



การปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบไบโอรีแอคเตอร์โดยการสร้างปั๊มรีดท่อสายยางที่ควบคุมด้วย ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจำนวนมาก

Efficiency Improvement of Bioreactor System by Creating Peristaltic Pump which Microcontroller Controlled for Mass Micropropagation

อดินันท์ เจ๊ะซู¹, วุฒิชัย ศรีชว่ย¹, สุพัฒน์ ศรีสวัสดิ์¹, ฮาซัน ยาเติง¹, การ์มึ เมะเฮาะ¹

Adinan Jehsu¹, Wutthichai Srichuay¹, Supath Srisawat¹, Hasan Yadeng¹, Kareem Meahhoh¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพระบบไบโอรีแอคเตอร์แบบจุ่มชั่วคราว โดยการสร้างปั๊มรีดท่อสายยางที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ พบว่า การสร้างปั๊มรีดท่อสายยางซิลิโคนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอก 9 และ 13 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยลูกกลิ้งทำจากเบร็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร ความหนา 5 มิลลิเมตร จำนวน 2 ชิ้น และระยะบีบอัดระหว่างลูกกลิ้งกับฐานรองท่อสายยางเท่ากับ 2.6 มิลลิเมตร ให้ผลที่มีความเที่ยงตรงและอัตราการไหลของน้ำมีความสม่ำเสมอ ที่ค่าแรงดันไฟฟ้า 15 โวลต์ ส่งผลให้ได้ความเร็วรอบการหมุนสูงสุดตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา 195.92 และ 204.29 รอบต่อนาที ตามลำดับ และอัตราการไหลสูงสุดของลูกกลิ้งหมุนตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกาอยู่ที่ 1.42 และ 1.57 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ

คำสำคัญ: ระบบไบโอรีแอคเตอร์แบบจุ่มชั่วคราว ปั๊มรีดท่อสายยาง ไมโครคอนโทรลเลอร์

Abstract

This research aims to improve efficiency of temporary immersion bioreactor system by creating peristaltic pump which microcontroller controlled. The results showed that the inner and outer diameter of silicone tube are 9 and 13 mm, respectively. The diameter and thickness of two roller peristaltic pumps are 3 cm and 5 mm, respectively. The suitable distance between the roller and the housing is 2.6 mm at 15 volt were shown the best accuracy and steady flow rate. The highest clockwise and counterclockwise rotation velocity were 195.92 and 204.29 rpm, respectively. The flow rate of clockwise and counterclockwise were 1.42 and 1.57 Liters/min, respectively.

Keywords: Temporary Immersion Bioreactor System, Peristaltic Pump, Microcontroller

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

¹ Faculty of Science and Technology, Princess of Naradhiwas University



บทนำ

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ คือ การนำเอาส่วนใดส่วนหนึ่งของพืช ไม่ว่าจะเป็นอวัยวะเนื้อเยื่อเซลล์ หรือเซลล์ไม่มีผนังมาเลี้ยงในอาหารเลี้ยงสภาพปลอดเชื้อจุลินทรีย์ โดยการควบคุมอุณหภูมิและความคุมแสง เพื่อให้ได้พืชชนิดเดียวกันทั้งต้น เป็นการเพิ่มปริมาณสิ่งมีชีวิตหรือจุลินทรีย์ให้มีจำนวนมากขึ้นในช่วงเวลาอันสั้น เช่น การขยายพันธุ์พืชด้วยระบบของการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ โดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมี 2 แบบ คือ การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในอาหารแข็ง (Conventional Solid Medium Culture) เป็นอาหารแข็งที่มีส่วนผสมของวุ้น (agar) เช่น การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อตาหลา (อรุณี ม่วงแก้วงาม และสมปอง เตชะโต, 2559) อีกระบบหนึ่ง คือ การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในอาหารของเหลว (Liquid Medium Culture) เป็นอาหารที่ไม่มีวุ้นเป็นองค์ประกอบ ระบบการเพาะเลี้ยงแบบอาหารแข็ง มีข้อดีคือ เนื้อเยื่อพืชจะไม่เกิดความเสียหายจากปัญหาการฉ่ำน้ำ (Hyperhydricity) แต่มีข้อเสีย คือ ต้นพืชโตช้าและต้องเปลี่ยนอาหารใหม่โดยการย้ายเนื้อเยื่อจากขวดเก่าไปยังขวดใหม่ เพราะฉะนั้นโอกาสที่จะทำให้เกิดการปนเปื้อน (Contamination) จึงมีเปอร์เซ็นต์สูงมาก สำหรับระบบการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อแบบอาหารเหลว มีข้อดีกว่าระบบแรก คือ พืชจะโตได้เร็วกว่า แต่มีข้อเสียที่เนื้อเยื่อพืชเกิดปัญหาคือการฉ่ำน้ำบ่อยครั้ง เพราะต้องแช่ในอาหารเหลวเป็นเวลานาน วิธีการแก้ปัญหาคือการแช่ชิ้นส่วนพืชชั่วคราว หรือที่เรียกว่าระบบไบโอรีแอคเตอร์จุ่มชั่วคราว (Temporary Immersion Bioreactor, TIB) ระบบประกอบด้วยขวด 2 ใบ ที่เชื่อมต่อกัน ใช้แรงดันอากาศดันอาหารเหลวจากขวดหนึ่งไปยังอีกขวดหนึ่งที่มีชิ้นส่วนพืชอยู่ โดยให้ชิ้นส่วนพืชแช่ในอาหารเหลวเป็นเวลาชั่วคราว จากนั้นใช้แรงดันอากาศดันอาหารเหลวกลับสู่ขวดเดิม (Escalona, Lorenzo, Gonzalez, et al., 1999) ดังนั้นระบบไบโอรีแอคเตอร์ จึงสามารถควบคุมการปนเปื้อนเวลาทำงานขั้นตอนต่าง ๆ ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อได้ เช่น การตัดเนื้อเยื่อ การเปลี่ยนถ่ายอาหาร การเตรียมภาชนะและอุปกรณ์ต่างๆ การล้างทำความสะอาด ซึ่งส่งผลให้การใช้แรงงานในการทดลองลดลง อีกทั้งสามารถทำงานได้สะดวกและรวดเร็ว นอกจากนี้ความจุของภาชนะในระบบไบโอรีแอคเตอร์สามารถเพิ่มขึ้นได้ 4-5 เท่า จึงทำให้จำนวนต่อพื้นที่เพิ่มขึ้น และสามารถลดพื้นที่ของห้องเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อลงได้ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นระบบไบโอรีแอคเตอร์ จึงเป็นระบบการขยายพันธุ์พืชจำนวนมากในเวลาอย่างรวดเร็ว สามารถนำมาใช้ในระบบการผลิตต้นพืชระดับอุตสาหกรรมได้ (ธนกิจ แก่นเกษ, นพมณี โปบุญญานนท์ และจตุพงศ์ วาฤทธิ์, 2555) ระบบไบโอรีแอคเตอร์ประสบความสำเร็จในการขยายพันธุ์พืชเศรษฐกิจจำนวนมากโดยใช้ระยะเวลาที่สั้นลง เช่น กาแฟ (Etienne et al., 1997) สับปะรด (Escalona et al., 2003; Perez et al., 2004; Gonzalez et al., 2005) อ้อย (Lorenzo et al., 2001) และกล้วย (Escalant et al., 1994; Alvard et al., 1993) อย่างไรก็ตามการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อโดยวิธีนี้ต้องใช้ปั๊มแรงดันอากาศ (Suction pump) ซึ่งมีราคาแพง และอาจมีการปนเปื้อนของอากาศภายนอกสัมผัสกับของเหลวภายในระบบผ่านปั๊มแรงดันอากาศ ทั้งนี้ในงานด้านเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ ด้านการแพทย์ และด้านอุตสาหกรรมได้มีการนำปั๊มรีดท่อสายยาง (Peristaltic pump) มาใช้ (Klespitz & Kovacs, 2014) โดยปั๊มรีดท่อสายยาง เป็นเครื่องสูบลูกสูบชนิดของเหลว โดยอาศัยแรงกดของลูกสูบ เพื่อไล่อากาศภายในท่อสายยาง ทำให้ของไหลเคลื่อนที่จากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง โดยของเหลวจะไม่สัมผัสกับสิ่งใดนอกจากสายยาง จากการศึกษาการออกแบบและพัฒนาของปั๊มรีดท่อสายยาง พบว่าปั๊มรีดท่อสายยางแบบลูกสูบ 2 ชั้น ในแนวตั้งจะมีแรงเสียดทานของลูกสูบกับท่อสายยางต่ำ การออกแบบไม่ซับซ้อนสะดวกในการเปลี่ยนท่อสายยาง และมีการสิ้นเปลืองน้อย (Dhumal & Kadam, 2012)

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสร้างปั๊มรีดท่อสายยางมาแทนที่การใช้ปั๊มแรงดันอากาศกับระบบไบโอรีแอคเตอร์จุ่มชั่วคราว เพื่อแก้ปัญหาการฉ่ำน้ำที่เกิดขึ้นและความแม่นยำของเวลาในการให้อาหารเหลว อีกทั้งประหยัดค่าใช้จ่าย



วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบไบโอรีแอกเตอร์แบบจมชั่วคราว โดยใช้บ่มรีดท่อสายยางสำหรับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ
2. เพื่อทดสอบอัตราเร็วของลูกล่อ และอัตราการไหลของน้ำในท่อสายยาง ที่ระยะบีบอัดต่างๆ
3. เพื่อหาระยะบีบอัดระหว่างลูกล่อกับฐานรองท่อสายยางที่เหมาะสม

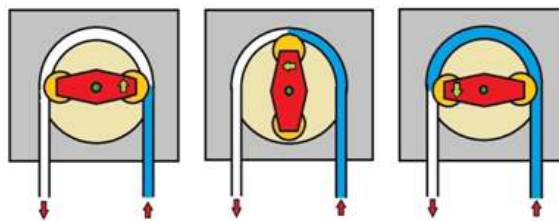
ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบไบโอรีแอกเตอร์ แบบจมชั่วคราว โดยใช้บ่มรีดท่อสายยางที่ควบคุมด้วยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ มีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังต่อไปนี้

1. ศึกษาข้อมูลและการออกแบบบ่มรีดท่อสายยาง

บ่มรีดท่อสายยาง คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เพิ่มพลังงานให้แก่ของไหล เพื่อทำให้ของไหลเคลื่อนที่จากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งที่อยู่สูงกว่า หรือในระนาบที่ไกลออกไป จึงถูกนำไปใช้กับงานได้หลากหลายรูปแบบและหลากหลายอุตสาหกรรม เนื่องจากเป็นบ่มที่ไม่มีส่วนใดของบ่มที่สัมผัสกับของเหลวในสายยางทำให้ไม่เกิดการปนเปื้อน (Contaminate) สามารถตั้งค่าปริมาตรที่ต้องการได้อย่างเที่ยงตรง (Precision) และสามารถตั้งค่าเวลาให้เครื่องทำงานซ้ำๆ ได้ เช่น การย้ายอาหารเหลว 400 มิลลิลิตร ในขวดที่ 1 ไปให้กับต้นพืชในขวดที่ 2 โดยตั้งเวลา 1 ชั่วโมง และการย้ายอาหารเหลวไปยังขวดที่มีต้นพืชแล้วแสรอาหารให้กับพืช 30 วินาที แล้วถ่ายอาหารเหลวกลับ เป็นต้น อีกทั้งสามารถเลือกชนิดของวัสดุที่นำมาทำสายยางให้มีคุณสมบัติที่ไม่ทำปฏิกิริยากับของเหลวในสายยางนั้นได้หลายรูปแบบ เช่น สายยางทนสารเคมี สายยางทนความร้อน สายยางทนแรงดันสูง สายยางทนแสง UV เป็นต้น

หลักการทำงานของเครื่องบ่มรีดท่อสายยาง คือ ตัวลูกล่อจะรีดสายยางเป็นช่วงๆ เพื่อผลักดันให้ของเหลวในสายยางเกิดการเคลื่อนที่ไปยังทิศทางที่ต้องการ โดยใช้แรงกดบีบบนสายยางที่อยู่ระหว่างลูกล่อ เมื่อลูกล่อพ้นจากสายยาง สายยางจะคืนตัวกลับสู่รูปร่างเดิม อัตราการไหลของเหลวภายในสายยางจะขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายยาง และอัตราเร็วการหมุนของลูกล่อ แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 หลักการทำงานของบ่มรีดท่อสายยาง

เมื่อลูกล่อบีบบนสายยาง ทำให้น้ำเคลื่อนที่ภายในสายยางจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ซึ่งมีอัตราการไหลของน้ำภายในท่อ (Dhumal & Kadam, 2012) ดังสมการ

$$Q = V \times N \times RPM \quad (1)$$

โดยที่	Q	คือ อัตราการไหลของน้ำ (มิลลิลิตรต่อนาที)
	V	คือ ปริมาตรของน้ำในท่อระหว่างแต่ละลูกล่อ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)
	N	คือ จำนวนลูกล่อ
	RPM	คือ ความเร็วรอบของลูกล่อ (รอบต่อนาที)

อีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญต่อการไหลของน้ำในท่อ คือ ระยะที่ถูกบีบอัดระหว่างลูกล่อกับฐานรองท่อสายยาง (Kim, Chae, Jung, & Kim, 2012) แสดงดังสมการ

$$y = ((2t - g) / 2t) \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ y คือ ร้อยละของช่องว่างภายในท่อสายยางที่ถูกบีบอัดระหว่างลูกล่อกับฐานรองท่อสายยาง

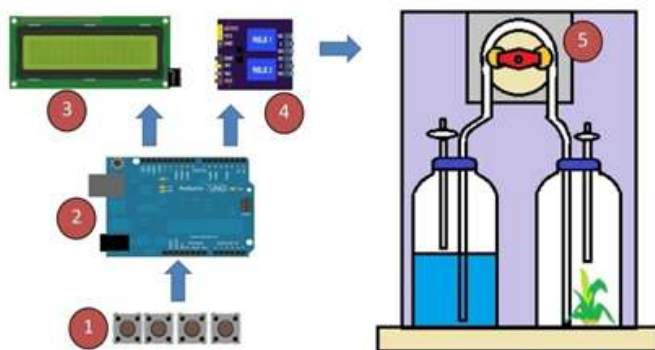
t คือ ความหนาของผนังท่อสายยาง (มิลลิเมตร)

g คือ ระยะบีบอัดระหว่างลูกล่อกับฐานรองท่อสายยาง (มิลลิเมตร)

โดยระยะบีบอัดมีผลต่อประสิทธิภาพการไหลของน้ำในท่อ รวมถึงอายุการใช้งานของท่อสายยาง จึงต้องกำหนดให้เหมาะสมต่อการใช้งาน

2. การทำงานของปั๊มรีดท่อสายยางควบคุมด้วยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

หลักการทำงานของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยใช้ปั๊มรีดท่อสายยางในการสูบน้ำสารอาหารไปเลี้ยงต้นพืชในขวด ซึ่งควบคุมด้วยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถกำหนดเวลาด้วยสวิตช์โดยแสดงผลเวลาบนหน้าจอแอลซีดี (LCD) และควบคุมมอเตอร์ของปั๊มรีดท่อสายยางด้วยรีเลย์ (ภาพที่ 2)

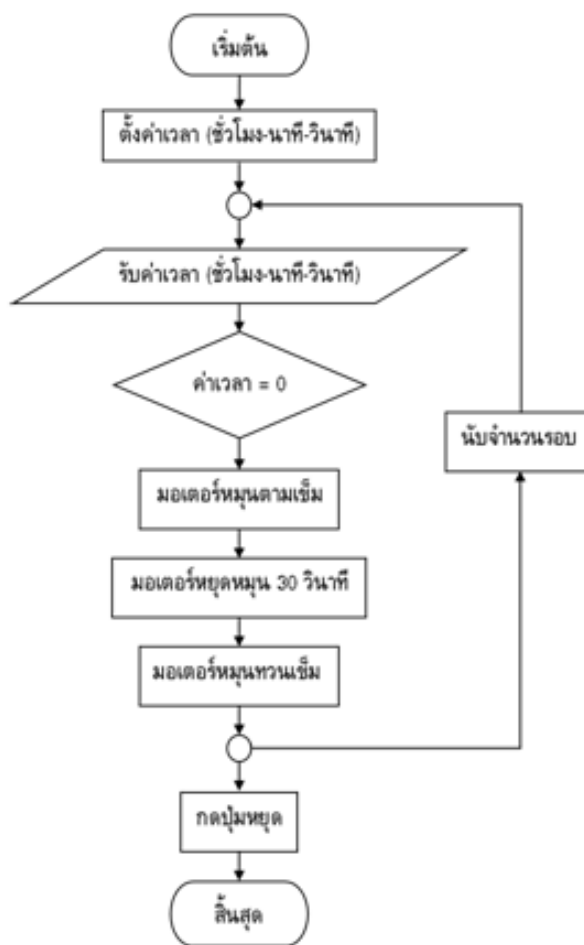


ภาพที่ 2 การทำงานของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้ปั๊มรีดท่อสายยางที่ควบคุมด้วยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

จากภาพที่ 2 ส่วนประกอบของระบบควบคุม

1. สวิตช์ตั้งเวลา
2. ไมโครคอนโทรลเลอร์
3. จอแสดงผลแอลซีดี
4. รีเลย์
5. มอเตอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ อุปกรณ์ที่ควบคุมระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้งหมด โดยการเขียนโปรแกรมควบคุมเวลาในการหมุนของมอเตอร์ปั๊มรีดท่อสายยาง และออกแบบโปรแกรมควบคุมแสดงผลแผนผังการทำงานดังภาพที่ 3

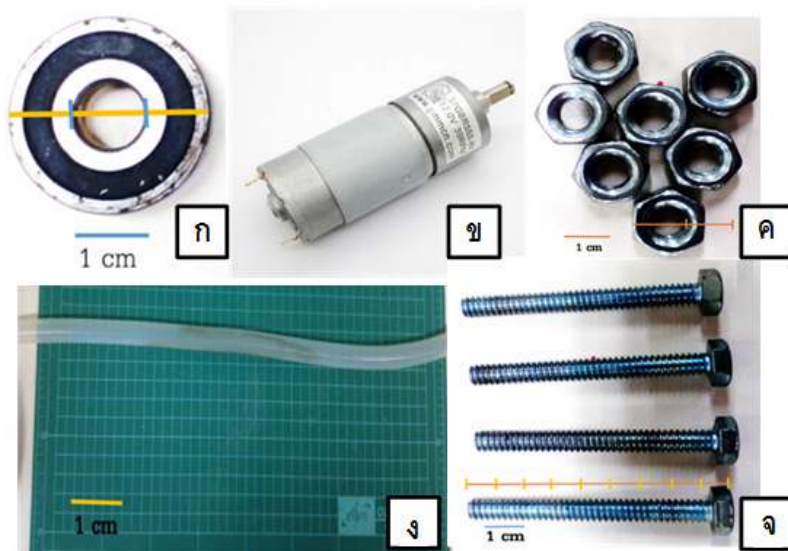


ภาพที่ 3 แผนผังการทำงานของโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์

3. ทดสอบประสิทธิภาพของปั๊มรีดท่อสายยาง

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ สำหรับสร้างปั๊มรีดท่อสายยาง ทำมาจากวัสดุที่หาได้ง่ายในท้องตลาด และราคาถูก ประกอบด้วย

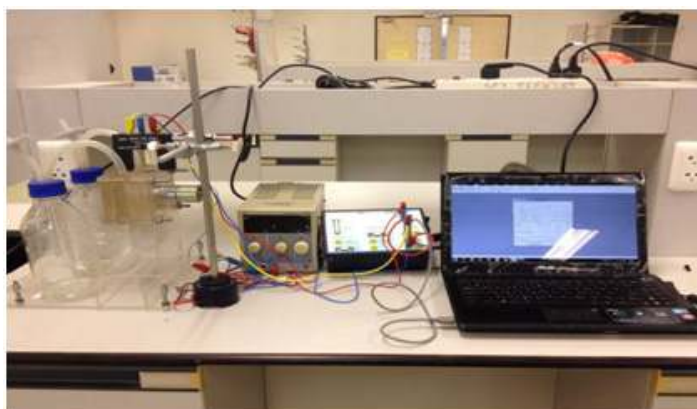
- 1) ท่อสายยางชนิดซิลิโคน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอก 9 และ 13 มิลลิเมตร ตามลำดับ พนักท่อสายยางหนา 2 มิลลิเมตร
- 2) มอเตอร์ขนาด 12 VDC หมุน 200 รอบต่อนาที
- 3) แบร้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร ความหนา 5 มิลลิเมตร จำนวน 2 ชิ้น
- 4) แผ่นอะคริลิกขนาดความหนา 3 มิลลิเมตร และ 6 มิลลิเมตร สำหรับเป็นโครงสร้างและตัวยึด
- 5) สกรูและน็อต แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 วัสดุอุปกรณ์สำหรับสร้างปั๊มรีดท่อสายยางประกอบด้วย
(ก) แบริ่ง (ข) มอเตอร์ (ค) น็อต (ง) ท่อสายยางชนิดซิลิโคน (จ) สกรู

3.2 วิธีการทดลอง ทดสอบอัตราเร็วของลูกล่อ และอัตราการไหลของน้ำในท่อสายยางที่ระยะบีบอัดต่างๆ

วัดความเร็วรอบการหมุนของลูกล่อโดยใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงในการให้แรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 1 - 15 โวลต์ และใช้เครื่อง Cobra basic unit ในการวัดความเร็วรอบการหมุนของลูกล่อซึ่งวิ่งอยู่บนท่อสายยาง ที่ระยะบีบอัด 2.6 3.0 3.4 3.8 และ 4.0 มิลลิเมตร แล้วใช้นาฬิกาจับเวลาทดสอบอัตราการไหลของน้ำปริมาณ 400 มิลลิลิตร จากขวดที่ 1 ไปยังขวดที่ 2 (หมุนมอเตอร์ตามเข็มนาฬิกา) และให้มอเตอร์หมุนกลับ (หมุนมอเตอร์ทวนเข็มนาฬิกา) เพื่อให้น้ำปริมาณ 400 มิลลิลิตร ไหลจากขวดที่ 2 กลับไปยังขวดที่ 1 แสดงดังภาพที่ 5

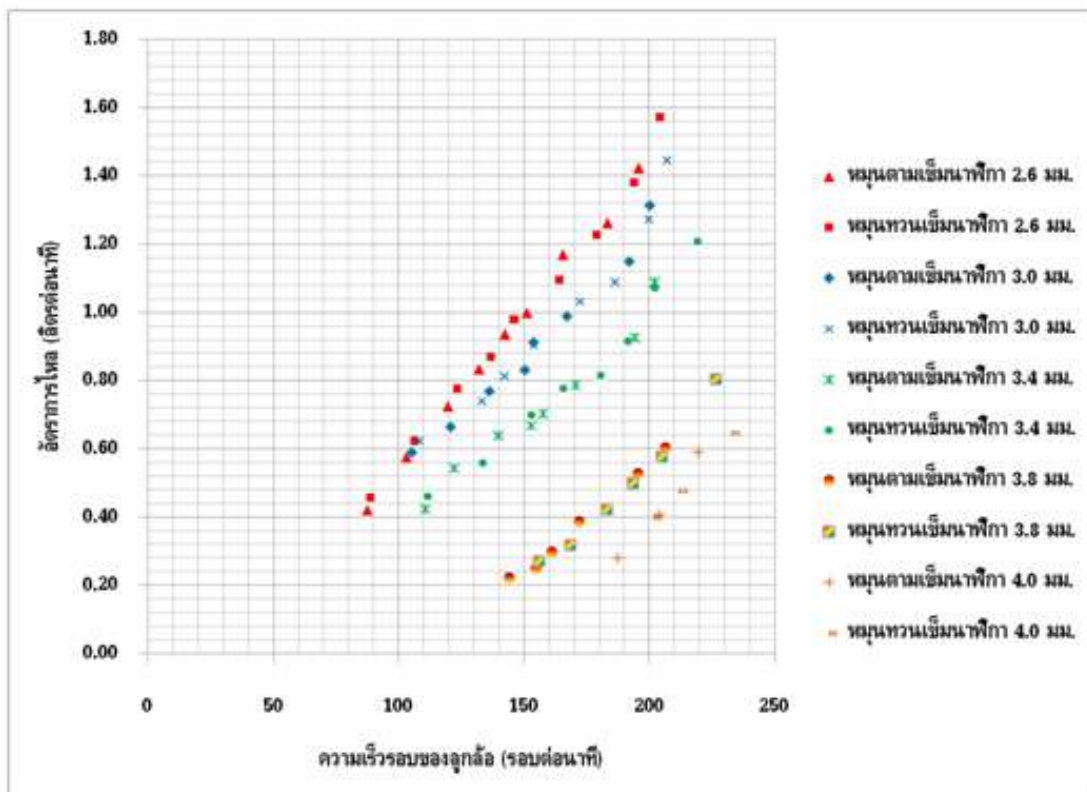


ภาพที่ 5 ทดสอบความเร็วรอบการหมุนของลูกล่อและอัตราการไหลของน้ำ



ผลการทดลอง

การทดลองหาช่วงระยะبيبอัดของปั๊มรีดท่อสายยางระบบไฮดรอลิกที่ให้น้ำไหลได้ โดยทดลองที่ระยะبيبอัด 2.6 3.0 3.4 3.8 และ 4.0 มิลลิเมตร ที่แรงดันไฟฟ้า 1-15 โวลต์ พบว่าระยะبيبอัดน้อยกว่า 2.6 มิลลิเมตร แม้ใช้แรงดันสูงสุดที่ 15 โวลต์ ลูกสูบไม่สามารถหมุนบนท่อสายยาง เนื่องจากเกิดแรงเสียดทานมากระหว่างลูกสูบกับท่อสายยาง และที่ระยะبيبอัดมากกว่า 4 มิลลิเมตร ลูกสูบหมุนได้ แต่น้ำไม่ไหลเนื่องจากมีแรงبيبอัดระหว่างลูกสูบกับท่อสายยางน้อย วัดอัตราการไหลของน้ำที่ระยะبيبอัด 2.6 มิลลิเมตร ที่แรงดันไฟฟ้าต่างกัน พบว่าที่แรงดันไฟฟ้า 1 โวลต์ มอเตอร์ไม่หมุน ทำให้น้ำไม่ไหล และมอเตอร์จะหมุนเมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าที่ 7 โวลต์ เช่นเดียวกับที่ระยะبيبอัด 3.0 และ 3.4 มิลลิเมตร ส่วนที่ระยะبيبอัด 3.8 และ 4.0 มิลลิเมตร น้ำเริ่มไหลที่แรงดันไฟฟ้า 10 และ 13 โวลต์ ตามลำดับ เนื่องจากความเร็วรอบมากพอที่จะทำให้น้ำไหลขึ้นมาได้จากขวดหนึ่งไปยังอีกขวดหนึ่ง แสดงดังภาพที่ 6 โดยระยะبيبอัดที่มีอัตราการไหลของน้ำสูงที่สุด คือ 2.6 มิลลิเมตร ซึ่งแสดงความเร็วรอบการหมุนของลูกสูบที่แรงดันไฟฟ้าต่างๆ และผลการคำนวณอัตราการไหลดังตารางที่ 1 เริ่มต้นที่แรงดันไฟฟ้าที่ 1 โวลต์ พบว่ามอเตอร์ไม่เกิดการหมุน ทำให้น้ำไม่ไหล จากนั้นทำการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าจนมอเตอร์เริ่มหมุนที่แรงดันไฟฟ้า 7 โวลต์ วัดความเร็วรอบการหมุนตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกาได้ 87.55 และ 88.84 รอบต่อวินาที ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน ทำการคำนวณอัตราการไหลของน้ำ 400 มิลลิลิตรโดยการจับเวลาน้ำไหลจากขวดที่ 1 ไปยังขวดที่ 2 (หมุนตามเข็มนาฬิกา) ได้ 0.42 ลิตรต่อวินาที และดูคนกลับ (หมุนทวนเข็มนาฬิกา) ได้ 0.46 ลิตรต่อวินาที (ตารางที่ 1)



ภาพที่ 6 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำในท่อสายยาง กับความเร็วรอบการหมุนของลูกสูบตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกาที่ระยะبيبอัดต่างๆ

ตารางที่ 1 ผลของแรงดันไฟฟ้า ความเร็วรอบการหมุนของลูกล่อ และเวลาการไหลของน้ำจากขวดหนึ่งไปยังอีกขวดหนึ่ง ที่ระยะ บัพอัตราหว่านลูกล่อกับฐานรองท่อสายยาง 2.6 มิลลิเมตร

แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	ความเร็วรอบการหมุนของลูกล่อ (รอบต่อนาที)		เวลา (วินาที)		อัตราการไหลของน้ำ 400 mL (ลิตรต่อนาที)	
	ตามเข็มนาฬิกา	ทวนเข็มนาฬิกา	ตามเข็มนาฬิกา	ทวนเข็มนาฬิกา	ตามเข็มนาฬิกา	ทวนเข็มนาฬิกา
1	ไม่หมุน	ไม่หมุน	-	-	-	-
2	ไม่หมุน	ไม่หมุน	-	-	-	-
3	ไม่หมุน	ไม่หมุน	-	-	-	-
4	ไม่หมุน	ไม่หมุน	-	-	-	-
5	ไม่หมุน	ไม่หมุน	-	-	-	-
6	ไม่หมุน	ไม่หมุน	-	-	-	-
7	87.55	88.84	57	52	0.42	0.46
8	103.22	106.44	42	38	0.58	0.62
9	119.74	123.39	33	31	0.73	0.78
10	132.19	136.91	29	28	0.84	0.87
11	142.49	146.14	26	25	0.94	0.98
12	151.29	164.16	24	22	1.00	1.10
13	165.66	179.18	21	20	1.17	1.23
14	183.48	193.99	19	17	1.26	1.38
15	195.92	204.29	17	15	1.42	1.57

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อให้แรงดันไฟฟ้ามากขึ้น ทำให้มอเตอร์มีความเร็วรอบมากขึ้น ส่งผลต่อเนื่องให้อัตราการไหลของน้ำเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย และผลการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำในท่อสายยางกับความเร็วยรอบการหมุนของมอเตอร์ตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา แสดงดังภาพที่ 6 พบว่าอัตราการไหลของน้ำ 400 มิลลิลิตร ของทุกระยะบัพอัตรา จากขวด 1 ไปยังขวด 2 และไหลกลับจากขวด 2 ไปยังขวด 1 มีอัตราการไหลใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน คือ เมื่อความเร็วรอบการหมุนของลูกล่อเพิ่มสูงขึ้น อัตราการไหลของน้ำก็จะมากขึ้นตามไปด้วย

อภิปรายผล

อัตราการไหลของน้ำในท่อเพิ่มสูงขึ้นเมื่อจำนวนรอบการหมุนของลูกล่อเพิ่มสูงขึ้น เป็นไปตามทฤษฎีในสมการที่ (1) ในงานวิจัยนี้เลือกออกแบบสร้างลูกล่อจำนวน 2 ชั้น ถึงแม้ว่าการมีจำนวนลูกล่อจำนวนมาก เป็นการเพิ่มความถี่ของการสูบน้ำของไหล แต่ก็ทำให้ความกว้างของช่วงการไหลลดลง อีกทั้งยังเพิ่มอัตราการบัพอัตราท่อสายยาง ส่งผลให้อายุของท่อสายยางลดลง (Kim, Chae, Jung, & Kim, 2012) ดังนั้นการสร้างบัพอัตราท่อสายยางที่มีลูกล่อจำนวน 2 ล้อ เพียงพอต่ออัตราการไหลของของเหลวที่จะประยุกต์ใช้กับระบบไปโออีแอคเตอร์จุ่มชั่วคราว เพราะให้อัตราการไหลที่สม่ำเสมอ ควบคุมอัตราการไหลได้ด้วยแรงดันไฟฟ้า และไม่ต้องเปลี่ยนสายยางบ่อยครั้ง



ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทดลองหาระยะบีบอัดระหว่างลูกล่อกับฐานรองท่อสายยางที่เหมาะสมเท่ากับ 2.6 มิลลิเมตร เนื่องจากถ้าค่านี้น้อยเกินไปจะทำให้ลูกล่อเคลื่อนที่บนสายยางได้ยากเพราะมีแรงเสียดทานระหว่างลูกล่อและสายยางมาก ในทางตรงกันข้ามถ้าค่าระยะที่ถูกบีบอัดระหว่างลูกล่อกับฐานรองท่อสายยาง (g) มีค่ามากมีผลให้การบีบอัดบนท่อสายยางน้อยทำให้น้ำไม่ไหล ดังนั้นร้อยละของช่องว่างภายในท่อสายยาง (y) มีค่าเท่ากับ 35 เป็นค่าที่เหมาะสมในการทดลอง เพราะสายยางที่ใช้มีความอ่อนนุ่มจึงจำเป็นต้องมีระยะบีบอัดมาก

สรุป

การออกแบบสร้างปั๊มรีดท่อสายยางที่มีลูกล่อจำนวน 2 ชั้นที่ทำจากเบร้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร ความหนา 5 มิลลิเมตร เลือกใช้ท่อสายยางซิลิโคนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอก 9 และ 13 มิลลิเมตร ตามลำดับ สามารถทดแทนการใช้ปั๊มแรงดันอากาศ ซึ่งมีข้อดีคือ อาหารเหลวไม่สัมผัสกับตัวเครื่องหรือสิ่งแวดล้อมภายนอก ทำให้ระบบไบโอรีแอคเตอร์จุ่มชีวคราวปลอดภัย อีกทั้งยังสามารถกำหนดอัตราการไหลได้จากการควบคุมแรงดันไฟฟ้า และปั๊มรีดท่อสายยางที่สร้างขึ้นควบคุมด้วยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ทำให้สามารถทำงานได้อัตโนมัติและยังมีความเที่ยงตรงสม่ำเสมอในการไหลของน้ำผ่านท่อสายยาง จากการทดลองพบว่าระยะบีบอัดระหว่างลูกล่อกับฐานรองท่อสายยางที่เหมาะสมเท่ากับ 2.6 มิลลิเมตร ที่ค่าแรงดันไฟฟ้า 15 โวลต์ ส่งผลให้ความเร็วรอบการหมุนสูงสุดตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา 195.92 และ 204.29 รอบต่อนาที ตามลำดับ และอัตราการไหลสูงสุดของลูกล่อหมุนตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกาอยู่ที่ 1.42 และ 1.57 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

1. ปรับปรุงมอเตอร์ให้มีความเร็วรอบการหมุนตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกาที่มีค่าเท่ากัน
2. ทำการทดลองเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเพื่อวัดการเจริญเติบโตของพืช

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องนี้ได้รับเงินทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ ประจำปีการศึกษา 2558

รายการอ้างอิง

- ธนกิจ แก่นเกษ นพณณี โปญญานนท์ และจตุพงศ์ วาฤทธิ์. (2555). การออกแบบและการปรับปรุงห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชเพื่อรองรับระบบไบโอรีแอคเตอร์จุ่มชีวคราวขนาดใหญ่. **การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13**. วันที่ 4-5 เมษายน 2555 จังหวัดเชียงใหม่.
- อรุณี ม่วงแก้วงาม และสมปอง เตชะโต. (2559). ผลของสารพาโคลบิวทราโซลต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อดาหลา. **วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์**, 8(1), 111-116.
- Alvard, D., Cote, F. & Teisson, C. (1993). Comparison of methods of liquid medium culture for banana micropropagation. Effects of Temporary immersion of explants. **Plant Cell Tissue Organ Culture**, 32, 55-60.
- Dhumal, S. R., & Kadam, S. S. (2012). Design and Development of Rotary Peristaltic Pump. **International Journal of Science and Advanced Technology**, 2(4), 157-163.



- Escalant, J. V., Teisson, C. & Cote, F. (1994). Amplified somatic embryogenesis from male flower of triploid banana and plantain cultivars (*Musa spp.*). **In vitro Cellular and Developmental Biology Plant**, **30**, 181-186.
- Escalona, M., Lorenzo, J. C., Gonzalez, B., Daquinta, M., et al. (1999). Pineapple (*Ananas comosus* L. Merr) micropropagation in temporary immersion systems. **Plant Cell Reports**, **18**, 743-748.
- Escalona, M., Samsan, G., Borroto, C. & Desjardins, Y. (2003). Physiology of effects of temporary immersion bioreactors on micropropagated pineapple plantlets. **In vitro Cellular and Developmental Biology Plant**, **39**, p.651-656.
- Etienne, H., Lartaud, M., Michaux, F. N., Carron, M. P., Berthouly, M. & Teisson, C. (1997). Improvement of somatic embryogenesis in *Hevea brasiliensis* (MÜLL. ARG.) using the temporary immersion technique. **In vitro Cellular and Developmental Biology Plant**, **33**, p.81-87.
- González-Olmedo, J. L., Fundora, Z., Molina, L. A., Abdounour, J., Desjardins, Y. & Escalona, M. (2005). New contributions to propagation of pineapple (*Annanas comosus* L. Merr) in temporary immersion bioreactors. **In vitro Cellular and Developmental Biology Plant**, **41**, 87-90.
- Kim, S., Chae, H., Jung, Y., & Kim, J. (2012). A Study on Fuzzy Adaptive Control of Enteral Feeding Pump. **World Academy of Science, Engineering and Technology**, **62**, 620-623.
- Klespitz, J., & Kovacs, L. (2014). Peristaltic pumps – a review on working and control possibilities. **IEEE 12th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics**. January 23-25, 2014. Herľany, Slovakia.
- Lorenzo, J. C., Blanco, M. A., Peláez, O., González, A., Cid, M., Iglesias, A., González, B., Escalona, M., Espinosa, P. & Borroto, C. (2001). Sugarcane micropropagation and phenolic excretion. **Plant Cell Tissue Organ Culture**, **65**, 1-8.
- Pérez, A., Nápoles, L., Carvajal, C., Hernandez, M. & Lorenzo, J. C. (2004). Effect of sugar, inorganic salts, inositol and thiamine on excretion during pineapple culture in temporary immersion bioreactors. **In vitro Cellular and Developmental Biology Plant**, **40**, 311-316.