

อิทธิพลของส่วนผสมแบบหล่อทรายต่อสมบัติของแบบหล่อทราย และชิ้นงานเหล็กหล่อ

Effect of Molding Sand Compositions on Molding Sand Properties and Cast Iron Products

รณฤทธิ์ ชิงภูเขียว (Ronnarit Khuengpukheiw)*

ดร.ชาญณรงค์ สายแก้ว (Dr.Charnnarong Saikaew)**

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาส่วนผสมของแบบหล่อทรายที่มีสมบัติทางกลของแบบหล่อทรายที่เหมาะสม ส่วนผสมแบบหล่อทรายประกอบด้วยทรายที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน ทรายที่ผ่านการใช้งานแล้ว แป้งมันสำปะหลัง เบนโทไนต์ และน้ำ อัตราส่วนผสมของแบบหล่อทรายที่แตกต่างกันเป็นไปตามแผนการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสม แบบหล่อทรายที่มีส่วนผสมต่างกันถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติทางกลของแบบหล่อทราย ได้แก่ ความสามารถรับแรงอัดขณะเปียก ความสามารถปล่อยอากาศซึมผ่าน และค่าความแข็งของแบบหล่อทรายขณะเปียก ผลการศึกษาพบว่า อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมประกอบด้วยส่วนผสมของทรายที่ผ่านการใช้งานแล้วร้อยละ 90 ทรายที่ยังไม่ผ่านการใช้งานร้อยละ 1.69 เบนโทไนต์ร้อยละ 5.76 น้ำร้อยละ 1.55 และแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 1.00 โดยน้ำหนัก ซึ่งทำให้ได้ค่าของความสามารถรับแรงอัดขณะเปียก ความสามารถในการปล่อยซึมอากาศผ่าน และค่าความแข็งของแบบหล่อทรายขณะเปียกที่ทำนายได้เท่ากับ 0.71 Kg/cm^2 30.07 และ 88.14 ตามลำดับ นอกจากนี้ ค่าความแข็งโดยเฉลี่ยของเหล็กหล่อสีเทาที่หล่อจากส่วนผสมของแบบหล่อทรายแบบเดิมของโรงหล่อและของแบบหล่อทรายที่เหมาะสมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ABSTRACT

The purposes of this research were to find a molding sand composition with appropriate mechanical properties of the molding sand. The molding sand composition for making a sand mold consisted of the sand that has not been used, recycled sand, bentonite, cassava starch and water. The different compositions of molding sand were based on mixture experiments. The different compositions of molding sand were investigated for mechanical properties of molding sand including the green compressive strength, permeability and green hardness. The results showed that the optimal proportion was 90 wt.% of recycled molding sand, 1.69 wt.% of sand that has not been used, 5.76 wt.% of bentonite, 1.55 wt.% of water, and

¹ Correspondent author: charn_sa@kku.ac.th

* นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

1.00 wt.% of cassava starch having predicted values of a green compression strength of 0.71 Kg/cm², permeability of 30.07 and a green hardness of 88.14, respectively. In addition, there was no significant difference between mean hardness values of the gray iron castings made with the conventional compositions of molding sand foundry and the optimized compositions of molding sand at a significance level of 0.05.

คำสำคัญ : ส่วนผสมของแบบหล่อทราย เหล็กหล่อ สมบัติทางกล การออกแบบการทดลองส่วนผสม แป้งมันสำปะหลัง

Keywords: Molding sand compositions, Cast Iron, Mechanical properties, Mixture experiments, Cassava starch

บทนำ

อุตสาหกรรมงานหล่อจัดเป็นอุตสาหกรรมที่สนับสนุนการผลิตและเป็นต้นทุนวัตถุดิบให้กับอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้า ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลทางการเกษตร ชิ้นส่วนยานยนต์ อุตสาหกรรมงานหล่อโดยทั่วไปสามารถแยกกรรมวิธีการหล่อตามกรรมวิธีการผลิตได้ 6 ชนิด ได้แก่ งานหล่อจากแบบหล่อทราย งานหล่อแบบไดแคสติ้ง งานหล่อแบบใช้แรงเหวี่ยง งานหล่อจากแบบปูนปลาสเตอร์ งานหล่อแบบอินเวสเมนต์ และงานหล่อโดยกรรมวิธีพิเศษอื่นๆ แบบหล่อจากทรายเป็นกรรมวิธีการหล่อที่นิยมใช้มากวิธีหนึ่ง [1]

แบบหล่อทรายแบ่งออกตามวัสดุตัวประสานได้ 8 แบบ คือ แบบหล่อกรีนทราย แบบหล่อทรายแห้ง แบบหล่อซีโอทู แบบหล่อซีเมนต์บอนด์ แบบหล่อฟูรันเรซิน แบบหล่อแข็งตัวได้เองประเภทยูรีเทนและฟีนอลยูรีเทนเรซิน แบบหล่อแข็งตัวได้เองในบรรยากาศและแบบหล่อเทอร์โมเซตติ้งเรซิน (เซลโมลด์) [2] แบบหล่อทรายแบบกรีนทรายเป็นแบบหล่อที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมงานหล่อมากที่สุด เพราะมีวงจรในการนำกลับมาใช้ใหม่สั้นกว่าแบบหล่อทรายแบบอื่นๆ และเป็นแบบหล่อทรายที่ใช้ต้นทุนต่ำ [1, 3] ส่วนผสมแบบหล่อทรายแบบกรีนทรายเป็นประกอบด้วย ทราย เบนโทไนต์ น้ำ และส่วนผสมอื่น ดังนั้น จึงมีการศึกษาและควบคุมส่วนผสมของแบบหล่อทรายในงาน

หล่อโลหะกลุ่มเหล็กและงานหล่อโลหะนอกกลุ่มเหล็ก โดยใช้วิธีการควบคุมคุณภาพและหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในกระบวนการหล่อ คือ อัตราส่วนผสมของทราย เบนโทไนต์ น้ำหรือความชื้น และส่วนผสมเพิ่มเติมที่ใช้ในแบบหล่อทราย เช่น เด็กซ์ทริน ผงถ่านหิน และเรซิน เป็นต้น

นอกจากตัวประสานในแบบหล่อทรายที่เป็น เบนโทไนต์แล้ว ยังมีการศึกษาตัวประสานอื่นๆ เช่น แป้งมันสำปะหลัง [4] เปรียบเทียบสมบัติทางกลของแบบหล่อทรายโดยใช้กากน้ำตาล แป้งมันสำปะหลัง และกัมอารบิกมาจากน้ำยางธรรมชาติ ซึ่งพบว่า แป้งมันสำปะหลังให้ผลความสามารถรับแรงอัดขณะเปียกสูงกว่ากากน้ำตาลและกัมอารบิก ในขณะที่ [5] เปรียบเทียบสมบัติทางกลของแบบหล่อทราย ได้แก่ ความสามารถรับแรงอัดขณะเปียก ความสามารถรับแรงอัดขณะแห้ง ความสามารถรับแรงเฉือนขณะแห้ง ความสามารถรับแรงเฉือนขณะเปียก ความสามารถในการปล่อยอากาศซึมผ่าน โดยมีส่วนผสมที่มีเบนโทไนต์ แป้งมันสำปะหลัง เป็นตัวประสานอย่างใดอย่างหนึ่ง นอกจากนี้ ยังใช้ทั้งเบนโทไนต์และ แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานร่วมกัน Atanda et al. พบว่าเบนโทไนต์และแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานร่วมกันมีสมบัติทางกลของแบบหล่อทรายดีกว่าที่มีส่วนผสมของเบนโทไนต์ แป้งมันสำปะหลัง เป็นตัวประสานอย่างใดอย่างหนึ่ง [6] ศึกษาเปรียบ

เทียบแป้งจากข้าว ข้าวโพด และมันสำปะหลัง โดยที่สมบัติทางกลของแบบหล่อทรายที่ใช้ในการเปรียบเทียบ ได้แก่ ความสามารถรับแรงอัดขณะเปียก ความสามารถรับแรงเฉือนขณะเปียก ความสามารถในการปล่อยอากาศซึมผ่าน การอัดตัว ดัชนีตัวชีวิต การแตกหักของแบบหล่อทราย ซึ่งพบว่าตัวประสานที่ใช้แป้งจากมันสำปะหลังได้ค่าของสมบัติทางกลของแบบหล่อทรายดีกว่าแป้งจากข้าวโพดและข้าว

จากการศึกษางานวิจัย พบว่ามีหลากหลายวิธีที่สามารถใช้หาสมบัติทางกลของแบบหล่อทรายและอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม อาทิ [7] ใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network) และวิธีจินเนติกอัลกอริทึม (Genetic algorithm) ศึกษาปัจจัยของส่วนผสม ได้แก่ ขนาดของเม็ดทราย เปอร์เซ็นต์ดินเหนียว เปอร์เซ็นต์ความชื้น ค่าความแข็งของแบบหล่อทราย และเวลาในการผสม ตัวชี้วัดใช้ความสามารถรับแรงอัดขณะเปียก ความสามารถปล่อยอากาศซึมผ่าน ความสามารถรับแรงอัดขณะแห้ง และความสามารถรับแรงเฉือนขณะแห้ง ในขณะเดียวกันได้นำทั้งสองวิธีมาเปรียบเทียบกัน พบว่าวิธีจินเนติกอัลกอริทึมได้ผลดีกว่าวิธีโครงข่ายประสาทเทียม วิธีการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่กล่าวมาเป็นวิธีที่ซับซ้อนและต้องอาศัยปริมาณของข้อมูลจำนวนมาก การหาค่าส่วนผสมที่เหมาะสมสามารถใช้วิธีการออกแบบการทดลองซึ่งเป็นวิธีที่เข้าใจง่ายและไม่ซับซ้อน [8] ประยุกต์การออกแบบการทดลองแบบทากูชิ โดยศึกษาเปอร์เซ็นต์ความชื้น ความสามารถรับแรงอัดขณะเปียก ความสามารถปล่อยอากาศซึมผ่าน และค่าความแข็งของแบบหล่อทรายที่สามารถลดของเสียในกระบวนการหล่อชิ้นงานด้วยแบบหล่อทราย ในขณะที่ [9] ใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบทากูชิควบคุมกระบวนการหล่อ โดยมีปัจจัยได้แก่ขนาดของเม็ดทราย เวลาผสม แรงดัน และอุณหภูมิที่ใช้เทน้ำโลหะ โดยศึกษาผลกระทบต่อสมบัติทางกลของชิ้นงานหล่อ คือ ค่าต้านทานแรงดึงและเปอร์เซ็นต์

การยืดตัว Kumar et al. พบว่าขนาดของเม็ดทรายและอุณหภูมิที่ใช้เทน้ำโลหะมีผลต่อค่าต้านทานแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวอย่างมีนัยสำคัญ [10] ใช้วิธีที่ใช้ genetic-neural network (GA-NN) back-propagation neural network (BPNN) และการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางเพื่อศึกษาอิทธิพลขนาดของเม็ดทราย เปอร์เซ็นต์ดินเหนียว อัตราส่วนผสมของน้ำ และจำนวนครั้งที่อัดแบบหล่อทราย เพื่อหาสมบัติทางกลที่เหมาะสม ได้แก่ ความสามารถรับแรงอัดขณะเปียก ความสามารถปล่อยอากาศซึมผ่าน ค่าความแข็ง และความหนาแน่นของแบบหล่อทราย เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับสมบัติทางกล back-propagation neural network ได้ค่าความสามารถรับแรงอัดขณะดีที่สุด การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางความสามารถปล่อยอากาศซึมผ่านและค่าความแข็งที่ดีที่สุด ความหนาแน่นของแบบหล่อทรายมีค่าใกล้เคียงกัน [11] ใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบแฟคตอเรียล (factorial design) โดยมีปัจจัยที่ใช้ศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้เทน้ำโลหะ เวลาที่ทำให้ดินเหนียวหนืด ระยะเวลาผสมส่วนผสม และขนาดของเม็ดทราย สมบัติทางกลที่ใช้ คือ ความหยาบผิว ระยะห่างของอนุภาคซิลิกอน และเปอร์เซ็นต์ของรูพรุนของชิ้นงานหล่อ พบว่า อุณหภูมิที่ใช้เทน้ำโลหะและขนาดของเม็ดทรายมีผลต่อความหยาบผิวอย่างมีนัยสำคัญ

ปัจจุบันมีการนำวิธีการออกแบบการทดลองส่วนผสม (Mixture experiments) มาประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมชิ้นส่วน เป็นต้น นักวิจัยหลายท่านใช้วิธีการออกแบบการทดลองส่วนผสมเพื่อวิเคราะห์หาส่วนผสมที่เหมาะสม [12] ใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมมาวิเคราะห์หาส่วนผสมที่เหมาะสมของอีพ็อกซี โดยมี 3 ส่วนผสมซึ่งประกอบด้วย HIPS SiO₂ และ Hardener สมบัติทางกลที่ใช้ในการประเมินได้แก่ความทนทานต่อแรงดึง ความทนทานต่อแรงดัดโค้ง ความทนทานต่อแรงอัด

และความทนทานต่อแรงกระแทก ผลการศึกษาพบว่า ได้ความทนทานต่อแรงดึงเพิ่มมากขึ้น [13] ประยุกต์การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมวิธีพื้นผิวผลตอบสนองรวมถึงการวิเคราะห์การแพร่กระจายความคลาดเคลื่อน โดยหาอัตราส่วนผสมของชิ้นส่วนพลาสติกระหว่างส่วนผสมพลาสติกโพลีคาร์บอเนตรีไซเคิลและพลาสติกโพลีคาร์บอเนตใหม่ เพื่อให้ได้สมบัติความต้านทานต่อแรงดึงและอุณหภูมิการบิดงอที่ดีที่สุด [14] ใช้การออกแบบการทดลองส่วนผสมแบบ D-optimal ในกระบวนการกัดโลหะร่วมกับการใช้น้ำหล่อเย็น ซึ่งมี 3 ปัจจัย คือ ความเร็วรอบในการกัด อัตราการป้อน ความลึกในการกัดชิ้นงาน ตัวชี้วัดใช้ความหยาบผิวและพลังงานที่ใช้ ผลการศึกษาพบว่า สามารถทำให้ได้ผิวที่มีความราบเรียบมากขึ้นและการใช้พลังงานลดลง จากงานวิจัยดังกล่าว วิธีการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุวิศวกรรมและผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้ จากการทบทวนวรรณกรรม การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง การออกแบบการทดลองแบบแฟคตอเรียล นิยมใช้หาปัจจัยที่มีผลต่อผลตอบสนองแต่การหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสม สามารถได้อัตราส่วนที่เหมาะสมที่ตรงต่อความต้องการและมีจำนวนของการทดลองน้อยกว่า การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง และการออกแบบการทดลองแบบแฟคตอเรียล

นอกจากวิธีการที่ใช้หาส่วนผสมที่เหมาะสมของอุตสาหกรรมงานหล่อที่กล่าวมาข้างต้น พบว่า มีนักวิจัยหลายท่านได้นำวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง อาทิเช่น [15] ได้ทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของภาพถ่ายของคอนกรีตที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อวิเคราะห์ลักษณะของรูปร่างของเกล็ดในส่วนผสมของคอนกรีตมีผลต่อ

ความแข็งแรงและความสามารถปล่อยซึมอากาศผ่านของคอนกรีต [16] ทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของภาพถ่ายโครงสร้างของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของกากน้ำตาล โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างของกากน้ำตาลในส่วนผสมของคอนกรีตมีผลต่อความสามารถรับแรงอัดของคอนกรีต อย่างไรก็ตามในงานวิจัยมีความจำเป็นต้องวิเคราะห์ลักษณะการประสานตัวกันของส่วนผสมของแบบหล่อทรายเพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของส่วนผสมของแบบหล่อทรายจากการทดสอบ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

จากการทบทวนวรรณกรรมที่กล่าวมาข้างต้น แม้ว่า [17] ใช้การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมในการศึกษาส่วนผสมที่เหมาะสมของแบบหล่อทราย โดยมีส่วนผสมประกอบด้วย ทรายที่ผ่านการใช้งานแล้ว เบนโทไนต์ และน้ำ โดยใช้สมบัติทางกลได้แก่ ความสามารถรับแรงอัดขณะเปียกและความสามารถในการปล่อยอากาศซึมผ่าน ในขณะเดียวกัน Saikaew and Wiengwiset ได้ทำการเปรียบเทียบชิ้นงานหล่อที่ได้จากส่วนผสมแบบหล่อทรายเดิมกับส่วนผสมที่เหมาะสม โดยการเปรียบเทียบค่าความแข็งของชิ้นงานหล่อของแบบหล่อทรายทั้ง 2 ส่วนผสม แต่ยังไม่พบการศึกษาที่มีส่วนผสมประกอบด้วย ทรายที่ผ่านการใช้งานแล้ว ทรายที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน เบนโทไนต์ แป้งมันสำปะหลัง และน้ำ ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาร่วมกันของส่วนผสมแบบหล่อทรายโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมเพื่อใช้ในการหาส่วนผสมที่เหมาะสมของแบบหล่อทราย โดยได้ใช้สมบัติทางกลของแบบหล่อทรายได้แก่ ความสามารถรับแรงอัดขณะเปียก ความสามารถในการปล่อยอากาศซึมผ่าน และค่าความแข็งของแบบหล่อทรายขณะเปียก ให้ได้ค่าที่เหมาะสมให้ได้เป็นไปตามมาตรฐานของสมบัติทางกลของแบบหล่อทราย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ส่วนผสมของแบบหล่อทรายที่มีส่วนผสมประกอบด้วย ทรายที่ผ่านการใช้งานแล้ว ทรายที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน เบนโทไนต์ แป้งมันสำปะหลัง และน้ำ ที่มีผลต่อสมบัติทางกลของแบบหล่อทราย สมบัติทางกลและคุณลักษณะอื่นๆ ของชิ้นงานเหล็กหล่อ

วิธีวิจัย

วัสดุและเครื่องมืออุปกรณ์

วัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมของแบบหล่อทรายในงานวิจัยนี้ คือ ทรายระยะที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน ทรายที่ผ่านการใช้งานแล้ว (ซึ่งผ่านการใช้งานมาแล้วหลายครั้ง) แป้งมันสำปะหลัง เบนโทไนต์ที่ได้มาจากโรงหล่อเอเชีย เมื่อผสมวัสดุเหล่านี้เข้ากับน้ำแล้วทำให้เกิดแรงดึงดูดจนสามารถยึดเกาะกันเป็นแบบหล่อ และทำให้แบบหล่อมีความแข็งแรง ลักษณะรูปร่างของส่วนผสมที่ใช้ในแบบหล่อทรายแสดงดังภาพที่ 1

งานวิจัยนี้ทำการทดสอบสมบัติทางกลคือ ความสามารถรับแรงอัดขณะเปียก ความสามารถในการปล่อยซึมอากาศผ่าน และค่าความแข็งแรงของแบบหล่อทรายขณะเปียก โดยใช้ชิ้นตัวอย่างตามการทดสอบตามมาตรฐานของสมาคม A.F.S. (American Foundry' men Society) ชิ้นงานตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบหาค่าความสามารถรับแรงอัดขณะเปียก ความสามารถในการปล่อยอากาศซึมผ่าน และค่าความแข็งแรงของแบบหล่อทรายขณะเปียกมีลักษณะและรูปร่างเหมือนกัน โดยมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร และสูง 50 มิลลิเมตร เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบความสามารถรับแรงอัดขณะเปียกคือเครื่อง Universal sand strength ซึ่งมีหน่วยเป็น Kg/cm^2 ในขณะที่เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบความสามารถในการปล่อยอากาศซึมผ่านคือเครื่อง electric permeability meter ซึ่งมีหน่วยเป็นตัวเลขของความสามารถปล่อยอากาศซึมผ่าน และเครื่องมือ

ทดสอบค่าความแข็งแรงของแบบหล่อทรายขณะเปียกใช้กดลงที่ชิ้นทดสอบสามารถอ่านได้จากตัวเลขหน้าปิดการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสม

ในงานวิจัยนี้กำหนดให้ทรายที่ผ่านการใช้งานแล้วมีปริมาณ 90 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และมีการควบคุมความชื้นที่ 3 เปอร์เซ็นต์ ในขณะเดียวกันได้นำเอาส่วนผสมอีก 4 ส่วนผสม มาทำการทดลองตามวิธีการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมแบบ D-optimal ซึ่งเป็นการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมแบบมีข้อจำกัด ข้อจำกัดของแต่ละส่วนผสมที่ทำการศึกษาในหน่วยเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแสดงในตารางที่ 1

การทดสอบชิ้นงานหล่อ

การทดสอบชิ้นงานหล่อเป็นเหล็กหล่อสีเทาที่ได้จากการหล่อจากแบบหล่อทรายที่มีอัตราส่วนผสมของแบบหล่อทราย 2 ประเภทคือ ส่วนผสมแบบเดิมของโรงหล่อและส่วนผสมของแบบหล่อทรายที่เหมาะสม การตรวจสอบลักษณะสภาพผิวภายนอกของชิ้นงานหล่อสามารถกระทำภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายต่ำแบบกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอซูม (Zoom Steriomicroscope) รุ่น SZX 9 กำลังขยายที่เลนส์วัตถุ 10 เท่า

การตรวจสอบลักษณะโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อสามารถกระทำภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) กำลังขยายที่เลนส์วัตถุ 10x โดยการเตรียมชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคโดยการขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 300 500 800 1000 1200 ตามลำดับ แล้วนำไปขัดละเอียดชิ้นงานทดสอบด้วยผงลูมิน่า 0.1 ไมครอน และ 0.3 ไมครอน ตามลำดับ จนชิ้นงานทดสอบเรียบและไม่เหลือรอยจากการขัดด้วยกระดาษทรายแล้วนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ ชิ้นงานเหล็กหล่อสีเทาที่ใช้ทดสอบความแข็งแรง ผ่านกระบวนการตัดเนื้อโดยการกลึงปาดหน้า และการเจียรในราบ เพื่อให้ชิ้นงานมีผิวหน้าที่ราบเรียบทำให้สามารถอ่านค่าความแข็งแรงแบบบริเนลล์ได้ง่ายยิ่งขึ้น โดยใช้ลูกบอล

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร น้ำหนัก 3,000 กิโลกรัม ใช้เวลาทดสอบ 10 วินาที โดยทำการกดขึ้นทดสอบละ 3 จุด และนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์เพื่อวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยกด แล้วทำการบันทึกผลการทดสอบ

ผลการวิจัยและอภิปราย

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดสอบสมบัติทางของแบบหล่อทรายตามแผนการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมโดยแต่ละตัวอย่างการทดสอบจะทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ผลการทดลองในตารางที่ 2 สามารถนำมาวิเคราะห์เลือกรูปแบบจำลองการถดถอยทางสถิติของความสามารถรับแรงอัดขณะเปียก ความสามารถในการปล่อยอากาศซึมผ่าน และค่าความแข็งแรงของแบบหล่อทรายขณะเปียก โดยใช้โปรแกรม Design-Expert® version 7.0 [19] ซึ่งแสดงในตารางที่ 3 รูปแบบทางสถิติของความสามารถรับแรงอัดขณะเปียก (GSC.) ความสามารถปล่อยอากาศซึมผ่าน (Perm.) และค่าความแข็งแรงของแบบหล่อทรายขณะเปียก (Hard.) มีความเหมาะสมในรูปแบบเชิงเส้นตรง (linear model) รูปแบบเชิงเส้นโค้ง (quadratic model) และรูปแบบเชิงเส้นโค้ง ตามลำดับ โดยมีค่า p -value ของแต่ละรูปแบบน้อยกว่า 0.05 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารูปแบบจำลองของสมการถดถอยที่ได้มีความเหมาะสมสำหรับข้อมูลและสามารถยอมรับรูปแบบสมการถดถอยนั้นได้ ในขณะเดียวกันค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) และค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดปรับแล้ว ($R^2_{Adj.}$) ของแต่ละรูปแบบมีค่าสูงใกล้เคียง 1 ซึ่งเป็นการยืนยันให้เห็นว่าสมการถดถอยสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณส่วนผสมของส่วนผสมทั้งสี่ชนิดและสมบัติทางกลของแบบหล่อทรายได้อย่างเหมาะสม

ภาพที่ 2 3 และ 4 เป็นกราฟ trace ของผลตอบสนอง ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์แต่ละส่วนผสมว่ามีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกลของ

แบบหล่อทรายหรือไม่ โดยพิจารณาจากแนวโน้มของเส้นกราฟ ถ้าเส้นกราฟของส่วนผสมใดมีลักษณะเป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้ง แสดงว่าส่วนผสมนั้นมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางกลของแบบหล่อทราย ภาพที่ 2 พบว่าเบนโทไนด์ (B) และน้ำ (C) มีอิทธิพลต่อความสามารถรับแรงอัดขณะเปียก เนื่องจากเส้นกราฟเป็นเส้นตรงที่เพิ่มขึ้นและลดลง แต่ทรายที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (A) และแยมันสำปะหลัง (D) ไม่มีอิทธิพลต่อความสามารถรับแรงอัดขณะเปียก ภาพที่ 3 เห็นได้ว่าปริมาณของน้ำ (C) ทรายใหม่ (A) และแยมันสำปะหลัง (D) มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นค่าความแข็งแรงของแบบหล่อทรายขณะเปียกมีค่าต่ำลง แต่ตรงกันข้ามกับเบนโทไนด์ (B) มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นทำให้ค่าความแข็งแรงของแบบหล่อทรายขณะเปียกมีค่าสูงขึ้น เมื่อต้องการค่าความแข็งแรงของแบบหล่อทรายขณะเปียกมีค่าสูง ปริมาณของปริมาณของน้ำ (C) ทรายใหม่ (A) และแยมันสำปะหลัง (D) มีปริมาณต่ำ ในขณะที่เบนโทไนด์ (B) มีปริมาณสูง

เมื่อนำสมการถดถอยในตารางที่ 3 มาสร้างกราฟเส้นโครงร่างพื้นผิวตอบสนอง (contour plot) ของความสามารถรับแรงอัดขณะเปียก ความสามารถปล่อยอากาศซึมผ่าน และค่าความแข็งแรงของแบบหล่อทรายขณะเปียก ซึ่งแสดงดังภาพที่ 5 6 และ 7 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์พบว่า เมื่อทรายที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน น้ำ และแยมันสำปะหลังอยู่ในระดับต่ำ ในขณะที่เบนโทไนด์อยู่ในระดับสูง ทำให้ความสามารถรับแรงอัดในขณะเปียกมีค่าสูงขึ้น ส่วนผสมที่มีเบนโทไนด์และแยมันสำปะหลัง อยู่ในระดับต่ำ ในขณะที่ทรายที่ยังไม่ผ่านการใช้งานและน้ำอยู่ในระดับสูง ทำให้ความสามารถปล่อยอากาศซึมผ่านมีค่าสูงขึ้น แต่เมื่อส่วนผสมทรายที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน เบนโทไนด์และแยมันสำปะหลังอยู่ในระดับต่ำ ในขณะที่น้ำอยู่ในระดับสูง ทำให้ค่าความแข็งแรงของแบบหล่อทรายขณะเปียกมีค่าต่ำลง

การหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดโดยให้ผลตอบสนองของความสามารถรับแรงอัดขณะเปียก

ความสามารถในการปล่อยอากาศซึมผ่าน และค่าความแข็งแรงของแบบหล่อทรายขณะเปียกมีค่าผลตอบสนองที่เหมาะสมที่สุดร่วมกัน โดยใช้เทคนิคการซ้อนทับกันของกราฟเส้นโครงร่างของผลตอบสนองแต่ละตัวมาวางซ้อนทับกัน (overlay plot) โดยกำหนดเงื่อนไขของค่าความสามารถรับแรงอัดขณะเปียกที่อยู่ในช่วงประมาณ $0.7-1.2 \text{ Kg/cm}^2$ [2] ค่าความสามารถในการปล่อยอากาศซึมผ่านอยู่ในช่วง 30-70 [1] และค่าความแข็งแรงของแบบหล่อทรายขณะเปียกอยู่ในช่วง 80-90 [3] ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานของแบบหล่อทรายที่ใช้สำหรับชิ้นงานหล่อทั่วไป จากการวิเคราะห์พบว่า อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ระดับของส่วนผสมที่มีทรายที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (A) ร้อยละ 1.69 เบนโทไนต์ (B) ร้อยละ 5.76 น้ำ (C) ร้อยละ 1.55 และแป้งมันสำปะหลัง (D) ร้อยละ 1.00 โดยน้ำหนัก ซึ่งทำให้ได้ค่าความสามารถรับแรงอัดขณะเปียกประมาณ 0.71 Kg/cm^2 ค่าความสามารถในการปล่อยอากาศซึมผ่าน 30.07 และค่าความแข็งแรงของแบบหล่อทรายขณะเปียก 88.14 แสดงดังภาพที่ 8

จากภาพที่ 9 เมื่อนำแบบหล่อทรายทั้งแบบหล่อทรายที่มีส่วนผสมเดิมของโรงหล่อ(ทรายที่ผ่านการใช้งานแล้ว 95.8% เบนโทไนต์ 1.2 % น้ำ 3%) และแบบหล่อทรายที่มีส่วนผสมที่เหมาะสมข้างต้น มาเปรียบเทียบลักษณะการยึดเกาะตัวกันแล้ว พบว่าส่วนผสมของแบบหล่อทรายที่เหมาะสมจะมี เบนโทไนต์และแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน ทำให้มีช่องว่างขนาดเล็กมาก ซึ่งทำให้ความสามารถรับแรงอัดขณะเปียกและค่าความแข็งแรงของแบบหล่อทรายขณะเปียกมีค่าสูงกว่าส่วนผสมแบบหล่อทรายของโรงหล่อ แต่เมื่อมีช่องว่างน้อยทำให้ความสามารถในการปล่อยอากาศผ่านของส่วนผสมแบบหล่อทรายที่เหมาะสมมีค่าต่ำกว่าส่วนผสมเดิมของแบบหล่อทรายของโรงหล่อ

การวิเคราะห์ลักษณะสภาพผิวภายนอกและโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อ

งานวิจัยนี้ได้ตรวจสอบสภาพผิวภายนอกของชิ้นงานหล่อที่ได้จากการหล่อจากแบบหล่อทรายที่มีอัตราส่วนผสมของแบบหล่อทราย 2 ประเภทคือ ส่วนผสมแบบเดิมของโรงหล่อและส่วนผสมของแบบหล่อทรายที่เหมาะสม การตรวจสอบลักษณะสภาพผิวภายนอกของชิ้นงานหล่อสามารถกระทำภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายต่ำแบบกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอซุม (Zoom Steriomicroscope) รุ่น SZX 9 กำลังขยายที่เลนส์วัตถุ 10 เท่า จากการพิจารณาถึงสภาพผิวภายนอกของชิ้นงานที่ได้จากส่วนผสมแบบหล่อทรายแบบเดิมของโรงหล่อ ซึ่งแสดงในภาพที่ 10 (ก) พบว่าสภาพผิวภายนอกของชิ้นงานมีลักษณะผิวที่ไม่ราบเรียบโดยมีลักษณะคล้ายร่องหรือหลุม และผิวของชิ้นงานมีลักษณะรอยบุ๋ม (slag blowhole) สาเหตุอาจมาจากการเกิด oxidation ตามโลหะจนทำให้เกิดออกไซด์ในน้ำโลหะ ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดก๊าซ ที่เกิดได้จากเม็ดทรายร่วงลงมาในผิวของงานหล่อเรียกว่าฝนทราย (rain of sand) [20] เมื่อพิจารณาถึงสภาพผิวภายนอกของชิ้นงานที่ได้จากส่วนผสมของแบบหล่อทรายที่เหมาะสมซึ่งแสดงในภาพที่ 10 (ข) พบว่าสภาพผิวภายนอกของชิ้นงานหล่อมีลักษณะผิวที่ราบเรียบกว่าชิ้นงานที่ได้จากส่วนผสมแบบหล่อทรายแบบเดิมของโรงหล่อ เนื่องจากความหยาบของผิวชิ้นงานหล่อจากส่วนผสมเดิมของแบบหล่อทรายของโรงหล่อมักมีลักษณะการนูนขึ้นของผิวนอกชิ้นงานที่สามารถเห็นได้ชัดกว่าส่วนผสมของแบบหล่อทรายที่เหมาะสม

ในส่วนของการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อที่ได้จากการหล่อในแบบหล่อทรายที่มีส่วนผสมของแบบหล่อทราย 2 ประเภทคือ ส่วนผสมแบบเดิมของโรงหล่อและส่วนผสมของแบบหล่อทรายที่เหมาะสม การตรวจสอบลักษณะโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อสามารถกระทำภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) กำลังขยายที่เลนส์วัตถุ 10x จากการพิจารณาโครงสร้างจุลภาคของ

ชิ้นงานที่ได้จากส่วนผสมของแบบหล่อทรายที่เหมาะสมและส่วนผสมของแบบหล่อทรายแบบเดิมของโรงหล่อ ซึ่งแสดงในภาพที่ 11 พบว่าเป็นลักษณะโครงสร้างเป็นกลุ่มๆ แต่ละกลุ่มมีกราฟไฟที่เรียงกระจายออกตามแนวรัศมีคล้ายดอกกุหลาบ (rosette grouping) การเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ (random orientation) กราฟไฟชนิดนี้ประกอบด้วยก้อนยูเทคติก (eutectic cells) ซึ่งมีกราฟไฟชิ้นเล็กๆ ที่เกิดขึ้นขณะการแปรสภาพแบบยูเทคติก กราฟไฟขนาดเล็กอยู่ตรงกลางและกราฟไฟขนาดใหญ่กว่าอยู่รอบนอกเรียงตามรัศมี ถ้าเกิดกราฟไฟหยาบในโครงสร้างของพื้นที่ที่เป็นเฟอร์ไรต์จะทำให้มีความแข็งต่ำ ถ้ากราฟไฟละเอียดและมีอยู่น้อยความแข็งมีค่าสูง [21] นอกจากนี้ภาพที่ 11 แสดงโครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายกันแต่มีขนาดของกราฟไฟที่แตกต่างกัน ชิ้นงานเหล็กหล่อสีเทาที่หล่อจากส่วนผสมของแบบหล่อทรายเดิมของโรงหล่อซึ่งแสดงดังภาพที่ 11 (ก) มีกราฟไฟขนาดใหญ่และหยาบกว่าชิ้นงานเหล็กหล่อสีเทาที่หล่อจากส่วนผสมของแบบหล่อทรายที่เหมาะสมซึ่งแสดงดังภาพที่ 11 (ข) ซึ่งจำเป็นต้องทดสอบความแข็งของชิ้นงานเหล็กหล่อสีเทาที่หล่อจากส่วนผสมทั้งสองแบบว่า ชิ้นงานที่หล่อจากแบบหล่อทรายประเภทใดมีความแข็งสูงกว่ากัน

การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความแข็งของชิ้นงานหล่อ

ตารางที่ 4 แสดงค่าความแข็งของชิ้นงานเหล็กหล่อที่หล่อจากแบบหล่อทราย 2 ประเภทของส่วนผสม (ประเภทที่ 1: ส่วนผสมของแบบหล่อทรายแบบเดิมของโรงหล่อและประเภทที่ 2: ส่วนผสมของแบบหล่อทรายที่เหมาะสม)

การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแข็งใน 2 ประเภทของส่วนผสมสามารถทำได้โดยการทดสอบสมมติฐานแบบ t-test ซึ่งมีสมมติฐานในการทดสอบคือ

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \text{ or } \mu_1 - \mu_2 = 0$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \text{ or } \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

โดยที่ μ_1 แทนค่าเฉลี่ยความแข็งของชิ้นงานเหล็กหล่อสีเทาที่หล่อจากแบบหล่อทรายแบบเดิมของโรงหล่อ และ μ_2 แทนค่าเฉลี่ยความแข็งของชิ้นงานเหล็กหล่อที่หล่อจากแบบหล่อทรายที่มีส่วนผสมของแบบหล่อทรายที่เหมาะสม ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแข็งของชิ้นงานเหล็กหล่อสีเทาที่หล่อจากแบบหล่อทราย 2 ประเภทแสดงดังตารางที่ 5 ซึ่งให้เห็นว่า ค่าความแข็งของชิ้นงานเหล็กหล่อสีเทาที่หล่อจากแบบหล่อทรายทั้ง 2 ประเภท ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นคือ ค่าความแข็งโดยเฉลี่ยของชิ้นงานเหล็กหล่อสีเทาที่หล่อจากส่วนผสมของแบบหล่อทรายที่เหมาะสมมีค่าความแข็งโดยเฉลี่ยของชิ้นงานเหล็กหล่อสีเทาไม่มีความแตกต่างกันกับเหล็กหล่อสีเทาจากส่วนผสมของแบบหล่อทรายแบบเดิมของโรงหล่อ ซึ่งค่าความแข็งของชิ้นงานเหล็กหล่อสีเทาอยู่ในเกณฑ์การใช้งานทั่วไปคือ HB 130-270 [20]

เปรียบเทียบต้นทุน

ราคาต้นทุนดังแสดงในตารางที่ 6 ถ้าแบบหล่อทรายใช้ 15 กิโลกรัมต่อแบบหล่อทราย ผลิตปุ๋ย 14 นิ้ว 2 ร่อง สัปดาห์ละ 100 ชิ้น ราคา 380 บาทต่อชิ้น และปุ๋ย 10 นิ้ว 2 ร่อง ราคา 265 บาทต่อชิ้น ต้นทุนของอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมมีต้นทุน 15.34 บาทต่อแบบหล่อทราย มีของเสีย 2 % 1 % ตามลำดับและอัตราส่วนผสมของแบบหล่อทรายเดิมโรงหล่อมีต้นทุน 3.9945 บาทต่อแบบหล่อทราย มีของเสีย 6 % 5% ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์ต้นทุนต่อสัปดาห์ต้นทุนของอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม 4,093.26 บาทต่อสัปดาห์ และต้นทุนต่อสัปดาห์ต้นทุนของอัตราส่วนผสมเดิมโรงหล่อ 4,403.9 บาทต่อสัปดาห์ แบบหล่อทรายที่มีอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมมีต้นทุนการผลิตต่ำกว่าต้นทุนของอัตราส่วนผสมเดิมโรงหล่อ

สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมและการวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของแบบหล่อทรายที่ทำให้สมบัติของแบบหล่อทรายตรงตามความต้องการ โดยที่ทำให้สมบัติทางกลของเหล็กหล่อสีเทาตรงต่อความต้องการของลูกค้า ส่วนผสมของแบบหล่อทรายที่ทำการทดลองคือ ทรายที่ผ่านการใช้งานแล้วมีส่วนผสมที่ 90 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก ในขณะเดียวกันใช้ส่วนผสมที่ประกอบด้วยทรายที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน เบนโทไนต์ น้ำ และแ่งมันล่าปะหลังโดยมีเงื่อนไขข้อจำกัดอยู่ในหน่วยเปอร์เซนต์โดยน้ำหนักคือ $1 < A < 5$, $3 < B < 7$, $1 < C < 5$ และ $1 < D < 5$ โดยที่ A, B, C และ D คือ ทรายที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน เบนโทไนต์ น้ำ และแ่งมันล่าปะหลัง ตามลำดับ สมบัติทางกลของแบบหล่อทรายที่ถูกนำมาประเมินหาส่วนผสมที่เหมาะสมของแบบหล่อทรายได้แก่ ความสามารถรับแรงอัดขณะเปียก ความสามารถในการปล่อยซิมอากาศผ่าน และค่าความแข็งแรงของแบบหล่อทรายขณะเปียก ผลการวิเคราะห์พบว่า อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดประกอบด้วยส่วนผสมของทรายที่ผ่านการใช้งานแล้วร้อยละ 90 ทรายที่ยังไม่ผ่านการใช้งานร้อยละ 1.69 เบนโทไนต์ร้อยละ 5.76 น้ำร้อยละ 1.55 และแ่งมันล่าปะหลังร้อยละ 1.00 โดยน้ำหนัก ซึ่งทำให้ได้ค่าของความสามารถรับแรงอัดขณะเปียก ความสามารถในการปล่อยซิมอากาศผ่าน และค่าความแข็งแรงของแบบหล่อทรายขณะเปียกที่ทำนายได้เท่ากับ 0.71 Kg/cm^2 , 30.07 และ 88.14 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงสภาพผิวภายนอกของชิ้นงานที่ได้จากอัตราส่วนผสมแบบหล่อทรายของทั้ง 2 ประเภท พบว่าแบบหล่อทรายที่เหมาะสมมีสภาพผิวภายนอกของชิ้นงานเหล็กหล่อมีลักษณะผิวที่ราบเรียบกว่าสภาพผิวภายนอกของชิ้นงานเหล็กหล่อที่ได้จากแบบหล่อทรายเดิมของหล่อโรง และชิ้นงานเหล็กหล่อสีเทาที่หล่อจากส่วนผสมของแบบหล่อทรายเดิมของโรงหล่อมีขนาด

และความหยาบของกราฟที่แตกต่างกันกับแบบหล่อทรายที่เหมาะสม นอกจากนี้ ค่าความแข็งแรงโดยเฉลี่ยของชิ้นงานเหล็กหล่อสีเทาที่หล่อจากส่วนผสมของแบบหล่อทรายที่เหมาะสมมีค่าความแข็งแรงโดยเฉลี่ยของชิ้นงานเหล็กหล่อสีเทาไม่มีความแตกต่างกันกับเหล็กหล่อสีเทาจากส่วนผสมของแบบหล่อทรายแบบเดิมของโรงหล่อ และแบบหล่อทรายที่มีอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมมีต้นทุนการผลิตต่ำกว่าต้นทุนของอัตราส่วนผสมเดิมโรงหล่อ จากผลการศึกษาี้สามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจของผู้ประกอบการได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณโรงหล่อเอเซียที่ให้ความอนุเคราะห์ส่วนผสมของแบบหล่อทรายและกระบวนการหล่อชิ้นงานทดสอบค่าความแข็งแรง นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณครูปฏิบัติการประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ความช่วยเหลือและความสะดวกในกระบวนการปฏิบัติงานต่าง ๆ

เอกสารอ้างอิง

1. Rattana N, Utilityjinda J, Lamubon K, Thongkamwong P, Thavornpanich P, Tharasuk K. Technology metal casting industry.1987. Thai.
2. Runnarong S, Puechmongkol W, Kanithabuth W, Tantikhajonkoson W. Basic Foundry Technology. 1st edition, Printmaking Publishing; 1991.Thai.
3. Prasertskul S. Foundry Technology Vol.1 standard Edition. Science & Engineering Publishing; 2004. Thai.

4. Popoola API. Effect of molasses, cassava starch, and Arabic gum on mechanical strength of foundry core. *Journal of Scientific & Industrial Reseach.* 2011; Vol.70:1029-1032.
5. Atanda PO, Olorunniwo OE, Alonge K, Oluwole OO. Comparison of bentonite and cassava starch on the moulding properties of silica sand. *International Journal of Materials and Chemistry.* 2012; 2(4): 132-136.
6. Atanda PO, Akinlosotu OC, Oluwole OO. Effect of some polysaccharide starch extracts on binding characteristics of foundry moulding sand. *International Journal of Scientific & Engineering Research.* 2014; Volume 5:363-367.
7. Karunakar DB, Datta GL. Controlling green sand mould properties using artificial neural networks and genetic algorithms – A comparison. *Applied Clay Science.* 2007; 37:58-66.
8. Dabade UA Bhedasgaonkar RC. Casting defect analysis using design of experiments (DoE) and computer aided casting simulation technique. *Procedia CIRP* 7. 2013; 616-621.
9. Kumar S, Kumar P, Shan HS. Optimization of tensile properties of evaporative pattern casting process through Taguchi's method. *Journal of Materials Processing Technology.* 2008; 204 : 59-69.
10. Parappagoudar MB, Vundavilli PR. Application of modeling tools in manufacturing to improve quality and productivity with case study. *Proceedings in Manufacturing Systems.* 2012; 7: Issue 4.
11. Jafari HJ, Idris MH, Hayganpour A. Evaluation of significant manufacturing parameters in lost foam casting of thin-wall Al-Si-Cu alloy using full factorial design of experiment. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China.* 2013; 23:2843-2851.
12. Rostamiyan Y, Hamed MA, Salman Khani A. Optimization of mechanical properties of epoxy-based hybrid nanocomposite: Effect of using nano silica and high-impact polystyrene by mixture design approach. *Materials and Design.* 2014; 56 : 1068-1077.
13. Saikaew C, Sripaya P. Quality Improvement of Plastic Parts in Electric Device Manufacturing. *The Journal of KMUTNB.* 2009; Vol.19, No.3: 394-406.
14. Kurama E, Ozcelik B, Bayramoglu M, Demirbas E, Simsek BT. Optimization of cutting fluids and cutting parameters during end milling by using D-optimal design of experiments. *Journal of Cleaner Production.* 2013 ;42 :159-166.
15. Divya C, Rafat S, Kunal. Strength, permeability and microstructure of self-compacting concrete containing rice husk ash. *Bio Systems Engineering.* 2015; 130: 72 - 80.

16. Gao X, Yang Y, Deng H. Utilization of beet molasses as a grinding aid in blended cements. *Construction and Building Materials*. 2011; 25: 3782–3789.
17. Saikaew C, Wiengwiset S. Optimization of molding sand composition for quality improvement of iron castings. *Applied Clay Science*. 2012 ; 67–68: 26–31.
18. Saikaew C. *Statistics and Design of Engineering Experiments*. (2nd Edition), Faculty of Engineering Press, Khon Kaen University, Khon Kaen; 2012. Thai.
19. StatEase, Inc., 2005. *Design Expert 7 User's Guide*. Minneapolis, USA: StatEase.
20. Sutabutr H, Wiyiwa K. *Metal Foundry*. 1st edition, Duangkamol Publishing ; 1978. Thai.
21. Prasertskul S. *Foundry Technology Vol.2 standard Edition*. Science & Engineering Publishing; 2004. Thai.

ตารางที่ 1 ส่วนผสมและข้อจำกัดของส่วนผสมที่นำไปใช้ในการออกแบบการทดลอง

ส่วนผสม	สัญลักษณ์	ข้อจำกัด	
		ค่าต่ำ (% โดยน้ำหนัก)	ค่าสูง (% โดยน้ำหนัก)
ทรายที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน	<i>A</i>	1	5
เบนโทไนด์	<i>B</i>	3	7
น้ำ	<i>C</i>	1	5
แป้งมันสำปะหลัง	<i>D</i>	1	5

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบสมบัติทางกลของแบบหล่อทราย

ส่วนผสมที่	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>GSC.</i>	<i>Perm.</i>	<i>Hard.</i>
1	1.000	7.000	1.000	1.000	0.873	20.333	88.333
2	3.667	4.333	1.000	1.000	0.630	32.000	85.444
3	1.000	3.000	1.000	5.000	0.567	10.667	83.222
4	5.000	3.000	1.000	1.000	0.580	37.333	85.889
5	1.000	3.000	5.000	1.000	0.290	38.667	71.333
6	3.667	3.000	1.000	2.333	0.603	27.667	85.778
7	1.000	4.333	3.667	1.000	0.490	39.000	84.222
8	1.000	4.333	1.000	3.667	0.613	14.333	87.222
9	2.333	3.000	3.667	1.000	0.407	40.667	80.556
10	1.000	3.000	2.333	3.667	0.517	25.000	84.222
11	1.000	4.333	2.333	2.333	0.590	30.667	86.222
12	2.333	5.667	1.000	1.000	0.753	28.000	88.222
13	2.333	3.000	2.333	2.333	0.483	39.000	85.111
14	2.333	3.000	1.000	3.667	0.553	19.667	86.333
15	1.000	3.000	3.667	2.333	0.423	38.000	82.111
16	3.667	3.000	2.333	1.000	0.440	44.000	84.222
17	2.333	4.333	1.000	2.333	0.620	21.000	87.667
18	1.000	5.667	2.333	1.000	0.630	34.000	87.222
19	2.333	4.333	2.333	1.000	0.527	41.000	86.333
20	1.000	5.667	1.000	2.333	0.727	16.667	88.556
21	2.000	4.000	2.000	2.000	0.570	28.333	86.111

หมายเหตุ: *GSC.* คือ ความสามารถรับแรงอัดในขณะเปียก

Perm. คือ ความสามารถปล่อยอากาศซึมผ่าน

Hard. คือ ค่าความแข็งของแบบหล่อทรายขณะเปียก

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความสามารถรับแรงอัดสภาพเปียก ความสามารถปล่อยอากาศซึมผ่าน และค่าความแข็งของแบบหล่อทรายขณะเปียก

สมบัติทางกลของแบบหล่อทราย	สมการถดถอย	R ²	R ² _{Adj.}
ความสามารถรับแรงอัดสภาพเปียก	$GSC. = 0.041532A + 0.10867B - 0.020373C + 0.044508D$	0.96	0.95
ความสามารถปล่อยอากาศซึมผ่าน	$Perm. = 4.70065A + 0.59946B - 2.99578C - 1.35738D + 0.12463AB + 1.55431AC - 0.086311AD + 1.99963BC - 0.29725BD + 2.16369CD$	0.97	0.94
ค่าความแข็งของแบบหล่อทรายขณะเปียก	$Hard. = 8.19970A + 8.42188B - 0.23185C + 5.85000D - 0.021535AB + 0.94331AC + 0.43159AD + 1.40034BC + 0.46675BD + 1.35346CD$	0.96	0.93

ตารางที่ 4 ค่าความแข็งของชิ้นงานเหล็กหล่อสี่เท่าที่หล่อจากแบบหล่อทราย 2 ประเภทของส่วนผสม

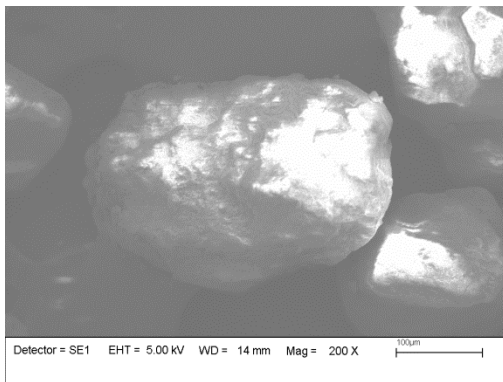
ประเภทที่ 1 (HB)	ประเภทที่ 2 (HB)
237.2675	237.2675
237.8989	234.766
236.6386	241.0921
249.0111	243.691
247.6655	242.3866
249.6878	238.5327

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแข็งของชิ้นงานเหล็กหล่อสี่เท่าที่หล่อจากแบบหล่อทราย 2 ประเภท

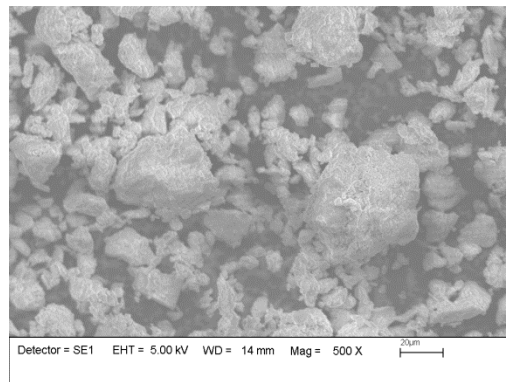
t Star	P(T<=t)one-tail	t Critical one-tail	P(T<=t)two-tail	t Critical two-tail
1.159847	0.136527	1.812461	0.273054	2.228139

ตารางที่ 6 ราคาต้นทุนวัสดุ

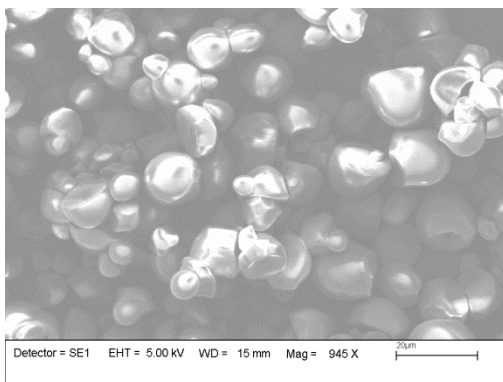
รายการ	(บาท/กิโลกรัม)
เบนโทไนต์	13
ทรายใหม่	3
แป้งมันสำปะหลัง	22
น้ำ	0.21



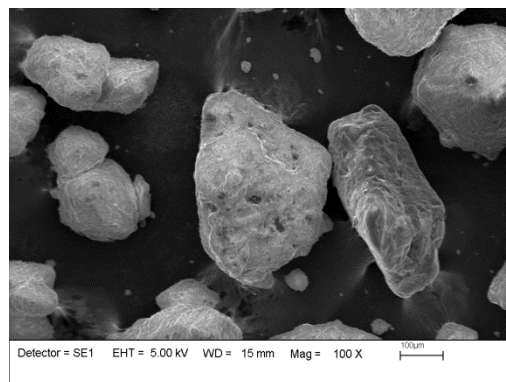
(ก)



(ข)

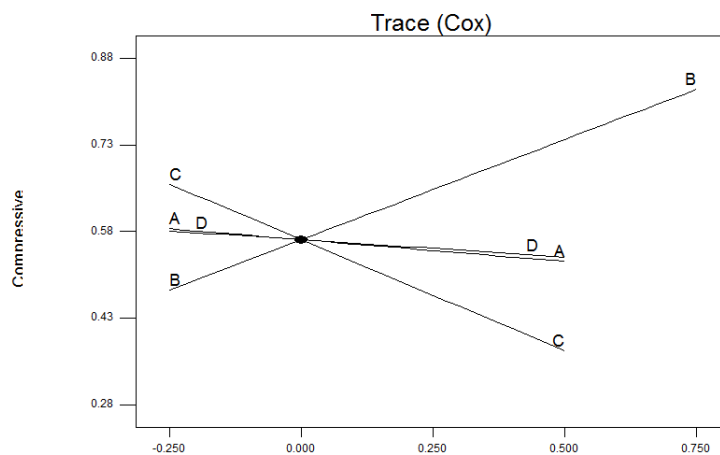


(ค)

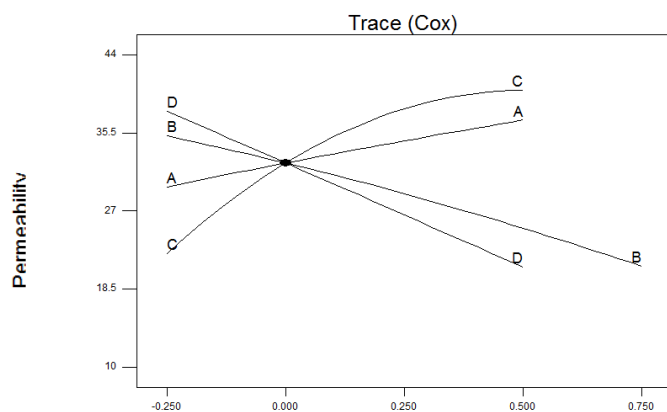


(ง)

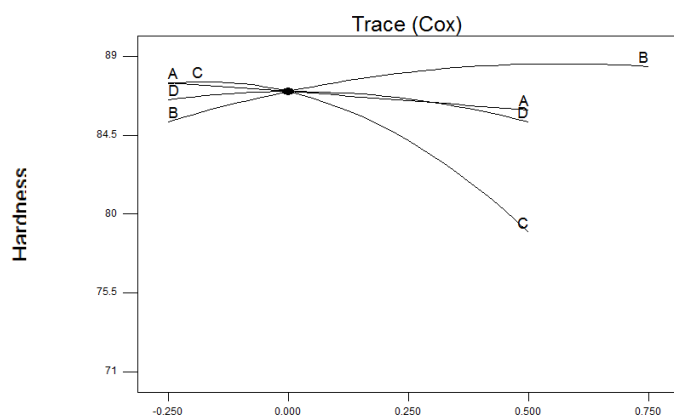
ภาพที่ 1 ลักษณะรูปร่างของส่วนผสมของแบบหล่อทราย (ก) ทรายที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (ข) เบนโทไนต์ (ค) แป้งมันสำปะหลัง (ง) ทรายที่ผ่านการใช้งานแล้ว



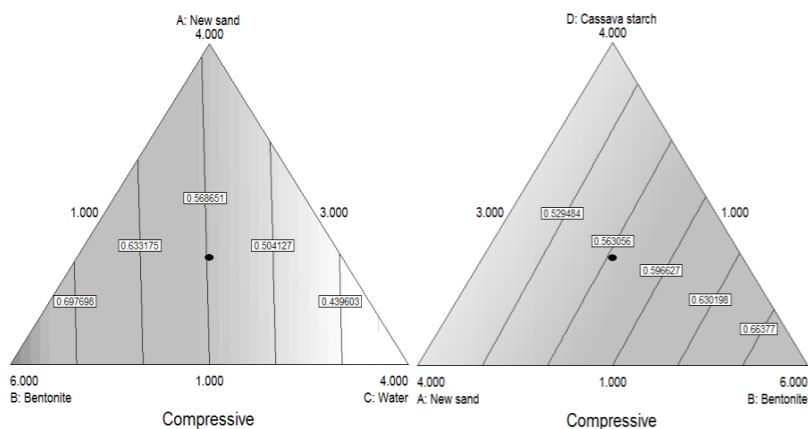
ภาพที่ 2 กราฟ trace ของความสามารถรับแรงอัดในสภาพเปียก



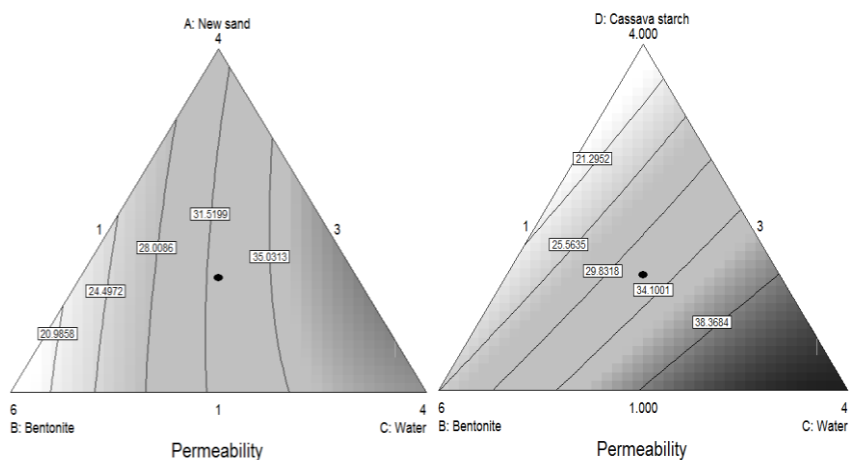
ภาพที่ 3 กราฟ trace ของความสามารถปล่อยอากาศซึมผ่าน



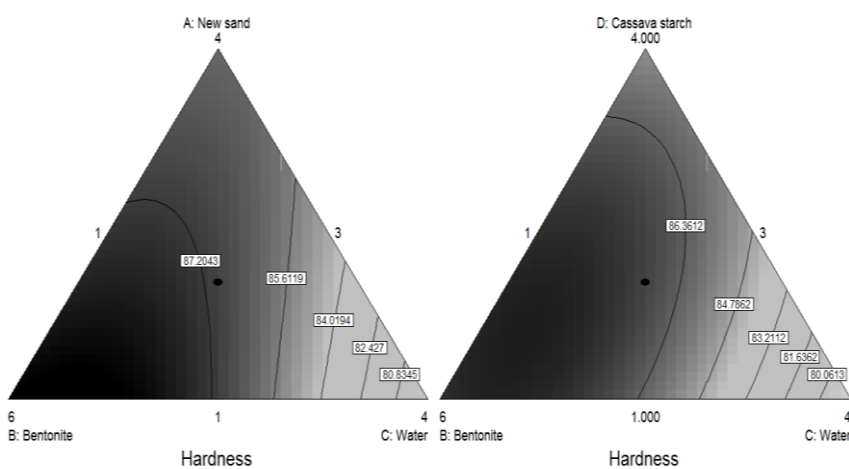
ภาพที่ 4 กราฟ trace ของค่าความแข็งของแบบหล่อทราย



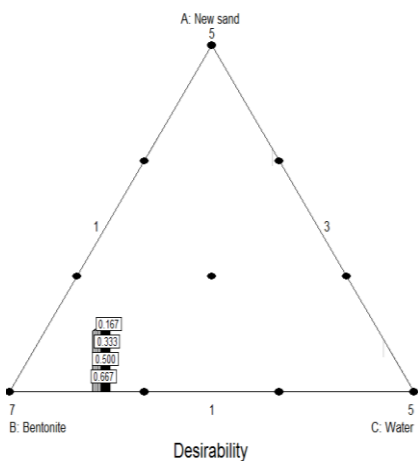
ภาพที่ 5 เส้นโครงร่างตอบสนองของความสามารถรับแรงอัดขณะเปียก



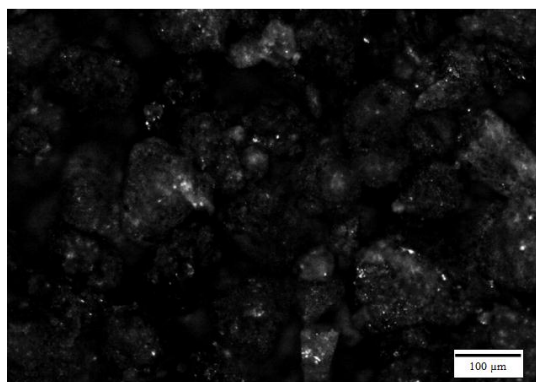
ภาพที่ 6 เส้นโครงร่างตอบสนองของความสามารถปล่อยอากาศซึมผ่าน



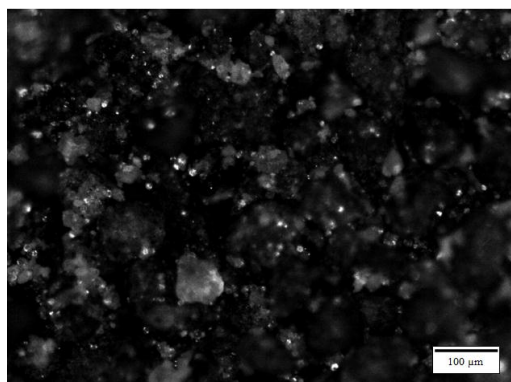
ภาพที่ 7 เส้นโครงร่างตอบสนองของค่าความแข็งของแบบหล่อทรายขณะเป็ยก



ภาพที่ 8 จุดที่เหมาะสมของส่วนผสมของแบบหล่อทรายที่มีผลต่อสมบัติทางกลของแบบหล่อทราย

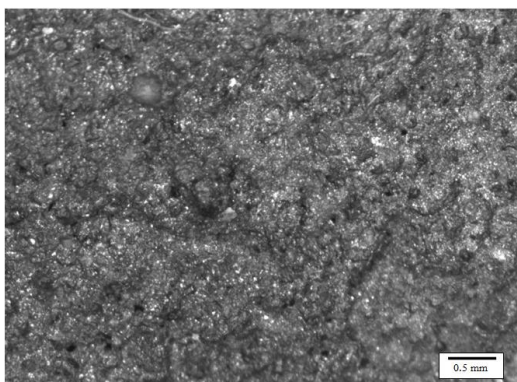


(ก)

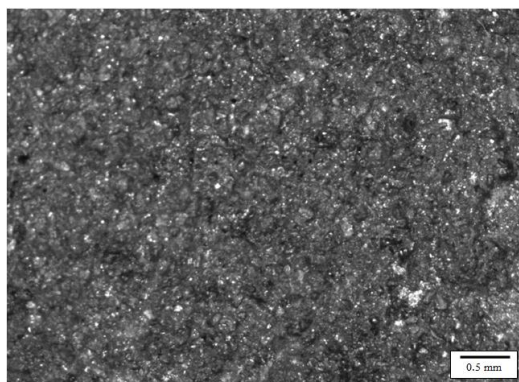


(ข)

ภาพที่ 9 ลักษณะรูปร่างการยึดเกาะกันของส่วนผสมแบบหล่อทราย (ก) แบบหล่อทรายส่วนผสมเดิมของโรงหล่อ (ข) แบบหล่อทรายส่วนผสมที่เหมาะสม

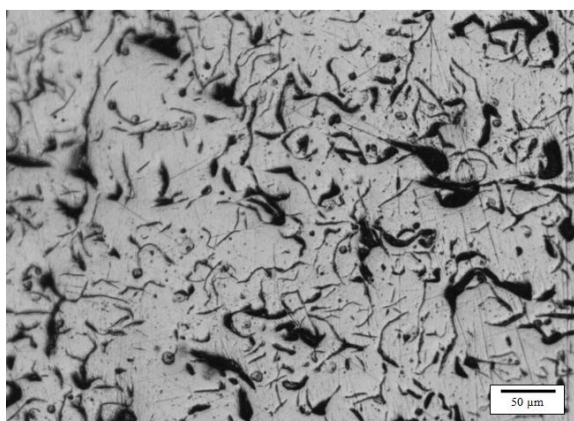


(ก)

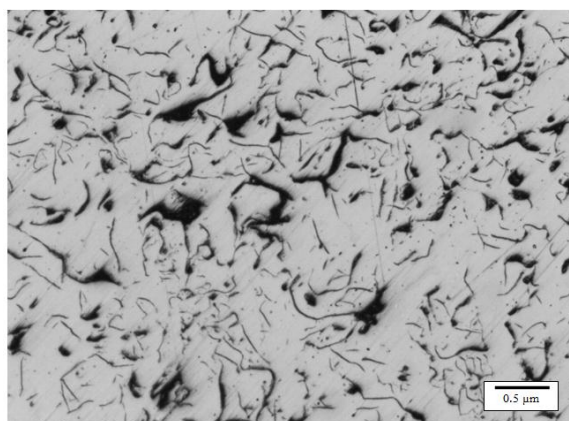


(ข)

ภาพที่ 10 ลักษณะผิวภายนอกของชิ้นงานหล่อเหล็กสีเทา (ก) ผิวภายนอกของชิ้นงานหล่อเหล็กสีเทาของส่วนผสมเดิม (ข) ผิวภายนอกของชิ้นงานหล่อเหล็กสีเทาของส่วนผสมที่เหมาะสม



(ก)



(ข)

ภาพที่ 11 โครงสร้างจุลภาคของเหล็กหล่อสีเทา(ก)โครงสร้างระดับจุลภาคของชิ้นงานหล่อเหล็กสีเทาของส่วนผสมเดิม (ข) โครงสร้างระดับจุลภาคของชิ้นงานหล่อเหล็กสีเทาของส่วนผสมที่เหมาะสม