บทที่ 6
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

1. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้นำเสนอแนวทางการประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลองทางสถิติและวิธีพื้นผิวผลตอบสนอง เพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมเหล็กหล่อ โดยใช้การออกแบบการทดลองส่วนผสมแบบ D-Optimal ในหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเหล็กหล่อเทา ได้แก่ เศษเหล็กหล่อ เศษเหล็กเหนียว ผงคาร์บอน และเฟอร์โรซิลิกอน เพื่อให้มีสมบัติเชิงกล ได้แก่ ค่าความต้านทานต่อแรงดึงและค่าความแข็งที่ดีที่สุด จากการออกแบบการทดลอง พบว่า อัตราส่วนผสมที่ได้จากโปรแกรม Design-Expert เวอร์ชั่น 8 มีทั้งหมด 15 อัตราส่วนผสม ที่จะนำมาใช้ในการเตรียมชิ้นงานเหล็กหล่อในการทดสอบสมบัติเชิงกล ผลจากโปรแกรมได้อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ได้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงและค่าความแข็งที่ดีที่สุด จะอยู่ที่ระดับอัตราส่วนผสมของเศษเหล็กหล่อ ร้อยละ 80 เศษเหล็กเหนียว ร้อยละ 15.6 ผงคาร์บอน ร้อยละ 3.4 และ เฟอร์โรซิลิกอน ร้อยละ 1 ที่ให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงที่ทำนาย เท่ากับ 23.3 Kg/mm^2 และค่าความแข็งที่ทำนายได้เท่ากับ 235.7 HB โดยให้ค่าฟังก์ชันความพึงพอใจรวมเท่ากับ 0.7

เนื่องจากในการทดลองใด ๆ เมื่อมีการทดลองซ้ำก็จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลได้ ดังนั้นจึงต้องมีการวิเคราะห์ความแพร่กระจายความคลาดเคลื่อน (Propagation of error, POE) ของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง พบว่า อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดของค่าความต้านทานต่อแรงดึงและค่าความแข็งที่ให้การแพร่กระจายความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ประกอบด้วยเศษเหล็กหล่อร้อยละ 76.8 เศษเหล็กเหนียวร้อยละ 18 ผงคาร์บอนร้อยละ 2.5 และเฟอร์โรซิลิกอนร้อยละ 2.7 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ได้ค่าการแพร่กระจายความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดของค่าความต้านทานต่อแรงดึงเท่ากับ 1.3 และค่าแข็งเท่ากับ 13.3 ให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึง เท่ากับ 20 Kg/mm^2 และค่าความแข็งที่ทำนายได้เท่ากับ 204.8 HB โดยให้ค่าฟังก์ชันความพึงพอใจรวมที่ระดับ 0.8

อย่างไรก็ตามในสภาพความเป็นจริงนั้น ผู้ประกอบการย่อมมีความต้องการที่จะผลิตสินค้าโดยให้มีต้นทุนต่ำ ผู้วิจัยจึงได้นำการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์เข้ามาช่วยในเรื่องข้อจำกัดด้านต้นทุนการผลิต โดยใช้เทคนิคมอนติคาร์โลในการจำลองสถานการณ์ปริมาณการผลิตต่อวันของแต่ละอัตราส่วนผสมที่ทำการวิจัยด้วยโปรแกรม Microsoft Office Excel เวอร์ชั่น 2007 ในการจำลองสถานการณ์ปริมาณการผลิตใน 31 วัน เพื่อหาค่าคาดหวังของต้นทุนโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด ปรากฏว่าอัตราส่วนผสมที่ 3 เป็นอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดในเชิงเศรษฐศาสตร์ที่ประกอบด้วยเศษเหล็กหล่อร้อยละ 76.9 เศษเหล็กเหนียวร้อยละ 19.6 ผงคาร์บอนร้อยละ 2.5 และเฟอร์โรซิลิกอนร้อยละ 1 ซึ่งมีต้นทุนเฉลี่ยต่อวันต่ำสุด เท่ากับ 59,768 บาท ที่ให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 16.36 Kg/mm^2 และค่าแข็งเฉลี่ยเท่ากับ 242.65 HB

จากนั้นได้ทำการเปรียบเทียบสมบัติด้านความแข็ง โครงสร้างจุลภาคและองค์ประกอบธาตุทางเคมีระหว่างอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดในเชิงเศรษฐศาสตร์ คือ อัตราส่วนผสมที่ 3 และชิ้นงานจริงของโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งจากการทดลองเปรียบเทียบค่าความแข็งระหว่างอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดในเชิงเศรษฐศาสตร์และชิ้นงานของโรงงานกรณีศึกษา โดยใช้วิธีการเปรียบเทียบผลต่างของค่าเฉลี่ย พบว่า ค่าความแข็งเฉลี่ยของอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดในเชิงเศรษฐศาสตร์มีค่ามากกว่าค่าความแข็งเฉลี่ยของชิ้นงานของโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งค่าความแข็งโดยเฉลี่ยของอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดในเชิงเศรษฐศาสตร์ เท่ากับ 235.5 HB ช่วงความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ของค่าความแข็ง โดยทดลองซ้ำ 10 ครั้ง จะมีค่าอยู่ในช่วง 227.27 HB ถึง 243.8 HB ส่วนค่าความแข็งโดยเฉลี่ยของชิ้นงานของโรงงานกรณีศึกษา เท่ากับ 183.7 HB ช่วงความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ของค่าความแข็ง จะมีค่าอยู่ในช่วง 168.4 HB ถึง 198.5 HB สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุทางเคมีของชิ้นงานหล่อจากกลุ่มอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดในเชิงเศรษฐศาสตร์และชิ้นงานของโรงงาน โดยใช้เครื่อง Spectrometer พบว่า ชิ้นงานที่หล่อจากอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดในเชิงเศรษฐศาสตร์ มีปริมาณธาตุผสมโดยเฉลี่ย คือ 3.54%C 2.32%Si 0.35%Mn 0.25%P และ 0.06%S และชิ้นงานจากโรงงานปริมาณธาตุผสมโดยเฉลี่ย คือ 3.75%C 1.95%Si 0.39%Mn 0.07%P และ 0.09%S และจากการศึกษาโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อ พบว่า ชิ้นงานหล่อจากอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดในเชิงเศรษฐศาสตร์ พบโครงสร้างแกรไฟต์ชนิด A ชนิดเดียว โดยโครงสร้างพื้นฐานมี 2 ลักษณะ ได้แก่ โครงสร้างเพอร์ไลต์ อยู่สลับกันกับเฟสเฟอร์ไรต์ ส่วนชิ้นงานหล่อของโรงงาน พบโครงสร้างแกรไฟต์ชนิด A และชนิด B และมีโครงสร้างพื้นฐานมี 2 ลักษณะ ได้แก่ โครงสร้างเพอร์ไลต์ อยู่สลับกันกับเฟสเฟอร์ไรต์ เช่นเดียวกัน จากผลที่ชิ้นงานหล่อจากอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดในเชิงเศรษฐศาสตร์ พบโครงสร้างแกรไฟต์ชนิด A ชนิดเดียวนั้นส่งผลให้ชิ้นงานหล่อมีความแข็งแรงดีกว่าชิ้นงานหล่อของโรงงาน ที่มีโครงสร้างแกรไฟต์ชนิด A และ B สลับกันอยู่ ผลสรุปของการเปรียบเทียบความแข็ง ส่วนผสมทางเคมีและโครงสร้างจุลภาคแสดงดังตารางที่ 6.1

ตารางที่6.1 การเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานหล่อจากกลุ่มอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดและชิ้นงานของโรงงาน

อัตราส่วนผสม	ส่วนผสมทางเคมี(%)					ชนิดกราไฟต์	โครงสร้างพื้นฐาน	ค่าความแข็ง (HB)
	C	Si	Mn	P	S			
ที่ดีที่สุดในเชิงเศรษฐศาสตร์	3.54	2.32	0.35	0.25	0.06	A	เฟอร์ไรต์, เพิร์ลไลต์	235.5
โรงงาน	3.75	1.95	0.39	0.07	0.09	A,B	เฟอร์ไรต์, เพิร์ลไลต์	207.7

สำหรับค่าสมบัติเชิงกลด้านความแข็งของเหล็กหล่อเทานั้นได้มีการแบ่งเป็นเกรดต่างๆ เพื่อให้มีความเหมาะสมกับลักษณะของการนำไปใช้งาน ตามมาตรฐาน JIS G. 5501 และเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวิจัย พบว่า ค่าความแข็งที่ได้จากอัตราส่วนผสมโดยวิธีพื้นผิวผลตอบสนอง วิธีการแพร่กระจายความคลาดเคลื่อน และเชิงเศรษฐศาสตร์ อยู่ในช่วงมาตรฐานของเหล็กหล่อเทาเกรด FC10-FC25 โดยโรงหล่อกรณีศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้ มีผลิตภัณฑ์หลัก คือ พูลเล่ย์ และชิ้นส่วนเครื่องจักรกลทางการเกษตร ซึ่งตามมาตรฐานจะตรงกับเหล็กหล่อเทาเกรด FC20-FC25 ที่มีค่าความแข็งอยู่ระหว่าง 223-241 HB ดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 มาตรฐานสมบัติเชิงกลด้านความแข็งของเหล็กหล่อเทาตามมาตรฐาน JIS G. 5501 และผลที่ได้จากการศึกษา

Grade	Hardness (HB)
FC10	201
FC15	212
FC20	223
FC25	241
FC30	262
FC35	277
โรงงานกรณีศึกษา	207.7
วิธีพื้นผิวผลตอบสนอง	235.7
POE	204.8
เชิงเศรษฐศาสตร์	235.5

2. ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ มีข้อจำกัดของการทดลองในเรื่องของเวลาและเครื่องมือที่ใช้ในการหล่อหลอมเหล็ก ทำให้งานวิจัยนี้ไม่สามารถทำการทดลองเพื่อยืนยันผลการทดลองในส่วนของผลที่ได้จากวิธีพื้นผิวผลตอบสนองและวิธีการแพร่กระจายความคลาดเคลื่อนได้

ในงานวิจัยครั้งต่อไปอาจเลือกทำการทดสอบสมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้น เช่น การทดสอบแรงกระแทก เพื่อให้ได้สมบัติเชิงกลที่ครอบคลุมเหมาะสมกับการนำไปใช้งานจริงมากขึ้น หรืออาจจะมีการทดลองศึกษาโดยเพิ่มส่วนผสมโดยการเติมธาตุผสมชนิดอื่น เช่น นิเกิลและทองแดงซึ่งเป็นธาตุที่สนับสนุนให้เกิดโครงสร้างแบบเพิร์ลไลต์ในเหล็กหล่อเทา ส่วนโครเมียมและโมลิบดินัมเป็นธาตุที่สนับสนุนให้เกิดโครงสร้างแบบคาร์ไบด์ในเหล็กหล่อเทา เป็นต้น ซึ่งจะช่วยให้เหล็กหล่อเทามีความแข็งแรงมากขึ้น