

การพัฒนาราสีเบอร์รี่พายสำหรับควบคุมระบบไบโอรีแอคเตอร์จุ่มชั่วคราว RASPBERRY PI DEVELOPMENT FOR CONTROLLING OF TEMPORARY IMMERSION BIOREACTORS

นนท์ ปิ่นเงิน^{1,3} และ พูนพัฒน์ พูนน้อย^{2,3}

¹อาจารย์, สาขาวิชาระบบสารสนเทศทางธุรกิจ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
63 หมู่ 4 ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290, nonp2552@hotmail.com
²อาจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้,
63 หมู่ 4 ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290, poonpat@mju.ac.th
³นักวิจัย, ศูนย์ความเป็นเลิศด้านนวัตกรรมทางการเกษตรสำหรับบัณฑิตและผู้ประกอบการ
มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 63 หมู่ 4 ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

Non Pin-ngern^{1,3} and Poonpat Poonnoy^{2,3}

¹Lecturer, Division of Business Information System, Faculty of Business Administration,
Maejo University, 63 Moo 4, Nongharn, Sansai, Chiangmai 50290, Thailand,
nonp2552@hotmail.com

²Lecturer, Division of Food Engineering, Faculty of Agro-Industry and Engineering,
Maejo University, 63 Moo 4, Nongharn, Sansai, Chiangmai 50290, Thailand,
poonpat@mju.ac.th

³Researcher, Center of Excellence in Agricultural Innovation for Graduate Entrepreneur,
Maejo University, 63 Moo 4, Nongharn, Sansai, Chiangmai 50290, Thailand

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาหน่วยควบคุมบนราสีเบอร์รี่พายสำหรับไบโอรีแอคเตอร์จุ่มชั่วคราวซึ่งมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในการขยายพันธุ์พืช การควบคุมไบโอรีแอคเตอร์จุ่มชั่วคราวสามารถทำได้โดยสะดวกผ่านเว็บแอปพลิเคชัน ซึ่งพัฒนาส่วนประมวลผลด้วยภาษาจาวาสคริปต์และพีเอชพี เข้าถึงได้จากเว็บเบราว์เซอร์บนสมาร์ตโฟนที่เชื่อมต่อกับราสีเบอร์รี่พายผ่านไวไฟ โปรแกรมบนราสีเบอร์รี่พายพัฒนาด้วยภาษาไพทอน โปรแกรมสามารถรับส่งข้อมูลเงื่อนไขการทำงานให้กับผู้ใช้ และสามารถควบคุมการถ่ายเทอาหารเหลวในชุดไบโอรีแอคเตอร์จุ่มชั่วคราวได้อย่างอิสระพร้อมกัน 4 กลุ่ม ตามเงื่อนไขที่กำหนดตลอดระยะเวลาการทดสอบ 6 สัปดาห์ แต่ละกลุ่มสามารถ

เชื่อมต่อกับไบโอรีแอกเตอร์ขนาด 0.7 ลิตรได้หลายชุด ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำหน่วยควบคุมแบบراسป์เบอร์รี่พายที่พัฒนาขึ้น ไปใช้ผลิตต้นพันธุ์พืชด้วยไบโอรีแอกเตอร์จุ่มชั่วคราวได้

คำสำคัญ: ไบโอรีแอกเตอร์จุ่มชั่วคราว, ระบบควบคุม, รัสป์เบอร์รี่พาย

ABSTRACT

In this research, a Raspberry PI-based Controller was developed for Temporary Immersion Bioreactors (TIBs), which have been widely used for plantlet micropropagation. Users can easily control TIBs by using a web application developed by JavaScript and PHP language. The application can be accessed via a web browser on any smart phones or computers connected to the Raspberry PI with Wi-Fi. A controlling program installed on the raspberry PI was developed with Phyton. The program can send and receive working conditions to/from users. It is also able to simultaneously control liquid-medium transfer in 4 groups of TIBs throughout a 6-week period. Each group of TIBs may contain numerous 0.7-liter TIBs. The Raspberry PI-based Controller can be used for plantlet micropropagation with TIBs.

KEYWORDS: Control System, Raspberry Pi, Temporary Immersion Bioreactor

1. บทนำ

ระบบไบโอรีแอกเตอร์จุ่มชั่วคราว (Temporary Immersion Bioreactor, TIB) เป็นเครื่องมือที่ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายในงานขยายพันธุ์พืชเศรษฐกิจที่สำคัญหลายชนิด เช่น อ้อย [1-4] สับปะรด [5] กล้วย [6] ระบบ TIB รวมข้อดีของการขยายพันธุ์พืชด้วยอาหารเหลวและอาหารแข็งเข้าด้วยกัน [7, 8] ในระหว่างกระบวนการขยายพันธุ์ด้วย TIB ชั้นส่วนพืชจะสัมผัสกับอาหารเหลวและอากาศสลับกันทำให้น้ำเยื่อพืชได้สารอาหารอย่างเพียงพอและไม่เกิดความเสียหายจากการจมน้ำ เมื่อกำหนดระยะเวลาและจำนวนครั้งในการให้อาหารอย่างเหมาะสมชั้นส่วนพืชจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วช่วยเพิ่มผลผลิต [9] และลดต้นทุนในการเพาะเลี้ยงเนื่องจากไม่ต้องปักชั้นส่วนพืชลงบนอาหารแข็งซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้เวลาและแรงงานมาก ต้นพืชที่ได้มีความแข็งแรงไม่แตกต่างกับต้นพืชที่ขยายพันธุ์ด้วยวิธีดั้งเดิม [3, 4, 10]

ระบบ TIB ที่นิยมใช้ประกอบไปด้วยภาชนะสองส่วน คือ ภาชนะสำหรับบรรจุชั้นส่วนพืชหรือภาชนะเพาะเลี้ยง และภาชนะสำหรับบรรจุอาหารเหลว ภาชนะสองส่วนนี้เชื่อมต่อกัน เมื่อถึงเวลาที่กำหนด วาล์วไฟฟ้าจะทำงานเพื่อจ่ายอากาศอัดดันอาหารเหลวจากภาชนะบรรจุให้ไหลไปยังภาชนะบรรจุชั้นส่วนพืช ชั้นส่วนพืชจะจมอยู่ในอาหารเหลวจนครบเวลาที่กำหนด จากนั้นอาหารเหลวจะถูกดันกลับด้วยแรงดันจากอากาศอัดกลับไปยังภาชนะบรรจุ ระยะเวลาที่ชั้นส่วนพืชสัมผัส

กับอาหารเหลวและจำนวนครั้งที่ให้อาหารมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งต้องมีการปรับตั้งให้เหมาะสมสำหรับพืชแต่ละชนิด เช่น กล้วยหอมในระยะเพิ่มปริมาณ ให้อาหารเหลวนานครั้งละ 2 นาที ทุกๆ 4 ชั่วโมง [6] อ้อยในระยะยี้ดยาวและออกรากให้อาหารเหลวนานครั้งละ 15 นาที ทุกๆ 3 ชั่วโมง [11]

ระบบควบคุมเป็นส่วนสำคัญของระบบ TIB โดยมีหน้าที่ส่งงานวาล์วไฟฟ้าเพื่อจ่ายอากาศอัดให้กับระบบ TIB สำหรับระบบควบคุมอย่างง่ายจะใช้ตัวตั้งเวลาแบบดิจิทัล (digital timer) เพื่อควบคุมการทำงานของวาล์ว [10] อย่างไรก็ตามการปรับตั้งตัวตั้งเวลาเป็นกระบวนการที่มีความซับซ้อนและอาจใช้เวลานานถึง 45 นาทีต่อชุด โดยเฉพาะเมื่อต้องการให้อาหารเหลวกับพืชวันละหลายครั้ง [12] Poonnoy and Topoonyanont [11] ได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทำงานบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล เพื่อควบคุมวาล์วไฟฟ้าและหลอดไฟฟ้าแสงสว่างของ TIB ขนาด 20 ลิตร จำนวน 8 ชุด เพื่อการผลิตต้นอ้อยระดับอุตสาหกรรม พบว่า ผู้ใช้งานสามารถตั้งค่าการทำงานของ TIB แต่ละชุดได้สำเร็จภายในเวลา 1 นาที ระบบคอมพิวเตอร์สามารถควบคุมการทำงานของวาล์วไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี ตลอดระยะเวลาเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนพืชนาน 3 สัปดาห์ ต่อมา Poonnoy et al [13] ได้พัฒนาระบบควบคุมแบบฝังตัวระดับอุตสาหกรรม เพื่อควบคุมวาล์วไฟฟ้าสำหรับ TIB ที่ทำจากขวดแก้ว โพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate, PC) ขนาดตั้งแต่ 0.5 ถึง 20 ลิตร พร้อมกัน 16 กลุ่ม แต่ละกลุ่มสามารถต่อพ่วง TIB ได้ตั้งแต่ 1 ถึง 25 ชุด รวม TIB สูงสุด 400 ชุด เหมาะสำหรับห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชขนาดใหญ่ต้องการกำลังการผลิตต้นพืชจำนวนมาก ระบบดังกล่าวยังรองรับการใช้งานร่วมกับภาชนะแบบโพลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene terephthalate, PET) ด้วย [14]

ในปัจจุบันมีความต้องการประยุกต์ใช้ TIB ในงานด้านการปรับปรุงพันธุ์และงานด้านการผลิตต้นพันธุ์พืชปลอดโรคสำหรับเกษตรกร แต่เนื่องจากข้อจำกัดด้านงบประมาณในการลงทุนกับระบบ TIB จึงเป็นอุปสรรคในการนำเทคโนโลยีการขยายพันธุ์พืชที่มีประสิทธิภาพไปใช้ หากมีการพัฒนาระบบ TIB ที่ใช้งานง่ายและมีราคาไม่สูง ก็จะช่วยผลักดันให้อุตสาหกรรมเกษตรของประเทศไทยมีความมั่นคงและยั่งยืน

ในปัจจุบันมีการนำารaspberry เบอร์รี่พาย (Raspberry Pi) ซึ่งมีลักษณะการทำงานคล้ายคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ราคาไม่สูง สามารถนำไปใช้ควบคุมอุปกรณ์จากระยะไกลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เช่น ระบบบ้านอัจฉริยะ [15] และระบบเมืองอัจฉริยะ [16] การทดสอบระบบภายใต้สภาพแวดล้อมการทำงานจริง พบว่า ระบบสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดระยะเวลาหลายเดือน [16] สำหรับงานด้านการเกษตรมีการพัฒนาระบบ raspberry เบอร์รี่พายให้ทำงานร่วมกับเซนเซอร์ เพื่อควบคุมปัจจัยการผลิตพืช เช่น การให้น้ำ การให้ปุ๋ย ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ อุณหภูมิ และแสงสว่าง [17] นอกจากนั้นยังมีการนำไปใช้ในการเลี้ยงสัตว์ เช่น การควบคุมแสงสว่างและการระบายอากาศในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ [18] แต่ยังไม่มียางานการพัฒนารaspberry เบอร์รี่พาย

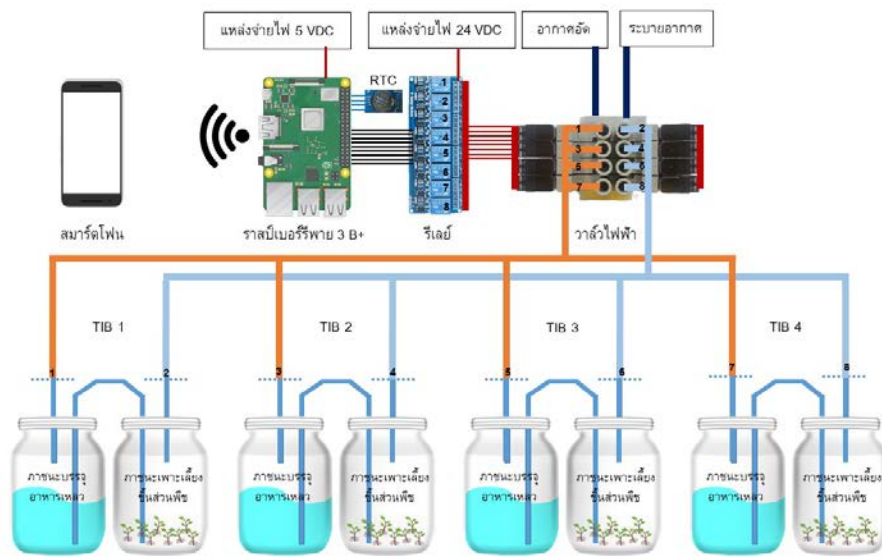
สำหรับควบคุมการทำงานของระบบไบโอรีแอกเตอรืจ่มชั่วคราว บทความวิจัยนี้จึงนำเสนอการพัฒนาแบบรสป้เบอรรีพายสำหรับควบคุมการทำงานของไบโอรีแอกเตอรืจ่มชั่วคราวเพื่อการขยายพันธุ์พืช

2. การออกแบบระบบไบโอรีแอกเตอรืจ่มชั่วคราวควบคุมด้วยรสป้เบอรรีพาย

การออกแบบรสป้เบอรรีพายสำหรับควบคุมวาล์วไฟฟ้าซึ่งทำหน้าที่จ่ายอากาศอัดให้กับ TIB แต่ละชุดเพื่อต้นอาหารเหลวให้ถ่ายเทจากภาชนะบรรจุไปยังภาชนะเพาะเลี้ยง มีรายละเอียดดังนี้

2.1 การออกแบบสถาปัตยกรรมของระบบควบคุมไบโอรีแอกเตอรืจ่มชั่วคราว

ชุด TIB สำหรับการขยายพันธุ์พืชที่ใช้ประกอบไปด้วยภาชนะปากกว้างทำจากแก้ว ความจุประมาณ 0.7 ลิตร จำนวน 2 ชั้น ด้านบนปิดด้วยฝาพลาสติก ซึ่งเจาะรูใส่ข้อต่อสำหรับเชื่อมต่อซิลิโคนทำหน้าที่เป็นช่องทางถ่ายเทอาหารเหลวระหว่างภาชนะทั้งสอง ในระหว่างทำงานหากต้องการให้อาหารเหลวเคลื่อนที่จากภาชนะบรรจุไปยังภาชนะเพาะเลี้ยง อากาศจะถูกอัดเข้าไปในภาชนะบรรจุผ่านตัวกรอง ทำให้เกิดแรงดันผลักดันอาหารเหลวไหลผ่านท่อซิลิโคนไปยังภาชนะเพาะเลี้ยง ในขณะเดียวกันอากาศในภาชนะเพาะเลี้ยงที่ถูกแทนที่ด้วยอาหารเหลวก็จะระบายออกทางช่องด้านบนของภาชนะเพาะเลี้ยง เมื่อต้องการให้อาหารเหลวไหลกลับอากาศอัดจะถูกจ่ายในทางตรงกันข้าม การควบคุมทิศทางการจ่ายอากาศใช้วาล์วไฟฟ้า ซึ่งสามารถควบคุมทิศทางการไหลของอากาศที่เข้าออกชุดไบโอรีแอกเตอรืจ่มชั่วคราวได้ วาล์วไฟฟ้าแต่ละตัวทำงานด้วยไฟฟ้ากระแสตรง แรงเคลื่อน 24 โวลต์ เมื่อต้องการควบคุมการทำงานของชุด TIB พร้อมกัน 4 ชุด โดยอิสระจากกันจะใช้วาล์วไฟฟ้าจำนวน 4 ชุด แต่ละชุดมีโซลินอยด์ 2 ตัว ดังนั้นต้องใช้รีเลย์เพื่อควบคุมการจ่ายไฟให้กับวาล์วไฟฟ้าจำนวน 8 ตัว การทำงานของรีเลย์จะใช้สัญญาณดิจิทัลเอาต์พุตจากพอร์ตของรสป้เบอรรีพาย รุ่น 3 B+ เป็นตัวขับเคลื่อน การทำงานของวาล์วไฟฟ้าจะสอดคล้องกับนาฬิกาบนรสป้เบอรรีพาย ซึ่งทำการบันทึกและอ่านค่าร่วมกันกับโมดูลนาฬิกา (Real Time Clock, RTC) การตั้งค่าการทำงานของ TIB แต่ละชุดสามารถทำผ่านโปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์บนสมาร์ตโฟนหรือคอมพิวเตอร์ ที่เชื่อมต่อกับไวไฟ (Wi-Fi) ที่ปล่อยออกจากตัวรสป้เบอรรีพาย สถาปัตยกรรมของระบบ TIB ควบคุมด้วยรสป้เบอรรีพาย แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 สถาปัตยกรรมของระบบ TIB ควบคุมด้วยราสป์เบอร์รี่พาย

เมื่อเริ่มต้นการทำงานของระบบ TIB จะอยู่ในสถานะ “เตรียมพร้อม” ในสถานะนี้อาหารเหลวจะอยู่ในภาชนะบรรจุ ภาชนะเพาะเลี้ยงชั้นส่วนพืชไม่มีอาหารเหลวอยู่ ไม่มีการจ่ายอากาศให้กับระบบ TIB เมื่อถึงกำหนดตามตารางเวลาให้อาหาร ราสป์เบอร์รี่พายจะส่งสัญญาณไปยังรีเลย์ที่ควบคุมวาล์วไฟฟ้า โดยอัตโนมัติ เช่น เมื่อถึงกำหนดเวลาที่ต้องการให้อาหารชั้นส่วนพืชใน TIB 1 ราสป์เบอร์รี่พายจะส่งสัญญาณไฟฟ้าผ่านพอร์ตดิจิทัลเอาต์พุตไปยังรีเลย์หมายเลข 1 ทำให้โซลินอยด์หมายเลข 1 ทำงาน จ่ายอากาศไปยังภาชนะบรรจุอาหารเหลวของ TIB 1 ในขณะเดียวกันก็เชื่อมต่อช่องอากาศของภาชนะเพาะเลี้ยงชั้นส่วนพืชของ TIB 1 กับทางระบายอากาศ ทำให้อาหารเหลวเคลื่อนที่ไปตามทิศทางที่กำหนด เรียกสถานะนี้ว่า “การนำอาหารเข้า” ผู้ใช้ต้องกำหนดระยะเวลาที่เหมาะสม (1-120 วินาที) สำหรับการจ่ายอากาศในขั้นตอนนี้ เมื่อครบเวลาที่กำหนด ราสป์เบอร์รี่พายจะหยุดส่งสัญญาณไฟฟ้าไปยังรีเลย์ อาหารเหลวจะค้างอยู่ในภาชนะเพาะเลี้ยง ชั้นส่วนพืชได้รับอาหารเหลวตามระยะเวลาที่ผู้ใช้กำหนด ตั้งแต่ 1-30 นาที เรียกสถานะนี้ว่า “การให้อาหาร” หลังจากนั้นราสป์เบอร์รี่พายจะส่งสัญญาณไฟฟ้าผ่านพอร์ตดิจิทัลเอาต์พุต ไปยังรีเลย์หมายเลข 2 ทำให้โซลินอยด์หมายเลข 2 ทำงานจ่ายอากาศไปยังภาชนะเพาะเลี้ยงของ TIB 1 ในขณะเดียวกันก็เชื่อมต่อช่องอากาศของภาชนะบรรจุอาหารเหลวของ TIB 1 กับทางระบายอากาศ ทำให้อาหารเหลวเคลื่อนที่กลับไปยังภาชนะบรรจุ เรียกสถานะนี้ว่า “การนำอาหารออก” ในขั้นตอนนี้ผู้ใช้ต้องตั้งค่าเวลา (1-120 วินาที) เพื่อให้วาล์วไฟฟ้าทำงานจนกระทั่งอาหารเหลวไหลกลับไปยังภาชนะบรรจุจนหมด ผู้ใช้สามารถกำหนดจำนวนครั้งในการให้อาหาร

สูงสุด 24 ครั้งต่อวัน การให้อาหารเริ่มต้นทุกต้นชั่วโมง การปรับตั้งค่าระยะเวลาและจำนวนครั้งสำหรับ TIB แต่ละชุด สามารถทำได้โดยอิสระจากกันและไม่ต้องหยุดการทำงานของระบบบีเบอร์รี่พาย

2.2 การออกแบบสถาปัตยกรรมซอฟต์แวร์

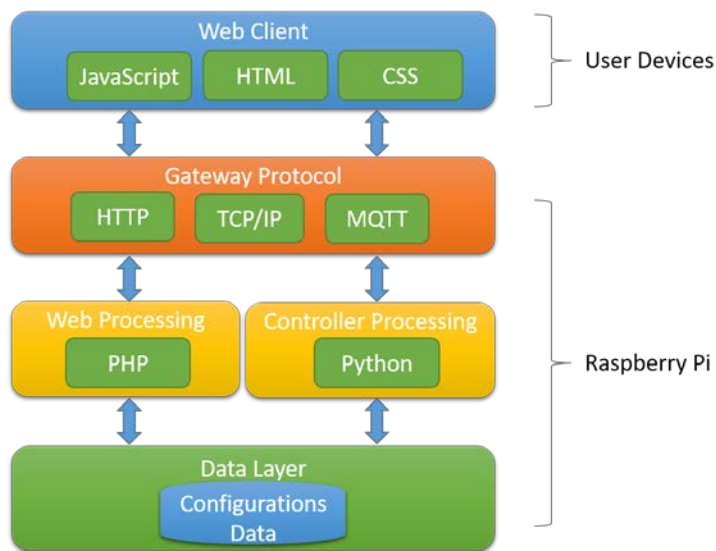
เนื่องจากระบบ TIB นั้นสามารถนำไปเพาะเลี้ยงต้นพืชได้หลายชนิด ซึ่งพืชแต่ละชนิดเจริญเติบโตได้ดีภายใต้ระยะเวลาและจำนวนครั้งในการให้อาหารเหลวที่ต่างกัน นอกจากนั้นปริมาณอาหารเหลวที่ใส่ในระบบ TIB แต่ละชุดอาจไม่เท่ากันทำให้ระยะเวลาในการนำอาหารเข้า/ออก แตกต่างกันไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพัฒนาซอฟต์แวร์ที่อนุญาตให้ผู้ใช้สามารถตั้งค่าการทำงานของ TIB แต่ละชุดให้เหมาะสมกับสภาพการเพาะเลี้ยงโดยสะดวกผ่านเว็บแอปพลิเคชัน ข้อมูลการทำงานของแต่ละชุดจะถูกแยกบันทึกลงในฐานข้อมูลบนระบบบีเบอร์รี่พาย ซึ่งทำให้สามารถเพิ่มหรือลดจำนวนชุดควบคุมได้ในอนาคต โดยการควบคุมแต่ละชุดแบ่งการประมวลผลออกเป็น 2 ส่วน คือ

- 1) การประมวลผลส่วนติดต่อกับผู้ใช้
- 2) การประมวลผลควบคุมลำดับการทำงานของวาล์วไฟฟ้า

การประมวลผลส่วนติดต่อกับผู้ใช้มีหน้าที่สำคัญ คือ แสดงข้อมูลการตั้งค่าการทำงานของเดิมและรับคำสั่งควบคุม TIB ใหม่จากผู้ใช้งาน พัฒนาโดยใช้ภาษาพีเอชพี (PHP) เพื่อเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลและสร้างส่วนติดต่อผู้ใช้งานด้วยภาษาเอชทีเอ็มแอล (Hyper Text Markup Language, HTML) ซีเอสเอส (Cascading Style Sheets, CSS) และจาวาสคริปต์ (JavaScript) ผ่านทางโพรโตคอลเอชทีทีพี (Hypertext Transfer Protocol, HTTP) ในส่วนของการประมวลผลเพื่อควบคุมลำดับการทำงานของวาล์วไฟฟ้าจะใช้ภาษาไพทอน (Python) การประมวลผลในส่วนนี้จะใช้ฐานข้อมูลเดียวกันกับส่วนแรก ซึ่งผู้ใช้สามารถสั่งงานมาได้ในส่วนที่สองนี้ได้โดยตรงจากหน้าเว็บผ่านทางโพรโตคอลเอ็มคิวทีที (Message Queuing Telemetry Transport, MQTT) สถาปัตยกรรมซอฟต์แวร์ (Software Architecture) สำหรับระบบบีเบอร์รี่พายเพื่อการควบคุมระบบ TIB แสดงในรูปที่ 2

2.3 การออกแบบลำดับการทำงานเพื่อควบคุมวาล์วไฟฟ้า

การทำงานของวาล์วไฟฟ้าที่ควบคุมการไหลของอาหารเหลวใน TIB แต่ละชุดควบคุมโดยซอฟต์แวร์พัฒนาด้วยภาษาไพทอน ซอฟต์แวร์นี้สั่งเปิดปิดวาล์วไฟฟ้าตามสถานะของ TIB ดังแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 2 สถาปัตยกรรมซอฟต์แวร์

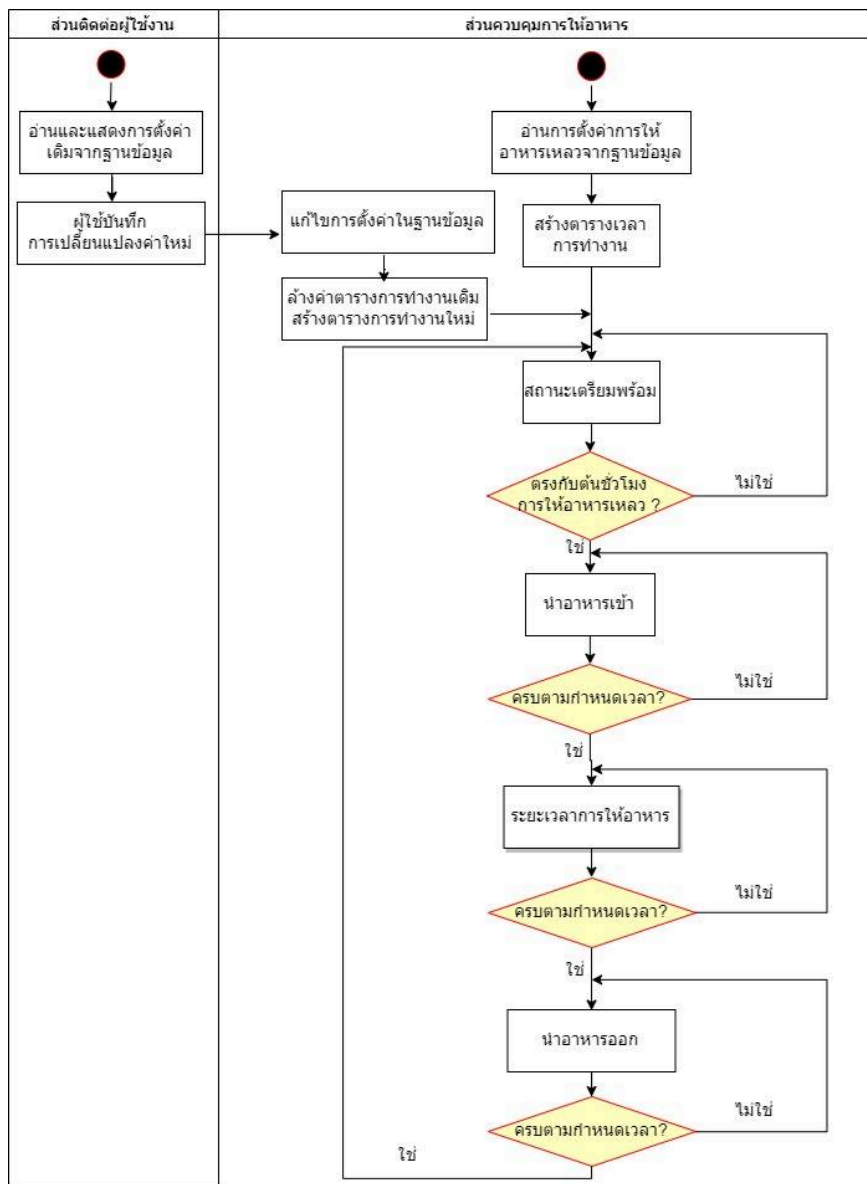
ตารางที่ 1 การทำงานของวาล์วไฟฟ้าของ TIB

สถานะ	TIB 1		TIB 2		TIB 3		TIB 4	
	วาล์ว 1	วาล์ว 2	วาล์ว 3	วาล์ว 4	วาล์ว 5	วาล์ว 6	วาล์ว 7	วาล์ว 8
เตรียมพร้อม	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด
นำอาหารเข้า	เปิด	ปิด	เปิด	ปิด	เปิด	ปิด	เปิด	ปิด
ให้อาหาร	ปิด	เปิด	ปิด	เปิด	ปิด	เปิด	ปิด	เปิด
นำอาหารออก	ปิด	เปิด	ปิด	เปิด	ปิด	เปิด	ปิด	เปิด

การประมวลผลลำดับการทำงานเพื่อควบคุมวาล์วไฟฟ้า จะเริ่มขั้นตอนด้วยการอ่านข้อมูลค่าการทำงานจากฐานข้อมูลที่ใช้บันทึกไว้ ซึ่งประกอบไปด้วย ค่าระยะเวลาการนำเข้าไปยังภาชนะเพาะเลี้ยงพืช ค่าระยะเวลาให้อาหาร ค่าระยะเวลาการนำอาหารออกจากภาชนะเพาะเลี้ยง และกำหนดเวลาที่ต้องการให้อาหารแก่พืชเป็นรายชั่วโมงของทุกวัน เสร็จแล้วโปรแกรมจะสร้างตารางการทำงานทั้งหมดของวันขึ้น หลังจากนั้นจะเข้าสู่สถานะเตรียมพร้อม โปรแกรมควบคุมลำดับการทำงานจะตรวจสอบว่าเวลาปัจจุบันตรงกับตารางการทำงานที่ตั้งไว้หรือไม่ ทุก 1 วินาที หากพบว่าเวลาตรงกัน ระบบจะเริ่มกระบวนการให้อาหารตามลำดับ คือ 1) นำอาหารเข้าไปยังภาชนะเพาะเลี้ยงพืช 2) ปลอ่ยให้พืชจมน้ำในอาหารเหลวตามระยะเวลาของการให้อาหาร 3) นำอาหารออกจากภาชนะเพาะเลี้ยงพืช เมื่อครบลำดับการทำงานดังกล่าวแล้ว ระบบจะกลับไปอยู่ในสถานะ

เตรียมพร้อมรอการทำงานในรอบถัดไปที่กำหนดไว้ในตารางการทำงาน วาล์วไฟฟ้าจะเปิดปิด
สอดคล้องกับลำดับการทำงานของโปรแกรม

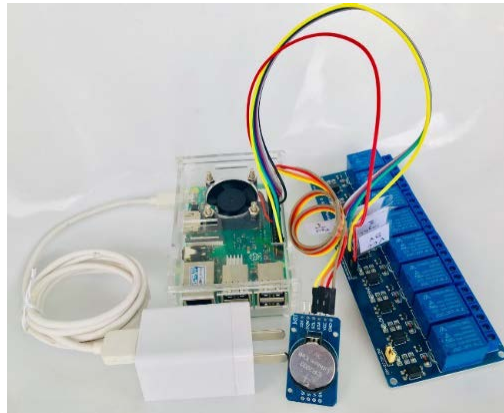
ในขณะเดียวกันผู้ใช้สามารถเข้าถึงการควบคุมระบบผ่านเว็บเบราว์เซอร์ ซึ่งจะเริ่มต้นด้วยการแสดงหน้าจอข้อมูลการตั้งค่าเดิมจากฐานข้อมูล หากผู้ใช้มีการแก้ไข ระบบจะบันทึกข้อมูลการทำงานลงฐานข้อมูล โปรแกรมจะปรับข้อมูลในตารางการทำงานใหม่ให้โดยอัตโนมัติ ลำดับการทำงานแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนผังลำดับการทำงานของ (Sequence Diagram)

3. การพัฒนาราสป์เบอร์รี่พายเพื่อควบคุมการทำงานของไบโอรีแอกเตอรืจ่มชั่วคราว

ผู้วิจัยได้ประกอบอุปกรณ์ควบคุมสำคัญเข้าด้วยกันดังที่ออกแบบไว้ เริ่มจากการเชื่อมต่อ ราสป์เบอร์รี่พาย 3 รุ่น B+ เข้ากับโมดูลนาฬิกาและรีเลย์ 8 ช่อง ดังแสดงในรูปที่ 4



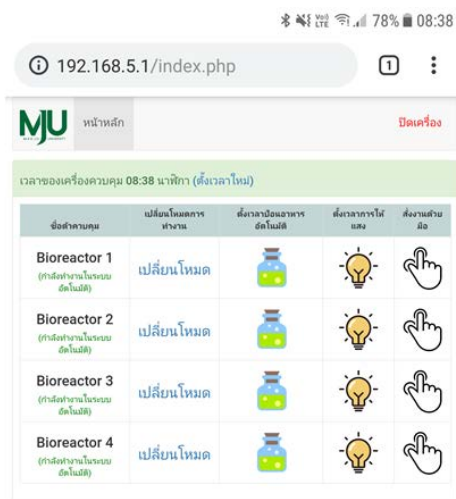
รูปที่ 4 ราสป์เบอร์รี่พายเพื่อควบคุมการทำงานของไบโอรีแอกเตอรืจ่มชั่วคราว

จากนั้นติดตั้งระบบปฏิบัติการ Raspbian และซอฟต์แวร์จำเป็นพื้นฐานประเภทโอเพนซอร์ส ทั้งหมด (ตารางที่ 2) จะได้ราสป์เบอร์รี่พายที่พร้อมสำหรับการพัฒนาส่วนของการประมวลผลเพื่อ แสดงข้อมูลติดต่อกับผู้ใช้ด้วยเว็บแอปพลิเคชัน และส่วนของการประมวลผลลำดับการทำงานเพื่อ ควบคุมวาล์วไฟฟ้า

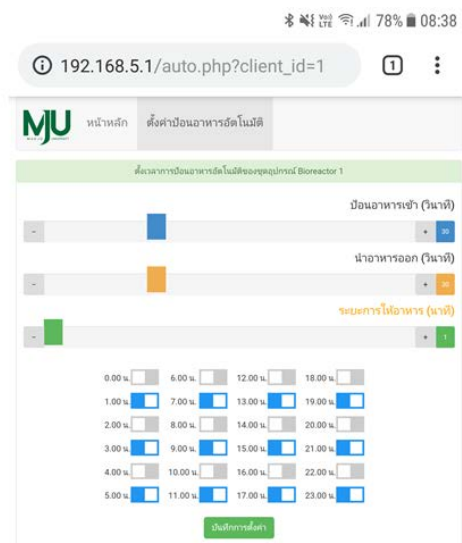
ตารางที่ 2 ซอฟต์แวร์ของหน่วยควบคุม

ประเภทซอฟต์แวร์	ซอฟต์แวร์ที่เลือกใช้
Web server	Apache
PHP Interpreter	PHP 7.0
MQTT Broker	Mosquitto
Database Management System	MySQL(MariaDB)
Python Interpreter	Python3

สำหรับส่วนติดต่อผู้ใช้งานที่เป็นเว็บแอปพลิเคชันนั้นสามารถเข้าถึงได้จากอุปกรณ์ที่ติดตั้ง โปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์ หลังจากเชื่อมต่อกับสัญญาณไวไฟที่ปล่อยจากตัวราสป์เบอร์รี่พาย ตัวอย่างของเว็บแอปพลิเคชันสำหรับควบคุมการทำงานของ TIB แสดงในรูปที่ 5



(ก)



(ข)

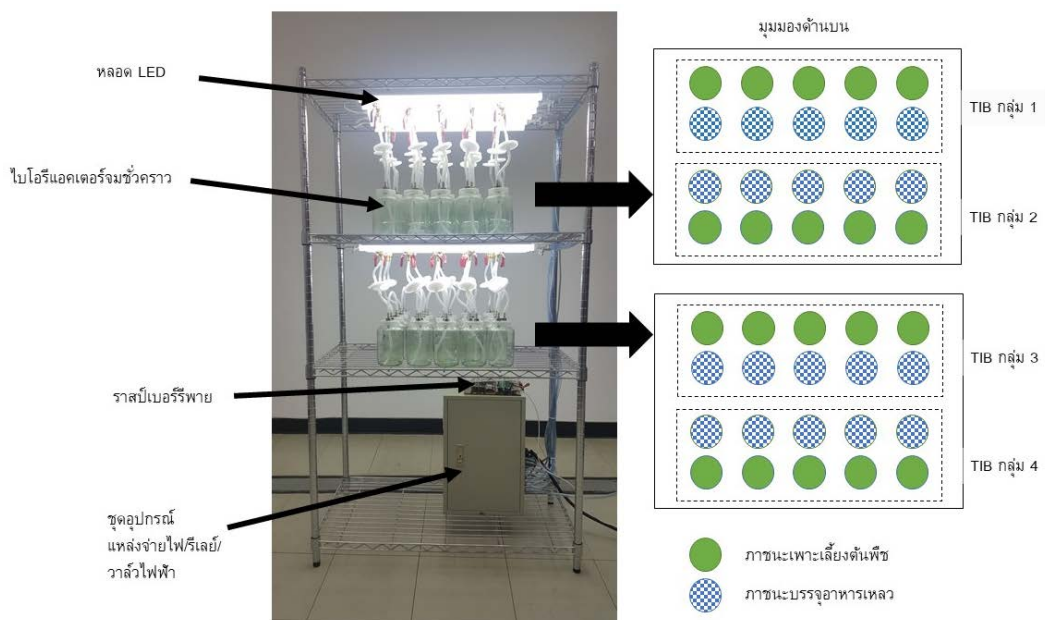
รูปที่ 5 เว็บแอปพลิเคชันสำหรับควบคุมการทำงานของ TIB

รูปที่ 5 (ก) เป็นหน้าจอหลักสำหรับควบคุมการทำงานของ TIB ชุดที่ 1 ถึง 4 เมื่อต้องการปรับตั้งค่าการให้อาหาร ให้กดที่ไอคอนรูปขวด จากนั้นหน้าจอกำหนดเงื่อนไขการให้อาหาร (รูปที่ 5 (ข)) จะแสดงขึ้นมา ผู้ใช้สามารถกำหนดระยะเวลาให้อาหารเข้า (1-120 วินาที) ระยะเวลาให้อาหารออก (1-120 วินาที) และระยะเวลาการให้อาหาร (1-30 นาที) สำหรับการกำหนดจำนวนครั้งในการให้อาหาร จะเลื่อนปุ่มเวลาด้านล่างซึ่งมีเวลากำกับอยู่ตั้งแต่ 0.00-23.00 น. ตัวอย่างในรูปที่ 5 เป็นการกำหนดให้ TIB 1 ให้อาหารต้นพืช 12 ครั้งต่อวัน ที่เวลา 1.00 น. 3.00 น. 5.00 น. 7.00 น. 9.00 น. 11.00 น. 13.00 น. 15.00 น. 17.00 น. 19.00 น. 21.00 น. และ 23.00 น. ราสบีเบอร์รี่พายจะสั่งให้หัวส้วไฟฟ้าทำงานเพื่อนำอาหารเข้าเป็นเวลา 30 วินาที ให้อาหารกับต้นพืชนาน 1 นาที และนำอาหารออกเป็นเวลา 30 วินาที นอกจากความสามารถหลักที่ได้อธิบายมาแล้ว เว็บแอปพลิเคชันที่ได้พัฒนาขึ้นยังสามารถควบคุมหลอดไฟให้แสงสว่างกับต้นพืช และรองรับการควบคุมด้วยคน (manual control) (รายละเอียดไม่ได้แสดงในบทความวิจัยนี้)

ในส่วนของการประมวลผลลำดับการทำงานเพื่อควบคุมวาล์วไฟฟ้า ผู้วิจัยได้พัฒนาโปรแกรมตามที่ได้ออกแบบไว้และทดสอบความถูกต้องของการส่งสัญญาณเปิดปิดรีเลย์ โดยสังเกตหลอด LED ที่แสดงสถานะการทำงานของรีเลย์แต่ละตัว พบว่า โปรแกรมสามารถสั่งงานให้รีเลย์แต่ละตัวให้ทำงานตามลำดับที่กำหนดไว้ได้อย่างถูกต้อง

4. การติดตั้งระบบไบโอรีแอกเตอร์จุ่มชั่วคราวควบคุมด้วยราสปิเบอร์รี่พาย

ผู้วิจัยได้เชื่อมต่อราสปิเบอร์รี่พายและชุดรีเลย์ที่พัฒนาขึ้นกับวาล์วไฟฟ้าจำนวน 4 ชุด เพื่อควบคุม TIB จำนวน 4 กลุ่ม แต่ละกลุ่มประกอบไปด้วย TIB ขนาด 0.7 ลิตร จำนวน 5 ชุด ดังแสดงในรูปที่ 6 จากภาพจะเห็นได้ว่าการจัดวางชุด TIB นั้นจะให้ภาชนะเพาะเลี้ยงต้นพืชอยู่ชิดขอบด้านนอกของชั้นวาง ส่วนภาชนะบรรจุอาหารเหลวอยู่ด้านในของชั้นเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถสังเกตการพัฒนาของต้นพืชได้สะดวก ในแต่ละชั้นจะมีชุด TIB จำนวน 2 กลุ่ม กลุ่มละ 5 ชุด แต่ละกลุ่มจะทำงานพร้อมกันตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ ระบบ TIB ควบคุมด้วยราสปิเบอร์รี่พายที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ จึงสามารถเพาะเลี้ยงต้นพืชในสภาวะการให้อาหารที่แตกต่างกัน 4 รูปแบบ



รูปที่ 6 ระบบไบโอรีแอกเตอร์จุ่มชั่วคราวควบคุมด้วยราสปิเบอร์รี่พาย

5. การทดสอบการทำงานของไบโอรีแอกเตอร์จุ่มชั่วคราวควบคุมด้วยราสปิเบอร์รี่พาย

หลังจากติดตั้งระบบ TIB กับราสปิเบอร์รี่พายแล้วจะทดสอบการทำงานของระบบ ได้แก่ 1) การทดสอบลำดับการทำงานของ TIB 2) การทดสอบการทำงานของ TIB ตามตารางการทำงาน และ 3) การทดสอบการทำงานของ TIB แบบคู่ขนาน โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.1 การทดสอบลำดับการทำงานของไบโอรีแอกเตอร์จุ่มชั่วคราว

การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบว่า ราสปิเบอร์รี่พายสามารถควบคุมวาล์วไฟฟ้าให้เปิดปิดตามเงื่อนไขเวลาที่กำหนดหรือไม่ โดยการตั้งค่าการทำงานของ TIB ทุกกลุ่ม ดังนี้

ระยะเวลานำอาหารเข้าเท่ากับ 30 วินาที ระยะเวลให้อาหารเท่ากับ 1 นาที ระยะเวลานำอาหารออก 30 วินาที ทำการทดสอบ TIB ครั้งละ 1 กลุ่ม ทำซ้ำ 3 ครั้ง พบว่า วาล์วไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับ TIB แต่ละกลุ่มเปิดปิดตามลำดับการทำงานและระยะเวลาที่กำหนดได้อย่างถูกต้อง

5.2 การทดสอบการทำงานของไบโอรีแอกเตอร์ตามตารางการทำงาน

การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบว่า ราชบีเบอร์รี่พาย สามารถทำงานตามตารางเวลาที่กำหนดไว้หรือไม่ โดยกำหนดให้ TIB ทุกชุดให้อาหารต้นพีช จำนวน 8 ครั้ง ทุกๆ 1 ชั่วโมง เริ่มตั้งแต่ 9.00 น. ถึง 16.00 น. ระยะเวลานำอาหารเข้าเท่ากับ 30 วินาที ระยะเวลให้อาหารเท่ากับ 1 นาที ระยะเวลานำอาหารออก 30 วินาที ทำซ้ำ 3 วัน พบว่า ราชบีเบอร์รี่พายสามารถทำงานตามตารางเวลาที่กำหนดไว้ได้อย่างถูกต้อง

5.3 การทดสอบการทำงานของ TIB แบบคู่ขนาน

หลังจากทดสอบความสามารถของราชบีเบอร์รี่พายในการควบคุมลำดับและการทำงานของ TIB ตามตารางการทำงานแล้ว จึงทำการทดสอบความสามารถในการทำงานแบบคู่ขนานโดยกำหนดตารางเวลาการทำงานของ TIB แต่ละกลุ่มรายละเอียดแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 กำหนดตารางเวลาทดสอบการทำงานของ TIB

การให้อาหาร	TIB (กลุ่มที่)			
	1	2	3	4
ครั้งที่ 1	9.00 น.	8.00 น.	9.00 น.	8.00 น.
ครั้งที่ 2	11.00 น.	10.00 น.	11.00 น.	10.00 น.
ครั้งที่ 3	13.00 น.	12.00 น.	13.00 น.	12.00 น.
ครั้งที่ 4	15.00 น.	14.00 น.	15.00 น.	14.00 น.
ครั้งที่ 5	17.00 น.	16.00 น.	17.00 น.	16.00 น.

จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่า TIB กลุ่มที่ 1 และ 3 จะเริ่มกระบวนการนำอาหารเข้าพร้อมกัน ส่วน TIB กลุ่มที่ 2 และ 4 จะเริ่มกระบวนการนำอาหารเข้าพร้อมกัน ทั้งนี้กำหนดระยะเวลาการนำอาหารเข้าและนำอาหารออกเท่ากับ 30 วินาที สำหรับ TIB ทุกกลุ่ม แต่ระยะเวลให้อาหารสำหรับ TIB กลุ่มที่ 1 และ 2 นานเท่ากับ 1 นาที ส่วน TIB กลุ่มที่ 3 และ 4 มีระยะเวลให้อาหารนาน 2 นาที ดังนั้นเมื่อถึงเวลา 8.00 น. TIB กลุ่มที่ 2 และ 4 จะเริ่มนำอาหารเข้าสู่ TIB เป็นเวลา 30 วินาที

จากนั้นเมื่อครบ 1 นาที่ TIB กลุ่มที่ 2 จะนำอาหารกลับ ส่วน TIB กลุ่มที่ 4 จะนำอาหารกลับเมื่อครบ 2 นาที่ ในขณะที่ TIB กลุ่มที่ 1 และ 3 จะไม่มีการถ่ายเทอาหารระหว่างภาชนะทั้งสอง ด้วยกระบวนการนี้ทำให้สังเกตการทำงานของ TIB แต่ละกลุ่มแบบคู่ขนานได้ จากการสังเกตการทำงานเป็นเวลานาน 6 สัปดาห์ พบว่า ระบบ TIB แต่ละกลุ่มสามารถทำงานได้ตามที่กำหนดไว้ได้อย่างถูกต้อง

6. สรุปผล

ระบบไบโอรีแอคเตอร์จุ่มชั่วคราวเป็นเครื่องมือที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตต้นพืชได้ ในระหว่างกระบวนการเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนพืชจะสัมผัสกับอาหารเหลวและอากาศสลับกัน ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมกระบวนการนี้จะช่วยเพิ่มกำลังการผลิตต้นพืชและลดต้นทุนด้านแรงงาน หน่วยควบคุมมีบทบาทสำคัญในการจัดลำดับการทำงานของวาล์วไฟฟ้าเพื่อจ่ายอากาศ เกิดการถ่ายเทอาหารเหลวในระบบไบโอรีแอคเตอร์จุ่มชั่วคราว ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาหน่วยควบคุมบน Raspberry Pi ที่ใช้งานง่ายสำหรับไบโอรีแอคเตอร์จุ่มชั่วคราว การควบคุมสั่งงานทำได้โดยสะดวกผ่านเว็บแอปพลิเคชัน พัฒนาโดยใช้ภาษาพีเอชพีเข้าถึงได้จากเว็บเบราว์เซอร์บนสมาร์ทโฟนหรือคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อกับ Raspberry Pi ผ่านไวไฟ โปรแกรมบน Raspberry Pi พัฒนาโดยภาษาไพทอน สามารถรับส่งข้อมูลการทำงานให้กับผู้ใช้และควบคุมการถ่ายเทอาหารเหลวในชุดไบโอรีแอคเตอร์จุ่มชั่วคราวได้อย่างอิสระพร้อมกัน 4 กลุ่มตามที่กำหนดไว้ตลอดระยะเวลาการทดสอบ 6 สัปดาห์ จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำหน่วยควบคุมที่พัฒนาขึ้นไปใช้ผลิตต้นพันธุ์พืชปลอดโรค

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยนี้

References

- [1] Lorenzo J, González B, Escalona M, Teisson C, Borroto C. Sugarcane shoot formation in an improved temporary immersion system. Plant Cell, Tissue and Organ Culture 1998;54(3):197-200.
- [2] Lorenzo J, De Los Angeles Blanco M, Peláez O, González A, Cid M, Iglesias A, et al. Sugarcane micropropagation and phenolic excretion. Plant Cell, Tissue and Organ Culture 2001;65(1):1-8.

- [3] Lorenzo Feijoo J, Ojeda E, Espinosa A, Borroto C. Field performance of temporary immersion bioreactor-derived sugarcane plants. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant* 2001;37:803-6.
- [4] Topoonyanont N, Poonnoy P, Klayraung S, Ampawan R, Kaenkate T. Disease-free sugarcane plantlet micropropagation with temporary immersion bioreactor. Research report. Bangkok: National Research Council of Thailand; 2012.
- [5] Escalona M, Lorenzo J C, González B, Daquinta M, González J L, Desjardins Y, et al. Pineapple (*Ananas comosus* L. Merr) micropropagation in temporary immersion systems. *Plant Cell Reports* 1999;18(9):743-8.
- [6] Daungban S, Pumisutapon P, Topoonyanont N, Poonnoy P. Effects of explants division by cutting, concentrations of TDZ and number of sub-culture cycles on propagation of 'Kluai Hom Thong' banana in a temporary immersion bioreactor system. *Thai Journal of Science and Technology* 2017;6(1):89-99.
- [7] Etienne H, Berthouly M. Temporary immersion systems in plant micropropagation. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 2002;69(3):215-31.
- [8] Dutta Gupta S, Ibaraki Y, Afreen F. Temporary immersion bioreactor. In: Hofman M, Anné J, Nedović V, Willaert R, editors. *Plant tissue culture engineering focus on biotechnology*. 6: Springer Netherlands; 2006. p. 187-201.
- [9] Alvard D, Cote F, Teisson C. Comparison of methods of liquid medium culture for banana micropropagation. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 1993;32(1):55-60.
- [10] Lyam P, Musa M, Jamaledine Z, Okere U, Odofofin W. The potential of temporary immersion bioreactors (TIBs) in meeting crop production demand in Nigeria. *Journal of Biology and Life Science* 2012;3(1):66-86.
- [11] Poonnoy P, Topoonyanont N. Parallel computing and state machine software development for multiple temporary immersion bioreactor systems sequence control. *International Conference of Agricultural Engineering: CIGR-Ageng 2012*; 2012 July 8-12; Valencia Conference Center, Valencia, Spain. 2012.
- [12] Poonnoy P, Topoonyanont N. Development of computerized control system for large-scaled temporary immersion bioreactors. Research report. Bangkok: National Research Council of Thailand; 2010.

- [13] Poonnoy P, Topoonyanont N, Poomsutthapol P. Factors influencing growth and quality of some crops culturing in temporary immersion bioreactor system. Research report. Bangkok: National Research Council of Thailand; 2015.
- [14] Topoonyanont N, Poomsutthapol P, Poonnoy P, Klayraung S. Comparison of efficiency of container materials in TIB system for globba micropropagation. 6th International ISHS Symposium: Production and Establishment of Micropropagated Plants; 2015 April 19-24; Sanremo, Italy.
- [15] Bepery C, Baral S, Khashkel A, Hossain F. Advanced home automation system using Raspberry-Pi and Arduino. International Journal of Computer Science and Engineering 2019;8(8):1-10.
- [16] Leccese F, Marco C, Trinca D. A smart city application: A fully controlled street lighting isle based on Raspberry-Pi card, a Zigbee sensor network and wimax. Sensors 2014;14:24408-24.
- [17] Tanaram C, Fujii Y, Ongsuwan S. Remote agriculture and automation control using internet of thing (IoT) design and implementation. Kasem Bundit Engineering Journal 2018;8 (Special Issue May 2018):25-37.
- [18] Jindarat S, Wuttidittachotti P. Smart farm monitoring using raspberry pi and arduino. IEEE 2015 International Conference on Computer, Communication, and Control Technology (I4CT 2015); 2015 April 21-23, Sarawak, Malaysia 2015.

ประวัติผู้เขียนบทความ



อาจารย์นนท์ ปิ่นเงิน อาจารย์ประจำคณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ สำเร็จการศึกษาวิทยาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมซอฟต์แวร์ จากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โทรศัพท์ 053-873-550
งานวิจัยที่สนใจ: การพัฒนาระบบซอฟต์แวร์และอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่งในงานทางด้านการเกษตร



รองศาสตราจารย์ ดร.พูนพัฒน์ พูนน้อย รองศาสตราจารย์ประจำคณะ
วิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ สำเร็จ
การศึกษาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร จาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โทรศัพท์ 053-875-000 ต่อ
131

งานวิจัยที่สนใจ: ระบบควบคุมอัตโนมัติในงานอุตสาหกรรมเกษตรและ
อาหาร

Article History:

Received: September 15, 2019

Revised: December 16, 2019

Accepted: December 16, 2019