

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



247565



การหาส่วนผสมแบบหล่อทรายในอุตสาหกรรมเหล็กหล่อ

โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง

DETERMINING MIXTURE COMPONENTS OF SAND MOLD IN IRON
CASTING INDUSTRY USING DESIGN OF EXPERIMENTS

นายสมิณศักดิ์ เวียงวิเศษ

วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิตกิตติมศักดิ์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พ.ศ. 2554

b 00252547

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ



การหาส่วนผสมแบบหล่อทรายในอุตสาหกรรมเหล็กหล่อ
โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง

DETERMINING MIXTURE COMPONENTS OF SAND MOLD IN IRON
CASTING INDUSTRY USING DESIGN OF EXPERIMENTS

นายเสริมศักดิ์ เวียงวิเศษ



วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พ.ศ. 2554

**การหาส่วนผสมแบบหล่อทรายในอุตสาหกรรมเหล็กหล่อ
โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง**

นายเสริมศักดิ์ เวียงวิเศษ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พ.ศ. 2554

**DETERMINING MIXTURE COMPONENTS OF SAND MOLD IN IRON
CASTING INDUSTRY USING DESIGN OF EXPERIMENTS**

MR. SERMSAK WIANGWISET

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
IN INDUSTRIAL ENGINEERING
GRADUATE SCHOOL KHON KAEN UNIVERSITY**

2011

เสริมศักดิ์ เวียงวิเศษ. 2554. การหาส่วนผสมแบบหล่อทรายในอุตสาหกรรมเหล็กหล่อ โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญณรงค์ สายแก้ว

บทคัดย่อ

247565

ในอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กหล่อ การใช้ทรายรีไซเคิลมีผลทำให้สมบัติของแบบหล่อทรายลดลงซึ่งเกิดผลเสียต่อชิ้นงานหล่อได้ อัตราส่วนผสมแบบหล่อทรายรีไซเคิลจึงเป็นสิ่งที่ควรคำนึงถึงเพื่อคุณภาพของชิ้นงานหล่อ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาอัตราส่วนผสมแบบหล่อทรายที่เหมาะสมที่สุดในการนำทรายที่ผ่านการใช้งานแล้วและวัสดุประสานอื่น ๆ มาเป็นส่วนผสม แล้วทำให้สมบัติของแบบหล่อทรายตรงตามความต้องการที่กำหนด โดยที่ทำให้สมบัติเชิงกลของเหล็กหล่อตรงต่อความต้องการของลูกค้า ส่วนผสมของแบบหล่อทรายมี 3 ส่วนผสม คือ ทรายที่ผ่านการใช้งานแล้วครั้งที่ 1 เบนโทไนต์ และน้ำ ผลตอบสนองที่ใช้วัดคุณภาพของแบบหล่อทรายคือ ความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก และความสามารถในการปล่อยซิมอากาศ การศึกษานี้ใช้หลักการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมและวิธีพื้นผิวผลตอบสนอง เพื่อนำมาใช้ในการหาส่วนผสมของแบบหล่อทรายที่เหมาะสมที่สุด นอกจากนี้ อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดยังสามารถหาได้จากการวิเคราะห์การแพร่กระจายความคลาดเคลื่อนร่วมกับฟังก์ชันความพึงพอใจ อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดของแบบหล่อทรายทำให้ความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก และความสามารถในการปล่อยซิมอากาศตรงตามความต้องการที่กำหนด ผลงานวิจัยนี้สามารถช่วยผู้ประกอบการตัดสินใจเกี่ยวกับความพึงพอใจของลูกค้าที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่เป็นเหล็กหล่อได้

Sermasak Wiangwiset. 2011. *Determining Mixture Components of Sand Mold in Iron Casting Industry Using Design of Experiments*. Master of Engineering Thesis in Industrial Engineering, Graduate School, Khon Kaen University.
Thesis Advisor : Asst. Prof. Dr.Charnnarong Saikaew

ABSTRACT

247565

In the iron casting industry, the recycled sand degrades the properties of sand mold that can cause product defects. The mixture components of recycled sand should be considered when looking for the quality of casting products. Hence this research aims to determine the optimal mixture components of recycled sand and other adhesive materials in order to meet the desired properties of sand mold leading to customers' satisfaction on the mechanical properties of the iron casting products. The components of a mixture for making a sand mold consist of the first time recycled sand, bentonite, and water. The responses for quality characteristics of sand mold include green compressive strength and permeability. This study uses mixture experiments and response surface methodology to determine the optimal sand mold mixture components. In addition, propagation of error with the use of desirability function approach has been employed for the purpose of optimizing sand mold mixtures. The optimal sand mold mixture components meet the desired properties of green compressive strength and permeability of sand mold. The research results can help the manufacturer make decisions regarding customers' satisfaction on the quality of iron casting products.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีภายใต้โครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัย (ทุนสกว.-อุตสาหกรรม หรือ MAG-Window I) ประจำปี 2552

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญณรงค์ สายแก้ว ที่กรุณาอบรม สั่งสอน ชี้แนะเกี่ยวกับการศึกษาวิจัย การทำงาน และให้คำปรึกษาทุกขั้นตอนของการทำงานวิทยานิพนธ์ พร้อมเปิดโอกาสให้ได้รับทุนในการศึกษาการวิจัยและการนำเสนอผลงาน รวมถึงตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในงานวิทยานิพนธ์นี้ ขอกราบขอบพระคุณ ดร.อนุรัตน์ วิศิษฐ์สรอรรถ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปณิธาน พีรพัฒนา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ และความคิดเห็นที่ควรนำไปปรับปรุง ทำให้วิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น สำหรับสถานที่ ครุภัณฑ์ อุปกรณ์และเครื่องมือ ในการทำงานวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณครูฝ่ายปฏิบัติการ (ครูช่าง) ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลืองานวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณจิตติรัตน์ อุดมวรรณ ผู้จัดการโรงงาน และพนักงานทุกท่านของบริษัท กรณีศึกษา ที่ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์ต่อการทำงานวิทยานิพนธ์ รวมถึงอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ รุ่นพี่ รุ่นน้อง และเพื่อนทุกคน ในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น สำหรับคำปรึกษาและให้กำลังใจทุกท่าน

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา รวมทั้งครอบครัวของข้าพเจ้า ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจที่ดีมาโดยตลอด

เสริมศักดิ์ เวียงวิเศษ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
2. วัตถุประสงค์	3
3. ขอบเขตของการศึกษา	3
4. วิธีดำเนินการศึกษา	3
5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	5
1. ทฤษฎีเกี่ยวกับแบบหล่อทราย	5
2. ทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบการทดลอง	16
3. หลักการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	36
1. ศึกษาข้อมูลพื้นฐานโรงงานกรณีศึกษาโดยศึกษาสภาพปัจจุบันของ ส่วนผสมของแบบหล่อทรายและคุณภาพของชิ้นงานหล่อ	36
2. สืบเสาะงานวิจัยและรวบรวมทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับแบบหล่อทราย และการนำทรายที่ผ่านการใช้งานแล้วนำกลับมาทำเป็นแบบหล่อทราย รวมทั้งการศึกษาผลกระทบของแบบหล่อทรายที่มีผลต่อชิ้นงานหล่อ	36
3. กำหนดอัตราส่วนและข้อจำกัดปริมาณของส่วนผสมแบบหล่อทราย ตามแผนการทดลองแบบส่วนผสม (mixture experiment)	36
4. ทดสอบสมบัติเชิงกลของแบบหล่อทรายได้แก่ความแข็งแรงอัด ในสภาพเปียก และความสามารถในการปล่อยซิมอากาศ	37
5. วิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด ของแบบหล่อทราย ที่ทำให้สมบัติของแบบหล่อทราย และสมบัติของ ชิ้นงานหล่อเป็นไปตามมาตรฐานของชิ้นงานหล่อนั้น ๆ	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6. กำหนดราคาต้นทุนวัตถุดิบตามอัตราส่วนผสมของแผนการ ทดลองส่วนผสม	37
7. วิเคราะห์ผลการทดลอง เพื่อเลือกอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด ที่ทำให้ราคาต้นทุนวัตถุดิบต่ำที่สุด	37
8. หล่อชิ้นงานในแบบหล่อทรายที่มีอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด	38
9. ทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ ทดสอบความแข็ง ตรวจสอบสภาพ ผิวภายนอกของชิ้นงานที่หล่อได้ พร้อมบันทึกผล	38
10. เปรียบเทียบชิ้นงานที่ได้จากแบบหล่อทรายที่มีอัตราส่วนผสม ที่เหมาะสมที่สุดกับชิ้นงานที่ได้จากแบบหล่อทรายในปัจจุบัน ของโรงงานกรณีศึกษา โดยใช้หลักการวิเคราะห์ผลทางสถิติ	38
11. สรุปผลการศึกษาและเสนอแนะที่เหมาะสมในการทำแบบหล่อทรายให้ ผู้ประกอบการพิจารณา	38
บทที่ 4 การศึกษาข้อมูลโรงงานกรณีศึกษา	41
1. การศึกษาข้อมูลทั่วไปในปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา	41
2. คุณภาพของชิ้นงานหล่อ	46
บทที่ 5 การออกแบบการทดลองส่วนผสม	47
1. การออกแบบการทดลองส่วนผสม	47
2. การวิเคราะห์รูปแบบสมการการออกแบบส่วนผสม	49
3. ขั้นตอนการเตรียมส่วนผสมทรายหล่อที่ใช้ในการทดลอง	51
4. การวิเคราะห์สมบัติเชิงกลและความสามารถในการปล่อยซิมอากาศ	52
บทที่ 6 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	53
1. ผลการทดสอบการออกแบบการทดลองส่วนผสม	53
2. ผลการวิจัยและอภิปรายผล	55
บทที่ 7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	90
1. สรุปผลการวิจัย	90
2. ข้อเสนอแนะให้ผู้ประกอบการพิจารณา	92
3. ข้อเสนอแนะงานวิจัยในอนาคต	93

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม	94
ภาคผนวก	97
ภาคผนวก ก แสดงข้อมูลจากการออกแบบการทดลองส่วนผสมแบบ D-Optimal	98
ภาคผนวก ข แสดงข้อมูลการทดสอบความแข็งของชิ้นงานหล่อทดสอบ	100
ภาคผนวก ค ชิ้นงานหล่อทดสอบและเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ	102
ประวัติผู้เขียน	105

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ลักษณะรูปร่างของเม็ดทราย	6
ตารางที่ 2.2	ตัวอย่างข้อบกพร่องในงานหล่อที่มีสาเหตุมาจากแบบหล่อทราย	15
ตารางที่ 3.1	แผนขั้นตอนการทำงาน 14 เดือน	39
ตารางที่ 5.1	ส่วนผสมและข้อจำกัดของส่วนผสมที่นำไปใช้ในออกแบบการทดลอง	47
ตารางที่ 5.2	ตารางการออกแบบการทดลองของส่วนผสมแบบหล่อทราย	49
ตารางที่ 6.1	อัตราส่วนผสมและผลการทดลองของความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก	53
ตารางที่ 6.2	อัตราส่วนผสมและผลการทดลองของความสามารถในการปล่อยซิม อากาศ	54
ตารางที่ 6.3	การคำนวณเชิงลำดับหรือผลรวมของกำลังสองแบบพิเศษและ การทดสอบ Lack of Fit Tests สำหรับค่าความแข็งแรงอัดในสภาพ เปียก	55
ตารางที่ 6.4	การคำนวณเชิงลำดับหรือผลรวมของกำลังสองแบบพิเศษและ การทดสอบ Lack of Fit Tests สำหรับค่าความสามารถในการปล่อย ซิมอากาศ	56
ตารางที่ 6.5	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งแรงอัดในสภาพ เปียก	57
ตารางที่ 6.6	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสามารถในการปล่อยซิม อากาศ	58
ตารางที่ 6.7	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละส่วนผสมที่กำหนด	67
ตารางที่ 6.8	การกำหนดค่าฟังก์ชันความพึงพอใจของการแพร่กระจายความ คลาดเคลื่อนทั้ง 2 ผลตอบสนอง	69
ตารางที่ 6.9	ราคาต้นทุนวัตถุดิบของส่วนผสมแบบหล่อทราย	70
ตารางที่ 6.10	ต้นทุนวัตถุดิบของอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดและอัตราส่วน แบบเดิม	71
ตารางที่ 6.11	ราคาต้นทุนวัตถุดิบของแต่ละอัตราส่วนผสม	71
ตารางที่ 6.12	การคำนวณเชิงลำดับหรือผลรวมของกำลังสองแบบพิเศษสำหรับ ค่าต้นทุนวัตถุดิบ	72

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 2.1	รูปร่างของเม็ดทรายเหลี่ยมมุมมน (sub-angular) ของทรายระยอง	8
ภาพที่ 2.2	กราฟแสดงผลของความชื้นและเบนโทไนต์ที่มีผลต่อแบบหล่อทราย	11
ภาพที่ 2.3	แผนภูมิแสดงกระบวนการปรับคุณภาพทรายที่ผ่านการใช้งานแล้ว ของโรงงานกรณีศึกษา	12
ภาพที่ 2.4	เครื่อง Universal sand strength	13
ภาพที่ 2.5	เครื่อง Electric permeability meter	14
ภาพที่ 2.6	ช่องว่างของปัจจัยที่มีส่วนผสม 3 ส่วนผสม	16
ภาพที่ 2.7	ระบบโคออดิเนตแกนสามเส้น	17
ภาพที่ 2.8	การเรียงตัวของของพื้นที่ของการออกแบบโครงตาข่ายซิมเพล็กซ์ สำหรับส่วนผสม 3 ชนิด และส่วนผสม 4 ชนิด	19
ภาพที่ 2.9	แผนการทดลองแบบซิมเพล็กซ์เซ็นทรอยด์สำหรับ (a) ส่วนผสม 3 ชนิดและ (b) ส่วนผสม 4 ชนิด	19
ภาพที่ 2.10	แสดงค่าความต้องการในกรณีที่ต้องการค่ามากที่สุด	27
ภาพที่ 2.11	แสดงค่าความต้องการในกรณีที่ต้องการค่าน้อยที่สุด	28
ภาพที่ 2.12	แสดงค่าความต้องการในกรณีที่ต้องการค่าที่กำหนด	28
ภาพที่ 4.1	กระบวนการผลิตปูเลยั	42
ภาพที่ 4.2	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ปูเลยั	42
ภาพที่ 4.3	ทรายที่ผ่านการใช้งานแล้ว	43
ภาพที่ 4.4	ตัวประสานเบนโทไนต์ (Bentonite)	43
ภาพที่ 4.5	เครื่องผสมเตรียมทรายหล่อ	44
ภาพที่ 4.6	เครื่องสร้างแบบหล่อทราย	44
ภาพที่ 4.7	แผนภูมิกระบวนการผลิตแบบหล่อทราย	45
ภาพที่ 4.8	ชิ้นงานปูเลยัที่เป็นของเสียของโรงงาน	46
ภาพที่ 5.1	จุดการออกแบบการทดลองส่วนผสมแบบหล่อทราย	48
ภาพที่ 5.2	ชิ้นงานตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสมบัติเชิงกลและความสามารถในการ ปล่อยซิมอากาศ	52

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
ภาพที่ 6.1	กราฟ Trace ของ (ก) ค่าความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก และ (ข) ค่าความสามารถในการปล่อยซึ้มอากาศ	59
ภาพที่ 6.2	การแจกแจงแบบปกติของค่าคลาดเคลื่อนสุ่มของค่าความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก	61
ภาพที่ 6.3	การแจกแจงแบบปกติของค่าคลาดเคลื่อนสุ่มของค่าความสามารถในการปล่อยซึ้มอากาศ	61
ภาพที่ 6.4	ค่าคลาดเคลื่อนสุ่มและลำดับที่ของค่าความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก	62
ภาพที่ 6.5	ค่าคลาดเคลื่อนสุ่มและลำดับที่ของค่าความสามารถในการปล่อยซึ้มอากาศ	62
ภาพที่ 6.6	ค่าคลาดเคลื่อนสุ่มและค่าประมาณการของค่าความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก	63
ภาพที่ 6.7	ค่าคลาดเคลื่อนสุ่มและค่าประมาณการของค่าความสามารถในการปล่อยซึ้มอากาศ	63
ภาพที่ 6.8	เส้นโครงร่างพื้นผิวผลตอบสนองของค่าความแข็งแรงอัดในสภาพเปียก	64
ภาพที่ 6.9	เส้นโครงร่างพื้นผิวผลตอบสนองของค่าความสามารถในการปล่อยซึ้มอากาศ	65
ภาพที่ 6.10	โครงร่างพื้นผิวผลตอบสนองวางซ้อนทับกันของทั้ง 2 ผลตอบสนอง	66
ภาพที่ 6.11	เส้นโครงร่างของการแพร่กระจายความคลาดเคลื่อนสำหรับค่าความแข็งแรงอัดสภาพเปียก	67
ภาพที่ 6.12	เส้นโครงร่างของการแพร่กระจายความคลาดเคลื่อนสำหรับค่าความสามารถในการปล่อยซึ้มอากาศ	68
ภาพที่ 6.13	ผลของโปรแกรมในการวิเคราะห์การแพร่กระจายความคลาดเคลื่อนร่วมกับฟังก์ชันความพึงพอใจทั้ง 2 ผลตอบสนอง	69
ภาพที่ 6.14	เส้นโครงร่างของฟังก์ชันความพึงพอใจร่วมกับการวิเคราะห์การแพร่กระจายความคลาดเคลื่อนทั้ง 2 ผลตอบสนอง	70
ภาพที่ 6.15	กราฟ Trace ของ ค่าต้นทุนของวัตถุดิบ	73
ภาพที่ 6.16	การแจกแจงแบบปกติของค่าคลาดเคลื่อนสุ่มของค่าต้นทุนวัตถุดิบ	74

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า	
ภาพที่ 6.17	ค่าตลาดเคลื่อนลุ่มและลำดับที่ของค่าต้นทุนวัตถุดิบ	75
ภาพที่ 6.18	ค่าตลาดเคลื่อนลุ่มและค่าประมาณการของค่าต้นทุนวัตถุดิบ	76
ภาพที่ 6.19	โครงร่างพื้นผิวผลตอบสนองทั้ง 3 ผลตอบสนองวางซ้อนทับกัน	77
ภาพที่ 6.20	ผลของโปรแกรมในการวิเคราะห์การแพร่กระจายความคลาดเคลื่อนร่วมกับฟังก์ชันความพึงพอใจของทั้ง 3 ผลตอบสนอง	78
ภาพที่ 6.21	ลักษณะผิวภายนอกชิ้นงานหล่อของอัตราส่วนผสมแบบเดิมของโรงงานกรณีศึกษา	83
ภาพที่ 6.22	ลักษณะผิวภายนอกชิ้นงานหล่อของอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของการแพร่กระจายความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดของ 2 ผลตอบสนอง	84
ภาพที่ 6.23	ลักษณะผิวภายนอกชิ้นงานหล่อของอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของการแพร่กระจายความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดของ 3 ผลตอบสนอง	84
ภาพที่ ค. 1	สายพานพู่เล่ย์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 นิ้ว และสูง 3 นิ้ว	103
ภาพที่ ค. 2	ชิ้นงานทดสอบขนาด 2.8 x 3 x 1 เซนติเมตร	103
ภาพที่ ค. 3	เครื่องมือตรวจสอบสภาพผิวภายนอกของชิ้นงานหล่อ	104
ภาพที่ ค. 4	เครื่องมือทดสอบความแข็งของชิ้นงานหล่อ	104