TETA-12

การพัฒนาระบบหยอดสารเคมีในปริมาณน้อยเพื่อกำจัดศัตรูพืชควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

*สายรุ้ง กิตติวิเศษกุล และ วสุ อุดมเพทายกุล

หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง แขวงลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10520

ติดต่อผู้เขียน: วสุ อุดมเพทายกุล E-mail: kuvasu@gmail.com

บทคัดย่อ

การใช้สารเคมีเพื่อกำจัดศัตรูพืชในปริมาณที่เหมาะสมเป็นสิ่งที่ควรปฏิบัติเพื่อลดการสะสมของสารเคมีที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อม แต่ในกรณีของสารเคมีบางชนิดที่ต้องให้ในปริมาณที่น้อยมาก เช่น 1-2 กิโลกรัมต่อไร่ ในปัจจุบันยังไม่มีอุปกรณ์ในการให้สารเคมีในปริมาณดังกล่าวได้อย่างสม่ำเสมอ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนา และทดสอบระบบการหยอดสารเคมีในปริมาณน้อยเพื่อกำจัดศัตรูพืช โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมระบบ ระบบจะทราบความเร็วในการเคลื่อนที่จากเอ็นโค้ดเดอร์ที่ติดตั้งบนล้อควบคุม แล้วจึงคำนวณหาค่าความเร็วรอบที่เหมาะสมกับชุดหัวหยอด และส่งสัญญาณควบคุมไปยังสเต็ปมอเตอร์เพื่อขับลูกหยอดให้หมุนเพื่อจ่ายสารเคมีในอัตราการหยอดที่ต้องการ การทดสอบในห้องปฏิบัติการแสดงให้เห็นว่าชุดหัวหยอดสามารถทำการหยอดสารเคมีตามอัตราการหยอดที่กำหนด (R^2 = 0.99) และเมื่อนำชุดหัวหยอดติดตั้งบนรถแทรกเตอร์ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถหยอดสารเคมีได้ตามอัตราการหยอดเชิงพื้นที่ที่กำหนดโดยไม่มีอิทธิพลจากความเร็วรอบที่แตกต่างกัน (R^2 = 0.91) โดยมีความผิดพลาดเฉลี่ยของอัตราการหยอด 2.7%

คำสำคัญ: ระบบการหยอดสารเคมี; สารเคมีปริมาณน้อย; ระบบที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

1. บทนำ

ศัตรูพืชในดินเป็นปัญหาที่สำคัญในการเพาะปลูกพืชไร่ ทำให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิต ศัตรูพืชในดินที่สำคัญ คือ ไส้เดือนฝอยรากปม ซึ่งเป็นปรสิตประเภทหนึ่งที่กินน้ำเลี้ยงของพืชเป็นอาหาร ส่งผลให้ใบเหลือง ต้นแคระแกน และรากพืชเป็นปม ในกรณีของพืชหัว เช่น มันฝรั่ง ไส้เดือนฝอยประเภทนี้ทำให้ผลผลิตมีผิวขรุขระ ส่งผลต่อราคาขายของเกษตรกรและการนำไปแปรรูปของผู้ประกอบการ ในการลดการแพร่ระบาดของไส้เดือนฝอยรากปม เกษตรกรนิยมทำการไถพรวนโดยใช้ผานไถที่ลึก เพื่อเพิ่มความสามารถในการระบายน้ำของแปลง จากนั้นจึงทำการขังและระบายน้ำออกจากแปลง ไส้เดือนฝอยจะถูกพาออกไปกับน้ำด้วย [1] อย่างไรก็ตาม เกษตรกรส่วนหนึ่งพบว่าวิธีการดังกล่าวยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ ไส้เดือนฝอยบางส่วนซึ่งไม่ได้ถูกน้ำพาออกไปยังสามารถอาศัยและขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว การใช้สารเคมีเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการจำกัดไส้เดือนฝอยรากปม อย่างไรก็ตามสารเคมีประเภทนี้มักมีความเข้มข้นสูงต้องใช้ในปริมาณที่น้อย (เช่น สาร Fosthiazate แนะนำให้ใช้เพียง 4-6 กิโลกรัม/ไร่) [2] หากใช้สารเคมีมากเกินไปจะส่งผลให้เกิดสารเคมีตกค้างภายในผลผลิตและพื้นที่เพาะปลูก นอกจากนี้การให้สารเคมีดังกล่าวจำเป็นต้องใช้ในปริมาณที่สม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นที่ เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการควบคุมที่ดี

โดยทั่วไปเครื่องหยอดสารจำกัดศัตรูพืชมีระบบการทำงานที่เป็นกลไกโดยใช้ล้อขับแบบลากบนดินเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนระบบการหยอดสารเคมี ในการปฏิบัติงานมักพบความผิดพลาดที่เกิดจากการลื่นไถลระหว่างล้อขับกับพื้นดิน เนื่องจากความเสียดทานภายในระบบหยอด ในกรณีการให้สารเคมีในปริมาณมาก ความผิดพลาดจากการลื่นไถลจะไม่มีผลต่อความแม่นยำของการหยอดมากนัก แต่ในกรณีที่ต้องการใช้อัตราการให้สารเคมีในปริมาณน้อย เช่น การให้สารเคมีเพื่อกำจัดไส้เดือนฝอยรากปม ความผิดพลาดจากการลื่นไถลของล้อขับ จะส่งผลต่อความแม่นยำของการให้สารเคมี

จากการที่ได้ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องหยอดแบบแม่นยำ อาทิ งานของ Wu et al. [3] ได้สร้างต้นแบบเครื่องหยอดปุ๋ยอัตโนมัติ โดยใช้ GPS ในการระบุตำแหน่งของหัวหยอด พื้นที่ในแปลงได้ถูกแบ่งเป็นส่วนย่อยๆ ตามปริมาณความต้องการแร่ธาตุ (N, P, K) ระบบดังกล่าวใช้

TSAE

สเต็ปมอเตอร์ช่วยปรับค่าอัตราการให้ปุ๋ย ซึ่งผลการทดลองพบว่าเครื่องสามารถทำงานได้ดี ที่อัตราการให้ปุ๋ยมากกว่า 200 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ ในช่วงความเร็วในการเคลื่อนที่ 4.5-5.5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ข้อแนะนำจากการศึกษาคือควรให้เพลาทำงานที่ช่วงความเร็วรอบ 33 – 91 รอบต่อนาที ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดของอัตราการให้ปุ๋ยน้อยกว่า 7 % ต่อมา Koundal et al. [4] ได้พัฒนาเครื่องหยอดปุ๋ยชนิดเม็ดโดยใช้มอเตอร์ไฮโดรลิกเป็นต้นกำลังขับภาระงานต่างๆ โดยการใช้สัญญาณดิจิตอบแบบ Pulse Width Modulation (PWM) ในการปรับอัตราการไหลของระบบไฮโดรลิกเพื่อควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฮโดรลิก โดยได้ทำการทดลองหยอดปุ๋ยที่ความเร็วรอบ 70 – 260 รอบต่อนาที พบว่ามีค่าความแปรปรวนในการหยอดสูงสุด 11.35% ที่ความเร็วรอบ 260 rpm และมีค่าความแปรปรวนในการหยอดต่ำสุด 3.69% ที่ความเร็วรอบ 236 rpm การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าความเร็วรอบมีผลต่อความแปรปรวนในการหยอดและสุดท้าย Ehtesham and Loghavi. [5] ได้พัฒนาระบบการหยอดปุ๋ยเม็ดด้วยวิธีการป้อนแบบแปรผันตามแผนที่ (map-based VRA) เพื่อใช้ในการปลูกพืชแบบแถว พบว่ามีค่าเฉลี่ยโดยรวมของค่าความผิดพลาดของอัตราการหยอดอยู่ที่ 5.4% อย่างไรก็ตามหากใช้อัตราการหยอดและความเร็วในการเคลื่อนที่สูงมาก ความผิดพลาดของอัตราการหยอดมีค่ามากถึง 9% ซึ่งเปรียบเทียบได้เป็นการหยอดเท่ากับ 15 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์

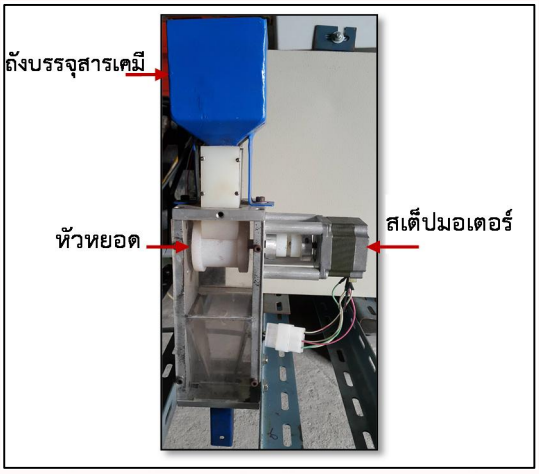
ในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนา และทดสอบระบบหยอดสารเคมีเพื่อกำจัดศัตรูพืชโดยใช้เทคโนโลยีการวัดและควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้สามารถจ่ายสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตามอัตราการใช้ที่ต้องการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ใช้สารเคมีในปริมาณที่น้อย

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 กลไกของเครื่องหยอดสารเคมี

ชุดหัวหยอด

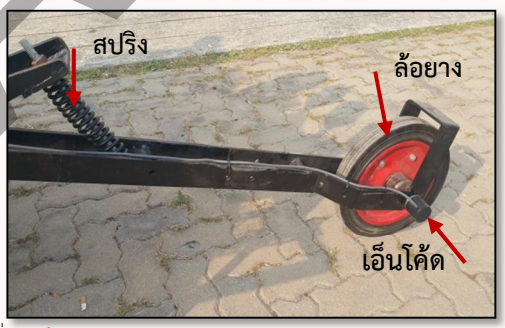
ประกอบด้วย หัวหยอด, สเต็ปมอเตอร์ และถังบรรจุสารเคมี (รูปที่ 1) โดยหัวหยอดเป็นแบบลูกกลิ้ง ทำจากพลาสติกอุตสาหกรรมโพลีเอทิลีน (PE) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร และมีหลุมบรรจุสารที่อยู่บนผิวรอบลูกกลิ้งจำนวน 8 หลุม (∅ 6 มิลลิเมตร) หัวหยอดถูกขับด้วยสเต็ปมอเตอร์ (KH56JM2-901, China) ส่งผลให้สารเคมีในถังบรรจุถูกป้อนลงสู่ท่อจ่ายสารเคมีที่อยู่ด้านล่างของชุดหัวหยอด



รูปที่ 1 ชุดหัวหยอด

ล้อควบคุม

เป็นล้อยางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 300 มิลลิเมตร (รูปที่ 2) ติดตั้งเข้ากับแขนล้อที่มีสปริง เพื่อช่วยให้ล้อติดกับพื้นดินตลอดเวลา มีการติดตั้งเอ็นโค้ดเดอร์ (E6B2-CWZ6C, OMRON, Thailand) ที่แกนของล้อเพื่อรับสัญญาณพัลส์ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วเชิงมุมของล้อควบคุมและความเร็วในการเคลื่อนที่ของระบบ

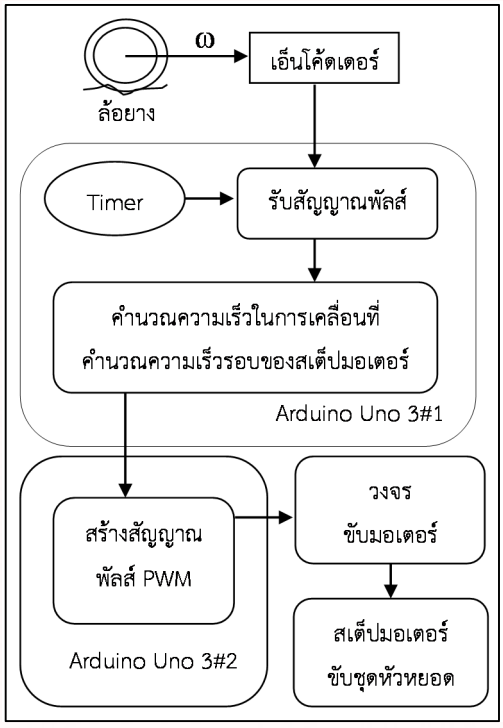


รูปที่ 2 ล้อควบคุม

ระบบควบคุม

ระกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์(Arduino UNO R3, Italy) จำนวน 2 ตัว โดยมีแผนภาพแสดงการทำงานดังรูปที่ 3 ไมโคร-คอนโทรลเลอร์หลักใช้สำหรับรับค่าสัญญาณพัลส์จากเอ็นโค้ดเดอร์ เพื่อคำนวณความเร็วในการเคลื่อนที่ของระบบแล้วจึงคำนวณความเร็วรอบที่ต้องการสำหรับสเต็ปมอเตอร์เพื่อส่งให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์รอง

TSAE



รูปที่ 3 แผนภาพแสดงการทำงานของระบบ

หลังจากรับค่าความเร็วรอบของสเต็ปมอเตอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์รองจะสร้างสัญญาณ Pulse Width Modulation (PWM) ที่สอดคล้องกับความต้องการของมอเตอร์ แล้วจึงส่งต่อให้กับวงจรขับมอเตอร์ (L297, STMicroelectronics, Switzerland) เพื่อขับสเต็ปมอเตอร์หมุนชุดหัวหยอดตามอัตราหยอดที่ต้องการ

2.2 ขั้นตอนการทดสอบระบบการหยอดสารเคมี

ในการทดสอบระบบ ผู้วิจัยใช้อาหารปลาแบบเม็ดขนาดเล็กที่มีขนาดเม็ดสม่ำเสมอ (BIO-F) โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต (GMD) [6] เท่ากับ 1.16±0.42 มิลลิเมตร แทนการใช้สารเคมีจริง (สาร Fosthiazate) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเชิงมวล [6] เท่ากับ 0.74 มิลลิเมตร ในขณะที่ความหนาแน่นรวม (Bulk density) ของสารเคมีและอาหารปลา เท่ากับ 1.24 และ 0.41 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ถึงแม้ว่าสารเคมีกับอาหารปลาจะมีความแตกต่างกัน แต่สารทั้งสองยังมีขนาดที่เล็กเมื่อเทียบกับขนาดรูของหลุมหยอด นอกจากนี้อาหารปลาที่ใช้มีความความสม่ำเสมอของขนาด ทำให้สามารถทดลองซ้ำได้สะดวก และเหตุผลที่สำคัญคือเพื่อความปลอดภัยต่อผู้ศึกษาและสภาพแวดล้อม

การทดสอบแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

การทดสอบชุดหัวหยอดในห้องปฏิบัติการ

โดยการทดสอบขับชุดหัวหยอดที่ 4 ระดับความเร็วรอบ (15, 45, 75 และ 105 rpm) ซึ่งครอบคลุมความเร็วรอบที่อาจเกิดขึ้นได้ในการทำงานจริง และเปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการหยอดที่ระดับการบรรจุสารเคมีในถังบรรจุที่แตกต่างกัน 2 ระดับ (เต็มถังและครึ่งถัง) โดยใช้แผนการทดลองแบบ Factorial analysis in CRD ในแต่ละทรีตเมนต์ (ของปัจจัยความเร็วรอบลูกหยอด และระดับสารเคมีในถังบรรจุ) ทำการทดสอบ 4 ซ้ำ โดยในแต่ละการทดสอบผู้วิจัยทำการเก็บรวบรวมสารเคมีที่ถูกป้อนออกจากชุดหัวหยอดเป็นเวลา 10 วินาที แล้วจึงคำนวณอัตราการหยอดที่ได้ พร้อมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การทดสอบระบบการหยอดสารเคมีที่ติดตั้งบนแทรคเตอร์

อุปกรณ์ต่างๆ ของระบบการหยอดสารเคมีที่พัฒนาขึ้นถูกติดตั้งบนรถแทรคเตอร์ (L4200, Kubota) และทำการทดสอบบนพื้นที่ราบเรียบ (รูปที่ 4) โดยใช้แผนการทดสอบแบบ completely randomized design ที่ 3 อัตราการหยอดเชิง พื้นที่ (1.34, 1.67 และ 2.00 กิโลกรัม/ไร่) และ 3 ความเร็วในการเคลื่อนที่ (2, 4 และ 6 กิโลเมตร/ชั่วโมง) ทำการทดสอบทรีตเมนต์ละ 3 ซ้ำ ในการทดสอบแต่ละรอบจะใช้ผ้าในการรองสารเป็นระยะทาง 10 เมตร และทำการสุ่มจุดเก็บตัวอย่างสารที่ถูกโรยออกมาตลอดหน้ากว้างของผ้าใบในระยะทาง 0.3 เมตร เป็นจำนวน 5 จุด (โดยการสุ่ม) หลังจากนั้นนำสารตัวอย่างที่เก็บได้มาชั่งน้ำหนัก คำนวณหาอัตราหยอดเชิงเวลา และเชิงพื้นที่ และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

อนึ่ง ในการศึกษานี้ยังไม่ได้ทำการหาการกระจายตัวตามแนวขวาง (เทียบกับทิศทางการเคลื่อนที่ของระบบ) ของสารที่ปล่อยออกจากชุดหัวหยอด การคำนวณหาอัตราการหยอดเชิงพื้นที่คำนวณจากมวลของสารทดสอบที่ถูกโรยออกมาตลอดหน้ากว้างของผ้าใบในระยะทาง 0.3 เมตร (เฉลี่ย 5 จุด/ซ้ำ และ 3 ซ้ำ/ทรีตเมนต์) ผู้วิจัยจะดำเนินการออกแบบและทดสอบหัวกระจายสารที่เหมาะสมต่อไป

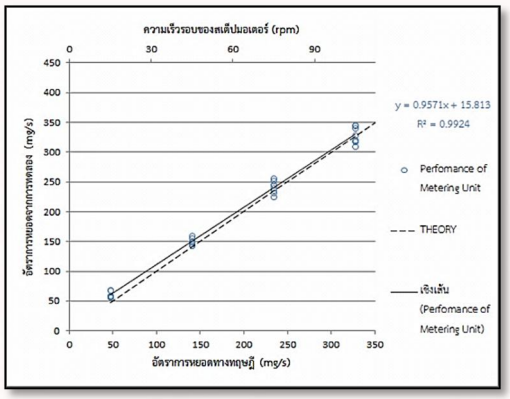
รูปที่ 4 ระบบการหยอดสารเคมีถูกติดตั้งบนรถแทรคเตอร์ พร้อมทำการทดสอบบนพื้นที่ราบเรียบ

TSAE

3. ผลการทดสอบ

3.1 ผลการทดสอบชุดหัวหยอดในห้องปฏิบัติการ

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) พบว่าอัตราการหยอดในแต่ละระดับของสารเคมีในถังบรรจุ (เต็มถังและครึ่งถัง) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ รูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่าอัตราการหยอดที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกับอัตราการหยอดทางทฤษฎี (R^2= 0.99) ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วรอบของชุดหัวหยอด

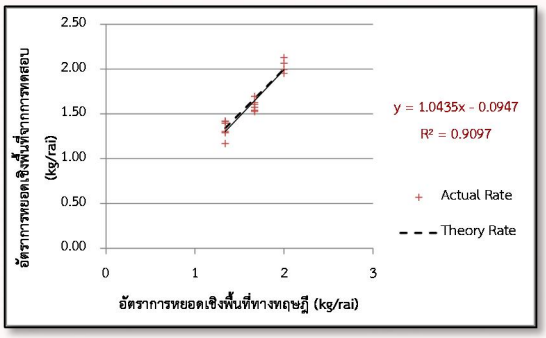


รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหยอดกับความเร็วรอบภายในห้องปฏิบัติการ

3.2 ผลการทดสอบระบบการหยอดสารเคมี

จากการพิจารณาด้วยตาเปล่า การกระจายตัวของสารตัวอย่างที่ถูกโรยจากชุดหัวหยอดในแต่ละรอบการทดสอบมีความสม่ำเสมอ (รูปที่ 6) แต่อย่างไรก็ตามผลการทดสอบทางสถิติพบว่าอัตราการหยอดเชิงพื้นที่ (กิโลกรัม/ไร่) จากการทดสอบที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ 6 กิโลเมตร/ชั่วโมง มีค่าต่ำกว่าที่ความเร็วในการเคลื่อนที่อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ทั้งนี้เนื่องจากความเร็วในการเคลื่อนที่ที่สูงจะส่งผลให้ความเร็วรอบของชุดหัวหยอดสูงขึ้นด้วย อาจทำให้ชุดหัวหยอดไม่สามารถป้อนสารตัวอย่างออกจากถังบรรจุได้ทัน ดังนั้นจึงใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่เพียง 2 ความเร็ว คือ 2 และ 4 กิโลเมตร/ชั่วโมงในการวิเคราะห์ทางสถิติ

รูปที่ 6 ลักษณะการกระจายตัวของสารตัวอย่าง



รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหยอดเชิงพื้นที่ในทางทฤษฎีและจากการทดสอบ

เมื่อทำการการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) พบว่าความเร็วในการเคลื่อนที่ไม่มีผลต่ออัตราการหยอดเชิงพื้นที่ และยังพบว่าความเร็วในการเคลื่อนที่ไม่มีความสัมพันธ์ (Interaction) กับอัตราการหยอดเชิงพื้นที่ แสดงให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถหยอดสารตัวอย่างได้ตามอัตราการหยอดเชิงพื้นที่ที่ตั้งไว้ ถึงแม้ว่าความเร็วรอบของชุดหัวหยอดและ/หรือความเร็วในการเคลื่อนที่จะเปลี่ยนไป

ในการเปรียบเทียบอัตราการหยอดเชิงพื้นที่ในทางทฤษฎีกับอัตราการหยอดเชิงพื้นที่จากการทดสอบพบว่ามีความสัมพันธ์ที่ดี มีค่าสัมประสิทธิ์การพิจารณา (R^2) เท่ากับ 0.91 มีค่าความชันใกล้เคียง 1.00 และมีค่าจุดตัดแกนใกล้เคียงศูนย์ ดังแสดงในรูปที่ 7

ในส่วนของค่าความผิดพลาดของระบบที่เกิดขึ้นเมื่อเทียบกับอัตราการหยอดเชิงพื้นที่ที่ต้องการ พบว่ามีอัตราการหยอดผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 2.7% (0.045 กิโลกรัม/ไร่) โดยค่าผิดพลาดที่น้อยที่สุดเท่ากับ 2.3% (0.038 กิโลกรัม/ไร่) และมากที่สุด เท่ากับ 8.0% (0.134 กิโลกรัม/ไร่)

4. สรุปผลการทดลอง

ระบบควบคุมชุดลูกหยอดที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบ โดยระดับของสารเคมีในถังบรรจุไม่มีผลต่ออัตราการหยอด และชุดหัวหยอดสามารถจ่ายสารตัวอย่างได้ใกล้เคียงกับทฤษฎี ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การพิจารณา (R^2) เท่ากับ 0.99

เมื่อติดตั้งชุดหัวหยอดเข้ากับรถแทรกเตอร์ และทดสอบหยอดสารที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ 2 และ 4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง พบว่าความเร็วในการเคลื่อนที่ไม่มีผลต่ออัตราการหยอดเชิงพื้นที่ ระบบสามารถจ่ายสารตัวอย่างได้ใกล้เคียงกับทฤษฎี ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การพิจารณา (R^2) เท่ากับ 0.91 และมีค่าความผิดพลาดของอัตราการหยอดเฉลี่ยเท่ากับ 2.7% หรือคิดเป็น 0.045 กิโลกรัม/ไร่

TSAE

5. เอกสารอ้างอิง

[1] บริษัท ภควัตเพื่อนเกษตร จำกัด. *วิธีการลดการระบายของไส้เดือนฝอย*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://www.-phkaset.com, เข้าดูเมื่อวันที่ 15/09/2557.

[2] ดร.ชาตรี พิทักษ์ไพรวัน. (2 กรกฎาคม 2556). ที่ปรึกษาธุรกิจอาวุโส บริษัท เอราวัณเคมีเกษตร จำกัด. สัมภาษณ์โดย. ดร.วสุ อุดมเพทายกุล และ ผศ.ธีรพงศ์ ผลโพธิ์

[3] Wu, C., Chen, X., Han, Y. and Zhang S. (2004). System modeling and control of automatically variable rate fertilizer applicator, Systems, Man and Cybernetics, 2004 IEEE International, vol. 1(10-13), October 2004, pp. 513 - 518.

[4] Koundal, A., Singh, M., Sharma, A., Mishra, PK and Sharma, K. (2012). Development and Evaluation of an Experimental Machine for Variable Rate Application of Granular Fertilizers, Sensing Technology (ICST), 2012 Sixth International, (18-21), December 2012, pp. 370 – 373.

[5] Forouzanmehr, E. and Loghavi, M. (2012). Design, development and field evaluation of a map-based variable rate granular fertilizer application control system, Agric Eng Int, CIGR Journal, vol. 14 no. 4, December 2012, pp. 255-261.

[6] ปานมนัส ศิริสมบูรณ์, พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ สาทิป รัตนภาสกร (2538). สมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมของชีววัสดุ, กรุงเทพฯ: พระจอมเกล้าลาดกระบัง.

TSAE