**1. ชื่อโครงงาน** การออกแบบและปรับปรุงเครื่องผสมสารละลายธาตุอาหาร ควบคุมด้วยฟัซซี่ลอจิก

(Design and Improvement of a Nutrient Solution Mixer Controlled by

Fuzzy Logic)

**2. ผู้จัดทำโครงงาน** รหัสนักศึกษา 651103004

ชื่อนักศึกษา นายนิติพงษ์ แสงหล้า

**3. อาจารย์ที่ปรึกษา** นายวุฒิชัย ปวงมณี

**4. วัตถุประสงค์ของโครงงาน**

4.1 ออกแบบและปรับปรุงเครื่องผสมสารละลายธาตุอาหาร A และ B

4.2 เพื่อให้สามารถผสมสารละลายได้อย่างแม่นยำตามสัดส่วนที่เหมาะสมกับการปลูกผักสลัดในระบบปลูกไฮโดรโปนิกส์

**5. แนวเหตุผล**

ปัจจุบันการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (Soilless Culture) โดยเฉพาะระบบปลูกแบบไฮโดรโปนิกส์ (Hydroponics) กำลังได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น เนื่องจากช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ควบคุมปัจจัยแวดล้อมเช่นน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง และลดการใช้พื้นที่เพาะปลูก ระบบปลูกแบบไฮโดรโปนิกส์นี้ต้องอาศัยสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมเพื่อให้พืชได้รับสารอาหารอย่างครบถ้วน โดยสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในระบบไฮโดรโปนิกส์แบ่งออกเป็นสารละลายธาตุอาหาร A และ B โดยสารละลายธาตุอาหาร A ประกอบด้วยแคลเซียมไนเตรต (Ca(NO3)2) ซึ่งให้แคลเซียม (Ca) ,ไนโตรเจน (N), เหล็ก (Fe) และสารละลายธาตุอาหาร B ประกอบด้วยโพแทสเซียม (K), ฟอสฟอรัส (P), แมกนีเซียม (Mg), แมงกานีส (Mn), สังกะสี (Zn) และทองแดง (Cu) ซึ่งมีส่วนสำคัญต่อการสังเคราะห์แสงและกระบวนการเจริญเติบโตของพืช (คงเอก ศิริงามและคณะ, 2557) โดยการเตรียมและผสมสารละลายยังคงมีปัญหาเรื่องความไม่สม่ำเสมอของความเข้มข้น ซึ่งอาจส่งผลต่อการดูดซึมธาตุอาหารของพืช รวมถึงความผิดพลาดในการคำนวณปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะสม โดยเฉพาะในสวนผักสลัดในระบบปลูกแบบไฮโดรโปนิกส์ที่ต้องการระบบจ่ายสารละลายที่แม่นยำและต่อเนื่อง หากมีข้อผิดพลาดในการเตรียมสารละลาย อาจส่งผลให้พืชขาดแคลนธาตุอาหารหรือได้รับในปริมาณที่มากเกินไป ซึ่งอาจลดประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและคุณภาพของผลผลิต (นภัสสร และคณะ, 2564)

จากเหตุผลข้างต้นผู้จัดทำจึงมีเป้าหมายเพื่อศึกษาและพัฒนาเครื่องผสมสารละลายธาตุอาหาร A และ B เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมอัตราส่วนของธาตุอาหาร โดยมุ่งเน้นให้สามารถตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC) และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ได้แบบอัตโนมัติ ซึ่งจะช่วยให้เกษตรกรสามารถทำการปลูกผักสลัดแบบไฮโดรโปรนิกส์ได้สะดวกมากขึ้น

**6. ขอบเขตของโครงงานฯ**

6.1 ควบคุมค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารโดยกำหนดค่าการนำไฟฟ้า อยู่ในช่วง

0.5 - 2.2 mS/cm

6.2 ควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง ให้อยู่ในช่วง 5.5 - 6.5 เพื่อให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโต

ของผักสลัด

6.3 ออกแบบและสร้างเครื่องผสมสารละลายธาตุอาหาร A และ B ที่สามารถควบคุมค่าการนำ

ไฟฟ้า และความเป็นกรด-ด่าง ได้ตามต้องการในน้ำระหว่าง 90 ถึง 120 ลิตร

**7. ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงานฯ**

7.1 สามารถผสมสารละลายได้ตามสัดส่วนที่เหมาะสมกับการปลูกผักสลัดในระบบปลูกแบบไฮโดรโปนิกส์

7.2 ลดภาระในการดูแลการปลูกผักสลัดในระบบปลูกแบบไฮโดรโปนิกส์ โดยเครื่องผสมสารละลายธาตุอาหาร

**8. ขั้นตอนดําเนินงาน**

8.1 ศึกษาวิจัยและรวบรวมข้อมูลหลักการและองค์ประกอบของระบบการปลูกผักสลัดแบบไฮโดรโปนิกส์

8.2 ออกแบบระบบการปลูกผักสลัดแบบไฮโดรโปนิกส์และเครื่องผสมสารละลายธาตุอาหาร

8.3 ทดสอบและปรับปรุงเครื่องผสมสารละลายธาตุอาหาร

8.4 ทดสอบประสิทธิภาพในระบบปลูกผักสลัดแบบไฮโดรโปนิกส์

8.5 จัดทำเอกสารปริญญานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

**9. บทนํา**

การปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิกส์ (Hydroponics) กำลังได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตพืชและสามารถควบคุมปัจจัยแวดล้อมเช่นน้ำ และความเป็นกรด-ด่าง ได้ดีกว่าการปลูกในดิน โดยระบบปลูกแบบไฮโดรโปนิกส์นี้ต้องอาศัยสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมเพื่อให้พืชได้รับสารอาหารที่ครบถ้วน ซึ่งแบ่งออกเป็นสารละลายธาตุอาหาร A และ B เพื่อให้ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยการเตรียมสารละลายธาตุอาหารยังคงเป็นปัญหาที่สำคัญ เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของความเข้มข้นที่อาจเกิดขึ้น ส่งผลต่อการดูดซึมธาตุอาหารและการเจริญเติบโตของพืช โดยเฉพาะในสวนผักสลัดที่ต้องการความแม่นยำในการควบคุมสารละลายธาตุอาหาร การคำนวณและการผสมสารละลายธาตุอาหารที่ไม่ถูกต้องจะส่งผลให้พืชขาดธาตุอาหารหรือได้รับธาตุอาหารในปริมาณที่เกินความจำเป็น

โครงการวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายในการพัฒนาเครื่องผสมสารละลายธาตุอาหารที่สามารถควบคุมอัตราส่วนของธาตุอาหารได้อย่างแม่นยำ พร้อมทั้งสามารถตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้าในน้ำ และค่าความเป็นกรด-ด่าง อัตโนมัติ ซึ่งจะช่วยให้เกษตรกรสามารถควบคุมการปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิกส์ได้สะดวกและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

**10. เนื้อหาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง**

**10.1 ผักสลัดกรีนโอ๊ค**

ผักสลัดกรีนโอ๊ค (Oak Leaf Lettuce) เป็นผักที่ใช้รับประทานส่วนของใบ มีชื่อสามัญ Green Oak lettuce และชื่อวิทยาศาสตร์ *Lactuca sativa var.crispa L.* เป็นพืชในวงศ์ Compositae ซึ่งมีถิ่นกำเนิดในทวีปยุโรปแถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียน และทวีปเอเชียไมเนอร์ ธรรมชาติของผักสลัดกรีนโอ๊คเป็นพืชที่ต้องการสภาพอากาศเย็น อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 10 – 24 องศาเซลเซียส ในสภาพอุณหภูมิสูง การเจริญเติบโตทางใบจะลดลง และพืชสร้างสารคล้ายน้ำนมหรือยางมาก เส้นใยสูง เหนียว และมีรสขม พื้นที่ปลูกควรโล่งและได้รับแสงแดดอย่างเต็มที่  โดยเป็นผักสลัดที่ให้คุณค่าทางอาหารสูงมาก เพราะอุดมไปด้วยใยอาหาร ในผักกรีนโอ๊ค 100 กรัม ให้ใยอาหารสูงถึง 2.1 กรัม แถมยังมีวิตามินเอ วิตามินซี วิตามินเค วิตามินบี วิตามินบี 2 วิตามินบี 5 วิตามินบี 6 วิตามินบี 9 และมีแร่ธาตุที่สำคัญทั้งแคลเซียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ธาตุเหล็ก แมกนีเซียม และสังกะสี

**ตารางที่ 1** ลักษณะประจำพันธุ์ทางพฤกษศาสตร์ของผักสลัดกรีนโอ๊ค

|  |  |
| --- | --- |
| **ประเภท** | ลักษณะทางพฤกษศาสตร์คือเป็นไม้ล้มลุกขนาดเล็ก มีที่อายุสั้น |
| **ต้น** | ลำต้น เป็นลำต้นเดี่ยว มีลำต้นอวบสั้น ช่วงข้อถี่ หรือกลมอวบอ้วน มีข้อสั้นๆ |
| **ใบ** | ใบ มีเขียวอ่อน หรือเขียวเข้ม ขึ้นอยู่กับลักษณะของสายพันธุ์ ขอบใบหยักมีสีเขียวอ่อน ใบจะเจริญจากข้อเป็นกลุ่ม มีก้านใบยาวอวบน้ำหุ้มอยู่ ออกเรียงสลับโดยรอบปกคลุมที่โคนลำต้น ไม่ห่อหัว ก้านใบมีสีเขียว อ่อน ใบเดี่ยว ออกตรงโคนลำต้น ออกตามข้อสั้น ออกเรียงสลับรอบๆ ใบอยู่ด้านนอกใหญ่กว่าใบข้างใน เล็กกว่า รูปเรียวรี มีใบบางนุ่ม ใบหยัก รสชาติหวานกรอบ |
| **ดอก** | ดอก ออกเป็นช่อ ดอกขนาดเล็ก กลีบดอกสีเหลือง ช่อดอกเป็นแบบช่อดอกรวม (Panicle) สูง 2-4 ฟุต ประกอบด้วย ดอก 10 - 25 ดอกต่อช่อ เป็นดอกสมบูรณ์เพศกลีบดอกสีเหลือง หรือขาวปนเหลือง ดอกจะบานช่วงเช้า โดยเฉพาะในช่วงที่อุณหภูมิต่ำ |



**ภาพที่ 1** ตัวอย่างผักสลัดกรีนโอ๊ค

ที่มา : กรมส่งเสริมการเกษตร. (2558)

**10.2 สารละลายธาตุอาหาร A และ B**

**10.2.1 ค่าความนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC)**

ธาตุอาหารพืชที่อยู่ในรูปองค์ประกอบทางเคมี เมื่อนำมาละลายในน้ำจะแตกตัวเป็น อิออนของธาตุ ค่าการนำไฟฟ้าเป็นการวัดปริมาณเกลือที่ละลายน้ำได้ เกลือที่ละลายน้ำได้เมื่ออยู่ในน้ำจะแตกตัวให้ไอออนบวกและไอออนลบ ซึ่งนำไฟฟ้าได้ ค่าการนำไฟฟ้าจะผันแปรตามชนิดของไอออนบวกและไอออนลบ หรือปริมาณเกลือในสารละลาย และอุณหภูมิของสารละลาย

โดยสามารถวัดเป็นค่าความนำกระแสไฟฟ้า มีหน่วย SI คือซีเมนส์ต่อเมตร (S/m) แต่ค่าของการนำไฟฟ้านี้ค่อนข้างน้อยมาก จึงมีการวัดเป็นมิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร (mS/cm) ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการวัดการนำกระแสไฟฟ้าจากพื้นที่หนึ่งคิวบิกเซนติเมตรของสารละลายธาตุอาหาร ค่าความนำไฟฟ้า เป็นค่ารวมของการนำไฟฟ้าของน้ำกับธาตุอาหารทั้งหมด แต่ไม่สามารถวัดค่าความเข้มข้นของธาตุอาหารแต่ละธาตุได้ ความเข้มข้นของธาตุอาหารเหล่านี้เปลี่ยนไปตามเวลา เนื่องจากพืชนำไปใช้หรือเกิดการตกตะกอน ดังนั้น ในการปลูกพืชจึงควรเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารเมื่อค่าความนำไฟฟ้า สูงหรือต่ำกว่ามาตรฐานที่ต้องการใช้ จึงต้องมีการเตรียมสารละลายธาตุอาหาร A และ B เป็นตัวช่วยในการให้สารอาหารแก่พืชในระบบปลูกแบบไฮโดรโปรนิกส์

**10.2.2 ความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย**

ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของสารละลายที่ใช้ในการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินเป็นสิ่งจำเป็น ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่างของวัสดุปลูกไม่มีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืชปลูก แต่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช และควบคุมกิจกรรมของจุลินทรีย์ในวัสดุปลูก ทั้งนี้เพราะสภาพความเป็นกรด-ด่าง ที่เปลี่ยนแปลงมีผลต่อธาตุอาหารที่พืชจะนำไปใช้ หากสารละลายมีสภาพเป็นด่างจะทำให้เกิดการตกตะกอนของธาตุต่างๆ หลายชนิด เช่น เหล็ก แมงกานีส ฟอสฟอรัส แคลเซียม และแมกนีเซียม มีผลให้ต้นพืชไม่สามารถนำสารอาหารเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ได้ และหากปล่อยทิ้งไว้ให้ต้นพืชขาดแคลนธาตุอาหารยาวนานต่อไป ผลที่สุดคือต้นพืชอาจตายได้ พืชส่วนมากมีความต้องการความเป็นกรดเป้นด่าง เป็นกรดอ่อน หรือค่อนไปในด้านเป็นกรดเล็กน้อย คืออยู่ระหว่าง 5.0 – 6.5 ในสภาพเป็นกรดจะไม่ทำให้ธาตุอาหารต่างๆ เกิดการตกตะกอน โดยธาตุเหล่านี้จะอยู่ในรูปของไอออนที่พืชสามารถนำไปใช้ได้

**10.2.3 องค์ประกอบของสารละลายธาตุอาหาร A และ B**

**10.2.3.1 สารละลายธาตุอาหาร A**

มีต้นกำเนิดโดยใช้ธาตุอาหารหลัก โดยใช้แคลเซียมและไนโตรเจนเป้นหลัก ซึ่งจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ประกอบด้วยแคลเซียมไนเตรต (Ca(NO3)2) ซึ่งให้แคลเซียม (Ca) และไนโตรเจน (N) เหล็ก (Fe) ไนโตรเจนและแคลเซียม ซึ่งช่วยในการเจริญเติบโตของรากและใบ

**10.2.3.2 สารละลายธาตุอาหาร B**

สารละลายธาตุอาหาร B นั้นมีธาตุอาหารรองและธาตุอาหารเสริม รวมถึงสารที่ไม่สามารถผสมกับแคลเซียมไนเตรตในปุ๋ย A ได้ โดยมีธาตุรองที่จำเป็นคือแมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO4) และ โพแทสเซียมฟอสเฟต (KH2PO4) ประกอบด้วยโพแทสเซียม (K), ฟอสฟอรัส (P), แมกนีเซียม (Mg), แมงกานีส (Mn), สังกะสี (Zn) และทองแดง (Cu) ซึ่งช่วยในการสังเคราะห์แสง ช่วยในกระบวนการสร้างพลังงานของพืช

โดยการค้นพบว่าธาตุอาหารบางชนิดทำปฏิกิริยากันจนเกิดการตกตะกอน นำไปสู่การออกแบบปุ๋ยเป็นสองส่วน ได้แก่ สารละลายธาตุอาหาร A มีแคลเซียมไนเตรต ซึ่งไม่สามารถผสมโดยตรงกับซัลเฟตและฟอสเฟต สารละลายธาตุอาหาร B มีธาตุอาหารรองและเสริม เช่น แมกนีเซียมซัลเฟตและธาตุอาหารรอง การผสมของสารละลายธาตุอาหาร A และ B จึงต้องผสมตอนที่จะใช้งานเท่านั้น และการผสมสารละลายธาตุอาหาร A และ B ที่เหมาะสำหรับการปลูกผักสลัดกรีนโอ๊คจะมีการผสมที่แตกต่างกันไปตามช่วงอายุของผักสลัด โดยต้องควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าความนำไฟฟ้า ให้เหมาะสมในแต่ละช่วงอายุโดยจะใช้ค่าที่เหมาะสมดังนี้

**ตารางที่ 2** ค่าความนำไฟฟ้าและค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมกับแต่ละช่วงอายุของผักสลัด

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ช่วงอายุของผักสลัด | ค่าความนำไฟฟ้า (mS/cm) | ค่าความเป็นกรด-ด่าง |
| ช่วงอนุบาลต้นกล้า (0-7 วัน) | 0.5 - 0.8 | 5.5 - 6.0 |
| ช่วงกล้าอายุ 7-14 วัน | 0.8 - 1.2 | 5.5 - 6.2 |
| ช่วงเติบโตเต็มที่ (15-30 วัน) | 1.2 - 1.8 | 5.8 - 6.3 |
| ช่วงก่อนเก็บเกี่ยว (30-45 วัน) | 1.8 - 2.2 | 6.0 - 6.5 |

**10.3 ฟัซซี่ลอจิก**

ฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic) เป็นวิธีการประมวลผลเชิงตรรกะที่สามารถจัดการกับค่าที่ไม่แน่นอนหรือกำกวม ซึ่งแตกต่างจากตรรกะดั้งเดิมที่ใช้ค่าแบบ "จริง (True)" หรือ "เท็จ (False)" เท่านั้น ฟัซซี่ลอจิกช่วยให้ระบบสามารถตัดสินใจได้อย่างยืดหยุ่นมากขึ้น โดยใช้ฟังก์ชันสมาชิก (Membership Function) เพื่อกำหนดระดับความเป็นไปได้ของค่าต่างๆ

ในระบบเครื่องผสมสารละลายธาตุอาหาร A และ B ฟัซซี่ลอจิกถูกนำมาใช้เพื่อควบคุมอัตราการจ่ายสารละลายโดยพิจารณาจาก ค่าความเป็นกรด-ด่าง, ค่าความนำไฟฟ้า และปริมาณน้ำในถังสารละลาย

โดยในระบบนี้ มีตัวแปรอินพุต 3 ค่า ได้แก่

**10.3.1 ฟังก์ชันสมาชิกสำหรับค่าความเป็นกรด-ด่าง**

 (1)



 (2)

โดยที่ x คือค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่วัดได้

**10.3.2 ฟังก์ชันสมาชิกสำหรับค่าความนำไฟฟ้า**

 (3)

 (4)

โดยที่ *EC* คือค่าความนำไฟฟ้าที่วัดได้

**10.3.3 ฟังก์ชันสมาชิกสำหรับปริมาณน้ำในถัง**

 (5)

โดยที่ V คือปริมาณน้ำในถัง (ลิตร)

**10.3.4 กฎฟัซซี่**

กฏที่ 1 ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่ำ และค่าความนำไฟฟ้า ต่ำ และ ปริมาณน้ำปกติ ทำ

การเพิ่มสารละลายธาตุอาหาร B

กฏที่ 2 ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่ำ และค่าความนำไฟฟ้า ปกติ และ ปริมาณน้ำปกติ

ทำการเพิ่มสารละลายปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง

กฏที่ 3 ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่ำ และค่าความนำไฟฟ้า สูง และ ปริมาณน้ำปกติ ทำ

การเพิ่มปริมาณน้ำ

กฏที่ 4 ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่าง สูง และค่าความนำไฟฟ้า ต่ำ และ ปริมาณน้ำปกติ ทำ

การเพิ่มสารละลายธาตุอาหาร A

กฏที่ 5 ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่าง สูง และค่าความนำไฟฟ้า ปกติ และ ปริมาณน้ำปกติ

ทำการเพิ่มสารละลายปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่าง

กฏที่ 6 ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่าง สูง และค่าความนำไฟฟ้า สูง และ ปริมาณน้ำปกติ ทำ

การเพิ่มปริมาณน้ำ

กฏที่ 7 ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่าง ปกติ และค่าความนำไฟฟ้า ต่ำ และ ปริมาณน้ำปกติ

ทำการเพิ่มสารละลายธาตุอาหาร A และสารละลายธาตุอาหาร B

กฏที่ 8 ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่าง ปกติ และค่าความนำไฟฟ้า สูง และ ปริมาณน้ำปกติ

ทำการเพิ่มปริมาณน้ำ

กฏที่ 9 ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่าง ปกติ และค่าความนำไฟฟ้า ปกติ และ ปริมาณน้ำปกติ

ทำการหยุดการทำงาน

**10.3.5 การอนุมานฟัซซี่**

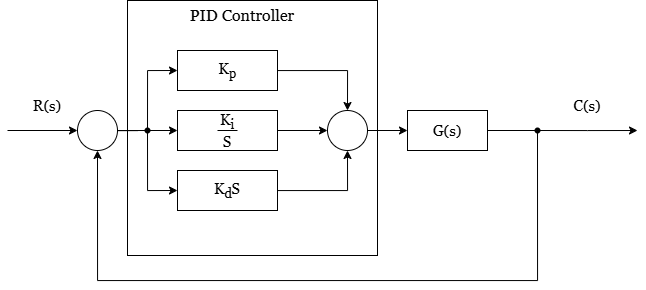
ใช้วิธี Mamdani Inference Method เพื่อรวมผลลัพธ์จากกฎฟัซซี่ โดยใช้ Min-Max

Composition

 (6)

**10.4 ทฤษฎีการควบคุม (PID, LQR)**

ตัวควบคุมแบบพีไอดี เป็นตัวควบคุมที่ทำงานโดยการนำค่าความผิดพลาดระหว่างสัญญาณอ้างอิงกับค่า ปัจจุบันที่ได้จากกระบวนการ (process) มาสร้างสัญญาณเอาต์พุตใหม่ ด้วยการขยายความผิดพลาดของสัญญาณ ดังกล่าวด้วยค่าเกน(gain) โครงสร้างการทำงานของตัวควบคุมแบบพีไอดี ดังแสดงในภาพ จากรูปดังกล่าวแสดง ให้เห็นว่า เอาต์พุตของตัวควบคุม จะเกิดจากสามองค์ประกอบ คือ ตัวควบคุมแบบสัดส่วน (Kp: Proportional Control) ตัวควบคุมแบบปริพันธ์ (Ki: Integral Control) และตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ (Kd: Derivative Control) ซึ่งทั้ง 3 ส่วนของตัวควบคุมจะนำค่าเอาต์พุตไปคูณกับค่าเกนของตัวควบคุมแต่ละชนิด โดยค่าเกนดังกล่าวจะเป็น ตัวกำหนดผลตอบสนองของระบบ โดยรูปแบบของตัวควบคุมแบบพีไอดีจะเป็นไปตามสมการ



***ภาพที่ 2*** *ภาพบล็อกไอดอะแกรมของตัวควบคุมแบบพีไอดี*

** (7)

|  |  |
| --- | --- |
| โดยที่ | Kp คือ ค่าตัวคูณสัดส่วน |
|  | Ki คือ ค่าตัวคูณอินทิกรัล |
|  | Kd คือ ค่าตัวคูณอนุพันธ์ |
|  | s ใช้แทนค่าของความถี่เชิงซ้อนในระบบควบคุม |

**10.5 การควบคุมการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง**

มอเตอร์กระแสตรง (DC Motor) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมและระบบควบคุมอัตโนมัติ เนื่องจากมีการควบคุมที่ง่ายและตอบสนองรวดเร็ว สามารถพบการใช้งานได้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ หุ่นยนต์ และระบบอัตโนมัติที่ต้องการความแม่นยำในการควบคุมความเร็วและแรงบิดมอเตอร์กระแสตรงทำงานโดยอาศัยหลักการของสนามแม่เหล็กและการเหนี่ยวนำของกระแสไฟฟ้า เมื่อต่อแรงดันไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวดของมอเตอร์ จะเกิดแรงบิดและการหมุนของโรเตอร์

โดยการควบคุมมอเตอร์กระแสตรงมีหลากหลายวิธีในการควบคุมความเร็วและแรงบิดของมอเตอร์กระแสตรง โดยวิธีที่สำคัญ ได้แก่

1. การควบคุมแรงดันไฟฟ้า (Voltage Control) ควบคุมความเร็วของมอเตอร์โดยการ

ปรับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้วงจรแปลงแรงดัน เช่น ตัวปรับแรงดันเชิงเส้น หรือการใช้ทรานซิสเตอร์ควบคุมแรงดัน

2. การควบคุมกระแสไฟฟ้า (Current Control) ใช้เพื่อควบคุมแรงบิดของมอเตอร์ โดย

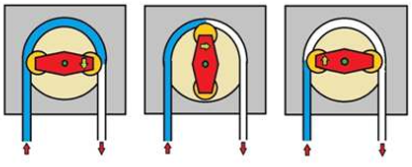
การใช้ตัวขยายกำลังไฟฟ้าหรือวงจรที่ควบคุมกระแสให้คงที่ตามที่ต้องการ

3. การควบคุมด้วยการมอดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation , PWM)

วิธีนี้ใช้สัญญาณดิจิทัลเพื่อปรับค่าแรงดันเฉลี่ยที่มอเตอร์ได้รับ โดยการเปลี่ยนของสัญญาณ PWM

**10.6 การทำงานของ Peristaltic Dosing Pump**

ปั้มรีดท่อสายยาง คือ อุปกรณ์ที่ทําหน้าที่เพิ่มพลังงานให้แก่ของไหล เพื่อทําให้ของไหลเคลื่อนที่จากตําแหน่งหนึ่งไปยังอีกตําแหน่งที่อยู่สูงกว่า หรือในระยะทางที่ไกลออกไป จึงถูกนําไปใช้กับงานได้หลากหลายรูปแบบและหลากหลายอุตสาหกรรม เนื่องจากเป็นปั้มที่ไม่มีส่วนใดของปั้มที่สัมผัสกับของเหลวในสายยางทําให้ไม่เกิดการปนเปื้อน (Contaminate) สามารถตั้งค่าปริมาตรที่ต้องการได้อย่างเที่ยงตรง (Precision) และสามารถตั้งค่าเวลาให้เครื่องทํางานซ้ำๆ ได้ เช่น การย้ายอาหารเหลว 400 มิลลิลิตร ในขวดที่ 1 ไปให้กับต้นพืชในขวดที่ 2 โดยตั้งเวลา 1 ชั่วโมง และการย้ายอาหารเหลวไปยังขวดที่มีต้นพืชแล้วแช่สารอาหารให้กับพืช 30 วินาที แล้วถ่ายอาหารเหลวกลับ เป็นต้น อีกทั้งสามารถเลือกชนิดของวัสดุที่นํามาทําสายยางให้มีคุณสมบัติที่ไม่ทําปฏิกิริยากับของเหลวในสายยางนั้นได้หลายรูปแบบ เช่น สายยางทนสารเคมี สายยางทนความร้อน สายยางทนแรงดันสูง สายยางทนแสง UV เป็นต้นหลักการทํางานของเครื่องปั้มรีดท่อสายยาง คือ ตัวลูกล้อจะรีดสายยางเป็นช่วงๆ เพื่อผลักดันให้ของเหลวในสายยางเกิดการเคลื่อนที่ไปยังทิศทางที่ต้องการ โดยใช้แรงกดบีบบนสายยางที่อยู่ระหว่างลูกล้อ เมื่อลูกล้อพ้นจากสายยาง สายยางจะคืนตัวกลับสู่รูปร่างเดิม อัตราการไหลของเหลวภายในสายยางจะขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายยาง และอัตราเร็วการหมุนของลูกล้อ เมื่อลูกล้อบีบบนสายยาง ทําให้น้ำเคลื่อนที่ภายในสายยางจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง



**ภาพที่ 3** หลักการทำงานของปั๊มรีดท่อสายยาง

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

เมื่อลูกล้อบีบบนสายยาง ทำให้น้ำเคลื่อนที่ภายในสายยางจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ภายในท่อ (Dhumal & Kadam, 2012)ซึ่งมีอัตราการไหลของน้ำภายในท่อ ดังสมการ

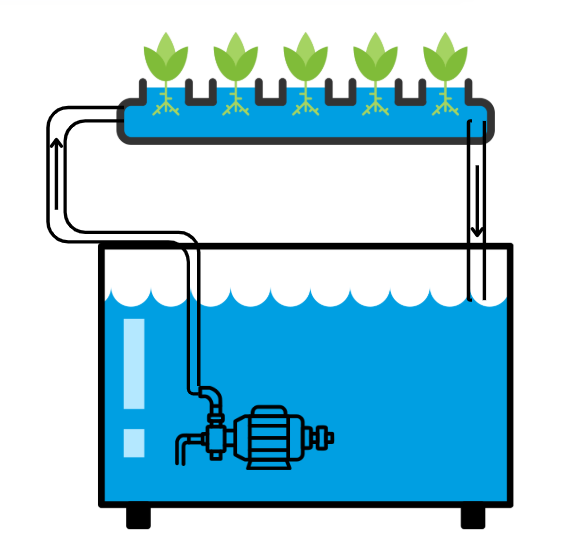
|  |  |
| --- | --- |
|  | (8) |
| โดยที่ | Q คือ อัตราการไหลของน้ำ (มิลลิลิตรต่อนาที) |
|  | V คือ ปริมาตรของน้ำในท่อระหว่างแต่ละลูกล้อ (ลูกบาศก์เซนติเมตร) |
|  | N คือ จํานวนลูกล้อ |
|  | RPM คือ ความเร็วรอบของลูกล้อ (รอบต่อนาที) |

อีกหนึ่งปัจจัยที่สําคัญต่อการไหลของน้ำในท่อ คือ ระยะที่ถูกบีบอัดระหว่างลูกล้อกับฐานรองท่อสายยาง แสดงดังสมการ

|  |  |
| --- | --- |
|  | (9) |
| โดยที่ | y คือ ร้อยละของช่องว่างภายในท่อสายยางที่ถูกบีบอัดระหว่างลูกล้อกับฐานรองท่อสายยาง |
|  | t คือ ความหนาของผนังท่อสายยาง (มิลลิเมตร) |
|  | g คือ ระยะบีบอัดระหว่างลูกล้อกับฐานรองท่อสายยาง (มิลลิเมตร) |
|  |  |

**10.7 ระบบปลูกแบบ DRFT (Dynamic Root Floating Technique)**

เทคนิคการปลูกพืชในน้ำลึกแบบ Dynamic Root Floating Technique หรือ DRFT เป็นเทคนิคแบบ DFT ที่ได้รับการดัดแปลงและพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยมีรางปลูกที่กว้างและมีร่องน้ำอยู่บริเวณกลางรางหลายร่อง เพื่อบังคับให้สารละลายธาตุอาหารไหลอย่างมีทิศทาง คือไหลผ่านร่องจากหัวรางไปยังปลายรางก่อนที่จะล้นลงสู่ถังพักใต้โต๊ะ จากนั้นสารละลายจะถูกดูดกลับขึ้นมาเพื่อไหลวนอย่างต่อเนื่อง ระดับของสารละลายในรางจะถูกกำหนดให้ไม่เกินขอบราง คือประมาณ 6 เซนติเมตร ด้านบนของรางปิดด้วยแผ่นโฟมที่เจาะเป็นช่องเพื่อสอดต้นกล้าผักที่เพาะอยู่ในก้อนฟองน้ำ รากของผักจะเจริญเติบโตและทอดตัวอยู่ในร่องน้ำ โดยได้รับแร่ธาตุอาหารและออกซิเจนจากสารละลายที่ไหลผ่านอย่างต่อเนื่อง เมื่อผักมีอายุมากขึ้นและรากเริ่มยาวจนปลายรากลงไปอยู่ในระดับน้ำที่ลึกลง ซึ่งมีปริมาณออกซิเจนน้อยลง จะมีการปรับลดระดับน้ำโดยการปรับความสูงของท่อกันน้ำล้นที่ปลายราง เมื่อระดับน้ำลดลง จะเกิดช่องว่างระหว่างระดับน้ำกับแผ่นโฟม ซึ่งเรียกว่า "Air Gap" ที่ช่วยให้รากได้สัมผัสกับอากาศอีกทางหนึ่ง



**ภาพที่ 3** ระบบปลูกแบบ DRFT (Dynamic Root Floating Technique)

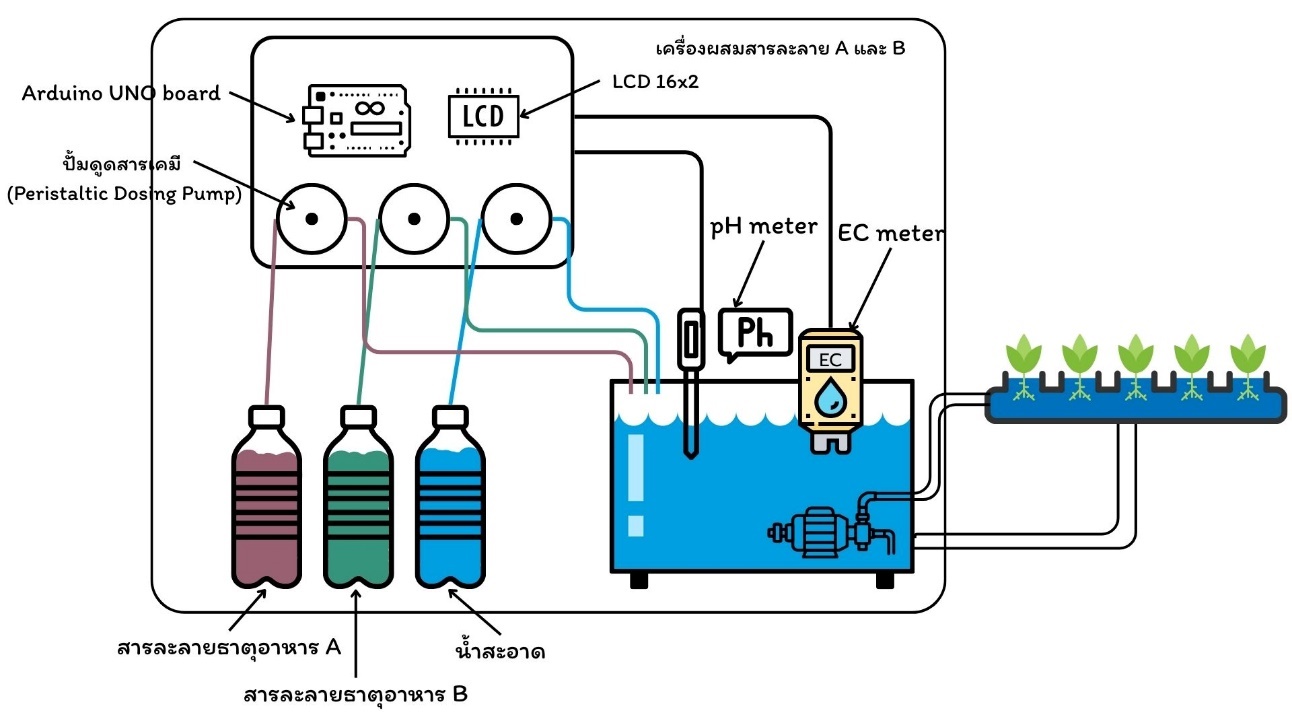
**11. ปัญหาที่เกิดขึ้นพร้อมแนวทางในการแก้ไข (ถ้ามี)**

ยังไม่พบปัญหา

**12. สิ่งที่ได้ดําเนินงานไปแล้ว**

12.1 ศึกษาวิจัยและรวบรวมข้อมูลหลักการและองค์ประกอบของระบบการปลูกผักสลัดแบบไฮโดรโปนิกส์

12.2 ออกแบบระบบการปลูกผักสลัดแบบไฮโดรโปนิกส์และเครื่องผสมสารละลายธาตุอาหาร



**ภาพที่ 4** แผนภาพการทำงานของเครื่องผสมสารละลาย A และ B

**13. แผนงานดําเนินงานที่ผ่านมา และที่จะดำเนินงานต่อไป**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **ขั้นตอนการดำเนินงาน** | **ปี พ.ศ. 2568** | | | | | | | |
| มี.ค. | เม.ย | พ.ค | มิ.ย | ก.ค | ส.ค | ก.ย | ต.ค |
| 1.ศึกษาวิจัยและรวบรวมข้อมูลหลักการและองค์ประกอบของระบบการปลูกผักสลัดแบบไฮโดรโปนิกส์ |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2.ออกแบบระบบการปลูกผักสลัดแบบไฮโดรโปนิกส์และเครื่องผสมสารละลายธาตุอาหาร |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3.ทดสอบและปรับปรุงเครื่องผสมสารละลายธาตุอาหาร |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4.ทดสอบประสิทธิภาพเครื่องผสมสารละลายธาตุอาหาร |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 5.จัดทำเอกสารปริญญานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์ |  |  |  |  |  |  |  |  |

**14. บรรณานุกรม**

กรมส่งเสริมการเกษตร. (2558). *เอกสารคำแนะนำที่ 5/2558 การปลูกผักไฮโดรโปนิกส์.* กรุงเทพฯ: ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

กำจัด ใจตรง., สงกรานต์ ภารกุล., & ณรงค์ฤทธิ์ ยิ้มเจริญพรสกุล. (2564). การควบคุมความเร็วรอบของเซอร์โวมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดีโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.สุวรรณภูมิ*, *5*(1), 78–86.

คงเอก ศิริงาม., กุลิสรา ธีระวิภา., & ณัฐวุฒิ ไหลหาโคตร., (2557). ผลของสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 22(1), 223-231.

นพดล ชุ่มอินทร์. (2563). ผลของสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค ในระบบไฮโดรโพนิกส์. *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า*, *38*(3), 296–303.

พรคิด อั้นขาว. (2562). ระบบควบคุมสารละลายธาตุอาหารแบบอัตโนมัติสำหรับปลูกผักไฮโดรโพนิกส์ ด้วย Internet of Things (IoT), *Recent Science and Technology*, *11*(1), 146–157.

สมชัย แสนบุญส่ง. (2537). ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับฟัซซี่ลอจิก. *วารสารวิชาการ โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า*, *1*(1), 134–153.

อดินันท์ เจ๊ะซู., วุฒิชัย ศรีช่วย., สุพัฒน์ ศรีสวัสดิ์., ฮาซัน ยาเด็ง., & การีม แมะเฮาะ. (2560). การปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบไบโอรีแอคเตอร์โดยการสร้างปั้มรีดท่อสายยางที่ควบคุมด้วยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจำนวนมาก. Princess of Naradhiwas University Journal, 9(1), 151–160. retrieved

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.