

รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด

- ชุดโครงการวิจัย** : วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเครื่องจักรกลเกษตรความแม่นยำสูงสำหรับอ้อย
- โครงการวิจัย** : การออกแบบและพัฒนาเครื่องผสมปุ๋ยอัตโนมัติตามการวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อย
กิจกรรม : ทดสอบและพัฒนาเครื่องหยอดปุ๋ยสำหรับปุ๋ยผสม
- ชื่อการทดลอง (ภาษาไทย)** : ทดสอบและพัฒนาเครื่องหยอดปุ๋ยสำหรับปุ๋ยผสม
ชื่อการทดลอง (ภาษาอังกฤษ): Testing and Development of a Sugarcane Fertilizer Applicator for Bulk-Blended Fertilizer
- คณะผู้ดำเนินงาน**

หัวหน้าการทดลอง	: นางสาวชนิษฐ์ หว่านณรงค์	สังกัด สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม
ผู้ร่วมงาน	: นายอัคคพล เสนาณรงค์	สังกัด สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม
	: นายพินิจ จิรัศกุล	สังกัด ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น
	: นายเวียง อากรชิ	สังกัด ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น
	: นายอุทัย ธานี	สังกัด ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมจันทบุรี

5. บทคัดย่อ

กรมวิชาการเกษตรได้ออกคำแนะนำการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อย โดยใส่ในอัตราตั้งแต่ 10-87 กิโลกรัม/ไร่ ขึ้นกับความอุดมสมบูรณ์ของดิน แต่ปัจจุบันเกษตรกรไม่สามารถปฏิบัติตามคำแนะนำดังกล่าวได้ เนื่องจากเครื่องใส่ปุ๋ยอยู่ในปัจจุบันจะใส่ปุ๋ยได้ปริมาณเดียว หรือเปลี่ยนอัตราหยอดได้เล็กน้อยโดยการเปลี่ยนเฟืองโซ่ ดังนั้นสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม จึงได้พัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยสำหรับปุ๋ยผสมในอ้อยแบบ 2 แถว ติดพ่วงรถแทรกเตอร์ขนาด 60 แรงม้า ขึ้นไป มีส่วนประกอบหลักคือ ถังใส่ปุ๋ย 2 ถัง สำหรับใส่ปุ๋ยที่ผสมไว้แล้วตามค่าวิเคราะห์ดิน ชุดกำหนดอัตราปุ๋ยแบบเฟืองจักรยานซึ่งสามารถเลือกเปลี่ยนอัตราหยอดได้ครอบคลุม ตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร ตั้งแต่ 10-87 กิโลกรัม/ไร่ โดยมีตัดใบอ้อยแบบงจักร ท่อนำปุ๋ย ขาไถเปิดร่องดิน และล้อควบคุมการปล่อยปุ๋ย จากการทดสอบในแปลงอ้อยของเกษตรกร พบว่า เครื่องต้นแบบมีความสามารถการทำงานเฉลี่ย 5.30 ไร่/ชั่วโมง ที่ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์เฉลี่ย 1.23 เมตร/วินาที ประสิทธิภาพการทำงานเฉลี่ย 65.88% ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย 1.70 ลิตร/ไร่

Abstract

The Department of Agriculture (DOA) has issued the site-specific fertilizer recommendations for sugarcane. By applying the fertilizer rate of 10-87 kg/rai depending on soil fertility. Farmers can not follow this instruction, since the fertilizer applicator was fixed in a single rate or slightly change the rate by changing new sprocket. Thus, the Agricultural Engineering Research Institute (AERI) has developed a two-row sugarcane fertilizer applicator attached with a 4-wheel tractor (60 hp up) for bulk-blended fertilizer. It provides a wide range in the application rate according to fertilizer recommendations from DOA. The prototype consisted of 2 hopper, metering mechanisms which provide application rate 10-87 kg/rai, straw cutting disk (toothed edge), delivery tube, reaper and ground wheel. Testing were conducted in sugarcane field. Testing results found that average field capacity was 5.30 rai/h, at average travelling speed of tractor 1.23 m/s, average field efficiency was 65.88% and average fuel consumption was 1.70 lit/rai

6. คำนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีความต้องการการใช้ปุ๋ยเคมีเพิ่มขึ้นทุกปี โดยในช่วงปี 2552-2557 มีปริมาณการนำเข้าปุ๋ยเคมีปีละประมาณ 3.83-5.42 ล้านตัน มูลค่า 42,666-66,103 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2558) เกษตรกรส่วนใหญ่จะพิจารณาใช้ปุ๋ยตามปัจจัยด้านราคาปุ๋ยเคมี ราคาผลผลิต พื้นที่เพาะปลูก ปริมาณผลผลิต (พรรณพิมล, 2558) ซึ่งไม่ได้คำนึงถึงปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ดั้งเดิมในดิน จึงทำให้เกษตรกรใช้ปุ๋ยในอัตราและสูตรเหมือนกันทั่วทั้งแปลง ซึ่งอาจไม่ตรงต่อความต้องการของพืช ยิ่งไปกว่านั้นการใส่ปุ๋ยมากเกินไปนอกจากจะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายแล้ว ยังทำให้เกิดโรคและแมลงระบาดมากขึ้น และการใช้ไนโตรเจนมากเกินไปทำให้เกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม เพราะปุ๋ยไนโตรเจนจะถูกชะล้างไปกับน้ำได้ง่ายจึงปนเปื้อนลงสู่ลำน้ำใต้ดินและไหลลงสู่แม่น้ำลำคลอง ในขณะที่เดียวกันก็ส่งผลกระทบต่อพืช โดยพืชจะมีอาการอวบน้ำ อ่อนแอ ใบไหม้ ง่าย เกิดโรคระบาดของโรคและแมลงติดตามมา (ทัศนีย์, 2555)

ในช่วงปี 2540-2551 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้พัฒนาเทคโนโลยีการใช้ปุ๋ยที่มีความแม่นยำสำหรับข้าว ข้าวโพด และอ้อย ต่อมาได้เรียกว่า เทคโนโลยี “ปุ๋ยสั่งตัด” โดยนำข้อมูลพันธุ์พืช แสง อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน ชุดดิน และ เอ็น-พี-เค ในดินในขณะนั้น มากำหนดคำแนะนำการใช้ปุ๋ย โดยใช้แม่ปุ๋ยDAP (18-46-0), KCl (0-0-60) และ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (46-0-0) ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมาผสมกัน (ทัศนีย์, 2555)

กรมวิชาการเกษตร (2553) ได้ออกคำแนะนำการใช้ปุ๋ยสำหรับพืชเศรษฐกิจ เช่น ข้าว พืชไร่ ไม้ผล พืชผัก ปาล์ม น้ำมัน ยางพารา โดยมีคำแนะนำการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินและการใส่ปุ๋ยตามลักษณะเนื้อดิน (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ซึ่งคำแนะนำอัตราการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินดังกล่าวมีช่วงกว้าง ตัวอย่างเช่น คำแนะนำ

การใส่ปุ๋ยสำหรับอ้อยมีตั้งแต่ 10-87 กิโลกรัม/ไร่ ทำให้เกษตรกรไม่สามารถปฏิบัติตามคำแนะนำปุ๋ยที่ได้พัฒนาขึ้นมาได้ เนื่องจากเครื่องใส่ปุ๋ยอยู่ในปัจจุบันจะใส่ปุ๋ยได้ปริมาณเดียว หรือเปลี่ยนอัตราหยอดได้เล็กน้อยโดยการซื้อเฟืองโซมาเปลี่ยน

คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยผสมตามค่าวิเคราะห์ดินติดพวงรถแทรกเตอร์สำหรับอ้อย เพื่อใส่ปุ๋ยได้ครอบคลุมตามอัตราการใส่ที่แนะนำโดยกรมวิชาการเกษตร เครื่องใส่ปุ๋ยดังกล่าวจะมีส่วนสนับสนุนให้เกษตรกรหันมาใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินมากขึ้น ทำให้เกิดการใส่ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และลดการสูญเสียทรัพยากรได้ ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายปรับโครงสร้างเศรษฐกิจภาคเกษตร เพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืชโดยใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ โดยเฉพาะการใส่ปุ๋ยตามคุณสมบัติของดินแต่ละชนิด ทั้งนี้เพื่อลดต้นทุนการผลิตและพัฒนาคุณภาพผลผลิต

7. วิธีดำเนินการ

1) ตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้อง และสำรวจข้อมูลการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อย เพื่อวิเคราะห์ปัญหา และแนวทางการออกแบบเครื่องต้นแบบแนวทางการออกแบบเครื่องต้นแบบ โดยต้องใส่ปุ๋ยอ้อยได้ครอบคลุมทุกอัตราตามคำแนะนำการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินของกรมวิชาการเกษตร และเกษตรกรสามารถนำเครื่องใส่ปุ๋ยที่มีอยู่แล้วมาปรับเปลี่ยนได้โดยง่าย

2) ออกแบบและคำนวณชุดกำหนดอัตราปุ๋ย โดยใช้เฟืองจักรยานแบบ 8 สปีด เพื่อให้สามารถเปลี่ยนอัตราหยอดได้ง่ายและสะดวก จากนั้นจึงทดสอบเบื้องต้นในห้องปฏิบัติการ และปรับปรุงแก้ไข เพื่อให้ได้สูตรปุ๋ยและอัตราการใส่ปุ๋ยที่ถูกต้องตามทฤษฎี

3) ออกแบบและสร้างเครื่องใส่ปุ๋ยผสมตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อยแบบ 2 แถว โดยมีถังปุ๋ย 2 ถัง สำหรับใส่ปุ๋ยที่ผสมไว้แล้ว ชุดกำหนดอัตราปุ๋ยแบบเฟืองจักรยานที่ได้ทดสอบแล้ว ใบมีดตัดใบอ้อย ท่อนำปุ๋ย ขาไถเปิดร่องดิน และล้อควบคุมการปล่อยปุ๋ย

4) ทดสอบการทำงานเบื้องต้นในแปลงอ้อยของเกษตรกร และแก้ไขจนได้ต้นแบบที่ทำงานได้ดี

5) ทดสอบการทำงานจริงของเครื่องต้นแบบในแปลงของเกษตรกรที่ปลูกอ้อย เพื่อหาค่าความสามารถการทำงานจริงในสนาม ประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง และความถูกต้องของอัตราการใส่ปุ๋ยในแปลงจริง

6) วิเคราะห์ข้อมูลผลการทดสอบ วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และสรุปผลการวิจัย เพื่อให้ได้ข้อมูลการทำงาน ข้อจำกัดในการทำงานของเครื่องต้นแบบ การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อให้ได้ข้อมูลในการเผยแพร่เครื่องต้นแบบให้กับกลุ่มเกษตรกรที่มีความเหมาะสมในการใช้เครื่องใส่ปุ๋ยอัตโนมัติ

สถานที่ทำการทดลอง/วิจัย

- สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ
- แปลงปลูกพืชของเกษตรกร

ระยะเวลาทำการวิจัย

ตุลาคม 2557 – กันยายน 2558 รวม 2 ปี

8. ผลการทดลองและวิจารณ์

การใส่ปุ๋ยเคมีในอ้อย

กรมวิชาการเกษตร (2555) ได้แนะนำการใส่ปุ๋ยเคมีในพืชเศรษฐกิจสำหรับอ้อยตามค่าวิเคราะห์ดิน ไว้ในตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 1 การใส่ปุ๋ยเคมีกับอ้อยปลูก

แบบที่	ค่าวิเคราะห์ดิน			คำแนะนำการใส่ปุ๋ย (กก./ไร่)				
	อินทรีย์ วัตถุ (OM)%	ฟอสฟอรัส (P) มก./กก.	โพแทสเซียม (K) มก./กก.	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2
				46-0-0	18-46-0	0-0-60	รวม	46-0-0
1	<1	<15 หรือ >15	<90	17	13	20	50	17
2	<1	<15 หรือ >15	>90	17	13	10	40	17
3	>1	<15 หรือ >15	<90	10	13	20	44	10
4	>1	<15 หรือ >15	>90	10	13	10	34	10

ตารางที่ 2 การใส่ปุ๋ยเคมีกับอ้อยต่อ

แบบที่	ค่าวิเคราะห์ดิน			คำแนะนำการใส่ปุ๋ย (กก./ไร่)				
	อินทรีย์วัตถุ (OM)%	ฟอสฟอรัส (P) มก./กก.	โพแทสเซียม (K) มก./กก.	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2
				46-0-0	18-46-0	0-0-60	รวม	46-0-0
1	<1	<15	<60	21	26	40	87	21
2	<1	<15	>60	21	26	30	77	21
3	<1	>15	<60	22	20	40	82	22
4	<1	>15	>60	22	20	30	72	22
5	>1	<15	<60	14	26	40	81	14
6	>1	<15	>60	14	26	30	71	14
7	>1	>15	<60	16	20	40	75	16
8	>1	>15	>60	16	20	30	65	16

ในปี 2542 ทศนิยมและคณะ จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ประดิษฐ์ชุดตรวจสอบ เอ็น-พี-เค ในดิน ซึ่งชุดตรวจดินอย่างง่ายนี้มีความรวดเร็วในการประมวลผลเพียง 30 นาที ซึ่งมีความเหมาะสมในการใช้วิเคราะห์สมบัติของดินในแปลงเกษตรกร ที่ไม่ต้องการผลที่มีความแม่นยำสูงมากเทียบเท่าระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งจะแสดงถึงปริมาณสูงต่ำของปริมาณธาตุอาหาร จากนั้นจึงเลือกใช้สูตรปุ๋ยและอัตราตามตารางที่แนะนำ โดยใช้ปุ๋ยหลักที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ ปุ๋ยไนโตรเจน และปุ๋ยโปแตสเซียม ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมาผสมกัน คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อยปลูก ดังแสดงในตารางที่ 3 และคำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อยต่อ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 3 คำแนะนำการใช้ปุ๋ย เอ็น-พี-เค สำหรับอ้อยปลูก

แบบ	ค่าวิเคราะห์ดิน			คำแนะนำการใช้ปุ๋ย (กก./ไร่)				
	เอ็น (N)	พี (P)	เค (K)	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2
				46-0-0	18-46-0	0-0-60	รวม	
1	ต่ำ	ต่ำ-ปานกลาง	ต่ำ-ปานกลาง	8	13	20	41	14
2	ต่ำ	ต่ำ-ปานกลาง	สูง	8	13	10	31	14
3	ต่ำ	สูง	ต่ำ-ปานกลาง	11	7	20	38	14
4	ต่ำ	สูง	สูง	11	7	10	28	14
5	ปานกลาง	ต่ำ-ปานกลาง	ต่ำ-ปานกลาง	2	13	20	35	7
6	ปานกลาง	ต่ำ-ปานกลาง	สูง	2	13	10	25	7
7	ปานกลาง	สูง	ต่ำ-ปานกลาง	4	7	20	31	7
8	ปานกลาง	สูง	สูง	4	7	10	21	7

ตารางที่ 4 คำแนะนำการใช้ปุ๋ย เอ็น-พี-เค สำหรับอ้อยต่อ

แบบ	ค่าวิเคราะห์ดิน			คำแนะนำการใช้ปุ๋ย (กก./ไร่)				
	เอ็น (N)	พี (P)	เค (K)	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2
				46-0-0	18-46-0	0-0-60	รวม	
1	ต่ำ	ต่ำ-ปานกลาง	ต่ำ-ปานกลาง	12	20	30	62	20
2	ต่ำ	ต่ำ-ปานกลาง	สูง	12	20	20	52	20
3	ต่ำ	สูง	ต่ำ-ปานกลาง	15	13	30	58	20
4	ต่ำ	สูง	สูง	15	13	20	48	20
5	ปานกลาง	ต่ำ-ปานกลาง	ต่ำ-ปานกลาง	6	20	30	56	13
6	ปานกลาง	ต่ำ-ปานกลาง	สูง	6	20	20	46	13
7	ปานกลาง	สูง	ต่ำ-ปานกลาง	8	13	30	51	13
8	ปานกลาง	สูง	สูง	8	13	20	41	13

จากคำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อยทั้งของกรมวิชาการเกษตร และของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พบว่าอัตราการใช้ปุ๋ยครั้งที่ 1 ใช้ปุ๋ยหลักที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ (18-46-0) ปุ๋ยไนโตรเจน (46-0-0) และปุ๋ยโปแตสเซียม (0-0-60) อยู่ในช่วง 21-87 กิโลกรัม/ไร่ ส่วนการใช้ปุ๋ยครั้งที่ 2 เป็นปุ๋ยไนโตรเจน (46-0-0) อยู่ในช่วง 7-22 กิโลกรัม/ไร่

เครื่องใส่ปุ๋ยอ้อยที่ใช้ในประเทศ

เครื่องฝังปุ๋ยที่เกษตรกรใช้สำหรับบำรุงอ้อยต่อภายในประเทศ จะมีลักษณะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่ปลูกในแต่ละภาคซึ่งมีผลจากห่างระหว่างร่องของอ้อย 80-150 ซม. ชนิดของเครื่องมีทั้งแบบ 2 หรือ 4 ขาไถ อัตราการฝังปุ๋ย 30-75 กิโลกรัมต่อไร่ เกษตรกรจะฝังปุ๋ยลึก 10-30 ซม. อัตราการทำงาน 6-10 ไร่/วัน ใช้ต้นกำลังรถแทรกเตอร์ขนาด 80 แรงม้าขึ้นไป โดยเกษตรกรจะรีบฝังปุ๋ยทันทีหลังเก็บเกี่ยวอ้อย ส่วนปริมาณปุ๋ยที่ใช้เกษตรกรจะพิจารณาจากสภาพของดินและน้ำที่อ้อยจะได้รับ เกษตรกรส่วนใหญ่ไม่มีการวิเคราะห์ดินก่อนใส่ปุ๋ย เนื่องจากเห็นว่ามีความยุ่งยาก

เครื่องจักรกลเกษตรสำหรับใส่ปุ๋ยในระดับที่รากอ้อย คือเครื่องฝังปุ๋ย มีส่วนประกอบหลักคือถังใส่ปุ๋ย ท่อนำปุ๋ย ขาไถเปิดร่องดิน ใบมีดตัดใบอ้อย และล้อควบคุมการปล่อยปุ๋ย ดังแสดงในรูปที่ 1 การใช้งานของเกษตรกรจะใช้รถแทรกเตอร์ลากพ่วงเครื่องฝังปุ๋ยคร่อมระหว่างแถวอ้อย ใช้กดขาไถเข้าไปในดินความลึก 10-30 ซม. ขณะเคลื่อนที่ล้อควบคุมการปล่อยปุ๋ยจะสัมผัสดินทำให้กลไกการปล่อยปุ๋ยทำงาน ทำให้ปุ๋ยไหลมาตามท่อนำปุ๋ยเข้าสู่ร่องดินที่ขาไถเปิดไว้ (วิชัย และคณะ, 2556)



- ถังใส่ปุ๋ย
- ท่อนำปุ๋ย
- ล้อควบคุม
- ขาไถ
- ใบมีดตัดใบอ้อย

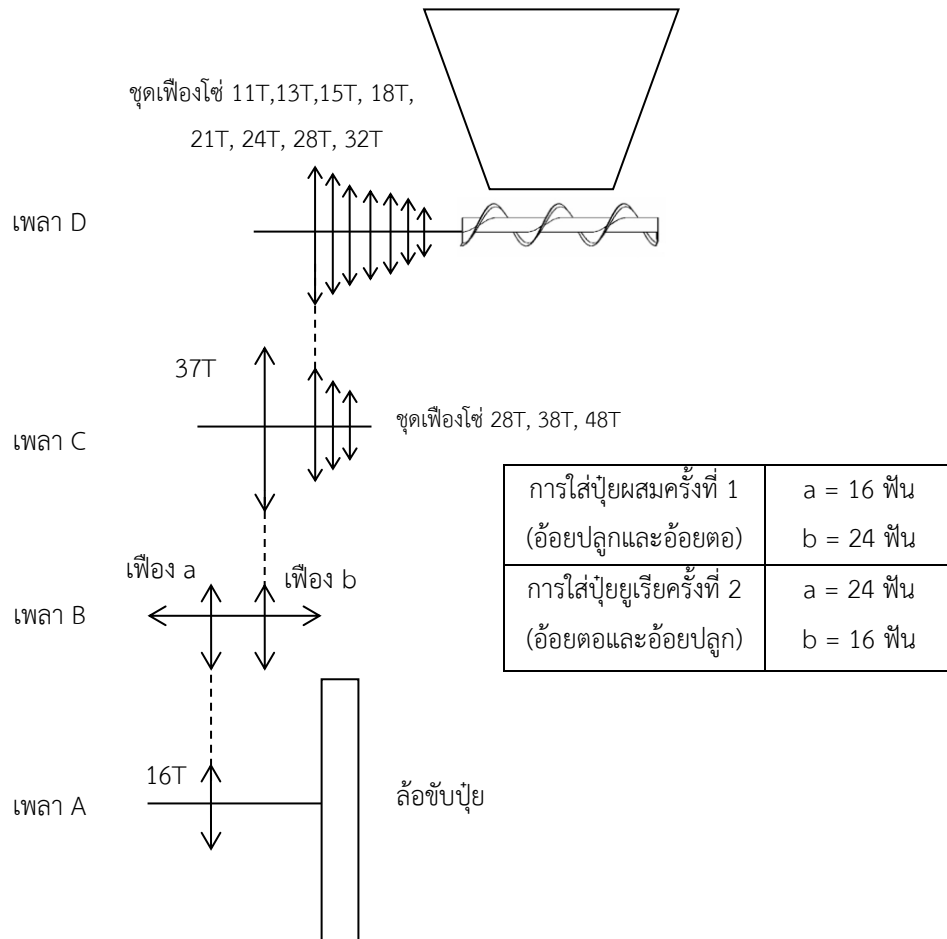
รูปที่ 1 เครื่องฝังปุ๋ยที่จำหน่ายในท้องตลาด

ที่มา: วิชัย และคณะ (2556)

การพัฒนาต้นแบบ

ในปี 2557 ได้ทำการพัฒนาเครื่องต้นแบบจากเครื่องฝังปุ๋ยที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ที่เกษตรกรนิยมใช้ของบริษัท ก.แสงยนต์ ลูกแก จำกัด ซึ่งเป็นเครื่องใส่ปุ๋ยระดับที่รากอ้อยความลึก 10-30 ซม. ซึ่งมีส่วนประกอบหลักคือถังใส่ปุ๋ย ใบมีดตัดใบอ้อย ขาไถเปิดร่องดิน ท่อนำปุ๋ย และล้อควบคุมการปล่อยปุ๋ย ทำการพัฒนาเพื่อให้ปรับอัตราการใส่ปุ๋ยอ้อยได้ตามค่าวิเคราะห์ดิน ตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร โดยการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 เป็นการใส่

ปุ๋ยผสมอัตราตั้งแต่ 34-87 กิโลกรัม/ไร่ และการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 เป็นการใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตราตั้งแต่ 10-22 กิโลกรัม/ไร่ โดยใช้ชุดเฟืองโซ่ของจักรยานยี่ห้อ SHIMANO ซึ่งมีเฟืองโซ่สับจานหน้าขนาด 28, 38 และ 48 ฟัน และชุดเฟืองโซ่ดุมล้อหลังจักรยานขนาด 11, 13, 15, 18, 21, 24, 28 และ 32 ฟัน ซึ่งสามารถเลือกเกียร์ได้ 24 แบบ มาติดตั้งกับชุดเกี๋ยวลำเลียงปุ๋ย เพื่อเปลี่ยนรอบหมุนของเกี๋ยวลำเลียงเพื่อให้ได้อัตราการใส่ปุ๋ยอ้อยตามค่าวิเคราะห์ดิน ผังชุดเฟืองโซ่ถ่ายทอดกำลัง ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ชุดเฟืองโซ่ถ่ายทอดกำลัง

การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

ได้ทำการทดสอบเพื่อสอบเทียบอัตราการใส่ปุ๋ยที่เกียร์ต่างๆ ในห้องปฏิบัติการ โดยหมุนล้อขับจำนวน 10 รอบ และชั่งน้ำหนักปุ๋ยที่ได้ ค่าอัตราการใส่ปุ๋ยผสม NPK (ความหนาแน่นปุ๋ยเท่ากับ 0.947 ตัน/ลูกบาศก์เมตร) และปุ๋ยยูเรีย (ความหนาแน่นปุ๋ย เท่ากับ 0.7282 ตัน/ลูกบาศก์เมตร) สำหรับใส่อ้อยปลูกและอ้อยต่อครั้งที่ 1 และ 2 สามารถคำนวณได้ดังแสดงในตารางที่ 5 และ ตารางที่ 6 อย่างไรก็ตามอัตราการใส่ปุ๋ยที่คำนวณได้ขึ้นกับความหนาแน่นของปุ๋ยสูตรต่างๆ ก่อนการทดสอบจริงจำเป็นต้องสอบเทียบอัตราของปุ๋ยที่ใช้ก่อน และการสอบเทียบต้องทำในแปลงทดสอบอีกครั้งหนึ่ง เนื่องจากในดินที่มีความชื้นสูงล้อขับปุ๋ยอาจเกิดการลื่นไถลได้ถึง 10%

ตารางที่ 5 อัตราปุ๋ยผสม NPK (กิโลกรัม/ไร่) สำหรับใส่อ้อยปลูกและอ้อยต่อครั้งที่ 1

เฟื้อง ข้อ	เฟื้อง ตาม	อัตรา ทด	น้ำหนักปุ๋ยผสม NPK (กรัม/10รอบ)	อัตราปุ๋ยผสม NPK ที่ระยะห่างระหว่างแถวปลูกต่างๆ (กิโลกรัม/ไร่)				
				1.2 ม.	1.3 ม.	1.4 ม.	1.5 ม.	1.6 ม.
28	11	2.545	1145.80	81.70	75.41	70.03	65.36	61.27
	13	2.154	942.23	67.18	62.01	57.58	53.75	50.39
	15	1.867	822.80	58.67	54.15	50.29	46.93	44.00
	18	1.556	689.85	49.19	45.40	42.16	39.35	36.89
	21	1.333	609.00	43.42	40.08	37.22	34.74	32.57
	24	1.167	537.30	38.31	35.36	32.84	30.65	28.73
	28	1.000	461.47	32.90	30.37	28.20	26.32	24.68
	32	0.875	357.660	25.50	23.54	21.86	20.40	19.13
38	11	3.455	1462.18	104.26	96.24	89.36	83.40	78.19
	13	2.923	1243.30	88.65	81.83	75.98	70.92	66.49
	15	2.533	1064.80	75.92	70.08	65.08	60.74	56.94
	18	2.111	914.23	65.19	60.17	55.87	52.15	48.89
	21	1.810	758.86	54.11	49.95	46.38	43.29	40.58
	24	1.583	704.200	50.21	46.35	43.04	40.17	37.66
	28	1.357	587.610	41.90	38.67	35.91	33.52	31.42
	32	1.188	526.67	37.55	34.66	32.19	30.04	28.16
48	11	4.364	1878.20	133.92	123.62	114.79	107.13	100.44
	13	3.692	1572.76	112.14	103.51	96.12	89.71	84.10
	15	3.200	1370.40	97.71	90.19	83.75	78.17	73.28
	18	2.667	1136.48	81.03	74.80	69.46	64.83	60.77
	21	2.286	984.76	70.21	64.81	60.18	56.17	52.66
	24	2.000	862.97	61.53	56.80	52.74	49.22	46.15
	28	1.714	733.700	52.31	48.29	44.84	41.85	39.24
	32	1.500	625.800	44.62	41.19	38.25	35.70	33.47

หมายเหตุ: ที่ความหนาแน่นปุ๋ย (Bulk density) เท่ากับ 0.947 ตัน/ลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 6 อัตราปุ๋ยยูเรีย (กิโลกรัม/ไร่) สำหรับใส่อ้อยปลูกและอ้อยต่อครั้งที่ 2

เฟือง ขับ	เฟือง ตาม	อัตรา ทด	น้ำหนักปุ๋ย ยูเรีย (กรัม/10รอบ)	อัตราปุ๋ยยูเรียที่ระยะห่างระหว่างแถวปลูกต่างๆ (กิโลกรัม/ไร่)				
				1.2 ม.	1.3 ม.	1.4 ม.	1.5 ม.	1.6 ม.
28	11	2.545	451.20	32.17	29.70	27.58	25.74	24.13
	13	2.154	405.65	28.92	26.70	24.79	23.14	21.69
	15	1.867	380.79	27.15	25.06	23.27	21.72	20.36
	18	1.556	273.52	19.50	18.00	16.72	15.60	14.63
	21	1.333	252.90	18.03	16.65	15.46	14.43	13.52
	24	1.167	250.60	17.87	16.49	15.32	14.29	13.40
	28	1.000	193.53	13.80	12.74	11.83	11.04	10.35
	32	0.875	158.33	11.29	10.42	9.68	9.03	8.47
38	11	3.455	651.24	46.43	42.86	39.80	37.15	34.83
	13	2.923	560.47	39.96	36.89	34.25	31.97	29.97
	15	2.533	463.20	33.03	30.49	28.31	26.42	24.77
	18	2.111	393.23	28.04	25.88	24.03	22.43	21.03
	21	1.810	342.80	24.44	22.56	20.95	19.55	18.33
	24	1.583	322.95	23.03	21.26	19.74	18.42	17.27
	28	1.357	264.88	18.89	17.43	16.19	15.11	14.16
	32	1.188	208.64	14.88	13.73	12.75	11.90	11.16
48	11	4.364	772.27	55.06	50.83	47.20	44.05	41.30
	13	3.692	654.33	46.65	43.07	39.99	37.32	34.99
	15	3.200	585.32	41.73	38.52	35.77	33.39	31.30
	18	2.667	514.42	36.68	33.86	31.44	29.34	27.51
	21	2.286	446.82	31.86	29.41	27.31	25.49	23.89
	24	2.000	388.31	27.69	25.56	23.73	22.15	20.77
	28	1.714	328.87	23.45	21.65	20.10	18.76	17.59
	32	1.500	271.34	19.35	17.86	16.58	15.48	14.51

หมายเหตุ: ที่ความหนาแน่นปุ๋ย (Bulk density) เท่ากับ 0.7282 ตัน/ลูกบาศก์เมตร

การทดสอบต้นแบบเบื้องต้น

นำเครื่องต้นแบบซึ่งเป็นแบบแถวเดี่ยวไปทดสอบในแปลงอ้อยของโรงงานน้ำตาลพิษณุโลก เพื่อทดสอบความเป็นไปได้ในการทำงาน โดยติดพ่วงกับรถแทรกเตอร์ New Holland รุ่น 6600 ขนาด 77 แรงม้า ใช้เกียร์ Low 2 ความเร็วรถแทรกเตอร์ประมาณ 0.5 เมตร/วินาที จากการทดสอบพบว่าเครื่องสามารถทำงานได้โดยไม่ชำรุด ฝังปุ๋ยได้ลึกประมาณ 15 ซม. แต่เมื่อเครื่องต้นแบบทำงานในสภาพแปลงที่ใบอ้อยจำนวนมาก งานสับใบอ้อยไม่สามารถตัดใบอ้อยได้ขาด จึงทำให้เกิดการสะสมใบดังรูปที่ 3

จากการศึกษารูปแบบของงานตัดเศษซากอ้อยในต่างประเทศ พบว่าใบตัดแบบที่มีลักษณะเป็นซี่จะช่วยลดแรงตัดใบอ้อยทั้งแรงในแนวราบ แนวตั้ง และแรงบิดได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับแบบใบตัดเรียบ (Bianchini et al, 2014) จึงได้ดำเนินการสร้างใบตัดเป็นแบบซี่ รูปที่ 4



รูปที่ 3 การทดสอบการทำงานเบื้องต้น ใบอ้อยสะสมเนื่องจากสับใบไม่ขาด

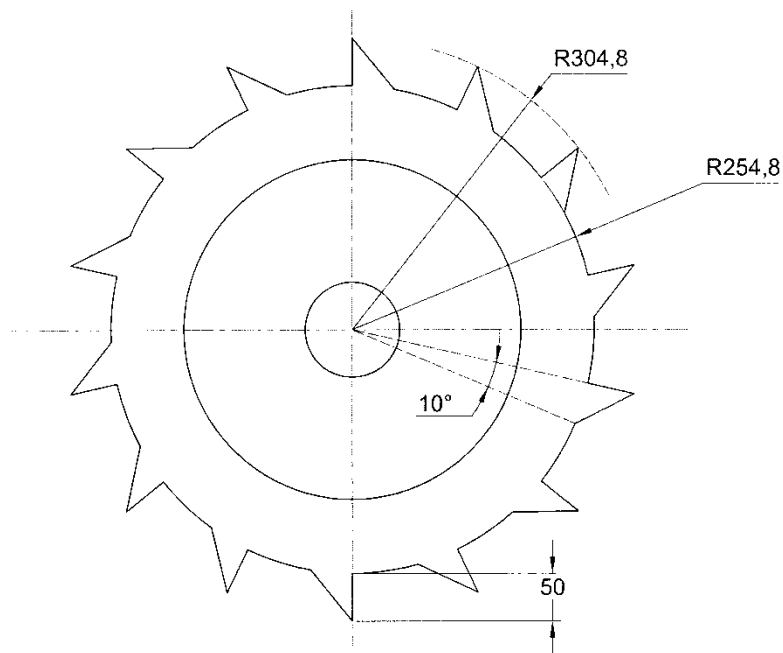


รูปที่ 4 ใบตัดที่สร้างขึ้นใหม่

ได้เครื่องต้นแบบที่ออกแบบใบตัดใหม่ไปทดสอบในแปลง พบว่าใบตัดแบบซี่มีแนวโน้มตัดใบได้ดี แต่เนื่องจากเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีขนาด 22 นิ้ว มีขนาดเล็กเกินไปเมื่อนำมาตัดเป็นกองจักรแล้วมีส่วนใบที่จะเฉือนน้อยทำให้ตัดใบไม้ขาดในบางช่วงที่ใบอ้อยหนา (รูปที่ 5) จึงได้ออกแบบใหม่ให้ใช้ใบจานแบนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 24 นิ้ว จำนวน 2 ใบ มาตัดดังรูปที่ 6 และสร้างต้นแบบใหม่เป็นแบบแฉกคู่เพื่อให้ทำงานได้ครั้งละ 2 แฉก



รูปที่ 5 ทดสอบใบตัดแบบกองจักรที่สร้างขึ้นใหม่ในแปลง



รูปที่ 6 ใบตัดแบบกองจักรที่ออกแบบใหม่

ได้ทำการทดสอบการทำงานเบื้องต้นในแปลงอ้อยอายุประมาณ 3 เดือน อ. บางกระทุ่ม จ. พิษณุโลก (รูปที่ 2.7) ระยะห่างระหว่างแถวอ้อย 1.5 เมตร โดยติดพ่วงกับรถแทรกเตอร์ New Holland รุ่น Anglo-Thai ATS 120 ขนาด 120 แรงม้า ใช้เกียร์ Low 4 จากการทดสอบเบื้องต้นพบว่า ใบตัดที่ออกแบบใหม่มีแนวโน้มทำงานได้ดี ซึ่งกรีดลงบนดินได้ลึกโดยไม่ต้องถ่วงน้ำหนัก แต่เนื่องจากขณะทดสอบใบอ้อยในแปลงค่อนข้างน้อยจึง

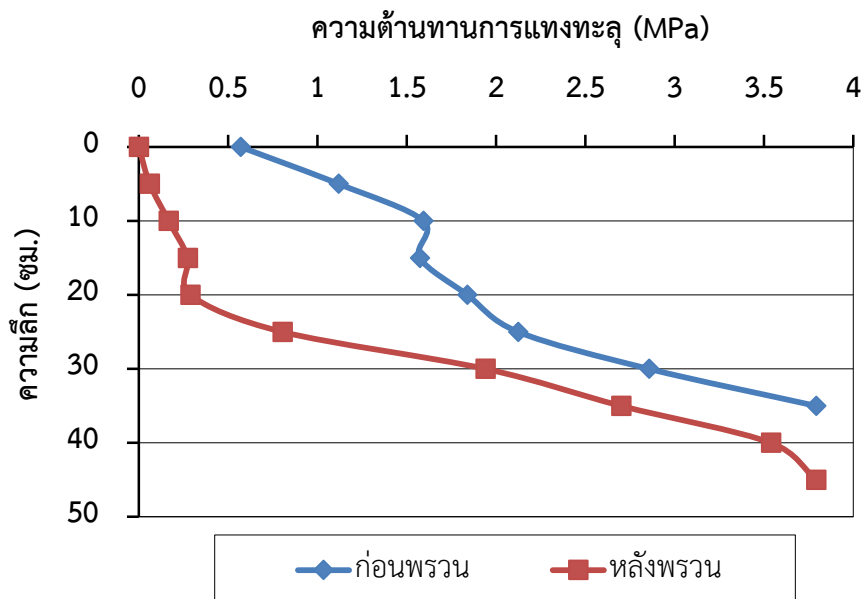
ยังไม่เห็นผลชัดเจน (รูปที่ 7) ได้ทดสอบใส่ปุ๋ยสูตร 24-12-24 ในอัตรา 54 กิโลกรัม/ไร่ สภาพแปลงขณะทำการทดสอบ

ความชื้นของดิน 13.32 % มาตรฐานแห้ง
 ความหนาแน่นดินสภาพแห้ง 1.21 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
 ค่าความต้านทานการแทงทะลุ ที่ความลึก 20 ซม. ประมาณ 2 MPa

จากการทดสอบพบว่า ความสามารถการทำงาน 5.55 ไร่/ชั่วโมง ที่ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ 1.09 เมตร/วินาที ประสิทธิภาพการทำงาน 75.25% หลังการทดสอบวัดค่าความต้านทานการแทงทะลุ ที่ความลึก 20 ซม. ได้น้อยกว่า 0.5 MPa (รูปที่ 8) แสดงให้เห็นว่าดินมีการถูกทำให้แตกตัวโดยรีเปอร์เพื่อฝังปุ๋ยลงในดินที่ระดับความลึก 20 ซม.



รูปที่ 7 ทดสอบต้นแบบสองแถวในแปลง



รูปที่ 8 ค่าความต้านทานการแทงทะลุที่ระดับความลึกต่างๆ

การทดสอบการทำงานจริง

แปลงอ้อยตอแบบเผาใบ

ทดสอบเครื่องต้นแบบในแปลงอ้อยตอแบบเผาใบ สภาพดินในแปลงค่อนข้างแข็งและแห้ง ที่ อ. บางกระทุ่ม จ. พิษณุโลก (รูปที่ 9) ระยะห่างระหว่างแถวอ้อย 1.4 เมตร โดยติดพ่วงกับรถแทรกเตอร์ New Holland รุ่น Anglo-Thai ATS 120 ขนาด 120 แรงม้า

ความชื้นของดิน	5.22 %	มาตรฐานแห้ง
ความหนาแน่นดินสภาพแห้ง	1.598	กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
ค่าความต้านทานการแทงทะลุ ที่ความลึก 5 ซม. ประมาณ	3.8	Mpa
ความหนาแน่นใบอ้อย	211.5	กรัม/ตร.ม.

จากการทดสอบพบว่า ความสามารถการทำงาน 5.37 ไร่/ชั่วโมง ที่ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ 1.40 เมตร/วินาที ประสิทธิภาพการทำงาน 61.14% ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 1.89 ลิตร/ไร่



รูปที่ 9 ทดสอบเครื่องต้นแบบในแปลงอ้อยเผาใบ จ. พิษณุโลก

แปลงอ้อยตอแบบไม่เผาใบ

ทดสอบเครื่องต้นแบบในแปลงอ้อยตอแบบไม่เผาใบ ซึ่งใช้แรงงานคนเก็บเกี่ยวอ้อย และสภาพดินในแปลงค่อนข้างแข็งและแห้ง ที่ อ. บางกระทุ่ม จ. พิษณุโลก ระยะห่างระหว่างแถวอ้อย 1.5 เมตร โดยติดพ่วงกับรถแทรกเตอร์ New Holland รุ่น Anglo-Thai ATS 120 ขนาด 120 แรงม้า จากการทดสอบเบื้องต้น พบว่าเครื่องต้นแบบไม่สามารถทำงานได้ในสภาพที่ใบอ้อยสะสมในแปลงจำนวนมากได้ ต้องหยุดทำงานเพื่อเอาใบอ้อยออก (รูปที่ 10) เนื่องจากใบอ้อยไปสะสมอยู่บริเวณขาจับเปอร์ตัวริม จึงได้ทดสอบโดยเอาขาจับเปอร์ออก ให้เหลือแบบใส่ปุ๋ยแถวเดียว (รูปที่ 11) พบว่าสามารถทำงานได้ดีขึ้น ใบอ้อยสามารถหมุนออกไปด้านข้างได้เอง

ความชื้นของดิน 3.77 % มาตรฐานแห้ง
 ความหนาแน่นดินสภาพแห้ง 1.700 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
 ค่าความต้านทานการแทงทะลุ ที่ความลึก 5 ซม. ประมาณ 3.8 Mpa
 ความหนาแน่นใบอ้อย 872.3 กรัม/ตร.ม.

จากการทดสอบพบว่า ความสามารถการทำงานแบบแถวเดี่ยว 2.21 ไร่/ชั่วโมง ที่ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ 1.36 เมตร/วินาที ประสิทธิภาพการทำงาน 48.02% ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 2.49 ลิตร/ไร่ ประสิทธิภาพการทำงานค่อนข้างต่ำเนื่องจากการหยุดรถแทรกเตอร์เพื่อเอาใบอ้อยออกบางช่วง



รูปที่ 10 สภาพที่ใบอ้อยสะสมในแปลงจำนวนมากได้ต้องหยุดทำงานเพื่อเอาใบอ้อยออก



รูปที่ 11 ทดสอบต้นแบบโดยใช้แถวเดี่ยว

แปลงอ้อยตอ

ได้ทำการทดสอบเครื่องต้นแบบในแปลงอ้อยตอ สภาพดินในแปลงผ่านการกำจัดวัชพืชด้วยจอบหมุนแล้ว ที่ อ. บ้านไร่ จ. อุทัยธานี (รูปที่ 12) ระยะห่างระหว่างแถวอ้อย 1.5 เมตร โดยติดพ่วงกับรถแทรกเตอร์ New Holland รุ่น 7810 ขนาด 100 แรงม้า

ความชื้นของดิน 8.68 % มาตรฐานแห้ง

ความหนาแน่นดินสภาพแห้ง 1.539 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

ค่าความต้านทานการแทงทะลุ ที่ความลึก 20 ซม. ประมาณ 2.54 Mpa

จากการทดสอบพบว่า ความสามารถการทำงาน 5.09 ไร่/ชั่วโมง ที่ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ 1.06 เมตร/วินาที ประสิทธิภาพการทำงาน 71.32% ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 1.48 ลิตร/ไร่



รูปที่ 12 ทดสอบเครื่องต้นแบบในแปลงอ้อยตอ จ. อุทัยธานี

แปลงอ้อยปลูก

ได้ทำการทดสอบเครื่องต้นแบบในแปลงอ้อยปลูก สภาพดินในแปลงผ่านการกำจัดวัชพืชด้วยจอบหมุนแล้ว ที่ อ. บ้านไร่ จ. อุทัยธานี (รูปที่ 13) ระยะห่างระหว่างแถวอ้อย 1.5 เมตร โดยติดพ่วงกับรถแทรกเตอร์ New Holland รุ่น 6640 ขนาด 76 แรงม้า

ความชื้นของดิน 10.13 % มาตรฐานแห้ง

ความหนาแน่นดินสภาพแห้ง 1.2947 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

ค่าความต้านทานการแทงทะลุ ที่ความลึก 20 ซม. ประมาณ 3.34 Mpa

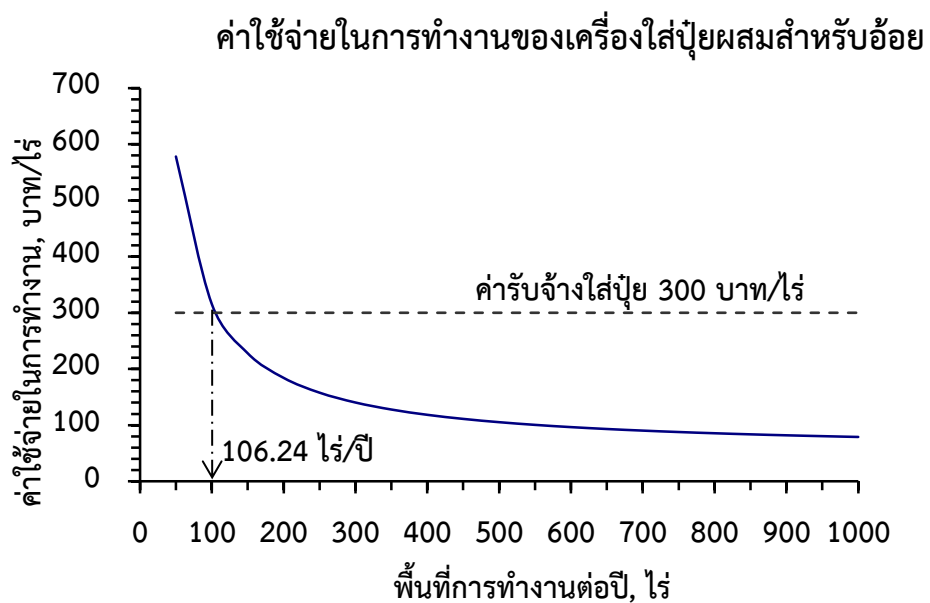
จากการทดสอบพบว่า ความสามารถการทำงาน 5.44 ไร่/ชั่วโมง ที่ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ 1.24 เมตร/วินาที ประสิทธิภาพการทำงาน 65.19% ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 1.72 ลิตร/ไร่



รูปที่ 13 ทดสอบเครื่องต้นแบบในแปลงอ้อยปลูก จ. อุทัยธานี

การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์

ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ กำหนดให้ราคาารถแทรกเตอร์ขนาด 75 แรงม้า เท่ากับ 930,000 บาท อายุการใช้งาน 10 ปี และกำหนดค่าใช้จ่ายคงที่ของการใช้รถแทรกเตอร์ในงานหยอดปุ๋ยเท่ากับ 25% ค่าใช้จ่ายคงที่ทั้งหมด เครื่องหยอดปุ๋ยสำหรับปุ๋ยผสม ราคา 90,000 บาท อายุการใช้งาน 7 ปี รวมราคาทั้งหมด 1,020,000 บาท คิดค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรง รายละเอียดการคำนวณตามภาคผนวก 1 จากการคำนวณสามารถเขียนกราฟแสดงความความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายในการใช้งานเครื่องใส่ปุ๋ยผสม และราคาปรับจ้างฝัງปุ๋ย 300 บาท/ไร่ ได้ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 กราฟแสดงความความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายในการใช้งานเครื่องใส่ปุ๋ยผสม และราคาปรับจ้างฝัງปุ๋ย

จากกราฟจะเห็นว่าถ้าเกษตรกร ควรจะพิจารณาเลือกซื้อเครื่องใส่ปุ๋ยผสม มาใช้งานหรือรับจ้าง ควรมีพื้นที่การใช้งานหรือรับจ้างไม่ต่ำกว่า 106.24 ไร่/ปี เป็นเวลา 7 ปี จึงจะคุ้มทุน

9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม ได้พัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยผสมสำหรับอ้อยแบบ 2 แถว มีส่วนประกอบหลักคือ ถังใส่ปุ๋ย 2 ถัง สำหรับใส่ปุ๋ยที่ผสมไว้แล้วตามค่าวิเคราะห์ดิน ชุดกำหนดอัตราปุ๋ยแบบเฟืองจักรยาน สามารถปรับอัตราหยอดได้ตั้งแต่ 10-87 กิโลกรัม/ไร่ ไบมีตตัดใบอ้อยแบบวงจักร ท่อนำปุ๋ย ขาไถเปิดร่องดิน และล้อควบคุมการปล่อยปุ๋ย การใช้งานจะใช้รถแทรกเตอร์ขนาดมากกว่า 60 แรงม้า ติดพวงเครื่องใส่ปุ๋ย จากนั้นเกษตรกรจะต้องเลือกเฟืองขับและเฟืองตามให้ได้อัตราหยอดตามที่ต้องการ ในการทำงานรถแทรกเตอร์จะวิ่งคร่อมต้นอ้อย ใบตัดด้านหน้าจะทำหน้าที่ตัดเศษใบอ้อยที่อยู่ในแปลง ถัดจากนั้นขาไถจะชุดเข้าไปในดินความลึก 10-30 ซม. ขณะที่รถแทรกเตอร์เคลื่อนที่ล้อควบคุมการปล่อยปุ๋ยจะสัมผัสดิน ทำให้กลไกการปล่อยปุ๋ยทำงาน ปุ๋ยจะไหลมาตามท่อนำปุ๋ยมาที่ขาไถและปล่อยลงสู่ดินที่เปิดไว้

จากการทดสอบเครื่องต้นแบบพบว่า มีความสามารถการทำงานเฉลี่ย 5.30 ไร่/ชั่วโมง ที่ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์เฉลี่ย 1.23 เมตร/วินาที ประสิทธิภาพการทำงานเฉลี่ย 65.88% ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย 1.70 ลิตร/ไร่ จากการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์เพื่อหาจุดคุ้มทุนในการทำงาน พบว่า เกษตรกรควรพิจารณาเลือกซื้อเครื่องใส่ปุ๋ยผสม มาใช้งานหรือรับจ้าง ควรมีพื้นที่การใช้งานหรือรับจ้างไม่ต่ำกว่า 106.24 ไร่/ปี เป็นเวลา 7 ปี จึงจะคุ้มทุน

เครื่องใส่ปุ๋ยผสมสามารถใช้กับการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินได้ โดยสามารถเลือกเปลี่ยนอัตราหยอดได้ครอบคลุมอัตราการใช้ปุ๋ยอ้อยที่แนะนำโดยกรมวิชาการเกษตร แม้จะไม่สามารถใส่ปุ๋ยได้อย่างแม่นยำเนื่องจากระบบการขับลูกหยอดปุ๋ยเป็นแบบเฟือง แต่ก็สามารถเลือกอัตราการใส่ปุ๋ยได้ใกล้เคียงคำแนะนำ ซึ่งจะมีอัตราความผิดพลาดไม่เกิน 10% อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยโดยใช้เครื่องต้นแบบนี้จะต้องมีใบอ้อยในแปลงไม่มากจนเกินไป จึงจะใช้เครื่องใส่ปุ๋ยได้อย่างมีประสิทธิภาพ เครื่องใส่ปุ๋ยผสมดังกล่าวจะมีส่วนช่วยสนับสนุนการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินตามนโยบายของรัฐบาล

10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

- ได้ต้นแบบเครื่องหยอดปุ๋ยที่สามารถใช้กับปุ๋ยผสมได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถเลือกเปลี่ยนอัตราหยอดได้ ครอบคลุมทุกอัตราการใช้ปุ๋ยอ้อยที่แนะนำโดยกรมวิชาการเกษตร ต้นแบบที่ได้สามารถถ่ายทอดให้กับกลุ่มเป้าหมายคือ เกษตรกรไร้อ้อย และโรงงานน้ำตาล ที่ต้องการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน

11. คำขอบคุณ

โครงการวิจัยนี้เริ่มดำเนินการจนบรรลุวัตถุประสงค์ได้โดยได้รับการสนับสนุนจาก ผู้อำนวยการ ข้าราชการ พนักงานราชการ และลูกจ้างประจำ ของสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม และศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรม ขอนแก่น ขอขอบคุณ โรงงานน้ำตาลพิษณุโลก อ. บางกระทุ่ม จ.พิษณุโลก และ บริษัท ก. แสงยนต์ ลูกแก จำกัด ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษวิจัย อีกทั้งยังช่วยประสานงานในการจัดหาแปลง ทดสอบ นอกจากนี้ยังมีผู้ที่ได้ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนในด้านต่างๆแต่ไม่ได้เอ่ยนามไว้ ซึ่งล้วนแต่มีส่วนส่งเสริมให้โครงการวิจัยนี้ดำเนินงานจนเป็นผลสำเร็จ ซึ่งคณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

12. เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2553. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา สำนักวิจัยและพัฒนา
ปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ. 122 หน้า.
- ทัศนีย์ อัดตะนันท์. 2555. การจัดการธาตุอาหารเฉพาะสำหรับข้าวโพด. สืบค้นจาก:
<http://www.ssnm.agr.ku.ac.th/main/Manage/Corn.htm> [เม.ย. 2557].
- พรณพิมล ฉัตราคม. 2558. ความต้องการใช้ปุ๋ยในการเกษตรของประเทศไทย. ส่วนวิจัยครวัเรือนเกษตร
การจัดการฟาร์มและปัจจัยการผลิต สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. สืบค้นจาก:
http://www.oae.go.th/ewt_news.php?nid=684&filename=index [พ.ค. 2558].
- สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. 2558. ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าปุ๋ยเคมีสูตรที่สำคัญ ปี 2552-2557
สืบค้นจาก: http://www.oae.go.th/download/FactorOfProduct/Fertilizer_value49-54.html [พ.ค. 2558].
- วิชัย โอภาณุกุล พินิจ จิรัคคกุล และ วีระ สุขประเสริฐ. 2556. รายงานวิจัยกิจกรรมสำรวจการใช้เครื่องฝังปุ๋ย
อ้อยในประเทศ. สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร.
- Bianchini, A.; Daniel D. Valadão Junior; Rodrigo P. Rosa; Frederick Colhado and Rodrigo F.
Daros. 2014. Soil chiseling and fertilizer location in sugarcane ratoon cultivation. Eng.
Agríc. Jaboticabal, vol.34 no.1 p.57-65.

ภาคผนวก-ก

การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์

ค่าในการคำนวณต้นทุนค่าใช้จ่ายของแทรกเตอร์ต้นกำลัง

ราคาารถแทรกเตอร์ 75 แรงม้า, P	= 930,000	บาท
ราคาซาก, S	= 20 %ของ P	บาท
อายุการใช้งาน, N	= 10	ปี
อัตราดอกเบี้ย, i	= 5.5	เปอร์เซ็นต์/ปี
ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง	= 19.29 (ม.ค. 2559)	บาท/ลิตร
อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง	= 1.70	ลิตร/ไร่
ค่าน้ำมันหล่อลื่น	= 10% ของค่าน้ำมัน	
ค่าแรงขับรถแทรกเตอร์และคนงาน 1 คน	= 300	บาท/วัน/คน
ค่าบำรุงรักษารถแทรกเตอร์	= 0.50% ของP/100 ชั่วโมง	บาท/ชั่วโมง

ค่าในการคำนวณต้นทุนค่าใช้จ่ายของเครื่องหยอดปุ๋ย

ราคา, P ₁	90,000	บาท
ราคาซาก, S ₁	10%ของ P ₁	บาท
อายุการใช้งาน, N ₁	7	ปี
อัตราดอกเบี้ย, i ₁	5.5	เปอร์เซ็นต์ต่อปี
ค่าบำรุงรักษา	0.5% ของ P ₁ /100ชั่วโมง	บาท/ชั่วโมง
ความสามารถการทำงาน	5.30	ไร่/ชั่วโมง
พื้นที่ทำงานต่อปี	A	ไร่

การคำนวณต้นทุนต่อปีของรถแทรกเตอร์

ราคาารถแทรกเตอร์	930,000	บาท
<u>ค่าต้นทุนคงที่:</u>		
ค่าเสื่อมราคา (แบบเส้นตรง)	74,400	บาท/ปี
ค่าดอกเบี้ยในการลงทุน	30,690	บาท/ปี
รวมต้นทุนคงที่	105,090	บาท/ปี
ต้นทุนคงที่ในการเป็นต้นกำลังของเครื่องหยอดปุ๋ย (หนึ่งในสี่ของค่าใช้จ่ายคงที่รวม)	26,272.50	บาท/ปี

<u>ค่าต้นทุนผันแปร:</u>		
ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง	173.46	บาท/ชั่วโมง
ค่าน้ำมันหล่อลื่น	17.35	บาท/ชั่วโมง
ค่าแรงขับรถแทรกเตอร์และคนงานรวม 4 คน	37.50	บาท/ชั่วโมง
ค่าบำรุงรักษารถแทรกเตอร์	46.50	บาท/ชั่วโมง
รวมค่าต้นทุนผันแปรของรถแทรกเตอร์	274.81	บาท/ชั่วโมง
<u>การคำนวณต้นทุนต่อปีของเครื่องหยอดปุ๋ย</u>		
ราคา, P	90,000	บาท
<u>ค่าต้นทุนคงที่:</u>		
ค่าเสื่อมราคา (แบบเส้นตรง)	11,571.43	บาท/ปี
ค่าดอกเบี้ยในการลงทุน	2,722.50	บาท/ปี
ค่าต้นทุนคงที่ของรถแทรกเตอร์	26,272.50	บาท/ปี
รวมค่าต้นทุนคงที่	40,566.43	บาท/ปี
<u>ค่าต้นทุนผันแปร:</u>		
ค่าบำรุงรักษาเครื่องหยอดปุ๋ย	4.50	บาท/ชั่วโมง
ค่าต้นทุนผันแปรของรถแทรกเตอร์	274.81	บาท/ชั่วโมง
รวมค่าต้นทุนผันแปร	279.31	บาท/ชั่วโมง
ความสามารถการทำงาน	5.30	ไร่/ชั่วโมง
รวมค่าต้นทุนผันแปร	52.70	บาท/ไร่

ความสัมพันธ์ของต้นทุนต่อปีในการใช้เครื่องหยอดปุ๋ยต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (A)

สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ต้นทุนต่อปีในการใช้เครื่องหยอดปุ๋ย, บาท/ไร่} &= \text{ต้นทุนคงที่} + \text{ต้นทุนผันแปร} \\ &= (26,272.50/A) + 52.70 \quad (1) \end{aligned}$$

จุดที่คุ้มทุนของการใช้งานเครื่องหยอดปุ๋ย สามารถคำนวณได้เมื่อต้นทุนในการใช้งานเครื่องหยอดปุ๋ยในสมการที่ (1) เท่ากับราคาไร่จ้างฝังปุ๋ยในปัจจุบันเท่ากับ 300 บาท/ไร่ (วิชัย และคณะ, 2555)

$$\text{ต้นทุนในการใช้งานเครื่องหยอดปุ๋ย} = \text{ค่าไร่จ้างฝังปุ๋ย}$$

$$(26,272.50/A) + 52.70 = 300$$

$$A = 106.24 \text{ ไร่/ปี}$$