

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในช่วงยี่สิบปีที่ผ่านมา นักวิจัยทั้งภาครัฐและเอกชนในอุตสาหกรรมต่างๆ เริ่มหันมาสนใจศึกษาพลาสติกและไฟเบอร์ที่ย่อยสลายได้เพิ่มมากขึ้น อันเนื่องมาจากปัญหาขยะของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ทำมาจากวัสดุสังเคราะห์ เช่น อีพอกซี (Epoxy Resins) อะคริลิก (Acrylics) เส้นใยแก้ว (Glass Fibres) และเส้นใยคาร์บอน (Carbon Fibre) (Wambua, Ivens et al. 2003; Dissanayake 2011; Faruk, Bledzki et al. 2012; Koronis, Silva et al. 2012) ไม่ย่อยสลายทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมบริเวณที่กำจัดขยะหรือฝังกลบ ดังนั้นแนวโน้มงานวิจัยด้านวัสดุอุตสาหกรรมในยุคปัจจุบันจึงมุ่งเป้าไปสู่วัสดุที่ย่อยสลายได้ในหลายๆ ประเทศที่ออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ดังจะเห็นได้จากเอกสารตีพิมพ์ (Mohanty, Misra et al. 2000; Goda and Cao 2007; John and Thomas 2008; Sreekumar, Thomas et al. 2009; Hassan, Salema et al. 2010; Summerscales, Dissanayake et al. 2010; Summerscales, Dissanayake et al. 2010; Venkateshwaran and Elayaperumal 2010; Alavudeen, Thiruchitrambalam et al. 2011; Faruk, Bledzki et al. 2012; Summerscales, Virk et al. 2013) และหนังสือ (Baillie 2004) จากความรู้ของผู้วิจัยพบว่าในปัจจุบันมีเอกสารงานวิจัย และบทความทางวิชาการน้อยมากที่แสดงถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ในกรรมวิธีการขึ้นรูปวัสดุผสมเทอร์โมพลาสติกและไฟเบอร์ ที่ผ่านมามีเอกสารส่วนมากเป็นรายงานถึงอิทธิพลของตัวแปรของกรรมวิธีการผลิตต่อพลาสติกเทอร์โมเซตติง (Thermosetting) เท่านั้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อออกแบบและพัฒนาวิธีการขึ้นรูปวัสดุผสมใยพืช และศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรในกระบวนการผลิตต่อคุณภาพการขึ้นรูปของวัสดุผสม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ออกแบบและพัฒนาวิธีการขึ้นรูปวัสดุผสมใยพืชและโพลีเมอร์ โดยในการวิจัยนี้จะศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรในกระบวนการผลิตต่อคุณภาพการขึ้นรูปวัสดุใยพืช, โพลีเมอร์ และวัสดุผสม

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาเอกสารและงานที่เกี่ยวข้องรวมทั้งรวบรวมข้อมูลที่เป็นต่อการออกแบบเครื่อง
- 1.4.2 ออกแบบและสร้างเครื่องอัดขึ้นรูป
- 1.4.3 โครงสร้างเครื่องจักรเพื่อรองรับแรงกดดันสูงจากกระบอกไฮดรอลิก
- 1.4.4 ชิ้นส่วนจับยึดแม่พิมพ์และห้องขึ้นรูปวัสดุ
- 1.4.5 ระบบสุญญากาศ และ ไฟฟ้า

1.4.6 ปรับปรุงและทดสอบประสิทธิภาพในการขึ้นรูปของเครื่องที่พัฒนาขึ้น

1.4.7 วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบและเขียนรายงานการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของโครงการวิจัย

1.5.1 ได้ความรู้ความเข้าใจในการขึ้นรูปที่ใช้แรงดันจากกระบอกไฮดรอลิก

1.5.2 ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของกรรมวิธีการขึ้นรูปต่อคุณภาพการขึ้นรูปของวัสดุใยพืชและวัสดุผสม เพื่อได้ประโยชน์จากการเพิ่มศักยภาพในการนำของเสียทางการเกษตรมาใช้เป็นวัสดุโครงสร้างที่ย่อยสลายได้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

วัสดุผสมคือวัสดุที่ถูกสร้างขึ้นมาจากวัสดุตั้งแต่ 2 เฟสขึ้นไปซึ่งแต่ละเฟส (ชนิด) จะมีคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีที่ต่างกันมาก เพื่อใช้การเสริมแรงในวัสดุผสมทำให้วัสดุมีความแข็งแรงที่สูงขึ้น การผสมกันของวัสดุเหล่านี้จะไม่เป็นเนื้อเดียวกันแต่จะแยกกันเป็นเฟสที่เห็นได้อย่างเด่นชัด เฟสแรกเรียกว่า เนื้อพื้น (matrix) ซึ่งจะอยู่ด้วยกันอย่างต่อเนื่องและล้อมรอบอีกเฟสซึ่งเรียกว่า เฟสที่กระจาย หรือ ตัวเสริมแรง (reinforcement) คุณสมบัติของวัสดุผสมที่ได้จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและปริมาณของสารตั้งต้นเหล่านี้ และรูปทรงทางเรขาคณิตของเฟสที่กระจายตัวประเภทของวัสดุผสมสามารถแบ่งเป็น 3 กลุ่มดังนี้

2.1.1 วัสดุผสมที่เสริมแรงด้วยอนุภาค (Particle-reinforced)

วัสดุผสมที่เสริมแรงด้วยอนุภาค ประกอบด้วยเนื้อพื้นที่เป็นเนื้อเดียวกันและมีการเสริมแรงและเพิ่มสมบัติให้กับเนื้อพื้นด้วยการเติมสารเสริมแรงแบบเม็ดผง อย่างเช่น เหล็กกล้าสเฟียรอยไคต์ซึ่งมีเนื้อพื้นเป็นเฟรไรต์ที่เป็นเหล็กมีความเหนียวสูงแต่ความแข็งแรงและความแข็งแรงต่ำมาผสมกับซีเมนต์ไคต์ซึ่งมีความแข็งแรงสูง ซึ่งทำให้วัสดุผสมระหว่างเหล็กกล้าสเฟียรอยไคต์และซีเมนต์ไคต์มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นมากกว่าเมื่อเทียบกับเฟรไรต์เพียงอย่างเดียว

ในบางกรณีสมบัติที่ต้องการนำมาใช้เป็นสมบัติของตัวเสริมแรงโดยเฟสเนื้อพื้นมีหน้าที่ยึดติดเฟสที่กระจายไว้ด้วยกันเช่นวัสดุเชิงประกอบของทังสเตนคาร์ไบด์กับโคบอลต์ ทังสเตนคาร์ไบด์มีความแข็งแรงสูงซึ่งเหมาะสำหรับทำเครื่องมือสำหรับตัดเหล็กกล้าที่ผ่านการชุบแข็งแล้วแต่ทังสเตนคาร์ไบด์มีความเปราะสูงและแตกหักง่ายแต่เมื่อนำมาผสมกับโคบอลต์ในอัตราส่วนปริมาตรของโคบอลต์ประมาณ 10 – 15% ทำให้ได้วัสดุที่ยังมีความแข็งแรงสูงแต่มีความต้านทานการแตกหักที่ดีขึ้นเพราะมีเนื้อพื้นโคบอลต์ที่มีความเหนียวและคอยดูดซับพลังงาน

อีกตัวอย่างของวัสดุเชิงประกอบเสริมแรงด้วยเม็ดผงคือยางล้อรถยนต์ที่มีเนื้อพื้นเป็นยางและมีการผสมคาร์บอนแบล็กหลังจากการยางได้ผ่านกระบวนการวัลคาไรซ์ในเซชันแล้วเพื่อเป็นการเพิ่มความแข็งแรง ความแกร่งและความต้านทานการสึกกร่อน

2.1.2 วัสดุผสมที่เสริมแรงด้วยเส้นใย (Fiber-reinforced)

วัสดุผสมที่เสริมแรงด้วยเส้นใย ยาวและเรียงตัวเป็นระเบียบ เป็นการผสมเส้นใยให้กระจายตัวอยู่ในเนื้อพื้นเช่นการผสมเส้นใยของซิลิกอนคาร์ไบด์ในเนื้อพื้นของแก้วเพื่อเพิ่มความแกร่ง (Fracture toughness) หรือการใช้เทคนิคทางการย่นตัวเพื่อให้เกิดเฟสที่ต่อเนื่องกันในโลหะผสมเช่นกันการย่นตัวแบบยูเทกติกในโลหะผสมของโมลิบดีนัม-นิกเกิลและอลูมิเนียมเพื่อให้เกิดเนื้อพื้นที่เป็นแอลฟาโมลิบดีนัมที่มีความเหนียวและมี "เส้นใย" ที่เป็นเฟสแกมมาไพรม์ซึ่งเป็นสารประกอบระหว่างโลหะของนิกเกิลและอลูมิเนียม (Ni_3Al) ซึ่งมีความเปราะสูง วัสดุเชิงประกอบที่ได้มีสมบัติทางกลที่ดีและมีความต้านทานความล้าที่ดีขึ้นมากเมื่อเทียบกับวัสดุตั้งต้น

วัสดุเชิงประกอบเสริมแรงโดยเส้นใยสั้น (Short fibre-reinforced composites) ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็นสองประเภทดังนี้

1. วัสดุเชิงประกอบเสริมแรงโดยเส้นใยสั้นเรียงตัวเป็นระเบียบ (Aligned discontinuous fiber-reinforced composites) ซึ่งมีสมบัติทางกลที่ดีขึ้นเมื่อต้องรับโหลดในทิศทางเดียวกับทิศทางการจัดเรียงตัวของเส้นใยทำให้วัสดุเชิงประกอบชนิดนี้มีสมบัติแบบ Anisotropy

2. วัสดุเชิงประกอบเสริมแรงโดยเส้นใยสั้นเรียงตัวแบบสุ่ม (Randomly oriented discontinuous fiber-reinforced composites) เนื่องจากเส้นใยที่ใช้เป็นเฟสที่กระจายจัดเรียงตัวแบบสุ่มและไม่มีการจัดเรียงตัวในทิศทางใดทิศทางหนึ่งเป็นพิเศษทำให้วัสดุชนิดนี้มีสมบัติที่เท่ากันในทุกทิศทาง (Isotropy) ไม่ว่าจะรับโหลดในทิศทางใดก็ตาม

2.1.3 วัสดุผสมโครงสร้าง (structural composite)

วัสดุผสมโครงสร้างสามารถประกอบขึ้นจากวัสดุเนื้อเดียวและคอมโพสิต สมบัติของคอมโพสิตโครงสร้างนี้ นอกจากจะขึ้นอยู่กับสมบัติของวัสดุเริ่มต้นแล้ว ยังขึ้นอยู่กับรูปแบบของวัสดุที่นำมาประกอบกันด้วย

เราสามารถแบ่งคอมโพสิตโครงสร้างได้เป็นสองประเภท คือ คอมโพสิตแบบชั้น (Laminar composite) และ ผลิตภัณฑ์แผ่นประกอบแบบแซนด์วิช (Sandwich panel)

1. คอมโพสิตแบบชั้น

คอมโพสิตแบบชั้นประกอบด้วยแผ่นชีต (Sheet) ที่มีความแข็งแรงสูงในทิศทาง เดียวมาเรียงซ้อนกัน ยกตัวอย่างเช่น แผ่นคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจัดเรียงตัว ขนานกัน แล้วนำแต่ละแผ่นมาซ้อนกันจนได้เป็นคอมโพสิตแบบชั้น เพื่อประสิทธิภาพ ของการเสริมแรงควรเรียงแผ่นชีตแบบสลับทิศทางของเส้นใย ตัวอย่างวัสดุคอมโพสิต ประเภทนี้ เช่น กระดานสกี เป็นต้น

2. ผลิตภัณฑ์แผ่นประกอบแบบแซนด์วิช

ผลิตภัณฑ์แผ่นประกอบแบบแซนด์วิชเป็นคอมโพสิตโครงสร้างประเภทหนึ่ง ซึ่งมีส่วนประกอบเป็นแกนกลางหรือที่เรียกว่า core และผิวนอกหรือที่เรียกว่า face แกนกลางหรือที่เรียกว่า core จะถูกประกบที่ด้านบนและล่างด้วยแผ่นชีต ที่เป็นแผ่น face โดยมีกาว (Adhesive) ทำหน้าที่เชื่อมให้แผ่น core และ face ติดกัน โดยแต่ละส่วนทำหน้าที่ ดังนี้

- แกนกลาง core จะช่วยเพิ่มค่า shear rigidity ในระนาบตั้งฉากกับแผ่น face และมักจะเป็นโครงสร้างที่โปร่ง หรือมีรูพรุน วัสดุที่ใช้ทำเป็น core ได้แก่ พอลิเมอร์ ยางสังเคราะห์ หรือโลหะ และอัลลอย พลาสติก ชนิด PE; polyethylene เป็นต้น

- แผ่น face คือ ตัวรองรับน้ำหนักเกือบทั้งหมดที่กระทำต่อโครงสร้าง ยกตัวอย่างวัสดุที่ใช้ทำ face เช่น อะลูมิเนียมอัลลอย เหล็กกล้า ไทเทเนียม ไม้อัด หรือแผ่นพลาสติกเสริมแรงด้วยเส้นใย เป็นต้นเนื่องจาก core เป็น โครงสร้างแบบโปร่ง ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความแข็งแรง และน้ำหนักเบา ดังนั้นผลิตภัณฑ์แผ่นประกอบแบบ แซนด์วิชจึงถูกนำไปใช้งานได้ หลากหลาย สามารถทำเป็นหลังคา พื้น กำแพงของอาคาร เป็นต้น

หากใช้เฟสเนื้อพื้นเป็นเกณฑ์ในการจำแนกชนิด วัสดุเชิงประกอบสามารถที่ถูกจำแนกได้เป็นสามประเภทคือ

1. วัสดุเชิงประกอบเนื้อพื้นพอลิเมอร์ (Polymer matrix composites, PMC) มีเนื้อพื้นเป็นพอลิเมอร์และเฟส ที่กระจายหรือเฟสเสริมแรงที่เป็นได้ทั้งพอลิเมอร์ โลหะ และเซรามิกส์โดยที่เส้นใยเสริมแรงได้ถูกเลือกให้เพิ่มสมบัติ

บางประการให้กับเนื้อพื้นเช่นเพิ่มมอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity, E) เพิ่มความแข็งแรง (Tensile strength) เพิ่มความเค้นจุดคราก (Yield strength, σ_y) และความต้านทานความคืบ (Creep resistance) เป็นต้น

2. วัสดุเชิงประกอบเนื้อพื้นโลหะ (Metal matrix composites, MMC) ส่วนมากมีเฟสกระจายตัวที่เป็นโลหะหรือเซรามิกส์เพื่อเพิ่มความแข็ง (Hardness) ความแข็งแรง (Tensile strength) และความต้านทานความคืบ (Creep resistance) ให้กับเนื้อพื้นที่เป็นโลหะเป็นต้น

3. วัสดุเชิงประกอบเนื้อพื้นเซรามิกส์ (Ceramic matrix composites, CMC) เนื่องจากเนื้อพื้น เซรามิกส์มีความเปราะสูงเพราะฉะนั้นเฟสกระจายตัวที่เลือกมาผสมกับเนื้อพื้นต้องเพิ่มความแกร่ง (Fracture toughness, K_{Ic}) ให้กับเนื้อพื้น

2.1.4 พอลิโพรไพลีน (Polypropylene, PP)

พอลิโพรไพลีน (Polypropylene) เรียกย่อว่า PP หรือพีพีเทอร์โมพลาสติกประเภทโพลิโอเลฟิน ผลิตจากโพรพิลีน เป็นของแข็ง ไม่มีสี มีทั้งโปร่งใสและโปร่งแสง ผิวเป็นมันเงา ทนกรด เบส และสารเคมีต่างๆ ยกเว้นไฮโดรคาร์บอนและคลอรีเนตไฮโดรคาร์บอน แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ตามโครงสร้างของโพลิโพรพิลีน ได้แก่ ไอโซแทกติกโพลิโพรพิลีน ซินดิโอแทกติกโพลิโพรพิลีน และแอแทกติกโพลิโพรพิลีน เป็นพลาสติกชนิดหนึ่งที่ใช้เป็นวัสดุผลิตบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร มีความหนาแน่นค่อนข้างต่ำ(0.90-0.91 kg/m³) มีจุดหลอมเหลว 160-170 °ซ คุณสมบัติทั่วไป เช่น ทนต่อความร้อนและสารเคมีป้องกันการผ่านของความชื้นได้ดี,ไม่ทนต่อความเย็น,มีความแข็งและเหนียว คงรูปดี ทนต่อการหักงอได้ปานกลาง มีสมบัติดีกว่าโพลิเอทิลีนหลายอย่าง ได้แก่ ทนแรงกระแทกสูง ทนการขีดข่วน ทนสารเคมี มีจุดอ่อนตัวสูง มีความหนาแน่นต่ำ และมีอุณหภูมิในการหลอมสูง ทำให้ใช้งานที่อุณหภูมิสูงถึง 120 °ซ ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากโพลิโพรพิลีน ได้แก่ ก่อของ ของเล่นเด็ก ถุงปุ๋ย ไหมเทียม พรมและแผ่นรองพรม ผ้าใบกันน้ำ เชือก สายรัดบรรจุภัณฑ์ ถุงร้อน ขวดใส่เครื่องดื่ม ซองขนม ท่อ ปลอกหุ้มสายไฟและสายเคเบิล งานเคลือบกระดาษ วัสดุอุดรอยรั่ว กาว และอุปกรณ์ภายในรถยนต์

2.1.4.1 ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพอลิโพรไพลีน

ผลิตภัณฑ์ที่พบเสมอคือ ก่อของ ของเล่นเด็ก ถุงปุ๋ย ไหมเทียม พรมและแผ่นรองพรม ผ้าใบกันน้ำ เชือก สายรัดบรรจุภัณฑ์ ถุงร้อน ขวดใส่เครื่องดื่ม ซองขนม ท่อ ปลอกหุ้มสายไฟและสายเคเบิล งานเคลือบกระดาษ วัสดุอุดรอยรั่ว อุปกรณ์ภายในรถยนต์ ก่อของเครื่องมือ กระเป๋ากก แฟ้มเอกสาร ก่อและดัลบี้ เครื่องสำอาง เครื่องใช้ในครัวเรือนก่อบรรจุอาหาร อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ วัสดุบรรจุภัณฑ์ในอุตสาหกรรม อุปกรณ์ทางการแพทย์ขวดใส่สารเคมี กระป๋องน้ำมันเครื่องกระสอบข้าว และถุงบรรจุปุ๋ย

พลาสติกสำหรับใช้งานในทางการแพทย์หรือในห้องปฏิบัติการส่วนมากทำจาก PP ซึ่งมีข้อดีคือทนต่อความร้อนสูงได้สามารถนำไปอบฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งอัดความดัน (Autoclave) เมื่อทำเป็นภาชนะบรรจุอาหาร ก็สามารถนำเข้าเครื่องล้างจานอัตโนมัติ และภาชนะบรรจุอาหารสำหรับไมโครเวฟได้

การใช้เพื่อเป็นบรรจุภัณฑ์อาหาร ตัวอย่างเช่น ใช้ทำบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารในครัวเรือน เช่น จาม ขาม ด้วยใช้ผลิตถุงทนร้อน ที่มักเรียกว่า ถุงร้อนชนิดใส,ใช้ผลิตถ้วยหรือชาม สำหรับผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป เช่น บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป ซึ่งขึ้นรูปด้วยการเติมน้ำร้อนจัด

2.1.5 กระบวนการกดอัด

กระบวนการกดอัดคือ กระบวนการแปรรูปพลาสติกด้วยกระบวนการกดอัดหรือการอัดแบบชนิดแรงอัดเป็นเทคนิคการแปรรูปที่เก่าแก่ที่สุดเทคนิคหนึ่ง โดยเริ่มมีการประยุกต์ใช้ครั้งแรกหลังจาก Bakeland ค้นพบการสังเคราะห์ฟีนอล ฟอร์มาลดีไฮด์ เรซินในปี ค.ศ. 1908 แต่ในปัจจุบันก็ยังมีการใช้เทคนิคนี้ในการแปรรูปพลาสติกอย่างกว้างขวางโดยเฉพาะอย่างยิ่งการแปรรูปยาง (Rubbers และ Elastomers) และพลาสติกประเภทเทอร์มอเซต (Thermosets) เช่น ฟีนอลิกเรซิน (Phenolic resin) อีพอกซีเรซิน (Epoxy resin) เมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์ (Melamine formaldehyde) และยูเรีย

ฟอร์มาลดีไฮด์ (Urea formaldehyde) เป็นต้น นอกจากนี้ยังนิยมใช้ในการแปรรูปเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics) ที่แปรรูปโดยเทคนิคอื่นได้ยาก เช่น การแปรรูปเทอร์โมพลาสติกคอมโพสิตที่มีการผสมไฟเบอร์ต่างๆ การแปรรูปเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์และการแปรรูปพลาสติกไวนิลและสไตรีนสำหรับทำแผ่นเสียงที่ต้องการความละเอียดแน่นอน เป็นต้น สำหรับตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการกดอัด ได้แก่ ช้อน ชาม จาน ที่เขียนหรี สุวิทย์ไฟ กล่องบรรจุสุวิทย์ หูหม้อ หูกระทะ มือจับเตารีด แผ่นเสียง ตัวกวนของเครื่องซักผ้า และที่ร่อนนึ่ง โถชักโครก เป็นต้น

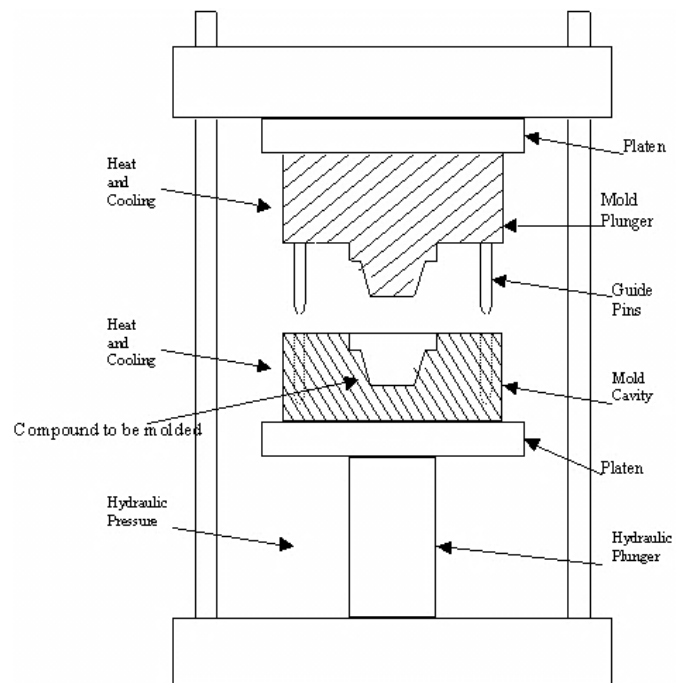
2.1.6 ลักษณะเครื่องกดอัด

กระบวนการกดอัดเป็นเทคนิคการแปรรูปพลาสติกที่ไม่ซับซ้อน โดยหลักการทำงานของกระบวนการกดอัดคือการนำเม็ดหรือผงพลาสติกมาอัดในแม่แบบ (Mold) ภายใต้อุณหภูมิและความดันและอุณหภูมิที่เหมาะสม เพื่อให้พลาสติกหลอมและไหลเข้าสู่ช่องว่างภายในแม่แบบ (Cavity) ส่วนประกอบหลักของเครื่องกดอัด (Compression molding machine) คือ แผ่นเหล็กอัด (Platens) จำนวนสองชุด ซึ่งแผ่นหนึ่งสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ (Movable platen) ส่วนอีกแผ่นหนึ่งจะถูกยึดติดกับที่ (Fixed platen) แม่แบบสำหรับการแปรรูปพลาสติกทั้งตัวผู้และตัวเมียจะถูกยึดติดกับแผ่นเหล็กอัดทั้งสองแผ่นนี้



รูปที่ 2.1 เครื่องกดอัด (Compression molding machine)

ที่มา : ครรชนี, 2550



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบหลักของเครื่องกดอัด

ที่มา : ครรชนี, 2550

นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ ร่วมด้วย ได้แก่

1. ระบบการขับเคลื่อน

ในปัจจุบันเครื่องอัดส่วนใหญ่ได้รับการพัฒนาให้สามารถทำงานอัตโนมัติโดยใช้แรงขับเคลื่อนจากระบบไฮดรอลิกในการเคลื่อนที่แผ่นเหล็กอัดขึ้นลง นอกจากนี้ระบบขับเคลื่อนยังทำหน้าที่ในการให้ความดันในการอัดอีกด้วย เครื่องกดอัดขนาดเล็กที่ใช้ในห้องปฏิบัติการจะมีระบบขับเคลื่อนที่ให้ความดันในช่วง 5-100 ตัน ส่วนเครื่องกดอัดที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมจะมีระบบขับเคลื่อนที่ให้ความดันในช่วง 10-4,000 ตัน โดยขนาดของความดันจะขึ้นกับขนาดของแผ่นเหล็กอัดซึ่งมีขนาดอยู่ในช่วง 8 ตารางนิ้วถึง 5 ตารางฟุต ชนิดของพลาสติก ความหนาของผนังผลิตภัณฑ์ พลาสติก และการให้ความร้อนแก่พลาสติกก่อนการกดอัด

2. ระบบให้ความร้อนและหล่อเย็น

ระยะเวลาการทำงานต่อวัฏจักรของการกดอัดนั้นขึ้นอยู่กับความหนาของผนังผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลาสติกประเภทเทอร์โมเซตที่เป็นตัวนำความร้อนที่ไม่ดีและในการกดอัดต้องให้อุณหภูมิถึงจุดที่เกิดการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุลได้ (Curing) ซึ่งหากเดิมเม็ดหรือผงพลาสติกลงในแม่แบบโดยตรงจะทำให้ระยะเวลาในการกดอัดนานมาก ดังนั้นจึงควรมีการให้ความร้อนแก่พลาสติกก่อนนำเข้าแม่แบบ เพื่อให้พลาสติกสามารถไหลได้ดีขึ้น ลดระยะเวลาในการทำงานต่อวัฏจักรให้สั้นลง และยังสามารถลดความดันที่ใช้ในการกดอัดได้อีกด้วย

การให้ความร้อนแก่พลาสติก แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ การให้ความร้อนแก่วัตถุดิบก่อนการกดอัดและการให้ความร้อนแก่แม่แบบโดยตรงขณะทำการกดอัด

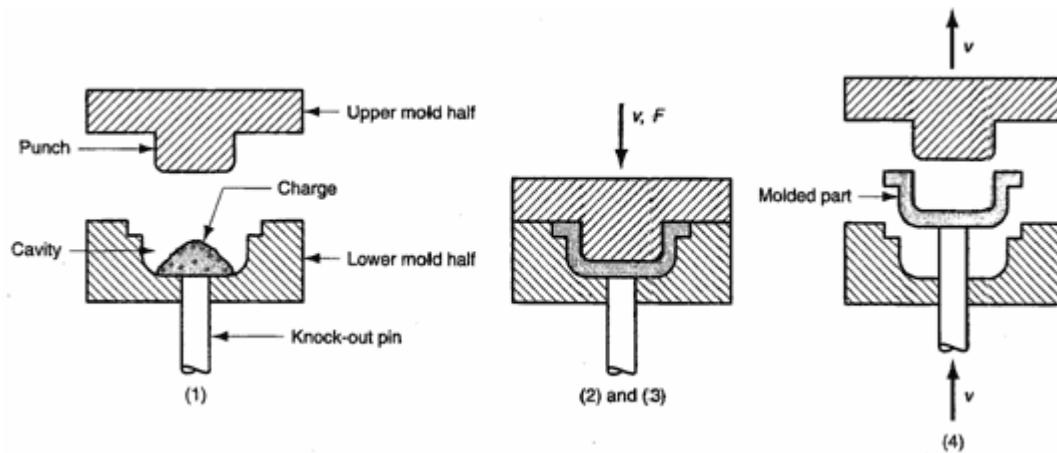
- การให้ความร้อนแก่วัตถุดิบก่อนการกดอัด เช่น การใช้แผ่นโลหะร้อน การใช้รังสีอินฟราเรด การใช้เตาอบหรือไมโครเวฟ และการใช้ตู้อบชนิดความถี่สูง (High frequency oven) เป็นต้น

- การให้ความร้อนในแม่แบบ เช่น ระบบไฟฟ้า ซึ่งนิยมใช้กันมากเนื่องจากออกแบบและติดตั้งได้ง่าย และมีความสะดวกในการซ่อมบำรุง ระบบไอน้ำ ซึ่งมีข้อดี คือ ให้ความร้อนที่สม่ำเสมอ แต่ไม่สามารถให้ความร้อนเกิน 180 องศาเซลเซียสได้ และระบบน้ำร้อนไหลเวียน ซึ่งเป็นเทคนิคใหม่ที่ได้รับการนิยมนำมาใช้ในปัจจุบัน โดยการใช้การเผาต้ น้ำด้วยเปลวไฟจากก๊าซหุงต้มแล้วให้น้ำร้อนในท่อไหลเวียนให้ความร้อนแก่แม่แบบนอกจากระบบให้ความร้อนแล้วอาจมีระบบหล่อเย็น เพื่อให้ชิ้นงานพลาสติกหลังการกดอัดเย็นตัวลง ระบบหล่อเย็นจะไหลหมุนเวียนเข้าสู่ระบบท่อใกล้ช่องว่างของแม่แบบหรืออาจใช้ระบบน้ำร้อนที่สามารถสลับจากการให้ความร้อนเป็นการหล่อเย็นก็ได้

2.1.7 วัฏจักรกระบวนการกดอัด (Compression molding cycle)

กระบวนการกดอัดเริ่มจากการฉีดแม่แบบติดกับแผ่นเหล็กอัดทั้งสองแผ่น แล้วให้ความร้อนแก่แม่แบบตามชนิดของพลาสติก โดยทั่วไปอุณหภูมิแม่แบบสำหรับการกดอัดเทอร์โมเซตจะเป็นอุณหภูมิที่เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงของสายโซ่โมเลกุล ซึ่งอยู่ในช่วง 140-200 องศาเซลเซียสขึ้นกับชนิดของพลาสติก หลังจากนั้นจึงเติมวัตถุดิบซึ่งอาจอยู่ในรูปเม็ดพลาสติกหรือผงพลาสติกหรือพลาสติกคอมปาวด์ โดยปริมาณการเติมต้องเหมาะสมกับ

ขนาดของผลิตภัณฑ์ จากนั้นปิดแม่แบบโดยเคลื่อนแผ่นเหล็กอัดลงด้วยความดันที่เหมาะสม พลาสติกจะเกิดการหลอมหรืออ่อนตัวไหลเข้าสู่ช่องว่าง (Cavity) ของแม่แบบ สำหรับพลาสติกเทอร์โมเซตต้องปล่อยให้ผลิตภัณฑ์พลาสติกอยู่ภายใต้ความดันและอุณหภูมินี้ระยะหนึ่งตามระยะเวลาการสุกหรือการเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงของสายโซ่โมเลกุล (Cure time) ของพลาสติกเทอร์โมเซตนั้นๆ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงเกิดอย่างสมบูรณ์ หลังจากนั้นความดันภายในแม่แบบจะลดลงในขณะที่ทำการหล่อเย็นจากนั้นจึงเปิดแม่แบบโดยเคลื่อนแผ่นเหล็กอัดขึ้น ปลดผลิตภัณฑ์ออกจากแม่แบบ ซึ่งในการปลดผลิตภัณฑ์ออกจะต้องเป็นช่วงที่พลาสติกแข็งตัวเรียบร้อยแล้ว เพื่อป้องกันความเสียหายหรือการบิดตัวของผลิตภัณฑ์ แล้วเริ่มเติมพลาสติกลงในแม่แบบเพื่อทำงานในวัฏจักรต่อไป



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนกระบวนการกดอัด

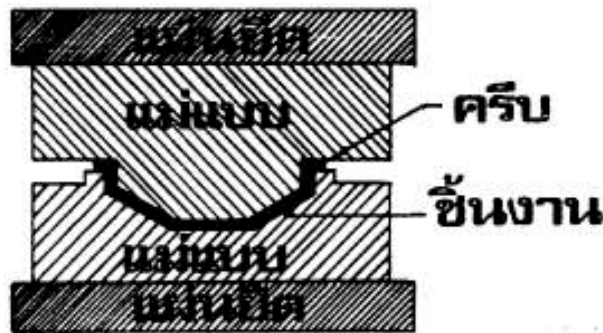
ที่มา : ครรชนี, 2550

การกดอัดพลาสติกบางครั้งอาจเกิดก๊าซหรือไอน้ำขึ้น ซึ่งอาจทำให้เกิดการฝังตัวของก๊าซใต้ผิวของผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดรอยบุ๋มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลาสติกที่ไม่ได้ให้ความร้อนก่อนการกดอัด เพื่อแก้ปัญหานี้จำเป็นต้องมีขั้นตอนการไล่ก๊าซ (Degassing stage) โดยในขณะที่ทำการกดอัดต้องมีการยกแม่แบบตัวผู้ขึ้นจนความดันภายในแม่แบบลดลงถึงความดันบรรยากาศ เมื่อก๊าซระเหยออกไปแล้วจึงทำการกดอัดต่อไปจนพลาสติกแข็งตัว นอกจากปัญหาการเกิดก๊าซแล้วระยะเวลาของการแข็งตัวก็มีอิทธิพลต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์พลาสติกเช่นกัน หากระยะเวลาของการแข็งตัวของพลาสติกสั้นเกินไปจะทำให้ผิวของผลิตภัณฑ์พอง ผลิตภัณฑ์ทนความร้อนได้ไม่ดีและทำให้ผลิตภัณฑ์ดูดซึมน้ำมันได้มากขึ้น แต่หากปล่อยให้แข็งตัวนานเกินไปอาจทำให้เกิดรอยร้าวได้ ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์ดูดซึมน้ำมันได้มากขึ้นอีก ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานจึงต้องมีความชำนาญและประสบการณ์ค่อนข้างสูงในการควบคุมขั้นตอนการทำงานอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกได้ตรงตามความต้องการ

2.1.8 แม่แบบสำหรับกระบวนการกดอัด

แม่แบบสำหรับกระบวนการกดอัดพลาสติกนั้นต้องรับการเสียดสีสูงมากจากพลาสติกและสารเติมแต่ง ดังนั้นวัสดุที่ใช้ทำแม่แบบควรทนต่อความดันหรือแรงอัดสูง ทนต่ออุณหภูมิสูง ทนต่อการขัดสี และทนต่อการกัดกร่อน แม่แบบที่ใช้ในกระบวนการกดอัดแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

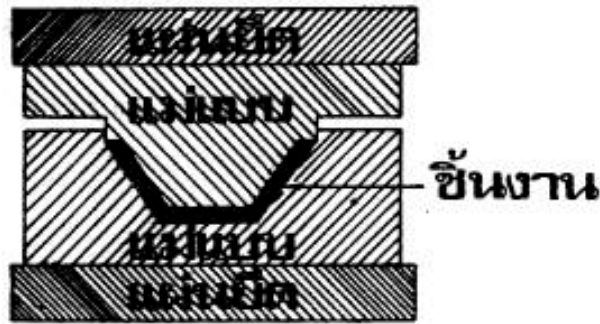
1. แม่แบบอัดผลิตภัณฑ์ราบหรือแม่แบบชนิดบาง (Flat form หรือ Flash mold) เป็นแม่แบบชนิดง่ายที่สุด มีความยุ่งยากน้อยที่สุด โดยปกติจะใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะแบน เช่น จานและชาม เป็นต้น เป็นแม่แบบที่ยอมให้พลาสติกไหลออกได้เมื่อกดแม่แบบตัวผู้ลงมาทำให้ไม่ต้องใช้แรงอัดมาก ข้อดีของแม่แบบประเภทนี้ คือ การออกแบบและการผลิตสามารถทำได้ง่าย มีน้ำหนักเบาและราคาถูก ส่วนข้อเสีย คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีเนื้อไม่แน่น ความแข็งแรงน้อย มีความหนาไม่สม่ำเสมอ และมีครีป(Flash) มากทำให้ต้องมีการตกแต่งชิ้นงานหลังกระบวนการกดอัด



รูปที่ 2.4 แม่แบบอัดผลิตภัณฑ์ราบหรือแม่แบบชนิดบาง
ที่มา : ครรชนี, 2550

2. แม่แบบปิดอัดหรือแม่แบบชนิดบวก (Sealed mold หรือ Fully positive mold)

เป็นแม่แบบชนิดตรงข้ามกับแม่แบบอัดผลิตภัณฑ์ราบ คือ ยอมให้พลาสติกหลอมละลายไหลออกน้อยที่สุด หรือไม่ให้ออกเลย เนื่องจากไม่มีร่องให้วัสดุพลาสติกไหลล้นออก โดยในขณะที่ปิดแม่แบบนั้นแม่แบบบนจะลึกลงไปในแม่แบบล่างประมาณ 2-3 มิลลิเมตร หรือจนถึง 20-30 มิลลิเมตร เพื่อปิดช่องทางไม่ให้พลาสติกไหลล้นออกมา จึงทำให้สามารถอัดพลาสติกด้วยความดันสูง โดยพลาสติกจะได้รับแรงดันทั้งหมด ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อแน่นและมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นแต่มีข้อเสีย คือ หากใส่วัสดุพลาสติกมากเกินไปแรงอัดจะทำให้แม่แบบแตกร้าวได้ นอกจากนี้แม่แบบประเภทนี้ไม่ค่อยนิยมใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความละเอียด เนื่องจากหากในการกดอัดแต่ละครั้งใช้ปริมาณพลาสติกที่ต่างกัน จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาต่างกัน ทำให้ยากต่อการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ให้สม่ำเสมอ

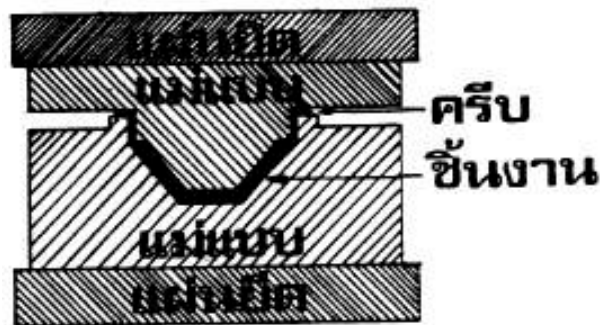


รูปที่ 2.5 แม่แบบปิดอัดหรือแม่แบบชนิดบวก

ที่มา : ครรชนี, 2550

3. แม่แบบผ่าประกบหรือแม่แบบชนิดกึ่งบวก (Split mold หรือ Semi-positive mold)

แม่แบบประเภทนี้จะมีลักษณะผสมผสานอยู่ระหว่างสองประเภทข้างต้น โดยในจังหวะแรกที่แม่แบบตัวผู้เริ่มกดอัด พลาสติกส่วนเกินยังสามารถไหลล้นออกมาได้ แต่เมื่อแม่แบบตัวผู้เคลื่อนลงมาถึงระยะหนึ่งป่าของแม่แบบตัวผู้จะปิดช่องว่างไม่ให้พลาสติกไหลล้นออกได้อีกแล้วจึงอัดแน่นแม่แบบชนิดนี้เหมาะสมกับงานทั่วไป ผลิตรภัณฑ์ที่มีความแข็งแรงพอสมควร



รูปที่ 2.6 แม่แบบผ่าประกบหรือแม่แบบชนิดกึ่งบวก

ที่มา : ครรชนี, 2550

การออกแบบลักษณะผลิตภัณฑ์และแม่แบบสำหรับกระบวนการกดอัดมีความสำคัญมากเนื่องจากลักษณะของแม่แบบจะมีผลโดยตรงต่อความดันและอุณหภูมิที่ใช้ในการกดอัด รวมถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อีกด้วย เช่น หากผลิตภัณฑ์มีความหนาแน่นมาก จะทำให้พลาสติกหลอมไหลเข้าสู่ช่องว่างในแม่แบบได้ยาก ทำให้ต้องใช้ความดันสูงขึ้น

หารูปทรงของผลิตภัณฑ์มีเหลี่ยมหรือคม จะทำให้การไหลเข้าสู่ช่องว่างในแม่แบบของพลาสติกไม่ดี ทำให้ต้องใช้ความดันสูงขึ้น ดังนั้นจึงควรออกแบบให้มีมุมโค้งมน ซึ่งจะช่วยทำให้พลาสติกไหลได้ดีขึ้น หากผิวของแม่แบบมีความขรุขระ ไม่เรียบ ก็จะทำให้ต้องใช้ความดันสูงขึ้น ในการกดอัด

บทที่ 3

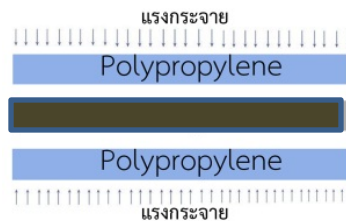
วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วิธีดำเนินงานวิจัย

แบ่งการดำเนินงานออกเป็น 6 ขั้นตอนดังนี้

3.1.1 การจัดเตรียมวัตถุดิบในการขึ้นรูป

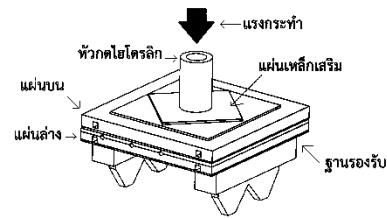
ในกระบวนการการขึ้นรูปพลาสติกนี้ต้องการพลาสติกชนิด Polypropylene (PP) ผสมกับใยแก้วซึ่งที่มีพื้นที่ $150 \times 150 \text{ mm}^2$ มีความหนาเฉลี่ย 2 mm โดยอัตราส่วนโดยปริมาตรระหว่างพลาสติกและใยแก้วซึ่งคือ 70 ต่อ 30 ในส่วนของพลาสติกนั้นมีลักษณะเป็นฟิล์มที่มีความหนา 0.03 mm จึงต้องใช้พลาสติกจำนวน 64 แผ่นและใยแก้วจำนวน 1 แผ่นนำมาจัดเรียงซ้อนกันในลักษณะ Sandwich ลงไปในกรอบ (Picture Frame) โดยให้ใยแก้วอยู่ตรงกลางระหว่างพลาสติกโดยแบ่งพลาสติกออกเป็น 2 ส่วน ส่วนละ 32 แผ่น ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การจัดเรียงซ้อนกันลักษณะ Sandwich structures

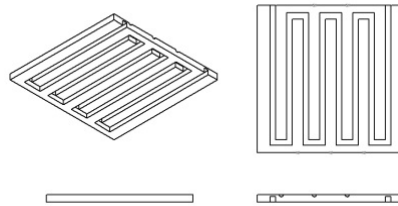
3.1.2 การนำวัตถุดิบเข้าสู่แม่พิมพ์ (mold)

หลังจากเตรียมวัตถุดิบเสร็จเรียบร้อยแล้ว นำวัตถุดิบเข้าสู่แม่พิมพ์โดยแม่พิมพ์ขนาด $400 \times 400 \text{ mm}^2$ แม่พิมพ์ประกอบด้วย 2 ส่วนคือแผ่นบนเป็นแผ่นเหล็กหนา 35 mm และแผ่นล่างเป็นแผ่นเหล็กหนา 40 mm ในส่วนของแผ่นบนจะติดกับหัวเพลลาที่เชื่อมต่อกับหัวกดไฮดรอลิกและมีแผ่นเหล็กเสริม 2 แผ่น มีขนาด $300 \times 300 \text{ mm}^2$ และ $200 \times 200 \text{ mm}^2$ มีความหนาแผ่นละ 5 mm มีลักษณะเป็นวางซ้อนกัน 2 ชั้นเพื่อช่วยเสริมในการรับแรงจากหัวกด ในการกดอัดของหัวไฮดรอลิกเพื่อให้แม่พิมพ์ทั้งสองประกบติดกันเพื่อที่จะอัดพลาสติกในการขึ้นรูปนั้นจะกดอัดภายใต้แรงดัน 15 ตัน (6.54 MPa) ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ทิศทางแรงการกดอัดขึ้นรูป

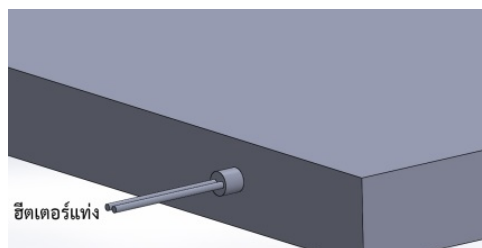
อีกทั้งในส่วนของภายในแม่พิมพ์จะมีท่อลักษณะสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด $15 \times 15 \text{ mm}^2$ ยาว 2.92 m ทั้งแผ่นบนและแผ่นล่าง เพื่อใช้ในการหล่อเย็นหลังจากให้ความร้อนจากการขึ้นรูปดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ลักษณะท่อที่ใช้ในการหล่อเย็นแม่พิมพ์

3.1.3 การให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์

หลังจากกดอัดแม่พิมพ์ด้วยแรงกดจากไฮดรอลิกแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ทั้งสอง โดยอุณหภูมิสูงสุดในการทดลองคือ $200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ในการให้ความร้อนจะใช้ฮีตเตอร์ชนิดแท่งเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 11 mm ความยาว 200 mm มีขนาด 840 W จำนวน 11 แท่ง นำมาใส่ในตัวของแผ่นเหล็กดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ลักษณะการเสียบฮีตเตอร์แท่งกับแผ่นเหล็ก

โดยแผ่นเหล็กแผ่นบนซึ่งมีความหนาที่มากกว่าแผ่นเหล็กแผ่นล่างจะใช้ฮีตเตอร์แท่งจำนวน 6 แท่งและแผ่นเหล็กแผ่นล่างใช้ฮีตเตอร์แท่งจำนวน 5 แท่ง ซึ่งในการทดลองจะใช้มีอุณหภูมิทั้งหมด 4 ค่าอุณหภูมิได้แก่ 170 °C 180 °C 190 °C และ 200 °C และทำการกดแม่พิมพ์ค้างไว้หลังจากที่ค่าอุณหภูมิถึงค่าที่ตั้งไว้ในเวลา 1 นาที, 3 นาที, 5 นาที และ 7 นาที (Usa Somnuk.et.al., 2006) ตามลำดับซึ่งในการทดลองจะทำการทดลองซ้ำจำนวน 2 ครั้ง ในการหาประสิทธิภาพการให้ความร้อนของฮีตเตอร์หาได้จากสมการที่ 1

$$\begin{aligned} \text{ประสิทธิภาพการให้ความร้อน} &= \frac{\text{ปริมาณความร้อนที่ได้รับ}}{\text{กำลังไฟฟ้าที่ให้}} \times 100 \\ &= \frac{m_{\text{เหล็ก}} c_{\text{เหล็ก}} (T_{\text{แม่พิมพ์หลังให้ความร้อน}} - T_{\text{แม่พิมพ์ก่อนให้ความร้อน}})}{P} \times 100 \quad (1) \end{aligned}$$

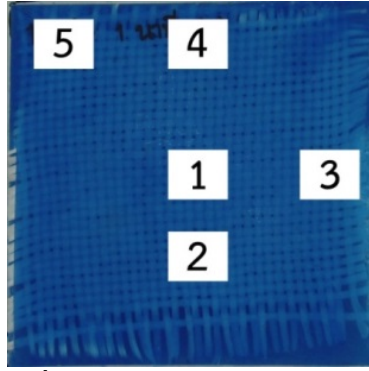
3.1.4 การหล่อเย็นแม่พิมพ์ (Cooling)

ในการหล่อเย็นแม่พิมพ์จะใช้น้ำเปล่าในการหล่อเย็นแม่พิมพ์ โดยปั้มน้ำจากถังขนาด 50 ลิตรผ่านท่อเหล็กเข้าสู่ท่อภายในของแม่พิมพ์เพื่อทำการหล่อเย็นโดยอัตราการไหลของน้ำมีค่าเท่ากับ 0.178 kg/s ในการหล่อเย็นนั้นจะทำการลดอุณหภูมิของแม่พิมพ์ให้เหลือ 50 °C ซึ่งในการหาประสิทธิภาพการหล่อเย็นสามารถหาได้จากสมการที่ 2

$$\begin{aligned} \text{ประสิทธิภาพการหล่อเย็น} &= \frac{\text{ปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับ}}{\text{ปริมาณความร้อนที่เหล็กให้แก่น้ำ}} \times 100 \\ &= \frac{m_{\text{น้ำ}} c_{\text{น้ำ}} (T_{\text{น้ำออก}} - T_{\text{น้ำเข้า}})}{m_{\text{แม่พิมพ์}} c_{\text{เหล็ก}} (T_{\text{แม่พิมพ์หลังให้ความร้อน}} - T_{\text{แม่พิมพ์หลังหล่อเย็น}})} \times 100 \quad (2) \end{aligned}$$

3.1.5 การหาเปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศและความหนาของวัสดุผสม

หลังจากขึ้นรูปวัสดุผสมเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะเริ่มขั้นตอนการหาเปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศที่เกิดขึ้นบริเวณผิววัสดุผสมโดยขั้นแรกนำวัสดุผสมที่ขึ้นรูปได้มาถ่ายรูปควบคุมในกล้องสี่เหลี่ยมลูกบารักจากนั้นนำรูปถ่ายมาใช้โปรแกรมประมวลผลรูปภาพแยกความแตกต่างของสีที่เกิดขึ้นบริเวณผิวของวัสดุผสม ขั้นตอนต่อมาคือการหาความหนาของวัสดุผสมหลังโดยตัดแผ่นพลาสติกตามตำแหน่งดังรูปที่ 3.5 เนื่องจากหลังกระบวนการอัดขึ้นรูปพลาสติกทำให้วัสดุผสมอยู่ในลักษณะเป็นแผ่นแอ่นงอจึงต้องมีการเลือกพื้นที่ในการตัดให้กระจายครอบคลุมทั้งแผ่น โดยตัดขนาด 20x20 mm² จำนวน 5 ชิ้นจากนั้นวัดความหนาโดยใช้ไมโครมิเตอร์แล้วจึงนำค่าความหนาทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ยของแต่ละแผ่น



รูปที่ 3.5 ตำแหน่งตัดแผ่นวัสดุผสม

3.1.6 การหาค่าไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละขบวนการ

ในการทดลองแต่ละครั้งจะมีการใช้ไฟของแต่ละอุปกรณ์ทดลองเช่น ฮีตเตอร์, ปั๊มและตัวควบคุมอุณหภูมิ การใช้ไฟของแต่ละอุปกรณ์นั้นใช้ไฟ 1 เฟส (220 V) ซึ่งในการหาค่าไฟในกระบวนการอัดขึ้นรูปนั้นจะใช้แคลมป์มิเตอร์ (Clamp Meter) ในการวัดกระแสไฟจากนั้นจะได้ค่ากำลังไฟฟ้าซึ่งหาได้จากสมการที่ 3

$$P = IV \quad (3)$$

กำหนดให้ P คือ กำลังไฟฟ้า (W)

I คือ กระแสไฟฟ้า (A)

V คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)

เมื่อได้ค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการอัดขึ้นรูปแล้วสามารถหาค่าไฟที่ใช้ในแต่ละอุณหภูมิได้ดังสมการที่ 4

$$\text{ค่าไฟ} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้า(W)} \times \text{เวลา(hr)} \times \text{หน่วยค่าไฟ}}{1000} \quad (4)$$

โดยหน่วยค่าไฟคิดเป็นหน่วยละ 4 บาท

(การไฟฟ้านครหลวง, 2558)

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลการทดลองเปอร์เซ็นต์ฟองอากาศ ครั้งที่ 1

อุณหภูมิ (°C)	เวลาในการ กดขึ้นรูป (นาท)	เปอร์เซ็นต์ฟองอากาศ (%)		
		ด้านหน้า	ด้านหลัง	เฉลี่ย
170	1	0.47	1.19	0.83
	3	0.24	2.15	1.20
	5	3.91	3.21	3.56
	7	2.73	6.32	4.53
180	1	0.28	2.07	1.18
	3	5.20	11.08	8.14
	5	1.34	2.67	2.01
	7	1.91	4.49	3.20
190	1	3.09	1.95	2.52
	3	2.73	0.28	1.51
	5	9.58	10.24	9.91
	7	3.97	9.21	6.59
200	1	3.25	3.77	3.51
	3	4.28	4.76	4.52
	5	4.47	9.86	7.17
	7	6.69	4.84	5.77

ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกผลการทดลองเปอร์เซ็นต์ฟองอากาศ ครั้งที่ 2

อุณหภูมิ (°C)	เวลาในการ กดขึ้นรูป (นาทีก)	เปอร์เซ็นต์ฟองอากาศ (%)		
		ด้านหน้า	ด้านหลัง	เฉลี่ย
170	1	8.40	5.57	6.99
	3	4.56	1.15	2.86
	5	3.73	7.73	5.73
	7	0.56	2.52	1.54
180	1	1.39	3.87	2.63
	3	6.12	9.75	7.94
	5	2.94	9.14	6.04
	7	1.86	3.69	2.78
190	1	2.86	3.92	3.39
	3	6.94	4.00	5.47
	5	1.86	1.14	1.50
	7	1.39	2.36	1.88
200	1	1.86	2.50	2.18
	3	2.88	3.13	3.01
	5	2.87	3.15	3.01
	7	1.13	2.26	1.70

ตารางที่ 4.3 ตารางบันทึกผลการทดลองวัดความหนา ครั้งที่ 1

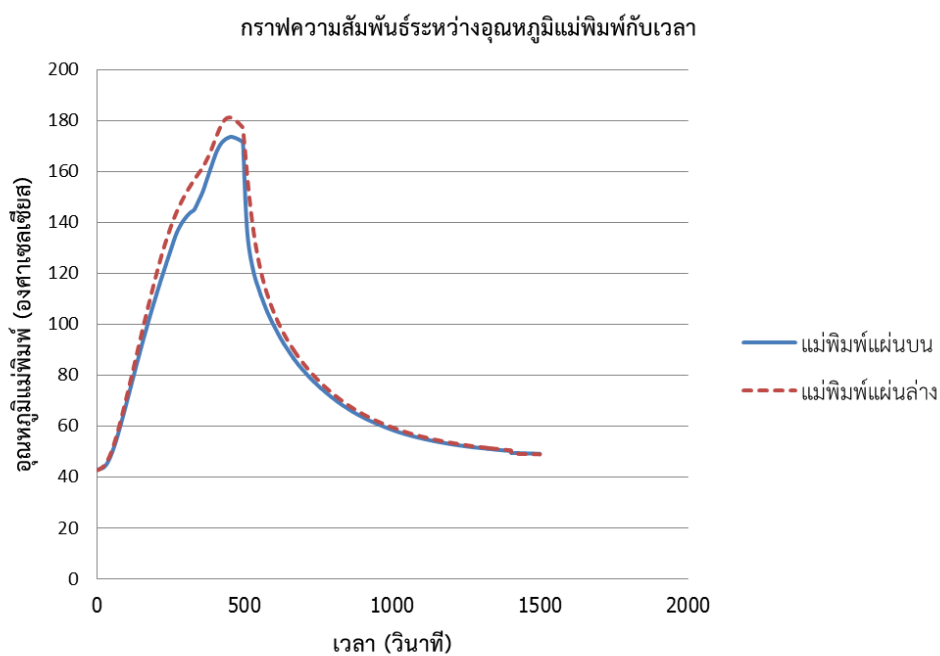
อุณหภูมิ (°C)	เวลาในการ กดขึ้นรูป (นาท)	ความหนา (mm)					
		จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	เฉลี่ย
170	1	1.87	1.94	1.97	1.89	2.03	1.94
	3	1.89	1.81	1.97	2.04	1.90	1.92
	5	1.87	1.91	1.89	1.86	1.97	1.90
	7	1.83	1.86	1.92	1.94	1.91	1.89
180	1	1.95	1.91	2.02	2.06	1.95	1.98
	3	1.96	2.01	1.98	1.79	2.04	1.96
	5	1.94	1.87	1.96	1.98	2.04	1.96
	7	1.96	1.92	2.00	1.89	1.85	1.92
190	1	1.97	1.96	2.01	1.96	2.04	1.99
	3	1.90	1.87	2.00	1.84	1.96	1.91
	5	1.96	1.96	1.94	1.82	1.76	1.89
	7	1.97	1.95	1.88	1.87	1.91	1.92
200	1	1.88	1.92	1.87	1.89	1.96	1.90
	3	1.91	1.87	1.95	1.94	1.95	1.92
	5	1.76	1.81	1.87	1.91	1.87	1.84
	7	1.77	1.80	1.86	1.89	1.95	1.85

ตารางที่ 4.4 ตารางบันทึกผลการทดลองวัดความหนา ครั้งที่ 2

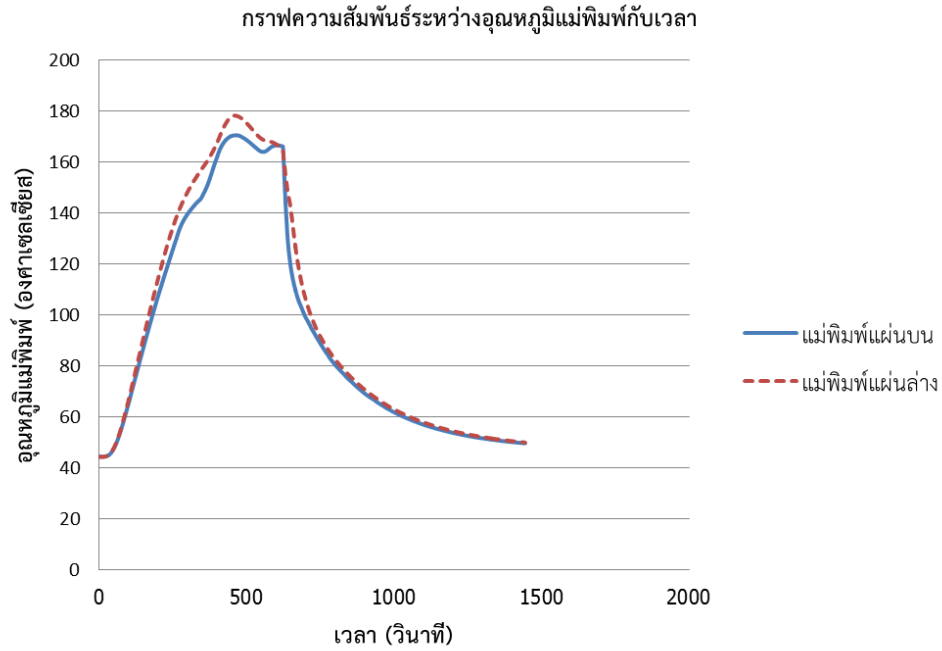
อุณหภูมิ (°C)	เวลาในการ กดขึ้นรูป (นาท)	ความหนา (mm)					
		จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	เฉลี่ย
170	1	1.81	1.95	1.93	1.86	1.96	1.90
	3	1.96	1.89	1.93	1.97	2.09	1.97
	5	1.95	1.92	2.10	2.15	1.85	1.99
	7	1.90	1.99	1.93	1.95	1.98	1.95
180	1	1.87	1.85	1.86	2.01	2.11	1.94
	3	1.85	1.84	1.91	1.88	1.96	1.89
	5	1.95	1.92	1.94	1.91	1.77	1.90
	7	1.77	1.86	1.76	1.80	1.91	1.82
190	1	1.78	1.84	1.95	1.78	1.92	1.85
	3	1.86	1.80	1.70	1.84	1.99	1.84
	5	1.86	1.85	1.87	1.95	1.97	1.90
	7	1.80	1.90	1.89	1.89	2.06	1.91
200	1	1.93	1.89	1.87	1.95	1.96	1.92
	3	1.63	1.74	1.81	1.84	1.91	1.79
	5	1.78	1.94	1.89	1.83	1.83	1.85
	7	1.79	1.78	1.94	1.86	1.84	1.84

ตารางที่ 4.5 ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละอุณหภูมิแม่พิมพ์

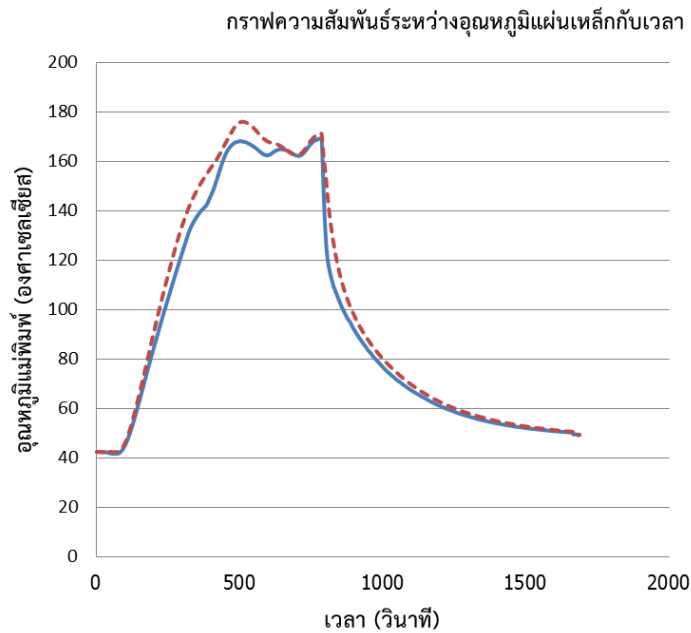
อุณหภูมิแม่พิมพ์ (°C)	ค่าไฟ (บาท)
170	4.59
180	5.12
190	5.57
200	6.13



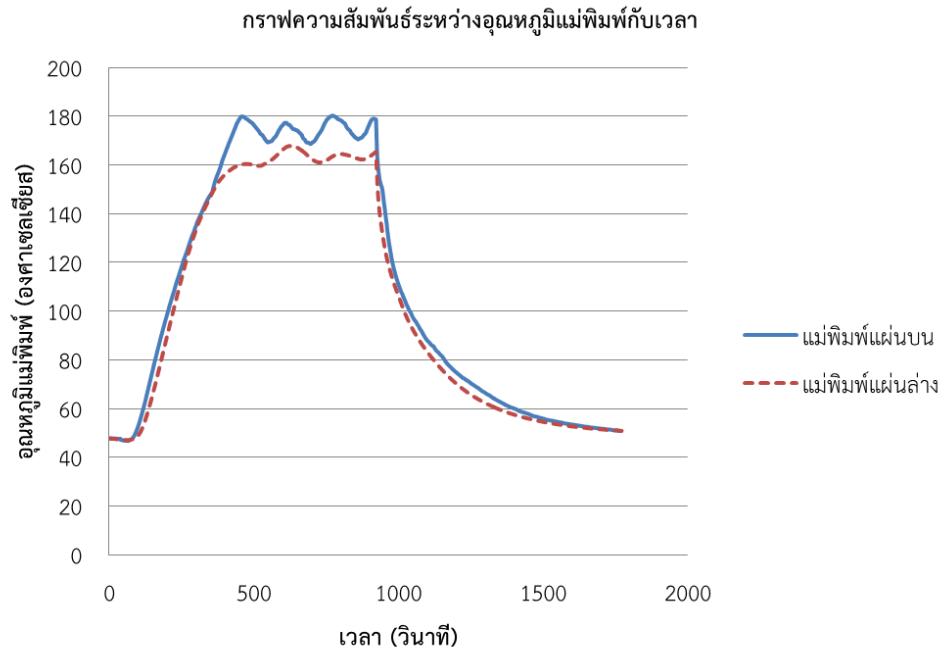
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแม่พิมพ์กับเวลา อุณหภูมิแม่พิมพ์สูงสุด 170 องศาเซลเซียส และกดค้างไว้ที่ 1 นาที



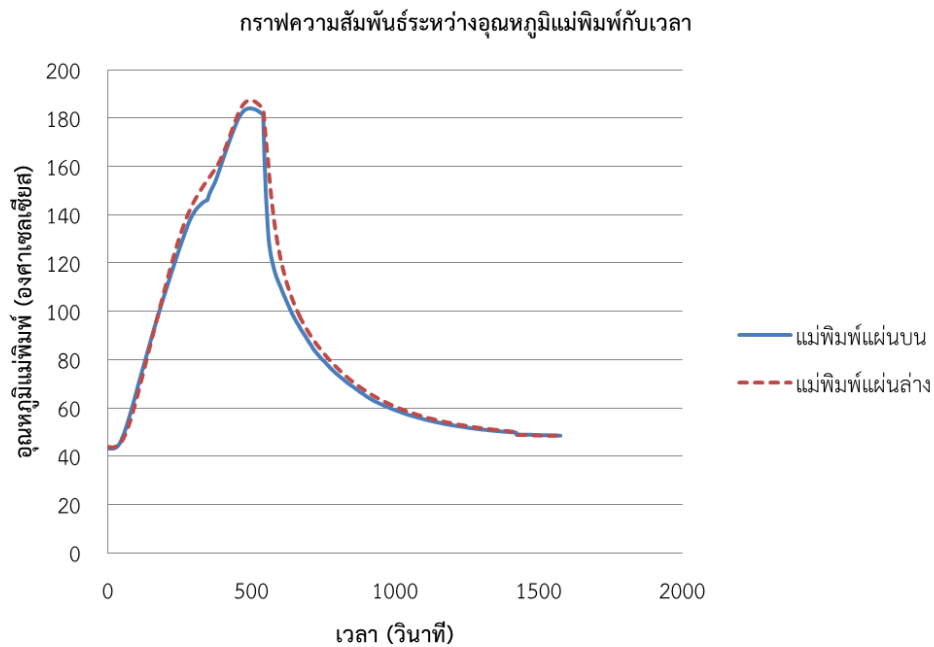
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแม่พิมพ์กับเวลา อุณหภูมิแม่พิมพ์สูงสุด 170 องศาเซลเซียส และกีดค้างไว้ที่ 3 นาที



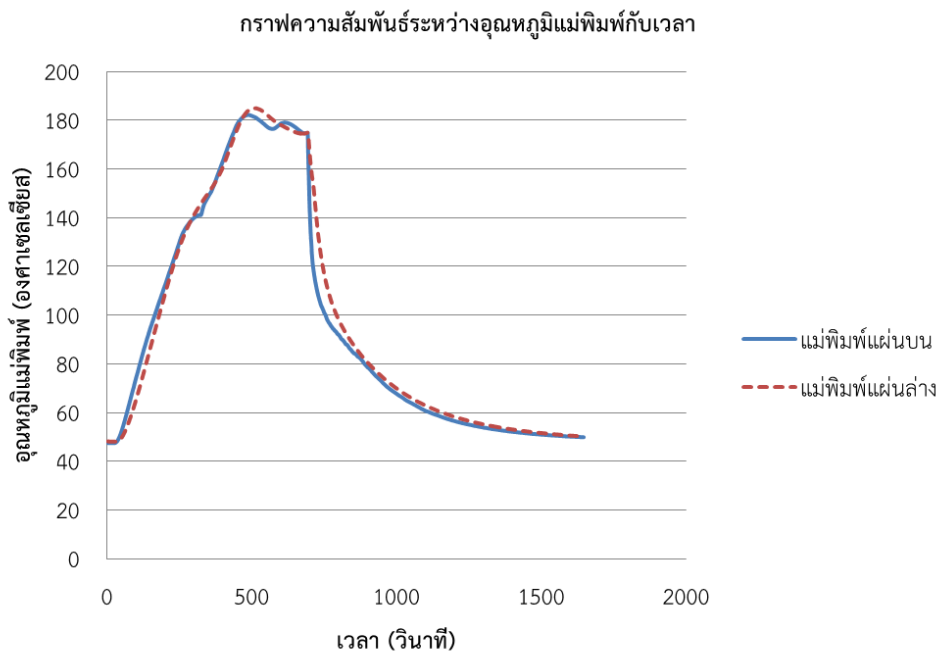
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแม่พิมพ์กับเวลา อุณหภูมิแม่พิมพ์สูงสุด 170 องศาเซลเซียส และกีดค้างไว้ที่ 5 นาที



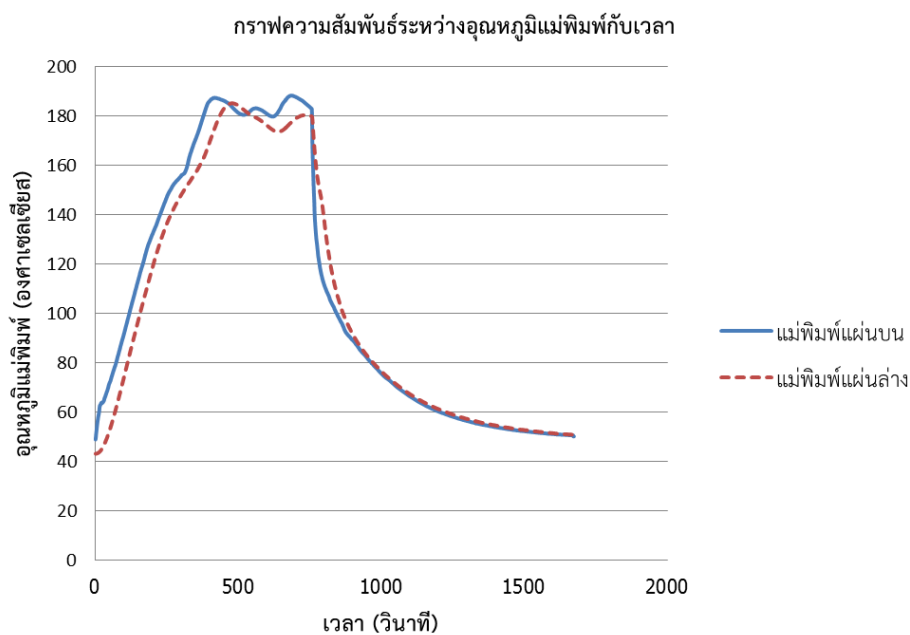
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแม่พิมพ์กับเวลา อุณหภูมิแม่พิมพ์สูงสุด 170 องศาเซลเซียส และกดค้างไว้ที่ 7 นาที



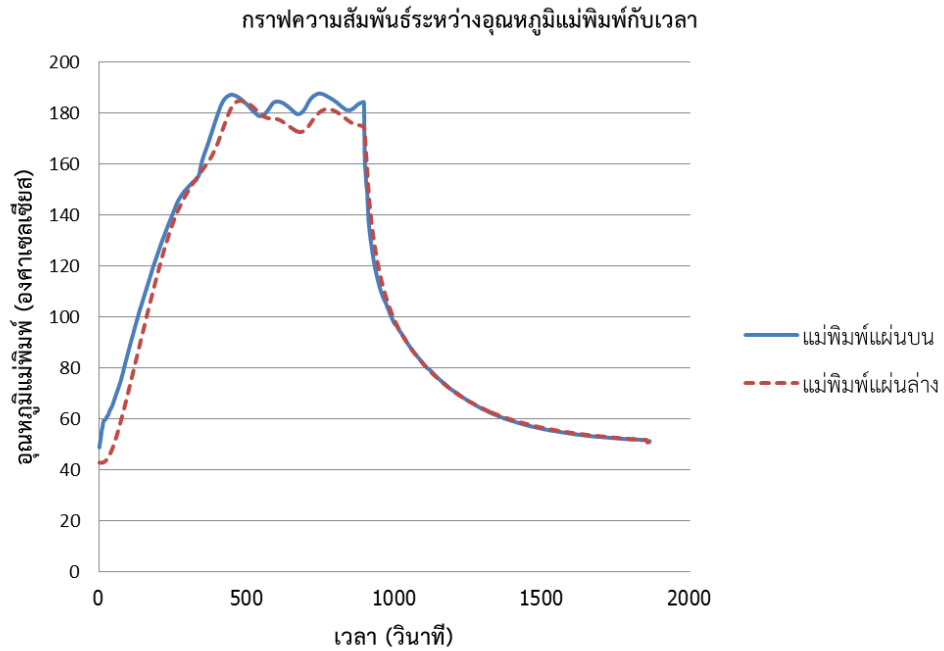
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแม่พิมพ์กับเวลา อุณหภูมิแม่พิมพ์สูงสุด 180 องศาเซลเซียส และกดค้างไว้ที่ 1 นาที



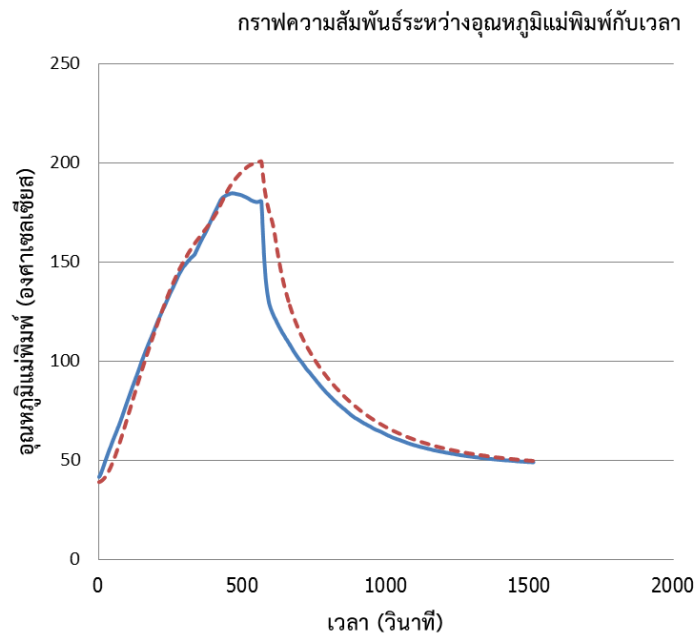
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแม่พิมพ์กับเวลา อุณหภูมิแม่พิมพ์สูงสุด 180 องศาเซลเซียส และกดค้างไว้ที่ 3 นาที



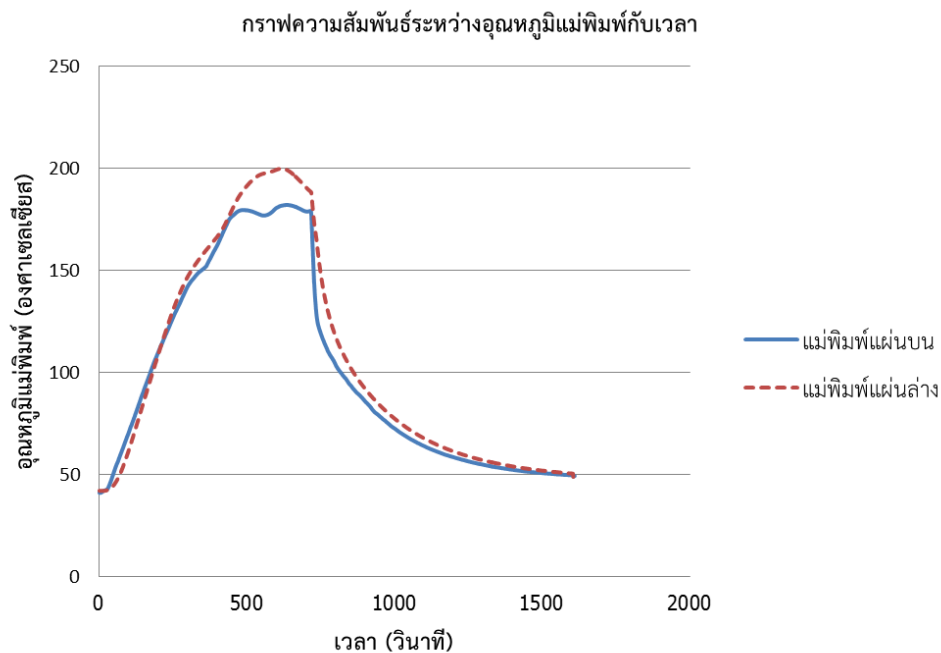
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแม่พิมพ์กับเวลา อุณหภูมิแม่พิมพ์สูงสุด 180 องศาเซลเซียส และกดค้างไว้ที่ 5 นาที



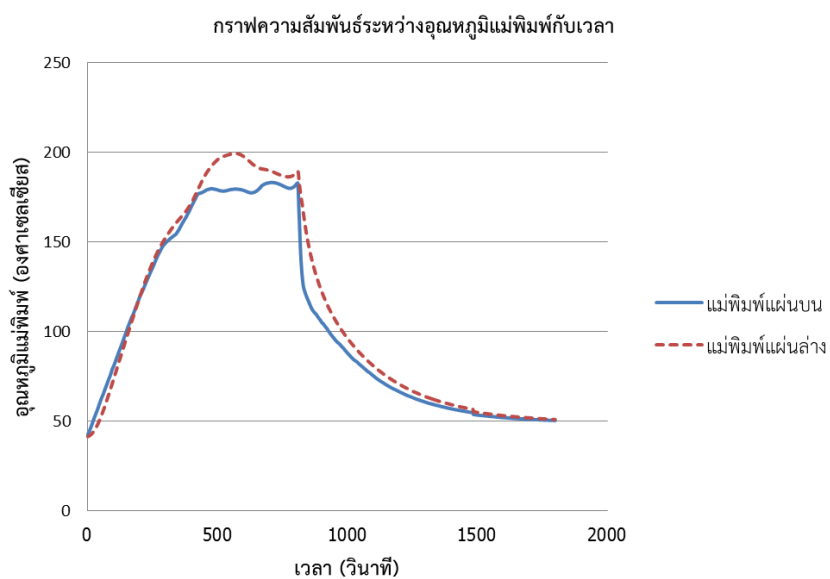
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแม่พิมพ์กับเวลา อุณหภูมิแม่พิมพ์สูงสุด 180 องศาเซลเซียส และกดค้างไว้ที่ 7 นาที



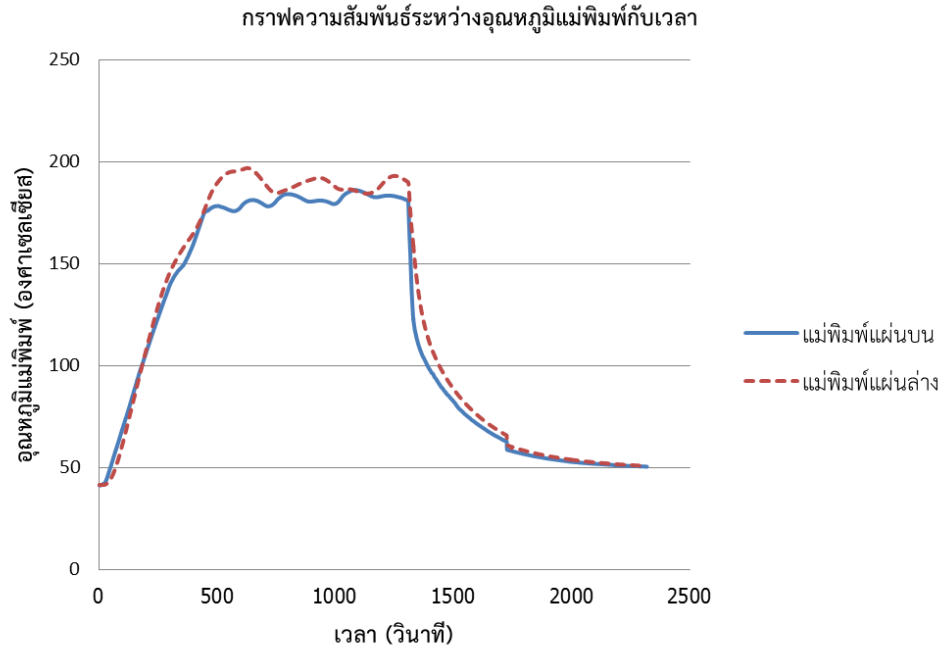
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแม่พิมพ์กับเวลา อุณหภูมิแม่พิมพ์สูงสุด 190 องศาเซลเซียส และกดค้างไว้ที่ 1 นาที



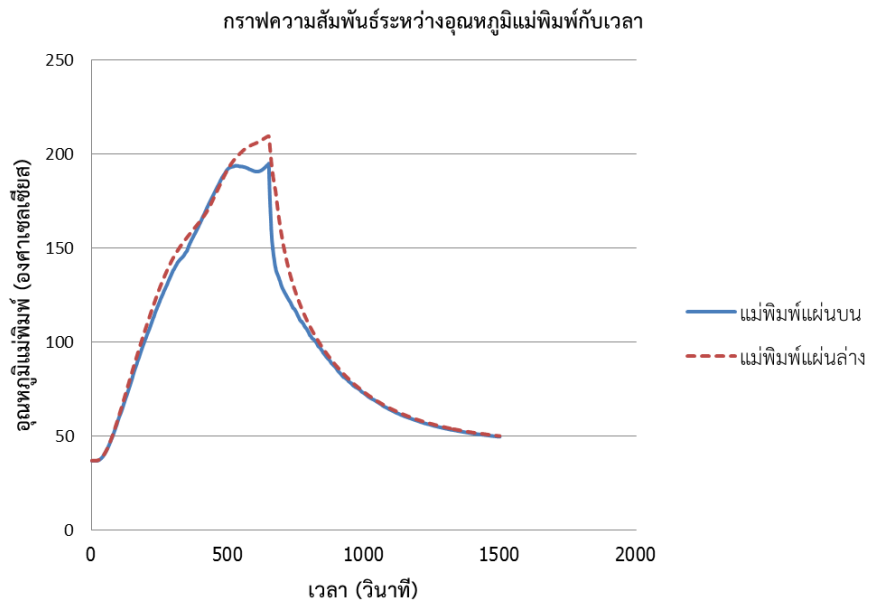
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแม่พิมพ์กับเวลา อุณหภูมิแม่พิมพ์สูงสุด 190 องศาเซลเซียส และกดค้างไว้ที่ 3 นาที



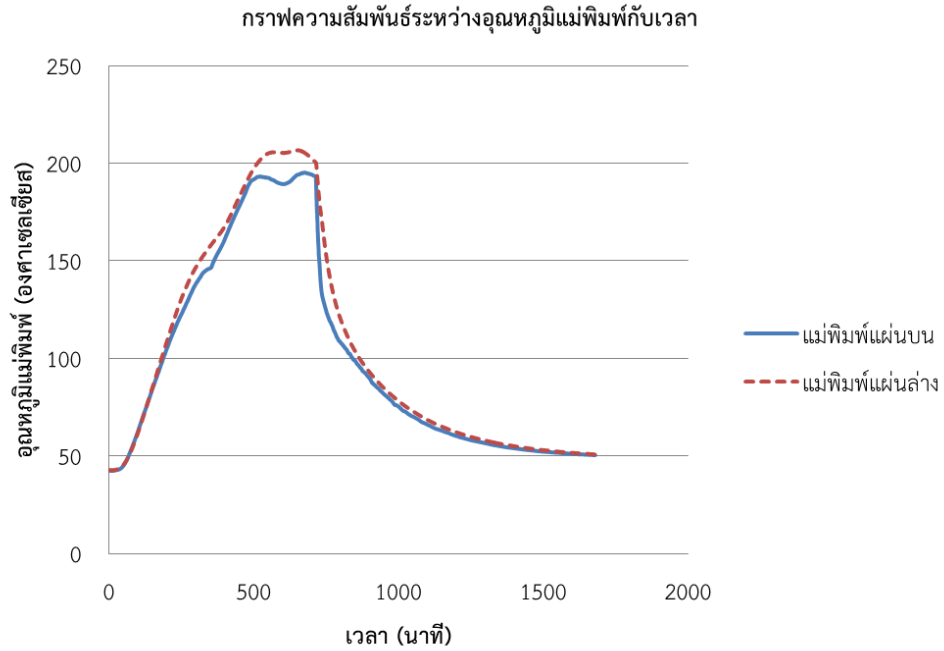
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแม่พิมพ์กับเวลา อุณหภูมิแม่พิมพ์สูงสุด 190 องศาเซลเซียส และกดค้างไว้ที่ 5 นาที



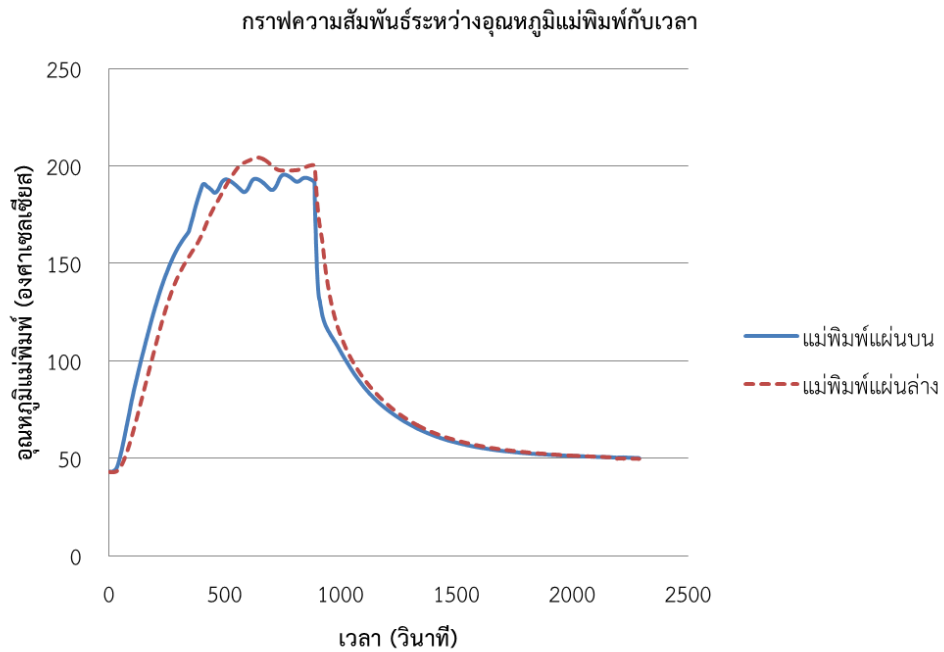
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแม่พิมพ์กับเวลา อุณหภูมิแม่พิมพ์สูงสุด 190 องศาเซลเซียส และกดค้างไว้ที่ 7 นาที



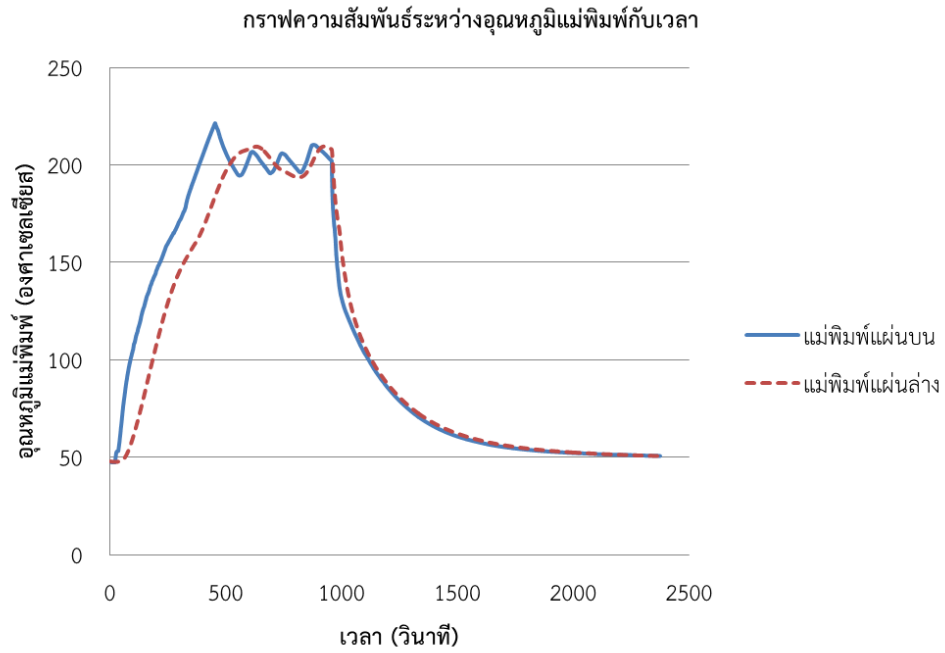
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแม่พิมพ์กับเวลา อุณหภูมิแม่พิมพ์สูงสุด 200 องศาเซลเซียส และกดค้างไว้ที่ 1 นาที



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแม่พิมพ์กับเวลา อุณหภูมิแม่พิมพ์สูงสุด 200 องศาเซลเซียส และกดค้างไว้ที่ 3 นาที



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแม่พิมพ์กับเวลา อุณหภูมิแม่พิมพ์สูงสุด 200 องศาเซลเซียส และกดค้างไว้ที่ 5 นาที



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแม่พิมพ์กับเวลา อุณหภูมิแม่พิมพ์สูงสุด 200 องศาเซลเซียส และกดค้างไว้ที่ 7 นาที

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาการออกแบบแม่พิมพ์ขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติกในส่วนของการให้ความร้อนโดยฮีตเตอร์แท่งมีประสิทธิภาพการให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ถึง 54-69 % ในช่วงอุณหภูมิ 170-200 °C เนื่องจากฮีตเตอร์แท่งที่อยู่ในแผ่นเหล็กอาจมีช่องว่างที่เหลื่ออยู่ทำให้ไม่สามารถให้ความร้อนได้อย่างเต็มที่ ส่วนขั้นตอนการหล่อเย็นแม่พิมพ์อัตราการหล่อเย็นในช่วง 3 นาทีแรกมีอัตราการหล่อเย็น 30-37 °C/min และ หลังจาก 3 นาทีเป็นต้นไปมีอัตราการหล่อเย็น 3-5 °C/min ในด้านประสิทธิภาพในการหล่อเย็นแม่พิมพ์เท่ากับ 62.05 % ในส่วนของช่องว่างอากาศที่เกิดขึ้นหลังจากการอัดขึ้นรูปเกิดจากอากาศและไอน้ำติดอยู่ขณะอัดขึ้นรูปก่อนพลาสติกละลายซึ่งแรงอัดจากการขึ้นรูปไม่สามารถไล่ออกไปได้ ด้านของความหนาพลาสติกโดยเฉลี่ยพบว่าสามารถควบคุมความหนาได้โดยการกำหนดค่าอุณหภูมิและค่าไฟที่ใช้ในกระบวนการคือ 4-6 บาทต่อกระบวนการอัดขึ้นรูปพลาสติกในแต่ละรอบซึ่งพบว่าแผ่นที่บางกว่าจะเสียค่าใช้จ่ายในการอัดขึ้นรูปที่สูงกว่า

5.2 วิจารณ์ผลการวิจัย

5.2.1 มีบางบริเวณของแม่พิมพ์แผ่นบนที่ความร้อนจากฮีตเตอร์ไปไม่ถึงทำให้พลาสติกที่สัมผัสในบริเวณนั้นไม่ละลายถ้าอุณหภูมิไม่สูงมากพอ

5.2.2 ตัวคอนโทรลเลอร์มีค่าเออเรอในการอ่านค่าจากเทอร์โมคัปเปิล ซึ่งค่าเออเรอมีค่าประมาณ 6-7 °C

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการปรับปรุง

5.3.1 ปรับเปลี่ยนช่องของแม่พิมพ์แผ่นบนให้มีการวางของชุดให้ความร้อน ให้ทั่วถึงเพิ่มมากขึ้นเพื่อที่จะให้วัตถุดิบเกิดการหลอมเหลวได้ดีขึ้น

5.3.2 ต้องมีการจูนค่า PID ของตัวคอนโทรลเลอร์ใหม่เพื่อให้ค่าเออเรอที่อาจจะเกิดขึ้นหรือไม่เกิดขึ้นมีค่าน้อยลง

5.3.3 ปรับเปลี่ยนถังเก็บน้ำให้มีขนาดใหญ่มากยิ่งขึ้น เพื่อที่จะไม่ต้องใช้น้ำที่ผ่านการถ่ายเทความร้อนจากแม่พิมพ์นำกลับมาใช้ใหม่และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหล่อเย็นแม่พิมพ์ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- Alavudeen, A., M. Thiruchitrambalam, et al. (2011). "Review of natural fiber woven composite." Reviews on Advanced Materials Science 27(2): 146-150.
- Baillie, C. (2004). Green composites Polymer composites and the environment. Boca Raton New York Washington, DC, Woodhead Publishing Ltd and CRC Press LLC.
- Dissanayake, N. P. J. (2011). Life Cycle Assessment of Flax Fibres for the Reinforcement in Polymer Matrix Composites. School of Marine Science and Engineering, Faculty of Science and Technology. Plymouth, University of Plymouth. **Ph.D.**
- Faruk, O., A. K. Bledzki, et al. (2012). "Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000-2010." Progress in Polymer Science(0).
- Goda, K. and Y. Cao (2007). "Research and Development of Fully Green Composites Reinforced with Natural Fibers." Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering 1(9): 1073-1084.
- Hassan, A., A. A. Salema, et al. (2010). "A review on oil palm empty fruit bunch fiber-reinforced polymer composite materials." Polymer Composites 31(12): 2079-2101.
- John, M. J. and S. Thomas (2008). "Biofibres and biocomposites." Carbohydrate Polymers 71(3): 343-364.
- Koronis, G., A. Silva, et al. (2012). "Green composites: a review of adequate materials for automotive applications." Composites Part B: Engineering(0).
- Mohanty, A. K., M. Misra, et al. (2000). "Biofibres, biodegradable polymers and biocomposites: An overview." Macromolecular Materials and Engineering 276-277: 1-24.
- Sreekumar, P. A., S. P. Thomas, et al. (2009). "Effect of fiber surface modification on the mechanical and water absorption characteristics of sisal/polyester composites fabricated by resin transfer molding." Composites Part A: Applied Science and Manufacturing 40(11): 1777-1784.
- Summerscales, J., N. Dissanayake, et al. (2010). "A review of bast fibres and their composites. Part 2 - Composites." Composites Part A: Applied Science and Manufacturing 41(10): 1336-1344.
- Summerscales, J., N. P. J. Dissanayake, et al. (2010). "A review of bast fibres and their composites. Part 1 - Fibres as reinforcements." Composites Part A: Applied Science and Manufacturing 41(10): 1329-1335.
- Summerscales, J., A. Virk, et al. (2013). "A review of bast fibres and their composites: Part 3 - Modelling." Composites Part A: Applied Science and Manufacturing 44(1): 132-139.

Venkateshwaran, N. and A. Elayaperumal (2010). "Banana fiber reinforced polymer composites - A review." Journal of Reinforced Plastics and Composites 29(15): 2387-2396.

Wambua, P., J. Ivens, et al. (2003). "Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics?" Composites Science and Technology 63(9): 1259-1264.

จุฑารัตน์ ทะสระระ. 2552. การนำความร้อนที่สภาวะคงตัว, หน้า 29

ชาวสวน กาญจน์โนมัย. 2549. กลศาสตร์วัสดุ. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, หน้า 25-33

ดร.ชนี พัทธวราร. 2550. “กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกเบื้องต้น.” หน้า 5, 11. เทคโนโลยีกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (ผชพ) ด้านความร้อน. 2548. กลศาสตร์ของไหลเบื้องต้น. หน้า 2-4.

พีรณัฐ ภูมิ, พีระสิทธิ์ ลาไป, การุณต์ มะหะหมัดยูซบและนายณพดล ผลมีทรัพย์. 2554.

เครื่องทดสอบการสูญเสีย ความดันในการไหลผ่านท่อ, ครงงาสาขาวิชาเครื่องกล สาขา
งานเทคนิคยานยนต์ วิทยาลัยเทคโนโลยี ภาคตะวันออก (อี.เทค), หน้า 20-23.

สุวิทย์ ไวแสง, พงศกร กองสำลี, จักรพงษ์ ภูครองนาค, ธนากร ศรีพันทนา, ส้งเสริม ดาวเรืองรัมย์ และ
ชาญณรงค์ สุภา. 2548. การจำแนกประเภทของวัสดุผสม.

สมเจตน์ พชรพันธ์. 2552. ข้อบกพร่องในชิ้นงานพลาสติก ที่ผ่านกระบวนการฉีดขึ้นรูป:สาเหตุและ
แนวทางการแก้ไข. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินงานโครงการวิจัย

1. ค่าตอบแทน	0 บาท
2. ค่าใช้สอย	0 บาท
3. ค่าวัสดุ เช่น เหล็ก, แสตมป์, ดึงสูญญากาศและระบบให้ความร้อน	40,000 บาท
4. อื่นๆ	0 บาท
รวม	<u>40,000 บาท</u>

ประวัติคณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายเจษฎา ชัยโสม

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. JEDSADA CHAISHOME

2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3709900250069

3. สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนน คลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

โทรศัพท์ + 66 2 3298356 ต่อ 17, แฟกซ์ + 66 2 3298356-8 ต่อ 13

e-mail : kcjedsad@kmitl.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

คุณวุฒิ	ปีที่สำเร็จการศึกษา	ชื่อสถานศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)	2542	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร- ลาดกระบัง
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมการผลิต)	2545	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

สาขาที่ชำนาญ Composite Forming Technology (Fibre Reinforced Thermoplastics Composites),
Engineering Design, Elementally Machine Design, and Computer Aided Engineering.

ผู้ร่วมโครงการ

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายเอกพงษ์ จีวีตโสภณ

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Ekkapong Cheevitsopon

2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3920600186411

3. สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนน จลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

โทรศัพท์ 023298356 ต่อ 14, แฟกซ์ 023298356 ต่อ 13

อีเมล : cheevitsopon@gmail.com

4. ประวัติการศึกษา

คุณวุฒิ	ปีที่สำเร็จการศึกษา	ชื่อสถานศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมอาหาร)	2545	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร- ลาดกระบัง
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอาหาร)	2548	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
Doctor of Engineering (Food Engineering and Bioprocess Technology)	2555	Asian Institute of Technology

สาขาที่ชำนาญ การออกแบบเครื่องจักรกลแปรรูปอาหาร เทคโนโลยีการอบแห้งอาหาร และสมบัติทางกายภาพของอาหาร

ผลงานการวิจัย

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ)

1. Cheevitsopon, E. and Noomhorm, A. 2011. Kinetics of hydration and dimensional changes of brown rice. Journal of Food Processing and Preservation, 35(6), 840,849.
2. Cheevitsopon, E. and Noomhorm, A. 2011. Effects of parboiling and fluidized bed drying on the physicochemical properties of germinated brown rice. International Journal of Food Science and Technology, 46(12), 2498,2504.

การเสนอผลงานวิชาการ

1. เอกพงษ์ ชีวดีโสภณ และอมรเดช พุทธิพิพัฒน์ขจร. 2548. การประมาณค่าน้ำหนักผลมั่งคุดบนระบบชั่งน้ำหนักแบบ ไดนามิกส์โดยใช้ Fuzzy C-Means. ใน รายงานการประชุมวิชาการนักเรียนไทยในฝรั่งเศสและภาคพื้นยุโรป ครั้งที่ 3. สำนักงานที่ปรึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประจำกรุงบรัสเซลส์ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ร่วมกับ สมาคมนักเรียนไทยในประเทศฝรั่งเศสในพระบรมราชูปถัมภ์, ฝรั่งเศส.
2. เอกพงษ์ ชีวดีโสภณ และอมรเดช พุทธิพิพัฒน์ขจร. 2549. การประมาณค่าน้ำหนักผลมั่งคุดบนระบบชั่งน้ำหนักแบบ ไดนามิกส์โดยใช้ Fuzzy C-Means, น. 81. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการของสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม.
3. Cheevitsopon, E. and Noomhorm, A. 2009. Study of hydration kinetics and dimensional changes of brown rice during soaking by image analysis, pp. 25. In 4th International Conference on Innovations in Food Processing Technology and Engineering, Asian Institute of Technology, Thailand.
4. Cheevitsopon, E. and Noomhorm, A. 2010. Changes in physicochemical property of germinated brown rice and parboiled germinated brown rice dried in a fluidized bed dryer, pp. 24-25. In 5th International Conference on Innovations in Food and Bioprocess Technology, Asian Institute of Technology, Thailand.
5. Cheevitsopon, E., Noomhorm, A. and Roonprasang, K. 2012. Mathematical modeling of superheated-steam fluidized-bed drying of parboiled germinated brown rice, pp. 102. In International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology 2012, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand.
6. Cheevitsopon, E., Noomhorm, A. and Roonprasang, K. 2013. Effects of processing parameters on the aminobutyric acid content, pp. 54. In 5th AUN/SEED-Net Regional Conference on Biotechnology, Institut Teknologi Bandung, Indonesia.
7. Roonprasang, K., Cheevitsopon, E., and Supakiat, T. 2013. Determination of design parameters for continuous skewered food product grilling using heat source from wood charcoal. Pp. 73. In 5th AUN/SEED-Net Regional Conference on Biotechnology, Institut Teknologi Bandung, Indonesia.

ผลงานสิทธิบัตร/สิ่งประดิษฐ์/งานสร้างสรรค์ (ศิลปะ หรือ อื่นๆ)

1. เครื่องผ่าผลมะพร้าวอ่อนกึ่งอัตโนมัติ ลักษณะงานที่รับผิดชอบเป็นการออกแบบ และควบคุมการสร้าง ที่ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปี 2545
2. การออกแบบและสร้างระบบชั่งน้ำหนักผลมั่งคุดแบบต่อเนื่อง ลักษณะงานที่รับผิดชอบเป็นการออกแบบ และควบคุมการสร้าง ที่ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปี 2548

3. การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งข้าวกล้องงอกแบบฟลูอิดไดซ์เบดด้วยไอน้ำยิ่งยวด ลักษณะงานที่รับผิดชอบ
เป็นการออกแบบ และควบคุมการสร้าง ที่สาขาวิศวกรรมอาหารและเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีแห่ง
เอเชีย ปี 2555

