

ออกแบบ และพัฒนาเครื่องสางใบอ้อยสำหรับอ้อยตัดทำพันธุ์โดยใช้ระบบไฮดรอลิก Design and Development of Sugarcane Leaf Pruning Machine for Sugarcane Seed Purpose by Using Hydraulic system

ตฤณสิทธิ์ ไกรสินบุรศักดิ์^{1*} ดนัย ศาลทูลพิทักษ์^{1/} อนุชา เชาว์โชติ^{1/} มงคล ตุ่นเฝ้า^{1/} พุทธินันท์ จารุวัฒน์^{1/}
ปรีชา อานันท์รัตนกุล^{1/} อนุชิต ฉ่ำสิงห์^{1/} รัชดา ปรัชเจริญวนิชย์^{2/}
จิระวิทย์ ไกรสินบุรศักดิ์^{3/} กันต์ธกรณ์ เขาทอง^{4/}

Tinnasit Kaisinburasak^{1/} Danai Saratunpithak^{1/} Anucha Chaochot^{1/} Mongkol Tunhaw^{1/} Puttinun Jaruwat^{1/}
Preecha Ananratanakul^{1/} Anuchit Chamsing^{1/} Ratchada Pratcharoenwanich^{2/}
Jiravee Kaisinburasak^{3/} Kunthakorn Khaothong^{4/}

Received 2 Sep 2019/Revised 20 Nov 2019/Accepted 28 Feb 2020

ABSTRACT

The pruning of sugarcane leaves are usually carried out two months before harvesting in order to facilitate the harvesting by human labors and to avoid traditional burning of the sugarcane leaves. Generally, the sugarcane leaf pruning machine is used in harvesting sugarcane for factory. However this type of machine is not suitable for removing sugarcane leaves for planting because it can damage the seed bud up to 60–70%. The objective of this research was to design the mechanism of Sugarcane Leaf pruning for sugarcane seed purpose by applying the hydrostatic power transmission to the Sugarcane Leaf Pruning Roller which could be moved in a vertical direction attached to 25 hp tractor. The machine could remove the sugarcane leaves from the ground up to 3.5 m. The revolution of the rollers was controlled by using fuzzy logic controller. The controller will open a proportional valve allowing hydraulic oil moving to drive the hydraulic motor and using the rotary encoder as the feedback signal. It was tested with the LK92-11, KhonKaen 3, Uthong 84-12, K95-84 and Kamphaeng Saen 01-12 sugarcane cultivars which were 11 months old and had the height of 2.31-2.93 m. in Sikhio district, Nakhon Ratchasima province. The experiments were conducted at the forward speed of 2.09 km h⁻¹, a linear velocity of the Sugarcane Leaf Pruning Roller of 0.5 m s⁻¹ and upward direction of the Sugarcane Leaf Pruning Roller. The experimental results showed that the average seed buds damage was 1.28% and the average stalk damage was 3.41%. It could work at the rate of 1.88 rai/hr while the fuel consumption was 2.36 liter/rai and the average germination percentage of sugarcane was 68.57%. The average damage of seed buds and stalk, and germination percentage were not significantly different when compared to results of human labor. Fuzzy-based controller was fast and accurate for removing of sugarcane leaves although it gave a few overshoots. The cost of the Sugarcane Leaf Pruning Machine was 134,000 baht. Considering that the labor cost of sugarcane leaf pruning is 300 baht/rai for 8 hr/day, the Break Even point was calculated to be 175.61 rais.

Keywords : Sugarcane Leaf Pruning Machine, Hydraulic System, Fuzzy logic controller

^{1/} สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

^{1/} Agricultural Engineering Research Institute, Department of Agriculture, Lat Yao, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

^{2/} ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรนครราชสีมา สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 4 จ.อุบลราชธานี กรมวิชาการเกษตร

^{2/} Nakhon Ratchasima Agricultural Research and Development center, Office of Agricultural and development Region 4 (Ubon Ratchathani), Department of Agriculture

^{3/} กลุ่มพัฒนาระบบตรวจสอบเมล็ดพันธุ์ กองวิจัยพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืช กรมวิชาการเกษตร แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

^{3/} Seed Research and Development Division, Department of Agriculture, Lat Yao, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

^{4/} ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ตำบลกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

^{4/} Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering at KamphaengSaen Kasetsart University Kamphaeng Saen district Nakhonpathom 73140

* Corresponding author: tinnasit@hotmail.co.th

บทคัดย่อ

การสาบใบอ้อยสำหรับอ้อยตัดทำพันธุ์ จะทำก่อนการตัดอ้อยประมาณ 2 เดือน เพื่อให้แรงงานเข้าตัดอ้อยได้สะดวก อากาศระบายได้ดี ลำต้นอ้อยได้รับแสงแดด อ้อยและตาอ้อยมีความสมบูรณ์มากขึ้น เปอร์เซ็นต์ความงอกของอ้อยสูงขึ้น เครื่องสาบใบอ้อยที่ใช้อยู่ในปัจจุบันจะใช้สาบใบอ้อยสำหรับตัดอ้อยเข้าโรงงาน แต่ไม่สามารถใช้สาบใบอ้อยสำหรับอ้อยตัดทำพันธุ์ได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบกลไกการสาบใบอ้อยสำหรับอ้อยตัดทำพันธุ์ โดยประยุกต์ใช้ระบบถ่ายทอดกำลังอุทกสถิต เพื่อให้ลูกตีสาบใบสามารถเคลื่อนที่ขึ้น-ลงในแนวตั้งโดยพวงท้ายรถแทรกเตอร์ขนาด 25 แรงม้า สามารถสาบใบอ้อยที่ระยะความสูงจากพื้นดินขึ้นไปจนถึงระยะ 3.5 ม. การควบคุมความเร็วรอบการหมุนของลูกตีสาบใบใช้ตัวควบคุมแบบพีชซี มีลักษณะการทำงานโดยการป้อนความเร็วรอบที่ต้องการควบคุมผ่านตัวควบคุมแบบพีชซี ตัวควบคุมแบบพีชซีจะไปเปิดวาล์วควบคุมอัตราการไหลให้น้ำมันไฮดรอลิกไปขับมอเตอร์ไฮดรอลิกซึ่งต่ออยู่กับชุดลูกตีสาบใบของเครื่องสาบใบอ้อย ทำให้เกิดการหมุนตีสาบใบอ้อยขึ้น โดยใช้สัญญาณป้อนกลับเป็นอุปกรณ์วัดความเร็วรอบที่ติดตั้งไว้ ทำการทดสอบกับอ้อยพันธุ์ LK92-11 ขอนแก่น 3 อู่ทอง 84-12 K95-84 และกำแพงแสน 01-12 ที่มีอายุ 11 เดือน ใน อ.สีคิ้ว จ.นครราชสีมา มีความสูงตั้งแต่ 2.31–2.93 ม. ที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์เฉลี่ย 2.09 กม./ชม. ความเร็วเชิงเส้นในแนวตั้งของลูกตีสาบใบ 0.5 ม./วินาที ทิศทางการหมุนของลูกตีสาบใบหมุนตีขึ้น พบว่า ความสามารถในการทำงานของเครื่องจักรจริง 1.88 ไร่/ชม. ประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ 69.97% อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 2.36 ล./ไร่ ลำต้นอ้อยเสียหายเฉลี่ย 3.41% ตาอ้อยเสียหายเฉลี่ย 1.28% และมีเปอร์เซ็นต์ความงอกของอ้อยเฉลี่ย 68.57% เมื่อเปรียบเทียบกับแรงงานคนที่ใช้มีดสาบใบพบว่า ความเสียหายของตาอ้อย ลำอ้อย และ

เปอร์เซ็นต์ความงอกของอ้อยมีค่าไม่แตกต่างกัน ส่วนการหมุนของลูกตีสาบใบที่ควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีชซีจะมีความเร็วและมีความแม่นยำ ในขณะที่ลูกตีสาบใบเริ่มหมุนจากจุดหยุดนิ่งจนถึงความเร็วรอบที่ต้องการควบคุมได้ดี เกิดค่าฟุ้งเกินขึ้นเล็กน้อย โดยเครื่องสาบใบอ้อยต้นแบบมีราคา 134,000 บาท ค่าจ้างสาบใบอ้อยสำหรับอ้อยตัดทำพันธุ์ 300 บาท/ไร่ ทำงาน 8 ชม./วัน ดังนั้นจากผลวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เครื่องสาบใบอ้อยต้นแบบมีจุดคุ้มทุนที่ 175.61 ไร่

คำสำคัญ: เครื่องสาบใบอ้อยระบบไฮดรอลิก, ตัวควบคุมแบบพีชซีลอจิก

บทนำ

กระบวนการผลิตอ้อยในประเทศไทย เป็นกระบวนการผลิตที่ใช้แรงงานคนเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะในขั้นตอนการปลุกและการเก็บเกี่ยว สำหรับขั้นตอนการเก็บเกี่ยวโดยใช้แรงงานคนเป็นการตัดอ้อยเผาใบ 60.46% ส่วนการตัดอ้อยแบบไม่เผาใบ 39.54% ทั้งนี้เนื่องจากความยากลำบากในการตัดทำให้ความสามารถในการตัดน้อยกว่าการตัดแบบเผาใบประมาณ 50% แม้ว่ามีอัตราค่าจ้างสูงกว่าประมาณ 20% (วิชัย และคณะ, 2554) ส่วนขั้นตอนในการปลุกอ้อยเริ่มจากการใช้แรงงานคนเข้าไปสาบใบอ้อย และตัดอ้อยเป็นลำเพื่อนำไปใช้เป็นท่อนพันธุ์ในการปลุก การปลุกอาจใช้แรงงานคนหรือเครื่องปลุกอ้อย ซึ่งในประเทศไทยนิยมใช้เครื่องปลุกอ้อยชนิดใช้ต้นพันธุ์ (whole stalks type)

การตัดอ้อยเพื่อนำไปใช้เป็นท่อนพันธุ์ จำเป็นต้องใช้แรงงานคนจำนวนมาก ค่าจ้างแรงงานสูง และประสบปัญหาการขาดแคลนแรงงานจากการตัดอ้อยไม่เผาใบ ซึ่งปัญหาการขาดแคลนแรงงานมีแนวโน้มรุนแรงมากขึ้น เช่นเดียวกับขั้นตอนการเก็บเกี่ยว เนื่องจากปัจจุบันเกษตรกรนิยมปลุกอ้อยปลายฤดูฝนมากขึ้น คือ ช่วงเดือนตุลาคม-พฤศจิกายน โดยมีระยะเวลาปลุกเพียง 45 วัน เป็นช่วงที่ดินมีความชื้นเหมาะสม

และให้เปอร์เซ็นต์การงอกของอ้อยสูงสุด (อรรถสิทธิ์ และคณะ, 2555) ดังนั้น เกษตรกรจึงต้องใช้แรงงานจำนวนมากกว่า ทั้งการตัดอ้อยเพื่อเตรียมท่อนพันธุ์ปลูก และทำการปลูกให้ทันเวลา

จากภาวะปัจจุบันที่ประสบปัญหาการขาดแคลนแรงงาน และมีแนวโน้มรุนแรงมากขึ้น ทำให้มีอู่ในท้องถิ่น และโรงงานผู้ผลิตเครื่องจักรกลเกษตรหลายรายได้มีการพัฒนาเครื่องปลิดหรือสางใบอ้อยก่อนที่จะทำการตัดอ้อย เพื่อให้แรงงานคนเข้าตัดได้สะดวก ในแบบที่แตกต่างกันไปหลายแบบ แต่เครื่องที่พัฒนาสามารถสางใบอ้อยสำหรับอ้อยตัดเข้าโรงงาน ไม่สามารถใช้สางใบอ้อยสำหรับอ้อยตัดทำพันธุ์ได้ เนื่องจาก ตาอ้อยจะสูญเสียประมาณ 60-70% (อรรถสิทธิ์และคณะ, 2551) ประกอบกับการตัดอ้อยสำหรับปลูกทำพันธุ์นั้น กรมวิชาการเกษตร (2547) ได้ให้ข้อแนะนำว่า ใช้วิธีการสางใบก่อนที่จะตัดอ้อย 2 เดือนล่วงหน้า เพื่อให้แรงงานคนเข้าตัดได้สะดวก ความสะอาดจากการสางใบเพียงพอสำหรับแสงแดดส่องผ่านอากาศระบายได้ดี ต้นอ้อยมีความสมบูรณ์ ทำให้ตาอ้อยมีความสมบูรณ์มากขึ้นตามไปด้วย เมื่อนำไปตัดทำพันธุ์ปลูก อ้อยจะมีเปอร์เซ็นต์ความงอกสูงขึ้น อีกทั้งยังเป็นการช่วยกำจัดไข่และตัวอ่อนของเพลี้ยต่าง ๆ ที่เป็นศัตรูอ้อย นอกจากนี้ใบอ้อยที่ตัดสางแล้วจะคลุมดิน ทำให้เก็บความชื้นในดิน และป้องกันวัชพืชเจริญเติบโตได้ การสางใบอ้อยก่อนตัดเพื่อนำมาใช้เป็นท่อนพันธุ์จึงเป็นที่นิยมทั่วไป ส่วนใหญ่จะใช้แรงงานคนในการตัดอ้อย เนื่องจากแรงงานคนจะใช้มีดสางใบในการสาง ทำให้ตาอ้อยเสียหาย 6-10% ซึ่งเกษตรกรยอมรับสำหรับการปลูกทำพันธุ์ (อรรถสิทธิ์และคณะ, 2551)

ในปี พ.ศ. 2559 ตฤณสิทธิ์และคณะ ได้พัฒนาเครื่องสางใบอ้อย เพื่ออำนวยความสะดวกในขั้นตอนการตัดอ้อยเพื่อนำไปใช้เป็นท่อนพันธุ์ ลักษณะของเครื่องใช้กลไกแบบ Slider – Crank ทำให้ลูกตีสางใบอ้อยสามารถเคลื่อนที่ขึ้น-ลงในแนวตั้ง รวมถึงสามารถปรับรอบการหมุนของลูก

ตีสางใบอ้อยให้เหมาะสมกับแรงดึงใบอ้อยที่เปลี่ยนไปตามความสูงของอ้อย โดยใช้ต้นกำลังเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง สามารถใช้งานได้ดีกับอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่มีแรงดึงใบอ้อยต่ำที่สุด (ตฤณสิทธิ์ และคณะ, 2559) มีความสามารถในการทำงาน 0.84 ไร่/ชม. และมีอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 4.11 ล./ไร่ แต่มีข้อจำกัดบางประการ เช่นการใช้ต้นกำลังในการหมุนตีสางใบอ้อยด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ให้กำลังที่จำกัดหากใบอ้อยมีปริมาณหนาแน่นมาก จึงเป็นการใช้เพื่อการผลิตท่อนพันธุ์เฉพาะอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 และอาจมีอายุการใช้งานสั้น

การควบคุมรอบการหมุนของลูกตีสางใบอ้อยซึ่งรับภาระไม่คงที่ จะควบคุมที่วาล์วควบคุมอัตราการไหล เพื่อควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกก่อนเข้ามอเตอร์ไฮดรอลิกซึ่งใช้เป็นอุปกรณ์ขับเคลื่อนลูกตีสางใบ ระบบนี้เรียกว่า Servo Electro-hydraulic System (SEHS) ซึ่งเป็นระบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear) การหาสมการที่แม่นยำเพื่อใช้ในระบบควบคุมค่อนข้างซับซ้อน (Kwanchai, 2011) ดังนั้น ระบบควบคุมแบบฟัซซี (Fuzzy Controller) ซึ่งเป็นระบบควบคุมที่มีความคงทนต่อสภาวะการเปลี่ยนแปลงของระบบทางพลศาสตร์ และไม่ต้องกรข้อมูลที่แม่นยำ (Edge, 1997) ประกอบกับในปี พ.ศ. 2561 ตฤณสิทธิ์ และคณะ ได้นำระบบ SEHS มาใช้กับไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขา และควบคุมความถี่ในการสั่นโดยใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซีเปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบพีโอดี พบว่า ช่วงเวลา Delay Time และ Rise Time ของตัวควบคุมแบบพีโอดีน้อยกว่าตัวควบคุมแบบฟัซซี แต่ช่วงเวลา Setting Time และ Response Time ของตัวควบคุมแบบฟัซซีน้อยกว่าตัวควบคุมแบบพีโอดี ทำให้การควบคุมแบบฟัซซีใช้เวลาในการเข้าสู่ตำแหน่งอ้างอิงได้เร็วกว่าพีโอดี นอกจากนี้การควบคุมแบบพีโอดีมีค่าพุ่งเกิน (Overshoot) เกิดขึ้น แต่การควบคุมแบบฟัซซีไม่เกิดค่าพุ่งเกิน ทำให้การควบคุมระบบ SEHS โดยใช้ตัวควบคุม

แบบพีชซี จึงมีความสะดวก และเหมาะสมกับการนำมาใช้ออกแบบตัวควบคุม ดังนั้นการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องสางใบอ้อยสำหรับอ้อยตัดทำพันธุ์ ให้สามารถสางใบกับพันธุ์อ้อยที่มีแรงดึงใบสูง กาบใบแน่น ได้แก่ พันธุ์ LK92-11 อู่ทอง 84-12 K95-84 กำแพงแสน 01-12 และพันธุ์ขอนแก่น 3 และทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง เปรียบเทียบกับแรงงานคน และประสิทธิภาพการควบคุมรอบการหมุนของลูกตีสางใบอ้อยด้วยตัวควบคุมแบบพีชซี

อุปกรณ์และวิธีการ

1. โครงสร้าง และลักษณะจำเพาะของเครื่องสางใบอ้อยสำหรับอ้อยตัดทำพันธุ์

เครื่องสางใบอ้อยสำหรับอ้อยตัดทำพันธุ์ที่ออกแบบ และสร้างแสดงใน Figure 1 ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ โครงยึดต่อกับรถแทรกเตอร์แบบจุดพ่วง 3 จุดอิสระ โครงเครื่องมือ และชุดลูกตีสางใบอ้อย โดยโครงยึดต่อกับรถแทรกเตอร์เชื่อมต่อกับโครงเครื่องมือ ลูกตีสางใบอ้อยมี 2 ลูก มีลักษณะเป็นทรงกระบอกกลวง เส้นผ่านศูนย์กลาง 248 มม. ยาว 1,000 มม. วางในทิศทางขนานกับพื้น บริเวณพื้นที่ผิวติดตั้งเอ็นตัดหญ้า โดยติดตั้งห่างกัน 50 มม. สามารถถอดเปลี่ยนได้เมื่อสึกหรอ ขณะทำงานลูกตีสางใบอ้อยจะหมุนรอบแกนหมุนที่ติดตั้งอยู่บนโครงเครื่องมือ และทำเอ็นตัดหญ้าหมุนตีสางใบอ้อยลงมา ระยะห่างระหว่างลูกตีสางใบอ้อย 970 มม.

โครงเครื่องมือส่วนแรก เป็นคานในแนวขวางพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมกลวง ขนาด 100 x 110 มม. ยาว 800 มม. ส่วนที่สองเป็นเสา 2 ต้น วางในแนวตั้งทำด้วยเหล็กกล่อง ขนาด 65 x 158 มม.หนา 2 มม. สูง 1,800 มม. ประกอบเป็นจุดยึดกระบอกลูกสูบไฮดรอลิกและระบบส่งกำลัง โดยใช้โซ่ลำเลียงซึ่งยึดติดกับคานในแนวตามยาว ส่วนที่สามเป็นคานในแนวตามยาวทำด้วยเหล็กกล่อง ขนาด 65 x 158 มม. หนา 2 มม. ยาว 1,740 มม.

ประกอบเป็นคานหลักสำหรับยึดจุดหมุน และลูกตีสางใบอ้อยทั้ง 2 ลูก

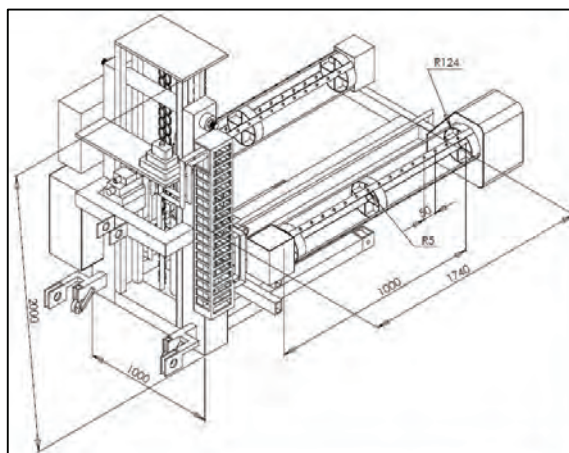


Figure 1 The isometric drawing of a Sugarcane Leaf Pruning Machine

2. การติดตั้งระบบถ่ายทอดกำลังแบบอุทกสถิต

ระบบไฮดรอลิกที่ทำการติดตั้งสำหรับการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงของลูกตีสางใบอ้อย และการหมุนของลูกตีสางใบอ้อย ดังนี้

2.1 ปั๊มไฮดรอลิกขนาด 55 มล./รอบ อัตราการไหล 119 ล./นาที่ ความเร็วรอบสูงสุด 2,500 รอบ/นาที่ ที่ความดัน 210 บาร์ จำนวน 2 ตัว โดยต่อกับเพลาอำนวยการกำลังเพื่อใช้เป็นต้นกำลัง

2.2 วาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบปรับด้วยไฟฟ้า จำนวน 2 ตัว เพื่อควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฮดรอลิก และความเร็วของกระบอกลูกสูบไฮดรอลิก

2.3 มอเตอร์ไฮดรอลิกขนาด 100 มล./รอบ แรงบิดสูงสุด 264 นิวตัน-เมตร ความเร็วสูงสุด 3,000 รอบ/นาที่ ที่ความดัน 172 บาร์ ต่อกับชุดลูกตีสางใบอ้อย เพื่อหมุนตีสางใบอ้อย

2.4 กระบอกลูกสูบไฮดรอลิกชนิดสองทิศทางหนึ่งก้านสูบ ขนาดกระบอกลูกสูบ 250 มม. ความดันใช้งาน 21 เมกกะปาสคาล ความเร็วสูงสุด 6 ม./วินาที ระยะการชักสูงสุด 3,500 มม.

2.5 ถังน้ำมันไฮดรอลิกขนาด 25 ล. ติดตั้ง

บนโครงหลังที่นึ่งคนขับ สำหรับส่งน้ำมันไฮดรอลิกไปใช้ในระบบ

2.6 วาล์วลดความดัน ติดตั้งก่อนเข้าวาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบปรับด้วยไฟฟ้า เพื่อป้องกันความเสียหายของอุปกรณ์จากความดันเกินในระบบ

2.7 อุปกรณ์ระบายความร้อนด้วยอากาศ ขนาด 250 กิโลแคลอรี/ชม. ที่อุณหภูมิ 30°ซ.

โดยต่อจากมอเตอร์ไฮดรอลิก และกระบอกสูบไฮดรอลิก เพื่อระบายความร้อนของน้ำมันหลังการใช้งาน

วงจรไฮดรอลิกสำหรับการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงของลูกดีสางใบอ้อย และการหมุนของลูกดีสางใบอ้อย ผลการติดตั้งดังแสดงใน Figure 2

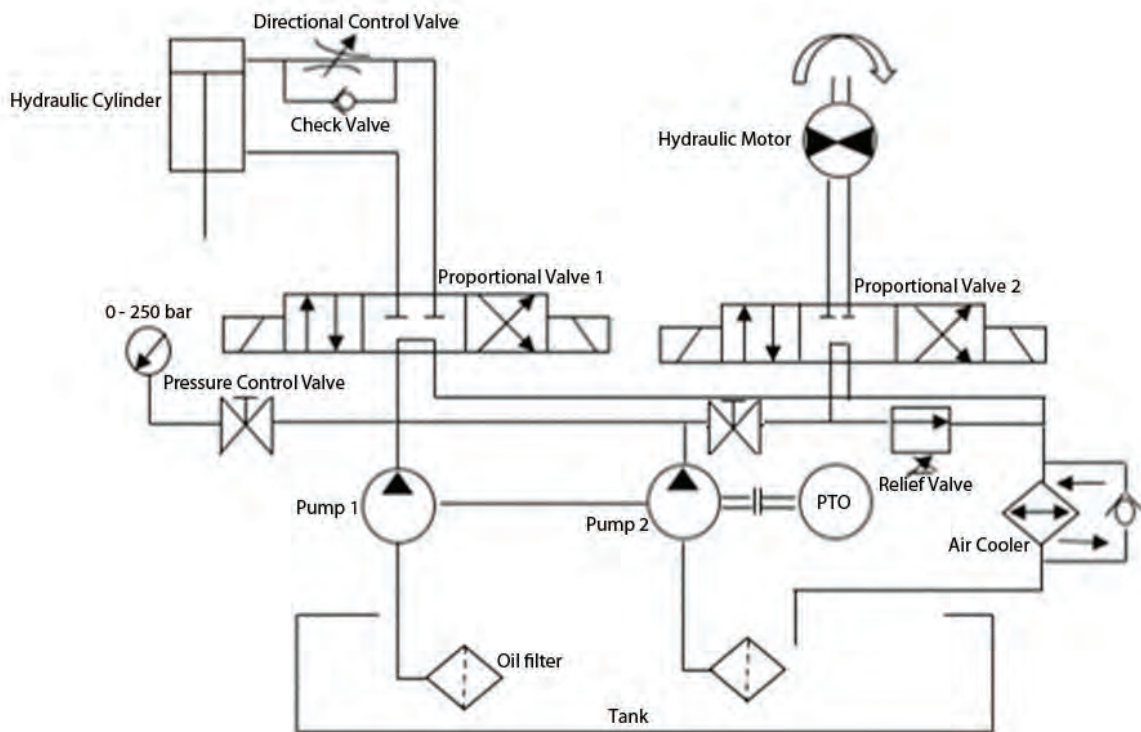


Figure 2 The schematic diagram of hydraulic system for installation on a Sugarcane Leaf-Pruning Machine

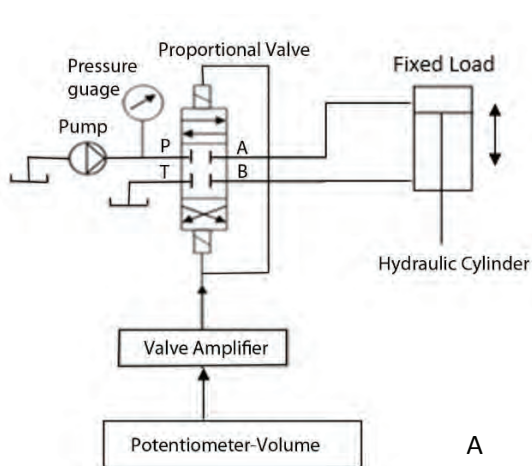
หลักการทำงานเริ่มจาก เพลลาอำนาจกำลังหมุนที่ความเร็วรอบ 540 รอบ/นาที ส่งกำลังผ่านชุดเฟือง อัตราทด 1:4 ขับปั๊มไฮดรอลิก 1 และ 2 ขนาด 55 มล./รอบ ที่ความเร็วรอบ 2,160 รอบ/นาที ดึงน้ำมันจากถังไฮดรอลิก ขนาด 25 ล. ผ่านตัวกรองน้ำมัน มีอัตราการไหลประมาณ 98 ล./นาที มีวาล์วควบคุมความดันแบบปรับด้วยมือที่ 250 บาร์ น้ำมันไฮดรอลิกถูกส่งผ่านระบบท่อไปยังวาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบปรับด้วยไฟฟ้า 1 และ 2 โดยวาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบปรับด้วยไฟฟ้า 1 จะ เปิด

หรือปิดวาล์วด้วยตัวดันทานปรับค่าได้ และต่อไปยังกระบอกสูบไฮดรอลิกซึ่งต่อกับชุดกลไกการเคลื่อนที่ของลูกดีสางใบอ้อย ทำให้ลูกดีสางใบอ้อยเคลื่อนที่ขึ้น-ลงในแนวตั้งตามความสูงของต้นอ้อย ส่วนวาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบปรับด้วยไฟฟ้า 2 จะเปิดหรือปิดวาล์วด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี (Fuzzy Controller) และต่อไปยังมอเตอร์ไฮดรอลิกขนาด 100 มล./รอบ แรงบิดสูงสุด 264 นิวตัน-เมตร ซึ่งต่อกับชุดกลไกการหมุนของลูกดีสางใบอ้อย น้ำมันที่ผ่านกระบอกสูบไฮดรอลิก และมอเตอร์ไฮดรอลิก

จะเกิดความร้อน ซึ่งแปรผันกับขนาดของภาระงาน จะถูกส่งไปยังตัวระบายความร้อนแบบพัดลมระบาย อากาศขนาด 250 กิโลแคลอรี/ชม. เพื่อระบาย ความร้อน และส่งกลับเข้าถังน้ำมันไฮดรอลิก หมุนเวียนตลอดการใช้งาน

3. ออกแบบชุดอุปกรณ์ควบคุมการหมุนของ ลูกตีสางใบอ้อย และความเร็วของกระบอกลูก ไฮดรอลิก

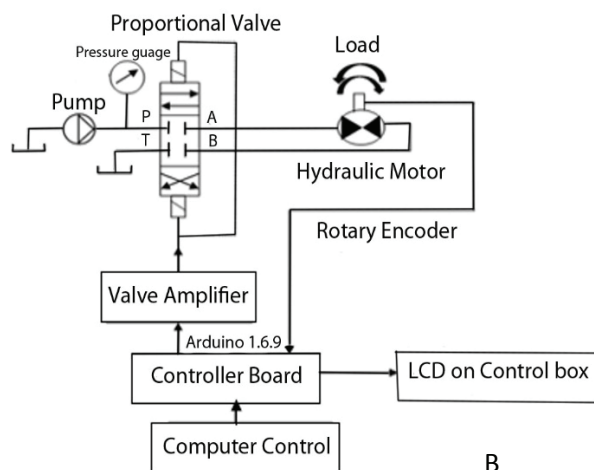
วงจรควบคุมความเร็วของกระบอกลูก ไฮดรอลิกแสดงใน Figure 3 (A) โดยกระบอกลูก ไฮดรอลิกรับภาระของโครงเครื่องมือส่วนที่สาม และลูกตีสางใบอ้อยทั้ง 2 ลูก ซึ่งเป็นภาระคงที่ให้ เคลื่อนที่ขึ้น-ลงในแนวตั้ง โดยรับน้ำมัน ไฮดรอลิก เพื่อใช้ในการถ่ายทอดกำลังจากวาล์วควบคุมอัตรา การไหล การควบคุมความเร็วของกระบอกลูก ไฮดรอลิกซึ่งรับภาระคงที่ใช้ความต้านทานปรับค่าได้ (Potentiometer-Volume) ต่อเข้ากับอุปกรณ์ ขยายสัญญาณแรงดันไฟฟ้า (Valve Amplifier) ก่อนส่งไปยังวาล์วควบคุมอัตราการไหล



A

วงจรควบคุมการหมุนของลูกตีสางใบอ้อย แสดงใน Figure 3 (B) โดยมอเตอร์ไฮดรอลิก จะขับเคลื่อนซึ่งประกอบไปด้วยชุดกลไกการตีสาง ใบอ้อย และใบอ้อย ซึ่งเป็นภาระไม่คงที่ โดยรับ น้ำมันไฮดรอลิกเพื่อใช้ในการถ่ายทอดกำลังจาก วาล์วควบคุมอัตราการไหล การหมุนของลูกตีสาง ใบจะถูกวัดที่เพลาชับลูกตีสางใบโดย Rotary Encoder ในหน่วย รอบ/นาที ไปแสดงผลที่หน้าจอ LCD ที่ตู้ควบคุม และเป็นสัญญาณป้อนกลับ

การควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก เพื่อไปควบคุมความเร็วในการหมุนขับเคลื่อนของ มอเตอร์ไฮดรอลิก โดยควบคุมที่วาล์วปรับอัตราการ ไหล เรียกระบบนี้ว่า Servo Electro-hydraulic System (SEHS) โดยควบคุมการหมุนของลูก ตีสางใบด้วยตัวควบคุมแบบพีซี ที่เขียนด้วย โปรแกรม Arduino 1.6.9 ในคอมพิวเตอร์ผ่าน บอร์ดควบคุม ซึ่งจะคำนวณสัญญาณควบคุมตาม สัญญาณสั่งงานและสัญญาณป้อนกลับ สัญญาณ สั่งงานจากบอร์ดควบคุมจะถูกขยายด้วยอุปกรณ์ ขยายสัญญาณแรงดันไฟฟ้า (Valve Amplifier) ก่อนส่งไปยังวาล์วควบคุมอัตราการไหล



B

Figure 3 (A) The schematic diagram for installation a Velocity Controller of hydraulic cylinder. **(B)** The schematic diagram for installation a Velocity Controller of hydraulic motor.

4. การออกแบบตัวควบคุมระบบ Servo Electro-hydraulic System (SEHS) โดยใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี (Fuzzy Controller)

การทำงานของระบบเริ่มจากการกำหนดค่า input อ้างอิงเป็น ความเร็ว (Vd) ระบบจะสั่งงานตามค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นค่าแรก ในขณะที่ยังไม่มีความป้อนกลับ เมื่อทำการสางไบอ้อย ตัววัดความเร็วรอบ (Rotary Encoder) จะเป็นตัวส่งค่าป้อนกลับเป็นสัญญาณความเร็ว (V) ในหน่วยรอบ/นาที มาเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง (Vd) มีค่าตั้งแต่ 0-1,000 รอบ/นาที เพื่อคำนวณหาค่าผิดพลาด (E) และอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าผิดพลาด (Ed) เป็น 2 input ไปเข้ากฎฟัซซี เพื่อเป็น output ควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้กับวาล์วควบคุมอัตราการ

ไหล (U_{Fuzzy}) ถ้าค่าป้อนกลับมากกว่าค่าอ้างอิง ทำให้ค่าผิดพลาดมีค่าเป็นลบ ดังนั้นแรงดันไฟฟ้า output จะลดลง ถ้าค่าป้อนกลับน้อยกว่าค่าอ้างอิง จะทำให้ค่าผิดพลาดมีค่าเป็นบวก ดังนั้นแรงดันไฟฟ้า output จะเพิ่มขึ้น โดยที่

- Vd = ค่า input อ้างอิง
- E = ค่าผิดพลาดของความเร็วรอบการหมุนของลูกตีสางไบ
- = Vd - V
- Ed = อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าผิดพลาดความเร็วรอบการหมุนของลูกตีสางไบ
- U_{Fuzzy} = เอาต์พุตในการเปิดปิด Proportional Valve โดยใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี

การทำงานของระบบโดยรวม ดังแสดงใน

Figure 4

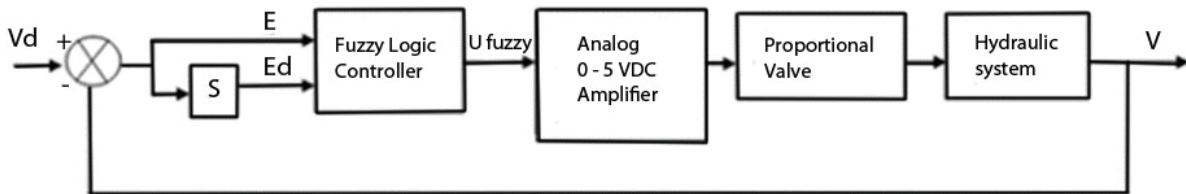


Figure 4 Block diagram for fuzzy controller with a proportional valve

การออกแบบฟังก์ชันสมาชิก (membership function) ของ input ทั้งสองตัว คือค่าความ

ผิดพลาด E และค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด Ed ดังแสดงใน Figure 5

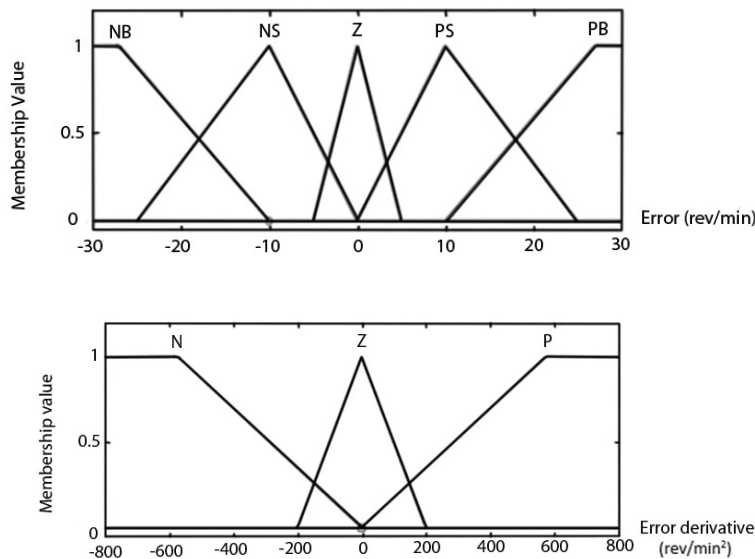


Figure 5 Design the membership function of Input signal in Velocity loop

กฎที่ใช้ในการควบคุมฟัซซีลอจิกของความเร็วยรอบการหมุนของลูกตุ้มสองใบ และแรงดันไฟฟ้ามีรายละเอียดดังแสดงใน Table 1

Table 1 Rules of the fuzzy control in velocity loop

Error \ dError	dError		
	N	Z	P
NB	NB	NB	Z
NS	NB	NS	PM
Z	NM	Z	PB
PS	NS	PS	PB
PB	Z	PB	PB

When : NB = Negative Big PS = Positive Small Z = Zero
 NM = Negative Medium PM = Positive Medium
 NS = Negative Small PB = Positive Big

การออกแบบฟังก์ชันสมาชิก output ให้เป็นสัญญาณสั่งงาน U_{Fuzzy} โดยใช้ทฤษฎีจุดศูนย์กลาง (Center of Gravity; COG) ดังแสดงใน Figure 6

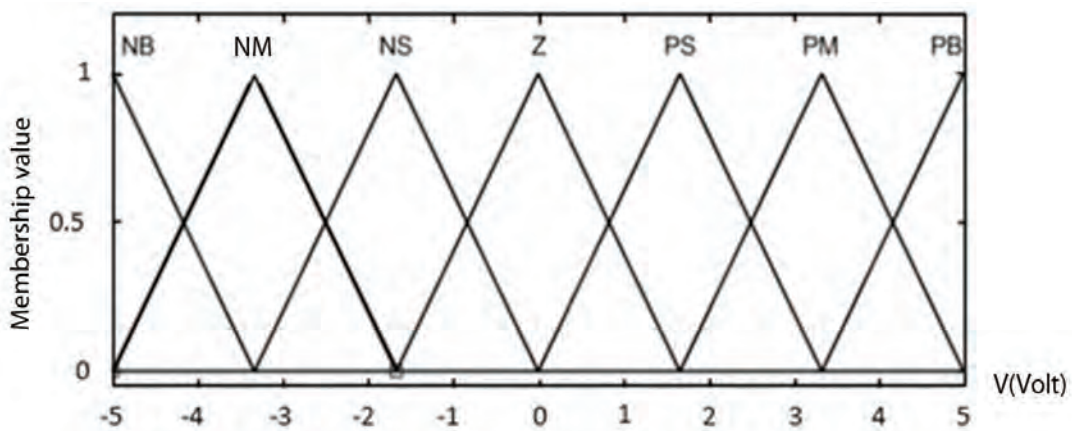


Figure 6 Design the membership function of output signal in velocity loop

5. ทดสอบความสามารถในการทำงานของเครื่องสางใบอ้อยสำหรับอ้อยตัดทำพันธุ์โดยใช้ระบบไฮดรอลิก

ทำการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสางใบอ้อยที่พัฒนาขึ้นมาที่ อ.สีคิ้ว จ.นครราชสีมา อ้อยทั้ง 5 พันธุ์ ที่ทดสอบ ได้แก่ พันธุ์ LK92-11, ขอนแก่น 3, อู่ทอง 84-12, K95-84 และกำแพงแสน 01-12 ซึ่งเป็นอ้อยปลูกใหม่ อายุ 11 เดือน ในการ

ทดสอบเครื่องสางใบอ้อยในโครงการวิจัยนี้ จะให้เกษตรกรชาวไร่อ้อยที่มีความชำนาญในการตัดอ้อยทำพันธุ์ จำนวน 30 ราย ใน อ.สีคิ้ว จ.นครราชสีมา ตัวแทนของโรงงานน้ำตาลพิมาย และนักวิชาการเกษตรของสถาบันวิจัยและพัฒนาการเกษตร จ.นครราชสีมา ร่วมกันพิจารณาด้วย

5.1 ทำการเก็บข้อมูล ความสูง, เส้นรอบวงลำ, เส้นผ่านศูนย์กลางลำ, ปริมาณใบอ้อยที่ได้จากการ

แสงใบ แรงดึงใบอ่อน และรอบการหมุนของลูกดีแสงใบอ่อนที่ทำให้ตาอ่อน และลำอ่อนเสียหายน้อยที่สุด ประกอบด้วย

5.1.1 วัดแรงดึงใบอ่อน โดยใช้เครื่องชั่งสปริงแบบดิจิทัลขนาด 15 กก. ดึงทั้งใบและกาบใบออกในทิศทางตามแนวตั้ง โดยสุมต้นอ่อนในแปลงปลูกจำนวน 4 ต้น/พันธุ์ แล้วทำการวัดแรงดึงใบทุกใบในแต่ละช่วงความสูงของอ่อนแต่ละต้น จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงใบกับความสูง

5.1.2 วัดปริมาณใบอ่อนที่ได้จากการแสงใบในพื้นที่ขนาด 3x3 ตร.ม. ทำการแสงใบอ่อนโดยใช้มีดแสงใบ แล้วนำใบอ่อนไปชั่งที่เครื่องชั่งขนาด 50 กก. จำนวน 4 ครั้ง/พันธุ์ จากนั้นเปรียบเทียบข้อมูลในหน่วยไร่

5.1.3 ทดสอบรอบการหมุนของลูกดีแสงใบอ่อนที่ 600, 650, 700, 750 และ 800 รอบ/นาที่ในแต่ละช่วงความสูงของอ่อนแบ่งเป็น 3 ช่วง คือ 0 - 100 ซม. 100 - 200 ซม. และ มากกว่า 200 ซม. ตามลำดับ พื้นที่ทดสอบขนาด 1.5 x 1 ตร.ม. ทำการทดสอบ 3 ครั้ง/รอบการหมุน กำหนดให้ความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของลูกดีแสงใบ 0.5 ม./วินาที และทิศทางการหมุนของลูกดีแสงใบหมุนติขึ้น โดยให้รถแทรกเตอร์ไม่เคลื่อนที่ขณะทำการทดสอบ ภายหลังจากการทดสอบในแต่ละครั้งตรวจและบันทึกความเสียหายของตาอ่อน และลำอ่อนซึ่งต้องอยู่ในสภาพดี ไม่มีความเสียหาย รวมถึงความสะอาดในการแสงใบอ่อน ความหมายคือโคนอ่อนต้องสะอาด ใบแห้งควรหลุดออกจากลำทั้งหมด สำหรับกรณีแสงใบเพื่อตัดอ่อนทำพันธุ์นั้น ถ้ามีกาบใบหุ้มตาอ่อนอยู่ โดยที่ตาอ่อนและลำอ่อนไม่เสียหาย และใบแห้งหลุดออกทั้งหมด ถือว่าสะอาดเพียงพอในการตัดทำพันธุ์ได้

5.2 การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องแสงใบอ่อน

กำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์โดยใช้เกียร์ Low 2 ซึ่งเป็นความเร็วใช้งานปกติของเกษตรกร ความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของลูกดีแสงใบ 0.5 ม./วินาที ทิศทาง

การหมุนของลูกดีแสงใบหมุนติขึ้น ความสูงในการแสงใบ 3.5 ม. และกำหนดความเร็วรอบการหมุนของลูกดีแสงใบอ่อนของอ่อนทั้ง 5 พันธุ์ ตามผลการทดสอบในข้อ 5.1.3 ทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ทั้งหมด 3 ครั้ง/พันธุ์อ่อนขนาดแปลงทดสอบ 1.5 x 20 ตร.ม. สำหรับการทดสอบความสามารถในการทำงานของเครื่องจักรเชิงทฤษฎี ขนาดแปลงทดสอบ 20 x 40 ตร.ม. สำหรับความสามารถในการทำงานของเครื่องจักรจริง รถแทรกเตอร์ที่ใช้ทดสอบยี่ห้อ Kubota รุ่น B2440 ขนาด 25 แรงม้า

5.3 การทดสอบความสามารถในการแสงใบอ่อน โดยใช้แรงงานคนจำนวน 5 คน เป็นผู้ชาย 3 คน หญิง 2 คน ใช้มีดแสงใบในการแสง แปลงทดสอบเป็นแปลงเดียวกับที่ทดสอบเครื่องแสงใบอ่อนขนาดแปลงทดสอบ 20 x 40 ตร.ม. ทดสอบทั้งหมด 3 ครั้ง/พันธุ์อ่อน

5.4 ตรวจและบันทึกความเสียหายของตาอ่อนและลำอ่อน ในพื้นที่ขนาด 1.5 x 10 ตร.ม. ภายหลังจากการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องแสงใบอ่อน และความสามารถในการแสงใบโดยใช้แรงงานคน ทั้งหมด 3 ครั้ง/พันธุ์อ่อน และสุมลำอ่อนจากการทดสอบจำนวน 20 ลำ/ครั้ง มาทำการเพาะตาอ่อนลงในอุปกรณ์ปลูกเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความงอกของอ่อน

5.5 การทดสอบความสามารถของตัวควบคุมพีซีลจิก กระทำโดยการควบคุมความเร็วรอบการหมุนของลูกดีแสงใบอ่อนของอ่อนทั้ง 5 พันธุ์ ตามผลการทดสอบในข้อ 5.1.3 โดยกำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ที่เกียร์ Low 2 ความเร็ว 2.09 กม./ชม. ความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของลูกดีแสงใบ 0.5 ม./วินาที และทิศทางการหมุนของลูกดีแสงใบหมุนติขึ้น

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ปริมาณใบอ่อนที่ได้จากการแสงใบ แรงดึงใบอ่อน และรอบการหมุนของลูกดีแสงใบอ่อนที่ทำให้ตาอ่อน และลำอ่อนเสียหายน้อยที่สุด

ค่าเฉลี่ยความสูง เส้นรอบวงลำ เส้นผ่านศูนย์กลางลำ และปริมาณใบอ้อยจากการสางใบของอ้อยทั้ง 5 พันธุ์ แสดงใน Table 2 โดยอ้อยพันธุ์ K95-84 มีความสูง เส้นรอบวงลำ และเส้นผ่านศูนย์กลางลำสูงที่สุด ส่วนปริมาณใบอ้อยจากการสางใบของอ้อยพันธุ์ LK92-11 มีปริมาณมากที่สุด

เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่แตกกอมาก ส่วนความล้มพันระหว่างความสูง และแรงดึงใบแสดงใน Figure 7 โดยแรงดึงใบอ้อยของอ้อยทั้ง 5 พันธุ์ มีค่าเพิ่มขึ้นตามความสูง และอ้อยแต่ละพันธุ์มีแรงดึงใบอ้อยแตกต่างกัน อ้อยพันธุ์ LK92-11 มีแรงดึงใบอ้อยสูงสุด ขณะที่อ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 มีแรงดึงใบอ้อยต่ำสุด

Table 2 The physical property of LK92-11, Khon Kaen 3, Uthong 84-12, K95-84 and Kamphaeng Saen 01-12 sugarcane cultivars and the quantity of sugarcane leaves

Sugarcane cultivars	Height of sugarcane* (m)	Diameter of stalk (cm)	Periphery of stalk (cm)	Quantity of sugarcane leaves (kg/rai)
LK92-11	2.31	3.43	9.95	1,500.34
Khon Kaen 3	2.54	3.25	10.23	1,254.75
Uthong 84-12	2.42	3.40	10.45	1,102.33
K95-84	2.93	4.30	12.00	1,196.30
Kamphaeng Saen 01-12	2.34	3.35	10.45	1,167.66

* Average of 4 replications

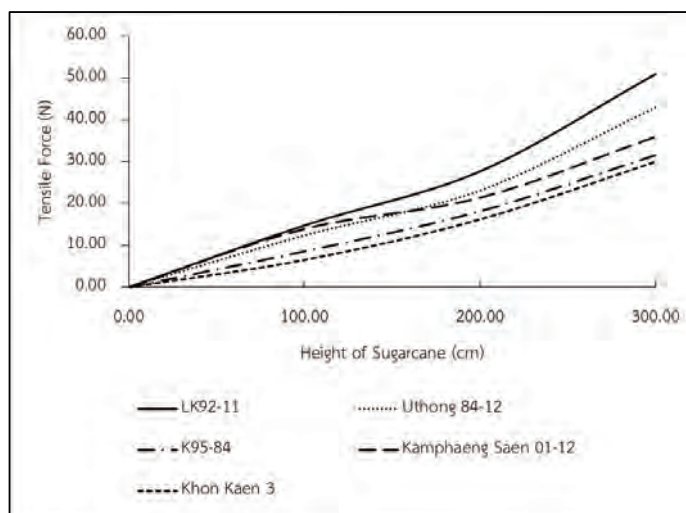


Figure 7 Relationship between the tensile force of leaf and height of sugarcane

ค่าเฉลี่ยความเสียหายของตาอ้อย และลำอ้อย รวมถึงความสะอาดในการสางใบ (Figure 8) จากรอบการหมุนของลูกตีสางใบในแต่ละช่วงความสูงของอ้อยทั้ง 5 พันธุ์ แสดงใน Table 3 เมื่อพิจารณาจากความสะอาดในการสางใบ ความเสียหายของตาอ้อย และลำอ้อยตามลำดับพบว่า อ้อยพันธุ์ LK92-11 และ กำแพงแสน 01-12

ในช่วงความสูงของอ้อย 0-100 ซม. และ 100-200 ซม. ใช้รอบลูกตีสางใบ 650 รอบ/นาที่ และ 700 รอบ/นาที่ ตามลำดับ และในช่วงความสูงของอ้อยมากกว่า 200 ซม. ขึ้นไป อ้อยพันธุ์ LK92-11 ใช้รอบลูกตีสางใบ 750 รอบ/นาที่ แต่พันธุ์กำแพงแสน 01-12 ใช้รอบต่ำลงมาเป็น 700 รอบ/นาที่ ส่วนอ้อยทั้ง 3 พันธุ์ คือ อู่ทอง 84-12, K95-84

และขอนแก่น 3 ใช้รอบลูกดีสาบใบอ้อยเท่ากัน ในช่วงความสูงของอ้อย 0–100 ซม. 100–200 ซม. และมากกว่า 200 ซม. ขึ้นไป ใช้รอบลูกดีสาบใบ 600 รอบ/นาที่ 650 รอบ/นาที่ และ 700 รอบ/นาที่ ตามลำดับ โดยรอบลูกดีสาบใบที่เลือกใช้ในแต่ละ

ช่วงความสูงของอ้อยแต่ละพันธุ์มีค่าเฉลี่ยความเสียหายของตาอ้อยไม่เกิน 2 ตา ค่าเฉลี่ยความเสียหายของลำอ้อยไม่เกิน 1 ลำ และอ้อยมีความสะอาดเพียงพอสำหรับแรงงานคนเข้าไปตัดเพื่อใช้เป็นท่อนพันธุ์ปลูก

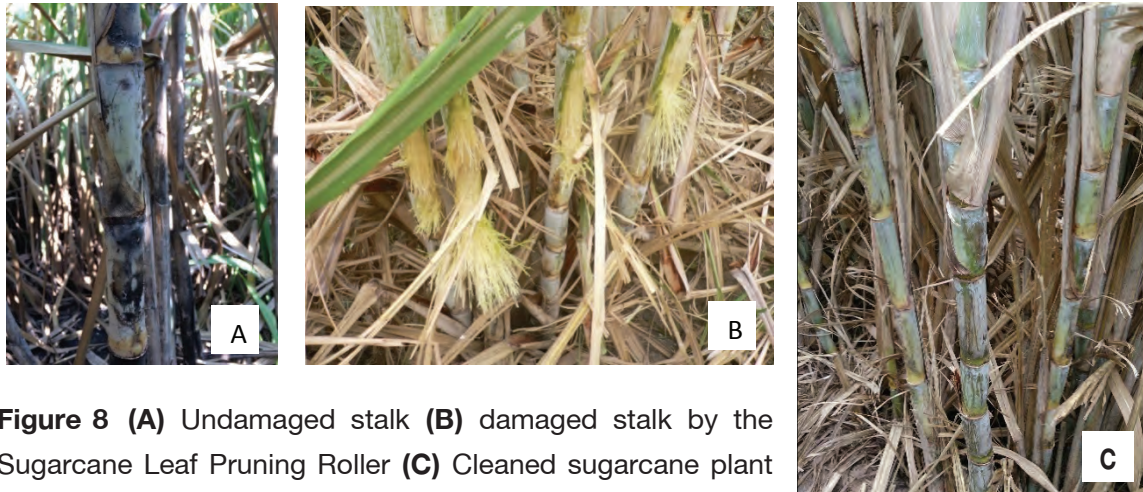


Figure 8 (A) Undamaged stalk **(B)** damaged stalk by the Sugarcane Leaf Pruning Roller **(C)** Cleaned sugarcane plant for seed cane of next planting

แรงดึงใบอ้อย และปริมาณใบของอ้อยแต่ละพันธุ์ส่งผลต่อรอบการหมุนของลูกดีสาบใบ เมื่อแรงดึงใบอ้อย และปริมาณใบอ้อยเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้รอบลูกดีสาบใบเพิ่มสูงขึ้นเพื่อสาบใบอ้อยออกทั้งหมด อ้อยพันธุ์ LK92-11 และ กำแพงแสน 01-12 มีแรงดึงใบสูงกว่าอ้อยพันธุ์อู่ทอง 84-12, K95-84 และขอนแก่น 3 ทำให้ใช้รอบลูกดีสาบใบสูงกว่า แต่ช่วงยอดของอ้อยพันธุ์กำแพงแสน 01-12 มีแรงดึงใบต่ำลง ดังนั้น รอบลูกดีสาบใบลดต่ำลง ส่วนอ้อยพันธุ์อู่ทอง 84-12, K95-84 และขอนแก่น 3 ถึงแม้ว่าแรงดึงใบอ้อย และปริมาณใบอ้อยมีค่าแตกต่างกัน แต่อ้อยทั้ง 3 พันธุ์ ใช้รอบลูกดีสาบใบเท่ากัน Table 3

2. การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องสาบใบอ้อย

ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ความสามารถในการทำงานของเครื่องจักรเชิงทฤษฎี ความสามารถในการทำงานของเครื่องจักรจริง อัตราการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง และอัตราการสิ้นเปลือง ของอ้อยทั้ง 5 พันธุ์ แสดงใน Table 4 โดยความสามารถในการ

ทำงานขึ้นอยู่กับความเร็วของรถแทรกเตอร์ เมื่อใช้ความเร็วรถแทรกเตอร์ 2.09 กม./ชม. ความสามารถในการทำงานของเครื่องกับอ้อยทั้ง 5 พันธุ์ แตกต่างกันเนื่องจากอัตราการสิ้นเปลือง ถ้าอัตราการสิ้นเปลืองสูงส่งผลให้ความสามารถในการทำงานลดลง อัตราการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงสูงขึ้น ถึงแม้ว่าแปลงทดสอบเป็นแปลงเดียวกันแต่บางพื้นที่มีหลุม น้ำท่วมขัง ดินมีลักษณะเป็นเลน ส่งผลให้อัตราการสิ้นเปลืองสูงกว่าบริเวณที่มีพื้นที่ราบเรียบ และดินแห้งกว่า ส่วนใบอ้อยซึ่งเป็นภาระ (Load) จะอยู่ด้านข้างของรถแทรกเตอร์ขณะที่เครื่องสาบใบอ้อยทำงาน อ้อยบางส่วนที่แตกออกจะถูกการ์ดป้องกันต้นอ้อยซึ่งติดตั้งอยู่ด้านหน้าของรถแทรกเตอร์ดันออก จึงไม่ส่งผลต่อความเร็วของรถแทรกเตอร์ และไม่ส่งผลต่อความสามารถในการทำงานของเครื่อง เมื่อคิดค่าเฉลี่ยของอ้อยทั้ง 5 พันธุ์ ความสามารถในการทำงานของเครื่องจักรจริง 1.88 ไร่/ชม. ประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ 69.97% และมีอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 2.36 ล./ไร่

Table 3 Efficacy of developed Sugarcane Leaf Pruning Machine with various revolution of the rollers on damage of seed bud, damage of stalk and cleanness of sugarcane plant of different cultivars

Sugarcane cultivars	Height of sugarcane (cm)	Revolution of the rollers (rev/min)														
		600			650			700			750			800		
		S	T	P	S	T	P	S	T	P	S	T	P	S	T	P
LK92-11	0 - 100	1	0	NC	1	0	C	4	0	C	7	1	C	9	2	C
	100 - 200	0	0	NC	1	0	NC	2	0	C	6	1	C	7	2	C
	> 200	0	0	NC	0	0	NC	1	0	NC	1	0	C	5	2	C
Khon Kaen 3	0 - 100	2	0	C	3	1	C	5	2	C	9	2	C	13	3	C
	100 - 200	1	0	NC	2	1	C	4	1	C	7	2	C	9	3	C
	> 200	0	0	NC	1	0	NC	2	0	C	5	2	C	8	2	C
Uthong 84-12	0 - 100	1	0	C	2	1	C	3	1	C	6	2	C	9	3	C
	100 - 200	0	0	NC	1	0	C	2	1	C	4	2	C	7	3	C
	> 200	0	0	NC	0	0	NC	1	0	C	3	2	C	5	2	C
K95-84	0 - 100	2	0	C	3	1	C	5	2	C	8	2	C	9	3	C
	100 - 200	1	0	NC	2	0	C	3	1	C	7	2	C	8	3	C
	> 200	0	0	NC	1	0	NC	2	1	C	4	2	C	6	2	C
Kamphaeng	0 - 100	1	0	NC	2	0	C	4	0	C	8	2	C	10	2	C
Saen 01-12	100 - 200	0	0	NC	1	0	NC	2	0	C	5	2	C	8	2	C
	> 200	0	0	NC	0	0	NC	1	0	C	2	2	C	6	2	C

Note: S = The average damage of seed bud (piece), T = The average damage of stalk (piece),
P = Cleanness of sugarcane plant, C = Sufficient cleanness for planting,
NC = Insufficient cleanness for planting

Table 4 Results of testing performance, fuel consumption and slip

Sugarcane cultivars	Effective field capacity (rai h ⁻¹)	Theoretical field capacity (rai h ⁻¹)	Field efficiency (%)	Fuel consumption (L rai ⁻¹)	Slip (%)
LK92-11	1.86	2.63	70.72	2.42	3.26
Khon Kaen 3	1.90	2.70	70.37	2.31	2.88
Uthong 84-12	1.87	2.69	69.52	2.38	3.08
K95-84	1.89	2.71	69.74	2.33	2.90
Kamphaeng Saen 01-12	1.87	2.69	69.52	2.36	3.02

ค่าเฉลี่ยความเสียหายของตาอ้อย และลำอ้อย รวมถึงเปอร์เซ็นต์ความงอกของอ้อย ทั้ง 5 พันธุ์จากการสางใบโดยใช้เครื่อง พบว่า ลำต้นอ้อยเสียหายเฉลี่ย 3.41% ตาอ้อยเสียหายเฉลี่ย 1.28% และเปอร์เซ็นต์ความงอกของอ้อยเฉลี่ย 68.57% เปรียบเทียบกับแรงงานคน พบว่า ความเสียหายของตาอ้อยสูงกว่า 0.03% และความเสียหายของลำอ้อยสูงกว่า 0.70% ส่วน

เปอร์เซ็นต์ความงอกของอ้อยต่ำกว่า 0.85% แสดงใน (Table 5) เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ความเสียหายของตาอ้อยและลำอ้อย รวมถึงเปอร์เซ็นต์ความงอกของอ้อยทั้ง 5 พันธุ์ จากการสางใบโดยใช้เครื่อง และแรงงานคนไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% นอกจากนี้ ความเสียหายของตาอ้อย ลำอ้อย และความสะอาดในการสางใบ เกษตรกร ตัวแทนของโรงงานน้ำตาล และนักวิชาการเกษตรยอมรับได้

ส่วนความสามารถในการสางใบอ้อยโดยใช้แรงงานคนของอ้อยทั้ง 5 พันธุ์แสดงใน Table 6 ค่าจ้างแรงงานคนในการสางใบสำหรับตัดอ้อยทำพันธุ์ไร่ละ 70 บาท/คน เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการทำงานกับเครื่องสางใบอ้อย โดยทำงาน 8 ชม./วัน เท่ากัน และค่าใช้จ่ายจากคนขับรถแทรกเตอร์รวมกับค่าเช่ารถแทรกเตอร์ขนาด 25 แรงม้า วันละ 650 บาท พบว่า เครื่องสางใบได้งานมากกว่าแรงงานคนเฉลี่ย 8.56 ไร่/วัน และมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าเฉลี่ย 650 บาท/วัน

เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ความสามารถในการทำงาน และค่าใช้จ่ายต่อวันของเครื่องมีความแตกต่างจากการใช้แรงงานคนที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เครื่องสางใบอ้อยต้นแบบมีราคา 134,000 บาท และค่าจ้างสางใบอ้อยสำหรับอ้อยตัดทำพันธุ์ 300 บาท/ไร่ เมื่อวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์ด้วยวิธีวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเครื่องกลของวุฒิชัย (2533) เครื่องสางใบอ้อยต้นแบบมีจุดคุ้มทุนที่ 175.61 ไร่ แสดงใน Figure 9

Table 5 Comparison the work quality between developed prototype and human labors on seed bud and stalk damage and germination percentage of sugarcane seed bud

Sugarcane cultivars	Seed bud's damage (%)		Seed bud (piece)	Stalk's damage (%)		Stalk (piece)	Germination percentage (%)		Seed bud (piece)
	human labors	prototype		human labors	prototype		human labors	prototype	
LK92-11	1.40	1.44	2,675	2.74	3.16	158	63.30	62.56	511
Khon Kaen 3	1.09	1.12	2,897	3.17	4.36	168	67.20	66.18	557
Uthong 84-12	1.20	1.24	2,509	2.71	3.54	160	75.70	74.95	492
K95-84	1.24	1.28	2,989	2.04	2.80	131	70.20	69.24	622
Kamphaeng Saen 01-12	1.31	1.33	2,602	2.87	3.20	174	70.72	69.91	531
Mean	1.25	1.28		2.71	3.41		69.42	68.57	
T-test	0.46 ^{ns}			2.19 ^{ns}			0.29 ^{ns}		

Note: * = NS = not significant

Table 6 Comparative cost of labors and the prototype for sugarcane leaf pruning

Sugarcane cultivars	Performance of human labors (rai h ⁻¹)	Performance of prototype (rai h ⁻¹)	Cost of fuel and tractor (Bath day ⁻¹)	Cost of human labors (Bath day ⁻¹)
LK92-11	0.77	1.86	1,581	2,156
Khon Kaen 3	0.85	1.90	1,601	2,380
Uthong 84-12	0.79	1.87	1,631	2,212
K95-84	0.83	1.89	1,617	2,324
Kamphaeng Saen 01-12	0.80	1.87	1,631	2,240
Mean	0.81	1.88	1,612	2,262
T-test	66.62 [*]		15.81 [*]	

Note: * = significant at 5% level,

The prices of diesel oil was 27.09 Bath (12 December 2017)

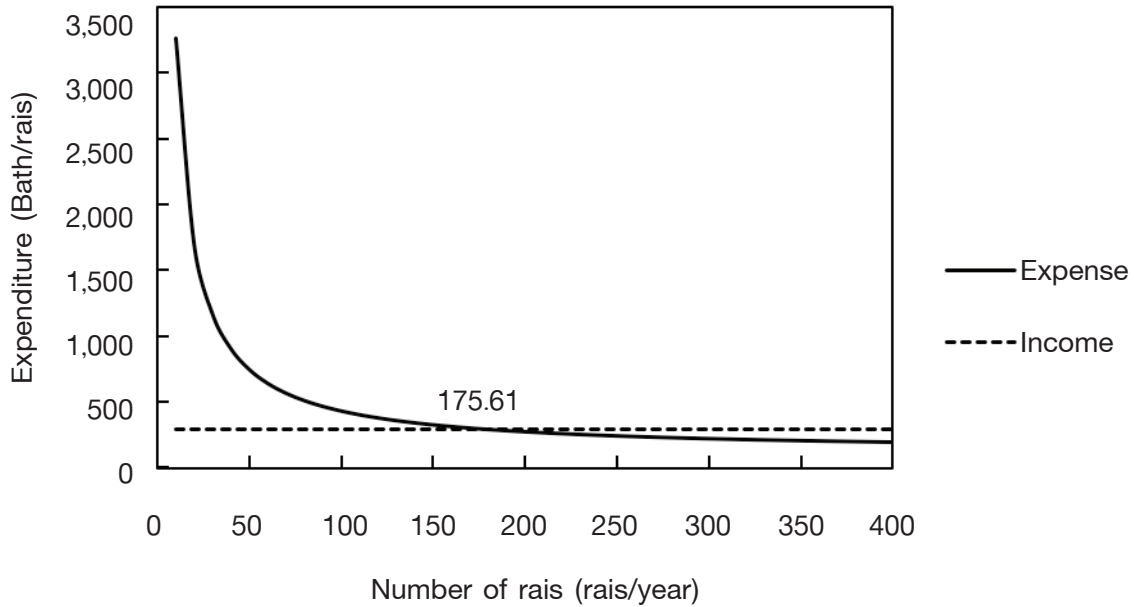


Figure 9 The break beven point of a Sugarcane Leaf Pruning Machine

3. การทดสอบความสามารถของตัวควบคุมพีชชีลอจิก

ระบบ SEHS สำหรับชุดลูกตีแสงใบอ้อยที่ออกแบบมาง่ายต่อการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบการหมุน โดยป้อนความเร็วรอบที่ต้องการผ่านบอร์ดควบคุม ความสามารถของตัวควบคุมพีชชีลอจิก ได้จากผลตอบสนองความเร็วรอบการหมุนของลูกตีแสงใบกับเวลาขณะที่ลูกตีแสงใบหมุนตีใบอ้อยลงมา เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ Input Setpoint

3.1 ผลตอบสนองความเร็วรอบการหมุนของลูกตีแสงใบของอ้อยพันธุ์ LK92-11

กำหนดให้ความเร็วรอบการหมุนของลูกตีแสงใบ Input Setpoint ที่ป้อนเข้าไปในโปรแกรมควบคุมแบบพีชชีเป็นความเร็วขั้นบันได ผลตอบสนองระหว่างความเร็วรอบกับเวลา พบว่าความเร็วรอบเริ่มหมุนจาก 0 รอบ/นาที จนถึง 650 รอบ/นาที ใช้ช่วงเวลา Response Time = 1.4 วินาที ช่วงเวลา Delay Time = 0.3 วินาที ช่วงเวลา Rise Time = 0.1 วินาที และช่วงเวลา Setting Time = 0.8 วินาที เกิดค่าพุ่งเกิน (Overshoot) ขึ้น 1.54% ของค่าอ้างอิงแสดงใน

Figure 10 (A) และค่าความผิดพลาดแสดงใน Figure 10 (B)

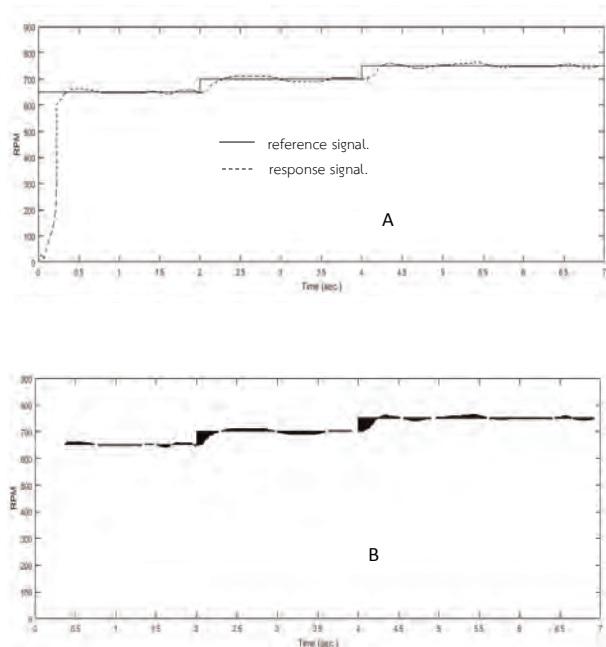


Figure 10 Response of LK92-11 sugarcane cultivar for the revolution of the rollers (A) and error (B) compare with the reference signal

3.2 ผลตอบสนองความเร็รรอบการหมุนของ ลูกตีแสงใบของอ้อยพันธุ์ อุ๋ทอง 84-12 K95-84 และพันธุ์ขอนแก่น 3

เนื่องจากอ้อยพันธุ์อุ๋ทอง 84-12, K95-84 และพันธุ์ขอนแก่น 3 ใช้รอบการหมุนของลูกตีแสงใบกับช่วงความสูงเท่ากัน กำหนดให้ความเร็รรอบการหมุนของลูกตีแสงใบ Input Setpoint ที่ป้อนเข้าไปในโปรแกรมควบคุมแบบพีซีเป็นความเร็วขั้นบันได ผลตอบสนองระหว่างความเร็รรอบกับเวลา

พบว่า ความเร็รรอบเริ่มหมุนจาก 0 รอบ/นาที จนถึง 600 รอบ/นาที ใช้ช่วงเวลา Response Time = 1.4 วินาที ช่วงเวลา Delay Time = 0.3 วินาที ช่วงเวลา Rise Time = 0.2 วินาที และ ช่วงเวลา Setting Time = 0.6 วินาที เกิดค่าพุ่งเกิน (Overshoot) ขึ้น 0.83% ของค่าอ้างอิงแสดงใน Figure 11 (A) และค่าความผิดพลาดแสดงใน Figure 11 (B)

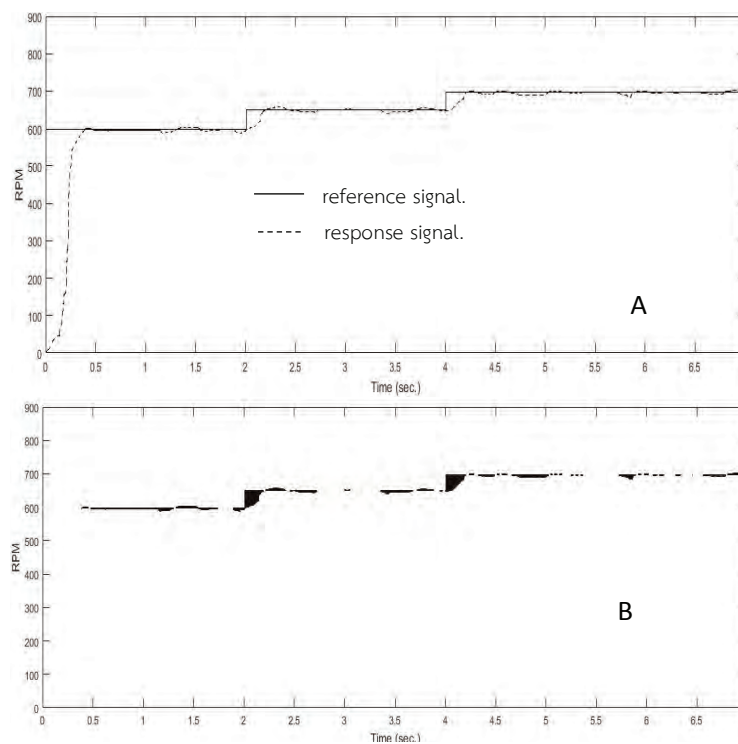


Figure 11 Response of Uthong 84-12, K95-84 and Khon Kaen 3 sugarcane cultivars for the revolution of the rollers (A) and error (B) compare with the reference signal

3.3 ผลตอบสนองความเร็รรอบการหมุนของ ลูกตีแสงใบของอ้อยพันธุ์ กำแพงแสน 01-12

กำหนดให้ความเร็รรอบการหมุนของลูกตีแสงใบ Input Setpoint ที่ป้อนเข้าไปในโปรแกรมควบคุมแบบ พีซีเป็นความเร็วขั้นบันได ผลตอบสนองระหว่างความเร็รรอบกับเวลา พบว่า ความเร็ว

รอบเริ่มหมุนจาก 0 รอบ/นาที จนถึง 650 รอบ/นาที ใช้ช่วงเวลา Response Time = 0.5 วินาที ช่วงเวลา Delay Time = 0.3 วินาที ช่วงเวลา Rise Time = 0.2 วินาที และช่วงเวลา Setting Time = 0.4 วินาที ไม่เกิดค่าพุ่งเกิน (Overshoot) ขึ้น แสดงใน Figure 12 (A) และค่าความผิดพลาดแสดงใน Figure 12

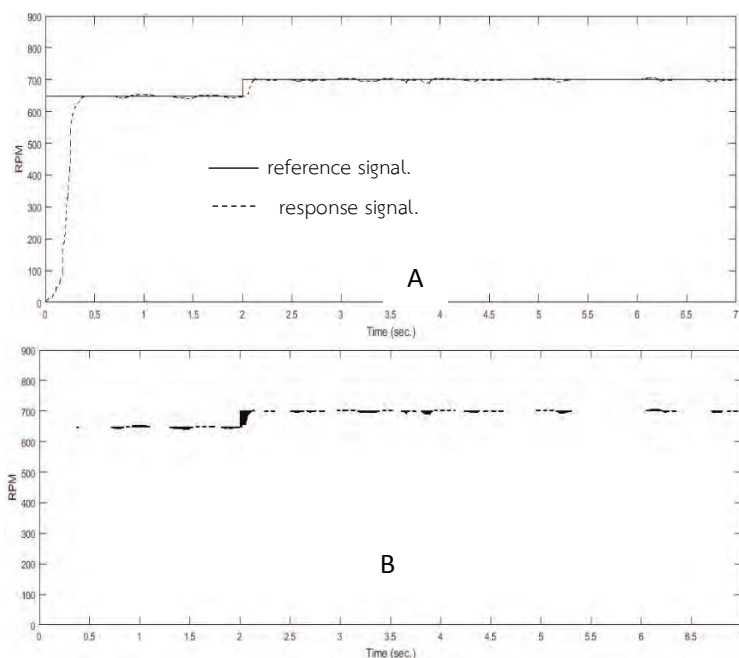


Figure 12 Response of Kamphaeng Saen 01-12 sugarcane cultivar for the revolution of the rollers (A) and error (B) compare with the reference signal

ผลตอบสนองที่เข้าสู่ตำแหน่งอ้างอิง (Steady-state) ได้รวดเร็ว ไม่เกิดค่าฟุงเกิน และมีค่าความผิดพลาดน้อย ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการสางใบของเครื่องสางใบเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากค่า Input Setpoint ที่เป็นความเร็วขั้นบันไดเป็นค่าความเร็วรอบของลูกตีสางใบที่ทำให้ตาอ้อยและลำอ้อยมีความเสียหายน้อยที่สุด รวมถึงอ้อยมีความสะอาดเพียงพอในการตัดทำพันธุ์ เมื่อผลตอบสนองที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่า Input Setpoint ความเสียหายของตาอ้อย ลำอ้อย และความสะอาดเพียงพอในการตัดทำพันธุ์ของเครื่องสางใบที่มีตัวควบคุมรอบการหมุนในการสางใบด้วยตัวควบคุมแบบพีซี จึงมีค่าไม่แตกต่างจากการใช้แรงงานคน

สรุปผลการทดลอง

เครื่องสางใบอ้อยแบบใช้ระบบถ่ายทอดกำลังอุทกสถิตสามารถสางใบอ้อยพันธุ์ LK92-11 อู๋ทอง 84-12, K95-84 กำแพงแสน 01-12 และพันธุ์ขอนแก่น 3 สำหรับตัดทำพันธุ์ได้ทั้งหมด โดยอ้อยทั้ง 5 พันธุ์ เป็นอ้อยปลูกใหม่ อายุ 11 เดือน มีประสิทธิภาพในการทำงาน ดังนี้

1. เมื่อใช้ความเร็วแทรกเตอร์ 2.09 กม/ชม. ความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของลูกตีสางใบ 0.5 ม./วินาที ทิศทางการหมุนของลูกตีสางใบหมุนตีขึ้น ความสูงในการสางใบ 3.5 ม. ลำต้นอ้อยเสียหายเฉลี่ย 3.41% ตาอ้อยเสียหายเฉลี่ย 1.28% ความงอกของอ้อยเฉลี่ย 68.57% ความสามารถในการทำงานของเครื่องจักรจริง 1.88 ไร่/ชม. ประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ 69.97% และมีอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 2.36 ล./ไร่ อ้อยมีความสะอาดเพียงพอให้แรงงานเข้าตัดทำพันธุ์
2. เมื่อเปรียบเทียบกับแรงงานคนที่ใช้มีดสางใบจำนวน 5 คน ทำงาน 8 ชม./วัน เท่ากัน ค่าจ้างแรงงานคนในการสางใบสำหรับตัดอ้อยทำพันธุ์ไร่ละ 70 บาท/คน และค่าใช้จ่ายจากคนขับรถแทรกเตอร์รวมกับค่าเช่ารถแทรกเตอร์ขนาด 25 แรงม้า วันละ 650 บาท พบว่า เครื่องสางใบได้งานมากกว่าแรงงานคนเฉลี่ย 8.56 ไร่/วัน และมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าเฉลี่ย 650 บาท/วัน ส่วนความเสียหายของตาอ้อย และลำอ้อย รวมถึงเปอร์เซ็นต์ความงอกของอ้อยมีค่าไม่แตกต่างกัน

3. การควบคุมการหมุนของลูกดีสงใบ
อ้อยซึ่งเป็นระบบ Servo Electro-hydraulic
System หรือ SEHS ด้วยตัวควบคุมแบบพีซีกับ
อ้อยทั้ง 5 พันธุ์ พบว่า ผลตอบสนองมีความรวดเร็ว
โดยช่วงเวลา Response Time มีค่าเฉลี่ย
1.1 วินาที เกิดค่าพุ่งเกินขึ้น 0.83 – 1.54% ของ
ค่าอ้างอิงซึ่งมีค่าน้อยมาก โดยความเสียหายของ
ตาอ้อย ลำอ้อย และความสะอาดในการสางใบ
เกษตรกร ตัวแทนของโรงงานน้ำตาล และนัก
วิชาการเกษตรยอมรับได้ ดังนั้น ตัวควบคุมแบบ
พีซีสามารถใช้งานได้

4. เครื่องสางใบอ้อยต้นแบบมีราคา
134,000 บาท และค่าจ้างสางใบอ้อยสำหรับอ้อย
ตัดทำพันธุ์ 300 บาท/ไร่ ทำงาน 8 ชม./วัน ดังนั้น
จากผลวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เครื่องสางใบ
อ้อยต้นแบบมีจุดคุ้มทุนที่ 175.61 ไร่

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2547. *แนวทางการแก้ปัญหา
การเผาใบอ้อย*. เอกสารวิชาการการปลูก
พืชไร่. สถาบันวิจัยพืชไร่, กรมวิชาการเกษตร,
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. โรงพิมพ์
ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย
จำกัด. กรุงเทพฯ. 332 หน้า.

ตฤณสิทธิ์ ไกรสินบุรศักดิ์, วิชัย โอภาณุกุล,
อานนท์ สายคำฟู, วีระ สุขประเสริฐ,
มานพ ดันธามารัตน์ และมงคล ตุ่นเข้า.
2559. ออกแบบและพัฒนากลไกของ
เครื่องสางใบอ้อยสำหรับอ้อยตัดทำพันธุ์.
วารสารวิชาการเกษตร 34(1): 76-94.

ตฤณสิทธิ์ ไกรสินบุรศักดิ์, ดนัย ศาลทูลพิทักษ์,
อนุชา เขาวีโชติ, มงคล ตุ่นเข้า, พุทธินันท์
จารุวัฒน์, ปรีชา อานันท์รัตนกุล, พีรพงษ์
เชาวพงษ์, อนุสรณ์ เทียนศิริฤกษ์, จิระวิณ
มทิทธิธนาศักดิ์, และกันต์ภรณ์ เขาทอง.
2561. การควบคุมระบบ Servo Electro-
hydraulic System สำหรับไถระเบิด
ดินดานชนิดล้นที่ขา 2 ขา ด้วยตัวควบคุม

แบบพีซี. *วารสารวิชาการเกษตร* 36(1):
16-27.

วิชัย โอภาณุกุล, สันธาร นาควัฒน์อนุกุล, ชัชชัย
ชัยสัตตปกรณ์, คทาวุธ จงสุขไว, มงคล
ตุ่นเข้า, บาลทิตย์ ทองแดง และดนัย
ศาลทูลพิทักษ์. 2554. *ศึกษาสภาพพื้นที่
เพาะปลูกและการใช้เครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยใน
ประเทศไทย*. กลุ่มวิจัยวิศวกรรมผลิตพืช.
กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยเกษตร
วิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร. 10(5):
9-14.

วุฒิชัย กปิลกาญจน์, 2533. *พลศาสตร์เครื่องจักร
กล*. สำนักพิมพ์ ฟิสิกส์เซ็นเตอร์การพิมพ์.
กรุงเทพฯ. 362 หน้า.

อรรถสิทธิ์ บุญธรรม, ชุมพล คำสิงห์, นริศร ขจรผล,
สุกรี นันตะสุคนธ์ และสนธิ สมเหมาะ.
2551. *การแก้ปัญหาการเผาใบอ้อยก่อน
การเก็บเกี่ยวโดยใช้เครื่องสางใบอ้อย*.
ใน: หน้า 145-151. รายงานผลการวิจัย
ประจำปี 2551. ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี
สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

อรรถสิทธิ์ บุญธรรม, วาสนา วันดี และ
ผุด จันทรสุขโข. 2555. การเปรียบเทียบ
วิธีการเตรียมดินที่เหมาะสมในการปลูก
อ้อยข้ามแล้ง. *แก่นเกษตร* 40 ฉบับพิเศษ
: 96-102.

Edge. K. 1997. The control of uid power
systems – responding to the future.
Part I. Vol. 211 Pages 91-110.
In: Proc. of Instn. Mech. Engrs.

Kwanchai Sinthipsomboon, Issaree
Hunsacharoonroj, Joseph Khedari,
Watcharin Pongaen, and Pornjit
Pratumsuwan. 2011. A Hybrid of
Fuzzy and Fuzzy self-tuning
PID Controller for Servo Electro-
hydraulic System. *Transactions
of the IEEE* 6, 220-225.