ระบบประเมินผลิตภาพน้ำชลประทานเชิงพื้นที่[1]

วัฒนา พัฒนถาวร[2] และ เมธี เอกะสิงห์[3]

บทคัดย่อ

ระบบประเมินผลิตภาพน้ำชลประทานเชิงพื้นที่ เป็นส่วนหนึ่งของผลลัพธ์ในโครงการวิจัยระบบสนับสนุนการวางแผนจัดการทรัพยากรเพื่อการเกษตรและการบริการ ระยะที่ 1 ภาคเหนือตอนบน: การใช้ทรัพยากรและระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (ระบบกลาง) ในรูปของเครื่องมือที่ทำงานร่วมกับระบบภูมิสารสนเทศ ArcView 9 สำหรับประเมินประสิทธิภาพของการใช้น้ำชลประทานในพื้นที่ศึกษาโครงการชลประทานขนาดใหญ่ของจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย และลำพูน สามารถวิเคราะห์ความต้องการและประเมินผลิตภาพของน้ำชลประทาน ในรูปของผลตอบแทนที่ได้รับต่อปริมาณน้ำที่ใช้ ระบบฯ สามารถเปรียบเทียบผลิตภาพของน้ำในแต่ละพื้นที่ได้ผ่านระบบภูมิสารสนเทศเพื่อระบุพื้นที่ที่มีศักยภาพการใช้น้ำต่ำ สำหรับหาแนวทางปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้น้ำในพื้นที่ต่อไป นอกจากนี้ระบบฯ ยังได้ออกแบบให้ผู้ใช้สามารถศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงระบบการเพาะปลูกพืช ราคาผลผลิตและปริมาณน้ำต้นทุนต่อผลิตภาพของน้ำ เพื่อเป็นข้อมูลที่ช่วยสนับสนุนการตัดสินใจวางแผนจัดสรรน้ำอย่างเหมาะสมต่อไป

คำสำคัญ: ระบบภูมิสารสนเทศ, ระบบชลประทาน, ความต้องการน้ำ, Geographic Information Systems, GIS

บทนำ

การพัฒนาระบบชลประทานมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตด้านการเกษตรให้สูงขึ้น โดยการลดข้อจำกัดเรื่องน้ำ จากเดิมที่ต้องพึ่งพาน้ำฝนเพียงอย่างเดียว การบริหารจัดการน้ำสำหรับใช้ในพื้นที่โครงการ ให้เกิดประโยชน์สูงสุดจึงเป็นเรื่องสำคัญที่ต้องดำเนินการ การใช้หลักการและวิธีการของระบบข้อมูลเชิงพื้นที่จะช่วยให้ฝ่ายจัดสรรน้ำสามารถวางแผนและปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้น้ำในพื้นที่โครงการได้เป็นอย่างดี งานด้านการจัดสรรน้ำเปรียบเสมือนหัวใจหลักของสำนักงานโครงการชลประทาน ซึ่งมีหน้าที่ในการบริหารจัดการและวางแผนการใช้น้ำในโครงการให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด การปฏิบัติงานดังกล่าวเกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายด้าน อาศัยการคำนวณค่อนข้างมากและต้องติดตามสถานการณ์อย่างใกล้ชิด จึงต้องการคำตอบที่ชัดเจนและรวดเร็ว ทำให้ปัจจุบันมีงานวิจัยที่นำระบบสารสนเทศมาช่วยในการปฏิบัติงานมากขึ้น (ภารดา, 2542) อย่างไรก็ตามงานวิจัยส่วนใหญ่ยังคงเน้นวางแผนการส่งน้ำเป็นหลัก ขาดการพัฒนาระบบที่สามารถเชื่อมโยงข้อมูลชลประทานกับข้อมูลด้านอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องในเชิงพื้นที่ เพื่อให้สามารถระบุพื้นที่เป้าหมายในการดำเนินงานได้ชัดเจนขึ้น นอกจากนี้การศึกษาวิจัยด้านการประเมินผลการดำเนินงานจัดสรรน้ำที่ผ่านมายังมีน้อย

---

[1] สนับสนุนงานวิจัยโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) กรุงเทพฯ 10400

[2] ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

[3] ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษศาสตร์ และศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาระบบที่ใช้สำหรับประเมินประสิทธิภาพด้านการจัดสรรน้ำของโครงการชลประทานที่ผ่านมา ในรูปของผลิตภาพการใช้น้ำ ที่พิจารณาจากมูลค่าของผลผลิตที่เกิดขึ้นต่อปริมาณน้ำที่ใช้ (Molden, 1997) โดยการเปรียบเทียบในระดับโซนส่งน้ำและระดับโครงการชลประทาน ของจังหวัดเชียงใหม่ เชียงรายและลำพูน เพื่อชี้ให้เห็นถึงผลกระทบของการจัดสรรน้ำต่อผลผลิตทางการเกษตรในรูปของมูลค่าที่ได้รับ โดยพื้นที่ที่มีการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพหมายถึงพื้นที่ที่มีการใช้น้ำน้อยแต่สามารถสร้างผลตอบแทนจากการใช้น้ำได้มาก ส่วนพื้นที่ที่ได้รับผลตอบแทนต่ำหรือมีการใช้น้ำสูงเกินความจำเป็นควรได้รับการปรับปรุงแก้ไขต่อไป ทั้งนี้ได้พัฒนาระบบจำลองสถานการณ์สำหรับการประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ราคาสินค้า ปริมาณน้ำและต้นทุนการผลิต ต่อความต้องการและผลิตภาพของการใช้น้ำ เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับใช้ประกอบการตัดสินใจและวางแผนเตรียมการรับมือกับสถานการณ์ต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต

หลักการและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การประเมินความต้องการน้ำชลประทาน

พื้นที่ภายในโครงการแต่ละแห่งมีความต้องการน้ำแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับกิจกรรมของการใช้ประโยชน์ที่ดิน การประเมินความต้องการน้ำของพืชอาศัยสมการ FAO Penman-Monteith (Allen et al., 1998) ได้จากผลคูณของค่าการคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิงกับค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชแต่ละชนิด ส่วนการประเมินความต้องการน้ำเพื่ออุปโภคบริโภคสำหรับบางโครงการนั้นขึ้นอยู่กับจำนวนผู้ใช้น้ำและอัตราการใช้น้ำต่อคน โดยประชากรในเขตเมืองและชนบทมีอัตราการใช้น้ำเฉลี่ย 300 และ 50 ลิตร/คน/วัน (สุธีราพร และคณะ, 2545; สุภลักษณ์ และคณะ, 2546) อย่างไรก็ตามการหาความต้องการน้ำชลประทาน จำเป็นต้องพิจารณาประสิทธิภาพการส่งน้ำของแต่ละโครงการและปริมาณฝนที่ตกด้วย (Tingsanchali and Suiadee, 2002) การขาดแคลนน้ำย่อมส่งผลกระทบต่อกระบวนการต่างๆ โดยเฉพาะกระบวนการสร้างผลผลิต ซึ่งในรายงานของ Doorenbos and Kassam (1979) ได้เสนอความสัมพันธ์ระหว่างการใช้น้ำของพืชกับผลผลิตที่ได้รับในรูปของสมการเส้นตรง

การประเมินผลิตภาพของน้ำ

สถาบันจัดการน้ำนานาชาติ (International Water Management Institute, IWMI) นำเสนอแนวคิดด้านการประเมินประสิทธิภาพของการใช้น้ำในรูปผลิตภาพของน้ำ (Water productivity) ซึ่งคำนวณได้จากสัดส่วนของมูลค่าผลผลิตทางการเกษตร (บาท) ต่อปริมาณน้ำที่ใช้ (ลบ.ม.) ตัวชี้วัดดังกล่าวจะแสดงให้เห็นถึงคุณค่าของการใช้น้ำเพื่อการผลิตอาหาร ในภาวะที่ปัญหาการขาดแคลนน้ำทวีความรุนแรงมากขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีการนำทรัพยากรน้ำมาใช้อย่างคุ้มค่า (Molden, 1997)

วิธีการศึกษา

การพัฒนาระบบประเมินผลิตภาพของน้ำชลประทานเชิงพื้นที่ (WaterPro)

ระบบ WaterPro พัฒนาขึ้นโดยใช้ภาษา Visual Basic 6 ในรูปของไฟล์ .dll สามารถทำงานร่วมกับโปรแกรมระบบภูมิสารสนเทศ ArcView 9 มีเมนูและหน้าต่างโต้ตอบกับผู้ใช้เป็นภาษาไทย เพื่อเชื่อมโยง วิเคราะห์และแสดงผลข้อมูลเชิงพื้นที่ของโครงการชลประทานขนาดใหญ่ ในจังหวัดเชียงใหม่ เชียงรายและลำพูน

การประเมินความต้องการและผลิตภาพการใช้น้ำชลประทาน

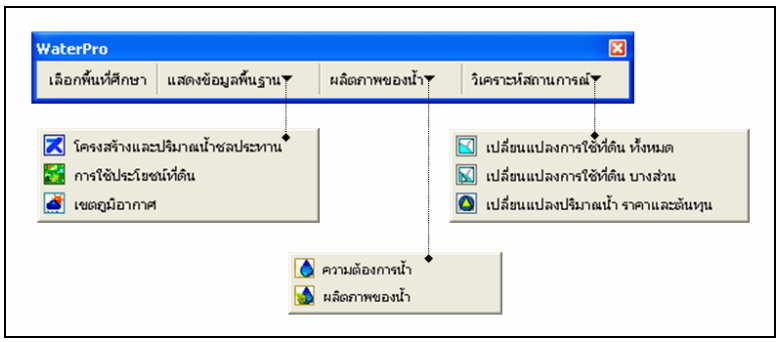
ปริมาณการใช้น้ำในแต่ละพื้นที่วิเคราะห์จากข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินปีพ.ศ. 2543 และข้อมูลภูมิอากาศรายสัปดาห์ เพื่อแสดงความต้องการใช้น้ำในแต่ละพื้นที่และการสรุปข้อมูลในรูปแบบต่างๆ เช่น ตามโครงการชลประทาน ตามโซนส่งน้ำ และตามประเภทการใช้ที่ดิน ในส่วนของการประเมินผลิตภาพของน้ำ ได้อาศัยข้อมูลผลตอบแทนสุทธิของแต่ละหน่วยแผนที่ดิน (Land Mapping Units, LMUs) ที่ได้จากการประเมินคุณภาพที่ดินเชิงเศรษฐกิจ (เฉลิมพล และคณะ, 2549) ร่วมกับปริมาณน้ำต้นทุนที่ส่งจากปากคลองส่งน้ำสายใหญ่และความต้องการน้ำในแต่ละพื้นที่ สำหรับใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้น้ำภายในพื้นที่โครงการและระหว่างโครงการชลประทาน สำหรับวิเคราะห์โอกาสและหาแนวทางในการปรับปรุงผลิตภาพของน้ำให้สูงขึ้นต่อไป

การสร้างสถานการณ์จำลอง

เนื่องจากปัจจัยแวดล้อมต่างๆ ล้วนมีอิทธิพลต่อการผลิตพืชของเกษตรกร ทำให้เจ้าหน้าที่ต้องวางแผนและติดตามสถานการณ์น้ำอยู่ตลอดเวลา ในส่วนของการจำลองสถานการณ์จึงได้ออกแบบให้ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อผลิตภาพของน้ำ อันได้แก่ ระบบการผลิตพืชในพื้นที่โครงการ ปริมาณน้ำต้นทุนที่คาดว่าจะได้รับ กลยุทธ์การจัดสรรน้ำในระดับโซนส่งน้ำ ราคาผลผลิตและต้นทุนการผลิตที่เปลี่ยนแปลงในรูปของร้อยละ เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2543 โดยปริมาณน้ำที่เปลี่ยนแปลงจะส่งผลต่อผลผลิตที่คาดว่าจะได้รับและผลิตภาพของการใช้น้ำ ผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับเปลี่ยนปัจจัยต่างๆ จะทำให้ผู้ใช้สามารถทดสอบ เปรียบเทียบและประเมินผล จากสถานการณ์สมมติที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต เพื่อช่วยให้สามารถบริหารจัดการน้ำได้อย่างเหมาะสม

ผลการศึกษา

ผู้ใช้สามารถเรียกใช้งานระบบ WaterPro ผ่านแถบเครื่องมือ (Water Productivity toolbar) ประกอบด้วย 4 เมนู คือ เมนู "**เลือกพื้นที่ศึกษา**" "**แสดงข้อมูลพื้นฐาน**" "**ผลิตภาพของน้ำ**" และ"**วิเคราะห์สถานการณ์**" ตามโครงสร้างของระบบเมนูหลักและเมนูย่อยในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แถบเครื่องมือระบบประเมินผลิตภาพของน้ำชลประทานเชิงพื้นที่ (WaterPro)

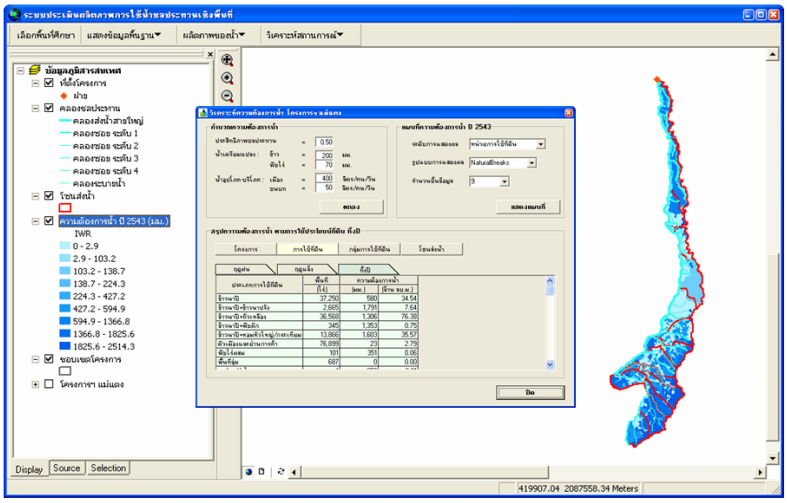
การเลือกพื้นที่เป้าหมายและแสดงข้อมูลพื้นฐาน

ระบบฯ ประกอบด้วยพื้นที่ศึกษา 5 โครงการ คือ โครงการฯ แม่แตง แม่แฝก-แม่งัด แม่กวง แม่ลาว และฝายชลขันธ์พินิจ โดยผู้ใช้สามารถเลือกแสดงผลได้ทั้งในระดับโครงการและโซนส่งน้ำ เมนู "**แสดงข้อมูลพื้นฐาน**" ประกอบด้วย 3 เมนูย่อย คือ ***โครงสร้างและปริมาณน้ำชลประทาน การใช้ประโยชน์ที่ดิน*** และ***เขตภูมิอากาศ***

สำหรับแสดงข้อมูลทั่วไปของโครงการเชิงพื้นที่และข้อมูลประกอบอื่นๆ เช่นปริมาณน้ำต้นทุนรายสัปดาห์ ระบบการเพาะปลูกพืชและสภาพภูมิอากาศในแต่ละฤดูการเพาะปลูก

การวิเคราะห์ความต้องการน้ำชลประทาน

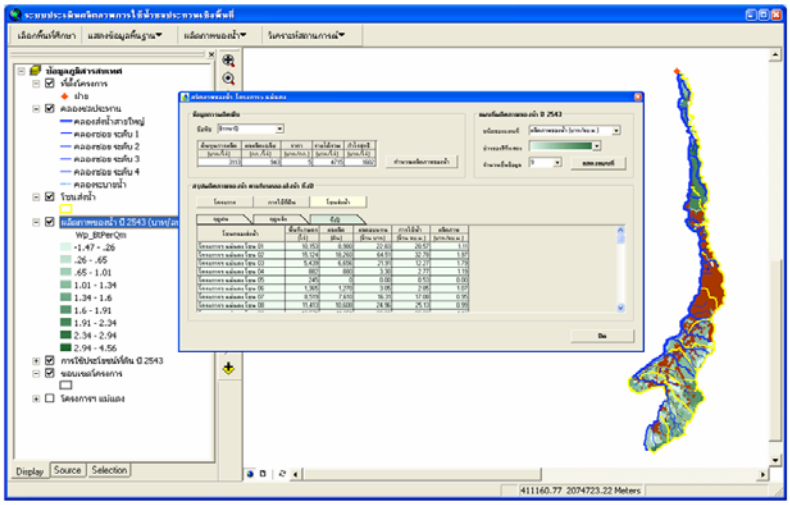
ผลการวิเคราะห์ความต้องการน้ำของโครงการฯ แม่แตง แสดงดังรูปที่ 2 พบว่าโซนส่งน้ำที่ 2 ทางตอนบน และ โซนส่งน้ำที่ 12 และ 14 ทางตอนล่างของโครงการฯ มีความต้องการใช้น้ำมาก ดังแสดงด้วยสีน้ำเงินเข้ม เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวเกษตรกรมีการปลูกพืชที่สองตามหลังข้าว เช่น ถั่วเหลือง หอมหัวใหญ่/กระเทียม รวมทั้งมีการทำสวนลำไยซึ่งต้องให้น้ำอย่างสม่ำเสมอ



รูปที่ 2 ความต้องการน้ำชลประทานโครงการฯ แม่แตง

การประเมินผลิตภาพของน้ำชลประทาน

ผลการวิเคราะห์พบว่าโครงการฯ แม่แตงมีผลิตภาพการใช้น้ำเพื่อการเพาะปลูกทั้งปีประมาณ 1.3 บาท/ลบ.ม. (รูปที่ 3) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างโซนพบว่า โซนส่งน้ำที่ 2 มีประสิทธิภาพการใช้น้ำสูงสุด คือ 1.97 บาท/ลบ.ม. เนื่องจากมีการปลูกพืชทั้งฤดูฝนและฤดูแล้ง นอกจากนี้พบว่าการผลิตพืชในฤดูแล้งมีประสิทธิภาพการใช้น้ำสูงกว่าในฤดูฝน

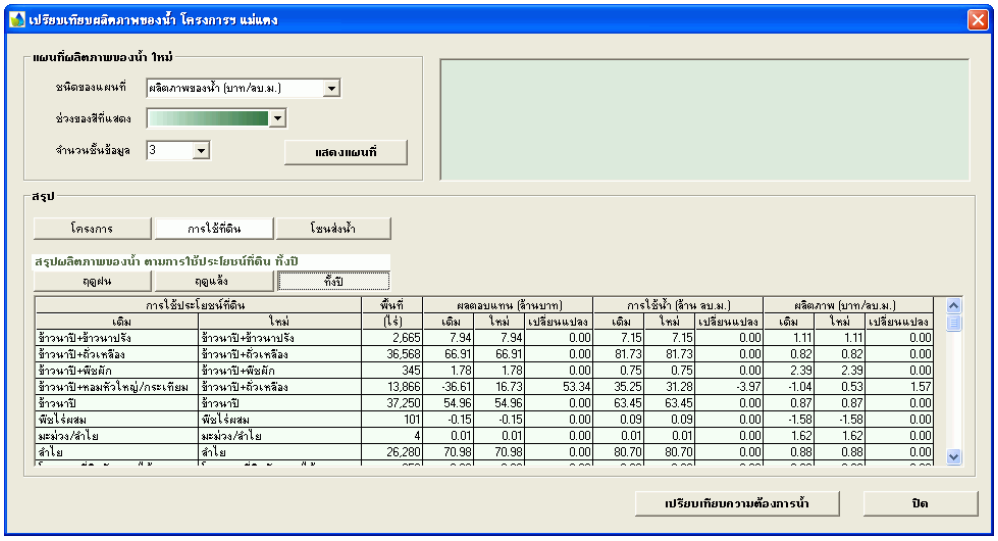


รูปที่ 3 ผลิตภาพการใช้น้ำชลประทานของโครงการฯ แม่แตง

การวิเคราะห์สถานการณ์

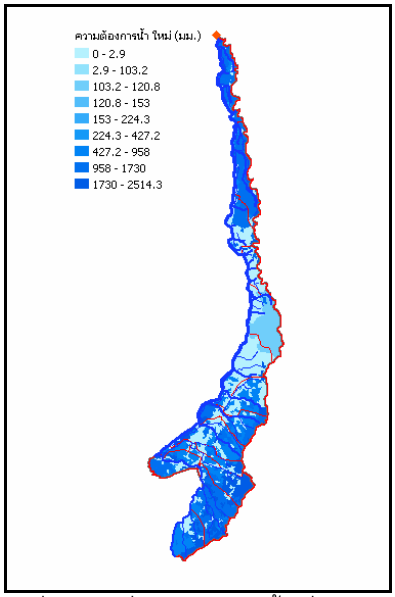
เมนู "*วิเคราะห์สถานการณ์*" ใช้สำหรับวิเคราะห์ผลกระทบจากเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตหรือประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่างๆ ต่อผลิตภาพของน้ำ เพื่อเป็นแนวทางในการหามาตรการสำหรับบริหารจัดการน้ำอย่างเหมาะสมต่อไป เมนูนี้ประกอบด้วย 3 เมนูย่อย คือ "*เปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน บางส่วน*" "*เปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ทั้งหมด*" ทั้งโครงการฯ และ "*เปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำ ราคาและต้นทุน*"

เมนูย่อย "*เปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน บางส่วน*" มีวัตถุประสงค์ให้ผู้ใช้สามารถกำหนดพื้นที่เฉพาะที่ต้องการจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินได้ ส่วนเมนูย่อย "*เปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ทั้งหมด*" มีไว้สำหรับจำลองการเปลี่ยนระบบการเพาะปลูกทั้งระบบเช่นเปลี่ยนจากพืชเดิมที่ปลูกในปี พ.ศ. 2543 เป็นระบบการปลูกพืชใหม่จากรายชื่อพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ พร้อมทั้งกำหนดวันเพาะปลูกเพื่อจำลองการใช้น้ำของพืช การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินนี้จะเป็นการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินเดิมทั้งหมดในพื้นที่ศึกษา ระบบฯ จะปรับปรุงข้อมูลและแสดงแผนที่การใช้ที่ดินของชั้นข้อมูลหน่วยแผนที่ดินใหม่ (LMU) พร้อมทั้งวิเคราะห์ความต้องการและประเมินผลิตภาพของน้ำใหม่ จากนั้นจะแสดงหน้าต่างสรุปและแสดงผลการวิเคราะห์ต่อไป

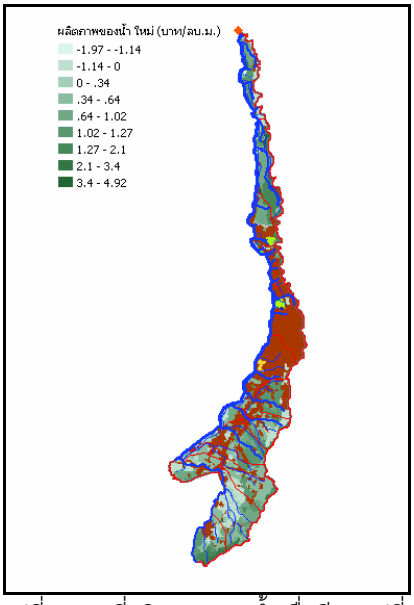


รูปที่ 4 หน้าต่างเปรียบเทียบผลิตภาพของน้ำจากการเปลี่ยนแปลงระบบการปลูกพืช ของโครงการฯ แม่แตง

ตัวอย่างในรูปที่ 4 เป็นกรณีที่ต้องการส่งเสริมการปลูกถั่วเหลืองเพื่อทดแทนการปลูกหอมหัวใหญ่และกระเทียมเป็นพืชที่สองตามหลังข้าวนาปี พบว่า หากราคาของกระเทียมเท่ากับ 4.0 บาท/กก. ราคาหอมหัวใหญ่เท่ากับ 3.0 บาท/กก. และราคาของถั่วเหลืองเท่ากับ 15 บาท/กก. การเปลี่ยนแปลงระบบการปลูกพืชดังกล่าวจะทำให้ความต้องการใช้น้ำลดลงประมาณ 3.97 ล้าน ลบ.ม. และมีผลิตภาพของน้ำเพิ่มขึ้น 1.57 ลบ.ม. (รูปที่ 4) ทำให้ความต้องการน้ำและผลิตภาพของน้ำเชิงพื้นที่ของโครงการชลประทานเปลี่ยนไปดังรูปที่ 5 และ รูปที่ 6 ตามลำดับ



รูปที่ 5 แผนที่ความต้องการน้ำเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน



รูปที่ 6 แผนที่ผลิตภาพของน้ำเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

สรุป

การบริการจัดการน้ำเพื่อการเกษตรจำเป็นต้องทำอย่างบูรณาการ เนื่องจากมีปัจจัยต่างๆ เข้ามาเกี่ยวข้องมากมายที่ส่งผลต่อความต้องการใช้น้ำและผลิตภาพของน้ำภายในพื้นที่โครงการชลประทาน ระบบและฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศสามารถตอบสนองการจัดเก็บข้อมูล วิเคราะห์ วางแผน ติดตาม และประเมินผล เพื่อให้สามารถบริหารจัดการทรัพยากรน้ำอย่างคุ้มค่า ระบบ WaterPro ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ประเมินผลิตภาพของการใช้น้ำเชิงพื้นที่ สำหรับโครงการชลประทานขนาดกลางและขนาดใหญ่ ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย และลำพูน โดยอาศัยข้อมูลการใช้ที่ดิน ปริมาณน้ำต้นทุน และการประเมินคุณภาพที่ดินที่ได้จากระบบประเมินความเหมาะสมเชิงเศรษฐกิจของที่ดิน นอกจากนี้ผู้ใช้ระบบสามารถวิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนพืชหรือระบบพืชเมื่อนโยบายหรือแผนการใช้ประโยชน์ที่ดินเปลี่ยนไป ทำให้ผู้ใช้ทราบถึงปริมาณความต้องการน้ำและผลิตภาพของน้ำที่อาจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง ทำให้เกิดความพร้อมในการวางแผนจัดสรรน้ำและเตรียมการรับมือกับสถานการณ์ต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต รวมทั้งการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำและที่ดินในโครงการชลประทานให้สูงขึ้น

เอกสารอ้างอิง

เฉลิมพล สำราญพงษ์, เมธี เอกะสิงห์ และ เบญจพรรณ เอกะสิงห์. 2549. ระบบประเมินความเหมาะสมเชิงเศรษฐกิจของที่ดิน. ใน เมธี เอกะสิงห์ และคณะ. *รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการระบบสนับสนุนการวางแผนจัดการทรัพยากรเพื่อการเกษตรและการบริการ ระยะที่ 1 ภาคเหนือตอนบน: การใช้ทรัพยากรและระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (ระบบกลาง)*. เชียงใหม่: ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. น. 73-94.

ภารดา มีอำพล. 2542. การพัฒนา WASAM 3.0 และการประยุกต์ใช้ในการจัดสรรน้ำและติดตามประเมินผลการส่งน้ำโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาท่ามะกา. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมชลประทาน) บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุธีราพร นิมิตรไพบูลย์, ไตรรงค์ ปิมปา และ รุ่งนภา เยี่ยมสาคร. 2545. *อัตราการใช้น้ำและพฤติกรรมการใช้น้ำของประชาชนจากระบบประปาหมู่บ้านของกรมอนามัย*. กองประปาชนบท กรมอนามัย.

สุภลักษณ์ จันทรสมบัติ, จรัญธร บุญญานุภาพ และ ชฎา ณรงค์ฤทธิ์. 2546. การพยากรณ์ความต้องการน้ำประปาในพื้นที่เทศบาลนครพิษณุโลก โดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. ใน *รายงานการประชุมวิชาการ การแผนที่และภูมิสาร สนเทศแห่งชาติ ประจำปี 2546: การสำรวจและการแผนที่กับการพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืน*, วันที่ 18-20 พฤศจิกายน 2546 ณ โรงแรมแอมบาสซาเดอร์. กรุงเทพ: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). น.1-22 (GIS&MAP).

Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation Drainage Paper No.56*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Doorenbos, J. and A.H. Kassam. 1979. Yield response to water. *FAO Irrigation Drainage Paper No.33*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Molden, D. 1997. Accounting for water use and productivity. *SWIM Paper 1*. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.

Tingsanchali, T. and W. Suiadee. 2002. Water operation model for Nam Oon irrigation project. *Proceedings 8 th National Conference on Civil Engineering Institute of Thailand*. 23-25 October 2002. Khon Kaen: Khon Kean University. Vol. 2, pp. WRE 13-18.