การพัฒนาระบบภูมิสารสนเทศเครือข่ายลุ่มน้ำในภาคเหนือตอนบน[1]

ปิ่นเพชร สกุลส่องบุญศิริ[2] และเมธี เอกะสิงห์[3]

บทคัดย่อ

ลุ่มน้ำเป็นหน่วยแผนที่ที่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ในการวางแผนการเกษตร และการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ เนื่องจากขอบเขตลุ่มน้ำเป็นขอบเขตของระบบที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ การฟื้นฟูทรัพยากรดินและการจัดการน้ำที่มีประสิทธิภาพต้องอาศัยขอบเขตลุ่มน้ำย่อย ตลอดจนเครือข่ายของลุ่มน้ำย่อย เพื่อช่วยในการระบุลุ่มน้ำที่มีปัญหาหรือเป็นแหล่งที่มาของปัญหาซึ่งส่งผลกระทบต่อทรัพยากรน้ำและสิ่งแวดล้อมในพื้นที่เป้าหมาย การกำหนดขอบเขตและเครือข่ายลุ่มน้ำย่อยในอดีตเป็นงานที่สิ้นเปลืองเวลา และไม่มีความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนตามลักษณะและขอบเขตของปัญหา รายงานนี้จะนำเสนอวิธีการพัฒนาฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศเครือข่ายลุ่มน้ำย่อยและ อุทกวิทยาในพื้นที่บางส่วนของภาคเหนือตอนบนที่ครอบคลุมลุ่มน้ำแม่ขาน ซึ่งเป็นลุ่มน้ำสาขาของลุ่มน้ำหลักปิง ในจังหวัดเชียงใหม่ วิธีการสร้างเครือข่ายลุ่มน้ำเริ่มจากการออกแบบผังโครงสร้างข้อมูลเชิงพื้นที่ของเครือข่ายลุ่มน้ำย่อยตามรูปแบบของ Unified Modeling Language (UML) จากนั้นนำข้อมูลภูมิประเทศแบบจำลองระดับความสูงเชิงตัวเลข (Digital Elevation Model, DEM) ที่สร้างขึ้นจากเส้นชั้นความสูง จุดระดับสูง และเส้นทางน้ำของแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 ทำการสร้างโครงข่ายลำน้ำ จุดรวมน้ำ และขอบเขตลุ่มน้ำย่อยในระบบภูมิสารสนเทศ ทั้งนี้ได้ใช้ระบบ Pfafstetter ในการจัดทำขอบเขตลุ่มน้ำและกำหนดรหัสของลุ่มน้ำอย่างเป็นลำดับชั้นจากลุ่มน้ำหลักถึงลุ่มน้ำย่อย ทำให้การจัดเก็บข้อมูลเครือข่ายลำน้ำและการกำหนดรหัสลุ่มน้ำย่อยมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังสะดวกต่อการเรียกใช้ฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศตามชื่อของลำน้ำ และเป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้งานจัดการทรัพยากรแบบมีส่วนร่วม และการนำไปวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลอื่นในระบบสนับสนุนการวางแผนจัดการทรัพยากรเพื่อการเกษตรต่อไป

คำสำคัญ: GIS ลำดับลุ่มน้ำ การจัดการลุ่มน้ำ การจำแนกลุ่มน้ำ

บทนำ

"หน่วยพื้นที่ลุ่มน้ำ" พัฒนาขึ้นจากฐานคิดการจัดการทรัพยากรแบบองค์รวม ซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตพื้นที่เพื่อสร้างภาพรวมของระบบที่แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางภูมิประเทศ ทรัพยากรกายภาพชีวภาพ การใช้ประโยชน์ที่ดิน และกระบวนการเศรษฐกิจสังคมของพื้นที่ (Montgometry *et al*., 1995; Adinarayana *et al*., 1995; Bishr and Radwan, 1995; Steiner *et al*., 2000; Aspinall and Pearson, 2000) "หน่วยพื้นที่ลุ่มน้ำ" หน่วยหนึ่งอาจประกอบด้วยลุ่มน้ำสาขาได้ตั้งแต่ 1 ลุ่มน้ำขึ้นไป และภายใน 1 ลุ่มน้ำสาขาอาจประกอบด้วยหลายลุ่มน้ำย่อย เป็นลำดับชั้นลงไปเท่าที่ต้องการจะจำแนก ลุ่มน้ำจึงเป็นหน่วยพื้นที่พื้นฐานของการ

---

[1] สนับสนุนการวิจัยโดย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

[2] ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[3] ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

จัดการด้านการเกษตรและทรัพยากรธรรมชาติที่ได้รับความนิยมใช้งาน (FAO, 1996; Adinarayana *et al*., 1999; Steiner *et al*., 2000; Khan *et al*., 2001; Randhir *et al*., 2001; กรมพัฒนาที่ดิน, 2545) เพราะเป็นข้อมูลสนับสนุนการตัดสินใจในการวางแผนเพื่อนำไปสู่ปฏิบัติการที่รัดกุม ชัดเจน และมีมิติการใช้ข้อมูลอธิบายอย่างรอบด้านมากกว่าการกำหนดพื้นที่ตามขอบเขตการปกครอง (Ziemer and Reid, 1997) ในขณะเดียวกันยังมีความยืดหยุ่นและสร้างความมีส่วนร่วมในการแก้ไขปัญหาการจัดการทรัพยากร

การสร้างขอบเขตลุ่มน้ำทำได้อัตโนมัติในระบบภูมิสารสนเทศ (Geographic Information System, GIS) โดยอาศัยข้อมูลแบบจำลองระดับความสูงเชิงตัวเลข (Digital Elevation Model, DEM) และเพิ่มเติมความสอดคล้องต่อสภาพภูมิประเทศจริงของชั้นข้อมูลที่จำลองขึ้นได้ด้วยข้อมูลเส้นทางน้ำและแหล่งน้ำอ้างอิง อย่างไรก็ตามวิธีการกำหนดขอบเขตอัตโนมัติดังกล่าวเป็นเพียงการสร้างชุดข้อมูลเชิงพื้นที่ขอบเขตลุ่มน้ำและข้อมูลอุทกวิทยา แต่ไม่ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของระบบลุ่มน้ำอย่างเป็นรูปธรรมชัดเจน นอกจากนี้ขอบเขตลุ่มน้ำที่ได้จากการจำลองต้องการการระบุชื่อ ซึ่งโดยทั่วไปการกำหนดชื่อลุ่มน้ำทำได้จากการอาศัยชื่อของเส้นทางน้ำอ้างอิง แต่เนื่องจากเส้นทางน้ำอ้างอิงอาจมีความยาวพาดผ่านมากกว่าหนึ่งลุ่มน้ำ เป็นผลให้ชื่อของลุ่มน้ำที่ได้ไม่เป็นชื่อเฉพาะ กล่าวคือมีหลายลุ่มน้ำที่ใช้ชื่อเดียวกัน ทำให้เกิดความสับสนเมื่อนำข้อมูลลุ่มน้ำไปใช้ประโยชน์

ด้วยข้อจำกัดของการจำลองขอบเขตลุ่มน้ำแบบอัตโนมัติดังกล่าว ทำให้มีความจำเป็นต้องพัฒนาระบบภูมิสารสนเทศเครือข่ายลุ่มน้ำ โดยการศึกษาในรายงานนี้เป็นการกำหนดขอบเขตและจำแนกลุ่มน้ำในบริเวณลุ่มน้ำแม่ขานอันเป็นลุ่มน้ำสาขาของลุ่มน้ำหลักปิงด้วยระบบ Pfafstetter (Verdin, 1997; Verdin and Verdin, 1999) ซึ่งเป็นระบบกำหนดขอบเขตและจำแนกลุ่มน้ำที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานการอธิบายสภาพภูมิประเทศและความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของลุ่มน้ำเป้าหมายกับลุ่มน้ำข้างเคียง (watershed topology) ผ่านปรากฏการณ์ด้านอุทกศาสตร์ ที่อาศัยขนาดและรูปร่าง (shape) ของพื้นที่รับน้ำและสภาพอุทกวิทยาของระบบเส้นทางน้ำในพื้นที่เป็นแก่นสำคัญในการจำแนกลักษณะจำเพาะของลุ่มน้ำ รวมทั้งสร้างความเป็นลำดับชั้น (hierarchy) ให้กับลุ่มน้ำและชื่อเฉพาะของลุ่มน้ำ

ระบบ Pfafstetter พัฒนาขึ้นในปีค.ศ.1989 โดย Otter Pfafstetter วิศวกรชาวบราซิลที่ทำงานในองค์กรรัฐบาล Department Nacional de Obras de Seneamento (DNOS) ประเทศบราซิล ต่อมา Verdin (1997) และ Verdin and Verdin (1999) ได้ศึกษาและนำเสนอระบบ Pfafstetter เพื่อสนับสนุนงานการจัดการลุ่มน้ำ ซึ่งการจำแนกลุ่มน้ำในระบบ Pfafstetter ได้ใช้หมายเลข 0 ถึง 9 ในการอ้างอิงเพื่ออธิบายความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของลุ่มน้ำ โครงข่ายลำน้ำ และตำแหน่งของพื้นที่ต้นน้ำ/ปลายน้ำ (upstream /downstream) โดยแต่ละหมายเลขมีลักษณะจำเพาะที่จัดแบ่งได้จากอุทกวิทยาของลำน้ำ

วิธีการศึกษา

การพัฒนาฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศเครือข่ายลุ่มน้ำประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ (1) การออกแบบโครงสร้างฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศ (2) การจำลองขอบเขตและจำแนกลุ่มน้ำด้วย

ระบบ Pfafstetter (3) การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่เพื่อสร้างชุดข้อมูลคุณสมบัติลุ่มน้ำย่อย และ (4) การสร้างชุดข้อมูลเครือข่ายลุ่มน้ำ ซึ่งกระบวนการและขั้นตอนการทำงานดังกล่าวนี้ใช้ซอฟต์แวร์ ArcGIS รุ่น 8.3 (ESRI, 2002), Arc Hydro (Maidment (ed.), 2002) และ Microsoft Visio Professional รุ่น 2002 เป็นเครื่องมือในการทำงาน

การออกแบบโครงสร้างฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศ

การออกแบบฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศหรือ geodatabase เป็นการกำหนดคุณลักษณะของชั้นข้อมูลเชิงพื้นที่และข้อมูลอรรถาธิบายประกอบที่ต้องการ ซึ่งในการศึกษานี้ได้ใช้ UML เป็นเครื่องมือสำหรับการออกแบบโดยอาศัยการทำงานบนโปรแกรม Microsoft Visio แล้วแปลงให้เป็นแฟ้มข้อมูลประเภท XMI (XML Metadata Interchange) จากนั้นสร้างเป็นฐานข้อมูลเชิงพื้นที่แบบ personal geodatabase ใน ArcGIS ด้วย CASE Tools ในส่วน schema wizard creation โครงสร้างของ geodatabase ที่ได้จะมีองค์ประกอบต่าง ๆ เช่นเดียวกับที่ได้ออกแบบและสร้างไว้ในผัง UML

การจำลองขอบเขตและจำแนกลุ่มน้ำด้วยระบบ Pfafstetter

การจำลองขอบเขตและจำแนกลุ่มน้ำด้วยระบบ Pfafstetter แบ่งการทำงานออกเป็น 2 ขั้นตอนหลักที่ประกอบด้วย (1) การจัดทำชุดข้อมูลเชิงพื้นที่เครือข่ายลุ่มน้ำสำหรับเป็นข้อมูลตั้งต้นในการสร้างขอบเขตลุ่มน้ำ และ (2) การสร้างชั้นข้อมูลเชิงพื้นที่ลุ่มน้ำและกำหนดรหัสด้วยระบบ Pfafstetter

1. การจัดทำชุดข้อมูลเชิงพื้นที่เครือข่ายลุ่มน้ำพื้นฐาน

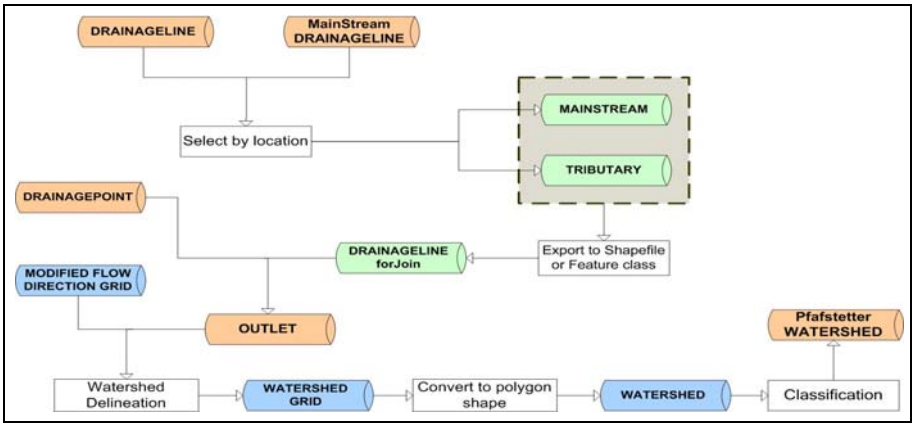
เนื่องจากระบบ Pfafstetter ต้องการรายละเอียดของโครงข่ายลำน้ำที่สอดคล้องกับสภาพพื้นที่จริงและตำแหน่งจุดรวมน้ำที่เชื่อถือได้ว่าเป็นจุดต่ำสุดที่มีน้ำไหลมารวมกัน จึงได้ทำการสร้างชุดข้อมูลเครือข่ายลุ่มน้ำพื้นฐานแบบอัตโนมัติโดยใช้ข้อมูล DEM ร่วมกับข้อมูลเส้นทางและแหล่งน้ำอ้างอิงขนาดมาตราส่วน 1:50,000 เพื่อให้ชั้นข้อมูลโครงข่ายลำน้ำที่ได้จากการจำลองข้อมูลลุ่มน้ำมีความต่อเนื่องสอดคล้องกับภูมิประเทศและแสดงทิศทางการไหลของน้ำได้ชัดเจนมากขึ้น

การจำลองขอบเขตลุ่มน้ำเริ่มต้นจากการผนวกชั้นข้อมูลเส้นทางน้ำอ้างอิงเข้าสู่ DEM ด้วยกระบวนการ stream burning ด้วยเทคนิคที่พัฒนาโดย Hellweger (1997) จากนั้นจึงทำการสร้างชั้นข้อมูลทิศทางการไหลของน้ำ (flow direction) ชั้นข้อมูลการรวมตัวของน้ำ (flow accumulation) และเส้นทางน้ำจากชั้นข้อมูลการรวมตัวของน้ำโดยได้ระบุค่าจำนวนกริดที่มีน้ำไหลมารวมกันที่ 500 กริดเซลล์ พร้อมทั้งสร้างชั้นข้อมูลโครงข่ายลำน้ำซึ่งเป็นการกำหนดจุดเชื่อมต่อเส้นทางน้ำเพื่อสร้างขอบเขตลุ่มน้ำย่อย จากนั้นแปลงเป็นชั้นข้อมูลเวกเตอร์อันประกอบด้วยชั้นข้อมูลลุ่มน้ำย่อย โครงข่ายลำน้ำ และจุดรวมน้ำของลุ่มน้ำย่อย เพื่อทำการสร้างชุดเครือข่ายลุ่มน้ำด้วยเครื่องมือใน Arc Hydro ผลลัพธ์ที่ได้จากการสร้างชุดเครือข่ายลุ่มน้ำคือจุดบรรจบของเส้นทางน้ำและตำแหน่งพื้นที่รับน้ำของแต่ละลุ่มน้ำย่อย ข้อมูลดังกล่าวนี้จะถูกนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

2. การสร้างชั้นข้อมูลเชิงพื้นที่ลุ่มน้ำและจำแนกอันดับชั้นด้วยระบบ Pfafstetter

กระบวนการสร้างข้อมูลในขั้นตอนนี้ (ภาพที่ 1) เริ่มต้นด้วยการคัดเลือกจุดรวมน้ำจากชุดเครือข่ายลุ่มน้ำพื้นฐานที่สร้างไว้ในข้างต้น เพื่อนำไปใช้สร้างขอบเขตลุ่มน้ำตามเงื่อนไขของระบบ Pfafstetter โดยทำการกำหนดเส้นทางน้ำสายหลัก (main stream) ในพื้นที่จากชั้นข้อมูลโครงข่ายลำน้ำพื้นฐาน เพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับระบุลำน้ำสาขา (tributary) จากนั้นทำการตรวจสอบว่ามี

ลำน้ำสาขาใดที่ไหลบรรจบกับลำน้ำสายหลักด้วยฟังก์ชันใน GIS แล้วเลือกเฉพาะจุดรวมน้ำของลำน้ำสาขาที่ไหลบรรจบลงน้ำสายหลักที่มีปริมาณน้ำมากเป็นอันดับที่ 1-4 ด้วยค่าสะสมน้ำ ในส่วนของลำน้ำสายหลักให้เลือกจุดรวมน้ำที่มีค่าสะสมน้ำสูงสุด โดยทั่วไปแล้วจุดที่น้ำมาบรรจบกันบนลำน้ำหลักจะได้รับน้ำจากจุดรวมน้ำตั้งแต่ 2 จุดขึ้นไป ซึ่งจากเหตุผลดังกล่าวทำให้ได้จุดรวมน้ำอีก 4 จุดบนลำน้ำสายหลัก นำจุดรวมน้ำที่ได้ไปใช้ในการกำหนดขอบเขตลุ่มน้ำร่วมกับชั้นข้อมูลทิศทางการไหลของน้ำที่ได้สร้างไว้ในขั้นตอนเตรียมชุดเครือข่ายลุ่มน้ำพื้นฐาน แล้วกำหนดรหัสลุ่มน้ำโดยอาศัยข้อมูลค่าสะสมน้ำและตำแหน่งพื้นที่รับน้ำ



ภาพที่ 1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการกำหนดขอบเขตและจำแนกลุ่มน้ำด้วยระบบ Pfafstetter

การจำแนกอันดับชั้น (order) ของลุ่มน้ำด้วยระบบ Pfafstetter ดำเนินการโดยพิจารณาจากค่าสะสมน้ำ ณ จุดรวมน้ำที่ตั้งอยู่บนลำน้ำสายหลักและบนลำน้ำสาขา ทั้งนี้กำหนดให้ลุ่มน้ำของลำน้ำสายหลักที่มีค่าสะสมน้ำสูงสุดเป็นลุ่มน้ำอันดับที่ 1 ส่วนลุ่มน้ำที่มีค่าสะสมน้ำมากน้อยลดหลั่นกันลงมากำหนดให้เป็นอันดับที่ 3 5 7 และ 9 ตามลำดับ ถ้าเป็นลุ่มน้ำของลำน้ำสาขา ให้พิจารณาจากตำแหน่งพื้นที่รับน้ำ โดยเรียกว่าลุ่มน้ำอันดับที่ 2 ถ้าลุ่มน้ำนั้นมีความเป็นพื้นที่รับน้ำมากที่สุด และมีจุดบรรจบน้ำร่วมกับลุ่มน้ำอันดับที่ 3 ที่กำหนดไว้แล้วในข้างต้น ในขณะที่ลุ่มน้ำอันดับที่ 4 เป็นลุ่มน้ำที่มีความเป็นพื้นที่รับน้ำรองลงมาและมีจุดบรรจบน้ำร่วมกับลุ่มน้ำอันดับที่ 5 ส่วนลุ่มน้ำอันดับที่ 6 มีจุดบรรจบน้ำร่วมกับลุ่มน้ำอันดับที่ 7 ลุ่มน้ำจะถูกกำหนดเป็นลุ่มน้ำอันดับที่ 8 หากเป็นลุ่มน้ำที่มีความเป็นพื้นที่รับน้ำน้อยที่สุดในบรรดาลุ่มน้ำบนลำน้ำสาขาและมีจุดบรรจบน้ำร่วมกับลุ่มน้ำบนลำน้ำหลักอันดับที่ 9 กรณีที่พบว่าลุ่มน้ำใดไม่มีความสัมพันธ์กับพื้นที่ลุ่มน้ำดังกล่าวข้างต้นในแง่การส่งน้ำรับน้ำ ให้กำหนดเป็นอันดับชั้น 0

การจำแนกอันดับสำหรับลุ่มน้ำในลำดับชั้น (hierarchy) ที่ต่ำลงไปดำเนินการเช่นเดียวกับกระบวนการที่กล่าวในข้างต้น โดยอาศัยขอบเขตลุ่มน้ำที่กำหนดขึ้นจากลำดับชั้นสูงกว่าเป็นกรอบอ้างอิง และหากภายในลุ่มน้ำดังกล่าวยังคงมีลำน้ำสาขา ก็ทำการสร้างต่อไปในระดับที่ละเอียดขึ้นจนกระทั่งปรากฏจุดรวมน้ำหรือเส้นทางน้ำเพียงหนึ่งเดียว หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าไม่มีลำน้ำสาขาแล้ว นอกจากนี้ได้ทำการระบุชื่อลุ่มน้ำด้วยชื่อเส้นทางน้ำอ้างอิงที่ปรากฏในแผนที่ภูมิประเทศ โดย

อาศัยวิธีการซ้อนทับชั้นข้อมูลระหว่างขอบเขตลุ่มน้ำและเส้นทางน้ำอ้างอิง เพื่อเป็นข้อมูลอีกชุดหนึ่งที่ใช้สื่อสารกับสาธารณชน

การวิเคราะห์เชิงพื้นที่เพื่อสร้างชุดข้อมูลคุณสมบัติลุ่มน้ำย่อย

เมื่อสร้างขอบเขตลุ่มน้ำและข้อมูลอุทกวิทยาเสร็จแล้ว ได้ทำการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ร่วมกับชั้นข้อมูล DEM การใช้ประโยชน์ที่ดิน หมู่บ้าน ระบบชลประทาน และชั้นข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อสร้างข้อมูลคุณสมบัติของลุ่มน้ำย่อย ได้แก่ ระดับความสูงจากน้ำทะเลปานกลาง สภาพความลาดชันของพื้นที่ สัดส่วนการใช้ที่ดินเพื่อการเกษตร สัดส่วนพื้นที่เพาะปลูกที่ใช้น้ำชลประทาน สัดส่วนพื้นที่ถูกรบกวน และความหนาแน่นของประชากรในลุ่มน้ำย่อย

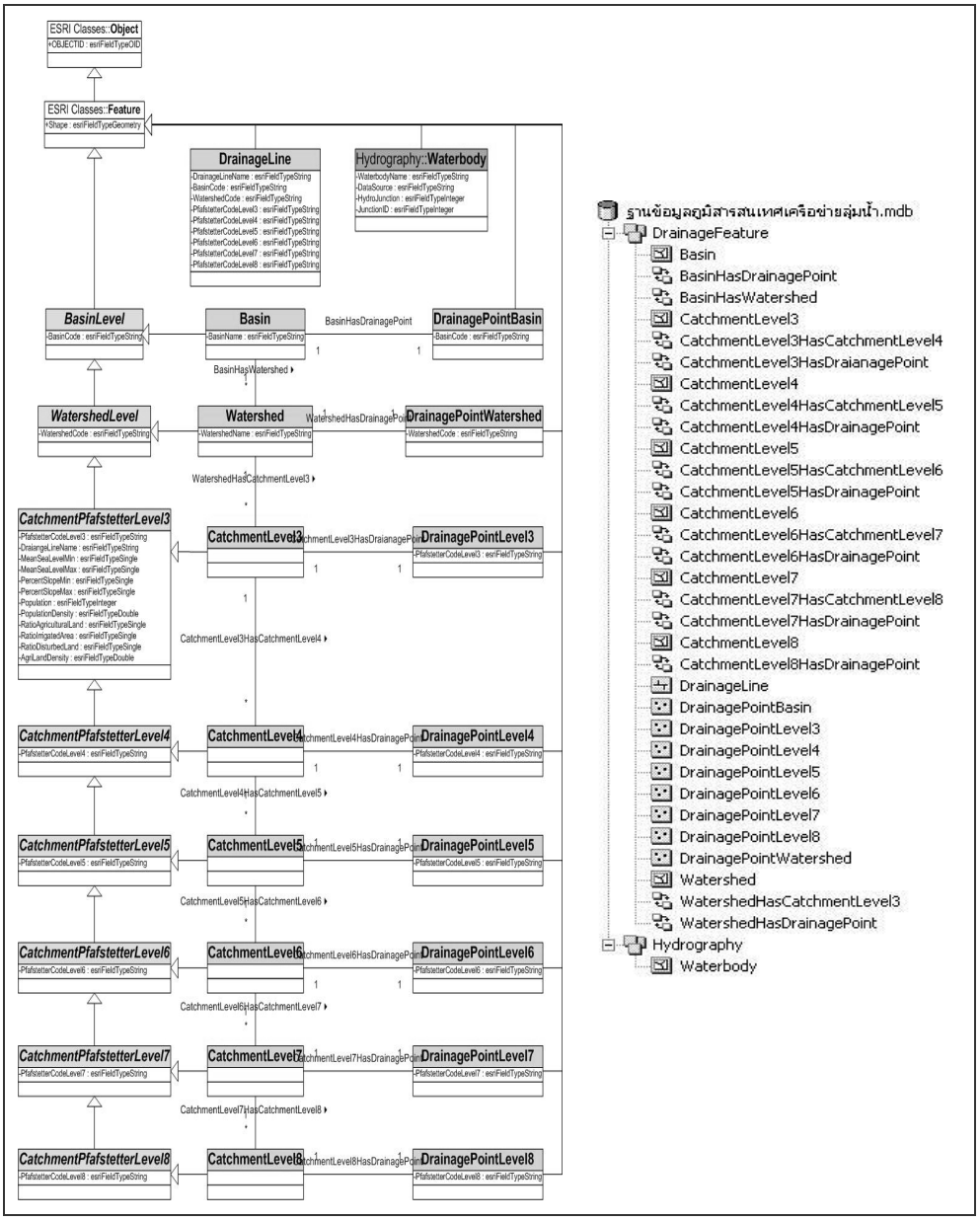
การสร้างชุดข้อมูลเครือข่ายลุ่มน้ำ

ชุดข้อมูลเครือข่าย (network) เป็นข้อมูลที่จำลองความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุเชิงพื้นที่และทิศทางการเคลื่อนตัวของวัตถุ (Booth *et al*., 2002) โดยอาศัยโครงสร้างความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุเชิงพื้นที่ในชุดข้อมูลเครือข่าย (Zeiler, 1999) อันประกอบด้วยชั้นของวัตถุ (feature class) ที่เรียกว่า edge network features และ junction network features ซึ่งเป็นวัตถุเชิงพื้นที่ประเภทเส้น (line) และจุด (point) ตามลำดับ โดยที่ edge network features เชื่อมต่อกันได้ด้วย junction network features ชุดข้อมูลเครือข่ายลุ่มน้ำสร้างขึ้นจากการจำลองทิศทางการไหลของน้ำที่ไหลจากที่สูงลงที่ต่ำและบรรจบกันที่จุดหนึ่งๆ ซึ่งการไหลของน้ำสามารถอธิบายได้ด้วยชั้นข้อมูล hydroJunction (point), hydroEdges (line) และชุดข้อมูลความสัมพันธ์ (relationship) ระหว่าง hydroJunction กับขอบเขตลุ่มน้ำ สำหรับชั้นข้อมูลที่นำมาใช้ในการสร้างชุดเครือข่ายลุ่มน้ำ ได้แก่ ขอบเขตลุ่มน้ำ โครงข่ายลำน้ำ และจุดรวมน้ำ โดยอาศัยการทำงานของ hydro network generation ใน Arc Hydro

ผลการศึกษา

ผัง UML และโครงสร้างฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศ

ผัง UML ในภาพที่ 2 แสดงโครงสร้างฐานข้อมูลของลุ่มน้ำที่จำแนกตามระบบ Pfafstetter โดยใช้ feature class ประเภท polygon แสดงขอบเขตลุ่มน้ำระดับต่างๆ รวมถึงแหล่งน้ำอ้างอิง ส่วนจุดรวมน้ำของลุ่มน้ำระดับต่าง ๆ และโครงข่ายลำน้ำจัดเก็บด้วย feature class ประเภท point และ line ตามลำดับ ข้อมูลอรรถาธิบายได้รับการจัดเก็บในรูปแบบตาราง และความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจัดเก็บด้วยชุดความสัมพันธ์

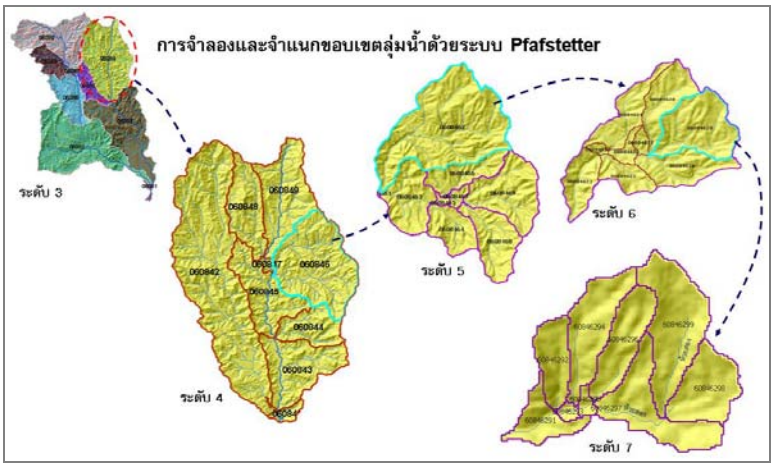


ภาพที่ 2 ผัง UML และโครงสร้างของฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศเครือข่ายลุ่มน้ำ

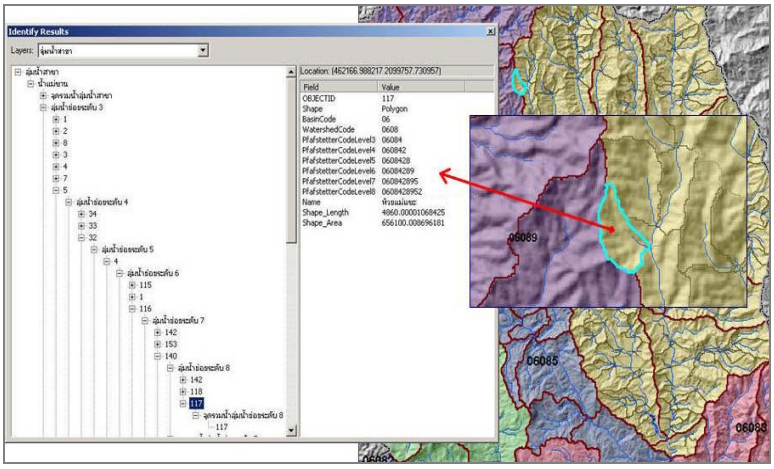
ฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศเครือข่ายลุ่มน้ำ

สำหรับการจำลองและจำแนกลุ่มน้ำด้วยระบบ Pfafstetter ในลำดับชั้นระดับลุ่มน้ำหลัก (basin) และลุ่มน้ำสาขา (watershed) ได้อ้างอิงด้วยรหัสกำกับที่ปรากฏในโครงสร้างข้อมูลวางแผนการใช้ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน (2542) ซึ่งรหัสกำกับลุ่มน้ำสาขาแม่ขานคือ “0608” ตัวอย่างในภาพ

ที่ 3(ก) แสดงขอบเขตลุ่มน้ำที่ได้จากการจำลองด้วยระบบ Pfafstetter โดยเริ่มนับลำดับชั้นของลุ่มน้ำระดับที่ 1 จากลุ่มน้ำหลักปิง ระดับที่ 2 คือลุ่มน้ำสาขาแม่ขาน และลุ่มน้ำย่อยระดับที่ 3 4 5 6 และ 7 นอกจากนี้ความสัมพันธ์ของลุ่มน้ำระดับต่าง ๆ ในระบบ Pfafstetter สามารถเห็นได้ชัดเจนจากโครงสร้างฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศที่ได้จัดทำผ่านการออกแบบด้วย UML (ภาพที่ 3 (ข))



(ก) ขอบเขตลุ่มน้ำระดับต่าง ๆ ที่ทำการจำลองและจำแนกอันดับชั้นด้วยระบบ Pfafstetter

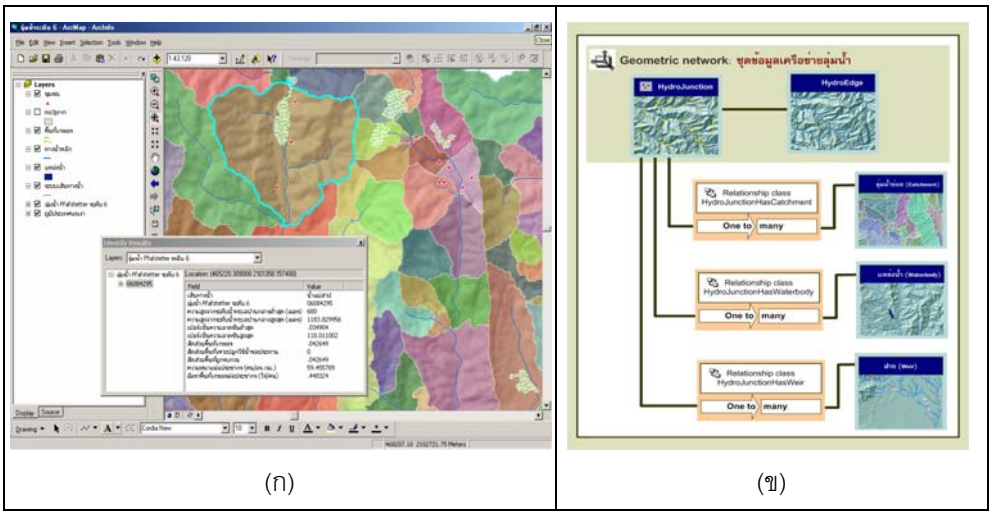


(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างระดับของลุ่มน้ำผ่านโครงสร้างฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศ

ภาพที่ 3 ขอบเขตลุ่มน้ำระดับต่าง ๆ ในระบบ Pfafstetter และความสัมพันธ์ระหว่างระดับของลุ่มน้ำผ่านโครงสร้างฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศ

รหัสกำกับลุ่มน้ำหรือ code ที่ได้จากการจำแนกอันดับชั้นลุ่มน้ำด้วยระบบ Pfafstetter นอก จากจะแสดงนัยความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ในการเป็นพื้นที่ให้น้ำ-รับน้ำด้วยหมายเลข 0 ถึง 9 ยังสามารถใช้อ้างอิงถึงระดับขอบเขตของหน่วยลุ่มน้ำย่อยโดยการเรียงตัวเลขที่แสดงถึงอันดับชั้นในระดับต่าง ๆ ต่อกัน เช่น ลุ่มน้ำ 060842 เป็นลุ่มน้ำแม่สาป ซึ่งครอบคลุมลำน้ำแม่สาปที่ไหลบรรจบกับน้ำแม่สะเมิง หรือเป็นลุ่มน้ำย่อยอันดับชั้นที่ 2 ภายในลุ่มน้ำแม่สะเมิง (06084) บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ขาน (0608) ผลจากการอ้างอิงได้ดังกล่าวทำให้เกิดชื่อเฉพาะ (unique) ของลุ่มน้ำย่อยที่เป็นข้อสนเทศ (information) สำหรับอธิบายบทบาทและตำแหน่งของลุ่มน้ำในเชิงเปรียบเทียบ ซึ่งลุ่มน้ำที่ได้การจำลองโดยไม่อาศัยระบบ Pfafstetter จะไม่ปรากฏรายละเอียดดังกล่าวนี้

สำหรับข้อมูลคุณสมบัติลุ่มน้ำย่อยที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ได้ทำการจัดเก็บในตารางอรรถาธิบายของข้อมูลเชิงพื้นที่ขอบเขตลุ่มน้ำ ซึ่งสามารถเรียกแสดงเป็นแผนที่ได้ด้วยดังภาพที่ 4(ก) ส่วนองค์ประกอบของชุดเครือข่ายลุ่มน้ำที่สร้างขึ้นจากข้อมูลเชิงพื้นที่ขอบเขตลุ่มน้ำในระบบ Pfafstetter และการเชื่อมโยงข้อมูลเข้าสู่เครือข่ายแสดงดังภาพที่ 4(ข)



(ก) (ข)

ภาพที่ 4 (ก) ตัวอย่างข้อมูลคุณสมบัติของลุ่มน้ำย่อย และ (ข) ชุดข้อมูลเครือข่ายลุ่มน้ำ

การใช้ประโยชน์ระบบภูมิสารสนเทศเครือข่ายลุ่มน้ำ

ระบบภูมิสารสนเทศเครือข่ายลุ่มน้ำที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการตัดสินใจในการจัดการทรัพยากร ดังเช่นการใช้ชุดข้อมูลเครือข่ายลุ่มน้ำในการวิเคราะห์เชิงพื้นที่กรณีโอกาสเกิดความขัดแย้งด้านการใช้น้ำด้านการเกษตร หรือการระบุลุ่มน้ำที่เป็นแหล่งกำเนิดตะกอนในอ่างเก็บน้ำ นอกจากนี้แล้วระบบภูมิสารสนเทศเครือข่ายลุ่มน้ำยังเป็นประโยชน์ต่อการจัดลำดับความสำคัญเพื่อการจัดการลุ่มน้ำ ซึ่งเป็นขั้นตอนการวางแผนก่อนเข้าจัดการลุ่มน้ำที่ช่วยให้การจัดการลุ่มน้ำประสบความสำเร็จและตอบสนองต่อการแก้ปัญหาภายใต้วงจำกัดในเรื่องงบประมาณอย่างมีประสิทธิผล ข้อมูลดังกล่าวนี้ช่วยให้ผู้ที่ทำการจัดการลุ่มน้ำทราบว่าต้องดำเนินการหรือจัดการกับพื้นที่ใดก่อนจึงจะสามารถแก้ไขปัญหาได้ทันท่วงทีและสอดคล้องกับศักยภาพที่มีอยู่

สรุป

ฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศเครือข่ายลุ่มน้ำได้พัฒนาขึ้นโดยออกแบบโครงสร้างฐานข้อมูลประเภท geodatabase ด้วย UML จากนั้นจึงสร้างชั้นข้อมูลเชิงพื้นที่ขอบเขตลุ่มน้ำและข้อมูล อุทกวิทยาแบบอัตโนมัติใน GIS จากข้อมูล DEM ร่วมกับชั้นข้อมูลเส้นทางน้ำและแหล่งน้ำอ้างอิงในมาตราส่วน 1:50,000 โดยอาศัยระบบ Pfafstetter ผลการจำลองขอบเขตลุ่มน้ำย่อยพบว่าสามารถทำให้เกิดลุ่มน้ำได้ 8 ระดับ โดยนับรวมระดับลุ่มน้ำหลัก ลุ่มน้ำสาขา และลุ่มน้ำย่อยภายในลุ่มน้ำอีก 6 ระดับ หน่วยลุ่มน้ำที่เล็กที่สุดเริ่มต้นที่ค่าสะสมน้ำที่จุดรวมน้ำมากกว่า 500 กริดเซลล์ ลุ่มน้ำที่ได้จากการจำลองดังกล่าวสามารถอ้างอิงถึงกันได้จากการกำหนดรหัสที่นำอันดับชั้นซึ่งกำกับด้วยหมายเลข 0 ถึง 9 เรียงต่อกันตามลำดับชั้น ผลดังกล่าวทำให้เกิดชื่อเฉพาะสำหรับแต่ละลุ่มน้ำย่อยซึ่งเป็นข้อสนเทศสำหรับการอธิบายบทบาทและตำแหน่งลุ่มน้ำในเชิงเปรียบเทียบ สำหรับระบบที่พัฒนาขึ้นใช้ขีดความสามารถในการวิเคราะห์เชิงพื้นที่และการวิเคราะห์ระบบเครือข่ายใน ArcGIS ทำให้สามารถผลิตซ้ำได้อย่างเป็นระบบ และสามารถจัดทำข้อมูลคุณสมบัติของลุ่มน้ำย่อยได้จากการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ร่วมกับชั้นข้อมูล DEM การใช้ประโยชน์ที่ดิน หมู่บ้าน และระบบชลประทาน ซึ่งได้จัดเก็บเป็นข้อมูลอรรถาธิบายของชั้นข้อมูลเชิงพื้นที่ลุ่มน้ำ ชุดข้อมูลต่าง ๆ ที่สร้างขึ้นได้รับการจัดเก็บในฐานข้อมูลประเภท geodatabase พร้อมทั้งได้จัดทำคำอธิบายรายละเอียดสังเขป (metadata) ของชุดข้อมูล ระบบภูมิสารสนเทศเครือข่ายลุ่มน้ำดังกล่าวนี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการตัดสินใจในการจัดการทรัพยากร ดังเช่นการใช้ชุดข้อมูลเครือข่ายลุ่มน้ำในการวิเคราะห์เชิงพื้นที่กรณีโอกาสเกิดความขัดแย้งด้านการใช้น้ำด้านการเกษตรหรือการระบุลุ่มน้ำที่เป็นแหล่งกำเนิดตะกอนในอ่างเก็บน้ำ นอกจากนี้ผลจากการพัฒนาวิธีการสร้างฐานข้อมูลสามารถนำไปใช้สนับสนุนงานจัดลำดับความสำคัญลุ่มน้ำย่อย

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2542. ***โครงสร้างข้อมูลวางแผนการใช้ที่ดินระดับลุ่มน้ำสาขา***. เอกสารวิชาการ 02/05/42. กรุงเทพฯ: กองวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2545. ***แผนการใช้ที่ดินลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำโขงตอนบน น้ำแม่จัน และแม่น้ำโขงส่วนที่ 2***. กรุงเทพฯ: กองวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน.

Adinarayana, J., K.G. Rao, N.R. Krishna, P.Venkatachalam, and J.K. Suri. 1999. A rule-base soil erosion model for a hilly catchment. ***Catena*** 37: 309-318.

Adminarayana, J., N.R. Krishna, and K.G. Rao. 1995. An integrated approach for prioritisation of watersheds. ***Journal of Environmental Management*** 44: 375-384.

Aspinall, R. and D. Pearson. 2000. Integrated geographical assessment of environmental condition in water catchments: Linking landscape ecology, environmental modeling and GIS. ***Journal of Environmental Management*** 59: 299-319.

Bishr, Y.A. and M.M. Radwan. 1995. Preliminary design of decision support system for watershed management. ***ITC Journal*** 1: 23-28.

Booth, B., S. Crosier, J. Clark, and A. MacDonald. 2002. ***Building a Geodatabase***. California: Environmental Systems Research Institute.

ESRI. 2002. ***ArcGIS.*** California: Environmental Systems Research Institute.

FAO. 1996. ***Computer-assisted Watershed Planning and Management***: Technologies for national planning. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Hellweger, F.L. 1997. AGREE-DEM surface reconditioning system [Online]. Available: http://www.ce.utexas.edu/prof/maidment/gishydro/ferdi/research/agree/agree.html (20 February 2003).

Khan, M.A., V.P. Gupta, and P.C. Moharana. 2001. Watershed prioritization using remote sensing and geographical information system: a case study from Guhiya, India. ***Journal of Arid Environments*** 49: 465–475.

Maidment, D.R. (ed.). 2002. ***Arc Hydro***: GIS for Water Resources. California: ESRI Press.

Montgometry, D.R., G.E. Grant, and K. Sullivan. 1995. Watershed analysis as a framework for implementing ecosystem management. ***Water Resources Bulletin*** 31(3): 369-386.

Randhir, T.O., R. O'Connor, P.R. Penner, and D.W. Goodwin. 2001. A watershed-based land prioritization model for water supply protection. ***Forest Ecology and Management*** 143: 47-56.

Steiner, F., J. Blair, L. McSherry, S. Guhathakurta, J. Marruffo, and M. Holm. 2000. A watershed at a watershed: the potential for environmentally sensitive area protection in the upper San Pedro Drainage Basin (Mexico and USA). ***Landscape and Urban Planning*** 49:129-148.

Verdin, K.L. 1997. A system for topologically coding global drainage basins and stream networks [Online]. Available: http://edcdaac.usgs.gov/gtopo30/hydro/P311.asp (27 May 2004).

Verdin, K.L. and J.P. Verdin. 1999. A topological system for delineation and codification of the Earth's river basins. ***Journal of Hydrology*** 218: 1-12.

Zeiler, M. 1999. ***Modeling Our World***: The ESRI Guide to Geodatabase Design. California: ESRI Press.

Ziemer, R.R. and L.M. Reid. 1997. What have we learned, and what is new in watershed science? [Online]. Available: http://www.fs.fed.us/psw/rsl/projects/water/Ziemer97b.pdf (24 November 2003).