ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
208865

การปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมหล่อเหล็กหล่อ โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง

QUALITY IMPROVEMENT OF PRODUCTS IN IRON CASTING INDUSTRY USING DESIGN OF EXPERIMENTS

นายธนโรช หาญโธกา

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
พ.ศ. 2554

b00257317

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
208865

การปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมเหล็กหล่อ โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง

QUALITY IMPROVEMENT OF PRODUCTS IN IRON CASTING INDUSTRY USING DESIGN OF EXPERIMENTS

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

นายสาโรช หาญโสภา

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
พ.ศ. 2554

การปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมเหล็กหล่อ โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง

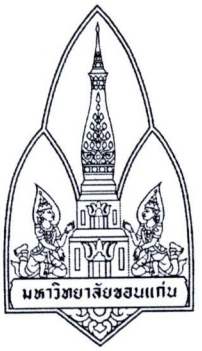
นายสาโรช หาญโสภา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น
พ.ศ. 2554

QUALITY IMPROVEMENT OF PRODUCTS IN IRON CASTING INDUSTRY USING DESIGN OF EXPERIMENTS

MR. SAROJ HANSOPA

A THESIS SUBMITTED IN PARTAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
IN INDUSTRIAL ENGINEERING
GRADUATE SCHOOL KHON KAEN UNIVERSITY
2011



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
หลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

ชื่อวิทยานิพนธ์: การปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมเหล็กหล่อ
โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง

ชื่อผู้ทำวิทยานิพนธ์: นายสาโรช หาญโสภา

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ดร.อนุรัตน์	วิศิษฏ์สรอรรถ	ประธานกรรมการ
ผศ.ดร.ชาญณรงค์	สายแก้ว	กรรมการ
ผศ.ดร.ปณิธาน	พีรพัฒนา	กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์:

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญณรงค์ สายแก้ว)

....
(รองศาสตราจารย์ ดร. ลำปาง แม่นมาตย์) (รองศาสตราจารย์ ดร.สมนึก ธีระกุลพิศุทธิ์)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น

สาโรช หาญโสภา. 2554. ***การปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมเหล็กหล่อ โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง.*** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญณรงค์ สายแก้ว

บทคัดย่อ

208865

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมเหล็กหล่อ โดยใช้หลักการออกแบบการทดลองทางสถิติ ในการหาอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเหล็กหล่อเทาที่เหมาะสมที่สุด เพื่อให้มีสมบัติเชิงกล ได้แก่ ค่าความต้านทานต่อแรงดึงและค่าความแข็งที่ดีที่สุด ส่วนผสมมี 4 ชนิดคือ เศษเหล็กหล่อ เศษเหล็กเหนียว ผงคาร์บอน และเฟอร์โรซิลิกอน การศึกษานี้ใช้หลักการออกแบบการทดลองแบบผสมแบบ D-optimal และวิธีพื้นผิวผลตอบสนอง อย่างไรก็ตาม ในสภาพความเป็นจริงนั้น ผู้ประกอบการย่อมมีความต้องการที่จะผลิตสินค้าโดยให้มีต้นทุนที่ต่ำ ผู้วิจัยจึงได้นำการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์เข้ามาช่วยในเรื่องข้อจำกัดด้านต้นทุนการผลิต โดยใช้เทคนิคมอนติคาร์โลในการจำลองสถานการณ์ปริมาณการผลิตต่อวันของแต่ละอัตราส่วนผสมที่ทำการวิจัย เพื่อหาค่าคาดหวังของต้นทุนโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด สำหรับนำมาใช้พิจารณาประกอบการตัดสินใจในการเพิ่มขีดความสามารถทางการแข่งขันของผู้ประกอบการ

Saroj Hansopa. 2011. **Quality Improvement of Products 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

208865

This research aims to study how to improve quality of products in iron casting industry using design of experiments. The optimal settings of grey cast iron mixtures are determined for optimal mechanical property (i.e., tensile strength and hardness). Grey cast iron mixtures of four kinds of components are considered as the process factors consisting of recycled cast iron, recycled steel, carbon, and ferro silicon. Mixture experiments with D-Optimal design and response surface methodology (RSM) have been employed for the purpose of optimizing grey cast iron mixtures of the four kinds of components. However in this fact case, the manufacturer aims the low production costs. Researcher developed the economics analysis (Monte Carlo technique) to improve about production costs for simulation of product quantity per day in each proportion, expected value of minimize costs for using to consider the way of increasing manufacturer competition ability.

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญณรงค์ สายแก้ว ซึ่งกรุณาสละเวลา ให้ความรู้และคำแนะนำรวมทั้งให้การช่วยเหลือสนับสนุนในทุกขั้นตอนของการทำวิทยานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณ ดร.อนุรัตน์ วิศิษฏ์สรอรรถ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปณิธาน พีรพัฒนา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำแก้ไขข้อบกพร่องทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ครูฝ่ายปฏิบัติการ(ครูช่าง)ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่นทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องการหล่อชิ้นงาน การเตรียมชิ้นงานและทดสอบสมบัติเชิงกล ตรวจสอบโครงสร้าง รวมทั้งการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุทางเคมี

ขอขอบคุณ คุณฐิติรัตน์ อุดมวรรธน์ ผู้จัดการโรงงาน และพี่ ๆพนักงานทุกคนในโรงงานกรณีศึกษา ที่ได้ให้คำแนะนำและช่วยเหลือ รวมถึงอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆของการเก็บข้อมูลวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการมหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่อำนวยความสะดวกเรื่องสถานที่ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ ให้คำแนะนำและให้กำลังใจ ตลอดการศึกษาที่ผ่านมา

ขอขอบคุณและขอบใจ นักศึกษาปริญญาโททั้งรุ่นพี่ เพื่อน ๆและน้อง ๆทุกท่านที่ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือในด้านต่าง ๆตลอดการศึกษา

สุดท้ายนี้ขอบกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของผู้วิจัย ที่คอยสนับสนุนในทุกด้าน ๆ และคอยให้กำลังใจที่สำคัญตลอดมา และหากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อบกพร่องด้วยประการใด ๆ ผู้วิจัยขอน้อมรับไว้ด้วยความขอบคุณยิ่ง

สาโรช หาญโสภา

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		ข
กิตติกรรมประกาศ		ค
สารบัญตาราง		ฉ
สารบัญภาพ		ช
บทที่ 1	บทนำ	
	1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
	3. ขอบเขตของการวิจัย	2
	4. วิธีการดำเนินการวิจัย	3
	5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	4
บทที่ 2	ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	
	1. ทฤษฎีเกี่ยวข้อง	5
	2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเหล็กหล่อที่ใช้ในการวิจัย	31
บทที่ 3	วิธีการดำเนินการวิจัย	
	1. บทนำ	34
	2. ขั้นตอนการดำเนินงาน	34
บทที่ 4	การออกแบบการทดลอง	
	1. รูปแบบสมการการออกแบบส่วนผสม	39
	2. วิเคราะห์รูปแบบสมการการออกแบบส่วนผสม	39
	3. การทดสอบสมบัติเชิงกล การหาองค์ประกอบธาตุทางเคมีและการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของเหล็กหล่อเทา	41
บทที่ 5	ผลการวิจัยและอภิปรายผล	
	1. ผลการวิจัย	46
	2. การอภิปรายผลการวิจัย	47
บทที่ 6	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
	1. สรุปผลการวิจัย	79
	2. ข้อเสนอแนะ	81

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม	82
ภาคผนวก	84
ภาคผนวก ก ข้อมูลการออกแบบส่วนผสมและผลการทดลองสมบัติเชิงกล	85
ภาคผนวก ข ผลจากการออกแบบส่วนผสมจากโปรแกรม Design-Expert เวอร์ชั่น 8.0	88
ภาคผนวก ค ชิ้นงานทดสอบและเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ	99
ประวัติผู้เขียน	107

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กหล่อประเภทต่าง ๆ	7
ตารางที่ 2.2	มาตรฐานคุณสมบัติทางกลของเหล็กหล่อเทาของ JIS G. 5501	8
ตารางที่ 3.1	ขนาดของชิ้นทดสอบแรงดึงของเหล็กหล่อเทาตามมาตรฐาน JIS 1994 No. Z2201	36
ตารางที่ 3.2	แผนการดำเนินการวิจัย	37
ตารางที่ 4.1	อัตราส่วนของการวางแผนการทดลองแบบส่วนผสม	41
ตารางที่ 5.1	ผลการทดสอบการออกแบบส่วนผสมแบบ D-Optimal	46
ตารางที่ 5.2	ผลรวมของกำลังสองแบบพิเศษสำหรับค่าความต้านทานต่อแรงดึง	47
ตารางที่ 5.3	ผลรวมของกำลังสองแบบพิเศษสำหรับค่าความแข็ง	48
ตารางที่ 5.4	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของส่วนผสม 4 ส่วนผสมที่มีผลต่อค่าความต้านทานต่อแรงดึง	49
ตารางที่ 5.5	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของส่วนผสม 4 ส่วนผสมที่มีผลต่อค่าความแข็ง	49
ตารางที่ 5.6	ระดับปัจจัยต่าง ๆที่เหมาะสมที่สุดสำหรับค่าความต้านทานต่อแรงดึงและค่าความแข็ง	59
ตารางที่ 5.7	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละส่วนผสมและค่าผลตอบสนองต่าง ๆ	60
ตารางที่ 5.8	ระดับปัจจัยต่าง ๆที่เหมาะสมที่สุดสำหรับค่าความต้านทานต่อแรงดึงและค่าความแข็ง ที่ทำให้มีค่าการแพร่กระจายความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด	62
ตารางที่ 5.9	ราคาเศษเหล็กหล่อ เศษเหล็กเหนียว ผงคาร์บอน และเฟอร์โรซิลิกอน	62
ตารางที่ 5.10	ราคาต้นทุนวัตถุดิบของแต่ละอัตราส่วนผสม	63
ตารางที่ 5.11	ข้อมูลปริมาณการผลิตเหล็กหล่อเทาของโรงงานกรณีศึกษาในเดือนสิงหาคม 2553	64

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 5.12	การแจกแจงความถี่ ความน่าจะเป็น ความน่าจะเป็นสะสม และช่วงของความน่าจะเป็น ของปริมาณการผลิตเหล็กหล่อเทา	65
ตารางที่ 5.13	สรุปผลการจำลองสถานการณ์การผลิตเหล็กหล่อเทา ซ้ำ 20 ครั้ง	69
ตารางที่ 5.14	ช่วงความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ของต้นทุนโดยโดยเฉลี่ยต่อวัน	71
ตารางที่ 5.15	อัตราส่วนผสมที่ให้ต้นทุนโดยโดยเฉลี่ยต่อวันต่ำสุด 3 อันดับ	72
ตารางที่ 5.16	ค่าความแข็งของชิ้นงานของอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดในเชิงเศรษฐศาสตร์และชิ้นงานจริงของโรงงาน	73
ตารางที่ 5.17	ผลการวิเคราะห์หาช่วงความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ของความแข็ง	73
ตารางที่ 5.18	ปริมาณธาตุของชิ้นงานหล่อจากกลุ่มอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดและชิ้นงานของโรงงาน	74
ตารางที่ 6.1	การเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานหล่อจากกลุ่มอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดและชิ้นงานของโรงงาน	80
ตารางที่ 6.2	มาตรฐานสมบัติเชิงกลด้านความแข็งของเหล็กหล่อเทาตามมาตรฐาน JIS G. 5501 และผลที่ได้จากการศึกษา	81
ตารางที่ ก. 1	ข้อมูลการออกแบบส่วนผสมสำหรับค่าความต้านทานต่อแรงดึง	86
ตารางที่ ก. 2	ข้อมูลการออกแบบส่วนผสมสำหรับค่าความแข็ง	87

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 2.1	ช่วงของส่วนผสมของธาตุคาร์บอนและซิลิกอนในการผลิตเหล็กกล้าและเหล็กหล่อชนิดต่าง ๆ	5
ภาพที่ 2.2	โครงสร้างแบบเฟอร์ไรต์ กำลังขยาย 1,000 เท่า	9
ภาพที่ 2.3	โครงสร้างแบบเพิร์ลไลต์ กำลังขยาย 1,500 เท่า	10
ภาพที่ 2.4	โครงสร้างแบบสเตดไดต์ กำลังขยาย 1,500 เท่า	11
ภาพที่ 2.5	โครงสร้างแมงกานีสซัลไฟด์ กำลังขยาย 400 เท่า	11
ภาพที่ 2.6	ชนิดของแกรไฟต์แผ่นตามมาตรฐาน ASTM A247	13
ภาพที่ 2.7	ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในกระบวนการ	16
ภาพที่ 2.8	สัณฐานของซิมเพล็กซ์	18
ภาพที่ 2.9	การเรียงตัวของของพื้นที่ของการออกแบบโครงตาข่ายซิมเพล็กซ์สำหรับส่วนผสม 3 ชนิด และส่วนผสม 4 ชนิด	21
ภาพที่ 2.10	แผนการทดลองแบบซิมเพล็กซ์เซ็นทรอยด์สำหรับ (a) ส่วนผสม 3 ชนิดและ (b) ส่วนผสม 4 ชนิด	22
ภาพที่ 2.11	ตัวอย่างของฟังก์ชันความต้องการ	29
ภาพที่ 3.1	กระสวนด้วยแบบไม้ตามแบบมาตรฐานของ JIS G. 5501	35
ภาพที่ 3.2	ชิ้นงานทดสอบแรงดึงแบบปลายเรียบ	35
ภาพที่ 4.1	เครื่องทดสอบแรงดึงอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine) SHIMADZU รุ่น EHF-EG10-20L	42
ภาพที่ 4.2	ชิ้นงานทดสอบแรงดึง	43
ภาพที่ 4.3	เครื่องมือทดสอบความแข็งหน่วยวัดแบบบริเนล รุ่น CMC 6250101	43
ภาพที่ 4.4	ชิ้นงานทดสอบความแข็ง	44
ภาพที่ 4.5	เครื่อง OE Spectrometer ที่ใช้ตรวจสอบองค์ประกอบธาตุทางเคมี รุ่น Thermo ARL 3460	44
ภาพที่ 4.6	กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค OLYMPUS รุ่น BX60	45
ภาพที่ 5.1	กราฟ Trace plot ของค่าความต้านทานต่อแรงดึง	51
ภาพที่ 5.2	กราฟ Trace plot ของค่าความแข็ง	51

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
ภาพที่ 5.3	การกระจายแบบปกติของค่าความคลาดเคลื่อนของค่าความต้านทานต่อแรงดึง	53
ภาพที่ 5.4	การกระจายแบบปกติของค่าความคลาดเคลื่อนของค่าความแข็ง	54
ภาพที่ 5.5	ค่าความคลาดเคลื่อนกับลำดับที่ของการเก็บข้อมูลของค่าความต้านทานต่อแรงดึง	54
ภาพที่ 5.6	ค่าความคลาดเคลื่อนกับลำดับที่ของการเก็บข้อมูลของค่าความแข็ง	55
ภาพที่ 5.7	ค่าความคลาดเคลื่อนกับค่าประมาณการของค่าความต้านทานต่อแรงดึง	55
ภาพที่ 5.8	ค่าความคลาดเคลื่อนกับค่าประมาณการของค่าความแข็ง	56
ภาพที่ 5.9	เส้นโครงร่างพื้นผิวผลตอบสนองของค่าความต้านทานต่อแรงดึง	57
ภาพที่ 5.10	เส้นโครงร่างพื้นผิวผลตอบสนองแบบสามมิติของค่าความต้านทานต่อแรงดึง	57
ภาพที่ 5.11	เส้นโครงร่างพื้นผิวผลตอบสนองของค่าความแข็ง	58
ภาพที่ 5.12	เส้นโครงร่างพื้นผิวผลตอบสนองแบบสามมิติของค่าความแข็ง	58
ภาพที่ 5.13	พื้นผิวผลตอบสนองของการแพร่กระจายความคลาดเคลื่อนสำหรับค่าความต้านทานต่อแรงดึง	60
ภาพที่ 5.14	พื้นผิวผลตอบสนองของการแพร่กระจายความคลาดเคลื่อนสำหรับค่าความแข็ง	61
ภาพที่ 5.15	การจำลองสถานการณ์การผลิตชิ้นส่วนเหล็กหล่อเทาใน 31 วัน	66
ภาพที่ 5.16	การกำหนดตัวเลขสุ่มโดยจะใช้สูตร RAND()	67
ภาพที่ 5.17	การใช้สูตร VLOOKUP ค้นหาการจับคู่ที่ตรงกันของความน่าจะเป็นสะสมของปริมาณการผลิตกับปริมาณการผลิตต่อวัน	67
ภาพที่ 5.18	แผนภาพสรุปผลการจำลองสถานการณ์การผลิตเหล็กหล่อเทา ซ้ำ 20 ครั้ง	70
ภาพที่ 5.19	ลักษณะโครงสร้างแกรไฟต์ของชิ้นงานจากอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุด ที่กำลังขยาย 200 เท่า	75
ภาพที่ 5.20	ลักษณะโครงสร้างแกรไฟต์ของชิ้นงานจากโรงงาน ที่กำลังขยาย 200 เท่า	76

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
ภาพที่ 5.21	ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของชิ้นงานจากอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุด ที่กำลังขยาย 500 เท่า	77
ภาพที่ 5.22	ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของชิ้นงานจากชิ้นงานจากโรงงาน ที่กำลังขยาย 500 เท่า	77
ภาพที่ ค. 1	เศษเหล็กหล่อ	100
ภาพที่ ค. 2	เศษเหล็กเหนียว	100
ภาพที่ ค. 3	แสดงผงคาร์บอน	100
ภาพที่ ค. 4	เฟอร์โรซิลิกอน	101
ภาพที่ ค. 5	ทรายระยองจากโรงงานกรณีศึกษา	101
ภาพที่ ค. 6	เบนโทไนต์	102
ภาพที่ ค. 7	หีบหล่อแบบ	102
ภาพที่ ค. 8	กระสวนไม้	102
ภาพที่ ค. 9	แบบหล่อทราย	103
ภาพที่ ค. 10	ชิ้นงานหล่อที่ได้จากแบบหล่อทราย	103
ภาพที่ ค. 11	ชิ้นงานทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง	103
ภาพที่ ค. 12	ชิ้นงานทดสอบความแข็งและชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้าง	104
ภาพที่ ค. 13	เครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง(Universal Testing Machine)ยี่ห้อ SHIMADZU MODEL EHF-EG10-20L	104
ภาพที่ ค. 14	เครื่องทดสอบความแข็งรุ่น CMC 06250101	105
ภาพที่ ค. 15	เครื่องตรวจสอบองค์ประกอบธาตุทางเคมีรุ่น Thermo ARL3460	105
ภาพที่ ค. 16	กล้องจุลทรรศน์ใช้ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคยี่ห้อ OLYMPUS รุ่น BX60	106