บทความรับเชิญ
การจำลองและวิเคราะห์สถานการณ์ในระบบสนับสนุนการตัดสินใจทางการเกษตร

เมธี เอกะสิงห์[1]

บทคัดย่อ

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจทางการเกษตรเริ่มเข้ามามีบทบาทในงานวิจัยและพัฒนาในประเทศไทยในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา ระบบดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อบูรณาการองค์ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการสำคัญที่กำหนดคุณสมบัติโดยรวมของระบบเกษตร และเพื่อคาดการณ์ผลลัพธ์ของระบบอันเกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบส่วนต่าง ๆ ระบบสนับสนุนการตัดสินใจทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ มีองค์ประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน ได้แก่ ฐานข้อมูล แบบจำลองหรือระบบการวิเคราะห์การตัดสินใจ และส่วนที่สื่อสารกับผู้ใช้ บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทบทวนแนวคิดและสถานภาพการพัฒนาแบบจำลองระบบพืชและการวิเคราะห์การตัดสินใจในระดับสากล ซึ่งถือว่าเป็นหัวใจของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ ตลอดจนหลักในการพิจารณาเลือกใช้วิธีการดังกล่าวในลำดับชั้นต่าง ๆ ของระบบเกษตร พร้อมทั้งแสดงตัวอย่างการนำมาพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจทางการเกษตรและจัดการทรัพยากรธรรมชาติในประเทศไทย

คำสำคัญ: แบบจำลอง ระบบภูมิสารสนเทศ กระบวนการตัดสินใจ การจัดการทรัพยากร เทคโนโลยีสารสนเทศ

คำนำ

ปัญหาทางการเกษตรและการจัดการทรัพยากรธรรมชาติมีความซับซ้อน และเกี่ยวพันกันเป็นระบบระหว่างกิจกรรมของคน พืช สัตว์ และกระบวนการทางนิเวศวิทยาในระดับต่าง ๆ นอกจากนี้ยังอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในหลายพื้นที่และเวลา มีผู้คาดหวังว่าแนวคิดเชิงระบบจะเอื้ออำนวยให้เกิดการพัฒนาเครื่องมือที่สนับสนุนผู้ตัดสินใจที่ทำให้สามารถเข้าใจภาพรวมของสถานการณ์ และคัดทางเลือกที่เหมาะสมกับสถานการณ์ที่ต้องการแก้ไข พร้อมทั้งประเมินผลกระทบของทางเลือกในการแก้ปัญหาต่อผลลัพธ์ระบบและสภาพแวดล้อมในอนาคต

การตัดสินใจเป็นกระบวนการสำคัญที่เกิดขึ้นในระบบเกษตรตั้งแต่ระดับฟาร์มจนถึงระดับภูมิภาค ผู้ตัดสินใจต้องการจัดการระบบเกษตรให้บรรลุเป้าหมายที่วางไว้ ในระดับฟาร์มเกษตรกรต้องการเลือกพืชที่จะปลูก ปัจจัยการผลิต ทรัพยากร และการปฏิบัติงานที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลตอบแทนตามเป้าหมายของการผลิต ในระดับลุ่มน้ำกระบวนการตัดสินใจอาจเป็นการคัดเลือกลุ่มน้ำที่สมควรได้รับการฟื้นฟูเป็นลำดับแรกในกรอบการทำงานที่มีงบประมาณจำกัด เนื่องจากระบบการเกษตรเป็นระบบที่ซับซ้อน กระบวนการตัดสินใจอย่างมีหลักเกณฑ์เกี่ยวข้องกับข้อมูลเป็นจำนวนมาก จึงต้องการเทคโนโลยีและวิธีการวิเคราะห์ที่สามารถจัดการข้อมูลเหล่านั้น ให้เป็นสารสนเทศที่สนับสนุนผู้มีส่วนได้เสียในสถานการณ์ให้สามารถเลือกวิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสมที่สุดภายในเวลาจำกัด

---

[1] ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ในทศวรรษที่ผ่านมา ระบบสนับสนุนการตัดสินใจทางการเกษตร (รสก.) ได้รับการพัฒนาอย่างรวดเร็ว มีความหลากหลาย สามารถอธิบายกระบวนการในระบบเกษตรในลำดับชั้นต่าง ๆ ได้อย่างละเอียด และสะดวกต่อการใช้งานมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากความเข้าใจในหลักการตัดสินใจมีมากขึ้น เทคโนโลยีสารสนเทศและเทคนิคการวิเคราะห์มีการพัฒนาอย่างก้าวกระโดด ตลอดจนกระแสธรรมาภิบาลทำให้การวางนโยบายและการตัดสินใจระดับต่าง ๆ ต้องการใช้ข้อมูลและสารสนเทศประกอบมากขึ้น

เอกสารนี้จะประมวลความก้าวหน้าในการพัฒนา รสก. โดยใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและวิธีการวิเคราะห์การตัดสินใจที่เกิดขึ้นในระดับสากล นอกจากนี้จะกล่าวถึง รสก. ซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อประยุกต์ใช้งานทางการเกษตรและจัดการทรัพยากรธรรมชาติในประเทศไทย ทั้งนี้เพื่อชี้ให้เห็นศักยภาพและข้อจำกัดของระบบดังกล่าว อันจะทำให้เกิดการวิจัยและพัฒนา รสก. อย่างเป็นระบบและนำไปสู่การใช้งานอย่างกว้างขวางในอนาคต

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจในทางการเกษตร

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (รสจ.) เป็นระบบคอมพิวเตอร์ที่อำนวยความสะดวกให้ผู้ใช้สามารถใช้ข้อมูล องค์ความรู้ และวิธีการวิเคราะห์ต่าง ๆ ในการแก้ไขปัญหาที่ซับซ้อน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้ทำหน้าที่ตัดสินใจมีส่วนร่วมในการวิเคราะห์ทางเลือกโดยอาศัยข้อมูลและหลักการที่เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป ทำให้ย่นระยะเวลาและทรัพยากรในการตัดสินใจแก้ปัญหาหรือวางแผน (Jones *et al.*,1998) องค์ประกอบที่สำคัญของ รสจ. ได้แก่ ระบบจัดการข้อมูล ระบบการวิเคราะห์และคัดทางเลือก และส่วนเชื่อมโยงกับผู้ใช้ การออกแบบรายละเอียดของแต่ละส่วนแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และกลุ่มผู้ใช้เป้าหมาย หัวใจของ รสจ. คือส่วนการวิเคราะห์และการเรียงลำดับทางเลือกที่อาจดำเนินการโดยใช้การจำลองระบบเชิงพลวัต (systems dynamics) ระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert Systems) และการวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ (Multi-criteria Decision Making, MCDM) เป็นต้น

การจำลองระบบเชิงพลวัต

การจำลองเชิงพลวัตเป็นการบูรณาการองค์ความรู้จากหลายแขนงวิชา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มพูนความเข้าใจกระบวนการที่เกิดขึ้นในระบบซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาไม่ว่าจะเป็นระยะสั้นหรือระยะยาว และเพื่อทำนายผลลัพธ์และผลกระทบที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ (interactions) ระหว่างองค์ประกอบในระบบ ในทศวรรษที่ผ่านมา มีการพัฒนาแบบจำลองเชิงพลวัตสำหรับระบบการเกษตรหลายระดับ ตั้งแต่ระดับแปลงปลูกพืช ฟาร์ม ลุ่มน้ำ ภูมิภาคและระดับโลก แบบจำลองเหล่านั้นมีความหลากหลายทั้งในแง่การออกแบบโครงสร้าง ภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้พัฒนา ความต้องการข้อมูล กรอบเวลาที่จำลอง และความยืดหยุ่นในการเชื่อมโยงกับระบบอื่นเพื่อสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่สมบูรณ์แบบ

แบบจำลองระบบพืช

แบบจำลองในกลุ่มนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเชื่อมโยงกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการผลิตพืชและระบบพืช แบบจำลองระบบพืชมีการพัฒนามายาวนานโดยมี De Wit (1978) เป็นผู้บุกเบิกและเป็นต้นแบบของแบบจำลองพืชใน "สำนัก Wageningen" เช่น LINTUL และ SUCROS (Spitters,

1990; Van Delden, 2001) ต่อมาได้มีการนำเอาวิธีการจำลองผลผลิตตามแนวคิดของแบบจำลอง SUCROS ไปใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง ORYZA2000 (Bouman *et al*., 2001) แบบจำลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวในที่ลุ่ม และขณะนี้กำลังอยู่ในระหว่างการปรับปรุงให้สามารถใช้จำลองผลผลิตข้าวในที่ดอน แบบจำลองของ “สำนัก Wageningen” ยังครอบคลุมพืชไร่ พืชผัก ไม้ผล และไม้ยืนต้น อีกมากมาย รายละเอียดของแนวคิด โครงสร้างของแบบจำลอง และการประยุกต์ใช้แบบจำลองเหล่านี้ดูได้จากรายงานของ Van Ittersum *et al*. (2003)

อย่างไรก็ตาม แบบจำลองที่มีการนำไปทดสอบอย่างกว้างขวางทั่วโลกรวมทั้งในประเทศไทยได้แก่ DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) อันเป็นผลพวงของความร่วมมือระหว่างนักวิจัยนานาชาติที่เข้าร่วมโครงการ International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer, IBSNAT (Uehara and Tsuiji, 1998) แบบจำลอง DSSAT ใช้แนวคิดเชิงระบบในการบูรณาการองค์ความรู้ด้าน ดิน พืช ภูมิอากาศ และการจัดการเพื่อตัดสินใจขยายผลการทดสอบเทคโนโลยีการผลิตพืชจากบริเวณหนึ่งไปยังอีกบริเวณหนึ่งที่มีลักษณะดินและภูมิอากาศที่คล้ายคลึงกัน แบบจำลอง DSSAT ได้รับการพัฒนาเป็นลำดับจนปัจจุบันครอบคลุมพืช 16 ชนิด และสามารถเชื่อมโยงกับระบบภูมิสารสนเทศ (Geographic Information System, GIS) เพื่อใช้งานในระดับภูมิภาค รายละเอียดของโครงสร้างของ DSSAT รวมทั้งระบบย่อยและการนำไปใช้ประโยชน์ล่าสุดปรากฏในรายงานของ Jones *et al*. (2003)

แบบจำลองระบบพืชที่ใช้ประโยชน์จากความก้าวหน้าของการออกแบบทางด้านวิศวกรรมซอฟต์แวร์ ได้แก่ แบบจำลอง APSIM (Agricultural Production Systems Simulator) แบบจำลองนี้พัฒนาขึ้นในออสเตรเลียเพื่อจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชหรือระบบพืช มากกว่า 20 ชนิด (Wang *et al*., 2002) จุดเด่นของ APSIM คือมีการออกแบบโครงสร้างเป็นส่วนย่อย (module) แต่ละส่วนทำหน้าที่จำลองกระบวนการสำคัญที่เกิดขึ้นในดินและพืช ส่วนต่าง ๆ เหล่านี้เป็นชุดคำสั่งของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ซ้ำได้ และสามารถเชื่อมต่อหรือถอนออกจากโปรแกรมขับเคลื่อนส่วนกลาง (APSIM Engine) ที่ทำหน้าที่เชื่อมโยงชุดคำสั่งต่าง ๆ เข้าด้วยกัน การเชื่อมต่อหรือถอนส่วนย่อยเหล่านี้ออกทำได้สะดวก ดังนั้นจึงทำให้เพิ่มแบบจำลองพืชชนิดใหม่หรือสร้างแบบจำลองระบบพืชต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่ต้องเสียเวลาเขียนโปรแกรมใหม่มากมายเพราะสามารถใช้ชุดคำสั่งเดิมซ้ำอีกได้ ดังนั้นจึงง่ายต่อการบำรุงรักษาชุดคำสั่งที่เป็นองค์ประกอบของแบบจำลองในอนาคต ส่วนย่อยของแบบจำลอง APSIM ได้แก่ พืช เศษเหลือของพืช แสงสว่าง ไนโตรเจนในดิน น้ำในดิน การเซาะกร่อนของดิน การจัดการ และการรายงานผลการจำลอง ผู้ใช้อาจเลือกจำลองทางเลือกในการผลิตพืชตามความต้องการโดยเลือกจากชุดดังกล่าวข้างต้น ในปัจจุบันมีการทดสอบการใช้งานของ APSIM กับพืชหลายชนิดในหลายประเทศ

CropSyst (Stockle *et al*., 1994) เป็นแบบจำลองพืชที่ได้รับการออกแบบเป็นชุดคำสั่งคล้ายกับแบบจำลอง APSIM โดยเน้นการจำลองผลิตภาพและผลกระทบของระบบพืชต่อสิ่งแวดล้อมในระดับแปลงถึงลุ่มน้ำหรือกว้างขวางกว่านั้น เนื่องจากมีชุดคำสั่งที่สามารถเชื่อมโยงกับ GIS โดยรับหน่วยแผนที่เพื่อการจำลองจาก GIS ผ่านตารางอรรถาธิบายข้อมูลเชิงพื้นที่ ผลจากการจำลองถูกจัดเก็บเป็นเขตข้อมูล (field) ใหม่ในตารางเดียวกัน เพื่อนำไปสร้างเป็นแผนที่ด้วย

โปรแกรม GIS รายละเอียดโครงสร้างและการใช้งาน CropSyst ศึกษาเพิ่มเติมได้จากรายงานของ Stockle *et al*. (2003)

การใช้งานแบบจำลองพืชในประเทศไทยในทศวรรษที่ผ่านมาเป็นการทดสอบแบบจำลองพืชในตระกูล DSSAT เป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะการหาค่าสัมประสิทธิ์ของสายพันธุ์พืชเศรษฐกิจ เช่น ข้าว (Jintrawet, 1995; จิรวัฒน์ และคณะ, 2543) อ้อย (Promrit and Jintrawet, 2001) ถั่วเหลือง (สุนทร และเมธี, 2537) ถั่วลิสง (Banterng *et al*., 2004) ถั่วแดงหลวง (สุนทร และอรรถชัย, 2541) นอกจากนี้มีการทดสอบแบบจำลองถั่วเหลืองและการจัดการน้ำในสภาพการปลูกหลังนาข้าวในเขตชลประทาน (วิถี และเมธี, 2533) และมีการเชื่อมโยงแบบจำลองพืชเข้ากับระบบภูมิสารสนเทศเพื่อประมาณผลผลิตพืชในระดับจังหวัดกับหลายพืช เช่น ข้าว (เมธี และคณะ, 2543; พนมศักดิ์ และคณะ, 2543) อ้อย (พนมศักดิ์ และคณะ, 2545) และมันสำปะหลัง (Sarawat *et al*, 2004) ในด้านทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมได้มีการใช้แบบจำลอง DSSAT ในการประมาณค่าก๊าซมีเทนที่ถูกปลดปล่อยจากการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่าง ๆ (Buddaboon *et al*., 2001) และผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าว (อรรถชัย และคิม, 2545)

แบบจำลองระบบหลายเอเจนต์ (multi-agent systems)

แบบจำลองพืชดังกล่าวมาแล้วข้างต้นเน้นกระบวนการทางด้านกายภาพและชีวภาพที่เกิดขึ้นในดิน พืช และสภาพแวดล้อม โดยไม่มีส่วนที่เป็นปฏิสัมพันธ์ระหว่างคนในระบบ จึงมีข้อจำกัดในการนำไปใช้งานด้านการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ ที่ปัญหามักจะเกี่ยวข้องกับความขัดแย้งในการใช้ทรัพยากรระหว่างผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในสถานการณ์หนึ่ง ๆ แบบจำลองเชิงพลวัตที่เอื้ออำนวยให้สามารถจำลองระบบทางสังคมได้แก่ แบบจำลองระบบหลายเอเจนต์ (Multi-agent Systems, MAS) แบบจำลองประเภทนี้ได้รับการพัฒนามาจากงานวิจัยด้านปัญญาประดิษฐ์ (artificial intelligent) และแบบจำลองประเภท cellular automata ที่แบ่งพื้นที่แบ่งออกเป็นเซลล์ แต่ละเซลล์มีการเปลี่ยนสถานภาพ ณ เวลาต่าง ๆ พร้อมกัน ตามคุณสมบัติของเซลล์หรือกลุ่มของเซลล์ที่อยู่ใกล้เคียงโดยอาศัยฟังก์ชันการเปลี่ยนแปลงที่กำหนด (Gilbert and Troizsch, 1999)

ในแบบจำลอง MAS เอเจนต์เป็นชุดคำสั่งและข้อมูลที่จำเป็นในการทำงานเฉพาะอย่าง เอเจนต์สามารถรับรู้ จดจำ แลกเปลี่ยนข่าวสาร ร้องขอบริการ และเจรจากับเอเจนต์ตัวอื่นผ่านชุดคำสั่งในภาษาคอมพิวเตอร์ เอเจนต์จึงทำงานได้ด้วยตัวเองและสร้างกิจกรรมต่าง ๆ ในระบบขึ้นมาใหม่ได้ เนื่องจากผู้พัฒนา MAS ส่วนใหญ่ใช้โปรแกรมเชิงวัตถุ (object-oriented programming) เอเจนต์จึงเป็นวัตถุ (object) ที่อ้างอิงตำแหน่งได้ในสภาพแวดล้อมหรือพื้นที่เป้าหมาย ในการจำลองสถานการณ์ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ เราอาจกำหนดให้เอเจนต์เป็นตัวแทนบุคคลหรือกลุ่มบุคคลที่อยู่ในพื้นที่เป้าหมาย และมีขีดความสามารถในการตัดสินใจด้วยตนเอง เอเจนต์มีกิจกรรมในระดับย่อยสุดของหน่วยพื้นที่ เพื่อตอบสนองต่อสิ่งเร้าทั้งทางธรรมชาติและทางเศรษฐกิจสังคม ตัวอย่างของเอเจนต์ในระบบเกษตรได้แก่ เกษตรกร เจ้าหน้าที่ส่งเสริม พืช สัตว์ และแมลง เป็นต้น

ความน่าสนใจของ MAS อยู่ที่ว่าเราสามารถจำลองให้เอเจนต์เป็นปัจเจกบุคคลที่เป็นผู้ตัดสินใจหรือเป็นกลุ่มของบุคคลที่มีพฤติกรรมในการตัดสินใจคล้ายกัน ผู้พัฒนาระบบจะต้องหาวิธีการระบุคุณสมบัติของเอเจนต์ที่เป็นตัวแทนของผู้ตัดสินใจให้เหมาะสมกับสถานการณ์ที่ต้องการจำลอง ดังนั้นการระบุว่าในระบบที่เราสนใจมีเอเจนต์อะไรบ้าง แต่ละเอเจนต์มีคุณสมบัติอย่างไร

และมีพฤติกรรมในการตัดสินใจอย่างไร จึงเป็นสิ่งสำคัญในการพัฒนาแบบจำลอง MAS ข้อมูลนี้อาจได้จากความรู้ของผู้เชี่ยวชาญ การสำรวจ หรือวิเคราะห์ด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่นการเล่นเกมส์กับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในสถานการณ์ (Barreteau, 2003; Promburom, 2004) เราอาจกำหนดคุณสมบัติของเอเจนต์จากพฤติกรรมที่แสดงออก เช่น เป้าหมายในการผลิต สิทธิทำกิน จิตสำนึกด้านอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม เป็นต้น เอเจนต์มีปฏิสัมพันธ์ซึ่งกันและกันโดยผ่านกลไกสองประการคือ อิทธิพลของเพื่อนบ้านในกระบวนการตัดสินใจ และการเป็นสมาชิกขององค์กรที่มีวัตถุประสงค์ขององค์กรเป็นตัวกำกับการตัดสินใจในบางเรื่อง

การจำลองระบบหลายเอเจนต์ใช้แนวทางจากล่างขึ้นบน (bottom-up approach) เพื่อจำลองสถานการณ์และสร้างผลลัพธ์ที่สะท้อนความเป็นจริง ดังนั้นผู้พัฒนา MAS จึงต้องเขียนชุดคำสั่งเพื่อระบุพฤติกรรมของส่วนที่ย่อยสุดของระบบที่ต้องการศึกษา โดยไม่ต้องกำหนดพฤติกรรมโดยรวมของแบบจำลอง แต่ปล่อยให้พฤติกรรมรวมของระบบมีการกำเนิดขึ้นเอง (emergence) จากปฏิสัมพันธ์ของเอเจนต์และสิ่งแวดล้อม

ในปัจจุบัน นักวิจัยได้เริ่มใช้ MAS ในระบบการตัดสินใจทางการเกษตรหลายด้านด้วยกัน ตั้งแต่การตัดสินใจด้านการจัดการน้ำชลประทาน (Barreteau *et al.*, 2004) การจัดการศัตรูพืช (Woodford *et al.*, 1999) การจัดการด้านเศรษฐกิจเกษตรและนโยบายการเกษตร (Berger, 2001) การจัดการอุตสาหกรรมโคนม (Parrott *et al.*, 2003) ในด้านการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ มีการใช้ MAS ในการจัดการลุ่มน้ำขนาดเล็ก (Becu *et al.*, 2003) การศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินอันเนื่องมาจากปัจจัยด้านเศรษฐกิจและสังคม (Evans and Kelly, 2004) เป็นต้น

Bousquet and Le Page (2004) ได้ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวกับวิธีการและเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา ตลอดจนการใช้งาน MAS ในการจัดการระบบนิเวศน์ พบว่าจุดเด่นของ MAS คือการบูรณาการมิติทางสังคมศาสตร์กับมิติเชิงพื้นที่และกระบวนการตัดสินใจร่วมกัน ผลลัพธ์ที่กำเนิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างเอเจนต์ต่อเอเจนต์ และเอเจนต์ต่อสิ่งแวดล้อม นำไปสู่กระบวนการเจรจาเพื่อลดปัญหาความขัดแย้ง ช่วยให้เกิดกระบวนการเรียนรู้และการมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่จะต้องร่วมกันตัดสินใจแก้ปัญหาหรือดำเนินกิจกรรมร่วมกัน พร้อมกับสรุปว่าแนวทางต่อไปในการวิจัยและพัฒนา MAS ควรให้ความสนใจต่อการศึกษาความเชื่อมโยงของเอเจนต์ในเชิงพื้นที่และลำดับชั้น

นักวิจัยหลายคนพบว่าแบบจำลอง MAS เหมาะกับการใช้สนับสนุนการตัดสินใจในด้านการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ เนื่องจากการรูปแบบการใช้ที่ดินที่ปรากฏอยู่ในปัจจุบันเป็นผลพวงจากการที่มีคน (เอเจนต์) เข้าครอบครองหรือควบคุมการใช้ที่ดินในระดับแปลง เพื่อให้สนองต่อความต้องการของครัวเรือน การเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจ หรือนโยบายของรัฐ ตัวอย่างแบบจำลอง MAS ที่ไม่ซับซ้อน ได้แก่ กรณีจำลองการตัดสินใจของเจ้าของที่ดินเพื่อคาดคะเนการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินอันเนื่องมาจากผลประโยชน์ที่ได้รับทั้งในรูปตัวเงินและไม่ใช่ตัวเงิน (Laine and Busemeyer, 2004) ในกรณีนี้ที่ดินถูกแบ่งออกเป็นเซลล์ แต่ละเซลล์จึงเป็นหน่วยย่อยสุดที่มีการตัดสินใจเกิดขึ้น เอเจนต์ในกรณีนี้คือเจ้าของที่ดินที่มีแหล่งรายได้เพียงอย่างเดียวคือที่ดิน ค่าเริ่มต้นของการจำลองสำหรับที่ดินคือ ถ้าที่ดินไม่ใช่ป่าไม้และมีความลาดชันไม่มากจะมีสถานภาพเป็นพื้นที่เกษตร แต่ถ้ามีความลาดชันสูงกว่าค่าเฉลี่ยจะเป็นที่ถูกทิ้งร้าง เอเจนต์จะต้องตัดสินใจทุกปีว่าจะจัดสรรแรงงานให้กับกิจกรรมอะไรบ้าง และจะทำกิจกรรมดังกล่าวบนส่วนใดของพื้นที่ กิจกรรมที่

เป็นทางเลือกได้แก่ ปลูกพืชไร่ หารายได้นอกฟาร์ม ตัดไม้และปลูกต้นไม้ ดังนั้นการใช้ประโยชน์ที่ดินที่เป็นผลลัพธ์จากกิจกรรมดังกล่าวจึงได้แก่ พืชไร่ ที่ดินทิ้งร้าง และป่าไม้ ผลการจำลองจะเป็นการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทใดขึ้นอยู่กับกระบวนการตัดสินใจของเอเจนต์ซึ่งขึ้นอยู่กับข้อมูลด้านรายได้จากกิจกรรมต่าง ๆ ในปีที่ผ่านมา คุณภาพที่ดินที่มีความแปรปรวนในพื้นที่ ผลลัพธ์ที่ได้สามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินได้ชัดเจนในรูปกราฟิก

สถานการณ์ในระดับลุ่มน้ำมีความซับซ้อนมากกว่าระดับแปลงหรือฟาร์ม องค์ประกอบของ MAS จึงมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้นตามไปด้วย Becu *et al.*, (2003) ได้พัฒนาแบบจำลอง CATCHSCAPE เพื่อช่วยในการจัดการทรัพยากรน้ำ โดยให้แปลงปลูกพืชเป็นวัตถุเชิงพื้นที่ และมีเอเจนต์ 2 ประเภท ประเภทแรกได้แก่ เอเจนต์ที่สามารถรับรู้ได้ (Cognitive agent) ได้แก่ เกษตรกร และผู้มีหน้าที่จัดสรรน้ำชลประทานระดับฝายและคลองชลประทาน ประเภทที่สองคือ เอเจนต์ตอบสนอง (Reactive agent) ประกอบด้วย พืชที่ปลูก ลำน้ำ คลองชลประทาน และหมู่บ้าน เอเจนต์เหล่านี้คือองค์ประกอบของระบบการผลิต เกษตรกรตัดสินใจเลือกพืชฤดูแล้งที่ให้ผลตอบแทนดีที่สุดจากข้อจำกัดด้าน เงินสด แรงงาน และความพอเพียงของน้ำสำหรับปลูกพืช แบบจำลองนี้สามารถอธิบายและทำนายการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของระบบการปลูกพืช และรายได้ของเกษตรกรภายใต้สถานการณ์ที่แตกต่างกันด้านการจัดการน้ำชลประทาน ตั้งแต่สถานการณ์ในปัจจุบัน เมื่อมีการขัดแย้งเรื่องน้ำ เมื่อมีการลักลอบใช้น้ำ และเมื่อมีการขาดน้ำในปีที่แห้งแล้งสุด ผลของการจำลองสามารถนำไปพูดคุยกับเกษตรกรเพื่อให้เห็นผลกระทบของความขัดแย้งในการใช้น้ำ และผลดีที่จะเกิดขึ้นหากมีการเจรจาหรือหาทางออกร่วมกันเพื่อลดความขัดแย้งในอนาคต

Berger (2001) ใช้ MAS เพื่อบูรณาการแบบจำลองทางเศรษฐศาสตร์เข้ากับแบบจำลองอุทกวิทยา เพื่อทำนายพฤติกรรมทางด้านเศรษฐกิจและการตอบสนองต่อนโยบายทางด้านการเกษตรจากระดับครัวเรือน ทำให้สามารถประเมินอัตราการแพร่กระจายของนวัตกรรมทางการเกษตร เช่น การเกษตรแบบมีสัญญาผูกพัน เทคโนโลยีการประหยัดน้ำ และผลกระทบในแง่การเปลี่ยนแปลงในการใช้ทรัพยากร รายได้และผลประโยชน์ต่อการเลือกนโยบายทางการค้าระหว่างประเทศมาปฏิบัติ

เนื่องจากแบบจำลองระบบหลายเอเจนต์มีการพัฒนาไม่ยาวนานเท่าแบบจำลองการปลูกพืช ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น เช่น CORMAS (Bousquet *et al.*, 1998) Ascape (Parker, 2001) Swarm (http://wiki.swarm.org) RePast (http://repast.sourceforge.net) จึงยังมีขีดความสามารถจำกัดในการประมวลผลและแสดงผลเชิงพื้นที่ อีกทั้งยังต้องการงานวิจัยที่สนับสนุนความเข้าใจในกระบวนการรวมกลุ่มและการตัดสินใจของเอเจนต์ที่เป็นกลุ่มอีกระยะหนึ่ง ดังนั้นการใช้ MAS ในทางการเกษตรในประเทศไทยยังอยู่ในระยะเริ่มต้น ตัวอย่างได้แก่การใช้ MAS ในการจัดการทรัพยากรธรรมชาติในลุ่มน้ำทางภาคเหนือของประเทศไทย (Becu *et al.*, 2003; Promburom, 2004)

การวิเคราะห์กระบวนการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์

นอกจากจะใช้การจำลองสถานการณ์ในการวิเคราะห์หาทางเลือกที่เหมาะสมแล้ว เรายังสามารถใช้วิธีการวิเคราะห์กระบวนการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์เพื่อวัตถุประสงค์ดังกล่าว วิธีนี้นิยมใช้ในงานวิจัยเชิงดำเนินการ (operation research) และต่อมานำมาใช้ในการจัดทรัพยากรเพื่อการเกษตร (Hayashi, 2000) วิธีการนี้ใช้ได้กับการตัดสินใจเกี่ยวข้องกับหลายปัจจัยแต่มี

วัตถุประสงค์เดียว (Multi-attribute Decision Making, MADM) หรือหลายปัจจัยหลายวัตถุประสงค์ (Multi-objective Decision Making, MODM) ข้อแตกต่างระหว่างการวิเคราะห์ทั้งสองประเภทคือ วิธีการ MADM จะคัดทางเลือกที่ต้องการตามวัตถุประสงค์จากทางเลือกที่มีอยู่จำนวนหนึ่ง โดยการวิเคราะห์คุณสมบัติของแต่ละทางเลือกว่าตรงตามหลักเกณฑ์ (criteria) มากน้อยเพียงใด จากนั้นจึงทำการเรียงลำดับทางเลือกตามระดับความเหมาะสมของทางเลือกเพื่อให้ผู้ตัดสินใจเลือกที่ต้องการ แต่วิธี MODM ใช้วิธีการวิเคราะห์เพื่อให้ได้ทางเลือกที่ดีที่สุดที่เข้ากับวัตถุประสงค์หลายวัตถุประสงค์ และข้อจำกัดที่ระบุเป็นสมการทางคณิตศาสตร์

ในวิธีการ MADM จุดสำคัญของการวิเคราะห์การตัดสินใจอยู่ที่กฎเกณฑ์การตัดสินใจ (decision rules) ซึ่งเป็นกระบวนการเรียงลำดับหรือคัดทางเลือกที่ใช้ได้ดีที่สุดสำหรับปัญหาหนึ่งๆ การวิเคราะห์อาจทำได้หลายวิธีการ เช่น การรวมแบบถ่วงน้ำหนัก (Simple additive weighting, SAW), Value/utility function, Analytic Hierarchy Process (AHP), Ideal point และ concordance เป็นต้น (Malczewski, 1999) ในบรรดาวิธีการเหล่านี้ วิธีการ SAW เป็นวิธีการที่ง่ายที่สุด ผู้ตัดสินใจเป็นผู้กำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก (weights) ของแต่ละหลักเกณฑ์ (ปัจจัย) ที่ใช้ตัดสินใจ คะแนนรวมของแต่ละทางเลือกคำนวณจากผลคูณของค่าถ่วงน้ำหนักและค่าความเหมาะสมของแต่ละปัจจัย แล้วรวมผลคูณดังกล่าวของปัจจัยทั้งหมดเข้าด้วยกัน ทางเลือกที่ได้คะแนนสูงสุดจะถูกเลือกเป็นลำดับแรก วิธีการนี้มีข้อจำกัดบางประการเนื่องจากมีสมมติฐานว่า ไม่มีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างปัจจัยตัดสินใจ เพื่อขจัดข้อจำกัดดังกล่าว Jiang and Eastman (2000) ได้เสนอให้ใช้วิธีการ Ordered Weighted Average (OWA) โดยใช้ค่าถ่วงน้ำหนักสองประเภท คือ ค่าถ่วงน้ำหนักแสดงความสำคัญของแต่ละหลักเกณฑ์ และค่าถ่วงน้ำหนักที่ใช้เรียงลำดับ (Ordered weight) ซึ่งแสดงระดับของการประนีประนอม (Trade-off) ระหว่างหลักเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจ ดังนั้น OWA จึงสามารถใช้ในการวางแผนการใช้ที่ดินด้วยกลยุทธที่ระดับความเสี่ยงต่าง ๆ

วิธีการทาง MADM ที่นิยมใช้กันมากกับการตัดสินใจด้านการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ ได้แก่ AHP เนื่องจากเป็นวิธีการที่มีโครงสร้างของปัญหาที่ต้องใช้กระบวนการตัดสินใจชัดเจน ตั้งแต่วัตถุประสงค์ หลักเกณฑ์ หลักเกณฑ์ย่อย จนถึงทางเลือกที่มีอยู่ ค่าถ่วงน้ำหนักคำนวณจากค่า Eigenvector ของเมตริกซ์ที่สร้างขึ้นจากการเปรียบเทียบหลักเกณฑ์ทีละคู่ ก่อนที่จะนำไปคำนวณค่าคะแนนความเหมาะสมของแต่ละทางเลือกเช่นเดียวกับวิธี SAW ตัวอย่างการใช้งาน AHP ทางการเกษตรและการจัดการทรัพยากรได้แก่งานของ Alphone (1997) เมธี และคณะ (2539) และ ธวัชชัย และวันชัย (2542)

ข้อจำกัดของ MADM คือในกรณีที่หลักเกณฑ์ไม่สามารถทำการวัดเป็นตัวเลขได้แน่ชัด การแปลงค่าจากข้อมูลที่เป็นข้อความไปเป็นคะแนนยังไม่มีมาตรฐานที่แน่นอน ทำให้ผลการประเมินแตกต่างกัน ดังนั้นจึงมีผู้เสนอให้บูรณาการ MADM เข้ากับเทคนิคการวิเคราะห์อื่น เช่น ลอจิกแบบฟัซซี (fuzzy logic) เป็นต้น ลอจิกแบบฟัซซีทำงานกับเซตฟัซซีซึ่งเป็นเซตที่ปราศจากขอบเขตที่ชัดเจน และสมาชิกของเซตมีระดับความเป็นสมาชิกภาพตั้งแต่ 0 ถึง 1 ถ้ามีค่าเป็น 0 หมายถึงไม่เป็นสมาชิกของเซต ถ้าค่าเข้าใกล้ 1 มากเท่าใดความเป็นสมาชิกภาพของเซตนั้นจะเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงใช้แสดงข้อมูลที่กำกวม ไม่ครบถ้วน ไม่แม่นยำ หรือมีความจริงบางส่วนได้ มีผู้นำแนวคิดด้านฟังก์ชันสมาชิกภาพมาผสมผสานกับ MADM ในการประเมินทางเลือกมากมาย เช่น ใช้ในการประเมินความเหมาะสมของที่ดินในการเพาะปลูก (Hall *et al*., 1992; Banai, 1993; Burrough and

McDonnell,l 1998; Jiang and Eastman, 2000) และเพื่อจัดการป่าไม้ (Mendoza and Prabhu, 2000) เป็นต้น

สำหรับวิธีการตัดสินใจแบบหลายวัตถุประสงค์ (multiobjective methods) นั้น การสร้างเซตของทางเลือกทำได้จากแบบจำลองการตัดสินใจที่ประกอบด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (objective function) ตั้งแต่ 2 ฟังก์ชันขึ้นไป ร่วมกับเซตของข้อจำกัดสำหรับตัวแปรที่ใช้ในการตัดสินใจ จากนั้นจึงหาทางเลือกที่เหมาะสมโดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ได้แก่ linear programming, goal programming, compromise programming, และ data envelopment เป็นต้น ถึงแม้ว่าวิธีการเหล่านี้จะมีประสิทธิภาพในการหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดเมื่อมีตัวแปรการตัดสินใจจำนวนไม่มากนัก แต่ในกรณีที่เป็นปัญหาขนาดใหญ่ที่มีตัวแปรตัดสินใจมีจำนวนมาก วิธีการเหล่านี้จะมีข้อจำกัดเนื่องจากการคำนวณซับซ้อน โดยเฉพาะถ้าต้องการเชื่อมโยงกับ GIS เพื่อการตัดสินใจที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์การจัดรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดิน นอกจากนี้ยังบูรณาการกับ GIS ได้ลำบากกว่าวิธีการ MADM (Malczewski, 2004)

การวิเคราะห์เชิงพื้นที่โดยใช้ระบบภูมิสารสนเทศ

หลักเกณฑ์และทางเลือกในการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนในทางการเกษตรและการจัดการทรัพยากรธรรมชาติส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับข้อมูลเชิงพื้นที่ ทรัพยากรดิน น้ำ ภูมิอากาศ การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปัจจัยเหล่านี้ล้วนผันแปรในเชิงพื้นที่และเป็นข้อมูลที่จำเป็นต้องนำเข้าในแบบจำลองข้อมูลดังกล่าวสามารถนำเข้า จัดการ วิเคราะห์ และแสดงผลได้อย่างมีประสิทธิภาพใน GIS ซึ่งเป็นชุดโปรแกรมที่ได้รับการออกแบบให้สามารถจัดการข้อมูลเชิงพื้นที่และข้อมูลอธิบายรายละเอียดประกอบทั้งในรูปแบบเวคเตอร์ (vector) และ ราสเตอร์ (raster) ระบบภูมิสารสนเทศในปัจจุบันได้รับการออกแบบเป็นวัตถุ (object) และมีฟังก์ชันมากมายที่สามารถทำการจำลองสถานการณ์และวิเคราะห์กระบวนการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ ดังนั้นการพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจจึงเกิดจากการบูรณาการระหว่าง GIS และแบบจำลองระบบพืช หรือแบบจำลองหลายเอเจนต์ หรือการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ การเชื่อมโยงเครื่องมือเหล่านี้เข้าด้วยกันทำให้เกิดเป็นระบบการตัดสินใจเชิงพื้นที่ (spatial decision support system) ในระบบดังกล่าว GIS ทำหน้าที่เป็นตัวขับเคลื่อนในการแลกเปลี่ยนข้อมูลกับแบบจำลองหรือวิธีการวิเคราะห์การตัดสินใจอื่น ประมวลผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ และแสดงผลการคัดทางเลือกในการตัดสินใจ และผลกระทบเมื่อใช้ทางเลือกเหล่านั้นเป็นแผนที่ ตารางหรือกราฟิกรูปแบบต่าง ๆ (เมธี, 2544)

การเชื่อมโยงระหว่างแบบจำลองพืชและ GIS สามารถทำได้หลายรูปแบบ (Hartkamp *et al.*, 1999) ตัวอย่างการบูรณาการระหว่างแบบจำลองพืชและ GIS ที่พัฒนาในประเทศไทย ได้แก่ ระบบสนับสนุนการตัดสินใจผลิตข้าวหรือโพสพ 1.0 (Jintrawet, 1995; เมธี และคณะ, 2543; พนมศักดิ์ และคณะ, 2543) อ้อยหรือเอราวัณ 1.0 (พนมศักดิ์ และคณะ, 2545) มันสำปะหลังหรือมันไทย 1.0 (Sarawat *et al*, 2004) และผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศ (อรรถชัย และคิม, 2545) การบูรณาการระหว่าง GIS และ MADM ทำได้สะดวกกว่าเนื่องจากสามารถเขียนระบบเชื่อมโยงให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในสถานการณ์สามารถร่วมกันกำหนดหลักเกณฑ์และค่าถ่วงน้ำหนัก ส่วนระบบ GIS ทำหน้าที่เรียกใช้และจัดการข้อมูลเชิงพื้นที่ตาม

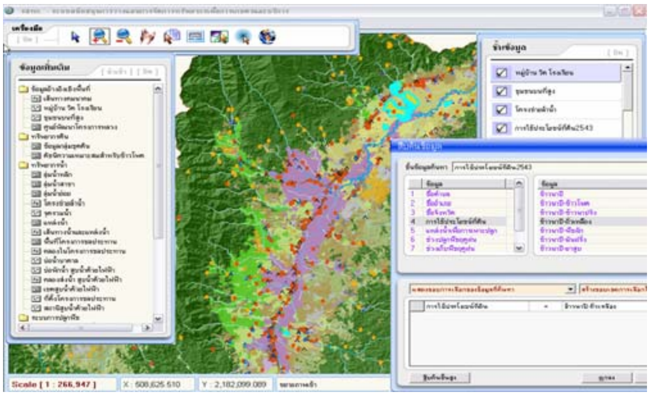
หลักเกณฑ์ดังกล่าว รวมทั้งคำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก ค่าคะแนนหรือดัชนีโดยรวมของแต่ละทางเลือก เพื่อจัดลำดับความสำคัญของแต่ละทางเลือกก่อนจะแสดงผลเป็นแผนที่ กระบวนการข้างบนสามารถทำซ้ำจนกระทั่งได้ผลลัพธ์เป็นที่พอใจของทุกฝ่ายที่มีส่วนได้ส่วนเสียในสถานการณ์ ตัวอย่างของระบบที่มีบูรณาการดังกล่าวได้แก่ ASSESS (Hill *et al.*, 2004) LUPAS (Van Ittersum *et al.*, 2004) LandSuit (เฉลิมพล และคณะ, 2545) AgZone (เฉลิมพล และเมธี, 2544) โดยธรรมชาติแล้วการบูรณาการระหว่าง GIS และ MAS น่าจะมีการพัฒนามากกว่าที่เป็นไปในปัจจุบัน เนื่องจากทั้งเอเจนต์และสิ่งแวดล้อมใน MAS จะต้องอ้างอิงตำแหน่งในพื้นที่เป้าหมาย ดังนั้นจึงสามารถจำลองและแสดงผลใน GIS ประเภทราสเตอร์ได้ อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของ GIS คือการจำลองสถานการณ์ในเชิงเวลายังไม่มีประสิทธิภาพเท่ากับการจำลองในเชิงพื้นที่ ในขณะที่ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาเพื่อใช้กับ MAS มีประสิทธิภาพในการจำลองปฏิสัมพันธ์ระหว่างเอเจนต์ด้วยกันเอง และระหว่างเอเจนต์กับสิ่งแวดล้อมที่เวลาต่างๆ มากกว่าการแสดงผลเป็นแผนที่หรือภูมิทัศน์ที่สื่อความหมายกับผู้ตัดสินใจ

การบูรณาการผ่านระบบเชื่อมโยงกับผู้ใช้

การออกแบบและพัฒนาระบบเรียกใช้งานในรูปแบบกราฟิก (Graphic User Interface, GUI) มีส่วนสำคัญเป็นอย่างมากในการกำหนดประสิทธิภาพการใช้งานของ รสจ. ลักษณะที่ดีของ GUI คือต้องให้ผู้ใช้มีบทบาทในการควบคุมการทำงานได้ดี ง่ายต่อการใช้ มีความคงเส้นคงวา (consistency) ในการใช้เมนู ปุ่มกด และส่วนที่โต้ตอบกับผู้ใช้ ตลอดจนมีคำอธิบายความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นแก่ผู้ใช้ (Acock *et al.*, 1999)

การสื่อสารกับผู้ใช้และการมีส่วนร่วมของผู้ตัดสินใจเป็นสิ่งสำคัญที่ผู้พัฒนาระบบการตัดสินใจควรให้ความสำคัญ เนื่องจากผู้ใช้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจมีหลายประเภท ผู้ปฏิบัติงานในสนามต้องการระบบฯ ที่ซ่อนความซับซ้อนของการจำลองสถานการณ์หรือการวิเคราะห์ทางเลือกไว้เบื้องหลัง แต่มี GUI ที่เป็นกันเองต่อผู้ใช้และอนุญาตให้ผู้ใช้สร้างเหตุการณ์จำลองเอง โดยการป้อนข้อมูลที่จำเป็น เช่น การเลือกพื้นที่ การกำหนดเป้าหมาย ระดับการจัดการ หลักเกณฑ์ และความสำคัญของแต่ละหลักเกณฑ์ เป็นต้น การแสดงผลควรอยู่ในรูปแบบที่ง่ายต่อความเข้าใจและสามารถโยงกับสิ่งที่เกิดขึ้นจริงในภูมิทัศน์ของพื้นที่เป้าหมายและพื้นที่อื่นที่ได้รับผลกระทบจากกระบวนการตัดสินใจ

ผู้ใช้ รสจ. ที่เป็นนักวิจัยอาจต้องการ รสจ. ที่อธิบายกระบวนการที่เกิดขึ้นในระบบที่ตนเองสนใจอย่างเป็นวิทยาศสตร์ และผ่านกระบวนการตรวจสอบมาเรียบร้อยแล้ว นอกจากนี้ยังต้องการระบบที่มีเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์อย่างสมบูรณ์ เพื่อใช้ในการทดสอบสมมติฐานที่ตนเองสนใจ หรือสามารถจำลองสถานการณ์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคตที่ระดับความไม่แน่นอนต่าง ๆ ในขณะที่ผู้ใช้ รสจ. เพื่อการวางแผนการเกษตรและจัดการทรัพยากร อาจไม่ต้องการเน้นรายละเอียดในด้านกระบวนการ แต่ต้องการระบบที่สามารถบูรณาการข้อมูลหลายรูปแบบเพื่อให้เห็นภาพรวมในแง่สถานภาพการใช้ทรัพยากร ศักยภาพในการผลิต และปัญหาที่อาจเกิดขึ้นจากความขัดแย้งในการใช้ทรัพยากรที่ดินและน้ำ ตัวอย่างของระบบดังกล่าวได้แก่ระบบสนับสนุนการวางแผนและจัดการทรัพยากรเพื่อการเกษตร (รสทก.) ที่ได้รับการออกแบบให้สามารถบูรณาการข้อมูลด้านทรัพยากรที่ดิน น้ำ และระบบการเกษตรที่สำคัญในภาคเหนือตอนบน (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 ระบบสนับสนุนการจัดการทรัพยากรเพื่อการเกษตร (รสทก.)

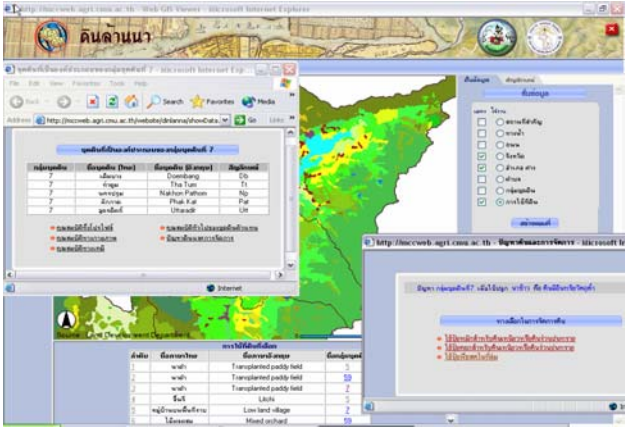
ระบบ รสทก. ทำหน้าที่เชื่อมโยงฐานข้อมูลเชิงพื้นที่เข้ากับส่วนการวิเคราะห์ผลเพื่อสนับสนุนกระบวนการตัดสินใจเพื่อการจัดการทรัพยากรที่ดิน น้ำ ระบบการผลิตพืช และการบริการ ระบบดังกล่าวได้รับการพัฒนาให้ทำงานร่วมกับระบบภูมิสารสนเทศ ArcGIS ทั้งนี้ได้คำนึงถึงความสะดวกและประสิทธิภาพในการดัดแปลงระบบ รสทก. ให้มีความเหมาะสมกับวัตถุประสงค์และความต้องการของผู้ใช้ที่มีความซับซ้อนแตกต่างกัน ระบบ รสทก. สามารถเรียกใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่ประเภท จุด เส้น และพื้นที่ พร้อมทั้งแสดงสัญลักษณ์และคำอธิบายสัญลักษณ์เหมือนกับที่ผู้พัฒนาข้อมูลเชิงพื้นที่จัดเตรียมมา ดังนั้นระบบ รสทก. จึงสามารถรองรับการแสดงผลข้อมูลเชิงพื้นที่อื่น ๆ ในอนาคตโดยไม่จำเป็นต้องออกแบบสัญลักษณ์ของข้อมูลเชิงพื้นที่ใหม่ เนื่องจากระบบ รสทก. ทำงานโดยอาศัยขีดความสามารถของ ArcGIS ดังนั้นจึงสามารถใช้ฟังก์ชันของ ArcGIS ในการแสดงผล สืบค้น และวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่อีกหลายประการ รวมทั้งเครื่องมือเพื่ออำนวยความสะดวกต่อผู้ใช้ที่ไม่มีพื้นฐานการใช้งานระบบ GIS ให้สามารถใช้ประโยชน์จากฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศด้านทรัพยากรเกษตรในการสนับสนุนการตัดสินใจเชิงบูรณาการ ระบบ รสทก. สามารถแสดงผลข้อมูลประเภทราสเตอร์ที่ได้จัดเก็บในฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศแล้ว เช่น แบบจำลองภูมิประเภทเชิงตัวเลข (DEM) ข้อมูลภาพดาวเทียม ข้อมูลภูมิอากาศ และข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ของระบบย่อย เช่น การชะล้างพังทลายของดิน และผลจากการประเมินที่ดินแบบอัตโนมัติ เป็นต้น ผู้ใช้ระบบนี้สามารถสืบค้นข้อมูลเชิงพื้นที่จากข้อมูลอรรถาธิบาย ทำให้การใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่สามารถสนับสนุนยุทธศาสตร์ทางการเกษตรและการจัดการทรัพยากรธรรมชาติในระดับจังหวัดได้อย่างมีประสิทธิภาพขึ้น

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจบนเว็บไซต์

การเชื่อมโยงผ่านเว็บไซต์เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ รสจ. สามารถเข้าถึงผู้ใช้ได้อย่างกว้างขวาง ข้อดีที่สำคัญคือผู้ใช้ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการจัดหาซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการจัดการข้อมูล วิเคราะห์ และแสดงผลข้อมูลภูมิสารสนเทศ หรือในการจำลองสถานการณ์ เพราะสามารถใช้ซอฟต์แวร์ประเภทบราวเซอร์ที่ใช้แสดงข้อมูลและภาพทางอินเตอร์เนตที่ดาวน์โหลดได้ฟรีอยู่แล้ว โดยที่การประมวลผลข้อมูลในแบบจำลองหรือ GIS เป็นหน้าที่ของผู้ให้บริการข้อมูลและการวิเคราะห์ ข้อดีอีกประการหนึ่งคือผู้ใช้ที่มีประสบการณ์ในการสืบค้นข้อมูลผ่านอินเตอร์เนตสามารถใช้ระบบ รสจ. ที่

พัฒนาบนอินเตอร์เนตได้โดยไม่ยาก เนื่องจากคุ้นเคยกับระบบสืบค้นและเชื่อมโยงกับหน้าเว็บต่าง ๆ ดีอยู่แล้ว ระบบสนับสนุนการตัดสินใจทางเกษตรและจัดการทรัพยากรหลายระบบได้เริ่มให้บริการผู้ใช้บนเว็บไซต์ ตัวอย่างของแบบจำลองที่ใช้งานบนอินเตอร์เนตได้แก่แบบจำลองการผลิตถั่วเหลือง WebGrow (Paz and Batchelor, 2003) และแบบจำลอง L-THIA Web (Engel *et al.*, 2003) สำหรับจำลองน้ำไหลบ่าและตะกอนในลุ่มน้ำขนาดเล็ก เป็นต้น

ระบบ WebGIS กำลังได้รับความสนใจจากนักวิจัยหลายกลุ่มที่ประสงค์จะให้มีการใช้ข้อมูลภูมิสารสนเทศเพื่อการเรียนรู้และสนับสนุนการตัดสินใจทางการเกษตรและจัดการทรัพยากรอย่างกว้างขวาง ด้วยวิธีการนี้ผู้ใช้ไม่ต้องจัดหาซอฟต์แวร์ GIS เนื่องจากฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศและโปรแกรมให้บริการข้อมูลเชิงพื้นที่ถูกจัดเก็บไว้ในเครื่องแม่ข่ายของหน่วยที่ให้บริการ ผู้ที่เข้ามาใช้บริการบนเว็บไซต์สามารถท่องไปในแผนที่บนหน้าจอภาพ เลือกชั้นข้อมูลเพื่อสืบค้น แสดงผลในรูปแผนที่ ตาราง หรือพิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์ ในปัจจุบันหน่วยงานบางหน่วยในกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ได้จัดทำเว็บไซต์เพื่อให้บริการสืบค้นข้อมูลเชิงพื้นที่แก่ผู้ใช้ทั่วไป เช่น เว็บไซต์ดินล้านนา (http://mccweb.agri.cmu.ac.th/dinlanna/index.html) ซึ่งเป็นเว็บไซต์ทรัพยากรดินและการใช้ ประโยชน์ที่ดินในภาคเหนือของประเทศ ที่พัฒนาขึ้นในโครงการความร่วมมือระหว่างกรมพัฒนา ที่ดินและศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ระบบนี้มี ขีดความสามารถในการแสดงแผนที่ สืบค้นแสดงปัญหาดินแต่กำเนิดและปัญหาดินที่เกิดจากการ ใช้ประโยชน์ที่ดิน (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 เว็บไซต์ดินล้านนาสำหรับสืบค้นข้อมูลภูมิสารสนเทศดินและการใช้ประโยชน์ที่ดิน

นอกจากนี้ยังแสดงทางเลือกในการแก้ปัญหาดินตามคำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดิน ระบบฯ มีเครื่องมือที่ผู้ใช้สามารถจัดการแสดงแผนที่และข้อมูลได้ในระดับที่เหมาะสมกับผู้ใช้ เช่น การย่อ/ขยายแผนที่ การเคลื่อนแผนที่ การวัดระยะทาง เลือกพื้นที่สำหรับสืบค้นข้อมูลในลักษณะต่าง ๆ รวมทั้งการเชื่อมโยงกันระหว่างข้อมูลข้อมูลกลุ่มชุดดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน และขอบเขตพื้นที่ ทำให้ผู้ใช้สามารถเลือกพื้นที่ตามขอบเขตการปกครองถึงระดับตำบล เขตสำนักงานพัฒนาที่ดินถึงสถานีพัฒนาที่ดิน และเขตลุ่มน้ำถึงระดับลุ่มน้ำสาขา ดังนั้นระบบดินล้านนาสามารถส่งเสริม

ให้ประชาชนทั่วไปได้ใช้ประโยชน์จากข้อสนเทศและองค์ความรู้ด้านดินและการใช้ประโยชน์ที่ดินที่กรมพัฒนาที่ดินดำเนินการวิจัยและพัฒนามาเป็นระยะเวลานาน นอกจากนี้ยังมีเว็บไซต์ของกรมประมงที่ให้ข้อมูลภูมิสารสนเทศด้านทรัพยากรประมงน้ำจืด ทรัพยากรประมงชายฝั่งทะเล และทรัพยากรประมงทะเล (http://gis.fisheries.go.th/gis/index.jsp) ส่วนเว็บไซต์ของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมนั้น มีระบบภูมิสารสนเทศทรัพยากรป่าไม้ ทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง ทรัพยากรน้ำ ทรัพยากรแร่ และทรัพยากรน้ำบาดาลให้ผู้ใช้สืบค้นที่เว็บไซต์ http://map.mnre.go.th

การเลือกแบบจำลองและวิธีการวิเคราะห์เพื่อใช้ในการสนับสนุนการตัดสินใจ

กระบวนการตัดสินใจเกิดขึ้นในระบบการเกษตรตั้งแต่ระดับแปลงจนถึงระดับประเทศ ทำให้ปัญหาและทางเลือกมีขนาดและความซับซ้อนที่แตกต่างกัน ไม่มีวิธีการวิเคราะห์ทางเลือกใดที่ใช้ได้ในทุกสถานการณ์ อย่างไรก็ตามแนวทางต่อไปนี้อาจเป็นประโยชน์ต่อการเลือกแบบจำลองและวิธีการที่เหมาะสมในการสนับสนุนการตัดสินใจ

ระดับแปลง

ผู้ตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีการผลิตในระดับแปลงอาจเป็นเกษตรกร นักส่งเสริม หรือนักวิชาการ ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจมักจะอยู่ในกรอบ "จะปลูกพืชอะไร? เมื่อใด? จัดการอย่างไรจึงจะให้ผลผลิตสูงและคุ้มค่าต่อการลงทุน?" ประเภทและระดับของเทคโนโลยีที่เกษตรกรอาจเลือกใช้ได้ในการผลิตพืช ตั้งแต่ไถพรวนจนถึงเก็บเกี่ยวมีจำนวนมหาศาล หากใช้วิธีการการวางแผนทดลองทางสถิติเพื่อให้ได้ทางเลือกที่ดีที่สุดจะต้องเปลืองทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ยังไม่สามารถครอบคลุมความผันแปรอันเนื่องมาจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างพืชและสภาพแวดล้อมได้อีกด้วย ปัญหานี้อาจแก้ไขได้โดยใช้แบบจำลองพืชที่มีการทดสอบภาคสนามในสภาพแวดล้อมที่ใช้ปลูกพืชนั้น ๆ การจำลองสถานการณ์ตามทางเลือกจำนวนมากสามารถดำเนินการแล้วเสร็จในเวลาอันสั้น ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองทางเลือกในการใช้เทคโนโลยีเหล่านั้นสามารถนำมาจัดลำดับตามผลผลิต ที่ระดับต่าง ๆ ทำให้ง่ายต่อการตัดสินใจเลือกใช้ตามทรัพยากรที่เกษตรกรมีอยู่

ระดับฟาร์ม

ในระดับฟาร์ม คำถามหลักที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจอาจจะเป็น "ถ้ามีพื้นที่อยู่ 25 ไร่ จะทำฟาร์มผสมผสานอย่างไรจึงจะได้ผลตอบแทนดีที่สุดและเสี่ยงน้อยที่สุด?" ในสถานการณ์เช่นนี้การใช้ MODM จะมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้แบบจำลองพืช เนื่องจาก MODM สามารถจำลองทางเลือกที่มีหลายวัตถุประสงค์จากตัวแปรที่ใช้ในการตัดสินใจที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยการผลิตพืชและสัตว์ ทรัพยากรและข้อจำกัดของเกษตรกรที่มีอยู่ และคัดทางเลือกที่ดีที่สุดที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ข้างบน

ระดับลุ่มน้ำ

กระบวนการตัดสินใจในระดับลุ่มน้ำมักเกี่ยวข้องกับทรัพยากรธรรมชาติ เช่น "ลุ่มน้ำย่อยใดมีปัญหาและต้องการฟื้นฟูมากที่สุด ถ้ามีงบประมาณจำกัด" ปัญหาที่ต้องตัดสินใจในลักษณะนี้เหมาะกับการใช้วิธีการ MADM ในการจัดเรียงลำดับความสำคัญของลุ่มน้ำ โดยใช้หลักเกณฑ์ที่

ได้มาจากการมีส่วนร่วมของผู้ที่มีส่วนได้ส่วนเสีย การบูรณาการระหว่าง MADM และ GIS เป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจากขอบเขตลุ่มน้ำรวมทั้งคุณสมบัติทางด้านกายภาพและเศรษฐกิจสังคมของลุ่มน้ำสามารถจัดเก็บเป็นฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศใน GIS นอกจากนี้ ก่อนการเรียงลำดับความสำคัญจะต้องทำการจำแนกลุ่มน้ำและให้รหัสลุ่มน้ำอย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะในกรณีพื้นที่เป้าหมายกว้างขวางขนาดลุ่มน้ำสาขา (ปิ่นเพชร และเมธี, 2547) การจัดลำดับความสำคัญของลุ่มน้ำสามารถดำเนินการได้ทั้งในระบบภูมิสารสนเทศประเภทราสเตอร์และเวคเตอร์

ในกรณีที่ต้องการจัดสรรทรัพยากรที่ดินหรือน้ำชลประทานเพื่อลดความขัดแย้งระหว่างชุมชนในลุ่มน้ำ เครื่องมือที่ช่วยการตัดสินใจได้ดีน่าจะเป็น MAS เนื่องจากได้รับการออกแบบให้สามารถจำลองกิจกรรมทางสังคม เช่น การรวมกลุ่ม การเจรจาระหว่างผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย และปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้มีส่วนได้ส่วนเสียกับสิ่งแวดล้อม ผ่านเอเจนต์ที่จำลองด้วยโปรแกรมเชิงวัตถุในระบบคอมพิวเตอร์ สามารถสร้างภาพเหตุการณ์ในอนาคตซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการเจรจาหาข้อตกลงในการใช้ทรัพยากรร่วมกันในสถานการณ์จริงได้ ประเด็นสำคัญที่จะต้องพิจารณาคือทำอย่างไรที่จะใช้ประโยชน์จากความสามารถของ GIS ด้านการจัดการ วิเคราะห์และแสดงผลเพื่อบูรณาการกับ MAS ในการสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่เป็นกันเองกับผู้ใช้ และแสดงผลการจำลองที่แสดงการเปลี่ยนแปลงการใช้ทรัพยากรในพื้นที่เป้าหมายได้สมจริงกว่าซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการจำลองแบบหลายเอเจนต์เช่นในปัจจุบัน ตัวอย่างของการพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจในแนวทางนี้ปรากฏใน Gimblett (2002) และ Barreteau *et al*. (2004)

ระดับจังหวัดและประเทศ

มีสถานการณ์หลายรูปแบบในทางการเกษตรที่รอการพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่สามารถจัดการกับข้อมูลขนาดใหญ่และสามารถวิเคราะห์ทางเลือกได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างเช่น การระบบพยากรณ์ผลผลิตพืชระดับประเทศ ระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อกำหนดเขตพืชเศรษฐกิจ ระบบการประเมินคุณภาพที่ดินเพื่อการเพาะปลูก เป็นต้น

ระบบการพยากรณ์ผลผลิตพืชเป็นสิ่งที่ผู้วางนโยบายประสงค์ที่จะมีไว้ใช้งาน การพัฒนาระบบการตัดสินใจในลักษณะนี้ต้องการบูรณาการในหลายมิติ ทั้งด้านการรวบรวมและจัดการข้อมูล วิธีการวิเคราะห์ และส่วนเชื่อมโยงกับผู้ใช้ ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการพัฒนาระบบพยากรณ์ผลผลิตข้าว ระบบฯ จะต้องมีองค์ประกอบที่สำคัญสามส่วนคือ 1) ระบบติดตามสถานการณ์พื้นที่เพาะปลูกข้าว ซึ่งควรจะใช้ข้อมูลภาพดาวเทียมเพื่อสร้างแผนที่เพาะปลูกข้าวให้มีความทันสมัยและถูกต้อง 2) ระบบรายงานและจัดการข้อมูลอุตุนิยมวิทยาประจำวันเพื่อเป็นข้อมูลนำเข้าในแบบจำลองข้าว 3) แบบจำลองข้าวที่ได้รับการทดสอบกับข้าวพันธุ์หลักในระบบนิเวศเกษตรที่สำคัญทั่วประเทศ 4) ระบบเชื่อมโยงกับผู้ใช้ที่ควรทำงานบน GIS เพื่ออำนวยความสะดวกให้ผู้ใช้เลือกพื้นที่เพื่อติดตามสถานการณ์การผลิตข้าวได้สะดวก ถึงแม้ว่าได้มีการพัฒนาระบบดังกล่าวในระดับจังหวัดในประเทศไทยสำหรับพืชสำคัญบางพืช เช่น ข้าว (Jintrawet, 1995; พนมศักดิ์ และคณะ, 2543; เมธี และพนมศักดิ์, 2545; อรรถชัย และคิม, 2545) อ้อย (พนมศักดิ์ และคณะ, 2545) มันสำปะหลัง (Sarawat *et al*, 2004) อย่างไรก็ตาม ระบบดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อประมาณผลผลิตพืชในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ โดยใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในอดีตหรือในฤดูปลูกในขณะดำเนินการวิจัยแต่ไม่ได้เป็นข้อมูลวันต่อวันดังเช่นต้องใช้ในการพยากรณ์ผลผลิต อีกทั้งยังไม่ได้ทดสอบแบบจำลองกับพันธุ์พืชและสภาพแวดล้อมทั่วประเทศ ดังนั้นจึงมีความต้องการงานวิจัยที่นำไปสู่การสร้างชั้นข้อมูล

พื้นที่เพาะปลูกพืชที่แม่นยำโดยอาศัยข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีอยู่ล่าสุดผสมผสานกับการติดตามการเปลี่ยนแปลงในระดับสนามโดยใช้เครือข่ายกลุ่มเกษตรกร หมอดิน หรือเจ้าหน้าที่ระดับตำบลของหน่วยงานต่าง ๆ เพื่อลดค่าใช้จ่ายและเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียมซึ่งจะต้องใช้งบประมาณมหาศาลถ้าจะต้องจัดหาทุกปี

ความต้องการระบบสนับสนุนการตัดสินใจในระดับประเทศอีกประการหนึ่งคือ การจัดเขต (โซน) พืชเศรษฐกิจ มีทางเลือกในการพัฒนาระบบดังกล่าว 2 วิธีการคือ *วิธีแรก* ใช้แบบจำลองพืชเป็นตัวขับเคลื่อนเพื่อประมาณผลผลิตพืช แล้วจึงใช้ GIS ในการวิเคราะห์เชิงพื้นที่เพื่อให้ได้เขตที่เหมาะสมสำหรับพืชเศรษฐกิจ วิธีการนี้มีข้อจำกัดบางประการ เช่น แบบจำลองสำหรับไม้ผลที่เป็นพืชเศรษฐกิจ อาทิ ลำไย ทุเรียน มังคุด กาแฟ รวมทั้งพืชล้มลุกบางชนิดได้แก่ สับปะรด ยังไม่มีการพัฒนาและทดสอบในประเทศไทย นอกจากนี้ยังมีหลักเกณฑ์ที่ใช้กำหนดเขตพืชเศรษฐกิจเป็นการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ เช่น ระยะทางจากโรงงาน ไม่สามารถผนวกเข้ากับการจำลองพืชได้ *วิธีที่สอง* ใช้วิธีการ MCDM ซึ่งทำงานร่วมกับ GIS เพื่อการประเมินคุณภาพที่ดินและหลักเกณฑ์อื่นที่เป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ เช่น ระยะทางจากโรงงาน ไม่เป็นพื้นที่ป่าสงวน เขตอุทยานแห่งชาติ และเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า เป็นต้น การวิเคราะห์โดยใช้ MADM นอกจากสามารถใช้ค่าถ่วงน้ำหนักความสำคัญของหลักเกณฑ์จากผู้ตัดสินใจแล้ว ยังประมวลผลได้อย่างมีประสิทธิภาพใน GIS ทำให้พัฒนาระบบเชื่อมโยงที่เป็นกันเองกับผู้ใช้ได้ดี ตัวอย่างระบบสนับสนุนการจัดเขตพืชเศรษฐกิจที่พัฒนาแล้วได้แก่ AgZone (เฉลิมพล และเมธี, 2544) และระบบ Land Use Planning and Analysis System, LUPAS (Van Ittersum *et al.*, 2004) ที่ใช้วิธีการ Multiple Goal Programming ร่วมกับ GIS ในการวางแผนการใช้ที่ดิน

สรุป

ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีสารสนเทศทั้งในด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ทำให้การพัฒนาแบบจำลองและการวิเคราะห์สถานการณ์เป็นไปอย่างรวดเร็วและมีหลากหลายประเภทครอบคลุมระบบการเกษตรตั้งแต่แปลงปลูกพืชจนถึงระดับภูมิภาค ทำให้สามารถบูรณาการข้อมูลประเภทต่าง ๆ เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจตามสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในทางการเกษตรและการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ เนื่องจากแบบจำลองและการวิเคราะห์กระบวนการตัดสินใจเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ ดังนั้นการเลือกแบบจำลองหรือวิธีการวิเคราะห์มาใช้ในระบบการตัดสินใจจึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญ แบบจำลองแต่ละระบบมีการออกแบบและวัตถุประสงค์แตกต่างกัน การเลือกระบบใดระบบหนึ่งควรคำนึงถึงลำดับชั้นในทางเกษตร ผู้ใช้ทรัพยากรที่มีอยู่และความต้องการข้อมูลของแต่ละระบบ ในสถานการณ์ที่มีข้อมูลสมบูรณ์และผู้ใช้มีความเข้าใจในกระบวนการที่เกิดขึ้นในระบบดีพอ อาจใช้แบบจำลองเชิงพลวัตในระบบสนับสนุนการตัดสินใจได้ อย่างไรก็ตามหากสถานการณ์ที่ต้องการแก้ปัญหาเกี่ยวข้องกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่มีหลายวัตถุประสงค์และความเห็นไม่ตรงกัน อีกทั้งข้อมูลในเชิงปริมาณมีจำนวนจำกัด การใช้วิธีการวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์จะเหมาะสมกว่า เนื่องจากเอื้ออำนวยให้เกิดการมีส่วนร่วมของผู้ตัดสินใจในการกำหนดวัตถุประสงค์ หลักเกณฑ์ และความสำคัญของแต่ละหลักเกณฑ์ยังผลให้การวิเคราะห์มีโอกาสที่จะได้รับการยอมรับจากทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง อย่างไรก็ดี ไม่ว่าจะใช้

แบบจำลองหรือวิธีการวิเคราะห์ใด การสื่อสารกับผู้ใช้ให้ง่ายและเป็นกันเองเป็นสิ่งที่ช่วยให้มีการใช้งานระบบสนับสนุนการตัดสินใจมากขึ้น ดังนั้นการบูรณาการแบบจำลองและวิธีการวิเคราะห์เข้ากับระบบภูมิสารสนเทศจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการใช้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการวางแผนยุทธศาสตร์เพื่อจัดการทรัพยากรทางการเกษตร ทั้งนี้เนื่องจากการวางแผนยุทธศาสตร์ต้องการข้อมูลนำเข้าและผลลัพธ์เป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ เพื่อให้สามารถเห็นความสัมพันธ์ของข้อมูลประเภทต่าง ๆ ได้ดี ทำให้เกิดระบบที่สนับสนุนการทำงานเชิงบูรณาการอย่างแท้จริง

เอกสารอ้างอิง

จิรวัฒน์ เวชแพศย์ ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา และอานันท์ ผลวัฒนะ. 2543. การประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวสำหรับแบบจำลอง CERES-Rice *ใน* เมธี เอกะสิงห์ และคณะ (บรรณาธิการ). ระบบสนับสนุนการตัดสินใจการผลิตข้าว ***รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ส่วนที่ 1 โครงการวิจัยระบบสนับสนุนการตัดสินใจการผลิตพืช: ข้าวในภาคเหนือ.*** เชียงใหม่: ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. น.141-189.

เฉลิมพล สำราญพงษ์ เมธี เอกะสิงห์ และเบญจพรรณ เอกะสิงห์. 2545. ระบบสนับสนุนการประเมินคุณภาพที่ดินเพื่อการเกษตร. *ใน* ***รายงานการสัมมนาวิชาการระบบเกษตรแห่งชาติ ครั้งที่ 2 เรื่อง ระบบเกษตรเพื่อการจัดการทรัพยากรและพัฒนาชนบทเชิงบูรณาการ*** *ระหว่างวันที่ 26-27 สิงหาคม 2545 ณ โรงแรมโฆษะ* อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น. กรมวิชาการเกษตรและมหาวิทยาลัยขอนแก่น. น.220-238.

เฉลิมพล สำราญพงษ์ และเมธี เอกะสิงห์. 2544. ***คู่มือการใช้งานระบบสนับสนุนการกำหนดเขตการปลูกพืชเศรษฐกิจ***: AgZone 1.0. เชียงใหม่: ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ธวัชชัย จึงเจริญ และวันชัย วิรานันท์. 2542. ***การใช้เทคนิค*** *Analytic Hierarchy Process (AHP)* ***เพื่อการแก้ไขปัญหาการบุกรุกพื้นที่ป่าต้นน้ำ***. ฝ่ายสำรวจและวางแผน ส่วนอนุรักษ์ต้นน้ำ สำนักอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ปิ่นเพชร สกุลส่องบุญศิริ และเมธี เอกะสิงห์. 2547. การพัฒนาระบบภูมิสารสนเทศเครือข่ายลุ่มน้ำในภาคเหนือตอนบน. ใน ***รายงานการสัมมนาระบบเกษตรแห่งชาติ ครั้งที่ 3 เรื่อง "สู่ระบบการผลิตอาหารที่ปลอดภัย สร้างมูลค่าเพิ่ม และใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืน"*** *ระหว่างวันที่ 9-11 พฤศจิกายน 2547 ณ โรงแรมโลตัสปางสวนแก้ว อ.เมือง จ.เชียงใหม่.*

พนมศักดิ์ พรหมบุรมย์ ปราการ ศรีงาม และอรรถชัย จินตะเวช. 2545. ***ระบบประมาณการผลผลิตอ้อยในพื้นที่ขนาดใหญ่ "อ้อยไทย 1.0"***. เชียงใหม่: ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

พนมศักดิ์ พรหมบุรมย์ อรรถชัย จินตะเวช และเมธี เอกะสิงห์. 2543. โครงสร้างของระบบสนับสนุนการตัดสินใจการผลิตข้าว: โพสพ 1.0. *ใน* เมธี เอกะสิงห์ และคณะ (บรรณาธิการ). ระบบสนับสนุนการตัดสินใจการผลิตข้าว. ***รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ส่วนที่ 1***

โครงการวิจัยระบบสนับสนุนการตัดสินใจการผลิตพืช: ข้าวในภาคเหนือ. เชียงใหม่: ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. น.213-217.

เมธี เอกะสิงห์. 2544. ระบบสนับสนุนการตัดสินใจเชิงพื้นที่: มิติใหม่ของการวิเคราะห์และวางแผนระบบเกษตร. *ใน* ***รายงานการสัมมนาระบบเกษตรแห่งชาติ ครั้งที่ 1 เรื่อง ระบบเกษตรเพื่อการจัดการทรัพยากรและพัฒนาองค์กรชุมชนอย่างยั่งยืน*** *ระหว่างวันที่ 15-17พฤศจิกายน 2543 ณ โรงแรมหลุยส์ เทรเวิร์น กรุงเทพฯ.* น.193-212.

เมธี เอกะสิงห์ และ พนมศักดิ์ พรหมบุรมย์. 2545. ข้อมูลเชิงพื้นที่และการขยายผลการศึกษาข้ามลำดับชั้นในระบบเกษตร. *ใน* ***รายงานการสัมมนาวิชาการระบบเกษตรแห่งชาติ ครั้งที่ 2 เรื่อง ระบบเกษตรเพื่อการจัดการทรัพยากรและพัฒนาชนบทเชิงบูรณาการ*** *ระหว่างวันที่ 26-27 สิงหาคม 2545 ณ โรงแรมโฆษะ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น.* กรมวิชาการเกษตร และมหาวิทยาลัยขอนแก่น. น. 207-219.

เมธี เอกะสิงห์ พนมศักดิ์ พรหมบุรมย์ อรรถชัย จินตะเวช และศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา. 2543. ระบบสนับสนุนการตัดสินใจการผลิตข้าว: แนวคิดและหลักการ. *ใน* เมธี เอกะสิงห์ และคณะ (บรรณาธิการ). ระบบสนับสนุนการตัดสินใจการผลิตข้าว. ***รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ส่วนที่ 1 โครงการวิจัยระบบสนับสนุนการตัดสินใจการผลิตพืช: ข้าวในภาคเหนือ***. เชียงใหม่: ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. น.1-11.

เมธี เอกะสิงห์ พรวิไล ไทรโพธิ์ทอง และชัยวัฒน์ ไชยคุปต์. 2539. การคัดเลือกพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลาในนาข้าวโดยใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์. ใน ***รายงานการสัมมนาระบบการทำฟาร์ม ครั้งที่ 11: ระบบเกษตรกรรมเพื่อเกษตรกร สิ่งแวดล้อม และความยั่งยืน***. กรมวิชาการเกษตร. น.174-185.

วิถี มณีวรรณ และเมธี เอกะสิงห์. 2533. การทดสอบแบบจำลองการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองปลูกหลังข้าวในที่ราบลุ่มเชียงใหม่. ใน ***รายงานการสัมมนาเชิงปฏิบัติการถั่วเหลือง ครั้งที่ 3*** วันที่ 21-23 กุมภาพันธ์ 2543 ณ โรงแรมเชียงใหม่พลาซา จังหวัดเชียงใหม่. น.306-320.

สุนทร บูรณะวิริยะกุล และอรรถชัย จินตะเวช. 2541. การประมาณค่าเฉพาะพันธุกรรมของถั่วแดงหลวงเพื่อใช้แบบจำลอง BEANGRO. *Agricultural Technical Report No.52*. เชียงใหม่: ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สุนทร บูรณะวิริยะกุล และเมธี เอกะสิงห์. 2537. การศึกษาค่าจำเพาะพันธุ์ของถั่วเหลืองเพื่อการทดสอบแบบจำลองการเจริญเติบโต. *Agricultural Technical Report No.36.* เชียงใหม่: ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อรรถชัย จินตะเวช และคิม ซี เหงียน. 2545. การจำลองผลกระทบของสภาพบรรยากาศในอนาคตต่อการผลิตข้าว. *ใน* ***รายงานการสัมมนาวิชาการระบบเกษตรแห่งชาติ ครั้งที่ 2 เรื่อง ระบบเกษตรเพื่อการจัดการทรัพยากรและพัฒนาชนบทเชิงบูรณาการ*** *ระหว่างวันที่ 26-27 สิงหาคม 2545 ณ โรงแรมโฆษะ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น.* กรมวิชาการเกษตร และมหาวิทยาลัยขอนแก่น. น.239-251.

Acock,B., Y.A. Pachepsky, E.V. Mironenko, F.D. Whisler, and V.R. Reddy. 1999. GUICS: a generic user interface for on-farm crop simulations. ***Agronomy Journal*** 91: 657-665.

Alphonce, C.B. 1997. Application of the analytic hierarchy process in agriculture in developing countries. ***Agricultural Systems*** 53: 97-112.

Banai, R. 1993. Fuzziness in geographic information systems: contributions from the analytic hierarchy process. ***International Journal of Geographic Information Systems*** 7: 315-329.

Banterng, P., A. Patanothai, K. Pannangpetch, S. Jogloy, and G. Hoogenboom. 2004. Determination and evaluation of genetic coefficients of peanut lines for breeding applications. ***European Journal of Agronomy*** 21:297-310.

Barreteau, O. 2003. The joint use of role-playing games and models regarding negotiation processes: Characterization of associations. ***Journal of Artificial Societies and Social Simulation*** 6(2). Electronic document: http://jasss.soc.surrey.ac.uk/6/2/3.html.

Barreteau, O., F. Bousquet, C. Millier, and J. Weber. 2004. Suitability of Multi-Agent Simulations to study irrigated system viability: application to case studies in the Senegal River Valley. ***Agricultural Systems*** 80: 255-275.

Becu, N., P. Perez, A. Walker, O. Barreteau, and C.L. Page. 2003. Agent based simulation of a small catchment water management in northern Thailand: Description of the CATCHSCAPE model. ***Ecological Modelling*** 170: 319-331.

Berger, T. 2001. Agent-based spatial models applied to agriculture: a simulation tool for technology diffusion, resource use changes and policy analysis. ***Agricultural Economics*** 25: 245-260.

Bouman, B.A.M., M.J. Kropff, T.P. Tuong, M.C.S. Wopereis, H.F.M. Ten Berge, and H.H. Van Laar. 2001. ORYZA2000. Modeling Lowland Rice. Manila: ***International Rice Research Institute.***

Bousquet, F. and C. Le Page. 2004. Multi-agent simulations and ecosystem management: a review. ***Ecological Modelling*** 176: 313-332.

Bousquet, F., I. Bakam, H. Proton, and C. Le Page. 1998. Cormas: common-pool resources and multi-agent systems. ***Lecture Notes in Artificial Intelligence*** 1416: 826-837.

Buddaboon, C., D. Mooloi, and A. Jintrawet. 2001. Methane emission from various land use types in the Mae Chaem watershed: Modeling of methane production/consumption. ***Thai Journal of Agricultural Science*** 34 (3): 175-186.

Burrough, P.A. and R.A. McDonnell. 1998. ***Principles of Geographical Information Systems***. New York: Oxford University Press.

De Wit, C.T. 1978. ***Simulation of Assimilation Respiration and Transpiration of Crops (Simulation Monographs)***. Pudoc, Wageningen, the Netherlands.

Engel, B.A., J.Y. Choi, J. Harbor, and S. Pandey. 2003. Web-based DSS for hydrologic impact evaluation of small watershed land use changes. ***Computers and Electronics in Agriculture*** 39: 241-249.

Evans, T.P. and H. Kelley. 2004. Multi-scale analysis of a household level agent-based model of landcover change. ***Journal of Environmental Management*** 72: 57-72.

Gilbert, N. and K.G. Troitzsch. 1999. ***Simulation for the Social Scientist***. Buckingham: Open University Press.

Gimblett, H.R. (ed.). 2002. ***Integrating Geographic Information Systems and Agent-based Modeling Techniques for Simulating Social and Ecological Processes.*** Oxford University Press.

Hall, G.B., F. Wang, and Subaryono.1992. Comparison of boolean and fuzzy classification methods in land suitability analysis by using geographic information systems. ***Environment and Planning A*** 24: 497-516.

Hartkamp, A.D., J.W. White, and G. Hoogenboom. 1999. Interfacing geographic information systems with agronomic modeling: A Review. ***Agronomy Journal*** 9: 761-722.

Hayashi, K. 2000. Multicriteria analysis for agricultural resource management: A critical survey and future perspectives. ***European Journal of Operational Research*** 122: 486-500.

Hill, M.J., R. Braaten, S.M. Veitch, B.G. Lees, and S. Sharma. 2004. Multi-criteria decision analysis in spatial decision support: the ASSESS analytic hierarchy process and the role of quantitative methods and spatially explicit analysis. ***Environmental Modelling & Software*** (In Press)

Jiang, H. and J.R. Eastman. 2000. Application of fuzzy measures in multi-criteria analysis for land-use suitability assessment. ***International Journal of Geographic Information Science*** 15(2): 153-174.

Jintrawet, A. 1995. A decision support system for rapid assessment of lowland rice-based cropping alternatives in Thailand. ***Agricultural Systems*** 47: 245-258.

Jones, J.W., G. Hoogenboom, C.H. Porter, K.J. Boote, W.D. Batchelor, L.A. Hunt, P.W. Wilkens, U. Singh, A.J. Gijsman, and J.T. Ritchie. 2003. The DSSAT cropping system model. ***European Journal of Agronomy*** 18: 235-265.

Jones, J.W., G.Y. Tsuji, G. Hoogenboom, L.A. Hunt, P.K. Thornton, P.W. Wikins, D.T. Imamura, W.T. Bowen, and U. Singh. 1998. ***Decision support system for agrotechnolgy transfer:*** DSSAT v3. *In* Tsuiji, G.Y., G. Hoogenboom, and P.K. Thornton (eds.). Understanding Options for Agricultural Production. Kluwer Academic Publishers. pp.157-177.

Laine, T. and J. Busemeyer. 2004. Comparing agent-based learning models of land-use decision making. A paper presented at the ***North American Association for Computational Social and Organizational Science Conference***, June 27-29, 2004, Pittsburgh PA.

Malczewski, J. 2004. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. ***Progress in Planning*** 62: 3-65.

Malczewski, J. 1999. ***GIS and Multi-criteria Decision Analysis.*** New York: John Wiley & Sons, Inc.

Mendoza, G.A. and R. Prabhu. 2000. Multiple criteria decision making approaches to assessing forest sustainability using criteria and indicators: a case study. ***Forest Ecology and Management*** 131: 107-126.

Parker, M. 2001. What is Ascape and why should you care? ***Journal of Artificial Societies and Social Simulation*** 4(1). Electronic document: http://www.soc.surrey.ac.uk/JASSS/4/1/5.html

Parrott, L., R. Lacroix, and K.M. Wade. 2003. Design considerations for the implementation of multi-agent systems in the dairy industry. ***Computers and Electronics in Agriculture*** 38: 79-98.

Paz, J.O. and W.D. Batchelor. 2003. Web-based soybean yield simulation model to analyze the effects of interacting yield-limiting factors. A paper presented at the ***2003 ASAE Annual Meeting***, 27-30 July 2003, Las Vegas, Nevada.

Promburom, P. 2004. Participatory multi-agent systems modeling for collective watershed management: The use of role playing game. ***Proceedings of the 2nd International Conference of the European Social Simulation Association***, September 16-19, 2004.

Promrit, S. and A. Jintrawet. 2001. A sugarcane flowering model. ***Thai Journal of Agricultural Science*** 34(3): 111-122.

Sarawat, V., S. Ratanasriwong, K. Puangprakon, P. Sringam, and A. Jintawet. 2004. MunThaiDSS: A Decision Support System for Cassava Production. Proceedings of the ***Joint Conference of The 4th International Conference of The Asian Federation of Information Technology in Agriculture and The 2nd World Congress on Computers in Agriculture and Natural Resources***, August 9-12, 2004. Bangkok, Thailand. Electronic document: http://www.afitaandwcca2004.net/program-sch.htm.

Spitters, C.J.T. 1990. Crop growth models: their usefulness and limitations. ***Acta Horticulture*** 267: 349-368.

Stockle, C.O., M. Donatelli, and R.Nelson. 2003. CropSyst, a cropping systems simulation model. ***European Journal of Agronomy*** 18: 289-307.

Stockle, C.O., S. Martin, and G.S. Cambell. 1994. CropSyst, a cropping systems model: water/nitrogen budgets and crop yield. ***Agricultural Systems*** 46: 335-359.

Uehara, G. and G.Y. Tsuji. 1998. ***Overview of IBSNAT***. *In* Tsuiji, G.Y., G. Hoogenboom, and P.K. Thornton (eds.). Understanding Options for Agricultural Production. Kluwer Academic Publishers. pp.1-7.

Van Delden, A., M.J. Kropff, A. Haverkort. 2001. Modeling temperature and radiation-driven leaf area expansion in the contrasting crops potato and wheat. ***Field Crops Research*** 72: 119-142.

Van Ittersum, M.K., R.P. Roetter, H. van Keulen, N. de Ridder, C.T. Hoanh, A.G. Laborte, P.K. Aggarwal, A.B. Ismail, and A. Tawang. 2004. A systems network (SysNet) approach for interactively evaluating strategic land use options at sub-national scale in South and South-east Asia. ***Land Use Policy*** 21: 101-113.

Van Ittersum, M.K., P.A. Leffelaar, H. van Keulen, M.J. Kropff, L. Bastiaans, and J. Goudriaan. 2003. On approaches and applications of the Wageningen crop models. ***European Journal of Agronomy*** 18: 201-234.

Wang, E., M.J. Robertson, G.L. Hammer, P.S. Carberry, D. Holzworth, H. Meinke, S.C. Chapman, J.N.G. Hargreaves, N.I. Huth, and G. McLean. 2002. Development of a generic crop model template in the cropping system model APSIM. ***European Journal of Agronomy*** 18: 121-140.

Woodford, B.J., C.H. Waring, J.T.S. Walker, and N.K. Kasabov. 1999. An adaptive agent-based distributed expert system for pest management. *In* ***Proceedings of the ICONIP/ANZIIS/ANNES'99 International Workshop,*** *Dunedin, New Zealand November 22-24, 1999.* pp 207-212.