



การทดสอบระบบสนับสนุนการตัดสินใจเชิงพื้นที่เพื่อประมาณความต้องการน้ำใน การปลูกข้าวในพื้นที่ชลประทานโดยใช้ซอฟต์แวร์ฟรี กัมปนาท ปิยะธำรงชัย

Testing of spatial decision support system on estimating water need for irrigated paddy areas using open source software

Kampanart Piyathamrongchai

คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

Faculty of Agriculture, Natural Resources and Environment, Naresuan University Phitsanulok 65000

* Corresponding author. E-mail address: kampanart@nu.ac.th

บทคัดย่อ

การจัดสรรน้ำให้กับพื้นที่เกษตรกรรมมีความสำคัญอย่างมากในภาวะที่ขาดแคลนน้ำ การที่จะทำให้การจัดสรรน้ำเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ข้อมูลสารสนเทศเพื่อการตัดสินใจจึงเป็นสิ่งจำเป็น ระบบจัดการข้อมูลและใช้ประโยชน์จากข้อมูลก็เป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากมีข้อมูลที่ต้องใช้ในการตัดสินใจจำนวนมากและมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาในแต่ละวัน ซึ่งถ้าไม่ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเข้าช่วย จะทำให้การตัดสินใจในแต่ละวันผิดพลาดหรือเกิดความล่าช้า บทความนี้รายงานถึงการพัฒนากระบวนการสนับสนุนการตัดสินใจเชิงพื้นที่ที่พัฒนาขึ้นเพื่อช่วยให้การบริหารจัดการน้ำในพื้นที่เกษตรชลประทานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ระบบนี้พัฒนาขึ้นด้วยซอฟต์แวร์ฟรี โดยมีองค์ประกอบได้แก่ 1) ระบบฐานข้อมูลกลาง 2) ระบบการนำเข้าและปรับปรุงข้อมูลวันเริ่มปลูกของแต่ละแปลงที่ดิน 3) ระบบแสดงรายงานสรุป 4) ระบบคำนวณความต้องการน้ำ และ 5) ระบบแผนที่ เมื่อทำการทดลองใช้งานระบบ พบว่าสามารถนำไปใช้ทดแทนการรายงานความต้องการน้ำที่มีการรายงานเป็นตัวเลขบนกระดาษ ซึ่งระบบสามารถแสดงให้เห็นข้อมูลในหลายมิติทั้งที่เป็นตัวเลขและแผนที่ ทำให้ผู้ใช้สามารถเห็นถึงข้อมูลและความสัมพันธ์ในเชิงพื้นที่ได้ดียิ่งขึ้น อีกทั้งการรายงานความต้องการน้ำผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตยังช่วยลดความซ้ำซ้อนในการเก็บข้อมูลได้อีกด้วย ระบบนี้ได้ถูกติดตั้งที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาดงเครษฐี และนำไปใช้ในการเก็บข้อมูลจริงเพื่อการคำนวณความต้องการน้ำในฤดูกาลเพาะปลูก ซึ่งก่อให้เกิดประโยชน์สำหรับผู้ใช้งานที่ต้องการรายละเอียดของความต้องการน้ำในระดับคลองส่งน้ำย่อยและคลองสายหลักที่กระจายอยู่ในพื้นที่ เพื่อการตัดสินใจที่แม่นยำ ทั้งถึงและมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: เครื่องมือช่วยตัดสินใจ การจัดสรรน้ำเพื่อการเกษตร ซอฟต์แวร์ฟรี

Abstract

Effective water allocation for an agriculture area in water shortage time period is very important. Since data and information are necessary to efficiently allocate the water, data management system are therefore the most vital tool to store a range of number of data updated daily and to retrieve them for use in several ways. Information technology plays a vital role to manage the data and represent them in useful fashions. Without IT implementation might lead to mistaken or delay decision making. This article reports the development of spatial decision support system (SDSS) on water allocation management for massive irrigated paddy areas. The SDSS was developed using numerous free and open source software. The components of the system were including: 1) central database module, 2) date-time input and modify module, 3) summarizing report module, 4) water need model module and 5) mapping module. The system could be replaced the old fashion paper-based operation, which could only represent overall information, by visualizing information in other dimensions such as summarized tables and thematic maps. Moreover, this system was implemented on the internet, it reduced data redundancy and could improve the way the data could be represented. The system was setup in the DongSethi Operation and Maintenance Project for collecting the data in real situation for this coming planting season. The SDSS for water allocation is very beneficial for users who need detailed information of water need in water service zones in order to make precise and effective decision on water use.

Keywords: Decision support tool, Water Allocation for Agriculture, Open source Softwares



บทนำ

น้ำถือเป็นทรัพยากรที่สำคัญอย่างยิ่งทางด้านการเกษตร โดยเฉพาะการปลูกข้าวมีความต้องการใช้น้ำเป็นอย่างมากตั้งแต่เริ่มเพาะปลูกไปจนถึงการเก็บเกี่ยวพื้นที่เกษตรกรรมที่อยู่ในเขตชลประทานสามารถปลูกข้าวได้หลายรอบในหนึ่งปี (บุญมา, 2546) เนื่องจากหน่วยงานชลประทานสามารถจัดสรรน้ำให้เกษตรกรสามารถใช้ทำการเกษตรได้ตามความต้องการนอกฤดูเพาะปลูก ในการจัดสรรน้ำให้เกษตรกรใช้ประโยชน์นั้น เจ้าหน้าที่ผู้ดำเนินการจะรับข้อมูลจากโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาที่อยู่ภายใต้การดูแลของสำนักชลประทานเขตฯ เพื่อคำนวณปริมาณน้ำที่จำเป็นที่จะส่งเข้าไปยังพื้นที่การเกษตรในโครงการ โดยข้อมูลที่ได้นั้นเป็นข้อมูลที่ได้จากการประเมินของเจ้าหน้าที่ภาคสนามที่จะรายงานพื้นที่ปลูกและอายุข้าวในแต่ละสัปดาห์มายังโครงการส่งน้ำในเขตพื้นที่นั้น ๆ เพื่อให้สำนักชลประทานเขตประเมินความต้องการน้ำในลำดับต่อไป

ปัจจุบัน สำนักชลประทานใช้วิธีการคำนวณความต้องการน้ำเป็นภาพโดยรวมของโครงการทั้งหมดจากการรายงานพื้นที่ปลูกดังกล่าว จากปริมาณการปลูกข้าวตามอายุของข้าวในสัปดาห์นั้น ๆ โดยใช้หลักการคำนวณที่ปริมาณน้ำที่ต้องการตามมาตรฐานของงานชลประทานที่ดัดแปลงจากวิธีการคำนวณการระเหยของน้ำจากผิวดินที่ปกคลุมด้วยพืชของเพ็นแมน-มอนทีธ (Penman-Monteith method) ผลจากการคำนวณดังกล่าวมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการตัดสินใจส่งน้ำเข้าไปยังพื้นที่เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของเกษตรกร แต่ก็มีจุดด้อยอยู่ที่ข้อมูลไม่ได้เก็บอย่างเป็นระบบและไม่เป็นศูนย์กลางทำให้การใช้ข้อมูลร่วมกันมีความยุ่งยาก ผลลัพธ์มีลักษณะเป็นภาพรวมจนเกินไปทำให้ไม่สามารถระบุความต้องการใช้น้ำในระดับพื้นที่ส่วนย่อยได้ และไม่สามารถนำเสนอในรูปแบบของแผนที่ทำให้มองไม่เห็นความแตกต่างความต้องการน้ำในแต่ละพื้นที่ ดังจะเห็นได้จากการศึกษาของภาณุวัฒน์ที่อภิปรายถึงความไม่ทั่วถึงของการส่งน้ำในพื้นที่ชลประทาน (ภาณุวัฒน์, 2552) ซึ่งข้อมูลที่จำกัดนำไปสู่การตัดสินใจส่งน้ำลงในพื้นที่ที่ไม่มีประสิทธิภาพ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ที่ในการทดสอบระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อประยุกต์ใช้ในด้านความ

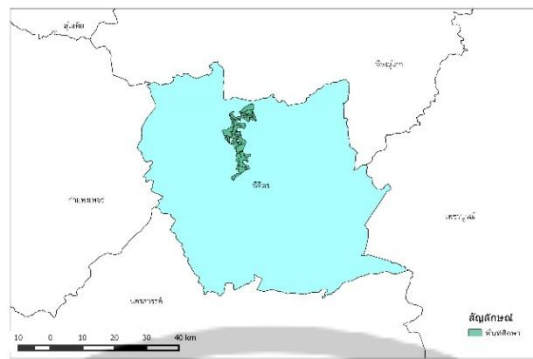
ต้องการนำ โดยใช้ซอฟต์แวร์รหัสเปิดซึ่งมีความเหมาะสมต่อหน่วยงานภาครัฐในการนำไปประยุกต์ใช้ (Bouras, 2014, pp. 237-252) โดยระบบที่ทดสอบนี้เป็น การประยุกต์ใช้การคำนวณความต้องการน้ำในพื้นที่ส่งน้ำระดับย่อย (แฉกส่งน้ำ) จนถึงระดับคลองส่งน้ำ โดยใช้ข้อมูลระดับแปลงในการคิดคำนวณ การที่ข้อมูลมีความละเอียดมากขึ้น ทำให้สามารถประยุกต์ใช้วิธีการคำนวณดังกล่าวให้แสดงรายละเอียดในพื้นที่ที่มากยิ่งขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการดำเนินการจัดสรรน้ำให้กับพื้นที่การเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพและกระจายไปยังพื้นที่ได้อย่างทั่วถึงมากยิ่งขึ้น โดยสามารถนำเสนอข้อมูลในรูปแบบที่เพื่อให้ผู้อื่นได้แก่ผู้ปฏิบัติงานในสำนักชลประทานสามารถแสดงความสัมพันธ์เชิงพื้นที่และเชิงเวลาของความต้องการน้ำเพื่อการเพาะปลูกในพื้นที่ย่อย ๆ เพื่อเปรียบเทียบและวางแผนการจัดสรรน้ำที่จะส่งลงในพื้นที่ในแต่ละวัน และสามารถนำเสนอแผนที่ในรายงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาข้อมูลการจัดสรรน้ำลงสู่พื้นที่ปลูกข้าวในเขตชลประทาน
2. เพื่อออกแบบและทดสอบระบบสนับสนุนการตัดสินใจเชิงพื้นที่เพื่อประมาณความต้องการน้ำในการปลูกข้าวในพื้นที่ชลประทาน

วิธีดำเนินงาน

1. อุปกรณ์ในการดำเนินงาน
 - 1.1 ชุดโปรแกรม Quantum GIS
 - 1.2 ชุดโปรแกรม PostGreSQL และ PostGIS
 - 1.3 ชุดโปรแกรม Appserv
2. กำหนดพื้นที่ศึกษา โดยเลือกพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา ดงเศรษฐี ตอนที่ 1 จังหวัดพิจิตร เนื่องจากเป็นโครงการนำร่องในการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในการจัดสรรน้ำ พื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา ดงเศรษฐี ตอนที่ 1 มีเนื้อที่ประมาณ 61,000 ไร่ ดังแสดงในแผนที่ในรูปที่ 1



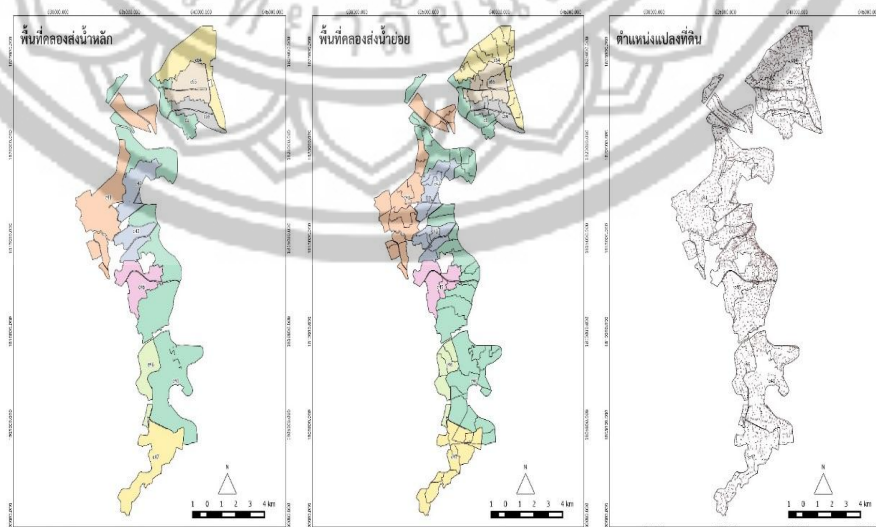
รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษา

3. ออกแบบ รวบรวมและจัดการชั้นข้อมูลพื้นที่ที่เกี่ยวข้อง ในขั้นตอนนี้ได้ใช้แบบสอบถามเพื่อวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้งาน โดยใช้วิธีสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ของสำนักชลประทานที่ 3 เพื่อทราบความต้องการในส่วนของการข้อมูล การออกแบบฐานข้อมูลสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของระบบงาน โดยในระบบฐานข้อมูลประกอบด้วยชั้นข้อมูลภูมิสารสนเทศ 3 ชั้น ได้แก่ พื้นที่คลองชลประทาน (Canal_zone) พื้นที่แจกส่งน้ำ (Zone) ตำแหน่งแปลงที่ดิน (Parcel) เพื่อทดสอบและสามารถนำระบบไปใช้ประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพ ในการศึกษาได้ใช้ประโยชน์จากชั้นข้อมูลภูมิสารสนเทศในพื้นที่บริเวณพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาตงเศรษฐี ตอนที่ 1 จังหวัดพิจิตร ซึ่งเป็นพื้นที่ในความดูแลของสำนักงานชลประทานที่ 3 จังหวัดพิษณุโลก แสดงในรูปที่ 2 มีรายละเอียดดังนี้

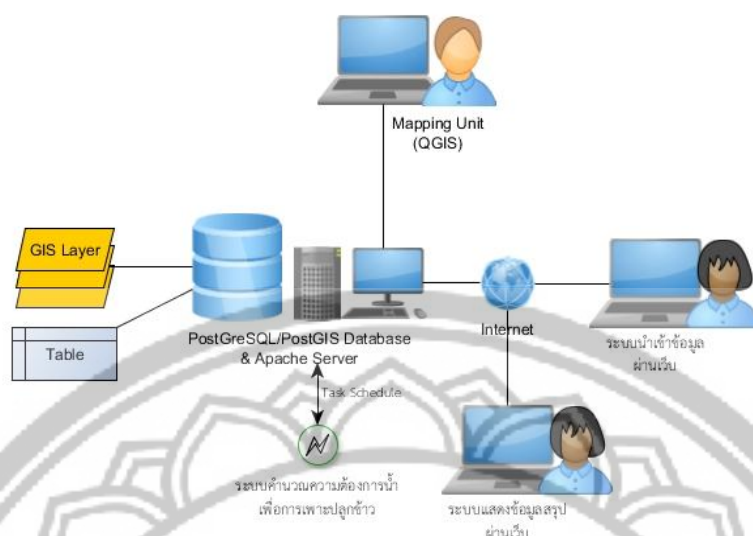
3.1 พื้นที่คลองส่งน้ำหลัก (Canal_zone) ชั้นข้อมูลพื้นที่คลองส่งน้ำหลักเป็นข้อมูลรูปปิด (Polygon) ซึ่งแสดงขอบเขตของพื้นที่บริการของคลองส่งน้ำหลักจำนวน 11 คลอง โดยแต่ละพื้นที่คลองหลักจะประกอบไปด้วยพื้นที่ย่อยแจกส่งน้ำเพื่อส่งน้ำเข้าในระดับแปลง

3.2 พื้นที่ย่อยแจกส่งน้ำ (Zone) เป็นชั้นข้อมูลที่แสดงเป็นพื้นที่รูปปิด (Polygon) ซึ่งแสดงขอบเขตของพื้นที่บริการของคลองส่งน้ำย่อย (เรียกว่าแจกส่งน้ำ) จำนวนทั้งสิ้น 119 แจก เพื่อส่งน้ำเข้าในระดับแปลงนา

3.3 ตำแหน่งแปลงที่ดิน (Parcel) เป็นชั้นข้อมูลที่ใช้แสดงข้อมูลตำแหน่งจุดศูนย์กลางของแปลงที่ดิน มีลักษณะเป็นข้อมูลแบบจุด (Point) ตำแหน่งแปลงในฐานข้อมูลมีจำนวนทั้งสิ้น 3,828 แปลง



รูปที่ 2 ชั้นข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่ใช้ในการพัฒนาระบบ



รูปที่ 3 โครงสร้างของระบบฐานข้อมูลช่วยตัดสินใจเชิงพื้นที่เพื่อการประมาณความต้องการน้ำ
ในเขตพื้นที่ชลประทาน

4. ออกแบบโครงสร้างระบบ ในส่วนนี้ได้จากการสัมภาษณ์ผู้ใช้งานถึงระบบที่ผู้ใช้งานต้องการ โดยทำการออกแบบโครงสร้างของระบบงานเพื่อช่วยตัดสินใจในการจัดการความต้องการน้ำในเขตชลประทาน (รูปที่ 3) ประกอบด้วย

4.1 ระบบฐานข้อมูลกลาง

ระบบฐานข้อมูลกลางจะทำหน้าที่เก็บข้อมูลภูมิสารสนเทศและตารางข้อมูลอย่างเป็นระบบและแจกจ่ายข้อมูลตามความต้องการของระบบอื่น ๆ ข้อมูลต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นได้ถูกนำมาจัดการให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถเก็บลงในระบบฐานข้อมูล PostgreSQL/PostGIS (ดูรายละเอียดได้ที่ www.postgresql.org) ได้ข้อมูลภูมิสารสนเทศทั้ง 3 ชั้นดังกล่าวข้างต้นถูกเก็บลงในระบบโดยจะมีโครงสร้างเป็นตารางข้อมูลเก็บคุณลักษณะเชิงพื้นที่เอาไว้ในแต่ละแถวของข้อมูลด้วย (Obe, & Hsu, 2011) ตามโครงสร้างตารางที่ได้ออกแบบไว้ โดยมีโครงสร้างที่เก็บข้อมูลเพียง 2 ส่วน ได้แก่ หมายเลขตำแหน่งแปลงที่ดินซึ่งจะเชื่อมโยงตรงกันกับข้อมูลในตารางข้อมูลตำแหน่งแปลงที่ดิน เพื่ออ้างอิงถึงในเวลาเข้าวันเริ่มเพาะปลูกและค้นคืนกลับมาใช้ในการคำนวณความต้องการน้ำ

4.2 ระบบนำเข้าและแก้ไขข้อมูลวันเวลาที่เริ่มเพาะปลูก

ระบบนี้พัฒนาขึ้นบนหน้าเว็บโดยใช้ภาษาโปรแกรม PHP (ดูรายละเอียดได้ที่ www.php.net) เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงได้อย่างสะดวกรวดเร็ว และใช้งานด้วยส่วนติดต่อกับผู้ใช้ที่คุ้นเคยบนเว็บเบราว์เซอร์ เนื่องจากแปลงที่ดินในฐานข้อมูลมีจำนวนมาก ซึ่งเป็นการยากที่จะเพิ่มข้อมูลลงในระบบฐานข้อมูลในเวลาอันจำกัด ดังนั้นการออกแบบหน้าเว็บจึงเน้นการใช้งานที่เรียบง่ายเป็นหลักเพื่อให้ผู้ใช้สามารถเพิ่มข้อมูลแปลงที่ปลูกและวันที่เริ่มปลูกลงในฐานข้อมูลอย่างรวดเร็ว โดยการสร้างหน้าเว็บที่แสดงเพียงหมายเลขแปลงที่ดิน ชื่อเจ้าของแปลง และมีกล่องเลือก (Checkbox) ที่ผู้ใช้สามารถเลือกที่แปลงที่เริ่มปลูกแล้วจากนั้นระบบจะทำการบันทึกวันเวลาของแปลงนั้นลงในฐานข้อมูลโดยอัตโนมัติ

4.3 ระบบคำนวณความต้องการน้ำ

ระบบนี้จะประยุกต์วิธีการคำนวณความต้องการน้ำดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นมาใช้ในการสร้างโปรแกรมอัตโนมัติเพื่อคำนวณความต้องการน้ำในวันที่ปัจจุบัน ระบบนี้จะดำเนินการอยู่เบื้องหลังของระบบในคอมพิวเตอร์แม่ข่าย และทำงานร่วมกับระบบฐานข้อมูล โดยเรียกข้อมูลที่จำเป็นจากฐานข้อมูลมาคำนวณและเขียนข้อมูลทับกลับลงในฐานข้อมูล เพื่อใช้ในระบบงานอื่น ๆ ต่อไป ระบบนี้ใช้ภาษาโปรแกรมภาษา

ไพธอน (Python: ดูรายละเอียดได้ที่ www.python.org) ในการพัฒนา ซึ่งเป็นภาษาโปรแกรมที่ประมวลผลข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว และสามารถสร้างการคำนวณอัตโนมัติในเครื่องแม่ข่ายได้

ระบบคำนวณจะถูกเก็บเป็นโปรแกรมขนาดเล็กที่สามารถกำหนดให้ระบบแม่ข่ายทำงานอัตโนมัติแบบตั้งเวลาให้คำนวณและเขียนทับค่าในตารางได้ตามช่วงเวลาที่ต้องการ เช่น ทุก ๆ 1 ชั่วโมง การกำหนดให้คำนวณอัตโนมัตินี้มีประโยชน์ในแง่ของการเรียกใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลกลางเดียวกันของหลายๆ ระบบ ซึ่งต้องการข้อมูลที่ได้รับการปรับปรุงให้ทันสมัยอยู่ตลอดเวลา

4.4 ระบบแสดงข้อมูลสรุประดับแฉกส่งน้ำคลองหลัก และทั้งโครงการ

ระบบนี้ใช้ในการแสดงข้อมูลสรุปในรูปแบบตารางโดยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ข้อมูลพื้นที่เพาะปลูกแยกตามอายุของข้าว และตารางความต้องการน้ำแยกตามแฉกส่งน้ำและคลองส่งน้ำหลัก เช่นเดียวกับระบบเพิ่มและแก้ไขข้อมูลวันเพาะปลูก ภาษาที่ใช้ในการพัฒนาคือ ภาษา PHP เพื่อเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลกลาง แสดงผลออกมาทางเบราว์เซอร์ในลักษณะข้อมูลสรุปเพื่อใช้ทำรายงาน

4.5 ระบบแผนที่

ระบบแผนที่ในการศึกษานี้ใช้ในการแสดงข้อมูลแผนที่เพื่อช่วยตัดสินใจในเรื่องการจัดสรรน้ำในพื้นที่ชลประทาน ระบบนี้ใช้ซอฟต์แวร์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่สเปด QGIS (ดูรายละเอียดได้ที่ www.qgis.org) ซอฟต์แวร์ดังกล่าวมีความสามารถในการเชื่อมโยงข้อมูลกับฐานข้อมูลกลางและเพิ่มเติมข้อมูลเชิงพื้นที่ลงในระบบฐานข้อมูลกลางได้โดยตรง สามารถสร้างแผนที่เฉพาะเรื่องได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในการศึกษานี้ได้สร้างเครื่องมือเสริมที่ช่วยให้การแสดงผลข้อมูลลงในแผนที่ทำได้อย่างสะดวก โดยการพัฒนาเครื่องมือด้วยภาษาโปรแกรมไพธอน ให้สามารถแสดงแผนที่ที่จำแนกตามระดับความต้องการน้ำในระดับแฉกส่งน้ำ และคลองส่งน้ำ พร้อมทั้งเพิ่มข้อมูลแผนที่ลงในโปรแกรมโดยอัตโนมัติ

5. โปรแกรมในการคำนวณความต้องการน้ำในพื้นที่ชลประทาน การคำนวณความต้องการน้ำในพื้นที่

ชลประทานได้จากการศึกษาจากแบบรายงานความต้องการน้ำรายสัปดาห์ และจากการสอบถามจากผู้ปฏิบัติงานจริงในสำนักชลประทานที่ 3 จังหวัดพิษณุโลก โดยมีขั้นตอนการคำนวณดังต่อไปนี้

5.1 คำนวณหาร้อยละของพื้นที่ปลูกข้าวตามอายุข้าวรายสัปดาห์ (A) การคำนวณหาร้อยละของพื้นที่ปลูกทำได้โดยการคำนวณพื้นที่ที่เริ่มปลูกข้าวรายสัปดาห์ต่อพื้นที่ทั้งหมด และเป็นสัดส่วนร้อยละของพื้นที่สะสมในแต่ละสัปดาห์

5.2 กำหนดค่าสัมประสิทธิ์พืช (K_c) และการคำนวณเพื่อปรับแก้ ค่าสัมประสิทธิ์พืชกำหนดโดยวิธีของ Penman Monteith เป็นค่าที่ใช้ได้ทั่วไปในการคำนวณความต้องการน้ำของพืช ซึ่งค่า K_c และการปรับแก้ค่าสัมประสิทธิ์พืชทำได้โดยใช้ค่าของร้อยละของพื้นที่ปลูกพืช (A) ในแต่ละสัปดาห์ (w) ไปกำหนดน้ำหนักใหม่เพื่อปรับค่าสัมประสิทธิ์พืช ($AdjK_c$) (ตามการศึกษาของสำนักชลประทานที่ 3) ดังแสดงตัวอย่างการคำนวณในตารางที่ 1

$$AdjKc_i = \frac{\sum_{i=1}^w (A_i \times Kc_i)}{\sum A_i} \quad (1)$$

โดยกำหนดให้

$AdjKc_i$ = ค่าสัมประสิทธิ์พืชปรับแก้

A_i = ร้อยละของพื้นที่ปลูกพืช

K_c = ค่าสัมประสิทธิ์พืช

5.3 กำหนดปริมาณการใช้น้ำของข้าว (V) ค่า V ของข้าวอ้างอิงโดยวิธีของ Penman Monteith หน่วยเป็น มิลลิเมตรต่อวัน โดยมีความแตกต่างกันในแต่ละเดือน

5.4 กำหนดอัตราการรั่วซึม (L) อัตราการรั่วซึมในพื้นที่นี้กำหนดเป็นค่าคงที่เป็น 1.50 (ตามการศึกษาของสำนักชลประทานที่ 3)

5.5 กำหนดค่าประสิทธิภาพชลประทาน (EI) ค่าประสิทธิภาพชลประทานในพื้นที่นี้กำหนดเป็นค่าคงที่เป็น 0.567 (ตามการศึกษาของสำนักชลประทานที่ 3)

5.6 กำหนดค่าปริมาณน้ำฝน (P) ปริมาณน้ำฝนใช้ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในระยะ 10 ปี (พ.ศ.2545-2555) ในพื้นที่โดยใช้ข้อมูลจากรายงานของกรมอุตุนิยมวิทยา



ข้อมูลปริมาณน้ำฝนใช้ในการเปรียบเทียบเพื่อกำหนดปริมาณฝนใช้การตามการศึกษาของสำนักชลประทานที่ 3 มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อวัน (ES)

5.7 คำนวณหาปริมาณน้ำที่ต้องการบนแปลงเพาะปลูกหน่วยมิลลิเมตรต่อวัน (W_{mm}) และหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวัน (W_{sqm}) การคำนวณในส่วนนี้ต้องใช้ข้อมูลต่างๆ ดังที่กล่าวมาข้างต้น โดยกำหนดค่าจากเงื่อนไขดังนี้

$$W_{mm} = \begin{cases} (AdjK_c \times Et_o) + L - ES, & (AdjK_c \times Et_o) + L - ES > 0 \\ 0, & (AdjK_c \times Et_o) + L - ES \leq 0 \end{cases} \quad (2)$$

โดยที่ :

W_{mm} = ปริมาณน้ำที่ต้องการบนแปลงเพาะปลูกหน่วยมิลลิเมตรต่อวัน

$AdjK_c$ = ค่าสัมประสิทธิ์พืชปรับแก้

Et_o = การใช้น้ำของพืชมาตรฐาน

L = อัตราการรั่วซึม

ES = ปริมาณฝนใช้การ

ส่วน W_{sqm} คำนวณได้จากสมการ

$$W_{sqm} = \frac{W_{mm} \times A \times 1600 \times 7}{1000} \quad (3)$$

โดยที่ :

W_{sqm} = ปริมาณน้ำที่ต้องการบนแปลงเพาะปลูกหน่วยลูกบาศก์เมตรต่อวัน

W_{mm} = ปริมาณน้ำที่ต้องการบนแปลงเพาะปลูกหน่วยมิลลิเมตรต่อวัน

5.8 คำนวณหาความต้องการน้ำระดับแปลงนาหน่วยลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (WN) ในการคำนวณหาความต้องการน้ำระดับแปลงในหน่วยลูกบาศก์เมตรต่อวินาที () คำนวณได้จากสมการ

$$WN = \frac{W_{sqm} / EI}{7 \times 24 \times 3600} \quad (4)$$

โดยที่ :

WN = ความต้องการน้ำระดับแปลงนาหน่วยลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

W_{sqm} = ปริมาณน้ำที่ต้องการบนแปลงเพาะปลูกหน่วยลูกบาศก์เมตรต่อวัน

EI = ค่าประสิทธิภาพชลประทาน

$7 \times 24 \times 3600$ = จำนวนวินาทีในระยะเวลา 7 วัน

6. ทดสอบระบบ

ผลการศึกษา

เนื่องจากการรายงานข้อมูลเพาะปลูกต้องใช้ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลจริง บทความนี้จึงทำการทดสอบระบบฐานข้อมูลโดยเพิ่มข้อมูลแปลงเริ่มปลูกแบบสุ่ม เมื่อกำหนดวันเริ่มปลูกระบบจะทำการคำนวณอายุของข้าวโดยอัตโนมัติ และสรุปรวมในแต่ละพื้นที่แ่งส่งน้ำ ในการทดสอบนี้ได้กำหนดวันเข้าใช้ข้อมูลเป็นวันที่ 23-24 มีนาคม 2557 โดยวันเริ่มปลูกในปฏิทินการปลูกเริ่มตั้งแต่วันที่ 13 มกราคม 2557 รูปที่ 4a) แสดงหน้าเว็บแปลงที่ดินโดยถ้ามีเครื่องหมายถูกด้านหลังแสดงว่าได้ใส่ข้อมูลวันเวลาเริ่มปลูกไปแล้ว อาทิ แปลง 259 ของนายหลี อินทกุล ได้เริ่มปลูกไปแล้ว ในขณะที่แปลง 276 ของนายเวียน ชูเมือง ยังไม่ได้เริ่มปลูก เป็นต้น และเมื่อผู้ใช้เลือกแปลงใด ๆ ในกล่องเลือกด้านหลังที่ยังว่างโปรแกรมจะทำการบันทึกวันเริ่มปลูกเป็นวันที่ 23 มีนาคม 2557 โดยอัตโนมัติ ข้อมูลเหล่านี้จะถูกเก็บในฐานข้อมูลกลาง ยกตัวอย่างเช่น เมื่อทดลองเพิ่มข้อมูลให้แปลงที่ดินหมายเลข 281 ของนายหวาน ชูเมือง 318 นางธนภรณ์ ฉัตรจันทร์ และ 319 นางชื่น ใจเอื้อแล้วระบบจะบันทึกวันที่ 23 มีนาคม 2557 ลงในระบบฐานข้อมูล และถ้าต้องการแก้ไขข้อมูลวันที่ปลูกของแปลงหมายเลข 281 ให้เป็นวันที่ 24 มีนาคม 2557 ก็สามารถใช้ระบบแก้ไขข้อมูลได้ ดังแสดงในรูปที่ 4b)

3077	258	นางละม้าย เขียวทองดี	<input checked="" type="checkbox"/>
3078	259	นายหลี่ อินทกุล	<input checked="" type="checkbox"/>
3079	260	นายอี เขียวศรี	<input checked="" type="checkbox"/>
3080	261	นายสำเนียง ขูเมือง	<input checked="" type="checkbox"/>
3081	262	นายเจริญ จันทศักดิ์	<input checked="" type="checkbox"/>
3082	263	น.ส.บุญสม ตีมัน	<input checked="" type="checkbox"/>
3083	264	นางสมจิตร เจริญสุข	<input checked="" type="checkbox"/>
3084	276	นายเวียน ขูเมือง	<input type="checkbox"/>
3085	280	นายเกียรติศักดิ์ สายบัว	<input type="checkbox"/>
3086	281	นายหวน ขูเมือง	<input type="checkbox"/>
3087	318	นางธนกรรณ ฉัตรจันทร์	<input type="checkbox"/>
3088	319	นางชิน ใจเอื้อ	<input type="checkbox"/>
3089	321	นางพิน เข้มม่วง	<input type="checkbox"/>

a) การเพิ่มเติมแปลงที่เริ่ม

เลขที่	เลขประจำแปลงที่ดิน	ชื่อเจ้าของ	วันที่ปลูก
3075	254	นายสุวรรณา อำนาจกระทุง	16/JANUARY/2014
3076	257	นางยุภา จันทศักดิ์	26/JANUARY/2014
3077	258	นางละม้าย เขียวทองดี	15/J
3078	259	นายหลี่ อินทกุล	15/J
3079	260	นายอี เขียวศรี	13/J
3080	261	นายสำเนียง ขูเมือง	03/J
3081	262	นายเจริญ จันทศักดิ์	15/J
3082	263	น.ส.บุญสม ตีมัน	15/J
3083	264	นางสมจิตร เจริญสุข	15/JANUARY/2014
3086	281	นายหวน ขูเมือง	23/MARCH/2014
3087	318	นางธนกรรณ ฉัตรจันทร์	23/MARCH/2014
3088	319	นางชิน ใจเอื้อ	23/MARCH/2014
3093	325	นางจวน ทองเรียน	26/JANUARY/2014
3094	328	นายกำชัย อุบลสี	26/JANUARY/2014
3099	1479	นางนิกภร ทีลีณคำ	26/JANUARY/2014

b) การแก้ไขวันเริ่มปลูก

รูปที่ 4 หน้าเว็บแสดงตัวอย่างการนำเข้าและการแก้ไขวันที่เริ่มเพาะปลูก

เมื่อนำเข้าข้อมูลวันเริ่มเพาะปลูก ระบบจะดำเนินการคำนวณความต้องการน้ำจากข้อมูลที่เพิ่มเข้ามาใหม่โดยอัตโนมัติตามระยะเวลาที่ตั้งค่าเอาไว้ในระบบ รูปที่ 5 แสดงตัวอย่างผลลัพธ์การคำนวณพื้นที่เริ่มปลูกไปแล้วตามอายุรายสัปดาห์ แบ่งตามแฉกส่งน้ำ คลองส่งน้ำ และรวมทั้งโครงการ เช่น ข้อมูลที่เพิ่มเข้าไปใหม่ 3 แปลงดัง

ตัวอย่างข้างต้นในแฉก C1-82 มีเนื้อที่ที่เพาะปลูกรวม 25.81 ไร่ ที่มีข้าวอายุไม่เกิน 1 สัปดาห์ ส่วนในแฉกเดียวกันมีข้าวที่มีอายุประมาณไม่เกิน 7 สัปดาห์ เหลืออยู่ประมาณ 0.638 ไร่ เมื่อรวมทั้งโครงการแล้วมีพื้นที่ปลูกข้าวอายุ 7 สัปดาห์ประมาณ 1,300.87 ไร่ เป็นต้น

วันนี้วันที่ 24-Mar-2014		
กลับหน้าหลัก		
อายุข้าว 1 สัปดาห์	ขนาดพื้นที่ (ไร่)	
c1-82		25.81
อายุข้าว 2 สัปดาห์	ขนาดพื้นที่ (ไร่)	
อายุข้าว 3 สัปดาห์	ขนาดพื้นที่ (ไร่)	
อายุข้าว 4 สัปดาห์	ขนาดพื้นที่ (ไร่)	
อายุข้าว 5 สัปดาห์	ขนาดพื้นที่ (ไร่)	
อายุข้าว 6 สัปดาห์	ขนาดพื้นที่ (ไร่)	
อายุข้าว 7 สัปดาห์	ขนาดพื้นที่ (ไร่)	
c1-82		0.638
c1-84		67.81
c1-85		28
c45-1		31.635
c45-5		113.025
c46-1		409.29
c46-3		102.5
c46-4		124.728

รายแฉกส่งน้ำ

วันนี้วันที่ 24-03-2014		
กลับหน้าหลัก		
อายุข้าว 1 สัปดาห์	ขนาดพื้นที่ (ไร่)	
c1		25.81
อายุข้าว 2 สัปดาห์	ขนาดพื้นที่ (ไร่)	
อายุข้าว 3 สัปดาห์	ขนาดพื้นที่ (ไร่)	
อายุข้าว 4 สัปดาห์	ขนาดพื้นที่ (ไร่)	
อายุข้าว 5 สัปดาห์	ขนาดพื้นที่ (ไร่)	
อายุข้าว 6 สัปดาห์	ขนาดพื้นที่ (ไร่)	
อายุข้าว 7 สัปดาห์	ขนาดพื้นที่ (ไร่)	
c1		96.448
c45		144.66
c46		636.518
c64		423.25
อายุข้าว 8 สัปดาห์	ขนาดพื้นที่ (ไร่)	
c1		256.935
c40		229.755
c42		396.775

รายคลองส่งน้ำ

วันนี้วันที่ 24-03-2014		
กลับหน้าหลัก		
อายุข้าว 1 สัปดาห์	ขนาดพื้นที่ (ไร่)	
		25.81
อายุข้าว 2 สัปดาห์	ขนาดพื้นที่ (ไร่)	
		0
อายุข้าว 3 สัปดาห์	ขนาดพื้นที่ (ไร่)	
		0
อายุข้าว 4 สัปดาห์	ขนาดพื้นที่ (ไร่)	
		0
อายุข้าว 5 สัปดาห์	ขนาดพื้นที่ (ไร่)	
		0
อายุข้าว 6 สัปดาห์	ขนาดพื้นที่ (ไร่)	
		0
อายุข้าว 7 สัปดาห์	ขนาดพื้นที่ (ไร่)	
		1300.875
อายุข้าว 8 สัปดาห์	ขนาดพื้นที่ (ไร่)	
		2341.585

รวมทั้งโครงการ

รูปที่ 5 รายงานสรุปพื้นที่เพาะปลูกตามอายุข้าววันจนถึงวันที่เปิดหน้าเว็บ



ส่วนการรายงานสรุปความต้องการน้ำในวันที่รายงานผลแสดงไว้ในรูปที่ 6 ซึ่งแสดงข้อมูลความต้องการน้ำรายแจกส่งน้ำ คลองส่งน้ำ และรวมทั้งโครงการตามลำดับ เช่น ในแจกส่งน้ำรหัส C1-82 มีความต้องการน้ำประมาณ 0.017 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เป็นต้น เมื่อ

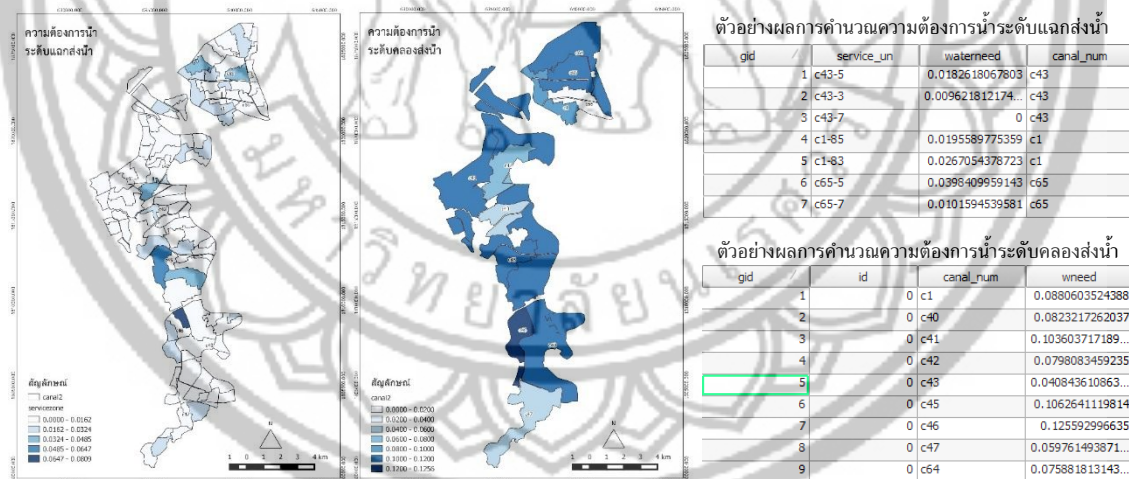
รวมในระดับคลองส่งน้ำคลองส่งน้ำรหัส C41 ต้องการน้ำถึง 0.103 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และเมื่อรวมทั้งโครงการควรส่งน้ำเข้ารวมทั้งสิ้น 0.93 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

วันนี้วันที่ 24-Mar-2014			วันนี้วันที่ 24-Mar-2014			วันนี้วันที่ 24-Mar-2014		
กลับหน้าหลัก			กลับหน้าหลัก			กลับหน้าหลัก		
หมายเลขแจกส่งน้ำ	ความต้องการน้ำ (ลบ.เมตร วินาที)		หมายเลขแจกส่งน้ำ	ความต้องการน้ำ (ลบ.เมตร วินาที)		ความต้องการน้ำทั้งโครงการ	ความต้องการน้ำ (ลบ.เมตร วินาที)	
c1-82	0.017		c1	0.085				
c1-83	0.027		c40	0.11				
c1-84	0.025		c41	0.103				
c1-85	0.02		c42	0.08				
c40-1	0.013		c43	0.041				
c40-10	0							
รายแจกส่งน้ำ			รายคลองส่งน้ำ			รวมทั้งโครงการ		

รูปที่ 6 รายงานสรุปความต้องการน้ำเพื่อการเพาะปลูกในวันเปิดหน้าเว็บ

ส่วนระบบแผนที่ทำหน้าที่ 2 ส่วนหลักคือ การแสดงข้อมูลในแผนที่เฉพาะเรื่อง ค่าความต้องการน้ำในแต่ละแจกและคลองส่งน้ำ รวมทั้งตารางผลลัพธ์ตัวอย่าง

บางส่วน สามารถเรียกใช้เพื่อสร้างแผนที่ได้โดยตรงและเป็นค่าที่ใช้ร่วมเป็นหนึ่งเดียวกันทั้งระบบ ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 แผนที่ความต้องการน้ำเพื่อการเพาะปลูก

และส่วนของการเพิ่มเติมและปรับปรุงข้อมูล ระบบแผนที่ที่สามารถเชื่อมโยงกับฐานข้อมูลกลางเพื่อเรียกชั้นข้อมูลที่ต้องการขึ้นมาแก้ไขโดยสามารถแก้ไขได้ทั้งข้อมูลบรรยายและข้อมูลแผนที่ รูปที่ 8 แสดงการเลือกตำแหน่งแปลงที่ดินของนายผณี จันทรเดช ขึ้นมาเพื่อทำการแก้ไข

นอกจากนั้นระบบแผนที่ยังสามารถใช้เครื่องมือแก้ไขเพิ่มเติม เช่น มีการเพิ่มตำแหน่งแปลงข้อมูลในฐานข้อมูล ก็สามารถกำหนดตำแหน่งใหม่ได้ทันทีโดยข้อมูลทั้งหมดที่เพิ่มเติมขึ้นมาจะไปปรับปรุงข้อมูลในฐานข้อมูลกลางโดยอัตโนมัติ

อภิปรายผล

จากผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าระบบนี้สามารถนำมาใช้เพื่อการตัดสินใจในการจัดสรรน้ำได้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และสามารถนำมาใช้ทดแทนข้อมูลในรูปแบบเดิมได้เป็นอย่างดี ดังต่อไปนี้

1. ระบบนำเข้าข้อมูลเป็นระบบนำเข้าข้อมูลผ่านหน้าเว็บ ที่สามารถทำงาน ณ ที่ใดก็ได้ที่สามารถเข้าถึงอินเทอร์เน็ตได้ และเป็นหน้าเว็บที่ถูกออกแบบโดยคำนึงถึงความสะดวกของผู้ใช้งานที่ต้องนำเข้าข้อมูลจำนวนมากในแต่ละวัน เมื่อเทียบกับระบบการรายงานความต้องการน้ำที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องกรอกตัวเลขจำนวนมากลงในระบบซึ่งมีโอกาสผิดพลาดได้มาก

2. ระบบฐานข้อมูลเป็นระบบฐานข้อมูลกลางที่สร้างบนสถาปัตยกรรมฐานข้อมูลเชิงวัตถุสัมพันธ์ (Object relational database) ซึ่งสามารถเชื่อมโยงฐานข้อมูลได้อย่างหลากหลาย และต่อเชื่อมไปยังการประยุกต์ใช้ได้หลายรูปแบบ (Wieckowicz, 2010) เช่น ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ระบบเว็บไซต์ ทั้งนี้การใช้ระบบฐานข้อมูลช่วยลดความซ้ำซ้อนในการเก็บข้อมูลและช่วยให้การแก้ไข หรือแบ่งปันข้อมูลเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงพัฒนาต่อยอดได้โดยง่าย

3. การรายงานผลประมาณการความต้องการน้ำผ่านทางหน้าเว็บ ช่วยให้การสร้างรายงานและความผิดพลาดในการรายงานตัวเลขลดน้อยลง กล่าวคือ การคำนวณปริมาณน้ำทำได้ทันทีทันใดหลังจากที่ข้อมูลถูกปรับปรุงในแต่ละวัน ข้อมูลนี้สามารถนำไปใช้ในการสร้างรายงานทั้งระดับแก่งส่งน้ำ คลองส่งน้ำ และภาพรวมทั้งโครงการได้โดยการคำนวณจากระบบที่แม่นยำ แทนที่การกรอกตัวเลขในตารางและพิมพ์ผลในกระดาษ

4. การแสดงข้อมูลจากฐานข้อมูลลงบนแผนที่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ช่วยให้ผู้ใช้เห็นถึงความสัมพันธ์ในเชิงพื้นที่ (Rowshon, Kwok, & Lee, 2003, pp. 105-116) สามารถเปรียบเทียบความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรในพื้นที่ได้อย่างทันทีทันใดโดยเปรียบเทียบสัณฐานแผนที่ ระบบ GIS สามารถพิมพ์ผลแผนที่ความต้องการน้ำในแต่ละวันเพื่อใช้แนบในรายงานได้โดยสะดวก ซึ่งแตกต่างจากการรายงานข้อมูลแบบเดิม

ที่ใช้เพียงตัวเลขและเป็นเพียงค่าโดยรวมของทั้งโครงการเท่านั้น ข้อมูลเหล่านี้ช่วยให้ผู้ตัดสินใจในการสรรน้ำ อันได้แก่ สำนักงานชลประทานที่ 3 ที่สามารถกำหนดนโยบายเพื่อการตัดสินใจในการจัดสรรน้ำให้เพียงพอต่อความต้องการของเกษตรกรในพื้นที่ได้แบบวันต่อวัน

5. ระบบสร้างจากเครื่องมือซอฟต์แวร์รหัสเปิดทั้งหมด ทำให้ไม่มีข้อปัญหาทางด้านลิขสิทธิ์ของซอฟต์แวร์ และช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อซอฟต์แวร์ที่มีราคาแพง แต่มีศักยภาพในการดำเนินการได้มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากัน เหมาะสำหรับการพัฒนาระบบเทคโนโลยีสารสนเทศของหน่วยงานราชการที่มีงบประมาณจำกัด (Bouras, 2014, pp. 237-252)

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

บทความนี้ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในการจัดการน้ำในเขตพื้นที่ชลประทาน โดยใช้ข้อมูลจากโครงการส่งน้ำฯ ดงศรีสุร 1 จังหวัดพิจิตรเป็นข้อมูลพื้นฐาน การพัฒนาระบบอยู่บนแนวคิดของระบบสนับสนุนการตัดสินใจเชิงพื้นที่ โดยในระบบสนับสนุนการตัดสินใจนี้มีองค์ประกอบด้านการจัดการฐานข้อมูลที่รวบรวมข้อมูลไว้เป็นศูนย์กลาง ระบบฐานแบบจำลองที่ใช้เก็บวิธีการคำนวณและแบบจำลองต่างๆ และส่วนติดต่อกับผู้ใช้ที่อนุญาตให้ผู้ใช้นำเข้า แก้ไข และนำเสนอในรูปแบบต่างๆ (Malczewski, 1999; Jankowski, Fraley, & Pebesma, 2014, pp. 101-113) การพัฒนาระบบได้ใช้ประโยชน์จากซอฟต์แวร์รหัสเปิดทั้งหมด ทำให้การใช้งานระบบทำได้ง่ายไม่มีข้อจำกัดด้านลิขสิทธิ์ และสามารถนำไปต่อยอดเพื่อพัฒนาได้ ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นข้อมูลที่มีความละเอียดระดับแปลงที่ดิน และการประมาณค่าความต้องการน้ำจากระดับย่อยที่สุดช่วยให้ได้ข้อมูลที่มีความแม่นยำและก่อให้เกิดประโยชน์ในการจัดสรรน้ำเพื่อการเกษตรให้ทั่วถึงมากยิ่งขึ้น การคิดคำนวณค่าความต้องการน้ำใช้กระบวนการตั้งเวลาให้ระบบแม่ข่ายทำให้ได้ข้อมูลที่ทันสมัยเข้ากันได้ในทุกกระบวนการ ดังนั้นการใช้ข้อมูลเพื่อการตัดสินใจจึงเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ระบบนี้ได้ถูกนำไปใช้ในการทำงานจริงในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา ดงศรีสุร จังหวัดพิจิตร



โดยการควบคุมดูแลของสำนักชลประทานที่ 3 อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้แม้ว่าระบบที่พัฒนาขึ้นจากระบบฐานข้อมูลสามารถช่วยให้ผู้กำหนดนโยบายเพื่อการตัดสินใจเพื่อการจัดสรรน้ำได้ในระดับหนึ่ง แต่เนื่องจากยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่จำเป็นต้องนำมาประยุกต์ในระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการจัดสรรน้ำเพื่อให้การจัดการน้ำใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น เช่น ค่าปริมาณน้ำฝนจริงหรือค่าคาดการณ์ปริมาณน้ำฝน พันธุ์ข้าวที่ปลูกในพื้นที่ที่มีอายุข้าวและความต้องการน้ำไม่เท่ากัน เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยการศึกษาพัฒนาฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศ เพื่อการบริหารจัดการพื้นที่ โครงการพัฒนาการเกษตรชลประทานพิษณุโลก สำนักชลประทานที่ 3 ให้ดำเนินการ เมื่อปี พ.ศ. 2556-2557

เอกสารอ้างอิง

บุญมา ป่านประดิษฐ์. (2546). หลักการชลประทาน (Irrigation Principle). ค้นเมื่อ 26 มีนาคม 2557, จาก <http://irre.ku.ac.th/HomepageDoc/BooksOnline/Bookma/IrrThe.pdf>

ภาณุวัฒน์ สีตะวัน. (2552). สภาพการจัดการชลประทานในโครงการส่งน้ำบำรุงรักษาลองตรอน จังหวัดอุตรดิตถ์ ตามทัศนะของเกษตรกรผู้ใช้น้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ไม่ได้รับการตีพิมพ์, มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์.

Bouras, C. (2014). Policy recommendations for public administrators on free and open source software usage. *Telematics and Informatics*, 31, 237-252.

Jankowski, P., Fraley, G., & Pebesma, E. (2014). An exploratory approach to spatial decision support. *Computers, Environment and Urban Systems*, 45, 101-113.

Malczewski, J. (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. New York: John Wiley & Sons.

National Observatory of Open Source Software. (2008). Open Source Software for the Development of the Spanish Public Administration. *An overview 2008*. Retrieved March 23, 2014, from http://observatorio.cenatic.es/index.php?option=com_content&view=article&id=242&catid=72

Obe, R., & Hsu, L. (2011). *PostGIS in Action*. Greenwich: Manning Publication.

Rowshon, M.K., Kwok, C.Y., & Lee, T.S. (2003). GIS-based scheduling and monitoring of irrigation delivery for rice irrigation system: Part I. Scheduling. *Agricultural Water Management*, 62, 105-116.

Wieckowicz, A. (2010). Overcoming Object-Relational Impedance Mismatch in GIS Development: a Comparison of Data Abstraction and Serialization Methods used in Web Mapping Application Development. Retrieved March 23, 2014, from <http://www.gis.smumn.edu/GradProjects/WieckowiczA.pdf>