดลองที่เหมาะสม (Choices of Experimental Designs) ทำการเลือกวิธีการออกแบบการทดลองและวิธีทำการทดลองให้เหมาะสม สอดคล้องกับวัตถุประสงค์และได้ผลการทดลองที่ถูกต้องแม่นยำ

ขั้นตอนที่ 6 ทำการทดลอง (Conduct the Experiment) ทำการทดลองตามตารางที่ออกแบบไว้โดยต้องคำนึงถึงหลักสำคัญ ในการทดลอง ได้แก่ การทดลองซ้ำ การสุ่ม และการบล็อก ระหว่างการทดลองควรมีการเฝ้าระวัง (Monitoring) กระบวนการเพื่อให้มั่นใจว่าสามารถกำหนดค่าของตัวแปรในการทดลองตามระดับที่กำหนดและวางแผนไว้ได้อย่างถูกต้อง ก่อนทดลองจริงอาจลองทำการทดลอง 2-3 การทดลองที่ค่าต่ำสุด สูงสุดเพื่อตรวจสอบความพร้อมและประเมินเบื้องต้น

ขั้นตอนที่ 7 วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ (Statistical Analysis of Experiment Data) การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติจะช่วยช่วยให้การสรุปผลที่ได้เหมาะสมกับเหตุและผลโดยประยุกต์ใช้ทฤษฎีทางวิชาการมากกว่าการสรุปผลเชิงพรรณนา โดยมีเครื่องมือที่ใช้ได้แก่ ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน ตารางวิเคราะห์แบบ t-test การวิเคราะห์และนำเสนอข้อมูลโดยกราฟ (Graphical Method) หรืออาจนำเสนอในรูปแบบจำลอง (Empirical Models) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลกระทบที่มีนัยสำคัญ (Important Effect) กับผลตอบ (Response) และควรตรวจสอบความถูกต้องของสมการความสัมพันธ์โดยการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) และตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง (Adequacy Checking)

ขั้นตอนที่ 8 วิเคราะห์ส่วนตกค้าง เพื่อตรวจสอบความพอเพียงของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) ก่อนนำไปประยุกต์ใช้ควรทดลองยืนยันผลเพื่อตรวจสอบว่าผลการนำไปใช้งานจริงในสถานที่และสภาวะการทำงานจริง มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ทำนายจากแบบจำลองหรือไม่ ซึ่งในความจริงค่าทั้งสองจะมีความแตกต่างกันซึ่งเรียกว่า “ค่าส่วนตกค้าง” (Residuals) โดยค่าส่วนตกค้างใช้แสดงความผันแปร (Variation) ที่ไม่สามารถอธิบายได้โดยแบบจำลอง การตรวจสอบความเหมาะสมและความพอเพียงของแบบจำลองทำได้โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) ตรวจสอบกราฟส่วนตกค้างกับตัวแปรอิสระอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องในการบวนการ ได้แก่ ค่าทำนาย ลำดับการทดลองหรือเวลา และตัวแปรอิสระอื่นๆ โดยกราฟส่วนตกค้างไม่ควรมีรูปแบบใด ๆ (Patterns) และมีการกระจายตัวแบบสุ่ม (Random Patterns)

ขั้นตอนที่ 9 สรุปและจัดทำข้อเสนอแนะ (Conclusions and Recommendations) หลังวิเคราะห์ผลการทดลอง ต้องหาข้อสรุปจากผลวิเคราะห์ และให้ข้อเสนอแนะที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานต่อไป ซึ่งหลังสรุปและจัดทำข้อเสนอแนะแล้วควรทำการทดลองยืนยันผล (Confirmation Testing) เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องและเพื่อการปรับปรุง

เพื่อความยั่งยืนและต่อเนื่องควรกำหนดเป็นขั้นตอนมาตรฐานในการปฏิบัติงานและจัดทำระบบควบคุมการทำงาน

ขั้นตอนที่ 10 การทำการทดลองยืนยันผล (Confirmatory Experiment) โดยทำการทดลองซ้ำประมาณ 3-5 ครั้งและไม่ควรคาดหวังว่าจะมีค่าเท่ากัน ตรวจสอบความถูกต้องโดยเปรียบเทียบช่วงค่าความเชื่อมั่น หรือทดสอบสมมุติฐานระหว่างค่าเฉลี่ยจากการทดลองและค่าทำนาย



2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 การหาส่วนผสมแบบหล่อทราย โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา : อุตสาหกรรมข้อต่อเหล็ก (Determining mixture components of sand mold by using design of experiment A case study: Iron fitting industry) วรพจน์ มีถม ,เชษฐวิญญู รุจทินกฤต กล่าวว่าการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาอัตราส่วนผสมแบบหล่อทรายที่เหมาะสมที่สุดของทรายที่ผ่านการใช้งานแล้ว เบนโทไนต์ น้ำและทรายใหม่ โดยให้สมบัติของทรายแบบเป็นไปตามมาตรฐานของ American Foundrymen's Society ผลตอบสนองที่ใช้ชี้วัดคุณภาพของแบบหล่อทราย คือ ความสามารถในการกดอัดของทราย ความสามารถในการปล่อยซิมอากาศของแบบหล่อทราย ความชื้นของทราย และ ความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก การศึกษานี้ใช้หลักการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมและวิธีพื้นผิวผลตอบสนอง เพื่อนำมาใช้ในการหาส่วนผสมของแบบหล่อทรายที่เหมาะสมที่สุด และใช้การโปรแกรมเชิงเส้นคำนวณต้นทุนส่วนผสมที่ต่ำที่สุด พบว่าอัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักที่เหมาะสมที่สุด คือ ทรายที่ผ่านการใช้งานแล้ว 95.5387% เบนโทไนต์ 1.130102% น้ำ 2.331196% และทรายใหม่ 1% ซึ่งความสามารถในการกดอัดของทรายร้อยละ 58.37923 ความสามารถในการปล่อยซิมอากาศ 73.80148 ปาสคาล ความชื้นของทรายร้อยละ 6.5 และความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก 0.53 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ โดยต้นทุนวัตถุดิบต่ำสุดเท่ากับ 11.31579 บาทต่อกิโลกรัม (วรพจน์ มีถม ,เชษฐวิญญู รุจทินกฤต ,2558)

2.2.2 การปรับปรุงคุณภาพเหล็กหล่อด้วยการหาส่วนผสมที่เหมาะสมของแบบหล่อทราย (Quality Improvement of Cast Iron by Determining the Optimal Sand Mold Mixture Components) (Sermsak Wiangwiset), (Charnnarong Saikaew) กล่าวว่า งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาอัตราส่วนผสมแบบหล่อทรายที่เหมาะสมที่สุดในการนำทรายที่ผ่านการใช้งานแล้วและวัสดุประสานอื่นๆมาเป็นส่วนผสมแล้ว ทำให้สมบัติของแบบหล่อทรายตรงตามความต้องการที่กำหนด โดยที่ทำให้สมบัติ เชนกลของเหล็กหล่อตรงต่อความต้องการของลูกค้าส่วนผสมของแบบหล่อทรายมี 3 ส่วนผสม คือทรายที่ผ่านการใช้งานแล้วครั้งที่ 1 เบนโทไนต์และน้ำผลตอบสนองที่ใช้ชี้วัดคุณภาพของแบบหล่อทรายคือความแข็งแรงอัดในสภาพเปียกความสามารถในการปล่อยซิมอากาศและต้นทุนวัตถุดิบการศึกษานี้ใช้หลักการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมและวิธีพื้นผิวผลตอบสนองเพื่อนำมาใช้ในการหาส่วนผสมของแบบหล่อทรายที่เหมาะสมที่สุดอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดของแบบหล่อทราย ทำให้ความแข็งแรงอัดในสภาพเปียกและความสามารถในการปล่อยซิมอากาศตรงตามความต้องการที่กำหนด ในราคาต้นทุนวัตถุดิบต่ำที่สุดนอกจากนี้

ผู้ประกอบการสามารถนำผลการศึกษาที่ได้ไปใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจเกี่ยวกับความพึงพอใจของลูกค้าที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่เป็นเหล็กหล่อ (เสริมศักดิ์เวียงวิเศษ, ชาญณรงค์ สายแก้ว ,2554)

2.2.3 ผลของสารเติมแต่งในทรายแบบหล่อขึ้นต่อสภาพผิวชิ้นงานเหล็กหล่อ(EFFECTS OF ADDITIVES IN GREEN SAND MOLD ON SURFACE FINISH OF CAST IRON) วิเชษฐ์ เผือกแดง อาจารย์ที่ปรึกษา: อาจารย์ ดร.สงบ คำค้อ กล่าวว่า งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารเติมแต่งในทรายแบบหล่อขึ้นที่มีต่อสภาพผิวของชิ้นงานเหล็กหล่อและการส่งผลกระทบต่อภาวะทางอากาศในพื้นที่การทำงาน การศึกษามี 3 ส่วน คือ 1) การศึกษาผลของสารเติมแต่งที่มีต่อสมบัติของทรายแบบหล่อ 2) การศึกษาผลของสารเติมแต่งในทรายแบบหล่อขึ้นที่มีต่อสภาพผิวของชิ้นงานหล่อ และ 3) การศึกษาการเกิดแก๊สจากแบบหล่อทรายที่ผสมด้วยสารเติมแต่งต่างชนิดกัน สารเติมแต่งที่ทำการศึกษา ได้แก่ แป้งข้าวโพด เดกซ์ทรีน โพลีคาร์บอน และซีโคล โดยผสมสารเติมแต่งปริมาณ 1-10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในทรายแบบหล่อขึ้นที่มีเบนทอไนต์เป็นตัวประสานในปริมาณที่ต่างกัน การทดสอบสมบัติทรายแบบหล่อที่ผสมด้วยสารเติมแต่งชนิดต่างๆ ได้ดำเนินการตามมาตรฐานการทดสอบทรายแบบหล่อของสมาคมการหล่อ โลหะแห่งประเทศไทย สหรัฐอเมริกา ทรายแบบหล่อที่มีสมบัติที่เหมาะสมโดยการผสมสารเติมแต่งชนิดต่างๆ จะนำมาขึ้นแบบหล่อทรายและนำไปทำการหล่อเหล็กหล่อเทาชิ้นงานเหล็กหล่อที่ได้ถูกนำไปตรวจวัดความหยาบผิวด้วยเครื่อง Mitutoyo Surf test SV 400 และในระหว่างน้ำเหล็กเย็นตัวในแบบหล่อได้ทำการเก็บแก๊สที่เกิดขึ้นจากแบบหล่อ แก๊สตัวอย่างที่ได้ถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี จากการศึกษาพบว่า การผสมทรายแบบหล่อด้วยดินเหนียวชนิดโซเดียมเบนทอไนต์ในปริมาณ 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและสารเติมแต่งชนิด โพลีคาร์บอนในปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจะทำให้ทรายแบบหล่อมีสมบัติที่ดี โดยมีค่าความแข็งแรงอัดในสภาพขึ้น 108kN/mm² และความแข็งแรงเฉือนในสภาพขึ้น 26.67kN/mm² เมื่อนำทรายดังกล่าวไปทำการหล่อเหล็กหล่อเทา พบว่าชิ้นงานที่ได้จากการหล่อด้วยทรายแบบหล่อที่ผสมด้วยโพลีคาร์บอนทำให้ชิ้นงานหล่อมีค่าความหยาบผิวน้อยที่สุด คือ 3.58-11.01 μm จากการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นจากแบบหล่อทรายในระหว่างการเย็นตัวของน้ำเหล็กในแบบหล่อ พบว่าเกิดสารเบนซินขึ้นเพียงชนิดเดียว โดยเกิดจากการผสมทรายด้วยโพลีคาร์บอนและซีโคล ซึ่งทำให้เกิดแก๊สในปริมาณ 1.796-3.306ppm และ 1.799-2.780ppm ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม เบนซินที่เกิดขึ้นมีปริมาณต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานความปลอดภัยอยู่มาก (วิเชษฐ์ เผือกแดง ,ดร.สงบ คำค้อ ,2559)

2.2.4 การวิเคราะห์จุดเสียน้ำไม่เต็มแบบ และเย็นตัวไม่ประสานบนชิ้นงานหล่อดุมล้อรถไถนา Mis run and Cold Shut analysis on the Bob of Pushcart Wheel Casting ชนะโชค ไกยฤทธิ

ทรงศักดิ์ แก้วประสม และธน ทองกลม กล่าวว่า ชิ้นงานเย็นตัวไม่ประสาน และชิ้นงานหล่อไม่เต็มแบบเป็นปัญหาสำคัญที่พบในงานหล่อชิ้นงานคูลเลอร์ไดนา โดยลักษณะการไหลเต็มเต็มในแม่พิมพ์เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลทำให้เกิดปัญหาเหล่านี้ ซึ่งลักษณะการไหลเต็มเต็มของน้ำโลหะมีผลมาจากอุณหภูมิในการเทหล่อ และระบบทางเดินน้ำ โลหะ ดังนั้นจึงเป็นที่มาในการศึกษาสาเหตุของจุดเสียที่เกิดขึ้น ชิ้นงานคูลเลอร์ไดนาออกแบบโดยใช้โปรแกรมSolid Work และการจำลองการไหลของน้ำโลหะใช้โปรแกรม Pro CAST ผลการทดลองพบว่าชิ้นงานที่เทหล่อที่อุณหภูมิสูงมีลักษณะการไหลที่สม่ำเสมอ และต่อเนื่อง จุดเสียชิ้นงานเย็นตัวไม่ประสานและชิ้นงานไหลไม่เต็มแบบมักเกิดขึ้นเมื่อเทหล่อที่อุณหภูมิต่ำชิ้นงานเย็นตัวไม่ประสาน และชิ้นงานหล่อไม่เต็มแบบเป็นปัญหาสำคัญที่พบในงานหล่อชิ้นงานคูลเลอร์ไดนา โดยลักษณะการไหลเต็มเต็มในแม่พิมพ์เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลทำให้เกิดปัญหาเหล่านี้ ซึ่งลักษณะการไหลเต็มเต็มของน้ำโลหะมีผลมาจากอุณหภูมิในการเทหล่อ และระบบทางเดินน้ำโลหะ ดังนั้นจึงเป็นที่มาในการศึกษาสาเหตุของจุดเสียที่เกิดขึ้น ชิ้นงานคูลเลอร์ไดนาออกแบบโดยใช้โปรแกรมSolid Work และการจำลองการไหลของน้ำโลหะใช้โปรแกรม Pro CAST ผลการทดลองพบว่าชิ้นงานที่เทหล่อที่อุณหภูมิสูงมีลักษณะการไหลที่สม่ำเสมอ และต่อเนื่อง จุดเสียชิ้นงานเย็นตัวไม่ประสานและชิ้นงานไหลไม่เต็มแบบมักเกิดขึ้นเมื่อเทหล่อที่อุณหภูมิต่ำ (กรกฎาคม ,2559)

2.2.5 การลดปัญหาข้อบกพร่องในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์จากอะลูมิเนียมหล่อโดยใช้โปรแกรมจำลองงานหล่อขึ้นรูป (DEFECT REDUCTION IN AUTOMOTIVE ALUMINUM DIE CASTING USING CASTING SIMULATION SOFTWARE) มงคล แก้วนพรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษา: อาจารย์ดร.ฐาปณีย์พัชรวิชัย กล่าวว่า การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์สาเหตุการเกิดข้อบกพร่องในงานหล่อโลหะผสมอะลูมิเนียมกรณีเกิดการรั่วบริเวณใต้รูเกลียว (Tap M6) ของชิ้นส่วนยานยนต์ Pipe inlet ที่ผลิตด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูปแรงดันต่ำและเพื่อหาแนวทางลดจำนวนชิ้นงานที่เกิดข้อบกพร่องด้วยการวิเคราะห์ทางโลหะวิทยาและการใช้ซอฟต์แวร์จำลองกระบวนการหล่อขึ้นรูปชิ้นงานซึ่งมีสถานะการหล่อขึ้นรูปดังนี้คืออุณหภูมิเทน้ำโลหะที่ 760 องศาเซลเซียสอุณหภูมิแม่พิมพ์โลหะที่ 350 องศาเซลเซียสจากการวิเคราะห์ปัจจัยที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องจากแผนภูมิกำลังปลาและตรวจสอบชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่าปัจจัยหลักที่อาจเป็นสาเหตุของการเกิดรูพรุนได้แก่อุณหภูมิแม่พิมพ์โลหะอุณหภูมิเทน้ำโลหะและการออกแบบแม่พิมพ์โลหะทั้งนี้จึงสร้างแบบจำลองโดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงสถานะการหล่อดังนี้คือ 1) อุณหภูมิแม่พิมพ์โลหะที่ 300 350 400 450 และ 480 องศาเซลเซียส 2) อุณหภูมิเทน้ำโลหะที่ 680 720 730 740 และ780 องศาเซลเซียสและ 3) แก๊สแม่พิมพ์โลหะโดยการเพิ่มทางเดินน้ำโลหะที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัด 10×10 15×15 และ20×20 ตารางมิลลิเมตรจากผลการจำลอง

พบว่าเมื่อทางเดินน้ำโลหะมีขนาดเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณรูพรุนในชิ้นงานลดลงแต่การที่แม่พิมพ์โลหะมีทางเดินน้ำโลหะขนาดใหญ่เกินไปก็จะสูญเสียวัตถุดิบในการผลิตมากเกินไปดังนั้นจึงเลือกทำการแก้ไขแม่พิมพ์โลหะให้มีทางเดินน้ำโลหะขนาด 15X15 ตารางมิลลิเมตรโดยไม่เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเทน้ำโลหะและอุณหภูมิของแม่พิมพ์โลหะจากนั้นทำการหล่อชิ้นส่วน Pipe inlet จำนวน 188 ชิ้นผลการตรวจสอบจำนวนชิ้นงานที่มีข้อบกพร่องจากการขึ้นตอนทดสอบการรั่วเปรียบเทียบกับงานหล่อก่อนและหลังการแก้ไขแม่พิมพ์โลหะร่วมกับการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงและการวิเคราะห์ปริมาณรูพรุนด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพพบว่าเมื่อทำการแก้ไขแม่พิมพ์โลหะจำนวนชิ้นงานที่เกิดข้อบกพร่องลดลงจากร้อยละ 4.92 เหลือร้อยละ 0.53 ส่วนรูพรุนที่เกิดขึ้นในชิ้นงานหลังจากแก้ไขแม่พิมพ์โลหะก็มีขนาดเล็กและมีจำนวนลดลง (ชนะ โชค ไกยฤทธิ์ ,ทรงศักดิ์ แก้วประสม และชน ทองกลม ,2555)

2.2.6 ผลกระทบของคุณสมบัติของทราย ต่อการเกิดรอยตำหนิในงานหล่อ. ชนาภรณ์ โกรธาภรณ์ กล่าวว่ารูเข็ม โพรงแก๊ส และโพรงจากการหดตัวของโลหะในงานหล่อเป็นรอยตำหนิที่พบบ่อยมากในโรงงานหล่อเหล็กกล้าในประเทศไทย จากการวิเคราะห์ข้อมูลคุณสมบัติของทรายและอุณหภูมิเทที่บันทึกการผลิตเหล็กกล้าหล่อโลหะผสมต่ำ (CrMo40L) ในโรงงาน เปรียบเทียบกับรอยบกพร่องที่เกิดขึ้น ได้นำไปทำการออกแบบการทดลอง เพื่อจำลองแบบการปฏิบัติงานหล่อของโรงงานในห้องปฏิบัติการ คุณสมบัติที่สำคัญสามประการของทรายแบบ ได้แก่ความโปร่งอากาศ ความแข็งแรง และปริมาณสารที่สามารถถูกเผาไหม้ได้ในทราย กำหนดให้เป็นคุณสมบัติที่ต้องแปรค่าเพื่อเปรียบเทียบกับผลของการเกิดโพรงแก๊ส โดยที่คุณสมบัติดังกล่าวจะแปรค่าได้จากการแปรค่าตัวแปรในการผสมทรายแบบ ได้แก่ความชื้น 2.5 และ 4 เปอร์เซ็นต์ ดินเหนียว 4.5 และ 6.5 เปอร์เซ็นต์ แป้งมัน 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์และความละเอียดของเม็ดทราย 46 และ 49 หน่วยมาตรฐานเอเอฟเอส (AFS) ร่วมด้วยการใช้อุณหภูมิที่ต่างกันคือ 1550 องศาเซลเซียส และ 1620 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองสามารถนำไปสู่การวิเคราะห์เชิงสถิติ ซึ่งได้ข้อสรุปคือ ขนาดเม็ดทรายและความชื้นของทรายแบบมีอิทธิพลมากที่สุดต่อความสามารถระบายแก๊สของทรายแบบ ปริมาณดินเหนียวมีอิทธิพลมากที่สุดต่อค่าความแข็งแรงของทรายแบบ แป้งมันและความชื้นในทรายแบบมีอิทธิพลมากที่สุดต่อปริมาณแก๊สที่ระเหยจากทรายแบบขณะเทแบบ ปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุดต่อการเกิดโพรงแก๊สในงานหล่อคืออุณหภูมิเท ส่วนสภาวะที่เกิดโพรงแก๊สน้อยที่สุดคือขนาดเม็ดทราย 46 ปริมาณดินเหนียว 4.5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณแป้งมัน 0.5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณความชื้น 2.5 เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิเท 1620 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามทรายที่ส่วนผสมเดียวกันนี้สามารถใช้ร่วมกับการเทที่อุณหภูมิ 1550 องศาเซลเซียสได้ซึ่งช่วยในการประหยัดพลังงาน แต่ในขณะเดียวกันก็มีข้อจำกัดให้ใช้ได้เฉพาะในการเทจากหนึ่งเป้าลงสู่แบบจำนวนน้อย

เนื่องจากผลของอุณหภูมิที่ลดลงและโอกาสในการเกิดโพรงแก๊สที่สูงขึ้น (ชนาภรณ์ โกรายฤทธิ์ ,2541)



บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้กำหนดวิธีดำเนินขั้นตอนในการวิจัยต่างๆ ดังนี้

3.1 ศึกษาข้อมูลพื้นฐานโรงงานกรณีศึกษา

โดยศึกษาสภาพปัจจุบันของส่วนผสมแบบหล่อทราย ศึกษาข้อมูลโรงงานกรณีศึกษา โดยศึกษาสภาพปัจจุบันของส่วนผสมและกระบวนการผสมของทรายหล่อก่อนที่จะนำไปสร้างเป็นแบบหล่อทราย

3.2 ดำรงงานวิจัยและรวบรวมทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับแบบหล่อทราย และการนำทรายที่ผ่านการใช้งานแล้วนำกลับมาทำเป็นแบบหล่อทราย รวมทั้งการศึกษาผลกระทบของแบบหล่อทรายที่มีผลต่อชิ้นงานหล่อ

- ศึกษาและรวบรวมทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับแบบหล่อทราย และกระบวนการนำทรายที่ผ่านการใช้งานแล้วนำกลับมาทำเป็นแบบหล่อทราย
- รวบรวมหลักการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแบบหล่อทรายและนำทรายกลับมาใช้ใหม่ในการสร้างแบบหล่อทราย

3.3 กำหนดอัตราส่วนและข้อจำกัดปริมาณของส่วนผสมแบบหล่อทรายตามแผนการทดลองแบบส่วนผสม (mixture experiment)

กำหนดปัจจัยที่ใช้ในการหาอัตราส่วนผสมของแบบหล่อทรายมีทั้งหมด 3 ปัจจัย คือ ทรายที่ผ่านการใช้งานแล้ว เบนโทไนต์ และน้ำ โดยมีรูปแบบสมการของการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมนี้

$$A+B+C = 100$$

$$94 \leq A \leq 96.5$$

$$3 \leq B \leq 5$$

$$0.5 \leq C \leq 1$$

โดยที่ A คือ ทรายที่ผ่านการใช้งานแล้วครั้งที่ 1 B คือเบนโทไนต์ C คือน้ำ สมการแรกคือผลรวมของอัตราส่วนผสมของแบบหล่อทรายทั้งหมดเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สมการที่สอง สมการที่สาม และสมการที่สี่ เป็นอสมการข้อจำกัดของทรายที่ผ่านการใช้งานแล้วครั้งที่ 1 เบนโทไนต์ และน้ำตามลำดับ



รูปที่ 3.1 ทรายที่จะนำไปผสม



รูปที่ 3.2 เบนโทไนด์ที่จะนำไปผสม



รูปที่ 3.3 ทราชที่ผสมกับเบนโทไนด์และน้ำ



รูปที่ 3.4 ทรายที่ผ่านการผสมเบนโทไนด์ และน้ำและผ่านการกวนแล้ว

3.4 ทดสอบสมบัติเชิงกลของแบบหล่อทรายพร้อมบันทึกผล

ทำการทดสอบสมบัติเชิงกลของแบบหล่อทรายพร้อมบันทึกผล ได้แก่ ความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก และความสามารถในการปล่อยซึ่มอากาศ ความแข็งแรงของทราย และความชื้น

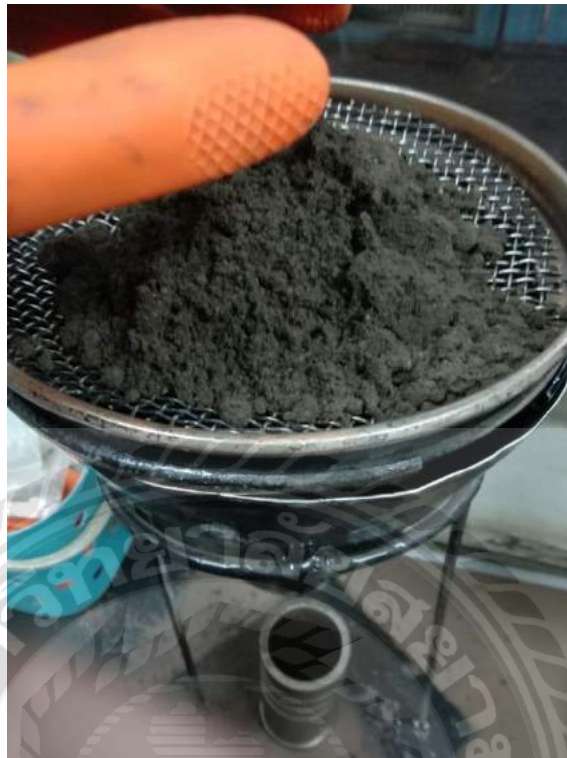
ทดสอบสมบัติเชิงกลของแบบหล่อทรายตามมาตรฐาน A.F.S (American Foundrymen's Society) ได้แก่ ความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก ความชื้น ความสามารถในการปล่อยซึ่มอากาศ และความสามารถในการกดอัด



รูปที่ 3.5 นำทรายมาชั่งน้ำหนักโดยตวงคืดน้ำหนักถ้วยที่ตวงด้วย



รูปที่ 3.6 นำทรายที่ผ่านการชั่งน้ำหนักแล้วเข้าเตาอบเป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักอีกครั้งหลังจากผ่านการเข้าเตาอบ เพื่อหาค่าน้ำที่ระเหยออก โดยคำนวณจากน้ำหนักทรายก่อนและหลัง



รูปที่ 3.7 นำทรายร่วนเข้ากระบอกอัด



รูปที่ 3.8 ทดสอบความสามารถในการกดอัดในสภาพเปียก



รูปที่ 3.9 ทดสอบความแข็งแรงของทราย



รูปที่ 3.10 ทดสอบความสามารถในการปล่อยซึมอากาศ

3.5 วิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดของแบบหล่อทราย ที่ทำให้สมบัติของแบบหล่อทรายตรงตามมาตรฐาน

ทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert เวอร์ชัน 7 ซึ่งทำการวิเคราะห์ผลการทดลองดังต่อไปนี้

5.1.วิเคราะห์หารูปแบบของสมการถดถอยที่เหมาะสมของการออกแบบการทดลอง

5.2.วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) ของรูปแบบสมการถดถอย

5.3.ตรวจสอบความเพียงพอตัวของรูปแบบสมการถดถอย

5.4.วิเคราะห์หาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่ทำให้สมบัติของแบบหล่อทรายตรงตามมาตรฐานของสมบัติหล่อขึ้น โดยใช้วิธีผิวผลตอบสนอง และทำการวิเคราะห์การแพร่กระจายความคลาดเคลื่อน โดยใช้ร่วมกับฟังก์ชันความพึงพอใจ

6.สรุปผลการศึกษาและเสนอแนะที่เหมาะสมในการทำแบบหล่อทรายให้ผู้ประกอบการพิจารณา

สรุปผลการศึกษาที่ได้ศึกษารวบรวมทั้งข้อเสนอแนะในการเลือกอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมให้ผู้ประกอบการไปพิจารณา

7.จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

ตั้งแต่ 1 สิงหาคม พ.ศ.2563 ถึง 30 ต.ค. พ.ศ.2563 ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางการดำเนินงานทำวิทยานิพนธ์

เดือน	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.
ศึกษาข้อมูลพื้นฐานโรงงาน กรณีศึกษา	→		
ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่ เกี่ยวข้อง	→	→	
ศึกษาขั้นตอนการทำงานใน ปัจจุบัน	→	→	
กำหนดอัตราส่วนและข้อจำกัด ปริมาณของส่วนผสมแบบหล่อ ทรายตามแผนการทดลองแบบ ส่วนผสม(mixture experiment)	→	→	
ทดสอบสมบัติเชิงกลของแบบ หล่อทรายพร้อมบันทึกผล			→
บันทึกผลการทดลอง			→
สรุปการทำวิจัย			→
เขียนเล่มวิทยานิพนธ์			→

บทที่ 4

ผลการวิจัย

รายงานการวิจัยเรื่อง การหาส่วนที่เหมาะสมของส่วนผสมทรายใช้แล้วในแบบหล่อทราย
กรณีศึกษาโรงงานหล่อโลหะตัวอย่าง (Determining Appropriate Mixture Proportion of Recycled
Sand in Sand Mold : A Case Study of a Casting Factory) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดค่า
สัดส่วน ส่วนผสมที่เหมาะสมในการทำแม่แบบหล่อทรายในอุตสาหกรรมงานหล่อโลหะ และเพื่อ
ลดร้อยละของของเสียของช่องอโลหะที่มีสาเหตุจากแม่แบบหล่อทรายให้ลดลง

โดยผู้วิจัยสามารถสรุปผลของการวิจัยออกเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

4.1 การศึกษาผลการทดลองเรื่อง การหาส่วนผสมแบบหล่อทรายที่เหมาะสมในอุตสาหกรรม
กรณีศึกษาโรงงานหล่อโลหะตัวอย่าง

4.2 การศึกษาโปรแกรม เพื่อใช้วิเคราะห์ข้อมูล

4.3 การพัฒนาสมการคณิตศาสตร์สำหรับอัตราส่วนผสมทรายทำแบบหล่อ

4.4 การนำสมการคณิตศาสตร์ที่ได้ไปประยุกต์ใช้จริงในโรงงานหล่อโลหะกรณีตัวอย่าง

**4.1 การศึกษาผลการทดลองเรื่อง การหาส่วนผสมแบบหล่อทรายที่เหมาะสมใน
อุตสาหกรรม กรณีศึกษาโรงงานหล่อโลหะตัวอย่าง**

เมื่อได้มาตรฐานของค่าปัจจัยที่ใช้ทดลอง ซึ่งเป็นมาตรฐานของโรงงานหล่อโลหะตัวอย่าง
คือ ทรายอยู่ระหว่างร้อยละ 94 ถึง 96.5 , เบนโทในตัอยู่ระหว่างร้อยละ 3 ถึง 5 , และน้ำอยู่ระหว่าง
ร้อยละ 0.5 ถึง 1 ได้ทำกำแบ่งค่าปัจจัยออกเป็น 8 ค่า โดยการแบ่งค่าความห่างเป็นช่วง โดยให้แต่ละ
ช่วงมีความห่างค่าละเท่าๆกัน ได้ดังตารางที่ 4.1 (จัดเป็นการทดลองแบบขั้นบันได)

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงอัตราส่วนผสมระหว่างทราย เบนโทไนด์ และน้ำ คิดเป็นร้อยละ

ทราย	เบนโทไนด์	น้ำ
94	5	1
94.36	4.8	0.93
94.72	4.5	0.86
95.08	4.2	0.79
95.40	3.9	0.70
95.76	3.6	0.63
96.08	3.3	0.58
96.50	3	0.50

โดยกระบวนการทดลองในครั้งนี้ อัตราส่วนที่ใช้ในการทดลองแต่ละครั้งจะมี ดังนี้ ทราย อยู่ระหว่าง 94-96.5% , น้ำอยู่ระหว่าง 0.5-1% และ เบนโทไนด์อยู่ระหว่าง 3-5% การทดลองในครั้งที่ 1 ใช้ทราย 94% ,เบนโทไนด์ 5% และน้ำ 1% การทดลองในครั้งที่ 2 ใช้ทราย 94.36% , เบนโทไนด์ 4.8% และน้ำ 0.93% การทดลองในครั้งที่ 3 ใช้ทราย 94.72 % ,เบนโทไนด์ 4.5% และน้ำ 0.86% การทดลองในครั้งที่ 4 ใช้ทราย 95.08% , เบนโทไนด์ 4.2% และน้ำ 0.79% การทดลองในครั้งที่ 5 ใช้ทราย 95.40% , เบนโทไนด์ 3.9% และน้ำ 0.70% การทดลองในครั้งที่ 6 ใช้ทราย 95.76% , เบนโทไนด์ 3.6% และน้ำ 0.63% การทดลองในครั้งที่ 7 ใช้ทราย 96.08% , เบนโทไนด์ 3.3% และน้ำ 0.58% การทดลองในครั้งที่ 8 ใช้ทราย 96.5% , เบนโทไนด์ 3% และน้ำ 0.5%

โดยในการทดลองทุกครั้ง จะมีอัตราส่วนผสม 100% ที่ 300g เมื่อทำการทดลอง โดยทำการทดลองทั้งสิ้น 8 ครั้ง แล้วผู้ทำการวิจัยได้ทำการทดลองซ้ำอีก 3 รอบ (Repeatation) โดยการทดลองรอบที่ 1 ได้ผลดังตารางที่ 4.2

หมายเหตุ เมื่อ C คือ Compact หรือความสามารถในการกดอัด มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

P คือ Permeability หรือความสามารถในการปล่อยซิมอากาศ มีหน่วยเป็นเซนติเมตร ต่อนาที (Cm/Min)

GCS คือ ความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (Kg/cm²)

M คือ Moisture หรือความชื้น มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

วิธีการวัดค่ามาตรฐานของค่า ความสามารถในการกดอัด , ความสามารถในการปล่อยซิมอากาศ , ความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก และค่าความชื้น ใช้มาตรฐานของโรงงานตัวอย่างในการวัด ซึ่งเป็นมาตรฐาน A.F.S.(American Foundrymen's Society)

ตารางที่ 4.2 ทดลองรอบที่ 1 (Repeation ที่ 1)

การทดลอง ครั้งที่	%ทราย	%เบนโทไนต์	%น้ำ	C	P	Gcs	m
1	94%=282g	5%=15g	1%=3g	63	52	0.12	6.92
2	94.3%=282.9g	4.8%=14.4g	0.9%=2.7g	52	53	0.86	6.89
3	94.7%=284.1g	4.5%=13.5g	0.8%=2.4g	57	68	0.73	6.89
4	95.05%=285.15g	4.2%=12.6g	0.75%=2.25g	50	58	0.77	6.90
5	95.4%=286.2g	3.9%=11.7g	0.7%=2.1g	56	70	0.68	6.90
6	95.75%=287.25g	3.6%=10.8g	0.65%=1.95g	50	58	0.62	6.90
7	96.1%=288.3g	3.3%=9.9g	0.5%=1.5g	53	67	0.67	6.90
8	96.5%=289.5g	3%=9g	0.5%=1.5g	62	68	0.34	6.88

จากตารางที่ 4.2 การทดลองในรอบที่1 (Repeation ที่ 1) ครั้งที่ 1 เมื่อใช้ทราย 94% (282g), เบนโทไนต์ 5% (15g) และน้ำ 1% (3g) ได้ผลค่า Compact = 63, Perm = 52, GCS = 0.12 และ Moisture = 6.917 การทดลองในครั้งที่ 2 เมื่อใช้ทราย 94.3% (282.9g), เบนโทไนต์ 4.8%

(14.4g) และน้ำ 0.9% (2.7g) ได้ผลค่า Compact = 52, Perm = 53, GCS = 0.86 และ Moisture = 6.89 การทดลองในครั้งที่ 3 เมื่อใช้ทราย 94.7% (284.1g), เบนโทไนต์ 4.5% (13.5g) และน้ำ 0.8% (2.4g) ได้ผลค่า Compact = 57, Perm = 68, GCS = 0.73 และ Moisture = 6.89 การทดลองในครั้งที่ 4 เมื่อใช้ทราย 95.05% (285.15g), เบนโทไนต์ 4.2% (12.6g) และน้ำ 0.75% (2.25g) ได้ผลค่า Compact = 50, Perm = 58, GCS = 0.77 และ Moisture = 6.9 การทดลองในครั้งที่ 5 เมื่อใช้ทราย 95.4% (286.2g), เบนโทไนต์ 3.9% (11.7g) และน้ำ 0.7% (2.1g) ได้ผลค่า Compact = 56, Perm = 70, GCS = 0.68 และ Moisture = 6.89 การทดลองในครั้งที่ 6 เมื่อใช้ทราย 95.75% (287.25g), เบนโทไนต์ 3.6% (10.8g) และน้ำ 0.65% (1.95g) ได้ผลค่า Compact = 50, Perm = 58, GCS = 0.62 และ Moisture = 6.9 การทดลองในครั้งที่ 7 เมื่อใช้ทราย 96.1% (288.3g), เบนโทไนต์ 3.3% (9.9g) และน้ำ 0.5% (1.5g) ได้ผลค่า Compact = 53, Perm = 67, GCS = 0.67 และ Moisture = 6.89 การทดลองในครั้งที่ 8 เมื่อใช้ทราย 95.5% (289.5g), เบนโทไนต์ 3% (9g) และน้ำ 0.5% (1.5g) ได้ผลค่า Compact = 62, Perm = 68, GCS = 0.34 และ Moisture = 6.98

การทดลองรอบที่ 2 (Repeatation ที่ 2) ได้ผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การทดลองรอบที่ 2 (Repeatation ที่ 2)

การทดลอง ครั้งที่	%ทราย	%เบนโทไนต์	%น้ำ	C	P	Gcs	M
1	94%=282g	5%=15g	1%=3g	52	63	0.74	6.90
2	94.3%=282.9g	4.8%=14.4g	0.9%=2.7g	46	57	0.76	6.75
3	94.7%=284.1g	4.5%=13.5g	0.8%=2.4g	54	72	0.76	6.75
4	95.05%=285.15g	4.2%=12.6g	0.75%=2.25g	48	73	0.56	6.90
5	95.4%=286.2g	3.9%=11.7g	0.7%=2.1g	45	62	0.62	6.68
6	95.75%=287.25g	3.6%=10.8g	0.65%=1.95g	50	49	0.53	6.90
7	96.1%=288.3g	3.3%=9.9g	0.5%=1.5g	44	62	0.79	6.67
8	96.5%=289.5g	3%=9g	0.5%=1.5g	50	73	0.62	6.67

จากตารางที่ 4.3 การทดลองในรอบที่ 2 (Repeatation ที่ 2) ครั้งที่ 1 เมื่อใช้ทราย 94% (282g), เบนโทไนต์ 5% (15g) และน้ำ 1% (3g) ได้ผลค่า C = 52, P = 63, GCS = 0.74 และ M = 6.89

การทดลองในครั้งที่ 2 เมื่อใช้ทราย 94.3% (282.9g), เบนโทไนด์ 4.8% (14.4g) และน้ำ 0.9% (2.7g) ได้ผลค่า C = 46, P = 57, GCS = 0.76 และ M = 6.75 การทดลองในครั้งที่ 3 เมื่อใช้ทราย 94.7% (284.1g), เบนโทไนด์ 4.5% (13.5g) และน้ำ 0.8% (2.4g) ได้ผลค่า C = 54, P = 72, GCS = 0.76 และ M = 6.75 การทดลองในครั้งที่ 4 เมื่อใช้ทราย 95.05% (285.15g), เบนโทไนด์ 4.2% (12.6g) และน้ำ 0.75% (2.25g) ได้ผลค่า C = 48, P = 73, GCS = 0.56 และ M = 5.90 การทดลองในครั้งที่ 5 เมื่อใช้ทราย 95.4% (286.2g), เบนโทไนด์ 3.9% (11.7g) และน้ำ 0.7% (2.1g) ได้ผลค่า C = 45, P = 62, GCS = 0.62 และ M = 6.68 การทดลองในครั้งที่ 6 เมื่อใช้ทราย 95.75% (287.25g), เบนโทไนด์ 3.6% (10.8g) และน้ำ 0.65% (1.95g) ได้ผลค่า C = 50, P = 49, GCS = 0.53 และ M = 6.90 การทดลองในครั้งที่ 7 เมื่อใช้ทราย 96.1% (288.3g), เบนโทไนด์ 3.3% (9.9g) และน้ำ 0.5% (1.5g) ได้ผลค่า C = 44, P = 62, GCS = 0.79 และ M = 6.67 การทดลองในครั้งที่ 8 เมื่อใช้ทราย 95.5% (289.5g), เบนโทไนด์ 3% (9g) และน้ำ 0.5% (1.5g) ได้ผลค่า C = 50, P = 73, GCS = 0.62 และ M = 69.7

การทดลองรอบที่ 3 (Repeatation ที่ 3) ได้ผลดังตารางที่ 4.4
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองรอบที่ 3 (Repeatation ที่ 3)

การทดลอง ครั้งที่	% เบน โ ท			C	P	gcs	M
	%ทราย	ไนด์	%น้ำ				
1	94%=282g	5%=15g	1%=3g	47	53	0.86	6.90
2	94.3%=282.9g	4.8%=14.4g	0.9%=2.7g	51	60	0.84	6.67
3	94.7%=284.1g	4.5%=13.5g	0.8%=2.4g	48	62	1.06	6.90
4	95.05%=285.15g	4.2%=12.6g	0.75%=2.25g	46	72	0.66	6.90
5	95.4%=286.2g	3.9%=11.7g	0.7%=2.1g	50	58	0.76	6.68
6	95.75%=287.25g	3.6%=10.8g	0.65%=1.95g	45	61	0.65	6.91
7	96.1%=288.3g	3.3%=9.9g	0.5%=1.5g	46	64	0.8	6.70
8	96.5%=289.5g	3%=9g	0.5%=1.5g	47	77	0.56	6.90

จากตารางที่ 4.4 การทดลองในรอบที่ 3 (Repeatation ที่ 3) ครั้งที่ 1 เมื่อใช้ทราย 94% (282g), เบนโทไนด์ 5% (15g) และน้ำ 1% (3g) ได้ผลค่า C = 47, P = 53, GCS = 0.86 และ M = 6.9

การทดลองในครั้งที่ 2 เมื่อใช้ทราย 94.3% (282.9g) , เบนโทไนต์ 4.8% (14.4g) และน้ำ 0.9% (2.7g) ได้ผลค่า C = 51, P = 60, GCS = 0.84 และ M = 6.67 การทดลองในครั้งที่ 3 เมื่อใช้ทราย 94.7% (284.1g), เบนโทไนต์ 4.5% (13.5g) และน้ำ 0.8% (2.4g) ได้ผลค่า C = 48, P = 62, GCS = 1.06 และ M = 6.90 การทดลองในครั้งที่ 4 เมื่อใช้ทราย 95.05% (285.15g), เบนโทไนต์ 4.2% (12.6g) และน้ำ 0.75% (2.25g) ได้ผลค่า C = 46, P = 72, GCS = 0.66 และ M = 6.90 การทดลองในครั้งที่ 5 เมื่อใช้ทราย 95.4% (286.2g), เบนโทไนต์ 3.9% (11.7g) และน้ำ 0.7% (2.1g) ได้ผลค่า C = 50, P = 58, GCS = 0.76 และ M = 6.68 การทดลองในครั้งที่ 6 เมื่อใช้ทราย 95.75% (287.25g), เบนโทไนต์ 3.6% (10.8g) และน้ำ 0.65% (1.95g) ได้ผลค่า C = 45, P = 61, GCS = 0.65 และ M = 6.90 การทดลองในครั้งที่ 7 เมื่อใช้ทราย 96.1% (288.3g) , เบนโทไนต์ 3.3% (9.9g) และน้ำ 0.5% (1.5g) ได้ผลค่า C = 46, P = 64, GCS = 0.8 และ M = 6.68 การทดลองในครั้งที่ 8 เมื่อใช้ทราย 95.5% (289.5g), เบนโทไนต์ 3% (9g) และน้ำ 0.5% (1.5g) ได้ผลค่า C = 47, P = 77, GCS = 0.56 และ M = 6.90

เมื่อ C คือ Compact หรือความสามารถในการกดอัด มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

P คือ Permeability หรือความสามารถในการปล่อยซึมอากาศ มีหน่วยเป็นเซนติเมตรต่อ นาที (Cm/Min)

GCS คือ ความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (Kg/cm²)

M คือ Moisture หรือความชื้น มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

4.2 การศึกษาโปรแกรม เพื่อใช้วิเคราะห์ข้อมูล

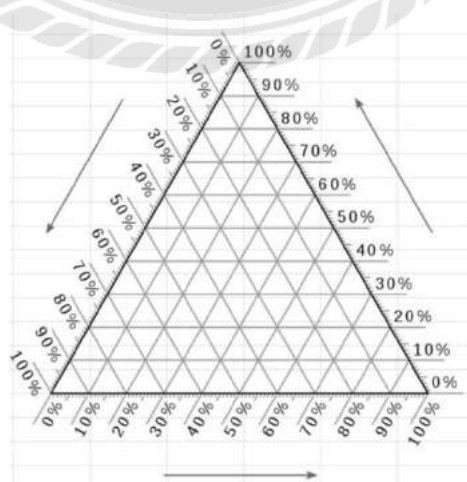
เมื่อนำผลการทดลองที่ได้จากตาราง ในการทดลองทั้งหมด 8 ครั้ง โดยทำซ้ำอีก 3 รอบ (3 Repeation) และนำผลค่า C, P, GCS และ M มาหาค่าเฉลี่ยแสดงตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองเฉลี่ยของการทดลองทั้ง 3 รอบ (3Repeation)

ผลการทดลอง เฉลี่ยครั้งที่	C	P	GCS	M
1	54	56	0.57	6.90
2	49.67	56.67	0.82	6.77
3	53	67.33	0.85	6.85
4	48	67.67	0.66	6.90
5	50.33	63.33	0.69	6.75
6	48.33	56	18.09	6.91
7	47.67	64.33	0.75	6.75
8	53	72.67	0.51	6.88

เมื่อนำค่าในตารางป้อนเข้าไปในโปรแกรม Statgraphic จะได้กราฟออกมา

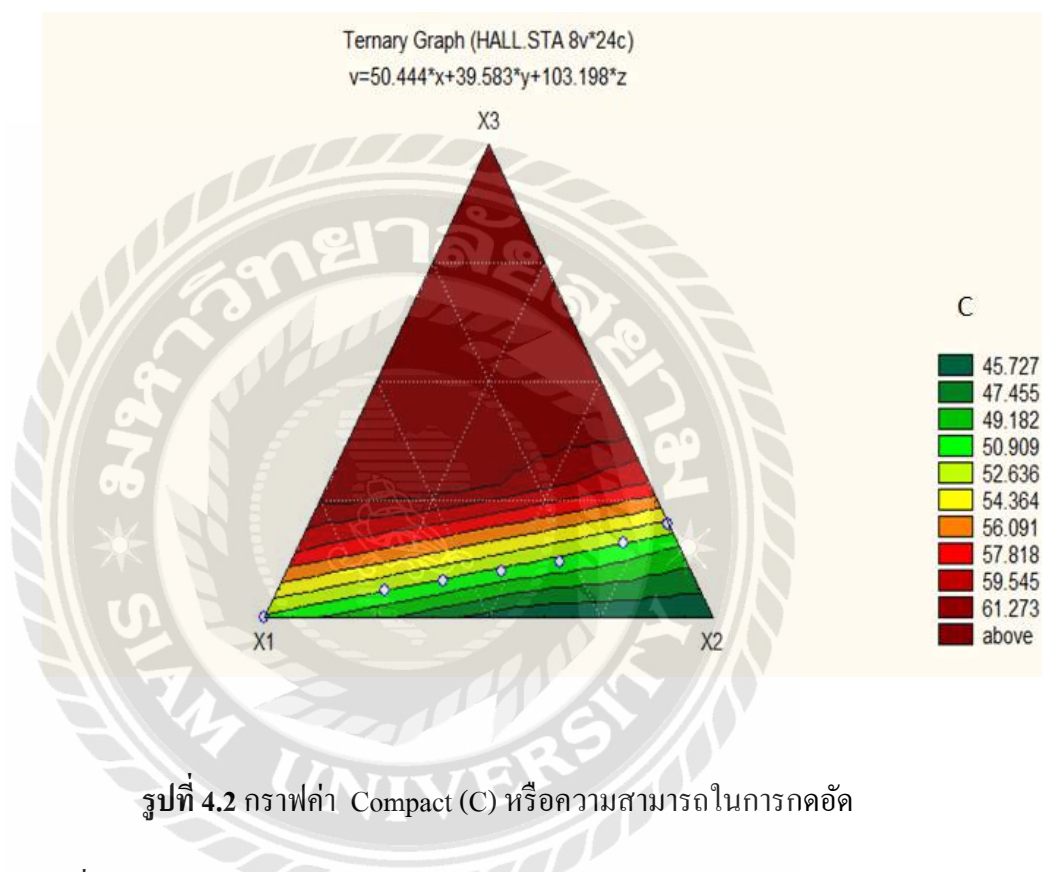
โดยวิธีอ่านค่ากราฟ แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 หลักการวิธีอ่านค่า x, y, z

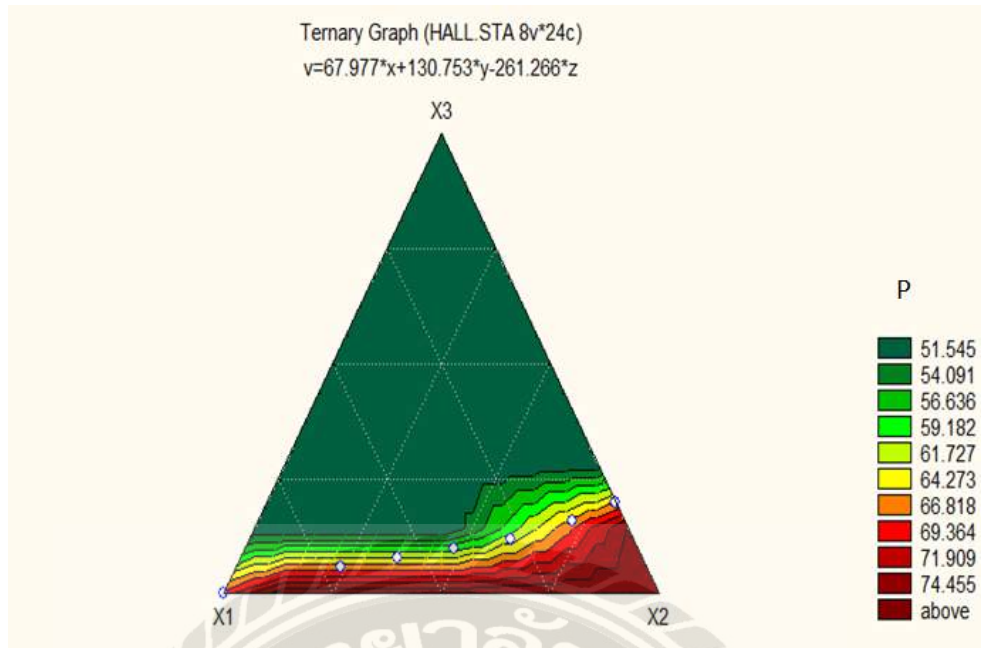
โดยกราฟที่ได้จากโปรแกรม Statgraphic จะได้ออกมาดังกราฟที่ 4.2 ถึง 4.4 เมื่อ X1 คือทราย, X2 คือเบนโทไนต์ และ X3 คือน้ำ ตามลำดับ

เมื่อนำไปเข้าโปรแกรม Statgraphic จะได้ผลดังต่อไปนี้



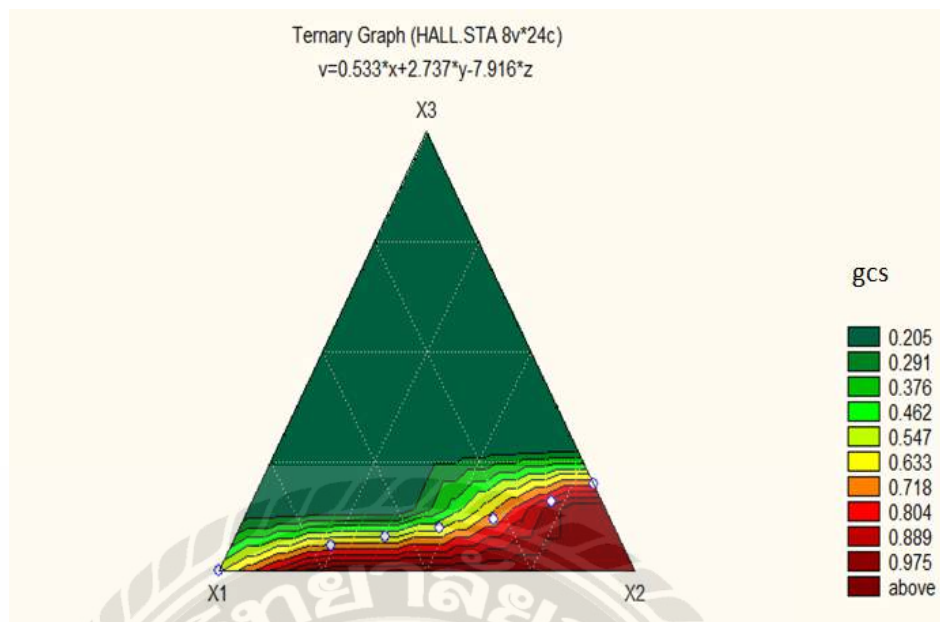
รูปที่ 4.2 กราฟค่า Compact (C) หรือความสามารถในการกอดอัด

จากรูปที่ 4.2 กราฟค่า Compact (C) หรือความสามารถในการกอดอัด แปลผลได้ว่า ค่าความน่าเชื่อถือมีเพียงร้อยละ 45 ถึงร้อยละ 61 และจะได้ สมการที่ 1 สมการของค่า Compact (C) หรือความสามารถในการกอดอัด จะได้ว่า $C = 50.444x + 35.983y + 103.198z$ เมื่อค่า x, y, z คือร้อยละของ ทราย, เบนโทไนต์ และน้ำ ตามลำดับ



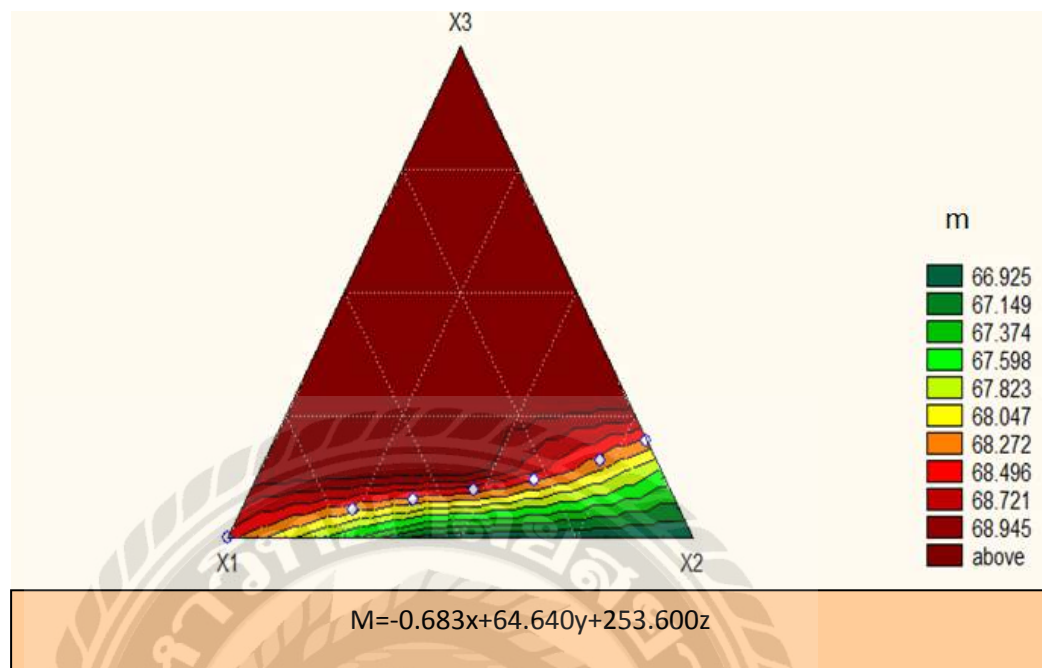
รูปที่ 4.3 กราฟค่า Perm (P) หรือ ความสามารถในการปล่อยซิมอากาศ

จากรูปที่ 4.3. แปรผลได้ว่า กราฟค่า Perm (P) หรือ ความสามารถในการปล่อยซิมอากาศ มีความน่าเชื่อถืออยู่ร้อยละ 51.545 ถึงร้อยละ 74.455 และจะได้สมการที่ 2 สมการของค่า Perm (P) หรือ ความสามารถในการปล่อยซิมอากาศ จะได้ว่า $P = 67.977x + 130.753y - 251.266z$ เมื่อค่า x, y, z คือร้อยละของ ทราย , เบนโทไนต์ , และน้ำ ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 กราฟค่า GCS หรือ ความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก

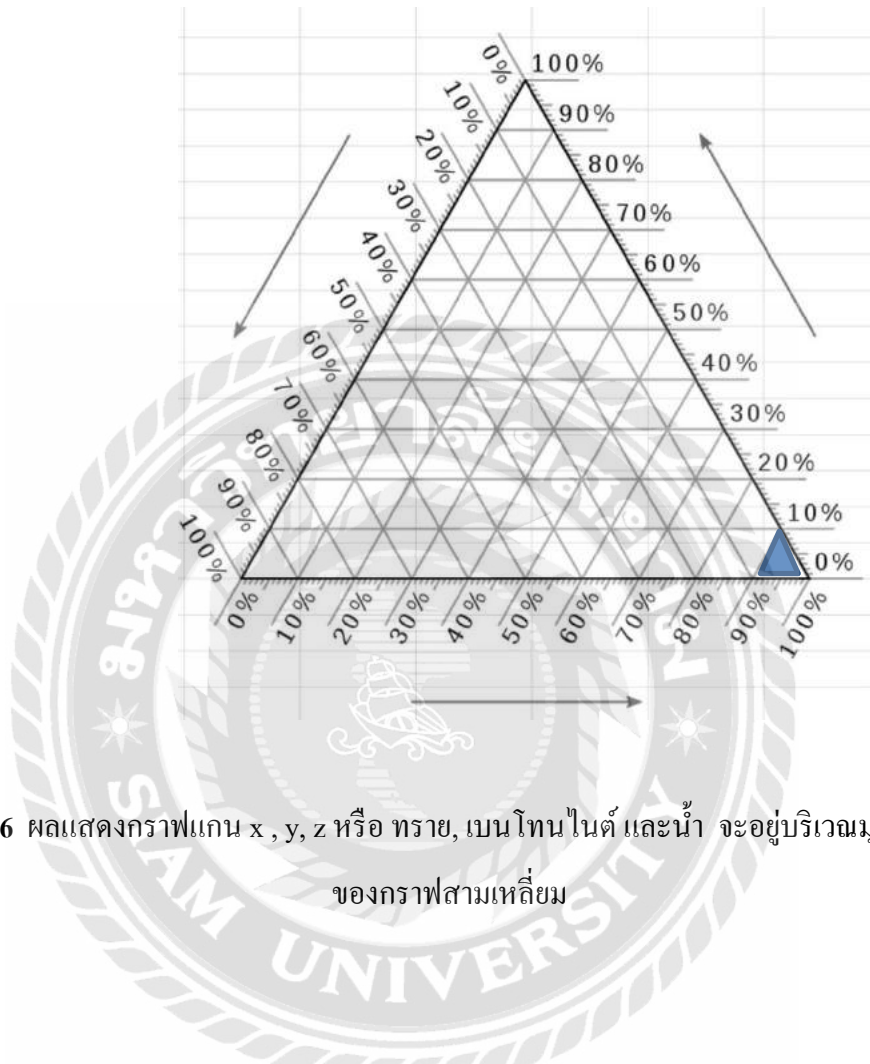
จากรูปที่ 4.4 แปรผลได้ว่ากราฟค่า GCS หรือ ความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก มีความน่าเชื่อถือร้อยละ 20.6 ถึงร้อยละ 97.5 โดยจะได้ สมการที่ 3 สมการของค่า GCS หรือ ความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก จะได้ว่า $GCS = 0.533x + 2.737y - 7.916z$ เมื่อค่า x, y, z คือร้อยละของ ทราย, เบนโทไนต์ และน้ำ ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 กราฟค่า Moisture (M) หรือ ความชื้น

จากรูปที่ 4.5 แปรผลได้ว่า กราฟค่า Moisture (M) หรือ ความชื้น มีความน่าเชื่อถือร้อยละ 66.925 ถึงร้อยละ 68.945 โดยจะได้ สมการที่ 4 สมการของค่า Moisture (M) หรือความชื้น จะได้ว่า $M = -0.683x + 64.640y + 253.600z$ เมื่อค่า x, y, z คือร้อยละของ ทราย, เบนโทไนต์ และน้ำ ตามลำดับ

เมื่อสรุปกราฟจะได้ว่ากราฟจะแสดงผลรวมกลุ่มดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ผลแสดงกราฟแกน x, y, z หรือ ทราย, เบนโทนไนต์ และน้ำ จะอยู่บริเวณมุมขวาล่างของกราฟสามเหลี่ยม

4.3 การพัฒนาสมการคณิตศาสตร์สำหรับอัตราส่วนผสมทรายทำแบบหล่อ

เมื่อนำไปคำนวณเพื่อหาสูตรที่เหมาะสมผ่านโปรแกรม Statgraphic จะได้ผลสมการดังนี้

สมการที่ 1 สมการของค่า Compact (C) หรือ ความสามารถในการกดอัด

$$\text{จะได้ว่า } C = 50.444x + 35.983y + 103.198z$$

สมการที่ 2 สมการของค่า Perm (P) หรือ ความสามารถในการปล่อยซึ่มอากาศ

$$\text{จะได้ว่า } P = 67.977x + 130.753y - 251.266z$$

สมการที่ 3 สมการของค่า GCS หรือ ความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก

$$\text{จะได้ว่า } GCS = 0.533x + 2.737y - 7.916z$$

สมการที่ 4 สมการของค่า Moisture (M) หรือความชื้น

$$\text{จะได้ว่า } M = -0.683x + 64.640y + 253.600z$$

เมื่อให้ x แทนค่าทราย, y แทนค่า เบนโทไนต์ และ z แทนค่า น้ำตามลำดับ ซึ่งคือค่าในสมการทั้ง 4 เมื่อนำไปแทนในสมการ เมื่อกำหนดค่าหลัก 4 ค่า คือ C (Compact) หรือความสามารถในกดอัด, P (Perm) หรือความสามารถในการปล่อยซิมอากาศ, GCS หรือความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก และ M(Moisture) หรือความชื้น ตามมาตรฐานที่โรงงานต้องการ ก็จะสามารถแก้สมการเพื่อหาค่า x, y, z หรือค่าทราย, เบนโทไนต์ และน้ำออกมาได้

4.4 การนำสมการไปประยุกต์ใช้กับโรงงานหล่อโลหะตัวอย่าง

เมื่อได้สมการสำเร็จรูปแล้วจึงได้นำไปทดลองกับโรงงานหล่อโลหะตัวอย่าง โดยได้ทดลองหล่อโลหะช่องอ 90 องศา ขนาด 1 นิ้ว (AL90, 1") จำนวน 8,400 ตัว (4โม้ โม้ละ 2,100 ตัว) โดยก่อนแก้ปัญหาพบว่า ของเสียในการหล่อโลหะชนิดนี้ที่เกิดจากแม่พิมพ์แบบหล่อทรายคิดเป็นร้อยละ 6.15

ในการทดลองหล่อโลหะจากแม่แบบหล่อทรายทั้งหมด 4 โม้ โม้ละ 600 kg หลังจากทดลองใช้อัตราส่วนผสมที่ได้จากสมการ โดยใช้ทรายร้อยละ 94 (564 kg) เบนโทไนต์ร้อยละ 5 (30kg) , น้ำร้อยละ 1 (6kg) ในการผลิตชิ้นงานช่องอ 90 องศา ขนาด 1 นิ้ว (AL90, 1") พบว่าของเสียลดลงแสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงของเสียหลังจากปรับปรุง

โม้ที่	รายการ ผลิต	จำนวน	สาเหตุของเสีย				
			เหลื่อม	ตามค	ผิวหยาบ	เทไม่เต็ม	อื่นๆ
1	AL90, 1"	2,100	350	15	10	5	5
2	AL90, 1"	2,100	340	20	12	7	3
3	AL90, 1"	2,100	250	18	15	5	7
4	AL90, 1"	2,100	310	12	13	8	8
รวม		8,400	1,250	65	50	25	23

จากตารางที่ 4.6 ตารางแสดงของเสียการหล่อโลหะของ 90 องศา ขนาด 1 นิ้ว (AL90, 1") จำนวน 8,400 ตัว เมื่อใช้ส่วนผสมแบบหล่อทรายที่มีทรายเป็นส่วนประกอบร้อยละ 94 , เบนโทไนต์ร้อยละ 5 , น้ำร้อยละ 1

เมื่อเปรียบเทียบของเสียก่อนและหลังพบว่าร้อยละของเสียก่อนและหลังพบว่า ก่อนปรับปรุง ของเสียของโลหะของ 90 องศา ขนาด 1 นิ้ว (AL90, 1") สูงถึงร้อยละ 6 หลังปรับปรุง โดยใช้ส่วนผสมแม่แบบหล่อทรายที่สัดส่วน ทรายเป็นส่วนประกอบร้อยละ 94, เบนโทไนต์ร้อยละ 5, น้ำร้อยละ 1 พบว่ามีของเสียลดลงอยู่ที่ร้อยละ 2.13

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 อภิปรายผลงานวิจัย

รายงานการวิจัยเรื่อง การหาสัดส่วนที่เหมาะสมของส่วนผสมทรายใช้แล้วในแบบหล่อทราย กรณีศึกษาโรงงานหล่อโลหะตัวอย่าง (Determining Appropriate Mixture Proportion of Recycled Sand in Sand Mold : A Case Study of a Casting Factory) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับส่วนผสมที่ใช้ในการทำแม่แบบหล่อทราย และเพื่อกำหนดค่าสัดส่วนของส่วนผสมที่เหมาะสมในการทำแม่แบบหล่อทรายในอุตสาหกรรมงานหล่อโลหะ โดยงานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้วิธี ออกแบบการทดลองแบบขึ้นบันได และการวิเคราะห์ผลทางสถิติเข้ามาประยุกต์ใช้เพื่อใช้ในการปรับปรุงส่วนผสมแบบหล่อทรายของโรงงานกรณีศึกษา เนื่องจากโรงงานกรณีศึกษาใช้ทรายที่ถูกใช้งานแล้วกลับมาใช้งานใหม่ เพื่อเป็นส่วนผสมของแบบหล่อทรายซึ่งมีผลต่อสมบัติเชิงกลของเหล็กหล่อ ได้แก่ ความสามารถในการกดอัด ความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก ความสามารถในการปล่อยซิมอากาศ และความชื้น โดยที่ทำให้สมบัติเชิงกลของเหล็กหล่อตรงต่อความต้องการของลูกค้า โดยใช้สูตรที่ถูกคำนวณขึ้นจากการประยุกต์ใช้โปรแกรมทางสถิติ (Statgraphic) นำมาประยุกต์ใช้หาผลการวิจัย เพื่อให้ได้สมการสำเร็จรูป เป็นสมการพื้นฐานที่จะใช้ได้กับโรงงานตัวอย่าง

ในการหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของแบบหล่อทราย ส่วนผสมของแบบหล่อทรายที่ทำการทดลองคือ ทราย เบนโทไนต์ และน้ำ โดยมีส่วนผสมคิดเป็นร้อยละคือ $94 \leq A \leq 96.5$, $3 \leq B \leq 5$, $0.5 \leq C \leq 1$ เมื่อ A คือทราย , B คือเบนโทไนต์ และ C คือน้ำตามลำดับ ผลตอบสนองที่ถูกนำมาประเมินหาส่วนผสมที่เหมาะสมของแบบหล่อทราย คือความสามารถในการกดอัด ความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก ความสามารถในการปล่อยซิมอากาศ และความชื้น โดยแบ่งส่วนผสมให้เป็นการทดลองแบบขึ้นบันไดที่อยู่ในขอบเขตที่กำหนด ออกเป็นอย่างละ 8 ค่า คือทราย 8 ค่า, เบนโทไนต์ 8 ค่า, และน้ำ 8 ค่า โดยให้แต่ละค่า มีช่วงความห่างเท่าๆกัน โดยให้ค่าที่ใช้ทดลองในแต่ละครั้งเป็นดังตารางที่ 5.1.

ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงอัตราส่วนเป็นร้อยละ ของทราย เบนโทไนต์ และน้ำที่ใช้ในการทดลองแต่ละครั้ง

ทราย	เบนโทไนต์	น้ำ
94	5	14
94.3	4.8	0.9
94.7	4.5	0.5
95.05	4.2	0.75
95.4	3.9	0.7
95.75	3.6	0.65
96.1	3.3	0.5
96.5	3	0.5

หลังจากนั้นทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 3 รอบ แล้วนำผลการทดลอง 3 รอบมาหาค่าเฉลี่ย ได้ดังตารางที่ 5.2 ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองเฉลี่ยของการทดลองทั้ง 3 รอบ (3Repeation)

ผลการทดลองเฉลี่ย ครั้งที่	C	P	GCS	M
1	54	56	0.57	6.90
2	49.67	56.67	0.82	6.77
3	53	67.33	0.85	6.85
4	48	67.67	0.66	6.90
5	50.33	63.33	0.69	6.75
6	48.33	56	18.09	6.91
7	47.67	64.33	0.75	6.75
8	53	72.67	0.51	6.88

เมื่อ C คือ Compact หรือความสามารถในการกดอัด มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

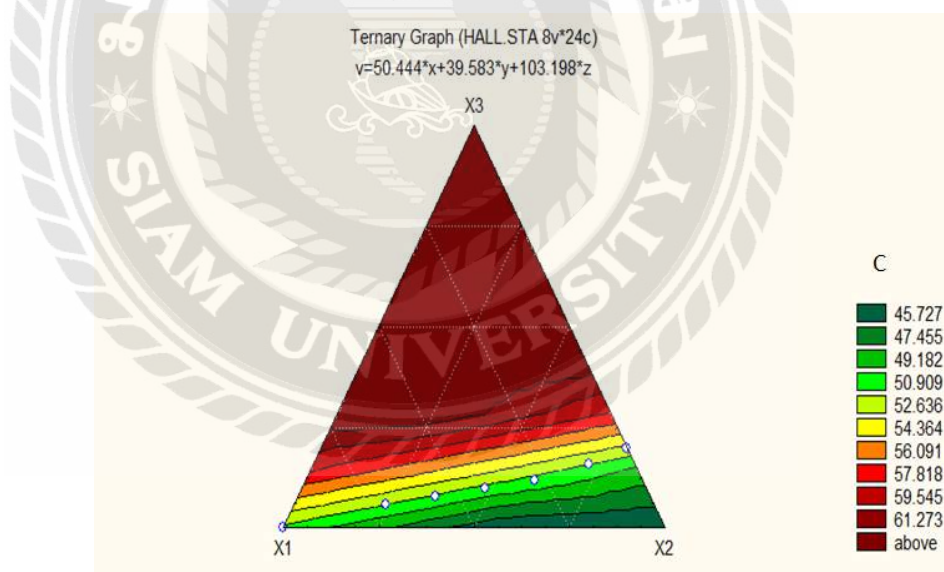
P คือ Permeability หรือความสามารถในการปล่อยซึ่มอากาศ มีหน่วยเป็นเซนติเมตรต่อนาที (Cm/Min)

GCS คือ ความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร(Kg/cm²)

M คือ Moisture หรือความชื้น มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

แล้วใช้โปรแกรมทางสถิติคือ Statgraphic เพื่อหาสมการที่ใช้เป็นพื้นฐานสำหรับใช้ในโรงงานตัวอย่าง และโรงงานอื่นๆที่ใช้มาตรฐานเดียวกันต่อไป

โดยกราฟแสดงความสามารถในการกดอัด และสมการของความสามารถในการกดอัด C คือดังรูปที่ 5.1

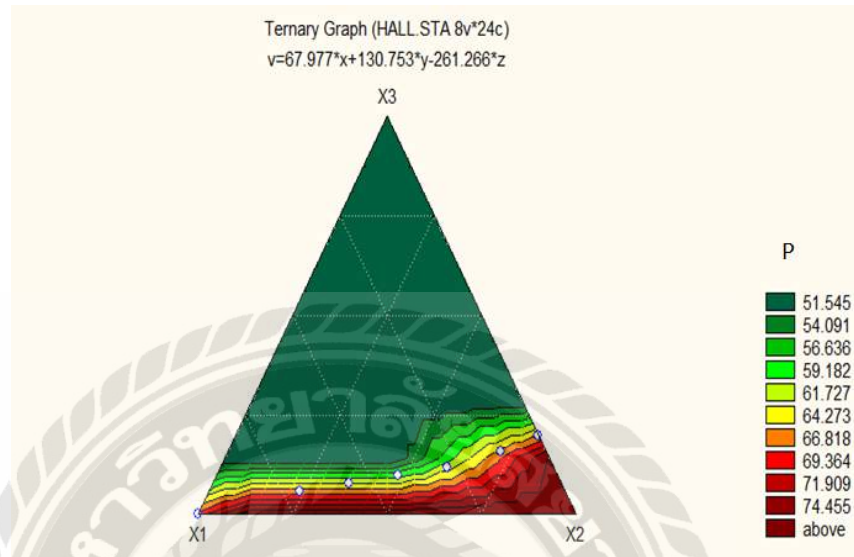


รูปที่ 5.1 กราฟและสมการของความสามารถในการกดอัด(Compact)

จากกราฟ สมการที่ 1 สมการของค่า Compact(C) หรือ ความสามารถในการกดอัด

$$จะ\ ได้\ ว่า\ C = 50.444x + 35.983y + 103.198z$$

โดยกราฟแสดงความสามารถในการปล่อยซึ่มอากาศ และสมการของความสามารถในการปล่อยซึ่มอากาศ (Perm : P) คือดังรูปที่ 5.2

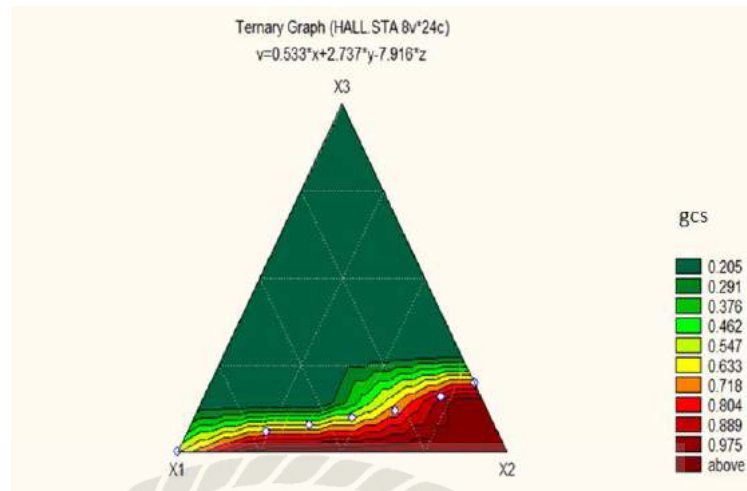


รูปที่ 5.2 แสดงกราฟ และสมการของ Perm (P) หรือ ความสามารถในการปล่อยซึ่มอากาศ

จากกราฟ สมการที่ 2 สมการของค่า Perm (P) หรือ ความสามารถในการปล่อยซึ่มอากาศ

จะได้ว่า $P = 67.977x + 130.753y - 251.266z$

โดยกราฟแสดงความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก และสมการของความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก GCS คือดังรูปที่ 5.3

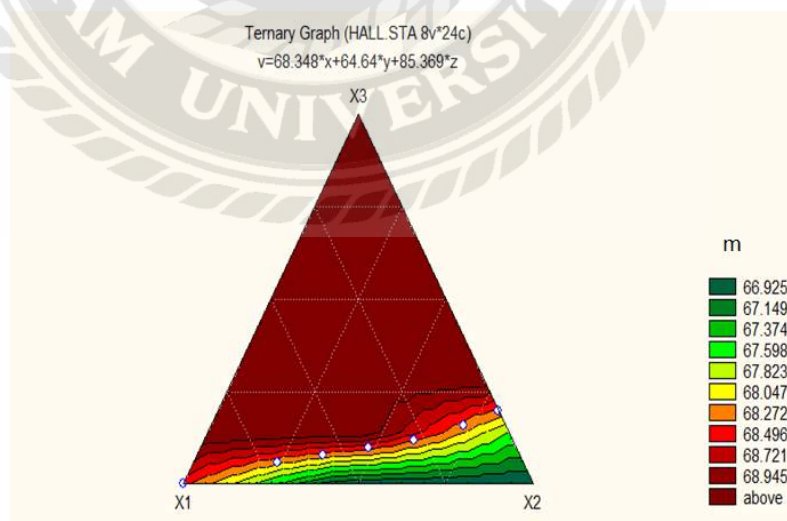


รูปที่ 5.3 แสดงกราฟและสมการของความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก GCS

จากรูปที่ 5.3 จะได้สมการของค่า GCS หรือ ความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก

$$\text{จะได้ว่า } GCS = 0.533x + 2.737y - 7.916z$$

โดยกราฟแสดงค่าความชื้น และสมการแสดงค่าความชื้น Moisture คือดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 แสดงกราฟและสมการของค่าความชื้น Moisture

จากรูปที่ 5.4 สมการที่ 4 สมการของค่า Moisture(M) หรือความชื้น

$$\text{จะได้ว่า } M = 68.348x + 64.64y + 85.369z$$

เมื่อกำหนดค่าหลัก 4 ค่า คือ C (Compact) ความสามารถในการกดอัด, P(Perm) ความสามารถในการปล่อยซึ่มอากาศ, GCS ความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก และ M(Moisture) ความชื้น ตามมาตรฐานที่โรงงานต้องการ ก็จะสามารถแก้สมการเพื่อหาค่า x, y, z หรือค่าทราย, เบนโทไนต์, และน้ำออกมาได้ตามลำดับ

เมื่อกำหนดค่าหลัก 4 ค่า คือ C (Compact) ความสามารถในการกดอัด, P(Perm) ความสามารถในการปล่อยซึ่มอากาศ, GCS ความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก และ M(Moisture) ความชื้น ตามมาตรฐานที่โรงงานต้องการ ก็จะสามารถแก้สมการเพื่อหาค่า x, y, z หรือค่าทราย, เบนโทไนต์, และน้ำออกมาได้ตามลำดับ โดยสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดคือ ทราย ร้อยละ 94, เบนโทไนต์ร้อยละ 5 และน้ำร้อยละ 1 ซึ่งสามารถใช้ทั้งในกรณีโรงงานตัวอย่าง และโรงงานหล่อโลหะอื่นๆด้วย

เมื่อได้สมการสำเร็จรูปแล้วจึงได้นำไปทดลองกับโรงงานหล่อโลหะตัวอย่าง โดยได้ทดลองหล่อโลหะช่องอ 90 องศา ขนาด 1 นิ้ว (AL90, 1") จำนวน 8,400 ตัว (4โม้ โม้ละ 2,100 ตัว) โดยก่อนแก้ปัญหาพบว่า ของเสียในการหล่อโลหะชนิดนี้ที่เกิดจากแม่พิมพ์แบบหล่อทรายคิดเป็นร้อยละ 6.15

ในการทดลองหล่อโลหะจากแม่แบบหล่อทรายทั้งหมด 4 โม้ โม้ละ 600 kg หลังจากทดลองใช้อัตราส่วนผสมที่ได้จากสมการ โดยใช้ทรายร้อยละ 94 (564 kg) เบนโทไนต์ร้อยละ 5 (30kg), น้ำร้อยละ 1 (6kg) ในการผลิตชิ้นงานช่องอ 90 องศา ขนาด 1 นิ้ว (AL90, 1") พบว่าของเสียลดลงแสดงดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ตารางแสดงของเสียการหล่อโลหะห้อง 90 องศา ขนาด 1 นิ้ว (AL90, 1”) จำนวน 8,400 ตัว เมื่อใช้ส่วนผสมแบบหล่อทรายที่มีทรายเป็นส่วนประกอบร้อยละ 94, เบนโทไนต์ร้อยละ 5, น้ำร้อยละ 1

โม้ที่	รายการผลิต	จำนวน	สาเหตุของเสีย				
			เหลือม	ตามค	ผิวหยาบ	เทไม่เต็ม	อื่นๆ
1	AL90, 1”	2,100	350	15	10	5	5
2	AL90, 1”	2,100	340	20	12	7	3
3	AL90, 1”	2,100	250	18	15	5	7
4	AL90, 1”	2,100	310	12	13	8	8
รวม		8,400	1,250	65	50	25	23

เมื่อเปรียบเทียบของเสียก่อนและหลังพบว่าร้อยละของเสียก่อนและหลังพบว่าก่อนปรับปรุง ของเสียของโลหะห้อง 90 องศา ขนาด 1 นิ้ว (AL90, 1”) สูงถึงร้อยละ 6.15 หลังปรับปรุงโดยใช้ส่วนผสมแม่แบบหล่อทรายที่สัดส่วน ทรายเป็นส่วนประกอบร้อยละ 94, เบนโทไนต์ร้อยละ 5, น้ำร้อยละ 1 พบว่ามีของเสียลดลงเหลือเพียงร้อยละ 2.13

5.2 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานปรับปรุงสัดส่วนของส่วนผสมของแม่แบบหล่อทรายในโรงงานหล่อโลหะตัวอย่าง โดยส่วนประกอบของแม่แบบหล่อทรายมีส่วนประกอบ 3 ชนิด ได้แก่ ทราย เบนโทไนต์ และน้ำ โดยมาตรฐานที่ใช้ในโรงงานตัวอย่าง คือ ทรายร้อยละ 94 ถึง 96.5, เบนโทไนต์ ร้อยละ 3 ถึง 5, และน้ำร้อยละ 0.5 ถึง 1 เมื่อทำการแบ่งค่าการทดลองเป็น 8 ค่า โดยให้แต่ละค่ามีช่วงต่างกัน ค่าละเท่ากัน จัดเป็นการทดลองแบบขั้นบันได ทำการทดลอง 3 รอบ (3Repitition) จะได้ค่าคุณสมบัติเชิงกลของแม่แบบหล่อทราย คือ ความสามารถในการกดอัด ความสามารถในการปล่อยซิมอากาศ ความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก และความชื้น และเพื่อความถูกต้องแม่นยำ ผู้ทำการวิจัยได้

ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง (รวมเป็น 3 ครั้ง) แล้วนำคุณสมบัติเชิงกลของแม่แบบหล่อทรายที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย แล้วนำเข้าโปรแกรม Statgraphic จะได้กราฟและสมการออกมาอย่างละ 4 ซึ่งสมการสามารถนำไปใช้ย้อนหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการทำแม่แบบหล่อทรายของทราย เบนโทไนต์ และน้ำ ได้ โดยสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดคือ ทราย ร้อยละ 94, เบนโทไนต์ร้อยละ 5, และน้ำร้อยละ 1 และเมื่อนำไปใช้จริงในโรงงานหล่อโลหะตัวอย่างพบว่าของเสียในการหล่อโลหะตัวอย่างข้องอ 90 องศา ขนาด 1 นิ้ว (AL90, 1”) ลดจากร้อยละ 6.15 เหลือร้อยละ 2.13

5.3 ข้อเสนอแนะ

หากมีผู้สนใจในการทำวิจัยที่คล้ายคลึงกัน อาจใช้การควบคุมปัจจัยหรือตัวแปร เช่น อุณหภูมิ ความชื้นของห้องทดลอง เนื่องจากอุณหภูมิและความชื้นของทราย เบนโทไนต์ และน้ำ มีผลต่อค่าความสามารถในการกดอัด ความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก ความสามารถในการปล่อยซิมอากาศ และค่าความชื้น และนอกจากนั้นอาจมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการทดลอง ควรพิจารณาศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

นอกจากนี้ การวิจัยครั้งนี้ใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบขั้นบันได หากผู้ที่ต้องการนำไปศึกษาต่อ อาจใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบอื่นที่เหมาะสม เช่น การออกแบบการทดลองแบบสุ่มตัวอย่าง (Design of Experiment : DOE) เป็นต้น เพื่อผลการทดลองที่หลากหลายและแม่นยำยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

- เคนยิ จิยิวา และ หริส สุตะบุตร. (2543). โลหะ - การหล่อ. การหล่อหลอมโลหะ. พะเยา: มหาลัยพะเยา
- ชาญณรงค์ สายแก้ว และ เสริมศักดิ์ เวียงวิเศษ . (2554). การปรับปรุงคุณภาพเหล็กหล่อด้วยการหาส่วนผสมที่เหมาะสมของแบบหล่อทราย (*Quality Improvement of Cast Iron by Determining the Optimal Sand Mold Mixture Components*). ขอนแก่น: มหาลัยขอนแก่น.
- เชิญขวัญ รุจทินกฤต และ วรพจน์ มีถม. (2558). การหาส่วนผสมแบบหล่อทราย โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา : อุตสาหกรรมหล่อเหล็ก (*Determining mixture components of sand mold by using design of experiment A case study: Iron fitting industry*). กรุงเทพฯ: มทร.พระนคร.
- ชนาภรณ์ โกรษภูรี. (2541). ผลกระทบของคุณสมบัติของทราย ต่อการเกิดรอยตำหนิในงานหล่อ. เข้าถึงได้จาก <http://www.thaitheis.org/detail.php?id=1082541001153>.
- นิกร มหกรรมโกลา. (2539). กรรมวิธีการหล่อโลหะ. กรุงเทพฯ: สกายบุ๊กส์.
- ศุภชัย ประเสริฐภูกุล. (2548). เทคโนโลยีงานหล่อโลหะ 2 ฉบับมาตรฐาน. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ไซน์แอนด์เอ็นจิเนียริง.
- สรรฐติชัย ชิวสุทธีศิลป์. (2557). กลยุทธ์การออกแบบการทดลองสำหรับวิศวกรรม (*Design of experiments strategies for engineering*). เชียงใหม่: นันทพันธ์พริ้นติ้ง.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ	นายสุรพงศ์ คชพงศ์
วัน เดือน ปี เกิด	25 กุมภาพันธ์ 2531
ที่อยู่	457/22 ซ.วังหลัง 15 แขวงบ้านช่างหล่อ เขตบางกอกน้อย กทม. 10700
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชา อุตสาหการ มหาวิทยาลัยสยาม
ประวัติการทำงาน	ครูสอนพิเศษ
ตำแหน่ง	ครูสอนพิเศษเด็กมัธยม

