บทที่ 2
แนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิด "ลุ่มน้ำ"

"หน่วยพื้นที่ลุ่มน้ำ" พัฒนาขึ้นจากฐานคิดการจัดการทรัพยากรแบบองค์รวม ซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตพื้นที่เพื่อสร้างภาพรวมของระบบที่แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางภูมิประเทศ ทรัพยากรกายภาพชีวภาพ การใช้ประโยชน์ที่ดิน และกระบวนการเศรษฐกิจวัฒนธรรมของพื้นที่ (Montgometry et al., 1995; Adinarayana et al., 1995; Bishr and Radwan, 1995; Steiner et al., 2000; Aspinall and Pearson, 2000) "หน่วยพื้นที่ลุ่มน้ำ" หน่วยหนึ่งสามารถประกอบด้วยลุ่มน้ำต่างๆ ได้ตั้งแต่ 1 ลุ่มน้ำขึ้นไป และภายใน 1 ลุ่มน้ำสามารถประกอบด้วยหลายลุ่มน้ำย่อย นอกจากนั้นยังสามารถสร้างภาพจำลองปรากฏการณ์ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระหว่างลุ่มน้ำหรือระหว่างลุ่มน้ำย่อยที่ต่อเนื่องกันในแนวระนาบและผลกระทบที่มีต่อลุ่มน้ำระดับต่ำลงไปด้วยทิศทางการไหลของน้ำ

จากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับลุ่มน้ำพบว่านิยามหรือการให้ความหมาย "ลุ่มน้ำ" ส่วนใหญ่ตั้งอยู่บนพื้นฐานที่กำหนดขอบเขตพื้นที่จากระบบเส้นทางน้ำตามลักษณะภูมิประเทศเป็นปัจจัยหลัก โดยอ้างอิงแนวสันเขาหรือเรียกว่าสันปันน้ำซึ่งล้อมรอบพื้นที่เป็นอาณาเขต ภายในกรอบของสันปันน้ำเรียกว่าพื้นที่รับน้ำ โดยในลุ่มน้ำหนึ่งๆ จำแนกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ พื้นที่ต้นน้ำ พื้นที่รับน้ำ และพื้นที่ปลายน้ำ ในที่นี้พื้นที่ต้นน้ำมักเป็นภูเขาสูงและเป็นจุดต้นกำเนิดของน้ำ ซึ่งมีอิทธิพลต่อการกำหนดความสมบูรณ์ของน้ำในกรอบพื้นที่ ดังนั้นหากมีการรบกวนจากกิจกรรมของมนุษย์ไม่ว่าจะงานด้านเกษตรหรือมีการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นที่แบบอื่นๆ ย่อมก่อให้เกิดภาวะไม่สมดุลตามธรรมชาติเดิมและมีผลกระทบต่อพื้นที่รับน้ำซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่ระหว่างสันปันน้ำ รวมทั้งกระทบต่อพื้นที่ปลายน้ำที่รวบรวมน้ำเข้าสู่จุดรวมน้ำและทำหน้าที่ในการส่งน้ำให้กับลุ่มน้ำตอนล่างถัดไป

อย่างไรก็ตามนอกจากปัจจัยเส้นทางน้ำตามสภาพภูมิประเทศแล้ว พรพิไลและอรุณรัตน์ (2546) ซึ่งศึกษาลุ่มน้ำโดยใช้มิติทางเศรษฐกิจชุมชนในลุ่มน้ำได้ให้ข้อเสนอในการตีความขอบเขตของพื้นที่ลุ่มน้ำโดยให้ความสำคัญเพิ่มเติมในประเด็นการใช้ประโยชน์จากพื้นที่ลุ่มน้ำและความรู้ในการจัดการระบบน้ำโดยมนุษย์ในเขตนั้นๆ ว่าเป็นเงื่อนไขสำคัญอันหนึ่งในการอธิบายขอบเขตลุ่มน้ำได้เป็นจริงมากขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภายใต้หลักการขีดเส้นแบ่งเพื่อกำหนดขอบเขตลุ่มน้ำในทางกายภาพ ได้สะท้อนให้เห็นว่าลุ่มน้ำเป็นพื้นที่วิชาการของสหสาขาวิชาซึ่งนำไปสู่การรวมความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านในการจัดการทรัพยากรแต่ละสาขาโดยเชื่อมโยงเงื่อนไขที่มีต่อกันของทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมทั้งหลาย (Reid et al., 1994) ลุ่มน้ำจึงเป็นหน่วยพื้นที่พื้นฐานของการจัดการงานทั้งด้านการเกษตรและการจัดการทรัพยากรธรรมชาติที่ได้รับความนิยม (Moore et al., 1991; Prasad et al.,1993; FAO, 1996; Steiner et al., 2000; Khan et al., 2001; Randhir et al., 2001) โดยนักวิจัยหรือนักจัดการสิ่งแวดล้อมเชื่อว่าลุ่มน้ำและปฏิสัมพันธ์ (interactions) ของความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านจะเป็นข้อมูลสนับสนุนการตัดสินใจในการวางแผนเพื่อนำไปสู่ปฏิบัติการที่รัดกุม ชัดเจน และมีมิติการใช้ข้อมูลอธิบายอย่างรอบด้านมากกว่าการกำหนดพื้นที่ตามขอบเขตการปกครอง (Ziemer and Reid, 1997) ในขณะเดียวกันยังมีความยืดหยุ่นและสร้างความมีส่วนร่วมในการแก้ไขปัญหาลุ่มน้ำของนักวิชาการแต่ละสาขาเพราะได้ผ่านกระบวนการเรียนรู้พื้นที่ร่วมกัน ทำให้กิจกรรมการจัดการลุ่มน้ำถูกกำหนดขึ้นจากความเข้าใจภาวะและบริบทของพื้นที่จากมิติต่างๆ (Grant, 1994; Serveiss, 2002)

ความเป็นสหวิชาการของลุ่มน้ำต้องอาศัยองค์ความรู้และความร่วมมือจากหลายหน่วยงานในการวางแผนจัดระบบการใช้ประโยชน์ที่ดินและทรัพยากรอื่นๆ ในพื้นที่ ทำให้การจัดการลุ่มน้ำเป็นภารกิจที่ยิ่งใหญ่และจำเป็นต้องใช้งบประมาณในการศึกษาค่อนข้างมาก ทั้งด้านเงินทุน เวลา และบุคลากร (Sheng et al., 1997) ดังนั้นการวางแผนที่ดีโดยการจัดลำดับความสำคัญของพื้นที่ก่อนทำการจัดการ จึงเป็นกลยุทธ์หนึ่งที่จะช่วยให้การแก้ไขหรือการเข้าถึงปัญหามีความแม่นยำและประสบความสำเร็จมากยิ่งขึ้น กล่าวคือภายใต้ข้อจำกัดในเรื่องเงินทุน บุคลากร และเวลา การจัดลำดับความสำคัญของพื้นที่จะทำให้ทราบว่าควรเข้าไปจัดการลุ่มน้ำใดก่อนเป็นอันดับแรก ซึ่งจะสามารถแก้ไขปัญหาได้สอดคล้องกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างทันท่วงที (FAO, 1996)

การจัดการลุ่มน้ำในประเทศไทย

ประเทศไทยตอบรับแนวคิดลุ่มน้ำในการจัดการทรัพยากรและจัดลำดับความสำคัญด้วยการกำหนดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำโดยใช้หลักการแบ่งเขตเพื่อการจัดการและอนุรักษ์ พร้อมทั้งสร้างนโยบายและมาตรการเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์ทรัพยากรธรรมชาติในแต่ละเขตไว้อย่างชัดเจน การกำหนดเขตได้ใช้ปัจจัยด้านกายภาพของพื้นที่ที่ยากต่อการเปลี่ยนแปลง ซึ่งประกอบด้วยสภาพภูมิประเทศ ความลาดชัน ความสูงจากระดับน้ำทะเล ลักษณะธรณีวิทยา ลักษณะดิน และการปกคลุมพื้นที่ด้วยพืชพรรณธรรมชาติหรือป่าไม้ ปัจจัยทั้งหกดังกล่าวถูกผนวกให้อยู่ในรูปสมการที่ได้มีการทดสอบและยอมรับจากผู้แทนหน่วยงานของรัฐ จากนั้นนำดัชนีคุณภาพลุ่มน้ำซึ่งได้จากการรวมปัจจัยดังกล่าวข้างต้นมาเปรียบเทียบกับค่าดัชนีที่ได้กำหนดไว้ของแต่ละชั้นคุณภาพ โดยชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ถูกกำหนดไว้ 5 ชั้นคุณภาพ ได้แก่ *พื้นที่ลุ่มน้ำชั้นคุณภาพที่ 1* เป็นพื้นที่ที่สำคัญที่สุดเพราะเป็นพื้นที่ป่าต้นน้ำบนที่สูงที่ยังคงมีสภาพป่าที่สมบูรณ์ จึงต้องปกป้องไว้เป็นแหล่งต้นน้ำลำธารประการเดียว *พื้นที่ลุ่มน้ำชั้นที่ 2* เป็นพื้นที่มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการเป็นต้นน้ำลำธารระดับรองลงไป อาจใช้เป็นป่าเพื่อการเศรษฐกิจ รวมทั้งสามารถใช้เพื่อกิจการที่สำคัญอื่น เช่น การทำเหมืองแร่ *พื้นที่ลุ่มน้ำชั้นคุณภาพที่ 3* เป็นพื้นที่ที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ทั้งการทำไม้ เหมืองแร่ และปลูกพืชกสิกรรมประเภทไม้ยืนต้น *พื้นที่ลุ่มน้ำชั้นคุณภาพที่ 4* คือพื้นที่ภายในลุ่มน้ำที่มีสภาพป่าถูกบุกรุกแผ้วถางเพื่อการใช้ประโยชน์ในกิจกรรมพืชไร่เป็นส่วนมาก และ *พื้นที่ลุ่มน้ำชั้นคุณภาพที่ 5* คือพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีลักษณะทั่วไปเป็นที่ราบหรือที่ลุ่มหรือเนินลาดเอียงเล็กน้อย ส่วนใหญ่ถูกแผ้วถางเพื่อประโยชน์ทางเกษตรกรรม (สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2534)

อย่างไรก็ตามการจัดลำดับความสำคัญด้วยวิธีการกำหนดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำข้างต้นมีข้อจำกัดในแง่ที่ว่าได้กำหนดลักษณะพื้นที่ของชั้นคุณภาพต่างๆ ไว้อย่างตายตัว ขณะที่ในธรรมชาติแต่ละลุ่มน้ำย่อยต่างมีลักษณะสภาพพื้นที่ที่แตกต่างกัน ดังนั้นการจัดลำดับความสำคัญของลุ่มน้ำต่างๆ ควรมีความยืดหยุ่นหรือสามารถปรับสภาพให้สอดคล้องกับลักษณะหรือสถานการณ์ของพื้นที่ โดยคำนึงถึงปัจจัยหรือตัวชี้วัดที่แสดงถึงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงภายในลุ่มน้ำ ได้แก่ สัดส่วนพื้นที่ที่ถูกรบกวนภายในลุ่มน้ำย่อย ระดับความรุนแรงของการชะล้างพังทลายของดิน หรือปริมาณตะกอนในลำน้ำ เป็นต้น

2.2 ระบบภูมิสารสนเทศกับการจัดการลุ่มน้ำ

ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ทั้งส่วนของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ผนวกกับความต้องการการจัดการข้อมูลเชิงประจักษ์ที่ได้จากการสำรวจของศาสตร์ต่างๆ ในด้านเชิงตำแหน่งที่ปรากฏบนโลก รวมทั้งข้อมูลคุณสมบัติประกอบและความเกี่ยวโยงกันทางพื้นที่ ซึ่งส่วนใหญ่ถูกบันทึกไว้ในรูปแผนที่กระดาษหรือวัสดุอื่นๆ ที่ต้องใช้แรงงานและเวลาในการจัดทำค่อนข้างมาก นำไปสู่การจัดสร้างระบบภูมิสารสนเทศ (Geographic Information System, GIS) เพื่อแทนที่การจัดการข้อมูลแบบแผนที่ดั้งเดิม GIS จึงเป็นระบบการจัดการข้อมูลทางภูมิศาสตร์ที่ประสานการทำงานของบุคลากร ฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ และข้อมูล อันนำไปสู่การวิเคราะห์เพื่อสร้างข้อสนเทศที่แสดงผลเป็นแผนที่ไดนามิกส์ (Burrough and Mcdonnell, 1998) โดยการจัดเก็บ เรียกใช้ แสดงผล และสร้างข้อมูลใหม่จากฐานข้อมูลที่มีอยู่ได้ด้วยการทำงานผ่านซอฟต์แวร์ (Chrisman, 1997; Zeiler, 1999)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ระบบ GIS จัดเก็บตำแหน่ง ขอบเขต และรายละเอียดคุณลักษณะของปรากฏการณ์ต่างๆ ด้วยหลักการจำลองข้อมูลเชิงวัตถุ (object-oriented data modeling) แบบจำลองวัตถุ (feature) ดังกล่าวได้รับการจัดเก็บในรูปดิจิตอลเป็นไฟล์ประเภท Coverage ในซอฟต์แวร์ ArcInfo (ESRI, 1994) หรือ Shapefile ใน ArcView (ESRI, 1996) หรือ Feature class ใน Geodatabase (ESRI, 2002) เป็นต้น

บทบาทของ GIS มิได้เป็นเพียงชุดเครื่องมือในการจัดการข้อมูล หากยังเป็นเสมือนแปลงทดลองสำหรับศึกษากระบวนการทางสิ่งแวดล้อมโดยสามารถจำลองสถานการณ์จากข้อมูลที่มีอยู่และตอบคำถามตามเงื่อนไขต่างๆ ได้สะดวกและมีการแสดงผลลัพธ์อย่างทันท่วงทีในรูปแผนที่ (Chrisman, 1997; Burrough and Mcdonnell, 1998)

สำหรับการจัดการลุ่มน้ำ GIS อำนวยความสะดวกในการกำหนดขอบเขตลุ่มน้ำและจำลองข้อมูลอุทกวิทยาในพื้นที่แบบอัตโนมัติจากแบบจำลองระดับความสูงเชิงตัวเลขด้วยกระบวนการสร้างข้อมูลที่อ้างอิงจากแบบจำลองอุทกวิทยา (Maidment, 1993) ตัวอย่างระบบที่มีขีดความสามารถดังกล่าว ได้แก่ Arc Hydro (Maidment (ed.), 2002), TuaDEM (Tarboton, 2002), CatchmentSIM (Ryan and Boyd, 2003) เป็นต้น นอกจากนั้น GIS ยังเป็นเครื่องมือวิเคราะห์เชิงพื้นที่สำหรับประเมินสถานการณ์เพื่อกำหนดแบบปฏิบัติการจัดการลุ่มน้ำ เนื่องจากการวิเคราะห์ลุ่มน้ำต้องเกี่ยวข้องกับข้อมูลเชิงพื้นที่ทั้งสภาพภูมิประเทศ ดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน รวมถึงเส้นทางน้ำ ข้อมูลดังกล่าวนี้ต่างทำงานร่วมกันเพื่ออธิบายสภาวะของลุ่มน้ำและต้องการระบบการจัดการที่มีประสิทธิภาพ ซึ่ง GIS สามารถตอบสนองต่อภารกิจดังกล่าวได้ดังปรากฏในงานวิจัยของ Cox and Madramootoo (1998) และ Potter et al. (2000)

ในขณะเดียวกันการจำลองสถานการณ์เชิงพื้นที่ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญสำหรับช่วยสนับสนุนการตัดสินใจงานระดับวางแผนจัดการลุ่มน้ำ ดังจะเห็นได้จากการพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจเชิงพื้นที่เพื่อจัดลำดับความสำคัญลุ่มน้ำ (Adinarayana, 2003) ซึ่งตอบรับกับ FAO (1996) และ Sheng et al. (1997) ที่เสนอให้ใช้ GIS เป็นเครื่องมือจัดลำดับความสำคัญเพื่อการจัดการลุ่มน้ำ โดยชี้ให้เห็นถึงข้อดีและความได้เปรียบที่ชัดเจนในแง่การประหยัดเวลาและสามารถปฏิบัติงานภายใต้ข้อจำกัดในเรื่องงบประมาณได้ดี โดยเฉพาะในประเทศที่กำลังพัฒนาซึ่งอาจมีความขาดแคลนในเรื่องข้อมูลเชิงพื้นที่และต้นทุนในการจัดการ นอกจากนี้ Hamlett et al. (1992) ได้แสดงให้เห็นความสามารถของ GIS ในการสร้างข้อมูลใหม่จากข้อมูลพื้นฐานซึ่งเดิมไม่สามารถแสดงนัยสำคัญของตัวข้อมูลเองได้ในงานการจัดลำดับความสำคัญลุ่มน้ำเพื่อป้องกันมลภาวะที่เกิดจากการเกษตรภายในพื้นที่มลรัฐ Pennsylvania ข้อมูลที่สร้างขึ้นใหม่ ได้แก่ Runoff index, Sediment production index, Animal loading index และ Chemical use index

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 ฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศ (Geodatabase)

2.3.1 องค์ประกอบของฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศ

ข้อมูลภูมิสารสนเทศ (Geographical data model) เป็นชุดข้อมูลสำหรับอธิบายปรากฏการณ์ภูมิศาสตร์โดยอาศัยหลักการจำลองวัตถุผ่านแบบจำลองข้อมูล (data model) ที่สนับสนุนการแสดงผลแบบแผนที่ การค้นคืน การแก้ไข และการวิเคราะห์ ชุดข้อมูลดังกล่าวประกอบด้วย (1) ข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial data) ซึ่งให้รายละเอียดตำแหน่งและขอบเขตโดยอ้างอิงกับระบบพิกัดมาตรฐาน เช่น Universal Transverse Mercator และ (2) ข้อมูลอรรถาธิบาย (attribute data) ให้รายละเอียดคุณลักษณะของปรากฏการณ์ โดยข้อมูลเชิงพื้นที่และข้อมูลอรรถาธิบายถูกโยงใยเข้ากันด้วยโครงสร้างที่มองเห็นได้ของระบบจำลองข้อมูล ได้แก่ CAD data model, Coverage data model และ Geodatabase data model ทั้งหมดต่างเป็นพัฒนาการของ GIS โดย Environmental System Research Institute (ESRI) จากอดีตจนถึงปัจจุบัน

โดยทั่วไป GIS นำเสนอปรากฏการณ์เชิงภูมิศาสตร์ด้วยแบบจำลองข้อมูล 3 ลักษณะได้แก่ (1) เวกเตอร์ (vector data) นำเสนอข้อมูลที่ไม่ต่อเนื่อง (discrete objects) ด้วยหน่วยพื้นฐาน ได้แก่ จุด (point) ซึ่งเป็นสิ่งที่บอกตำแหน่งที่ตั้งของปรากฏการณ์โดยไม่มีรายละเอียดในเรื่องขอบเขต เช่น ตำแหน่งที่ตั้งโรงเรียน จุดรวมน้ำ (outlet) เป็นต้น เส้น (line) แสดงมิติของปรากฏการณ์ในรายละเอียดของตำแหน่งและขอบเขตที่แสดงได้ด้วยระยะห่างระหว่างจุดเริ่มต้น-จุดสิ้นสุด เช่น เส้นทางน้ำ ถนน เป็นต้น และรูปเหลี่ยมปิด (polygon) เป็นการรายงานปรากฏการณ์ด้วยตำแหน่ง รูปร่าง และขอบเขต เช่น การใช้ประโยชน์ที่ดิน ขอบเขตลุ่มน้ำ เป็นต้น (2) ราสเตอร์ (raster data) ใช้นำเสนอปรากฏการณ์ที่มีความต่อเนื่องหรือรูปภาพโดยมีโครงสร้างข้อมูลแบบกริดซึ่งแต่ละกริดหรือเซลล์ต่างบรรจุค่าคุณลักษณะของสิ่งที่จำลอง เช่น แบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข ภาพดาวเทียม เป็นต้น และ (3) Triangulation (TIN) แสดงลักษณะพื้นผิว ซึ่งทำให้มองเห็นความสูงต่ำ เหมาะสำหรับนำเสนอสภาพภูมิประเทศ เช่น ความลาดชัน ทิศทางความลาดเท เป็นต้น

ในยุคแรกของระบบแผนที่คอมพิวเตอร์ CAD data model เป็นแบบจำลองข้อมูลที่ทำงานเพื่อผลิตแผนที่ทั่วไปด้วยซอฟต์แวร์ CAD โดยจัดเก็บข้อมูลใน binary files ข้อมูลเชิงพื้นที่ถูกแสดงเป็น point, line และ area ในขณะที่ข้อมูลอรรถาธิบายเก็บในรูปแบบ annotation labels ส่วน Coverage data model เป็นแบบจำลองข้อมูลทางภูมิศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นในซอฟต์แวร์ ArcInfo โดยจัดเก็บข้อมูลเชิงพื้นที่ใน indexed binary files เพื่อสะดวกต่อการเรียกแสดงผลและเข้าถึงข้อมูล ในขณะที่ข้อมูลอรรถาธิบายจัดเก็บในตารางซึ่งมีจำนวนแถวเท่ากับจำนวน feature (INFO table) ข้อมูลทั้งสองต่างเชื่อมโยงกันด้วย common identifier และความสัมพันธ์เชิงโครงสร้างได้รับการจัดเก็บอย่างเป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ระบบ (node, line, polygon) จนมาถึงปัจจุบันได้มีการพัฒนา Geodatabase data model ใน ArcGIS รุ่น 8.0 ขึ้นไป (ESRI, 2002) โดยอาศัยหลักการจำลองวัตถุ (object orientation) ซึ่งเป็นแบบจำลองข้อมูลที่เอื้อต่อการจัดเก็บและอธิบายคุณลักษณะของ feature หรือปรากฏการณ์ภูมิศาสตร์ได้สมจริงมากขึ้น ผู้ใช้สามารถออกแบบและเรียกชื่อวัตถุ (object) ให้เสมือนจริงได้ เช่น คลองชลประทาน โรงสีข้าว และนาข้าว แทนการเรียกว่า line, point และ polygon ตามโครงสร้างแบบ Coverage data model (Zeiler, 1999; เมธีและคณะ, 2545)

นอกจาก Geodatabase data model จะมีประสิทธิภาพในการสื่อความหมายปรากฏการณ์ได้สมจริงแล้ว ยังมีขีดความสามารถในการเป็นฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Object-relation model) ซึ่งแตกต่างจาก Flat files ประเภท Coverage หรือ Shapefile ตรงที่ข้อมูลทั้งหมดของพื้นที่เป้าหมายสามารถจัดเก็บไว้ในรูปแบบชุดตารางสัมพันธ์ซึ่งบรรจุอยู่ในฐานข้อมูลเดียวกันได้ (Maidment et al., 2002) ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเชิงพื้นที่กับข้อมูลเชิงพื้นที่ ข้อมูลเชิงพื้นที่กับข้อมูลอรรถาธิบาย และข้อมูลอรรถาธิบายกับข้อมูลอรรถาธิบาย สามารถจัดเก็บได้ด้วยแบบจำลองความสัมพันธ์ที่หลากหลาย ดังตัวอย่างที่ปรากฏในแบบจำลองฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศของดินในประเทศไทย (เมธีและคณะ, 2546ก) นอกจากนี้ยังอำนวยความสะดวกในการสร้างและแก้ไขชุดเครือข่าย (Geometric network) ที่ใช้อธิบายความเชื่อมโยงเชิงพื้นที่ (Topological relationship) รวมทั้งอนุญาตให้ผู้ใช้หลายคนเข้าถึงและแก้ไขข้อมูลได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อฐานข้อมูลเดิม ด้วยศักยภาพดังกล่าวเป็นเหตุผลให้ Geodatabase เหมาะในการนำมาใช้เป็นโครงสร้างฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศเพื่อการจัดลำดับความสำคัญของลุ่มน้ำ เพราะสามารถจัดเก็บขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำและข้อมูลอุทกวิทยาในพื้นที่ ได้แก่ จุดรวมน้ำ โครงข่ายลำน้ำ เครือข่ายลุ่มน้ำ และคุณสมบัติของลุ่มน้ำย่อย การจัดเก็บข้อมูลดังกล่าวสามารถทำได้ในฐานข้อมูลเดียวกัน ทำให้เข้าใจองค์ประกอบและความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลได้อย่างชัดเจนและง่ายต่อการจัดการ

ฐานข้อมูลประเภท Geodatabase ประกอบด้วย Feature dataset, Object class, Feature class, Relationship class และ Attribute domain โดยมีโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2.1

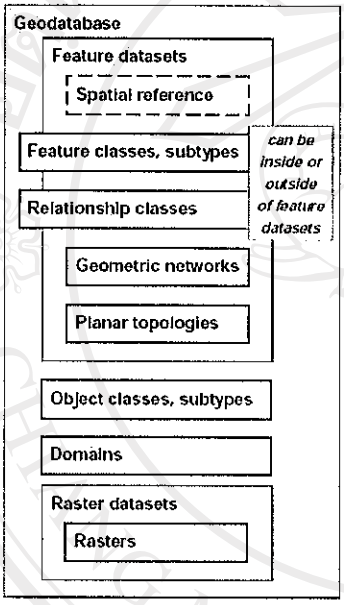
Feature dataset จะบรรจุชุดข้อมูลประเภทเวกเตอร์ที่เรียกว่า Feature classes ภายใต้ระบบการอ้างอิงเชิงตำแหน่งเดียวกัน (a common coordinate) และมีขอบเขต (extent) ไม่เกินกว่าที่กำหนดไว้ใน Feature dataset

Feature class จัดเก็บข้อมูลที่มีโครงสร้าง 2 ลักษณะคือ Simple feature classes (point, line, polygon) ซึ่งเก็บข้อมูลที่มี Geometry type เดียวกันไว้ในชั้นข้อมูลเดียวกัน และ Topological feature

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

classes จัดเก็บองค์ประกอบความสัมพันธ์ข้อมูลซึ่งเรียกว่า topological unit ในรูปชุดข้อมูลเครือข่าย (geometric networks)

สำหรับ ***Object class*** จัดเก็บข้อมูลอรรถาธิบายในรูปตารางซึ่งเชื่อมโยงกับ Feature class ด้วย ***Relationship class*** ที่ทำหน้าที่จัดเก็บความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเชิงพื้นที่กับข้อมูลอรรถาธิบาย รวมทั้งความสัมพันธ์ของข้อมูลอรรถาธิบายกับข้อมูลอรรถาธิบาย และระหว่างข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วยกัน ส่วน ***Attribute domain*** เป็นชุดควบคุมความถูกต้องของข้อมูลโดยกำหนดขึ้นได้ใน Feature class และ Object class รายละเอียดของ Geodatabase ศึกษาเพิ่มเติมได้จาก Zeiler (1999)



รูปที่ 2.1 โครงสร้าง Geodatabase (Andrade and Hoel, 2000)

โดยทั่วไป ArcGIS รุ่น 8.0 ขึ้นไปรองรับการสร้าง Geodatabase ด้วยเครื่องมือใน ArcCatalog ทั้งเป็นการสร้าง Geodatabase แบบ Wizard หรือการนำเข้า (import) ข้อมูลที่อยู่ในรูป Coverage หรือ Shapefile แต่ด้วยความเป็นฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Object-relation model) ของ Geodatabase จึงเปิดโอกาสให้ผู้ใช้สามารถออกแบบและกำหนดคุณลักษณะของชั้นข้อมูลและข้อมูลอรรถาธิบายประกอบที่ต้องการผ่านผัง UML (Unified Modeling Language) โดยอาศัยเครื่องมือช่วยพัฒนา (Computer Aided Software Engineering, CASE tools) สำหรับนำเข้าผัง UML เพื่อสร้างโครง (schema) ของ Geodatabase (Andrade and Hoel, 2000; Booth et al., 2002) รายละเอียดโครงสร้างข้อมูลที่ปรากฏในผัง UML อำนวยความสะดวกในการทำความเข้าใจภาพรวมและความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาระบบเรียกใช้ข้อมูล รวมทั้งง่ายต่อการแก้ไขโครงสร้างข้อมูล และสามารถใช้เป็นตัวแทนในการแลกเปลี่ยนฐานข้อมูล (Arlow and Neustadt, 2002)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.2 Unified Modeling Language (UML)

UML เป็นภาษาแบบจำลอง (modeling language) ที่พัฒนาขึ้นโดย Grady Booch, James Rumbaugh และ Ivar Jacobson และสร้างให้เป็นมาตรฐานในปี 1997 โดย Object Management Group (OMG) ภาษา UML รองรับการจำลองภาพระบบความคิด (conceptual model) ในลำดับชั้นต่างๆ ตามมุมมองและวัตถุประสงค์ที่ต้องการโดยใช้ชุดสัญลักษณ์ (notation) หรือกล่าวได้ว่า UML เป็นภาษามาตรฐานที่สื่อสารด้วยกราฟิก ใช้สำหรับสร้างแบบพิมพ์เขียวให้กับระบบงาน ซึ่งทำให้มองเห็นภาพในจินตนาการได้ชัดเจน สามารถกำหนด เจาะจง และประกอบสร้าง รวมทั้งรายงานปรากฏการณ์ความคิดโดยการจัดทำเป็นเอกสารอ้างอิง (Booch et al., 1999) ก่อนที่นำไปสู่การพัฒนาระบบจริงด้วยภาษาโปรแกรมเชิงวัตถุใดๆ ก็ได้ เช่น Visual Basic เป็นต้น

จะเห็นได้ว่า UML มีลักษณะเป็น metamodel คือเป็นโมเดลสำหรับอธิบายโมเดลอื่นอีกที ดังนั้นการใช้ UML สนับสนุนงานด้าน GIS เพื่อออกแบบโครงสร้างฐานข้อมูลประเภท Geodatabase จึงเป็นการทำงานในระดับ Logical data model เพื่อนำไปสร้างเป็น Physical database model ผู้พัฒนาระบบสามารถออกแบบโครงสร้าง Geodatabase ด้วยโปรแกรม Microsoft Visio โดยใช้เครื่องมือช่วยพัฒนา "ArcInfo UML Model" เพื่อจัดเก็บโครงสร้างเป็นไฟล์ประเภท Microsoft Repository (.mdb) หรือไฟล์ประเภท XMI (XML metadata interchange) ก่อนที่จะนำไปสร้างเป็นโครง Geodatabase ด้วยเครื่องมือ Schema Wizard ใน ArcCatalog (ESRI, 2002)

แบบจำลอง ArcInfo UML Model เป็น UML ประเภทที่ใช้สร้างผังโครงสร้างเพื่อกำหนดรูปแบบและความสัมพันธ์ของข้อมูลที่จำเป็นในการออกแบบโครงสร้าง Geodatabase ประกอบด้วย (1) Workspace package เป็นระบบที่ใช้สำหรับจัดการพื้นที่ทำงาน (2) ESRI Classes package เป็นส่วนที่บรรจุชั้นวัตถุที่เป็นตัวแทนข้อมูลที่เป็นองค์ประกอบใน Geodatabase ได้แก่ Feature classes ซึ่งใช้แทนชั้นข้อมูลเชิงพื้นที่ และ Object classes ใช้แทนตารางสำหรับบรรจุข้อมูลอรรถาธิบาย และ (3) ESRI Interfaces package เป็นส่วนบรรจุคำนิยามของ Interface ที่ใช้ในการสร้าง Code สำหรับสร้าง objects ตามความต้องการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4 การจำลองขอบเขตลุ่มน้ำและข้อมูลอุทกวิทยา

การกำหนดขอบเขตลุ่มน้ำในอดีตเป็นงานที่ต้องใช้เวลานานมากและไม่มีความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนตามลักษณะและขอบเขตของปัญหา เพราะต้องทำการลากเส้นลงในแผนที่ภูมิประเทศตามเส้นชั้นความสูง (contour line) เพื่อสร้างขอบเขตของพื้นที่ที่รวบรวมน้ำไหลบ่าผ่านจุดรวมน้ำ (outlet) ในทางน้ำที่กำหนด หรือการใช้แบบแผนลำน้ำเพื่อจำแนกพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย ตัวอย่างเช่น งานของ Huang and Ferng (1990) ที่ได้ใช้แบบแผนอันดับทางน้ำ Strahler (Strahler, 1964) ในการจำแนกพื้นที่ลุ่มน้ำ Tanshui River ทางตอนเหนือของไต้หวันซึ่งมีขนาดพื้นที่ 2,726 ตารางกิโลเมตร ออกเป็น 78 ลุ่มน้ำย่อยเพื่อการจัดการคุณภาพน้ำ

ในปัจจุบันการกำหนดขอบเขตลุ่มน้ำสามารถทำได้อัตโนมัติใน GIS โดยอาศัยข้อมูลจากแบบจำลองระดับความสูงเชิงตัวเลขหรือ DEM ที่มีโครงสร้างแบบกริด (Jenson and Domingue, 1988; Garbrecht and Martz, 2000; Turcotte et al., 2001; Maidment (ed.), 2002; Moharana and Kar, 2002; Vogt et al., 2003; Chen et al., 2003) วิธีการดังกล่าวอาศัยหลักการรวมน้ำเข้าสู่เส้นทางน้ำไปยังจุดรวมน้ำ (area to point on line) พื้นที่ของกริดเซลล์ต่างๆ ที่ปล่อยน้ำเข้าสู่จุดรวมน้ำเดียวกันจะถูกรวบรวมและกำหนดเป็นขอบเขตลุ่มน้ำ การจำลองขอบเขตลุ่มน้ำแบบอัตโนมัติดังกล่าวมีข้อได้เปรียบในเรื่องความน่าเชื่อถือที่อ้างอิงกระบวนการได้ชัดเจน ผลิตซ้ำได้อย่างเป็นระบบ ประหยัดเวลาและแรงงาน (Tribe, 1992) ง่ายต่อการเชื่อมโยงข้อมูลต่างๆ ภายในพื้นที่เดียวกัน (Saunders, 2000) รวมทั้งการได้มาซึ่งข้อมูลอุทกวิทยาอันได้แก่โครงข่ายลำน้ำและจุดรวมน้ำในคราวเดียวกัน อย่างไรก็ตามข้อจำกัดในขนาดมาตราส่วนของ DEM มีอิทธิพลต่อการกำหนดขอบเขตลุ่มน้ำให้สอดคล้องกับสภาพพื้นที่จริง (Garbrecht and Martz, 2000) ดังนั้นข้อมูลแหล่งน้ำและเส้นทางน้ำที่มีขนาดมาตราส่วนเดียวกับ DEM จะช่วยให้รายละเอียดและความถูกต้องของข้อมูลที่จำลองได้มีมากขึ้น (Turcotte et al., 2001)

ชุดข้อมูลเชิงพื้นที่ต่างๆ ที่ได้จากการจำลองสามารถจัดเก็บไว้ในฐานข้อมูลประเภท Geodatabase พร้อมกับคำอธิบายปรากฏการณ์ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของลุ่มน้ำเป้าหมายกับลุ่มน้ำข้างเคียง (watershed topology) ด้วย Pfafstetter classification system (Verdin, 1997; Verdin and Verdin, 1999)

2.4.1 แบบจำลองระดับความสูงเชิงตัวเลข (Digital Elevation Model, DEM)

แบบจำลองระดับความสูงเชิงตัวเลขเป็นภาพจำลองลักษณะของพื้นที่จากข้อมูลสนามโดยผ่านการประมาณค่าเพื่อสร้างค่าความสูงต่อเนื่องด้วยวิธีการใน GIS ข้อมูลดังกล่าวนี้สามารถนำไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ใช้ประโยชน์ในการจำลองลักษณะของสภาพภูมิประเทศในแง่มุมต่างๆ ได้แก่ ความลาดชัน (slope) ทิศทางความลาดเท (aspect) เป็นต้น (Jenson and Domingue, 1988; Gallant and Wilson, 2000) รวมทั้งสามารถใช้ในการกำหนดขอบเขตลุ่มน้ำ โครงข่ายลำน้ำ และจุดรวมน้ำ (Tribe, 1992; Nisar Ahamed et al., 2002; Tarboton and Ames, 2001; Tarboton, 2003; Clarke and Burnett, 2003)

การจัดเก็บข้อมูลภูมิประเทศเป็นตัวเลขสามารถทำได้ 3 ลักษณะ ได้แก่ (1) โครงสร้างแบบกริด (grid structures) (2) โครงข่ายสามเหลี่ยม (Triangulated Irregular Network, TIN) และ (3) โครงสร้างที่อาศัยเส้นชั้นความสูง การจัดเก็บในโครงสร้างแบบกริดนั้นเป็นการจัดเก็บค่าข้อมูลในช่องสี่เหลี่ยมที่มีขนาดเท่ากัน (square-grid) ค่าความสูงที่เก็บอยู่ในช่องกริดหนึ่งๆ (pixel) ได้จากการประมาณค่าจากจุดตัวอย่างโดยถือว่าเป็นค่าความสูงตัวแทนของพื้นที่สี่เหลี่ยมในช่องกริดนั้นๆ ข้อมูลที่ใช้สร้าง DEM ได้แก่ เส้นชั้นความสูงและข้อมูลประกอบที่ช่วยให้มีความถูกต้องมากขึ้น เช่น จุดระดับสูง แนวสันเขา เส้นทางน้ำ หรือขอบเขตพื้นที่ราบ เป็นต้น DEM ที่จัดเก็บในรูปแบบกริดนี้มีประโยชน์ในการวิเคราะห์ลักษณะภูมิประเทศมากเนื่องจากเป็นรูปแบบที่ง่ายต่อการคำนวณด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ (Moore et al., 1991) เช่น การสร้างชั้นข้อมูลค่าความลาดชันและทิศทางความลาดชันของพื้นที่ สภาพภูมิประเทศแบบแรเงา (hill shade) และการจำลองขอบเขตลุ่มน้ำ ในขณะที่ TIN มีลักษณะการประกอบกันของโครงข่ายรูปสามเหลี่ยมโดยมีจุดเชื่อมต่อที่มุมของสามเหลี่ยมแต่ละอันเป็นตำแหน่งของจุดสำรวจ โครงสร้างข้อมูลแบบจำลอง TIN มีองค์ประกอบสำคัญ 2 ส่วนคือ จุดที่แสดงตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์และค่าความสูงและกลุ่มของเส้นที่เชื่อมต่อกันระหว่างจุดเพื่อประกอบเป็นรูปสามเหลี่ยม การสร้าง TIN ทำได้หลายวิธีการ เช่น การแปลง DEM ในรูปแบบกริด การประมาณค่าจากจุดสำรวจ เป็นต้น ส่วนการจัดเก็บข้อมูลภูมิประเทศแบบที่มีลักษณะเป็นเส้นชั้นความสูงจัดเก็บอยู่ในรูปแบบ Digital Line Graph (DLG)

2.4.2 การเตรียม DEM เพื่อประสิทธิภาพในการจำลองข้อมูล

การใช้ DEM เป็นข้อมูลตั้งต้นเพื่อจำลองขอบเขตลุ่มน้ำและข้อมูลอุทกวิทยาแบบอัตโนมัติใน GIS ได้รับผลเป็นที่น่าพอใจเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการดั้งเดิมในเรื่องของความสะดวก รวดเร็ว แต่ในขณะเดียวกันความถูกต้องและสอดคล้องกับสภาพพื้นที่จริงของผลลัพธ์ย่อมเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นอันดับแรก ความถูกต้องดังกล่าวขึ้นอยู่กับ (1) คุณภาพและค่าความละเอียดของ DEM (2) ความชัดเจนและสมบูรณ์ของข้อมูลอุทกวิทยาเชิงประจักษ์ ได้แก่ แหล่งน้ำและเส้นทางน้ำในพื้นที่ และ (3) ประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่ใช้ในแบบจำลองหรือวิธีการจำลองข้อมูล (Garbrecht and Martz, 2000; Saunders, 2000; Clarke and Burnett, 2003)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

DEM แบบกริดได้รับความนิยมนำไปใช้จำลองขอบเขตลุ่มน้ำและข้อมูลอุทกวิทยา เพราะง่ายต่อการคำนวณด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์และส่วนใหญ่ GIS มักใช้วิธีการดังกล่าวในการจำลองข้อมูล แต่ด้วยโครงสร้างแบบกริดที่ต้องมีขนาดกริดเซลล์แน่นอนตายตัวตามมาตราส่วนได้กลายเป็นข้อจำกัดต่อผลลัพธ์ที่ไม่อาจสะท้อนภาพความจริงทั้งหมดของพื้นที่โดยเฉพาะในภูมิประเทศสลับซับซ้อน (Garbrecht and Martz, 2000) ในขณะที่ Moore et al. (1991) ได้ชี้ให้เห็นว่าขนาดกริดเซลล์มีผลต่อการสร้างขอบเขตลุ่มน้ำในบริเวณที่ราบ โดยเส้นทางน้ำที่ได้จากการคำนวณมีลักษณะเป็นเส้นโค้งไม่เป็นธรรมชาติ มีรายงานว่าผลการจำลองลุ่มน้ำและโครงข่ายลำน้ำจากข้อมูล DEM ของหลายงานวิจัย (Saunders and Maidment, 1995; Mizgalewicz and Maidment, 1996) ไม่สอดคล้องกับเส้นทางน้ำธรรมชาติที่ปรากฏในแผนที่ภูมิประเทศ สาเหตุของความผิดพลาดดังกล่าวเกิดจากมาตราส่วนของ DEM และค่าข้อมูลความสูงบนพื้นที่ราบเรียบมีไม่มากพอ

เทคนิคที่เรียกว่า "Stream burning" เป็นการผนวกเส้นทางน้ำธรรมชาติจากการสำรวจเข้ากับ DEM ก่อนทำการจำลองข้อมูล ทั้งนี้เพื่อกำกับให้ความสูงของพื้นที่บริเวณทางน้ำลากผ่านมีค่าต่ำกว่าบริเวณใกล้เคียง เทคนิคดังกล่าวช่วยแก้ปัญหาข้างต้นและความสับสนของทิศทางการไหลของน้ำในบริเวณพื้นที่ราบ ซึ่งก่อให้เกิดข้อมูลซ้ำซ้อนและความไม่สอดคล้องกับเส้นทางน้ำจริง (Maidment, 1996; Saunders, 2000; Jones, 2002; Vogt et al., 2003; Di Luzio et al., 2004) ชั้นข้อมูลเส้นทางน้ำที่ใช้สำหรับ "burn in" ต้องมีมาตราส่วนเดียวกับ DEM และเชื่อมเป็นโครงข่าย (Saunders, 2000) อย่างไรก็ตาม Hellweger (1997) ได้ให้ข้อสังเกตว่าเทคนิค "Stream burning" อาจก่อให้เกิดทางน้ำเป็นเส้นขนาน (parallel stream) หากตำแหน่งเส้นทางน้ำอ้างอิงคลาดเคลื่อนจากแนวทางไหลของน้ำที่สกัดได้จาก DEM มากกว่าหนึ่งกริดเซลล์ แต่สามารถแก้ไขได้โดยกำหนดระยะกันชน (buffer distance) เพื่อลดค่าความสูงที่ถูกปรับของ DEM ทีละน้อย ณ ตำแหน่งของเส้นทางน้ำที่ใช้ในการลดระดับของพื้นที่ในกระบวนการ "burn in"

Turcotte et al. (2001) ได้เสนอให้ใช้ข้อมูลแหล่งน้ำร่วมกับ DEM เพื่อปรับ DEM ด้วยระยะห่างจากตำแหน่งแหล่งน้ำ โดย DEM ที่อยู่ใกล้ชิดกับแหล่งน้ำจะถูกปรับค่ามากกว่า DEM ที่อยู่ห่างออกไป การระบุตำแหน่งและขอบเขตแหล่งน้ำจะช่วยสะท้อนภาพความจริงของพื้นที่และส่งผลให้ชั้นข้อมูลโครงข่ายลำน้ำที่ได้จากการจำลองลุ่มน้ำมีความต่อเนื่องและแสดงทิศทางการไหลของน้ำชัดเจนมากขึ้น รวมทั้งเป็นประโยชน์ต่อการประเมินปริมาณตะกอนดินในแหล่งน้ำที่อยู่ภายในขอบเขตลุ่มน้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.3 โครงข่ายลำน้ำ (drainage network)

ทิศทางการไหลและโครงข่ายลำน้ำในพื้นที่เป็นปัจจัยหลักในการกำหนดขอบเขตลุ่มน้ำด้วยวิธีอัตโนมัติ ชั้นข้อมูลดังกล่าวสามารถสร้างได้จากการระบุแอ่งหรือบริเวณที่น้ำไหลรวมกัน (valley cells) (Tribe, 1992) ทั้งนี้กริดเซลล์ของ DEM ที่มีค่าความสูงต่ำกว่าเซลล์รอบข้างจะถูกกำหนดให้เป็น "valley cells" แต่เนื่องจากการระบุ "แอ่ง" อาศัยหลักการวิเคราะห์ความสูงของกริดเซลล์ใกล้เคียง ดังนั้นบริเวณใดมีระดับความสูงต่ำกว่าบริเวณรอบๆ เพียง 1 เมตร จะถูกระบุให้เป็น "แอ่ง" ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จึงประกอบด้วย "แอ่ง" ที่มีขอบเขตมากเกินสภาพจริง และในบางครั้งแอ่งต่ำตามธรรมชาติก็ถูกจำแนกเป็นส่วนหนึ่งในโครงข่ายของ "แอ่ง" นอกจากนั้นพบว่าไม่มีความต่อเนื่องของตัวข้อมูล จึงจำเป็นต้องอาศัยกระบวนการเชื่อมต่อ "แอ่ง" ในแต่ละส่วน แล้วกำหนดโครงข่ายลำน้ำด้วยการ thinning หลักการระบุกริดเซลล์ดังกล่าวนี้ได้ถูกประยุกต์ใช้เพื่อสร้างโครงข่ายลำน้ำโดย Greysukh (1967), Peuker and Douglas (1975) และ Toriwaki and Fukumura (1978)

การจำลองทิศทางการไหลของน้ำ (Flow direction) เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ใช้ในสร้างโครงข่ายลำน้ำเพื่อกำหนดขอบเขตลุ่มน้ำ ทิศทางการไหลของน้ำในแต่ละกริดเซลล์ของ DEM ใช้สำหรับหาปริมาณการรวบรวมน้ำหรือค่าการสะสมน้ำ (Flow accumulation) ส่วนการสร้างเส้นทางน้ำดำเนินการโดยกำหนดค่า threshold (จำนวนกริดที่เป็นตัวกำหนดว่าน้ำไหลมารวมกันที่กริดหนึ่งๆ เป็นทางน้ำ) จากนั้นสร้างโครงข่ายลำน้ำด้วยการกำหนดจุดเชื่อมต่อเส้นทางน้ำ การจำลองทิศทางการไหลของน้ำทำได้โดยใช้แบบจำลองแปดทิศทาง (eight-direction pour point model, D8) ที่พัฒนาจากหลักการน้ำไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ (O'Callaghan and Mark, 1984) และได้รับความนิยมนำไปใช้กำหนดโครงข่ายลำน้ำเพื่อจำลองขอบเขตลุ่มน้ำ (Jenson and Domingue, 1988; Garbrecht and Martz, 2000; Olivera et al., 2002) วิธีการดังกล่าวนี้เหมาะสมกับพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นหุบเขา (Vogt et al., 2003) แต่การจำลองทิศทางการไหลของน้ำในบริเวณที่มีลักษณะโค้งนูน (convex slope) และพื้นที่ราบเรียบ พบว่าแบบจำลอง D8 กำหนดทิศทางน้ำได้ไม่สอดคล้องกับเส้นทางน้ำจริงและไม่อาจแสดงจุดบรรจบของน้ำที่ถูกต้องได้ (Vogt et al., 2003; Turcotte et al., 2001) เนื่องจากแบบจำลอง D8 ระบุทิศทางด้วยการคำนวณผ่านค่าความสูงของ DEM ภายในกริดเซลล์เป้าหมายโดยพิจารณาจาก 8 เซลล์รอบๆ แต่ในสภาพจริงของพื้นที่ น้ำสามารถไหลกระจายได้รอบรัศมี 360 องศา ดังนั้นการแทนที่ทิศทางการไหลของน้ำด้วยแบบจำลองที่เจาะจงเพียง 8 ทิศทาง ซึ่งมีระยะห่าง 45 องศาในแต่ละทิศทาง จึงให้ผลลัพธ์ค่อนข้างหยาบเมื่อเทียบกับความเป็นจริง (Jones, 2002)

อย่างไรก็ตาม Turcotte et al. (2001) แก้ไขจุดอ่อนของแบบจำลอง D8 ด้วยการใช้ชั้นข้อมูลเครือข่ายแหล่งน้ำและเส้นทางน้ำเพื่อวิเคราะห์ร่วมกับ DEM รวมทั้งใช้ข้อมูลระดับความสูงที่มี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความแม่นยำและเพียงพอ ทำให้การจำลองทิศทางการไหลของน้ำด้วยแบบจำลอง D8 มีความถูกต้องและสอดคล้องกับสภาพพื้นที่จริงมากขึ้น (Olivera et al., 2002) นอกจากนั้น Tarboton (1997) ได้เสนอแบบจำลองทิศทางการไหลของน้ำ D∞ (Multiple flow direction model) ซึ่งพิจารณาการไหลของน้ำด้วยทิศทาง 0-360 องศา เพื่อจำลองทิศทางการไหลของน้ำในพื้นที่ต้นน้ำที่มีความลาดชันสูง (hillslopes)

ความคลาดเคลื่อนในการจำลองทิศทางการไหลของน้ำอาจเกิดจากส่วนยุบตัวและส่วนพื้นที่ราบ (flat areas) ใน DEM ทำให้การไหลของน้ำไม่ต่อเนื่อง ส่งผลต่อความถูกต้องของทิศทางที่จำลองได้ สำหรับส่วนยุบตัวดังกล่าวนี้ไม่ได้เป็นสภาพพื้นที่ตามธรรมชาติ แต่เป็นผลจากความไม่ถูกต้องของข้อมูลนำเข้า ความผิดพลาดของกระบวนการประมาณค่าเพื่อการสร้าง DEM ความไม่ต่อเนื่องของค่าข้อมูลที่เกิดจากการเพิ่มขนาดกริดเซลล์ (resample) และข้อจำกัดจากค่าความละเอียดของ DEM ทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง (Martz and Garbrecht, 1992) การกำจัดส่วนยุบตัวทำได้ด้วยการกลบ (Fill) ซึ่งเป็นการยกระดับค่าความสูงภายในหลุมยุบตัวให้มีค่าเท่ากับค่าความสูงต่ำสุดของเซลล์รอบด้าน (Jenson and Domingue, 1988) กระบวนการนี้มีการพัฒนาเป็นฟังก์ชัน Sink-Filling ใน ArcGIS (ESRI, 2002) นอกจากความผิดพลาดจากหลุมยุบตัวอันเป็นผลจากการคำนวณขาด (Underestimation) ภายใน DEM แล้ว Martz and Garbrecht (1999) ได้รายงานว่าผลจากการคำนวณเกิน (Overestimation) อาจทำให้เกิดส่วนยุบตัวได้เช่นกัน และเสนออัลกอริทึม "breaching" เพื่อกำจัดการคำนวณเกินด้วยค่าความสูงที่ต่ำกว่าของเซลล์รอบๆ ที่มีโอกาสเป็นจุดรวมน้ำ อัลกอริทึมดังกล่าวทำงานได้ดีกับ DEM ที่มีโครงข่ายลำน้ำสอดคล้องกับเส้นทางน้ำอ้างอิง และเป็นส่วนหนึ่งของการทำงานของซอฟต์แวร์ TOPAZ (Garbrecht and Martz, 1999)

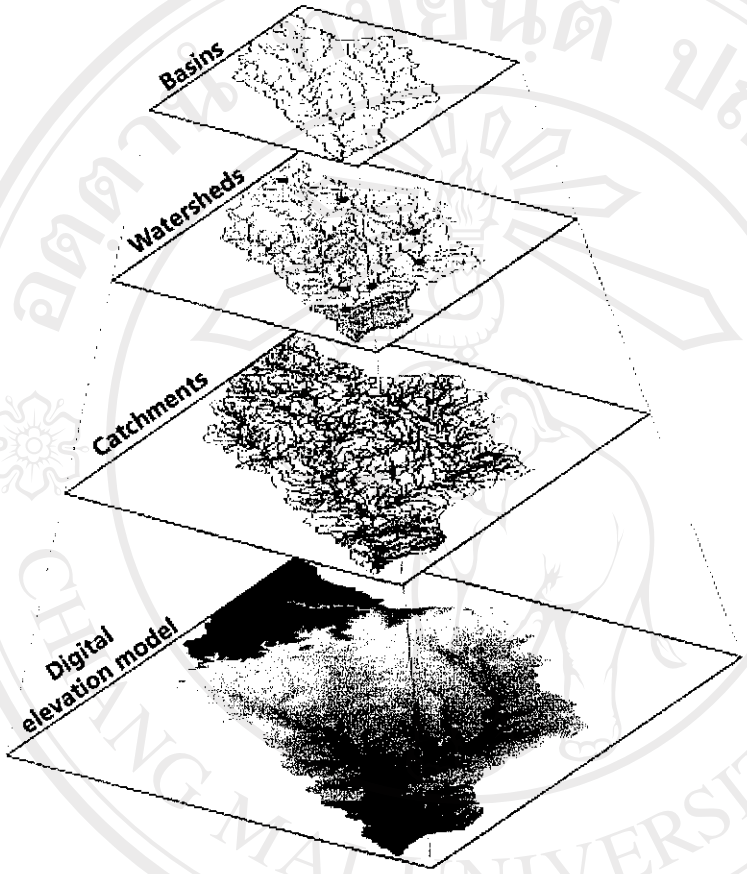
2.4.4 หน่วยพื้นที่รับน้ำ (drainage area)

ขอบเขตลุ่มน้ำอาจกำหนดขึ้นได้โดยอัตโนมัติในระบบ GIS จากการใช้จุดเชื่อมต่อเส้นทางน้ำภายในโครงข่ายลำน้ำเป็นจุดรวมน้ำ ลุ่มน้ำดังกล่าวเป็นหน่วยพื้นที่รับน้ำที่ระบายจากแหล่งต้นน้ำที่ย่อยที่สุดเนื่องจากถูกกำหนดขึ้นจากลักษณะของภูมิประเทศ ในขณะที่การระบุจุดรวมน้ำที่ต้องการลงในชั้นข้อมูลทิศทางการไหลของน้ำในระบบ GIS ก็เป็นการสร้างขอบเขตพื้นที่รับน้ำอีกวิธีหนึ่งที่อำนวยความสะดวกต่อการจัดการลุ่มน้ำและทำให้สามารถสร้างขอบเขตลุ่มน้ำเป็นระดับชั้นต่างๆ

Olivera et al. (2002) ได้นิยามระดับชั้นของหน่วยพื้นที่รับน้ำ ซึ่งมีรายละเอียดโดยสรุปคือ Catchment เป็นหน่วยพื้นที่รับน้ำที่ระบายจากแหล่งต้นน้ำ ขอบเขตของหน่วยพื้นที่ถูกกำหนดขึ้นจากลักษณะธรรมชาติและความสอดคล้องของสภาพภูมิประเทศ ซึ่งในที่นี้เรียกว่า "ลุ่มน้ำย่อย"

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในขณะที่หน่วยลุ่มน้ำระดับ Watershed หมายถึงหน่วยพื้นที่รับน้ำที่ได้จากการกำหนดจุดรวมน้ำตามวัตถุประสงค์ในทางอุทกวิทยา ขอบเขตพื้นที่ของ Watershed ครอบคลุม Catchment แต่เป็นหน่วยย่อยของ Basin ซึ่งเป็นหน่วยพื้นที่รับน้ำขนาดใหญ่ที่กำหนดขึ้นเพื่อการจัดการทรัพยากรน้ำภายใน Basin จึงประกอบด้วย Watershed และ Catchment (รูปที่ 2.2)



รูปที่ 2.2 หน่วยพื้นที่รับน้ำหรือลุ่มน้ำระดับต่างๆ ที่จำลองได้จาก DEM (Olivera et al., 2002)

2.5 การจำแนกอันดับชั้นลุ่มน้ำตามระบบ Pfafstetter

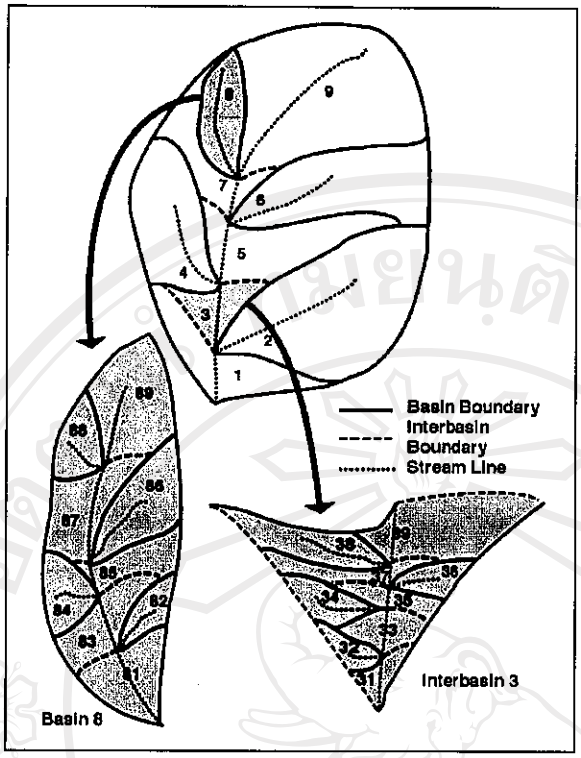
ความเข้าใจต่อความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของระบบลุ่มน้ำเป็นสิ่งจำเป็นที่ช่วยให้นักวางแผนและจัดการลุ่มน้ำเข้าใจถึงบทบาทและความสำคัญของลุ่มน้ำเป้าหมายที่มีต่อลุ่มน้ำข้างเคียง การกำหนดขอบเขตลุ่มน้ำอาศัยทิศทางการไหลของน้ำเป็นเงื่อนไขหลักโดยใช้หลักการ “Area to point on line” การที่น้ำไหลจากที่หนึ่งสู่อีกพื้นที่หนึ่งย่อมนำพาผลพวงต่างๆ ที่เกิดจากการใช้ประโยชน์ไปสู่พื้นที่ที่ได้รับน้ำ นัยของความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ดังกล่าวอธิบายได้จากการกำหนดขอบเขตและจำแนกลุ่มน้ำเป็นอันดับชั้นด้วยระบบ Pfafstetter

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

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 เพื่อสนับสนุนงานการจัดการลุ่มน้ำโดยได้อธิบายว่า Pfafstetter เป็นระบบกำหนดขอบเขตและจำแนกอันดับชั้นของลุ่มน้ำที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานการอธิบายสภาพภูมิประเทศและความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (topology) ผ่านปรากฏการณ์ด้านอุทกศาสตร์ โดยอาศัยขนาดและรูปร่าง (shape) ของพื้นที่รับน้ำและสภาพอุทกวิทยาของระบบเส้นทางน้ำในพื้นที่เป็นแก่นสำคัญในการจำแนกลักษณะจำเพาะของลุ่มน้ำ ซึ่งสามารถสื่อความหมายและแสดงนัยเชิงเปรียบเทียบสภาพภูมิประเทศเป็นอันดับชั้น และจากลักษณะดังกล่าวนี้ทำให้ Furnans and Olivera (2001) ได้นำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมระบุพื้นที่รับน้ำ (*"area- to- area" navigation*)

การจำแนกอันดับชั้นลุ่มน้ำในระบบ Pfafstetter ได้ใช้หมายเลข 0 ถึง 9 ในการอ้างอิงเพื่ออธิบายความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของลุ่มน้ำโครงข่ายลำน้ำและตำแหน่งของพื้นที่ต้นน้ำ/ปลายน้ำ (upstream /downstream) โดยแต่ละหมายเลขมีลักษณะจำเพาะที่จัดแบ่งได้จากอุทกวิทยาของลำน้ำออกเป็นลุ่มน้ำ 3 ประเภท ได้แก่ (1) Pfafstetter basins เป็นขอบเขตลุ่มน้ำที่อ้างอิงสายน้ำสาขาของสายน้ำหลัก การให้หมายเลขอ้างอิงเริ่มจากลุ่มน้ำที่ใกล้จุดรวมน้ำของพื้นที่โดยรวม ซึ่งดำเนินตามขนาดของความเป็นพื้นที่รับน้ำด้วยหมายเลข 2, 4, 6, 8 ตามลำดับ (2) Pfafstetter interbasins เป็นขอบเขตลุ่มน้ำของสายน้ำหลักซึ่งอยู่ระหว่าง Pfafstetter basin การกำหนดหมายเลขเริ่มจากลุ่มน้ำที่จุดรวมน้ำของพื้นที่โดยรวมด้วยหมายเลข 1, 3, 5, 7, 9 ตามลำดับ และ (3) Pfafstetter internalbasins หมายเลขอ้างอิงถูกกำหนดด้วยหมายเลข 0 เนื่องจากเป็นลุ่มน้ำที่ไม่ได้รับน้ำและส่งน้ำให้กับพื้นที่ใดหรือเป็นพื้นที่ที่น้ำได้ไหลลงแหล่งน้ำ เช่น มหาสมุทรหรือทะเลสาบ โครงสร้างการจำแนกลุ่มน้ำด้วยระบบ Pfafstetter แสดงดังรูปที่ 2.3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.3 โครงสร้างการจำแนกอันดับชั้นลุ่มน้ำด้วยระบบ Pfafstetter (Verdin and Verdin, 1999)

นอกจากนั้นระบบ Pfafstetter ยังมีโครงสร้างแบบลำดับชั้น (hierarchy) โดยลุ่มน้ำในระดับที่ 1 (Level 1) จะมีลุ่มน้ำย่อยระดับที่ 2 (Level 2) บรรจุอยู่ และภายใต้ลุ่มน้ำระดับที่ 2 ก็จะมีลุ่มน้ำย่อยระดับที่ 3 (Level 3) ยิ่งระดับสูงเท่าไร ขอบเขตลุ่มน้ำที่สร้างขึ้นจะมีขนาดเล็กลงมากยิ่งขึ้น จนที่สุดก็ไม่สามารถกำหนดเขตลุ่มน้ำได้อีกต่อไป จากโครงสร้างดังกล่าวทำให้สามารถใช้หมายเลขที่อ้างอิงอันดับชั้นของลุ่มน้ำที่ปรากฏในระดับต่างๆ นำมาเรียงต่อกันเพื่อแสดงเป็นชื่อของหน่วยพื้นที่รับน้ำนอกเหนือจากชื่อที่อ้างอิงได้ในแผนที่ภูมิประเทศ ตัวอย่างเช่น ลุ่มน้ำ 7814 เป็นขอบเขตลุ่มน้ำที่กำหนดขึ้นในระดับที่ 4 ซึ่งตำแหน่งสามารถระบุได้จากหมายเลขทั้ง 4 ตัวดังกล่าวคือเป็นลุ่มน้ำ Pfafstetter interbasins หมายเลข 4 ในขณะที่ในระดับที่ 3 เป็น Pfafstetter interbasins หมายเลข 1 และเป็นลุ่มน้ำประเภท Pfafstetter basins หมายเลข 8 ในระดับที่ 2 และในระดับพื้นที่สูงสุดคือระดับที่ 1 เป็นลุ่มน้ำประเภท Pfafstetter interbasins หมายเลข 7

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6 การจัดลำดับความสำคัญเพื่อการจัดการลุ่มน้ำ

FAO (1996) ได้เสนอขั้นตอนการจัดลำดับความสำคัญของลุ่มน้ำย่อยในพื้นที่เป้าหมาย เพื่อช่วยให้การจัดการลุ่มน้ำมีความแม่นยำและตอบสนองต่อการแก้ปัญหาภายใต้งบประมาณที่จำกัด การจัดลำดับความสำคัญดังกล่าวสามารถทำได้หลายวิธีการ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และหลักเกณฑ์ที่ใช้ โดยมีผลลัพธ์สุดท้ายคือระดับความสำคัญของลุ่มน้ำย่อย ซึ่งเป็นข้อมูลที่แสดงให้ผู้ที่ทำการจัดการลุ่มน้ำทราบว่าในบรรดาลุ่มน้ำที่ทำการประเมินนั้น ลุ่มน้ำใดควรได้การจัดการอย่างทันทีหรือลุ่มน้ำใดสามารถรอการจัดการได้ในระยะหนึ่ง ข้อมูลดังกล่าวนี้ช่วยให้การจัดสรรงบประมาณการดำเนินการจัดการลุ่มน้ำเป็นไปอย่างเหมาะสมและตอบสนองต่อการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตามเพื่อให้กลยุทธ์การจัดลำดับความสำคัญทำงานได้แม่นยำ หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินจึงต้องจัดตั้งขึ้นอย่างรัดกุม โดยการกำหนดดัชนีชี้วัด (indicator) ที่สามารถกลั่นกรองหรือสะท้อนสภาวะพื้นที่ได้ตรงตามวัตถุประสงค์การจัดการ

เนื่องจากการจัดลำดับความสำคัญเพื่อการจัดการลุ่มน้ำต้องเกี่ยวข้องกับข้อมูลเชิงพื้นที่เป็นอย่างมาก ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงพื้นที่ดังกล่าวจึงมีผลต่อการตัดสินใจระบุความสำคัญของพื้นที่ลุ่มน้ำ ดังนั้นการใช้ GIS เป็นเครื่องมือในการจัดการข้อมูลและวิเคราะห์การตัดสินใจจะช่วยประหยัดเวลาและแรงงาน สามารถแสดงผลได้รวดเร็ว รวมทั้งสร้างข้อมูลใหม่ที่มีนัยสำคัญดังเช่นดัชนีชี้วัดต่างๆ จากข้อมูลพื้นฐานที่มีอยู่ (Sheng et al., 1997)

2.6.1 หลักเกณฑ์และดัชนีชี้วัดเพื่อการจัดลำดับความสำคัญ

จากงานวิจัยการจัดการลุ่มน้ำที่ผ่านมา (Prasad et al., 1993; Adminnarayana et al., 1995; Sidhu et al., 1998; Khan et al., 2001; Adinarayana, 2003; Tripathi et al., 2003; Hernandez et al., 2003) พบว่าปริมาณตะกอนในลำน้ำ (Sediment Yield Index, SYI) เป็นหลักเกณฑ์หนึ่งที่นิยมใช้ในการประเมินความเสื่อมโทรมของที่ดินทำให้ทราบถึงภาวะการชะล้างพังทลายของดินที่เกิดขึ้นในพื้นที่ (on site) และผลกระทบที่เกิดกับพื้นที่อื่น (off site) โดยใช้ปริมาณตะกอนเป็นดัชนีที่บอกถึงระดับความรุนแรงของปัญหา ซึ่งสามารถประมาณค่า SYI ได้จากค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณดินที่สูญเสียจากการชะล้างพังทลายในลุ่มน้ำและการเคลื่อนย้ายตะกอน (sediment transport) ที่เรียกว่า Sediment delivery ratio (SDR) โดยมีความผันแปรตามคุณลักษณะของลุ่มน้ำ (catchment characteristics) ได้แก่ ความสูงต่ำและความลาดชัน โครงข่ายลำน้ำ การไหลบ่าของน้ำ การปกคลุมของพืชพรรณ การใช้ประโยชน์ที่ดิน เนื้อดิน (Walling, 1994) และขนาดของลุ่มน้ำ (Brooks et al., 1991) ซึ่งนักวิจัยมักพบว่าขนาดของลุ่มน้ำเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า SDR อย่างชัดเจน (Walling,

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1994; Hariston, 1995; Ouyang and Bartholic, 1997; Jain and Dolezal, 2000) นอกจากนี้ Lin et al. (2002)ได้ทำการคาดคะเนปริมาณตะกอนที่ไหลลงสู่อ่างเก็บน้ำและลำน้ำบริเวณลุ่มน้ำ Dafuko ในไต้หวันด้วย GIS โดยใช้ค่า SDR พบว่าปริมาณตะกอนมีค่าน้อยลงเมื่อเส้นทางการไหลบ่าของน้ำมีความยาวมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากสนาม

คุณภาพดิน (Soil quality) เป็นหลักเกณฑ์หนึ่งที่อาจใช้สำหรับประเมินภาวะการผลิตด้านเกษตรภายในลุ่มน้ำ ซึ่งหมายถึงความสามารถของดินภายใต้ระบบนิเวศน์หนึ่งๆ ในการทำหน้าที่ผลิตผลผลิตชีวภาพ (Biological productivity) อย่างยั่งยืน รักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม และสนับสนุนการดำรงชีวิตของพืชและสัตว์ (Doran and Parkin, 1994) ขีดความสามารถดังกล่าวนี้สามารถวัดค่าออกมาเป็นดัชนีคุณภาพดิน (soil quality index) ที่มีค่า 0-1.0 โดยการประเมินจากข้อมูลสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดิน (Larson and Pierce, 1991; Andrew et al., 2002)

Doran and Parkin (1996) ได้แจกแจงสมบัติดินพื้นฐานที่ใช้ในการวัดคุณภาพดิน ได้แก่ เนื้อดิน (texture) ความลึกของดิน (depth of soil) การซาบซึมน้ำ (infiltration) และความหนาแน่นรวมของดิน (soil bulk density) การเก็บกักน้ำของดิน (water holding capacity) ปริมาณอินทรียวัตถุ (organic matter) ค่า pH สภาพการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) ปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม (extractable N, P, and K) Microbial biomass C and N, Potential mineralizable N และ Soil respiration ข้อมูลดินดังกล่าวนี้ได้ถูกประยุกต์ใช้ในการเปรียบเทียบวิธีการประเมินคุณภาพดินภายใต้ระบบการผลิตพืชผักในสหรัฐอเมริกา (Andrew et al., 2002) สำหรับการวัดคุณภาพดินของ Bowman and Petersen (1996), Pieri (1995), และ Popp et al. (2000) ได้ใช้ดัชนีคุณภาพดินที่เสนอโดย Pierce et al. (1983) ในการประเมินความยั่งยืนของระบบการเกษตรโดยใช้สมบัติดินต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยปริมาณอินทรียวัตถุ ความหนาแน่นรวมของดิน ค่า pH และระดับน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available water capacity) ในเขตความลึกของรากพืช นอกจากนี้แล้วการวัดคุณภาพดินยังสามารถใช้คุณภาพที่ดินเป็นดัชนีบ่งชี้ให้ทราบถึงสมรรถนะของดิน (Eswaran et al., 1999) ชั้นคุณภาพที่ดินที่ได้กำหนดไว้มีทั้งหมด 9 ชั้น ซึ่งแต่ละชั้นแสดงถึงความสามารถของที่ดินในการผลิต (soil performance) และความสามารถในการฟื้นตัวจากสภาวะเสื่อมโทรม (soil resilience) โดยชั้นคุณภาพที่ดินชั้นที่ 1 เป็นชั้นที่ดินที่มีคุณภาพที่ดีที่สุด ในขณะที่ชั้นคุณภาพชั้นที่ 9 เป็นชั้นที่ดินมีความสามารถในการให้ผลผลิตต่ำสุดและง่ายต่อการได้รับผลกระทบจากการใช้ประโยชน์ที่ดิน รวมทั้งมีสถานภาพที่ไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์เนื่องจากความสามารถในการฟื้นตัวมีต่ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จะเห็นได้ว่าหลักเกณฑ์และดัชนีในการประเมินเพื่อจัดลำดับความสำคัญลุ่มน้ำสามารถพัฒนาขึ้นได้โดยคำนึงถึงความสอดคล้องและสามารถสะท้อนภาวะพื้นที่ได้ตามวัตถุประสงค์ในการจัดการ ดังที่ Randhir et al. (2001) ได้สร้างดัชนีการจัดลำดับความสำคัญลุ่มน้ำย่อยเพื่อการควบคุมคุณภาพน้ำดื่มในบริเวณแหล่งน้ำของ Ware River Watershed รัฐ Massachusetts โดยได้ประเมินว่าลุ่มน้ำย่อยใดมีความเสี่ยงต่อการเป็นแหล่งมลภาวะด้วยการอาศัยข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน สภาพพื้นที่ทางกายภาพ และเวลาในการไหลบ่าของน้ำลงสู่แหล่งน้ำ ข้อมูลดังกล่าวเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดตะกอนทั้งในด้านปริมาณและการปนเปื้อนต่างๆ

2.6.2 วิธีการจัดลำดับความสำคัญลุ่มน้ำ

โดยทั่วไปวิธีการหรือเทคนิคสำหรับประเมินเพื่อจัดลำดับความสำคัญลุ่มน้ำที่ปรากฏในปัจจุบัน ได้แก่ (1) Point weighting เป็นการให้คะแนนตามความสำคัญของปัจจัยที่ใช้ในการประเมิน เช่น การประเมินสถานภาพลุ่มน้ำย่อยในพื้นที่จังหวัดน่านที่ให้คะแนนกับปัจจัยด้านกายภาพที่มีผลต่อสมดุลนิเวศน์ตามบทบาทความสำคัญ ได้แก่ ทรัพยากรป่าไม้ ทรัพยากรมนุษย์ ทรัพยากรน้ำ ทรัพยากรดิน และการใช้ประโยชน์ที่ดิน เพื่อนำไปสู่การรับมือกับภาวะความเสื่อมโทรม (ชาลี และคณะ, 2545) (2) Empirical formulas เป็นวิธีที่ต้องการข้อมูลที่มากพอและผ่านการทดสอบจนเชื่อถือได้จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อตัดสินใจจำแนกพื้นที่ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ (3) Statistical equation การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการประเมิน เช่น การกำหนดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำในประเทศไทย (สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2543) ที่ใช้วิธีการดังกล่าวโดยผนวกปัจจัยสภาพทางกายภาพ ได้แก่ สภาพภูมิประเทศ ความลาดชัน ความสูงจากระดับน้ำทะเล ลักษณะธรณีวิทยา ลักษณะดิน และการปกคลุมพื้นที่ด้วยพืชพรรณธรรมชาติหรือป่าไม้ แล้วแสดงออกมาเป็นดัชนีสำหรับใช้จัดเขตการใช้ที่ดินซึ่งได้วางรูปแบบไว้อย่างชัดเจน และ (4) Watershed modeling เป็นการใช้แบบจำลองลุ่มน้ำที่พัฒนาขึ้นเพื่อประเมินหรือทำนายสถานการณ์ด้านสิ่งแวดล้อมของลุ่มน้ำ โดยวัดค่าออกมาเป็นตัวเลขของภาวะการชะล้างพังทลายดิน ปริมาณตะกอนในลำน้ำ และคุณภาพน้ำ เป็นต้น โปรแกรม AVSWAT (Di Luzio et al., 2004) เป็นตัวอย่างของ Watershed modeling ที่ใช้ในการประเมินมลภาวะที่เกิดจาก Nonpoint source และ Point source ด้วยข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ดิน เส้นทางน้ำ และสภาพภูมิประเทศ อย่างไรก็ตาม Watershed modeling ดังกล่าวนี้ส่วนใหญ่ได้กำหนดรูปแบบและชนิดข้อมูลนำเข้าเพื่อใช้ในการประเมิน เมื่อนำไปใช้กับพื้นที่ทั่วไป อาจเกิดความไม่สะดวกในการจัดเตรียมข้อมูลให้ตรงกับรูปแบบที่ได้กำหนดไว้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved