บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ ได้ค้นคว้าข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องจากเอกสาร ตำรา ตลอดจนงานวิจัยที่ผ่านมา เพื่อให้งานวิจัยบรรลุวัตถุประสงค์ตามที่ตั้งไว้ โดยจำแนกเป็นหัวข้อดังนี้

2.1 การขึ้นรูปด้วยการหล่อ
2.2 ปั๊มของเหลว
2.3 ปลาสเตอร์
2.4 ซอฟต์แวร์ทางการออกแบบเขียนแบบวิศวกรรม
2.5 ประสิทธิภาพการผลิต
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2.7 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

2.1 การขึ้นรูปด้วยการหล่อ

การขึ้นรูปด้วยการหล่อ (Slip casting) โดยทั่วไปเป็นวิธีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยการเติมน้ำดิน (Slip) ลงในแม่พิมพ์ปลาสเตอร์ (Plaster mold) ซึ่งมีรูปร่างของชิ้นงานหล่อ (Cast) ตามต้องการ ความหนาของชิ้นงานหล่อจะค่อยๆ ก่อตัวขึ้นเมื่อแม่พิมพ์เริ่มดูดของเหลวออกจากน้ำดิน เนื้อชิ้นงานหล่อเริ่มมีความหนามากขึ้นและแข็งขึ้นเรื่อยๆ เมื่อปล่อยให้แห้ง จากนั้นถอดชิ้นงานหล่อออกจากแม่พิมพ์ อบให้แห้งสนิท แล้วจึงนำไปเผาเป็นผลิตภัณฑ์เซรามิก (Ceramic product)

2.1.1 ทฤษฎีการหล่อ

น้ำดิน หมายถึง ส่วนผสมของดินกับน้ำในปริมาณที่เหมาะสม คือ จำกัดปริมาณของน้ำให้น้อยที่สุด โดยเติมสารเคมีบางชนิดเพื่อช่วยให้อนุภาคดินกระจายตัว ช่วยให้น้ำดินไหลตัวดีและไม่ตกตะกอน (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ, 2547 : 115) น้ำดินที่ใช้ในการหล่อจะประกอบด้วยน้ำ ร้อยละ 25-40 น้ำในน้ำดินจะถูกแม่พิมพ์ปลาสเตอร์ดูดด้วยแรงที่เกิดจากรูพรุนในแม่พิมพ์ น้ำดินบริเวณผิวแม่พิมพ์จะข้นขึ้นเรื่อยๆ ในที่สุดจะเหลือแต่เนื้อดินสะสมที่ผิวแม่พิมพ์กลายเป็นผนังของชิ้นงานหล่อ ผนังของชิ้นงานหล่อจะหนาขึ้นตามเวลาที่ผ่านไป และแม่พิมพ์จะมีความชื้นมากขึ้น อัตราการหล่อ (Casting rate) หรืออัตราการเพิ่มความหนาของผนังชิ้นงานหล่อจะลดลงตามเวลาที่ผ่านไปด้วยเหตุผล 2 ประการ คือ 1) น้ำจะซึมผ่านเข้าแม่พิมพ์ได้ยากขึ้นเนื่องจากผนังชิ้นงานหล่อต้านเอาไว้ และ 2) แม่พิมพ์มีความชื้นมากขึ้นอัตราการดูดซึมผ่านย่อมลดลง นอกจากนี้ขนาดอนุภาคดิน (Particle size) ยังมีส่วนเร่งอัตรา การหล่อ กล่าวคือ ขนาดอนุภาคดินยิ่งหยาบอัตราการหล่อจะยิ่งเร็วขึ้น

ภาพประกอบที่ 2.1 น้ำดิน
ที่มา: Ruth carter ceramics (2557)

2.1.1.1 การควบคุมสมบัติของน้ำดินและการควบคุมสมบัติของชิ้นงานหล่อ

การหล่อที่มีคุณภาพและมีสมบัติที่ดีสม่ำเสมอ มีหลายสิ่งที่ต้องพิจารณา คือ สัดส่วนระหว่างวัตถุดิบที่มีความเหนียว เช่น ดิน กับวัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียว เช่น เฟลด์สปาร์ และควอตซ์ สัดส่วนควรมีค่าระหว่าง 0.83-1.10 การใช้ดินขาวที่มีเม็ดหยาบผนังของชิ้นงานหล่อขณะทำการหล่อจะมีรูพรุนมากและมีขนาดใหญ่ ทำให้มีการดูดซึมเป็นไปได้ดี ส่งผลให้มีอัตราการหล่อที่รวดเร็ว แต่มีข้อเสีย คือ ชิ้นงานหล่อถอดออกจากแม่พิมพ์ไม่ค่อยแข็งแรงและเสียรูปทรงได้ง่าย การใช้ดินเหนียวที่มีอนุภาคขนาดเล็กมักจะมีสมบัติไม่สม่ำเสมอ ถ้าดินเหนียวมากเกินไปจะส่งผลให้มีอัตราการหล่อที่ช้า

2.1.1.2 การกระจายตัวของดินในน้ำดิน

อนุภาค (Particle) ของดินที่ลอยตัวอยู่ในน้ำดินเหมือนอนุภาคของแข็งทั่วไป คือ ที่ผิวอนุภาคมักจะมีพันธะ (Bond) ไม่สมบูรณ์ ทำให้สามารถดูดซับพวกอนุมูลบวกไว้ที่ผิวได้ ความสามารถในการดูดซับนี้มีหน่วยเป็น มิลลิอีควิวาเลนซ์ต่อ 100 กรัมของดินแห้ง โดยทั่วไปดินที่มีความละเอียดมากจะมีความสามารถดูดซับอนุมูลต่างๆ ได้มากกว่าดินหยาบ เนื่องจากดินที่ละเอียดมีพื้นที่ผิว (Surface area) มากกว่าดินหยาบ การที่อนุภาคของดินสามารถดูดซับอนุมูลต่างๆ ได้นั้น เนื่องจากสาเหตุ 2 ประการ คือ 1) พันธะที่ผิวของอนุภาคดินไม่สมบูรณ์ และ 2) มีการแทนที่กันของอนุมูลต่างๆ ในโครงสร้างของอนุภาคของดิน ในน้ำดินทั่วไปจะมีอนุมูลที่ถูกดูดซับบนผิวและมีพวกเกลือที่ละลายน้ำปนอยู่ช่วยให้เกิดการกระจายตัวที่ดี เช่น สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) หรือโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) (อรนุช จินดาสกุลยนต์, 2553 : 24-35)

2.1.1.3 วิทยาการไหลของน้ำดิน (Rheology)

วิทยาการไหลของน้ำดิน มีดังนี้

1) ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)

ใช้สัญลักษณ์ S หรือ S.G. หรือ Sp.G. หรือ Sp.Gr. หรือ ถพ. เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative density) หมายถึง สัดส่วนระหว่างความหนาแน่น

ของวัตถุกับความหนาแน่นของของไหลมาตรฐาน (สำหรับของเหลว คือ น้ำ) หรือกรณีที่วัตถุและน้ำมีปริมาตรเท่ากัน จะพิจารณาสัดส่วนระหว่างมวลของวัตถุต่อมวลของน้ำ (เล็ก สีคง, 2548)

2) ความหนืด (Viscosity)

เป็นพฤติกรรมการต้านทานต่อการไหลของของเหลว ซึ่งสามารถวัดความหนืดได้หลายวิธี เครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดความหนืดเรียกว่า มาตรความหนืด (Viscometer) ในการวัดความหนืดไม่ว่าจะโดยวิธีใดก็ตาม อุณหภูมิมาตรฐานที่กำหนดให้ใช้คือ 25 องศาเซลเซียส เพราะอุณหภูมิจะมีผลต่อความหนืด โดยความหนืดของของเหลวทุกชนิดจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น (เล็ก สีคง, 2548 อ้างจาก ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์, ม.ป.ป. : 11-14)

3) ความข้น (Thixotropy)

เป็นสมบัติที่แสดงให้เห็นถึงคุณภาพของน้ำดินที่มีผลต่อการหล่อ นั่นคือ หากความข้นสูง จะทำให้อัตราการหล่อรวดเร็ว แต่การเทน้ำดินออกจากแม่พิมพ์ทำได้ยาก ผิวชิ้นงานหล่อด้านในไม่เรียบ ความชื้นสะสมในชิ้นงานหล่อจะมีมากทำให้แห้งช้าและอ่อนแอ หากความข้นต่ำ อัตราการหล่อแบบจะช้า และชิ้นงานหล่อมีโอกาสที่จะยุบลงขณะเทน้ำดินออก เพราะบริเวณผิวนอกแห้งตัวเร็วหลุดจากแม่พิมพ์ (เล็ก สีคง, 2548)

น้ำดินที่ใช้ในกระบวนการผลิตเซรามิกเนื้อขาว (White ware ceramic) ซึ่งมีส่วนผสมของ ดินขาว ดินเหนียว ฟิลเลอร์ และฟลักซ์ เป็นวัตถุดิบ ในองค์ประกอบดังกล่าวพบว่าดินเหนียวจะส่งผลต่อสมบัติในการหล่อและเป็นปัจจัยที่ต้องควบคุมในขั้นตอนการเตรียมน้ำดิน และเพื่อให้ได้น้ำดินที่มีสมบัติในการหล่อที่ดีผู้ผลิตจึงต้องตรวจสอบสมบัติที่สำคัญ ได้แก่ ค่าความถ่วงจำเพาะ ความหนืด และความข้นเป็นวุ้น ด้วยอุปกรณ์มาตรวัดแบบแกลเลนแคมป์ น้ำดินที่ใช้ในอุตสาหกรรมโดยทั่วไปจะมีค่าความหนืดระหว่าง 290-310 °Overswing ค่าความข้นเป็นวุ้นระหว่าง 20-50 °Overswing ที่เวลา 1 นาที และค่าความหนาแน่นอาจมีค่าสูงถึง 1.800-1.825 (WBB minerals : 1, 3-6, 8)

2.1.1.4 วัตถุดิบในการเตรียมน้ำดิน

วัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมน้ำดินหล่อประกอบด้วยวัตถุดิบหลัก 4 ชนิด คือ (ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์, 2541 : 228)

1) ดินขาว

ดินขาว (Kaolin) เป็นวัตถุดิบที่มีความบริสุทธิ์ คือมีเหล็กออกไซด์และสิ่งเจือปนน้อย เนื้อดินมีสีขาวหลังการเผา ช่วยให้สีเคลือบหลังการเผาสวยงาม มีความเหนียวน้อย เนื้อดินทนไฟสูง ช่วงการเผายาว และผลิตภัณฑ์ไม่เกิดการบิดเบี้ยวง่าย เมื่อเผาในอุณหภูมิสูง ดินขาวช่วยให้การหดตัวขณะที่ปล่อยผลิตภัณฑ์แห้งในแม่พิมพ์ได้ดีทำให้น้ำดินหล่อแห้งเร็ว ซึ่งเหมาะสำหรับทำผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสีขาวทุกชนิด

2) ดินดำ

ดินดำ (Ball clay) เป็นวัตถุดิบที่ความเหนียวสามารถขึ้นรูปได้ ช่วยให้น้ำดินไหลตัวดี ทำหน้าที่คล้ายกาวช่วยให้ส่วนผสมต่างๆ ในเนื้อดินยึดเกาะกันได้ดี สามารถขึ้นรูปได้ง่าย เมื่อผลิตภัณฑ์แห้งไม่แตกง่าย เนื้อดินหลังเผามีความแข็งแกร่งไม่เปราะแตกง่าย เคลื่อนย้ายสะดวก

3) ซิลิกา

ซิลิกา (Silica) เป็นวัตถุดิบที่เสริมความแข็งแกร่งให้ผลิตภัณฑ์ เปรียบเหมือนโครงกระดูกของผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความทนไฟไม่ทรุดตัวหลังการเผาและช่วยเปิดเนื้อดิน ทำให้เนื้อดินผึ่งแห้งได้เร็วขึ้นโดยไม่แตกร้าว

4) หินฟันม้า

หินฟันม้า (Feldspar) เป็นวัตถุดิบที่เป็นตัวประสานให้อนุภาคของดินและซิลิกาหรือทรายหลอมตัวเป็นเนื้อเดียวกันในขณะเผา ทำให้เนื้อดินสุกตัวในอุณหภูมิที่ต้องการ ลดการดูดซึมน้ำของผลิตภัณฑ์หลังการเผา เพื่อความโปร่งแสงให้ผลิตภัณฑ์พอร์ซเลน

2.1.2 กระบวนการหล่อ

2.1.2.1 การหล่อแบบเท (Drain หรือ Hollow casting)

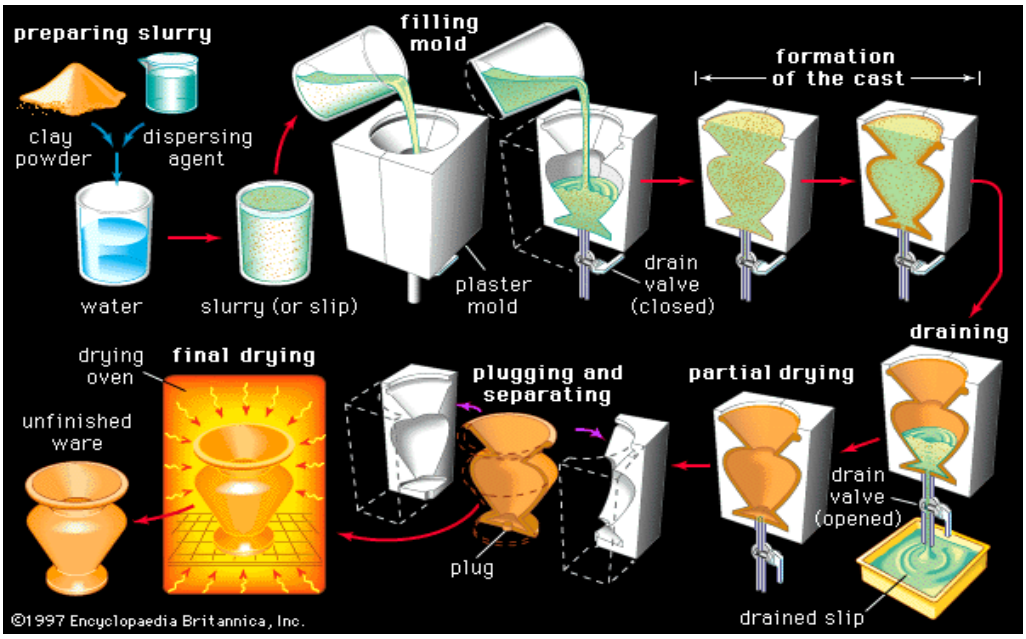
ใช้ในการหล่อผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะกลวงโดยการเติมน้ำดินลงไปในแม่พิมพ์ที่แห้งสนิท บริเวณผิวแม่พิมพ์แปลาสเตอร์จะมีรูเล็กๆ ทำหน้าที่ดูดซับน้ำได้ดี เมื่อเทน้ำดินลงไปในแม่พิมพ์จะดูดซับน้ำดินตรงบริเวณผิวที่มีน้ำดินหล่อเลี้ยงอยู่กระบวนการดูดน้ำของแม่พิมพ์เป็นไปอย่างต่อเนื่องและช้าๆ ความชื้นของน้ำจะถูกเก็บไว้ในแม่พิมพ์ การจับตัวของชั้นดินตรงบริเวณผิวแม่พิมพ์จะเริ่มขึ้นและชั้นดินจะหนาขึ้นทีละน้อย เมื่อได้ความหนาที่ต้องการจึงเทน้ำดินส่วนเกินที่ยังไม่แข็งออกจากแม่พิมพ์ ทิ้งชิ้นงานหล่อไว้ในแม่พิมพ์ เพื่อให้ปลาสเตอร์ทำหน้าที่ดูดซับน้ำต่อไปจนกระทั่งชิ้นงานหล่อเริ่มแข็งตัวหรือหดตัวลงเล็กน้อยและแข็งตัวพอสมควรสามารถหยิบจับได้โดยไม่ยุบเสียรูปทรงจึงถอดแม่พิมพ์ออก การหล่อแบบเทจะได้ชิ้นงานที่มีความหนาสม่ำเสมอกัน

2.1.2.2 การหล่อแบบตัน (Solid casting)

เป็นการหล่อชิ้นงานที่สามารถควบคุมขนาดความหนาบางของชิ้นงานได้ โดยการสร้างแม่พิมพ์ที่กำหนดความหนาของส่วนต่างๆ ของชิ้นงานไว้ในช่องวางสำหรับเทน้ำดินเข้าไป แม่พิมพ์ด้านนอกและด้านในหรือด้านบนและด้านล่างจะถูกประกบกันให้แน่นแล้วเทน้ำดินหรือฉีดน้ำดินด้วยแรงอัดเข้าไปจนเต็ม และไม่มีการเทออกอีก กระบวนการหล่อน้ำดินแบบตันเกิดขึ้นเมื่อผิวแม่พิมพ์ด้านในทั้งสองชิ้นมีการดูดน้ำออกจากน้ำดินพร้อมๆ กัน และยังคงเติมน้ำดินเข้าไปในแม่พิมพ์อย่างต่อเนื่องจนกว่าดินจะแข็งตัวจนเต็มพื้นที่ช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์ชิ้นบนและชิ้นล่าง การสร้างแม่พิมพ์แบบหล่อตันมีความยุ่งยากกว่าแม่พิมพ์แบบหล่อเท

2.1.2.3 การหล่อแบบผสม (Double casting)

เป็นการหล่อโดยใช้เทคนิคแบบผสมในชิ้นเดียวกัน คล้ายเทคนิคการหล่อตัน แต่ช่องว่างภายในแม่พิมพ์มีความหนามากกว่า เมื่อเติมน้ำดินเข้าไปในแม่พิมพ์ระยะหนึ่งจนชิ้นงานมีความหนาตามที่ต้องการจึงเทน้ำดินที่เหลือออกจากพิมพ์ นิยมใช้ในการผลิตสุขภัณฑ์ หรือผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ซึ่งต้องการความหนาบางไม่เท่ากัน (ไพจิตร อิ่งศิริวฒน์, 2541 : 111-112, 227)



ภาพประกอบที่ 2.2 ขั้นตอนการหล่อแบบเท
ที่มา: Encyclopaedia britannica (2557)

(ก) (ข)

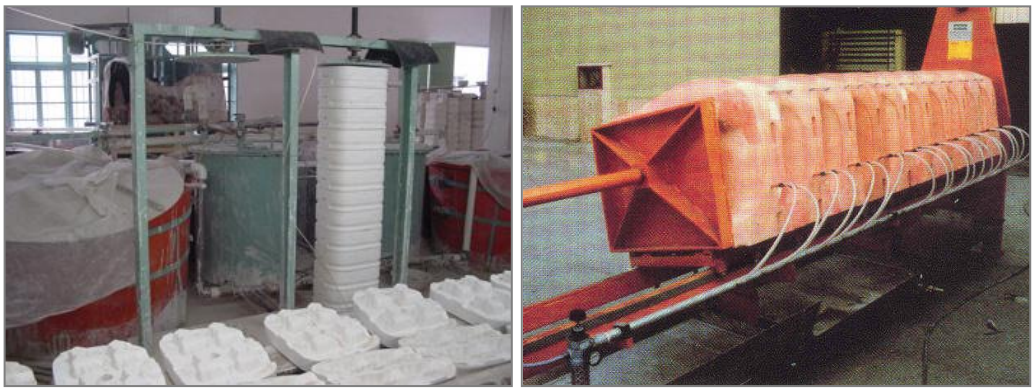
ภาพประกอบที่ 2.3 (ก) การหล่อแบบตันในอุตสาหกรรมเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร และ
(ข) การหล่อแบบผสมในอุตสาหกรรมสุขภัณฑ์
ที่มา: SPN engineering and consultant (2557) และ ณัฏฐ์วุฒิ พืบขุนทด และคณะ (2553 : 72 อ้างจาก ภควดี ศิริหล้า, 2552)

2.1.3 การหล่ออัตโนมัติ (Automatic casting)

เป็นการหล่อโดยอาศัยเครื่องจักรในการนำน้ำดินเข้าสู่แม่พิมพ์ตามขั้นตอนที่ถูกกำหนดอย่างเป็นระบบ สามารถช่วยเพิ่มปริมาณการผลิต ลดระยะเวลาในการหล่อ (ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์, 2541 : 115) อีกทั้งยังช่วยประหยัดแรงงานในกระบวนการผลิต

(ก) (ข)

ภาพประกอบที่ 2.4 การหล่ออัตโนมัติแบบเท (ก) การจ่ายน้ำดิน และ (ข) การเดรนน้ำดิน
ที่มา: Lippert GmbH (2557)



(ก) (ข)

ภาพประกอบที่ 2.5 การหล่ออัตโนมัติแบบตัน (ก) Pressure casting และ (ข) Battery Casting
ที่มา: Ceramic, Pressure casting (2557) และ Ceramic, battery casting (2557)

น้ำดินที่ใช้ในการหล่อแบบเท ควรมีความถ่วงจำเพาะระหว่าง 1.65-1.80 หรือมีความหนืดระหว่าง 1-5 ปัวส์ (Poises) ส่วนน้ำดินที่ใช้ในการหล่อแบบตันและการหล่อแบบผสมควรมีความถ่วงจำเพาะระหว่าง 1.75-1.95 หรือมีความหนืดระหว่าง 5-50 ปัวส์ (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ, 2547 : 117)

2.1.4 สารเคมีที่ช่วยในการกระจายลอยตัวของน้ำดิน (Deflocculating agents)

การเตรียมน้ำดินให้มีการไหลตัวดี จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเติมสารเคมีที่ช่วยในการกระจายลอยตัวที่เหมาะสม ซึ่งนอกจากน้ำดินจะไหลตัวได้ดีแล้ว น้ำดินต้องมีความข้นหรือความหนืดคงที่ ระยะเวลาการแข็งตัวของน้ำดินสั้น ซึ่งสารเคมีที่ช่วยในการกระจายลอยตัว แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม (ไพจิตร อึ้งศิริวัฒน์, 2541 : 229) คือ

2.1.4.1 น้ำยาที่เป็นอินทรีย์สาร

ได้แก่ กรดต่างๆ เช่น กรดน้ำส้ม กรดเทนนิค กรดฮิวมิค และกรดกัลป์ลิก

2.1.4.2 น้ำยาประเภทด่างหรือเกลือต่างๆ

ได้แก่ โซเดียมซิลิเกต โซเดียมคาร์บอเนต (โซดาแอช) โซเดียมโพลีฟอสเฟต โซเดียมโพลีอะครีเลท โซเดียมออกซาเลท และโซเดียมเฮกซะเมตตาฟอสเฟต

2.1.4.3 น้ำยาที่เป็นสารประกอบ

ได้แก่ ดีสเปกส์ (Dispex) ดาแวน (Davan) อัลโคสเพิร์ส (Alcosperse) และคอลลอยด์ (Colloids) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นชื่อทางการค้า

สารเคมีที่ช่วยในการกระจายลอยตัวของน้ำดินที่นิยมใช้ผสมในน้ำดินส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มน้ำยาประเภทด่างหรือเกลือต่างๆ และน้ำยาที่เป็นสารประกอบของโพลีเมอร์หรือสารสังเคราะห์ เพราะสารกลุ่มดังกล่าวไม่มีกลิ่นรบกวน ไม่กัดผิวหนัง และไม่กัดแม่พิมพ์ปลาสเตอร์ สารเคมีที่ช่วยในการกระจายลอยตัวของน้ำดินที่มีประสิทธิภาพสูงจะมีราคาแพง สารเคมีที่สถานประกอบการอุตสาหกรรมเซรามิกนิยมใช้เนื่องจากมีราคาถูกและหาซื้อง่าย คือ โซเดียมซิลิเกต

2.1.5 คุณภาพของการหล่อ

การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยวิธีการหล่อแบบ เป็นวิธีการขึ้นรูปที่สะดวก รวดเร็ว และต้องใช้ทักษะในการฝึกฝน ซึ่งเป็นวิธีการที่สถานประกอบการเซรามิกส์จำนวนมากใช้ ไม่ว่าจะเป็นโรงงานผลิตเครื่องสุขภัณฑ์ โรงงานผลิตของชำร่วย และเครื่องประดับ ตกแต่ง รวมถึงโรงงานผลิตเครื่องโต๊ะอาหารบางประเภท แต่การที่จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี ใช้ระยะเวลาในการปฏิบัติงานเหมาะสม และสามารถควบคุมรวมทั้งวางแผนการใช้ระยะเวลาในการปฏิบัติงานได้ ผู้ปฏิบัติจะต้องรู้ว่า ต้องใช้เวลาในการหล่อแบบนานเท่าใดให้ได้ความหนาตามความต้องการ ต้องใช้เวลานานเท่าใดจึงจะสามารถแกะผลิตภัณฑ์ออกจากแบบพิมพ์มาตกแต่งได้ และต้องใช้เวลารวมทั้งความร้อนมากเท่าใดจึงจะทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งสนิท ซึ่งผลรวมของการปฏิบัติงานหล่อแบบที่ได้ผลิตภัณฑ์ที่ดี และสามารถควบคุมเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงานได้ รวมเรียกว่า การหล่อแบบที่มีคุณภาพ ดังนั้นการทดสอบเพื่อให้รู้ข้อมูลเกี่ยวกับคุณภาพของการหล่อแบบจึงมีความสำคัญต่อการปฏิบัติงานที่มีประสิทธิภาพ

ประสิทธิภาพของการหล่อน้ำดินแบบตัน (Solid casting) เป็นการหล่อน้ำดินที่สามารถควบคุม ขนาดความหนา บาง ของชิ้นงานได้ โดยการสร้างแบบพิมพ์ ที่ผิวด้านนอกและผิวด้านในของผลิตภัณฑ์ที่จะผลิตซึ่งได้กำหนดความหนาในส่วนต่างๆ ของชิ้นงาน ไว้ในช่องว่างสำหรับเทน้ำดินเข้าไปแบบพิมพ์ด้านนอกและด้านใน หรือด้านบนและด้านล่าง จะถูกประกบกันไว้แน่น แล้วเทน้ำดินหรือฉีดน้ำดิน ด้วยแรงอัดเข้าไปจนเต็ม และไม่มีการเทออกอีก กระบวนการหล่อน้ำดินแบบตันเกิดขึ้น เมื่อผิวดินด้านในทั้งสองชิ้นทำการดูดน้ำดินออกจากดินพร้อมๆ กัน และยังคงเติมน้ำดินแบบต่อเนื่องจนกว่าจะแข็งตัว อยู่ในแบบจนเต็มช่องว่างระหว่างพิมพ์ชั้นบน และชั้นล่าง การทำพิมพ์แบบหล่อตันยุ่งยากมากกว่าพิมพ์ชนิดหล่อเท (ดนัย อารยะพงษ์, 2538 : 44)

2.2 ปั๊มของเหลว

ธรรมชาติของของเหลวจะไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำตามแรงโน้มถ่วงของโลก หากต้องการให้ของเหลวไหลจากที่ต่ำขึ้นสู่ที่สูงจะต้องเพิ่มพลังงานศักย์ (Potential energy) ให้แก่ของเหลวนั้น ปั๊ม (Pump) หรือเครื่องสูบ จึงเป็นเครื่องมือในการเปลี่ยนพลังงานจลน์ (Kinetic energy) ของแหล่งกำเนิดพลังงาน ไปเป็นพลังงานศักย์ของของเหลวเพื่อให้เกิดแรงดัน (Pressure) และการไหล (Flow) การทำงานของปั๊มมี 2 ขั้นตอน คือ 1) ทำให้เกิดความดันต่ำภายในปั๊มเพื่อให้ของเหลวไหลเข้าทางท่อเข้า และ 2) อัดของเหลวด้วยแรงดันเพื่อให้ของเหลวไหลออกทางท่อออก

2.2.1 ปั๊มรีซิโปรเคติง (Reciprocating pump)

เป็นปั๊มที่อาศัยกลไกการเพิ่มพลังงานด้วยการดูดและการกลับไปมา เช่นเดียวกับการเคลื่อนที่ของลูกสูบ (Piston) อาศัยหลักการแทนที่ของเหลว (Displacement) ซึ่งถูกดูดและถูกอัดแบบไม่สม่ำเสมอของเหลวจึงไหลเป็นจังหวะ (Pulsation) ตัวอย่างปั๊มรีซิโปรเคติง (นีรนาท, 2546ก : 161-164) ได้แก่

2.2.1.1 ปั๊มไดเรคแอกติง (Directacting pump)

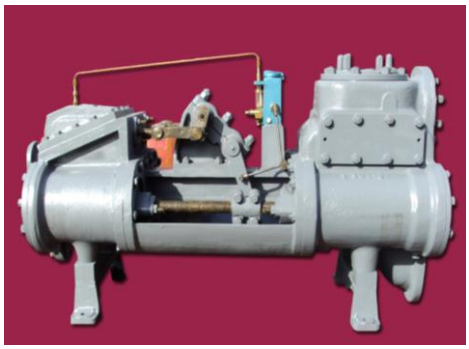
เป็นปั๊มที่ขับการเคลื่อนที่ของลูกสูบด้วยไอน้ำ อากาศ หรือน้ำมันไฮดรอลิค ลูกสูบจะแบ่งเป็นด้านไอน้ำและด้านของเหลวต่อเชื่อมกันด้วยก้านสูบ (Piston rod)

2.2.1.2 ปั๊มพาวเวอร์ (Power pump)

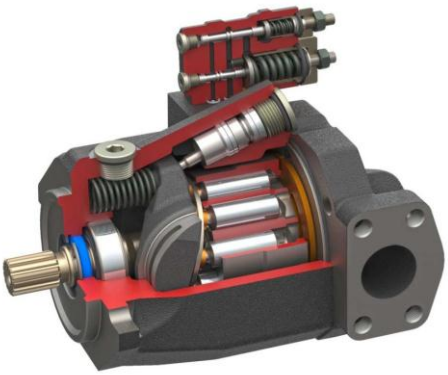
เป็นปั๊มที่ทำงานโดยอาศัยตัวขับ เช่น มอเตอร์ เครื่องยนต์ และสายพาน เหมาะสำหรับงานที่ต้องการแรงดันสูง

2.2.1.3 ปั๊มไดอะแฟรม (Diaphragm pump)

เป็นปั๊มที่ทำให้เกิดการดูดและการอัดด้วยแผ่นไดอะแฟรม เหมาะกับของเหลวที่มีเศษของแข็งแขวนลอยอยู่



ภาพประกอบที่ 2.6 ปั๊มไดเรคแอกติง
ที่มา: Dowson downie lamont (2557)



ภาพประกอบที่ 2.7 ปั๊มพาวเวอร์
ที่มา: Geiger pump and equipment (2557)

ภาพประกอบที่ 2.8 ปั๊มไดอะแฟรม
ที่มา: Water news (2557)

ตารางที่ 2.1 ข้อดีและข้อเสียของปั๊มรีซิโปรเคติง

ประเภทของปั๊ม	ข้อดี	ข้อเสีย
ปั๊มไดเรคแอกติง	- ประสิทธิภาพสูงและสม่ำเสมอ - ไม่ต้องใช้ไฟฟ้า	- ขนาดใหญ่ - ไม่เหมาะกับของเหลวที่มีเศษของแข็งแขวนลอยอยู่
ปั๊มพาวเวอร์	- ประสิทธิภาพสูง - ความเร็วสูง - แรงดันสูง	- ขนาดใหญ่ - ต้องมีอุปกรณ์ป้องกันการเกิดแรงดันสูงเกินไป

ตารางที่ 2.1 ข้อดีและข้อเสียของปั๊มรีซิโปรเคติง (ต่อ)

ปั๊มไดอะแฟรม	- ไม่มีการรั่วซึม - เหมาะกับของเหลวที่มีของแข็งแขวนลอยอยู่ - ขนาดกะทัดรัด	- การไหลไม่สม่ำเสมอ

ที่มา: นีรนาท (2546ก : 164-165)

2.2.2 ปั๊มโรตารี (Rotary pump)

เป็นปั๊มที่อาศัยกลไกการเพิ่มพลังงานด้วยการหมุนของชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่แบบหมุน หรือโรเตอร์ (Rotor) ภายในเสื้อปั๊ม (Casing) ซึ่งมีช่องว่าง (Clearance) ระหว่างชิ้นส่วนน้อยมาก ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับของเหลวที่ไม่มีสารแขวนลอยที่เป็นของแข็งปนอยู่ อาศัยหลักการแทนที่ของเหลวเช่นเดียวกับปั๊มรีซิโปรเคติง ตัวอย่างปั๊มโรตารี (นีรนาท-ข, 2546 : 166-170) ได้แก่

2.2.2.1 ปั๊มเกียร์ (Gear pump)

เป็นปั๊มที่ขับการเคลื่อนที่ของฟันเฟือง โดยอาจเป็นฟันตรง (Spur gear) หรือฟันเฉียง (Helical gear) ปริมาณของเหลวที่ได้ขึ้นกับขนาดและความลึกร่องฟัน

ภาพประกอบที่ 2.9 ปั๊มเกียร์
ที่มา: Emerald seed and supply (2557)

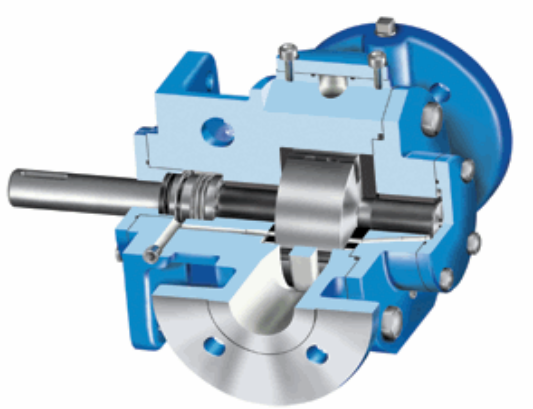
2.2.2.2 ปั๊มโลบูลาร์ (Lobular pump)

เป็นปั๊มที่ขับการเคลื่อนที่ของลูบ (Lobe) คือฟันเฟืองที่ถูกดัดแปลงให้มีลักษณะเหมาะสมในการหมุน อาจมีจำนวน 2, 3 หรือ 4 ลูบ

ภาพประกอบที่ 2.10 ปั๊มโลบูลาร์
ที่มา: Inoxpa (2557)

2.2.2.3 ปั๊มเวน (Vane pump)

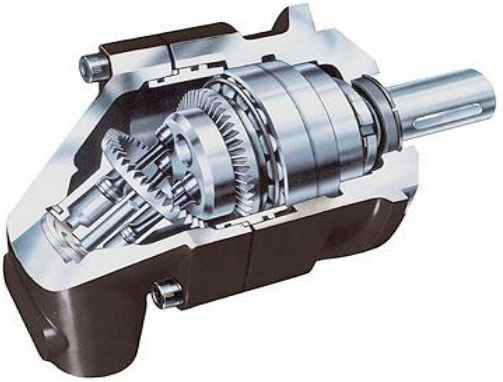
เป็นปั๊มที่ขับการเคลื่อนที่ของแผ่นโลหะ (Vane) ซึ่งติดตั้งแบบเยื้องศูนย์กลางกับเสื้อปั๊ม ได้แก่ เวนแบบเคลื่อนเข้า-ออก (Sliding vane pump) เวนแบบเหวี่ยง (Swing vane pump) และเวนแบบยืดหยุ่น (Flexible vane pump)



ภาพประกอบที่ 2.11 ปั๊มเวน
ที่มา: Pump school (2557)

2.2.2.4 ปั๊มลูกเบี้ยวและลูกสูบ (Cam and piston pump)

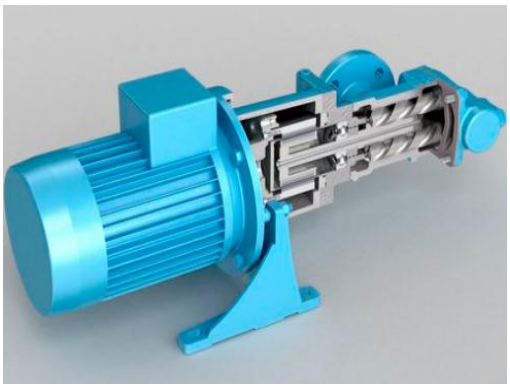
เป็นปั๊มที่ขับการเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยวและลูกสูบในการขังของเหลวไว้ในเสื้อสูบและอัดของเหลวให้เคลื่อนที่ออกไป



ภาพประกอบที่ 2.12 ปั๊มลูกเบี้ยวและลูกสูบ
ที่มา: Rotary plunger pump (2557)

2.2.2.5 ปั๊มสกรู (Screw pump)

เป็นปั๊มที่ขับการเคลื่อนที่ของสกรูหรือเกลียวตัวหนอนในการอัดของเหลวไปตามแนวแกน อาจมีจำนวน 1 (Single), 2 (Double) หรือ 3 (Triple) สกรู



ภาพประกอบที่ 2.13 ปั๊มสกรู
ที่มา: Direct industry (2557)

ตารางที่ 2.2 ข้อดีและข้อเสียของปั๊มโรตารี

ข้อดี	ข้อเสีย
- ไม่ต้องการล่อด้วยของเหลว (Self priming) - ส่วนมากไม่ต้องมีวาล์ว	- ต้องมีอุปกรณ์ป้องกันการเกิดแรงดันสูงเกินไป - ช่องว่างในปั๊มน้อยไม่เหมาะกับของเหลวที่มีเศษของแข็งแขวนลอยอยู่

ที่มา: นีรนาท (2546ข : 171)

2.2.3 ปั๊มเซนตริฟูกอล (Centrifugal pump)

เป็นปั๊มที่อาศัยกลไกการเพิ่มพลังงานด้วยแรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลาง การทำงานโดยอาศัยหลักการทำให้ของเหลวเคลื่อนที่ (Dynamic) ด้วยการเพิ่มความเร็วของของเหลวจากการใส่พลังงานเข้าไปอย่างต่อเนื่อง (วีระศักดิ์ กรัยวิเชียร, 2552 : 171) ปั๊มเซนตริฟูกอล (ปั๊มหอยโข่ง) แบ่งตามการไหลของของเหลวได้ 3 ลักษณะ (นีรนาท, 2546ค : 172-176) คือ

2.2.3.1 การไหลตามแนวรัศมี (Radial flow)

โดยของเหลวจะไหลเข้าสู่ปั๊มที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของใบพัดและถูกเร่งให้มีความเร็วสูงขึ้นจากนั้นจะถูกใบพัดเหวี่ยงออกจากจุดศูนย์กลางตามแนวรัศมี

2.2.3.2 การไหลตามแนวแกน (Axial flow หรือ Propeller)

โดยของเหลวจะไหลในแนวแกนของปั๊ม การไหลของของเหลวในปั๊มจะเกิดขึ้นในลักษณะเดียวกับการทำงานของพัดลม

2.2.3.3 การไหลแบบผสม (Radial flow)

โดยผสมผสานการไหลทั้ง 2 แบบ แรงที่เกิดขึ้นจึงมีทั้งแรงหนีศูนย์กลางและแรงกระทำในแนวแกน

ภาพประกอบที่ 2.14 ปั๊มเซนตริฟูกอล
ที่มา: Ezquerro (2557)

2.3 ปลาสเตอร์

2.3.1 ปลาสเตอร์

ปลาสเตอร์ (Plaster หรือ Plaster of paris) คือ ปูนที่ใช้ประโยชน์ด้านวัสดุก่อสร้าง โดยได้มีการค้นพบมากว่า 9,000 ปีมาแล้ว เพื่อนำมาเป็นวัสดุก่อสร้างปิรามิดของชาวอียิปต์ จนกระทั่งในช่วงศตวรรษที่ 20 ปลาสเตอร์เริ่มที่จะนำมาใช้อย่างกว้างขวางนอกอุตสาหกรรมก่อสร้าง อาทิ ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก การทันตกรรม การหล่อโลหะ เครื่องประดับ เครื่องมือการแพทย์ และเครื่องสำอาง คุณสมบัติหลักที่ทำให้นิยมใช้งานก็คือความสามารถที่จะแข็งตัวได้รูป

ตามแม่พิมพ์ที่ใช้ ปลาสเตอร์ หรือ แคลเซียมซัลเฟตเฮมิไฮเดรต (Calcium sulfate hemihydrates) ผลิตจากการแร่ยิบซั่ม (Gypsum) ซึ่งมีอยู่ทั่วไปในธรรมชาติโดยให้ความร้อน (ประมาณ 150°C) เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีดังสมการ

$$\text{พลังงาน} + CaSO_4.2H_2O \longrightarrow CaSO_4.1/2H_2O + 1.5H_2O$$

เมื่อนำไปผสมน้ำจะเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับโดยจะปลดปล่อยพลังงานในรูปของพลังงานความร้อน ดังนี้

$$CaSO_4.1/2H_2O + 1.5H_2O \longrightarrow CaSO_4.2H_2O + \text{พลังงาน}$$

ปลาสเตอร์มี 2 ชนิด คือ ชนิดเบตา (Beta; β) และชนิดอัลฟา (Alpha; α) ซึ่งจะให้คุณสมบัติที่แตกต่างกันไปทั้งในเรื่องของความแข็งแรง การดูดซึมและการคายน้ำ (Plaster, 2557) ปลาสเตอร์เป็นวัสดุที่มีความพรุนตัว (Porosity) สูง ร้อยละ 40-50 มีความสามารถในการหล่อได้ดี พื้นผิวเรียบดี ระยะเวลาในการหล่ออยู่ในช่วง 2-3 นาทีสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีผนังบาง และใช้เวลาเป็นชั่วโมงสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความหนาของผนังประมาณ 2 เซนติเมตร ปลาสเตอร์จะแข็งตัวเมื่อผสมกับน้ำเกิดเป็นโครงสร้างรูปเข็ม (Needle like) และแบบแผ่น (Plate like) จัดเรียงตัวเป็นตาข่ายเชื่อมต่อกันส่งผลให้แม่พิมพ์มีความแข็งแรง (อรนุช จินดาสกุลยนต์, 2553 : 35)

ภาพประกอบที่ 2.15 ปลาสเตอร์
ที่มา: E-office Thailand (2557)

2.3.2 กรรมวิธีการผสมปลาสเตอร์

ขั้นตอนในการสร้างแม่พิมพ์ปลาสเตอร์ในงานเซรามิกที่มีผลต่อคุณภาพของแม่พิมพ์ปลาสเตอร์เป็นอย่างมาก คือ กรรมวิธีการผสมปลาสเตอร์ เพื่อให้ได้แม่พิมพ์ที่มีคุณภาพดี มีรูพรุนขนาดใกล้เคียงกันส่งผลให้อัตราการดูดซึมน้ำสม่ำเสมอ แม่พิมพ์มีอายุการใช้งานยาวนาน สามารถขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งด้านคุณภาพและปริมาณ แม่พิมพ์ปลาสเตอร์จะมีสมบัติดังที่กล่าวมาต้องอาศัยเทคนิคที่ดีในการผสมปลาสเตอร์ หากผสมไม่ถูกหลักหรือไม่ถูกอัตราส่วนสมบัติของแม่พิมพ์ที่ได้จะส่งผลให้อายุการใช้งานของแม่พิมพ์สั้นลง

2.3.2.1 การผสมปลาสเตอร์โดยวิธีชั่งน้ำหนัก

การผสมปลาสเตอร์โดยวิธีชั่งน้ำหนักว่าอัตราส่วนระหว่างปลาสเตอร์กับน้ำในการทำแม่พิมพ์ นอกจากจะมีผลต่อระยะเวลาในการแข็งตัวของปลาสเตอร์แล้ว ยังมีผลต่อความแข็งแรงของเนื้อปลาสเตอร์เมื่อแข็งตัว หากใช้ปริมาณน้ำในการผสมมากแม่พิมพ์ปลาสเตอร์ที่ได้จะมีความแข็งแรงน้อย (แสงโสม ตั้งสินพูลเพิ่ม, 2540 : 9 อ้างถึงใน ธิติมา คุณยศยิ่ง, 2554 : 23) อัตราส่วนปลาสเตอร์และน้ำที่มีผลต่อความแข็งของแบบปลาสเตอร์ เป็นดังนี้

ตารางที่ 2.3 สัดส่วนการผสมปลาสเตอร์ที่มีผลต่อความแข็งแรงของปลาสเตอร์เมื่อสัดส่วนปลาสเตอร์ผสมกับน้ำเท่ากับ 100 ส่วน

ปลาสเตอร์ (ส่วน)	น้ำ (ส่วน)	ความแข็งของปลาสเตอร์
64	36	แข็งมาก
58	42	มาตรฐานที่นิยมใช้
50	50	อ่อน
46	54	อ่อนมาก

ที่มา: แสงโสม ตั้งสินพูลเพิ่ม (2540 : 9 อ้างถึงใน ธิติมา คุณยศยิ่ง, 2554 : 23)

ตารางที่ 2.4 สัดส่วนการผสมปลาสเตอร์ที่มีผลต่อความแข็งแรงของปลาสเตอร์เมื่อสัดส่วนปลาสเตอร์เท่ากับ 100 ส่วน

ปลาสเตอร์ (ส่วน)	น้ำ (ส่วน)	ความแข็งของปลาสเตอร์
100	66-85	แข็งปานกลาง
100	94-77	อ่อน – ปานกลาง
100	76-59	ปานกลาง – แข็ง
100	ต่ำกว่า 58	แข็ง – แข็งมาก

ที่มา: แสงโสม ตั้งสินพูลเพิ่ม (2540 : 9 อ้างถึงใน ธิติมา คุณยศยิ่ง, 2554 : 24)

2.3.2.2 การผสมปลาสเตอร์โดยวิธีการตวง

การผสมปลาสเตอร์โดยวิธีการตวงเหมาะสำหรับงานที่ทราบปริมาณแน่นอน เช่น กรณีที่ต้องการทำพิมพ์ปลาสเตอร์จำนวนมากเพื่อผลิตภัณฑ์ในระบบอุตสาหกรรม ผู้ผสมปลาสเตอร์ไม่จำเป็นต้องชั่งปริมาณปลาสเตอร์ สามารถนำปลาสเตอร์และน้ำในปริมาณที่ได้จากการคำนวณในครั้งแรกตวงใส่ภาชนะที่เตรียมไว้โดยภาชนะที่ใช้ตวงปลาสเตอร์และน้ำควรใช้แยกกันเพื่อป้องกันปลาสเตอร์จับตัวเป็นก้อนก่อนการผสม (จีรพันธ์ สมประสงค์, 2533 : 6 อ้างถึงใน ธิติมา คุณยศยิ่ง, 2554 : 25) วิธีการคำนวณปลาสเตอร์ในการทำแม่พิมพ์ เพื่อหาน้ำหนักของปลาสเตอร์จากพื้นฐานการคำนวณปริมาตร โดยใช้สูตรซึ่งพิจารณาตามรูปทรงที่ต้องการทำแม่พิมพ์ โดยทั่วไปรูปทรง

ที่ใช้มากในการทำพิมพ์ปลาสเตอร์ คือ รูปทรงลูกบาศก์ และรูปทรงกระบอก หน่วยของขนาดผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการคำนวณปริมาณปลาสเตอร์จะต้องเป็นเซนติเมตร การคำนวณสามารถทำได้ตามขั้นตอนต่อไปนี้

1) การคำนวณเพื่อหาปริมาตรของปลาสเตอร์ สามารถทำได้โดยใช้สูตรหาปริมาตรดังต่อไปนี้

(1) สูตรการหาปริมาตรรูปทรงลูกบาศก์

กว้าง x ยาว x สูง = ปริมาณของปลาสเตอร์

(หน่วยเป็นกรัม)

(2) สูตรการหาปริมาตรรูปทรงกระบอก

$\pi r^2 h$ = ปริมาณของปลาสเตอร์

(หน่วยเป็นกรัม)

2) การคำนวณเพื่อหาปริมาณน้ำเพื่อใช้ในการผสมกับปลาสเตอร์ สามารถทำได้โดยนำปริมาตรของปลาสเตอร์ที่คำนวณได้ในข้อ 1) มาคำนวณหาปริมาตรของน้ำที่ต้องใช้ โดยการเทียบอัตราส่วนของน้ำต่อจำนวนส่วนของปลาสเตอร์ 100 ส่วน โดยน้ำหนัก

2.3.2.3 กระบวนการผสมปลาสเตอร์

กระบวนการผสมปลาสเตอร์เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากคุณภาพของเนื้อปลาสเตอร์ที่ได้ขึ้นอยู่กับความชำนาญและความรอบคอบของผู้ผสม ดังนั้นผู้ผสมปลาสเตอร์จึงควรปฏิบัติตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) ชั่งน้ำหนักหรือตวงปลาสเตอร์ที่ได้จากการคำนวณโดยแยกภาชนะที่ใช้ใส่น้ำและปลาสเตอร์เพื่อไม่ให้ปลาสเตอร์เป็นเม็ด ค่อยๆ โรยปลาสเตอร์ให้กระจายทั่วภาชนะจนกระทั่งปลาสเตอร์หมด ไม่ควรจุ่มอุปกรณ์ตักปลาสเตอร์ในน้ำเพราะจะทำให้ปลาสเตอร์จับตัวกันเป็นเม็ด เมื่อโรยปลาสเตอร์จนหมดหากมีส่วนของปลาสเตอร์ที่พ้นผิวน้ำไม่ควรกดให้จม ควรปล่อยให้ปลาสเตอร์จมน้ำเอง

2) แช่ปลาสเตอร์ในน้ำประมาณ 1-3 นาที (หากผสมเป็นจำนวนมากในระบบอุตสาหกรรม สามารถพักได้นานถึง 5-6 นาที) เพื่อให้น้ำถูกดูดซึมเข้าสู่โมเลกุลของปลาสเตอร์โดทั่วถึง และสามารถสังเกตได้เมื่อน้ำใสขึ้นแสดงว่าน้ำถูกดูดซึมเข้าสู่โมเลกุลของปลาสเตอร์ อาจใช้มือเคาะเบาๆ ที่ภาชนะที่ใช้ผสมเพื่อเป็นการไล่ฟองอากาศที่เกิดขึ้นภายในเนื้อปลาสเตอร์ให้ลอยขึ้น

3) ผสมปลาสเตอร์ให้เข้ากับน้ำ ซึ่งผู้ผสมอาจใช้มือหรือไม้คนไปในทิศทางเดียวกันใช้ความเร็วสม่ำเสมอ หรือใช้เครื่องผสมปูนระบบสุญญากาศ เพื่อไม่ให้ปลาสเตอร์จับตัวกันเป็นก้อนและจะทำให้เกิดฟองอากาศน้อย ขั้นตอนนี้หากคนผสมก่อนที่ปลาสเตอร์จะดูดซึมน้ำเข้าไปในโมเลกุลเต็มที่ ปลาสเตอร์ที่ผสมจะจับตัวเป็นก้อนมีผลทำให้แม่พิมพ์ดูดซึมน้ำได้ไม่เท่ากันขณะใช้งานทำให้ผลิตภัณฑ์จากการขึ้นรูปมีความหนาไม่เท่ากัน เป็นสาเหตุให้ผลิตภัณฑ์แตกหรือยุบได้ ในขั้นการผสมปลาสเตอร์ให้เข้ากันใช้เวลาประมาณ 3-5 นาที ไม่ควรยกมือหรือไม้พ้นปลาสเตอร์ที่ผสมขึ้นมาแล้วจุ่มลงไปใหม่ เนื่องจากจะทำให้เกิดฟองอากาศมากขึ้น หากมีฟองอากาศลอยอยู่บริเวณผิวหน้าให้ตักทิ้งก่อนเทลงในแม่พิมพ์

4) เทปลาสเตอร์ที่ได้จากการผสมลงในแม่พิมพ์ โดยเทส่วนที่มีความลึกมากหรือส่วนที่มีรายละเอียดของต้นแบบมากก่อน

2.3.2.4 ข้อควรคำนึงในกระบวนการผสมปลาสเตอร์

กระบวนการผสมปลาสเตอร์นอกจากผู้ผสมควรปฏิบัติตามขั้นตอนอย่างเคร่งครัดแล้ว ยังต้องคำนึงถึงรายละเอียดต่างๆ ซึ่งจะส่งผลให้กระบวนการทำงานมีประสิทธิภาพ โดยควรคำนึงในกระบวนการผสมปลาสเตอร์มีดังนี้

1) หลังจากนำปลาสเตอร์เทลงในแม่พิมพ์เสร็จแล้วควรล้างภาชนะผสมทันที เพราะหากทิ้งไว้นานปลาสเตอร์จะเกิดปฏิกิริยาการก่อตัวและแข็งตัวติดกับภาชนะทำให้ล้างยากเมื่อผสมปลาสเตอร์ครั้งใหม่ เศษปลาสเตอร์ที่แข็งตัวติดกับภาชนะจะหลุดไปผสมในเนื้อปลาสเตอร์ที่ผสมใหม่ ทำให้มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาของการเกิดผลึกยิปซัมผิดปกติไปได้และไม่ควรล้างหรือเทน้ำ ที่ล้างปลาสเตอร์ลงท่อระบายน้ำเนื่องจากปลาสเตอร์จะเกิดปฏิกิริยาการก่อตัวและแข็งตัวทำให้เกิดการอุดตันในท่อได้ (แสงโสม ตั้งสินพูลเพิ่ม, 2540 : 12 อ้างถึงใน ธิติมา คุณยศยิ่ง, 2554 : 31)

2) คุณภาพของน้ำที่ใช้ต้องเป็นน้ำสะอาดปราศจากสิ่งเจือปนและควรเป็นน้ำเย็นที่มีอุณหภูมิคงที่สม่ำเสมอ (แสงโสม ตั้งสินพูลเพิ่ม, 2540 : 12 อ้างถึงใน ธิติมา คุณยศยิ่ง, 2554 : 32) เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการผสมปลาสเตอร์มีผลให้การเกิดปฏิกิริยาการก่อตัวของเนื้อปลาสเตอร์มีคุณภาพสม่ำเสมอ ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวจะส่งผลให้คุณภาพของแม่พิมพ์มีคุณภาพเท่ากันทุกชิ้น ส่งผลให้อัตราการดูดซึมน้ำในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์มีความสม่ำเสมอ ทำให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพและเกิดของเสียในกระบวนการผลิตน้อยลง

3) วิธีผสมปลาสเตอร์ โดยการกะประมาณเหมาะสำหรับการทำแม่พิมพ์ขนาดเล็ก หากเป็นการทำแม่พิมพ์ขนาดใหญ่ วิธีผสมปลาสเตอร์โดยการชั่งส่วนผสมและวิธีการตวงจะทำให้ได้แม่พิมพ์ที่มีคุณภาพดี (แสงโสม ตั้งสินพูลเพิ่ม, 2540 : 13 อ้างถึงใน ธิติมา คุณยศยิ่ง, 2554 : 32)

4) การแช่ปลาสเตอร์ในน้ำก่อนกวนผสมมีผลทำให้น้ำถูกดูดซึมเข้าสู่โมเลกุลของปลาสเตอร์โดยทั่วถึง หากทำการคนผสมก่อนที่น้ำถูกดูดซึมเข้าสู่โมเลกุลของปลาสเตอร์ โมเลกุลปลาสเตอร์ส่วนที่ดูดซึมน้ำไม่ทั่วถึงอาจถูกเนื้อของปลาสเตอร์ที่ดูดซึมน้ำแล้วเคลือบไว้เป็นก้อนส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซึมน้ำหลังการก่อตัวของเนื้อปลาสเตอร์ไม่สม่ำเสมอ โดยเนื้อของปลาสเตอร์ส่วนที่ดูดซึมน้ำไม่ทั่วถึงก่อนการผสม จะดูดซึมน้ำขณะใช้งานมากกว่าเนื้อปลาสเตอร์ส่วนอื่น

5) ระยะเวลาที่ใช้ในการกวนผสมปลาสเตอร์ จะมีผลต่อค่าความแข็งแรงของแม่พิมพ์ปลาสเตอร์ กล่าวคือ หากใช้ระยะเวลาในการกวนนานขึ้นจะทำให้ความแข็งแรงของแม่พิมพ์สูงขึ้น แต่จะมีจุดหนึ่งซึ่งถ้าใช้ระยะเวลากวนนานเกินไป จะทำให้ความแข็งแรงลดลง โดยปกติแล้วระยะเวลาในการกวนผสม ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตแม่พิมพ์หล่อ จะใช้เวลาประมาณ 2-5 นาที ปลาสเตอร์ที่ถูกกวนผสมจะเกิดลักษณะของน้ำปลาสเตอร์เป็นครีมข้นเล็กน้อยพร้อมที่จะเทลงในแม่พิมพ์ได้ (สมบูรณ์ สารสิทธิ์, 2548 : 104 อ้างถึงใน ธิติมา คุณยศยิ่ง, 2554 : 33)

6) สัดส่วนผสมระหว่างปลาสเตอร์กับน้ำมีความสำคัญมาก เนื่องจากมีผลต่อค่าการดูดซึมน้ำและค่าความแข็งแรงของเนื้อปลาสเตอร์ ถ้าใช้อัตราส่วนของน้ำผสมมากจะทำให้ค่าดูดซึมน้ำของเนื้อปลาสเตอร์สูงขึ้น แต่ความแข็งแรงลดลงและถ้าใช้อัตราส่วนของน้ำผสมน้อยก็จะ

ได้ผลในทางตรงกันข้าม ดังนั้นผู้ผสมควรทดลองหาอัตราส่วนผสมระหว่างปลาสเตอร์กับน้ำที่เหมาะสมกับปลาสเตอร์จากแต่ละแหล่งและพิจารณาประกอบกับขนาดของแบบที่จะต้องใช้งานด้วย การเรียกสัดส่วนผสมระหว่างปลาสเตอร์กับน้ำ มักจะบอกเป็นจำนวนส่วนของปลาสเตอร์ 100 ส่วนต่อจำนวนส่วนของน้ำโดยน้ำหนักค่าตัวเลขนี้มีชื่อเรียกว่า คอนซีสเทนซี (Consistency) ตัวอย่างเช่น ในแม่พิมพ์ปลาสเตอร์สำหรับงานหล่อมักจะใช้ค่าคอนซีสเทนซีระหว่าง 65 ถึง 75 (สมบูรณ์ สารสิทธิ์, 2548 : 136 อ้างถึงใน ธิติมา คุณยศยิ่ง, 2554 : 33)

2.3.3 แม่พิมพ์

2.3.3.2 แม่พิมพ์หล่อกลวง

แม่พิมพ์หล่อกลวง คือ แม่พิมพ์ปลาสเตอร์ที่มีตั้งแต่ 2 ชิ้นขึ้นไป มีช่องเทน้ำดินสำหรับเทน้ำดินลงในแม่พิมพ์ปลาสเตอร์จนเต็มทิ้งไว้สักระยะหนึ่ง สังเกตว่าเนื้อดินที่ขอบแม่พิมพ์ปลาสเตอร์เกาะตัวจนมีความหนาพอดีแล้ว จึงเทน้ำดินออกจากแม่พิมพ์ปลาสเตอร์ แล้วคว่ำแม่พิมพ์ปลาสเตอร์ทิ้งไว้จนเนื้อดินหมาดดีแล้วจึงแกะออกจากแม่พิมพ์ปลาสเตอร์

2.3.3.3 แม่พิมพ์หล่อตัน

แม่พิมพ์หล่อตัน คือ แม่พิมพ์ปลาสเตอร์ที่มีพิมพ์ 2 ชิ้นประกบกันสนิทส่วนที่เป็นรูปทรงของผลิตภัณฑ์มีช่องว่างเท่ากับชิ้นงานที่หล่อได้ แม่พิมพ์ปลาสเตอร์ประเภทนี้มี 2 ลักษณะคือ

1) แม่พิมพ์ปลาสเตอร์เรียงเดี่ยวคล้ายกับการหล่อกลวง ในการหล่อจะหล่อน้ำดินจนเต็ม ทิ้งให้น้ำดินแห้งในแม่พิมพ์แล้วแกะผลิตภัณฑ์ออก

2) แม่พิมพ์ปลาสเตอร์เรียงต่อเป็นชั้นต่อกันลักษณะคล้ายเถาปิ่นโต โดยเรียงให้รูหล่อน้ำดินตั้งตรงกัน ปล่อยให้น้ำดินไหลผ่านพิมพ์ปลาสเตอร์แต่ละชุดผ่านรูหล่อน้ำดินขนาดเล็ก ทิ้งให้น้ำดินแห้งในแม่พิมพ์แล้วแกะออก

2.3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำแม่พิมพ์ปลาสเตอร์

การใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำแม่พิมพ์ปลาสเตอร์ที่มีคุณภาพจะส่งผลให้แม่พิมพ์ปลาสเตอร์มีประสิทธิภาพในการขึ้นรูปสูง เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำแม่พิมพ์ปลาสเตอร์มีหลายชนิดและหลายขนาดตามจุดประสงค์ในการใช้งาน ผู้ทำแม่พิมพ์ปลาสเตอร์ควรศึกษาความรู้เกี่ยวกับเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำแม่พิมพ์ปลาสเตอร์ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.3.4.1 ต้นแบบ

ต้นแบบในการทำแม่พิมพ์ปลาสเตอร์สามารถเตรียมด้วยวัสดุที่เปลี่ยนแปลงรูปทรงง่าย เช่น ดินเหนียวหรือดินน้ำมัน โดยปั้นให้เป็นรูปทรงต่างๆ ตามที่ออกแบบไว้ หรือทำจากส่วนประกอบหรือวัสดุธรรมชาติ เช่น ส่วนประกอบของคน สัตว์ พืช ผัก ผลไม้ เช่น ใบ ลำต้น ดอก และอาจเป็นต้นแบบที่เตรียมจากวัสดุที่มีความแข็ง ผิวเรียบ เช่น ไม้ พลาสติก รวมถึงการเตรียมต้นแบบด้วยปลาสเตอร์

2.3.4.2 อุปกรณ์กั้นแม่พิมพ์ปลาสเตอร์

อุปกรณ์กั้นแม่พิมพ์ปลาสเตอร์ สามารถใช้แผ่นไม้กั้นแม่พิมพ์ในการทำแม่พิมพ์ปลาสเตอร์ โดยแผ่นไม้ควรทำจากไม้จริงเนื่องจากถูกน้ำแล้วไม่บิดงอได้ง่าย เช่น ไม้สัก ไม้สน ไม้กระบาก โดยที่ปลายด้านหนึ่งอาจติดเหล็กฉาก ให้ยื่นไปสวมกับด้านข้างของแผ่นไม้อีกอันหนึ่ง

แผ่นไม้ใช้สำหรับกั้นเป็นแบบหล่อปลาสเตอร์สี่เหลี่ยมมุมฉาก ช่วยให้ทำงานได้สะดวกรวดเร็วกว่าการใช้ดินเหนียวหรือดินน้ำมัน (แสงโสม ตั้งสินพูลเพิ่ม, 2540 : 23 อ้างถึงใน ธิติมา คุณยศยิ่ง, 2554 : 58) หากไม่สามารถใช้ไม้จริงในการทำแผ่นไม้กั้นแม่พิมพ์ได้ เนื่องจากราคาไม้จริงในปัจจุบันมีราคาสูง อาจใช้ไม้อัดหนาไม่น้อยกว่า 8 มิลลิเมตร ทาสีน้ำมันเพื่อกั้นน้ำแทนการใช้ไม้จริง แผ่นไม้กั้นแม่พิมพ์นี้ควรมีรูปทรงเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า และนอกจากการใช้เหล็กฉากยึดแผ่นไม้ เราสามารถตอกยึดแท่งไม้สี่เหลี่ยมมุมฉากความยาวมากกว่าครึ่งหรือเท่ากับความกว้างของแผ่นไม้กั้นแม่พิมพ์ เพื่อให้สามารถใช้อุปกรณ์ยึดแผ่นไม้กั้นแม่พิมพ์ประกอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากขนาดตามต้องการ ในการกั้นแม่พิมพ์นอกจากกั้นเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมแล้ว หากต้องการทำแม่พิมพ์เป็นรูปทรงกระบอกผู้ทำแม่พิมพ์สามารถใช้วัสดุที่มีผิวเรียบ สามารถดัดโค้งและคืนตัวได้

2.3.4.3 ดินสำหรับกั้นแม่พิมพ์ปลาสเตอร์

ดินสำหรับกั้นแม่พิมพ์ปลาสเตอร์ ผู้ทำแม่พิมพ์ปลาสเตอร์สามารถเลือกใช้ดินเหนียวหรือดินน้ำมันในการกั้นแม่พิมพ์ แต่ผู้ทำแม่พิมพ์ปลาสเตอร์ส่วนใหญ่นิยมใช้ดินเหนียว เนื่องจากราคาถูก ดินที่ใช้ควรเป็นดินเหนียวที่มีเนื้อละเอียดและผ่านการนวดไล่ฟองอากาศแล้ว เพื่อความเรียบร้อยของแม่พิมพ์ปลาสเตอร์ ดินสำหรับกั้นแม่พิมพ์ปลาสเตอร์ ใช้เพื่อทำเป็นกรอบต้นแบบของแม่พิมพ์ชิ้นแรก และใช้อุดแนวของรอยต่อระหว่างแผ่นไม้กั้นแบบด้านในและด้านนอก เพื่อป้องกันการรั่วของน้ำปลาสเตอร์

2.3.4.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ยึดอุปกรณ์กั้นแม่พิมพ์ปลาสเตอร์

เครื่องมือและอุปกรณ์ยึดอุปกรณ์กั้นแม่พิมพ์ปลาสเตอร์ ใช้สำหรับยึดหรือรัดอุปกรณ์กั้นแม่พิมพ์ปลาสเตอร์ให้ชิดกันและแข็งแรงคงตัวอยู่ได้ สามารถทนต่อแรงดันของปลาสเตอร์ในขณะที่เท ไม่ให้ปลาสเตอร์รั่วไหลขณะเทแม่พิมพ์

2.3.4.5 เครื่องมือวัดขนาด

เครื่องมือวัดขนาดในการทำแม่พิมพ์ปลาสเตอร์ ใช้สำหรับการวัดขนาดของต้นแบบ และแม่พิมพ์ปลาสเตอร์ ให้มีมาตรฐานที่สามารถอ้างอิงได้ และช่วยให้การคำนวณปริมาณปลาสเตอร์และน้ำในการทำพิมพ์ปลาสเตอร์สะดวกและแม่นยำ เครื่องมือวัดขนาดมีหลายชนิดให้เลือกใช้ตามลักษณะการใช้งาน ซึ่งในการเลือกใช้ควรเลือกเครื่องมือวัดขนาดที่มีมาตรฐานทางอุตสาหกรรมรับรอง

2.3.4.6 เครื่องมือตัดเฉือน

เครื่องมือตัดเฉือน ใช้สำหรับการตัดเฉือนดินและปลาสเตอร์ให้ได้รูปทรงตามต้องการ เครื่องมือตัดเฉือนที่ใช้ในการทำแม่พิมพ์มีหลายลักษณะ โดยสมบัติทั่วไปของเครื่องมือตัดเฉือนจะมีความคม ผิวเรียบ เพื่อให้การตัดเฉือนดินและปลาสเตอร์ขาดออกจากกัน ได้ง่ายและมีความเรียบ

2.3.4.7 เครื่องมือขูดแต่งและแกะสลัก

เครื่องมือขูดแต่งและแกะสลักเป็นเครื่องมือสำหรับงานขูดแต่งพื้นผิวดินหรือปลาสเตอร์ให้เรียบ หรือแกะสลักลวดลายลงบนผิวดินหรือปลาสเตอร์ วัสดุที่ใช้ทำเครื่องมือขูดแต่งและแกะสลักควรทำจากวัสดุที่มีความแข็งกว่าดินหรือปลาสเตอร์ เพื่อให้สามารถขูดแต่งดิน

หรือปลาสเตอร์ได้ เช่น เหล็กเส้น สเตนเลสเส้นลวด และไม้ (แสงโสม ตั้งสินพูลเพิ่ม, 2540 : 24 อ้างถึงใน ธิติมา คุณยศยิ่ง, 2554 : 68)

2.3.4.8 อุปกรณ์สำหรับขีดเส้นแบ่งและทำเครื่องหมาย

อุปกรณ์สำหรับขีดเส้นแบ่งและทำเครื่องหมาย ผู้ทำแม่พิมพ์ควรใช้ดินสอดำเนื้ออ่อน ดินสอสี หรือสีเมจิกขนาดเส้นเล็กสีเข้ม สำหรับขีดเป็นแนวเส้น หรือทำเครื่องหมายเพื่อแบ่งชิ้นแม่พิมพ์ปลาสเตอร์ที่ต้นแบบและทำเครื่องหมายต่างๆ ในการทำแม่พิมพ์ให้สังเกตได้ง่าย ไม่ควรใช้ดินสอเนื้อแข็งเนื่องจากอาจทำให้ต้นแบบเป็นรอยจากการทำเครื่องหมาย และในการแบ่งชิ้นแม่พิมพ์เป็นเส้นตรงอาจใช้เซือกเส้นเล็ก หรือเส้นด้ายขึงเป็นแนวช่วยในการขีดเส้นให้ตรงได้

2.3.4.9 แปรง

แปรง เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยให้การทำแม่พิมพ์ปลาสเตอร์มีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยมากใช้ในขั้นตอนทาน้ำสบู่หรือสารกันติด ใช้สำหรับปัดฝุ่นหรือผงปลาสเตอร์ ซึ่งติดอยู่ที่ต้นแบบหรือแม่พิมพ์ปลาสเตอร์ทั้งด้านในและด้านนอกก่อนมาสารกันติด และระหว่างขั้นตอนการทำแม่พิมพ์ปลาสเตอร์ ในการทำแม่พิมพ์ปลาสเตอร์ควรมีแปรงหลายขนาด เพื่อความเหมาะสมในการใช้งานในพื้นที่ที่หลากหลาย ผู้ทำแม่พิมพ์ควรเลือกใช้แปรงที่มีสมบัติการสปริงตัวของขนดี เพื่อให้สามารถใช้งาน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.3.4.10 พู่กัน

พู่กัน เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยให้การทำแม่พิมพ์ปลาสเตอร์มีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยมากใช้ในขั้นตอนการทำต้นแบบ สำหรับเก็บรายละเอียดของชิ้นงาน ใช้สำหรับปัดฝุ่นหรือผงปลาสเตอร์ ซึ่งติดอยู่ที่ต้นแบบหรือแม่พิมพ์ปลาสเตอร์ทั้งด้านในและด้านนอกก่อนทาสารกันติด และระหว่างขั้นตอนการทำแม่พิมพ์ปลาสเตอร์ ในพื้นที่ที่มีรายละเอียดของชิ้นงานมากหรือพื้นที่ที่เป็นซอกขนาดเล็กจนไม่สามารถใช้แปรงได้ ในขั้นตอนการทำแม่พิมพ์ปลาสเตอร์ในการทำแม่พิมพ์ปลาสเตอร์ควรมีแปรงหลายขนาด เพื่อความเหมาะสมในการใช้งานในพื้นที่ที่หลากหลาย ผู้ทำแม่พิมพ์ควรเลือกใช้แปรงที่มีสมบัติการสปริงตัวของขนดีเพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.3.4.11 ฟองน้ำ

ฟองน้ำ เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยให้การทำแม่พิมพ์ปลาสเตอร์มีประสิทธิภาพมากขึ้น ในการทำแม่พิมพ์ปลาสเตอร์ ผู้ทำแม่พิมพ์ควรเลือกฟองน้ำสังเคราะห์เนื้อละเอียด เพื่อสมบัติการอุ้มน้ำได้ดีและไม่เปื่อยยุ่ยง่าย ในขั้นตอนการทำแม่พิมพ์ปลาสเตอร์ ฟองน้ำใช้สำหรับเช็ดฟองอากาศจากการทาสารกันติด หรือเช็ดรอยแปรงจากการทาสารกันติด ที่ไม่เรียบร้อยก่อนการเทปลาสเตอร์

2.3.4.12 เครื่องชั่ง

เครื่องชั่ง คือ เครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณน้ำหนักของวัตถุ แบ่งตามโครงสร้างหลักการทำงานได้ 2 ระบบ ได้แก่ ระบบกล และระบบไฟฟ้า ซึ่งการเลือกใช้เครื่องชั่งให้เหมาะสมกับงานต้องทราบวัตถุประสงค์และขอบเขตของการใช้เครื่องชั่ง โดยผู้ใช้ต้องกำหนดคุณลักษณะสำคัญของเครื่องชั่ง หรือเลือกโดยการคำนึงถึงงานที่จะใช้ตามคุณลักษณะต่างๆ ของเครื่องชั่งที่บริษัทผู้ผลิตเป็นผู้ระบุ วิธีการใช้เครื่องชั่งให้เต็มศักยภาพควรทำการปรับตั้งเครื่องชั่งก่อนการใช้งาน ซึ่งควรทำทุกครั้งก่อนการใช้งานในแต่ละวัน หรือหลังการเคลื่อนย้ายตำแหน่งเครื่องชั่ง เพื่อปรับสภาพของเครื่องชั่ง

ให้เหมาะสมกับสภาวะแวดล้อมนั้นๆ (กนิษฐพรรณ ภุมมะโสภณ, 2550 อ้างถึงใน ธิติมา คุณยศยิ่ง, 2554 : 74)

2.3.4.13 อุปกรณ์ตักปลาสเตอร์

อุปกรณ์ตักปลาสเตอร์ ควรใช้ช้อนหรือทัพพีทำจากสเตนเลสหรือวัสดุที่มีลักษณะผิวเรียบมัน เพื่อให้ทำความสะอาดง่าย ใช้สำหรับตักปลาสเตอร์แห้งผสมกับน้ำ และการใช้ตักฟองอากาศที่เกิดจากการกวนผสมทิ้ง

2.3.4.14 ภาชนะผสมปลาสเตอร์

ภาชนะผสมปลาสเตอร์ ใช้สำหรับการผสมปลาสเตอร์ ลักษณะของภาชนะควรทำจากวัสดุที่มีผิวเรียบมัน เช่น พลาสติก สเตนเลสเพื่อให้ทำความสะอาดง่าย การเลือกใช้ภาชนะผสมปลาสเตอร์ ผู้ทำแม่พิมพ์สามารถเลือกได้ตามลักษณะและปริมาณการผสม หากกวนผสมด้วยมือสามารถใช้กะละมังหรือถังพลาสติก เนื่องจากใช้แรงในการกวนผสมไม่มาก หากกวนผสมด้วยเครื่องผสมปลาสเตอร์สูญญากาศหรือใบกวนติดตัวสว่านควรใช้ถังสเตนเลสเนื่องจากถังสเตนเลส สามารถทนต่อแรงกวนความเร็วสูงของใบพัดได้ หลังจากใช้ภาชนะผสมปลาสเตอร์ทุกครั้งต้องรีบล้างทำความสะอาดหากปล่อยทิ้งไว้จนปลาสเตอร์แข็งตัวจะทำให้ล้างทำความสะอาดยาก ซึ่งเศษปลาสเตอร์ที่แข็งตัวติดกับภาชนะผสมปลาสเตอร์นี้ หากหลุดร่อนออกขณะผสมปลาสเตอร์ผสมอยู่เนื้อปลาสเตอร์ที่ได้จะมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอกันส่งผลต่อประสิทธิภาพในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ได้ไม่ดี

2.3.4.15 เครื่องมือกลึงต้นแบบ

เครื่องมือกลึงต้นแบบ ใช้สำหรับสร้างต้นแบบปลาสเตอร์บนเครื่องขึ้นรูปด้วยใบมีด ประกอบด้วยใบมีดที่ทำด้วยเหล็กแผ่นหนาประมาณ 0.5 เซนติเมตร มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3 – 6 เซนติเมตร มีหลายรูปทรง แต่ละรูปรงใช้ตามลักษณะเฉพาะของต้นแบบ ควรทำด้ามจับเป็นไม้กันลื่นจะช่วยทำงานได้สะดวก และได้รูปทรงของต้นแบบตามต้องการ ผู้ใช้ควรลับขอบใบมีดให้มีความคมอยู่เสมอ และทาน้ำมันหลังการใช้งานทุกครั้งเพื่อกันสนิม รูปทรงและลักษณะการใช้งานของเครื่องมือกลึงต้นแบบ

2.3.4.16 สารกันติด

สารกันติด ใช้สำหรับทาบนผิวของต้นแบบหรือแม่พิมพ์ปลาสเตอร์เพื่อไม่ให้ชิ้นพิมพ์ปลาสเตอร์ติดกัน สารกันติดที่ใช้ในการทำพิมพ์ปลาสเตอร์มีหลายชนิด ที่นิยมใช้มาก คือ สบู่โปแตสเซียม น้ำมันพืช และปิโตรเลียมเจล

2.3.4.17 กระดาษทรายน้ำ

กระดาษทรายน้ำ สามารถล้างทำความสะอาดด้วยน้ำได้เพราะเม็ดขัดติดกับกระดาษพื้นทาด้วยกาวชนิดพิเศษ ในการทำแม่พิมพ์ปลาสเตอร์ใช้สำหรับขัดผิวปลาสเตอร์ให้เรียบ การใช้กระดาษทรายน้ำกับงานทำต้นแบบปลาสเตอร์และแม่พิมพ์ปลาสเตอร์ วัตถุประสงค์ในการใช้คือขัดผิวปลาสเตอร์ให้เรียบมากที่สุด การเลือกใช้กระดาษทรายน้ำควรเลือกที่มีความละเอียดมากตั้งแต่เบอร์ 500 ขึ้นไป เนื่องจากเวลาขัดผิวปลาสเตอร์จะไม่ทิ้งรอยของผงขัด ที่ติดกระดาษทรายไว้ในการใช้ต้องจุ่มกระดาษทรายในน้ำก่อนทุกครั้งเพื่อให้ขัดผิวปลาสเตอร์ ได้ลื่นและเรียบ

2.3.4.18 ค้อนยาง

ค้อนยาง ใช้สำหรับตอกหรือทุบแม่พิมพ์ปลาสเตอร์ในการถอดแม่พิมพ์ออกจากกัน หรือถอดต้นแบบออกจากแม่พิมพ์ โดยแม่พิมพ์ปลาสเตอร์ไม่เกิดความเสียหายเนื่องจากหัวค้อนทำจากยางพาราจึงมีความยืดหยุ่นสูง

2.3.4.19 อุปกรณ์วัดระดับ

อุปกรณ์วัดระดับ ทำจากไม้ พลาสติก หรือโลหะ มีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ตรงกลางฝังหลอดแก้วซึ่งบรรจุน้ำไว้ภายใน (บางชนิดบรรจุแอลกอฮอล์) น้ำที่บรรจุในหลอดแก้วจะบรรจุไว้ไม่เต็ม เพื่อให้มีพื้นที่เหลือให้เกิดโพรงอากาศ สำหรับตรวจสอบระดับ วิธีการตรวจสอบระดับ คือ วาระดับบนชิ้นงาน ถ้าฟองอากาศในหลอดแก้วอยู่ตรงกลาง แสดงว่าได้ระดับที่แท้จริง บางชนิดจะมีหลอดแก้วในแนวตั้งและแนวนอน (ธชนม์ ก้าวสมบูรณ์, 2550 : 23 อ้างถึงใน ธิติมา คุณยศยิ่ง, 2554 : 80)

2.3.4.20 โต๊ะปฏิบัติงาน

โต๊ะปฏิบัติงาน ใช้สำหรับทำแม่พิมพ์ปลาสเตอร์ ลักษณะของโต๊ะควรมีความแข็งแรงมั่นคง วางได้ระนาบกับพื้นที่ตั้ง พื้นผิวโต๊ะปฏิบัติงานต้องเรียบเป็นมันและควรทำจากวัสดุที่ดูดซึมน้ำน้อย เช่น ปูนซีเมนต์ขัด หรืออาจใช้แผ่นสแตนเลสหุ้มพื้นโต๊ะปฏิบัติงาน เพื่อให้สร้างแม่พิมพ์ปลาสเตอร์ได้เรียบร้อยสวยงาม สามารถขูดแต่งให้ได้ระนาบและมุมฉากง่ายขึ้น รวมทั้งทำความสะอาดได้ง่าย โดยขนาดของโต๊ะควรมีสัดส่วนที่เหมาะสมกับผู้ปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและลดความตึงเครียดขณะปฏิบัติงานได้

2.3.4.21 เครื่องผสมปลาสเตอร์สูญญากาศ

เครื่องผสมปลาสเตอร์สุญญากาศ เป็นเครื่องมือในการผสมปลาสเตอร์ที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากระบบทำงานที่สามารถกำหนดให้เครื่องมีอัตราการกวนผสมด้วยความเร็วที่สม่ำเสมอ สามารถทำให้ปลาสเตอร์ในส่วนผสมแตกตัวในน้ำได้อย่างสมบูรณ์ ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาการรวมตัวของปลาสเตอร์กับน้ำได้เป็นเนื้อเดียวกันประกอบกับการทำงานของเครื่องในระบบสูญญากาศ ทำให้ไม่มีฟองอากาศในเนื้อปลาสเตอร์ที่จากการผสม ส่งผลให้แม่พิมพ์ปลาสเตอร์ที่ได้มีเนื้อปลาสเตอร์แน่น ความพรุนตัวน้อยสามารถดูดซึมน้ำจากเนื้อดินได้อย่างสม่ำเสมอเมื่อเปรียบเทียบกับแม่พิมพ์ปลาสเตอร์ที่ได้จากการกวนผสมปลาสเตอร์ด้วยมือ ในปัจจุบันสถานประกอบการเซรามิกส่วนใหญ่ เลือกใช้เครื่องผสมปลาสเตอร์สุญญากาศในการผสมปลาสเตอร์ เนื่องจากคุณภาพของเนื้อปลาสเตอร์ที่ได้จากการผสมมีคุณภาพดี ประกอบกับเครื่องผสมปลาสเตอร์สุญญากาศมีกำลังการผลิตสูง ทำให้การทำงานรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสามารถเพิ่มความสะดวกในการผลิตได้มากกว่าการใช้แรงงานคน ทำให้การผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกมีประสิทธิภาพสูงขึ้น (ธิติมา คุณยศยิ่ง. 2554 : 39-83)

2.4 ซอฟต์แวร์ทางการออกแบบเขียนแบบวิศวกรรม

ซอฟต์แวร์ทางการออกแบบเขียนแบบวิศวกรรม เป็นซอฟต์แวร์สำหรับช่วยการออกแบบ (Computer Aided Design: CAD) และช่วยการผลิต (Computer Aided Manufacturing: CAM) ในรูปแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ช่วยอำนวยความสะดวกให้สามารถปฏิบัติงานได้อย่างรวดเร็ว แม่นยำ

และเที่ยงตรง ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ซอฟต์แวร์ SolidWorks student edition โดยได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท AppliCAD จำกัด ซอฟต์แวร์ SolidWorks แบ่งการปฏิบัติงานออกเป็น 3 ส่วนที่สำคัญ (ภควดี ศิริหล้า, 2554 : 4, 12, 14, 44-45, 57) ดังนี้

2.4.1 การออกแบบชิ้นส่วน (Part modeling)

เป็นการสร้างชิ้นส่วนด้วยคำสั่งร่างแบบ 2 มิติ (2D Sketch) อาทิ Line, Circle, Spline และคำสั่งขึ้นรูปทรง 3 มิติ (3D Features) อาทิ Extruded, Revolved, Lofted โดยอาศัยการกำหนดตำแหน่งอ้างอิงที่แน่นอนในแนวแกน x y z เมื่อสิ้นสุดปฏิบัติการจะได้รูปแบบชิ้นส่วนสุดท้าย 3 มิติ และมีนามสกุลไฟล์ *.sldpart

2.4.2 การออกแบบประกอบชิ้นส่วน (Assembly modeling)

เป็นการประกอบชิ้นส่วนหลายๆ ชิ้นส่วนเข้าด้วยกันด้วยการสร้างความสัมพันธ์จากการจับคู่ (Mating Relation) อาทิ เชื่อมติด (Coincident) ร่วมศูนย์กลาง (Concentric) ร่วมกับคำสั่งขึ้นรูปทรง 3 มิติ (3D Features) เมื่อสิ้นสุดปฏิบัติการจะได้รูปแบบประกอบชิ้นส่วนสุดท้าย 3 มิติ และมีนามสกุลไฟล์ *.sldasm

2.4.3 การเขียนแบบชิ้นส่วน (Drawing)

เป็นการสร้างแบบเขียนแบบชิ้นส่วนด้วยคำสั่งเขียนแบบ 2 มิติ (2D drafting) ทำได้ 2 ลักษณะ คือ การสร้าง Drafting ขึ้นด้วยคำสั่งเขียนแบบโดยตรง (Generative drafting) และการสร้าง Drafting จากไฟล์ชิ้นส่วน Part หรือ Assembly ที่มีอยู่แล้ว (Interative drafting) เมื่อสิ้นสุดปฏิบัติการจะได้แบบเขียนแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ มีนามสกุลไฟล์ *.slddrw

2.5 ประสิทธิภาพการผลิต

ประสิทธิภาพการผลิต (Production efficiency) หมายถึง สมรรถนะการใช้ทรัพยากรในกระบวนการผลิต กล่าวคือ การทำงานชิ้นหนึ่งๆ ให้สำเร็จต้องใช้ทรัพยากรการผลิตเท่าใด ในทางวิศวกรรมจะเป็นตัวแสดงความสามารถในการแปรรูปทรัพยากรที่ใช้ไปเป็นผลผลิตปลายทาง การมีประสิทธิภาพการผลิตสูง แสดงถึงกระบวนการมีการใช้ทรัพยากรในการผลิตงานหรือให้บริการอย่างคุ้มค่า ในทางตรงกันข้ามการมีประสิทธิภาพการผลิตต่ำ แสดงถึงกระบวนการมีการใช้ทรัพยากรในการผลิตงานหรือให้บริการไม่คุ้มค่า ซึ่งเกิดจากมีความสูญเสีย (Wastes) เกิดขึ้นอยู่ในกระบวนการ ประสิทธิภาพการผลิตแบ่งเป็น 2 ประเภท (ประสิทธิภาพการผลิต, 2557) ดังนี้

2.5.1 ประสิทธิภาพการผลิตในมุมมองปัจจัยนำเข้า (Input production efficiency)

คำนวณในรูปของสัดส่วนระหว่างผลลัพธ์และปัจจัยนำเข้าเพื่อให้สะท้อนภาพของผลผลิตงานหรือให้บริการต่อหน่วยทรัพยากรที่ใช้ ตัวอย่างเช่น ในเดือนที่ผ่านมา หน่วยงานฝึกอบรมซึ่งมีเจ้าหน้าที่ฝึกอบรมจำนวน 5 คน สามารถจัดการอบรมที่มีผู้เข้าอบรมรวม 200 คน ดังนั้น

Efficiency = Output/Input

= 200/5

กล่าวคือ หน่วยงานฝึกอบรมจัดการอบรมได้มูลค่าประสิทธิภาพที่ 40 ซึ่งในเดือนถัดๆไป สามารถคำนวณค่าในลักษณะเดียวกันนี้ เพื่อใช้ในการตรวจสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการฝึกอบรมได้

2.5.2 ประสิทธิภาพการผลิตในมุมมองผลลัพธ์ (Output production efficiency)

คำนวณในรูปของอัตราส่วนหรือร้อยละของจำนวนหน่วยที่ผลิต/ให้บริการจริงต่ออัตราการให้บริการมาตรฐานภายในช่วงเวลาหนึ่ง ตัวอย่างเช่น ฝ่ายบริการลูกค้าของโรงแรมได้กำหนดค่ามาตรฐานของอัตราการให้บริการลูกค้าไว้ 100 คนต่อชั่วโมง แต่ในเวลา 8 ชั่วโมงทำงาน ทีมงานบริการสามารถให้บริการลูกค้าได้จริง 780 คน ค่ามาตรฐานของอัตราการให้บริการลูกค้า คือ 100 คน/ชั่วโมง แต่ในช่วง 8 ชั่วโมง ทีมงานบริการลูกค้าได้จริง 780 คน

$$\text{Efficiency} = (780/800) \times 100 = 97.5\%$$

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อนุรักษ์ ครองทรัพย์ (2553 : บทคัดย่อ) ดำเนินงานวิจัย เรื่อง การออกแบบและศึกษาคุณสมบัติของปั๊มไดอะแฟรมสำหรับการสูบน้ำ โดยการออกแบบและสร้างปั๊มน้ำสำหรับสูบน้ำ ศึกษาความเหมาะสมเพื่อนำไปใช้งานกับพลังงานทดแทน เช่นพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม ซึ่งปั๊มที่พัฒนาขึ้นเป็นแบบไดอะแฟรมชนิดสองทิศทาง ตัวปั๊มทำด้วยแสตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร หนา 3 มิลลิเมตร จำนวน 2 ตัว แผ่นไดอะแฟรมทำด้วยแสตนเลสเส้นผ่านศูนย์กลาง 45 เซนติเมตร หนา 0.2 มิลลิเมตร ควบคุมการทำงานของปั๊มด้วยวาล์วควบคุมทิศทางชนิด 5/2 ปกติปิด เพื่อให้ปั๊มไดอะแฟรมตัวซ้ายและตัวขวาทำงาน โดยทดสอบการทำงานของปั๊มจากการใช้ลมจากปั๊มลมเป็นต้นกำลัง ความดันลมอัด 2, 4 และ6 บาร์ ความลึกในการดูด 3 เมตร ส่งน้ำสูง 2-6 เมตร ผลการทดสอบพบว่าปั๊มไดอะแฟรมสามารถทำงานได้อัตโนมัติและต่อเนื่องตลอดเวลา สูบน้ำได้สูงสุดที่ความดัน 6 บาร์ ความสูงด้านส่ง 2 เมตร ปริมาตรน้ำที่สูบได้ 18.4 ลิตรต่อนาที สูบน้ำได้ต่ำสุดที่ความดัน 6 บาร์ ความสูงด้านส่ง 6 เมตร ปริมาตรน้ำที่สูบได้ 12.5 ลิตรต่อนาที ประสิทธิภาพของปั๊มสูงสุดอยู่ที่ 88.25 เปอร์เซนต์ ประสิทธิภาพต่ำสุด 53.35 เปอร์เซนต์ ที่ความดัน 6 บาร์ความสูงด้านส่ง 2 เมตรและความดัน 6 บาร์ ความสูงด้านส่ง 6 เมตร ตามลำดับ

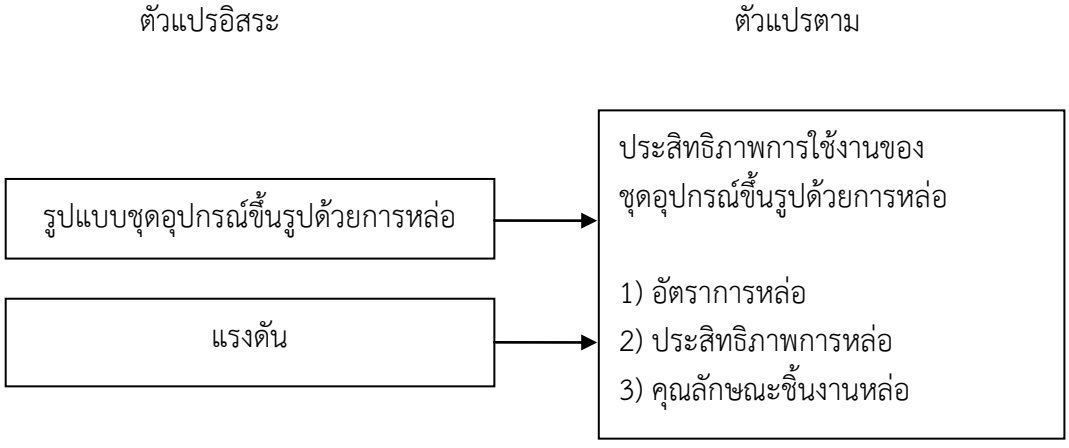
Schaffoener and Aneziris (2011 : abstract) ดำเนินงานวิจัย เรื่อง Pressure slip casting of coarse grain oxide ceramics. โดยการตรวจวัดแรงดันที่ใช้ในการหล่อของวัสดุเซรามิกออกไซด์ที่ขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อแรงดันอนุภาคออกไซด์ถูกละลายในตัวกลางที่เป็นน้ำซึ่งเติมสารอินทรีย์ช่วยในการกระจายตัวและช่วยให้การปั๊มส่วนผสมที่มีอนุภาคหยาบ (ขนาด 3 มิลลิเมตร) เข้าสู่แม่พิมพ์และการถอดแม่พิมพ์เป็นไปได้อย่างสะดวก ชิ้นส่วนออกไซด์หลังการเผาจะถูกตรวจสอบความพรุนตัว มอดูลัสความยืดหยุ่น มอดูลัสการแตกหัก และการกระจายขนาดรูพรุน ผลการวิเคราะห์ด้วยเอกซ์เรย์คอมพิวเตอร์แสดงให้เห็นว่าชิ้นส่วนออกไซด์มีความเป็นเนื้อเดียวกันและมีความแน่นสูง ความแตกต่างของขนาดเกรนซึ่งเป็นไปได้จากและการตกตะกอนและการแยกชั้นของน้ำดิน มีผลต่อสมบัติทางกล

และโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานจากการประเมินด้วยวิธี t-test ผลการศึกษาพบความเป็นไปได้ในการขึ้นรูปออกไซด์ที่มีอนัภาคหยาบเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทวัสดุทนไฟและอื่นๆ ด้วยวิธีหล่อแรงดัน

Santacruz, Nieto, Moreno, Ferrandino, Salomoni and Stamenkovic (2002 : abstract) ดำเนินงานวิจัย Aqueous injection moulding of porcelains. โดยการศึกษาพารามิเตอร์ของการฉีดขึ้นรูปที่แตกต่างกันในการผลิตกระเบื้อง ทั้งนี้น้ำดิน (สัดส่วนวัตถุดิบ ร้อยละ 68 โดยน้ำหนัก) จะถูกปรับสัดส่วนวัตถุดิบให้เหมาะสมสำหรับกระบวนการฉีดโดยการเพิ่มวัตถุดิบถึงร้อยละ 72 โดยน้ำหนัก (ร้อยละ 49.5 โดยปริมาตร) และสารละลาย Agar ที่ความเข้มข้น ร้อยละ 3 และ 4 จะถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 92 องศาเซลเซียส เพื่อเพิ่มความเข้มข้นให้สูงขึ้นถึง ร้อยละ 10 โดยสารละลาย Agar ที่ปริมาณต่างๆ จะถูกเติมลงในน้ำดิน ผลการศึกษาพบว่าน้ำดินในรูปแบบเจล (Gel) ที่มีสมบัติดีที่สุดมีปริมาณ Agar ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก น้ำดินแบบเจลจะถูกนำมาขึ้นรูปด้วยวิธีอัดฉีดในแม่พิมพ์ถ้วยมีหูแบบจังหวะเดียว จากนั้นทำการศึกษาผลกระทบของแรงดัน เวลาการอัดฉีด และอุณหภูมิของน้ำดิน ที่มีต่อประสิทธิภาพการขึ้นรูป ผลการควบคุมพารามิเตอร์ที่กำหนดสามารถขึ้นรูปถ้วยมีหูที่มีความหนาแน่นดิบ (Green density) ร้อยละ 60 ตามทฤษฎีโดยมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในผลิตภัณฑ์แห้ง ร้อยละ 2

2.7 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

จากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โครงการวิจัยจึงสังเคราะห์เป็นกรอบแนวคิดในการวิจัย ดังนี้



ภาพประกอบที่ 2.16 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย