ระบบสนับสนุนการตัดสินใจเชิงพื้นที่: มิติใหม่ของการวิเคราะห์และวางแผนระบบเกษตร

เมธี เอกะสิงห์ [1/]

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์ระบบเกษตร เป็นขั้นตอนสำคัญในกระบวนการใช้แนวทางเชิงระบบในการวิจัยและพัฒนาการเกษตร ในงานวิจัยระบบการทำฟาร์ม การวิเคราะห์ระบบจะเน้นการใช้วิธีการที่สามารถระบุปัญหา เรียงลำดับความสำคัญของปัญหา และคัดทางเลือกที่มีศักยภาพในการแก้ปัญหา เพื่อนำไปทำการทดสอบร่วมกับเกษตรกรในไร่นา เมื่อขอบเขตของระบบที่สนใจขยายขึ้นเป็นระดับชุมชน งานวิเคราะห์ระบบเกษตรจึงเปลี่ยนมาใช้วิธีการวิเคราะห์ระบบนิเวศเกษตร และการประเมินสภาวะชนบทแบบเร่งด่วน หรือวิธีการที่คล้ายคลึงกันในชื่ออื่น วิธีการเหล่านี้ ต่างประกอบด้วยขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ ซึ่งนำไปสู่การระบุปัญหาและโอกาส ในแต่ละระบบย่อยในพื้นที่เป้าหมาย ดังนั้น จึงต้องการระบบที่ช่วยในการเตรียมข้อมูลก่อนวิเคราะห์ มีวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ และการแสดงผลที่มีประสิทธิภาพ รวดเร็ว แม่นยำ และในรูปแบบที่สนับสนุนให้เกิดปฏิสัมพันธ์ในเชิงความคิดเห็นระหว่างทีมงานสหสาขาวิชา โดยเฉพาะเมื่อทำการวิเคราะห์ระบบในลำดับชั้นที่สูงขึ้น เช่น ระดับลุ่มน้ำและจังหวัด เป็นต้น

รายงานฉบับนี้จะทบทวนรูปแบบของการวิเคราะห์ระบบเกษตรที่ผ่านมา พร้อมทั้งเสนอแนวทางการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศด้านข้อมูลเชิงพื้นที่ และวิธีการวิเคราะห์เชิงปริมาณ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการตัดสินใจ เพื่อพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ระบบเกษตรในรูปแบบใหม่ ซึ่งระบบดังกล่าว มีศักยภาพในการสนับสนุนกระบวนการตัดสินใจ ของผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในการพัฒนาการเกษตรและการจัดการทรัพยากรธรรมชาติในลำดับชั้นต่าง ๆ ตั้งแต่ ฟาร์ม ลุ่มน้ำ และจังหวัดขึ้นไป ทั้งนี้จะยกตัวอย่างกรณีศึกษาในประเทศไทย เพื่อแสดงให้เห็นถึงศักยภาพและข้อจำกัดในการพัฒนาระบบดังกล่าว

คำนำ

การวิเคราะห์พื้นที่ เป็นขั้นตอนลำดับต้นของการใช้แนวทางเชิงระบบในงานวิจัยและพัฒนาการเกษตร ตั้งแต่ยุคสมัยที่ยังรู้จักกันในนามของงานวิจัยระบบการปลูกพืช (Zandstra *et al*., 1981) ในขั้นตอนดังกล่าว นักวิจัยทำคำอธิบายพื้นที่เป้าหมายโดยใช้ข้อมูลสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ดิน แหล่งน้ำ ภูมิอากาศ ระบบการปลูกพืช และทรัพยากรที่เกษตรกรมีอยู่ในขณะนั้น ข้อมูลเหล่านี้ผันแปรในเชิงพื้นที่และเป็นตัวกำหนดปัญหา รวมทั้งผลิตภาพระบบการปลูกพืช ดังนั้น ความเข้าใจตัวแปรที่กำหนด

[1/] ภาควิชาปฐพีศาสตร์ฯ และศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สภาพแวดล้อมของการผลิต จึงนำไปสู่การออกแบบระบบการปลูกพืช หรือเลือกใช้เทคโนโลยีและการจัดการ ที่ปรับปรุงผลิตภาพของระบบการปลูกพืชที่เกษตรกรปฏิบัติอยู่

ต่อมาการใช้แนวทางเชิงระบบได้ขยายขอบเขตเป็นระดับฟาร์ม และได้มีการพัฒนาวิธีการศึกษาในรูปของงานวิจัยและพัฒนาระบบการทำฟาร์ม (Byerlee and Collinson, 1980) การวินิจฉัยปัญหายังคงต้องการข้อมูลเชิงพื้นที่ด้านสภาพแวดล้อมทางกายภาพและชีวภาพ เพื่อวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลทางเศรษฐกิจสังคม ซึ่งจะนำไปสู่การจัดลำดับความสำคัญของปัญหาที่ต้องการวิจัยในไร่นาร่วมกับเกษตรกร นอกจากนี้ ข้อมูลเชิงพื้นที่ยังช่วยในการระบุพื้นที่เป้าหมาย ในการขยายผลของเทคโนโลยีที่ผ่านการทดสอบในไร่นาเกษตรกรอีกด้วย

เมื่อแนวทางเชิงระบบได้รับการพัฒนาเป็นวิธีการวิเคราะห์ระบบนิเวศเกษตร (Agroecosystem Analysis, AA) ข้อมูลเชิงพื้นที่จึงมีบทบาทเพิ่มขึ้นอย่างมาก เนื่องจากการระบุปัญหาและศักยภาพในพื้นที่เป้าหมาย ต้องอาศัยการวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ขององค์ประกอบต่าง ๆในระบบ รวมทั้งความสัมพันธ์ของตัวแปรเชิงพื้นที่ที่มีส่วนกำหนดผลิตภาพ เสถียรภาพ ความยั่งยืน และความเสมอภาคของระบบการเกษตร (Gypmantasiri *et al*., 1981; Conway, 1985) เนื่องจากการวิเคราะห์รูปแบบเชิงพื้นที่ มักจะเผยให้เห็นถึงข้อมูลที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับปัญหาและการจัดการระบบเกษตรในพื้นที่เป้าหมาย ดังนั้น จึงเป็นขั้นตอนหลักขั้นตอนหนึ่งในวิธีการสำรวจภาวะชนบทแบบเร่งด่วน (Rapid Rural Appraisal, RRA) และงานวิจัยเชิงระบบแบบมีส่วนร่วมในชื่ออื่น (Collinson, 1981; Hildebrand, 1981; Rhoades, 1985; Lightfoot *et al*., 1988)

แนวทางเชิงระบบ ไม่ว่าจะเป็น “soft system” หรือ “hard system” ต่างก็ให้ความสำคัญต่อกระบวนการตัดสินใจ เนื่องจากการแก้ปัญหาโดยการมองภาพเป็นองค์รวมนั้น ต้องมีความเข้าใจกิจกรรมของผู้ที่เกี่ยวข้องในสถานการณ์ การวิเคราะห์กระบวนการตัดสินใจ จะนำไปสู่การลำดับความสำคัญของทางเลือกที่จะเสนอเพื่อแก้ไขปัญหาหรือสถานการณ์ได้ถูกต้องตามเป้าหมายยิ่งขึ้น ดังนั้นการวิเคราะห์การตัดสินใจ จึงเป็นขั้นตอนหนึ่งในวิธีการ AA และ RRA ในขณะที่การใช้วิธีเชิงปริมาณเพื่อเสนอทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด (optimization) เป็นขั้นตอนที่สำคัญของการจำลองสถานการณ์ในงานวิจัยและพัฒนาระบบเกษตร

ข้อมูลเชิงพื้นที่มีบทบาทมากในการวิเคราะห์กระบวนการตัดสินใจ โดยเฉพาะเมื่อใช้ในแนวทางเชิงระบบ ในงานวิจัยและพัฒนาการเกษตรและจัดการทรัพยากรธรรมชาติ ในระดับที่สูงกว่าฟาร์ม ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลเชิงพื้นที่ เทคนิคการวิเคราะห์กระบวนการตัดสินใจ ตลอดจนความต้องการระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทำให้งานวิจัยและพัฒนาด้านนี้ก้าวหน้าอย่างรวดเร็วในระดับสากล และเป็นที่ตระหนักว่า มีความสำคัญต่องานวิจัยและพัฒนาระบบการเกษตร (Patanothai, 1997)

รายงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทบทวนบทบาทของข้อมูลเชิงพื้นที่ในงานวิจัยเชิงระบบที่ผ่านมา รวมทั้งวิธีการวิเคราะห์กระบวนการตัดสินใจ ที่เหมาะสมกับการนำมาประยุกต์ใช้ในทางการเกษตรและการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ นอกจากนี้ยังแสดงแนวคิดและประเด็นสำคัญ ในการพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่อิงข้อมูลเชิงพื้นที่ พร้อมทั้งตัวอย่างของระบบที่พัฒนาขึ้นในประเทศ เพื่อให้เห็นข้อจำกัดและโอกาสของการดำเนินการวิจัยและพัฒนาในแนวทางนี้

กระบวนการตัดสินใจทางเกษตร

กระบวนการตัดสินใจเกิดขึ้นตลอดเวลาในการวางแผนและจัดการระบบเกษตร เพียงแต่ผู้ทำหน้าที่ตัดสินใจ หลักเกณฑ์ที่ใช้ และทางเลือก จะแตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์และปัญหาที่เกิดขึ้นในระดับต่าง ๆ ของระบบการเกษตร ในระดับฟาร์ม เกษตรกรต้องตัดสินใจเลือกพืชที่ปลูก เลือกวันปลูกที่เหมาะสมกับชนิดและปริมาณของปัจจัยการผลิต ท่ามกลางความไม่แน่นอนของสภาพลมฟ้าอากาศและราคาผลิตผลในอนาคตเมื่อเก็บเกี่ยวพืชผล เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรอาจต้องตัดสินใจเลือกพื้นที่เป้าหมายในการลดพื้นที่ปลูกข้าวนาปรัง พร้อมทั้งหาพืชทดแทนให้ได้ครบตามจำนวนเนื้อที่ที่ตั้งไว้ หรือในกรณีที่เจ้าหน้าที่ฝ่ายวางแผนในระดับกระทรวง ต้องการกำหนดเขตปลูกพืชเศรษฐกิจทั่วประเทศ ล้วนแล้วแต่เป็นกระบวนการตัดสินใจที่ต้องการข้อมูลเชิงพื้นที่ วิธีการวิเคราะห์ และระบบสนับสนุนการตัดสินใจ ที่สามารถจัดเป้าหมาย หลักเกณฑ์ และทางเลือกที่ไม่มีโครงสร้างแน่ชัด ให้อยู่ในรูปที่สามารถช่วยคัดเลือกทางเลือก ที่เหมาะสมกับเงื่อนไขและเป้าหมายที่แปรเปลี่ยนไปตามสถานการณ์ต่าง ๆ ได้

แนวทางการวิจัยระบบการทำฟาร์ม ได้ให้ความสำคัญกับขั้นตอนการเรียงลำดับความสำคัญของปัญหา และคัดทางเลือกที่มีโอกาสนำไปสู่การแก้ปัญหาก่อนที่จะไปทดสอบในไร่นา (Tripp and Wooley, 1989) การวิเคราะห์ผลกระทบของกรรมวิธีที่จะนำไปปรับปรุงผลผลิตของพืชล่วงหน้า (ex-ante analysis) เป็นอีกตัวอย่างหนึ่งของความพยายามที่จะพัฒนาระบบประเมินทางเลือกที่เหมาะสม ในการปรับปรุงผลิตภาพในระดับฟาร์ม

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการตัดสินใจในระดับฟาร์ม ส่วนใหญ่อาศัยวิธีการทางเศรษฐศาสตร์ โดยเฉพาะโปรแกรมเชิงเส้น (linear programming) ในการหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดสำหรับวัตถุประสงค์และข้อจำกัดที่กำหนด ตัวอย่างของการใช้โปรแกรมเชิงเส้นในการช่วยคัดทางเลือกให้เหมาะสมกับทรัพยากรในครัวเรือนของเกษตรกร ได้แก่ งานวิเคราะห์ฟาร์มขนาดต่าง ๆ ในเขตชลประทานของ Priebprom (1986) การหาศักยภาพในการขยายพื้นที่ปลูกพืชน้ำมัน (เบญจพรรณ, 2531) การวิเคราะห์การตัดสินใจของเกษตรกรในการเลือกระบบพืช (เบญจพรรณ และคณะ, 2532) และโมเดลการวางแผนระบบปลูกพืชยืนต้นบนที่สูงของอารีและคณะ (2535)

วิธีการวิเคราะห์ระบบนิเวศเกษตร ได้ให้ความสำคัญต่อการวิเคราะห์กระบวนการตัดสินใจเช่นเดียวกัน แต่วัตถุประสงค์เพื่อทำความเข้าใจกระบวนการตัดสินใจของผู้ที่เกี่ยวข้องกับ “สถานการณ์” ว่ามีส่วนกำหนดผลลัพธ์ของระบบอย่างไร มากกว่าที่จะให้ความสำคัญต่อการเรียงลำดับทางเลือก ดังนั้น ผลของการศึกษากระบวนการตัดสินใจ จึงออกมาในรูปของแผนภาพมากกว่าวิธีการเชิงปริมาณ (Conway 1985; เมธี และ พฤกษ์, 2528; Limpinuntana, 1987) อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการเกษตรและสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน มักสัมพันธ์กับหลายปัจจัยและไม่มีโครงสร้างที่แน่ชัด จึงต้องการวิธีการวิเคราะห์กระบวนการตัดสินใจและประเมินทางเลือกในเชิงปริมาณ ที่ช่วยให้การตัดสินใจเป็นไปอย่างมีหลักเกณฑ์

การวิเคราะห์กระบวนการตัดสินใจ

การตัดสินใจ เป็นกระบวนการคัดทางเลือก (alternative) ที่ดีที่สุดสำหรับเป้าหมายหนึ่งๆ กระบวนการตัดสินใจที่มีระบบ จะต้องอาศัยหลักเกณฑ์ (criteria) ที่สามารถวัดและประเมินผลได้ เป็นพื้นฐานในการตัดสินใจ หลักเกณฑ์ดังกล่าว อาจมีลักษณะเป็นข้อจำกัด (constraint) ที่เป็นตัวจำกัดทางเลือก เช่น เขตอนุรักษ์พันธ์สัตว์ป่า เป็นข้อจำกัดไม่ให้เกษตรกรสามารถใช้ที่ประโยชน์ที่ดินเพื่อการเกษตร เป็นต้น หลักเกณฑ์อีกประเภทหนึ่ง เป็นปัจจัยประกอบการตัดสินใจ (decision variable) ซึ่งเป็นตัวแปรที่เพิ่มหรือลดระดับความเหมาะสมของทางเลือกสำหรับเป้าหมายนั้น หลักเกณฑ์ประเภทนี้สามารถวัดออกมาเป็นค่าต่อเนื่องได้ เช่น ค่าความลึกของดิน เป็นหลักเกณฑ์หนึ่งที่กำหนดความเหมาะสมของพื้นที่ในการปลูกลำไย เป็นต้น

เนื่องจากกระบวนการตัดสินใจที่เกี่ยวข้องกับการเกษตรและการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ มักประกอบด้วยหลักเกณฑ์เป็นจำนวนมาก ซึ่งมีทั้งข้อจำกัด และปัจจัยที่เป็นค่าต่อเนื่อง จึงจำเป็นต้องมีกฎเกณฑ์สำหรับตัดสินใจ (decision rule) ในการประเมินการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ (Multiple Criteria Decision Making, MCDM) ผลลัพธ์ที่ได้ เป็นค่าดัชนีแสดงลำดับความสำคัญหรือความเหมาะสม ของทางเลือกแต่ละทางเลือก

กฎเกณฑ์การตัดสินใจอาจสร้างขึ้นจากวิธีการหลายแบบ แต่ที่นิยมใช้กันคือ วิธีการรวมแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted Linear Combination, WLC) วิธีการใช้ค่าหรือฟังก์ชัน (Value/Utility Approach) และวิธีการวิเคราะห์กระบวนการตัดสินใจแบบระดับชั้น (Analytic Hierarchy Process, AHP) นอกจากนี้ ในกรณีที่กระบวนการตัดสินใจมีหลายเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ (Multi-Objective Decision Model, MODM) กฎเกณฑ์ในการตัดสินใจมักใช้วิธีการที่ต้องอาศัยฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนขึ้น เช่น วิธีการ Goal Programming, Interactive Programming และ Compromise Programming เป็นต้น รายละเอียดของวิธีการดังกล่าวข้างต้นสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จาก Malezewski (1999)

ในบรรดาวิธีการที่พัฒนาขึ้นสำหรับสร้างกฎเกณฑ์ในการตัดสินใจนั้น วิธี AHP (Saaty, 1980) เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมใช้ในหลายสาขาวิชา โดยเฉพาะในด้านบริหารธุรกิจและวิศวกรรมอุตสาหการ เนื่องจากวิธีการ AHP เป็นวิธีการวิเคราะห์กระบวนการตัดสินใจแบบมีส่วนร่วม และไม่ต้องการข้อมูลและองค์ความรู้เกี่ยวกับปัญหานั้นๆ อย่างสมบูรณ์ จึงเหมาะสำหรับนำมาประยุกต์ใช้กับการประเมินทางเลือกในการเกษตรและการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ ซึ่งมักประสบกับปัญหาที่ไม่มีโครงสร้างชัดเจน

จุดเด่นของวิธีการประเมินแบบ AHP คือ การแตกปัญหาออกมาเป็นส่วนๆ แล้วจัดโครงสร้างของปัญหาที่ต้องการตัดสินใจให้เป็นระดับชั้น (hierarchy) โดยมีวัตถุประสงค์อยู่ระดับชั้นสูงสุด ตามด้วยวัตถุประสงค์ย่อย (ถ้ามี) หลักเกณฑ์ และทางเลือกเป็นระดับชั้นที่ย่อยลงมาตามลำดับ (ภาพที่ 1)

การกำหนดโครงสร้างของปัญหาตลอดจนการประเมินทางเลือกตามวิธี AHP ดำเนินการโดยผู้ที่มีส่วนร่วมในการตัดสินใจ ผู้ชำนาญการ และผู้มีประสบการณ์ในงานที่เกี่ยวข้องกับปัญหาดังกล่าว การประชุมระดมความเห็น เริ่มต้นด้วยการเปรียบเทียบหลักเกณฑ์ทีละคู่ โดยแสดงความสำคัญเชิงเปรียบเทียบเป็นระดับตั้งแต่ 1-9 พร้อมทั้งสร้างเมทริกซ์เปรียบเทียบระหว่างคู่ของหลักเกณฑ์ เพื่อ

คำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก (weight) ของแต่ละหลักเกณฑ์ โดยใช้ค่า eigenvector ของเมทริกซ์นี้ (Saaty, 1980)

เมื่อได้ค่าถ่วงน้ำหนักหรือความสำคัญเชิงปริมาณเปรียบเทียบของแต่ละหลักเกณฑ์แล้ว จึงทำการประเมินค่าความสำคัญหรือความเหมาะสมของแต่ละทางเลือกในแต่ละหลักเกณฑ์ ส่วนคะแนนโดยรวมของแต่ละทางเลือก (Ri) สามารถคำนวณได้จาก $R_i = \sum_k W_k R_{ik}$ โดยที่ W_k คือค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละหลักเกณฑ์ และ R_{ik} คือค่าคะแนนความเหมาะสมของแต่ละทางเลือกในแต่ละหลักเกณฑ์ ผู้ตัดสินใจสามารถเลือกทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด ได้จากทางเลือกที่ให้ค่า R_i มากที่สุด

ข้อดีอีกประการหนึ่งของวิธี AHP คือ ผู้ประเมินสามารถทราบว่าการวิเคราะห์แบบมีส่วนร่วมนี้มีความไม่คงเส้นคงวาเพียงใด โดยพิจารณาจากค่า Consistency Ratio (CR) ซึ่งคำนวณได้จากเมทริกซ์เปรียบเทียบเช่นกัน เมื่อพบว่าค่า CR มีค่าสูงเกินกว่าที่ยอมรับได้ จะต้องร่วมกันทำการประเมินใหม่จนกระทั่งผลลัพธ์ที่ได้มีโอกาสเกิดขึ้นโดยบังเอิญน้อย (Saaty, 1980)

การประยุกต์ใช้ AHP ในการตัดสินใจทางการเกษตร สามารถทำได้หลากหลาย Alphonce (1997) ได้ทบทวนหลักการและขั้นตอนการวิเคราะห์ตามวิธีการ AHP พร้อมทั้งยกตัวอย่างการใช้ AHP เพื่อช่วยในการตัดสินใจเลือกระบบการปลูกพืช เลือกเทคโนโลยีในการผลิต และจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยอาศัยข้อมูลที่มีอย่างจำกัด ซึ่งหากใช้วิธีการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ (mathematical programming) แล้ว ผู้ตัดสินใจจะต้องมีพื้นความรู้ทางคณิตศาสตร์ที่ดีและต้องมีข้อมูลที่สมบูรณ์เพียงพอ

ข้อมูลเชิงพื้นที่

ข้อมูลเชิงพื้นที่ เป็นข้อมูลที่สามารถอ้างอิงตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ได้ นอกเหนือไปจากข้อมูลที่อธิบายคุณลักษณะในเชิงปริมาณหรือคุณภาพ ของสรรพสิ่งหรือปรากฏการณ์ที่เราสนใจ ณ ตำแหน่งนั้น ตัวอย่างของข้อมูลเชิงพื้นที่ซึ่งมีการใช้งานอย่างกว้างขวางได้แก่ แผนที่ประเภทต่าง ๆ โดยการใช้จุด (point) เส้น (line) และรูปเหลี่ยมปิด (polygon) และสัญลักษณ์ต่าง ๆ เป็นตัวแทนของสรรพสิ่งและปรากฏการณ์ ที่ปรากฏในพื้นที่จริงบริเวณที่แผนที่นั้น ๆครอบคลุม ผู้ใช้สามารถอ้างอิงตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ได้จากเส้นกริดแสดงค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ (เส้นรุ้งและเส้นแวง) หรือค่าอ้างอิงระบบอื่นที่มีหน่วยวัดระยะทางเป็นเมตร เช่น ในระบบพิกัด Universal Traverse Mercator (UTM) ได้ ข้อมูลดังกล่าว นอกจากจะสามารถใช้ในการระบุตำแหน่งของปรากฏการณ์ที่สำคัญแล้ว ยังสามารถสร้างข้อมูลใหม่จากการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ เช่น หาระยะทางพื้นที่ ความลาดชัน หรือการวิเคราะห์ที่สลับซับซ้อนมากขึ้น เช่น การวิเคราะห์หาพื้นที่เหมาะสมสำหรับวัตถุประสงค์เฉพาะทาง การวิเคราะห์เครือข่ายการขนส่ง และการจำลองสถานการณ์ เป็นต้น

การวางแผนทางการเกษตรและจัดการทรัพยากรธรรมชาติ ต้องการข้อมูลเชิงพื้นที่เป็นอย่างมาก เพราะสามารถระบุการกระจายตัวของทรัพยากรและโครงการสร้างพื้นฐานที่มีอยู่ในพื้นที่เป้าหมาย การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ สามารถนำไปสู่การระบุปัญหาและแหล่งต้นตอของปัญหา รวมทั้งสามารถจัดสรรโครงการพัฒนาตลอดจนทรัพยากรและงบประมาณ ไปยังบริเวณที่มีลำดับความสำคัญต้น ๆ ได้อย่างถูกต้อง

การใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่ในการวิเคราะห์ระบบเกษตร

ในงานวิจัยระบบเกษตร ข้อมูลเชิงพื้นที่ถูกนำมาใช้ในขั้นตอนการวิเคราะห์พื้นที่ เพื่อวินิจฉัยปัญหาและโอกาส ตามวิธีการ AA หรือ RRA นักวิเคราะห์ระบบจะสร้างแผนที่ลำลองขึ้นจากแผนที่ภูมิประเทศ (topographic map) การเดินสำรวจภาคสนาม และจากการสัมภาษณ์เกษตรกร นอกจากนี้ ยังต้องสร้างภาพตัดขวางของภูมิประเทศ แล้วพยายามหาความสัมพันธ์ระหว่างสภาพภูมิประเทศกับชนิดของดิน ระบบการปลูกพืช การเลี้ยงสัตว์ ปัญหาและโอกาสในเขตการใช้ประโยชน์ที่ดินต่าง ๆ (Conway, 1985; Limpinuntana, 1987; Lightfoot *et al*., 1988, 1989)

ในการวิเคราะห์พื้นที่ที่ผ่านมา มีข้อจำกัดที่สำคัญคือการจัดการและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่เนื่องจากนำมาจากแหล่งข้อมูลที่ต่างกัน ทำให้มีมาตราส่วนและรายละเอียดแตกต่างกัน การนำข้อมูลเหล่านี้มาวิเคราะห์เชิงซ้อนทับ (overlay analysis) เพื่อค้นหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเชิงพื้นที่ ทำได้ไม่ง่ายนัก กินเวลานาน และทำให้ความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ลดลง ดังนั้น นอกจากต้องการระบบจัดการข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ดีแล้ว การวิเคราะห์เชิงพื้นที่ยังต้องการระบบที่สามารถอำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ ช่วยในการเลือกพื้นที่เป้าหมาย ไม่ว่าระดับชั้นของระบบเกษตรใด ๆ และสามารถเรียกชั้นข้อมูลเชิงพื้นที่ใด ๆ มาวิเคราะห์ร่วมกัน เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรดังกล่าวได้

ในปัจจุบัน ข้อมูลเชิงพื้นที่ได้รับการพัฒนาอย่างเป็นระบบ ตามความก้าวหน้าอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีระบบสารสนเทศ ทั้งในด้านฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ และลักษณะของข้อมูล คือ ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (Geographic Information System, GIS) การประมวลผลข้อมูลภาพจากระยะไกล (Remote Sensing and Image Processing) และระบบกำหนดพิกัดด้วยสัญญาณดาวเทียม (Global Positioning System, GPS) เทคโนโลยีดังกล่าวเริ่มมีบทบาทมากขึ้น ในการเก็บรวบรวม นำเข้าวิเคราะห์ และแสดงผลข้อมูลเชิงพื้นที่ เมื่อนำไปเชื่อมโยงกับการจำลองสถานการณ์ (Modeling and Simulation) สามารถที่จะพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจ ในการวางแผนการเกษตรและจัดการทรัพยากรได้

ความสามารถของ GIS ในด้านการจัดการวิเคราะห์และแสดงผลข้อมูลตามที่ผู้ใช้ต้องการ ทำให้ GIS ได้รับการนำมาใช้ในขั้นตอนต่าง ๆ ของงานวิจัยระบบการทำฟาร์ม Hassan *et al*. (1998a) ได้ใช้ GIS ในการวิเคราะห์เชิงซ้อนทับชั้นข้อมูลภูมิอากาศ ประชากร และความหนาแน่นในการปลูกข้าวโพด เพื่อช่วยในการแบ่งเขตและสุ่มตัวอย่าง ในขั้นตอนการออกแบบการสำรวจสภาพปัญหาและระบบการเขตกรรมของเกษตรกรปลูกข้าวโพดในเคนยา นอกจากนี้ ความถูกต้องในเชิงตำแหน่งของข้อมูลทางกายภาพใน GIS เมื่อเชื่อมโยงกับข้อมูลทางเศรษฐกิจสังคม ทำให้สามารถสร้างข้อมูลประกอบเขตการผลิตข้าวโพดที่ละเอียดขึ้น ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบงานวิจัยเชิงกลยุทธ์ เพื่อแก้ปัญหาและปรับปรุงระบบการผลิต ให้ตรงต่อสภาพแวดล้อมของเกษตรกรได้ดีขึ้น (Hassan *et al*., 1998b; Barreto and Hartkamp, 1999) ระบบข้อมูลเชิงพื้นที่ ยังมีบทบาทในการวิเคราะห์เชิงระบบระดับลุ่มน้ำและใหญ่กว่าระดับลุ่มน้ำ เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและระบบการเกษตรของชุมชนในลุ่มน้ำ (พงษ์สันต์ และคณะ, 2533; ศรีสอางค์ และคณะ, 2535; เมธี และคณะ, 2539)

กระบวนการตัดสินใจและข้อมูลเชิงพื้นที่

ทั้งปัจจัยและข้อจำกัดที่ใช้เป็นหลักเกณฑ์ในการประเมินทางเลือก มักจะเกี่ยวข้องกับข้อมูลเชิงพื้นที่ไม่มากก็น้อย การตัดสินใจในระดับฟาร์มอาจมีเงื่อนไขที่ต้องการข้อมูลเชิงพื้นที่ไม่มาก เนื่องจากความแปรปรวนเชิงพื้นที่ภายในฟาร์ม มีน้อยกว่าในระดับชั้นของระบบเกษตรที่สูงขึ้นไป อย่างไรก็ตาม เมื่อใช้วิธีการเชิงระบบเพื่อวิเคราะห์ระบบเกษตรในระดับที่ใหญ่กว่าฟาร์ม เช่น ลุ่มน้ำ หรือจังหวัด ข้อมูลเชิงพื้นที่จะมีบทบาทในกระบวนการตัดสินใจเป็นอย่างมาก ระบบ GIS บางระบบ เช่น IDRISI (Eastman, 1999) ได้ผนวก MCDM เข้าเป็นส่วนหนึ่งของภาคการวิเคราะห์ ตัวอย่างการผสมผสาน AHP เข้ากับ GIS เพื่อนำไปประเมินความเหมาะสมของที่ดิน ได้แก่ งานของ Eastman *et al*. (1992), Pereira and Duckstein (1993), เมธี และคณะ (2539), Triwari *et al*. (1999), Nisar *et al*. (2000) และ Mendoza and Prabhu (1999) ความเชื่อมโยงระหว่างกระบวนการตัดสินใจและข้อมูลเชิงพื้นที่ และศักยภาพของการประยุกต์ใช้ระบบนี้ ในการวางแผนทางการเกษตรและการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ ทำให้มีการพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจเชิงพื้นที่ (Spatial Decision Support System, SDSS) เกิดขึ้นไล่เลี่ยกับวิวัฒนาการของ GIS (Densham, 1991).

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจในทางการเกษตร

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support System, DSS) เป็นระบบคอมพิวเตอร์ที่อำนวยความสะดวก ให้ผู้ใช้สามารถใช้ข้อมูล องค์ความรู้ และวิธีการวิเคราะห์ต่าง ๆ ในการแก้ไขปัญหาที่ซับซ้อน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มขีดความสามารถของผู้ทำหน้าที่ตัดสินใจ ทำให้ย่นระยะเวลาและใช้บุคลากรน้อยลง ในกระบวนการวิเคราะห์เพื่อตัดสินใจแก้ปัญหาหรือวางแผน (Jones *et al*., 1998) ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีข้อมูลข่าวสาร ตลอดจนแนวคิดเชิงระบบในทางการเกษตรในช่วงเวลาที่ผ่านมานั้น ทำให้การพัฒนา DSS ก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว โดยมีการประยุกต์ใช้ในทั้งระดับแปลง (Kropff *et al*., 1998) ในระดับฟาร์ม และภูมิภาค (Teng *et al*., 1998)

องค์ประกอบที่สำคัญของ DSS ได้แก่ ระบบจัดการข้อมูล ระบบการวิเคราะห์ประมวลผล ส่วนของการแสดงผลและโต้ตอบกับผู้ใช้ การออกแบบรายละเอียดแต่ละส่วนแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และกลุ่มผู้ใช้ที่เป็นเป้าหมาย ระบบการวิเคราะห์และประมวลผลของ DSS ดำเนินการโดยอาศัยแบบจำลองและการจำลองสถานการณ์ (modeling and simulation) หรือระบบผู้ชำนาญการ (expert system) ระบบสนับสนุนการตัดสินใจการผลิตพืช ที่ได้รับการพัฒนาและทดสอบอย่างกว้างขวาง ได้แก่ DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่รวบรวมเอาแบบจำลองพืช ฐานข้อมูล และโปรแกรมประยุกต์ใช้งานเข้าด้วยกัน (IBSNAT, 1989) ผู้ใช้ DSSAT สามารถเรียกใช้ข้อมูลดิน พืช ภูมิอากาศ เลือกแบบจำลองพืชที่ต้องการ เพื่อจำลองภูมิอากาศ สมดุลของน้ำ การเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชที่เลือก รวมทั้งวิเคราะห์ผลของการจัดการน้ำ ปุ๋ย และการเขตกรรมระดับต่าง ๆ ต่อพืชที่ปลูกในแปลง พร้อมทั้งแสดงผลลัพธ์ในรูปของตารางและกราฟตามที่ผู้ใช้ต้องการ ต่อมาในปี 1994 ได้มีการพัฒนา DSSAT version 3 โดยเพิ่มขีดความสามารถในการใช้งานให้ง่ายขึ้น ครอบคลุมพืชมากชนิด อำนวยความสะดวกในการปรับแก้และ

ประเมินแบบจำลองได้ดีขึ้น พร้อมทั้งเพิ่มเติมการวิเคราะห์ความเสี่ยงในแง่ความแปรปรวนของผลผลิตและทางด้านเศรษฐกิจ (Tsuji *et al*., 1994; Jones *et al*., 1998)

สำหรับการพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่ใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญเป็นหลักนั้น เป็นไปอย่างจำกัดกว่าในกรณีการใช้แบบจำลองเป็นหลัก เท่าที่ผ่านมามีการประยุกต์ใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญ ในการพัฒนา DSS เพื่อปรับปรุงดิน (Yost, 1988) จัดการพืช (Mohan and Arumujam, 1994) และการจัดการระบบวนเกษตร (Robotham, 1997) เป็นต้น

ทำไมจึงต้องพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจเชิงพื้นที่

การวางแผนการผลิตที่กว้างขวางกว่าแปลงเพาะปลูก จะต้องเผชิญกับความผันแปรและความสลับซับซ้อนของพื้นที่เพาะปลูกขนาดใหญ่ เช่น ในระดับจังหวัด ซึ่งพื้นที่เป้าหมายจะขยายขึ้นเป็นล้านเท่า (ตาราง ที่ 1) สภาพพื้นที่เปลี่ยนจากเรียบสม่ำเสมอในแปลงทดลอง ไปเป็นสลับซับซ้อน และสภาพแวดล้อมมีความผันแปรสูง ชั้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการจำลองและวิเคราะห์ระบบการผลิต จะมีมากขึ้นเพราะต้องครอบคลุมระบบนิเวศ รวมทั้งหน่วยวางแผนการผลิตและการจัดการ ที่ไม่มีในสภาพแปลงทดลอง ความต้องการข้อมูลเชิงพื้นที่จึงมีมากขึ้น ต้องจัดการฐานข้อมูลซึ่งมีขนาดใหญ่ และมีการเชื่อมโยงมากขึ้น ในขณะเดียวกัน ข้อมูลที่ต้องนำเข้าเพื่อการจำลอง จะต้องสะท้อนปัญหาที่เกิดขึ้นจริง ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ จึงสามารถนำไปประกอบการตัดสินใจเพื่อวางแผนพัฒนาการผลิตทางเกษตรได้ดีขึ้น

ดังนั้น ระบบ DSS ที่จะพัฒนาให้ใช้งานในระดับจังหวัดได้นั้น จะต้องประกอบด้วยฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ ที่สามารถให้รายละเอียดสภาพแวดล้อมของแหล่งเพาะปลูก การจัดการข้อมูลเชิงพื้นที่ และแสดงผล เป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่จะต้องเป็นระบบ GIS ที่มีระบบเชื่อมโยงที่ให้ผู้ใช้การเลือกพื้นที่เป้าหมายและทางเลือก รวมทั้งสามารถเชื่อมโยงกับแบบจำลอง เพื่อจำลองสถานการณ์ในรูปแบบต่าง ๆ ได้ ระบบดังกล่าวนี้ เรียกว่าระบบสนับสนุนการตัดสินใจเชิงพื้นที่ (Densham, 1991)

ระบบ SDSS ที่ใช้สนับสนุนการตัดสินใจผลิตพืช ต้องการข้อมูลเชิงพื้นที่หลายประเภท ในรูปแบบและจากแหล่งที่มาของข้อมูลที่แตกต่างกัน ข้อมูลเหล่านี้ ได้แก่ แผนที่ดินระดับชุดดิน (soil series) พื้นที่เพาะปลูกข้าว พื้นที่ชลประทาน แผนที่ภูมิอากาศ ขอบเขตการปกครอง ความลาดชันของพื้นที่ และแผนที่โครงสร้างพื้นฐาน เช่น ถนน ตำแหน่งของตลาดพืชผล เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้สามารถนำไปใช้ในการเลือกพื้นที่เป้าหมาย ประเมินศักยภาพในการผลิตพืชของพื้นที่เป้าหมาย ประเมินความเหมาะสมของที่ดินในการผลิตพืช ตลอดจนระบุพื้นที่ที่สมควรลดหรือขยายการปลูกพืชบางชนิด เพื่อให้เหมาะสมกับการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจและสังคม

องค์ประกอบของ SDSS

โครงสร้างของ SDSS ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน คือ (1) ฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ (2) แบบจำลองหรือโปรแกรมวิเคราะห์ทางเลือก และ (3) ระบบโต้ตอบกับผู้ใช้ในรูปกราฟิก ภาพที่ 2 แสดงการเชื่อมโยงขององค์ประกอบทั้ง 3 ส่วนของ SDSS และผู้ตัดสินใจ

ฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของ SDSS ด้วยเหตุผลสามประการคือ *ประการแรก* เป็นข้อมูลที่นำไปใช้สร้างหน่วยแผนที่เพื่อการจำลอง (Simulation Mapping Unit, SMU) โดย

วิเคราะห์เชิงซ้อนทับระหว่างชั้นข้อมูลเขตภูมิอากาศ ชุดดิน และพื้นที่ปลูกพืช แต่ละ SMU สามารถเชื่อมโยงกับตารางสัมพันธ์เพื่อระบุรายละเอียดเกี่ยวกับแฟ้มข้อมูลภูมิอากาศและแฟ้มข้อมูลดินตลอดจนนิเวศวิทยาของพื้นที่ปลูกพืช เช่น ปลูกในเขตชลประทานหรือไม่ โอกาสเกิดน้ำท่วมเป็นเท่าใด พืชที่ปลูกส่วนใหญ่เป็นพันธุ์อะไร เป็นต้น *ประการที่สอง* เป็นข้อมูลที่อำนวยความสะดวกให้ผู้ใช้เลือกพื้นที่เป้าหมาย ตรวจสอบทรัพยากรดินและน้ำ ตลอดจนโครงสร้างพื้นฐานที่ใช้หรือสนับสนุนการผลิตพืชในพื้นที่เป้าหมาย ซึ่งข้อมูลเชิงพื้นที่กลุ่มนี้ ยังมีประโยชน์ในการใช้เป็นจุดอ้างอิงตำแหน่ง ในแผนที่แหล่งเพาะปลูก และแผนที่ประมาณการผลผลิตหลังจากการจำลองสถานการณ์ในรูปแบบต่าง ๆ แล้ว *ประการสุดท้าย* เป็นข้อมูลพื้นฐานที่สามารถนำไปวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลอื่น ตามวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ชั้นข้อมูลเหล่านั้นได้แก่ ข้อมูลขอบเขตการปกครอง ถนน ทางน้ำ ตลาดพืชผล ที่ตั้งและขอบเขตโครงการชลประทาน เขตน้ำท่วม และข้อมูลภูมิประเทศเชิงตัวเลข (Digital Elevation Model, DEM) เป็นต้น

องค์ประกอบที่ทำหน้าที่จำลองสถานการณ์หรือวิเคราะห์การตัดสินใจ ได้แก่ แบบจำลองหรือโปรแกรมวิเคราะห์ทางเลือก ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการพัฒนาระบบ SDSS ในกรณีที่ต้องการใช้ SDSS เป็นระบบสนับสนุนการตัดสินใจผลิตข้าว แบบจำลองข้าว เช่น CERES-Rice จะต้องเป็นส่วนหนึ่งของ SDSS ในทำนองเดียวกัน ถ้าต้องการพัฒนา SDSS เพื่อประเมินคุณภาพที่ดิน องค์ประกอบส่วนนี้จะเป็นโปรแกรมที่ทำหน้าที่วิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ (MCDM) เพื่อจัดลำดับความเหมาะสมของที่ดิน สำหรับประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ต้องการ

การเชื่อมโยงระหว่างฐานข้อมูลเชิงพื้นที่และแบบจำลองพืช

ขั้นตอนที่สำคัญของการพัฒนา SDSS คือการเลือกใช้กลยุทธ์ในการเชื่อมโยง GIS เข้ากับแบบจำลอง Hartkamp *et al.* (1999) ได้ทบทวนผลงานวิจัยที่ได้มีความพยายามเชื่อมโยงระบบดังกล่าวเข้าด้วยกัน ในการประยุกต์ใช้งานที่หลากหลาย พบว่า สามารถจัดกลไกการเชื่อมโยงได้ 3 ประเภท คือ (1) การเชื่อมโยงอย่างหลวม (Linking) โดยใช้การทำงานของ GIS ในการสร้างแฟ้มข้อมูลเพื่อนำเข้าสู่แบบจำลอง และให้แบบจำลองประมวลผลและส่งผลลัพธ์เข้าแสดงใน GIS ดังนั้น จึงต้องการเพียงการโอนรูปแบบข้อมูลให้เข้ากับความต้องการของระบบทั้งสอง โดยอาจมีโปรแกรมอำนวยความสะดวกในการโต้ตอบกับผู้ใช้ (Graphic User Interface, GUI) ของแต่ละระบบแยกจากกัน การเชื่อมโยงประเภทนี้ จึงมีจุดอ่อนที่ไม่ได้ใช้ความสามารถของ GIS ในการวิเคราะห์เชิงพื้นที่อย่างเต็มที่ (2) การเชื่อมโยงแบบผนวกระบบ (Combining) โดยอาศัย GIS เป็นระบบหลักในการประมวลผล เพื่อสร้างข้อมูลที่แบบจำลองต้องการโดยอัตโนมัติ และแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง และใช้ความสามารถของ GIS ในการสร้าง GUI ของระบบ ที่ผนวกเข้าด้วยกัน โปรแกรมการเชื่อมโยงในลักษณะนี้ ต้องการการเขียนโปรแกรมที่ซับซ้อนขึ้น เพื่อใช้ความสามารถในการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ ห้เป็นประโยชน์ต่อระบบมากที่สุด ตัวอย่างเช่น ระบบ AEGIS (Engel *et al.*,1997) ที่เชื่อมระหว่างแบบจำลองพืชในระบบ DSSAT เข้ากับ ArcView GIS (3) การเชื่อมโยงแบบบูรณาการ (Integrating) เป็นการนำเอาระบบ GIS เข้าไปไว้เป็นส่วนหนึ่งของแบบจำลอง หรือนำแบบจำลองเข้าเป็นส่วนหนึ่งของระบบ GIS ดังนั้น การส่งผ่านข้อมูลและการแปลงข้อมูลระหว่างกัน จึงเป็นไปโดยอัตโนมัติโดยที่ผู้ใช้ไม่เห็น แต่การเชื่อมโยงในลักษณะนี้ ต้องการการสร้างระบบขึ้นมาใหม่ทั้งหมด จึงต้องการผู้พัฒนาที่มีความรู้และประสบการณ์สูง ในการเขียนโปรแกรม ทั้งในด้าน GIS และการจำลอง

ระบบพืช ตัวอย่างของโปรแกรมที่ใช้กลยุทธ์แบบต่าง ๆ ได้มีการแจกแจงไว้อย่างละเอียดใน Hartkamp *et al*. (1999)

ระบบเรียกใช้งานและโต้ตอบกับผู้ใช้ (Graphic User Interface, GUI)

การออกแบบและพัฒนาระบบ GUI มีส่วนสำคัญเป็นอย่างมากในการกำหนดประสิทธิภาพการใช้งานของ SDSS ลักษณะที่ดีของ GUI คือต้องอนุญาตให้ผู้ใช้มีบทบาทในการควบคุมการทำงานได้พอสมควร ง่ายต่อการใช้ มีความคงเส้นคงวา (consistency) ในการใช้เมนู ปุ่มกด และส่วนที่โต้ตอบกับผู้ใช้ ตลอดจนมีคำอธิบายความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นแก่ผู้ใช้ (Acock, 1999) ตัวอย่างของระบบ GUI ที่ได้รับการพัฒนาเพื่อใช้งานร่วมกับโปรแกรม DSSAT ได้แก่ AEGIS/WIN (Engel *et al*., 1997) ระบบนี้เขียนขึ้นโดยใช้ภาษา Avenue ของโปรแกรม ArcView (ESRI, 1996)

ถึงแม้ว่า AEGIS/WIN จะได้รับการบรรจุเข้าเป็นส่วนหนึ่งของคู่มือการใช้ DSSAT V.3.5 (Hoogenboom *et al*.,1999) แต่ลักษณะการทำงานหลายประการ ไม่เหมาะกับวัตถุประสงค์ของการนำมาใช้ในการพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจการผลิตพืช ที่มีวัตถุประสงค์ในการใช้งานระดับจังหวัด ซึ่งกินบริเวณกว้างขวาง ครอบคลุมสภาพภูมิอากาศและดินที่มีความแปรปรวนสูง ประกอบกับสภาพน้ำชลประทาน อุทกภัย และพันธุ์พืชที่ใช้อย่างหลากหลาย ทำให้เกิดหน่วยแผนที่เพื่อใช้ในการจำลอง SMU เป็นจำนวนมาก AEGIS/WIN ไม่ได้รวมความสามารถในการสร้าง SMU และรายละเอียดของ SMU โดยอัตโนมัติ ทำให้ผู้ใช้จะต้องใช้เวลาในการนำเข้าข้อมูลดังกล่าวมาก นอกจากนี้ AEGIS/WIN ยังมีความเชื่อมโยงกันกับ DSSAT ค่อนข้างสูง การเลือกระดับการจัดการและการวิเคราะห์ยังต้องพึ่งพา GUI ของ DSSAT ดังนั้นผู้ใช้จึงต้องมีความเข้าใจโปรแกรม DSSAT และ ArcView อย่างดี จึงสามารถใช้งานได้ตามต้องการ ผู้ใช้ที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนการผลิตพืชระดับจังหวัด อาจไม่จำเป็นต้องเข้าใจในรายละเอียดของสิ่งทดลองทั้งหมดที่โปรแกรม DSSAT มีอยู่ แต่ต้องการ GUI ที่อนุญาตให้เลือกพื้นที่เป้าหมาย พันธุ์พืช ระดับปุ๋ย และวันปลูกที่ต้องการ หลังจากนั้น GUI จะช่วยในการนำเข้าข้อมูลที่จำเป็นเพื่อจำลองสถานการณ์และแสดงผล และประการสุดท้าย ผู้ใช้ในระดับจังหวัดต้องการ GUI เป็นภาษาไทย และระบบที่แสดงผลลัพธ์เป็นภาษาไทย เพื่อประโยชน์ในการนำไปปฏิบัติงาน

ตัวอย่างของ SDSS ที่พัฒนาขึ้นในประเทศ

ระบบสนับสนุนการประเมินคุณภาพที่ดิน

การประเมินคุณภาพที่ดิน (FAO, 1976) เป็นตัวอย่างหนึ่งของการวางแผนทางเกษตรที่ต้องอาศัย SDSS เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความสะดวกต่อผู้ประเมิน ในการเลือกพื้นที่เป้าหมาย ประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดิน (land utilization type) คุณภาพของที่ดิน (land quality) และวิธีการประเมินทางเลือกที่จะใช้การแสดงผลทางกราฟิกในรูปแผนที่และตาราง ซึ่งจะช่วยให้ผู้ทำหน้าที่ตัดสินใจ เห็นลำดับความสำคัญหรือความเหมาะสมของทางเลือกต่าง ๆ ทำให้สามารถตัดสินใจเลือกทางเลือกได้อย่างมั่นใจมากขึ้น

การพัฒนา SDSS สำหรับประเมินทางเลือกในการใช้ที่ดินเพื่อการเกษตรรุ่นแรก ๆ (เมธี และคณะ, 2536) มีโปรแกรมเชื่อมโยงที่ทำงานในระบบปฏิบัติการ Dos และทำหน้าที่เชื่อมโยงฐานข้อมูลเชิงพื้นที่เข้ากับระบบวิเคราะห์ทางเลือก ที่อาศัยฟังก์ชันฟัซซี (fuzzy function) ตามวิธีการของ Wang (1990) การแสดงผลการวิเคราะห์ในระบบนี้ ใช้ส่วนการแสดงผลของโปรแกรม IDRISI ระบบ SDSS นี้ ได้เป็นต้นแบบในการพัฒนาโปรแกรม LandSuit ซึ่งเป็น SDSS ที่สามารถประเมินความเหมาะสมทั้งทางกายภาพและทางเศรษฐกิจ (เมธี และคณะ, 2542) โปรแกรม LandSuit เป็น SDSS ที่ทำงานภายใต้โปรแกรม ArcView GIS ส่วนของการประเมินทางเลือกใช้หลักการวิเคราะห์ความเหมาะสมทางกายภาพโดยวิธีการ FAO (1976) และการวิเคราะห์ความเหมาะสมทางเศรษฐกิจตามวิธีการของ Rossiter (1995) โดยที่ผู้ใช้สามารถป้อนราคาของปัจจัยการผลิตและผลผลิต รวมทั้งเป้าหมายที่แสดงเป็นผลตอบแทนสุทธิตามต้องการ โปรแกรมจะประเมินความเหมาะสมทางเศรษฐกิจของที่ดินแต่ละหน่วย พร้อมทั้งแสดงผลเป็นแผนที่ทั้งทางหน้าจอเครื่องพิมพ์ (ภาพที่ 3) ผู้ตัดสินใจสามารถจำลองสถานการณ์ตามการเปลี่ยนแปลงของราคาปัจจัยการผลิตและผลผลิตได้ ทำให้การตัดสินใจเลือกพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการปลูกพืช สอดคล้องกับความเป็นจริงตามเป้าหมายในการผลิตของเกษตรกรที่ไม่เหมือนกันและตามพลวัตของระบบเศรษฐกิจ

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจการผลิตพืช

โปรแกรมโพสพ 1.0 (พนมศักดิ์ และคณะ, 2543) เป็น SDSS สำหรับสนับสนุนการตัดสินใจผลิตข้าว ทำงานบนโปรแกรม ArcView ซึ่งพัฒนาจากภาษา Avenue ที่มีชุดคำสั่งที่ประมวลผลและแสดงข้อมูลเชิงพื้นที่ได้ในระบบ ArcView GIS โปรแกรมโพสพ 1.0 จะทำงานร่วมกับโปรแกรมเชื่อมโยงและแปลงข้อมูล โดยผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องใช้ GUI ของโปรแกรม DSSAT ดังนั้น การจำลองการผลิตข้าวจึงทำงานอยู่เบื้องหลัง ทำให้ผู้ใช้สามารถโต้ตอบกับระบบได้ง่ายและสะดวกขึ้น เมื่อผู้ใช้ต้องการจำลองสถานการณ์เพื่อประมาณการผลิตข้าวของพื้นที่ที่เลือก โปรแกรมจะอำนวยความสะดวกให้ผู้ใช้ระบุชนิดของพันธุ์ข้าวและระดับของการจัดการ โดยผ่านทาง GUI (ภาพที่ 4) จากนั้นโปรแกรมจะส่งผ่านตัวแปรเหล่านี้ที่ผู้ใช้กำหนด พร้อมกับข้อมูลอรรถาธิบายที่ได้เชื่อมโยงเข้ากับ SMU ต่าง ๆ ไปยังฐานข้อมูลแบบจำลอง เพื่อทำการประมาณการณ์ผลผลิต พร้อมทั้งตรวจสอบว่า แต่ละหน่วย SMU ในพื้นที่เป้าหมายใช้แฟ้มข้อมูลภูมิอากาศใด จากนั้นจะส่งผ่านหมายเลขรหัสของสถานีไปยังฐานข้อมูลภูมิอากาศรายวัน เพื่อเรียกไปประมวลผลในแบบจำลองได้ถูกต้อง

โปรแกรม CERES-Rice จะทำการประมาณผลผลิตของข้าวทุก ๆ หน่วย SMU ที่ปรากฏอยู่ในพื้นที่ที่เลือก ผลผลิตที่ได้จะแตกต่างกันตามคุณสมบัติที่อธิบายอยู่ในข้อมูลอรรถาธิบาย นอกจากนี้โปรแกรมยังประมาณการค่าอื่น ๆ เช่น กระบวนการพัฒนาการ (phenology) การเจริญเติบโต (growth) และพลวัตของน้ำในดินและพืช (soil and crop water balance) ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองนี้ จะถูกส่งกลับไปยังโปรแกรม ArcView เพื่อให้ผู้ใช้เลือกแสดงผลในรูปแบบต่าง ๆ เช่น แผนที่ ตารางสรุป หรือแผนภูมิ ทั้งบนจอภาพและทางเครื่องพิมพ์ ในรูปแผนที่ขนาดต่าง ๆ ซึ่งรายละเอียดของการพัฒนาและการใช้งานโปรแกรมโพสพ 1.0 ปรากฏในรายงานของพนมศักดิ์และคณะ (2543ก, 2543ข) โปรแกรมเชื่อมโยงเอราวัณ 1.0 (พนมศักดิ์ และคณะ, 2543ค) เป็นอีกตัวอย่างหนึ่งของ SDSS ที่ออกแบบมา เพื่อใช้ร่วมกับแบบจำลองอ้อยในการประมาณการณ์ผลผลิตอ้อย

โอกาสและข้อจำกัดในการใช้งาน SDSS

การนำ SDSS ไปใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์และวางแผนระบบเกษตรได้มีประสิทธิภาพเพียงใด ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ทำหน้าที่ตัดสินใจ ทรัพยากรด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ และความสมบูรณ์ในการพัฒนาระบบ SDSS ประเด็นแรกถ้ามองในแง่ความต้องของผู้ใช้ ในปัจจุบันการแข่งขันในด้านสินค้าเกษตร ปัญหาการแก่งแย่งทรัพยากรที่มีจำกัด ตลอดจนการกระจายอำนาจการตัดสินใจไปสู่ท้องถิ่น ทำให้ความต้องการนำข้อมูลเชิงพื้นที่ไปใช้ในการวางแผนเชิงกลยุทธ์ทั้งในระดับจังหวัด อำเภอ และตำบล มีเพิ่มมากขึ้น ผู้ตัดสินใจต้องการระบบที่สามารถสร้างทางเลือกและประเมินทางเลือกเองได้ สามารถดูผลการประเมินได้หลายรูปแบบ ทั้งในรูปแผนที่ ตาราง และผลสรุปทางสถิติที่รวดเร็ว ซึ่งสามารถนำไปทำแผนปฏิบัติการหรือดำเนินงานได้ ดังนั้นความต้องการระบบ SDSS จึงน่าจะมีมากในปัจจุบัน

สำหรับทรัพยากรด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ในหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยและพัฒนาการเกษตร ไม่ได้มีอยู่อย่างจำกัดดังเช่นในอดีต นับวันอุปกรณ์และบุคคลากรมีความรู้ความเข้าใจในการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเพิ่มขึ้น หากมีการพัฒนาระบบ SDSS ในประเทศ ให้สามารถสนับสนุนการตัดสินใจในประเด็นปัญหาต่าง ๆ ที่หลากหลาย โอกาสที่ SDSS จะได้รับการนำไปใช้งานแพร่หลายจะมีมากขึ้น

ความเชื่อมั่นต่อระบบ SDSS จะมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ในการพัฒนาองค์ประกอบส่วนต่าง ๆ ของ SDSS ความทันสมัย ความถูกต้อง และการเข้าถึงข้อมูลที่หน่วยงานต่าง ๆ รับผิดชอบ เป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพของการนำ SDSS ไปใช้งาน ผลของการวิจัยและพัฒนา SDSS อาจได้วิธีการเชื่อมโยงส่วนต่าง ๆ ของระบบ ที่สามารถโต้ตอบกับผู้ใช้ได้สะดวกและง่ายต่อการใช้งาน แต่ความถูกต้องของประเมินทางเลือก ยังต้องขึ้นอยู่กับความถูกต้องของข้อมูลนำเข้าที่ได้มาจากแหล่งต่าง ๆ

ในส่วนของการพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ประเมินทางเลือกนั้น ยังมีความจำเป็นต้องมีการพัฒนาและทดสอบ เพื่อให้สามารถใช้งานในประเทศได้แม่นยำขึ้น การประเมินทางเลือกในการผลิตพืชที่ต้องอาศัยแบบจำลองพืชนั้น มีประเด็นต่าง ๆที่ต้องการงานวิจัยและพัฒนาเชิงระบบอีกมาก ตามรายละเอียดในรายงานของอรรถชัยและคณะ (2543) ที่เสนอในการสัมมนาครั้งนี้ สำหรับการประเมินทางเลือกในปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการจัดการทรัพยากรธรรมชาตินั้น ต้องอาศัยผลงานวิจัยที่ใช้วิธีการวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ (MCDM) สนับสนุน ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเชิงระบบในแนวทางนี้มากขึ้น

สรุป

งานวิจัยและพัฒนาระบบเกษตรในระดับชั้นที่กว้างขวางกว่าฟาร์ม ต้องการเครื่องมือและวิธีการที่ช่วยในการวินิจฉัยปัญหา และประเมินทางเลือกในการแก้ไขปัญหา หรือปรับปรุงระบบการผลิตในสภาพที่มีความแปรปรวนสูง ความก้าวหน้าในด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ทำให้ระบบข้อมูลเชิงพื้นที่ได้รับการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว และสามารถนำมาช่วยในการวิเคราะห์พื้นที่ได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพกว่าในอดีตมาก เมื่อนำระบบนี้ไปเชื่อมโยงกับแบบจำลองหรือวิธีการวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ พร้อมทั้งมีระบบโต้ตอบกับผู้ใช้ที่ง่ายและสะดวกต่อการใช้งาน จะทำให้

กระบวนการตัดสินใจที่ต้องอาศัยข้อมูลเชิงพื้นที่ ดำเนินการได้อย่างรวดเร็ว และมีความยืดหยุ่นสูง เนื่องจากผู้ใช้สามารถกำหนดทางเลือกที่จะประเมิน และพิจารณาเลือกทางเลือกที่ดีที่สุดจากการผลการประเมิน ที่สามารถแสดงออกมาในรูปแบบต่างๆ ที่ง่ายต่อความเข้าใจ ระบบสนับสนุนการตัดสินใจเชิงพื้นที่ในประเทศไทยกำลังอยู่ในระยะเริ่มต้น จึงยังต้องการงานวิจัยเชิงระบบเพื่อศึกษาวิธีการประเมินทางเลือกโดยใช้แบบจำลอง และวิธีการวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ ในปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาการเกษตรและจัดการทรัพยากรธรรมชาติ การพัฒนาฐานข้อมูลเชิงพื้นที่และฐานข้อมูลประการอื่นๆ ให้มีความถูกต้อง ทันสมัย และมีมาตรฐาน ที่สามารถแลกเปลี่ยนระหว่างหน่วยงานต่างๆ และกลุ่มผู้ใช้ เป็นสิ่งจำเป็น ทั้งนี้เพื่อสร้างความมั่นใจว่า ระบบ SDSS ที่จะพัฒนาขึ้นในอนาคต เป็นระบบที่สามารถสนับสนุนระบบการตัดสินใจในระดับต่างๆ ของระบบการเกษตรได้จริง

เอกสารอ้างอิง

เบญจพรรณ ชินวัตร. 2531. การวิเคราะห์การตัดสินใจของเกษตรกรโดยการใช้แบบจำลองเพื่อหาศักยภาพการขยายพื้นที่ปลูกพืชน้ำมัน. วารสารเกษตร 4(1):69-81.

เบญจพรรณ ชินวัตร, พิชิต ธานี และ จามะรี พิทักษ์วงศ์. 2532. กระบวนการตัดสินใจเลือกระบบพืชของเกษตรกร: กรณีศึกษาที่ราบลุ่มเชียงใหม่. วารสารเศรษฐศาสตร์ธรรมศาสตร์ 5(1):129-166.

พงษ์สันต์ สีจันทร์, G. Trebuil และ B. Galtier. 2533. การศึกษานิเวศวิทยาการเกษตรในระบบเกษตรกรรมลุ่มน้ำแม่กลองด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียม SPOT. รายงานการสัมมนา เรื่องระบบการทำฟาร์ม ครั้งที่ 7. กรมส่งเสริมการเกษตร. หน้า 142-153.

พนมศักดิ์ พรหมบุรมย์, อรรถชัย จินตะเวช และ เมธี เอกะสิงห์. 2543ก. โครงสร้างของระบบสนับสนุนการตัดสินใจการผลิตข้าว: โพสพ 1.0. *ใน* เมธี เอกะสิงห์ และคณะ (บรรณาธิการ). ระบบสนับสนุนการตัดสินใจการผลิตข้าว รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ส่วนที่ 1 โครงการวิจัยระบบสนับสนุนการตัดสินใจการผลิตพืช: ข้าวในภาคเหนือ. ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. หน้า 213-237.

พนมศักดิ์ พรหมบุรมย์, อรรถชัย จินตะเวช และ เมธี เอกะสิงห์. 2543ข. การใช้โพสพ 1.0 ในการสนับสนุนการวางแผนผลิตข้าวระดับจังหวัด. *ใน* เมธี เอกะสิงห์ และคณะ (บรรณาธิการ). ระบบสนับสนุนการตัดสินใจการผลิตข้าว รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ส่วนที่ 1 โครงการวิจัยระบบสนับสนุนการตัดสินใจการผลิตพืช: ข้าวในภาคเหนือ. ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. หน้า 239-258.

พนมศักดิ์ พรหมบุรมย์, อรรถชัย จินตะเวช และ เมธี เอกะสิงห์. 2543ค. โปรแกรมเชื่อมโยงเอราวัณ 1.0. Agriculturall System Working Paper No. 23. ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เมธี เอกะสิงห์ และ พฤกษ์ ยิบมันตะสิริ. 2528. การใช้วิธีการวิเคราะห์ระบบเกษตรนิเวศเพื่อศึกษาสภาพพื้นที่และระบุปัญหาสำหรับการวิจัย. รายงานการสัมมนาเรื่องระบบการทำฟาร์ม ครั้งที่ 2 . มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. หน้า 53-76.

เมธี เอกะสิงห์, ศิริชัย ชูประภาวรรณ, ชาญชัย แสงชโยสวัสดิ์ และ ทวีศักดิ์ เวียรศิลป์. 2536. ระบบข้อมูลเชิงพื้นที่เพื่อช่วยประเมินทางเลือกในการใช้ที่ดินทางเกษตร. Agricultural Technical Report No. 23. ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เมธี เอกะสิงห์, เบญจพรรณ ชินวัตร, ถาวร อ่อนประไพ และ พนมศักดิ์ พรหมบุรมย์. 2539. การประเมินการใช้ทรัพยากรธรรมชาติในระดับภูมิทัศน์ของชุมชนบนที่สูง. รายงานการสัมมนาระบบการทำฟาร์มครั้งที่ 11: ระบบเกษตรกรรมเพื่อเกษตรกร สิ่งแวดล้อมและความยั่งยืน. กรมวิชาการเกษตร. หน้า 16-31.

เมธี เอกะสิงห์, พรวิไล ไทรโพธิ์ทอง และ ชัยวัฒน์ ไชยคุปต์. 2539. การคัดเลือกพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลาในนาข้าวโดยใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์. รายงานการสัมมนาระบบการทำฟาร์ม ครั้งที่ 11: ระบบเกษตรกรรมเพื่อเกษตรกร สิ่งแวดล้อมและความยั่งยืน. กรมวิชาการเกษตร. หน้า 174-185.

เมธี เอกะสิงห์, พนมศักดิ์ พรหมบุรมย์, ชาญชัย แสงชโยสวัสดิ์, เบญจพรรณ เอกะสิงห์, ธันยา พรหมบุรมย์, เฉลิมพล สำราญพงษ์ และ จุไรพร แก้วทิพย์. 2542. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการพัฒนาระบบฐานข้อมูลดินระยะที่ 2. ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 126 หน้า.

ศรีสอางค์ เก่าเจริญ, G. Trebuil, ผ่องพรรณ ตรัยมงคลกูล และ นิตยา เงินประเสริฐศรี. 2535. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและการจัดแบ่งเขตนิเวศวิทยาเกษตรเพื่อระบบการเกษตรแบบยั่งยืน : กรณีศึกษาจังหวัดกาญจนบุรี. รายงานการสัมมนาระบบการทำฟาร์ม ครั้งที่ 9. กรมวิชาการเกษตร. หน้า 119-138.

อรรถชัย จินตะเวช, หัสไชย บุญจูง, เกริก ปั้นเหน่งเพชร, พนมศักดิ์ พรหมบุรมย์, ปรีชา พราหมณีย์, วินัย ศรวัต และ ก้อนทอง พวงประโคน. 2543. แบบจำลองระบบการผลิตพืชกับงานวิจัยระบบการทำฟาร์ม. รายงานการสัมมนาวิชาฉบับนี้.

อารี วิบูลย์พงศ์, อานัง กุนาวัน ยาห์ยา, และ ทรงศักดิ์ ศรีบุญจิตต์. 2535. ผลกระทบของรายได้นอกฟาร์มต่อการวางแผนระบบการปลูกพืชยืนต้นในที่สูง. รายงานการสัมมนาระบบการทำฟาร์ม ครั้งที่ 9. กรมวิชาการเกษตร. หน้า 361-367.

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. Agron. J. 91:657-655.

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

Barreto, H.J. and A.D. Hartkamp. 1999. Analysis of maize production in Hondurus : Linking census deta to environment variables through Geographic Information Systems. NRG-GIS Series 99-02. CIMMYT, Mexico, D.F.

Burrough, P.A., 1989. Fuzzy mathematical methods for soil survey and land evaluation. Journal of Soil sciences 40: 477-492.

Byerlee, D. and M. Cillinson. 1980. Planning technologies appropriate to farmers : Concepts and procedures. CIMMYT, Mexico, D.F.

Collinson, M. 1981. A low cost approach to understanding small farmers. Agricultural Administration 8: 433-450.

Conway, G.R. 1985. Agroecosystems analysis. Agricultural Aministration 20:31-35.

Densham, P.J. 1991. Spatial decision support systems. p.403-412. *In* D.J. Maguire *et al*. (eds.). Geographic Information Systems : Principles and Application. Vol.1. Longman, London.

Eastman, J.R., W. Jin, P. Kyem, and J. Toledano. 1992. Participatory procedures for multi-criteria evaluations in GIS. Proceedings of EGIS'92. Buffalo, N.Y. p.281-288.

Eastman, J.R. 1999. Guide to GIS and Image Processing. Volume 2. Clark Labs, Clark university, MA.

Engel, T., G. Hoogenboom, J.W. Jones and P.W. Wilkens. 1997. AEGIS/WIN-A computer program for the application of crop simulation models across geographic areas. Agron J. 89:919-928.

ESRI. 1996. ArcView, The Geographic Information System for Everyone. Environmental Systems Research Institute, Inc., Redlands, CA.

FAO. 1976. A Framework for Land Evaluation. Soil Bulletin 32. Rome.

Gypmantasiri, P., A. Wiboonpongse, B. Rerkasem, I. Craig, K. Rerkasem, L. Gajanapan, M. Titayawan, M. Seetisarn, P. Thani, R. Jaisaard, S. Ongprasert, T. Radanachales and G.R. Conway. 1980. An Interdisciplinary Perspective of Cropping Systems in Chiang Mai Valley : Key Questions for Research. Faculty of Agriculture, Chiang Mai University.

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

Hassan, R.M., J. Lynam and P. Okoth. 1998. The Spatial sampling frame and design for farmer and village surveys. p. 27-41. *In* R.M. Hassan (ed.). Maize Technology Development and Transfer. A GIS Application for Research Planning in Kenya. CAB. International.

Hassan, R.M., J.D. Corbett and K. Njoroge. 1998. Combining geo-referenced survey data with agroclimatic attributes to characterize maize production systems in Kenya. p.43-68. *In* R.M. Hassan (ed.). Maize Technology Development and Transfer : A GIS Application for Research Planning in Kenya. CAB. International.

Hildebrand, P.E. 1981. Combininig disciplines in rapid appraisal. The Sondeo approach. Agricultural Administration. 8:423-432.

Hoogenboom, G., P.W. Wilkens and G.Y. Tsuji (eds.). 1999. DSSAT version 3. Volume 4. University of Hawaii, Honolulu, HI.

International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer (IBSNAT). 1989. Decision Support System for Agrotechnology Transfer v. 2.1 (DSSAT v2.1) Development of Agronomy and Soil Science, University of Hawaii, Honolulu, HI.

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. p.157-177. *In* G.Y.Tsuiji et al. (eds.). Understanding Options for Agricultural Production. Kluwer Academic Publishers.

Kropff. M.J., P.S. Teng, P.K. Aggarwel, J. Bouman, J.W. Jones and H.H. van Laar (eds.) 1998. Applications of Systems Approaches at the Field Level. Volume 2. Kluwer Academic Publishers, 465 p.

Lightfoot, C., O. de Guia Jr. and F. Ocado. 1988. A participatory method for systems-problem research : Rehabilating marginal uplands in the Philippines. Expl Agric. 24:301-309.

Lightfoot, C., A. Botrall, N. Axinn, G. Conway and P. Singh. 1989. Training Resource Book for Agro-ecosystem Mapping. International Rice Research Institute, Philippines, 55 p.

Limpinuntana, V. 1987. Conceptural tools for RRA in agrarian society. Proceedings of the 1985 International Conference on Rapid Rural Appraisal, Khon Kaen University. p.144-173.

Malczewski, J. 1999. GIS and Multi-criteria Decision Analysis. John Wiley & Sons, Inc., 392 p.

Mendoza, G.A. and R. Prabhu. 1999. Multiple criteria decision making approaches to assessing forest sustainability using criteria and indicator : A case study. Forest Ecology and Management 131: 107-126.

Mohan, S. and N. Arumujam. 1994. CROPES : A rule-based expert system for crop selection in India. Trans. ASAE. 37(3):1355-1363.

Nisar Ahamed, T.R., K. Gopal Rao and J.P.R. Murthy. 2000. GIS-based fuzzy membership model for crop-land suitability analysis. Agricultural Systems 63:75-95.

Patanothai, A. 1997. Systems approaches to farm management in variable environments. p.19-29. *In* P.S. Teng et al. (eds.). Application of Systems Approaches at the Farm and Regional Levels. Kluwer Academic Publishers.

Pereira, J.M.,and L. Duckstein. 1993. A multiple criteria decision-making approach to GIS-based land suitability analysis. Int. J. Geographical Information Systems 7:407-24.

Priebprom, S. 1986. Integration of farm, nonfarm enterprises and off-farm work for rural development on irrigated farms in northeast Thailand : A linear

programming model. Proceedings of the 3rd Thailand National Farming Systems Seminar, Chiang Mai University. p.69-98.

Rhoades, R.E. 1987. Basic field techniques for Rapid Rural Appraisal. Proceedings of the 1985 International Conference on Rapid Rural Appraisal, Khon Kaen University. p.114-128.

Robotham, M.P. 1998. Modeling socioeconomic influence on agroforestry adaption using a rule-base decision support system. p.153-166. *In* P.S. Teng *et al.* (eds.). Application of Systems Approaches at the Farm and Regional Levels. Kluwer Academic Publishers.

Rosister, D.G. 1995 Economic Land Evaluation. Why and How. Soil Use and Management 11:132-140.

Saaty, T.L. 1980. The Analytical Hierarchy Process. McGraw Hill, New York.

Teng, P.S., M.J. Kropff, H.F.M. Fen Berge, J.B. Dent, F.P. Lansigan and H.H. van Laar (eds.). 1998. Applications of Systems Approaches at the Farm and Regional Levels. Volume 1. Kluwer Academic Publishers, 468 p.

Tiwari, D.N. R. Loofad, G.N. Paidyal. 1999. Environment-economic decision-modeling in lowland irrigated agriculture using multi-criteria analysis techniques. Agricultural Systems 60:99-112.

Tripp, R. and J. Wooley. 1989. The Planning Stage of On-farm Research Identifying Factors for Experimentation. CIMMYT/CIAT. Mexico, D.F.

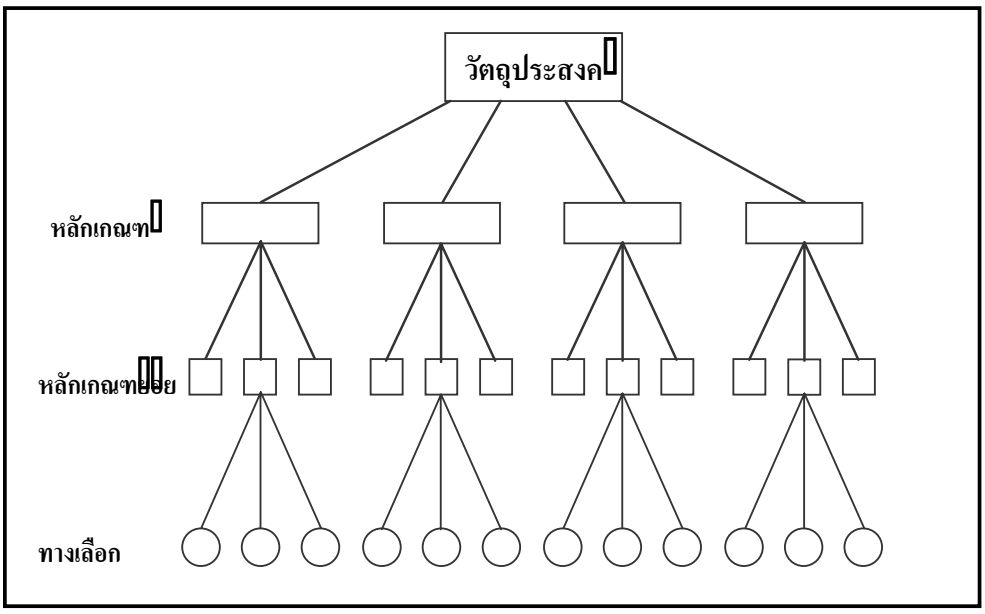
Tsuji, G.Y., G. Vehara and S. Balas (eds.). 1994. DSSAT version 3 Volume 1,2,3. University of Hawaii, Honolulu, HI.

Yost, R.S., G. Uehara, M. Wade, M. Sudjadi, I.P.G. Widjaja-adhi and Z.C. Li. 1988. Expert systems in agriculture : Determining lime recommendations for soil of the humid tropics. University of Hawaii. CTAHR Research Extension Series Publication No. 089. Honolulu, HI.

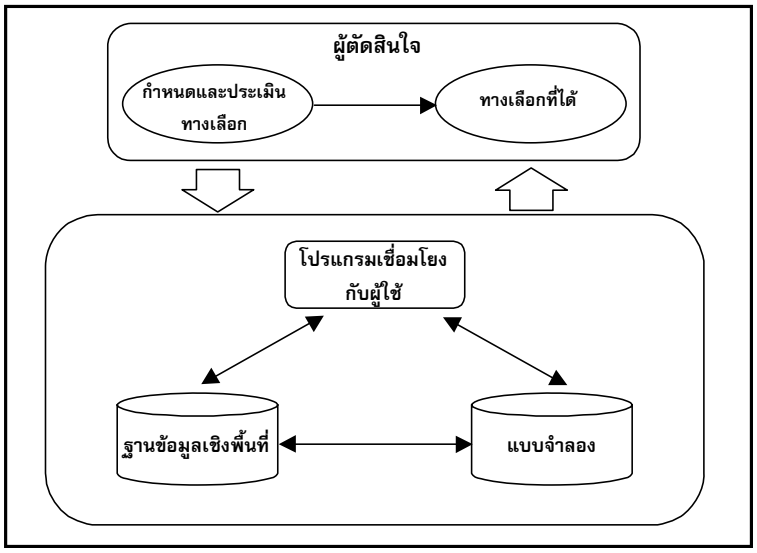
Zandstra, H., E. Price, J. Listinger and R. Morris. 1981. Methodology for On-Farm Cropping Systems Research. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines.

ตารางที่ 1 ข้อแตกต่างระหว่างการวางแผนการผลิตพืชในระดับแปลงและระดับจังหวัด

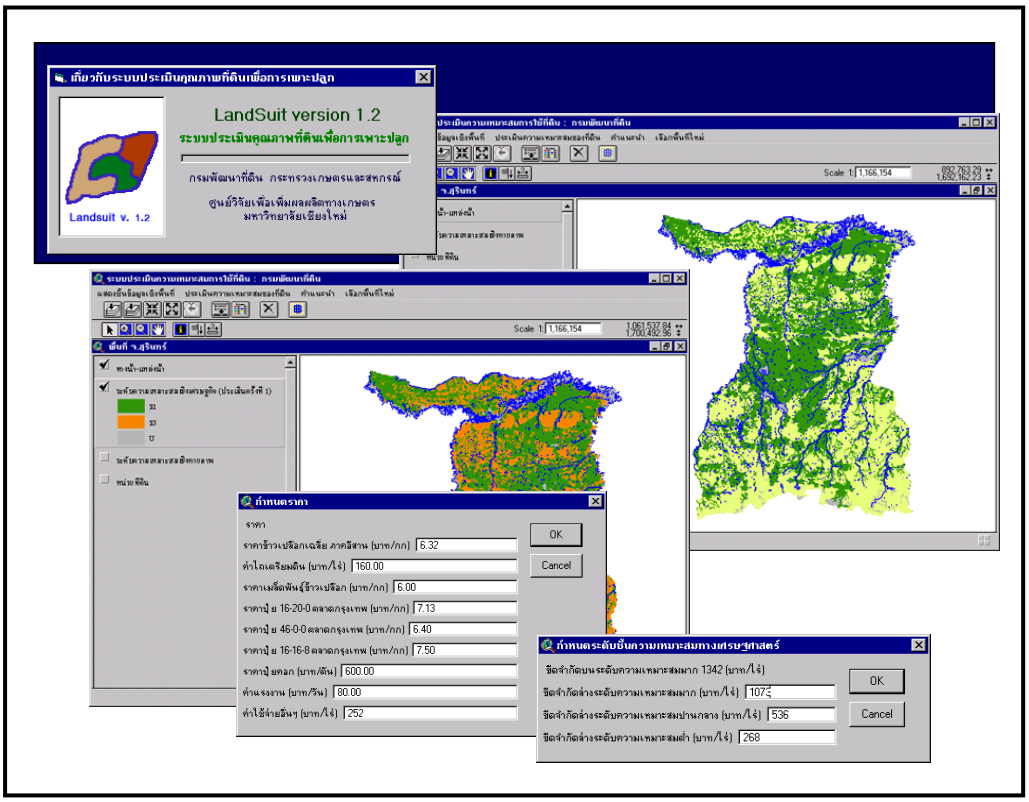
รายการ	ระดับแปลง	ระดับจังหวัด
พื้นที่เพาะปลูก	<1.0 ไร่	> ล้านไร่
สภาพภูมิประเทศ	สม่ำเสมอ	หลากหลายและซับซ้อน
ตัวแปรที่กำหนดผลผลิต	น้อย	มาก
ความแปรปรวนเชิงพื้นที่	ต่ำ	สูง
บทบาทของข้อมูลเชิงพื้นที่	น้อย	มาก
ข้อมูลที่ต้องจัดการ	น้อย	มาก
การเชื่อมโยงกับนโยบาย	น้อย	มาก



ภาพที่ 1 โครงสร้างการวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์โดยวิธี Analytic Hierarchy Process (Saaty, 1980)



ภาพที่ 2 องค์ประกอบของระบบสนับสนุนการตัดสินใจเชิงพื้นที่ (SDSS) ดัดแปลงจาก Densham (1991)



ภาพที่ 3 ตัวอย่างการแสดงผลบนจอภาพของระบบสนับสนุนการประเมินคุณภาพที่ดินเพื่อการเพาะปลูก (เมธี และคณะ, 2543)

ภาพที่ 4 การกำหนดทางเลือกและผลการประเมินทางเลือกในระบบการสนับสนุนการตัดสินใจผลิตข้าว “โพสพ 1.0” (พนมศักดิ์ และคณะ, 2543)