รายงานโครงการวิจัย

วิจัยและพัฒนาเครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติ สำหรับการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชไร่

Research and Development of an Automatic Variable Rate use on Seed Drills with Fertilizer Applicators for Field Crop on Seed Production

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัย
นายอานนท์ สายคำฟู
Mr. Arnon Saicomfu

กรมวิชาการเกษตร

ปี พ.ศ. 2564

รายงานโครงการวิจัย

วิจัยและพัฒนาเครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติ สำหรับการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชไร่

Research and Development of an Automatic Variable Rate use on Seed Drills with Fertilizer Applicators for Field Crop on Seed Production

หัวหน้าโครงการวิจัย
นายอานนท์ สายคำฟู
Mr. Arnon Saicomfu

กรมวิชาการเกษตร

ปี พ.ศ. 2564

คำปรารภ (Foreword หรือ Preface)

งานวิจัยด้านเครื่องจักรกลการเกษตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการทำเกษตรแบบแม่นยำในยุคการเกษตร 4.0 มีความสำคัญต่อการพัฒนาและการแข่งขันเพื่อพัฒนาศักยภาพทางด้านการเกษตรของประเทศไทย เพื่อเพิ่มขีดความสามารถแข่งขันให้กับการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชและผลักดันให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางเมล็ดพันธุ์พืช (Seed Hub) ของอาเซียนและเอเชียในอนาคต ซึ่งโครงการ “วิจัยและพัฒนาเครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติสำหรับการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชไร่” เป็นงานวิจัยตามแผนแม่บทยุทธศาสตร์ศูนย์กลางเมล็ดพันธุ์ พ.ศ. 2558-2567 ในการพัฒนาเครื่องมือในกระบวนการผลิตซึ่งเป็นปัจจัยพื้นฐานสนับสนุนการผลิตเมล็ดพันธุ์ (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2559) ที่กรมวิชาการเกษตรได้รับมอบหมายภารกิจจากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์

คณะผู้วิจัยจึงได้จัดทำผลงานวิจัยเรื่องเต็มของโครงการวิจัยดังกล่าวนี้ เพื่อหวังว่าองค์ความรู้และเทคโนโลยีที่ได้จากผลงานวิจัยจะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกร นักวิชาการในหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งภาครัฐและเอกชน รวมถึงผู้ที่สนใจ

กรมวิชาการเกษตร

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	1
ผู้วิจัย	2
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	3
บทนำ.....	4
บทคัดย่อ.....	6
กิจกรรมที่ 1 วิจัยและพัฒนาเครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติสำหรับการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชไร่	8
บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	44
บรรณานุกรม.....	45
ภาคผนวก	47

กรมวิชาการเกษตร

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชลพบุรีและขอนแก่น ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่นที่เอื้อเฟื้อแปลงวิจัยสำหรับการทดสอบเครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติ และขอขอบคุณบริษัทพรเจริญ (ช่างคิด) จำกัด ที่ได้สนับสนุนอุปกรณ์สำหรับการวิจัยเครื่องหยอดเมล็ดและปุ๋ยแบบอัตโนมัติ

กรมวิชาการเกษตร

ผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

นายอานนท์	สายคำฟู	สังกัด	สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม

ผู้ร่วมโครงการวิจัย

นายวิชัย	โอภานุกุล	สังกัด	สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม
นางสาวระพีพรรณ	ชั่งใจ	สังกัด	ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรลพบุรี
นางสาวภภัสสร	วัฒนกุลภาคิน	สังกัด	ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรพิษณุโลก
นายพินิจ	จิรัคคกุล	สังกัด	ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น
นายสิทธิพงษ์	ศรีสว่างวงศ์	สังกัด	ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรขอนแก่น
นายสราวุฒิ	ปานทน	สังกัด	ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมสุราษฎร์ธานี
นายธนพงศ์	แสนจุ้ม	สังกัด	สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม
นายเอกภาพ	ป้านภูมิ	สังกัด	ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น
นายอนุชา	เชาวโชติ	สังกัด	สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม

กรมวิชาการเกษตร

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A	คือ	จุดคุ้มทุนของการใช้งาน (ไร่/ปี)
$e(t)$	คือ	ค่าความผิดพลาด
f_t	คือ	ฟังก์ชั่นสมการควบคุมอัตราการหยอดเมล็ด
K_p	คือ	อัตราขยายสัดส่วน
P_{out}	คือ	สัญญาณขาออกของเทอมสัดส่วน
q_t	คือ	ฟังก์ชั่นสมการควบคุมอัตราการหยอดปุ๋ย
Q_t	คือ	อัตราการหยอดปุ๋ย (กก./ไร่)
R	คือ	ระยะระหว่างแถวปลูก (เมตร)
$RPMf$	คือ	ความเร็วรอบของจานมอเตอร์ปุ๋ย (รอบ/นาที)
$RPMs$	คือ	ความเร็วรอบของจานหยอดเมล็ดพืช (รอบ/นาที)
S_t	คือ	ระยะปลูก (ซม.)
v	คือ	ความเร็วของรถแทรกเตอร์ (เมตร/วินาที)

กรมวิชาการเกษตร

บทนำ

ประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตเมล็ดพันธุ์พืชที่มีศักยภาพของภูมิภาคเอเชีย โดยมีการส่งออกเมล็ดพันธุ์ไปยังประเทศในกลุ่มอาเซียนมากเป็นอันดับ 1 และเป็นอันดับ 3 ในภูมิภาคเอเชีย รองจากประเทศจีนและญี่ปุ่น อีกทั้งเป็นอันดับ 12 ของโลก เนื่องด้วยประเทศไทยมีข้อได้เปรียบทางด้านสภาพสิ่งแวดล้อมที่เอื้ออำนวยต่อการเพาะปลูก รวมทั้งเกษตรกรมีความสามารถในการเพาะปลูกพืชเพื่อผลิตเป็นเมล็ดพันธุ์และมีมาตรฐานการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์เพื่อการส่งออกที่มีคุณภาพ ซึ่งการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชของประเทศไทย มีอยู่ 2 ลักษณะ คือ หน่วยงานภาครัฐจะเป็นผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์พืชที่เป็นความมั่นคงทางด้านอาหารของประเทศ เช่น ข้าว พืชตระกูลถั่วต่างๆ ส่วนภาคเอกชนจะเป็นผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ลูกผสมเปิดเพื่อการค้า ประกอบด้วย ข้าวโพด ทานตะวัน พืชผักต่างๆ และในแต่ละปีมีการส่งออกค่อนข้างสูงโดยส่งออกเมล็ดพันธุ์พืชมากกว่า 30 ชนิด ปริมาณรวมมากกว่า 25,000 ตัน โดยสร้างรายได้เข้าประเทศตั้งแต่ปี 2557 ถึง 2559 มีมูลค่าไม่น้อยกว่า 5,000 ล้านบาทต่อปี โดยเฉพาะเมล็ดพันธุ์ผักและพืชไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560)

ในกระบวนการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชขั้นตอนการปลูกโดยการหยอดหรือหว่านเมล็ดถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญ เนื่องจากเป็นขั้นตอนแรกๆ ของกระบวนการเพาะปลูก ถ้าหากในขั้นตอนการปลูกไม่มีประสิทธิภาพจะส่งผลต่อความงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของพืชโดยตรงซึ่งจะทำให้ผลผลิตลดลงตามไปด้วย ในปัจจุบันในขั้นตอนการปลูกสามารถแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ 1) การใช้แรงงานคน และ 2) การใช้เครื่องหยอด ซึ่งการใช้แรงงานคนในการปลูกนั้นยังมีประสิทธิภาพที่ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากต้องใช้เมล็ดพันธุ์ปริมาณมากกว่าการใช้เครื่องหยอด อีกทั้งการหว่านด้วยแรงงานคนยังขาดความสม่ำเสมอในการกระจายตัวของเมล็ดพืช และในปัจจุบันยังมีปัญหาเรื่องการขาดแคลนแรงงานในภาคการเกษตร ในส่วนของการใช้เครื่องหยอดนั้นสามารถแยกออกเป็น 2 แบบ คือ เครื่องหยอดแบบพ่วงท้ายรถไถเดินตาม (สนอง, 2556) และเครื่องหยอดแบบพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์ (ยุทธนา, 2556ก) ซึ่งเครื่องหยอดที่ให้กันอยู่ในปัจจุบันสามารถหยอดได้พืชเฉพาะอย่างเท่านั้น เนื่องจากเมล็ดพันธุ์แต่ละชนิดมีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันคือ มีขนาดเมล็ดที่ไม่เท่ากัน อีกทั้งในการเพาะปลูกพืชแต่ละชนิดก็มีอัตราการหยอดที่ไม่เท่ากันอีกด้วย คือ จำนวนเมล็ดต่อหลุม ระยะห่างระหว่างหลุม ระยะห่างระหว่างแถว เป็นต้น กรมวิชาการเกษตรจึงได้มีคำแนะนำการปลูกพืช (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2547) เช่น ข้าวโพด ระยะปลูก 20x75 ซม. ใช้อัตราการหยอด 3 กก./ไร่ ระยะปลูก 25x75 ซม. ใช้อัตราการหยอด 2.3 กก./ไร่, ถั่วเหลือง ระยะปลูก 15x50 ซม. ใช้อัตราการหยอด 15 กก./ไร่ ระยะปลูก 20x50 ซม. ใช้อัตราการหยอด 12 3 กก./ไร่, ถั่วเขียว ระยะปลูก 15x50 ซม. ใช้อัตราการหยอด 6 กก./ไร่, ระยะปลูก 20x50 ซม. ใช้อัตราการหยอด 5 กก./ไร่ เป็นต้น นอกจากอัตราการหยอดที่ต้องปรับเปลี่ยนตามชนิดของพืชแล้ว ลักษณะของดินในแต่ละพื้นที่ก็มีความอุดมสมบูรณ์และปริมาณแร่ธาตุที่แตกต่างกัน ซึ่งจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยตรง กรมวิชาการเกษตรจึงได้แนะนำอัตราการใส่ปุ๋ยตามลักษณะของเนื้อดิน เช่น ดินร่วน ดินทราย ดินร่วนทราย ดินเหนียว เป็นต้น ทำให้การใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ในแต่ละลักษณะของเนื้อดินสำหรับ ข้าวโพด ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วลิสง มีอัตราตั้งแต่ 25-50 กก./ไร่ ซึ่งหากเกษตรกรสามารถใส่สูตรปุ๋ยให้ปริมาณตรงตามลักษณะของดินและปริมาณแร่ธาตุที่มีอยู่ในดินตามคำแนะนำการปลูกพืช ก็จะช่วยให้พืชเจริญเติบโตได้ดีและทำให้ได้ผลผลิตสูงขึ้น และหากนำเครื่องหยอดเมล็ดพร้อมใส่ปุ๋ยรองพื้นที่ใช้งานอยู่ ในปัจจุบันมาประยุกต์ให้สามารถหยอดเมล็ดและปุ๋ยให้ได้อัตราที่หลากหลายจำเป็นต้องดัดแปลงเครื่องหยอดจึงทำให้เกิดความยุ่งยาก เช่น เปลี่ยนอัตราทดเฟืองโซ่ที่ขับชุดเพลาจานหยอดเมล็ดและเพลาหยอดปุ๋ย เปลี่ยนขนาดรูของจานหยอด เปลี่ยนระยะห่างและจำนวนรูของจานหยอด เปลี่ยนจานหยอด เป็นต้น เพื่อให้ได้อัตราหยอดตามคำแนะนำการปลูกของพืชแต่ละชนิด

กรมวิชาการเกษตร

จากปัญหาดังกล่าวคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องหยอดเมล็ดพืชและหยอดปุ๋ยแบบอัตโนมัติสำหรับพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์ เพื่อให้สามารถปรับเปลี่ยนอัตราการหยอดเมล็ดพันธุ์และปุ๋ยให้ได้ตรงตามคำแนะนำเทคโนโลยีการปลูกพืช (ข้าวโพด ถั่วเหลือง และถั่วเขียว) โดยการควบคุมอัตราการหยอดแบบอัตโนมัตินี้จะควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Micro controller) เพื่อควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจำนวน 2 ชุด คือ 1) ควบคุมชุดขับเพลาหยอดเมล็ดเพื่อควบคุมอัตรการหยอดเมล็ดพืช และ 2) ควบคุมชุดเพลาหยอดปุ๋ยเพื่อควบควบอัตราการหยอดปุ๋ย โดยอัตราการหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยจะสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ที่วัดความเร็วจากเอ็นโค้ดเดอร์ที่ติดตั้งกับล้อขับ (Driving wheel) ซึ่งเทคโนโลยีที่ได้จากงานวิจัยนี้จะช่วยลดต้นทุนในขั้นตอนการเพาะปลูก อีกยังเป็นการทำเกษตรแบบแม่นยำในยุคการเกษตร 4.0 เพื่อเพิ่มขีดความสามารถแข่งขันให้กับการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชของไทยและผลักดันให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางพันธุ์พืช (Seed Hub) เมล็ดของอาเซียนและเอเชียในอนาคต ตามแผนแม่บทยุทธศาสตร์ศูนย์กลางเมล็ดพันธุ์ พ.ศ. 2558-2567 ในการพัฒนาเครื่องมือในกระบวนการผลิตซึ่งเป็นปัจจัยพื้นฐานสนับสนุนการผลิตเมล็ดพันธุ์ (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2559) ที่กรมวิชาการเกษตรได้รับมอบหมายภารกิจจากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์

กรมวิชาการเกษตร

บทคัดย่อ

การปลูกพืชให้เหมาะสมกับความอุดมสมบูรณ์ของดินเป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการปลูกตามความต้องการของพืชที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ เช่น อัตราการหยอดเมล็ดพันธุ์ อัตราการหยอดปุ๋ย การใช้สารกำจัดศัตรูพืช เป็นต้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิจัยและพัฒนา “เครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติ” โดยพัฒนาระบบควบคุมอัตราการหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino mega 2560) ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรง 24 โวลต์ ขนาด 500 วัตต์ ขับเพลาหยอดเมล็ดและเพลาหยอดปุ๋ย โดยสั่งผ่านสัญญาณแบบ PWM (Pulse Width Modulation) และใช้เอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder) วัดความเร็วการเคลื่อนที่จากล้อขับ (Driving wheel) ซึ่งระบบการควบคุมจะทำการประมวลผลอัตราการหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยให้สัมพันธ์กับความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ จากการทดสอบเครื่องหยอดพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์คูโบต้า รุ่น MU5000 ขนาด 50 แรงม้า เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1.25 เมตร/วินาที (เกียร์ H1 รอบเครื่องยนต์ 1500 รอบ/นาที) พบว่าอัตราการหยอดเมล็ดพืช สำหรับการปลูกข้าวโพดที่ระยะปลูก 20x75 และ 25x75 ซม. มีอัตราการหยอดเมล็ดเท่ากับ 2.71 และ 2.02 กก./ไร่ ตามลำดับ การปลูกถั่วเหลืองที่ระยะปลูก 10x50 และ 15x50 ซม. มีอัตราการหยอดเมล็ดเท่ากับ 13.15 และ 11.35 กก./ไร่ ตามลำดับ การปลูกถั่วเขียวที่ระยะปลูก 10x50 และ 15x50 ซม. มีอัตราการหยอดเมล็ดเท่ากับ 7.15 และ 6.02 กก./ไร่ ตามลำดับ และการปลูกถั่วลิสงที่ระยะปลูก 20x50 และ 25x50 ซม. มีอัตราการหยอดเมล็ดเท่ากับ 19.6 และ 15.5 กก./ไร่ ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่า ระบบควบคุมอัตราการหยอดเมล็ดมีความแม่นยำเฉลี่ย 92.93 % ในขณะที่อัตราการหยอดปุ๋ยสำหรับ ข้าวโพด ถั่วเหลือง ถั่วเขียว และถั่วลิสง ที่อัตรา 50, 25, 25 และ 25 กก./ไร่ มีผลอัตราการหยอดเฉลี่ยเท่ากับ 45.98, 27.75, 27.47 และ 30.15 กก./ไร่ ตามลำดับ และพบว่าระบบควบคุมอัตราการหยอดปุ๋ยมีค่าความแม่นยำเฉลี่ย 90.38 % จากผลการทดสอบดังกล่าว เครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติสามารถกำหนดอัตราการหยอดได้ตรงตามคำแนะคำเทคโนโลยีการปลูกพืชของกรมวิชาการเกษตร

กรมวิชาการเกษตร

Abstract

Plant production technology according to soil fertility is applying of technology as plant requirements and depending on each location such as seed sowing rate, fertilizers sowing rate and pesticide control rate. The objective of this study was to research and develop “an Automatic Variable Rate use on Seed Drills with Fertilizer Applicators”. The micro controller (Arduino mega 2560) controlled speed of DC motor (24 V, 500 W) that driven seeds and fertilizers sowing shaft. This machine commanded via PWM (Pulse Width Modulation) signal and used an encoder to measure the speed of ground wheel. The results of seed drills with tractor 50 hp model MU5000 used speed 1.25 $m.s^{-1}$ (Gear H1 and 1500 rpm) showed that corn crops at distances 20x75 and 25x75 cm, seeds sowing rates were 2.71 and 2.02 $kg.rai^{-1}$ respectively. Soybean crops at distances 15x50 and 20x50 cm, seeds sowing rates were 13.15 and 11.35 $kg.rai^{-1}$ respectively. Mung bean crops at distances 15x50 and 20x50 cm, seeds sowing rates were 7.15 and 6.02 $kg.rai^{-1}$ respectively. And peanuts crops at distances 20x50 and 25x50 cm, seeds sowing rates were 19.6 and 15.5 $kg.rai^{-1}$. The result showed that the average accuracy of automated control system for seed sowing rate was 92.93%. While fertilizers sowing rates were set for corn, soybean, mung beans and peanuts at 50, 25, 25 and 25 $kg.rai^{-1}$. Fertilizers sowing rates average were 45.98, 27.75, 27.47 and 30.15 $kg.rai^{-1}$ respectively. And the result showed that the average accuracy of automated control system for fertilizers rate was 90.38 %. This research demonstrated that an Automatic Variable Rate use on Seed Drills with Fertilizer Applicators could set seed and fertilizer rates according to recommendation rates and plant production technologies.

กรมวิชาการเกษตร

กิจกรรมที่ 1

วิจัยและพัฒนาเครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติสำหรับการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชไร่
Research and Development of an Automatic Variable Rate use on Seed Drills with Fertilizer Applicators for Field Crop on Seed Production

อานนท์ สายคำฟู, วิชัย โอภานุกูล, ระพีพรรณ ชั่งใจ, ภภัสสร วัฒนกุลภาคิน,
พินิจ จิรัคคกุล, สิทธิพงษ์ ศรีสว่างวงศ์, สราวุฒิ ปานทน, ธนพงค์ แสนจุ้ม,
เอกภาพ ป้านภูมิ และ อนุชา เชาวโชติ

Arnon Saicomfu, Wichai Opanukul, Rapeepan Changjai, Paphatsorn Wattanakulpakin,
Pinit Jirakkakul, Sitthipong Srisawangwong, Sarawuth Parnthon, Tanapong Sanchum,
Akkaparp Panpoom and Anucha Chaochot

คำสำคัญ (Key words)

เครื่องหยอดเมล็ดพร้อมใส่ปุ๋ย, การควบคุมแบบวงปิด, การเกษตรแบบแม่นยำ
Seed drills with fertilizer applicators, Closed-loop controller, Precision farming

กรมวิชาการเกษตร

บทคัดย่อ

การปลูกพืชให้เหมาะสมกับความอุดมสมบูรณ์ของดินเป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการปลูกตามความต้องการของพืชที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ เช่น อัตราการหยอดเมล็ดพันธุ์ อัตราการหยอดปุ๋ย การใช้สารกำจัดศัตรูพืช เป็นต้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิจัยและพัฒนา “เครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติ” โดยพัฒนาระบบควบคุมอัตราการหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino mega 2560) ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรง 24 โวลต์ ขนาด 500 วัตต์ ขับเพลาหยอดเมล็ดและเพลาหยอดปุ๋ย โดยสั่งผ่านสัญญาณแบบ PWM (Pulse Width Modulation) และใช้เอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder) วัดความเร็วการเคลื่อนที่จากล้อขับ (Driving wheel) ซึ่งระบบการควบคุมจะทำการประมวลผลอัตราการหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยให้สัมพันธ์กับความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ จากการทดสอบเครื่องหยอดพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์คูโบต้า รุ่น MU5000 ขนาด 50 แรงม้า เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1.25 เมตร/วินาที (เกียร์ H1 รอบเครื่องยนต์ 1500 รอบ/นาที) พบว่าอัตราการหยอดเมล็ดพืช สำหรับการปลูกข้าวโพดที่ระยะปลูก 20x75 และ 25x75 ซม. มีอัตราการหยอดเมล็ดเท่ากับ 2.71 และ 2.02 กก./ไร่ ตามลำดับ การปลูกถั่วเหลืองที่ระยะปลูก 10x50 และ 15x50 ซม. มีอัตราการหยอดเมล็ดเท่ากับ 13.15 และ 11.35 กก./ไร่ ตามลำดับ การปลูกถั่วเขียวที่ระยะปลูก 10x50 และ 15x50 ซม. มีอัตราการหยอดเมล็ดเท่ากับ 7.15 และ 6.02 กก./ไร่ ตามลำดับ และการปลูกถั่วลิสงที่ระยะปลูก 20x50 และ 25x50 ซม. มีอัตราการหยอดเมล็ดเท่ากับ 19.6 และ 15.5 กก./ไร่ ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่า ระบบควบคุมอัตราการหยอดเมล็ดมีความแม่นยำเฉลี่ย 92.93 % ในขณะที่อัตราการหยอดปุ๋ยสำหรับ ข้าวโพด ถั่วเหลือง ถั่วเขียว และถั่วลิสง ที่อัตรา 50, 25, 25 และ 25 กก./ไร่ มีผลอัตราการหยอดเฉลี่ยเท่ากับ 45.98, 27.75, 27.47 และ 30.15 กก./ไร่ ตามลำดับ และพบว่าระบบควบคุมอัตราการหยอดปุ๋ยมีค่าความแม่นยำเฉลี่ย 90.38 % จากผลการทดสอบดังกล่าว เครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติสามารถกำหนดอัตราการหยอดได้ตรงตามคำแนะคำเทคโนโลยีการปลูกพืชของกรมวิชาการเกษตร

กรมวิชาการเกษตร

Abstract

Plant production technology according to soil fertility is applying of technology as plant requirements and depending on each location such as seed sowing rate, fertilizers sowing rate and pesticide control rate. The objective of this study was to research and develop “an Automatic Variable Rate use on Seed Drills with Fertilizer Applicators”. The micro controller (Arduino mega 2560) controlled speed of DC motor (24 V, 500 W) that driven seeds and fertilizers sowing shaft. This machine commanded via PWM (Pulse Width Modulation) signal and used an encoder to measure the speed of ground wheel. The results of seed drills with tractor 50 hp model MU5000 used speed 1.25 $m.s^{-1}$ (Gear H1 and 1500 rpm) showed that corn crops at distances 20x75 and 25x75 cm, seeds sowing rates were 2.71 and 2.02 $kg.rai^{-1}$ respectively. Soybean crops at distances 15x50 and 20x50 cm, seeds sowing rates were 13.15 and 11.35 $kg.rai^{-1}$ respectively. Mung bean crops at distances 15x50 and 20x50 cm, seeds sowing rates were 7.15 and 6.02 $kg.rai^{-1}$ respectively. And peanuts crops at distances 20x50 and 25x50 cm, seeds sowing rates were 19.6 and 15.5 $kg.rai^{-1}$. The result showed that the average accuracy of automated control system for seed sowing rate was 92.93%. While fertilizers sowing rates were set for corn, soybean, mung beans and peanuts at 50, 25, 25 and 25 $kg.rai^{-1}$. Fertilizers sowing rates average were 45.98, 27.75, 27.47 and 30.15 $kg.rai^{-1}$ respectively. And the result showed that the average accuracy of automated control system for fertilizers rate was 90.38 %. This research demonstrated that an Automatic Variable Rate use on Seed Drills with Fertilizer Applicators could set seed and fertilizer rates according to recommendation rates and plant production technologies.

กรมวิชาการเกษตร

บทนำ (Introduction)

ประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตเมล็ดพันธุ์พืชที่มีศักยภาพของภูมิภาคเอเชีย โดยมีการส่งออกเมล็ดพันธุ์ไปยังประเทศในกลุ่มอาเซียนมากเป็นอันดับ 1 และเป็นอันดับ 3 ในภูมิภาคเอเชีย รองจากประเทศจีนและญี่ปุ่น อีกทั้งเป็นอันดับ 12 ของโลก เนื่องด้วยประเทศไทยมีข้อได้เปรียบทางด้านสภาพสิ่งแวดล้อมที่เอื้ออำนวยต่อการเพาะปลูก รวมทั้งเกษตรกรมีความสามารถในการเพาะปลูกพืชเพื่อผลิตเป็นเมล็ดพันธุ์และมีมาตรฐานการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์เพื่อการส่งออกที่มีคุณภาพ ซึ่งการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชของประเทศไทย มีอยู่ 2 ลักษณะ คือ หน่วยงานภาครัฐจะเป็นผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์พืชที่เป็นความมั่นคงทางด้านอาหารของประเทศ เช่น ข้าว พืชตระกูลถั่วต่างๆ ส่วนภาคเอกชนจะเป็นผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ลูกผสมเปิดเพื่อการค้า ประกอบด้วย ข้าวโพด ทานตะวัน พืชผักต่างๆ และในแต่ละปีมีการส่งออกค่อนข้างสูงโดยส่งออกเมล็ดพันธุ์พืชมากกว่า 30 ชนิด ปริมาณรวมมากกว่า 25,000 ตัน โดยสร้างรายได้เข้าประเทศตั้งแต่ปี 2557 ถึง 2559 มีมูลค่าไม่น้อยกว่า 5,000 ล้านบาทต่อปี โดยเฉพาะเมล็ดพันธุ์ผักและพืชไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560)

ในกระบวนการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชขั้นตอนการปลูกโดยการหยอดหรือหว่านเมล็ดถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญ เนื่องจากเป็นขั้นตอนแรกๆ ของกระบวนการเพาะปลูก ถ้าหากในขั้นตอนการปลูกไม่มีประสิทธิภาพจะส่งผลต่อความงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของพืชโดยตรงซึ่งจะทำให้ผลผลิตลดลงตามไปด้วย ในปัจจุบันในขั้นตอนการปลูกสามารถแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ 1) การใช้แรงงานคน และ 2) การใช้เครื่องหยอด ซึ่งการใช้แรงงานคนในการปลูกนั้นยังมีประสิทธิภาพที่ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากต้องใช้เมล็ดพันธุ์ปริมาณมากกว่าการใช้เครื่องหยอด อีกทั้งการหว่านด้วยแรงงานคนยังขาดความสม่ำเสมอในการกระจายตัวของเมล็ดพืช และในปัจจุบันยังมีปัญหาเรื่องการขาดแคลนแรงงานในภาคการเกษตร ในส่วนของการใช้เครื่องหยอดนั้นสามารถแยกออกเป็น 2 แบบ คือ เครื่องหยอดแบบพ่วงท้ายรถไถเดินตาม (สนอง, 2556) และเครื่องหยอดแบบพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์ (ยุทธนา, 2556ก) ซึ่งเครื่องหยอดที่ให้กันอยู่ในปัจจุบันสามารถหยอดได้พืชเฉพาะอย่างเท่านั้น เนื่องจากเมล็ดพันธุ์แต่ละชนิดมีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันคือ มีขนาดเมล็ดที่ไม่เท่ากัน อีกทั้งในการเพาะปลูกพืชแต่ละชนิดก็มีอัตราการหยอดที่ไม่เท่ากันอีกด้วย คือ จำนวนเมล็ดต่อหลุม ระยะห่างระหว่างหลุม ระยะห่างระหว่างแถว เป็นต้น กรมวิชาการเกษตรจึงได้มีคำแนะนำการปลูกพืช (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2547) เช่น ข้าวโพด ระยะปลูก 20x75 ซม. ใช้อัตราการหยอด 3 กก./ไร่ ระยะปลูก 25x75 ซม. ใช้อัตราการหยอด 2.3 กก./ไร่, ถั่วเหลือง ระยะปลูก 15x50 ซม. ใช้อัตราการหยอด 15 กก./ไร่ ระยะปลูก 20x50 ซม. ใช้อัตราการหยอด 12 3 กก./ไร่, ถั่วเขียว ระยะปลูก 15x50 ซม. ใช้อัตราการหยอด 6 กก./ไร่, ระยะปลูก 20x50 ซม. ใช้อัตราการหยอด 5 กก./ไร่ เป็นต้น นอกจากอัตราการหยอดที่ต้องปรับเปลี่ยนตามชนิดของพืชแล้ว ลักษณะของดินในแต่ละพื้นที่ก็มีความอุดมสมบูรณ์และปริมาณแร่ธาตุที่แตกต่างกัน ซึ่งจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยตรง กรมวิชาการเกษตรจึงได้แนะนำอัตราการใส่ปุ๋ยตามลักษณะของเนื้อดิน เช่น ดินร่วน ดินทราย ดินร่วนทราย ดินเหนียว เป็นต้น ทำให้การใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ในแต่ละลักษณะของเนื้อดินสำหรับ ข้าวโพด ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วลิสง มีอัตราตั้งแต่ 25-50 กก./ไร่ ซึ่งหากเกษตรกรสามารถใส่สูตรปุ๋ยให้ปริมาณตรงตามลักษณะของดินและปริมาณแร่ธาตุที่มีอยู่ในดินตามคำแนะนำการปลูกพืช ก็จะช่วยให้พืชเจริญเติบโตได้ดีและทำให้ได้ผลผลิตสูงขึ้น และหากนำเครื่องหยอดเมล็ดพร้อมใส่ปุ๋ยรองพื้นที่ใช้งานอยู่ ในปัจจุบันมาประยุกต์ให้สามารถหยอดเมล็ดและปุ๋ยให้ได้อัตราที่หลากหลายจำเป็นต้องดัดแปลงเครื่องหยอดจึงทำให้เกิดความยุ่งยาก เช่น เปลี่ยนอัตราทดเฟืองโซ่ที่ขับชุดเพลาจานหยอดเมล็ดและเพลาหยอดปุ๋ย เปลี่ยนขนาดรูของจานหยอด เปลี่ยนระยะห่างและจำนวนรูของจานหยอด เปลี่ยนจานหยอด เป็นต้น เพื่อให้ได้อัตราหยอดตามคำแนะนำการปลูกของพืชแต่ละชนิด

กรมวิชาการเกษตร

จากปัญหาดังกล่าวคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องหยอดเมล็ดพืชและหยอดปุ๋ยแบบอัตโนมัติสำหรับพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์ เพื่อให้สามารถปรับเปลี่ยนอัตราการหยอดเมล็ดพันธุ์และปุ๋ยให้ได้ตรงตามคำแนะนำเทคโนโลยีการปลูกพืช (ข้าวโพด ถั่วเหลือง และถั่วเขียว) โดยการควบคุมอัตราการหยอดแบบอัตโนมัตินี้จะควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Micro controller) เพื่อควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจำนวน 2 ชุด คือ 1) ควบคุมชุดขับเพลาหยอดเมล็ดเพื่อควบคุมอัตรการหยอดเมล็ดพืช และ 2) ควบคุมชุดเพลาหยอดปุ๋ยเพื่อควบควบอัตราการหยอดปุ๋ย โดยอัตราการหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยจะสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ที่วัดความเร็วจากเอ็นโค้ดเดอร์ที่ติดตั้งกับล้อขับ (Driving wheel) ซึ่งเทคโนโลยีที่ได้จากงานวิจัยนี้จะช่วยลดต้นทุนในขั้นตอนการเพาะปลูก อีกยังเป็นการทำเกษตรแบบแม่นยำในยุคการเกษตร 4.0 เพื่อเพิ่มขีดความสามารถแข่งขันให้กับการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชของไทยและผลักดันให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางพันธุ์พืช (Seed Hub) เมล็ดของอาเซียนและเอเชียในอนาคต ตามแผนแม่บทยุทธศาสตร์ศูนย์กลางเมล็ดพันธุ์ พ.ศ. 2558-2567 ในการพัฒนาเครื่องมือในกระบวนการผลิตซึ่งเป็นปัจจัยพื้นฐานสนับสนุนการผลิตเมล็ดพันธุ์ (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2559) ที่กรมวิชาการเกษตรได้รับมอบหมายภารกิจจากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์

กรมวิชาการเกษตร

การทบทวนวรรณกรรม

1. คำแนะนำเทคโนโลยีการปลูกพืช

1.1 วิธีการปลูกพืชแต่ละชนิด

1.1.1 ถั่วเหลือง

กรมวิชาการเกษตร (2561) โดยสถาบันวิจัยพืชไร่ได้แนะนำวิธีการปลูกถั่วเหลืองดังนี้

1. สภาพนา ใช้ไม้ปลายแหลมหรือเครื่องปลูกทำหลุมกว้าง 2–3 ซม. ลึก 3-4 ซม. แล้วหยอดเมล็ดพันธุ์ 4–5 เมล็ดต่อหลุม โดยมีระยะปลูกที่เหมาะสมดังนี้

1.1 พันธุ์อายุสั้น เช่น พันธุ์นครสวรรค์ 1 พันธุ์เชียงใหม่ 2 และพันธุ์ศรีสำโรง 1 ระยะปลูก 25x25 ซม. ได้ประมาณ 100,000 ต้นต่อไร่

1.2 พันธุ์อายุปานกลาง เช่น พันธุ์เชียงใหม่ 60 และพันธุ์ สจ.5 ระยะปลูก 40x20 ซม. ได้ประมาณ 80,000 ต้นต่อไร่

2. สภาพไร่ ใช้ไม้ปลายแหลมทำหลุมกว้าง 2–3 ซม. ลึก 3–4 ซม. ระยะปลูก 50x20 ซม. หยอด 4–5 เมล็ดต่อหลุม ได้ประมาณ 64,000 ต้นต่อไร่ ถ้าใช้เครื่องปลูก เครื่องจะปลูกแบบโรยเป็นแถว ระยะระหว่างแถว 50 ซม. จำนวน 20–25 ต้น ต่อแถวยาว 1 เมตร ได้ประมาณ 64,000–80,000 ต้นต่อไร่ หรือใช้เมล็ดพันธุ์ 12-15 กก./ไร่

1.1.2 ถั่วเขียว

กรมส่งเสริมการเกษตร (2551ก) ได้แนะนำคู่มือการปลูกถั่วเขียวดังนี้

1. การปลูกด้วยวิธีการหว่าน หว่านเมล็ดให้กระจาย ถ้าห่างหันเกินไปได้ผลผลิตน้อย ถ้าถี่เกินไปนอกจากจะเปลืองเมล็ดพันธุ์แล้วยังทำให้ต้นเล็ก ควรใช้เมล็ดพันธุ์ในอัตรา 6-8 กก./ไร่ การปลูกด้วยวิธีหว่านจะยากต่อการดูแลรักษาและการกำจัดวัชพืช ทั้งนี้เพราะถั่วเขียวกระจัดกระจายไม่มีระเบียบ

2. การปลูกด้วยวิธีการหยอดหลุม ปลูกเป็นแถวให้มีระยะห่างระหว่างแถว 50 ซม. ระยะหลุม 20 ซม. หยอดเมล็ดหลุมละ 4-5 เมล็ด เมื่อถั่วเขียวงอกแล้วประมาณ 10 วัน ควรถอนแยกให้เหลือหลุมละ 2-3 ต้น การปลูกวิธีนี้ใช้เมล็ดพันธุ์ประมาณ 3-5 กก./ไร่

3. การปลูกด้วยวิธีโรยเป็นแถว วิธีนี้อาจวางแถวปลูกให้ห่างกัน 40-50 ซม. จำนวน 16-20 ต้นต่อระยะ 1 เมตร โดยทำร่องลึก 5-7 นิ้ว แล้วนำเมล็ดหว่านในร่องที่ให้เมล็ดห่างกัน 5-6 ซม. เมื่อถั่วเขียวงอกจะได้จำนวนต้นที่เหมาะสม ใช้เมล็ดประมาณ 5-6 กก./ไร่ วิธีนี้จะใช้เมล็ดพันธุ์น้อย ดูแลแปลงและกำจัดวัชพืชได้สะดวก

1.1.3 ถั่วลิสง

กรมส่งเสริมการเกษตร (2551ข) ได้แนะนำคู่มือการปลูกถั่วสิลงดังนี้

ระยะการปลูกถั่วลิสงที่เหมาะสมโดยทั่วไป ระยะหว่างแถว 40-60 ซม. ระยะระหว่างหลุม 10-20 ซม. จำนวนต้น 1-3 ต้นต่อหลุม หรือด้วยวิธีการโรยระยะ 1 เมตร ควรการกระจายตัวอยู่ 10 ต้น ใช้เมล็ดพันธุ์ประมาณ 20-25 กก. ฝักแห้งต่อไร่

1.1.4 ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

กรมวิชาการเกษตร (2547) โดยสถาบันวิจัยพืชไร่ได้แนะนำวิธีการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ดังนี้

กรมวิชาการเกษตร

1. การปลูกด้วยแรงงานคน ใช้ระยะระหว่างแถว 75 ซม. ระยะระหว่างหลุม 25 ซม. อัตราการปลูก 8,500 ต้นต่อไร่ ใช้เมล็ดพันธุ์ 3-4 กก./ไร่ โดยใช้จอบขุดเป็นหลุมหรือรถไถเดินตาม หรือรถแทรกเตอร์ติดหัวเปิดร่อง หยอดเมล็ดหลุมละ 1-2 เมล็ด กลบเมล็ดด้วยดินให้มิด เมื่อข้าวโพดอายุประมาณ 14 วันหลังงอกถอนแยกออกให้เหลือหลุมละ 1 ต้น

2. ปลูกด้วยเครื่องปลูก ใช้รถแทรกเตอร์ลากจูงเครื่องปลูกพร้อมใส่ปุ๋ยพ่วงท้าย ปรับให้มีระยะระหว่างแถว 75 ซม. ระยะระหว่างหลุม 20 ซม. จำนวน 1 ต้นต่อหลุม หรืออัตราการปลูกประมาณ 10,600 ต้นต่อไร่ หรือใช้เมล็ด 2-3 กก./ไร่ โดยไม่ถอนแยก

1.1.5 ข้าวโพดหวาน

กรมวิชาการเกษตร (2547) โดยสถาบันวิจัยพืชไร่ได้แนะนำวิธีการปลูกข้าวโพดหวานดังนี้

1. เมล็ดพันธุ์ที่มีความงอกสูงกว่า 80 % ให้หยอด 1 เมล็ดต่อหลุม ใช้เมล็ดพันธุ์ 1-1.5 กก./ไร่ ถ้าเมล็ดพันธุ์มีความงอกต่ำกว่า 85 % ควรหยอดเมล็ด 1-2 เมล็ดต่อหลุม ใช้เมล็ด 1.5-2.0 กก./ไร่

2. อัตราการปลูกที่เหมาะสมสำหรับการบริโภคฝักสดประมาณ 8,500 ต้นต่อไร่ สำหรับอุตสาหกรรมแปรรูป 8,500- 11,000 ต้นต่อไร่

3. ปลูกแถวเดี่ยวใช้ระยะระหว่างหลุม 25 ซม. เมื่อข้าวโพดหวานมีอายุ 14 วัน ถอนแยกให้เหลือหลุมละ 1 ต้น

โดยอัตราการหยอดเมล็ดพืชโดยใช้เครื่องหยอดสำหรับ ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และข้าวโพดหวาน สรุปได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปอัตราการหยอดเมล็ดพืชสำหรับการใช้เครื่องหยอดพืชแต่ละชนิด

ชนิดพืช	วิธีการปลูก	ระยะระหว่างแถว (ซม.)	จำนวนต้นต่อ 1 เมตร	อัตราเมล็ด กก./ไร่	จำนวนประชากร (ต้น/ไร่)
ถั่วเหลือง	โรยเป็นแถว	50	20-25	12-15	64,000 - 80,000
ถั่วเขียว	โรยเป็นแถว	40-50	16-20	6-8	60,000 – 72,000
ถั่วลิสง	โรยเป็นแถว	40-60	10	20-25 (ฝักแห้ง)	52,000 – 80,000
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	หยอดเป็นหลุม หลุมละ 1 เมล็ด	75	5	2-3	8,000 - 10,600
ข้าวโพดหวาน	หยอดเป็นหลุม หลุมละ 1 เมล็ด	75	4	2	8,500 – 11,000

กรมวิชาการเกษตร

1.2 วิธีการใส่ปุ๋ยพร้อมปลูกพืชแต่ละชนิด

1.2.1 การให้ปุ๋ยถั่วเหลือง (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2547)

1. ในสภาพนา

1.1 ในช่วงการปลูกข้าว ถ้าให้ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 หรือ 16-20-0 มาก่อนแล้วควรให้ปุ๋ย 0-46-0 อัตรา 10 กก./ไร่ พร้อมปลูกถั่วเหลือง

1.2 ในช่วงการปลูกข้าว ถ้าไม่ได้ให้ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 หรือ 16-20-0 มาก่อนแล้วควรให้ปุ๋ย 0-46-0 อัตรา 20 กก./ไร่ พร้อมปลูกถั่วเหลือง

2. ในสภาพไร่

2.1 ดินร่วนและดินเหนียวปนทราย ควรใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 อัตรา 30 กก./ไร่ หรือ ปุ๋ยสูตร 12-24-12 อัตรา 20 กก./ไร่

2.2 ดินเหนียว หรือดินร่วนเหนียว ควรให้ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 อัตรา 25 กก./ไร่ หรือ 0-46-0 อัตรา 10 กก./ไร่

ตารางที่ 2 ปริมาณธาตุอาหาร สูตรปุ๋ยและอัตราปุ๋ย วิธีการใช้ปุ๋ยสำหรับการปลูกถั่วเหลืองบนดินชนิดต่างๆ

ลักษณะดิน	สูตรปุ๋ยที่ควรใช้	อัตราการใช้ (กก./ไร่)	วิธีการใส่	เวลาการใส่
ในสภาพดินนา ถ้าให้ปุ๋ย 16-16-8หรือ 16-20-0 มาก่อน	0-46-0	10	โรยก้นร่องปลูก	พร้อมปลูก
ในสภาพดินนา ถ้าไม่ให้ปุ๋ย 16-16-8 หรือ 16-20-0 มาก่อน	0-46-0	20	โรยก้นร่องปลูก	พร้อมปลูก
ในสภาพไร่ ดินร่วน/ ดินเหนียวปนทราย	16-16-8 12-24-12	30 20	โรยก้นร่องปลูก	พร้อมปลูก
ในสภาพไร่ ดินเหนียว/ ดินร่วนเหนียว	16-20-0 0-46-0	25 10	โรยก้นร่องปลูก	พร้อมปลูก

กรมวิชาการเกษตร

1.2.2 การให้ปุ๋ยถั่วเขียว (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2547)

ตารางที่ 3 ปริมาณธาตุอาหาร สูตรปุ๋ยและอัตราปุ๋ย วิธีการใช้ปุ๋ยสำหรับการปลูกถั่วเขียวบนดินชนิดต่างๆ

เนื้อดิน	สูตรปุ๋ยที่ควรใช้	อัตราการใช้ (กก./ไร่)	วิธีการใส่	เวลาการใส่
ดินเหนียว	0-46-0 0-40-0	15-20 15-20	โรยก้นร่องปลูก	พร้อมปลูก
ดินเหนียว/ ดินร่วนเหนียว สีน้ำตาล	12-24-12 10-20-10 18-46-0	20-30 20-30 10-15	โรยก้นร่องปลูก	พร้อมปลูก
ดินร่วนทราย	12-24-12 10-20-10	20-30 25-35	โรยก้นร่องปลูก	พร้อมปลูก
ดินทราย	8-24-24	30-40	โรยก้นร่องปลูก	พร้อมปลูก
ดินเหนียว	12-24-12 10-20-10 8-24-8	30-40 40-50 30-40	โรยก้นร่องปลูก	พร้อมปลูก
ดินเหนียวสีแดง	12-24-12 10-20-10 8-24-8	30-40 40-50 30-40	โรยก้นร่องปลูก	พร้อมปลูก

1.2.3 การให้ปุ๋ยถั่วลิสง (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2547)

ถั่วลิสงเจริญเติบโตได้ดีในดินร่วน ดินร่วนปนทรายหรือดินร่วนเหนียวปนทราย ความอุดมสมบูรณ์ดินปานกลาง มีอินทรีย์วัตถุไม่ต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มากกว่า 5 ในล้านส่วน โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มากกว่า 40 ส่วนในล้านส่วน และแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มากกว่า 80 ส่วนในล้านส่วน และมีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ระหว่าง 5.5-6.5 ถ้าดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำกว่าที่กล่าวมานี้ให้ใช้ปุ๋ยเคมีดังตารางที่ 5

ตารางที่ 4 ปริมาณธาตุอาหาร สูตรปุ๋ยและอัตราปุ๋ย วิธีการใช้ปุ๋ยสำหรับการปลูกถั่วลิสง

ลักษณะดิน	สูตรปุ๋ยที่ควรใช้	อัตราการใช้ (กก./ไร่)	วิธีการใส่	เวลาการใส่
ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำกว่าที่กล่าวข้างต้น	0-46-0 12-24-12 16-16-8	15-20 25 35	โรยก้นร่องปลูก	พร้อมปลูก

กรมวิชาการเกษตร

1.2.4 การให้ปุ๋ยข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2547)

ตารางที่ 5 ปริมาณธาตุอาหาร สูตรปุ๋ยและอัตราปุ๋ย วิธีการใช้ปุ๋ยสำหรับการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์บนดินชนิดต่างๆ

เนื้อดิน	สูตรปุ๋ยที่ควรใช้	อัตราการใช้ (กก./ไร่)	วิธีการใส่	เวลาการใส่
ดินเหนียวสีดำ	20-20-0	40	โรยก้นร่องปลูก	พร้อมปลูก
	16-20-0	50		
ดินเหนียวสีแดง/	16-20-0	50	โรยก้นร่องปลูก	พร้อมปลูก
ดินเหนียวสีน้ำตาล/	16-16-8	50		
ดินร่วนเหนียวสีน้ำตาล				
ดินร่วน/ดินร่วนทราย	16-16-8	50	โรยก้นร่องปลูก	พร้อมปลูก
	15-15-15	50		

1.2.5 การให้ปุ๋ยข้าวโพดหวาน (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2547)

ตารางที่ 6 ปริมาณธาตุอาหาร สูตรปุ๋ยและอัตราปุ๋ย วิธีการใช้ปุ๋ยสำหรับการปลูกข้าวโพดหวานบนดินชนิดต่างๆ

เนื้อดิน	สูตรปุ๋ยที่ควรใช้	อัตราการใช้ (กก./ไร่)	วิธีการใส่	เวลาการใส่
ดินเหนียวสีดำ	20-20-0	40	โรยก้นร่องปลูก	พร้อมปลูก
	16-20-0	50		
ดินเหนียวสีแดง/	16-20-0	50	โรยก้นร่องปลูก	พร้อมปลูก
ดินเหนียวสีน้ำตาล/	16-16-8	50		
ดินร่วนเหนียวสีน้ำตาล				
ดินร่วน/ดินร่วนทราย	16-16-8	50	โรยก้นร่องปลูก	พร้อมปลูก
	15-15-15	50		

กรมวิชาการเกษตร

2. การศึกษาอุปกรณ์กำหนดเมล็ดของเครื่องหยอดเมล็ดพืช

2.1 อุปกรณ์กำหนดเมล็ดแบบจานปล่อย (Seed plate type)

ร้านพรเจริญ (ช่างคิด) ได้ผลิตและจำหน่ายเครื่องหยอดเมล็ดข้าวสำหรับรถแทรกเตอร์ขนาดกลาง ดังแสดงในภาพที่ 1 เครื่องหยอดเมล็ดข้าวโพด ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วลิสง พร้อมใส่ปุ๋ยและยกร่อง สำหรับรถแทรกเตอร์ขนาดกลาง (35-50 แรงม้า) ดังแสดงในภาพที่ 2 โดยเครื่องดังกล่าวมีชุดหยอดเมล็ดพืชเป็นแบบจานปล่อยและมีหลักการทำงานของชุดขับอัตราการหยอดเมล็ดและหยอดปุ๋ยที่เหมือนกันคือ ใช้ล้อขับ (Driving Wheel) ส่งกำลังผ่านชุดเฟืองโซ่ไปยังเพลาขับจานหยอดเมล็ดและชุดลูกหยอดปุ๋ย สำหรับการหยอดเมล็ดหากต้องการเปลี่ยนชนิดของพืชที่จะหยอดจำเป็นต้องทำการเปลี่ยนจานหยอดเพื่อให้มีรูหยอดตามปริมาณการหยอดเมล็ดของพืชชนิดนั้นๆ และหากต้องการปรับเปลี่ยนอัตราการหยอดจำเป็นต้องเป็นอัตราทดของชุดขับเพลาจานหยอดโดยทำการเปลี่ยนชุดเฟืองโซ่ขนาดต่างๆ และในส่วนของระบบหยอดปุ๋ยมีหลักการทำงานคือ ใช้กำลังจากชุดล้อขับชุดเดียวกับชุดขับเพลาจานหยอดซึ่งจะส่งกำลังผ่านชุดเฟืองโซ่ไปยังชุดเพลาลูกหยอดปุ๋ย และหากจะเปลี่ยนอัตราการหยอดปุ๋ยให้มีปริมาณตามลักษณะของชนิดดินจำเป็นจะได้เปลี่ยนชุดเฟืองโซ่ใหม่ เพื่อให้มีอัตราทดไปขับชุดเพลาลูกหยอดปุ๋ยเพื่อให้ได้ตามปริมาณปุ๋ยตามที่ต้องการ ซึ่งสูตรปุ๋ยแต่ละชนิดมีขนาดเมล็ดและมีความแน่นที่ไม่เท่ากัน การเปลี่ยนสูตรปุ๋ยแต่ละครั้งนั้นเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยุ่งยากและไม่สะดวกในการใช้งาน จะเห็นได้ว่าเครื่องดังกล่าวนี้หากต้องการเปลี่ยนอัตราการหยอดเมล็ดและหยอดปุ๋ยจำเป็นต้องเปลี่ยนอัตราทดเฟืองโซ่ที่จะไปขับชุดเพลาทั้งหยอดเมล็ดและหยอดปุ๋ย

ภาพที่ 1 เครื่องหยอดเมล็ดข้าว พร้อมใส่ปุ๋ย
ที่มา: พรเจริญ (2561ก)

ภาพที่ 3 เครื่องหยอดเมล็ด ถั่วลิสง พร้อมใส่ปุ๋ย แบบยกร่อง
ที่มา: พรเจริญ (2561ข)

2.2 อุปกรณ์กำหนดเมล็ดแบบล้อร่อง (Fluted wheel type)

เครื่องหยอดเมล็ดพืชพร้อมหยอดปุ๋ยของประเทศญี่ปุ่นสำหรับรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก (24 แรงม้า) ดังแสดงในภาพที่ 3 ซึ่งเครื่องดังกล่าวชุดหยอดแมล็ดพืชเป็นแบบลูกล้อร่องสามารถปรับขนาดของรูหยอดเมล็ดและรูหยอดปุ๋ยได้ เพื่อให้ใช้หยอดเมล็ดพืชได้หลายชนิดและปรับเปลี่ยนปริมาณการหยอดปุ๋ยได้ตามความต้องการของผู้ใช้ โดยมีหลักการทำงานคือ ใช้ล้อขับ (Driving Wheel) ส่งกำลังผ่านชุดเฟืองโซ่ไปยังเพลาขับลูกหยอดเมล็ดและชุดลูกหยอดปุ๋ย แต่ลูกหยอดเมล็ดและลูกหยอดปุ๋ยสามารถปรับเปลี่ยนขนาดรูของลูกหยอดได้โดยการหมุนสกรูให้รูมีขนาดตามความต้องการ ซึ่งการหมุนปรับเปลี่ยนสกรูนี้จะทำให้รูหยอดเมล็ดมีขนาดตามเมล็ดพืชและมีอัตราการหยอดตามที่ต้องการ ส่วนรูหยอดปุ๋ยก็จะมีขนาดตามปริมาณปุ๋ยที่ต้องการใส่เช่นกัน ดังแสดงในภาพที่ 4

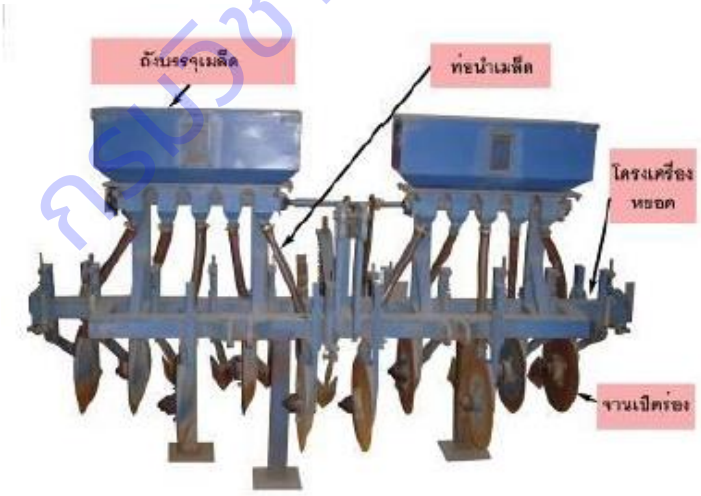
ภาพที่ 3 เครื่องหยอดเมล็ดพร้อมหยอดปุ๋ยพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กของประเทศญี่ปุ่น

กลุ่มวิชาการวิศวกรรม

ภาพที่ 4 สกรูปรับขนาดล้อร่องของรูหยอดเมล็ด (ซ้าย) และสกรูปรับขนาดล้อร่องของรูหยอดปุ๋ย (ขวา)

3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สันธาร (2549) ได้พัฒนาเครื่องหยอดข้าวติดรถแทรกเตอร์ขนาดใหญ่ (ขนาดตั้งแต่ 60 แรงม้าขึ้นไป) สำหรับใช้งานในการหยอดข้าวแห้งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดังแสดงในภาพที่ 5 โดยเครื่องหยอดสามารถลดภาระและค่าใช้จ่ายในการจัดหาแรงงานคนในช่วงระยะเวลาของฤดูปลูก และสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วกว่าการใช้แรงงานคน แต่พบปัญหาคือ เครื่องมือมีน้ำหนักมากทำให้ดินได้รับแรงกดทับมีความหนาแน่นของดินเพิ่มขึ้น ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการงอกของเมล็ดโดยเครื่องดังกล่าวมีหลักการทำงานที่สามารถนำมาประยุกต์ได้คือใช้ตัวเปิดร่องแบบจานเดี่ยว ซึ่งมีข้อดีคือ ดินหลังจากการเก็บเกี่ยวยังมีความชื้น การใช้ตัวเปิดร่องแบบจานจะหมุนไปช่วยลดการติดของดินที่ตัวเปิดร่อง ตัวถังบรรจุเมล็ด เป็นแบบถังเดี่ยว มีท่อนำเมล็ดแยกลงไปตามตัวเปิดร่อง



ภาพที่ 5 เครื่องหยอดข้าวติดรถแทรกเตอร์ขนาดใหญ่
ที่มา: สันธารและคณะ (2549)

กรมวิชาการเกษตร

ยุทธนาและคณะ, 2556ข ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องหยอดพืชหลังนาติดพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์ แบบจำนวนปลูก 5 แถว ซึ่งเครื่องหยอดมีอุปกรณ์ที่สำคัญคือ ถังบรรจุเมล็ด ตัวเปิดร่องดิน อุปกรณ์กลบร่องดิน ล้อขับพร้อมเฟืองโซ่ขับชุดเพลาจานหยอด จานหยอดขนาดต่างๆ สำหรับหยอด ถั่วเหลือง ถั่วเขียว และข้าวโพดฝักอ่อน โดยเครื่องหยอดนี้มีหลักการทำงานคือ ใช้ล้อขับส่งกำลังผ่านชุดเฟืองโซ่ไปขับชุดเพลาจานหยอด จานหยอดขนาดต่างๆ จะเป็นตัวกำหนดอัตราการหยอดเมล็ดลงไปในท่อลำเลียงเพื่อลงไปปลูกในแปลง โดยมีตัวเปิดร่องเพื่อให้เมล็ดลึกลงไป 5-7 ซม. แล้วมีอุปกรณ์กลบดินเพื่อฝังเมล็ดลงไปในดิน ซึ่งเครื่องที่พัฒนานี้จะต้องเปลี่ยนจานหยอดขนาดต่างๆ ไปตามชนิดของการปลูกพืชแต่ละชนิด เนื่องจากเมล็ดพืชแต่ละชนิดมีขนาดไม่เท่ากัน

ภาพที่ 6 เครื่องหยอดพืชหลังนาติดพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์
ที่มา: ยุทธนาและคณะ (2556ข)

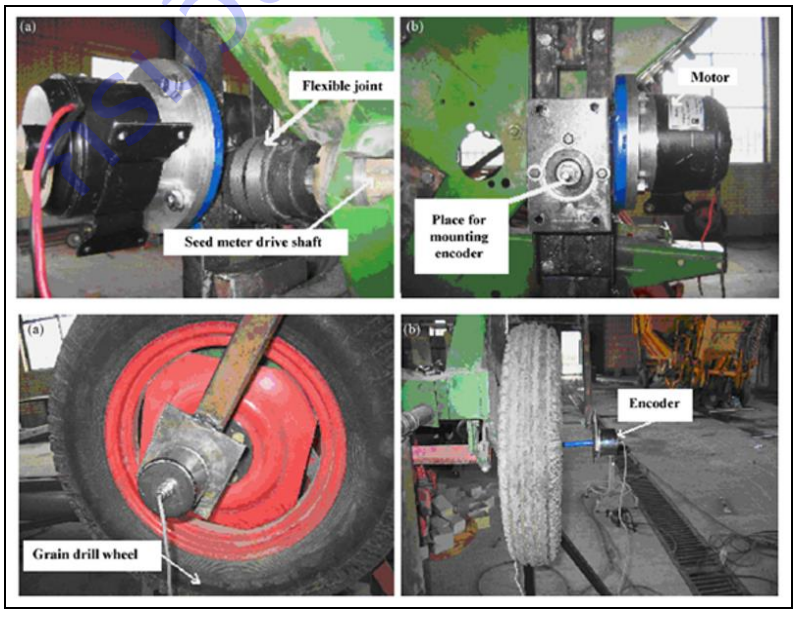
สายรุ้งและวสุ (2558) ได้พัฒนาระบบหยอดสารเคมีในปริมาณน้อยควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อการกำจัดศัตรูพืช ดังแสดงในภาพที่ 7 มีอัตราการหยอดสารเคมีที่ประมาณ 1-2 กก./ไร่ โดยระบบควบคุมใช้เอ็นโค้ดเดอร์ที่ติดตั้งบนล้อความคุมในการหาความเร็วในการเคลื่อนที่ เพื่อคำนวณค่าความเร็วรอบที่เหมาะสมของชุดหัวหยอด และส่งสัญญาณไปยังหัวหยอด ผลการทดสอบเชิงพื้นที่พบว่ามีความผิดพลาดเฉลี่ยของอัตราการหยอดเท่ากับ 2.7 %

ภาพที่ 7 ระบบหยอดสารเคมีเพื่อกำจัดศัตรูพืชควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
ที่มา: สายรุ้งและวสุ (2558)

กรมวิชาการเกษตร

M. Jafari *et al*. (2010) ได้พัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงของเครื่องหยอดเมล็ดพืชสำหรับการทำเกษตรแบบแม่นยำสูง ดังแสดงในภาพที่ 8 โดยเป็นการออกแบบการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ สำหรับการเปลี่ยนแปลงอัตราการหยอดของเมล็ดพันธุ์พืช และหาการตอบสนองเชิงเวลาของระบบ วงจรคบคุมความเร็วรอบใช้เอ็นโค้ดเดอร์ 2 ตัว สำหรับวัดความเร็วล้อขับของเครื่องหยอดเมล็ดและความเร็วรอบของเพลาลูกหยอดดังแสดงในภาพที่ 9 ซึ่งมีหลักการทำงานโดยใช้เอ็นโค้ดเดอร์ตัวแรกที่ติดตั้งอยู่กับล้อขับของเครื่องหยอด เพื่อวัดความเร็วในการเคลื่อนที่แล้วนำมาคำนวณหาอัตราการหยอด และใช้เอ็นโค้ดเดอร์ตัวที่สองวัดความเร็วรอบของเพลาลูกหยอดส่งสัญญาณป้อนกลับไปยังชุดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้ตัวควบคุมประมวณผลและแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น ซึ่งทำให้การควบคุมอัตราการหยอดมีความแม่นยำมากขึ้น ในการควบคุมอัตราการหยอดนี้ได้ใช้การควบคุมประเภทพีไอดี (PID) ผลการทดสอบพบว่าสามารถปรับอัตราการหยอดได้ต่ำสุดเท่ากับ 87.5 กก./เฮกตาร์ และสูงสุดเท่ากับ 262.5 กก./เฮกตาร์ และผลการตอบสนองของการเปลี่ยนแปลงอัตราการหยอดต่ำสุดไปสูงสุดและอัตราสูงสุดไปต่ำสุดเท่ากับ 7.4 และ 5.2 วินาที ตามลำดับ

ภาพที่ 8 เครื่องหยอดเมล็ดพันธุ์พืชที่ปรับอัตราการหยอดด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า
ที่มา: M. Jafari *et al.* (2010)



ภาพที่ 9 ตำแหน่งการติดตั้งเอ็นโค้ดเดอร์และมอเตอร์พร้อมชุดเกียร์ทด
ที่มา: M. Jafari *et al.* (2010)

ระเบียบวิธีการวิจัย (Research Methodology)

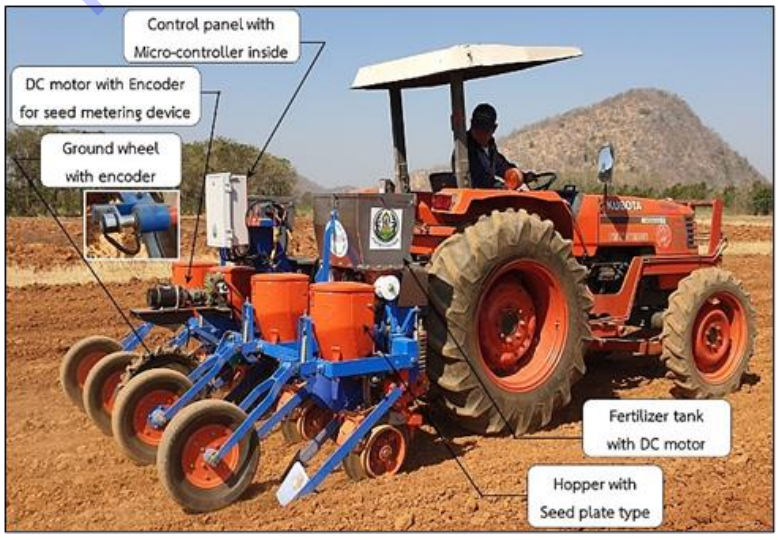
อุปกรณ์

1. เครื่องหยอดเมล็ดพืชพร้อมใส่ปุ๋ยแบบ 4 แถว พ่วงท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดกลาง
2. ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega2560
3. มอเตอร์กระแสตรงขนาด 500 วัตต์ 24 โวลต์ พร้อม DC motor drive
4. เอ็นโค้ดเดอร์ (Rotary Encoder)
5. คอมพิวเตอร์เขียนโปรแกรม Arduino IDE
6. รถแทรกเตอร์คูโบต้า รุ่น MU5000 ขนาด 50 แรงม้า
7. บีกเกอร์สำหรับวัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง
8. เมล็ดข้าวโพด พันธุ์นครสวรรค์3
9. เมล็ดข้าวถั่วเหลือง พันธุ์ลพบุรี 84-1
10. เมล็ดข้าวถั่วเขียว พันธุ์ชัยนาท 74-1
11. เมล็ดถั่วลิสง พันธุ์ไทนาน9
12. ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ตรากระต่าย

วิธีการ

1. ออกแบบระบบควบคุมอัตราการหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ย

การควบคุมอัตราการหยอดแบบอัตโนมัตินี้จะควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ยี่ห้อ Arduino รุ่น Mega2560 เพื่อควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 24 V ขนาด 500 W ผ่าน DC Motor Drive จำนวน 2 ชุด คือ 1) ควบคุมชุดขับเพลาจานหยอดเมล็ด และ 2) ควบคุมชุดเพลาหยอดปุ๋ย และใช้โปรแกรม Arduino IDE สำหรับการเขียนภาษา C++ เพื่อควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ด้วยสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulation) โดยใช้หลักการปรับค่า Duty cycle ซึ่งในโครงการวิจัยนี้ได้เลือกใช้เครื่องหยอดเมล็ดพร้อมใส่ปุ๋ยของบริษัทพรเจริญ (ช่างคิด) จำกัด แบบ 4 แถว ใช้อุปกรณ์กำหนดจำนวนเมล็ดแบบจานเอียง (Seed plate) เครื่องหยอดสามารถปรับระยะห่างระหว่างแถวได้ตั้งแต่ 50-75 ซม. เพื่อสำหรับปลูกพืชตระกูลถั่วและข้าวโพด โดยได้ติดตั้งอุปกรณ์ของระบบควบคุมอัตโนมัติ ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 เครื่องหยอดเมล็ดพืชพร้อมใส่ปุ๋ยที่ติดตั้งอุปกรณ์ระบบควบคุมอัตโนมัติ

กรมวิชาการเกษตร

2. ออกแบบสมการควบคุมอัตราการหยอดเมล็ดพืช

การออกแบบสมการควบคุมอัตราการหยอดเมล็ดพืชด้วยการควบคุมความเร็วรอบของจานหยอด เพื่อให้ได้ระยะแต่ละหลุมหรือจำนวนต้นในระยะ 1 เมตร ตามคำแนะนำ เช่น 4, 5, 6 เมล็ด/เมตร เป็นต้น โดยมีแนวคิดและหลักการออกแบบสมการควบคุมอัตราการหยอดเมล็ดพืชแบบฟังก์ชั่นเชิงเวลา โดยผู้ใช้สามารถกำหนดระยะปลูกตามที่ต้องการในโปรแกรมควบคุมได้

3. ออกแบบสมการควบคุมอัตราการหยอดปุ๋ยในห้องปฏิบัติการ

การออกแบบสมการควบคุมอัตราการหยอดปุ๋ย โดยเริ่มจากการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเพลาหยอดปุ๋ย (รอบ/นาที) กับอัตราการหยอดปุ๋ย (กก./ไร่) ซึ่งในการทดสอบได้นี้ได้ใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 แล้วกำหนดความเร็วรอบของมอเตอร์เพลาหยอดปุ๋ย ตั้งแต่ 25, 50, 75 ไปจนถึง 300 รอบ/นาที จับเวลา 1 นาที แล้วนำค่าน้ำหนักปุ๋ยที่ได้ (กก./นาที) ไปคำนวณให้ออกมาเป็นค่าอัตราการหยอดปุ๋ยในหน่วยของ (กก./ไร่) เพื่อนำไปใช้สำหรับออกแบบสมการควบคุมอัตราการหยอดเมล็ดปุ๋ยแบบฟังก์ชั่นเชิงเวลา โดยผู้ใช้สามารถกำหนดอัตราการหยอดปุ๋ยและระยะของแถวปลูกตามที่ต้องการในโปรแกรมควบคุมได้

4. ทดสอบอัตราการหยอดเมล็ดพืชในห้องปฏิบัติการ

การอัตราการหยอดเมล็ดพืชได้เลือกใช้เมล็ดข้าวโพดเป็นพืชตัวอย่าง เนื่องจากเมล็ดข้าวโพดมีขนาดเมล็ดที่สม่ำเสมอและใช้อัตราการหยอด 1 เมล็ดต่อ 1 หลุม ซึ่งง่ายสำหรับในการนับจำนวนเมล็ดเพื่อวัดค่าความแม่นยำ โดยในการทดสอบนี้ได้จำลองให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากับ 1 เมตร/วินาที กำหนดอัตราการหยอดไว้ 3 ระดับ คือ 4, 5 และ 6 เมล็ดต่อเมตร จับเวลา 20 วินาที คิดเป็นระยะทางการเคลื่อนที่ 20 เมตร แล้วใช้ถังรองรับเมล็ดจากท่อนำเมล็ดเพื่อมานับจำนวนเมล็ด โดยการทดสอบนี้จะกำหนดใส่เมล็ดข้าวโพดไว้ในถัง 2 ระดับ คือ 1/5 และ 5/5 ของปริมาตรถังบรรจุเมล็ด ตามการทดสอบเครื่องหยอดเมล็ดพืชของมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก. 1236-2537)

5. การปรับแก้ค่าความผิดพลาดของอัตราการหยอดเมล็ดพืช

เมื่ออัตราการหยอดเมล็ดพืชเกิดค่าความผิดพลาด (Error) จึงแก้ไขโดยการออกแบบระบบควบคุมความเร็วรอบของจานหยอดให้เป็นแบบวงจรปิด (Closed loop control system) โดยใช้เอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder) วัดความเร็วรอบของจานหยอดแล้วป้อนสัญญาณกลับมาที่ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อแก้ไขค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้น ซึ่งการควบคุมอัตราการหยอดแบบป้อนกลับ (Feedback control system) ได้ใช้วิธีการควบคุมแบบ PID (Proportional Integral Derivative Control) โดยการทดลองนี้จะสนใจเฉพาะในเทอมสัดส่วนหรืออัตราขยาย (Pout) เท่านั้น และกำหนดค่าเกณฑ์ของ Kp ไว้ 3 ระดับคือ 1.0, 1.5 และ 2.0 และในการทดสอบความแม่นยำนี้จะใช้เกณฑ์การทดสอบเครื่องหยอดเมล็ดพืชตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก. 1236-2537) ดังแสดงในตารางที่ 7

ลิขสิทธิ์การเกษตร

ตารางที่ 7 ความแม่นยำของอุปกรณ์กำหนดจำนวนเมล็ดตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก. 1236-2537)

จำนวนเมล็ดที่กำหนดโดยอุปกรณ์กำหนดจำนวนเมล็ดต่อระยะทาง 1 เมตร	จำนวนเมล็ดในระยะทุกๆ 1 เมตร (R = จำนวนเมล็ดในระยะทุกๆ 1 เมตร)
10 ถึง 20	R +3 R -2
21 ถึง 40	R +6 R -3

ที่มา: มอก. 1236-2537

6. การทดสอบอัตราการหยอดเมล็ดพืชในภาคสนาม

การทดสอบอัตราการหยอดเมล็ดพืช โดยกำหนดการหยอดเมล็ดข้าวโพดไว้ 2 ระยะ คือ ระยะปลูก 20 ซม. (5 เมล็ด/เมตร) และ 25 ซม. (4 เมล็ด/เมตร) เมล็ดถั่วเหลืองและถั่วเขียวไว้ 3 ระยะ คือระยะปลูก 10, 15 และ 20 ซม. เมล็ดถั่วลิสงกำหนดไว้ 2 ระยะคือ 15 และ 20 เซนติเมตร โดยเมล็ดข้าวโพดใช้จานหยอดรูขนาด 9.5 มม. (1 เมล็ดต่อ 1 รู) ถั่วเหลืองใช้จานหยอดรูขนาด 12.5 มม. (2-3 เมล็ดต่อ 1 รู) ถั่วเขียวใช้จานหยอดรูขนาด 6.5 มม. (4-5 เมล็ดต่อ 1 รู) และถั่วลิสงใช้จานหยอดรูขนาด 19 มม. (2-3 เมล็ดต่อ 1 รู) แล้วให้เครื่องหยอดพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์ยี่ห้อคูโบต้า รุ่น M5000SU ใช้เกียร์ High1 รอบเครื่องยนต์ 1500 รอบ/นาที ความเร็วในการเคลื่อนที่ประมาณ 1.25 เมตร/วินาที แล้วทำการทดสอบในแปลงที่มีความยาว 50 เมตร และใช้ถังรองรับเมล็ดพืชจากท่อนำเมล็ดพืชของแต่ละแถวเพื่อนำมาชั่งหาน้ำหนักของเมล็ดพืช แล้วนำมาคำนวณหาอัตราการหยอดเมล็ดพืชได้ดังสมการที่ 1

$$\text{อัตราการหยอดเมล็ดพืช (กก./ไร่)} = \frac{\text{น้ำหนักของเมล็ดพืช}}{\text{พื้นที่แปลงทดสอบ}} \frac{(\text{กก.})}{(\text{ม.}^2)} \times \frac{1600\ (\text{ม.}^2)}{(\text{ไร่})} \qquad (1)$$

7. การทดสอบอัตราการหยอดเมล็ดปุ๋ยในภาคสนาม

การทดสอบอัตราการหยอดปุ๋ยได้ใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 โดยกำหนดอัตราการหยอดไว้ 4 ระดับ คือ 20, 30, 40 และ 50 กก./ไร่ และระยะแถวปลูกไว้ 2 ระดับ คือ 50 และ 75 ซม. ติดตั้งเครื่องหยอดพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์ยี่ห้อคูโบต้า รุ่น M5000SU ใช้เกียร์ High1 รอบเครื่องยนต์ 1500 รอบ/นาที ความเร็วในการเคลื่อนที่ประมาณ 1.25 เมตร/วินาที แล้วทำการทดสอบในแปลงที่มีความยาว 50 เมตร และใช้ถังรองรับปุ๋ยจากท่อนำปุ๋ยของแต่ละแถวเพื่อนำมาชั่งหาน้ำหนักของปุ๋ย แล้วนำมาคำนวณหาอัตราการหยอดปุ๋ยได้ดังสมการที่ 2

$$\text{อัตราการหยอดปุ๋ย (กก./ไร่)} = \frac{\text{น้ำหนักของเมล็ดปุ๋ย}}{\text{พื้นที่แปลงทดสอบ}} \frac{(\text{กก.})}{(\text{ม.}^2)} \times \frac{1600\ (\text{ม.}^2)}{(\text{ไร่})} \qquad (2)$$

8. การทดสอบเครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติสำหรับการปลูกพืช

กรมวิชาการเกษตร

กำหนดให้แปลงทดสอบแต่ละแปลงมีขนาดกว้าง 6 เมตร และยาว 80 เมตร แล้วให้เครื่องหยอดพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์ยี่ห้อคูโบต้ารุ่น M5000SU ใช้เกียร์ High1 รอบเครื่องยนต์ 1,500 รอบ/นาที ความเร็วประมาณ 1.25 เมตร/วินาที และกำหนดการทดสอบหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยดังนี้

8.1. ข้าวโพด ทดสอบอัตราการหยอด 2 อัตรา คือ 2.3 และ 3 กก./ไร่ แล้วใส่ปุ๋ยในอัตรา 50 กก./ไร่

8.2. ถั่วเหลือง ทดสอบอัตรการหยอด 2 อัตรา คือ 12 และ 15 กก./ไร่ แล้วใส่ปุ๋ยในอัตรา 25 กก./ไร่

8.3. ถั่วเขียว ทดสอบอัตราการหยอด 2 อัตรา คือ 5 และ 7 กก./ไร่ แล้วใส่ปุ๋ยในอัตรา 25 กก./ไร่

8.4. ถั่วลิสง ทดสอบอัตราการหยอด 2 อัตรา คือ 15 และ 18 กก./ไร่ แล้วใส่ปุ๋ยในอัตรา 25 กก./ไร่

9. วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

เวลาและสถานที่

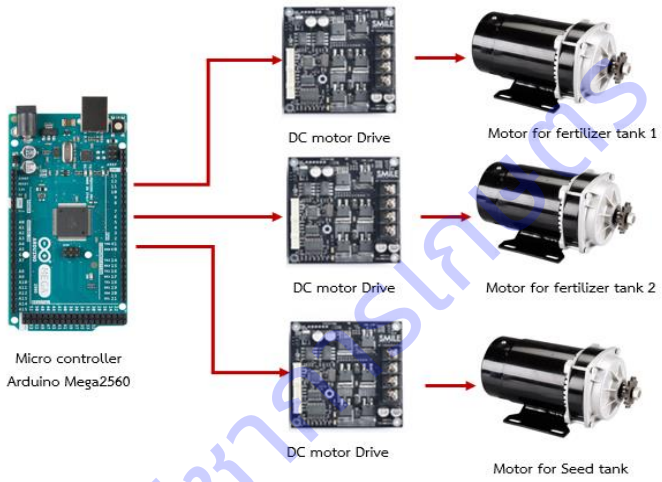
ระยะเวลา	เริ่มต้นเดือนตุลาคม 2563 สิ้นสุดเดือนกันยายน 2564
สถานที่ดำเนินการ	อาคารปฏิบัติการ สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร
	แปลงทดสอบ ศูนย์วิจัยพัฒนาและเมล็ดพันธุ์พืชลพบุรี
	แปลงทดสอบ ศูนย์วิจัยพัฒนาและเมล็ดพันธุ์พืชขอนแก่น
	ห้องปฏิบัติการทดลอง ศูนย์วิจัยพัฒนาและเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก
	กองวิจัยพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืช กรมวิชาการเกษตร

กรมวิชาการเกษตร

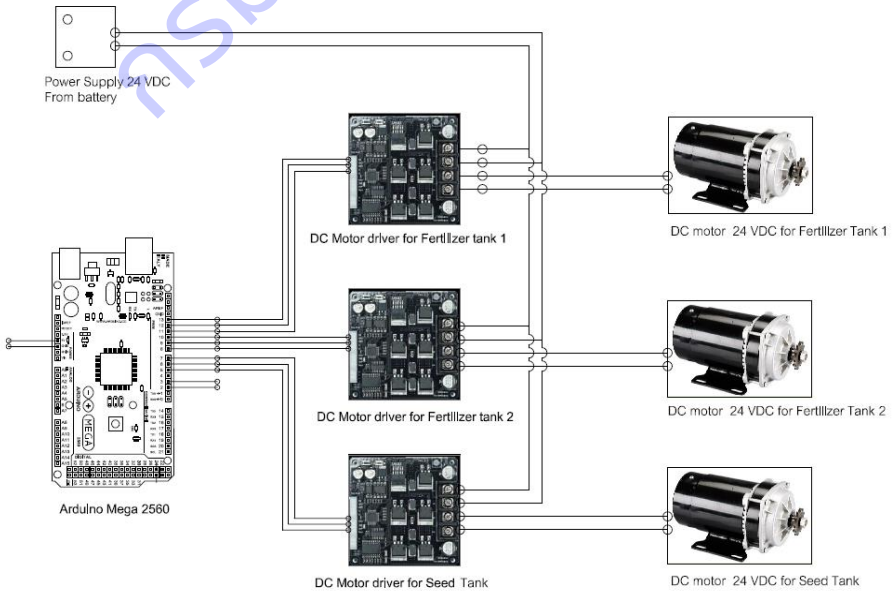
ผลการวิจัยและอภิปรายผล (Results and Discussion)

1. ผลการออกแบบระบบควบคุมอัตราการหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ย

การควบคุมอัตราการหยอดแบบอัตโนมัตินี้ได้ออกแบบโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ยี่ห้อ Arduino รุ่น Mega2560 สั่งสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulation) ผ่านชุดขับมอเตอร์ (DC) motor drive) เพื่อควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลต์ ขนาด 500 วัตต์ จำนวน 2 ชุด คือ 1) ควบคุมความเร็วรอบของชุดขับเพลาหยอดเมล็ด และ 2) ควบคุมความเร็วรอบของเพลาหยอดปุ๋ย ดังแสดงแผนภาพในภาพที่ 11 และ 12 ซึ่งในการทดลองนี้ใช้การควบคุมมอเตอร์โดยสั่งสัญญาณแบบ PWM (Pulse Width Modulation) ซึ่งเป็นวงจรแบบ Switching Amplifier คือ การควบคุมแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ โดยอาศัยหลักการปรับค่า Duty Cycle เพื่อปรับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ ซึ่งเกิดการสูญเสียกำลังงานที่น้อยมาก และการควบคุมแบบนี้จะใช้งานได้ดีที่ความถี่คงที่หรือความถี่ที่มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก (เอกชัย, 2552)



ภาพที่ 11 แผนผังระบบควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์



ภาพที่ 12 วงจรไฟฟ้าระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์กระแสตรง

กรมวิชาการเกษตร

2. ผลการออกแบบสมการควบคุมอัตราการหยอดเมล็ดพืช

การออกแบบสมการควบคุมอัตราการหยอดเมล็ดพืชโดยใช้การควบคุมความเร็วรอบของจานหยอดเมล็ดพืช ซึ่งแนวคิดและหลักการทำงานออกแบบให้เป็นระบบควบคุมแบบฟังก์ชั่นเชิงเวลา (t) ซึ่งจะทำให้สามารถออกแบบระบบควบคุมความเร็วรอบของจานหยอดเมล็ดพืชตามอัตราที่กำหนดได้ และสามารถนำมาเขียนเป็นสมการควบคุมความเร็วรอบจานหยอดเมล็ดให้สัมพันธ์กับความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ดังสมการที่ 3

$$RPMs = f_t(S_t, v) \quad (3)$$

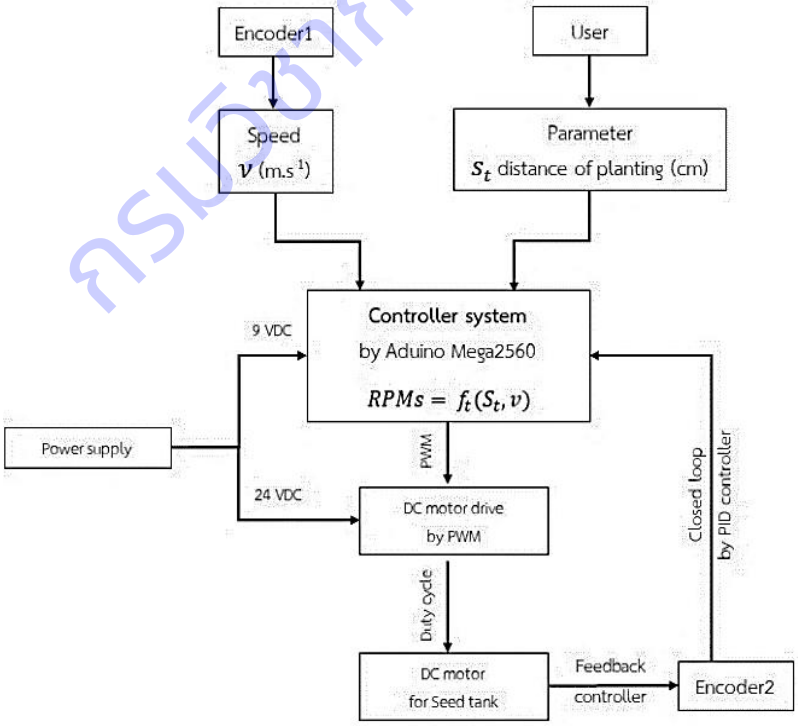
เมื่อ $RPMs$ คือ ความเร็วรอบของจานหยอดเมล็ดพืช (รอบ/นาที)

f_t คือ ฟังก์ชั่นสมการควบคุมอัตราการหยอดเมล็ด

S_t คือ ระยะปลูก (ซม.)

v คือ ความเร็วของรถแทรกเตอร์ (เมตร/วินาที)

จากสมการควบคุมดังกล่าวผู้ใช้งานสามารถกำหนดระยะปลูกพืชได้ และในส่วนของความเร็วของรถแทรกเตอร์ระบบควบคุมสามารถวัดได้จากเอ็นโค้ดเดอร์ที่ติดตั้งกับล้อขับ (Driving wheel) ซึ่งระบบควบคุมจะทำการประมวลผลอัตรการหยอดเมล็ดพืชให้สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ ทั้งนี้ได้ติดตั้งเอ็นโค้ดเดอร์อีกหนึ่งตัวที่เพลาขับจานหยอดเพื่อปรับแก้ค่าความผิดพลาด (Error) ของระบบควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งจะทำให้การควบคุมอัตราการหยอดมีความแม่นยำมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 13



ภาพที่ 13 แผนผังแสดงการออกแบบระบบควบคุมอัตราการหยอดเมล็ดพืช

กรมวิชาการเกษตร

3. ผลการออกแบบสมการควบคุมอัตราการหยอดปุ๋ย

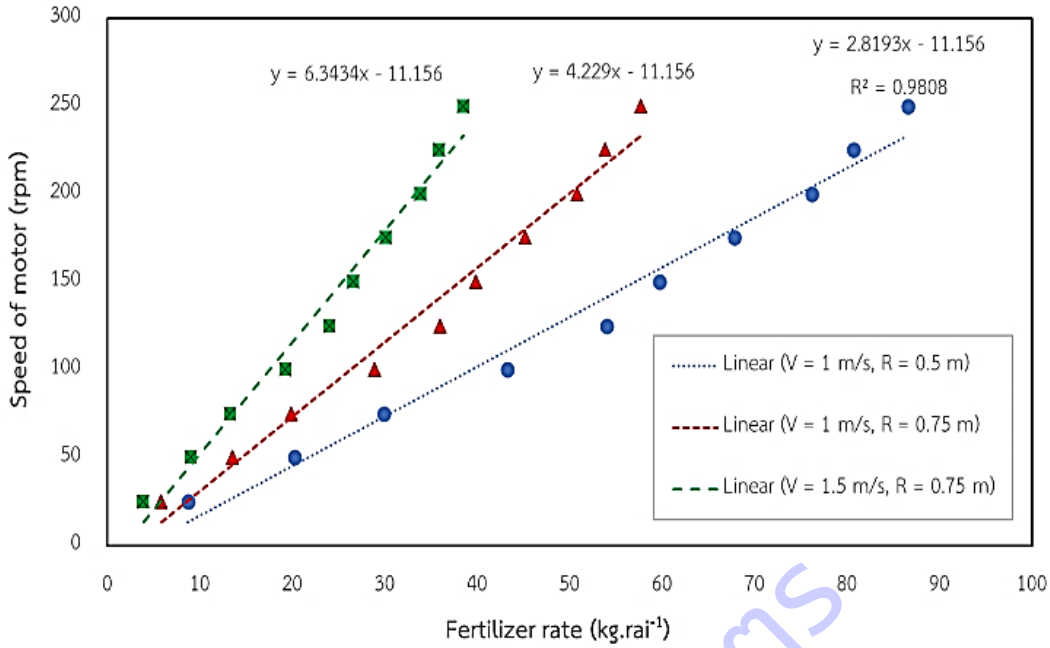
สำหรับการออกแบบสมการควบคุมอัตราการหยอดปุ๋ย เริ่มจากการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเพลาหยอดปุ๋ย (รอบ/นาที) กับอัตราการหยอดปุ๋ย (กก./ไร่) โดยกำหนดความเร็วรอบของเพลาหยอดปุ๋ยไว้ในระดับต่างๆ จับเวลา 1 นาที แล้วนำค่าน้ำหนักปุ๋ยที่ได้ (กก./นาที) ไปคำนวณให้เป็นค่าอัตราการหยอดปุ๋ยในหน่วยของ (กก./ไร่) ซึ่งในการคำนวณได้กำหนดเงื่อนไขให้ความเร็วของรถแทรกเตอร์เท่ากับ 1 และ 1.5 เมตร/วินาที และมีระยะแถวปลูกเท่ากับ 0.5 และ 0.75 เมตร ตามลำดับ โดยผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบอัตราการหยอดปุ๋ยในห้องปฏิบัติการ

ความเร็วรอบมอเตอร์ (รอบ/นาที)	อัตราการหยอดปุ๋ย (กก./ไร่)			
	ความเร็วรถแทรกเตอร์ที่กำหนดไว้ 1 เมตร/วินาที		ความเร็วรถแทรกเตอร์ที่กำหนดไว้ 1.5 เมตร/วินาที	
	ระยะแถวปลูก 0.5 เมตร	ระยะแถวปลูก 0.75 เมตร	ระยะแถวปลูก 0.5 เมตร	ระยะแถวปลูก 0.75 เมตร
25	8.70	5.80	5.80	3.87
50	20.29	13.53	13.53	9.02
75	29.88	19.92	19.92	13.28
100	43.28	28.85	28.85	19.23
125	54.04	36.03	36.03	24.02
150	59.76	39.84	39.84	26.56
175	67.80	45.20	45.20	30.14
200	76.20	50.80	50.80	33.86
225	80.74	53.83	53.83	35.89
250	86.59	57.73	57.73	38.48
275	93.73	62.49	62.49	41.66
300	94.68	63.12	63.12	42.08

จากผลการทดสอบพบว่า ที่ความเร็วของรถแทรกเตอร์เท่ากับ 1 เมตร/วินาที ระยะแถวปลูก 0.5 เมตร และ 0.75 เมตร มีอัตราการหยอดปุ๋ยตั้งแต่ 8.7- 94.68 กก./ไร่ และ 5.8-63.12 กก./ไร่ ตามลำดับ และที่ความเร็วของรถแทรกเตอร์เท่ากับ 1.5 เมตร/วินาที ระยะแถวปลูก 0.5 เมตร และ 0.75 เมตร มีอัตราการหยอดปุ๋ยตั้งแต่ 5.8-63.12 กก./ไร่ และ 3.87-42.08 กก./ไร่ ตามลำดับ ซึ่งผลของอัตราการหยอดปุ๋ยดังกล่าวเพียงพอสำหรับการหยอดในอัตรา 20-50 กก./ไร่ แต่ที่ความเร็ว 1.5 เมตร/วินาที กับที่ระยะแถวปลูก 0.75 เมตร มีอัตราการหยอดปุ๋ยสูงสุดเพียง 42.กก./ไร่ ดังนั้นหากต้องการอัตราการหยอดปุ๋ยที่ 50 กก./ไร่ ที่ระยะปลูก 0.75 เมตร จากการคำนวณแบบการประมาณค่าในช่วง (Interpolation) ต้องใช้ความเร็วรถแทรกเตอร์ไม่เกิน 1.25 เมตร/วินาที และจากผลการทดสอบดังกล่าวสามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหยอดปุ๋ยกับความเร็วรอบของมอเตอร์ดังแสดงในภาพที่ 14

กรมวิชาการเกษตร



ภาพที่ 14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหยอดปุ๋ย (กก./ไร่) กับ ความเร็วรอบของมอเตอร์ (รอบ/นาที)

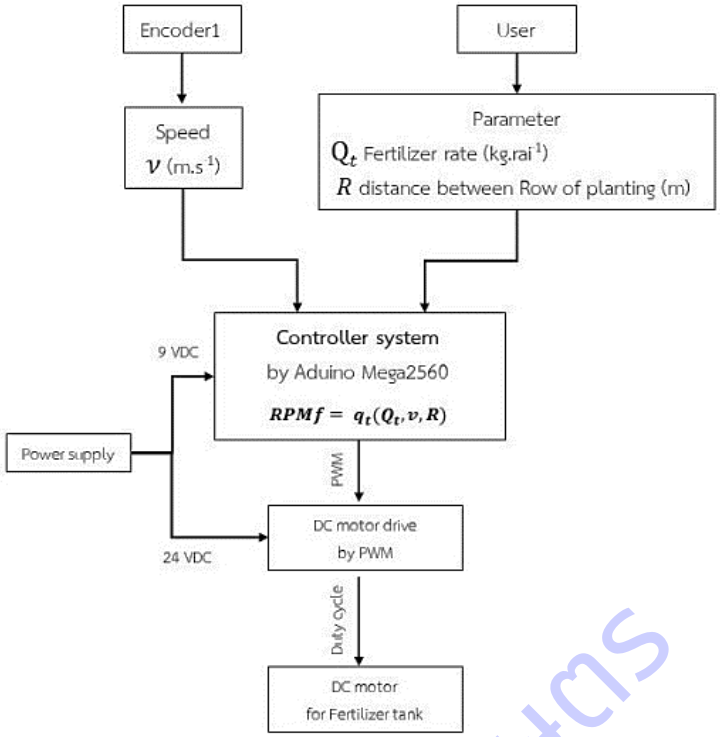
จากกราฟดังกล่าวสามารถนำเขียนสมการควบคุมอัตราการหยอดปุ๋ยให้สัมพันธ์กับความเร็วรถแทรกเตอร์และระยะของแถวปลูกได้ โดยใช้แนวคิดและหลักการออกแบบให้เป็นระบบควบคุมแบบฟังก์ชั่นเชิงเวลา (t) ดังสมการที่ 4

$$RPMf = q_t(Q_t, v, R) \quad (4)$$

เมื่อ $RPMf$ คือ ความเร็วรอบของจานมอเตอร์ปุ๋ย (รอบ/นาที)
q_t คือ ฟังก์ชั่นสมการควบคุมอัตราการหยอดปุ๋ย
Q_t คือ อัตราการหยอดปุ๋ย (กก./ไร่)
v คือ ความเร็วของรถแทรกเตอร์ (เมตร/วินาที)
R คือ ระยะระหว่างแถวปลูก (เมตร)

จากสมการควบคุมดังกล่าวผู้ใช้งานสามารถกำหนดอัตราการหยอดปุ๋ยและระยะของระหว่างแถวปลูกพืชได้ และในส่วนของความเร็วของรถแทรกเตอร์ระบบควบคุมสามารถวัดได้จากเอ็นโค้ดเดอร์ที่ติดตั้งกับล้อจักร ซึ่งระบบควบคุมจะทำการประมวลผลอัตราการหยอดปุ๋ยให้สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์และระยะระหว่างแถวปลูก ดังแสดงแผนผังในภาพที่ 15

กรมวิชาการเกษตร



ภาพที่ 15 แผนผังแสดงการออกแบบระบบควบคุมอัตราการหยอดปุ๋ย

4. ผลการทดสอบอัตราการหยอดเมล็ดพืชในห้องปฏิบัติการ

จากผลการออกแบบสมการควบคุมอัตราการหยอดเมล็ดพืชในข้างต้น จึงนำมาทดสอบความแม่นยำโดยใช้เมล็ดข้าวโพดเป็นเมล็ดพืชตัวอย่าง เนื่องจากมีขนาดเมล็ดที่สม่ำเสมอและใช้อัตราการหยอด 1 เมล็ดต่อ 1 หลุม โดยในการทดสอบนี้ได้จำลองให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากับ 1 เมตร/วินาที จับเวลา 20 วินาที คำนวณได้ระยะทาง 20 เมตร ใส่เมล็ดข้าวโพดในถัง 1/5 และ 5/5 ของปริมาตรถัง และกำหนดอัตราการหยอดไว้ 3 ระดับ คือ 4, 5 และ 6 เมล็ดต่อเมตร แล้วนับจำนวนเมล็ด ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 9 และ 10

ตารางที่ 9 ผลการทดสอบความแม่นยำของอัตรการหยอดโดยบรรจุเมล็ดปริมาณ 1/5 ถังโดยปริมาตร

จำนวนเมล็ดที่ต้องการ	ครั้งที่	ผลการทดสอบ จำนวนเมล็ด (เมล็ด)					ผลการทดสอบเฉลี่ย (เมล็ด/เมตร)	ความแม่นยำ (%)
		แถวที่ 1	แถวที่ 2	แถวที่ 3	แถวที่ 4	เฉลี่ย		
4 (80 เมล็ด)	1	80	80	80	81	80.58	4.03	99.2
	2	81	80	80	81			
	3	81	80	82	81			
5 (100 เมล็ด)	1	100	101	100	100	100.58	5.03	99.4
	2	102	101	100	100			
	3	100	102	101	100			
6 (120 เมล็ด)	1	120	120	121	120	120.33	6.02	99.7
	2	121	120	120	120			
	3	120	121	121	120			

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 10 ผลการทดสอบความแม่นยำของอัตรการหยอดโดยบรรจุเมล็ดปริมาณ 5/5 ถังโดยปริมาตร

จำนวนเมล็ดที่ต้องการ (เมล็ด/เมตร)	ครั้งที่	ผลการทดสอบ จำนวนเมล็ด (เมล็ด)					ผลการทดสอบเฉลี่ย (เมล็ด/เมตร)	ความแม่นยำ (%)
		แถวที่ 1	แถวที่ 2	แถวที่ 3	แถวที่ 4	เฉลี่ย		
4 (80 เมล็ด)	1	75	72	76	73	74.08	3.70	92.5
	2	76	74	76	72			
	3	74	76	73	72			
5 (100 เมล็ด)	1	92	93	92	91	91.75	4.59	91.8
	2	91	93	92	91			
	3	92	91	90	93			
6 (120 เมล็ด)	1	108	110	111	109	109.58	5.48	91.3
	2	109	110	111	112			
	3	108	109	110	108			

จากผลการทดสอบพบว่าที่ ปริมาณเมล็ด 1/5 ถัง สมการที่ใช้ควบคุมอัตราการหยอดเมล็ดพืชแบบวงเปิด (Open-Loop controller) สามารถควบคุมอัตราการหยอดได้อย่างแม่นยำโดยมีความแม่นยำเฉลี่ย 99.4 % แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเมล็ดลงไปเป็น 5/5 ถัง พบว่าผลอัตราการหยอดเมล็ดมีความแม่นยำลดลงเหลือเพียง 91.5 % เนื่องจากน้ำหนักของเมล็ดที่อยู่ในถังไปกดทับจานหยอดทำให้มีแรงเสียดทานระหว่างเมล็ดกับจานหยอดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้จานหยอดมีความเร็วรอบลดลงและทำให้อัตราการหยอดเมล็ดพันธุ์มีความแม่นยำลดลงตามไปด้วย ซึ่งจำเป็นต้องทำการแก้ไขความแม่นยำของระบบควบคุมในขั้นตอนถัดไป

5. การปรับแก้ค่าความผิดพลาดของอัตราการหยอดเมล็ดพืช

จากผลการทดสอบอัตราการหยอดเมล็ดก่อนหน้านี้ได้เกิดค่าความผิดพลาด (Error) เนื่องจากมีแรงเสียดทานระหว่างเมล็ดที่บรรจุอยู่ในถังกับจานหยอดเมล็ดพืช จึงทำให้มีการรบกวน (Disturbance) เกิดขึ้นในระบบควบคุม ซึ่งสามารถแก้ไขโดยการออกแบบระบบควบคุมให้เป็นแบบวงจรปิด (Closed loop control system) โดยใช้เอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder) วัดความเร็วรอบของจานหยอดเมล็ดพืชดังแสดงใน ภาพที่ 16 แล้วป้อนสัญญาณกลับมาที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อแก้ไขค่าผิดผลาดที่เกิดขึ้น ซึ่งการควบคุมอัตราการหยอดแบบป้อนกลับได้ใช้วิธีการควบคุมแบบ PID (Proportional Integral Derivative Control) โดยการทดลองนี้จะสนใจเฉพาะในเทอมสัดส่วนหรืออัตราขยาย (P_{out}) เท่านั้น ดังแสดงในสมการที่ 5 และทำการทดสอบหาค่าเกณฑ์ที่เหมาะสมของ K_p 3 ระดับคือ 1.0, 1.5 และ 2.0 โดยความแม่นยำของอัตราการหยอดเมล็ดพืชจะใช้เกณฑ์การทดสอบเครื่องหยอดเมล็ดพืชตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.1236-2537) ที่จำนวนเมล็ด 10-20 เมล็ด/เมตร มีความคาดเคลื่อนของเมล็ดได้มากกว่าไม่เกิน 3 เมล็ด/เมตร และน้อยกว่าได้ไม่เกิน 2 เมล็ด/เมตร แต่ในการทดสอบนี้กำหนดจำนวนเมล็ดเพียง 4-6 เมล็ด/เมตร ซึ่งต้องปรับเกณฑ์ความคาดเคลื่อนลดลงตามมาด้วย คือ มีความคาดเคลื่อนของเมล็ดได้มากว่าเฉลี่ยไม่เกิน 0.75 เมล็ด/เมตร และน้อยกว่าได้ไม่เกิน 0.5 เมล็ด/เมตร หรือคิดเป็น 15 และ 10 % ตามลำดับ ซึ่งผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 11

ศูนย์วิทยทรัพยากร

ภาพที่ 16 แสดงตำแหน่งการติดตั้ง Encoder สำหรับการควบคุมแบบ closed loop controller system

สมการปรับแก้ค่าความผิดพลาด (Error)

$$P_{out} = K_p \times e(t) \quad (5)$$

เมื่อ P_{out} คือ สัญญาณขาออกของเทอมสัดส่วน

K_p คือ อัตราขยายสัดส่วน

$e(t)$ คือ ค่าความผิดพลาด

ตารางที่ 11 ผลการทดสอบความแม่นยำของอัตราการหยอดเมล็ดที่ค่าเกณฑ์ Kp ต่าง ๆ

จำนวนเมล็ด (เมล็ด/เมตร)	จำนวนเมล็ดที่ต้องการในระยะ 20 เมตร (เมล็ด)	ผลการทดสอบ จำนวนเมล็ด (เมล็ด) ในระยะ 20 เมตร		
		Kp = 1.0	Kp = 1.5	Kp = 2.0
4	80	77.6±1.3	81.2±1.2	84.4±1.4
5	100	97.2±1.34	101.3±1.4	105.2±1.3
6	125	117.3±1.1	121.25±1.0	124.5±5.6
	ความแม่นยำ (%)	97.75	98.7	94.80

*ค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

กรมวิชาการเกษตร

จากผลการทดสอบ พบว่า ค่าเกณฑ์ของ Kp เท่ากับ 1.0, 1.5 และ 2.0 มีค่าความแม่นยำของอัตราการหยอดเมล็ดพืชเฉลี่ยเท่ากับ 97.75%, 98.7% และ 94.8% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบการทดสอบเครื่องหยอดเมล็ดพืชตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก. 1236-2537) ที่จำนวนเมล็ด 10-20 เมล็ด/เมตร มีความคาดเคลื่อนของเมล็ดได้มากกว่าจำนวนที่กำหนดได้ไม่เกิน 3 เมล็ด/เมตร (หรือคิดเป็นความแม่นยำ 85 %) และน้อยกว่าจำนวนที่กำหนดได้ไม่เกิน 2 เมล็ด/เมตร (หรือคิดเป็นความแม่นยำ 90 %) ซึ่งผลการทดสอบดังกล่าว ค่าเกณฑ์ Kp ทั้ง 3 ค่า มีค่าความแม่นยำหรือค่า Seeding Accuracy ตั้งแต่ 94.8-98.7 % จะเห็นได้ว่าจากการควบคุมแบบวงจรปิด (Closed loop control system) จะทำให้การควบคุมมีความแม่นยำมากขึ้นสอดคล้องกับผลการทดสอบของ Jafari et al. (2010) ที่ได้ใช้เอ็นโค้ดเดอร์วัดความเร็วรอบของเพลาลูกหยอดเมล็ดแล้วส่งสัญญาณป้อนกลับไปยังชุดคอนโทรลเลอร์ทำให้อัตราการหยอดมีความแม่นยำมากขึ้น ดังนั้นจากการทดสอบนี้จึงเลือกให้ค่าเกณฑ์ของ Kp เท่ากับ 1.5 ซึ่งมีค่าความแม่นยำหรือค่า Seeding Accuracy มากที่สุดถึง 98.7 % มาใช้สำหรับการแก้ไขค่าผิดผลาดที่เกิดขึ้นเพื่อให้การควบคุมอัตราการหยอดเมล็ดพืชมีความแม่นยำและตรงตามอัตราที่ต้องการ

6. ผลการทดสอบอัตราการหยอดเมล็ดพืชในภาคสนาม

การทดสอบอัตราการหยอดเมล็ดพืชในภาคสนามเพื่อทดสอบความแม่นยำของระบบควบคุมและอัตราการหยอดเมล็ดพืชในสภาพการใช้งานจริงในแปลงปลูกพืชที่มีความยาวของแปลงเท่ากับ 50 เมตร ดังแสดงในภาพที่ 17 และ 18 โดยมีผลอัตราการหยอดเมล็ดของ ข้าวโพด ถั่วเหลือง ถั่วเขียว และถั่วลิสง ดังแสดงในตารางที่ 12 13 14 และ 15

กรมวิชาการเกษตร

ภาพที่ 17 การทดสอบอัตราการหยอดเมล็ดพืชในภาคสนาม

ภาพที่ 18 การวัดและชั่งน้ำหนักเมล็ดเพื่อหาอัตราการหยอดเมล็ดพืชในภาคสนาม

ตารางที่ 12 ผลการทดสอบอัตราการหยอดข้าวโพดในภาคสนาม

ระยะปลูกข้าวโพด	ครั้งที่	ผลการทดสอบ (จำนวนเมล็ด)						อัตราการหยอด	
		แถวที่ 1	แถวที่ 2	แถวที่ 3	แถวที่ 4	เฉลี่ย	ความแม่นยำ (%)	(กก./ไร่)	ความแม่นยำ(%)
20x75 ซม. (5 เมล็ด/เมตร) (250 เมล็ด / 50 เมตร) (3 กก./ไร่)	1	250	243	273	260	258	96.8	2.64	88%
	2	274	249	269	256				
	3	255	245	275	252				
25x75 ซม. (4 เมล็ด/เมตร) (200 เมล็ด / 50 เมตร) (2.3 กก./ไร่)	1	212	193	225	214	213	93.5	2.15	93.5%
	2	210	204	223	210				
	3	217	204	231	216				

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 13 ผลการทดสอบอัตราการหยอดถั่วเหลืองในภาคสนาม

ระยะปลูกถั่วเหลือง	ครั้งที่	น้ำหนักเมล็ด (กรัม)					ผลอัตราการหยอดเมล็ด	
		แถวที่ 1	แถวที่ 2	แถวที่ 3	แถวที่ 4	เฉลี่ย	(กก./ไร่)	ความแม่นยำ (%)
10x50 ซม. (15 กก./ไร่)	1	230	240	245	231	237	15.53	98
	2	231	246	249	228			
	3	230	236	254	224			
15x50 ซม. (12 กก./ไร่)	1	172	175	189	174	171	11.03	91.92
	2	165	173	174	160			
	3	163	168	175	162			
20x50 ซม. (10 กก./ไร่)	1	134	147	155	134	139	9.17	91.7
	2	134	138	138	133			
	3	136	131	145	138			

ตารางที่ 14 ผลการทดสอบอัตราการหยอดถั่วเขียวในภาคสนาม

ระยะปลูกถั่วเขียว	ครั้งที่	น้ำหนักเมล็ด (g)					ผลอัตราการหยอดเมล็ด	
		แถวที่ 1	แถวที่ 2	แถวที่ 3	แถวที่ 4	เฉลี่ย	(กก./ไร่)	ความแม่นยำ (%)
10x50 ซม. (7 กก./ไร่)	1	92	97	101	92	95	6.46	92.3
	2	91	97	102	90			
	3	90	95	100	91			
15x50 ซม. (6 กก./ไร่)	1	77	82	88	79	81	5.55	92.5
	2	78	79	85	77			
	3	79	80	87	81			
20x50 ซม. (5 กก./ไร่)	1	64	62	66	60	63	4.25	85
	2	63	62	66	62			
	3	62	64	67	60			

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 15 ผลการทดสอบอัตราการหยอดถั่วลิสงในภาคสนาม

ระยะปลูกถั่วลิสง	ครั้งที่	น้ำหนักเมล็ด (g)					ผลอัตราการหยอดเมล็ด	
		แถวที่ 1	แถวที่ 2	แถวที่ 3	แถวที่ 4	เฉลี่ย	(กก./ไร่)	ความแม่นยำ (%)
20x50 ซม. (18 กก./ไร่)	1	276	273	282	270			
	2	281	278	276	289	277	17.71	98.38
	3	275	274	271	275			
25x50 ซม. (15 กก./ไร่)	1	232	239	231	240			
	2	228	225	226	231	229	14.68	97.86
	3	220	226	224	230			

จากผลการทดสอบอัตราการหยอดเมล็ดพืช พบว่า การหยอดเมล็ดข้าวโพดที่ระยะปลูก 20x75 ซม. และ 25x75 ซม. มีอัตราการหยอดเท่ากับ 2.15 และ 2.46 กก./ไร่ ตามลำดับ การหยอดเมล็ดถั่วเหลืองที่ระยะปลูก 10x50 ซม., 15x50 ซม. และ 20x50 ซม. มีอัตราการหยอดเท่ากับ 15.53, 11.03 และ 9.17 กก./ไร่ ตามลำดับ การหยอดเมล็ดถั่วเขียว ระยะปลูก 10x50 ซม., 15x50 ซม. และ 20x50 ซม. มีอัตราการหยอดเท่ากับ 6.46, 5.55 และ 4.25 กก./ไร่ ตามลำดับ และการหยอดเมล็ดลิสง ระยะปลูก 20x50 ซม. และ 25x50 ซม. มีอัตราการหยอดเท่ากับ 17.71 และ 14.68 กก./ไร่ ตามลำดับซึ่งจากผลการทดสอบดังกล่าวเครื่องหยอดเมล็ดพืชสามารถควบคุมอัตราการหยอดได้ตามคำแนะนำเทคโนโลยีการปลูกพืชของสถาบันวิจัยพืชไร่และพืชพลังงานทดแทน (2560) ที่ได้แนะนำอัตราการปลูกข้าวโพด 2-3 กก./ไร่ ถั่วเหลือง 12-15 กก./ไร่ ถั่วเขียว 5-6 กก./ไร่ และถั่วลิสง 15-18 กก./ไร่ (น้ำหนักกะเทาะฝักแล้ว)

7. การทดสอบอัตราการหยอดเมล็ดปุ๋ยในภาคสนาม

การทดสอบอัตราการหยอดปุ๋ยในภาคสนามเพื่อทดสอบความแม่นยำของระบบควบคุมและอัตราการหยอดปุ๋ยในสภาพการใช้งานจริงในแปลงปลูกพืชที่มีความยาวของแปลงเท่ากับ 50 เมตร ดังแสดงในภาพที่ 19 และ 20 โดยทำการทดสอบอัตราการหยอดปุ๋ยที่ระยะแถวปลูก 2 ระยะ คือ 0.5 เมตร และ 0.75 เมตร และกำหนดให้รถแทรกเตอร์ใช้เกียร์ High1 รอบเครื่องยนต์ 1500 รอบ/นาที ความเร็วในการเคลื่อนที่ประมาณ 1.25 (เมล็ด/เมตร) ซึ่งมีผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 16 และ 17

กรมวิชาการเกษตร

ภาพที่ 19 การทดสอบอัตราการหยอดปุ๋ยในภาคสนาม

ภาพที่ 20 การวัดและชั่งน้ำหนักปุ๋ยเพื่อหาอัตราการหยอดปุ๋ยในภาคสนาม

ตารางที่ 16 ผลการทดสอบอัตราการหยอดปุ๋ยในภาคสนามที่ระยะห่างระหว่างแถวปลูก 0.5 เมตร

อัตราการหยอดปุ๋ย (กก./ไร่)	ครั้งที่	น้ำหนักปุ๋ย (กรัม)				เฉลี่ยรวม (กก.)	ผลอัตราการหยอดปุ๋ย	
		แถวที่ 1	แถวที่ 2	แถวที่ 3	แถวที่ 4		(กก./ไร่)	ความแม่นยำ(%)
20	1	285	290	280	377	1.21	19.43	97.1
	2	281	290	277	372			
	3	290	295	279	328			
30	1	444	453	440	564	1.91	30.56	98.1
	2	450	478	426	560			
	3	451	475	455	534			
40	1	592	602	577	725	2.46	39.31	98.2
	2	588	585	574	725			
	3	590	594	578	640			
50	1	719	695	708	878	3.00	48.07	96.1
	2	722	694	727	876			
	3	720	704	719	851			

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 17 ผลการทดสอบอัตราการหยอดปุ๋ยในภาคสนามที่ระยะห่างระหว่างแถวปลูก 0.75 เมตร

อัตราการหยอดปุ๋ย (กก./ไร่)	ครั้งที่	น้ำหนักปุ๋ย (กรัม)				เฉลี่ยรวม (กก.)	ผลอัตราการหยอดปุ๋ย	
		แถวที่ 1	แถวที่ 2	แถวที่ 3	แถวที่ 4		(กก./ไร่)	ความแม่นยำ(%)
20	1	450	476	461	551	1.94	20.68	96.6
	2	440	476	458	557			
	3	444	480	462	561			
30	1	658	654	656	826	2.79	29.74	99.1
	2	667	660	656	813			
	3	664	661	659	789			
40	1	987	821	874	1070	3.74	39.90	99.8
	2	899	823	898	1113			
	3	924	825	900	1087			
50	1	1125	1093	1054	1216	4.60	49.07	98.1
	2	1140	1155	1186	1225			
	3	1135	1124	1131	1216			

จากผลการทดสอบพบว่า ระบบควบคุมอัตราการหยอดปุ๋ยที่กำหนดอัตรา 20, 30, 40 และ 50 กก./ไร่ และระยะของแถวปลูก 0.5 เมตร มีผลอัตราการหยอดปุ๋ยเท่ากับ 19.43, 30.56, 39.31 และ 48.07 กก./ไร่ ตามลำดับ และระยะของแถวปลูก 0.75 เมตร มีผลอัตราการหยอดปุ๋ยเท่ากับ 20.68, 29.74, 39.90 และ 49.07 กก./ไร่ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าจากการทดสอบผลอัตราการหยอดปุ๋ยมีค่าใกล้เคียงกับอัตราที่กำหนดไว้ โดยระยะห่างระหว่างแถวปลูกไม่มีผลกับความแม่นยำของอัตราการหยอดปุ๋ย ซึ่งมีค่าความแม่นยำเฉลี่ยโดยรวมมากถึง 97%

8. ผลการทดสอบเครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติ

เมื่อทดสอบระบบควบคุมอัตราการหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยในการทดสอบก่อนหน้านี้เรียบร้อยแล้ว จึงได้ทำการทดสอบเครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติ สำหรับการปลูก ข้าวโพด พันธุ์นครสวรรค์ 3 ถั่วเหลืองพันธุ์ลพบุรี 84-1 ถั่วเขียวพันธุ์ชัยนาท 74-1 และถั่วลิสง อย่างละ 2 อัตรา และอัตราการหยอดปุ๋ยสำหรับข้าวโพด 50 กก./ไร่ อัตราการหยอดปุ๋ยสำหรับถั่วเหลือง ถั่วเขียว และถั่วลิสง 25 กก./ไร่ โดยแปลงทดสอบมีขนาดกว้าง 6 เมตร และยาว 80 เมตร ดังแสดงการทดสอบในภาพที่ 21 และผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 18

กรมวิชาการเกษตร

ภาพที่ 21 การทดสอบเครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติในแปลงทดสอบ

ตารางที่ 18 ผลการทดสอบเครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติ

ชนิดพืช	ระยะปลูก	อัตราการหยอดเมล็ด (กก./ไร่)	อัตราการหยอดปุ๋ย (กก./ไร่)	อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ย (ลิตร/ไร่)	ความสามารถในการทำงานเฉลี่ย (ไร่/ชม.)	ประสิทธิภาพเชิงพื้นที่ (%)
ข้าวโพด (ปุ๋ย 50 กก./ไร่)	20x75 ซม. (3 กก./ไร่)	2.71 (90.3%)	45.47 (90.9%)	0.82	6.01	75.10
	25x75 ซม. (2.3 กก./ไร่)	2.02 (87.4%)	46.38 (92.8%)			
ถั่วเหลือง (ปุ๋ย 25 กก./ไร่)	10x50 ซม. (15 กก./ไร่)	13.15 (87.7%)	27.93 (88.3%)	1.05	3.76	69.60
	15x50 ซม. (12 กก./ไร่)	11.35 (94.6%)	27.57 (89.7%)			
ถั่วเขียว (ปุ๋ย 25 กก./ไร่)	10x50 ซม. (7 กก./ไร่)	7.15 (97.9%)	27.54 (89.8%)	0.99	3.81	70.50
	15x50 ซม. (6 กก./ไร่)	6.02 (99.7%)	27.41 (90.4%)			
ถั่วลิสง (ปุ๋ย 25 กก/ไร่)	20x50 ซม. (18 กก./ไร่)	19.6 (91.2%)	30.5 (80%)	0.95	4.2	73.1
	25x50 ซม. (15 กก./ไร่)	15.5 (96%)	29.8 (80.8%)			

กรมวิชาการเกษตร

จากผลการทดสอบ พบว่า การปลูกข้าวโพดระยะปลูก 20x75 ซม. และ 25x75 ซม. มีอัตราการหยอดเท่ากับ 2.71 และ 2.02 กก./ไร่ ตามลำดับ และมีอัตราการหยอดปุ๋ยเท่ากับ 45.47 และ 46.38 กก./ไร่ ตามลำดับ การปลูกถั่วเหลืองระยะปลูก 15x50 ซม. และ 20x50 ซม. มีอัตราการหยอดเท่ากับ 13.15 และ 11.35 กก./ไร่ ตามลำดับ และมีอัตราการหยอดปุ๋ยเท่ากับ 27.93 และ 27.57 กก./ไร่ ตามลำดับ การปลูกถั่วเขียวระยะปลูก 15x50 ซม. และ 20x50 ซม. มีอัตราการหยอดเท่ากับ 7.15 และ 6.02 กก./ไร่ ตามลำดับ และมีอัตราการหยอดปุ๋ยเท่ากับ 27.54 และ 27.41 กก./ไร่ ตามลำดับ และการปลูกลิสงระยะปลูก 20x50 ซม. และ 25x50 ซม. มีอัตราการหยอดเท่ากับ 19.6 และ 15.5 กก./ไร่ ตามลำดับ และมีอัตราการหยอดปุ๋ยเท่ากับ 30.5 และ 29.8 กก./ไร่ ตามลำดับซึ่งจะเห็นได้ว่าการออกแบบให้ควบคุมด้วยระบบอัตราการหยอดแบบอัตโนมัตินี้สามารถควบคุมอัตราการหยอดได้ตามคำแนะนำการปลูกพืช โดยระบบควบคุมอัตราการหยอดเมล็ดมีความแม่นยำเฉลี่ย 92.93% ส่วนอัตราการใส่ปุ๋ยมีค่าความแม่นยำเฉลี่ยลดลงเหลือเพียง 90.38% เนื่องจากในการทดสอบครั้งนี้ได้เปลี่ยนยี่ห้อของปุ๋ย 15-15-15 เป็นอีกยี่ห้อหนึ่ง ซึ่งปุ๋ยทั้ง 2 ยี่ห้อนี้อาจมีคุณสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกัน เช่น ขนาดเม็ดปุ๋ย ความหนาแน่นของปุ๋ย ผิวสัมผัสของปุ๋ย เป็นต้น จึงทำให้สมการที่ใช้ควบคุมอัตราการหยอดปุ๋ยเกิดความคาดเคลื่อนขึ้นส่งผลให้อัตราการหยอดปุ๋ยมีความแม่นยำลดลงนั้นเอง สำหรับการใช้งานเครื่องหยอด ข้าวโพด ถั่วเหลือง ถั่วเขียว และถั่วลิสง มีความสามารถในการทำงานเท่ากับ 6.01, 3.76, 3.81 และ 4.2 ไร่/ชม. ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพเชิงพื้นที่เท่ากับ 75.1, 69.60, 70.50 และ73.1 % ตามลำดับ

9. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

จากสร้างและทดสอบเครื่องหยอดจึงได้ดำเนินการประเมินค่าใช้จ่ายในการสร้างต้นแบบเครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติสำหรับพืชไร่ โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 19 หลังจากนั้นจึงนำมาวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยทำการวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุน (Break-even Point, BEP) ของการใช้งานเครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติสำหรับพืชไร่ ซึ่งจะมีผลต่อการตัดสินใจเพื่อประกอบการลงทุนในการนำเครื่องหยอดเมล็ดและปุ๋ยแบบอัตโนมัตินี้ไปใช้งานรับจ้างหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ย โดยมีรายละเอียดการวิเคราะห์ดังนี้

ตารางที่ 19 ผลการประเมินค่าใช้จ่ายในการสร้างต้นแบบเครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติ

รายการ	จำนวนเงิน (บาท)
วัสดุทำเครื่องต้นแบบ	
1. เครื่องหยอดเมล็ดพร้อมใส่ปุ๋ยแบบ 4 แถว	85,000
2. มอเตอร์กระแสตรง จำนวน 3 ตัว	15,000
3. ชุดควบคุมมอเตอร์ จำนวน 3 ชุด	6,000
4. ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์	2,000
5. เอ็นโค้ดเดอร์	4,000
6. ชุดอุปกรณ์ไฟฟ้า สายไฟ	5,000
7. แบตเตอรี่ 24 โวลต์ พร้อมชุดอุปกรณ์ชาร์ทแบตเตอรี่	10,000
8. วัสดุอื่นๆ	2,000
รวมค่าวัสดุ	129,000
ค่าแรงในการสร้างประกอบ	20,000
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการสร้างเครื่องต้นแบบ	**149,000**

กรมวิชาการเกษตร

รายละเอียดการประเมินต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผัน

1. ราคาต้นทุนเครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติ (P)	149,000	บาท
2. อายุการใช้งานเครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติ	8	ปี
3. มูลค่าเครื่องหยอดปุ๋ยแบบอัตโนมัติหลังหมดอายุการใช้งาน (10%P)	14,900	บาท
4. อัตราดอกเบี้ยร้อยละ	10	ต่อปี
5. จำนวนชั่วโมงการทำงาน	8	ชั่วโมง/วัน
6. อัตราการทำงานเฉลี่ย	5	ไร่/ชั่วโมง
7. ค่าบำรุงรักษา (ร้อยละของราคาเครื่องต่อการใช้งาน 100 ชั่วโมง)	5	
8. ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง (30 ก.ย. 64)	29.89	บาท/ลิตร
9. อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย	1	ลิตร/ไร่
10. สมมติให้เครื่องเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติใช้งานจำนวนปีละ	A	ไร่

ต้นทุนคงที่

1. ค่าเสื่อมราคา (149,000-14,900 / 8)	16,762.5/ A	บาท/ไร่
2. ค่าดอกเบี้ยในการลงทุน ((149,000+14,900) / 2) x 0.1	8,195/ A	บาท/ไร่
รวมค่าใช้จ่ายต้นทุนคงที่	24,957.5/ A	บาท/ไร่

ต้นทุนผันแปร

1. ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง	29.89	บาท/ไร่
2. ค่าจ้างคนขับพร้อมรถแทรกเตอร์	200	บาท/ไร่
3. ค่าบำรุงรักษาเครื่องหยอด	14.9	บาท/ไร่
รวมค่าใช้จ่ายต้นทุนคงที่	244.79	บาท/ไร่

ความสัมพันธ์ของต้นทุนต่อปีในการใช้เครื่องหยอดเมล็ดและปุ๋ยแบบอัตโนมัติต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (A) สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

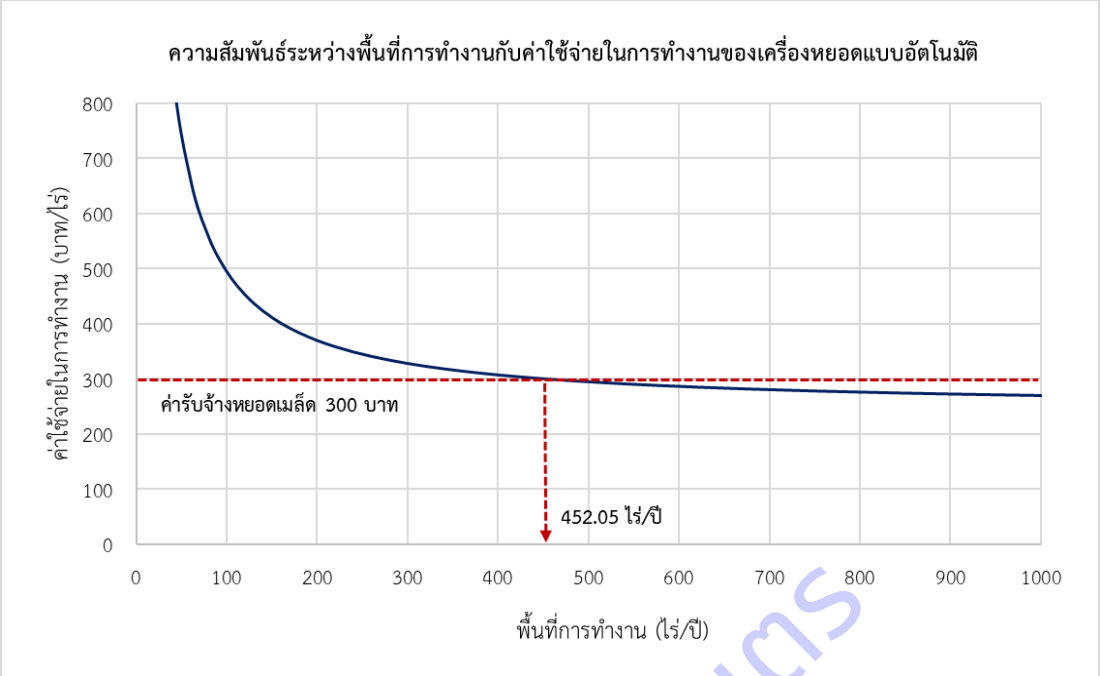
$$\begin{aligned} \textit{ต้นทุนต่อปีในการใช้เครื่องหยอด, บาท/ไร่} &= \textit{ต้นทุนคงที่ + ต้นทุนผันแปร} \quad (6) \\ &= (24{,}957.5/A) + 244.79 \end{aligned}$$

จุดคุ้มทุนของการใช้งานเครื่องหยอดเมล็ดและปุ๋ยแบบอัตโนมัติ สามารถคำนวณได้เมื่อต้นทุนต่อปีในการใช้งานเครื่องหยอดจากสมการที่ 6 ซึ่งเท่ากับค่ารับจ้างหยอดเมล็ดในราคา 300 บาท/ไร่

$$\begin{aligned} 300 &= (24{,}957.5/A) + 244.79 \\ A &= 452.05 \text{ ไร่/ปี} \end{aligned}$$

ดังนั้นการใช้งานเครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติสำหรับพืชไร่มีจุดคุ้มทุน (Break-even Point, BEP) เท่ากับ 452.05 ไร่/ปี กล่าวคือ เกษตรกรที่จะซื้อเครื่องหยอดเมล็ดและปุ๋ยแบบอัตโนมัติไปใช้งานหรือนำไปรับจ้างควรมีพื้นที่การใช้งานไม่น้อยกว่า 452.05 ไร่/ปี และใช้งานอย่างน้อยเป็นระยะเวลา 8 ปี จึงจะคุ้มในการใช้งานหรือรับจ้างหยอด ดังแสดงในภาพที่ 22

สำนักวิชาการเกษตร



ภาพที่ 22 แสดงจุดคุ้มทุน (Break-even Point, BEP) ของเครื่องหยอดเมล็ดและปุ๋ยแบบอัตโนมัติ

กรมวิชาการเกษตร

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

จากการออกแบบระบบควบคุมอัตราการหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยอัตโนมัติสามารถกำหนดอัตราการหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยได้ตามคำแนะนำเทคโนโลยีการปลูกพืช โดยผลการทดสอบ พบว่า การปลูกข้าวโพดที่ระยะปลูก 20x75 และ 25x75 ซม. มีอัตราการหยอดเท่ากับ 2.71 และ 2.02 กก./ไร่ ตามลำดับ และมีอัตราการหยอดปุ๋ยเฉลี่ย 45.98 กก./ไร่ สำหรับการปลูกถั่วเหลืองระยะปลูก 15x50 และ 20x50 ซม. มีอัตราการหยอดเท่ากับ 13.15 และ 11.35 กก./ไร่ ตามลำดับ และมีอัตราการหยอดปุ๋ยเฉลี่ย 27.75 กก./ไร่ สำหรับการปลูกถั่วเขียวระยะปลูก 15x50 และ 20x50 ซม. มีอัตราการหยอดเท่ากับ 7.15 และ 6.02 กก./ไร่ ตามลำดับ และมีอัตราการหยอดปุ๋ยเฉลี่ย 27.47 กก./ไร่ และสำหรับการปลูกถั่วลิสงระยะปลูก 20x50 และ 25x50 ซม. มีอัตราการหยอดเท่ากับ 19.6 และ 15.5 กก./ไร่ ตามลำดับ และมีอัตราการหยอดปุ๋ยเฉลี่ย 30.15 กก./ไร่ โดยการหยอดเมล็ดพืชมีค่าความแม่นยำเฉลี่ย 92.93% และการหยอดปุ๋ยมีค่าความแม่นยำเฉลี่ย 90.38 % แต่อย่างไรก็ตามเครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติยังมีข้อจำกัดของการใช้งานในเรื่องของความเร็วของรถแทรกเตอร์ที่ต้องใช้ความเร็วไม่เกิน 1.25 เมตร/วินาที สำหรับการหยอดข้าวโพด และใช้ความเร็วไม่เกิน 1.5 เมตร/วินาที สำหรับการหยอด ถั่วเหลือง ถั่วเขียวและลิสง จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องหยอดเมล็ดและปุ๋ยแบบอัตโนมัติมีจุดคุ้มทุน (Break-even Point, BEP) เท่ากับ 452.05 ไร่/ปี โดยเกษตรกรที่จะซื้อเครื่องหยอดเมล็ดและปุ๋ยแบบอัตโนมัติไปใช้งานหรือนำไปรับจ้างควรมีพื้นที่การใช้งานไม่น้อยกว่า 452.05 ไร่/ปี และใช้งานอย่างน้อยเป็นระยะเวลา 8 ปี จึงจะคุ้มในการใช้งานหรือรับจ้างหยอด ซึ่งเทคโนโลยีที่ได้จากงานวิจัยนี้จะเป็นการก้าวไปสู่การทำเกษตรแบบแม่นยำที่ช่วยให้เกษตรกรสามารถลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืช โดยการใช้ปริมาณเมล็ดพันธุ์และปุ๋ยได้ตามลักษณะความอุดมสมบูรณ์ของดินที่มีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่

กรมวิชาการเกษตร

บรรณานุกรม

กรมวิชาการเกษตร. 2561. วิธีการปลูกและดูแลรักษาถั่วเหลือง. เอกสารเผยแพร่ สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชพลังงานทดแทน กรมวิชาการเกษตร. แหล่งข้อมูล : http://www.doa.go.th/fcri/images/files/soybean/chapter4.pdf เข้าถึงเมื่อวันที่ 17 เมษายน 2561.

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2551ก. คู่มือนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร “ถั่วเขียว”. กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 34 หน้า

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2551ข. คู่มือนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร “ถั่วลิสง”. กรมส่งเสริการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 32 หน้า

พรเจริญ (ช่างคิด). 2561ก. เครื่องหยอดข้าวพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์ 6 in 1. แหล่งข้อมูล : http://www.machineautopart.com/index.php/th/product-category/6-in-1/เครื่องหยอดข้าว-6-in-1-detail. เข้าถึงเมื่อวันที่ 3 พฤษภาคม 2561.

พรเจริญ (ช่างคิด). 2561ข. เครื่องหยอดข้าวโพดแบบยกร่องพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์. แหล่งข้อมูล : http://www.machineautopart.com/index.php/th/component/virtuemart/corn-seed-planter/ridger-seed-planter-detail?limitstart=0&limit=int&Itemid=0. เข้าถึงเมื่อวันที่ 3 พฤษภาคม 2561.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเครื่องหยอดเมล็ดพืช. มอก. 1236-2537. 2537. สำนักงามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 18 หน้า.

ยุทธนา เครือหาญชาญพงค์, สุภาษิต เสงี่ยมพงศ์, อานนท์ สายคำฟู, พงษ์ศักดิ์ ต่ายก้อนทอง, อัคคพล เสนาณรงค์. 2556ก. ออกแบบและพัฒนาเครื่องหยอดพืชหลังนาติดพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์. รายงานการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติครั้งที่ 15 ประจำปี 2557, พระนครศรีอยุธยา: โรงแรมกรุงศรีริเวอร์ พระนครศรีอยุธยา

ยุทธนา เครือหาญชาญพงค์, สุภาษิต เสงี่ยมพงศ์, อานนท์ สายคำฟู, พงษ์ศักดิ์ ต่ายก้อนทอง และ อัคคพล เสนาณรงค์. 2556ข. ออกแบบและพัฒนาเครื่องหยอดติดพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดกลางสาหรับถั่วเขียว, ถั่วเหลืองฝักสด, ข้าวโพดฝักอ่อน สาหรับพืชหลังนา. รายงานประจำปี สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร. 36 หน้า

สถาบันวิจัยพืชไร่. 2547. เอกสารวิชาการ “การปลูกพืชไร่”. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและหกรณ์. กรุงเทพ.

สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชพลังงานทดแทน. 2560. เอกสารคำแนะนำเทคโนโลยีการผลิต ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ข้าวโพด. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและหกรณ์. กรุงเทพฯ.

สนอง อมฤกษ์, ธีรศักดิ์ โกเมศ, ประพัฒน์ ทองจันทร์. 2556. ทดสอบและพัฒนาเครื่องหยอดเมล็ดพืช สำหรับ ถั่วเขียว ถั่วเหลืองฝักสด และข้าวโพด หลังนาโดยใช้รถไถเดินตามเป็นต้นกำลังในเขตภาคเหนือ. รายงานวิจัยฉบับบสมบูรณ์ประจำปี 2556. กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ.

สันธาร นาควัฒนานุกูล, ดนัย ศารทูลพิทักษ์, จารุวัฒน์ มงคลธนทรรศ และชัชชัย ชัยสัตตปกรณ์. 2549. ทดสอบและพัฒนาเครื่องหยอดข้าวแห้งแบบติดรถแทรกเตอร์. รายงานประจาปี สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร. 39 หน้า.

กรมวิชาการเกษตร

บรรณานุกรม (ต่อ)

สายรุ้ง กิตติวิเศษกุล และ วสุ อุดมเพทายกุล. 2558. การพัฒนาระบบหยอดสารเคมีในปริมาณน้อยเพื่อกำจัดศัตรูพืชควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์. น. 470-474. รายงานการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8. ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทคบางนา, กรุงเทพฯ.

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2559. แผนแม่บทยุทธศาสตร์การเป็นศูนย์กลางเมล็ดพันธุ์ พ.ศ. 2558-2567. ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (ไบโอเทค), สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ปทุมธานี. 105 หน้า

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2560. ปริมาณและมูลค่าการส่งออกเมล็ดพันธุ์พืชควบคุมเพื่อการค้าปี 2553-2559. แหล่งข้อมูล:http://www.oae.go.th/download/FactorOfProduct/ValueExportSeed47-52.html. เข้าถึงเมื่อวันที่ 26 พฤษภาคม 2560.

เอกชัย มะการ. 2552. เรียนรู้ เข้าใจ ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ด้วย Arduino. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: บริษัทอีทีทีจำกัด.

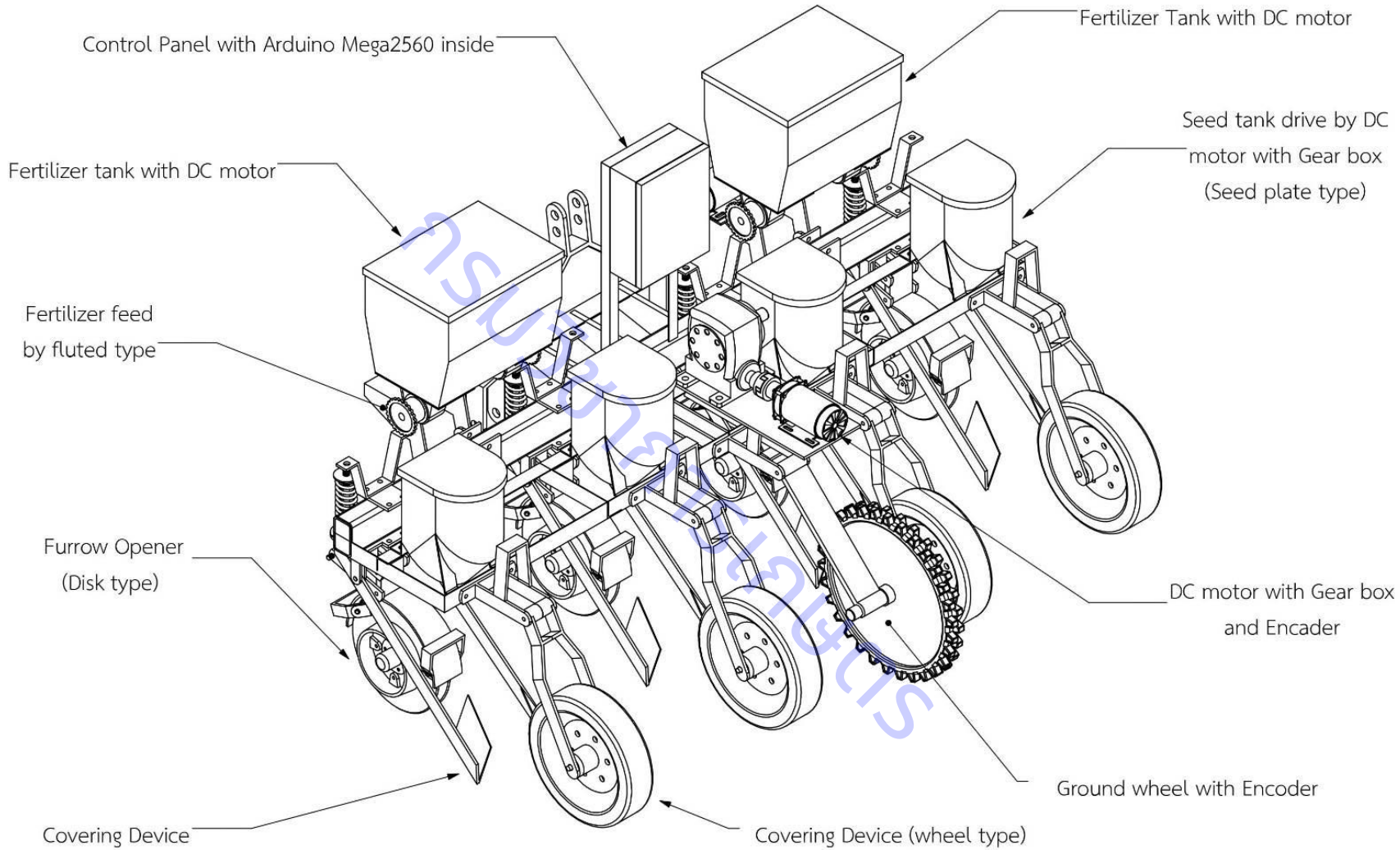
Jafari M., A. Hemmat and M. Sadeghi. 2010. Development and performance assessment of a DC electric variable-rate controller for use on grain drills. Computers and Electronics in Agriculture 73, 56-65.

กรมวิชาการเกษตร

ภาคผนวก ก.

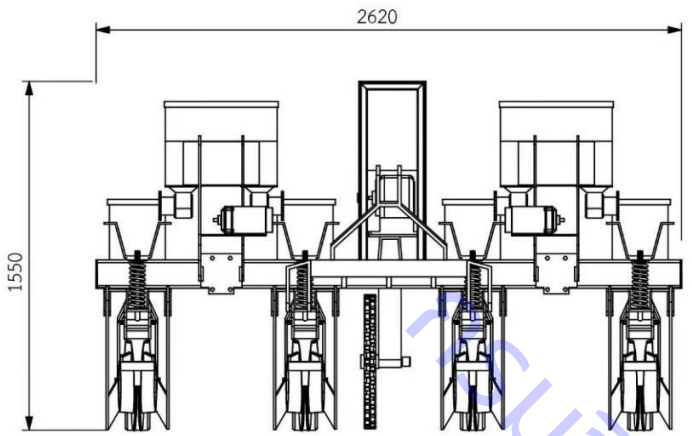
แบบแสดงส่วนประกอบและขนาดของเครื่องหยอดเมล็ดพันธุ์พืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติ

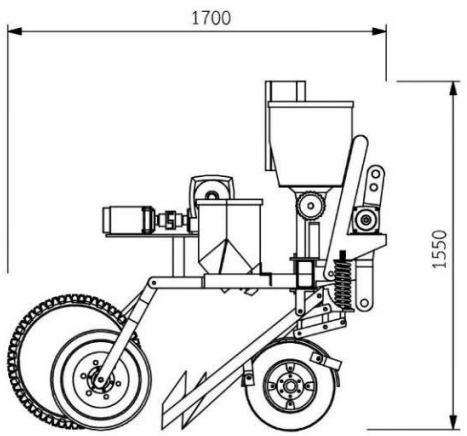
กรมวิชาการเกษตร

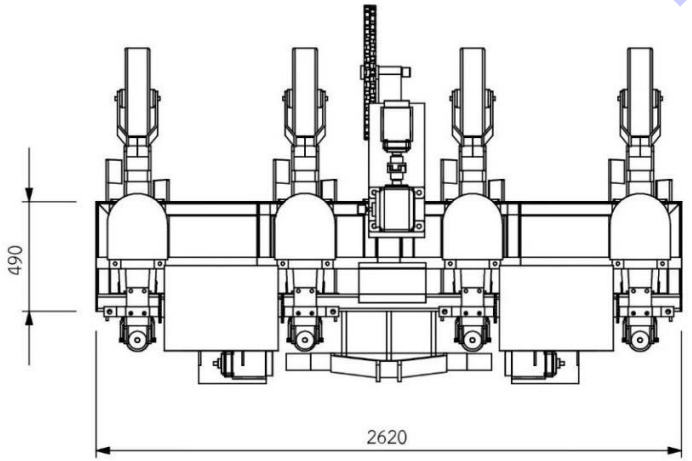


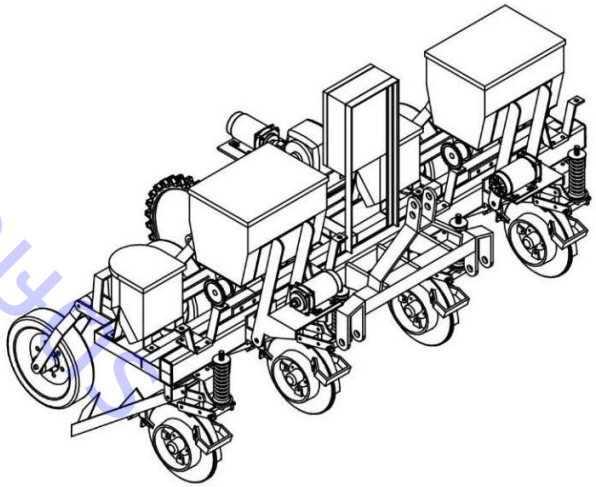
กรมวิชาการเกษตร

สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม	โครงการ: เครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติ	ผู้เขียน : อานนท์ สายคำฟู	(หน่วย : มิลลิเมตร)	มาตราส่วน 1 : 20
	ชิ้นงาน : เครื่องต้นแบบ	ผู้ออกแบบ : อานนท์ สายคำฟู	วันที่ : 30 สิงหาคม 64	หน้า : 1









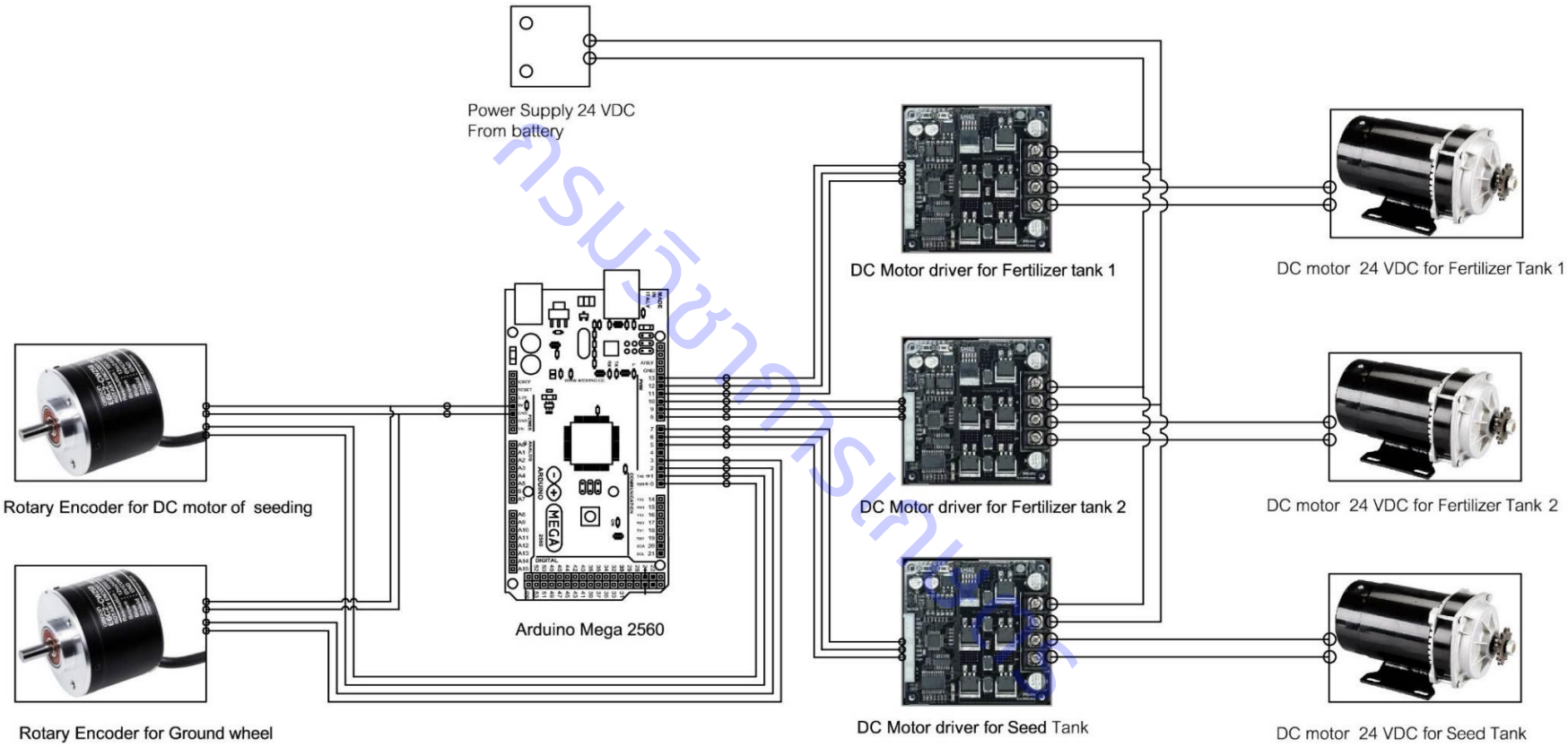
กรมวิชาการเกษตร

สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม	โครงการ: เครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติ	ผู้เขียน : อานนท์ สายคำฟู	(หน่วย : มิลลิเมตร)	มาตราส่วน 1 : 30
	ชิ้นงาน : เครื่องต้นแบบ	ผู้ออกแบบ : อานนท์ สายคำฟู	วันที่ : 30 สิงหาคม 64	หน้า : 2

ภาคผนวก ข.

แบบวงจรไฟฟ้าของระบบควบคุมอัตราการหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติ

กรมวิชาการเกษตร



กรมวิชาการเกษตร

สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร	แบบประกอบเครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติ	หัวข้อ : แบบวงจรไฟฟ้า (Wiring diagram)	ว/ด/ป : 30 ก.ย. 64	ออกแบบโดย : นายอานนท์ สายคำฟู
		หน้า : 1	หน่วย : .....-.....	เขียนแบบโดย : นายอานนท์ สายคำฟู

ภาคผนวก ค.

การทดสอบเครื่องต้นแบบในแปลงทดลองภาคสนาม

กรมวิชาการเกษตร

ภาพที่ 23 เครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติที่ควบคุมอัตราการหยอดด้วยสมองกลฝังตัว

ภาพที่ 24 ส่วนประกอบของเครื่องต้นแบบ

กรมวิชาการเกษตร

ภาพที่ 25 แปลงทดลองปลูกข้าวโพด

ภาพที่ 26 แปลงทดลองปลูกข้าวโพด (ต่อ)

ภาพที่ 27 แปลงทดลองปลูกถั่วเหลือง

ภาพที่ 28 แปลงทดลองปลูกถั่วเหลือง (ต่อ)

ศูนย์วิทยการเกษตร

ภาพที่ 29 แปลงทดลองปลูกถั่วเขียว

ภาพที่ 30 แปลงทดลองปลูกถั่วลิสง

กรมวิชาการเกษตร