

# การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยใช้ฟัซซี่ลอจิก

## Crop Evapotranspiration Estimation using Fuzzy Logic

ยุทธนา พันธุ์กมลศิลป์<sup>1</sup> และ เอกสิทธิ์ โสมิตสกุลชัย<sup>2</sup>  
Yutthana Phankamolsil<sup>1</sup> and Ekasit Kositsakulchai<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ เป็นการประยุกต์ทฤษฎีฟัซซี่เซตเพื่อหาการใช้น้ำของพืช โดยใช้เกณฑ์แบบฟัซซี่ในการพัฒนาแบบจำลองสำหรับหาปริมาณการใช้น้ำของอ้อยในโครงการชลประทานสองพี่น้อง จ.สุพรรณบุรี ทั้งนี้ได้เลือกใช้ข้อมูล อุณหภูมิอากาศ อายุของพืชในช่วงการเจริญเติบโตต่าง ๆ และ ความยาวนานของแสงอาทิตย์ในรอบวัน เป็นปัจจัยในการประเมิน ผลลัพธ์ของแบบจำลองได้นำมาเปรียบเทียบและตรวจสอบกับผลการคำนวณการใช้น้ำของพืชโดยวิธี Penman-Monteith ซึ่งทั้งสองวิธีให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ แบบจำลองยังสามารถหาการใช้น้ำของพืชรายวันจากข้อมูลเฉลี่ยรายเดือน โดยให้ผลการคำนวณใกล้เคียงกับกรณีที่มีข้อมูลรายวันครบถ้วน

ทฤษฎีฟัซซี่เซต เป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถประยุกต์ใช้ในทางวิศวกรรมชลประทาน ถึงกระนั้น การนำไปใช้ต้องเข้าใจกระบวนการของระบบที่ศึกษาอย่างชัดเจน จึงจะทำให้การกำหนดเกณฑ์ทางตรรกะของแบบจำลองเป็นไปอย่างถูกต้องและเหมาะสม

### ABSTRACT

This research applied the Fuzzy Set Theory in assessing crop evapotranspiration. The fuzzy rule-based model was developed for estimating evapotranspiration of sugarcane in Song-Phi-Nong Irrigation Project, Suphanburi. The input variables include air temperature, crop development stages and sunshine duration. The calibration and validation were performed by comparing the results simulated by the model with those calculated by Penman-Monteith method. The results from both methods are comparable. Furthermore, the model is capable to simulate daily evapotranspiration from monthly data with reasonable results.

The Fuzzy Set Theory is an applicable approach in the field of irrigation engineering. However, its applications require a good understanding of the system in order to define the accurate and appropriate logic of the system.

---

1 นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาเขตกำแพงแสน

Graduate Student, Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Email: Pyutthana@hotmail.com.

2 ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Email: fengesk@ku.ac.th.

## คำนำ

การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชมีความสำคัญมากในงานด้านวิศวกรรมชลประทาน ซึ่งจะนำไปใช้ในการวางแผนเพื่อจัดหาแหล่งน้ำและการออกแบบระบบชลประทาน การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชนั้นอาจทำได้หลายวิธี โดยแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสีย ตลอดจนมีปัญหาเข้ามาเกี่ยวข้องต่างกัน การเลือกใช้วิธีใดนั้นจะขึ้นอยู่กับความละเอียดถูกต้องที่ต้องการ ค่าใช้จ่ายในการซื้อและติดตั้งเครื่องมือวัด ชนิดของพืช และองค์ประกอบอื่น ๆ (วิบูลย์, 2526) การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยวิธี Penman-Monteith (Allen และคณะ, 1998) เป็นวิธีที่มีความถูกต้องใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้โดยตรงและได้รับความเชื่อถือในการนำมาใช้งาน แต่วิธีนี้มีข้อจำกัดในการนำไปใช้งาน เนื่องจากต้องใช้อ้างอิงข้อมูลจำนวนมาก นอกจากนี้ข้อมูลเหล่านี้มักมีความผันแปรอยู่ตลอดเวลา บางพื้นที่ที่ข้อมูลไม่ครบถ้วน ทำให้ไม่สามารถที่จะหาปริมาณการใช้น้ำของพืชได้อย่างแม่นยำ

จากปัญหาดังกล่าว จึงน่าสนใจที่จะนำทฤษฎีฟัซซีเซตมาใช้ในการหาปริมาณการใช้น้ำของพืช เนื่องจากทฤษฎีนี้สามารถอธิบายกระบวนการต่างๆ ที่มีความซับซ้อนโดยไม่ต้องใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ยุ่งยาก นอกจากนี้ ทฤษฎีฟัซซีเซตยังเคยนำมาประยุกต์ใช้แก้ปัญหาต่างๆ ทางด้านชลประทาน (Saruwatari และ Yomoto(1995), Bahat และคณะ(1999) และ Cazemier และคณะ(2001)) งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาแบบจำลองโดยใช้เกณฑ์แบบฟัซซีในการหาปริมาณการใช้น้ำของพืช และเป็นการพัฒนาด้านแบบของเครื่องมือช่วยตัดสินใจในงานด้านการจัดการน้ำชลประทาน

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยครั้งนี้ เพื่อพัฒนาวิธีการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยใช้ทฤษฎีฟัซซีเซต และเปรียบเทียบผลการคำนวณโดยวิธี Penman-Monteith

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

โปรแกรม MATLAB ที่ประกอบด้วยเครื่องมือ 2 ชนิด คือ Fuzzy logic toolbox ซึ่งใช้ในการหาค่ากฎการควบคุมแบบฟัซซีลอจิก และ Simulink ซึ่งใช้ในการจำลองสถานการณ์แบบเชิงพลวัต (Dynamical systems)

### วิธีการ

การนำเอาทฤษฎีฟัซซีเซตมาประยุกต์ใช้จะต้องรู้วาระบบนั้นประกอบด้วยตัวแปรใดบ้าง ซึ่งต้องอธิบายได้ว่าตัวแปรแต่ละตัวมีความสำคัญต่อระบบอย่างไร และต้องจำกัดให้มีตัวแปรน้อยที่สุด เพื่อลดความซับซ้อนและเวลาในการประมวลผลแต่ยังคงครอบคลุมทั้งระบบ โดยการกำหนดให้แต่ละตัวแปรเป็นฟัซซีเซตเชิงปริมาณในลักษณะของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership function) เช่น มาก น้อย ปานกลาง เป็นต้น

โดยทั่วไปแล้วการควบคุมแบบฟัซซีลอจิกจะเริ่มจากการแปลงอินพุตที่เป็นตัวเลขให้เป็นฟัซซีเซต โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของแต่ละอินพุตและความสำคัญต่อเอาต์พุตที่สนใจ ซึ่งฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะมีลักษณะเป็นการกำหนดโดยใช้ภาษาสามัญ (Linguistic) แล้วจึงสร้างกฎการควบคุม (Rule-base) โดยสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับเอาต์พุต โดยอาศัยหลักของเหตุและผล ถ้า-แล้ว (If-Then) เช่น ถ้าอุณหภูมิสูง และท้องฟ้าแจ่มใส แล้ว การระเหยของน้ำจะมีค่าสูง

จากกฎการควบคุมดังกล่าวจะผ่านกระบวนการคำนวณที่เรียกว่าฟัซซี่ฟิเคชัน (Fuzzification) ซึ่งจะแปลงข้อมูลที่เข้ามาไปเป็นฟัซซี่เซต และสร้างส่วนเชื่อมต่อแบบดิฟฟัซซี่ฟิเคชัน (Defuzzification) ซึ่งจะแปลงผลลัพธ์สุดท้ายแบบฟัซซี่เซตให้เป็นตัวเลขด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ เช่น การหาจุดถ่วงน้ำหนักหรือจุดที่มีความเป็นสมาชิกมากที่สุด โดยจะขึ้นอยู่กับฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาต์พุต (Ross, 1995)

ในการวิจัยครั้งนี้ได้พัฒนาวิธีการหาปริมาณการใช้น้ำของอ้อยรายวัน ในเขตโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง โดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศรายวันปี 2543 และปี 2544 ของสถานีอุตุนิยมวิทยา อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานประกอบด้วย

1. กำหนดตัวแปรอินพุตและเอาต์พุต โดยพิจารณาตัวแปรทางกายภาพที่มีผลต่อค่าการใช้น้ำของพืชมากที่สุด
2. สร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership function) ของตัวแปรอินพุตและเอาต์พุต
3. กำหนดกฎการควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรและผลลัพธ์ด้วยหลักเหตุและผล
4. สร้างระบบการจำลองสถานการณ์เพื่อหาค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยใช้ข้อมูลรายวัน ปี 2544
5. ปรับกฎการควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก และฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของแต่ละตัวแปร ให้มีความเหมาะสมโดยสอบเทียบ (Calibration) กับสูตร Penman-Monteith
6. ตรวจสอบ (Validation) วิธีการที่ได้พัฒนาขึ้น เพื่อหาค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยใช้ข้อมูลรายวัน ปี 2543
7. ประยุกต์ใช้วิธีการที่ได้พัฒนาขึ้น (Application) โดยใช้ข้อมูลเฉลี่ยรายเดือนหาค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชรายวันตั้งแต่ปี 2543 ถึงปี 2544

## ผลและวิจารณ์

### ผลการกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ได้พิจารณาผลการศึกษาดัชนีตัวแปรที่ใช้หาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยวิธี Penman-Monteith ของพันธ์พิทย์ (2542) ซึ่งได้วิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity) ของข้อมูลภูมิอากาศของสถานีอุตุนิยมวิทยานครปฐม แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิอากาศมีผลต่อปริมาณการใช้น้ำของพืชมากที่สุด รองลงมาคือ รังสีแสงอาทิตย์ ชั่วโมงที่มีแสงแดด อุณหภูมิจุดน้ำค้าง และ ค่าความแตกต่างของความดันไอลตามลำดับ ส่วนความเร็วลมมีผลน้อยที่สุด

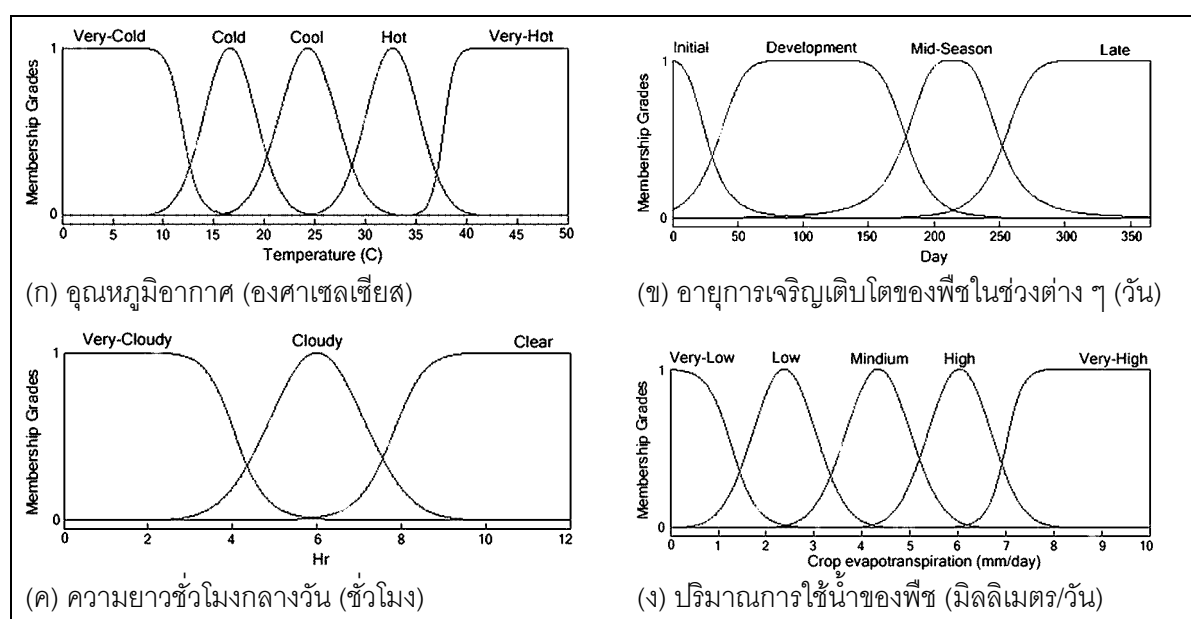
จากผลการศึกษาดังกล่าว ได้นำมาเป็นแนวทางในการเลือกปัจจัยที่จะใช้สำหรับหาค่าปริมาณการใช้น้ำของอ้อย ซึ่งได้กำหนดตัวแปรอินพุต 3 ตัว คือ อุณหภูมิอากาศ ความยาวชั่วโมงกลางวัน (Sunshine duration) และอายุการเจริญเติบโตของพืชในช่วงต่าง ๆ (Crop development stage) ส่วนตัวแปรเอาต์พุตมี 1 ตัว คือ ปริมาณการใช้น้ำของพืช (Crop evapotranspiration)

อุณหภูมิอากาศ แบ่งอุณหภูมิออกเป็น 5 ช่วง ดังภาพที่ 1(ก) คือ อากาศร้อนจัด (Very Hot, 35-50 °C) อากาศร้อน (Hot, 25-40 °C) อากาศเย็น (Cool, 16-33 °C) อากาศหนาว (Cold, 9-24 °C) และอากาศหนาวจัด (Very Cold, 0-15 °C) ตามลำดับ

อายุการเจริญเติบโตของพืชในช่วงต่าง ๆ แบ่งออกเป็น 4 ช่วง ดังภาพที่ 1(ข) คือ ช่วงเริ่มต้น (Initial stage, 30 วัน) ช่วงเจริญเติบโต (Development stage, 140 วัน) ช่วงกลางฤดู (Mid season, 125 วัน) และ ช่วงเก็บเกี่ยว (Late, 35 วัน) รวมอายุการเจริญเติบโตของอ้อย 330 วัน

ความยาวชั่วโมงกลางวัน โดยจำนวนชั่วโมงของแสงอาทิตย์ในรอบวันจะผันแปรอยู่ระหว่าง 0 ถึง 12 ชั่วโมง ในการพิจารณาจะพิจารณาจากปริมาณเมฆในท้องฟ้าว่าในแต่ละวันมีปริมาณเมฆมากน้อยเพียงใด ซึ่งปริมาณเมฆจะแปรผกผันกับจำนวนชั่วโมงของแสงอาทิตย์ โดยแบ่งช่วงชั่วโมงของแสงอาทิตย์เป็น 3 ช่วง ดังภาพที่ 1(ค) คือ ท้องฟ้ามีเมฆมาก (Very Cloudy, 0-6 ชั่วโมง) ท้องฟ้ามีเมฆปานกลาง (Cloudy, 3-9 ชั่วโมง) และท้องฟ้าโปร่ง (Clear, 6-12 ชั่วโมง)

ปริมาณการใช้น้ำของพืช แบ่งออกเป็น 5 ช่วง ดังภาพที่ 1(ง) คือ ต่ำมาก (Very Low, 0-2.5 mm) ต่ำ (Low, 0.5-4 mm) ปานกลาง (Medium, 2.5-6 mm) สูง (High, 4-8 mm) และสูงมาก (Very High, 6-10 mm)



ภาพที่ 1 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership function)

ที่มา : ยุทธนา (2545)

### ผลการกำหนดกฎการควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก

การสร้างกฎการควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก เป็นการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรและผลลัพธ์ ซึ่งสร้างขึ้นจากการเลียนแบบกระบวนการให้เหตุผล และตัดสินใจของมนุษย์ โดยมีจำนวนกฎการควบคุม 52 ข้อ (ยุทธนา, 2545) ดังตัวอย่างต่อไปนี้

1. ถ้า อากาศร้อนจัด และ พืชอยู่ในช่วงกลางฤดู และ ท้องฟ้าโปร่ง แล้ว การใช้น้ำของพืชสูงมาก
2. ถ้า อากาศหนาวจัด และ พืชอยู่ในช่วงเก็บเกี่ยว และ ท้องฟ้ามีเมฆปานกลาง แล้ว การใช้น้ำของพืชต่ำมาก
3. ถ้า อากาศเย็น และ พืชอยู่ในช่วงเจริญเติบโต และ ท้องฟ้ามีเมฆมาก แล้ว การใช้น้ำของพืชต่ำ

## ผลการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืช

ผลการพัฒนาวิธี Fuzzy logic เพื่อคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชรายวันมี 3 ขั้นตอน คือ การปรับเทียบ (Calibration) การตรวจสอบ (Validation) และการประยุกต์ใช้งาน (Application) ซึ่งแต่ละขั้นตอนให้ผลดังนี้

ขั้นตอนการปรับเทียบ (Calibration) เป็นขั้นตอนปรับกฎการควบคุมและฟังก์ชันความเป็นสมาชิกให้เหมาะสม โดยปรับค่าที่คำนวณให้ใกล้เคียงกับวิธี Penman-Monteith มากที่สุด ซึ่งในภาพที่ 2 เป็นผลการเปรียบเทียบหาปริมาณการใช้น้ำของพืช โดยใช้ข้อมูลรายวัน ปี 2544 จะเห็นว่าค่าที่คำนวณจากวิธี Penman-Monteith มีความผันแปรมากเป็นบางช่วง

ขั้นตอนการตรวจสอบ (Validation) เป็นขั้นตอนนำวิธีการที่ได้พัฒนาขึ้น ไปใช้หาปริมาณการใช้น้ำของพืช ดังภาพที่ 3 เป็นการเปรียบเทียบผลการคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชกับวิธี Penman-Monteith โดยใช้ข้อมูลรายวันปี 2543 ซึ่งค่าที่คำนวณได้มีแนวโน้มของกราฟไปในทิศทางเดียวกันกับขั้นตอนการปรับเทียบ

ขั้นตอนประยุกต์ใช้งาน (Application) เป็นขั้นตอนทดสอบความสามารถของแบบจำลองพืชที่ใช้ในการใช้ข้อมูลเฉลี่ยรายเดือน (อุณหภูมิอากาศ และความยาวนานของแสงอาทิตย์) เพื่อหาปริมาณการใช้น้ำของพืชรายวัน ซึ่งในภาพที่ 4 เป็นผลการคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชรายวันตั้งแต่ปี 2543 - 2544 ซึ่งค่าที่ได้จากข้อมูลเฉลี่ยรายเดือนมีความแปรปรวนน้อยกว่าข้อมูลรายวัน ทั้งนี้เนื่องจากข้อมูลรายวันมีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละวันไม่แน่นอน แต่แนวโน้มของกราฟที่ได้มีทิศทางเดียวกัน โดยการเปลี่ยนแปลงค่าค่อนข้างสม่ำเสมอ

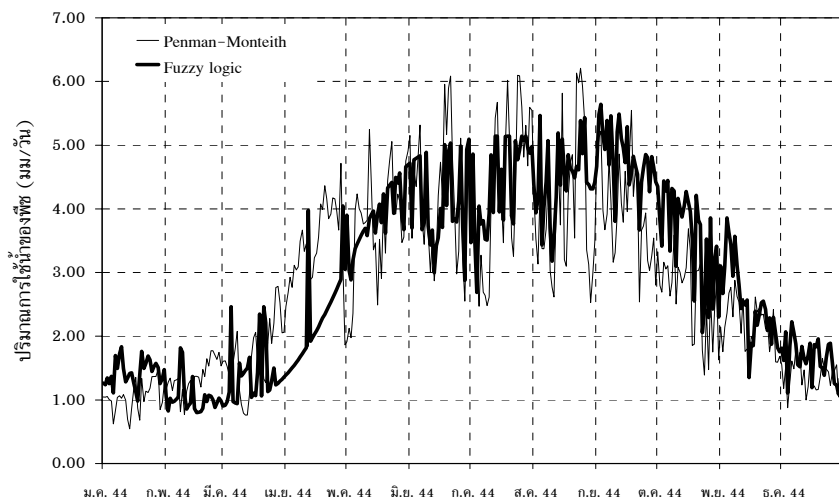
ผลการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชรายปีของปี 2543 และปี 2544 โดยวิธี Fuzzy logic เท่ากับ 1,082 และ 1,080 มิลลิเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ วิธี Penman-Monteith เท่ากับ 1,043 และ 1,036 มิลลิเมตร ซึ่งทั้ง 2 วิธีมีค่าใกล้เคียงกัน ถ้าพิจารณาเฉพาะวิธี Fuzzy logic ค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชทั้ง 2 ปี มีค่าใกล้เคียงกันมาก แต่ถ้าพิจารณาจากกราฟที่คำนวณได้ในแต่ละวัน จะมีความผันแปรตามข้อมูลรายวันที่ใช้ในการคำนวณจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยวิธี Fuzzy logic กับวิธี Penman-Monteith ในภาพที่ 5 ซึ่งค่าที่ได้ทั้ง 2 ปีให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกัน โดยสามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.705 และ 0.710

## สรุป

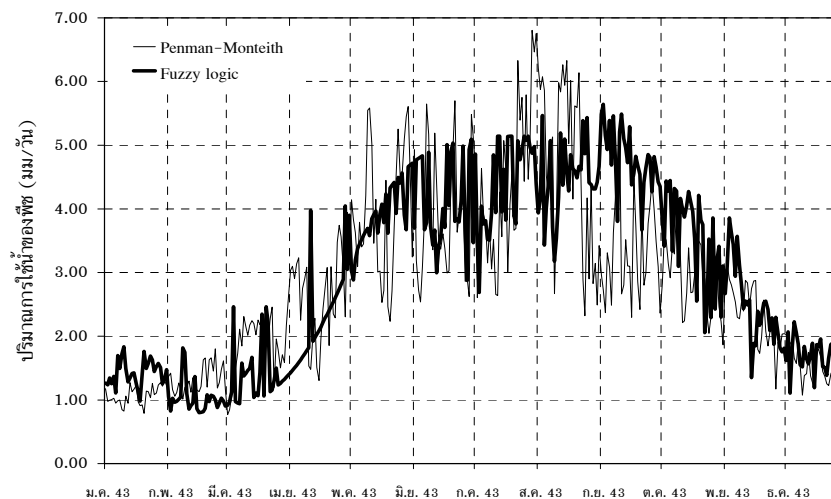
การพัฒนาวิธีการหาค่าการใช้น้ำของพืชโดยฟัซซี่ลอจิกเป็นงานวิจัยที่หาวิธีการที่จะใช้ข้อมูลน้อยแต่มีความสำคัญ โดยให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับวิธีดั้งเดิมที่ได้รับความนิยมเชื่อถือ ทั้งนี้ ถือได้ว่าเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาในเรื่องการขาดแคลนข้อมูลในบางพื้นที่ งานวิจัยครั้งนี้ ได้พัฒนาวิธีการหาค่าการใช้น้ำของพืชโดยฟัซซี่ลอจิก และได้เปรียบเทียบผลลัพธ์กับวิธี Penman-Monteith ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกัน

ทฤษฎีฟัซซี่เซต เป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในทางวิศวกรรมชลประทาน โดยการพัฒนาเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการอธิบายหรือประมาณค่าจากปัจจัยต่าง ๆ ซึ่งบางครั้งไม่สามารถกระทำได้อย่างแม่นยำ อย่างไรก็ตาม การนำทฤษฎีฟัซซี่เซตไปใช้ ผู้ใช้ต้องเข้าใจกระบวนการของระบบที่ศึกษาเป็นอย่างดี จึงจะทำให้การกำหนดเกณฑ์ทางตรรกะของแบบจำลองเป็นไปอย่างถูกต้องและเหมาะสม

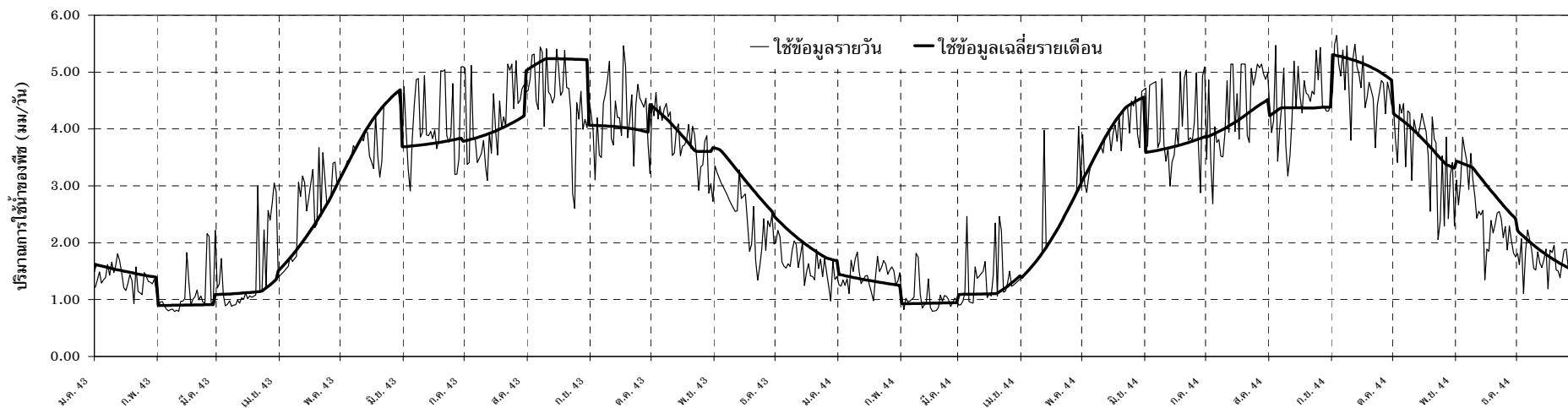




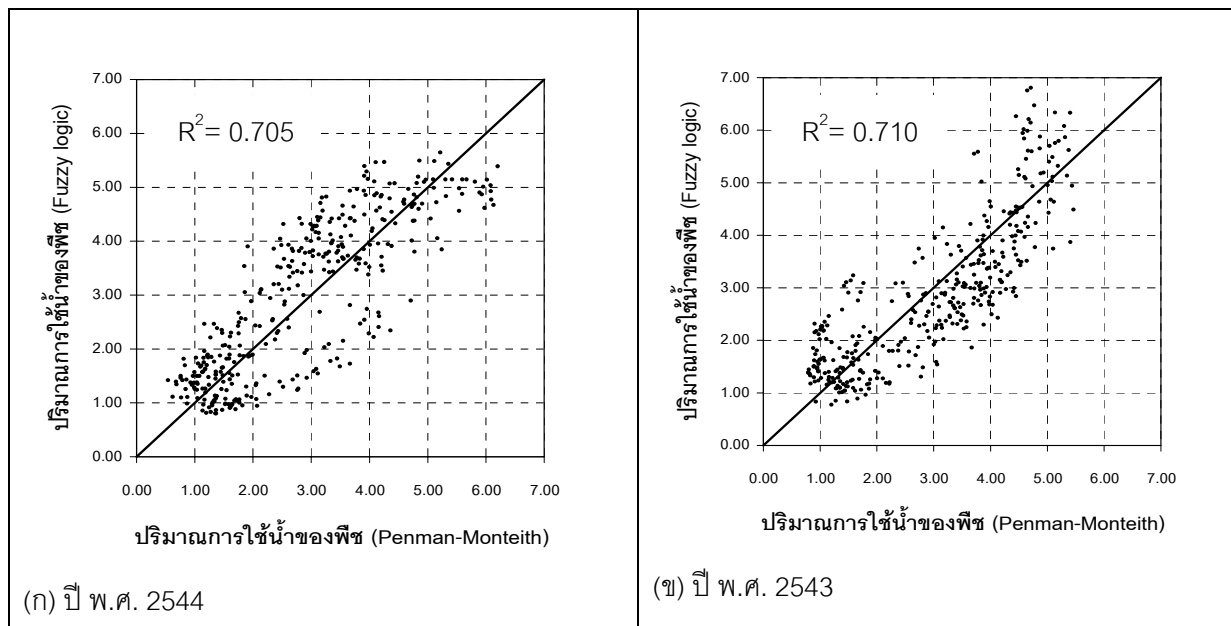
ภาพที่ 2 ผลการสอบเทียบ (Calibration) ปริมาณการใช้น้ำของพืชรายวัน ระหว่างวิธี Fuzzy logic กับ Penman-Monteith ปี 2544



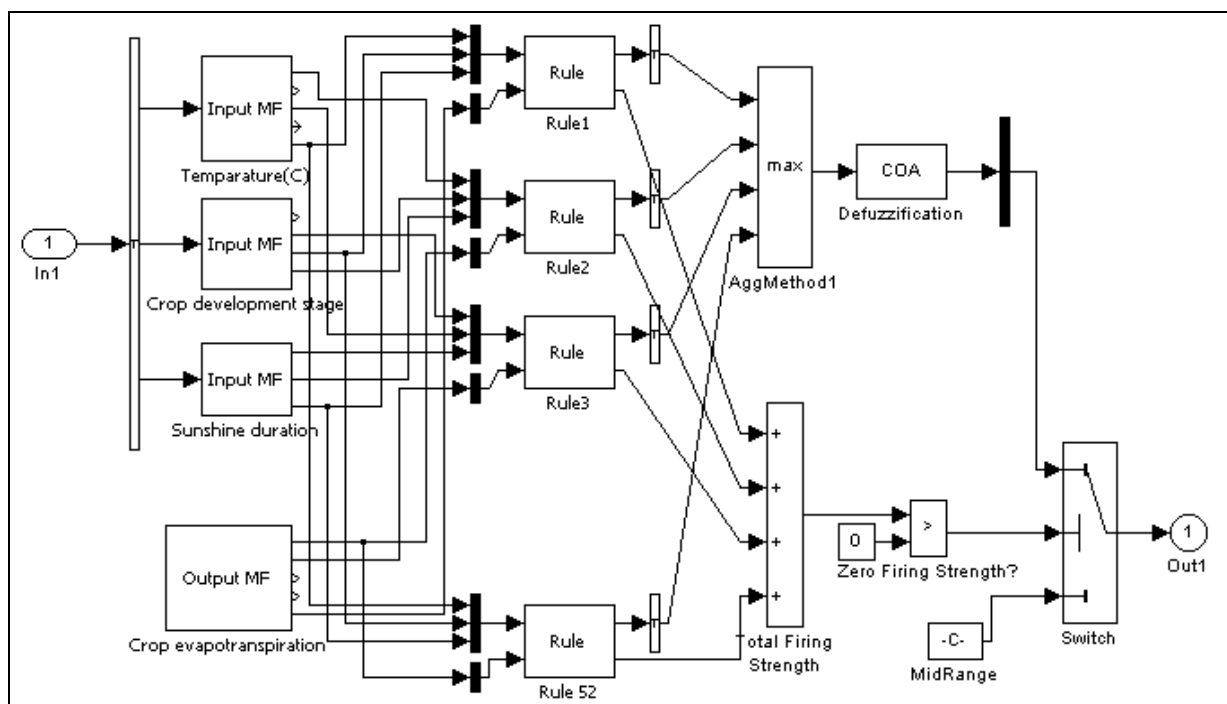
ภาพที่ 3 ผลการตรวจสอบ (Validation) ปริมาณการใช้น้ำของพืชรายวัน ระหว่างวิธี Fuzzy logic กับ Penman-Monteith ปี 2543



ภาพที่ 4 ผลการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชรายวัน จากข้อมูลเฉลี่ยรายเดือน ปี 2543 และ ปี 2544 โดยวิธี Fuzzy logic



ภาพที่ 5 การเปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำของพืชระหว่างวิธี Fuzzy logic และวิธี Penman-Monteith



ภาพที่ 6 ตัวอย่างแบบจำลองสำหรับหาปริมาณการใช้น้ำของพืช

## เอกสารอ้างอิง

- วิบูลย์ บุญยธโรกุล. 2526. **หลักการชลประทาน**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- พันธ์ทิพย์ พิชมงคล. 2542. **การศึกษาความเหมาะสมและความสำคัญของตัวแปรของสูตรเพนแมนในสมการลมฟ้าของสถานีอุตุนิยมวิทยานครปฐมวิทยานิพนธ์**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ยุทธนา พันธุ์กลมศิลป์. 2545. **การพัฒนาแบบจำลองความต้องการน้ำชลประทานโดยใช้ฟัซซี่ลอจิก**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Allen, R.G., Pereir, L.S., Raes, D. and Smit. M. 1998. **Crop Evapotranspiration**. FAO. Irrigation and Drainage Paper No. 56, Rome.
- Bahat, M., Inbar, G., Yaniv, O. and Schneidar, M. 2000. A fuzzy irrigation controller system. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**. 13: 137-145.
- Cazemier, D.R., Lagacherie, P. and Martin-Clouaire.R.2001. A possibility theory approach for estimating available water capacity from imprecise information contained in soil databases, **Geoderma**. 103: 113-132.
- Ross, T.J. 1995. **Fuzzy Logic with Engineering Application**. McGraw-Hill Inc., United State of America.
- Saruwatari, N. and Yomota, A., 1995. Forecasting system of irrigation water on paddy field by fuzzy theory. **Agricultural Water Management**. 28: 163-167.