

การลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตเหล็กหล่อ เกรด FC 15-20 โดยวิธีการออกแบบการทดลอง

กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเหล็กหล่อ

**Reduction of Waste in the Cast Iron Production Process of FC15-20 Classed by Design of
Experiment Case Study : Casting Iron Industry**

ธนกร อรุณไชย (Tanakorn Arunchai)* สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร (Somkiat Jongprasithporn)**

บทคัดย่อ

จากการศึกษาข้อมูลของกระบวนการผลิตเหล็กหล่อ เกรด FC 15 - 20 ในสายการผลิต มีจำนวนของเสียเท่ากับ 70,951 กิโลกรัม/3เดือน ซึ่งพบว่าของเสียประเภทปัญหา ตามด, ฟองอากาศ และ ปัญหาทรายร่วง มีจำนวนมากที่สุด รวมกันเท่ากับ 48,100 กิโลกรัมคิดเป็น 67.79% ของปัญหาของเสียทั้งหมด ดังนั้นจึงประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 3 ระดับ (3^k Factorial Design) เพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่น่าจะมีผลต่อการทำให้เกิดงานเสีย และจากการวิเคราะห์หาสาเหตุที่เกิดขึ้นโดยการใช้แผนภาพสาเหตุและผล พบว่าปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับของเสียที่เกิดขึ้นได้แก่ 1) ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสม 2) ปริมาณการใส่ เบ้นโทไนท์ ซึ่งเมื่อทำการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัย สรุปได้ว่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสมของปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมอยู่ในระดับ 12 ลิตรและปริมาณการใส่ เบ้นโทไนท์ คือ 14 กิโลกรัม ซึ่งจะทำให้สามารถลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดการตรวจสอบลงได้ จากเดิมคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ไม่ได้คุณภาพจากทั้ง 2 ปัญหารวมกัน 11.65 เปอร์เซ็นต์ เหลือเพียง 4.91 เปอร์เซ็นต์

ABSTRACT

The losses in the production of cast iron, grade FC 15 - 20. According to the study of the production process on the production line, the number of defects was 70,951 kg / 3 months. This was caused by the issue of waste, tiny hole, air bubble, and sand loss. As the result of this the maximum combined weight of 48,100 kg, representing 67.79% of the total waste. By applying the techniques of experimental design-oriented real-time 3-level factorial (3^k Factorial Design) to study the influence of the factors that will affect the types of problems. The study was initiated to study the causes of the choice of this process and analyze the causes using cause and effect diagram. The analysis has shown that the main factors that are associated with the waste. 1) The waste amount of water used to mix 2) The amount of results obtained showed that the level of the appropriate amount of water used to mix in 12 liters and the amount of the Bentonite is 14 kg, which will reduce the number of products that not found the validation requirements. As a percentage of the original, not the quality of these two issues together, 11.65 percent to just 4.91 percent.

คำสำคัญ: กระบวนการผลิตเหล็กหล่อ การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ

Key Words: Cast iron production, 3^k Factorial design

* มหบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

** รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการหล่อหลอมเหล็กของประเทศไทยถือเป็นอุตสาหกรรมที่มีบทบาทความสำคัญต่อ อุตสาหกรรมต่างๆของประเทศ เนื่องจากทั้งในภาคอุตสาหกรรม และภาคเกษตรกรรม ต่างก็มีชิ้นส่วนของงานหล่อเข้าไปเกี่ยวข้องแทบทั้งสิ้น โดยที่โรงหล่อส่วนใหญ่ในประเทศ ลักษณะการทำงานและกระบวนการผลิตต่างๆ ยังต้องอาศัยเทคนิคทางด้านความชำนาญของผู้ปฏิบัติงานมาก ทำให้โรงหล่อส่วนใหญ่ขาดประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต จึงก่อให้เกิดงานเสียในกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก จนมีผลให้ความสามารถในการแข่งขันทางธุรกิจถูกกดทอนลงเนื่องจากมีต้นทุนที่สูงขึ้น

พชร (ม.ป.ป.) ได้กล่าวไว้ว่า ในอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กหล่อ กระบวนการทำแบบทรายหล่อมีความสำคัญเป็นอย่างมากในกระบวนการผลิต ซึ่งในกระบวนการผลิตแบบทรายหล่อนั้น สามารถทำได้โดยใช้แรงงานคนเป็นผู้ทำ และการทำแบบด้วยเครื่องอัตโนมัติโดยคุณภาพของชิ้นงานหล่อที่ได้ จะขึ้นตรงอยู่กับคุณภาพของแบบทรายเป็นหลัก อย่างไรก็ตามคุณภาพของทรายทำแบบมักเป็นประเด็นที่โรงหล่อโดยทั่วไปมองข้ามความสำคัญ ดังนั้นการควบคุมทรายที่ใช้ทำแบบหล่อให้มีคุณภาพสม่ำเสมอ จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากในกระบวนการปรับปรุงและควบคุมคุณภาพของชิ้นงานหล่อ เพื่อป้องกันและลดการเกิดจุดบกพร่องในผลิตภัณฑ์

จากการศึกษาสภาพปัญหาในโรงงานตัวอย่างซึ่งเป็นโรงงานผลิตชิ้นงานหล่อ พบว่าการผลิตผลิตภัณฑ์ไม่ได้คุณภาพตามมาตรฐานเป็นจำนวนมาก โดยเกิดจากปัญหาประเภท ตามด, ฟองอากาศ และ ปัญหาทรายร่วง มีจำนวนมากที่สุด ซึ่งถือเป็นปัญหาที่สำคัญเพราะส่งผลให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการตรวจสอบสาเหตุและดำเนินการแก้ไข

ตารางที่ 1 ข้อมูลลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านคุณภาพประเภทต่างๆในช่วง เดือนมิถุนายน 2553 – สิงหาคม 2553

รหัส	ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดการตรวจสอบ	จำนวน (กิโลกรัม)	สัดส่วนของปัญหา (%)
A	งานเบี้ยว	895	1.26
B	งานบวม	873	1.23
C	ทรายร่วง	21,875	30.83
D	งานยุบ	3,100	4.37
E	ตามด, ฟองอากาศ	26,225	36.96
F	แบบทรายร่วน	3,567	5.03
G	กินเนื้อ	4,932	6.95
H	ผิวไม่เรียบ	3,446	4.86
I	เทไม่เต็ม	4,035	5.69
J	ตัวหนังสือไม่ชัด	1,324	1.87
K	อื่น ๆ	679	0.96
	รวม	70,951	100%

จากข้อมูลในตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดการตรวจสอบประเภท ตามด, ฟองอากาศ และ ปัญหาทรายร่วง มีจำนวนสัดส่วนของเสียมากที่สุดเป็นอันดับที่ 1 และอันดับที่ 2 ซึ่งทั้งสองปัญหาเกี่ยวข้องกันอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ เพราะจากการตรวจสอบกระบวนการผลิตในโรงงานกรณีศึกษาเบื้องต้น พบว่าปัญหาทั้งสองหัวข้อนั้น เกิดการทำแบบทรายที่ไม่ได้คุณภาพ

ดังนั้นผู้ทำการวิจัยมีความสนใจที่จะลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านคุณภาพที่เกิดจากสาเหตุ ตามด, ฟองอากาศ และ ปัญหาทรายร่วง โดยจะทำการศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการเกิดปัญหา

ในกระบวนการผลิตเหล็กหล่อ FC 15 - 20 เพื่อให้สามารถลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านคุณภาพ และจะสามารถปรับปรุงกระบวนการผลิตเหล็กหล่อ FC 15 - 20 ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. การออกแบบการทดลอง

Montgomery (2005) ได้กล่าวไว้ว่า ถ้าต้องการให้การทดลองเกิดประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ผลได้สูงสุดจะต้องนำวิธีการทางวิทยาศาสตร์เข้ามาช่วยในการวางแผนการทดลอง คำว่า “การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ” หมายถึง กระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อว่าจะได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีทางสถิติ ซึ่งจะช่วยให้สามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้ วิธีการออกแบบการทดลองในเชิงสถิติเป็นสิ่งจำเป็น ถ้าต้องการหาข้อสรุปที่มีความหมายจากข้อมูลที่มีอยู่ และถ้ายังปัญหาที่สนใจนั้นเกี่ยวข้องกับความผิดพลาดในการทดลอง วิธีการทางสถิติเป็นวิธีการเพียงอย่างเดียวเท่านั้นที่จะสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้นได้ ดังนั้นสิ่งสำคัญ 2 ประการสำหรับปัญหาที่เกี่ยวกับการทดลองคือ การออกแบบการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ซึ่งศาสตร์ทั้งสองนี้มีความเกี่ยวข้องกันอย่างมาก ทั้งนี้เพราะว่าวิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นกับการออกแบบการทดลองที่จะนำมาใช้

2. การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล

ปารเมศ (2545) ได้กล่าวไว้ว่า การทดลองส่วนมากในทางปฏิบัติจะเกี่ยวข้องกับการศึกษาผลของปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป ในกรณีนี้ การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Design) จะเป็นวิธีการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลหมายถึง การทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับ (Level) ของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น ตัวอย่างเช่น กรณี 2 ปัจจัย ถ้าปัจจัย A ประกอบด้วย a ระดับ และปัจจัย B ประกอบด้วย b ระดับ

ในการทดลอง 1 เรพลีเคต (Replicate) จะประกอบด้วย การทดลองทั้งหมด ab การทดลอง และเมื่อปัจจัยที่เกี่ยวข้องถูกนำมาจัดให้อยู่ในรูปแบบของการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล จะกล่าวได้ว่าปัจจัยเหล่านี้มีการไขว้ (Crossed) ซึ่งกันและกัน

แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลทั่วไป มีรูปแบบทั่วไป คือ $A*B*C \dots$ แฟคทอเรียล รูปแบบของแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลที่สำคัญ ได้แก่ (Montgomery, 2005)

- 1) 2^k แฟคทอเรียล ใช้กับการทดลองหลายปัจจัยที่กำหนดระดับของปัจจัยแค่ 2 ระดับ เท่านั้น ในปัจจัยทั้งหมด k ปัจจัย
- 2) 3^k แฟคทอเรียล ใช้กับการทดลองหลายปัจจัยที่กำหนดระดับของปัจจัยแค่ 3 ระดับ เท่านั้น ในปัจจัยทั้งหมด k ปัจจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัย

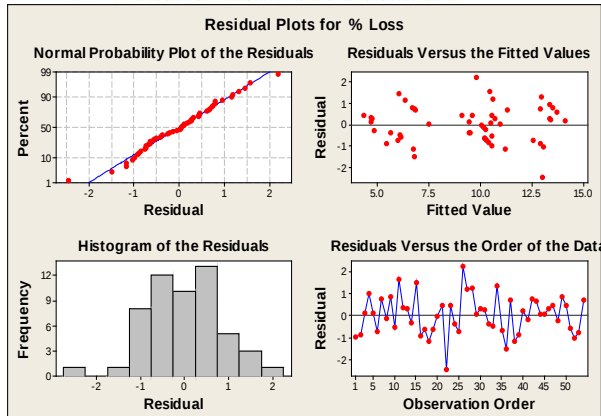
1. การระบุปัญหา

เนื่องจากในกระบวนการหล่อหลอมเหล็กมีต้นทุนสูง ดังนั้นการลดปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องจะช่วยทำให้สามารถลดต้นทุนและก่อให้เกิดความได้เปรียบในการแข่งขัน งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การลดปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องและจากข้อมูลการผลิตที่ได้บันทึกไว้ในช่วงระยะเวลา 3 เดือน ตามตารางที่ 1 จะเห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่เกิดข้อบกพร่องมากที่สุดคือปัญหา ประเภทตามด, ฟองอากาศ และอันดับรองลงมาซึ่งเกี่ยวเนื่องกันคือปัญหา ทหารั่ว

งานวิจัยครั้งนี้จึงต้องการทดลองเพื่อค้นหาปัจจัยและระดับที่เหมาะสมจากการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ เนื่องจากได้ตั้งสมมติฐานว่าความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยแต่ละระดับกับค่าผลตอบสนองที่ใช้วัดอาจไม่เป็นในลักษณะเชิงเส้น

2. กำหนดปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา

เพื่อให้ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหา จึงทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยใช้แผนภาพสาเหตุ



รูปที่ 2 กราฟการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบหลังการปรับปรุงแบบจำลอง

จากรูปที่ 2 พบว่าลักษณะจุดของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) บนกราฟมีการกระจายตามแนวเส้นตรง และฮิสโตแกรม (Histogram) มีความสมมาตรที่จุดศูนย์กลางประมาณศูนย์ จากการวิเคราะห์ทำให้ประมาณได้ว่า ค่าส่วนตกค้าง (Residuals) มีการแจกแจงแบบปกติ เมื่อพิจารณากราฟระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residuals) กับค่าที่ถูกทำนายพบว่าการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) มีลักษณะที่ต่างกัน สรุปได้ว่าค่าส่วนตกค้าง (Residuals) มีการกระจายตัวแบบอิสระไม่ขึ้นกับค่าที่ถูกทำนาย โดยช่วงกว้างของข้อมูลค่อนข้างคงที่ จึงสรุปว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน และกราฟระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residuals) กับลำดับการทดลองพบว่าจุดที่ plot ไม่มีแนวโน้มใดๆ มีการกระจายแบบสุ่ม จึงสรุปได้ว่าค่าส่วนตกค้าง (Residuals) มีลักษณะการกระจายตัวแบบอิสระไม่ขึ้นอยู่กับการทดลอง

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลการทดลองชุดนี้มีความถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือ สามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนในขั้นต่อไปได้

2. ผลการทดลองการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม

ในขั้นตอนการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ Minitab Version 14 มาทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าจำนวนของเสียประเภท ตามด, ฟองอากาศ และ ปัญหาทรายร่วง สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับได้ดังตารางที่ 3

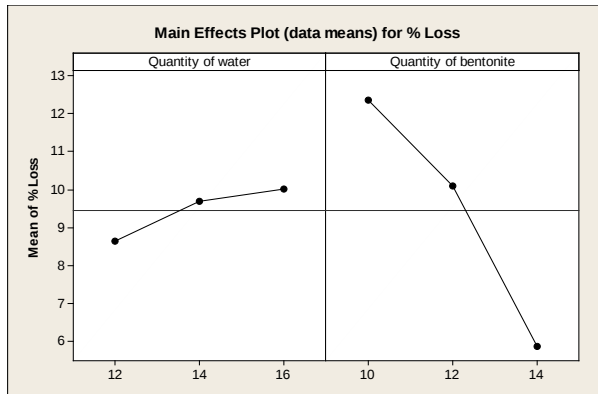
ตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์ของข้อมูลการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ

Analysis of Variance for Wedge Bottom, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Quantity of water	2	18.83	18.83	9.419	9.46	0.00
Quantity of bentonite	2	387.87	387.87	193.93	194.72	0.00
Quantity of water*						
Quantity of bentonite	4	24.19	24.190	6.047	6.07	0.001
Error	45	45.987	45.987	1.022		
Total	53	476.892				
S = 1.01091 R-Sq = 9.36% R-Sq (adj) = 88.64%						

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าจำนวนของเสียประเภท ตามด, ฟองอากาศ และ ปัญหาทรายร่วง ด้วยหลักการทางสถิติดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่าปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่มีอิทธิพลต่อค่าจำนวนของเสียประเภท ประเภท ตามด, ฟองอากาศ และ ปัญหาทรายร่วง อย่างมีนัยสำคัญ 0.05 ($p < 0.05$) คือ ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสม และปริมาณการใส่ เป็นโทไนท์

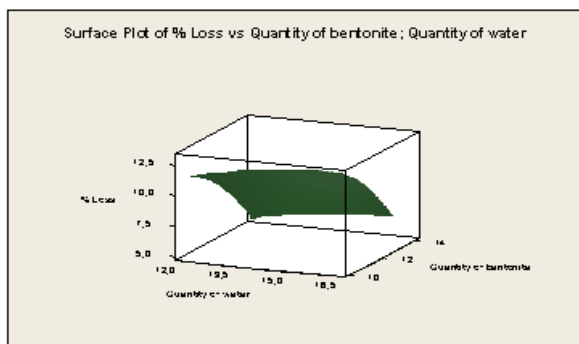
เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของอิทธิพลหลักจากรูปที่ 3 พบว่าเส้นกราฟของ ปริมาณการใส่น้ำ มีลักษณะชันขึ้น ซึ่งหมายความว่าเมื่อปริมาณการใส่น้ำ สูงขึ้น ค่าจำนวนของเสียประเภทปัญหา ตามด, ฟองอากาศ และ ปัญหาทรายร่วงจะมากขึ้น และจากเส้นกราฟของปริมาณการใส่เป็นโทไนท์ มีลักษณะดังลงจากสูงไปต่ำ ซึ่งหมายความว่าถ้าปริมาณการใส่เป็นโทไนท์เพิ่มขึ้น ค่าจำนวนของเสียประเภทปัญหา ตามด, ฟองอากาศ และ ปัญหาทรายร่วงจะน้อยลงด้วย ดังนั้นปริมาณการใส่น้ำ และปริมาณการใส่

เป็นโทไนท์ มีผลต่อค่าจำนวนของเสียประเภทปัญหา ตามด, ฟองอากาศ และ ปัญหาทรายร่วงอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอิทธิพลหลัก 2 ปัจจัย

เมื่อใช้การประมวลผลในลักษณะของวิธีการป็นขึ้น ด้วยทางที่ชันที่สุด (Steepest Ascent) จะสามารถแสดงผลลัพธ์ออกมาเป็นพื้นผิวตอบสนอง ดังรูปที่ 4

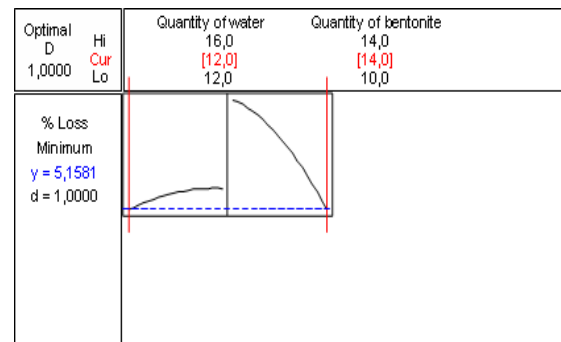


รูปที่ 4 พื้นผิวตอบสนองระหว่างปัจจัยปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสม และปริมาณการใส่ เป็นโทไนท์

จากกราฟสรุปได้ว่าปริมาณการใส่น้ำควรอยู่ที่ประมาณ 12-13.5 ลิตร และปริมาณการใส่เป็นโทไนท์อยู่ที่ประมาณ 13.7-14 กิโลกรัม

จากกราฟของพื้นผิวตอบสนอง (Surface Plot) สามารถระบุระดับปัจจัยที่เหมาะสมต่อผลการตอบสนอง ค่าจำนวนของเสียประเภท ตามด, ฟองอากาศ และ ปัญหา

ทรายร่วงได้แค่เป็นช่วง ดังนั้นการกำหนดค่าปัจจัยที่ชัดเจน จึงต้องอาศัยการวิเคราะห์ด้วย (Respond Optimizer) ในโปรแกรม Minitab Version 14 เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับค่าจำนวนของเสียประเภทตามด, ฟองอากาศ และ ปัญหาทรายร่วง สามารถแสดงผลได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 กราฟแสดงผลตอบสนองของระดับปัจจัยที่เหมาะสม

จากการทดลองใช้ Respond Optimizer ในการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า ที่ปัจจัยปริมาณการใส่น้ำ 12 ลิตร และปริมาณการใส่เป็นโทไนท์ที่ 14 กิโลกรัม จะทำให้ได้ผลตอบสนองเป็นที่น่าพอใจ (Desirability: D) มากที่สุด คือ ค่า D = 1 (100%) และการค้นหาจุดรวมกันของปัจจัยป้อนเข้าต่างๆ ของกระบวนการผลิตที่มีความเหมาะสมต่อผลตอบสนองเกี่ยวกับจำนวนของเสีย (Wedge Bottom) ที่เข้าใกล้ค่าศูนย์มากที่สุด คือ Y = 5.1581 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะให้ผลการเกิดของเสียน้อยที่สุดต่อกระบวนการผลิต

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองและผลการวิเคราะห์ทำให้ทราบว่า ปัจจัยที่มีผล ต่อค่าจำนวนของเสียประเภท ตามด, ฟองอากาศ และ ปัญหาทรายร่วง คือ ปริมาณการใส่น้ำ และปริมาณการใส่เป็นโทไนท์ โดยสามารถกำหนดระดับ

ปัจจัยที่เหมาะสมได้ดังนี้ คือ ปริมาณการใส่น้ำอยู่ที่ 12 ลิตร และปริมาณการใส่เป็นโพนินทรีย์ที่ 14 กิโลกรัม

เมื่อนำผลการวิจัยไปใช้ในกระบวนการผลิต เหล็กหล่อ เกรด FC 15 - 20 ที่ผลิตจากแบบหล่อทรายขึ้น (Green Sand) พบว่าค่าจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดการตรวจสอบประเภท ตามด, ฟองอากาศ และ ปัญหาทรายร่วง รวมกันก่อนปรับปรุง เป็นระยะเวลา 3 เดือน มีจำนวน 48,100 กิโลกรัมหลังจากทำการปรับปรุง เก็บข้อมูล 3 เดือน ทั้งสองปัญหาดลดลงเหลือ 20,961 กิโลกรัม

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณโรงงานกรณีศึกษาที่เอื้อเฟื้อข้อมูลในการทำงานวิจัย ตลอดจนผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้ความร่วมมือและขอขอบคุณ รศ.สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่คอยให้คำแนะนำและ แนวคิดในการทำวิจัยจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

พชร เกตุกราย. ม.ป.ป. การหล่อโลหะภาคผลิต.

กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

Montgomery, D.C. 2005. Design and Analysis of Experiment. The United States of America: John Wiley & Sons.

ปารเมศ ชูติมา. 2545. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.