ระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อการจัดเขตการใช้ที่ดินที่มีหลายเป้าหมายแบบมีส่วนร่วม

A Decision Support System for Land Allocation Using Interactive Multiple Goal Programming

เมธี เอกะสิงห์[1] เทวินทร์ แก้วเมืองมูล[1] เบญจพรรณ เอกะสิงห์[1,2]
จิรวรรณ กิจชัยเจริญ[2] และ วราภรณ์ ชัยวินิจ[1]
Methi Ekasingh[1], Tewin Keawmuangmoon[1], Benchaphun Ekasingh[1,2],
Jirawan Kitchaicharoen[2] and Waraporn Chaivinij[1]

บทคัดย่อ

โปรแกรม *IMGP-LPlan* เป็นระบบสนับสนุนการตัดสินใจวางแผนการใช้ที่ดินเพื่อการเกษตร ซึ่งประกอบด้วยแบบจำลองแบบหลายเป้าหมายและฐานข้อมูลที่จำเป็น เพื่อให้ผู้ใช้สร้างแบบจำลอง กำหนดวัตถุประสงค์ ตัวแปรการตัดสินใจ ข้อจำกัดและสถานการณ์จำลองแบบต่างๆ โดยการกำหนดนำหนักความสำคัญ ค่าเบี่ยงเบน หรือค่าผ่อนปรนจากเป้าหมายที่ตั้งไว้ผ่านเมนูภาษาไทย โปรแกรมจะคำนวณหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมสำหรับสถานการณ์แบบต่างๆในรูปตารางและกราฟที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจ หากผลลัพธ์ยังไม่เป็นที่พอใจ ผู้ตัดสินใจสามารถปรับเปลี่ยนเป้าหมายเพื่อปรับปรุงผลสัมฤทธิ์ของวัตถุประสงค์ที่สนใจ โปรแกรมจะคำนวณค่าผลสัมฤทธิ์ของแต่ละวัตถุประสงค์ใหม่ กระบวนการดังกล่าวจะดำเนินการซ้ำจนผลสัมฤทธิ์ในแต่ละวัตถุประสงค์เป็นที่พึงพอใจของผู้ตัดสินใจ ได้ทำการทดสอบโปรแกรมนี้โดยใช้ชุดข้อมูลจากบทความที่ได้ตีพิมพ์แล้ว ก่อนที่จะนำไปใช้งานจริงในการวางแผนเพื่อจัดเขตการใช้ที่ดินในจังหวัดลำพูน ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าการคำนวณผลลัพธ์ตามวิธีการ STEP ให้ผลสอดคล้องกับค่าผ่อนปรนของแต่ละวัตถุประสงค์ในสถานการณ์จำลองแบบต่างๆ โปรแกรมนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนการใช้ที่ดินที่มีหลายเป้าหมายในสถานการณ์อื่นตั้งแต่ระดับฟาร์ม ลุ่มน้ำ และตั้งแต่ตำบลถึงจังหวัด หรือกว้างขวางกว่านั้น

คำสำคัญ : ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ การจัดเขตที่ดิน แบบจำลองหลายเป้าหมาย

[1]ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[1]Multiple Cropping Center, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University

[2] ภาควิชาเศรษฐศาสตร์เกษตรและส่งเสริมเผยแพร่การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[2]Department of Agricultural Economics and Agricultural Extension, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University

Abstract

IMGP-LPlan (Interactive Multiple Goal Programming for Land Use Planning) is a decision support system designed for solving multiple goal problems in agricultural land allocation. Its main components consist of an IMGP model formulated by users from necessary databases with well-defined objectives, decision variables, constraints and scenarios. Users may interact with the system by selecting the methods for solving the optimal solutions by defining scenarios, weights, deviation, or tolerance of targets in the model through Thai language user interface. The optimal results of scenarios are displayed as tables and graphs to facilitate the selection of the optimal solution by decision makers. Targets may be modified if decision makers do not satisfy with the achievement rates of some objectives, the process is iterated until the final solution is reached. The program was tested for its algorithms by using a tested data set from the published article of the similar nature before implementing in the case study on land allocation in Lamphun province. The optimal solutions from the STEP method appeared to be more consistent with the assigned tolerances used to create scenarios than other methods. Therefore, STEP method was recommended for implementing in this study. This program is not restricted for use at the provincial level. It may be applied to other planning problems based on IMGP models at various scales from farm to watershed, from district to provincial levels and beyond.

Key Words : decision support system; land allocation; interactive multiple goal programming

บทนำ

การจัดรูปแบบการใช้ที่ดินเพื่อการเกษตรให้เกิดประโยชน์สูงสุดตามเป้าหมายหลายประการ เป็นงานวิจัยและพัฒนาเชิงบูรณาการที่ต้องการระบบที่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลที่หลากหลาย เพื่อหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมและแสดงผลลัพธ์สำหรับสถานการณ์ต่างๆ ต่อผู้ตัดสินใจ การพัฒนาระบบดังกล่าวเป็นการการผสมผสานแนวคิดการวางแผนการใช้ที่ดินในชนบทของ van Ittersum *et al.* (2004); Lu *et al.* (2004) และ Santé and Crecente (2007) รวมทั้งวิธีการประเมินคุณภาพของที่ดินแบบหลายหลักเกณฑ์ที่ได้พัฒนาไว้แล้ว (เมธี และคณะ 2551*)* บทความนี้จะแสดงให้เห็นถึงการพัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้ในการประมวลผลหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการวางแผนการใช้ที่ดินเพื่อการเกษตรที่มีหลายวัตถุประสงค์ (Multi-objectives) และผู้ใช้สามารถปรับเปลี่ยนเป้าหมายได้หลายเป้าหมาย (Multiple goals) ซึ่งเป็นค่าเชิงปริมาณของวัตถุประสงค์ที่สนใจ ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision support system, DSS) ที่มีลักษณะดังกล่าวเรียกว่า Interactive multiple goal programming (IMGP) การนำแบบจำลอง IMGP มาใช้ในการวางแผนการจัดเขตที่ดินในประเทศไทยยังไม่เป็นที่ปรากฏ อย่างไรก็ตามได้มีการใช้แบบจำลองเชิงเส้นเพื่อวางแผนการปลูกพืชในระดับจังหวัดตัวอย่างในภาคต่างๆ ของประเทศ (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2548) ต่อมามีการใช้แบบจำลองหลายเป้าหมายที่ปราศจากส่วนที่มีปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้

และไม่มีการบูรณาการผลลัพธ์เข้ากับ ระบบภูมิสารสนเทศ (Geographic information system, GIS) เพื่อให้ผู้ตัดสินใจเห็นผลลัพธ์ของการจัดเขตที่ดินในรูปของแผนที่ (Praneetvatakul and Sirijinda, 2007)

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยเชิงบูรณาการเพื่อจัดเขตการใช้ที่ดินในจังหวัดลำพูนให้สามารถใช้ทรัพยากรทางเกษตรให้เกิดประโยชน์สูงสุดตามวัตถุประสงค์ที่ผู้ร่วมในการวางแผนช่วยกันกำหนด วัตถุประสงค์ดังกล่าวมีหลายวัตถุประสงค์และบางวัตถุประสงค์ขัดแย้งกัน ดังนั้น จึงจำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือวิเคราะห์ที่ทันสมัยและเปิดโอกาสให้ผู้ใช้มีส่วนร่วมในการพิจารณาผลลัพธ์เบื้องต้นและสามารถปรับเป้าหมายให้ยืดหยุ่นตามสภาพความขัดแย้งของวัตถุประสงค์ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ทุกฝ่ายยอมรับได้ว่าเป็นผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด โครงการวิจัยดังกล่าวมีองค์ประกอบหลายส่วน ตั้งแต่การจัดทำหน่วยแผนที่เพื่อการจัดการทรัพยากรและประเมินศักยภาพของทรัพยากรที่ดินในการผลิตพืชที่สำคัญในพื้นที่เป้าหมาย การสำรวจภาคสนามเพื่อรวบรวมข้อมูลและจัดทำค่าสัมประสิทธิ์การผลิตของแบบจำลอง IMGP การประเมินคุณภาพที่ดินเพื่อใช้ในการจัดสรรประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน และการจัดสรรที่ดินเพื่อการเกษตรในเชิงพื้นที่โดยใช้การวิเคราะห์เชิงพื้นที่ด้วย GIS อย่างไรก็ตามบทความนี้จะเน้นเฉพาะในส่วนการพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่มีปฏิสัมพันธ์กับผู้ร่วมวางแผนการใช้ที่ดิน เพื่อหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้แบบจำลอง IMGP

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

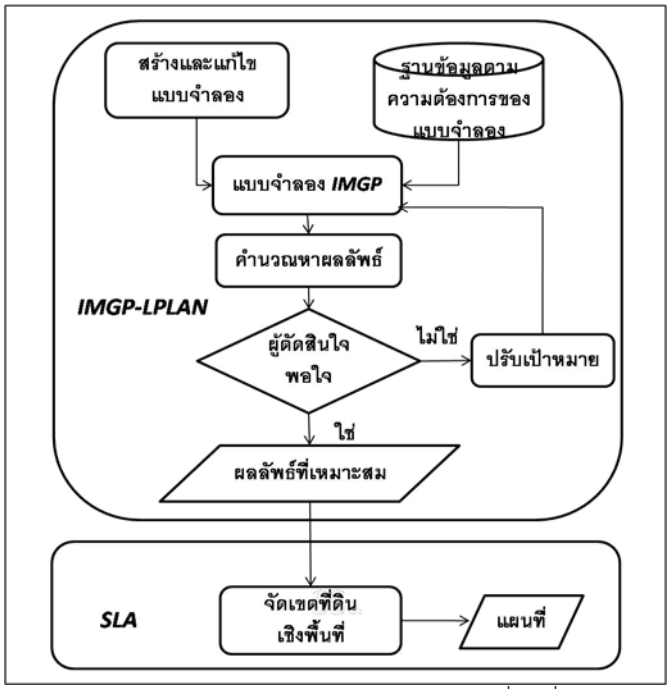
งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ จัดทำแบบจำลองสำหรับสนับสนุนการหาทางเลือกในการใช้ที่ดินที่เหมาะสมกับสถานการณ์การตัดสินใจที่มีหลายวัตถุประสงค์และ เพื่อการพัฒนา DSS ในการจัดสรรการใช้ที่ดินเพื่อการเกษตรให้เหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้ที่มีหลายวัตถุประสงค์และเป้าหมาย โดยบูรณาการแบบจำลอง IMGP การประเมินคุณภาพที่ดิน และการจัดสรรที่ดินให้เหมาะสมกับหลายเป้าหมายอันเป็นผลลัพธ์ของ IMGP เข้าด้วยกัน

กรอบแนวคิดในการวิจัย

นับตั้งแต่ (de Wit *et al*., 1988) ได้แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง IMGP สามารถนำไปใช้ในการวางแผนที่ดินเพื่อการเกษตรในเขตอาศัยน้ำฝนในแถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียน ได้มีนักวิจัยพัฒนาแบบจำลอง IMGP ให้สามารถใช้เทคโนโลยีสารสนเทศซึ่งเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว จนแบบจำลอง IMGP มีการทำงานได้หลายรูปแบบ เพื่อวางแผนการใช้ทีดินตั้งแต่ระดับตำบล ไปจนถึงจังหวัด (Laborte *et al*., 2007) และในระดับลุ่มน้ำ (Jianbo *et al.,* 2002) การพัฒนาระบบที่เชื่อมโยงระหว่างแบบจำลอง และการแสดงผลในรูปแผนที่มีความหลากหลายขึ้นอยู่กับการเลือกโปรแกรมแก้ปัญหาเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical programming) ที่จะนำมาใช้งาน และการพัฒนาโปรแกรมส่วนที่โต้ตอบกับผู้ใช้ (Graphic user interface, GUI) ตัวอย่างการใช้แบบจำลอง IMGP เพื่อวางแผนการใช้ที่ดินในพื้นที่ขนาดใหญ่ได้แก่งานของ (Roetter *et al*., 2005) ซึ่งใช้ในการวางแผนการจัดการทรัพยากรธรรมชาติในระดับจังหวัดหรือรัฐในภูมิภาคอาเซีย เช่นในประเทศ อินเดีย มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ และเวียดนาม โดยพัฒนาระบบการวางแผนและวิเคราะห์การใช้ที่ดิน (Land Use Planning and Analysis System,

LUPAS) ผู้วิจัยได้ใช้แบบจำลองพืชเพื่อประมาณการณ์ผลผลิตพืช และใช้โปรแกรม EXPRESS-MP (Dash Associates Ltd., 1997) ในการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมจากแบบจำลอง IMGP นอกจากนี้ (Lu *et al*., 2004) ได้บูรณาการแบบจำลองพืชเข้ากับแบบจำลอง IMGP เพื่อใช้ในการจัดการทรัพยากรที่ดินบนที่ราบสูงในประเทศจีน พร้อมกับดัดแปลงวิธีการหาผลลัพธ์จากแบบจำลองที่มีหลายเป้าหมายได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยล่าสุดที่เป็นความพยายามที่จะบูรณาการ IMGP เข้ากับ GIS เพื่อสร้าง DSS ในการจัดเขตการใช้ที่ดินในระดับจังหวัดในประเทศเสปน (Santé and Crecente, 2007; Santé-Riveira *et al*., 2008)

กรอบแนวคิดหลักของงานวิจัยนี้ คือ การพัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้ในการประมวลผลหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการวางแผนการใช้ที่ดินเพื่อการเกษตรที่มีหลายวัตถุประสงค์ และให้ผู้ใช้สามารถปรับเปลี่ยนเป้าหมายสำหรับวัตถุประสงค์ที่ต้องการ โปรแกรมดังกล่าวต่อไปนี้จะเรียกว่า IMGP-LPlan (Interactive Multiple Goal programming for land Use planning) การพัฒนาโปรแกรม IMGP-LPlan ได้คำนึงถึงความสะดวกของนักวิเคราะห์และผู้ตัดสินใจในการกำหนดเป้าหมายและเลือกผลลัพธ์ที่เห็นว่าเหมาะสมที่สุดกับสถานการณ์ที่ต้องการหาคำตอบ ดังนั้น องค์ประกอบของโปรแกรม IMGP-LPlan จึงมีส่วนที่สำคัญคือ 1) ส่วนการนำเข้าข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลองหลายเป้าหมาย 2) ส่วนการจำลองหาผลสัมฤทธิ์ สำหรับแต่ละวัตถุประสงค์ 3) ส่วนการแสดงแสดงผลลัพธ์จากแบบจำลองเพื่อให้ผู้มีส่วนร่วมในการตัดสินใจพิจารณา 4) ส่วนที่ให้ผู้ตัดสินใจปรับเป้าหมายสำหรับแต่ละวัตถุประสงค์ใหม่ 5) ส่วนรายงานค่าตัวแปรตัดสินใจจากผลลัพธ์ที่ผู้ตัดสินใจเลือกแล้วว่าน่าพอใจที่สุด และ 6) ส่วนเชื่อมโยงผลลัพธ์ที่ได้จาก IMGP-LPlan เข้ากับโปรแกรมจัดเขตการใช้ที่ดินเชิงพื้นที่ (Spatial land allocation, SLA) ซึ่งพัฒนาควบคู่กันไปในโครงการวิจัยอื่นซึ่งเชื่อมโยงอย่างใกล้ชิดกับงานวิจัยนี้ เพื่อจัดสรรประเภทการใช้ที่ดินที่เหมาะสมให้กับพื้นที่การเกษตรและแสดงผลเป็นแผนที่ด้วยGIS (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 กระบวนการสำคัญในการพัฒนาระบบสนับสนุนการวางแผนจัดการที่ดินที่มีหลายเป้าหมายแบบมีส่วนร่วม

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการพัฒนาโปรแกรม IMGP-LPlan คณะนักวิจัยได้ใช้โปรแกรม Visual Basic.NET เป็นเครื่องมือที่สร้าง GUI เป็นภาษาไทย เพื่ออำนวยความสะดวกต่อผู้ใช้ในการกำหนดโครงสร้างของแบบจำลอง IMGP นอกจากนี้ยังใช้ในการเรียกใช้ Objects ของโปรแกรม LINDO API 6.0 (http://www.lindo.com) เพื่อคำนวณหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมตามวิธีการต่างๆ ที่ใช้การจำลองแบบ IMGP รวมทั้งใช้ในการแสดงผลลัพธ์ในรูปของตารางและกราฟเพื่อให้ผู้ร่วมตัดสินใจพิจารณาผลลัพธ์ในสถานการณ์ที่กำหนดได้ง่าย คณะนักวิจัยยังได้ใช้โปรแกรม VB.NET ในการเขียน GUI ให้ผู้ตัดสินใจปรับเปลี่ยนเป้าหมายตามวิธีการต่างๆ จนได้ผลลัพธ์เป็นที่พอใจ ผลลัพธ์ที่ได้ถูกจัดเก็บในรูปของฐานข้อมูล และส่งไปยังโปรแกรม SLA ในรูปแบบไฟล์ xml เพื่อนำไปวิเคราะห์เชิงพื้นที่ร่วมกับชั้นข้อมูลเชิงพื้นที่ในระบบ GIS เพื่อสร้างแผนที่ผลลัพธ์จากการจัดเขตที่ดินตามผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม IMGP-LPlan ก่อนจะนำไปใช้งานวางแผนการผลิตในจังหวัดลำพูน ได้ทำการทดสอบความถูกต้องของการเขียนโปรแกรมโดยใช้ชุดข้อมูลทดสอบจากบทความของ Santé and Crecente (2007)

การจำลองหาผลลัพธ์ที่เหมาะสม

การวิเคราะห์หาผลลัพธ์ที่เหมาะสมจากแบบจำลอง IMGP สามารถทำได้หลายวิธี คณะผู้วิจัยได้เลือกทดสอบวิธีการ IMGP 3 วิธีการได้แก่ วิธีการ a priori weighted goal programming, IWGP (Cohon, 1978; (Romero and Rehman, 2003) วิธีการที่พัฒนาโดย Lu (Lu *et al.,* 2004) และ วิธีการ STEP (Santé and Crecente, 2007) เนื่องจากแต่ละวิธีมีปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้แตกต่างกัน ในแง่พื้นฐานความเข้าใจ และความสามารถของผู้ใช้ในการปรับเปลี่ยนความเบี่ยงเบนจากเป้าหมาย และความยืดหยุ่นในการใช้เพื่อวางแผนจัดเขตการใช้ที่ดิน แต่ละวิธีการมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

วิธีการให้ค่าน้ำหนักของวัตถุประสงค์ล่วงหน้า (IWGP)

แบบจำลองที่ใช้ในวิธีการนี้ประกอบด้วยฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ ดังนี้

$$\text{Minimize } Z = \sum_{g=1}^{m} (w_g d_g^- - w_g d_g^+) \quad (1)$$

ภายใต้ข้อจำกัด

$$AX + Id^- - Id^+ = G \quad (2)$$

$$BX = C \quad (3)$$

$$X_j, d_g^-, d_g^+ = O_j, \quad j = 1,\ldots, n \text{ และ } g = 1, \ldots, m \quad (4)$$

กำหนดให้ Z เป็นค่าของส่วนเบี่ยงเบนรวมจากวัตถุประสงค์เป้าหมายที่ตั้งไว้ โดยมีค่าเบี่ยงเบนที่เป็นลบ (d_g^-) แสดงให้เห็นถึงค่าที่ทำให้ต่ำกว่าค่าเป้าหมายที่แบบจำลองตั้งไว้ และตัวแปรค่าเบี่ยงเบนที่เป็นบวก (d_g^+) แสดงให้เห็นถึงค่าที่ทำให้สูงกว่าค่าเป้าหมายที่แบบจำลองตั้งไว้ ส่วน w_g คือ ค่าน้ำหนักความสำคัญ หรือลำดับความสำคัญของวัตถุประสงค์ที่ g สำหรับในสมการข้อจำกัด X เป็นกิจกรรมต่างๆ ในการวางแผนการใช้ที่ดิน โดยมี A เป็นค่าสัมประสิทธิ์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตัดสินใจและเป้าหมาย (G) ส่วน I คือ Identity

matrix นอกจากนี้ในแบบจำลองยังประกอบด้วย ค่าสัมประสิทธิ์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการผลิตและผลผลิต (*B*) และจำนวนจำกัดของข้อจำกัดปัจจัยหรือเงื่อนไขต่างๆ (*C*) ส่วน *n*, *m* เป็นจำนวนกิจกรรมและวัตถุประสงค์ต่างๆ ในแบบจำลอง ตามลำดับ

วัตถุประสงค์ และค่า w_g ได้มาจากการประชุมหารือกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในพื้นที่ซึ่งมาจากหน่วยงานวางแผนระดับจังหวัดซึ่งได้ร่วมกันกำหนดวัตถุประสงค์ 3 ด้าน แต่ละด้านมีวัตถุประสงค์ย่อยรวมเป็นวัตถุประสงค์ทั้งหมด 8 ข้อได้แก่ วัตถุประสงค์ด้านเศรษฐกิจ ประกอบด้วย 2 วัตถุประสงค์ย่อย คือ ผลตอบแทนสุทธิสูงสุด หน่วยเป็นบาท และ ต้นทุนเงินสดที่ใช้ในการผลิตต่ำสุด หน่วยเป็นบาท วัตถุประสงค์ด้านสังคม ประกอบด้วย 2 วัตถุประสงค์ย่อย คือการใช้ประโยชน์จากพื้นที่เกษตรกรรมสูงสุด หน่วยเป็นไร่ และการจ้างงานสูงสุดในการผลิตตามการใช้ประโยชน์ที่ดิน หน่วยเป็น คน-วัน วัตถุประสงค์ด้านสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วย 4 วัตถุประสงค์ย่อย คือ การชะล้างพังทลายของดินต่ำสุด หน่วยเป็นตันต่อปี การใช้สารเคมีเพื่อกำจัดศัตรูพืชต่ำสุด หน่วยเป็นกิโลกรัมของสารออกฤทธิ์ (Active ingredients) การใช้ปุ๋ยเคมีในปริมาณที่ต่ำสุด หน่วยเป็นกิโลกรัม N ต่อไร่ เนื่องจากปุ๋ยไนโตรเจนเป็นปุ๋ยที่อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด และผลิตภาพน้ำชลประทานสูงสุด หน่วยเป็น บาท-ไร่ต่อ ลบ.ม.ของน้ำชลประทาน คำนวณได้จากสัดส่วนของ ผลตอบแทนต่อไร่ในการปลูกพืชต่อน้ำชลประทานที่ใช้

วัตถุประสงค์แต่ละวัตถุประสงค์อาจมีค่าถ่วงน้ำหนัก (W_j) ที่แตกต่างกันไป ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความต้องการของผู้มีส่วนได้เสียหรือผู้วิเคราะห์แบบจำลอง

กิจกรรมการปลูกพืชต่างๆในแบบจำลองมีประมาณ 165 กิจกรรม (แต่ละระบบพืช ในแต่ละ สภาพพื้นที่และสภาพน้ำ) กิจกรรมการจ้างแรงงานมี 36 ช่วงเวลา (12 เดือนๆ ละ 3 ช่วง) มีกิจกรรมการกู้ยืม 5 แหล่ง (ธกส. สหกรณ์ กองทุนหมู่บ้าน กลุ่มอาชีพ นอกระบบ) ค่าเบี่ยงเบนจากวัตถุประสงค์ *j* ที่เป็นลบมี 8 วัตถุประสงค์ ค่าเบี่ยงเบนวัตถุประสงค์ *j* ที่เป็นบวกมี 8 วัตถุประสงค์ รวม X_j ทั้งหมดคิดเป็น 222 ตัวแปร ส่วนข้อจำกัดมีทั้งหมด 577 สมการ

วิธีการวิเคราะห์แบบ IWGP เริ่มจากการคำนวณตาราง Pay-off ซึ่งเป็นตารางที่เก็บผลลัพธ์ที่ได้จากการ maximize หรือ minimize วัตถุประสงค์หนึ่งๆ โดยไม่คำนึงถึงวัตถุประสงค์อื่นๆ เมื่อได้ตาราง Pay-off แล้วจึงทำการกำหนดเป้าหมายของแต่ละวัตถุประสงค์จากค่าที่เหมาะสมที่สุด (Maximum หรือ Minimum) แล้วแต่วัตถุประสงค์ของแบบจำลองแบบหลายวัตถุประสงค์ จากนั้นจึงกำหนดค่าน้ำหนักความสำคัญของวัตถุประสงค์ ขั้นตอนต่อไปเป็นการปรับค่าถ่วงน้ำหนักด้วยค่าสูงสุดหรือต่ำสุดของผลลัพธ์ในตาราง Pay-off ก่อนที่จะหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมเบื้องต้นโดยใช้ชุดคำสั่งหาคำตอบ (Solver) ของโปรแกรม *LINDO API* โดยมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นการวิเคราะห์หาค่าเบี่ยงเบนจากวัตถุประสงค์ต่ำสุด (Minimize deviation) ผลลัพธ์ที่ได้แสดงเป็นกราฟแห่งของอัตราผลสัมฤทธิ์ (*Ach*) ของแต่ละวัตถุประสงค์ตามวิธีการที่อธิบายไว้ใน Santé and Crecente (2007)

หน้าต่างผลลัพธ์ของโปรแกรม IMGP จะช่วยให้ผู้ใช้พิจารณาผลลัพธ์ที่ได้ง่ายและรวดเร็ว หากผลลัพธ์ที่ได้ยังไม่เป็นที่น่าพอใจ ผู้ใช้สามารถปรับเปลี่ยนค่าน้ำหนักความสำคัญของวัตถุประสงค์ทีละวัตถุประสงค์ หรือหลายวัตถุประสงค์พร้อมกัน จากนั้นจึงคำนวณผลลัพธ์ใหม่จนเป็นที่พอใจของผู้มีส่วนได้เสียทุกฝ่าย

วิธีการของ Lu และคณะ

การวิเคราะห์หาชุดผลลัพธ์ที่เหมาะสมแบบ Lu *et al.* (2004) เริ่มจากการเรียงลำดับความสำคัญของวัตถุประสงค์ ซึ่งในโครงการนี้ได้จากการประชุมผู้มีส่วนได้เสีย พร้อมทั้งกำหนดค่าเบี่ยงเบนที่ยอมรับได้ (d_j) จาก

ผลลัพธ์ที่เหมาะสมของแต่ละวัตถุประสงค์ $Z(O_j)$ จากนั้นคำนวณหาค่าผลลัพธ์จากการ maximize หรือ minimize ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่มีลำดับความสำคัญสูงสุด (O_k) โดยแบบจำลองหลักคล้ายคลึงกับที่ใช้ในวิธีการ IWGP เมื่อได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมหรือ$Z(O_k)$แล้ว จึง maximize หรือ minimize ฟังก์ชันของวัตถุประสงค์ที่มีลำดับความสำคัญรองลงมา (O_{k+1}) โดยให้ O_k เป็นข้อจำกัดเพิ่มเติมในรูปแบบสมการข้อจำกัดดังสมการที่ (5) และ (6)

$$Z(O_{k+1}) \geq Z(O_k) - d_j^- \qquad (\text{สำหรับกรณี maximization}) \qquad (5)$$

$$Z(O_{k+1}) \geq Z(O_k) + d_j^- \qquad (\text{สำหรับกรณี minimization}) \qquad (6)$$

แล้วจึงคำนวณหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมของวัตถุประสงค์ O_{k+1} ดำเนินในทำนองเดียวกันไปทีละวัตถุประสงค์จนกว่าจะครบวัตถุประสงค์ทั้งหมด จากนั้นคำนวณอัตราผลสัมฤทธิ์พร้อมแสดงผลลัพธ์เป็นกราฟแท่งเพื่อให้ผู้ร่วมตัดสินใจพิจารณาว่าพอใจหรือไม่เมื่อเทียบกับเป้าหมายที่ตั้งไว้ หากยังไม่พอใจผู้ใช้สามารถปรับแก้ค่า d_j^- ใหม่ได้ โปรแกรม *IMGP-LPLan* จะคำนวณผลลัพธ์ใหม่ให้ จนกระทั่งได้ผลลัพธ์เป็นที่พอใจของทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง

วิธีการ STEP

วิธีการการวิเคราะห์แบบจำลองแบบ STEP (Cohon, 1978; Santé and Crecente, 2007) เริ่มจากการคำนวณตาราง Pay-off และจัดลำดับความสำคัญของวัตถุประสงค์เช่นเดียวกับวิธีการของ Lu และคณะ(___) แต่การปรับเป้าหมายให้ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องพอใจกับกระบวนการตัดสินใจมีความแตกต่างกัน กล่าวคือ หลังจากที่คำนวณผลลัพธ์รอบแรกและยังไม่เป็นที่น่าพอใจแล้ว วิธีการนี้ใช้ค่าผ่อนปรน (Tolerated percentage change, *T*) คิดเป็นอัตราร้อยละของผลสัมฤทธิ์ (*Ach*) เพื่อปรับเป้าหมายเพื่อคำนวณผลลัพธ์ใหม่จนกว่าจะได้ผลลัพธ์ที่ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องพอใจ คณะผู้วิจัยได้ใช้สมการที่ใช้ในงานของ Santé and Crecente (2007) เพื่อคำนวณหาค่า *Ach* และ T ส่วนแบบจำลองมีองค์ประกอบคล้ายคลึงกับที่ใช้ในสองวิธีการข้างต้น

การทดสอบโปรแกรม IMGP-LPlan

ก่อนที่จะนำโปรแกรม IMGP-LPlan ไปใช้งานกับข้อมูลจังหวัดลำพูน ได้ทดสอบโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ชุดข้อมูลที่มีการตีพิมพ์แล้ว เนื่องจากคณะผู้วิจัยไม่สามารถหาชุดข้อมูลที่ใช้แบบจำลอง IMGP และได้ตีพิมพ์ในประเทศไทยได้ ดังนั้นจึงเลือกใช้ชุดข้อมูลของ Santé and Crecente (2007) และ Santé-Riveira et al. (2008) เพื่อใช้ในการทดสอบ ข้อมูลดังกล่าวเป็นการวางแผนการใช้ที่ดินในระดับตำบลในประเทศเสปน ครอบคลุมพื้นที่ขนาด 1,832 ตร.กม. พื้นที่ประกอบด้วยฟาร์มประเภทต่างๆ เพื่อการผลิตวัวนม พืชไร่ และระบบวนเกษตร รวม 13 ประเภทการใช้ที่ดิน และที่สำคัญงานวิจัยดังกล่าวใช้วิธีการ IWGP (Cohon, 1978), วิธีการของ Lu (Lu *et al*., 2004), และวิธีการ STEP (Santé and Crecente, 2007) ในการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่เหมาะสมเพื่อวางแผนการใช้ที่ดิน

เพื่อให้แน่ใจว่าคำตอบที่ได้จากแบบจำลอง IWGP, Lu, และ STEP ถูกต้อง คณะนักวิจัยได้สร้างแบบจำลองโดยใช้ชุดข้อมูลทดสอบ และคำนวณผลลัพธ์ที่เหมาะสมในรูปของค่าตัวแปรตัดสินใจและค่าผลสัมฤทธิ์ (Achievement rate) โดยใช้โปรแกรม IMGP-LPlan ที่พัฒนาจากชุดคำสั่งในโปรแกรม LINDO API จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ตามรายงานของ Santé and Crecente (2007) หากผลลัพธ์จากโปรแกรม IMGP-LPlan ตรงกับผลลัพธ์ของ Santé and Cecente (2004) แสดงว่าการเขียนโปรแกรมเพื่อนำเข้าข้อมูล แสดงผลลัพธ์และวิเคราะห์หาผลลัพธ์ที่เหมาะสมทั้ง 3 วิธีการถูกต้อง

การจัดทำแบบจำลอง IMGP เพื่อการวางแผนการใช้ที่ดินในจังหวัดลำพูน

หลังจากที่ได้ทดสอบขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม IMGP-LPlan แล้ว จึงได้นำโปรแกรมไปใช้วิเคราะห์การวางแผนการใช้ที่ดินโดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม และแบบจำลองหลายเป้าหมายที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ตามรายละเอียดดังกล่าวมาแล้วข้างต้น เนื่องจากแบบจำลองต้องการข้อมูลที่หลากหลาย เพื่อระบุตัวแปรตัดสินใจ วัตถุประสงค์ และข้อจำกัด ดังนั้นจึงได้จัดเก็บข้อมูลเป็นฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์โดยใช้โปรแกรม MS Access ในรูปแบบของตารางข้อมูลที่สะดวกต่อการ นำเข้า แก้ไข เรียกใช้เพื่อการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น และจัดเก็บผลลัพธ์ที่ได้ ก่อนเรียกนำไปแสดงผลในรูปตารางและกราฟบนหน้าจอภาพ

การสร้างภาพสถานการณ์เชิงนโยบาย (Scenarios)

เพื่อให้ผู้ตัดสินใจเห็นผลลัพธ์ในการจัดการใช้ที่ดินในสถานการณ์ที่แตกต่างกัน ในโครงการ ได้กำหนดภาพสถานการณ์ที่เป็นไปได้ 3 รูปแบบคือ 1) เศรษฐกิจ > สังคม > สิ่งแวดล้อม เป็นสถานการณ์ที่ผู้วางแผนการใช้ที่ดินให้ความสำคัญต่อวัตถุประสงค์ด้านเศรษฐกิจมากที่สุดรองลงมาเป็นด้านสังคมและสิ่งแวดล้อมตามลำดับ ดังนั้นน้ำหนักความสำคัญของวัตถุประสงค์จะเรียงลำดับความสำคัญจากมากไปหาน้อยดังนี้ ผลตอบแทนสุทธิรวมสูงสุด > ต้นทุนเงินสดรวมที่ใช้ในการผลิตต่ำสุด > การใช้ประโยชน์จากพื้นที่เกษตรกรรมรวมสูงสุด > การจ้างงานรวมสูงสุดในการผลิตตามการใช้ประโยชน์ที่ดิน > ผลิตภาพน้ำชลประทานโดยรวมสูงสุด > การใช้สารเคมีเพื่อกำจัดศัตรูพืชต่ำสุด > การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณที่ต่ำสุด > การชะล้างพังทลายของดินต่ำสุด 2) สังคม>เศรษฐกิจ > สิ่งแวดล้อม เป็นภาพเหตุการณ์เชิงนโยบายที่ให้ความสำคัญของผลลัพธ์ด้านสังคมมากที่สุด รองลงมาเป็นด้านเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม ลำดับความสำคัญของวัตถุประสงค์จะเรียงกันดังนี้การจ้างงานสูงสุด > ใช้ประโยชน์จากพื้นที่เกษตรกรรมรวมสูงสุด > ผลตอบแทนสุทธิรวมสูงสุด >ต้นทุนเงินสดที่ใช้ในการผลิตรวมต่ำสุด > ผลิตภาพน้ำชลประทานโดยรวมสูงสุด > ใช้สารเคมีเพื่อกำจัดศัตรูพืชรวมต่ำสุด > ใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณรวมที่ต่ำสุด > การชะล้างพังทลายของดินรวมต่ำสุด และ 3) สิ่งแวดล้อม>สังคม > เศรษฐกิจ เป็นสถานการณ์ที่ให้ความสำคัญต่อนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมสูงสุดและนโยบายด้านเศรษฐกิจต่ำสุด การเรียงลำดับความสำคัญของวัตถุประสงค์จึงเป็นดังต่อไปนี้ ผลิตภาพน้ำชลประทานโดยรวมสูงสุด > ใช้สารเคมีเพื่อกำจัดศัตรูพืชรวมต่ำสุด > ใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณรวมที่ต่ำสุด > การชะล้างพังทลายของดินรวมต่ำสุด > การจ้างงานรวมสูงสุด > ใช้ประโยชน์จากพื้นที่เกษตรกรรมรวมสูงสุด > ผลตอบแทนสุทธิรวมสูงสุด > ต้นทุนเงินสดที่ใช้ในการผลิตรวมต่ำสุด

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

การสร้างและแก้ไขแบบจำลองในโปรแกรม IMGP-Plan

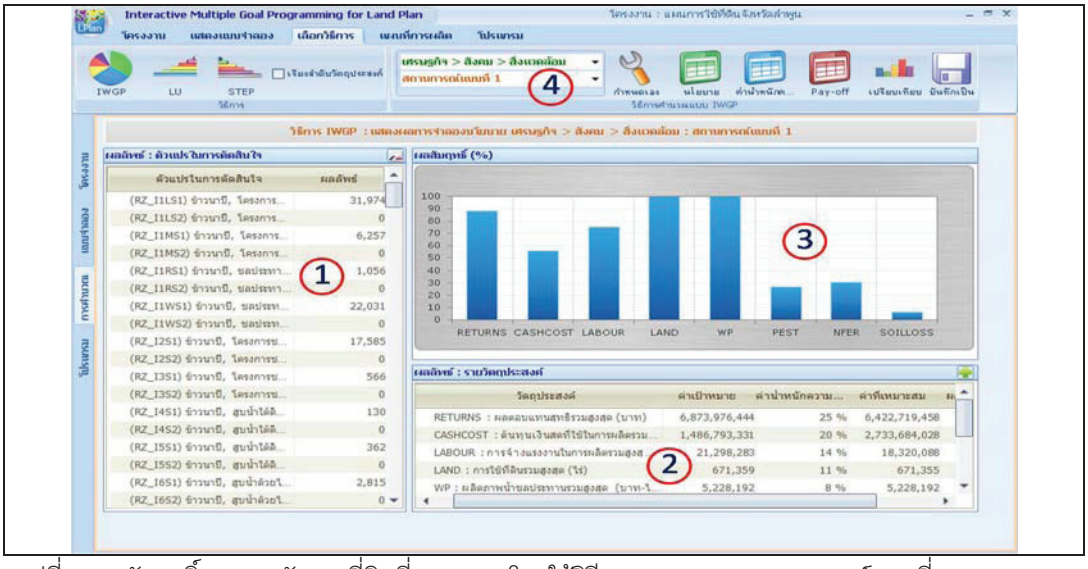
เมื่อเปิดโปรแกรม *IMGP-LPlan* จะมีเมนูหลัก ประกอบด้วย “โครงงาน” “แสดงแบบจำลอง” “เลือกวิธีการ” “สร้างแผนที่การผลิต” และ “โปรแกรม” เมนู “โครงงาน” ช่วยในการสร้างโครงงานใหม่ เปิดโครงงานที่สร้างไว้แล้ว บันทึกโครงงานหลังจากแก้ไขข้อมูลอย่างหนึ่งอย่างใดและต้องการเก็บโครงงานนั้นในชื่อเดิม หรืออาจ “บันทึกเป็น” โครงงานที่ตั้งชื่อใหม่ได้ ถ้าผู้ใช้เลือกเมนู “แสดงแบบจำลอง” โปรแกรมจะแสดงเมนูย่อยเพื่อให้ผู้ใช้สร้างหรือแก้ไขแบบจำลอง โดยอาจเลือก แสดง เพิ่ม หรือแก้ไข วัตถุประสงค์ ตัวแปรตัดสินใจ ข้อจำกัด และค่าสัมประสิทธิ์การผลิต ได้ตามประสงค์ ผู้ใช้สามารถแก้ไขสมการข้อจำกัดได้โดยเลือกปุ่ม “แก้ไข” แล้วเลือก “ข้อจำกัด”

พร้อมทั้งเลือกแถวของข้อจำกัดที่แก้ไข เมนู “เลือกวิธีการ” มีไว้สำหรับให้ผู้ใช้เลือกวิธีการคำนวณผลลัพธ์ที่เหมาะสม ซึ่งโปรแกรมบรรจุไว้ 3 วิธีการ คือ IWGP วิธีการของ Lu และวิธีการ STEP

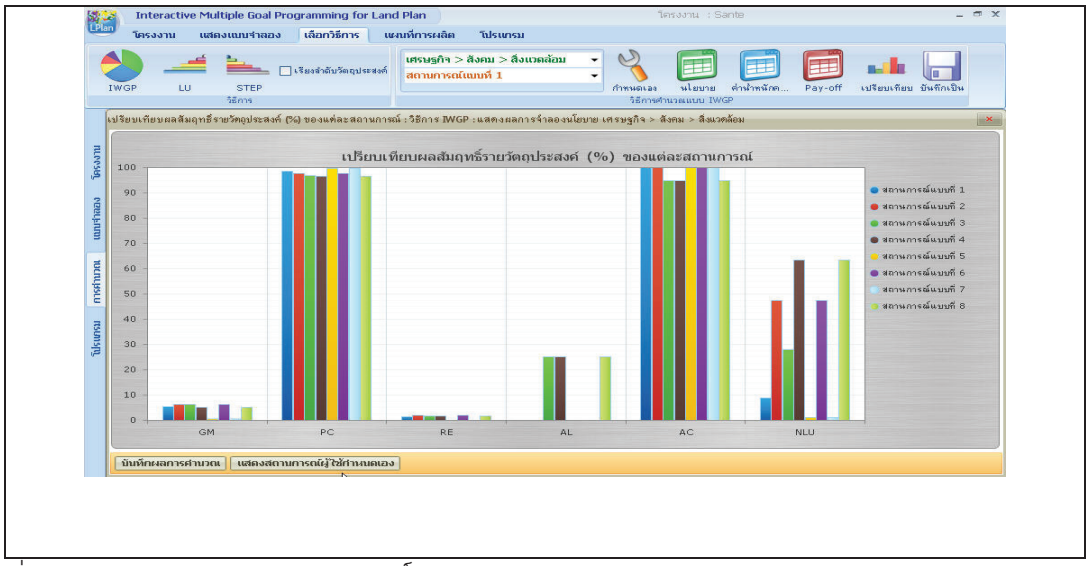
ผลการทดสอบวิธีการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมด้วยโปรแกรม *IMGP-LPlan* กับชุดข้อมูลทดสอบ

วิธีการ IWGP

ในการทดสอบได้ให้ค่าลำดับและน้ำหนักความสำคัญของแต่ละวัตถุประสงค์ในแต่ละสถานการณ์ ตามรายงานของ Santé and Crecente (2007) การเลือกนโยบายและสถานการณ์แบบต่างๆ ทำได้โดยเลือกจากกล่องเลือกสถานการณ์ ตัวอย่างในรูปที่ 2 เป็นการเลือกนโยบายที่ให้ความสำคัญต่อวัตถุประสงค์ด้านเศรษฐกิจสูงสุดและเป็นสถานการณ์แบบที่ 1 โปรแกรมจะคำนวณและแสดงผลลัพธ์ในหน้าต่างแสดงผลลัพธ์ที่มีอยู่ 3 ส่วน (รูปที่ 2) ส่วนที่ 1 เป็นส่วนแสดงค่าตัวแปรตัดสินใจที่เหมาะสมที่สุด ในกรณีชุดข้อมูลทดสอบคือค่าพื้นที่เพาะปลูกของแต่ละประเภทการใช้ที่ดิน ส่วนที่ 2 เป็นส่วนแสดงค่าผลลัพธ์ของแต่ละวัตถุประสงค์ที่เหมาะสมที่สุดตามสถานการณ์ที่ 1 หน้าต่างส่วนนี้สามารถขยายให้เห็นค่าเป้าหมายและผลสัมฤทธิ์ของแต่ละวัตถุประสงค์เป็นตัวเลขที่ชัดเจนขึ้นได้ สำหรับส่วนที่ 3 เป็นการแสดงผลสัมฤทธิ์จากการคำนวณของโปรแกรม IMGP ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่นำเสนอผลลัพธ์ให้แก่ผู้ร่วมตัดสินใจในรูปแบบที่เข้าใจได้ง่าย ผลสัมฤทธิ์คำนวณได้จากสมการ (4) และ (5) โดยใช้ค่า $O_{j,max}$ และ $O_{j,min}$ จากตาราง Payoff หากผู้ตัดสินใจยังไม่พอใจที่ผลสัมฤทธิ์ยังไม่บรรลุเป้าหมาย ผู้ตัดสินใจอาจเลือกสถานการณ์แบบที่ 2, 3, …, 8 ขึ้นมาแสดง แล้วพิจารณาเลือกสถานการณ์ที่มีผลสัมฤทธิ์น่าพอใจที่สุด ซึ่งจะเป็นทางเลือกที่ควรใช้กับการวางแผนการใช้ ที่ดินในพื้นที่เป้าหมาย การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ของทุกสถานการณ์สามารถทำได้โดยเลือกไอคอน “เปรียบเทียบ” โปรแกรมจะแสดงผลสัมฤทธิ์ในรูปแบบกราฟแท่ง (รูปที่ 3) ซึ่งง่ายต่อการใช้ประกอบการตัดสินใจ เมื่อเทียบผลที่ได้จากการใช้วิธีการ IWGP เพื่อหาค่าตัวแปรตัดสินใจ และผลสัมฤทธิ์โดยใช้ชุดข้อมูลในรายงานของ Santé and Crecente (2007) พบว่าได้ค่าตรงกัน



รูปที่ 2 ผลสัมฤทธิ์ของการจัดการที่ดินที่เหมาะสมโดยใช้วิธีการ IWGP ตามสถานการณ์แบบที่ 1 ของนโยบายที่ให้ความสำคัญของวัตถุประสงค์ด้าน เศรษฐกิจ > สังคม > สิ่งแวดล้อม



รูปที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ระหว่างวัตถุประสงค์ต่างๆ ตามวิธีการ IWGP สำหรับทุกสถานการณ์ ตามนโยบายให้ความสำคัญของวัตถุประสงค์ด้าน เศรษฐกิจ > สังคม > สิ่งแวดล้อม

วิธีการของ Lu

ในวิธีการนี้ต้องการปฏิสัมพันธ์ของผู้ใช้มากกว่าวิธี IWGP เพราะต้องกำหนดลำดับความสำคัญของวัตถุประสงค์และค่าเบี่ยงเบนที่ยอมรับได้ ซึ่งผู้ใช้สามารถเรียกแสดงได้ในโปรแกรม IMGP-LPlan หากต้องการแก้ไขสามารถเปลี่ยนแปลงค่าเบี่ยงเบนของแต่ละวัตถุประสงค์ และนำค่านี้ไปใช้ในกำหนดเป้าหมายของวัตถุประสงค์ที่ใช้เป็นข้อจำกัดดังรายละเอียดที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้นวิธีการนี้จึงเป็นการขยายพื้นที่ของการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมให้แก่วัตถุประสงค์ที่มีความสำคัญรองลงมา โดยการผ่อนปรนเป้าหมายของวัตถุประสงค์ที่มีลำดับความสำคัญสูงกว่า (Lu *et al.*, 2004) ทั้งนี้เพื่อวัตถุประสงค์ที่มีลำดับความสำคัญรองลงมาจะได้โอกาสมีผลสัมฤทธิ์ที่ดีขึ้นได้ เมื่อนำผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้โปรแกรม IMGP และวิธีการของ Lu ไปเปรียบเทียบกับรายงานของ Santé and Crecente (2007) ปรากฏว่าได้ผลตรงกัน ดังนั้นสรุปได้ว่าโปรแกรม IMGP-LPlan ให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องตามวิธีการของ Lu

วิธีการ STEP

วิธีการ STEP มีปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้ผ่านค่าผ่อนปรนผลสัมฤทธิ์ (T) ของแต่ละวัตถุประสงค์ ซึ่งจะแสดงเป็นค่าร้อยละ หรือเป็นค่าจำนวนจริงที่ผู้ใช้คิดว่ายอมรับให้แตกต่างจากผลสัมฤทธิ์ของแต่ละวัตถุประสงค์ได้ ได้ทำการทดสอบวิธีการ STEP โดยการใช้สถานการณ์และค่าผ่อนปรนเดียวกับที่ใช้ในรายงานของ (Sante' -Riveira et al., 2008) ซึ่งเป็นสถานการณ์ที่ใช้นโยบายด้าน เศรษฐกิจ > สังคม > สิ่งแวดล้อม ผลลัพธ์จากการจำลองด้วยโปรแกรม IMGP-LPlan เมื่อเทียบกับโปรแกรม RULES ที่ใช้ในการวางแผนจัดที่ดินตามวิธีการ IMGP ในรายงานของ Santé-Riveira *et al.*, (2008) แสดงในตารางที่ 1 ในรูปแบบมูลค่าและผลสัมฤทธิ์ของแต่ละวัตถุประสงค์ที่ได้รับ จะเห็นว่าผลลัพธ์ของทั้งสองวิธีการเท่ากัน จึงอาจสรุปได้ว่าขั้นตอนคำนวณและการจัดการฐานข้อมูลของวิธีการ STEP ในโปรแกรม IMGP-LPlan ถูกต้อง สามารถนำไปใช้งานกับแบบจำลองและฐานข้อมูลในจังหวัดลำพูนได้

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบระหว่างผลลัพธ์ของวัตถุประสงค์ที่ได้จากการใช้วิธีการ STEP ในโปรแกรม IMGP-LPlan กับโปรแกรม RULES ตามนโยบาย เศรษฐกิจ > สังคม > สิ่งแวดล้อม

วัตถุประสงค์	ผลลัพธ์จาก *IMGP-LPlan*		ผลลัพธ์จาก RULES	
	มูลค่า	ผลสัมฤทธิ์ (%)	มูลค่า	ผลสัมฤทธิ์ (%)
ผลตอบแทนสุทธิรวม (บาท)	118,588,693	48	118,588,684	48
ต้นทุนเงินสดรวมที่ใช้ในการผลิต (บาท)	164,820,150	49	164,820,144	49
การจ้างงานรวมในการผลิตทางเกษตร (ชั่วโมง)	14,084,654	60	14,084,654	60
การใช้ปุ๋ยเคมี (กก.)	115,093	94	115,092	94
การใช้สารเคมีเพื่อกำจัดศัตรูพืช (จำนวนครั้งที่ใส่)	6,815,138	31	6,815,139	31
ความเป็นธรรมชาติ (ไม่มีหน่วย)	776,251	28	776,250	28

ผลการจำลองระบบการเกษตรจังหวัดลำพูน

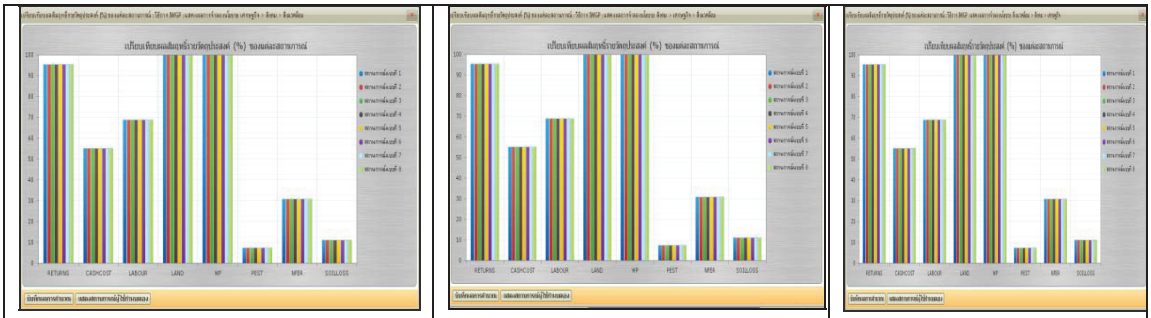
เพื่อความสะดวกในการนำเข้าข้อมูลในแบบจำลองและการแสดงผลลัพธ์ ได้จัดทำฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์สำหรับข้อมูลเหล่านี้ด้วยโปรแกรม MS Access โครงสร้างของฐานข้อมูลนี้ประกอบด้วยตารางที่จัดตามหมวดหมู่เพื่อนำไปใช้ในแบบจำลอง เช่นตารางจัดเก็บวัตถุประสงค์ ตัวแปรตัดสินใจ ข้อจำกัด ค่าสัมประสิทธิ์การผลิต ค่าน้ำหนักความสำคัญ ค่าเบี่ยงเบนจากเป้าหมาย และค่าผ่อนปรนที่ยอมรับได้ของแต่ละวัตถุประสงค์ที่จะต้องใช้ในการคำนวณผลลัพธ์จากแบบจำลองตามวิธีการต่างๆ เป็นต้น เนื่องจากวิธีการ IWGP วิธีการของ Lu และวิธีการ STEP ต้องการค่าถ่วงน้ำหนัก (w) ค่าเบี่ยงเบน (d_j) และค่าผ่อนปรน (T) ตามลำดับ เพื่อคำนวณหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมก่อนให้ผู้ตัดสินใจเลือก ดังนั้นจึงได้เตรียมชุดค่าดังกล่าวสำหรับแต่ละวิธีการ การกำหนดค่าเหล่านี้ได้จากการดัดแปลงค่าที่ใช้ในงานของ Santé and Crecente (2007) และ Lu *et al.* (2004) เพื่อให้เหมาะสมกับจำนวนและรายละเอียดของวัตถุประสงค์ในงานวิจัยนี้ ซึ่งมีลักษณะแตกต่างจากงานของนักวิจัยดังกล่าว ดังตัวอย่างค่าผ่อนปรนสำหรับสถานการณ์แบบต่างๆ ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าผ่อนปรน *T* (%) ของแต่ละวัตถุประสงค์ ในการวางแผนการผลิตตามสถานการณ์แบบต่างๆ ตามนโยบาย ที่ให้ความสำคัญด้านเศรษฐกิจ > สังคม > สิ่งแวดล้อม

วัตถุประสงค์	สถานการณ์แบบที่							
	1	2	3	4	5	6	7	8
ผลตอบแทนสุทธิรวมสูงสุด	0	0	0	0	2	2	2	2
ต้นทุนการผลิตรวมต่ำสุด	2	2	2	2	0	0	0	0
การจ้างแรงงานรวมสูงสุด	5	5	8	8	5	5	8	8
การใช้พื้นที่เกษตรรวมสูงสุด	8	8	5	5	8	8	5	5
ผลิตภาพน้ำชลประทานรวมสูงสุด	11	11	14	14	11	11	14	14
การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชรวมต่ำสุด	14	14	11	11	14	14	11	11
การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนรวมต่ำสุด	17	20	17	20	17	20	17	20
การสูญเสียดิน	20	17	20	17	20	17	20	17

ผลลัพธ์จากวิธีการ IWGP

การหาแผนการใช้ที่ดินที่เหมาะสมโดยวิธีการ IWGP ดำเนินการทีละนโยบายซึ่งแต่ละนโยบายมีสถานการณ์ 8 แบบสร้างไว้ล่วงหน้าโดยใช้ค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละวัตถุประสงค์ ในทางปฏิบัติผู้ใช้เปิดโครงงาน “แผนการใช้ที่ดินจังหวัดลำพูน” ที่สร้างไว้แล้วในโปรแกรม IMGP-LPlan เปิดเมนูเลือกวิธีการ IWGP โปรแกรมจะแสดงวัตถุประสงค์ของแบบจำลองที่จัดเก็บไว้ในฐานข้อมูล หลังจากตรวจสอบค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละสถานการณ์และนโยบายแล้ว ผู้ใช้อาจเลือกนโยบายและสถานการณ์ใดๆเพื่อคำนวณหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดของสถานการณ์นั้น



(ก) (ข) (ค)

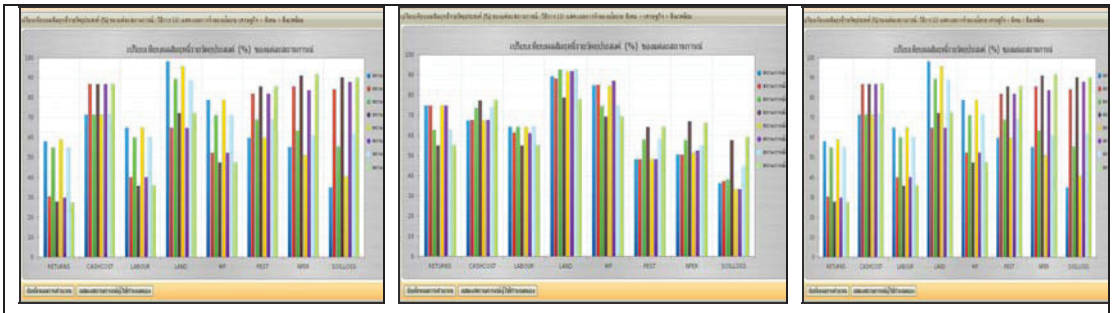
รูปที่ 4 ผลสัมฤทธิ์ของค่าวัตถุประสงค์ที่เหมาะสมที่สุดของวิธีการ IWGP สำหรับ 8 สถานการณ์ตามนโยบาย เศรษฐกิจ > สังคม > สิ่งแวดล้อม (ก) สังคม > เศรษฐกิจ>สิ่งแวดล้อม (ข) และ สิ่งแวดล้อม > สังคม > เศรษฐกิจ (ค)

เมื่อนำผลลัพธ์ของวิธีการ IWGP มาแสดงเป็นกราฟแท่งโดยให้ผลสัมฤทธิ์ของแต่ละค่าวัตถุประสงค์เป็นแกนตั้ง และแกนนอนเป็นสถานการณ์ 8 แบบของแต่ละวัตถุประสงค์ ตัวอย่างในรูป 4 (ก) เป็นการแสดงผลสัมฤทธิ์ตามนโยบาย เศรษฐกิจ>สังคม>สิ่งแวดล้อม ผลปรากฏว่า แบบจำลองจะให้ผลสัมฤทธิ์ของแต่ละวัตถุประสงค์แตกต่างกันแต่ผลลัพธ์ที่ได้ของสถานการณ์ทุกแบบตามนโยบายสังคมนำ (รูปที่ 4 ข) หรือ สิ่งแวดล้อมนำ (รูปที่ 4 ค) ไม่มีความแตกต่างจากผลลัพธ์ ของสถานการณ์ทุกแบบที่ใช้นโยบายเศรษฐกิจนำ (รูปที่ 4 ก) ทั้งนี้เนื่องจากค่า

เป้าหมายที่ใช้ในแบบจำลองซึ่งได้จากค่าสูงสุดของแต่ละวัตถุประสงค์ในตาราง Pay-off เป็นเลขจำนวนใหญ่เมื่อเทียบกับค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละวัตถุประสงค์ ดังนั้นการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดในวิธีการนี้ตามสมการวัตถุประสงค์ดังสมการ (1) จึงให้ผลไม่แตกต่างกันในนโยบายที่แตกต่างกัน เนื่องจากการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละวัตถุประสงค์ในแต่ละนโยบายแตกต่างกันน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าเป้าหมายของวัตถุประสงค์ ปัญหานี้ไม่สามารถแก้ไขได้โดยการทอนค่าเป้าหมายลง (scaling) โดยใช้ตัวเลขขนาดใหญ่สำหรับแต่ละวัตถุประสงค์ก่อนการคำนวณผลลัพธ์ที่เหมาะสม แล้วใช้ค่าเหล่านั้นคูณกลับเมื่อได้ผลลัพธ์เบื้องต้นแล้ว ปัญหาลักษณะนี้อาจเกิดขึ้นในการใช้วิธีการ IWGP เพื่อหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมในกรณีที่มีวัตถุประสงค์เป็นจำนวนมาก (Romero and Rehman, 2003) ดังเช่นในกรณีศึกษาจังหวัดลำพูนซึ่งมีวัตถุประสงค์ทั้งหมด 8 วัตถุประสงค์

ผลลัพธ์จากวิธีการ Lu

วิธีการของ Lu ค่อนข้างตอบสนองต่อค่าน้ำหนักความสำคัญที่ให้กับสถานการณ์แบบต่างๆ โดยมีการตอบสนองต่อนโยบายด้านเศรษฐกิจนำด้านอื่นเฉพาะในบางสถานการณ์ (รูปที่ 5 ก) ส่วนนโยบายที่เน้นด้านสังคม > เศรษฐกิจ > สิ่งแวดล้อม ให้ผลสัมฤทธิ์ของวัตถุประสงค์ต่างๆที่มีความสมดุลกันทั้ง 3 ด้านของนโยบาย (รูปที่ 5 ข)



(ก) (ข) (ค)

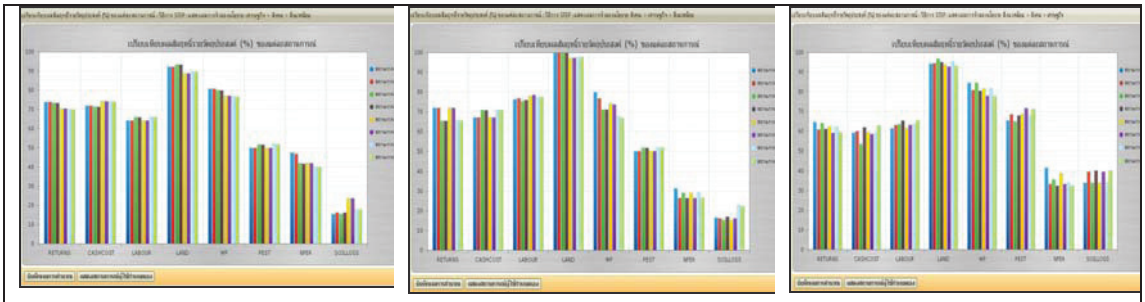
รูปที่ 5 ผลสัมฤทธิ์ของค่าวัตถุประสงค์ที่เหมาะสมที่สุดของวิธีการ Lu สำหรับ 8 สถานการณ์ตามนโยบาย เศรษฐกิจ > สังคม > สิ่งแวดล้อม (ก) สังคม>เศรษฐกิจ>สิ่งแวดล้อม (ข) และ สิ่งแวดล้อม > สังคม > เศรษฐกิจ (ค)

สำหรับสถานการณ์ที่เน้นวัตถุประสงค์ด้านสิ่งแวดล้อมมากกว่าด้านอื่น (รูปที่ 5 ค) ให้ผลสัมฤทธิ์สูงสำหรับวัตถุประสงค์การใช้สารเคมี ปุ๋ยไนโตรเจน การชะล้างพังทลายของดิน และต้นทุนการผลิต ในขณะที่ผลสัมฤทธิ์ด้านผลตอบแทนสุทธิ และการใช้ที่ดินเพื่อการเกษตรต่ำ ทำให้ผลิตภาพการใช้น้ำชลประทานต่ำไปด้วย

ผลลัพธ์จากวิธีการ STEP

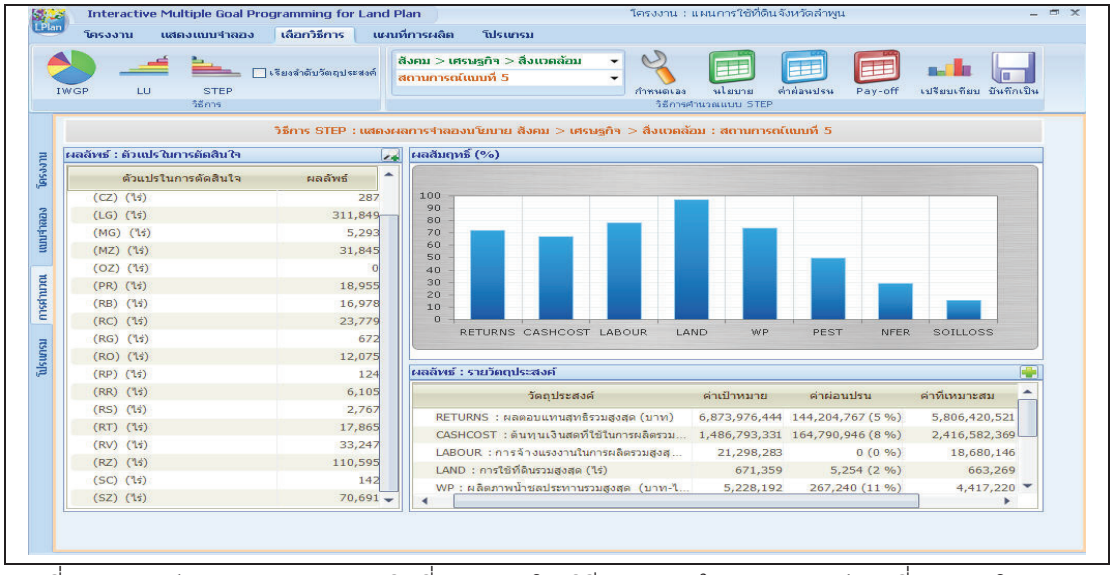
วิธีการ STEP ตอบสนองต่อการให้ค่าผ่อนปรนแก่วัตถุประสงค์ได้ดี นอกจากนี้ยังให้ผลสัมฤทธิ์ของแต่ละวัตถุประสงค์สอดคล้องกับค่าน้ำหนักความสำคัญที่ให้แก่วัตถุประสงค์ในแต่ละนโยบายได้ดีกว่าวิธีการ IWGP และวิธีการ Lu จะเห็นได้จากผลลัพธ์ของวิธีการ STEP ในนโยบายที่เน้นความสำคัญด้านเศรษฐกิจมากกว่าด้านอื่น

กล่าวคือผลสัมฤทธิ์ด้านผลตอบแทนสุทธิรวม และต้นทุนการผลิตที่เป็นเงินสดสูงกว่า ร้อยละ 70 ในทุกสถานการณ์ (รูปที่ 6 ก)



(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 6 ผลสัมฤทธิ์ของค่าวัตถุประสงค์ที่เหมาะสมที่สุดของวิธีการ STEP สำหรับ 8 สถานการณ์ตามนโยบาย เศรษฐกิจ > สังคม > สิ่งแวดล้อม (ก) สังคม > เศรษฐกิจ > สิ่งแวดล้อม (ข) และสิ่งแวดล้อม > สังคม > เศรษฐกิจ (ค)



รูปที่ 7 ผลลัพธ์จากการหาแผนการผลิตที่เหมาะสมโดยวิธีการ STEP ในสถานการณ์แบบที่ 5 ตามนโยบาย สังคม > เศรษฐกิจ > สิ่งแวดล้อม

นอกจากนี้ ในทุกสถานการณ์ตามนโยบาย สังคม>เศรษฐกิจ>สิ่งแวดล้อม (รูปที่ 6 ข) ผลสัมฤทธิ์ของวัตถุประสงค์ด้านการจ้างแรงงาน และการใช้ที่ดินเพื่อการเกษตรสูงกว่าสถานการณ์ตามนโยบาย เศรษฐกิจ > สังคม >สิ่งแวดล้อม และสิ่งแวดล้อม > เศรษฐกิจ > สังคม ในทำนองเดียวกันถ้าเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์จากสถานการณ์ตามนโยบาย สิ่งแวดล้อม > เศรษฐกิจ>สังคม (รูปที่ 6 ค) พบว่า ผลสัมฤทธิ์ของวัตถุประสงค์ด้านผลิตภาพของน้ำชลประทาน การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช การใช้ปุ๋ย N และการชะล้างพังทลาย มีค่าสูงกว่าวัตถุประสงค์เดียวกันในนโยบาย สังคม > เศรษฐกิจ >สิ่งแวดล้อม และ เศรษฐกิจ > สังคม > สิ่งแวดล้อม ลักษณะของกราฟผลสัมฤทธิ์ที่ได้จาก

การใช้วิธีการ STEP ในแต่ละสถานการณ์ไม่แตกต่างกันมาก ทำให้ง่ายต่อผู้ตัดสินใจในการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการจำลองแผนการใช้ที่ดิน และสามารถเลือกสถานการณ์ที่พึงพอใจมากที่สุด จากนั้นสามารถกลับไปเลือกนโยบายและสถานการณ์นั้นเพื่อคำนวณผลลัพธ์เฉพาะสถานการณ์นั้น โปรแกรม IMGP-LPlan จะแสดงผลลัพธ์ตัวแปรตัดสินใจ ผลลัพธ์ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละวัตถุประสงค์ และผลสัมฤทธิ์ ผู้ใช้สามารถจัดเก็บรายละเอียดของผลลัพธ์เป็นไฟล์ Excel หรือ XML เพื่อนำไปวิเคราะห์รายละเอียดการใช้ทรัพยากรของสถานการณ์ที่เลือกไว้ต่อไป ตัวอย่างในรูปที่ 7 เป็นแผนการผลิตสถานการณ์แบบที่ 5 ตามนโยบาย สังคม>เศรษฐกิจ>สิ่งแวดล้อม และมีการกำหนดค่าผ่อนปรนสำหรับวัตถุประสงค์ต่างๆตามสถานการณ์ที่ 5 ในตารางที่ 2 ผู้ใช้อาจบันทึกผลลัพธ์เก็บไว้เป็นไฟล์ Excel เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไปได้

การแสดงผลเป็นแผนที่

ผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจจากโปรแกรม *IMGP-LPlan* ไม่ว่าจะเป็นวิธีการใด จะได้เป็นค่าเนื้อที่ของระบบพืชต่างๆ ที่เป็นกิจกรรมในแบบจำลอง แต่ไม่อาจระบุว่าควรจะปลูกที่ใดในจังหวัดลำพูน ดังนั้นจึงต้องการการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ใน GIS เพื่อจัดสรรพื้นที่เหมาะสมตามความต้องการด้านคุณภาพที่ดินของการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท กิจกรรมดังกล่าวเป็นงานหลักของโครงการวิจัยอีกโครงการหนึ่งของคณะนักวิจัยชุดเดียวกันนี้ ดังนั้น จึงไม่ขอกล่าวในรายละเอียดของวิธีการวิเคราะห์และการพัฒนาโปรแกรม *SLA* (Spatial land allocation) ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของโครงการดังกล่าว อย่างไรก็ตาม เพื่อให้เห็นภาพการเชื่อมโยงระหว่างผลลัพธ์ของโปรแกรม *IMGP-LPlan* และ *SLA* จึงจะกล่าวถึงหลักการและผลจากการเชื่อมโยงระหว่าง 2 โปรแกรมโดยย่อ

การเชื่อมโยงระหว่าง IMGP-LPlan และ SLA สามารถทำได้ผ่านเมนูแสดงแผนที่ในโปรแกรม IMGP-LPlan ซึ่งผู้ใช้จะเรียกโปรแกรม SLA มาใช้งาน ต่อเมื่อผู้ตัดสินใจได้สถานการณ์ที่พอใจที่สุดแล้ว และผู้ใช้จะต้องจัดเก็บผลลัพธ์ของสถานการณ์นั้นเป็นไฟล์ .xml ดังนั้นเมื่อเปิดโปรแกรม SLA ไฟล์ .xml จะถูกเปิดแล้วแปลงเป็นฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ที่เชื่อมกับข้อมูลเชิงพื้นที่ในระบบ GIS ได้ เนื่องจากข้อมูลในไฟล์ .xml ประกอบด้วย ชื่อสถานการณ์ นโยบายหรือปรัชญาในการผลิต ชื่อหน่วยทรัพยากรที่ดิน (Land resource unit, LRU) เพื่อการผลิตพืช ชื่อระบบพืชและเนื้อที่เป้าหมายที่เหมาะสมที่สุด อันเป็นผลลัพธ์จากแบบจำลอง IMGP ดังนั้นโปรแกรม SLA จึงสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปจัดสรรพื้นที่เพาะปลูกให้โดยพิจารณาระดับความเหมาะสมเชิงกายภาพของดิน ลำดับความสำคัญของพืช โดยใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ด้วย GIS ทั้งในระบบเวคเตอร์และราสเตอร์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่าง 2 ระบบ โปรแกรมสามารถให้ผู้ใช้จัดลำดับความสำคัญของประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน ซึ่งใช้เป็นกฎเกณฑ์หนึ่งในการจัดสรรที่ดินเพื่อการเพาะปลูก

โปรแกรม IMGP-LPlan ได้รับการออกแบบให้สามารถใช้งานในโครงการวางแผนการใช้ที่ดินอื่นได้ ไม่ว่าจะเป็นระดับหมู่บ้าน โครงการชลประทาน ระดับลุ่มน้ำ หรือระดับกลุ่มจังหวัด เนื่องจากผู้ใช้สามารถกำหนด ตัวแปรตัดสินใจ วัตถุประสงค์ และข้อจำกัดของแบบจำลองเองได้ โปรแกรมสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ ในการเปลี่ยนนโยบาย ค่าน้ำหนักความสำคัญของวัตถุประสงค์ เปลี่ยนสัมประสิทธิ์ต่างๆ ตามกิจกรรมที่อยู่ในแบบจำลอง ดังนั้นจึงมีศักยภาพในการใช้งานวางแผนการผลิตทางด้านการเกษตร การจัดการทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม ที่เป็นงานหลักประการหนึ่งของหลายหน่วยงาน

สรุป

โปรแกรม IMGP-LPlan ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อสนับสนุนการวางแผนการผลิตทางเกษตร โดยใช้แบบจำลองการตัดสินใจแบบหลายเป้าหมาย (IMGP) และข้อมูลที่จำเป็นในการจัดทำสัมประสิทธิ์การผลิตในสมการวัตถุประสงค์ และข้อจำกัดของแบบจำลอง IMGP ได้ทำการทดสอบการทำงานของโปรแกรม IMGP-LPlan โดยใช้วิธีการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมของแบบจำลอง IMGP 3 วิธีการคือ IWGP, Lu และ STEP และใช้ชุดข้อมูลที่ตีพิมพ์ในวารสารนานาชาติในการทดสอบ ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าขั้นตอนการเขียนโปรแกรมเพื่อหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมตามวิธีการที่ทดสอบมีความถูกต้อง เมื่อเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากกรณีศึกษาที่ตีพิมพ์แล้ว ดังนั้นจึงมั่นใจได้ว่าโปรแกรม IMGP-LPlan ที่พัฒนาด้วยภาษา VisualBasic.NET และ มีส่วนการคำนวณหาผลลัพธ์ที่ใช้ชุดคำสั่งจากโปรแกรม LINDO API สามารถวิเคราะห์หาผลลัพธ์ที่เหมาะสมตามวิธีการ IMGP ทั้ง 3 วิธีการได้ถูกต้อง

เมื่อนำโปรแกรม IMGP-LPlan ไปทดสอบหาแผนการผลิตทางเกษตรที่เหมาะสมในจังหวัดลำพูน โดยใช้สถานการณ์สมมุติจำนวน 24 แบบ ซึ่งกำหนดตามนโยบายหรือปรัชญาในการผลิต 3 แบบ คือ 1) เศรษฐกิจ > สังคม > สิ่งแวดล้อม 2) สังคม > เศรษฐกิจ > สิ่งแวดล้อม และ 3) สิ่งแวดล้อม > สังคม > เศรษฐกิจ โดยแต่ละนโยบายมี 8 สถานการณ์ซึ่งมีความแตกต่างกันที่การให้น้ำหนักความสำคัญ ค่าเบี่ยงเบน หรือ ค่าผ่อนปรนของวัตถุประสงค์แล้วแต่วิธีการหาผลลัพธ์จากแบบจำลอง IMGP 3 วิธีการดังกล่าวข้างต้น ผลจากการทดสอบพบว่าวิธีการ IWGP ให้คำตอบที่เหมือนกันทุกนโยบายและทุกสถานการณ์จึงไม่เหมาะกับกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้ซึ่งแบบจำลอง IMGP ที่ใช้มีวัตถุประสงค์มากถึง 8 วัตถุประสงค์ ดังนั้น ทำให้ค่าถ่วงน้ำหนักมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับเป้าหมายของวัตถุประสงค์ วิธีการ Lu และ STEP ให้ผลลัพธ์ที่ตอบสนองกับนโยบายในทิศทางที่ถูกต้อง แต่วิธีการ STEP สามารถตอบสนองต่อค่าผ่อนปรนที่ใช้ได้ดีกว่าวิธีการ Lu ในทุกนโยบาย ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าวิธีการ STEP เหมาะสมกับการหาผลลัพธ์จากแบบจำลอง IMGP และชุดข้อมูลด้านการมีการใช้ทรัพยากรทางเกษตรของจังหวัดลำพูนมากกว่าวิธีการอื่น ดังนั้นจึงอาจใช้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมในแต่ละสถานการณ์ที่ได้จากวิธีการ STEP ไปทำการจัดสรรที่ดินเชิงพื้นที่โดยใช้โปรแกรมที่ใช้ขีดความสามารถในการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ของ GIS เช่น โปรแกรม SLA (Spatial Land Allocation) ที่กำลังอยู่ในระหว่างการพัฒนาโดยบางส่วนของคณะนักวิจัยชุดนี้

ผู้ใช้สามารถนำโปรแกรม IMGP-LPlan ไปใช้งานในการวางแผนการใช้ที่ดินที่มีวัตถุประสงค์และข้อจำกัดที่แตกต่างจากกรณีศึกษานี้ ไม่ว่าจะเป็นระดับหมู่บ้าน โครงการชลประทาน ระดับลุ่มน้ำ หรือระดับกลุ่มจังหวัด ดังนั้นจึงมีศักยภาพในการใช้งานวางแผนการผลิตทางด้านการเกษตร การจัดการทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม ที่เป็นงานหลักประการหนึ่งของหลายหน่วยงาน

คำนิยม

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยเรื่อง "การจัดที่ดินเพื่อใช้ประโยชน์ทางเกษตรให้เหมาะสมกับหลายวัตถุประสงค์" ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ตามสัญญาเลขที่ RDG51O0009

เอกสารอ้างอิง

เมธี เอกะสิงห์ เฉลิมพล, สำราญพงษ์ ชาญชัย, แสงชโยสวัสดิ์ ประภัสสร, พันธ์สมพงษ์ และ เทวินทร์ แก้วเมืองมูล. 2551. ระบบวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ที่ใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่ *ใน* ***รายงานการสัมมนาระบบเกษตรแห่งชาติ ครั้งที่ 4*** *ระหว่างวันที่ 27-28 พฤษภาคม 2551. ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติเอ็มเพรส*. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. น.75-89.

สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. 2548. ***การวิเคราะห์หารูปแบบฟาร์มผลิตพืชที่เหมาะสม กรณีศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ ขอนแก่น ลพบุรี สงขลา***. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

Cohon, J.L. 1978. Multiobjective Programming and Planning. Academic Press, New York.

de Wit, C.T., H. van Keulen, N.G. Seligman and I. Spharim. 1988. Application of interactive multiple goal programming techniques for analysis and planning of regional agricultural development. Agricultural Systems 26 : 211-230.

Jianbo, L., W. Zhaoqian and F.W.T. Penning de Vries. 2002. Application of interactive multiple goal programming for red soil watershed development: a case study of Qingshishan watershed. ***Agricultural Systems*** 73 : 313-324.

Laborte, A.G., M.K. Van Ittersum and M.M. Van den Berg. 2007. Multi-scale analysis of agricultural development: A modelling approach for Ilocos Norte, Philippines. ***Agricultural Systems*** 94 : 862-873.

Lu, C.H., M.K. van Ittersum and R. Rabbinge. 2004. A scenario exploration of strategic land use options for the Loess Plateau in northern China. ***Agricultural Systems*** 79:145-170.

Praneetvatakul, S. and A. Sirijinda. 2007. Sustainable Farming Systems Planning Using Goal Programming in Northern Thailand, p. 263-276, In Sustainable Land Use in Mountainous Regions of Southeast Asia.

Roetter, R.P., C.T. Hoanh, A.G. Laborte, H. Van Keulen, M.K. Van Ittersum, C. Dreiser, C.A. Van Diepen, N. De Ridder and H.H. Van Laar. 2005. Integration of systems network (SysNet) tools for regional land use scenario analysis in Asia. ***Environmental Modelling & Software*** 20 : 291-307.

Romero, C. and T. Rehman. 2003. Chapter three Goal programming, p. 23-46, In ***Multicriteria Analysis for Agricultural Decisions.*** Elsevier.

Santé -Riveira, I., R. Crecente-Maseda and D. Miranda-Barros. 2008. GIS-based planning support system for rural land-use allocation. ***Computers and Electronics in Agriculture*** 63 : 257-273.

Santé, I. and R. Crecente. 2007. LUSE, a decision support system for exploration of rural land use allocation: Application to the Terra Chu district of Galicia (N.W. Spain). ***Agricultural Systems*** 94 : 341-356.