บทที่ 4

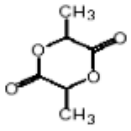
ผลการศึกษาวิจัย

เมื่อดำเนินการวิจัยตามบทที่ 3 เพื่อศึกษาขั้นตอน วิธีการสังเคราะห์กรดพอลิแลคติกแบบเดิมตามวิธีการทดลองของคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งขั้นตอนและวิธีการแบบเดิมนั้นจะนำไปพัฒนาและออกแบบถังปฏิกรณ์แบบใหม่ให้มีความสะดวกและรวดเร็วขึ้น ในบทนี้แสดงผลการดำเนินงานวิจัย วิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้จากถังปฏิกรณ์ทั้งสองแบบ การย่อยสลายของกรดพอลิแลคติกที่สังเคราะห์ได้จากทั้งสองแบบ และวิเคราะห์ต้นทุนของถังปฏิกรณ์ทั้งสองแบบ

4.1 สร้างถังปฏิกรณ์ต้นแบบตามกระบวนการสังเคราะห์พอลิแลคไทด์แบบเดิมของคณะวิทยาศาตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

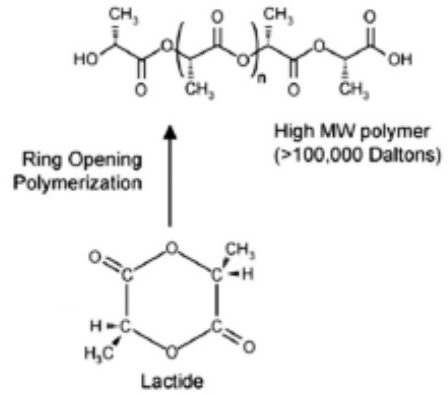
ในการสังเคราะห์กรดพอลิแลคติกในระดับห้องปฏิบัติการสำหรับงานวิจัยนี้ ใช้แอล-แลคไทด์ (L-Lactide) ในการสังเคราะห์ เนื่องจากว่ามอนอเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์มีลักษณะโครงสร้างเป็นแบบวงแหวน แสดงดังรูปที่ 4.1 จึงใช้กระบวนการสังเคราะห์พอลิเมอร์ผ่านกลไกการเปิดวง (Ring Opening Polymerization, ROP) (รูปที่ 4.2) ใช้ตัวริเริ่มที่เรียกว่า สแตนนัส ออกโทเอด (Stannous Octoate) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Tin(II) 2-ethylhaxanoate (รูปที่ 4.3) เป็นตัวริเริ่มที่นิยมใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ เนื่องจากสารนี้มีประสิทธิภาพสูง ใช้งานง่ายและที่สำคัญคือสามารถใช้ได้ในงานที่เกี่ยงข้องกับอาหารและยา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

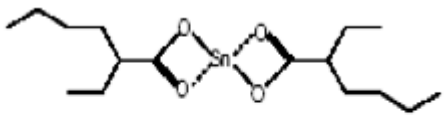


L(-)-lactide

รูปที่ 4.1 ลักษณะโครงสร้างของแลคไทด์



รูปที่ 4.2 กระบวนการสังเคราะห์พอลิเมอร์ผ่านกลไกการเปิดวง



รูปที่ 4.3 โครงสร้างเคมีของตัวริเริ่ม Stannous Octoate

ในขั้นตอนแรกจะเป็นการชั่งตวงสารแลคไทด์ ซึ่งในปริมาณการสังเคราะห์ในแต่ละครั้งขึ้นอยู่กับความต้องการพอลิเมอร์จากมอนอเมอร์ภายหลังการสังเคราะห์ ซึ่งมีข้อจำกัดอยู่ที่ขนาดของขวดชมพู่ 200 กรัม ในการชั่งตวงสารในขั้นตอนนี้จะต้องได้ปริมาตรที่ตรงตามที่ได้คำนวนไว้ซึ่งมีผลโดยตรงกับปริมาณตัวริเริ่ม (Stannous octanoate ($Sn(Oct)_2$) แสดงดังรูปที่ 4.4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 4.4 ขวดชมพู่ที่ใช้ในการสังเคราะห์พร้อมบรรจุแลคไทด์

เมื่อทำการบรรจุแลคไทด์แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือหยดตัวริเริ่มในการทำปฏิกิริยา แต่การตัวริเริ่มมีความไวต่อออกซิเจน ดังนั้นจึงทำการดูดอากาศภายในขวดชมพู่ออกก่อนหยดสาร ดังแสดงในรูปที่ 4.5 หลังจากดูดอากาศออกแล้ว ต้องหยดตัวริเริ่มภายใต้ตู้สุญญากาศและตู้ควบคุมความชื้นภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน (รูปที่ 4.6) เพื่อป้องกันประสิทธิภาพในการทำงานของตัวริเริ่ม

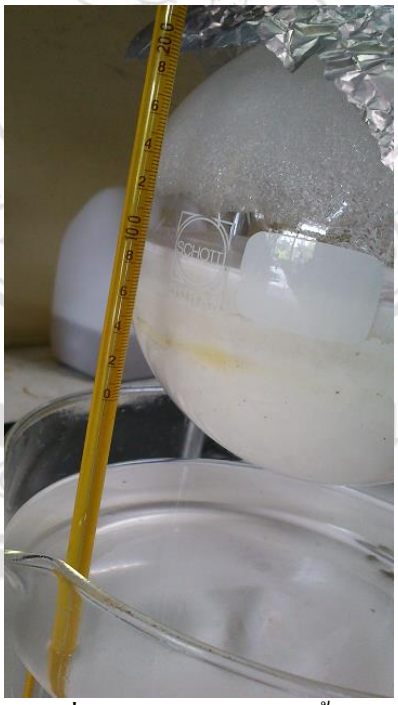
รูปที่ 4.5 การดูดอากาศภายในขวดชมพู่

รูปที่ 4.6 ตู้สุญญากาศและตู้ควบคุมความชื้นภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน

หลังจากทำการเตรียมสารตั้งต้นเรียบร้อยแล้ว ทำขวดชมพู่มาติดตั้งกับอุปกรณ์ให้ความร้อน ซึ่งอุปกรณ์ให้ความร้อนประกอบไปด้วยอ่างน้ำมันให้ความร้อน ใช้น้ำมันซิลิโคน (Silicon Oil) เป็นสารนำพาความร้อน เนื่องจากว่าในการสังเคราะห์นี้ใช้อุณหภูมิที่สูงถึง 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน น้ำมันซิลิโคนนนี้มีคุณสมบัติที่ติดไฟยาก ไม่มีกลิ่น อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพทั้งในอุณหูมิต่ำและอุณหภูมิสูง มีเทอร์โมมิเตอร์ปรอทเป็นตัวบอกอุณภูมิ ส่วนการกวนสารใช้เครื่องกวนสารแบบแท่งแม่เหล็ก มีพลังสนามแม่เหล็กหมุนทำให้เกิดแถบกวน ซึ่งเครื่องกวนสารในที่นี้ใช้รวมอยู่ในเครื่องเดียวกันกับเครื่องให้ความร้อน (Hot Plate) โดยการกวนนั้นจะใช้แท่งแม่เหล็ก (Magnetic Bar) หย่อนลงในขวดชมพู่ และภายในอ่างน้ำมันซิลิโคน จากนั้นทำการเปิดเครื่องกวนสารเพื่อให้เกิดสนามแม่เหล็ก แท่งแม่เหล็กที่มีอยู่ภายในขวดและอ่างน้ำมันซิลิโคนก็จะหมุน ดังรูปที่ 4.7 เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการทำปฏิกิริยาให้เกิดพอลิเมอร์ ซึ่งใช้เวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นยกถังปฏิกิริยาขึ้น ดังรูปที่ 4.8 จะได้กรดพอลิแลคติกจากแลคไทด์ โดยลักษณะของพอลิเมอร์ที่ได้เป็นก้อนติดกับขวดชมพู่ ต้องทำลายขวดชมพู่เพื่อให้ได้พอลิเมอร์ข้างใน และทำการแงะแท่งแม่เหล็กกวนสารที่ติดแข็งกับพอลิเมอร์ ในกระบวนการนี้ต้องทำการอย่างระมัดระวัง เมื่อในขณะที่ทำการตีขวดชมพู่ให้แตกนั้นอาจทำให้เศษแก้วกระเด็นบาดได้ อีกทั้งตอนทำการแงะแท่งแม่เหล็กกวนสารที่ติดกับพอลิเมอร์จะทำให้พอลิเมอร์กระเด็นไปโดนอุปกรณ์อย่างอื่นได้ ทั้งหมดนี้จึงเสร็จสิ้นกระบวนการสังเคราะห์กรดพอลิแลคติก และทำการบันทึกเวลาในกระบวนการสังเคราะห์กรดพอลิแลคติกดังตารางที่ 4.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 4.7 ติดตั้งถังปฏิกรณ์ในระดับห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 4.8 การยกขวดชมพู่ทิ้งไว้

4.2 สร้างถังปฏิกรณ์ที่พัฒนามาจากถังปฏิกรณ์ต้นแบบเดิมของคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

จากหัวข้อ 3.2.1.4 การวิเคราะห์โครงสร้างแนวคิดอย่างเป็นระบบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในหัวข้อนี้จะเป็นการการวิเคราะห์รูปแบบที่จะเป็นไปได้ในกระบวนการออกแบบและสร้างถังปฏิกรณ์แบบใหม่ ทั้งนี้ผู้วิจัยจะยังคงขั้นตอนการทำงานให้มีความคล้ายคลึงกับการทำงานในรูปแบบเดิมให้มากที่สุด โดยมีแนวคิดดังนี้

ระบบถังปฏิกรณ์ ประกอบไปด้วย ถังปฏิกรณ์ ใบกวน ต้นกำลัง และตัวส่งกำลัง

ถังปฏิกรณ์

จากการทำงานของถังปฏิกรณ์แบบเดิมคือ บรรจุแลคไทด์มอนอเมอร์ไว้ภายในขวดชมพู่ และนำขวดชมพู่จุ่มลงในอ่างน้ำมัน จึงได้ทำการออกแบบถังปฏิกรณ์ลักษณะ 2 ชั้น โดยชั้นแรกบรรจุแลคไทด์มอนอเมอร์ และชั้นที่ 2 บรรจุน้ำมันเพื่อให้ความร้อน และชั้นของน้ำมันนี้สามารถหมุนเวียนถ่ายน้ำมันออกได้ โดยมีทางเข้าออกของน้ำมันอยู่ด้านบนปากถังปฏิกรณ์

ใบกวน

ใบกวนแบบเดิมที่ใช้อยู่ในห้องปฏิบัติการคือ แท่งแม่เหล็กกวนสาร โดยการกวนของเหล็กแม่เหล็กจะใช้สนามแม่เหล็กจากเครื่องกวนสารเพื่อเหนี่ยวนำให้แท่งแม่เหล็กเกิดการหมุนสารภายในขวดชมพู่ จึงได้ออกแบบเป็นใบกวนยึดติดกับโครงสร้างหลักต่อเข้ากับตัวส่งกำลังและต้นกำลัง ลักษณะของใบกวนที่ออกแบบมานั้นมีรูปทรงเป็นพีรามิดคว่ำ เพื่อให้ง่ายต่อการบิดเพื่อนำพอลิเมอร์ออกมาหลังการพอลิเมอร์ไรเซชันเรียบร้อยแล้ว

ต้นกำลัง และตัวส่งกำลัง

ในกระบวนการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบเดิมในห้องปฏิบัติการ ในขั้นตอนการกวนพอลิเมอร์ภายในขวดชมพู่ ใช้สนามแม่เหล็กจากเครื่องกวนสารแบบให้ความร้อนเพื่อเหนี่ยวนำทำให้เกิดแถบหมุน โดยความเร็วรอบในการหมุน 130 รอบต่อนาที การหมุนเพื่อให้มอนอเมอร์แลคไทด์เกิดการผสมกับตัวริเริ่มปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น ซึ่งไม่มีผลต่อปฏิกิริยาในการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน จึงออกแบบการหมุนด้วยการใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลัง ส่งแรงไปยังยอย เพื่อให้เกิดการหมุนของใบกวน โดยใช้ความเร็วรอบเท่าเดิม

ระบบให้ความร้อน ประกอบไปด้วย อุปกรณ์ให้ความร้อน อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ ชุดควบคุมที่แสดงผลแบบดิจิตอล

อุปกรณ์ให้ความร้อนออกแบบให้สามารถโอบรัดถังปฏิกรณ์ได้ เพื่อให้ความร้อนส่งกระจายได้ทั่วถังชั้นของน้ำมัน และให้ความร้อนจากชั้นของน้ำมันส่งความร้อนสู่ชั้นบรรจุแลคไทด์มอนอเมอร์ เหตุที่ไม่ออกแบบให้อุปกรณ์ให้ความร้อนติดกับชั้นแรกที่บรรจุแลคไทด์ เพราะว่าความร้อนที่ส่งผ่านจากอุปกรณ์ให้ความโดยตรงนั้นจะทำให้แลคไทด์มอนอเมอร์เกิดการไหม้ได้ และยังออกแบบให้มีฉนวนไมโครไฟเบอร์ป้องกันความร้อนอีกหนึ่งชั้นทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมแบบสามารถถอดได้อีกชั้นที่ช่วยป้องกันความร้อนที่แผ่ออกมาด้านนอกจะมีเพียงขั้วของสายไฟฟ้าเท่านั้นที่จะโผล่ออกมาจากถังปฏิกรณ์เพื่อป้อนกระแสไฟฟ้าแก่อุปกรณ์ให้ความร้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ระบบลำเลียงน้ำมัน ประกอบด้วย ถังเก็บน้ำมัน ปั๊มดูดน้ำมัน ท่อระบายความร้อน

ระบบลำเลียงน้ำมัน ออกแบบให้มีถังเก็บน้ำมันไว้ด้านล่างโครงสร้าง โดยใช้ปั๊มดูดน้ำมันไปสู่ถังชั้นที่ 2 ของถังปฏิกรณ์ แต่ถังปฏิกรณ์เป็นถังปิดไม่สามารถมองเห็นภายในได้ จึงต้องปั๊มน้ำมันให้ล้นออกมานอกถัง โดยทางออกของสายน้ำมันจะมีท่อ เชื่อมต่อกับสามทาง เมื่อทำการปั๊มน้ำมันเข้าถัง สามทางตัวนี้จะถูกปิดไว้ เมื่อมีน้ำมันล้นออกมาจากถังปฏิกรณ์จะสามารถเห็นน้ำมันที่ล้นออกมาได้จากท่อยางสีใส น้ำมันที่ใช้ต้องทนความร้อนสูง เพราะกระบวนการสังเคราะห์กรดพอลิแลคติกใช้อุณหภูมิสูง อีกทั้งออกแบบให้มีท่อระบายความร้อน หากสารที่ใช้เกิดการเดือด

โครงสร้างหลักของเครื่องปฏิกรณ์

โครงสร้างหลักนี้ ออกแบบให้มีลักษณะเป็นตู้ปิดทำจากอะคริลิคใส สามารถมองเห็นภายในได้ ซึ่งจะทำการติดตั้งถังปฏิกรณ์ภายในตู้ ในการสังเคราะห์กรดพอลิแลคติกจะทำในตู้อะคริลิคใสภายใต้บรรยากาศอาร์กอน

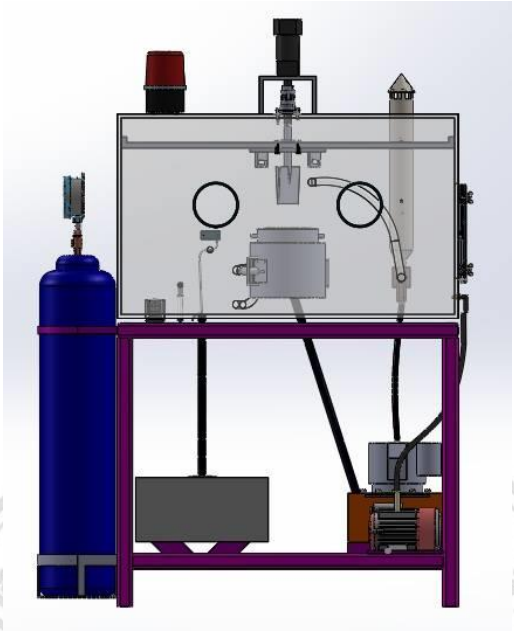
ระบบสุญญากาศ ประกอบไปด้วย ปั๊มสุญญากาศ ถังบรรจุก๊าซอาร์กอน อุปกรณ์ควบคุมแรงดัน อุปกรณ์เปิด-ปิด วาล์วส่งก๊าซเข้าห้อง และอุปกรณ์ต่อพ่วง

ในกระบวนการสังเคราะห์กรดพอลิแลคติกต้องสังเคราะห์ในสภาวะสุญญากาศ เนื่องจากตัวริเริ่มปฏิกิริยานั้นมีความไวต่อออกซิเจน หากตัวริเริ่มปฏิกิริยาสัมผัสกับออกซิเจน จะทำให้ประสิทธิภาพของตัวริเริ่มปฏิกิริยานั้นลดลง จึงต้องทำการดูดอากาศภายในตู้อะคริลิคออกก่อน จากนั้นทำการไหลก๊าซอาร์กอนเข้าไปก่อนทำการสังเคราะห์กรดพอลิแลคติก

ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์แล้วสามารถแยกเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ได้ดังนี้

1. ชุดถังปฏิกรณ์
2. ชุดสุญญากาศ
3. ชุดทำความร้อน
4. ชุดก๊าซเฉื่อย
5. ชุดระบบอ่างน้ำมัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.9 โครงสร้างหลัก อุปกรณ์ และถังปฏิกรณ์แบบใหม่

การวิเคราะห์โครงสร้างแนวคิดอย่างเป็นระบบ ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบขั้นตอนการทำงานของเครื่องที่จะทำการพัฒนาดังต่อไปนี้

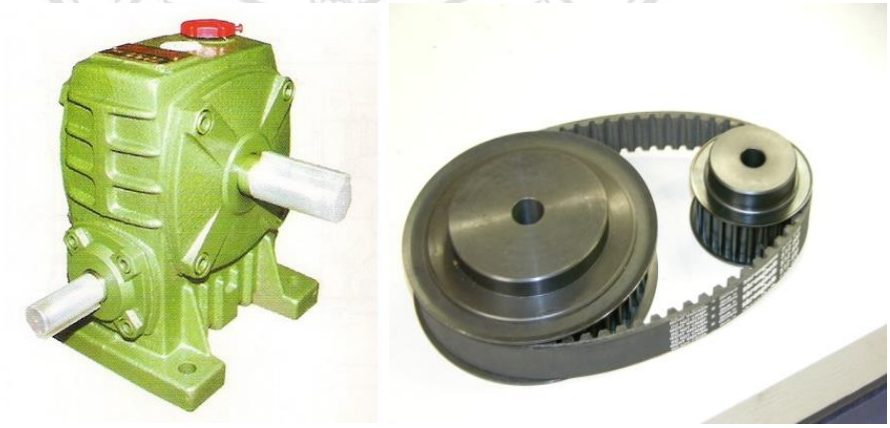
ชุดถังปฏิกรณ์ในส่วนของชุดถังปฏิกรณ์ประกอบไปด้วย

มอเตอร์ต้นกำลัง

มอเตอร์ต้นกำลัง จากการศึกษาข้างต้นเกี่ยวกับต้นกำลังชนิดต่างๆ ท้ายที่สุดแล้ว มอเตอร์ไฟฟ้าก็ได้รับการเลือกใช้ด้วยการคัดเลือกแนวคิดแบบให้คะแนน (Concept Scoring) คะแนนของมอเตอร์ไฟฟ้ามาเป็นอันดับหนึ่ง แต่มอเตอร์ก็มีมากมายหลายแบบไม่ว่าจะเป็น Induction Motor , Stepping Motor , Servo Motor อีกทั้งยังมีทั้งแบบกระแสตรง DC ที่ทีให้เลือกใช้ตั้งแต่ 12 โวลท์ไปจนถึง 48 โวลท์หรือมากกว่า หรือจะเป็นแบบกระแสะสลับ AC 220 โวลท์ที่ใช้ได้ทั่วไปกับไฟบ้าน ซึ่งก็ดูจะเหมาะกว่ามอเตอร์กระแสตรง เพราะมอเตอร์กระแสตรงนั้นมีแหล่งพลังงานจากแบตเตอรี่ นั่นหมายถึงการใช้งานแล้วหมดไปต้องมีการชาร์ตเพื่อเพิ่มพลังงาน ซึ่งในการชาร์ตแต่ละครั้งก็ใช้เวลาที่ยาวนาน อีกอย่างคือมอเตอร์กระแสตรงที่ใช้แหล่งพลังงานจากแบตเตอรี่นั้นเมื่อใช้งานไปได้สักระยะหนึ่งแรงดันเคลื่อนก็จะลดลงตามไปด้วย ส่งผลให้ความเร็วรอบหรือแรงบิดลดลงตามไปด้วย การแก้ปัญหาในกรณีนี้ก็คือการเปลี่ยนแหล่งพลังงานจากแบตเตอรี่ที่ใช้แล้วหมดไปมาเลือกใช้แหล่งพลังงานที่สามารถใช้ได้อย่างต่อเนื่องเช่นไฟฟ้า เรากำลังพูดถึงกรณีที่ไฟฟ้าไม่ดับ ในการเปลี่ยนแหล่งพลังงานของมอเตอร์กระแสตรงมาใช้แหล่งพลังงานจากไฟฟ้าครัวเรือน 220 โวลท์ นั้นต้องมีการติดตั้งหม้อแปลงเพื่อแปลงแรงดันเคลื่อนขนาด 220 โวลท์กระแสสลับให้เป็นแรงดันเคลื่อนกระแสตรงตามที่ต้องการ ซึ่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

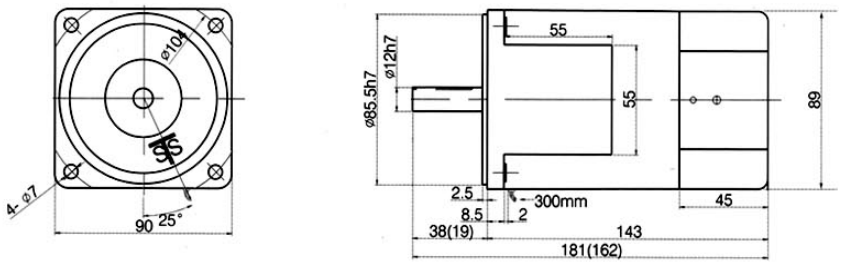
นั่นหมายความว่าค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ก็จะเพิ่มขึ้น เพราะเหตุนี้มอเตอร์กระแสสลับจึงได้คะแนนที่สูงกว่า ตอนนี้เราอยู่ที่มอเตอร์กระแสสลับซึ่งมอเตอร์กระแสสลับมีความเร็วรอบที่สูงมาก มอเตอร์กระแสสลับที่ใช้กับไฟฟ้าครัวเรือนทั่วไปมีความเร็วรอบที่ 1400 – 1450 รอบต่อนาที แต่สำหรับการกวนนั้นเราต้องการความเร็วรอบที่ต่ำ นั่นหมายความว่าเราต้องทำการทดรอบของมอเตอร์ลงซึ่งการทดรอบของมอเตอร์ลงนั้นก็มีอยู่มากมายหลายวิธีไม่ว่าจะเป็นการใช้เกียร์บ็อคอุตสาหกรรมซึ่งก็มีมากมายหลายอัตราทดให้เลือกใช้ แต่ปัญหาคือขนาดที่ใหญ่และมีน้ำหนักมากหรือจะเลือกวิธีส่งกำลังโดยใช้รอกและสายพาน แต่กว่าที่จะได้ความเร็วรอบที่ต้องการอาจจะต้องมีการทดรอบหลายชั้น ซึ่งในการทดรอบด้วยรอกและสายพานนั้นต้องใช้พื้นที่ในการติดตั้งมากจะทำให้ขนาดของเครื่องใหญ่ขึ้นตามไปด้วยและยิ่งถ้ามีการทดรอบหลายชั้นขนาดก็จะใหญ่ขึ้นตามไปด้วย รูปที่ 4.10 แสดงเกียร์บ็อคและรอกสายพานในการส่งกำลัง ในกรณีที่ต้องการให้ขนาดของเครื่องจักรมีขนาดที่ไม่ใหญ่มากนัก การเลือกใช้มอเตอร์ชนิดที่ติดเกียร์มาก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ความเร็วรอบของมอเตอร์ประเภทนี้มักจะมีความเร็วรอบที่สูงตั้งแต่ 1500 รอบต่อนาทีไปจนถึง 2800 รอบต่อนาทีหรือมากกว่านั้น ติดมาพร้อมกับชุดเกียร์ทดรอบ อัตราทดขนาดต่างๆให้เลือกใช้ตามความเหมาะสมของงานประเภทนั้นๆ มีให้เลือกตั้งแต่ 1:5 1:10 1:20 1:40 1:60 และ 1:120 เป็นต้น อีกทั้งยังติดอุปกรณ์ในการปรับความเร็วรอบมาให้อีกด้วย นั่นหมายความว่าหากเรามีความต้องการความเร็วรอบสูงสุดที่เท่าไหร่ ทำการคำนวณหาอัตราส่วนเทียบกับความเร็วของมอเตอร์ที่ใช้ได้เลย



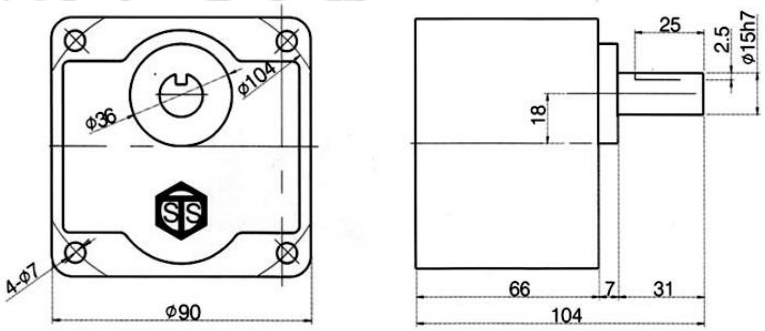
รูปที่ 4.10 เกียร์บ็อคและรอกสายพานในการส่งกำลัง

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยต้องการความเร็วรอบสูงสุดไม่เกินควรเลือก 1300 รอบต่อนาที จึงได้เลือกใช้มอเตอร์ที่มีอัตราทด 1:10 ซึ่งจะทำให้ความเร็วรอบสูงสุดอยู่ที่ 130 รอบต่อนาที และใช้สปีดคอนโทรลที่ติดมากับมอเตอร์ในการควบคุมให้ได้ความเร็วรอบที่ต้องการสำหรับการทดลอง มอเตอร์ต้นกำลังที่ใช้เป็นมอเตอร์เกียร์แรงดัน 220 โวลท์ ความถี่ 50 เฮิร์ต กำลังขับ 90 วัตต์ กิน

กระแส 1 แอมแปร์ ความเร็วรอบของมอเตอร์ 1300 รอบต่อนาที ทำงานร่วมกันกับเกียร์ทดรอบที่มีอัตราการทดรอบ 1:10 ให้ความเร็วรอบของมอเตอร์ทำงานได้ที่ 130 รอบต่อนาที เพื่อให้พอลิเมอร์มอนอเมอร์แลคไทด์เกิดการผสมกับตัวริเริ่มปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12



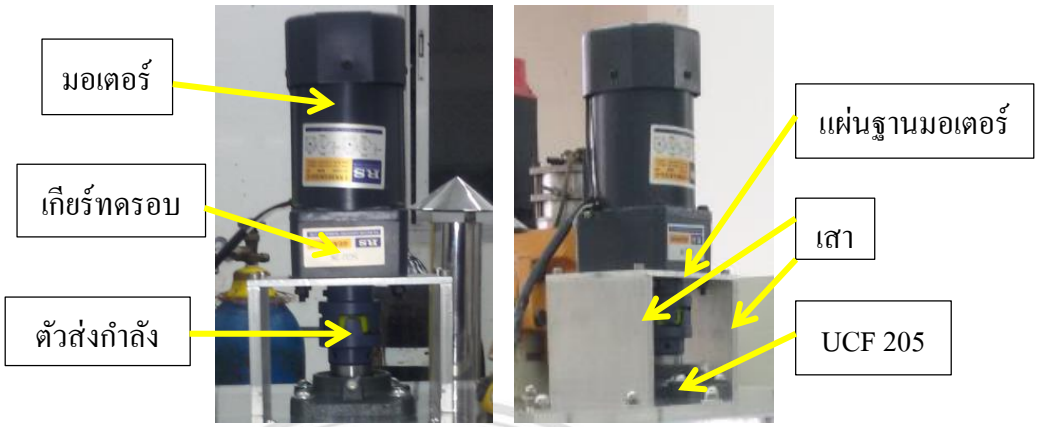
รูปที่ 4.11 ขนาดมอเตอร์ต้นกำลัง



รูปที่ 4.12 ขนาดของเกียร์ทดรอบ

ในการติดตั้งมอเตอร์เข้ากับตัวเครื่อง ใช้อะลูมิเนียมแผ่นขนาด 100 x 150 x 5 มิลลิเมตรเป็นแผ่นฐาน ทำการเจาะรูให้มีขนาด 7 มิลลิเมตรตามแบบในรูปที่ 4.12 เพื่อใช้ยึดกับหน้าแปลนของเกียร์ จากนั้นใช้อลูมิเนียม ขนาด 100 x 100 x 10 มิลลิเมตร จำนวนสองแผ่นทำเป็นเสาที่ใช้ค้ำยันเพื่อเพิ่มความสูงให้กับมอเตอร์ ในการที่จะใช้ยึดติดกับตัวส่งกำลัง โดยในส่วนของเสานี้ทำการเจาะรูและทำเกลียวขนาด M 6x1 ลึก 20 มิลลิเมตร จำนวน 4 รูต่อหนึ่งแผ่นด้านบนสองรูด้านล่างสองรู ส่วนด้านบนจะใช้ในการยึดแผ่นฐานกับหน้าแปลนของเกียร์ ส่วนด้านล่างนั้นใช้ยึดกับแผ่นอะคริลิคด้านบนของตู้ โดยทำการเจาะรูแผ่นอะคริลิคขนาด 7 มิลลิเมตร จำนวน 4 รู และใช้สกรูสเตนเลส M 6x1x25 มิลลิเมตร ร้อยจากด้านในตู้ขึ้นมาด้านบน ส่วนด้านบนก็ทำเช่นเดียวกันในการยึดเสาและแผ่นฐานของมอเตอร์ เป็นอันเสร็จสิ้นในส่วนของมอเตอร์ในการติดตั้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.13 การติดตั้งมอเตอร์

รูปที่ 4.14 มอเตอร์ต้นกำลังและอุปกรณ์ควบคุม

ตัวส่งกำลัง หลังจากที่ได้มอเตอร์ต้นกำลังมาแล้วสิ่งที่ต่อเนื่องขึ้นมาก็คือการที่จะใช้ต้นกำลังดังกล่าวไปขับเคลื่อนสิ่งที่ตั้งใจไว้ สำหรับงานวิจัยนี้ก็คือการขับเคลื่อนใบกวนสาร ในการออกแบบตัวส่งกำลังนั้นทำได้หลายวิธีไม่ว่าจะเป็นการส่งกำลังในแนวแกนเดียวกัน การส่งกำลังต่างแนวแกน การส่งกำลังที่ทำมุมกันเป็นองศาต่างๆ ซึ่งในแต่ละรูปแบบก็จะมีความยากง่ายและ ซับซ้อนแตกต่างกันไป และในความแตกต่างนั้นก็มีในส่วนของราคาเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ในการเลือกตัวส่งกำลังนั้นผู้วิจัยได้วางแผนการส่งกำลังให้เป็นการส่งกำลังในแนวแกนเดียวกัน เพราะเป็นการส่งกำลังที่ง่ายและมีค่าใช้จ่ายที่ไม่สูงมากนักแต่ได้ผลลัพธ์ที่แน่นอน ซึ่งตัวส่งกำลังดังกล่าวได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.15

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 4.15 ตัวส่งกำลังจากมอเตอร์ถึงใบกวน

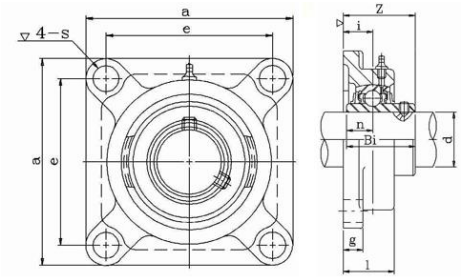
ตัวส่งกำลัง ทำจากเหล็กหล่อเป็นชิ้นส่วนสำเร็จรูป ในหนึ่งชุดประกอบด้วย ยอย (Coupling) 2 ตัว และยางกันกระชาก 1 ตัว ซึ่งยอยนั้นจะเป็นแท่งตันต้องทำการเจาะรูและทำลิ่มตลอดความยาวให้มีขนาดตามที่ต้องการ จึงทำการเจาะรูขนาด 15 มิลลิเมตร ตามขนาดของแกนเกียร์ทดด้านหนึ่งส่วนอีกด้านเจาะรูขนาด 1 นิ้วตามขนาดของแกนใบกวนสารด้านข้างของยอยเจาะรูและทำเกลียว M6x1 ไว้ตัวละ 2 รูเพื่อใช้ล็อคด้วยเกลียวหนอนเพื่อป้องกันไม่ให้รูดเมื่อได้รับแรงบิดสูง ๆ ดังรูปแสดงที่ 4.16

รูปที่ 4.16 ตัวส่งกำลัง ลิ่มและเกลียวหนอน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ใบกวนสาร

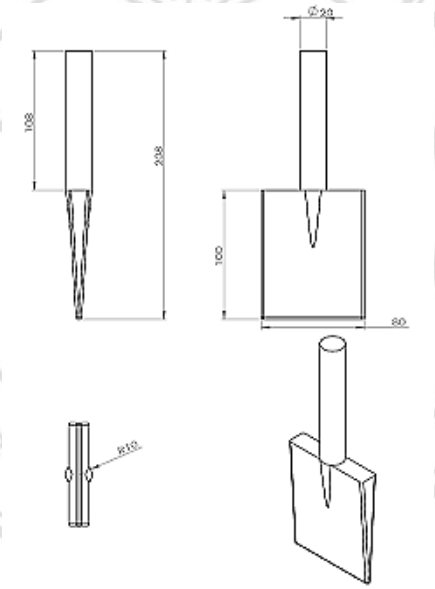
ใบกวนสารใช้เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) เกรด 304 L หนา 1.2 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.18 ในการขึ้นรูปโดยการตัดให้ได้ขนาดตามที่ต้องการจากนั้นทำการพับขึ้นให้ได้มุมแหลม ทำการตัดแผ่นปิดด้านข้างและด้านบน ต่อแกนเพลาขนาด 1 นิ้ว เพื่อเป็นตัวรับกำลังจากตัวส่งกำลัง ดังรูปที่ 4.13 ที่เพลาส่งกำลังจะใช้แบริ่งชนิดวาย (Y-Bearing) เป็นตัวรองรับ 2 ตัว ขนาดรูใน 1 นิ้ว ชื่อรหัส UCF 205 ด้วยบนและด้านล่าง ตามรูป 4.13 เช่นกัน ในการประกอบแบริ่งตัวแรกจะประกอบติดกับแผ่นอะคริลิคด้านบนโดยทำการเจาะรูแผ่นอะคริลิค ขนาด 12 มิลลิเมตร ตามแบบที่กำหนดไว้ในรูปที่ 4.17



UCF 205-16 Dimensions

Unit	Shaft Dia	a	e	i	g	l	s	z	Bi	n	Bolt Size
inch	1	3 3/4	2 3/4	5/8	9/16	1 1/16	15/32	1 13/32	1.3425	0.563	3/8
mm		95	70	16	14.3	27	12	35.8	34.1	14.3	M10

รูปที่ 4.17 ระยะที่ใช้ในการเจาะยึดแบริ่ง UCF 205



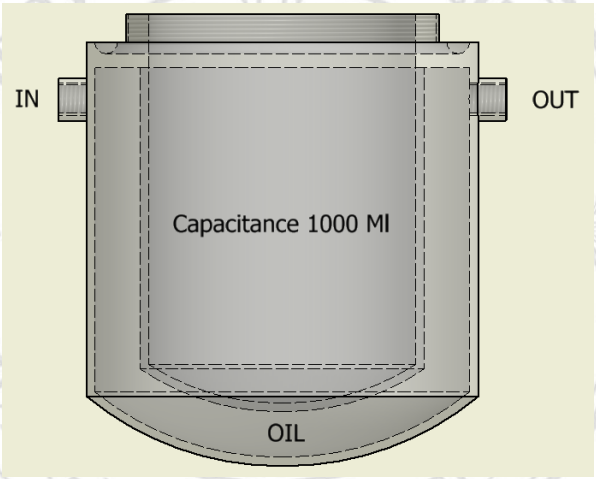
รูปที่ 4.18 ใบกวนสาร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ถังปฏิกรณ์

ถังปฏิกรณ์ ต่อไปจะกล่าวถึงหัวใจของงานวิจัยนี้ คือการออกแบบถังปฏิกรณ์ที่ใช้การสังเคราะห์กรดพอลิแลคติก ซึ่กระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชั่นแบบเดิมนั้นทำได้โดยการให้ถังปฏิกรณ์จุ่มอยู่ในอ่างน้ำมันที่ได้รับความร้อนจากเครื่องกวนสารแบบให้ความร้อนส่งผ่านถังเข้ามาให้แลคไทด์หลอมละลายและทำการกวนด้วยแท่งแม่เหล็ก ซึ่งใบกวนนั้นได้ออกแบบไว้แล้วในหัวข้อที่ผ่านมา ในการจุ่มถังปฏิกรณ์ลงในอ่างน้ำมันแสดงให้เห็นว่าการทำงาน 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกเป็นการใส่แลคไทด์ลงในถังเป็นชั้นแรก ทำการจุ่มลงในอ่างน้ำมันถือว่าเป็นชั้นที่สอง จากนั้นให้ความร้อนกับอ่างน้ำมัน แสดงว่าการออกแบบใหม่จะเป็นถังปฏิกรณ์ที่มีสองชั้นและรับความร้อนจากภายนอก และในรูปที่ 4.19 ได้แสดงรูปแบบของถังปฏิกรณ์ดังกล่าว ที่

มีหลักการทำงานแบบเดิมอยู่ โดยออกแบบให้ขนาดของถังปฏิกรณ์มีขนาด 1 ลิตร เนื่องจากว่าต้องการให้ขนาดของถังปฏิกรณ์มีความจุที่มีมากกว่าขวดชมพู่ในห้องปฏิบัติการ แต่ด้วยราคาของสารตั้งต้นที่มีราคาสูงมาก จึงกำหนดให้มีความจุสูงสุดที่ 1 ลิตร วัสดุที่ใช้ในการสร้างถังปฏิกรณ์ดังกล่าวเป็นเหล็กกล้าไร้สนิม เพื่อตอบโจทย์ข้อที่ว่าสามารถทนการกัดกร่อนได้เป็นอย่างดี การออกแบบถังดังกล่าวมีลักษณะเป็นถังทรงกระบอกที่ก้นของถังมีความโค้งมนเพื่อป้องกันการยึดติดของพอลิเมอร์เมื่อกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชั่นแล้วเสร็จ และยังช่วยให้การนำพอลิเมอร์ออกจากถังกระทำได้ง่ายขึ้นอีกด้วย ส่วนผนังด้านนอกเป็นส่วนที่บรรจุของเหลวเพื่อให้ความร้อนและส่งผ่านไปยังถังปฏิกรณ์ด้านในและยังทำการออกแบบให้มีการถ่ายเทความร้อนออกนอกถังปฏิกรณ์อีกด้วยเพื่อป้องกันการขยายตัวของน้ำมันในถังปฏิกรณ์

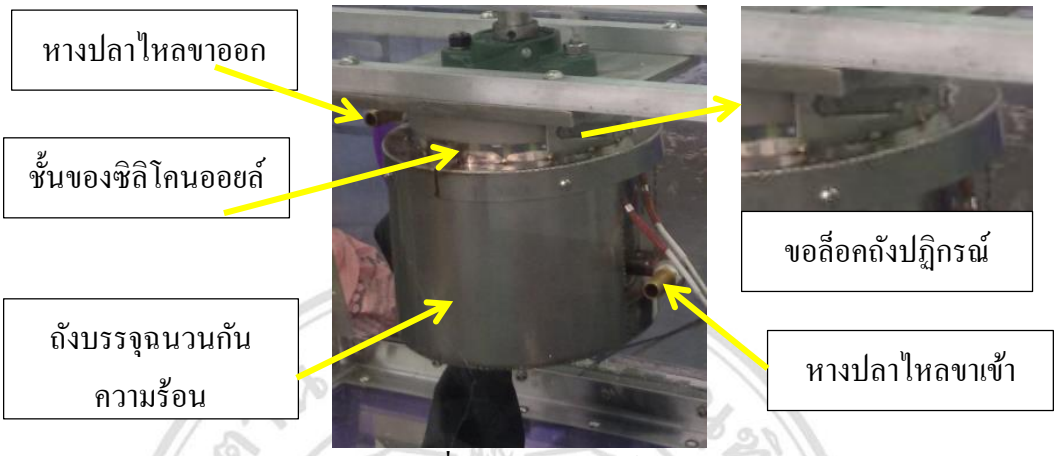


รูปที่ 4.19 แสดงรูปแบบของถังปฏิกรณ์แบบใหม่

ถังปฏิกรณ์ขึ้นรูปโดยเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) เกรด 304 L หนา 1.2 มิลลิเมตรให้มีขนาดถังด้านในที่ใช้บรรจุสารในขณะที่มีใบกวนสารอยู่ด้านในแล้วมีปริมาตรรวม 1 ลิตร มีขนาด Ø 120 x 120 มิลลิเมตร ภายนอกที่ใช้ไหลเวียนน้ำมันซิลิโคน มีขนาด Ø 160 x 160 มิลลิเมตร เมื่อได้รับความร้อนที่ส่งมาจากอุปกรณ์ให้ความร้อน (Heater) จะทำให้น้ำมันซิลิโคนร้อน ความร้อนดังกล่าวจะส่งไปยังแลคไทด์ด้านใน และยังแผ่ความร้อนออกมาด้านนอกด้วยจึงได้ทำการหุ้มผนังชั้นนอกด้วยเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดเดียวกัน ขนาด Ø 200 x 145 มิลลิเมตรและบรรจุไมโครไฟเบอร์กันความร้อนไว้ด้านในเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดอันตรายแก่ผู้ปฏิบัติงาน ถังปฏิกรณ์สามารถถอดออกจากขาล็อคได้ด้วยการหมุน เมื่อหมุนถังออกมาแล้วจะสามารถใส่แลคไทด์และตัวริเริ่มปฏิกิริยาได้ จากนั้นยกขึ้นแล้วหมุนล็อคเข้าเหมือนเดิมโดยใบกวนจะติดอยู่ที่ตำแหน่งเดิมไม่เลื่อนหลุด ผนังด้านนอกตรงส่วนที่บรรจุน้ำมันซิลิโคน จะเชื่อมข้องอ 90

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

องศา ไว้เพื่อใช้ในการขันหางปลาไหลขนาด ¼ นิ้ว เพื่อใช้เสียบสายยางซิลิโคนทนความร้อน เพื่อนำน้ำมันซิลิโคนเข้าและออกจากถังโดยปั๊มที่อยู่ด้านล่าง



รูปที่ 4.20 ถังปฏิกรณ์

ส่วนประกอบดังรูปที่ 4.20 จากหางปลาไหลทั้งขาเข้าและขาออกจะใช้สายยางซิลิโคนเป็นตัวส่งน้ำมันเพราะในบริเวณที่ใกล้กับถังปฏิกรณ์จะมีความร้อนสูงหากใช้สายยางน้ำมันแบบธรรมดาจะทำให้สายน้ำมันละลายเกิดการรั่วซึมได้ การต่อสายยางซิลิโคนออกจากตัวห้อง จะต่อออกทางด้านหลังโดยใช้ข้อต่อตรงฝังอยู่ในผนังอะคริลิคและใช้หางปลาไหลในการต่อกับสายยางทั้งด้านนอกและด้านใน สายยางลำเลียงน้ำมันด้านนอกใช้สายน้ำมันแบบธรรมดาเพราะเป็นการช่วยลดค่าใช้จ่ายและความร้อนที่มาจากถังปฏิกรณ์เดินทางมาไม่ถึง

ชุดสุญญากาศ

ชุดสุญญากาศ ประกอบไปด้วยปั๊มสุญญากาศ กำลังการดูดอากาศ 90 ลิตรต่อนาที ดังนั้นเวลาในการดูดอากาศออกจากตู้อะคริลิคจะขึ้นอยู่กับปริมาตรความจุของห้องปฏิบัติการสังเคราะห์กรดพอลิแลคติก โดยตู้อะคริลิคมีความจุ 206 ลิตร นั่นหมายถึงอากาศจะถูกดูดออกจากห้องไม่เกิน 3 นาที ปั๊มสุญญากาศจะประกอบเข้ากับสายลมเบอร์ 10 และข้อต่อลมสองตัวด้านเข้าและออก เมื่ออากาศออกจากห้องจนหมดก็จะหยุดการทำงานตามเวลาที่ตั้งไว้และเป็นหน้าที่ของก๊าซเฉื่อยที่จะทำหน้าที่ปกคลุมไม่ให้อากาศจากภายนอกเข้ามาสัมผัสกับถังปฏิกรณ์ได้ และรูปของปั๊มสุญญากาศ สายลมเบอร์ 10 และข้อต่อลม ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.21

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

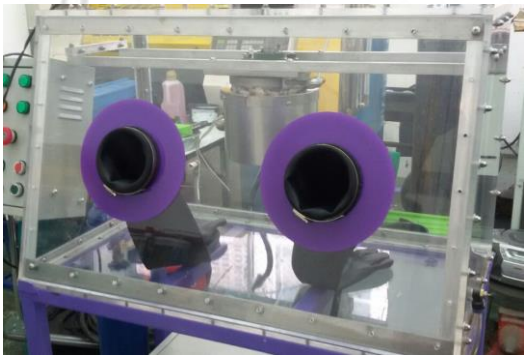
รูปที่ 4.21 แสดงปั๊มสุญญากาศ สายลมเบอร์ 10 และข้อต่อลม

ชุดสุญญากาศเลือกใช้ ปั๊มสุญญากาศยี่ห้อ Ref center ที่มีกำลังอัดอากาศ 90 ลิตรต่อนาที ตามรูปที่ 4.22 จากการสร้างห้องปฏิบัติการสังเคราะห์ PLA โดยใช้แผ่นอะคริลิค หนา 10 มิลลิเมตร ตามรูปที่ 4.23 จะมีปริมาตรของห้องเท่ากับ 206 ลิตร เมื่อใช้ปั๊มดังกล่าวจะสามารถดูดอากาศออกจากห้องภายใน 3 นาที ปั๊มสุญญากาศติดตั้งไว้ด้านล่างของโครงสร้างหลัก ทำการดูดโดยท่อลมขนาด 12 มิลลิเมตร โดยด้านที่เป็นตัวปั๊มจะมีเกลียวท่อขนาด ½ นิ้วอยู่สามารถขันข้อต่อลมได้เลยแต่ด้านที่เป็นห้องต้องทำการเจาะรูและทำเกลียวก่อนจึงจะสามารถขัดข้อต่อลมเข้าไปได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.24

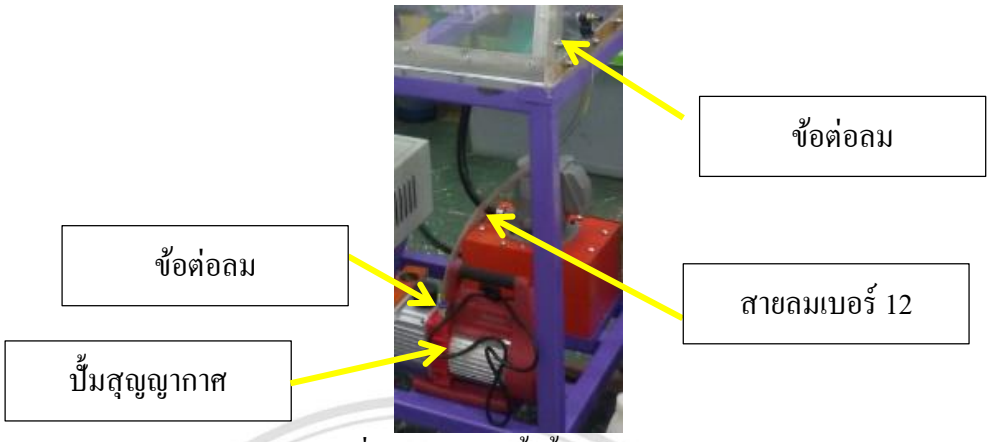
Model		RT-2		RT-3		RT-4		RT-6		RT-8		RT-10		RT-12	
Frequency (Hz)		50	60	50	60	50	60	50	60	50	60	50	60	50	60
Frequency (Hz)	(CFM)	1.5	1.8	2.5	3.0	3.0	3.6	4.5	5.5	6.5	7.5	8.0	9.5	10	12
	(l/min)	42	50	70	85	85	100	128	156	185	2 12	226	270	283	340
Ultimate Vacuum (micron)		150		150		150		150		150		150		150	
Motor Power (HP)		1 / 4		1 / 4		1 / 3		1 / 3		1 / 2		3 / 4		1	
Oil Capacity (ml)		430		400		400		450		480		730		730	
Net Weight (kg)		4.6		5.7		5.8		8.2		8.3		11		11	
Dimensions (mm)		290x125x235		290x125x235		290x125x235		325x135x250		325x135x250		360x155x270		360x155x270	

รูปที่ 4.22 ตารางการเลือกใช้ปั๊มสุญญากาศ

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.23 ตู้อะคริลิคใสที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์



รูปที่ 4.24 การติดตั้งปั๊มสุญญากาศ

ชุดก๊าซเฉื่อย

ชุดก๊าซเฉื่อย ก๊าซเฉื่อยเป็นก๊าซที่ใช้ในการปกคลุมสิ่งต่างๆจากสิ่งที่จะมาทำปฏิกิริยากับวัตถุต่างๆ ก๊าซเฉื่อยมีทั้งหมด 6 ธาตุ คือ ฮีเลียม (He) นีออน (Ne) อาร์กอน (Ar) คริปทอน (Kr) ซีนอน (Xe) และ เรดอน (Ra) เป็นพวกโมเลกุลอะตอมเดี่ยว (Monoatomic Molecule) คือในหนึ่งโมเลกุลของก๊าซเฉื่อยจะมีเพียงหนึ่งอะตอมเท่านั้น (ก๊าซโดยทั่วไป 1 โมเลกุลจะมีมากกว่า 1 อะตอม ส่วนใหญ่จะมี 2 อะตอม เรียกว่า Diatomic Molecule เช่น O_2 , N_2 , Cl_2 , H_2 เป็นต้น) สำหรับงานวิจัยนี้จะเลือกใช้อาร์กอนในการปกคุลมเนื่องจากสามารถหาซื้อได้ง่าย อาร์กอนนั้นเป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการเชื่อมโลหะ ข้อดีของอาร์กอนคือ ไม่ทำปฏิกิริยากับสสารขณะที่ร้อน และในงานวิจัยนี้มีการใช้ความร้อนในการสังเคราะห์กรดพอลิแลคติกสูงถึง 120 เซลเซียส

รูปที่ 4.25 แสดงถังก๊าซ อุปกรณ์ลดแรงดันและโซลินอยด์วาล์ว

ส่วนสายลมและข้อต่อลมนั้นยังใช้ขนาดเดียวกันกับที่ใช้ในปั๊มสุญญากาศ การทำงานของปกคลุมโดยก๊าซอาร์กอนนั้นจะทำงานหลังจากที่ปั๊มสุญญากาศหยุดการทำงานโดยการกดปุ่มค้างไว้ โซลินอยด์วาล์วก็จะยอมให้ก๊าซอาร์กอนไหลผ่านเข้าไปในห้อง เมื่อปล่อยมือออกโซลิ

นอยด์วาล์วก็จะปิดก๊าซก็จะไม่สามารถไหลเข้าไปได้ อัตราการไหลของก๊าซควบคุมได้โดยอุปกรณ์ลดแรงดัน (Regulator) อัตราการไหลสามารถปรับได้ตั้งแต่ 1 ลิตรต่อนาทีจนถึง 25 ลิตรต่อนาที ชุดก๊าซเฉื่อยจะประกอบด้วยถังก๊าซอาร์กอนขนาดบรรจุ 1500 ลิตร เพื่อใช้ในการส่งก๊าซเข้าไปปกคลุมการพอลิเมอร์ไรเซชั่น อุปกรณ์ควบคุมแรงดันของก๊าซ อุปกรณ์ เปิด-ปิดวาล์วส่งก๊าซเข้าห้อง และอุปกรณ์ต่อพ่วง โดยที่ถังก๊าซจะมีตัวล็อคให้ติดอยู่ที่ข้างถังทำจากเหล็กกล้าม้วนให้กลม มีขนาดใหญ่กว่าถังก๊าซเล็กน้อยเชื่อมติดอยู่กับโครงสร้างหลักของเครื่อง ที่หัวของถังก๊าซจะมีอุปกรณ์วัดระดับแรงดันก๊าซที่ออกไปจากถังอัตราการไหลวัดเป็นลิตรต่อนาที สูงสุด 25 ลิตรต่อนาที ซึ่งในกระบวนการนำอากาศออกจากห้องใช้เวลา ประมาณ 3 นาที แสดงว่าหากใช้อัตราการไหลของก๊าซที่ 25 ลิตรต่อนาทีก็จะใช้เวลาประมาณ 10 นาทีในการบรรจุก๊าซอาร์กอนเข้าไปในถัง ดังนั้นก๊าซอาร์กอนขนาด 1500 ลิตรหนึ่งถังจะทำการสามารถทำการพอลิเมอร์ไรเซชั่นได้ถึง 6 ครั้ง รูปที่ 4.26 แสดงชุดก๊าซเฉื่อย

รูปที่ 4.26 ชุดก๊าซเฉื่อย

ชุดให้ความร้อน

ชุดทำความร้อน การให้ความร้อนแบบเดิมใช้ไฟฟ้าให้ความร้อนกับแผ่นเซรามิก และนำอ่างน้ำมันที่เป็นแก้วทนความร้อนโบโรซิลิเกตอยู่ด้านบนเพื่อส่งผ่านความร้อนเข้าไปยังถังปฏิกรณ์ โดยในอ่างน้ำมันบรรจุซิลิโคนออยล์ไว้ ทำการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมมิเตอร์ แน่นอนว่าอุณหภูมิที่วัดได้จะมีความไม่แน่นอนและต้องคอยปรับกระแสที่ตัวเครื่อง ในการออกแบบใหม่นี้จะแก้ปัญหาดังกว่าโดยการใช้อุปกรณ์ให้ความร้อนแบบแผ่นโค้งในการให้ความร้อนเพื่อให้โอบพอดีเข้ากับถังปฏิกรณ์ ให้ความร้อนทั่วถึงและสม่ำเสมอในชั้นของน้ำมัน และควบคุมอุณภูมิด้วยชุดควบคุมที่แสดงผลแบบดิจิตอล เมื่ออุณหภูมิถึงค่าที่ต้องการก็จะหยุดปล่อยกระแสโดยอัตโนมัติและปล่อยกระแสไฟในทันทีที่อุณหภูมิลดลงต่ำกว่ากำหนด ซึ่งสามารถให้ส่วน

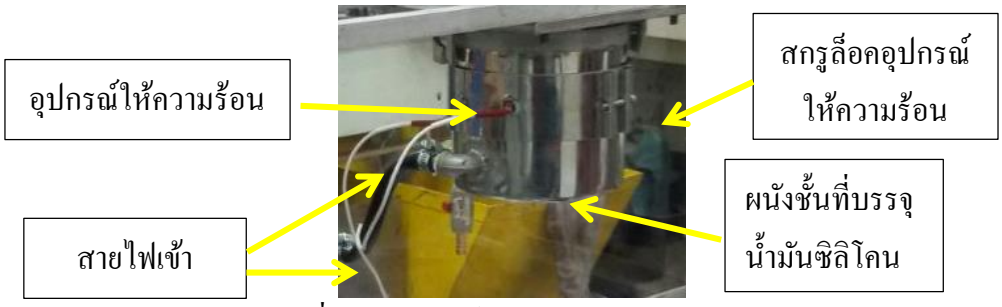
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ต่างได้เพียง 1 องศาเซลเซียส ซึ่งอุปกรณ์ให้ความร้อน อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและชุดควบคุมอุณหภูมิ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.27

รูปที่ 4.27 อุปกรณ์ให้ความร้อน อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและชุดควบคุมอุณหภูมิ

ชุดให้ความร้อนเป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนชนิดรัดท่อ (Band Heater) ขนาด 1,500 วัตต์ มีลักษณะเป็นส่วนโค้งครึ่งวงกลมสองชิ้น ด้านหนึ่งจะเป็นบูทที่มีจุดหมุน เพื่อเปิดให้กว้างพอที่จะโอบท่อได้แล้วบีบรัดกับท่อให้แน่นด้วยสกรูด้านตรงข้าม การติดอุปกรณ์ให้ความร้อนจะทำการติดด้านนอกของส่วนที่เป็นถังน้ำมันซิลิโคน ด้วยเหตุผลที่ว่าในความร้อนส่งผ่านชั้นที่เป็นน้ำมันก่อน ให้น้ำมันค่อยๆร้อนแล้วส่งผ่านความร้อนนั้นเข้าไปในถังปฏิกรณ์อย่างช้าๆ เพราะการที่จะติดอุปกรณ์ให้วามร้อนในส่วนที่บรรจุสารที่จะทำการสังเคราะห์โดยตรงอาจจะทำให้สารนั้นไหม้ เกิดการเปลี่ยนสีหรืออาจทำให้สูญเสียคุณสมบัติบางประการไปได้ จากนั้นจะหุ้มด้วยฉนวนไมโครไฟเบอร์อีกหนึ่งชั้นและมีห้องเสื้อที่ทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิมแบบสามารถถอดได้อีกชั้นที่ช่วยป้องกันความร้อนที่แผ่ออกมาด้านนอกจะมีเพียงขั้วของสายไฟฟ้าเท่านั้นที่จะโผล่ออกมาจากถังปฏิกรณ์เพื่อป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าไปให้อุปกรณ์ให้ความร้อน ดังรูปที่ 4.28

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.28 อุปกรณ์ให้ความร้อนแบบรัดท่อ

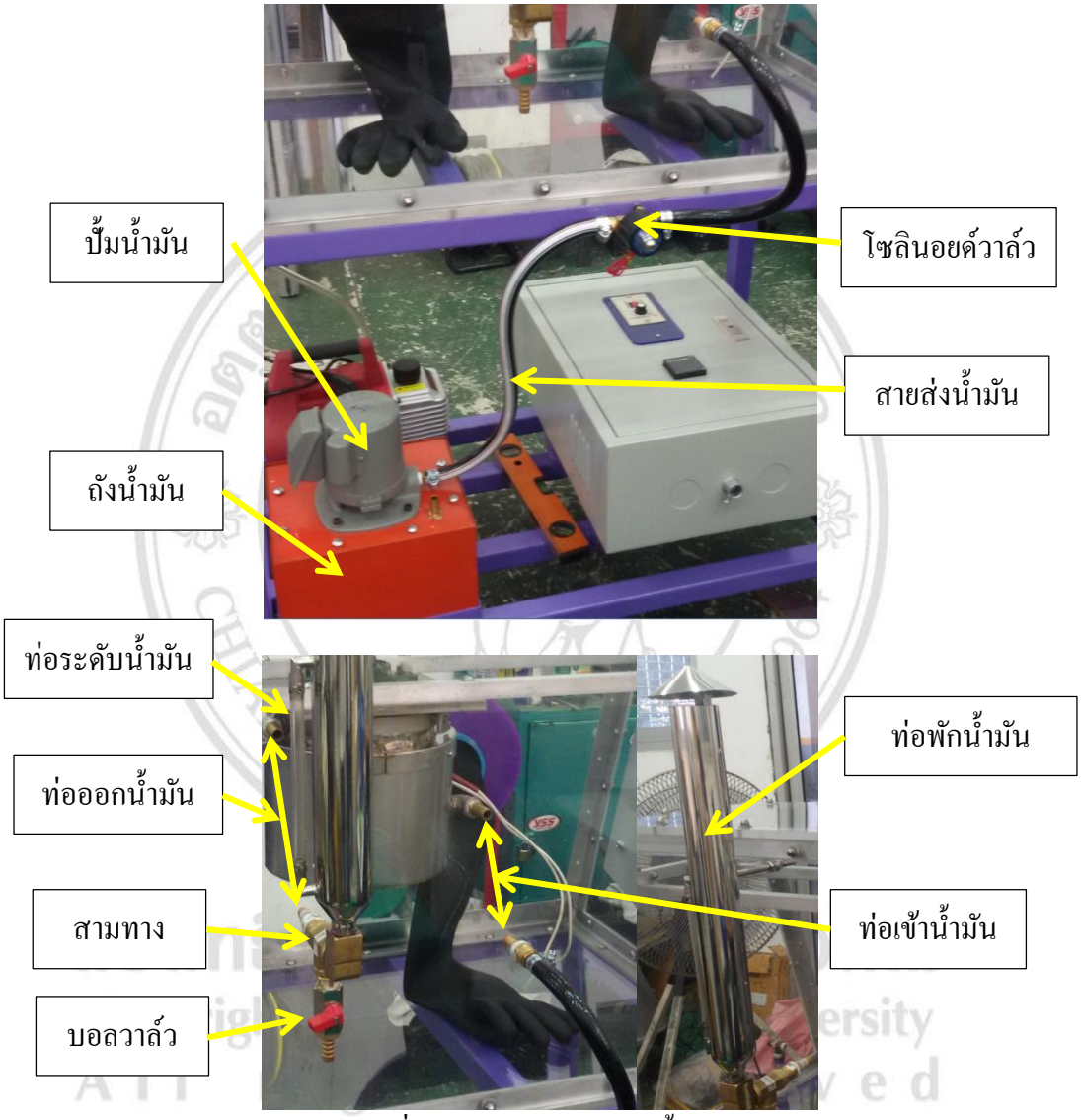
ชุดระบบลำเลียงน้ำมัน

ชุดระบบลำเลียงน้ำมัน ระบบนี้เป็นระบบที่สร้างขึ้นใหม่เพื่อป้องกันการที่ปริมาณน้ำมันซิลิโคนในถังปฏิกรณ์ลดลงต่ำกว่ากำหนดหรือการที่ละเหยออกไป โดยอุปกรณ์ชุดนี้จะประกอบด้วยถังบรรจุน้ำมันด้านล่างของเครื่อง ทำงานโดยการกดปุ่มเพื่อให้ปั๊มทำงาน ผ่านโซลินอยด์วาล์วคล้ายกันกับการปกคลุมของก๊าซเฉื่อย เมื่อปล่อยมือออกจากปุ่มน้ำมันก็ยังคงค้างอยู่ในถัง หลังจากที่ให้ความร้อนกับถังปฏิกรณ์ความร้อนที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดไอร้อน ซึ่งทำการป้องกันโดยมีชุดระบายความร้อนอยู่ด้านหลัง ในส่วนที่ใกล้กับอุปกรณ์ให้ความร้อนจะมีความร้อนสูง สายน้ำมันธรรมดาไม่สามารถทนได้ต้องใช้สายยางซิลิโคนทนความร้อน อุปกรณ์ต่างของชุดลำเลียงน้ำมันเพื่อให้ความร้อนได้แสดงไว้ใน รูปที่ 4.29

รูปที่ 4.29 ปั๊มและสายยางซิลิโคนทนความร้อน

ชุดระบบลำเลียงน้ำมันซิลิโคนจะประกอบด้วยถังบรรจุขนาด 8 ลิตร ติดตั้งอยู่ด้านล่างของโครงสร้างหลัก ด้านบนของถังน้ำมันติดตั้งปั๊มน้ำเพื่อปั๊มน้ำมันซิลิโคนเข้าสู่ห้องน้ำมันข้างถังปฏิกรณ์ โดยทำการกดปุ่มที่ควบคุมการทำงานของปั๊มค้างไว้ ระบบจะเปิดการทำงานของโซลินอยด์ น้ำมันจะไหลจากถังเก็บเข้าไปในห้องน้ำมันจนเต็มถัง แต่ถังปฏิกรณ์ดังกล่าวเป็นถังปิดไม่สามารถมองเห็นภายในได้ เราจึงต้องปั๊มน้ำมันให้ล้นออกมานอกถัง โดยทางออกของสายน้ำมันจะมีท่อขนาดความโต 2 นิ้ว เชื่อมต่อกับสามทางเมื่อทำการปั๊มน้ำมันเข้าถังสามทางตัวนี้

จะถูกปิดไว้ เมื่อมีน้ำมันล้นออกมาจากถังปฏิกรณ์เราจะสามารถเห็นน้ำมันที่ล้นออกมาได้จากท่อยางสีใส เมื่อเห็นระดับน้ำมันบริเวณที่นี้ก็จะทำการปล่อยมือออกจากปั๊ม เมื่อทำงานแล้วเสร็จและต้องการให้น้ำมันกลับสู่ถังก็ทำการปล่อยกลับโดยบิดวาล์วเพื่อเปิดสามทางน้ำมันซิลิโคนก็จะไหลคืนสู่ถังบรรจุอีกครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 4.30

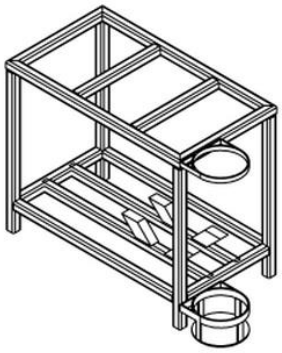


รูปที่ 4.30 ชุดระบบลำเลียงน้ำมัน

ชุดโครงสร้างหลัก

ชุดโครงสร้างหลัก เป็นโครงสร้างที่ใช้รองรับอุปกรณ์ต่างๆที่ได้ทำการออกแบบไว้ไม่ว่าจะเป็นปั๊มสุญญากาศ ปั๊มน้ำมันซิลิโคน ถังก๊าซอาร์กอน ถังปฏิกรณ์ ตู้ควบคุมและส่วนประกอบอื่นๆอีกมากมาย ดังนั้นจึงต้องสามารถรับน้ำหนักดังกล่าวได้ เบื้องต้นความว่าโครงสร้างจะเป็นโครงสร้างฐานเหล็กกล่องขนาด 1 ¼" × 1 ¼" × 3/32 นิ้ว หนา 2.2 มิลลิเมตร ส่วนตู้ทำการ

สังเคราะห์กรดพอลิแลคติกจะทำเป็นตู้อะคริลิคใสสามารถมองเห็นภายในได้ชัดเจน เนื่องจากต้องทำการสังเคราะห์ภายใต้ชั้นบรรยากาศอาร์กอน และเพิ่มความแข็งแรงด้วยกรอบอะลูมิเนียมและยึดแน่นด้วยสกรูขนาดต่างๆ ดังรูปที่ 4.31 ขึ้นรูปโดยการตัดและเชื่อมขึ้นรูปตามแบบในภาคผนวก ก



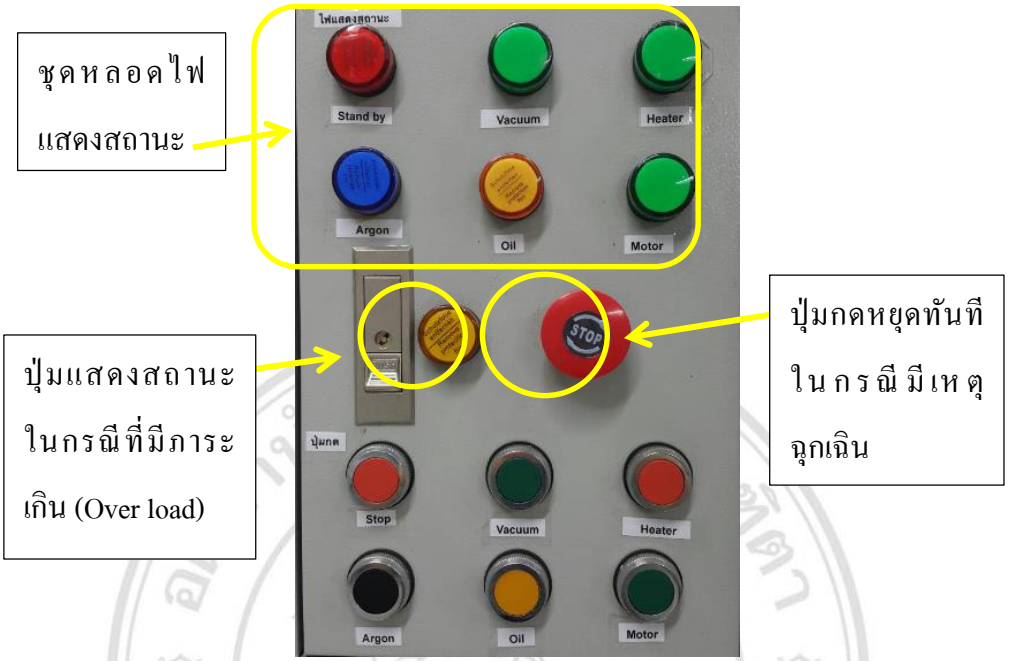
รูปที่ 4.31 ชุดโครงสร้างหลัก

ชุดควบคุมระบบการทำงานและหน้าจอแสดงผล

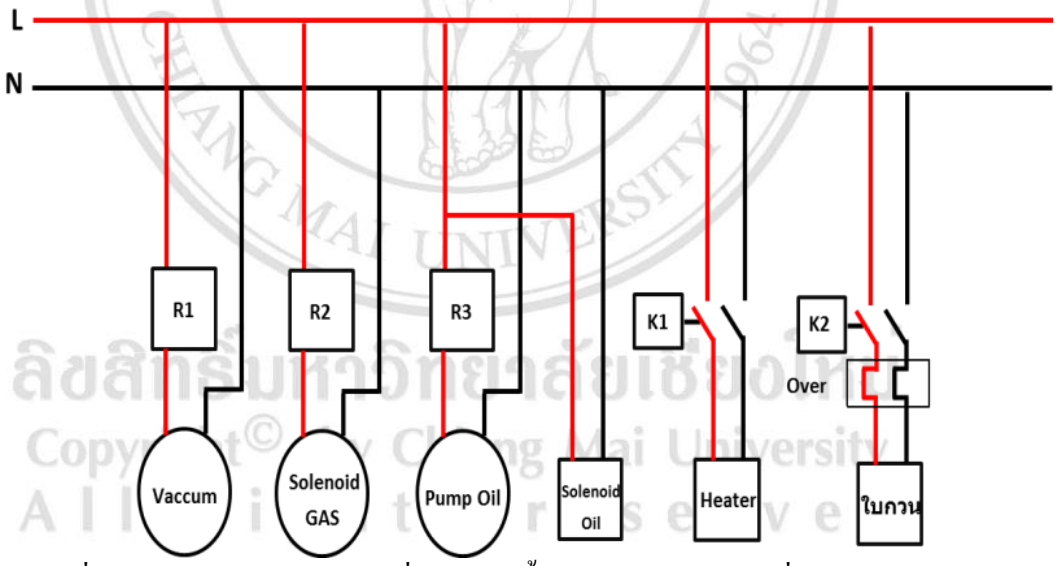
ชุดควบคุมระบบการทำงานและหน้าจอแสดงผล ขั้นตอนสุดท้ายของการทำงานในการออกแบบและพัฒนาถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปพลาสติกชีวภาพที่สังเคราะห์ได้ คุณสมบัติเชิงกลของพลาสติกชีวภาพ ก็คือการควบคุณอุปกรณ์ทั้งหมดให้เป็นไปตามที่ต้องการ เริ่มจากอันดับแรกดูดอากาศออกจากตู้ก่อน จากนั้นปล่อยให้ก๊าซอาร์กอนไหลเข้ามาแทนที่ จากนั้นปั๊มน้ำมันซิลิโคนเข้าไปในถังปฏิกรณ์ด้านนอก ให้ความร้อนกับอุปกรณ์ให้ความร้อนและสั่งให้ใบกวนทำงานเมื่อกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชั่นใกล้เสร็จสมบูรณ์ แลคไทด์จะเริ่มแข็งตัวเมื่อแรงบิดของมอเตอร์ไม่สามารถต้านทานพอลิเมอร์ได้ ระบบจะทำการตัดกระแสไฟทั้งหมด เป็นอันเสร็จสิ้นกระบวนการสังเคราะห์กรดพอลิแลคติกแบบกะหนึ่งกะ และในรูปที่ 4.33 และ 4.34 ได้แสดงวงจรกำลังและวงจรควบคุมไว้ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ชุดควบคุมระบบการทำงานและหน้าจอแสดงผลมีขั้นตอนของการทำงานดังต่อไปนี้

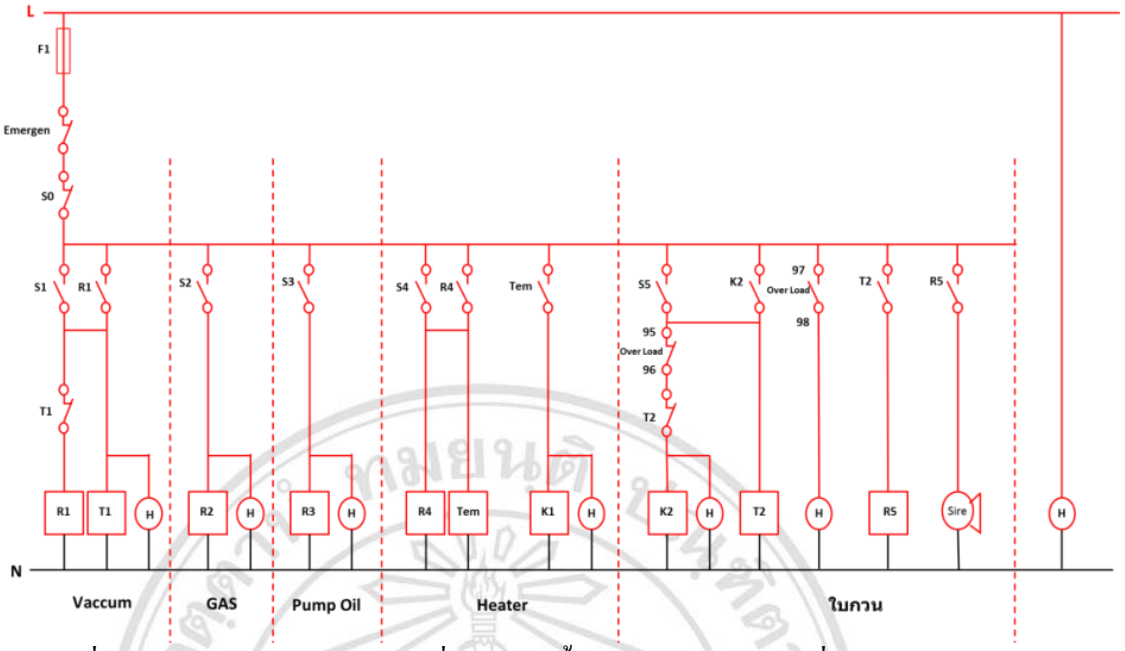


รูปที่ 4.32 ชุดควบคุมระบบการทำงาน



รูปที่ 4.33 วงจรกำลังถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปพลาสติกชีวภาพที่สังเคราะห์ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.34 วงจรควบคุมถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปพลาสติกชีวภาพที่สังเคราะห์ได้

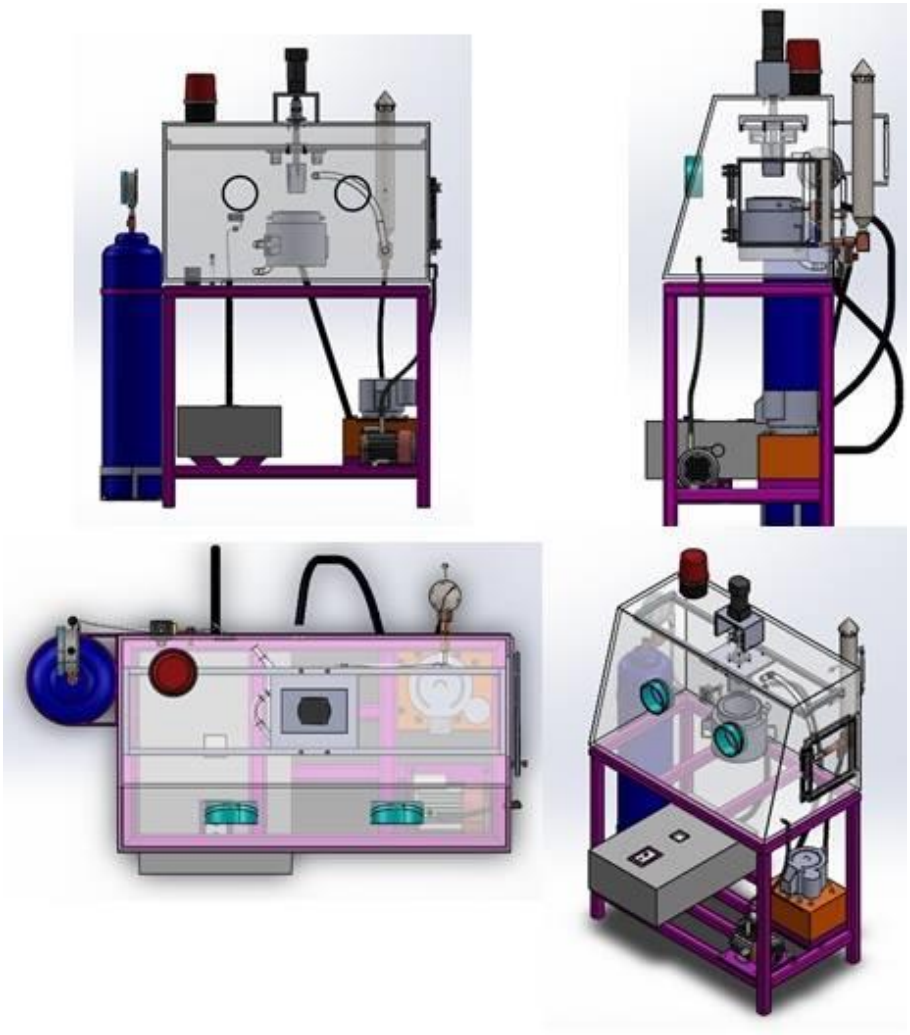
จาก รูปที่ 4.34 คือไดอะแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของถังปฏิกรณ์สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. เมื่อเสียบปลั๊กป้อนกระแสไฟเข้าไปในระบบ ผ่านฟิวส์กระแสไฟพร้อมที่จะเข้าระบบ
2. ทำการหมุน Emergency Switch ให้กระแสไฟเข้าไปในระบบ (เมื่อกดปุ่มลงกระแสไฟฟ้าจะตัดการทำงานทันที ทั้งระบบ)
3. Switch S0 สีแดงเป็นการหยุดการทำงานชั่วขณะ เมื่อกดปุ่มสั่งงานใหม่ก็จะสามารถทำงานได้ตามเดิม
4. เมื่อกดปุ่ม Vacuum Switch S1 สั่งการให้ Coil Relay ตัวที่ 1 ทำงานทำให้ปั๊มสุญญากาศเริ่มดูดอากาศออกจาก Chamber ในขณะที่ Switch Timer T1 สั่งงานให้ Coil Timer 1 เริ่มนับเวลาที่ได้ตั้ง เอาไว้ และส่งสัญญานให้ Pilot Lamp สีเขียวทำงาน ในส่วนของ Switch R1 เป็น Contact Interlock ทำการติดตั้งเพื่อให้ Coil Relay ตัวที่ 1 สัมผัสตลอดเวลาการทำงานจนกว่าวงจรการทำงานจะสิ้นสุดหากที่ไม่มี Contact Interlock การทำงานจะหยุดทันทีเมื่อปล่อยมือออกจากปุ่มกด
5. เมื่อกดปุ่มอาร์กอน Switch S2 จะสั่งการให้ Coil Relay ตัวที่ 2 ทำงานทำให้ซิลินอยด์วาล์วปล่อยก๊าซอาร์กอนไหลเข้าสู่ Chamber และส่งสัญญานให้ Pilot Lamp สีน้ำเงินทำงาน Coil Relay ตัวที่ 2 ไม่มี Contact Interlock แสดงว่าต้องกดปุ่มตลอดระยะเวลาการทำงาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

6. เมื่อกดปุ่ม Oil Switch S3 จะสั่งการให้ Coil Relay ตัวที่ 3 ทำงานทำให้ปั๊มน้ำมันทำงานและซิลินอยด์วาล์วปล่อยน้ำไหลเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ในส่วนที่เป็นห้องน้ำมัน และส่งสัญญานให้ Pilot Lamp สีเหลืองในส่วนของไฟแสดงสถานะทำงาน Coil Relay ตัวที่ 3 ไม่มี Contact Interlock แสดงว่าต้องกดปุ่มตลอดระยะเวลาการปั๊มซิลิโคนออยล์เข้าถัง
7. เมื่อกดปุ่ม Heater Switch S4 จะสั่งการให้ Coil Relay ตัวที่ 4 ทำงานจะทำให้ฮีตเตอร์ร้อนขึ้น Switch S4 มี Contact Interlock กดปุ่มเพียงครั้งเดียวจะทำงานตลอดเวลาจนกว่าจะได้รับสัญญานจาก Temperature Control ซึ่งต่อร่วมกันกับชุด Thermocouple ที่มี Magnetic Contactor เป็นตัวตัดและต่อวงจรการทำงาน และส่งสัญญานให้ Pilot Lamp สีเขียวเอง
8. เมื่อกดปุ่ม Motor Switch S5 จะสั่งการให้ Coil Magnetic K2 ทำงาน โดยมี Contact Interlock K2 ล็อคการทำงานไว้ และสั่งการทำงานให้ Coil Timer 2 ทำงานตามเวลาที่ตั้งไว้ โดย Overload 95,96 ปกติปิด และส่งสัญญานให้ Pilot Lamp สีเขียวแสดงการทำงานของการกวนสาร แต่เมื่อการทำงานขัดข้องหรือกำลังที่ใช้ในการหมุนใบกวนเกินกว่าที่กำหนดไว้ Overload 97,98 ปกติเปิดจะทำงานและส่งสัญญานให้ Pilot Lamp สีเหลืองทำงานทำให้ใบกวนหยุดหมุน
9. เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการตามเวลาที่ได้ตั้งไว้ Switch T2 จะสั่งการให้ Coil Relay ของไซเรนทำงาน ส่งสัญญาณไฟไซเรนทำงาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.35 ถังปฏิกรณ์ที่ได้รับการพัฒนามาจากห้องปฏิบัติการ

4.3 ผลการทดลองกรดพอลิแลคติกที่สังเคราะห์ได้จากถังปฏิกรณ์ต้นแบบในระดับห้องปฏิบัติการและถังปฏิกรณ์ที่ได้รับการพัฒนา

เมื่อได้ทำการทดลองการสังเคราะห์กรดพอลิแลคติก ได้นำผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้คือ กรดพอลิแลคติก (PLA) โดยนำ PLA มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC การวัดค่าพลังงานความร้อนของกรดพอลิแลคติก เพื่อศึกษาคุณสมบัติของกรดพอลิแลคติกที่สังเคราะห์ได้ วิเคราะห์ด้วยเทคนิค GPC (Gel permeation Chromatography) เพื่อหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์

4.3.1 ผลการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์กรดพอลิแลคติกทั้งสองถังปฏิกรณ์ จากการจับเวลาในการสังเคราะห์กรดพอลิแลคติกตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมสารตั้งต้น ชั่งตวงสารริเริ่มทำปฏิกิริยา และทำการพอลิเมอร์ไรเซชัน ดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 จะพบว่าการสังเคราะห์ด้วยถังปฏิกรณ์ต้นแบบในระดับห้องปฏิบัติการใช้เวลาในการสังเคราะห์ไม่ต่างกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มานักกับถังปฏิกรณ์แบบใหม่ที่ได้รับการพัฒนามาจากต้นแบบเดิม ถึงแม้ว่าถังปฏิกรณ์แบบใหม่ที่ได้รับการพัฒนาจะใช้เวลาสั้นกว่าไม่มากนัก แต่การนำกรดพอลิแลคติกออกจากถังปฏิกรณ์ไม่ต้องทำลายถังปฏิกรณ์เมื่อเทียบกับการสังเคราะห์แบบเดิมในระดับห้องปฏิบัติการ และการเตรียมเครื่องอุปกรณ์ในการสังเคราะห์นั้นมีความสะดวกมากขึ้น

ตารางที่ 4.1 แสดงเวลาในการใช้สังเคราะห์กรดพอลิแลคติกในระดับห้องปฏิบัติการ

ขั้นตอน	**ระยะเวลาที่ใช้ (นาที)**
ติดตั้งอุปกรณ์	15
ดูดอากาศออกจากถังปฏิกรณ์ก่อน – หลังการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา	5
ให้ความร้อนจนถังปฏิกรณ์มีอุณหภูมิตามต้องการ	8
แลคไทด์ละลายจนหมด	35
การทำงานของแท่งแม่เหล็กกวนสารเมื่อแลคไทด์ละลายจนกระทั่งทิ้งไว้ให้แข็งตัว	26
พอลิเมอไรเซชันต่อ	2,880
รวม	**2,969**

ตารางที่ 4.2 แสดงเวลาในการใช้สังเคราะห์กรดพอลิแลคติกในถังปฏิกรณ์ที่ได้รับการพัฒนา

ขั้นตอน	**ระยะเวลาที่ใช้ (นาที)**
เตรียมอุปกรณ์	20
เติมสารตั้งต้น	5
ให้ความร้อนแก่ผลึกภายในถังปฏิกรณ์ (ไม่หมุนใบพัด)	10
หมุนใบพัด	25
พอลิเมอไรเซชันต่อ	2,880
รวม	**2,940**

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.2 ผลการทดลองการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GPC

จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GPC โดยเครื่องมือที่ใช้ทดสอบคือ Waters e2695 separations modules และสภาวะที่ใช้ทดสอบดังนี้

- ตัวทำละลาย (Eluent) : Tetrahydrofuran (THF)
- อัตราการไหล (Flow rate) : 1.0 ml/min
- ปริมาณการฉีด (Injection Volume) : 100 µl
- อุณหภูมิ (Temperature) : 35°C
- Column set : PL gel 10 µm mixed B 2 columns
- Polymer standard : Polystyrene
- Calibration Method : Polystyrene standard calibration (2,930 - 1,390,000)
- Detector : Model 3580 Refractive Index (RI) Detector

จากผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักโมเลกุลตามจำนวน ($\overline{M}_n$) ของกรดพอลิแลคติกที่อยู่ก้นของถังปฏิกรณ์และขอบบนของถังปฏิกรณ์มีค่าเท่ากันคือ 2.1×10^4 กรัมต่อโมล ค่าเฉลี่ยน้ำหนักโมเลกุลตามจำนวนที่สังเคราะห์ได้ในระดับห้องปฏิบัติการมีค่า 3.9×10^4 กรัมต่อโมล ซึ่งกรดพอลิแลคติกที่สังเคราะห์ได้จากถังปฏิกรณ์ที่ได้รับการพัฒนายังมีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ยน้ำหนักโมเลกุลตามจำนวนที่สังเคราห์ได้ในระดับห้องปฏิบัติการ แต่เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยน้ำหนักโมเลกุลตามจำนวนที่จำหน่ายในท้องตลาดจากบริษัท Sigma-Aldrich จำกัด ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักโมเลกุลตามจำนวนขั้นต่ำที่จำหน่ายเท่ากับ 5,000 กรัมต่อโมล กรดพอลิแลคติกที่สังเคราะห์ได้มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักโมเลกุลตามจำนวนมากว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่วางจำหน่าย และการกระจายของน้ำหนักโมเลกุล (Polydispersity) ไม่ควรเกิน 1.8 ซึ่งกรดพอลิแลคติกที่อยู่ก้นของถังปฏิกรณ์และขอบบนของถังปฏิกรณ์ที่สังเคราะห์ได้มีค่า 1.13 และ 1.15 ตามลำดับ ยังไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ ค่าเฉลี่ยน้ำหนักโมเลกุลตามน้ำหนัก ($\overline{M}_w$) เป็นค่าที่ให้ความสำคัญกับน้ำหนักของกลุ่มพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักเท่ากัน ซึ่งค่าที่ได้จากการวิเคราะห์กรดพอลิแลคติกที่อยู่ก้นของถังปฏิกรณ์และขอบบนของถังปฏิกรณ์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.4×10^4 และ 2.5×10^4 กรัมต่อโมล ตามลำดับ วิธีการที่ใช้สังเคราะห์ในงานวิจัยนี้คือการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบเปิดวง ซึ่งวิธีการนี้จะให้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักโมเลกุลที่สูง ($\overline{M}_w$ > 100,000 g/mol) ก่อนการสังเคราะห์พอลิเมอร์สารตั้งต้นคือแลคไทด์มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ระหว่าง 1,000 – 5,000 g/mol เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยน้ำหนักโมเลกุลของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ถือว่า ค่าเฉลี่ยน้ำหนักโมเลกุลตาม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

น้ำหนักของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้มีค่าต่ำมาก และเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยน้ำหนักโมเลกุลตามน้ำหนักในระดับในห้องปฏิบัติการที่มีค่าเท่ากับ 5.6×10^4 กรัมต่อโมล ก็ยังต่ำเช่นกัน จากค่าเฉลี่ยน้ำหนักโมเลกุลชี้ให้เห็นว่า ถังที่ได้ออกแบบพัฒนามาจากถังปฏิกรณ์ในระดับห้องปฏิบัติการยังมีการทำงานที่ไม่สมบูรณ์ มีข้อบกพร่อง ทำให้ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักโมเลกุลมีค่าที่ต่ำ

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักโมเลกุลของ PLA จากถังปฏิกรณ์ในระดับห้องปฏิบัติการด้วยเทคนิค GPC

ชื่อตัวอย่าง	$\bar{M}_n$ (กรัมต่อโมล)	$\bar{M}_w$ (กรัมต่อโมล)	Polydispersity
PLA ณ ห้องปฏิบัติการ	3.9×10^4	5.6×10^4	1.43

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักโมเลกุลของ PLA จากถังปฏิกรณ์ที่ได้รับการพัฒนาด้วยเทคนิค GPC

ชื่อตัวอย่าง	$\bar{M}_n$ (กรัมต่อโมล)	$\bar{M}_w$ (กรัมต่อโมล)	Polydispersity
PLA crude ก้น	2.1×10^4	2.4×10^4	1.13
PLA crude ขอบ	2.1×10^4	2.5×10^4	1.15

4.3.3 ผลการทดลองเปรียบเทียบการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC

จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางความร้อนของกรดพอลิแลคติกที่สังเคราะห์ได้ ผลจากการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.5 ค่าพลังงานที่เปลี่ยนแปลงด้วยกระบวนการดูดพลังงาน (Endothermic) เพื่อสลายพันธะจากสถานะของแข็งเปลี่ยนเป็นของเหลว จะพบว่าจุดที่อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ของ PLA ณ ห้องปฏิบัติการมีค่า 59.80 องศาเซลเซียส สำหรับ PLA ที่ได้จากถังปฏิกรณ์ที่ได้รับการพัฒนาจะได้ถูกแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่อยู่ติดกับก้นของถังปฏิกรณ์มีค่า 55.92 องศาเซลเซียส ผลที่ได้สอดคล้องกับข้อมูลอ้างอิงว่าค่า T_g มีค่าอยู่ในช่วง 50.0 – 65.0 องศาเซลเซียส (Martin, 2001) (Södergård, 2002) (Middelton, 2000) แต่ส่วนที่อยู่ติดขอบถังปฏิกรณ์เมื่อทำการวิเคราะห์แล้วไม่พบค่าของ T_g และจุดหลอมของ PLA ณ ห้องปฏิบัติการครั้งแรกและครั้งที่ 2 มีค่า 168.2 องศาเซลเซียส และ 167.6 องศาเซลเซียสตามลำดับ เมื่อเทียบกับจุดหลอมเหลวอ้างอิงแล้วมีความสอดคล้องกัน (120 – 178

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

องศาเซลเซียส) (Martin, 2001) (Södergård, 2002) (Middelton, 2000) และค่าจากการวัดทั้ง 2 ค่ามีความใกล้เคียง ส่วนจุดหลอมเหลวของ PLA ที่ได้จากถังปฏิกรณ์ที่ได้รับการพัฒนาแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่อยู่ติดกับก้นของถังปฏิกรณ์มีค่าจุดหลอมเหลวครั้งแรกและครั้งที่ 2 คือ 163.3 องศาเซลเซียส และ 170.3 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนที่อยู่ติดขอบถังปฏิกรณ์ค่าจุดหลอมเหลวครั้งแรกและครั้งที่ 2 คือ 165.0 องศาเซลเซียส และ 175.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อเทียบกับจุดหลอมเหลวอ้างอิงที่มีค่าจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 120 – 178 องศาเซลเซียส (Martin, 2001) (Södergård, 2002) (Middelton, 2000) จะพบว่าจุดหลอมเหลวครั้งแรกสอดคล้องกับค่าอ้างอิง แต่ค่าที่วัดได้เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในครั้งที่ 2 จุดหลอมเหลวที่วัดได้มีค่าเกินกว่าค่าอ้างอิง และค่าที่วัดได้ทั้งสองค่ามีความคลาดเคลื่อนจากกันมาก จากจุดนี้ชี้ให้เห็นว่าถังที่ได้รับการพัฒนานั้นยังมีการทำงานที่ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากว่าคุณสมบัติทางความร้อนของ PLA ที่ได้นั้นยังมีค่าเกินกว่าค่าอ้างอิง

ตารางที่ 4.5 คุณสมบัติทางความร้อนของ PLA จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC เปรียบเทียบกับข้อมูลอ้างอิง

ชื่อตัวอย่าง	**คุณสมบัติทางความร้อน**				
	T_g อ้างอิง	**T_g**	**T_m อ้างอิง**	**T_m**	
				1st	**2nd**
PLA crude ณ ห้องปฏิบัติการ	50.0 – 58.0	59.8	120 – 170	168.2	167.6
PLA crude ก้น		56.9		163.37	170.3
PLA crude ขอบ		-		165.0	175.5

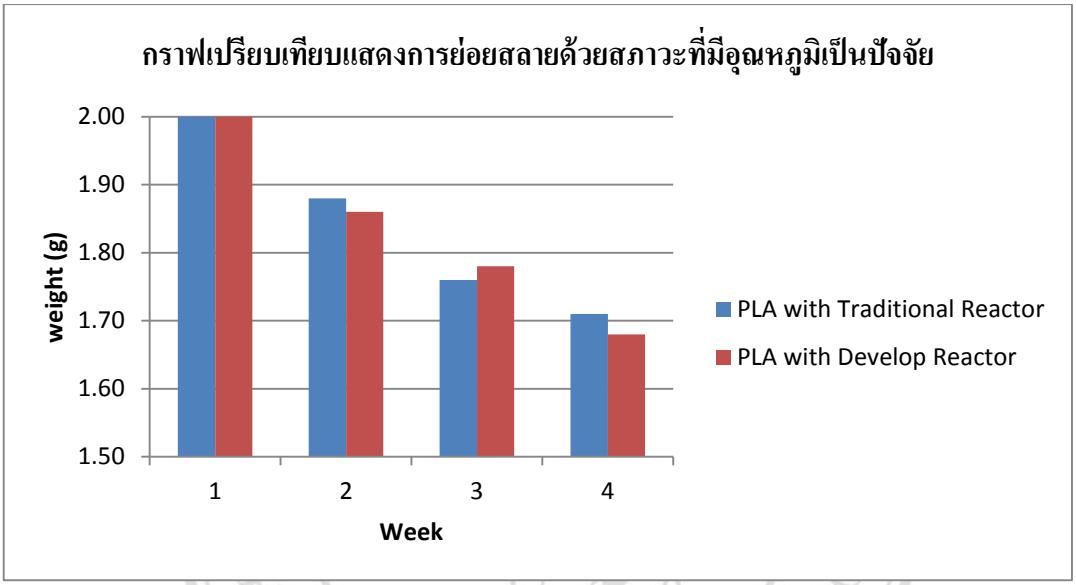
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4 การย่อยสลายของกรดพอลิแลคติก

เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการสังเคราะห์กรดพอลิแลคติก นำกรดพอลิแลคติกที่ได้จากถังปฏิกรณ์ในระดับห้องปฏิบัติและจากถังปฏิกรณ์ที่ได้รับการพัฒนาแล้ว มาทำการย่อยสลายในสภาวะแวดล้อมที่มีผลต่อการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพ 3 สภาวะ คือ

- a สภาวะที่ให้ความร้อนโดยตรงจากโคมไฟ 75 วัตต์ ตลอดเวลา และมีออกซิเจน
- b สภาวะที่มีความชื้นโดยการรดน้ำ 3 เวลา ครั้งละ 10 มิลลิลิตร และมีออกซิเจน
- c สภาวะที่มีออกซิเจนเพียงอย่างเดียว

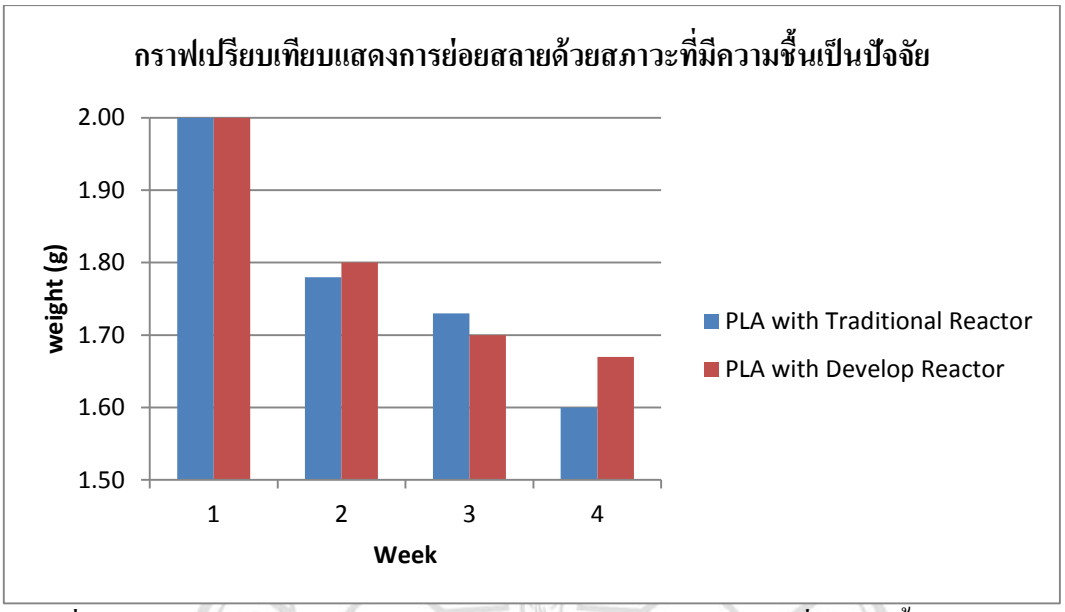
เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดลองการย่อยกรดพอลิแลคติกในสภาวะที่มีอุณหภูมิเป็นปัจจัย ดังรูปที่ 4.36 จะพบว่ากรดพอลิแลคติกมีน้ำหนักที่ลดลงในทุกๆ สัปดาห์ โดยเริ่มต้นจากน้ำหนัก 2 กรัม และอุณหภูมิจากโคมไฟ 75 วัตต์ตลอดการทดลองอยู่ในช่วง 30 – 35 องศาเซลเซียส สอดคล้องกับข้อมูลอ้างอิงที่อุณหภูมิในช่วง 25 – 35 องศาเซลเซียส เป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินที่พบทั่วไปในธรรมชาติ ทำให้คุณลักษณะทางกายภาพของกรดพอลิแลคติกเสียไป



รูปที่ 4.36 กราฟเปรียบเทียบแสดงการย่อยสลายของกรดพอลิแลคติกที่มีอุณหภูมิเป็นปัจจัย

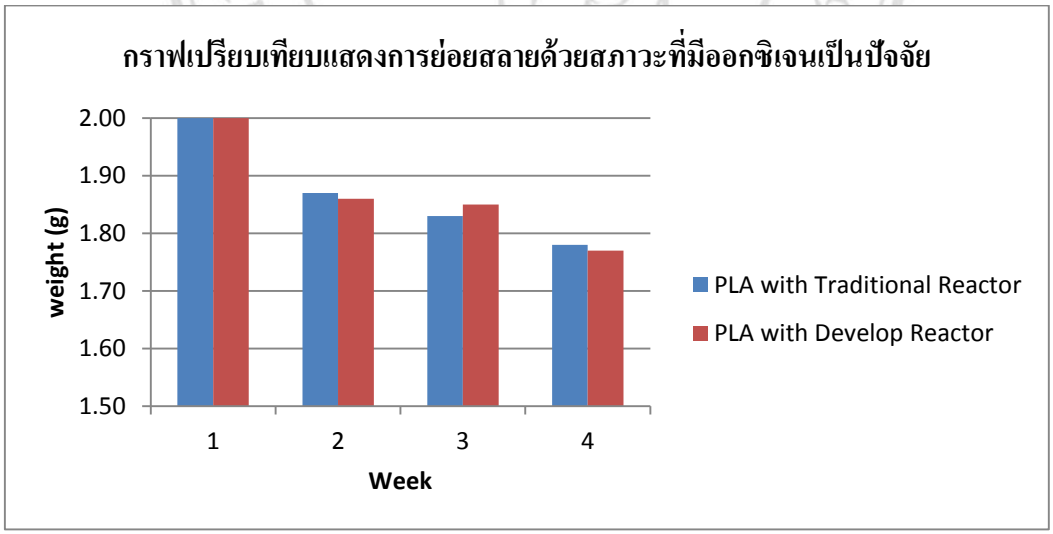
ในสภาวะที่มีความชื้นเป็นปัจจัยในการย่อยสลายกรดพอลิแลคติก ผลการทดลองที่ได้นั้นคือน้ำหนักของกรดพอลิแลคติกที่ทำการทดลองลดลงอย่างต่อเนื่องใน 4 สัปดาห์ ซึ่งสอดคล้องกับแหล่งข้อมูลอ้างที่ว่าความชื้นมีผลต่อการย่อยสลายของกรดพอลิแลคติก เนื่องจากความชื้นจากน้ำมีส่วนช่วยให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้ระหว่างกรดพอลิแลคติกที่สังเคราะห์จากถังปฏิกรณ์ในระดับห้องปฏิบัติการและถังปฏิกรณ์ที่ได้รับการพัฒนา จะพบว่ากรดพอลิแลคติกที่สังเคราะห์จากถังปฏิกรณ์ในระดับห้องปฏิบัติการมีการย่อยที่เร็วกว่าถังปฏิกรณ์ที่ได้รับการพัฒนา อาจมาจากสาเหตุว่าพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้นั้นยังมีคุณสมบัติที่ยังไม่ดีพอ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.37 กราฟเปรียบเทียบแสดงการย่อยสลายของกรดพอลิแลคติกที่มีความชื้นเป็นปัจจัย

ในสภาวะที่มีออกซิเจน ผลการทดลองที่ได้คือ น้ำหนักของกรดพอลิแลคติกมีแนวโน้มที่ลดลงเช่นเดียวกับทั้งสองสภาวะที่ได้กล่าวมาข้างต้น ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลอ้างอิงที่ว่า ออกซิเจนจำเป็นต่อการย่อยสลายของกรดพอลิแลคติก และมีการย่อยสลายที่เร็วกว่าการย่อยในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน



รูปที่ 4.38 กราฟเปรียบเทียบแสดงการย่อยสลายของกรดพอลิแลคติกที่มีออกซิเจนเป็นปัจจัย

4.5 การวิเคราะห์ต้นทุนของถังปฏิกรณ์

ทำการวิเคราะห์ต้นทุนของถังปฏิกรณ์ เพื่อเป็นทางเลือกในการตัดสินใจในการเลือกลงทุน ทำการวิเคราะห์ถังปฏิกรณ์ทั้งสองแบบ ดังนี้

4.5.1 วิเคราะห์ต้นทุนของถังปฏิกรณ์ในระดับห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 4.6 รายละเอียดต้นทุนการติดตั้งถังปฏิกรณ์จำลองในระดับห้องปฏิบัติการ

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคา/หน่วย (บาท/หน่วย)	จำนวนเงิน (บาท)
1	ชุดจำลองถังปฏิกรณ์				
	- จุดแก้วปิดขวด	1	อัน	2,183	2,183
	- ขาตั้งพร้อมข้อต่อ	1	อัน	240	240
	- แท่งแม่เหล็กกวนสาร	1	แท่ง	150	150
2	ชุดทำความร้อนและระบบอ่างน้ำมัน				
	- เครื่องกวนสารแบบให้ความร้อน	1	เครื่อง	13,000	13,000
	- อ่างน้ำมัน	1	อ่าง	325	325
	- แท่งแม่เหล็กกวนสาร	1	แท่ง	150	150
	- น้ำมันซิลิโคน	1	ลิตร	200	200
3	ชุดวัดอุณหภูมิ				
	- ปรอทวัดอุณหภูมิ	1	แท่ง	190	190
	- ขาตั้งพร้อมข้อต่อ	1	อัน	240	240
4	ชุดควบคุมความชื้น				
	- ตู้ควบคุมความชื้นภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน	1	เครื่อง	11,165	11,165
	- ซิลิกาเจล (สารดูดความชื้น)	3	ชุด	24	72
รวมทั้งสิ้น					**27,915**

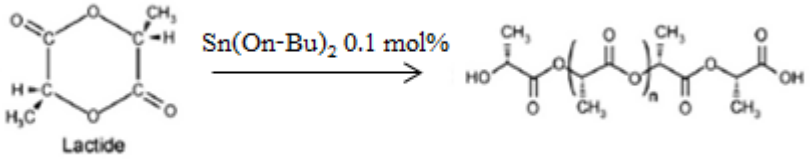
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.7 รายละเอียดสารตั้งต้นและสารริเริ่มปฏิกิริยา

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคา/หน่วย (บาท/หน่วย)	จำนวนเงิน (บาท)
1	สารตั้งต้นแลคไทด์มอนอเมอร์ (ขนาด 100 กิโลกรัม)	1	หน่วย	15,000	15,000
2	สารริเริ่มปฏิกิริยา (ขนาด 100 กรัม)	1	ถัง	918	918
รวมทั้งหมด					**15,918**

การคำนวณค่าใช้จ่ายสารตั้งต้นและสารริเริ่มปฏิกิริยา

ในการสังเคราะห์กรดพอลิแลคติกในระดับห้องปฏิบัติการ ใช้ขวดแก้วจำลองบรรจุสารตั้งต้นแลคไทด์มอนอเมอร์ 500 กรัม และในการสังเคราะห์กรดพอลิแลคติกใช้สารริเริ่มปฏิกิริยา ($Sn(On\text{-}Bu)_2$) 0.1 mol% ดังรูปที่ 4.39



รูปที่ 4.39 ปฏิกิริยาในการเกิดกรดพอลิแลคติก

ตารางที่ 4.8 ปริมาณสารตั้งต้นและสารริเริ่มปฏิกิริยา

สาร	น้ำหนักโมเลกุล (MW)	จำนวนโมล	จำนวน
แลคไทด์ มอนอเมอร์	144.13	3.469	500 กรัม
$Sn(On\text{-}Bu)_2$ 0.34 M	264.93	0.1 mol%	10.21 มิลลิลิตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คำนวณหาจำนวนโมลของแลคไทด์มอนอเมอร์

$$\text{mol} = \frac{\text{จำนวนกรัม}}{\text{น้ำหนักโมเลกุล}} = \frac{500}{144.13} = 3.469$$

คำนวณหาจำนวนที่ใช้สารริเริ่มปฏิกิริยา

แลคไทด์มอนอเมอร์	100	โมล	ใช้ $Sn(On\text{-}Bu)_2$	0.1	โมล
แลคไทด์มอนอเมอร์	3.469	โมล	ใช้ $Sn(On\text{-}Bu)_2$	$\frac{3.469 \times 0.1}{100}$	โมล
				$= 3.469 \times 10^{-3}$	โมล

และจากจำนวนโมลที่ได้ นำมาคำนวณค่าปริมาณที่ใช้ ความเข้มข้นของ $Sn(On\text{-}Bu)_2$ 0.34 M

ความเข้มข้นของ $Sn(On\text{-}Bu)_2$ 0.34 mol = 1000 ml.

ความเข้มข้นของ $Sn(On\text{-}Bu)_2$ 3.469×10^{-3} mol

$$= \frac{3.469 \times 10^{-3} \times 1000}{0.34} = 10.21 \text{ ml.}$$

จากปริมาณของสารริเริ่มที่ใช้สามารถนำมาคำนวณหาน้ำหนักได้ดังนี้

ความหนาแน่นของสารริเริ่ม ($Sn(On\text{-}Bu)_2$) = 1.251

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$1.251 = \frac{m}{10.21}$$

$$m = 1.251 \times 10.21$$

$$m = 12.77 \text{ กรัม}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในการสังเคราะห์กรดพอลิแลคติกสารตั้งต้นแลคไทด์มอนอเมอร์ 500 กรัม ใช้สารริเริ่มปฏิกิริยา 12.77 กรัม คิดเป็นเงินดังนี้

สารตั้งต้นแลคไทด์	100	กิโลกรัม	ราคา	15,000	บาท
ใช้สารตั้งต้นแลคไทด์	0.5	กิโลกรัม			
คิดเป็นเงิน	$\frac{0.5 \times 15,000}{100}$	=	75	บาท	

สารริเริ่มปฏิกิริยา 100 กรัม ราคา 918 บาท

ใช้สารริเริ่มปฏิกิริยา 12.77 กรัม

คิดเป็นเงิน $\frac{12.77 \times 918}{100}$ = 117.23 บาท

ดังนั้นค่าใช้จ่ายสารตั้งต้นและสารริเริ่มปฏิกิริยาคิดเป็นเงิน 75 + 117.23 = 192.23 บาท

การคำนวณค่าไฟฟ้า

ในการสังเคราะห์กรดพอลิแลคติกใช้เครื่องกวนสารแบบให้ความร้อน โดยเครื่องกวนสารแบบให้ความร้อนใช้มีกำลังไฟฟ้า 1,000 วัตต์ และเวลาที่ใช้เครื่องกวนสารแบบให้ความร้อนตั้งแต่เตรียมอ่างน้ำมันให้ได้มีอุณหภูมิตามที่ต้องการ จนกระทั่งปล่อยให้กรดแลคติกพอลิเมอไรเซชันเสร็จใช้เวลาทั้งสิ้น 2,949 นาที ระยะเวลาในการใช้ไฟฟ้าคือตั้งแต่กระบวนการให้ความร้อนแก่ถังปฏิกรณ์จนกระถึงกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (8 + 35 + 26 + 2,880) (ตารางที่ 4.1) อัตราค่ากระแสไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่หน่วยละ 3.5263 บาท ดังนั้น ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการสังเคราะห์กรดพอลิแลคติกครั้งนี้คิดเป็น

$$\text{ค่าไฟฟ้า} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้า} \times \text{ชั่วโมงการทำงาน} \times \text{ค่ากระแสไฟฟ้า}}{1{,}000}$$

$$= \frac{1{,}000 \text{ วัตต์} \times \frac{2{,}949}{60} \text{ ชั่วโมง} \times 3.5263 \text{ บาท}}{1{,}000}$$

$$= 173.32 \text{ บาท}$$

ดังนั้นจากข้อมูลที่วิเคราะห์ได้ ต้นทุนคงที่ คือ ต้นทุนในการติดตั้งถังปฏิกรณ์จำลองในห้องปฏิบัติการ 27,915 บาท และ ค่าไฟฟ้าในการสังเคราะห์ 173.32 บาท รวม 28,088.32 บาท ต้นทุนผันแปร (ต่อหน่วย 500 กรัม) คือ ค่าวัตถุดิบในการสังเคราะห์ 192.23 บาท และ ค่าขวดชมพู่ 590 บาท รวม 782.23 บาท

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.5.2 วิเคราะห์ต้นทุนของถังปฏิกรณ์ที่ได้รับการพัฒนา

ตารางที่ 4.9 รายละเอียดต้นทุนวัสดุในการสร้างถังปฏิกรณ์ที่ได้รับการพัฒนา

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคา/หน่วย (บาท/หน่วย)	จำนวนเงิน (บาท)
1	โครงสร้าง				
	- โครงอะลูมิเนียมโปรไฟล์ขนาด 20x20 มิลลิเมตร	12	เมตร	300	3,600
	- ฝาครอบโครงอะคริลิค	2	แผ่น	2,500	5,000
	- ท่อยางลม	30	เมตร	120	3,600
2	ถังปฏิกรณ์				
	- ถังสเตนเลสชั้นในหนา 2 มิลลิเมตร ความจุ 1 ลิตร	1	แผ่น	300	300
	- ถังสเตนเลสชั้นนอกหนา 2 มิลลิเมตร ความจุ 1 ลิตร	1	แผ่น	400	400
	- ฝาปิดก้นถังสเตนเลสปั๊มนูนหนา 2 มิลลิเมตร	2	ตัว	750	750
	- ข้อต่อท่อส่งน้ำมันสเตนเลส	2	ตัว	100	200
	- ฝาปิดบนถังกวนสเตนเลสหนา 20 มิลลิเมตร	1	ชุด	500	500
	- ฝาล็อคถังกวนสเตนเลสหนา 20 มิลลิเมตร	1	ชุด	800	800
	- O – RING	2	ชุด	200	400
	- ถุงมือกันความร้อน	2	คู่	1,500	3,000
	- ใบคนสารสเตนเลสทรงลิ่ม	1	ใบ	800	800
	- ฮีตเตอร์	1	ชุด	1,500	1,500

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.9 รายละเอียดต้นทุนวัสดุในการสร้างถังปฏิกรณ์ที่ได้รับการพัฒนา (ต่อ)

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคา/หน่วย (บาท/หน่วย)	จำนวนเงิน (บาท)
3	ระบบส่งกำลังก้านกวน - มอเตอร์ติดเกียร์ พร้อมสปีดคอนโทรล	1	ชุด	8,000	8,000
4	ระบบส่งน้ำมัน - ถังบรรจุหนา 3 มิลลิเมตร - ท่อส่งน้ำมัน - ปั๊มน้ำ - โซลินอยวาล์วกันกลับ	1 2 1 2	ชุด ชุด ตัว ตัว	1,500 500 3,000 1,500	1,500 1,000 3,000 3,000
5	ระบบสุญญากาศ - ถังเก็บสุญญากาศ - ปั๊มสุญากาศ - สายลม เกจวัดสุญญากาศ	1 1 1	ถัง ตัว ชุด	3,000 8,500 1,000	3,000 8,500 1,000
6	ระบบก๊าซเฉื่อย - ถังก๊าซอาร์กอน - เกจวัดปริมาณ สายก๊าซ - โซลินอยด์วาล์ว	1 1 1	ถัง ชุด ชุด	7,500 1,000 1,500	7,500 1,000 1,500
7	ระบบควบคุม	1	ชุด	45,000	45,000
รวมทั้งหมด					**105,600**

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.10 รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งถังปฏิกรณ์ที่ได้รับการพัฒนา

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคา/หน่วย (บาท/หน่วย)	จำนวนเงิน (บาท)
1	โครงสร้าง				
	- โครงอลูมิเนียมโปรไฟล์ ขนาด 20x20 มิลลิเมตร	12	เมตร	100	1,200
	- ฝาครอบโครงอะคริลิค	2	แผ่น	1,500	3,000
	- ท่อยางลม	30	เมตร	100	3,000
2	ถังปฏิกรณ์				
	- ถังสเตนเลสชั้นในหนา 2 มิลลิเมตร ความจุ 1 ลิตร	1	แผ่น	1,000	1,000
	- ถังสเตนเลสชั้นนอกหนา 2 มิลลิเมตร ความจุ 1 ลิตร	1	แผ่น	1,200	1,200
	- ฝาปิดก้นถังสเตนเลสปั๊มนูนหนา 2 มิลลิเมตร	2	ตัว	300	600
	- ข้อต่อท่อส่งน้ำมันสเตนเลส	2	ตัว	150	300
	- ฝาปิดบนถังกวนสเตนเลสหนา 20 มิลลิเมตร	1	ชุด	1,500	1,500
	- ฝาล็อคถังกวนสเตนเลสหนา 20 มิลลิเมต	1	ชุด	2,000	2,000
	- O – RING	2	ชุด	2,000	2,000
	- ถุงมือกันความร้อน	2	คู่	0	0
	- ใบกวนสาร	1	ใบ	500	1,000
	- ฮีตเตอร์	1	ชุด	1,500	1,500
				1,000	1,000

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.10 รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งถังปฏิกรณ์ที่ได้รับการพัฒนา (ต่อ)

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคา/หน่วย (บาท/หน่วย)	จำนวนเงิน (บาท)
3	ระบบส่งกำลังก้านกวน - มอเตอร์ติดเกียร์ พร้อมสปีดคอนโทรล	1	ชุด	5,000	5,000
4	ระบบส่งน้ำมัน - ถังบรรจุหนา 3 มิลลิเมตร - ท่อส่งน้ำมัน - ปั้มน้ำ - โซลินอยวาล์วกันกลับ	 1 2 1 2	 ชุด ชุด ตัว ตัว	 2,000 200 1,000 1,000	 2,000 400 1,000 1,000
6	ระบบก๊าซเฉื่อย - ถังก๊าซอาร์กอน - เกจวัดปริมาณ สายก๊าซ - โซลินอยด์วาล์ว	 1 1 1	 ถัง ชุด ชุด	 500 500 500	 500 500 500
7	เบ็ดเตล็ด	-	-	5,000	5,000
รวมทั้งหมด					**36,700**

ตารางที่ 4.11 รายละเอียดวัสดุและสารริเริ่มปฏิกิริยา

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคา/หน่วย (บาท/หน่วย)	จำนวนเงิน (บาท)
1	สารตั้งต้นแลคไทด์ (ขนาด 100 กิโลกรัม)	1	หน่วย	15,000	15,000
2	สารริเริ่มปฏิกิริยา (ขนาด 100 กรัม)	1	ถัง	918	918
รวมทั้งหมด					**15,918**

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การคำนวณค่าไฟฟ้า

ถังปฏิกรณ์ที่ได้รับการพัฒนา ใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ มอเตอร์ใช้ในการกวนพอลิเมอร์ภายในถังปฏิกรณ์ขนาด 90 วัตต์ ปั๊มสุญญากาศดูดอากาศภายในตู้ขนาด 1/3 แรงม้า ปั๊มดูดน้ำมันขนาด 1/8 แรงม้า และฮีตเตอร์ให้ความร้อนขนาด 1,500 วัตต์ เวลาที่ใช้มอเตอร์กวนสารภายใน 25 นาที ปั๊มสุญญากาศ 3 นาที ปั๊มดูดน้ำมัน 3 นาที และเวลาที่ฮีตเตอร์ทำงาน 2,890 นาที ระยะเวลาในการใช้ไฟฟ้าจากฮีตเตอร์คือกระบวนการให้ความร้อนแก่แก่ผลึกภายในถังปฏิกรณ์และกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (10 + 2,880) (ตารางที่ 4.2) อัตราค่ากระแสไฟฟ้าหน่วยละ 3.5263 บาท ดังนั้น ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการสังเคราะห์กรดพอลิแลคติกครั้งนี้คิดเป็น

$$\text{ค่าไฟฟ้า} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้า} \times \text{ชั่วโมงการทำงาน} \times \text{ค่ากระแสไฟฟ้า}}{1{,}000}$$

$$\text{ค่าไฟฟ้าของมอเตอร์} = \frac{90 \text{ วัตต์} \times \frac{25}{60} \text{ ชั่วโมง} \times 3.5263 \text{ บาท}}{1{,}000} = 0.13 \text{ บาท}$$

$$\text{ค่าไฟฟ้าของปั๊มสุญญากาศ} = \frac{(\frac{1}{3} \times 746) \text{ วัตต์} \times \frac{3}{60} \text{ ชั่วโมง} \times 3.5263 \text{ บาท}}{1{,}000} = 0.044 \text{ บาท}$$

$$\text{ค่าไฟฟ้าของปั๊มดูดน้ำมัน} = \frac{(\frac{1}{8} \times 746) \text{ วัตต์} \times \frac{3}{60} \text{ ชั่วโมง} \times 3.5263 \text{ บาท}}{1{,}000} = 0.016 \text{ บาท}$$

$$\text{ค่าไฟฟ้าของฮีตเตอร์} = \frac{1{,}500 \text{ วัตต์} \times \frac{2890}{60} \text{ ชั่วโมง} \times 3.5263 \text{ บาท}}{1{,}000} = 254.76 \text{ บาท}$$

รวมค่าไฟฟ้าทั้งหมด = 0.13 + 0.044 + 0.016 + 254.76 = 254.95 บาท

ดังนั้นจากข้อมูลที่วิเคราะห์ได้ ต้นทุนคงที่ทั้งหมด ได้แก่ ต้นทุนและค่าแรงที่ใช้ในการติดตั้งถังปฏิกรณ์ ค่าไฟฟ้าในการสังเคราะห์ รวม 142,554.95 บาท ต้นทุนผันแปร (ต่อหน่วย 1 กิโลกรัม) คือ ค่าวัตถุดิบในการสังเคราะห์ 384.46 บาท

จากข้อมูลต้นทุนข้างต้นของถังปฏิกรณ์ทั้งสองแบบ ได้ทำการเปรียบเทียบถังปฏิกรณ์ทั้งสองแบบด้วยจุดคุ้มทุน ได้ดังนี้

โดยกำหนดให้ X คือ จำนวนครั้งที่สังเคราะห์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ถังปฏิกรณ์ในระดับห้องปฏิบัติการกำลังการผลิต 500 กรัม

ราคาเครื่องจักร = 27,915 บาท

ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการสังเคราะห์ = 173.32 บาท

ราคาวัตถุดิบ = 192.23 บาท

ราคาขวดชมพู่ = 590 บาท

ต้นทุนทั้งหมด = ต้นทุนคงที่ + ต้นทุนผันแปร

= 27,915 + 173.32X + 192.23X + 590X

= 27,915 + 955.55X

ถังปฏิกรณ์ที่ได้รับการพัฒนา กำลังการผลิต 1 กิโลกรัม

ราคาเครื่องจักรรวมการติดตั้งอุปกรณ์ = 142,300 บาท

ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการสังเคราะห์ = 254.95 บาท

ราคาวัตถุดิบ = 384.46 บาท

ต้นทุนทั้งหมด = ต้นทุนคงที่ + ต้นทุนผันแปร

= 142,300 + 254.95X + 384.46X

= 142,300 + 639.41X

สมการทั้งสองอยู่ในรูปของค่า X จึงนำสมการทั้งสองมาเท่ากัน เพื่อแก้สมการหาค่าของ X ที่ทำให้ต้นทุนทั้งสองโครงการเท่ากัน และเนื่องจากว่าถังปฏิกรณ์ในระดับห้องปฏิบัติการต้องทำการสังคราะห์ 2 ครั้ง เพื่อให้ได้กำลังการผลิตที่เท่ากัน

27,915 + (2×955.55X) = 142,300 + 639.41X

27,915 + 1911.1X = 142,300 + 639.41X

1271.69X = 114,385

X = 89.95 = 90 ครั้ง

จากจำนวนครั้งที่สังเคราะห์ 90 ครั้ง นำมาคำนวณหาต้นทุนทั้งหมด แสดงดังนี้

ถังปฏิกรณ์ในระดับห้องปฏิบัติการ

ต้นทุนทั้งหมด = 27,915 + (2×955.55X)

= 27,915 + (2×955.55×90)

= 199,914 บาท

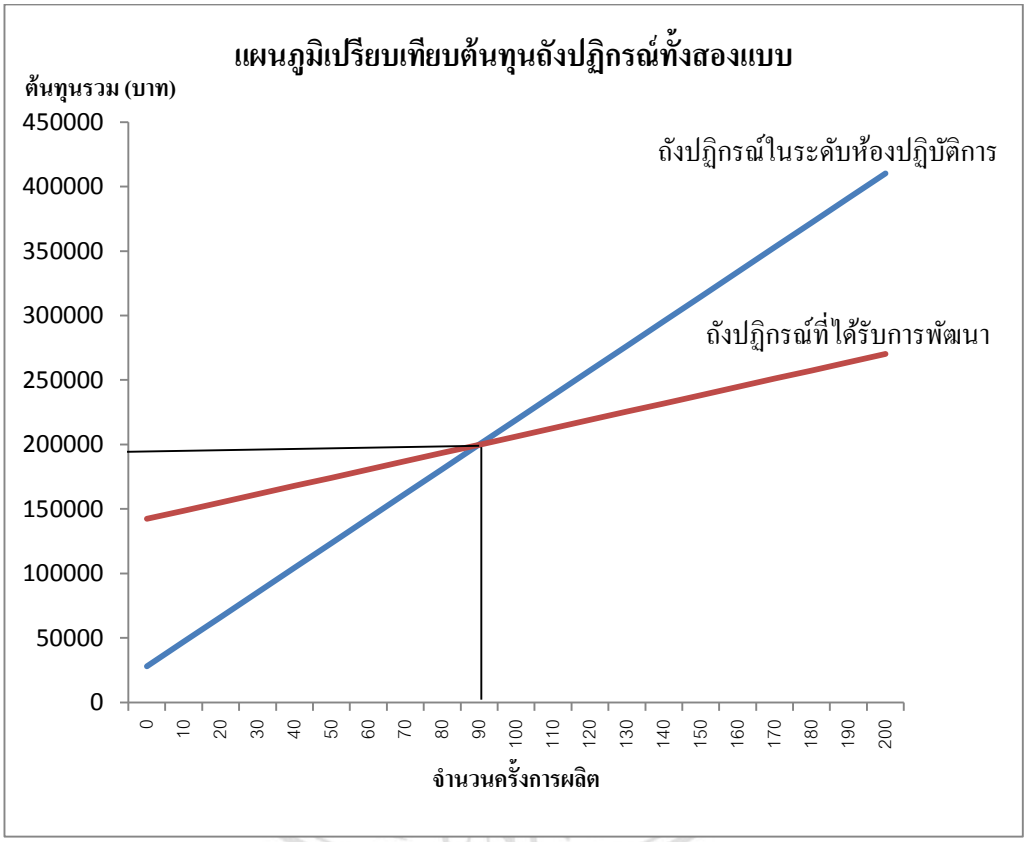
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ถังปฏิกรณ์ที่ได้รับการพัฒนา

ต้นทุนทั้งหมด = 142,300 + 639.41X

= 142,300 + (639.41×90)

= 199,846.90 บาท



รูปที่ 4.40 เปรียบเทียบต้นทุนถังปฏิกรณ์ทั้งสองแบบด้วยจุดคุ้มทุน

จากรูปที่ 4.40 การเปรียบเทียบต้นทุนถังปฏิกรณ์ทั้งสองแบบด้วยจุดคุ้มทุนจะพบว่า จำนวนครั้งในการสังเคราะห์ที่ต่ำกว่า 90 ครั้ง ถังปฏิกรณ์ที่ได้รับการพัฒนามีต้นทุนรวมที่สูงกว่า เพราะว่าต้นทุนคงที่ที่สูงกว่า แต่เมื่อสังเคราะห์มากกว่าจุดคุ้มทุนที่ 90 ครั้ง ถังปฏิรณ์ที่ได้รับการพัฒนามีต้นทุนรวมทีต่ำกว่าถังปฏิกรณ์ในระดับห้องปฏิบัติการ เพราะว่าต้นทุนผันแปรที่ต่ำกว่า ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อขวดชมพู่ทุกครั้งในการสังเคราะห์กรดพอลิแลคติก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.6 ข้อดี – ข้อเด่นของถังปฏิกรณ์ที่ได้รับการพัฒนา

ข้อดี – ข้อเด่นของถังปฏิกรณ์ที่ออกแบบและพัฒนาถังปฏิกรณ์เพื่อสังเคราะห์กรดพอลิแลคติก โดยมีต้นแบบจากถังปฏิกรณ์ในการสังเคราะห์กรดพอลิแลคติกจากห้องปฏิบัติการ มีดังนี้

1. ในการสังเคราะห์กรดพอลิแลคติกครั้งต่อไปนี้ ไม่ต้องทำลายถังปฏิกรณ์ทิ้ง อีกทั้งยังช่วยลดต้นทุนในการสังเคราห์ครั้งต่อไปได้ เพราะในการสังเคราะห์แบบเดิมในระดับห้องปฏิบัติการต้องทำลายขวดแก้วทิ้ง เพื่อนำกรดพอลิแลคติกที่สังเคราะห์ได้ออกมา
2. ปริมาณในการสังเคราะห์แต่ละครั้งสามารถสังเคราะห์ได้มากกว่าถังปฏิกรณ์ในห้องปฏิบัติการ จาก 500 มิลลิลิตร เพิ่มเป็น 1 ลิตร
3. ต้นทุนรวมของถังปฏิกรณ์ที่ได้รับการพัฒนามีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าถังปฏิกรณ์ในระดับห้องปฏิบัติการ เมื่อมีการสังเคราะห์ที่มากกว่าจุดคุ้มทุนไปแล้ว เนื่องจากว่าไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อขวดชมพู่ทุกครั้งในการสังเคราะห์
4. ความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานในการสังเคราะห์กรดพอลิแลคติก จะเห็นได้ว่าถังปฏิกรณ์แบบใหม่นี้ตัวถังปฏิกรณ์จะอยู่ภายในตู้อะคริลิคใส และตัวถังปฏิกรณ์ยังมีฉนวนป้องกันความร้อน โดยถังปฏิกรณ์แบบเดิมนั้นไม่มีอุปกรณ์ในการป้องกันความร้อนจากอ่างน้ำมัน หากน้ำมันที่ให้ความร้อนแก่ขวดแก้วเกิดการเดือด อาจเป็นอันตายแก่ผู้ปฏิบัติงานได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved