รหัสโครงการ SUT7-711-56-12-60

รายงานการวิจัย

การพัฒนาเชิงคำนวณด้วยเทคนิควิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ สำหรับแบบจำลองระบบการชลประทาน

(Artificial Intelligence based Computational Development for Irrigation System Modeling)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ SUT7-711-56-12-60

รายงานการวิจัย

การพัฒนาเชิงคำนวณด้วยเทคนิควิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ สำหรับแบบจำลองระบบการชลประทาน

(Artificial Intelligence based Computational Development for Irrigation System Modeling)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

รองศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

นายระติ พลทามูล

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2556

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กันยายน 2558

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ จากหลาย ๆ ฝ่าย จนสำเร็จไปได้ลุล่วงด้วยดี คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้ความเอื้อเฟื้อทั้งทางด้านสถานที่ เครื่องมือและบุคลากร ขอขอบพระคุณสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและสำนักวิชาวิศวกรรศาสตร์สำหรับการสนับสนุนในทุก ๆ ด้าน การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณพ.ศ. 2555

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันเกษตรกรรมแม่นยำสูงได้เข้ามามีบทบาทในการพัฒนาระบบเกษตรกรรมไทยมากขึ้น โดยมุ่งเน้นการควบคุมผลผลิตต่อไร่และเสริมองค์ความรู้ในการบริหารจัดการแปลงเกษตรให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับคำนวณการให้น้ำของไร่มันสำปะหลัง โดยพิจารณาใช้แบบจำลองระบบชลประทานเป็นหลักในการคำนวณและใช้เทคนิควิธีทางปัญญาประดิษฐ์ในการประมวลผลข้อมูลของสภาพภูมิอากาศของไร่มันสำปะหลังอย่างอัตโนมัติ รวมไปถึงการนำเอารูปแบบการจัดวางหัวจ่ายน้ำของระบบน้ำหยด ข้อมูลคุณลักษณะของพืชและคุณลักษณะของดินมาประมวลผลเชิงการคำนวณ อันนำไปสู่ผลลัพธ์ของปริมาณการให้น้ำที่เหมาะสมที่สุดสำหรับไร่มันสำปะหลังนั้น ๆ ปริมาณการให้น้ำที่มากเกินไปทำให้เกิดความสูญเสียสิ้นเปลืองโดยพืชไม่สามารถนำเอาน้ำไปใช้ประโยชน์ได้เต็มที่ ในขณะที่ปริมาณการให้น้ำที่น้อยเกินไปจะทำให้พืชได้รับน้ำที่ไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต งานวิจัยนี้พิจารณาพารามิเตอร์หลักที่มีผลต่อปริมาณการให้น้ำได้แก่ค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETp) และค่าสัมประสิทธิ์ของพืช (Kc) และยังได้พิจารณาพารามิเตอร์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องได้แก่รูปแบบการวางท่อน้ำหยด คุณลักษณะของดินและคุณลักษณะการเจริญเติบโตของรากพืช ปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ถือเป็นข้อมูลที่มีรูปแบบที่ซับซ้อน จำเป็นต้องมีการใช้ข้อมูลเชิงวิจัยและเชิงเทคนิค ทำให้เกิดความยุ่งยากในการวิเคราะห์ใช้งานจริงต่อเกษตรกร งานวิจัยนี้ได้นำเอาเทคนิควิธีทางปัญญาประดิษฐ์ได้แก่เครือข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการวิเคราะห์คำนวณหาแบบจำลองการให้น้ำจากพารามิเตอร์หลักคือค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิงได้อย่างแม่นยำและอัตโนมัติ และสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเป็นซอฟต์แวร์คำนวณบนอุปกรณ์มือถือในทุกแพลตฟอร์มสำหรับใช้งานจริงได้อย่างสะดวก นำไปสู่การประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพระบบการชลประทานให้เป็นไปอย่างแม่นยำและตรงต่อความต้องการน้ำของพืช สามารถช่วยในการควบคุมผลผลิตและใช้ทรัพยากรน้ำได้อย่างคุ้มค่าที่สุด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Abstract

Now a day, precision agriculture has become more and more important role in Thai agriculture development, especially, for yield control and farm management enhancement. This research has presented development of software for watering process system using irrigation system modeling. Artificial intelligence techniques has been deployed to precisely model weather-related parameter of cassava rai automatically. The software design also considered various characteristics of cassava rai environment including pattern of drip irrigation system, cassava characteristics and soil characteristics. The goal of the watering system is to achieve a quantity of water which is optimal for considered environment parameters. Too much of water can cause waste of water in which cassava cannot obtain maximum usage of water, while too little of water can cause water insufficiency for cassava growth. Parameters used in this watering process calculation were mainly potential evapotranspiration (ETp) and crop coefficient (Kc) while the system also considered other related parameter such as pattern of drip irrigation system, water holding capacity of soil and cassava root depth. These parameters all together were considered complicated and the proposed software in this research was aim to perform complex calculation and then simplify the watering process system. The main technique was using artificial neural network to precisely and automatically model time-based and position-based values of ETp which was normally not available for every area of farming.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 การทบทวนวรรณกรรม/ สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง	2
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย	
2.1 ระบบการชลประทาน (irrigation system)	4
2.2 การพัฒนาแบบจำลองค่า ETp สำหรับเป็นตัวแปรสภาพภูมิอากาศ ของไร่มันสำปะหลัง	7
บทที่ 3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	
3.1 ผลการฝึกสอนเพื่อหาแบบจำลองค่า ETp รายวันในพื้นที่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	10
3.2 ผลการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (validate) ค่า ETp	13
3.3 ผลการคำนวณการให้น้ำแปลงมันสำปะหลังด้วยค่าประมาณ ETp ของพื้นที่ฟาร์มม.เทคโนโลยีสุรนารี	15
3.4 ผลการคำนวณการให้น้ำด้วยค่า ETp จากกรมชลประทานของพื้นที่ ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	17
บทที่ 4 วิจารณ์ผลการทดลอง	
4.1 การสร้างแบบจำลองการประมาณค่า ETp ด้วยเครือข่ายประสาทเทียม	19
4.2 การคำนวณการให้น้ำในไร่มันสำปะหลังด้วยแบบจำลองค่า ประมาณ ETp จากเครือข่ายประสาทเทียม	20
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	22
บรรณานุกรม	23
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก รายละเอียดตัวอย่างผลการคำนวณการให้น้ำแปลงมันสำปะหลัง	24

ภาคผนวก ข ประวัติผู้วิจัย 52

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านการใช้เทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์ในการสร้างแบบจำลองการให้น้ำ 2
ตารางที่ 2.1 ค่าเฉลี่ย ETp จากสถานีตรวจอากาศของจ.นครราชสีมา (หน่วย: มม./วัน) 4
ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของมันสำปะหลัง 5
ตารางที่ 2.3 ค่าความยาวรากมันสำปะหลัง (หน่วย: เมตร) 6
ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างผลการคำนวณการให้น้ำด้วยค่าประมาณ ETp ณ แปลงทดลองมันสำปะหลัง ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (ตัวอย่างการคำนวณเริ่มปลูก 21 กุมภาพันธ์ 2557) 16

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 ตัวอย่างค่า ETp เฉลี่ยของจ.นครราชสีมาตลอด 12 เดือน 5
รูปที่ 2.2 ค่า K_C ของมันสำปะหลัง 6
รูปที่ 2.3 ค่าความยาวรากมันสำปะหลัง (หน่วย: เมตร) 6
รูปที่ 2.4 แผนผังแบบจำลองการประมาณค่า ETp 8
รูปที่ 2.5 แผนผังแบบจำลองการประมาณค่า ETp ด้วยค่า ETp จากฐานข้อมูล
ของซอฟต์แวร์ LocClim ย้อนหลัง 9
รูปที่ 3.1 การลู่เข้าในการเรียนรู้ข้อมูล ETp ย้อนหลัง 1 ปี 10
รูปที่ 3.2 ค่าประมาณ ETp ณ วันที่ 1 มกราคม 2557 (ละติจูดและลองจิจูด
ครอบคลุมพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ) 11
รูปที่ 3.3 ค่าประมาณ ETp ณ วันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2557 (ละติจูดและลองจิจูดครอบคลุมพื้นที่ภาค
ตะวันออกเฉียงเหนือ) 12
รูปที่ 3.4 ผลการค่าประมาณ ETp รายวันตลอดปีจากแบบจำลอง ANN ของพื้นที่
ฟาร์มม.เทคโนโลยีสุรนารี 13
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองค่า ETp รายวัน ณ ตำแหน่ง
ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีเทียบกับค่า ETp รายเดือนของ
กรมชลประทาน จ.นครราชสีมา 14
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองค่า ETp รายวัน ณ ตำแหน่ง
สถานีตรวจอากาศอ.โชคชัย จ.นครราชสีมา เทียบกับค่าประมาณ ETp
จาก ANN ที่ตำแหน่งละติจูด-ลองจิจูดเดียวกัน 14
รูปที่ 3.7 แผนผังการคำนวณการให้น้ำไร่มันสำปะหลังแบบ Offline 15
รูปที่ 3.8 จำนวนวันในการให้น้ำครั้งต่อไป 17
รูปที่ 3.10 เปรียบเทียบผลคำนวณการให้น้ำโดยการใช้ค่าประมาณ ETp และค่า ETp
จากกรมชลประทานในการคำนวณ 18
รูปที่ 4.1 แบบจำลอง ETp จากเครือข่ายประสาทเทียม 19
รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบค่าประมาณ ETp จากเครือข่ายประสาทเทียมและค่า ETp
จากสถานีตรวจอากาศ กรมชลประทาน จ.นครราชสีมา 20
รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบผลคำนวณการให้น้ำโดยการใช้ค่าประมาณ ETp และค่า ETp
จากกรมชลประทานในการคำนวณ 21

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบัน เกษตรกรรมแม่นยำสูง (precision agriculture) ได้เข้ามามีบทบาทในการพัฒนาระบบเกษตรกรรมไทยมากขึ้น ทำให้สามารถเพิ่มผลผลิตต่อไร่และเสริมองค์ความรู้ในการบริหารจัดการแปลงเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและปริมาณผลผลิตของพืชไร่สามารถนำมาวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อใช้ในการควบคุมดูแลแปลงเกษตรให้มีเงื่อนไขที่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของพืชได้อย่างดีที่สุด โดยเฉพาะการให้ปุ๋ยและการให้น้ำถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ในงานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับคำนวณการให้น้ำของไร่มันสำปะหลัง โดยใช้แบบจำลองระบบชลประทานเป็นข้อมูลหลักในการคำนวณและใช้เทคนิควิธีทางปัญญาประดิษฐ์ในการประมวลผลข้อมูลของสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ของไร่มันสำปะหลัง รวมไปถึงรูปแบบการจัดวางหัวจ่ายน้ำของระบบน้ำหยด ข้อมูลคุณลักษณะของพืชและคุณลักษณะของดิน อันจะนำไปสู่ผลลัพธ์เชิงตัวเลขของอัตราการให้น้ำที่เหมาะสมที่สุด (optimum) สำหรับไร่มันสำปะหลังนั้น ๆ

ในระบบชลประทานแบบน้ำหยดของไร่มันสำปะหลังมีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อใช้ในการคำนวณอัตราการให้น้ำที่เหมาะสมกับพื้นที่แปลงเกษตร อัตราการให้น้ำที่มากเกินไปทำให้เกิดความสูญเสียสิ้นเปลืองโดยพืชไม่สามารถนำเอาน้ำไปใช้ประโยชน์ได้เต็มที่ อัตราการให้น้ำที่น้อยเกินไปทำให้พืชรับน้ำไม่เพียงพอ ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตที่ได้ พารามิเตอร์ที่มีผลต่ออัตราการให้น้ำประกอบไปด้วยค่าสภาพภูมิอากาศของพื้นที่แปลงเกษตร สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช รูปแบบการวางท่อน้ำหยด คุณลักษณะของดิน คุณลักษณะการเจริญเติบโตของรากพืชเป็นต้น ปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ถือเป็นข้อมูลที่มีรูปแบบที่ซับซ้อน จำเป็นต้องมีการใช้ข้อมูลเชิงวิจัยและเชิงเทคนิค ทำให้เกิดความยุ่งยากในการวิเคราะห์ใช้งาน นักเทคโนโลยีการเกษตรใช้การคำนวณอย่างง่าย ๆ เพื่อให้ได้ค่าประมาณการให้น้ำ ที่อาจจะมีการเผื่อค่าต่าง ๆ ไว้เกินความจำเป็นได้ ในปีที่ 1 ของงานวิจัยนี้มุ่งเน้นในการนำเอาเทคนิควิธีทางปัญญาประดิษฐ์ [3] ได้แก่เครือข่ายประสาทเทียม (artificial neural network) มาใช้ในการวิเคราะห์หาแบบจำลองการให้น้ำจากพารามิเตอร์ต่าง ๆ อย่างแม่นยำและแบบอัตโนมัติ และนำมาพัฒนาเป็นซอฟต์แวร์ใช้งานจริง สามารถทำการคำนวณการให้น้ำได้ โดยเฉพาะเมื่อนำไปประยุกต์ใช้บนอุปกรณ์ที่มีแพลตฟอร์มอย่างเหมาะสมสำหรับใช้ที่หน้างานไร่มันสำปะหลังได้อย่างสะดวกเช่นแท็บเล็ต (tablet) ซึ่งปัจจุบันมีประสิทธิภาพที่สูงและมีราคาที่ถูกลงมาก

งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาอัลกอริทึมการคำนวณด้วยเทคนิควิธีทางปัญญาประดิษฐ์สำหรับจำลองระบบการชลประทาน เพื่อใช้ในการวิเคราะห์คำนวณอัตราการให้น้ำของระบบน้ำหยดให้มีประสิทธิภาพและเหมาะสมที่สุดกับสภาวะแวดล้อมในไร่มันสำปะหลัง โดยผลการวิจัยที่ได้เป็นการพัฒนาแบบจำลองสภาพภูมิอากาศของพื้นที่แปลงเกษตรผ่านพารามิเตอร์ ETp ซึ่งเป็นพารามิเตอร์หลักในการคำนวณการให้น้ำแบบหัวน้ำหยดในแปลงมันสำปะหลัง ปกติแล้วค่า ETp ดังกล่าวต้องใช้เครื่องมือวัดค่าพารามิเตอร์หลากหลายค่า เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่า ETp ซึ่งจำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่ซับซ้อน ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาแบบจำลองพารามิเตอร์ ETp ของพื้นที่เฉพาะถิ่น (local area) ของแปลงมันสำปะหลังที่ต้องการการให้น้ำที่

แม่นยำ โดยใช้เครือข่ายประสาทเทียม (artificial neural network) ในการเรียนรู้และประมาณค่า ETp เฉพาะถิ่นจากการเรียนรู้ค่า ETp ในอดีต มาทำการประมาณค่า ETp ในปัจจุบันสำหรับใช้ในการคำนวณการให้น้ำตลอดทั้งปี นอกไปจากนั้นแล้ว ข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ดังกล่าวยังได้รวบรวมมาจากสถานีตรวจอากาศตามตำแหน่งพื้นที่ต่าง ๆ ทั่วภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รวมไปถึงการใช้ค่าประมาณย้อนหลังที่น่าเชื่อถือจากฐานข้อมูลของซอฟต์แวร์ LocClim หรือ Local Climate Estimator ทำให้ได้แบบจำลองค่า ETp ที่มีความแม่นยำกว่าวิธีการใช้ค่าเฉลี่ยทั่ว ๆ ไป ค่า ETp ที่ได้นำมาใช้ทดสอบในแปลงทดลองการให้น้ำมันสำปะหลังด้วยค่าประมาณ ETp เทียบกับการใช้ค่าเฉลี่ย ETp รายเดือนในการคำนวณการให้น้ำ แม้ว่าค่าประมาณ ETp ที่ได้สามารถนำมาใช้งานได้จริง แต่ในทางปฏิบัติแล้ว การคำนวณการให้น้ำมันสำปะหลังยังมีความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศในพื้นที่เฉพาะของแปลงมันสำปะหลัง เช่นฝนตก หรืออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงอย่างเฉียบพลัน ฯลฯ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศดังกล่าวมีผลกระทบต่อค่า ETp เฉพาะของพื้นที่นั้น ๆ การคำนวณการให้น้ำควรต้องมีการประเมินค่าใหม่ตามสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนไปจริง

1.1 การทบทวนวรรณกรรม/ สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

การทบทวนวรรณกรรมและสารสนเทศที่เกี่ยวข้องจากฐานข้อมูลต่าง ๆ สามารถสรุปเป็นตารางได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านการใช้เทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์ในการสร้างแบบจำลองการให้น้ำ

ปีที่พิมพ์	คณะผู้วิจัย	องค์ความรู้ที่ได้จากบทความ
2010 [7]	X. Fang T. De-shan	บทความนี้นำเสนอการทำนายปริมาณความต้องการใช้น้ำเพื่อการบริหารจัดการน้ำให้มีประสิทธิภาพ จากการพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ที่ค่อนข้างซับซ้อนและไม่เป็นเชิงเส้น โดยใช้เครื่องเวกเตอร์เกื้อหนุนแบบกำลังสองน้อยที่สุด (least square support vector machines) ในการคำนวณแบบจำลองการใช้น้ำ ซึ่งเป็นหนึ่งในเทคนิควิธีทางปัญญาประดิษฐ์ที่รองรับข้อมูลที่ไม่เป็นเชิงเส้นและมีจำนวนตัวอย่างข้อมูลไม่มากนักได้เป็นอย่างดี
2008 [8]	F. Capraro D. Patino S. Tosetti C. Schugurensky	บทความนี้นำเสนอการออกแบบตัวควบคุมการให้น้ำอย่างอัตโนมัติด้วยตัวควบคุมเชิงเครือข่ายประสาทเทียม ตัวควบคุมดังกล่าวสามารถรักษาระดับความชื้นของดินในแปลงเกษตร โดยเฉพาะในส่วนที่อยู่ของรากพืช โดยใช้การเปิด-ปิดวาล์วของระบบจ่ายน้ำ การเปลี่ยนแปลงของระดับความชื้นในพื้นที่ของรากถูกจำลองด้วยฟังก์ชันอนุพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้น โดยมีปัจจัยหลักคือปริมาณน้ำจากหัวจ่ายน้ำ การใช้น้ำของแปลงเกษตรและคุณลักษณะของดิน แบบจำลองดังกล่าวใช้เครือข่ายประสาทเทียมในการเรียนรู้และทำนายผลการควบคุมน้ำ เพื่อให้มีระดับความชื้นที่ต้องการ

2011 [9]	L. Ma Y. Wu J. Ji C. He	บทความนี้ทำการคำนวณหาแบบจำลองของการระเหยของน้ำในดิน ซึ่งมีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น สภาวะแวดล้อมและพลังงานของเรือนกระจก รวมไปถึงผลผลิตของพืช คุณภาพและผลกำไรของการทำแปลงเกษตร โดยใช้เครือข่ายประสาทเทียม พร้อมกฎการเรียนรู้แบบแพร่กลับ
2008 [10]	R. Liang Y. Ding X. Zhang W. Zhang	บทความนี้ทำการคำนวณหาความชื้นของดินสำหรับใช้ในการควบคุมการให้น้ำของแปลงเกษตรอย่างประหยัด โดยใช้ระบบการทำนายด้วย เครือข่ายตัวตรวจรู้ไร้สายและใช้เครือข่ายประสาทเทียมที่มีการเรียนรู้แบบแพร่กลับเชิงจีเนติก พร้อมกับใช้อัลกอริทึมการอบอ่อนจำลองในการหาค่าเหมาะที่สุดของผลลัพธ์จากระบบ
2010 [11]	Z. Yao G. Lou Z. Zeng Q. Zhao	บทความนี้นำเสนอระบบประหยัดน้ำแบบชาญฉลาดสำหรับการชลประทาน โดยใช้เครือข่ายประสาทเทียมและตรรกศาสตร์คลุมเครือ ข้อมูลในการฝึกสอนได้จากเครือข่ายตัวตรวจรู้ไร้สาย ได้แก่ความชื้นในดินและอุณหภูมิอากาศ ประกอบกับอุปกรณ์การควบคุมน้ำความแม่นยำสูงและตัวควบคุมแบบชาญฉลาด ทำให้สามารถใช้น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2011 [12]	G. Chen L. Yue	บทความนี้นำเสนอระบบการชลประทานแบบประหยัดน้ำ โดยใช้ทั้งระบบฟัซซีและเครือข่ายประสาทเทียม ที่ซึ่งใช้ข้อมูลในรูปของฟัซซีป้อนเป็นอินพุตให้กับเครือข่าย ระบบการชลประทานแบบชาญฉลาดนี้มีทั้งการคำนวณ การใช้ตรรกะ การประมวลผลแบบกระจายและการประมวลพลวัตแบบไม่เป็นเชิงเส้น
2012 [13]	X. Peng G. Liu	บทความนี้นำเสนอการพัฒนาสร้างระบบอัตโนมัติด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซีและเครือข่ายตัวตรวจรู้ไร้สาย สำหรับการชลประทานแบบประหยัดน้ำ ข้อมูลจากตัวตรวจรู้ต่าง ๆ เช่นความชื้นในดินและอุณหภูมิอากาศ ฯลฯ ถูกใช้ในการควบคุมการให้น้ำ โดยใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซีในการควบคุมการจ่ายน้ำอย่างอัตโนมัติ

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

1. เพื่อศึกษาและพัฒนาแบบจำลององค์ประกอบของระบบการชลประทานในไร่มันสำปะหลังด้วยเทคนิควิธีทางปัญญาประดิษฐ์
2. เพื่อดำเนินการออกแบบและพัฒนาต้นแบบซอฟต์แวร์การวิเคราะห์คำนวณอัตราการให้น้ำของระบบน้ำหยดในไร่มันสำปะหลังอย่างอัตโนมัติและเหมาะสมที่สุดกับสภาพแวดล้อมของแปลงเกษตร
3. เพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่ในการพัฒนาซอฟต์แวร์แบบจำลองระบบการชลประทานแบบชาญฉลาดและเสริมสร้างความแข็งแกร่งทางด้านเทคโนโลยีให้กับการทำระบบฟาร์มอัจฉริยะในประเทศไทย

บทที่ 2
วิธีดำเนินการวิจัย

ในการพัฒนาซอฟต์แวร์ระบบประมวลผลการให้น้ำไร่มันสำปะหลังด้วยแบบจำลองระบบการชลประทานมีการแบ่งมอดูลต่าง ๆ ของระบบออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ส่วนที่เกี่ยวข้องกับระบบชลประทาน ส่วนที่เกี่ยวข้องกับการประมาณค่า ETp ซึ่งเป็นตัวแปรหลักในการคำนวณการให้น้ำ และส่วนที่เป็นการโปรแกรม ดังรายละเอียดการดำเนินการวิจัยต่อไปนี้

2.1 ระบบการชลประทาน (irrigation system)

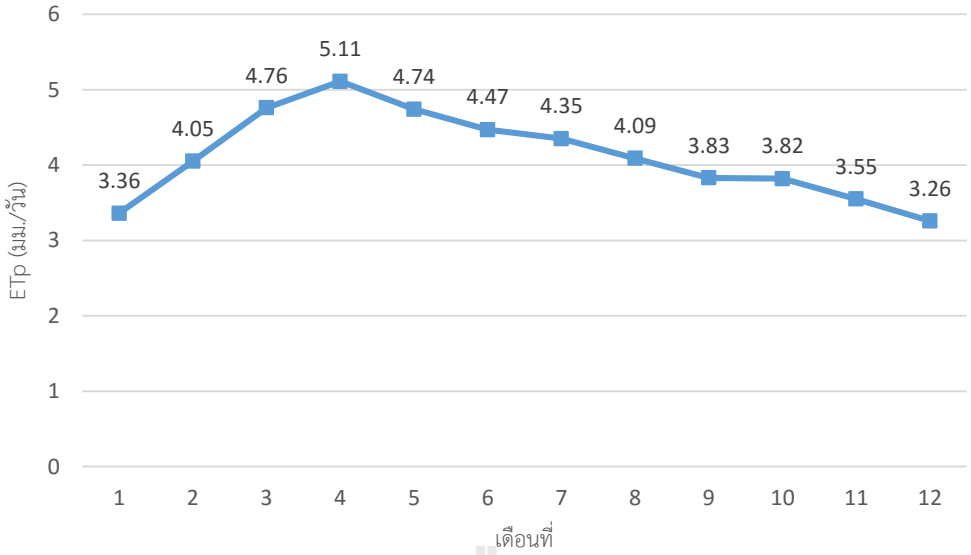
ระบบการชลประทานหรือการให้น้ำในแปลงเกษตรใช้ข้อมูลต่าง ๆ ของแปลงเกษตรในการคำนวณอัตราการให้น้ำผ่านระบบน้ำหยด ตามหลักแล้ว พารามิเตอร์หรือข้อมูลต่าง ๆ ในการคำนวณอัตราการให้น้ำดังกล่าวสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ๆ ดังนี้

1. <u>ค่าสภาพแวดล้อมทางภูมิอากาศของแปลงเกษตร</u>[5][6]

ค่าสภาพแวดล้อมทางภูมิอากาศสามารถพิจารณาปัจจัยหลักได้แก่ค่า ETo (Reference Crop Evapotranspiration) หรือค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (สามารถรวมถึงค่า ETp หรือ Potential Evapotranspiration ได้ด้วย) ซึ่งมีค่าขึ้นอยู่สภาพภูมิอากาศของพื้นที่แปลงเกษตรนั้น ๆ โดยปกติแล้วสามารถทำการคำนวณโดยอาศัยข้อมูลสถิติภูมิอากาศของประเทศไทยของกรมอุตุนิยมวิทยา กระทรวงคมนาคม [4] ข้อมูลค่า ETp ดังกล่าวมีการเก็บข้อมูลตามพื้นที่ของจังหวัดต่าง ๆ การได้มาของค่า ETp นี้มีได้หลายสูตร โดยปกติแล้ว นักเทคโนโลยีการเกษตรจะใช้ค่าเฉลี่ย (เช่น 10 ปี) ของค่า ETp ของพื้นที่ที่ใช้งานอยู่เป็นค่าในการคำนวณ ค่าเฉลี่ย ETp นี้ถือเป็นค่าประมาณคร่าว ๆ ของสภาพภูมิอากาศในพื้นที่นั้น ๆ ดังตัวอย่างข้อมูลค่าเฉลี่ย ETp ของสถานีตรวจอากาศในพื้นที่ตั้งจ.นครราชสีมา ในช่วงเวลา 12 เดือนมีดังนี้

ตารางที่ 2.1 ค่าเฉลี่ย ETp จากสถานีตรวจอากาศของจ.นครราชสีมา (หน่วย: มม./วัน)

ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
3.36	4.05	4.76	5.11	4.74	4.47	4.35	4.09	3.83	3.82	3.55	3.26



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างค่า ETp เฉลี่ยของจ.นครราชสีมาตลอด 12 เดือน

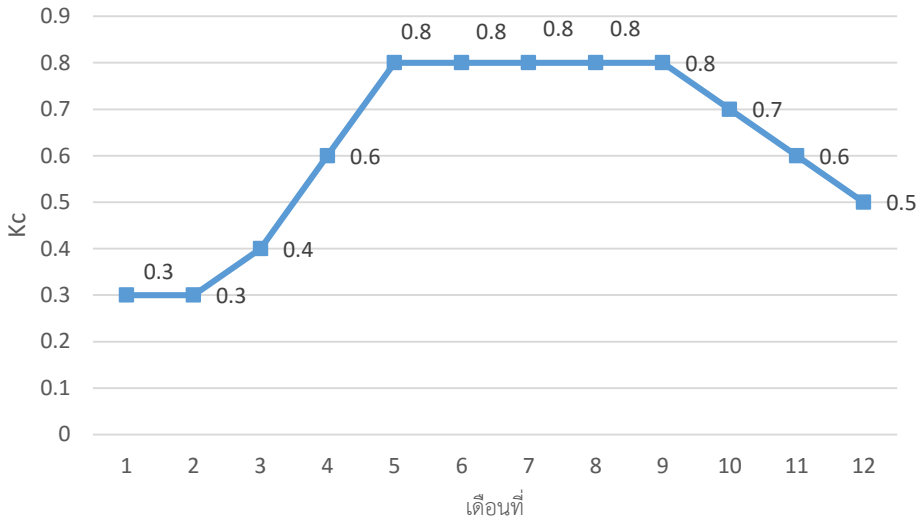
อย่างไรก็ดี ถ้าค่า ETp นี้มีรูปแบบที่แม่นยำกว่าการใช้ค่าเฉลี่ย การนำไปใช้งานในการคำนวณของระบบชลประทานที่หน้างานไร่มันสำปะหลังจะมีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น โดยการคำนวณสร้างแบบจำลองค่า ETp ด้วยหลักการทางปัญญาประดิษฐ์ได้แก่เครือข่ายประสาทเทียม เพื่อให้ได้ค่า ETp ที่แม่นยำสำหรับใช้ในการคำนวณการให้น้ำของมันสำปะหลังได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น การใช้แบบจำลองดังกล่าวสามารถคำนวณหาค่าประมาณ ETp ที่ละเอียดขึ้นได้ เช่นเป็นรายวันหรือรายสัปดาห์แทนที่จะเป็นรายเดือน ทำให้การให้น้ำเป็นไปอย่างแม่นยำยิ่งขึ้น

2. <u>คุณลักษณะของพืช</u>

พืชแต่ละชนิดมีคุณลักษณะการใช้น้ำที่แตกต่างกัน โดยปกติแล้วสามารถพิจารณาได้จากสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (crop coefficient) หรือค่า K_C ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวจะต้องถูกพิจารณาให้ครบวงจรชีวิตของพืช ซึ่งแตกต่างกันออกไปตามประเภทของพืช ในกรณีงานวิจัยนี้ใช้ค่าประมาณ K_C ของมันสำปะหลังในวงจรชีวิต 12 เดือนดังนี้

ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของมันสำปะหลัง

เดือนที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
K_C	0.30	0.30	0.40	0.60	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.70	0.60	0.50

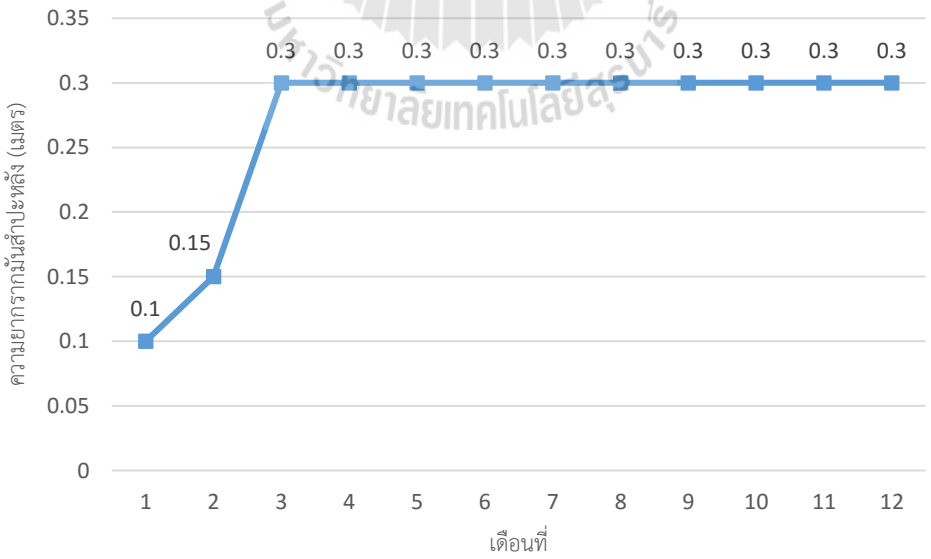


รูปที่ 2.2 ค่า K_C ของมันสำปะหลัง

ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวมีความสำคัญต่อการวิเคราะห์คำนวณแบบจำลองการให้น้ำ เนื่องจากมีผลต่อการใช้น้ำของพืชโดยตรงค่าสัมประสิทธิ์ K_C ดังกล่าว ยังมีผลเกี่ยวเนื่องกับขนาดการเจริญเติบโตของรากพืช (root depth) ซึ่งมีผลต่อการใช้น้ำของพืชอีกด้วย ซึ่งค่าที่ใช้ในงานวิจัยมีดังนี้

ตารางที่ 2.3 ค่าความยาวรากมันสำปะหลัง (หน่วย: เมตร)

เดือนที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ความยาวราก	0.10	0.15	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30



รูปที่ 2.3 ค่าความยาวรากมันสำปะหลัง (หน่วย: เมตร)

3. รูปแบบการวางผังหัวจ่ายน้ำของระบบน้ำหยด

รูปแบบการวางผังหัวจ่ายน้ำของระบบน้ำหยดสามารถออกแบบได้ตามความเหมาะสมของไร่มันสำปะหลัง ถือเป็นพารามิเตอร์สำคัญส่วนหนึ่งที่ต้องนำมาใช้ในการวิเคราะห์คำนวณหาอัตราการให้น้ำ ตัวอย่างเช่นระยะห่างระหว่างแถว (row spacing) ขนาดรูหยดน้ำ (drip hole) และอัตราการหยด (drip flow rate) เป็นต้น

4. คุณลักษณะของดิน

คุณลักษณะของดินหรือประเภทของดินเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง ที่ต้องใช้ร่วมในการพิจารณาปริมาณการให้น้ำเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของพืช เนื่องจากดินแต่ละประเภทมีความสามารถในการอุ้มน้ำที่แตกต่างกัน (soil water holding capacity หรือ SWHC)

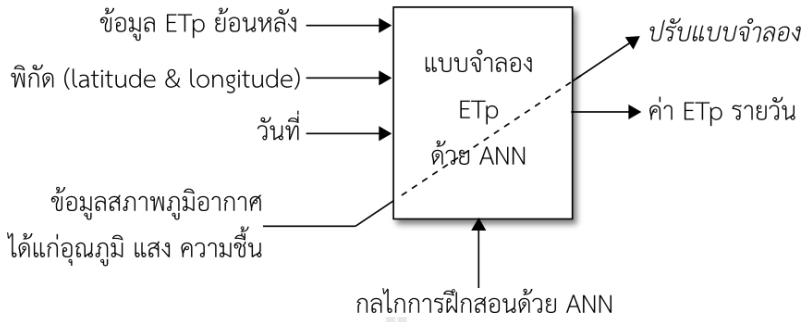
2.2 การพัฒนาแบบจำลองค่า ETp สำหรับเป็นตัวแปรสภาพภูมิอากาศของไร่มันสำปะหลัง

ในการคำนวณการให้น้ำในไร่มันสำปะหลัง มีพารามิเตอร์ที่ต้องใช้ในการคำนวณดังหมวดหมู่ต่อไปนี้

- พารามิเตอร์ทางกายภาพของไร่มันสำปะหลัง เช่นขนาดและพื้นที่ปลูก เป็นต้น
- พารามิเตอร์ทางกายภาพของระบบให้น้ำ เช่นจำนวนเส้นของท่อน้ำหยด จำนวนหัวน้ำหยดต่อเส้น เป็นต้น
- พารามิเตอร์ของพื้นที่เพาะปลูก เช่นประเภทของดิน การอุ้มน้ำของดิน เป็นต้น
- พารามิเตอร์ของต้นมันสำปะหลัง เช่นความยาวรากในแต่ละเดือน และค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (K_C) เป็นต้น
- พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับสภาพภูมิอากาศ เช่นปริมาณการใช้น้ำของพืช (Potential Evapotranspiration หรือ ETp) เป็นต้น

โดยผลลัพธ์สุดท้ายจะนำไปสู่การคำนวณหาปริมาณการให้น้ำของระบบน้ำหยดได้แก่จำนวนชั่วโมงที่ต้องให้น้ำในแต่ละครั้งเพื่อให้ได้ปริมาณน้ำเพียงพอตามที่คำนวณและระยะห่าง (วัน) ที่ต้องให้น้ำ งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองในการประมาณค่า ETp ซึ่งค่าดังกล่าวต้องใช้ข้อมูลเชิงเทคนิคจากอุปกรณ์ที่ไม่สามารถหาได้ในพื้นที่ และค่า ETp เป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่มีผลกระทบต่อการคำนวณผลลัพธ์

การให้น้ำของระบบน้ำหยดในไร่มันสำปะหลัง การประมาณค่า ETp ในพื้นที่เพาะปลูกจริงจึงมีความสำคัญและเป็นวัตถุประสงค์หลักในโครงการวิจัยนี้ ดังแผนผังแสดงในรูปที่ 2.4



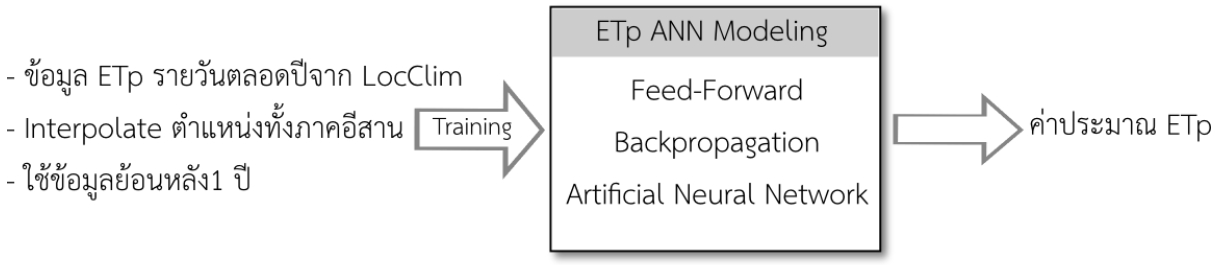
รูปที่ 2.4 แผนผังแบบจำลองการประมาณค่า ETp

จากแผนผังข้างต้น การพัฒนาแบบจำลองค่า ETp ใช้กลไกหลักคือเครือข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network หรือ ANN) ในการเรียนรู้ในการประมาณค่า ETp โดยมีข้อมูลย้อนหลังสำหรับใช้ในการฝึกสอน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวยิ่งมีปริมาณมาก จะทำให้ ANN สามารถเรียนรู้เชิงสถิติจากข้อมูลได้ดียิ่งขึ้น อย่างไรก็ดี ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลค่า ETp รายวันจากฐานข้อมูลของซอฟต์แวร์ LocClim หรือ Local Climate Estimator – ที่มา http://www.fao.org/nr/climpag/pub/en3_051002_en.asp เป็นจำนวน 1 ปีย้อนหลังจากสถานีตรวจอากาศต่าง ๆ ทั่วโลก โดยพิจารณานำเอาข้อมูลของจากพื้นที่ประเทศไทยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือทั้งหมดในช่วงละติจูดที่ 14.3 – 17.5 และลองจิจูดที่ 101.2 – 104.5 มาใช้ในการเรียนรู้ของ ANN ดังตัวอย่างข้อมูลสำหรับการฝึกสอนดังรายละเอียดต่อไปนี้ (แผนผังในรูปที่ 2.5)

<u>การออกแบบเครือข่ายประสาทเทียม (ANN) สำหรับเรียนรู้ค่า ETp</u>

- โครงสร้างแบบ Feedforward พร้อมการเรียนรู้แบบแพร่กลับ (Backpropagation) แบบ 11-8-8-8-1 (11 โนดอินพุต – 8 โนดชั้นซ่อนเร้นที่ 1 – 8 โนดชั้นซ่อนเร้นที่ 2 – 8 โนดชั้นซ่อนเร้นที่ 3 - 1 โนดเอาต์พุต)
- ข้อมูล 11 อินพุตได้แก่ [ละติจูด, ลองจิจูด, วันที่ในรอบปี (1-365)] โดยค่าละติจูดและลองจิจูดมีการ normalize ให้อยู่ในช่วง [0,1] และค่าวันที่ในรอบปีใช้ค่าไบนารี 9 หลักแทนค่าวันที่ 1 – 365 ของปี
- ข้อมูลเอาต์พุตสำหรับการเรียนรู้ได้แก่ค่า ETp ของตำแหน่งละติจูด/ลองจิจูดและวันที่ที่ต้องการค่าข้อมูลสำหรับใช้ในการฝึกสอนประกอบไปด้วย

- ข้อมูลค่า ETp รายวันจากซอฟต์แวร์ LocClim โดยการ interpolate ค่าละติจูดและลองจิจูดสำหรับชุดข้อมูลในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือย้อนหลัง 1 ปี



รูปที่ 2.5 แผนผังแบบจำลองการประมาณค่า ETp ด้วยค่า ETp จากฐานข้อมูลของซอฟต์แวร์ LocClim ย้อนหลัง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

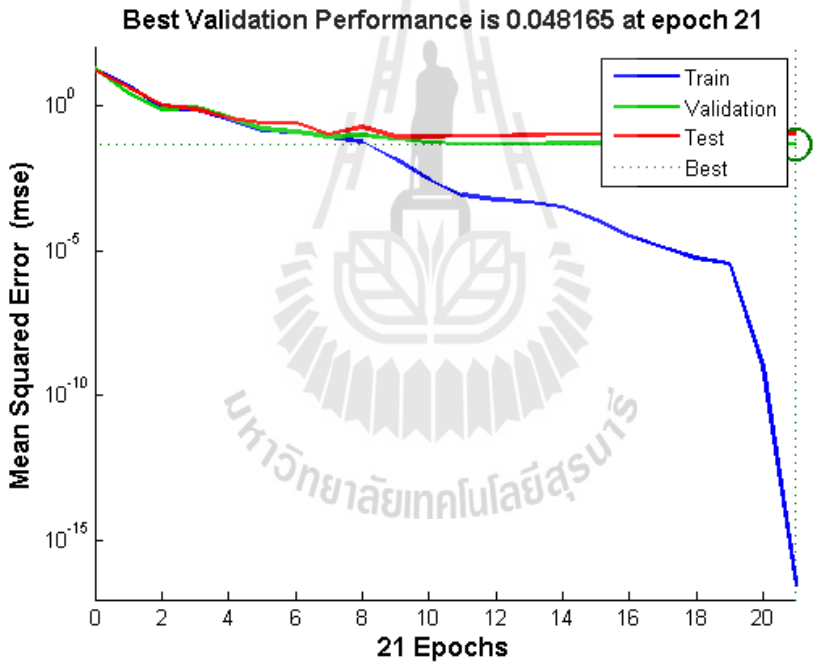
บทที่ 3

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

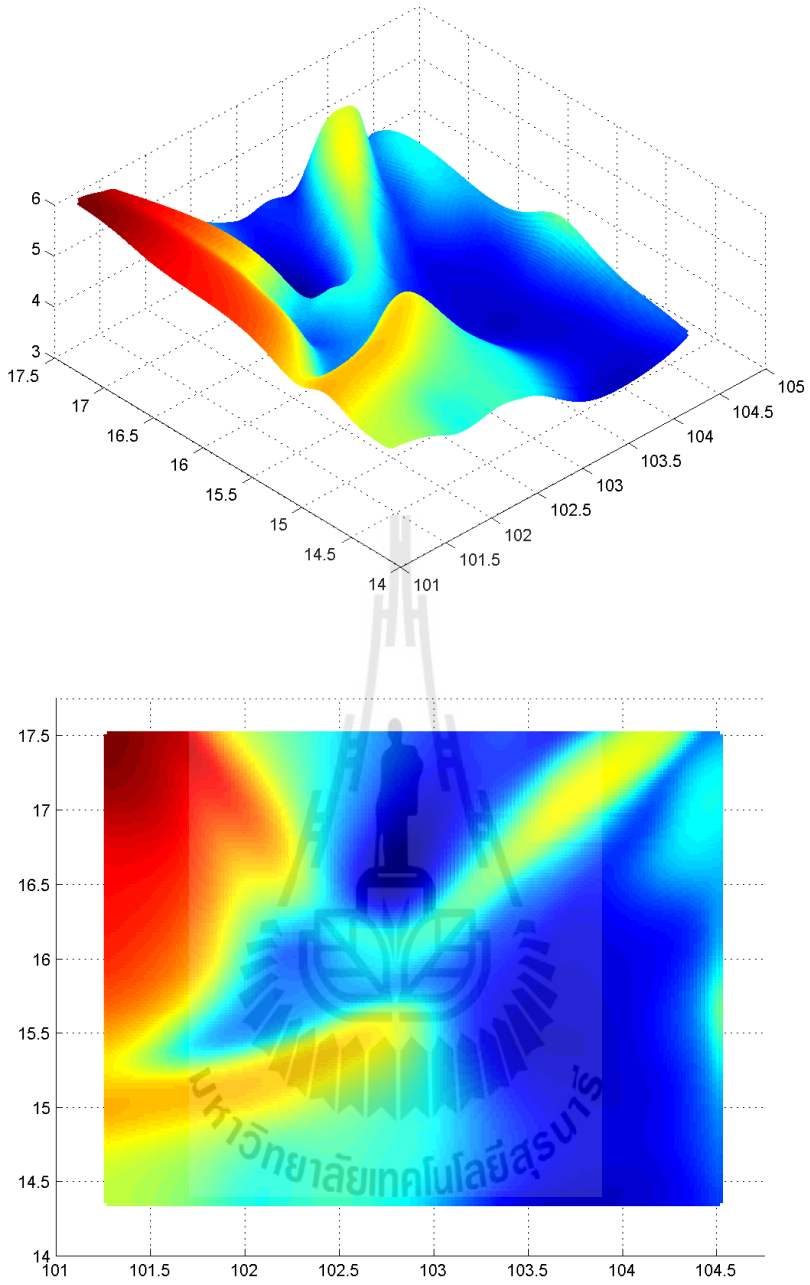
ในบทที่ 3 นี้จะได้กล่าวถึงผลการทดลองในการพัฒนาแบบจำลอง ETp จากเครือข่ายประสาทเทียม เพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการคำนวณการให้น้ำด้วยซอฟต์แวร์อย่างอัตโนมัติได้ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.1 ผลการฝึกสอนเพื่อหาแบบจำลองค่า ETp รายวันในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

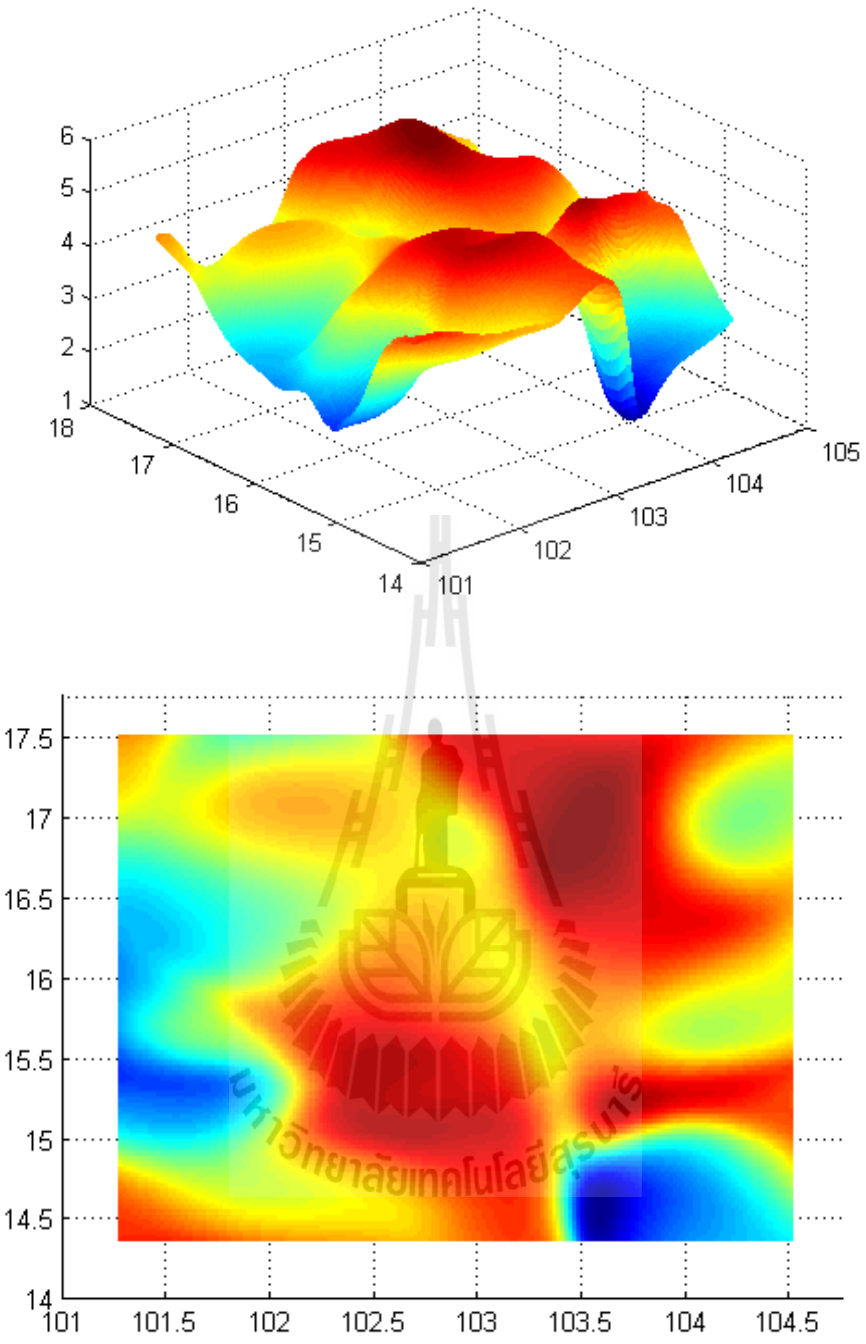
รูปที่ 3.1 แสดงผลการลู่เข้าในการเรียนรู้ข้อมูล ETp ย้อนหลัง 1 ปีของ ANN ซึ่งเมื่อนำผลของแบบจำลอง ETp ที่ได้มาจำลองหาค่า ETp ดังตัวอย่างค่า ETp ของเดือนมกราคม 2557 และเดือนกุมภาพันธ์ 2557 แสดงในรูปที่ 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ รูปที่ 3.4 แสดงผลการจำลองค่า ETp รายวันในตำแหน่งฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นค่าที่ใช้ในการคำนวณการให้น้ำมันสำปะหลังในแปลงทดลองงานวิจัย



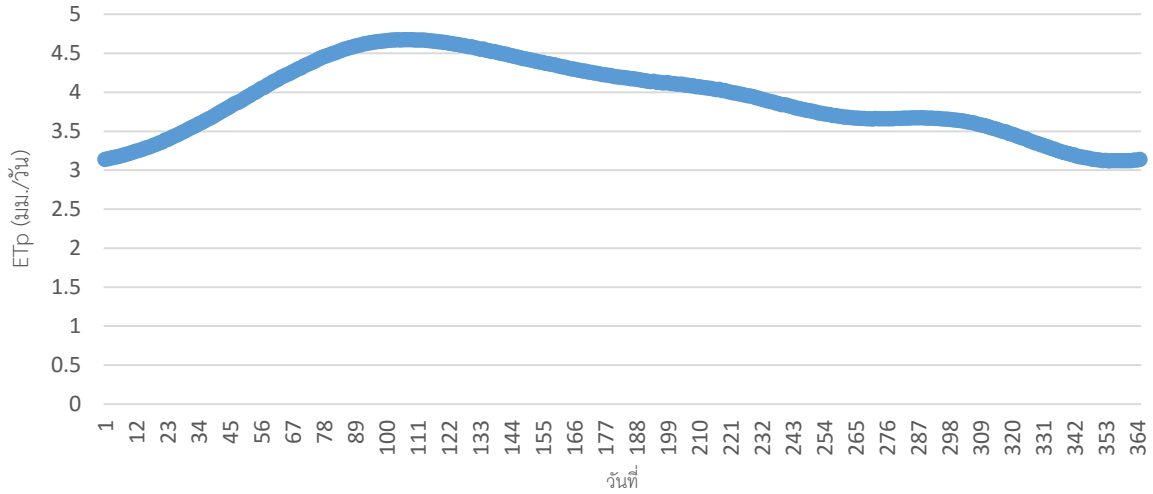
รูปที่ 3.1 การลู่เข้าในการเรียนรู้ข้อมูล ETp ย้อนหลัง 1 ปี



รูปที่ 3.2 ค่าประมาณ ETp ณ วันที่ 1 มกราคม 2557 (ละติจูดและลองจิจูดครอบคลุมพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ)



รูปที่ 3.3 ค่าประมาณ ETp ณ วันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2557 (ละติจูดและลองจิจูดครอบคลุมพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ)

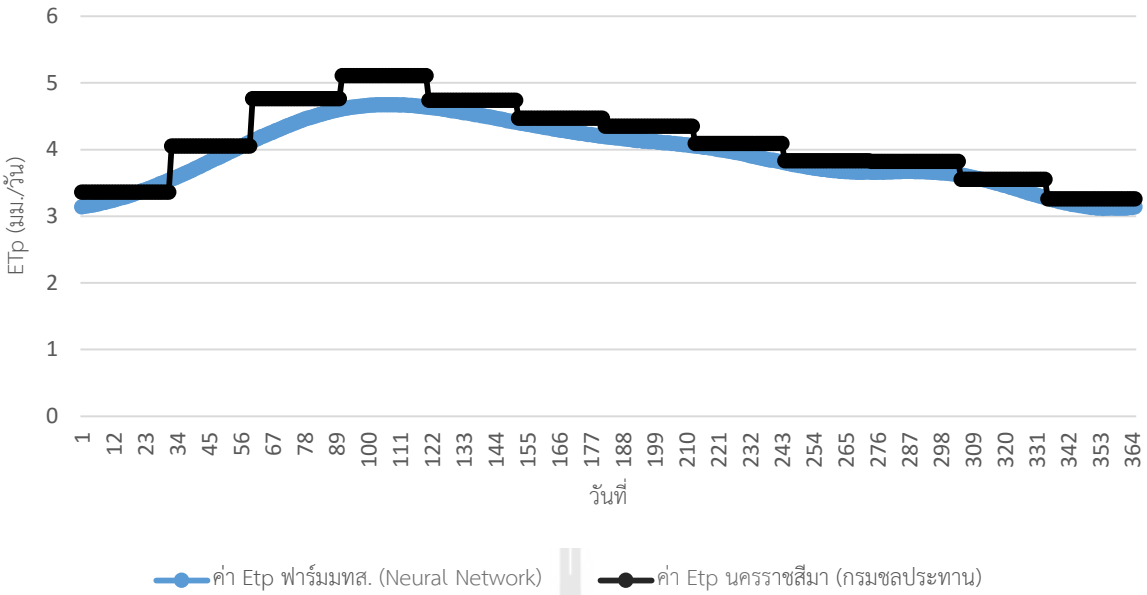


รูปที่ 3.4 ผลการค่าประมาณ ETp รายวันตลอดปีจากแบบจำลอง ANN ของพื้นที่ฟาร์มม.เทคโนโลยีสุรนารี

3.2 ผลการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (validate) ค่า ETp

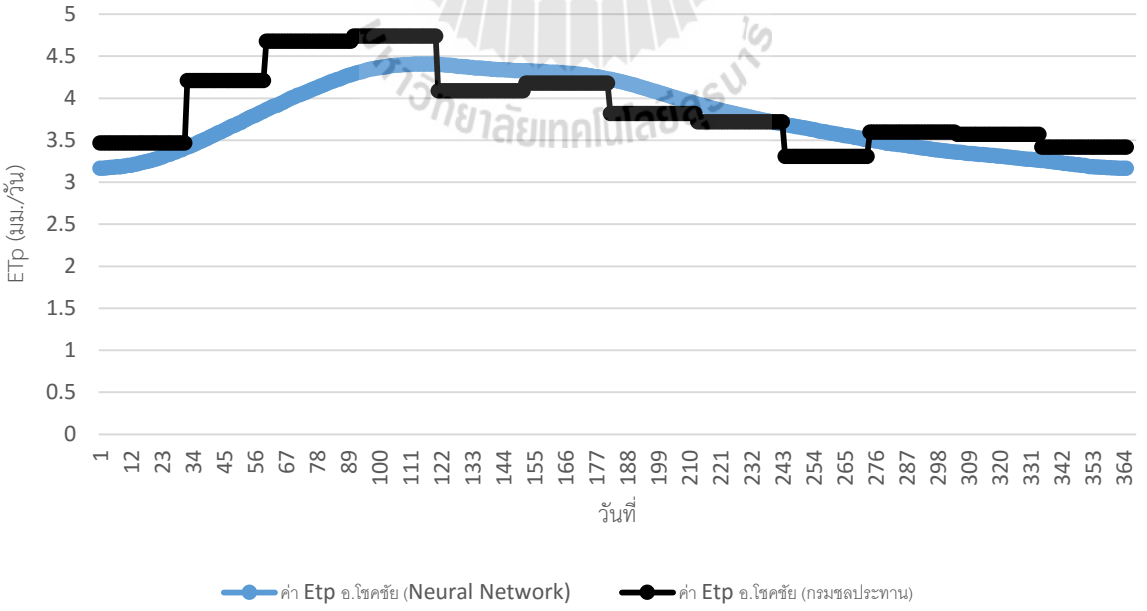
การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ค่า ETp ที่ได้จะเทียบกับข้อมูลค่า ETp จริงจากสถานีตรวจวัดอากาศกรมชลประทาน โดยทำการคำนวณค่าประมาณ ETp จากตำแหน่งละติจูด-ลองจิจูดเดียวกับของสถานีตรวจอากาศ แล้วนำค่าประมาณที่คำนวณได้จาก ANN มาทำการเปรียบเทียบดูแนวโน้มความใกล้เคียงของผลลัพธ์ที่ได้ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.5 ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลลัพธ์จากการประมาณค่า ETp ทำให้ได้ค่า ETp รายวันที่มีแนวโน้มเดียวกันกับค่า ETp รายเดือนที่วัดจากสถานีตรวจอากาศของกรมชลประทาน จ.นครราชสีมา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองค่า ETp รายวัน ณ ตำแหน่งฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีเทียบกับค่า ETp รายเดือนของกรมชลประทาน จ.นครราชสีมา

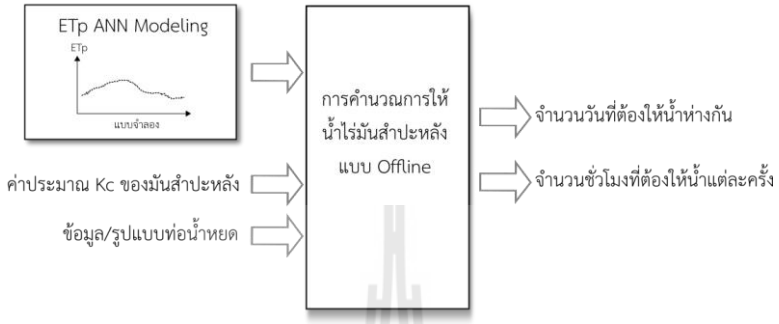
รูปที่ 3.6 แสดงการทดสอบความถูกต้องของค่าประมาณ ETp รายวันที่ได้จาก ANN โดยประมาณจากตำแหน่งละติจูด – ลองจิจูดของสถานีตรวจอากาศอ.โชคชัย จ.นครราชสีมา และเปรียบเทียบกับค่า ETp รายเดือนจากสถานีตรวจอากาศเดียวกัน จะเห็นได้ว่าค่าประมาณ ETp รายวันที่ได้ยังคงมีแนวโน้มใกล้เคียงกับค่า ETp รายเดือนจากสถานีตรวจอากาศ



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองค่า ETp รายวัน ณ ตำแหน่งสถานีตรวจอากาศอ.โชคชัย จ.นครราชสีมา เทียบกับค่าประมาณ ETp จาก ANN ที่ตำแหน่งละติจูด-ลองจิจูดเดียวกัน

3.3 ผลการคำนวณการให้น้ำแปลงมันสำปะหลังด้วยค่าประมาณ ETp ของพื้นที่ฟาร์มม.เทคโนโลยีสุรนารี

ผลการคำนวณการให้น้ำแปลงมันสำปะหลังด้วยค่าประมาณ ETp มีเอาต์พุตคือจำนวนวันที่ต้องให้น้ำห่างกันและจำนวนชั่วโมงที่ต้องให้น้ำแต่ละครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.7 และตัวอย่างผลลัพธ์การคำนวณตามตารางที่ 3.1 (รายละเอียดทั้งหมดดูได้ในภาคผนวก ก)



รูปที่ 3.7 แผนผังการคำนวณการให้น้ำไร่มันสำปะหลังแบบ Offline

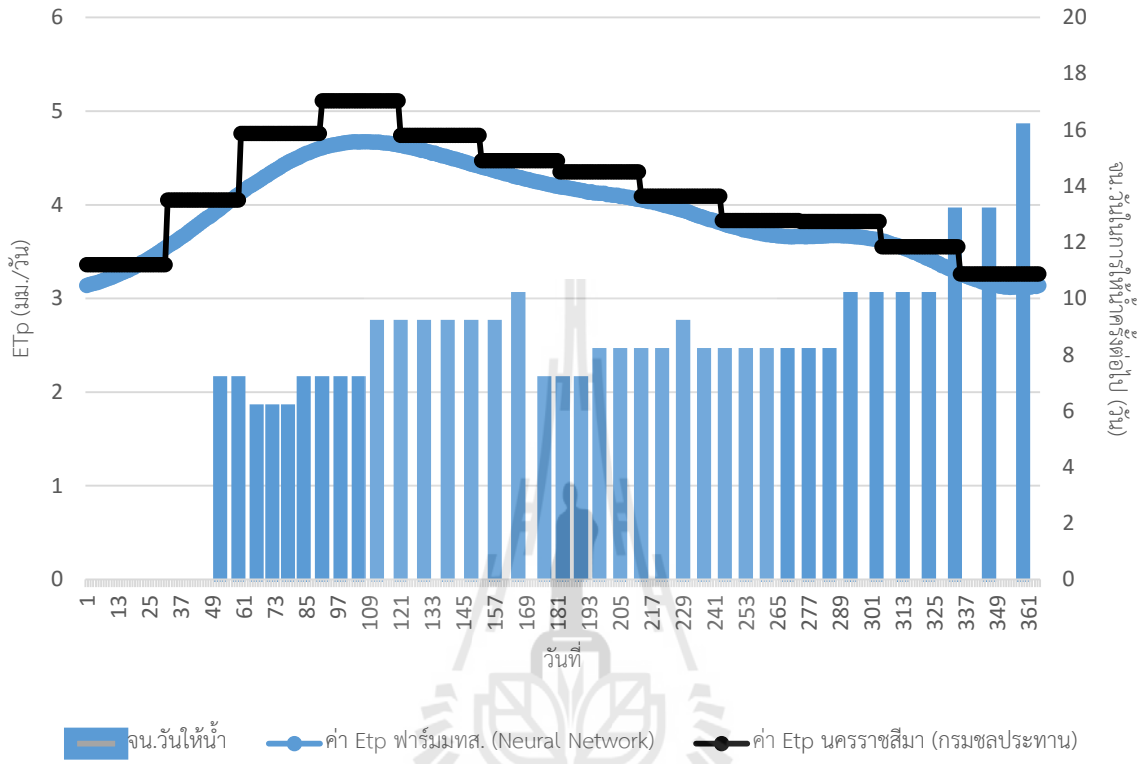
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างผลการคำนวณการให้น้ำด้วยค่าประมาณ ETp ณ แปลงทดลองมันสำปะหลัง ฟาร์ม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (ตัวอย่างการคำนวณเริ่มปลูก 21 กุมภาพันธ์ 2557)

วันที่ให้น้ำ	ค่าประมาณ ETp	เวลาให้น้ำ (นาที)	ระยะห่างการให้น้ำ (วัน)
21 ก.พ. 2557	3.96	64	6.9473
28 ก.พ. 2557	4.11	66	6.6946
7 มี.ค. 2557	4.24	58	6.4834
13 มี.ค. 2557	4.35	60	6.3189
19 มี.ค. 2557	4.45	75	6.1753
25 มี.ค. 2557	4.53	97	6.8239
1 เม.ย. 2557	4.61	98	6.7156
8 เม.ย. 2557	4.65	99	6.6497
15 เม.ย. 2557	4.67	127	6.6249
22 เม.ย. 2557	4.67	190	8.8345
1 พ.ค. 2557	4.63	188	8.9024
10 พ.ค. 2557	4.58	186	9.0052
19 พ.ค. 2557	4.51	183	9.1502
28 พ.ค. 2557	4.43	180	9.3086
6 มิ.ย. 2557	4.36	177	9.4530
15 มิ.ย. 2557	4.29	225	9.6080
25 มิ.ย. 2557	4.23	178	7.3209

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

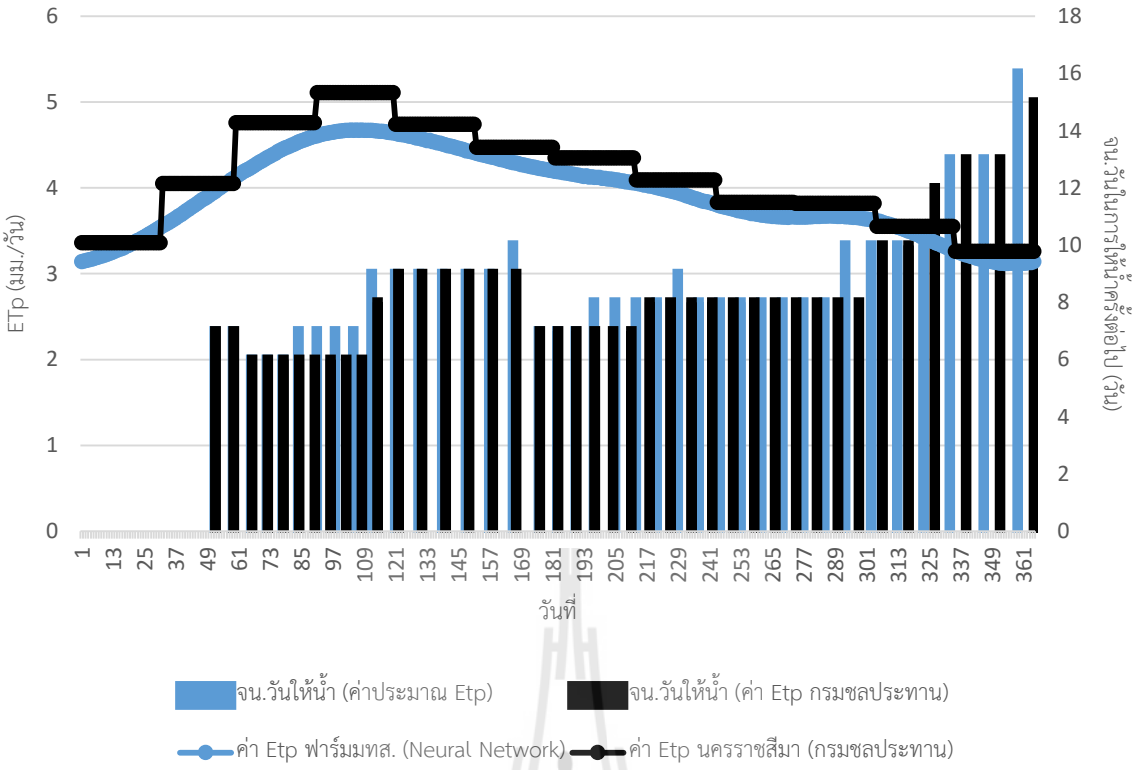
รูปที่ 3.8 แสดงระยะห่างของจำนวนวันในการให้น้ำแต่ละครั้งเทียบกับค่า ETp ที่ใช้ในแบบจำลองในการคำนวณการให้น้ำในแปลงมันสำปะหลัง สังเกตว่าระยะห่างของจำนวนวันในการให้น้ำครั้งต่อไปจะมีค่าน้อย (ให้น้ำถี่)ในช่วงฤดูร้อนซึ่งมีค่า ETp ที่สูงและมีค่าเพิ่มขึ้น (ให้น้ำห่าง) ตามค่า ETp ที่ลดลงในช่วงปลายปี



รูปที่ 3.8 จำนวนวันในการให้น้ำครั้งต่อไป

3.4 ผลการคำนวณการให้น้ำด้วยค่า ETp จากกรมชลประทานของพื้นที่ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ในการศึกษาเปรียบเทียบผลคำนวณการให้น้ำจากซอฟต์แวร์ที่ได้พัฒนาขึ้นในโครงการวิจัยนี้ การคำนวณการให้น้ำโดยใช้ค่า ETp จากกรมชลประทาน ซึ่งมีความละเอียดเป็นรายเดือน (เทียบกับค่า ETp ที่ประมาณได้จาก ANN) แล้วนำผลลัพธ์การให้น้ำมาทำการเปรียบเทียบกัน รูปที่ 3.10 แสดงค่า ETp ในระบบที่ใช้ข้อมูลจากกรมชลประทานของจังหวัดนครราชสีมา ในที่นี้ พารามิเตอร์อื่น ๆ ของระบบมีค่าคงเดิม ผลคำนวณการให้น้ำเปรียบเทียบระหว่างการใช้ค่าประมาณ ETp ในการคำนวณและใช้ค่า ETp จากกรมชลประทานในการคำนวณแสดงในรูปที่ 3.10 ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่ามีแนวโน้มของปริมาณการให้น้ำที่ใกล้เคียงกัน



รูปที่ 3.10 เปรียบเทียบผลคำนวณการให้น้ำโดยการใช้ค่าประมาณ ETp และค่า ETp จากกรมชลประทานในการคำนวณ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

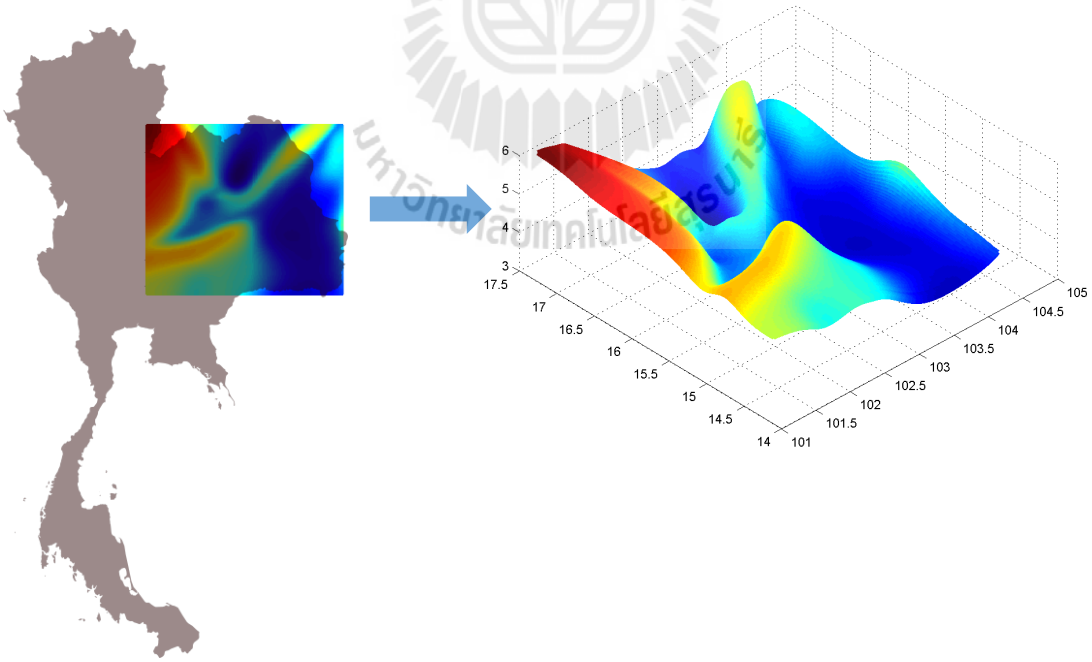
บทที่ 4

วิจารณ์ผลการทดลอง

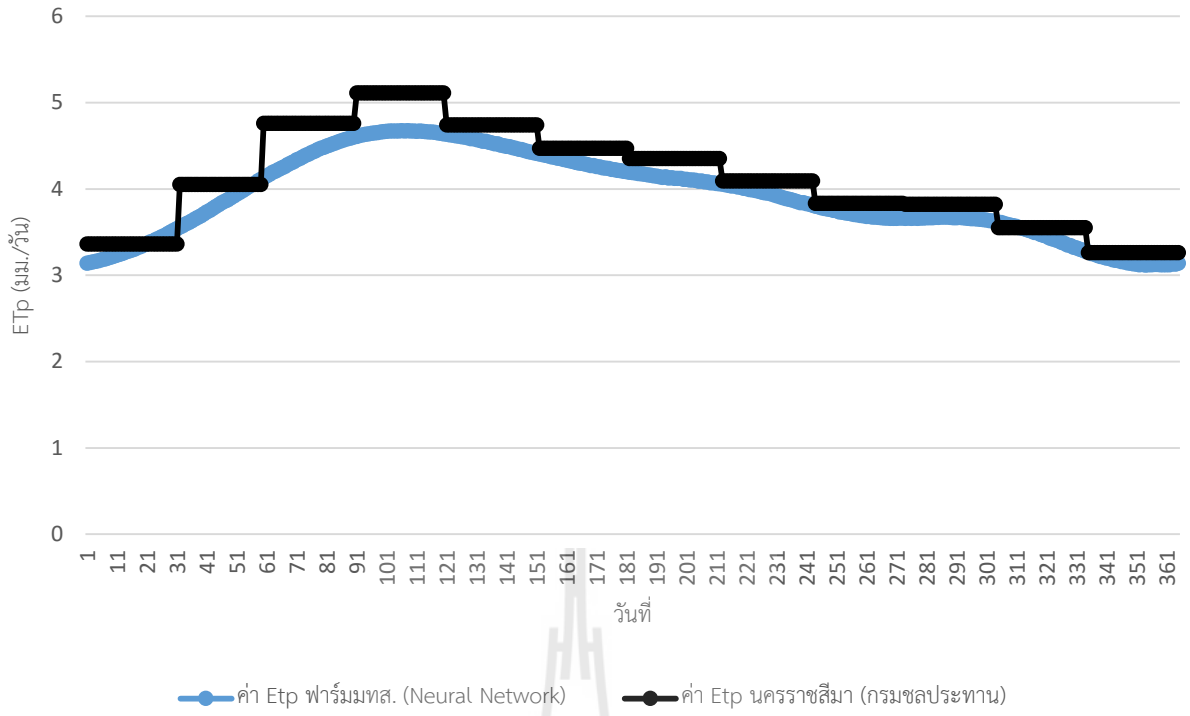
ระบบคำนวณการให้น้ำระบบน้ำหยดในไร่มันสำปะหลังถูกออกแบบและพัฒนาขึ้นเพื่ออำนวยความสะดวกในการคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องให้ในแปลง การคำนวณอย่างอัตโนมัติทำให้เกษตรกรสามารถควบคุมใช้งานได้เอง ค่า ETp ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการคำนวณปริมาณการให้น้ำถูกประมาณค่าอย่างละเอียดเป็นรายวันด้วยเครือข่ายประสาทเทียมอย่างมีประสิทธิภาพ นอกเหนือไปจากความสะดวกในการใช้ค่าประมาณ ETp ดังกล่าวแล้ว แบบจำลองการประมาณค่า ETp ที่ได้ยังสามารถใช้งานครอบคลุมตำแหน่งใด ๆ ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้เป็นอย่างดี โดยรวมแล้วซอฟต์แวร์ระบบคำนวณการให้น้ำที่พัฒนาขึ้นในโครงการวิจัยนี้สามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ตามแนวคิดของระบบเกษตรกรรมความแม่นยำสูง

4.1 การสร้างแบบจำลองการประมาณค่า ETp ด้วยเครือข่ายประสาทเทียม

การคำนวณปริมาณการให้น้ำในแปลงเกษตรใช้ค่า ETp เป็นหลักในการคำนวณ โดยปกติแล้วค่า ETp ที่ใช้เป็นค่าที่ได้จากสถานีตรวจอากาศจากที่ต่าง ๆ ทั่วประเทศ ซึ่งมีความละเอียดเป็นรายเดือน แบบจำลองการประมาณค่า ETp ด้วยเครือข่ายประสาทเทียมสามารถประมาณค่า ETp ได้ด้วยความละเอียดรายวัน และสามารถระบุตำแหน่งใด ๆ ที่ต้องการได้ ทำให้เกิดความสะดวกต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในซอฟต์แวร์การคำนวณปริมาณน้ำสำหรับแปลงเกษตรได้เป็นอย่างดี (รูปที่ 4.1)



รูปที่ 4.1 แบบจำลอง ETp จากเครือข่ายประสาทเทียม



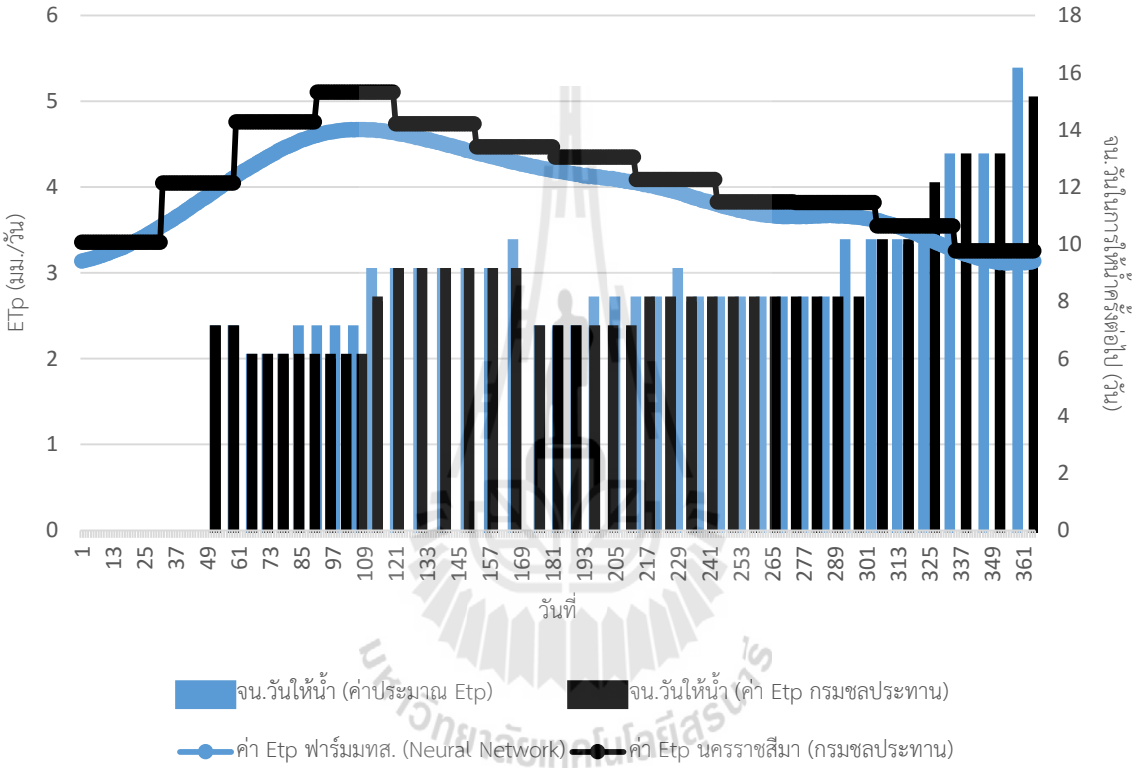
รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบค่าประมาณ ETp จากเครือข่ายประสาทเทียมและค่า ETp จากสถานีตรวจอากาศ กรมชลประทาน จ.นครราชสีมา

ค่าประมาณ ETp ดังกล่าวได้จากการเรียนรู้ค่า ETp จากข้อมูลในอดีตด้วยเครือข่ายประสาทเทียมแบบ Feed-forward ซึ่งมีการเรียนรู้แบบแพร่กลับ (back-propagation) ซึ่งผลการเรียนรู้ข้อมูลเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อนำผลการประมาณค่า ETp มาเปรียบเทียบกับค่า ETp ที่ได้จากสถานีตรวจอากาศของกรมชลประทาน ได้ผลลัพธ์ที่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน (ไม่สามารถเปรียบเทียบกันแบบวันต่อวันได้ เนื่องจากค่า ETp จากสถานีตรวจอากาศมีความละเอียดเป็นรายเดือน ในขณะที่ค่าประมาณ ETp จากเครือข่ายประสาทเทียมมีความละเอียดเป็นรายวัน) ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.2 เป็นค่า ETp จากสถานีตรวจอากาศกรมชลประทาน จ.นครราชสีมา เปรียบเทียบกับค่าประมาณ ETp จากระบบที่ตำแหน่งละติจูดและลองจิจูดเดียวกันกับสถานีตรวจอากาศ ดังนั้นค่าประมาณ ETp ที่ได้จากเครือข่ายประสาทเทียมจึงเพียงพอที่จะใช้แทนค่า ETp จากสถานีตรวจอากาศ ซึ่งค่าจากสถานีตรวจอากาศไม่สะดวกในการนำมาใช้ในการประมวลผลการคำนวณในซอฟต์แวร์ที่ต้องการ เนื่องจากมีความละเอียดทั้งในเชิงพื้นที่และเชิงเวลาที่ไม่เพียงพอ เช่นถ้าระบบต้องการคำนวณการให้น้ำที่ฟาร์มมทส. ซึ่งมีระยะห่างจากสถานีตรวจอากาศที่ใกล้ที่สุด (กรมชลประทาน โครงการอ่างห้วยยาง จ.นครราชสีมา) ประมาณ 5 กิโลเมตร

4.2 การคำนวณการให้น้ำในไร่มันสำปะหลังด้วยแบบจำลองค่าประมาณ ETp จากเครือข่ายประสาทเทียม

ค่าประมาณ ETp ที่ได้จากเครือข่ายประสาทเทียมถูกนำมาใช้ในการคำนวณปริมาณการให้น้ำในไร่มันสำปะหลังทดลอง ณ ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ค่าประมาณ ETp เป็นเพียงพารามิเตอร์หนึ่งในการคำนวณ โดยมีพารามิเตอร์อื่น ๆ ประกอบการคำนวณได้แก่ พารามิเตอร์คุณลักษณะพืช (ชนิดของพืช ความยาวรากพืช ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชหรือ Kc) พารามิเตอร์คุณลักษณะดิน (ค่าการอุ้มน้ำได้ของ

ดินและค่าการยอมให้น้ำแก่พืช) พารามิเตอร์คุณลักษณะของแปลงเกษตรและระบบน้ำหยด (ขนาดพื้นที่ จำนวนท่อน้ำหยด จำนวนหัวน้ำหยด อัตราการไหลของน้ำ) เป็นต้น ในการทดสอบการคำนวณปริมาณการให้น้ำในไร่มันสำปะหลังทดลองของซอฟต์แวร์ที่ได้พัฒนาขึ้น ผู้วิจัยได้ทำการทดลองระบบกับแปลงมันสำปะหลัง ณ ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยมีการควบคุมพารามิเตอร์การให้น้ำจากวิธีการคำนวณแบบต่าง ๆ การเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากซอฟต์แวร์ที่นี้ ได้มีการเปรียบเทียบการทดลองระหว่างแปลงมันสำปะหลังที่ใช้ค่า ETp จากสถานีตรวจอากาศ กรมชลประทาน จ.นครราชสีมา และแปลงมันสำปะหลังที่ใช้ค่าประมาณ ETp ในการคำนวณ โดยมีค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ เหมือนกัน ผลการคำนวณปริมาณน้ำแสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องระหว่างการให้น้ำของทั้งสองแปลงทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบผลคำนวณการให้น้ำโดยการใช้ค่าประมาณ ETp และค่า ETp จากกรมชลประทานในการคำนวณ

จากตัวอย่างผลการคำนวณข้างต้น จะเห็นว่าค่าประมาณ ETp ให้ผลการคำนวณปริมาณน้ำที่มีแนวโน้มเดียวกันกับการคำนวณที่ใช้ค่า ETp จากกรมชลประทาน ดังนั้นการคำนวณของซอฟต์แวร์ประมวลผลการให้น้ำจึงเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ออกแบบไว้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาบบจำลององค์ประกอบของระบบการชลประทานในไร่มันสำปะหลังด้วยเทคนิควิธีทางปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาเครือข่ายประสาทเทียมสำหรับใช้ในการจำลององค์ประกอบค่า ETp ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักที่ใช้ในการคำนวณหาปริมาณการให้น้ำในแปลงมันสำปะหลัง โดยค่าประมาณ ETp ที่ได้มีความละเอียดเป็นรายวัน และสามารถระบุตำแหน่งใด ๆ เพื่อเรียกใช้ค่า ETp ได้อย่างสะดวกและมีความถูกต้องเพียงพอต่อการใช้งานจริง ด้วยเทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์ทำให้สามารถจำลองค่า ETp ได้จากการเรียนรู้จากข้อมูลเดิมในอดีต ความสามารถในการเรียนรู้ดังกล่าวทำให้การพัฒนาแบบจำลองจากข้อมูลที่ซับซ้อนของ ETp ทั้งในเชิงความละเอียดรายวันและในเชิงความละเอียดของพื้นที่เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

งานวิจัยนี้ยังได้ดำเนินการออกแบบและพัฒนาต้นแบบซอฟต์แวร์การวิเคราะห์คำนวณอัตราการให้น้ำของระบบน้ำหยดในไร่มันสำปะหลังอย่างอัตโนมัติและเหมาะสมที่สุดกับสภาพแวดล้อมของแปลงเกษตร โดยใช้ค่าประมาณ ETp ที่ได้จากแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม ระบบถูกออกแบบให้มีการจัดการฐานข้อมูลแปลงเกษตร และพารามิเตอร์คุณลักษณะต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณ ไม่ว่าจะเป็นคุณลักษณะของดิน คุณลักษณะของพืช คุณลักษณะของแปลงเกษตรและระบบน้ำหยด องค์ความรู้ใหม่ในการพัฒนาซอฟต์แวร์แบบจำลองระบบการชลประทานแบบชาญฉลาดที่ได้ในงานวิจัยนี้ได้มีส่วนเสริมสร้างความแข็งแกร่งทางด้านเทคโนโลยีให้กับการทำระบบฟาร์มอัจฉริยะในประเทศไทย ที่ซึ่งต้องการความถูกต้องแม่นยำในการทำเกษตรกรรมมากยิ่งขึ้น เพื่อให้การใช้ทรัพยากรในการดูแลจัดการแปลงเกษตรเป็นไปอย่างคุ้มค่าที่สุดและยังได้รับผลผลิตจากแปลงเกษตรที่ดีที่สุดอีกด้วย อย่างไรก็ดี ยังมีพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในแปลงเกษตรที่ต้องการผนวกเข้ากับระบบ เพื่อให้เกิดความถูกต้องแม่นยำในการให้น้ำของระบบมากยิ่งขึ้น เช่นปริมาณน้ำฝน ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช เป็นต้น ซึ่งผู้วิจัยจะได้ศึกษาในโครงการวิจัยต่อเนื่องต่อไป

บรรณานุกรม

[1] Available from: http: //www.agriinfo.doae.go.th/

[2] Down to the last drop, UNESCO sources; Vol. 84, 1996.

[3] ArthitSrikaew, "Computational Intelligence", Suranaree University of Technology, 2009.

[4] กรมอุตุนิยมวิทยา http://www.tmd.go.th/

[5] ธีระพล ตั้งสมบุญ, "การใช้น้ำของพืช", หลักสูตรการปรับปรุงระบบการจัดการน้ำด้านเกษตรชลประทาน, กลุ่มงานวิจัยการใช้น้ำชลประทาน, ส่วนการใช้น้ำชลประทาน, สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ, กรกฎาคม, 2549

[6] บุญมา ป้านประดิษฐ์, "หลักการชลประทาน", ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, มกราคม 2546

[7] X. Fang and T. De-shan, "Forecasting Model of Irrigation Water Requirement Based on Least Squares Support Vector Machine," 3rdInternational Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, volume 2, pages 335-338, China, 11-12, May, 2010.

[8] F. Capraro, D. Patino, S. Tosetti, and C. Schugurensky, "Neural Network-Based Irrigation Control for Precision Agriculture," International Conference on Networking, Sensing and Control, pages 357-362, San Juan, 6-8, April, 2008.

[9] L. Ma, Y. Wu, J. Ji, and C. He, "The Prediction Model for Soil Water Evaporation Based on BP Neural Network," 4thInternational Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, volume 2, pages 276-280, China, 28-29, March, 2011.

[10] R. Liang, Y. Ding, X. Zhang, and W. Zhang, "A real-time prediction system of soil moisture content using genetic neural network based on annealing algorithm," IEEE International Conference on Automation and Logistics, pages 2781-2785, 1-3 September, 2008.

[11] Z. Yao, G. Lou, Z. Zeng, and Q. Zhao, "Research and development precision irrigation control system in agricultural," International Conference on Computer and Communication Technologies in Agriculture Engineering, volume 3, pages 117-120, China, 12-13, June, 2010.

[12] G. Chen and L. Yue, "Research of irrigation control system based on fuzzy neural network," International Conference on Mechatronic Science, Electric Engineering and Computer, pages 209-212, China, 19-22, August, 2011.

[13] X. Peng and G. Liu, "Intelligent Water-Saving Irrigation System Based on Fuzzy Control and Wireless Sensor Network," 4th International Conference on Digital Home, pages 252-256, China, 23-25 November, 2012.

ภาคผนวก ก
รายละเอียดตัวอย่างผลการคำนวณการให้น้ำแปลงมันสำปะหลัง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ความยาวท่อ 78 เมตร

ระยะห่างระหว่างน้ำหยด 0.3 เมตร

จำนวนท่อ 8 เส้น

อัตราการไหล 2.5 ลิตร/ชม.

ระยะห่างระหว่างท่อ 1.2 เมตร

ประเภทของพืช มันสำปะหลัง

วันที่เริ่มปลูก 2014-02-21

วันที่สิ้นสุด 2015-02-21

ละติจูด 14.896144656693256

ลองจิจูด 102.00664336776731

ปริมาณหัวน้ำหยด 1 เส้น (78 เมตร/0.3 เมตร) = 260 หัว

จำนวนท่อน้ำหยดทั้งหมด 8 เส้น

จำนวนหัวน้ำหยดต่อ 1 ท่อ 260 หัว

จำนวนหัวน้ำหยดทั้งหมด 260 x 8 = 2,080 หัว/พ.ท.

อัตราการไหล 2.5 ลิตร/ชม. x 2080 หัว/พ.ท. = 5,200 ลิตร/ชม./พ.ท.

ความกว้างของพื้นที่ (กว้าง) 1.2 เมตร x 8 เส้น = 8.40 เมตร x (ยาว) 78 เมตร

ความสูงของน้ำในดินต่อ 1 ชม. 5.2 เมตร3/ชม./พ.ท. / (8.4 x 78) เมตร2 = 7.9365 มิลลิเมตร/ชม.

ประเภทของดิน ร่วนเหนียวปนทราย

ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ซม.

ยอมให้น้ำแก่พืช 50%

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ซม.) x (ความยาวราก 10 cm) x (50%) = 8.25 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.3) x (Etp 3.9584) = 1.1875 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 8.25 มม./ 1.18752 มม./วัน = 6.9473 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)
1	2014-02-21	0.3	3.9584	1.1875
2	2014-02-22	0.3	3.9815	1.1945
3	2014-02-23	0.3	4.0006	1.2002
4	2014-02-24	0.3	4.0244	1.2073
5	2014-02-25	0.3	4.0477	1.2143
6	2014-02-26	0.3	4.0618	1.2185
7	2014-02-27	0.3	4.0898	1.2269
	รวม		8.4493	

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 8.4493 มม./วัน = 1.0646 ชม.

คิดเป็น 63.88 นาที หรือประมาณ 1 ชั่วโมง 4 นาที

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ซม.) x (ความยาวราก 10 cm) x (50%) = 8.25 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.3) x (Etp 4.1078) = 1.2323 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 8.25 มม./ 1.23234 มม./วัน = 6.6946 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)
8	2014-02-28	0.3	4.1078	1.2323
9	2014-03-01	0.3	4.1284	1.2385
10	2014-03-02	0.3	4.1489	1.2447
11	2014-03-03	0.3	4.1679	1.2504
12	2014-03-04	0.3	4.1917	1.2575
13	2014-03-05	0.3	4.2069	1.2621
14	2014-03-06	0.3	4.2231	1.2669
		รวม	8.7524	

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 8.7524 มม./วัน = 1.1028 ชม.

คิดเป็น 66.17 นาที หรือประมาณ 1 ชั่วโมง 6 นาที

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ซม.) x (ความยาวราก 10 cm) x (50%) = 8.25 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.3) x (Etp 4.2416) = 1.2725 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 8.25 มม./ 1.27248 มม./วัน = 6.4834 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)
15	2014-03-07	0.3	4.2416	1.2725
16	2014-03-08	0.3	4.2598	1.2779
17	2014-03-09	0.3	4.2794	1.2838
18	2014-03-10	0.3	4.2980	1.2894
19	2014-03-11	0.3	4.3130	1.2939
20	2014-03-12	0.3	4.3342	1.3003
		รวม	7.7178	

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 7.7178 มม./วัน = 0.9724 ชม.

คิดเป็น 58.35 นาที หรือประมาณ 0 ชั่วโมง 58 นาที

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ซม.) x (ความยาวราก 10 cm) x (50%) = 8.25 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.3) x (Etp 4.352) = 1.3056 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 8.25 มม./ 1.3056 มม./วัน = 6.3189 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)
21	2014-03-13	0.3	4.3520	1.3056
22	2014-03-14	0.3	4.3675	1.3103
23	2014-03-15	0.3	4.3863	1.3159
24	2014-03-16	0.3	4.4016	1.3205
25	2014-03-17	0.3	4.4219	1.3266

26	2014-03-18	0.3	4.4368	1.3310
	รวม	7.9098		

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 7.9098 มม./วัน = 0.9966 ชม.

คิดเป็น 59.80 นาที หรือประมาณ 1 ชั่วโมง 0 นาที

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ซม.) x (ความยาวราก 10 cm) x (50%) = 8.25 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.3) x (Etp 4.4532) = 1.3360 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 8.25 มม./ 1.33596 มม./วัน = 6.1753 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)
27	2014-03-19	0.3	4.4532	1.3360
28	2014-03-20	0.3	4.4675	1.3403
29	2014-03-21	0.4	4.4790	1.7916
30	2014-03-22	0.4	4.4942	1.7977
31	2014-03-23	0.4	4.5055	1.8022
32	2014-03-24	0.4	4.5206	1.8082
	รวม	9.8759		

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 9.8759 มม./วัน = 1.2444 ชม.

คิดเป็น 74.66 นาที หรือประมาณ 1 ชั่วโมง 15 นาที

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ซม.) x (ความยาวราก 15 cm) x (50%) = 12.38 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.4) x (Etp 4.5337) = 1.8135 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 12.375 มม./ 1.81348 มม./วัน = 6.8239 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)
33	2014-03-25	0.4	4.5337	1.8135
34	2014-03-26	0.4	4.5474	1.8190
35	2014-03-27	0.4	4.5569	1.8228
36	2014-03-28	0.4	4.5696	1.8278
37	2014-03-29	0.4	4.5795	1.8318
38	2014-03-30	0.4	4.5890	1.8356
39	2014-03-31	0.4	4.5987	1.8395
	รวม	12.7899		

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 12.7899 มม./วัน = 1.6115 ชม.

คิดเป็น 96.69 นาที หรือประมาณ 1 ชั่วโมง 37 นาที

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ซม.) x (ความยาวราก 15 cm) x (50%) = 12.38 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.4) x (Etp 4.6068) = 1.8427 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 12.375 มม./ 1.84272 มม./วัน = 6.7156 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)
40	2014-04-01	0.4	4.6068	1.8427
41	2014-04-02	0.4	4.6176	1.8470
42	2014-04-03	0.4	4.6242	1.8497
43	2014-04-04	0.4	4.6318	1.8527
44	2014-04-05	0.4	4.6373	1.8549
45	2014-04-06	0.4	4.6421	1.8568
46	2014-04-07	0.4	4.6479	1.8592
		รวม	12.9631	

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 12.9631 มม./วัน = 1.6333 ชม.

คิดเป็น 98.00 นาที หรือประมาณ 1 ชั่วโมง 38 นาที

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ซม.) x (ความยาวราก 15 cm) x (50%) = 12.38 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.4) x (Etp 4.6525) = 1.8610 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 12.375 มม./ 1.861 มม./วัน = 6.6497 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)
47	2014-04-08	0.4	4.6525	1.8610
48	2014-04-09	0.4	4.6572	1.8629
49	2014-04-10	0.4	4.6619	1.8648
50	2014-04-11	0.4	4.6655	1.8662
51	2014-04-12	0.4	4.6678	1.8671
52	2014-04-13	0.4	4.6702	1.8681
53	2014-04-14	0.4	4.6712	1.8685
		รวม	13.0585	

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 13.0585 มม./วัน = 1.6454 ชม.

คิดเป็น 98.72 นาที หรือประมาณ 1 ชั่วโมง 39 นาที

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ซม.) x (ความยาวราก 15 cm) x (50%) = 12.38 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.4) x (Etp 4.6699) = 1.8680 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 12.375 มม./ 1.86796 มม./วัน = 6.6249 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)
54	2014-04-15	0.4	4.6699	1.8680
55	2014-04-16	0.4	4.6720	1.8688
56	2014-04-17	0.4	4.6708	1.8683
57	2014-04-18	0.6	4.6729	2.8037
58	2014-04-19	0.6	4.6708	2.8025
59	2014-04-20	0.6	4.6697	2.8018

60	2014-04-21	0.6	4.6673	2.8004
	รวม	16.8135		

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 16.8135 มม./วัน = 2.1185 ชม.

คิดเป็น 127.11 นาที หรือประมาณ 2 ชั่วโมง 7 นาที

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ชม.) x (ความยาวราก 30 cm) x (50%) = 24.75 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.6) x (Etp 4.6692) = 2.8015 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 24.75 มม./ 2.80152 มม./วัน = 8.8345 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)
61	2014-04-22	0.6	4.6692	2.8015
62	2014-04-23	0.6	4.6669	2.8001
63	2014-04-24	0.6	4.6627	2.7976
64	2014-04-25	0.6	4.6597	2.7958
65	2014-04-26	0.6	4.6570	2.7942
66	2014-04-27	0.6	4.6534	2.7920
67	2014-04-28	0.6	4.6471	2.7883
68	2014-04-29	0.6	4.6431	2.7859
69	2014-04-30	0.6	4.6375	2.7825
	รวม	25.1380		

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 25.1380 มม./วัน = 3.1674 ชม.

คิดเป็น 190.04 นาที หรือประมาณ 3 ชั่วโมง 10 นาที

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ชม.) x (ความยาวราก 30 cm) x (50%) = 24.75 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.6) x (Etp 4.6336) = 2.7802 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 24.75 มม./ 2.78016 มม./วัน = 8.9024 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)
70	2014-05-01	0.6	4.6336	2.7802
71	2014-05-02	0.6	4.6257	2.7754
72	2014-05-03	0.6	4.6218	2.7731
73	2014-05-04	0.6	4.6157	2.7694
74	2014-05-05	0.6	4.6118	2.7671
75	2014-05-06	0.6	4.6017	2.7610
76	2014-05-07	0.6	4.5979	2.7587
77	2014-05-08	0.6	4.5899	2.7539
78	2014-05-09	0.6	4.5804	2.7482
	รวม	24.8871		

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 24.8871 มม./วัน = 3.1358 ชม.

คิดเป็น 188.15 นาที หรือประมาณ 3 ชั่วโมง 8 นาที

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ซม.) x (ความยาวราก 30 cm) x (50%) = 24.75 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.6) x (Etp 4.5807) = 2.7484 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 24.75 มม./ 2.74842 มม./วัน = 9.0052 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)
79	2014-05-10	0.6	4.5807	2.7484
80	2014-05-11	0.6	4.5694	2.7416
81	2014-05-12	0.6	4.5614	2.7368
82	2014-05-13	0.6	4.5503	2.7302
83	2014-05-14	0.6	4.5517	2.7310
84	2014-05-15	0.6	4.5387	2.7232
85	2014-05-16	0.6	4.5332	2.7199
86	2014-05-17	0.6	4.5217	2.7130
87	2014-05-18	0.6	4.5196	2.7118
	รวม		24.5560	

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 24.5560 มม./วัน = 3.0941 ชม.

คิดเป็น 185.64 นาที หรือประมาณ 3 ชั่วโมง 6 นาที

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ซม.) x (ความยาวราก 30 cm) x (50%) = 24.75 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.6) x (Etp 4.5081) = 2.7049 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 24.75 มม./ 2.70486 มม./วัน = 9.1502 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)
88	2014-05-19	0.6	4.5081	2.7049
89	2014-05-20	0.6	4.5005	2.7003
90	2014-05-21	0.6	4.4912	2.6947
91	2014-05-22	0.6	4.4866	2.6920
92	2014-05-23	0.6	4.4770	2.6862
93	2014-05-24	0.6	4.4685	2.6811
94	2014-05-25	0.6	4.4587	2.6752
95	2014-05-26	0.6	4.4527	2.6716
96	2014-05-27	0.6	4.4437	2.6662
	รวม		24.1722	

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 24.1722 มม./วัน = 3.0457 ชม.

คิดเป็น 182.74 นาที หรือประมาณ 3 ชั่วโมง 3 นาที

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ซม.) x (ความยาวราก 30 cm) x (50%) = 24.75 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.6) x (Etp 4.4314) = 2.6588 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 24.75 มม./ 2.65884 มม./วัน = 9.3086 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)
97	2014-05-28	0.6	4.4314	2.6588
98	2014-05-29	0.6	4.4265	2.6559
99	2014-05-30	0.6	4.4180	2.6508
100	2014-05-31	0.6	4.4107	2.6464
101	2014-06-01	0.6	4.4013	2.6408
102	2014-06-02	0.6	4.3935	2.6361
103	2014-06-03	0.6	4.3869	2.6321
104	2014-06-04	0.6	4.3796	2.6278
105	2014-06-05	0.6	4.3706	2.6224
		รวม	23.7711	

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 23.7711 มม./วัน = 2.9952 ชม.

คิดเป็น 179.71 นาที หรือประมาณ 3 ชั่วโมง 0 นาที

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ซม.) x (ความยาวราก 30 cm) x (50%) = 24.75 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.6) x (Etp 4.3637) = 2.6182 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 24.75 มม./ 2.61822 มม./วัน = 9.4530 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)
106	2014-06-06	0.6	4.3637	2.6182
107	2014-06-07	0.6	4.3553	2.6132
108	2014-06-08	0.6	4.3508	2.6105
109	2014-06-09	0.6	4.3398	2.6039
110	2014-06-10	0.6	4.3311	2.5987
111	2014-06-11	0.6	4.3251	2.5951
112	2014-06-12	0.6	4.3181	2.5909
113	2014-06-13	0.6	4.3071	2.5843
114	2014-06-14	0.6	4.3005	2.5803
		รวม	23.3949	

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 23.3949 มม./วัน = 2.9478 ชม.

คิดเป็น 176.87 นาที หรือประมาณ 2 ชั่วโมง 57 นาที

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ซม.) x (ความยาวราก 30 cm) x (50%) = 24.75 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.6) x (Etp 4.2933) = 2.5760 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 24.75 มม./ 2.57598 มม./วัน = 9.6080 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)

115	2014-06-15	0.6	4.2933	2.5760
116	2014-06-16	0.6	4.2877	2.5726
117	2014-06-17	0.6	4.2799	2.5679
118	2014-06-18	0.6	4.2706	2.5624
119	2014-06-19	0.6	4.2680	2.5608
120	2014-06-20	0.8	4.2582	3.4066
121	2014-06-21	0.8	4.2527	3.4022
122	2014-06-22	0.8	4.2438	3.3950
123	2014-06-23	0.8	4.2412	3.3930
124	2014-06-24	0.8	4.2343	3.3874
	รวม	29.8239		

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 29.8239 มม./วัน = 3.7578 ชม.

คิดเป็น 225.47 นาที หรือประมาณ 3 ชั่วโมง 45 นาที

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ซม.) x (ความยาวราก 30 cm) x (50%) = 24.75 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.8) x (Etp 4.2259) = 3.3807 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 24.75 มม./ 3.38072 มม./วัน = 7.3209 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)
125	2014-06-25	0.8	4.2259	3.3807
126	2014-06-26	0.8	4.2218	3.3774
127	2014-06-27	0.8	4.2146	3.3717
128	2014-06-28	0.8	4.2109	3.3687
129	2014-06-29	0.8	4.2015	3.3612
130	2014-06-30	0.8	4.1979	3.3583
131	2014-07-01	0.8	4.1909	3.3527
	รวม	23.5708		

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 23.5708 มม./วัน = 2.9699 ชม.

คิดเป็น 178.20 นาที หรือประมาณ 2 ชั่วโมง 58 นาที

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ซม.) x (ความยาวราก 30 cm) x (50%) = 24.75 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.8) x (Etp 4.1874) = 3.3499 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 24.75 มม./ 3.34992 มม./วัน = 7.3882 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)
132	2014-07-02	0.8	4.1874	3.3499
133	2014-07-03	0.8	4.1832	3.3466
134	2014-07-04	0.8	4.1782	3.3426
135	2014-07-05	0.8	4.1731	3.3385

136	2014-07-06	0.8	4.1696	3.3357
137	2014-07-07	0.8	4.1614	3.3291
138	2014-07-08	0.8	4.1580	3.3264
	รวม	23.3687		

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 23.3687 มม./วัน = 2.9445 ชม.

คิดเป็น 176.67 นาที หรือประมาณ 2 ชั่วโมง 57 นาที

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ซม.) x (ความยาวราก 30 cm) x (50%) = 24.75 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.8) x (Etp 4.1514) = 3.3211 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 24.75 มม./ 3.32112 มม./วัน = 7.4523 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)
139	2014-07-09	0.8	4.1514	3.3211
140	2014-07-10	0.8	4.1484	3.3187
141	2014-07-11	0.8	4.1394	3.3115
142	2014-07-12	0.8	4.1327	3.3062
143	2014-07-13	0.8	4.1400	3.3120
144	2014-07-14	0.8	4.1253	3.3002
145	2014-07-15	0.8	4.1265	3.3012
	รวม	23.1710		

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 23.1710 มม./วัน = 2.9195 ชม.

คิดเป็น 175.17 นาที หรือประมาณ 2 ชั่วโมง 55 นาที

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ซม.) x (ความยาวราก 30 cm) x (50%) = 24.75 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.8) x (Etp 4.1198) = 3.2958 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 24.75 มม./ 3.29584 มม./วัน = 7.5095 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)
146	2014-07-16	0.8	4.1198	3.2958
147	2014-07-17	0.8	4.1199	3.2959
148	2014-07-18	0.8	4.1210	3.2968
149	2014-07-19	0.8	4.1085	3.2868
150	2014-07-20	0.8	4.1087	3.2870
151	2014-07-21	0.8	4.1011	3.2809
152	2014-07-22	0.8	4.1011	3.2809
153	2014-07-23	0.8	4.0999	3.2799
	รวม	26.3040		

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 26.3040 มม./วัน = 3.3143 ชม.

คิดเป็น 198.86 นาที หรือประมาณ 3 ชั่วโมง 19 นาที

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ซม.) x (ความยาวราก 30 cm) x (50%) = 24.75 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.8) x (Etp 4.089) = 3.2712 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 24.75 มม./ 3.2712 มม./วัน = 7.5660 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)
154	2014-07-24	0.8	4.0890	3.2712
155	2014-07-25	0.8	4.0902	3.2722
156	2014-07-26	0.8	4.0805	3.2644
157	2014-07-27	0.8	4.0801	3.2641
158	2014-07-28	0.8	4.0686	3.2549
159	2014-07-29	0.8	4.0698	3.2558
160	2014-07-30	0.8	4.0596	3.2477
161	2014-07-31	0.8	4.0582	3.2466
	รวม		26.0768	

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 26.0768 มม./วัน = 3.2857 ชม.

คิดเป็น 197.14 นาที หรือประมาณ 3 ชั่วโมง 17 นาที

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ซม.) x (ความยาวราก 30 cm) x (50%) = 24.75 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.8) x (Etp 4.0522) = 3.2418 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 24.75 มม./ 3.24176 มม./วัน = 7.6347 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)
162	2014-08-01	0.8	4.0522	3.2418
163	2014-08-02	0.8	4.0468	3.2374
164	2014-08-03	0.8	4.0408	3.2326
165	2014-08-04	0.8	4.0323	3.2258
166	2014-08-05	0.8	4.0355	3.2284
167	2014-08-06	0.8	4.0207	3.2166
168	2014-08-07	0.8	4.0204	3.2163
169	2014-08-08	0.8	4.0072	3.2058
	รวม		25.8047	

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 25.8047 มม./วัน = 3.2514 ชม.

คิดเป็น 195.08 นาที หรือประมาณ 3 ชั่วโมง 15 นาที

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ซม.) x (ความยาวราก 30 cm) x (50%) = 24.75 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.8) x (Etp 4.0007) = 3.2006 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 24.75 มม./ 3.20056 มม./วัน = 7.7330 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)

170	2014-08-09	0.8	4.0007	3.2006
171	2014-08-10	0.8	3.9922	3.1938
172	2014-08-11	0.8	3.9881	3.1905
173	2014-08-12	0.8	3.9795	3.1836
174	2014-08-13	0.8	3.9721	3.1777
175	2014-08-14	0.8	3.9628	3.1702
176	2014-08-15	0.8	3.9548	3.1638
177	2014-08-16	0.8	3.9488	3.1590
	รวม	25.4392		

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 25.4392 มม./วัน = 3.2053 ชม.

คิดเป็น 192.32 นาที หรือประมาณ 3 ชั่วโมง 12 นาที

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ซม.) x (ความยาวราก 30 cm) x (50%) = 24.75 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.8) x (Etp 3.9412) = 3.1530 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 24.75 มม./ 3.15296 มม./วัน = 7.8498 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)
178	2014-08-17	0.8	3.9412	3.1530
179	2014-08-18	0.8	3.9301	3.1441
180	2014-08-19	0.8	3.9219	3.1375
181	2014-08-20	0.8	3.9090	3.1272
182	2014-08-21	0.8	3.8990	3.1192
183	2014-08-22	0.8	3.8889	3.1111
184	2014-08-23	0.8	3.8790	3.1032
185	2014-08-24	0.8	3.8706	3.0965
	รวม	24.9918		

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 24.9918 มม./วัน = 3.1490 ชม.

คิดเป็น 188.94 นาที หรือประมาณ 3 ชั่วโมง 9 นาที

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ซม.) x (ความยาวราก 30 cm) x (50%) = 24.75 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.8) x (Etp 3.8612) = 3.0890 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 24.75 มม./ 3.08896 มม./วัน = 8.0124 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)
186	2014-08-25	0.8	3.8612	3.0890
187	2014-08-26	0.8	3.8498	3.0798
188	2014-08-27	0.8	3.8408	3.0726
189	2014-08-28	0.8	3.8383	3.0706
190	2014-08-29	0.8	3.8293	3.0634

191	2014-08-30	0.8	3.8189	3.0551
192	2014-08-31	0.8	3.8104	3.0483
193	2014-09-01	0.8	3.7992	3.0394
	รวม	24.5183		

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 24.5183 มม./วัน = 3.0893 ชม.

คิดเป็น 185.36 นาที หรือประมาณ 3 ชั่วโมง 5 นาที

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ชม.) x (ความยาวราก 30 cm) x (50%) = 24.75 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.8) x (Etp 3.7903) = 3.0322 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 24.75 มม./ 3.03224 มม./วัน = 8.1623 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)
194	2014-09-02	0.8	3.7903	3.0322
195	2014-09-03	0.8	3.7805	3.0244
196	2014-09-04	0.8	3.7723	3.0178
197	2014-09-05	0.8	3.7664	3.0131
198	2014-09-06	0.8	3.7602	3.0082
199	2014-09-07	0.8	3.7511	3.0009
200	2014-09-08	0.8	3.7457	2.9966
201	2014-09-09	0.8	3.7325	2.9860
	รวม	24.0792		

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 24.0792 มม./วัน = 3.0340 ชม.

คิดเป็น 182.04 นาที หรือประมาณ 3 ชั่วโมง 2 นาที

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ชม.) x (ความยาวราก 30 cm) x (50%) = 24.75 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.8) x (Etp 3.7282) = 2.9826 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 24.75 มม./ 2.98256 มม./วัน = 8.2982 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)
202	2014-09-10	0.8	3.7282	2.9826
203	2014-09-11	0.8	3.7205	2.9764
204	2014-09-12	0.8	3.7172	2.9738
205	2014-09-13	0.8	3.7103	2.9682
206	2014-09-14	0.8	3.7001	2.9601
207	2014-09-15	0.8	3.6998	2.9598
208	2014-09-16	0.8	3.6906	2.9525
209	2014-09-17	0.8	3.6885	2.9508
	รวม	23.7242		

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 23.7242 มม./วัน = 2.9892 ชม.

คิดเป็น 179.35 นาที หรือประมาณ 2 ชั่วโมง 59 นาที

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ซม.) x (ความยาวราก 30 cm) x (50%) = 24.75 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.8) x (Etp 3.6801) = 2.9441 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 24.75 มม./ 2.94408 มม./วัน = 8.4067 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)
210	2014-09-18	0.8	3.6801	2.9441
211	2014-09-19	0.8	3.6799	2.9439
212	2014-09-20	0.8	3.6731	2.9385
213	2014-09-21	0.8	3.6721	2.9377
214	2014-09-22	0.8	3.6673	2.9338
215	2014-09-23	0.8	3.6665	2.9332
216	2014-09-24	0.8	3.6627	2.9302
217	2014-09-25	0.8	3.6612	2.9290
		รวม	23.4903	

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 23.4903 มม./วัน = 2.9598 ชม.

คิดเป็น 177.59 นาที หรือประมาณ 2 ชั่วโมง 58 นาที

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ซม.) x (ความยาวราก 30 cm) x (50%) = 24.75 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.8) x (Etp 3.6587) = 2.9270 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 24.75 มม./ 2.92696 มม./วัน = 8.4559 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)
218	2014-09-26	0.8	3.6587	2.9270
219	2014-09-27	0.8	3.6580	2.9264
220	2014-09-28	0.8	3.6559	2.9247
221	2014-09-29	0.8	3.6613	2.9290
222	2014-09-30	0.8	3.6600	2.9280
223	2014-10-01	0.8	3.6591	2.9273
224	2014-10-02	0.8	3.6592	2.9274
225	2014-10-03	0.8	3.6582	2.9266
		รวม	23.4163	

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 23.4163 มม./วัน = 2.9505 ชม.

คิดเป็น 177.03 นาที หรือประมาณ 2 ชั่วโมง 57 นาที

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ซม.) x (ความยาวราก 30 cm) x (50%) = 24.75 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.8) x (Etp 3.6599) = 2.9279 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 24.75 มม./ 2.92792 มม./วัน = 8.4531 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)
226	2014-10-04	0.8	3.6599	2.9279
227	2014-10-05	0.8	3.6591	2.9273
228	2014-10-06	0.8	3.6613	2.9290
229	2014-10-07	0.8	3.6627	2.9302
230	2014-10-08	0.8	3.6640	2.9312
231	2014-10-09	0.8	3.6651	2.9321
232	2014-10-10	0.8	3.6660	2.9328
233	2014-10-11	0.8	3.6684	2.9347
	รวม	23.4452		

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 23.4452 มม./วัน = 2.9541 ชม.

คิดเป็น 177.25 นาที หรือประมาณ 2 ชั่วโมง 57 นาที

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ซม.) x (ความยาวราก 30 cm) x (50%) = 24.75 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.8) x (Etp 3.6695) = 2.9356 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 24.75 มม./ 2.9356 มม./วัน = 8.4310 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)
234	2014-10-12	0.8	3.6695	2.9356
235	2014-10-13	0.8	3.6707	2.9366
236	2014-10-14	0.8	3.6713	2.9370
237	2014-10-15	0.8	3.6706	2.9365
238	2014-10-16	0.8	3.6693	2.9354
239	2014-10-17	0.7	3.6663	2.5664
240	2014-10-18	0.7	3.6660	2.5662
241	2014-10-19	0.7	3.6684	2.5679
	รวม	22.3816		

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 22.3816 มม./วัน = 2.8201 ชม.

คิดเป็น 169.20 นาที หรือประมาณ 2 ชั่วโมง 49 นาที

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ซม.) x (ความยาวราก 30 cm) x (50%) = 24.75 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.7) x (Etp 3.6631) = 2.5642 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 24.75 มม./ 2.56417 มม./วัน = 9.6522 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)
242	2014-10-20	0.7	3.6631	2.5642
243	2014-10-21	0.7	3.6607	2.5625
244	2014-10-22	0.7	3.6582	2.5607
245	2014-10-23	0.7	3.6551	2.5586

246	2014-10-24	0.7	3.6535	2.5575
247	2014-10-25	0.7	3.6499	2.5549
248	2014-10-26	0.7	3.6477	2.5534
249	2014-10-27	0.7	3.6406	2.5484
250	2014-10-28	0.7	3.6371	2.5460
251	2014-10-29	0.7	3.6319	2.5423
	รวม	25.5485		

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 25.5485 มม./วัน = 3.2191 ชม.

คิดเป็น 193.15 นาที หรือประมาณ 3 ชั่วโมง 13 นาที

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ซม.) x (ความยาวราก 30 cm) x (50%) = 24.75 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.7) x (Etp 3.6277) = 2.5394 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 24.75 มม./ 2.53939 มม./วัน = 9.7464 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)
252	2014-10-30	0.7	3.6277	2.5394
253	2014-10-31	0.7	3.6201	2.5341
254	2014-11-01	0.7	3.6131	2.5292
255	2014-11-02	0.7	3.6083	2.5258
256	2014-11-03	0.7	3.5997	2.5198
257	2014-11-04	0.7	3.5881	2.5117
258	2014-11-05	0.7	3.5790	2.5053
259	2014-11-06	0.7	3.5729	2.5010
260	2014-11-07	0.7	3.5629	2.4940
261	2014-11-08	0.7	3.5500	2.4850
	รวม	25.1453		

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 25.1453 มม./วัน = 3.1683 ชม.

คิดเป็น 190.10 นาที หรือประมาณ 3 ชั่วโมง 10 นาที

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ซม.) x (ความยาวราก 30 cm) x (50%) = 24.75 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.7) x (Etp 3.5405) = 2.4784 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 24.75 มม./ 2.47835 มม./วัน = 9.9865 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)
262	2014-11-09	0.7	3.5405	2.4784
263	2014-11-10	0.7	3.5312	2.4718
264	2014-11-11	0.7	3.5187	2.4631
265	2014-11-12	0.7	3.5084	2.4559
266	2014-11-13	0.7	3.4930	2.4451

267	2014-11-14	0.7	3.4904	2.4433
268	2014-11-15	0.7	3.4705	2.4294
269	2014-11-16	0.7	3.4601	2.4221
270	2014-11-17	0.7	3.4498	2.4149
271	2014-11-18	0.7	3.4306	2.4014
	รวม	24.4252		

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 24.4252 มม./วัน = 3.0776 ชม.

คิดเป็น 184.65 นาที หรือประมาณ 3 ชั่วโมง 5 นาที

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ซม.) x (ความยาวราก 30 cm) x (50%) = 24.75 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.7) x (Etp 3.42) = 2.3940 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 24.75 มม./ 2.394 มม./วัน = 10.3383 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)
272	2014-11-19	0.7	3.4200	2.3940
273	2014-11-20	0.7	3.4088	2.3862
274	2014-11-21	0.6	3.3976	2.0386
275	2014-11-22	0.6	3.3793	2.0276
276	2014-11-23	0.6	3.3681	2.0209
277	2014-11-24	0.6	3.3505	2.0103
278	2014-11-25	0.6	3.3411	2.0047
279	2014-11-26	0.6	3.3246	1.9948
280	2014-11-27	0.6	3.3161	1.9897
281	2014-11-28	0.6	3.3007	1.9804
	รวม	20.8470		

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 20.8470 มม./วัน = 2.6267 ชม.

คิดเป็น 157.60 นาที หรือประมาณ 2 ชั่วโมง 38 นาที

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ซม.) x (ความยาวราก 30 cm) x (50%) = 24.75 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.6) x (Etp 3.2916) = 1.9750 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 24.75 มม./ 1.97496 มม./วัน = 12.5319 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)
282	2014-11-29	0.6	3.2916	1.9750
283	2014-11-30	0.6	3.2761	1.9657
284	2014-12-01	0.6	3.2680	1.9608
285	2014-12-02	0.6	3.2512	1.9507
286	2014-12-03	0.6	3.2411	1.9447
287	2014-12-04	0.6	3.2282	1.9369

288	2014-12-05	0.6	3.2177	1.9306
289	2014-12-06	0.6	3.2091	1.9255
290	2014-12-07	0.6	3.1982	1.9189
291	2014-12-08	0.6	3.1940	1.9164
292	2014-12-09	0.6	3.1790	1.9074
293	2014-12-10	0.6	3.1715	1.9029
294	2014-12-11	0.6	3.1672	1.9003
	รวม	25.1357		

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 25.1357 มม./วัน = 3.1671 ชม.

คิดเป็น 190.03 นาที หรือประมาณ 3 ชั่วโมง 10 นาที

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ซม.) x (ความยาวราก 30 cm) x (50%) = 24.75 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.6) x (Etp 3.1555) = 1.8933 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 24.75 มม./ 1.8933 มม./วัน = 13.0724 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)
295	2014-12-12	0.6	3.1555	1.8933
296	2014-12-13	0.6	3.1519	1.8911
297	2014-12-14	0.6	3.1422	1.8853
298	2014-12-15	0.6	3.1382	1.8829
299	2014-12-16	0.6	3.1312	1.8787
300	2014-12-17	0.6	3.1272	1.8763
301	2014-12-18	0.6	3.1193	1.8716
302	2014-12-19	0.5	3.1228	1.5614
303	2014-12-20	0.5	3.1159	1.5580
304	2014-12-21	0.5	3.1186	1.5593
305	2014-12-22	0.5	3.1194	1.5597
306	2014-12-23	0.5	3.1223	1.5612
307	2014-12-24	0.5	3.1218	1.5609
	รวม	22.5397		

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 22.5397 มม./วัน = 2.8400 ชม.

คิดเป็น 170.40 นาที หรือประมาณ 2 ชั่วโมง 50 นาที

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ซม.) x (ความยาวราก 30 cm) x (50%) = 24.75 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.5) x (Etp 3.1198) = 1.5599 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 24.75 มม./ 1.5599 มม./วัน = 15.8664 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)
308	2014-12-25	0.5	3.1198	1.5599

309	2014-12-26	0.5	3.1190	1.5595
310	2014-12-27	0.5	3.1211	1.5606
311	2014-12-28	0.5	3.1193	1.5597
312	2014-12-29	0.5	3.1291	1.5646
313	2014-12-30	0.5	3.1276	1.5638
314	2014-12-31	0.5	3.1382	1.5691
315	2015-01-01	0.5	3.1380	1.5690
316	2015-01-02	0.5	3.1469	1.5735
317	2015-01-03	0.5	3.1533	1.5767
318	2015-01-04	0.5	3.1615	1.5808
319	2015-01-05	0.5	3.1695	1.5848
320	2015-01-06	0.5	3.1795	1.5898
321	2015-01-07	0.5	3.1877	1.5939
322	2015-01-08	0.5	3.1988	1.5994
323	2015-01-09	0.5	3.2080	1.6040
	รวม		25.2087	

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 25.2087 มม./วัน = 3.1763 ชม.

คิดเป็น 190.58 นาที หรือประมาณ 3 ชั่วโมง 11 นาที

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ซม.) x (ความยาวราก 30 cm) x (50%) = 24.75 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.5) x (Etp 3.2196) = 1.6098 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 24.75 มม./ 1.6098 มม./วัน = 15.3746 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)
324	2015-01-10	0.5	3.2196	1.6098
325	2015-01-11	0.5	3.2296	1.6148
326	2015-01-12	0.5	3.2418	1.6209
327	2015-01-13	0.5	3.2533	1.6267
328	2015-01-14	0.5	3.2662	1.6331
329	2015-01-15	0.5	3.2786	1.6393
330	2015-01-16	0.3	3.2895	0.9869
331	2015-01-17	0.3	3.3011	0.9903
332	2015-01-18	0.3	3.3185	0.9956
333	2015-01-19	0.3	3.3297	0.9989
334	2015-01-20	0.3	3.3479	1.0044
335	2015-01-21	0.3	3.3604	1.0081
336	2015-01-22	0.3	3.3821	1.0146
337	2015-01-23	0.3	3.3928	1.0178

338	2015-01-24	0.3	3.4107	1.0232
	รวม	18.7844		

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 18.7844 มม./วัน = 2.3668 ชม.

คิดเป็น 142.01 นาที หรือประมาณ 2 ชั่วโมง 22 นาที

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ซม.) x (ความยาวราก 30 cm) x (50%) = 24.75 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.3) x (Etp 3.4268) = 1.0280 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 24.75 มม./ 1.02804 มม./วัน = 24.0749 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)
339	2015-01-25	0.3	3.4268	1.0280
340	2015-01-26	0.3	3.4456	1.0337
341	2015-01-27	0.3	3.4623	1.0387
342	2015-01-28	0.3	3.4823	1.0447
343	2015-01-29	0.3	3.5001	1.0500
344	2015-01-30	0.3	3.5202	1.0561
345	2015-01-31	0.3	3.5383	1.0615
346	2015-02-01	0.3	3.5569	1.0671
347	2015-02-02	0.3	3.5733	1.0720
348	2015-02-03	0.3	3.5925	1.0778
349	2015-02-04	0.3	3.6103	1.0831
350	2015-02-05	0.3	3.6286	1.0886
351	2015-02-06	0.3	3.6486	1.0946
352	2015-02-07	0.3	3.6676	1.1003
353	2015-02-08	0.3	3.6878	1.1063
354	2015-02-09	0.3	3.7101	1.1130
355	2015-02-10	0.3	3.7310	1.1193
356	2015-02-11	0.3	3.7508	1.1252
357	2015-02-12	0.3	3.7724	1.1317
358	2015-02-13	0.3	3.7941	1.1382
359	2015-02-14	0.3	3.8158	1.1447
360	2015-02-15	0.3	3.8374	1.1512
361	2015-02-16	0.3	3.8589	1.1577
362	2015-02-17	0.3	3.8729	1.1619
	รวม	26.2454		

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 26.2454 มม./วัน = 3.3069 ชม.

คิดเป็น 198.42 นาที หรือประมาณ 3 ชั่วโมง 18 นาที

ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (ดินอุ้มน้ำได้ 1.65 มม./ซม.) x (ความยาวราก 30 cm) x (50%) = 24.75 มม.

ระยะห่างการให้น้ำแต่ละครั้ง = (Kc 0.3) x (Etp 3.8939) = 1.1682 มม./วัน

ต้องให้น้ำห่างกัน 24.75 มม./ 1.16817 มม./วัน = 21.1870 วัน

ที่	วันที่	Kc	Etp	Etc (มม./วัน)
363	2015-02-18	0.3	3.8939	1.1682
364	2015-02-19	0.3	3.9165	1.1750
365	2015-02-20		3.9379	0.0000
366	2015-02-21		3.9584	0.0000
367	2015-02-22		3.9815	0.0000
368	2015-02-23		4.0006	0.0000
369	2015-02-24		4.0244	0.0000
370	2015-02-25		4.0477	0.0000
371	2015-02-26		4.0618	0.0000
372	2015-02-27		4.0898	0.0000
373	2015-02-28		4.1078	0.0000
374	2015-03-01		4.1284	0.0000
375	2015-03-02		4.1489	0.0000
376	2015-03-03		4.1679	0.0000
377	2015-03-04		4.1917	0.0000
378	2015-03-05		4.2069	0.0000
379	2015-03-06		4.2231	0.0000
380	2015-03-07		4.2416	0.0000
381	2015-03-08		4.2598	0.0000
382	2015-03-09		4.2794	0.0000
383	2015-03-10		4.2980	0.0000
	รวม	2.3431		

จำนวนชั่วโมงที่ต้องเปิดน้ำ 7.9365 มม./ชม. / 2.3431 มม./วัน = 0.2952 ชม.

คิดเป็น 17.71 นาที หรือประมาณ 0 ชั่วโมง 18 นาที

ภาคผนวก ข
ประวัติผู้วิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้วิจัย

<u>ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว</u> เกิดเมื่อวันที่ 19 พฤศจิกายน พ.ศ. 2515 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีในสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง เมื่อพ.ศ.2537 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโทและเอกในสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าจาก Vanderbilt University ประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อพ.ศ.2540 และ 2543 ตามลำดับ ปัจจุบันดำรงตำแหน่งรองศาสตราจารย์ ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มีความสนใจในงานวิจัยด้านการมองเห็นของคอมพิวเตอร์และหุ่นยนต์ การประมวลผลสัญญาณและสัญญาณภาพ และระบบทางปัญญาประดิษฐ์

<u>นายระติ พลทามูล</u> เกิดวันที่ 22 เมษายน พ.ศ.2535 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนโคราชพิทยาคม จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีในสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ.2557 กำลังศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มีความสนใจในด้าน การประยุกต์ทางปัญญาประดิษฐ์ การใช้ฟัซซีลอจิกในการแก้ไขปัญหา ขณะศึกษาในระดับปริญญาโทได้เป็นผู้ช่วยวิจัยในรายงานการวิจัยการพัฒนาซอฟต์แวร์ระบบประมวลผลการให้น้ำในไร่มันสำปะหลัง ด้วยแบบจำลองระบบการชลประทาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี