

การจำลองการให้น้ำด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี่

A Simulation for Irrigated Sugarcane by using Fuzzy Logic Controller

ตฤณสิทธิ์ ไกรสินบุรศักดิ์^{1/} ประสาท แสงพันธุ์ตา^{1/} พุทธินันท์ จารุวัฒน์^{1/} อนุชา เชาวโชติ^{1/} มงคล ตุ่นเข้า^{1/}
นิรุติ บุญญา^{1/} มานพ คันทามารัตน์^{1/} รัชดา ปรังเจริญวินัย^{2/} อนุสรณ์ เทียนศิริฤกษ์^{3/} กันต์ธกรณ์ เขาทอง^{4/}
Tinnasit Kaisinburasak^{1/} Prasat Sangphanta^{1/} Puttinun Jaruwat^{1/} Anucha Chaochot^{1/} Mongkol Tunhaw^{1/}
Nirut Boonya^{1/} Manop Kuntamarus^{1/} Ratchada Pratcharoenwanich^{2/} Anusorn Tiensirihoek^{3/}
Kunthakorn Khaothong^{4/}

Received 25 Jul. 2022/Revised 21 Aug. 2022/Accepted 29 Aug. 2022

ABSTRACT

This research applied the fuzzy set theory on designing a fuzzy logic controller and simulation for drip irrigation system on using the MATLAB Simulink program as compared to a drip irrigation system for Khon Kaen 3 sugarcane cultivar in Nakhon Ratchasima Agricultural Research and Development Center. A fuzzy logic controller was designed by using soil moisture content and relative air humidity data which were inserted into that system by sets of trapezoidal form and a Mamdani and Assilian-type fuzzy inference mechanism in which the knowledge of an expert was registered through the fuzzy rules. The fuzzy system would then evaluated the necessary duration of irrigation. The experimental results showed that there was no significant difference in irrigation duration between simulation for drip irrigation system and irrigation system based on soil moisture content at Nakhon Ratchasima Agricultural Research and Development Center. The fuzzy logic controller was reliable and could fully meet the design goals and criteria.

Keywords: fuzzy logic controller, sugarcane, drip irrigation system

^{1/} สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร 50 ถนนพหลโยธิน ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

^{1/} Agricultural Engineering Research Institute, Department of Agriculture, 50 Paholyothin Rd. Lat Yao, Chatuchak, Bangkok 10900,

^{2/} ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตร จ.นครราชสีมา, สำนักงานวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 4 จ.อุบลราชธานี

^{2/} Nakhon Ratchasima Agricultural Research and Development center, Office of Agricultural and development Region 4, Ubon Ratchathani Province.

^{3/} กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาน้ำเพื่อการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร 50 ถนนพหลโยธิน ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

^{3/} Agricultural Production Sciences Research and Development Office, Department of Agriculture, 50 Paholyothin Rd. Lat Yao, Chatuchak, Bangkok 10900,

^{4/} ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ต.กำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

^{4/} Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140

* Corresponding author: tinnasit@hotmail.co.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ทฤษฎีฟัซซี่เซต เพื่อออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ และจำลองการให้น้ำของตัวควบคุมฟัซซี่ โดยใช้โปรแกรม MATLAB Simulink เปรียบเทียบกับผลการคำนวณการให้น้ำตามระดับความชื้นดินในแปลงปลูกอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตร นครราชสีมา ซึ่งเป็นระบบน้ำหยด โดยตัวควบคุมฟัซซี่ที่ออกแบบจะนำค่าความชื้นดินในช่วงความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available water capacity ; AWC) และความชื้นสัมพัทธ์อากาศมาประมวลผลปริมาณน้ำที่จะเติมเข้าไปในแปลงอ้อย ในรูปแบบช่วงเวลาในการเปิดปั๊มน้ำในแปลงอ้อย ที่ใช้กลไกการอนุมานของ Mamdani และ Assilian โดยใช้ความรู้จากผู้เชี่ยวชาญในการสร้างกฎพื้นฐานของฟัซซี่ เพื่อให้ได้ระยะเวลาของการให้น้ำที่เหมาะสมกับอ้อย ผลการทดลองพบว่า การจำลองช่วงเวลาในการเปิดปั๊มน้ำของตัวควบคุมฟัซซี่ และการคำนวณช่วงเวลาในการเปิดปั๊มน้ำโดยวิธีการให้น้ำตามระดับความชื้นดินไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยตัวควบคุมฟัซซี่ที่ออกแบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ตัวควบคุมฟัซซี่, อ้อย, ระบบน้ำหยด

บทนำ

การปลูกอ้อยส่วนใหญ่จะอาศัยน้ำฝน แต่การกระจายตัวของฝนไม่สม่ำเสมอ ทำให้อ้อยได้รับประโยชน์จากน้ำฝนไม่เต็มที่ (ปรีชา และคณะ, 2553) การขาดน้ำทำให้การเจริญเติบโตของอ้อยลดลงทั้งการสร้างใบและยึดปล้อง ส่งผลให้ผลผลิตลดลง (Hsiao, 1973) แนวทางหนึ่งในการเพิ่มผลผลิตอ้อยคือ การพัฒนาระบบชลประทาน เพื่อควบคุมระดับความชื้นในดิน ในเขตรากพืชให้อยู่ระหว่างความชื้นชลประทาน (field capacity, FC) กับจุดเหี่ยวเฉาถาวร (permanent wilting point, PWP) เรียกช่วงความชื้นนี้ว่า ความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (AWC) การให้น้ำแก่พืชจะเริ่มทำเมื่อความชื้นลดลงใกล้ถึงจุดเหี่ยวเฉาถาวร

และการให้น้ำจะลดลงมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน ความสามารถในการทนแล้งของพืช และสภาพภูมิอากาศ โดยทั่วไปการให้น้ำแก่พืชจะให้เมื่อความชื้นในดินลดลงประมาณ 50 - 75% ของค่า AWC (สุนทรี, 2536) อุทัย (2523) ให้คำแนะนำว่า อ้อยเจริญเติบโตได้ดีดินต้องมีความชื้นระหว่าง 50 - 100% ของค่า AWC และถ้าความชื้นต่ำกว่า 50% ของค่า AWC อ้อยจะขาดน้ำ ส่งผลให้อ้อยเจริญเติบโตไม่ดี ผลผลิตลดลง นอกจากนี้ ประโยชน์ (2560) รายงานว่า ค่าความชื้นในอากาศมีผลต่ออัตราการคายน้ำของพืช ซึ่งแปรผันตรงกับการดูดน้ำจากดิน ถ้าความชื้นสัมพัทธ์อากาศสูงจะทำให้อัตราการคายน้ำของพืชต่ำลง และอัตราการดูดน้ำจากดินต่ำลงไปด้วย

ที่ผ่านมาการให้น้ำแก่พืชจะเก็บข้อมูลตัวอย่างดินเพื่อหาค่า % ความชื้นของดินโดยปริมาตร และความชื้นสัมพัทธ์อากาศโดยผู้เชี่ยวชาญ แล้วคำนวณช่วงเวลาในการเปิดปั๊มน้ำเพื่อเติมน้ำลงไปในดินจนดินมีระดับความชื้นเท่ากับค่า FC ซึ่งการปฏิบัติในแต่ละขั้นตอนจะใช้แรงงานคน แต่ในปัจจุบันมีการพัฒนาระบบควบคุมการให้น้ำแบบอัตโนมัติสำหรับการให้น้ำอ้อย โดยนำข้อมูลที่ได้จากการวัดโดยตัวรับรู้ (sensor) มาวิเคราะห์และคำนวณอัตราการให้น้ำที่เหมาะสมกับแปลงอ้อย แต่ข้อมูลที่ตรวจวัดได้มักมีความผันแปรตลอดเวลา ทำให้การคำนวณหาปริมาณการให้น้ำของอ้อยไม่ค่อยแม่นยำ

การพัฒนาระบบควบคุมการให้น้ำแบบอัตโนมัติสำหรับการให้น้ำในแปลงอ้อยได้อย่างแม่นยำ จำเป็นต้องอาศัยตรรกศาสตร์คลุมเครือ (fuzzy logic) โดยอธิบายความคลุมเครือหรือความผันแปรของข้อมูลโดยใช้ทฤษฎีตัวควบคุมฟัซซี่ (fuzzy set) ทำงานอยู่บนฐานของฟัซซี่โลจิก (fuzzy Logic) หรือตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Zadeh, 1975 ;Takagi and Sugeno, 1985; Kevin and Stephen, 1998) สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตัดสินใจ ภายใต้ความไม่แน่นอนของข้อมูลโดยใช้หลักเหตุผล ซึ่งคล้ายกับวิธีคิดและการตัดสินใจของมนุษย์ ดังนั้น ปริมาณต่าง ๆ ของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการให้น้ำอ้อยจะถูกแทนที่ด้วยตัวแปรฟัซซี่

ตามขั้นตอนของการทำฟัซซี่ (fuzzification) เช่น อุณหภูมิ (temperature) ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (relative humidity) และความชื้นของดิน (soil moisture) ที่ได้จากการวัดโดยตัวรับรู้ (sensor) ซึ่งติดตั้งในแปลงอ้อยมาประกอบการตัดสินใจในการควบคุมการจ่ายน้ำได้อย่างถูกต้อง นอกจากนี้ ทฤษฎีฟัซซี่เซตถูกนำมาประยุกต์ใช้แก้ปัญหาต่าง ๆ ทางด้านชลประทาน เช่น Saruwatari and Yomotoa (1995) ใช้ทฤษฎีฟัซซี่เซตในการพยากรณ์ระบบชลประทานในนาข้าว Cazemier *et. al.* (2001) ใช้ทฤษฎีฟัซซี่เซตในการประมาณค่าความต้องการน้ำจากความไม่ชัดเจนของข้อมูลตัวแปรในชุดดิน ประโยชน์ (2560) ใช้ทฤษฎีฟัซซี่เซตออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ในการให้น้ำในแปลงมันสำปะหลัง เป็นต้น

Mamdani and Assilian (1975) ได้สร้างระบบภาษาศาสตร์ (linguistic) มาควบคุมการทำงานในระบบปลูกพืชแบบอุตสาหกรรม ซึ่ง fuzzy logic จะถูกนำมาใช้ในการค้นหาข้อมูลและแก้ปัญหาเอง โดยมีคนเป็นผู้ตัดสินใจสั่งการ งานวิจัยนี้ใช้ทฤษฎีฟัซซี่เซตออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ในการให้น้ำในแปลงอ้อย โดยจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB Simulink แล้วนำผลการจำลองมาเปรียบเทียบกับ การให้น้ำตามระดับความชื้นดินโดยผู้เชี่ยวชาญ เพื่อแสดงให้เห็นว่าตัวควบคุมฟัซซี่ที่ออกแบบให้ ผลการคำนวณการให้น้ำในแปลงอ้อยที่ใกล้เคียงกัน สามารถนำไปพัฒนาเป็นระบบควบคุมการให้น้ำในแปลงอ้อยแบบอัตโนมัติ และทำงานทดแทนผู้เชี่ยวชาญหรือสามารถใช้ทดแทนแรงงานคนได้ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

1. พื้นที่ศึกษา

แปลงปลูกอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตร นครราชสีมา เป็นดินชุดโคราช มีค่าความจุความชื้นชลประทาน 27.66% (% ความชื้นดินโดยปริมาตร) และจุดเหี่ยวถาวร 22.23% ดังนั้น ความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (AWC) คือ 5.43% ที่ความลึกเฉลี่ย 50 ซม.

2. การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ (Fuzzy Logic Controller)

งานวิจัยนี้ได้นำตัวควบคุมฟัซซี่ในรูปแบบของ Mamdani และ Assilian (Mamdani and Assilian, 1975) มาใช้ตัดสินใจในการให้น้ำในแปลงอ้อย เครื่องมือในการออกแบบคือ โปรแกรม Matlab Simulink ซึ่งสามารถกำหนดค่าความเป็นสมาชิกของฟังก์ชันต่าง ๆ และฐานกฎได้ด้วยกราฟฟิควิสเซอร์อินเตอร์เฟส ทำให้ประหยัดเวลาในการออกแบบและสะดวกในการปรับแต่งหรือแก้ไข การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่โดยโปรแกรม Matlab Simulink โดยตัวควบคุมฟัซซี่ที่ออกแบบประกอบด้วย 2 อินพุต (input) คือ ค่าความชื้นในดิน และค่าความชื้นในอากาศ ส่วนเอาต์พุต (output) คือ ระยะเวลาในการเปิดน้ำเข้าสู่แปลงอ้อย โดยมีการออกแบบค่าความเป็นสมาชิกของฟังก์ชันดังนี้

อินพุตที่ 1 ความชื้นในดิน จากการเก็บข้อมูลในแปลงอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 พบว่าเป็นชุดดินโคราช มีค่าความชื้นชลประทาน 27.66 % (%โดยปริมาตร) และจุดเหี่ยวถาวร 22.23% ดังนั้น ความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช คือ 5.43% ที่ความลึกเฉลี่ย 50 ซม. โดยนักวิชาการเกษตรของศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรนครราชสีมา ให้คำแนะนำว่า ความชื้น 100% ของค่า AWC หรือการเติมน้ำจนถึงค่า FC เป็นปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการน้ำของอ้อยซึ่งสอดคล้องกับคำแนะนำของอุทัย (2523) จากข้อมูลดังกล่าว ค่าความชื้นดินที่ออกแบบมีค่าระหว่าง 50 - 100% ของค่า AWC เมื่อดินมีค่าความชื้นมากที่สุด 100% และดินมีความชื้นน้อยที่สุด 50% จึงออกแบบค่าความเป็นสมาชิกฟังก์ชันโดยแบ่งออกเป็น 3 เซต ดังนี้ เมื่อดินมีความชื้นสูง (W) มีค่า 75 - 100% ความชื้นปกติ (N) 50 - 100% และความชื้นต่ำ (D) 50 - 75% (Figure 1)

อินพุตที่ 2 ความชื้นในอากาศ ใช้เป็นค่าอินพุตร่วมเพื่อตัดสินใจให้น้ำอ้อย แต่ให้น้ำหนักของค่าความชื้นในอากาศน้อยกว่าค่าความชื้นดินจากการเก็บข้อมูลในแปลงอ้อย พบว่า เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศที่วัดได้จากเครื่องวัดความชื้นอากาศ

มีค่าระหว่าง 60 - 80% จึงได้ออกแบบค่าความเป็นสมาชิกฟังก์ชันโดยแบ่งออกเป็น 2 เซตดังนี้ เมื่อความชื้นในอากาศสูง (W) มีค่า 60 - 100%

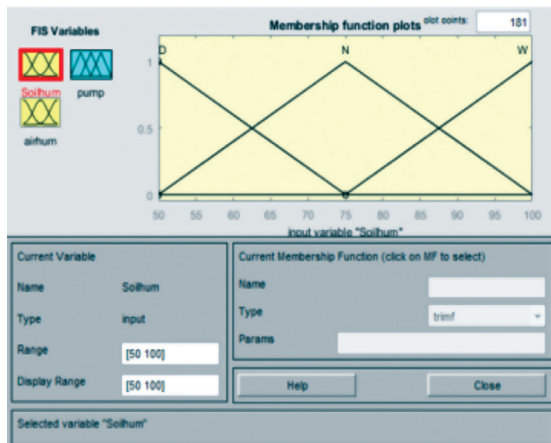


Figure 1 Design the membership function of input signal 1

เอาต์พุตของตัวควบคุมฟัซซี่ ได้กำหนดปริมาณน้ำของเอาต์พุตในรูปแบบเวลาในการเปิดปั๊มน้ำ โดยอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 พื้นที่ชุดดินโคราช การให้น้ำด้วยระบบน้ำหยดโดยปั๊มมีอัตราการไหลตั้งแต่ 7,000 - 9,000 ล./ชม. เวลาในการเปิดปั๊มน้ำประมาณ 3 ชม. จะมีปริมาณน้ำที่เติมเข้าไปใกล้เคียงกับการเติมน้ำจนถึงค่า FC ซึ่งเป็นปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการน้ำของอ้อย แต่ถ้าดินและอากาศมีความชื้นสูง เวลาในการเปิดปั๊มน้ำจะลดลง ดังนั้น จึงกำหนดเวลาในการเปิดปั๊มน้ำ

และความชื้นในอากาศต่ำ (D) 0 - 80% แสดงใน (Figure 2)

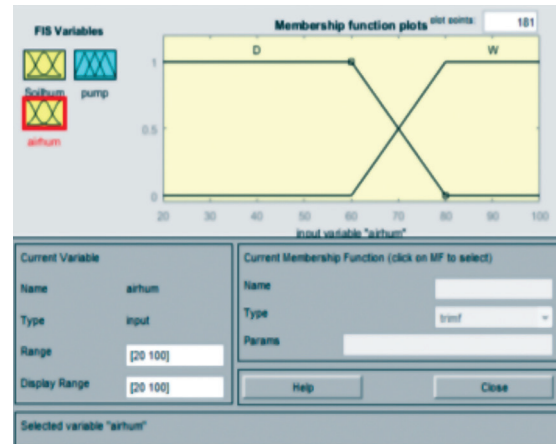


Figure 2 Design the membership function of input signal 2

เป็น 170 นาที ซึ่งใกล้เคียงกับเวลาประมาณ 3 ชม. และกำหนดความเป็นสมาชิกของฟังก์ชัน ดังนี้ ต้องการน้ำมาก (H) 100 นาที - 170 นาที ต้องการน้ำปานกลาง (M) 80 นาที - 120 นาที ต้องการน้ำน้อย (L) 0 นาที - 100 นาที และไม่ต้องการน้ำ (NO) 0 นาที (Figure 3) จากจำนวนฟัซซี่เซตของแต่ละอินพุตดังกล่าว จึงกำหนดเป็นเงื่อนไขในการตัดสินใจได้ทั้งหมด 6 เงื่อนไข (Table 1) และการกำหนดเงื่อนไขการตัดสินใจในโปรแกรม Matlab Simulink (Figure 4)

Table 1 Fuzzy control rule

Rule No.	Soil Humidity	Relative Air Humidity	Pump Time
1	Dry (D)	Dry (D)	High (H)
2	Dry (D)	Wet (W)	High (H)
3	Normal (N)	Dry (D)	Medium (M)
4	Normal (N)	Wet (W)	Low (L)
5	Wet (W)	Dry (D)	No Operation (NO)
6	Wet (W)	Wet (W)	No Operation (NO)

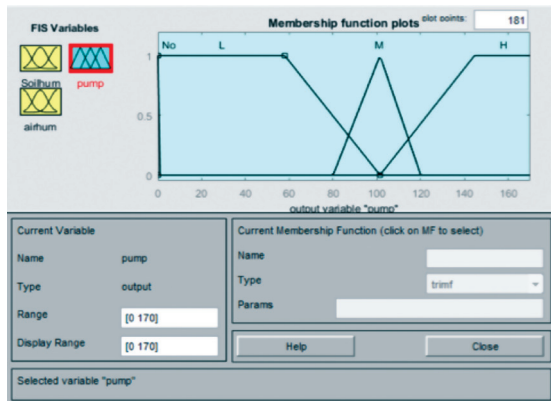


Figure 3 Design the membership function of Output signal

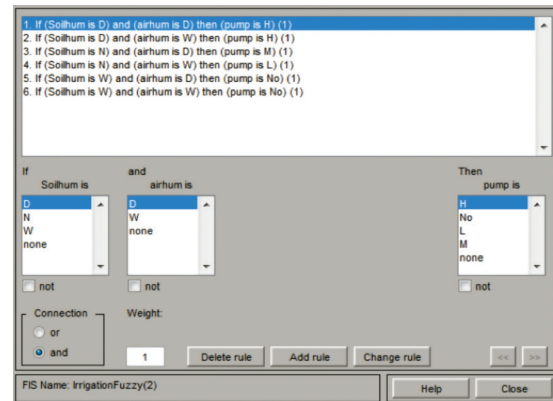


Figure 4 Fuzzy control rule table using the MATLAB Simulink program

3. โปรแกรมสำหรับคำนวณการให้น้ำในแปลง อ้อยด้วยตัวควบคุมฟัซซี่

โปรแกรมสำหรับคำนวณการให้น้ำในแปลงอ้อยด้วยตัวควบคุมฟัซซี่ออกแบบด้วยโปรแกรม MATLAB Simulink (Figure 5) เริ่มจากบล็อก AWC data และ relative air humidity data นำเข้าข้อมูล % ของค่า AWC และค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (%) โดยข้อมูลเหล่านั้นจะถูกเก็บเป็นไฟล์นามสกุล xls. แล้วทำการ export data ใน workspace บล็อก Variable Selector 1 และ Variable Selector 2 จะเลือก % ของค่า AWC

และค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศใน workspace เริ่มจากค่าที่ 1 ไปคำนวณช่วงเวลาในการเปิดปั๊มน้ำในแปลงอ้อยที่บล็อก Fuzzy Logic Controller ที่ทำการออกแบบจากข้อ 2 จนครบทุกค่าโดยข้อมูล % ของค่า AWC และค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่เลือกแสดงในบล็อก AWC Value และ RH Value ตามลำดับ ส่วนผลการคำนวณแสดงในบล็อก Pumping Time และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง 2 อินพุตและ 1 เอาต์พุตในรูปแบบสามมิติของตัวควบคุมฟัซซี่ที่ออกแบบ (Figure 6)

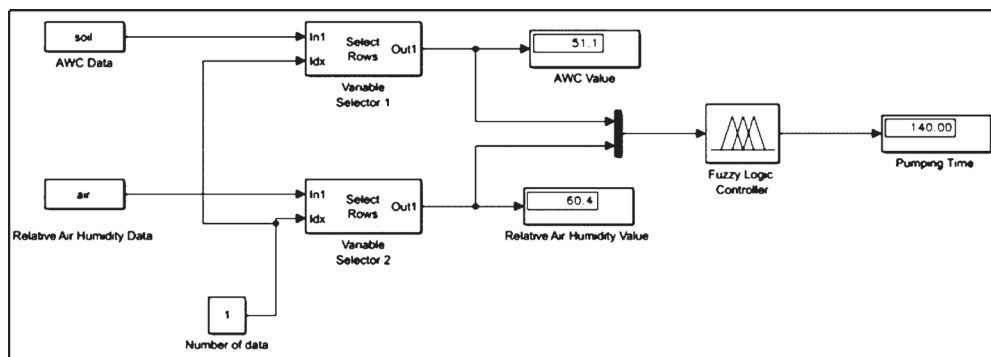


Figure 5 Simulator with the inputs

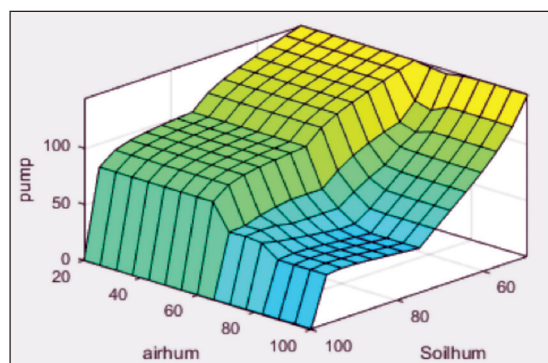


Figure 6 All of the possible Fuzzy results

4. วิธีการให้น้ำตามระดับความชื้นดินในแปลงอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ของศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตร นครราชสีมา

อ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ที่ปลูกในแปลงที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตร นครราชสีมา มีอายุประมาณ 4 เดือน มีการให้น้ำแบบระบบน้ำหยด รายละเอียดแปลงอ้อย และระบบน้ำหยดที่ใช้แสดงใน Table 2 และสามารถคำนวณปริมาณน้ำที่ใช้ในระบบน้ำหยดในแปลงอ้อยได้ ดังนี้

Table 2 Sugarcane field parameters

Parameters	Value
Side of area	1,620 m ²
Distance between row	1.5 m
Rows of planting	12 rows
Pump flowrate	9,000 l. /hr.
Distance between drip head	0.3 m.
Drip head flowrate	2.5 l./hr.

4.1 คำนวณจำนวนหัวน้ำหยดในแปลงอ้อยขนาด 90 ม. × 18 ม.

ปลูกอ้อย 1 แถว ความยาว 90 ม. ระยะห่างของหัวน้ำหยด 30 ซม.

ดังนั้น จำนวนหัวน้ำหยดต่อ 1 แถว จะเท่ากับ $\frac{9,000}{30} = 300$ หัวน้ำหยด

ปลูกอ้อยทั้งหมด 12 แถว มีหัวน้ำหยด รวม $300 \times 12 = 3,600$ หัวน้ำหยด

4.2 คำนวณอัตราการใช้น้ำ/ชม.

หัวน้ำหยด จำนวน 3,600 หัวน้ำหยด

อัตราการจ่ายน้ำต่อ 1 หัวน้ำหยดเท่ากับ 2.5 ล./ชม.

ดังนั้น อัตราการใช้น้ำเท่ากับ $3,600 \times 2.5 = 9,000$ ล./ชม.

การวัดความชื้นในดินใช้เครื่องวัดความชื้นดิน ยี่ห้อ EXTECH รุ่น MO750 ช่วงการวัดตั้งแต่ 0 - 50% ความชื้นของดินโดยน้ำหนัก ความลึกดินสูงสุด 50 ซม. โดยค่าที่วัดผ่านการสอบเทียบกับการเก็บตัวอย่างดินมาอบที่อุณหภูมิ 100 - 110 °ซ.

จนดินแห้งหรือน้ำหนักดินคงที่ ความชื้นของดินหาได้จากสมการที่ 1 และ 2 ส่วนการวัดความชื้นในอากาศ ใช้เครื่องวัดความชื้นอากาศ ยี่ห้อ EXTECH รุ่น 445814 ช่วงการวัดความชื้นสัมพัทธ์ตั้งแต่ 10 - 99%

$$\begin{aligned} \% \theta_w &= 100(m_1 - m_2)/m_2 & (1) \\ \text{เมื่อ } \% \theta_w &= \% \text{ความชื้นของดินโดยน้ำหนัก} \\ m_1 &= \text{นน.ดินก่อนอบ (กรัม)} \\ m_2 &= \text{นน.ดินหลังอบที่ } 100 - 110^\circ \text{ซ. จน นน.ดินคงที่ (กรัม)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \theta_v &= \% \theta_w \times p & (2) \\ \text{เมื่อ } \% \theta_v &= \% \text{ความชื้นของดินโดยปริมาตร} \\ p &= \text{ความหนาแน่นรวมของดิน (ก./ลบ.ซม.)} \end{aligned}$$

4.3 คำนวณการให้น้ำตามระดับความชื้นดินในแปลงอ้อย

เก็บข้อมูลค่าความชื้นดิน และความชื้นสัมพัทธ์อากาศในแปลงอ้อย สัปดาห์ละ 1 ครั้ง เนื่องจากการเติมน้ำจนถึงระดับ FC ความชื้นดินจะลดลง

ไม่ต่ำกว่า 50% ของค่า AWC ภายในระยะเวลา 1 สัปดาห์ แม้ไม่มีฝนตกลงมา จึงไม่มีความจำเป็นต้องให้น้ำทุกวัน โดยค่าความชื้นดินจะใช้หัววัดลดลงไปที่ความลึกสูงสุด 50 ซม. บริเวณรากของอ้อย

ห่างจากลำต้นประมาณ 10-15 ซม. รอให้ค่าที่แสดงผลบนหน้าจอนิ่งประมาณ 10 วินาที แล้วบันทึกค่าส่วนความชื้นสัมพัทธ์อากาศ ทำการวัดค่าบริเวณ

ร่องอ้อยที่มีอากาศถ่ายเท แล้วบันทึกค่าความชื้นดินและความชื้นสัมพัทธ์อากาศ คำนวณการให้น้ำที่กำหนดตามระดับความชื้นดิน ดังนี้

- ความลึกของดิน (Hs) 0 – 50 ซม. (500 มม.) เปลี่ยนค่าความชื้นดินหน่วย % เป็นความลึกน้ำ (มม.) โดยความชื้นดิน (มม.) เท่ากับ % (โดยปริมาตร) X Hs
- ความจุความชื้นสนาม (FC) มีค่า 27.66% (โดยปริมาตร) $\left(\frac{27.66}{100}\right) \times 500$ หรือ 138.3 มม.
- ความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร (PWP) มีค่า 22.23% (โดยปริมาตร) $\left(\frac{22.23}{100}\right) \times 500 = 111.2$ มม.
- ความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (AWC) มีค่า $AWC = FC - PWP = 138.3 - 111.2 = 27.1$ มม.
- ต้องการให้น้ำเมื่อความชื้นดินลดลง 50% ของค่า AWC มีค่า $0.5 \times 27.1 = 13.6$ มม. หรือ $13.6 \times 1,600 = 21,760$ ลิ./ไร่ ซึ่งเป็นปริมาณน้ำที่ต้องเติมเข้าไปจนถึงค่า FC
- ดังนั้น ช่วงเวลาในการเปิดปั๊มน้ำมีค่า $\left(\frac{\text{ปริมาณน้ำที่ต้องเติมเข้าไปจนถึงค่า FC} \times 60}{\text{อัตราการใช้น้ำ/ชม.}}\right) \times 60 = \left(\frac{21,760}{9,000}\right) \times 60 = 145.2$ นาที

โดยช่วงเวลาในการเปิดปั๊มน้ำที่คำนวณความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่วัดก่อนการให้น้ำมีค่า 60 - 65% ถ้าความชื้นสัมพัทธ์อากาศมากกว่า 65% สำหรับอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 อัตราการคายน้ำของอ้อยต่ำลงและอัตราการดูดน้ำจากดินต่ำลงไปด้วย ดังนั้น ช่วงเวลาในการเปิดปั๊มน้ำจะลดลงจากค่าที่คำนวณ

บันทึกค่าความชื้นดิน ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ และช่วงเวลาในการเปิดปั๊มน้ำสำหรับให้น้ำอ้อยในแปลงทดลองของวันที่ 4, 11, 18 และ 25 เม.ย. 2, 9, 16, 23 และ 30 พ.ค. พ.ศ. 2565 เวลา 9.00 น. มาเปรียบเทียบกับผลการจำลองช่วงเวลาในการเปิดปั๊มน้ำในแปลงอ้อยด้วยตัวควบคุมฟัซซีที่ออกแบบ

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ช่วงเวลาในการเปิดปั๊มน้ำในแปลงอ้อยด้วยตัวควบคุมฟัซซี

ช่วงเวลาในการเปิดปั๊มน้ำในแปลงอ้อยด้วยตัวควบคุมฟัซซี ใช้กฎฟัซซีในรูปแบบของ Mamdani และ Assilian แสดงในสมการที่ 3

$$\text{IF } x_i \text{ is } A_i \text{ AND...AND } x_i \text{ is } A_i \text{ THEN } Y_i \text{ is } B_i \quad (3)$$

เมื่อ x_i คือ ตัวแปรทางอินพุต A_i คือ ค่าของตัวแปรภาษา (Linguistic Variable) ทางอินพุต หรือ ฟัซซีเซต Y_i ทางอินพุต คือ ตัวแปรภาษาทางเอาต์พุต และ B_i คือ ค่าของตัวแปรภาษาทางเอาต์พุต หรือ ฟัซซีเซตทางเอาต์พุต ค่าความแข็งแรงของกฎฟัซซี (Firing Strength) สามารถคำนวณได้ดังแสดงในสมการที่ 4

$$w_j = \prod_{i=1}^n A_i(x_i) \quad (4)$$

เมื่อ w_j คือ ค่าความแข็งแรงของกฎฟัซซี j และ $A_i(x_i)$ คือ ค่าความเป็นสมาชิกของ x_i ในฟัซซีเซต A_i ค่าเอาต์พุตของการดิฟฟิเคชัน สามารถคำนวณได้ดังแสดงในสมการที่ 5

$$COG = \frac{\int_a^b B(x)xdx}{\left(\int_a^b B(x)dx\right)} \quad (5)$$

เมื่อ COG คือ จุดศูนย์ถ่วงของฟัซซีเซต (center of gravity) B บนช่องว่างระหว่าง a ถึง b

ตัวแปรภาษาทางอินพุต สำหรับนำไปใช้ในกระบวนการฟัซซี่ฟิเคชัน ได้แก่ ตัวแปรภาษา % ของค่า AWC และตัวแปรภาษาความชื้นสัมพัทธ์อากาศ ส่วนตัวแปรภาษาทางเอาต์พุต สำหรับนำไปใช้ในกระบวนการดีฟัซซี่ฟิเคชันคือ ตัวแปรภาษา ช่วงเวลาในการเปิดปั้มน้ำในแปลงอ้อย การคำนวณ

$$\begin{aligned} W_1 &= \text{Soil Humidity}_{\text{dry}}(50) \times \text{Relative Air Humidity}_{\text{dry}}(60) = 1.00 \times 1.00 = 1.00 \\ W_2 &= \text{Soil Humidity}_{\text{dry}}(50) \times \text{Relative Air Humidity}_{\text{wet}}(60) = 1.00 \times 0.00 = 0.00 \\ W_3 &= \text{Soil Humidity}_{\text{normal}}(50) \times \text{Relative Air Humidity}_{\text{dry}}(60) = 0.00 \times 1.00 = 0.00 \\ W_4 &= \text{Soil Humidity}_{\text{normal}}(50) \times \text{Relative Air Humidity}_{\text{wet}}(60) = 0.00 \times 0.00 = 0.00 \\ W_5 &= \text{Soil Humidity}_{\text{wet}}(50) \times \text{Relative Air Humidity}_{\text{dry}}(60) = 0.00 \times 1.00 = 0.00 \\ W_6 &= \text{Soil Humidity}_{\text{wet}}(50) \times \text{Relative Air Humidity}_{\text{wet}}(60) = 0.00 \times 0.00 = 0.00 \end{aligned}$$

จากค่าความแข็งแรงของกฎฟัซซี่ พบว่ามีเพียงกฎฟัซซี่ W_1 เท่านั้น ที่มีค่าความแข็งแรงมากกว่า 0.00 หรือมีเพียงกฎฟัซซี่ W_1 เท่านั้น ที่ตอบสนองต่อเหตุการณ์นี้ ดังนั้น สามารถเขียนในรูปของกฎ IF-THEN ได้ดังนี้

IF Soil Humidity is dry (1.00) AND Relative Air Humidity is dry (1.00) THEN Pump Time is high

จากกฎฟัซซี่ W_1 จะได้ค่าของ Pumping Time เป็น high ที่ค่าความเป็นสมาชิก 1.00 จากนั้นทำการดีฟัซซี่ฟิเคชัน ตามสมการที่ (5) ได้ค่า COG = 145 แปลความหมายได้ว่า เมื่อความชื้นดินลดลง 50% ของค่า AWC และความชื้นสัมพัทธ์อากาศมีค่า 60% ควรเปิดปั้มน้ำในแปลงอ้อย 145 นาที

จากตัวอย่างการคำนวณช่วงเวลาในการเปิดปั้มน้ำในแปลงอ้อยด้วยตัวควบคุมฟัซซี่ มีค่าใกล้เคียงกับการคำนวณช่วงเวลาในการเปิดปั้มน้ำ โดย วิธีการให้น้ำตามระดับความชื้นดินในข้อ 4.3 โดยโปรแกรมสำหรับคำนวณการให้น้ำในแปลงอ้อยด้วยตัวควบคุมฟัซซี่ใช้วิธีการคำนวณตามที่กล่าวมาข้างต้น

2. การจำลองช่วงเวลาในการเปิดปั้มน้ำในแปลงอ้อยด้วยตัวควบคุมฟัซซี่โดยใช้โปรแกรม MATLAB Simulink

นำผลการคำนวณช่วงเวลาในการเปิดปั้มน้ำในแปลงอ้อยด้วยตัวควบคุมฟัซซี่มาแสดงผลใน

ช่วงเวลาในการเปิดปั้มน้ำในแปลงอ้อยด้วยกฎฟัซซี่ ต้องการให้น้ำเมื่อความชื้นดินลดลง 50% ของค่า AWC และความชื้นสัมพัทธ์อากาศมีค่า 60% สามารถคำนวณค่าความแข็งแรงของกฎฟัซซี่จาก Table 1 ตามสมการที่ (4) ได้ดังนี้

รูปแบบของพื้นที่ได้กราฟโดยใช้โปรแกรม MATLAB Simulink ทำให้ง่ายต่อการดูค่าเอาต์พุตเทียบกับค่าอินพุต และกฎของฟัซซี่ที่ออกแบบ การกำหนดเงื่อนไขเพื่อดูว่าตรงตามความต้องการหรือไม่ดังนี้

กรณีที่ 1 เมื่อดินมีความชื้นสูง ตัวอย่างเช่น 100% ของค่า AWC หรือการเติมน้ำจนถึงค่า FC ซึ่งเป็นปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการน้ำของอ้อย ทำให้ไม่จำเป็นต้องให้น้ำอีก พบว่า ความชื้นดิน 100% ของค่า AWC เอาต์พุตในการเปิดปั้มน้ำมีค่าเท่ากับ 0 นาที เนื่องจากอ้อยไม่ต้องการน้ำเพิ่มเติมแล้ว ไม่ว่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศจะเปลี่ยนแปลงไปเท่าใด (Figure 7)

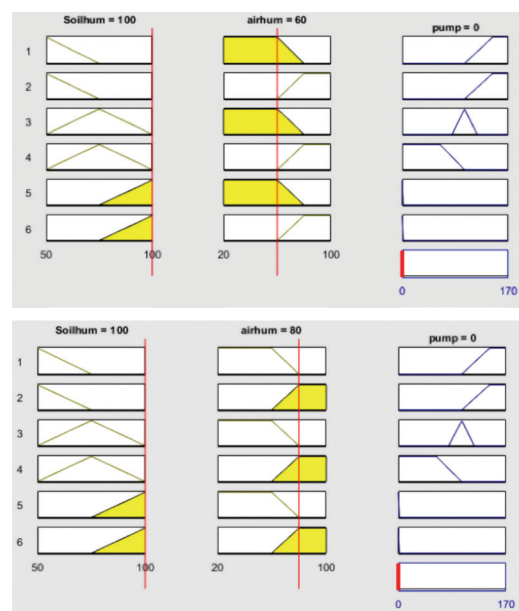


Figure 7 Simulation for drip irrigation system using the MATLAB Simulink at 100% AWC

กรณีที่ 2 เมื่อดินมีความชื้นปานกลาง อ้อยสามารถดึงน้ำไปใช้ได้ดีพอสมควร ดังนั้น ปริมาณน้ำที่อ้อยต้องการจึงขึ้นอยู่กับอัตราการคายน้ำ โดยเอาต์พุตของระบบขึ้นอยู่กับความชื้นในอากาศ เมื่อความชื้นดิน 75% ของค่า AWC ซึ่งอยู่ในระดับปานกลางพบว่า ความชื้นในอากาศต่ำทำให้เอาต์พุตมีค่า 100 นาฬิกา แต่ในทางกลับกันความชื้นในอากาศสูง

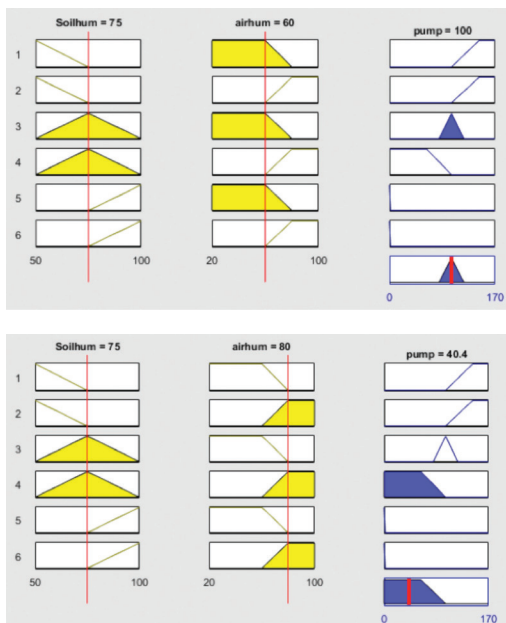


Figure 8 Simulation for drip irrigation system using the MATLAB Simulink at 75% AWC

3. การเปรียบเทียบผลการจำลองช่วงเวลาในการเปิดปั๊มน้ำในแปลงอ้อยด้วยตัวควบคุมพีชซีโดยใช้โปรแกรม MATLAB Simulink กับผลการคำนวณช่วงเวลาในการเปิดปั๊มน้ำโดยวิธีการให้น้ำตามระดับความชื้นดิน

ผลการคำนวณช่วงเวลาในการเปิดปั๊มน้ำในแปลงอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 จากการจำลองช่วงเวลาในการเปิดปั๊มน้ำด้วยตัวควบคุมพีชซี เปรียบเทียบกับผลการคำนวณช่วงเวลาในการเปิดปั๊มน้ำโดยวิธีการให้น้ำตามระดับความชื้นดินระหว่างวันที่ 4 เม.ย. - 30 พ.ค. เวลา 9.00 น. ทั้งหมด 9 ครั้ง โดย 100% ของค่า AWC ปริมาณความชื้นในดิน คือ 27.66% ในวันที่ 4 เม.ย. ความชื้น

ทำให้เอาต์พุตมีค่า 40.4 นาฬิกา ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขในการออกแบบระบบ (Figure 8)

กรณีที่ 3 เมื่อดินมีความชื้นต่ำ อ้อยจะดึงน้ำจากดินไปใช้ได้ลำบาก ต้องให้น้ำในปริมาณมาก โดยไม่ให้ความสำคัญกับความชื้นในอากาศ เนื่องจากตัวแปรหลักคือ ค่าความชื้นดิน ตัวอย่างเช่น ดินมีความชื้นต่ำ 50% ของค่า AWC ไม่ว่าความชื้นในอากาศจะสูงหรือต่ำ เอาต์พุตมีค่า 145 นาฬิกา (Figure 9)

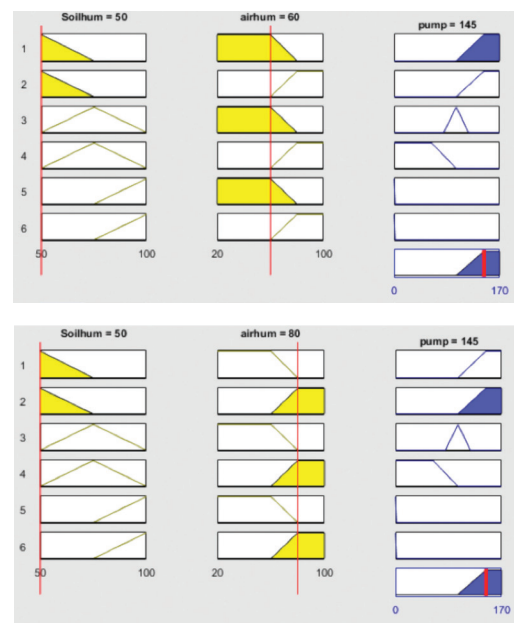


Figure 9 Simulation for drip irrigation system using the MATLAB Simulink at 50% AWC

ในดินต่ำสุด 25.00% หรือ 51.10% ของค่า AWC ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ 60.40% ช่วงเวลาในการเปิดปั๊มน้ำของตัวควบคุมพีชซี 140 นาฬิกา ช่วงเวลาในการเปิดปั๊มน้ำของศูนย์ 141.60 นาฬิกา มีค่าความผิดพลาด 1.6 นาฬิกา ส่วนวันที่ 18 เม.ย. ความชื้นในดิน 26.03% หรือ 70% ของค่า AWC ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ 73.50% (Table 3) เนื่องจากวันที่ 17 เม.ย. มีฝนตกในแปลงปริมาณฝนที่ตกในแปลงอ้อยตั้งแต่เดือน เม.ย. - เดือน พ.ค. แสดงใน Figure 10 ดังนั้น ช่วงเวลาในการเปิดปั๊มน้ำของตัวควบคุมพีชซี 63.30 นาฬิกา ช่วงเวลาในการเปิดปั๊มน้ำของศูนย์ 64.20 นาฬิกา มีค่าความผิดพลาด 0.9 นาฬิกา และวันที่ 2 พ.ค.

ความชื้นในดิน 25.41 หรือ 58.50% ของค่า AWC ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ 76.40% เนื่องจากฝนตกในเวลา 11.15 น. ความชื้นสัมพัทธ์อากาศก่อนฝนตกจึงมีค่าสูง ดังนั้น ช่วงเวลาในการเปิดปั๊มน้ำของตัวควบคุมฟัซซี่ 97.80 นาที ช่วงเวลาในการเปิดปั๊มน้ำของศูนย์ 96.80 นาที มีค่าความผิดพลาด 1 นาที ส่วนวันอื่น ๆ ความชื้นสัมพัทธ์อากาศในเวลา 9.00 น. มีค่า 60 - 64% ดังนั้น ช่วงเวลา

ในการเปิดปั๊มน้ำจะพิจารณาจาก % ของค่า AWC เป็นหลัก โดยความชื้นสัมพัทธ์อากาศจะถูกพิจารณาในช่วงฤดูฝน และอิทธิพลจากมรสุมที่ส่งผลให้ความชื้นสัมพัทธ์อากาศมากกว่า 65% เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ผลการจำลองช่วงเวลาในการเปิดปั๊มน้ำของตัวควบคุมฟัซซี่ และผลการคำนวณช่วงเวลาในการเปิดปั๊มน้ำของศูนย์ ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Table 3 Test result of pumping time for drip irrigation system using fuzzy Logic controller as compared to the human labors

Date	Soil Moisture Content (% by Volume)	% of Available Water Capacity (%)	Relative Air Humidity (%)	Pumping Time of Fuzzy Logic Controller (mins)	Pumping Time of human labors (mins)
4 /Apr/ 2022	25.00	51.10	60.40	140.00	141.60
11 /Apr/ 2022	25.18	54.40	60.40	136.00	132.00
18 /Apr/ 2022	26.03	70.00	73.50	63.30	64.20
25 /Apr/ 2022	25.68	63.50	63.30	105.00	105.60
2 /May/ 2022	25.41	58.50	76.40	97.80	96.80
9 /May/ 2022	25.85	66.70	64.00	96.20	96.60
16 /May/ 2022	25.43	58.90	62.50	116.00	118.80
23 /May/ 2022	25.11	53.00	61.10	133.00	136.20
30 /May/ 2022	25.28	56.20	61.80	124.00	127.20
T-test				0.07 ^{NS}	

Note: * = significant at 5% level, NS = not significant

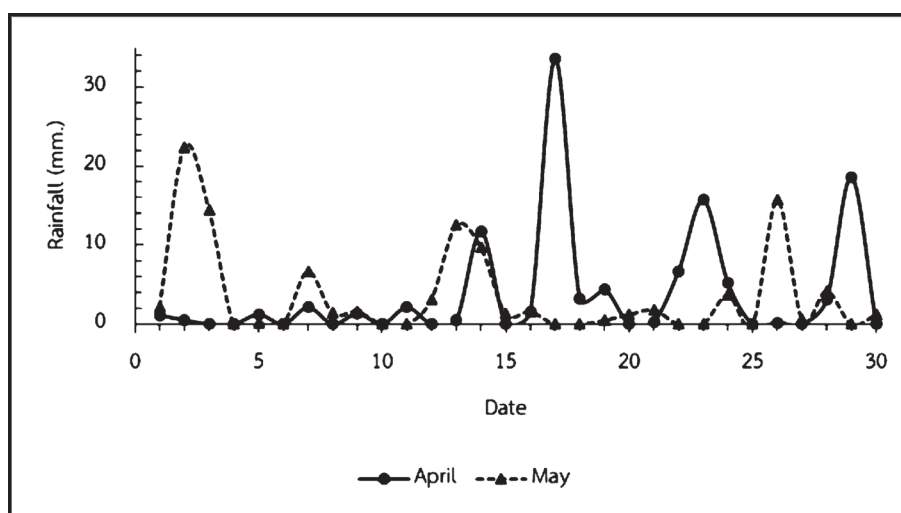


Figure 10 Rainfall on sugarcane field at Nakhon Ratchasima Agricultural Research and Development center, Nakhon Ratchasima province during April-May, 2022

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ใช้ทฤษฎีฟัซซี่เซตออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ โดยตัวควบคุมฟัซซี่ที่ออกแบบใช้ค่าความชื้นดินในช่วงความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืชและความชื้นสัมพัทธ์อากาศ มาคำนวณช่วงเวลาในการเปิดปั๊มน้ำในแปลงอ้อย แล้วจำลองการทำงานโดยใช้โปรแกรม MATLAB Simulink ถอดองค์ความรู้ในการให้น้ำในแปลงอ้อยจากผู้เชี่ยวชาญ การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของตัวควบคุมฟัซซี่ที่ออกแบบ ใช้การเปรียบเทียบผลการจำลองช่วงเวลาในการเปิดปั๊มน้ำในแปลงอ้อยโดยใช้โปรแกรม MATLAB Simulink กับผลการคำนวณช่วงเวลาในการเปิดปั๊มน้ำในแปลงอ้อยโดยวิธีการให้น้ำตามระดับความชื้นดินของศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตร นครราชสีมา พบว่า การจำลองช่วงเวลาในการเปิดปั๊มน้ำของตัวควบคุมฟัซซี่ และการคำนวณช่วงเวลาในการเปิดปั๊มน้ำโดยวิธีการให้น้ำตามระดับความชื้นดินไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงว่า ตัวควบคุมฟัซซี่ที่พัฒนาขึ้นมาสามารถควบคุมการให้น้ำในแปลงอ้อยได้เทียบเท่ากับการให้น้ำตามระดับความชื้นดินโดยผู้เชี่ยวชาญ สามารถทำงานทดแทนผู้เชี่ยวชาญหรือแรงงานคน และสามารถพัฒนาเป็นระบบควบคุมการให้น้ำแบบอัตโนมัติสำหรับการให้น้ำในแปลงอ้อยรูปแบบระบบชลประทานอัจฉริยะ (smart irrigation system) กำหนดระดับความชื้นในดินได้อย่างแม่นยำ และลดการใช้แรงงานคน

เอกสารอ้างอิง

ประโยชน์ คำสวัสดิ์. 2560. การออกแบบและพัฒนาระบบการให้น้ำอัตโนมัติด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี่. รายงานการวิจัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 58 หน้า
ปรีชา กาเพชร ทักษิณา คันสยะวิชัย กาญจนา กิระศักดิ์ และสุพัฒตรา คณานิตย์. 2553. การตอบสนองของอ้อย (*Sacharum officinarum* L.) พันธุ์ขอนแก่น 3 ต่ออัตราการให้น้ำในปริมาณจำกัด. ว.วิชาการเกษตร. 28(3): 306-316.

สุนทรียิ่ง ชัชวาลย์. 2536. บทปฏิบัติการปฐพีวิทยา มูลฐาน. ฝ่ายโรงพิมพ์สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ. 113 หน้า.

อุทัย อารมณรัตน์. 2523. การชลประทานและการใช้น้ำของอ้อย. หน้า.76-82. ใน: รายงานผลการวิจัยประจำปี 2523 สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

Cazemier, D.R., P. Lagacherie and R. Martin-Clouaire. 2001. A possibility theory approach for estimating available water capacity from imprecise information contained in soil databases. *Geoderma*. 103(1-2): 113-132.

Hsiao, T.C. 1973. Plant responses to water stress. *Ann. Review of Plant Physiol.* 24:519-570.

Kevin, M.P. and Y. Stephen. 1998. Fuzzy Control. pp. 82-99. In: *Fuzzy Logic Controller*. Addison Wesley Longman, California USA.

Mamdani, E.H. and S. Assilian. 1975. An Experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *In. J. Man-Mach. Stud.* 7(1): 1-13.

Saruwatari, N. and A. Yomota. 1995. Forecasting system of irrigation water on paddy field by fuzzy theory. *Agri. Water Manag.* 28(2): 163-178.

Takagi, T. and M. Sugeno. 1985. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. *IEEE Trans. Syst., Man, Cyber.* :Syst. 15(1):116-132.

Zadeh, L.A. 1975. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-II. *Inf. Sci.* 8(4): 301-357.