บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาหาความสัมพันธ์ในการจัดรูปที่ดินเพื่อการเกษตรและการสร้างระบบป้องกันน้ำท่วมนั้นจำเป็นต้องศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

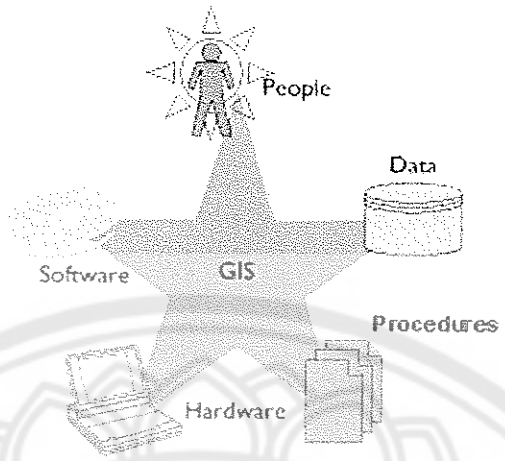
2.1 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS)

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) หมายถึง เครื่องมือที่ใช้ระบบคอมพิวเตอร์ เพื่อช่วยในการรวบรวมข้อมูล นำเข้า จัดเก็บ จัดเตรียม ดัดแปลง แก้ไข จัดการ และวิเคราะห์พร้อมทั้งแสดงผลข้อมูลเชิงพื้นที่ ตามวัตถุประสงค์ต่างๆ ที่กำหนดไว้ อาจแสดงออกเป็นแผนที่ รายงานหรือกราฟGIS

ดังนั้น GIS จึงเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์เพื่อใช้ในการจัดการ และบริหารการใช้ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมและสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงข้อมูลด้านพื้นที่ ให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากเป็นระบบที่เกี่ยวข้องกับระบบการไหลเวียนของข้อมูล และการผสมผสานข้อมูลจากแหล่งต่างๆ เช่น ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) หรือข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) เพื่อให้ได้สารสนเทศที่มีคุณค่าและสามารถนำไปใช้ในการบริหารจัดการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.1.1 องค์ประกอบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ มีองค์ประกอบที่สำคัญอยู่ 5 ส่วน คือ ข้อมูล/สารสนเทศ (Data/Information), เครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ต่างๆ (Hardware), โปรแกรม (Software), และบุคลากร(User/People), และขั้นตอนการทำงาน (Procedure) แสดงดังรูปที่ 2-1



รูปที่ 2-1 องค์ประกอบที่สำคัญของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS)

2.1.2 ข้อมูล (Data/Information)

ข้อมูลที่จะนำเข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์นั้นควรเป็นข้อมูลเฉพาะเรื่อง (Theme) และเป็นข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ในการตอบคำถามต่างๆ ได้ตรงตามวัตถุประสงค์ เป็นข้อมูลที่มีความถูกต้องและเชื่อถือได้และเป็นปัจจุบันมากที่สุด โดยข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) และข้อมูลเชิงบรรยาย (non-Spatial Data or Attribute Data)

1) ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) เป็นข้อมูลที่แสดงตำแหน่งที่ตั้งทางภูมิศาสตร์(Geo-Reference Data) ของรูปลักษณ์ของพื้นที่ (Graphic Feature) ซึ่งมีอยู่ 2 แบบ คือ ข้อมูลที่แสดงทิศทาง (Vector Data)และข้อมูลที่แสดงเป็นตารางกริด (Raster Data) โดยข้อมูลที่มีทิศทาง ประกอบด้วยลักษณะ 3 อย่าง คือ

- ข้อมูลจุด (Point) เช่น ที่ตั้งหมู่บ้าน โรงเรียน หรือวัดเป็นต้น
- ข้อมูลเส้น (Line) เช่น ถนน แม่น้ำ เป็นต้น
- ข้อมูลพื้นที่ หรือเส้นรอบรูป (Polygon) เช่น แหล่งน้ำผิวดิน เป็นต้น

2) ข้อมูลประเภทราสเตอร์ (Raster Data) จะเป็นลักษณะตารางสี่เหลี่ยมเล็กๆ (Grid Cell or Pixel) เท่ากันและต่อเนื่องกัน ซึ่งสามารถอ้างอิงค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ได้ ขนาดของตารางกริดหรือความละเอียด(Resolution) ในการเก็บข้อมูลจะใหญ่หรือเล็กขึ้นอยู่กับการจัดแบ่งจำนวนแถว (Row) และจำนวนคอลัมน์(Column) ตัวอย่างข้อมูลที่จัดเก็บโดยใช้ตารางกริด เช่น ภาพดาวเทียม หรือข้อมูลระดับค่าความสูง (Digital Elevation Model: DEM) เป็นต้น แสดงดังรูปที่ 2-2

รูปที่2-2 ภาพดาวเทียม (Remote Sensing) เป็นข้อมูลประเภทราสเตอร์ (Raster)

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ถูกออกแบบและพัฒนาขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์หลักสองประการคือเพื่อการจัดการข้อมูล (Data Management) และเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support) สำหรับหน่วยงานหรือองค์กร ซึ่งแต่ละองค์กรจะมีกระบวนการทำงานที่เป็นของตนเองทำให้การดำเนินงานทางด้านการพัฒนาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในแต่ ละองค์กรมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้ไม่ได้หมายความว่าการพัฒนาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ให้ประสบผลสำเร็จนั้นจะสามารถพัฒนาได้ตามอำเภอใจหรือตาม สถานการณ์เฉพาะหน้า แต่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จะต้องถูกออกแบบ พัฒนา และจัดการให้เป็นไปตามแผนที่ได้วางไว้ล่วงหน้า โดยแผนดังกล่าวนี้จะต้องถูกกำหนดขึ้นโดยผู้ที่มีความเข้าใจในภารกิจขององค์กรทั้งในปัจจุบันและในอนาคตเป็นอย่างดี เพื่อให้ได้โครงสร้างและขอบเขตที่เหมาะสมของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับองค์กรในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ความถูกต้องของข้อมูลเป็นสิ่งสำคัญที่สุด เพราะการวิเคราะห์และตัดสินใจจากข้อมูลที่ผิดพลาดสามารถจะทำให้เกิดผลเสียอย่างใหญ่หลวง

2.1.3 การทำงานของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS Operation System)

การทำงานของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลักๆ คือ 1. การกำหนดวัตถุประสงค์ 2. การจัดเตรียมฐานข้อมูล 3. การวิเคราะห์ข้อมูล 4. การแสดงผล

1) การวิเคราะห์ปัญหาหรือการกำหนดวัตถุประสงค์การกำหนดวัตถุประสงค์ เป็นขั้นตอนแรกและสำคัญที่สุดในการดำเนินงานที่เกี่ยวกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ทั้งนี้นักวิเคราะห์ GIS ต้องทราบวัตถุประสงค์ที่ชัดเจนก่อนการดำเนินงานในขั้นตอนต่างๆ ว่าต้องการ

แก้ไขปัญหาอะไร ปัญหาดังกล่าวสามารถตอบได้โดย GIS หรือไม่ และผลที่คาดว่าจะได้รับจากการวิเคราะห์คืออะไร และใครจะเป็นผู้นำผลการวิเคราะห์ไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

2) การนำเข้าข้อมูล *(Data Input)* สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ การนำเข้าข้อมูลเชิงพื้นที่(Spatial Data) และข้อมูลบรรยายหรือข้อมูลทั่วไป การนำเข้าข้อมูลเชิงพื้นที่เป็นการแปลงข้อมูลเชิงพื้นที่ให้เป็นข้อมูลเชิงตัวเลข (Digital Data) ซึ่งสามารถนำเข้าได้หลายวิธี เช่น Digitizing Table, คีย์บอร์ด(Computer Keyboard) สแกนเนอร์ (Scanner) นำเข้าข้อมูลแผ่นฟิล์ม (File Importation) และแปลงค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ที่ได้จากเครื่อง Global Positioning System (GPS) ทั้งนี้โปรแกรม (Software) ที่ใช้ในการนำเข้ามีหลายโปรแกรม เช่น ArcInfo, ArcView, MapInfo, SPAN, ERDAS เป็นต้น ส่วนการนำเข้าฐานข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลเชิงพื้นที่สามารถนำเข้าโดยโปรแกรม Spreadsheet หรือโปรแกรมทั่วไป เช่น Excel,Lotus, FoxPro, Word หรือโปรแกรม GIS

การจัดเก็บข้อมูลเชิงพื้นที่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Cartographic Representation) ข้อมูลประเภท Vector ซึ่งประกอบด้วยข้อมูล 3 ประเภท คือ จุด ลายเส้น และพื้นที่หรืออาณาบริเวณ ข้อมูลดังกล่าวจะถูกจัดเก็บโดยอ้างอิงจากค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ ทั้งนี้รหัสของข้อมูลอาจเรียงตามลำดับของการนำเข้าหรือเรียงตามค่ารหัสที่ถูกกำหนดโดยผู้ใช้ระบบ (User ID) ยกเว้นข้อมูลกริดที่จัดเก็บตามตำแหน่งของแนวตั้ง (Column) และแนวนอน (Row)

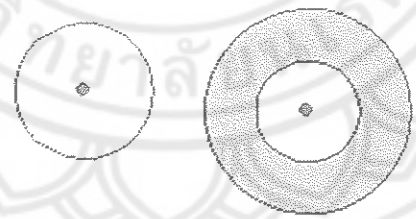
ความสัมพันธ์ทางพื้นที่ (Spatial Topology) ข้อมูลประเภท Vector โดยทั่วไป จะมีระบบการจัดเก็บข้อมูลเฉพาะของข้อมูลแต่ละลักษณะ (Each Graphic Object) ซึ่งลักษณะความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงพื้นที่และข้อมูลบรรยายในระบบการจัดเก็บแบบนี้เรียกว่าความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (Spatial Topology) โดยการจัดเก็บข้อมูลดังกล่าวใช้เนื้อที่น้อย สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้รวดเร็ว และหลังจากได้สร้าง Topology เรียบร้อยแล้ว ข้อมูลต่างๆ สามารถนำมาวิเคราะห์เชิงพื้นที่ได้

การจัดเก็บและการจัดการฐานข้อมูล (Database) นิยมใช้โครงสร้างตามหลักการของฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational Database) ซึ่งสามารถใช้โปรแกรมระบบจัดการฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational Database Management System: RDBMS) เพื่อการจัดการฐานข้อมูล เช่น Microsoft Access, Oracle และdBase ในการเชื่อมโยงระหว่างข้อมูลกราฟฟิกและข้อมูลลักษณะสัมพันธ์ได้ โดยตารางข้อมูลที่ใช้อธิบายข้อมูลเชิงพื้นที่หรือที่เรียกว่า Attribute จะถูกจัดเก็บในรูปแบบที่สัมพันธ์กับข้อมูลเชิงพื้นที่ เพื่อให้เป็นข้อมูลที่มีความถูกต้องและง่ายต่อการปรับแก้และเรียกใช้ ข้อมูลแต่ละเรื่องควรแยกเก็บเป็นคนละแฟ้มข้อมูล (File)และแยกจากข้อมูลกราฟฟิกห

ข้อมูลเชิงพื้นที่ แต่ต้องมีรายละเอียดในรายการใดรายการหนึ่ง (Field) ที่มีค่าและคุณลักษณะ (ตัวเลขหรือตัวอักษร) ที่เหมือนกันเพื่อใช้เชื่อมโยงตารางข้อมูลเข้ากับข้อมูลเชิงพื้นที่ หรือเชื่อมโยงตารางข้อมูลหนึ่งกับอีกตารางหนึ่ง

3) การวิเคราะห์ข้อมูล ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) มีความสามารถในการนำเข้าข้อมูลเชิงพื้นที่หลายๆ ชั้นข้อมูล(Layer) มาซ้อนทับกัน (Overlay) เพื่อทำการวิเคราะห์และกำหนดเงื่อนไขต่างๆ โดยใช้คอมพิวเตอร์ตามวัตถุประสงค์ หรือตามแบบจำลอง (Model) ซึ่งอาจเป็นการเรียกค้นข้อมูลอย่างง่าย หรือซับซ้อน เช่น โมเดลทางสถิติหรือโมเดลทางคณิตศาสตร์ ทั้งนี้เนื่องจากชั้นข้อมูลต่างๆ ถูกจัดเก็บโดยอ้างอิงค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ มีการจัดเก็บอย่างมีระบบและประมวลผลโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ ผลที่ได้รับจากการวิเคราะห์จะเป็นอีกชั้น ข้อมูลหนึ่งที่มีลักษณะแตกต่างไปจากชั้นข้อมูลเดิม การวิเคราะห์ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มีหลายรูปแบบ ซึ่งในเอกสารนี้จะบรรยายถึงการ วิเคราะห์ 4 รูปแบบหลักๆ ดังนี้

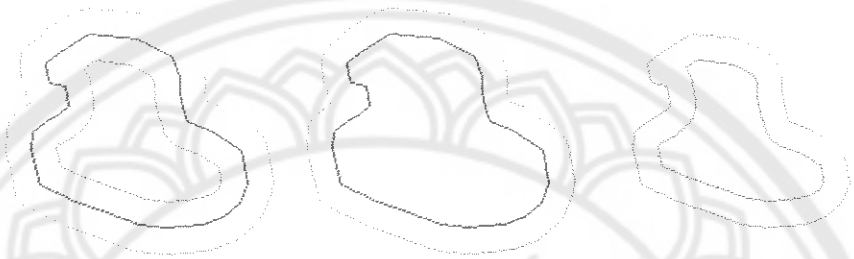
3.1) พื้นที่กันชน การสร้างแนวพื้นที่รอบสิ่งใดสิ่งหนึ่งเป็นระยะทางตามที่กำหนด เรียกว่า การสร้างพื้นที่กันชน สำหรับข้อมูลแบบเวคเตอร์ สามารถสร้างพื้นที่กันชนรอบจุด เส้น และพื้นที่ ได้ ส่วนข้อมูลราสเตอร์ก็สามารถสร้างพื้นที่กันชนได้เช่นกัน แต่ด้วยลักษณะโครงสร้างข้อมูลซึ่งเป็นกริดเซลล์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้ากริดเซลล์มีขนาดใหญ่ การสร้างพื้นที่กันชนก็จะยิ่งมีความคลาดเคลื่อนเชิงระยะทาง ดังนั้นการสร้างพื้นที่กันชนจึงมักจะใช้สำหรับข้อมูลแบบเวคเตอร์ แสดงดังรูปที่ 2-3



รูปที่ 2-3 พื้นที่กันชนของข้อมูลประเภทจุด

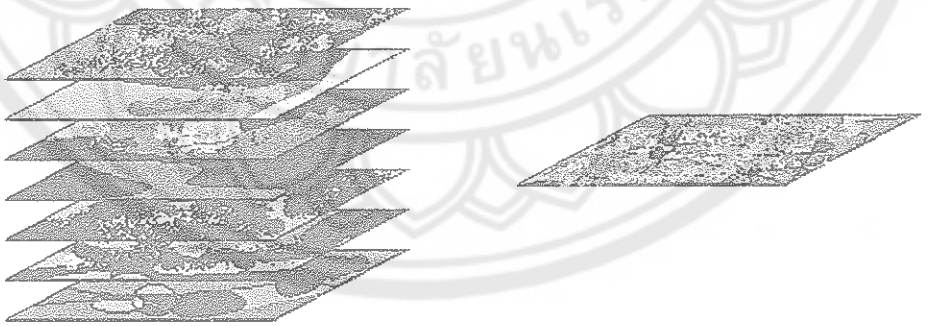
สำหรับพื้นที่กันชนของพื้นที่ (Polygon) สามารถสร้างได้หลายลักษณะ โดยสร้างออกไปด้านนอกของพื้นที่ และสร้างเข้ามาภายในพื้นที่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน เช่น การหาพื้นที่กันชนของข้อมูลประเภทพื้นที่ซึ่งเป็นแหล่งน้ำแห่งหนึ่ง ในการวิเคราะห์หาแหล่งที่อยู่อาศัยของกวางที่อยู่ห่างแหล่งน้ำไม่เกิน 1 กิโลเมตร ดังนั้นในการพิจารณาพื้นที่ที่กวางอาจอาศัยอยู่

จะต้องสร้างพื้นที่กันชนออกไปด้านนอกของแหล่งน้ำเป็นระยะ 1 กิโลเมตร และอีกตัวอย่างหนึ่งคือ การหาพื้นที่อนุบาลสัตว์น้ำที่อยู่ห่างจากตลิ่งไม่เกิน 2 เมตร ดังนั้นต้องสร้างพื้นที่กันชนเข้ามาด้านในของแหล่งน้ำเป็นระยะ 2 เมตร เป็นต้น รูปแบบของพื้นที่กันชนที่สร้างออกไปด้านนอกและเข้ามาด้านในของข้อมูลประเภทพื้นที่ (Polygon) ดังแสดงในรูปที่ 2-4



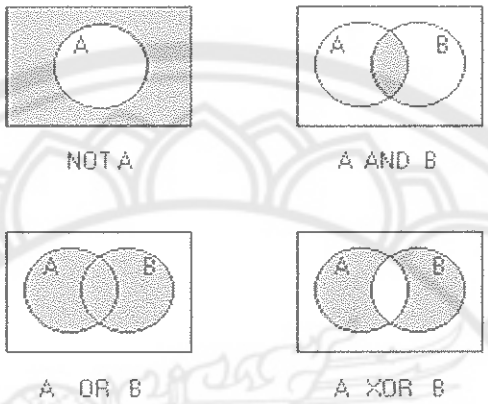
รูปที่ 2-4 รูปแบบการสร้างพื้นที่กันชนของข้อมูลประเภทพื้นที่ (Polygon)

3.2) การซ้อนทับข้อมูลเชิงพื้นที่ การซ้อนทับข้อมูลเชิงพื้นที่เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลหลายชั้นข้อมูลร่วมกัน โดยข้อมูลเหล่านั้นต้องอยู่ในบริเวณเดียวกันและมีคุณลักษณะต่างกัน ผลจากการวิเคราะห์จะทำให้ได้ชั้นข้อมูลใหม่ แผนผังการวิเคราะห์ข้อมูลได้แสดงในรูปที่ 2-5



รูปที่ 2-5 การวิเคราะห์ข้อมูลโดยการซ้อนทับข้อมูลเชิงพื้นที่

ในการซ้อนทับข้อมูลมีกระบวนการในการคำนวณโดยใช้หลักพีชคณิตบูลีน (BooleanAlgebra) ซึ่งมีตัวดำเนินการ คือ NOT, AND, OR และ XOR โดยกำหนดให้มีพื้นที่ A และ B เมื่อใช้ตัวดำเนินการแบบต่างๆ กระทำกับพื้นที่ A และ B จะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 2-6



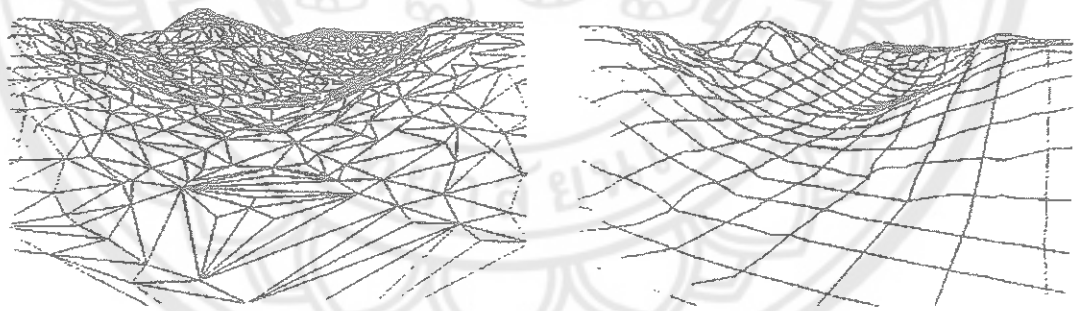
รูปที่ 2-6 แสดงผลจากการใช้ตัวดำเนินการแบบบูลีน

3.3) การวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analysis)ในการวิเคราะห์โครงข่ายจะเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลประเภทเส้น (Line) เท่านั้น โดยข้อมูลประเภทเส้นในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ประกอบด้วยเส้นสมมติ เช่น เส้นรุ้ง เส้นแวง และเส้นขอบเขตการปกครอง ส่วนอีกประเภทหนึ่งเป็นข้อมูลประเภทเส้นที่ปรากฏอยู่จริง เช่น เส้นถนน เส้นแม่น้ำ และเส้นทางสายไฟฟ้า ในการวิเคราะห์โครงข่ายจะวิเคราะห์เฉพาะข้อมูลเส้นที่ปรากฏอยู่จริงส่วนใหญ่การวิเคราะห์โครงข่ายจะถูกนำไปประยุกต์ใช้กับเส้นทางคมนาคม เช่น การเดินทางจากบ้านไปที่ทำงานต้องใช้เส้นทางใดจึงจะเป็นระยะทางที่สั้นที่สุด ในบางกรณีการหาระยะทางที่สั้นที่สุดไม่ใช่คำตอบที่ผู้วิเคราะห์ต้องการ แต่สิ่งที่ต้องการก็คือเส้นทางที่ดีที่สุดในการเดินทางจากบ้านไปที่ทำงานในการหาคำตอบที่ดีที่สุดขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ผู้วิเคราะห์ต้องการนำมาพิจารณาร่วมด้วย เช่น ระยะทางต้องสั้นที่สุด และใช้เวลาเดินทางน้อยที่สุด และประหยัดค่าใช้จ่ายมากที่สุด ดังนั้นการหาเส้นทางจากบ้านไปยังที่ทำงานโดยใช้เงื่อนไขระยะทางสั้นที่สุด กับเส้นทางที่ดีที่สุดอาจได้ผลจากการวิเคราะห์แตกต่างกัน ในการวิเคราะห์เส้นทางคมนาคมอย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องมีฐานข้อมูลที่ทันสมัย ไม่ว่าจะเป็นเส้นทางที่ตัดขึ้นมาใหม่ และสภาพการจราจร ตลอดจนการนำกฎจราจรเข้ามาร่วมพิจารณาในการวิเคราะห์ การวิเคราะห์ในรูปแบบนี้จึงต้องมีความละเอียดในการกำหนดปัจจัยเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องและสามารถนำไปใช้ได้จริง

3.4) การวิเคราะห์พื้นผิว (Surface Analysis)การวิเคราะห์พื้นผิวเป็นการวิเคราะห์การกระจายของค่าตัวแปรหนึ่งซึ่งเปรียบเสมือนเป็นมิติที่ 3 ของข้อมูลเชิงพื้นที่ โดยข้อมูลเชิงพื้นที่มีค่าพิกัดตามแนวแกน X และ Y ส่วนตัวแปรที่นำมาวิเคราะห์เป็นค่า Z ที่มีการกระจายตัวครอบคุมทั้งพื้นที่ ตัวอย่างของค่า Z ได้แก่ ข้อมูลความสูงของพื้นที่ ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ และราคาที่ดิน เป็นต้น ผลจากการวิเคราะห์พื้นผิวสามารถแสดงเป็นภาพ 3 มิติให้เห็นถึงความแปรผันของข้อมูลด้วยลักษณะสูงต่ำของพื้นผิวนั้น การแสดงข้อมูลพื้นผิวสามารถใช้โครงสร้างข้อมูลแบบเวคเตอร์โดยการใช้ Triangulated Irregular Network (TIN) หรือใช้โครงสร้างแบบราสเตอร์โดยการใช้ Digital Elevation Model (DEM)

TIN แสดงลักษณะของพื้นผิวโดยการใช้รูปสามเหลี่ยมหลายรูปซึ่งมีด้านประชิดกันและใช้จุดยอดร่วมกันเรียงต่อเนื่องกันไป โดยค่า Z จัดเก็บอยู่ที่จุดยอดของสามเหลี่ยม จุดเหล่านี้จะกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ โดยพื้นที่ที่มีความแตกต่างของค่า Z มากๆ จุดจะอยู่ใกล้ๆ กัน แต่พื้นที่ที่มีค่า Z ไม่แตกต่างกันนัก จุดจะอยู่ห่างกันดังที่แสดงในรูปที่ 2-7 ด้านซ้ายมือ

DEM มีลักษณะเป็นกริดเซลล์ขนาดเท่ากันเรียงต่อเนื่องกันครอบคลุมทั้งพื้นที่ ค่าประจำกริดเซลล์คือค่า Z ดังนั้นค่า Z ในพื้นที่จึงมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ดังรูปที่ 2-7 ด้านขวามือ



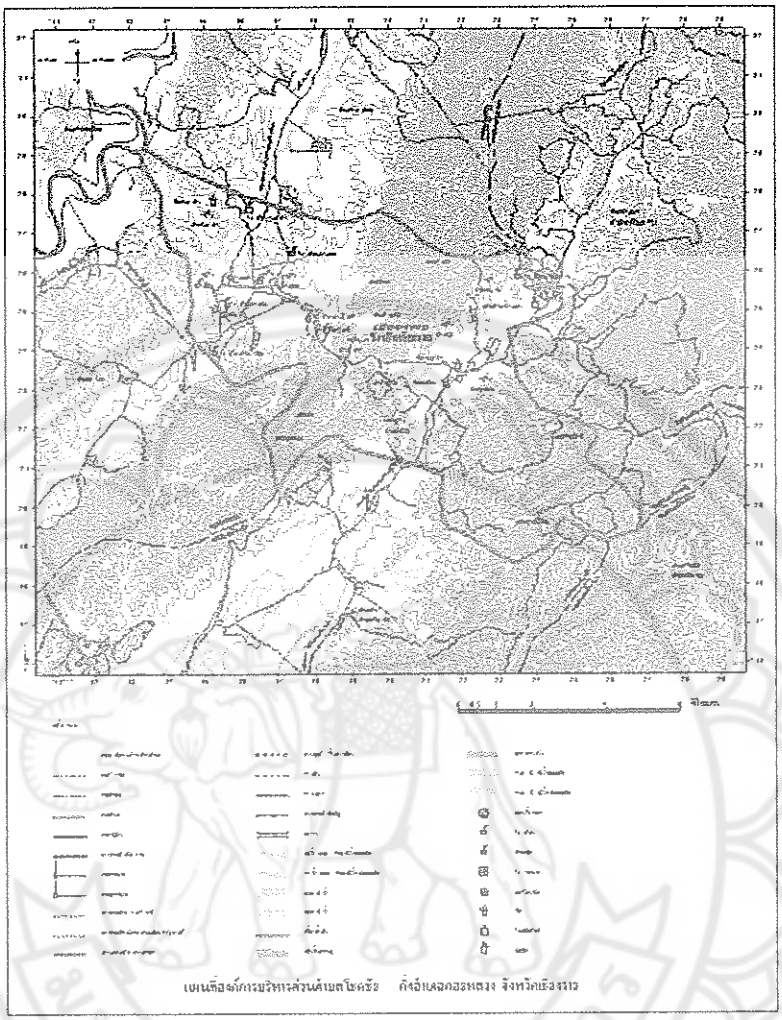
รูปที่ 2-7 ลักษณะของ TIN และ DEM

ในเบื้องต้นข้อมูลค่า Z ที่ใช้ในการวิเคราะห์พื้นผิวมีอยู่เพียงบางจุดในพื้นที่ศึกษา เช่น ข้อมูลน้ำฝนมีอยู่ที่ตำแหน่งของสถานีน้ำฝนซึ่งกระจายอยู่ในพื้นที่ศึกษาเท่านั้น การจะวิเคราะห์ค่า Z จึงจำเป็นต้องใช้การประมาณค่าเชิงพื้นที่ (Spatial Interpolation) ภายใต้สมมติฐาน 2 ข้อคือ ค่า Z ต้องมีการเปลี่ยนแปลงแบบต่อเนื่องค่อยเป็นค่อยไป และค่า Z ต้องมีความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ โดยค่า Z ของจุดที่ไม่ทราบค่าจะมีค่าใกล้เคียงกับจุดที่ทราบค่าที่อยู่ใกลออกไปเป็นระยะทางน้อยที่สุด

การวิเคราะห์พื้นผิวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลายแนวทาง ไม่ว่าจะเป็นการวิเคราะห์ภาพตัดขวาง การแสดงลักษณะของพื้นผิว การวิเคราะห์ความสามารถในการมองเห็นภูมิประเทศจากมุมมองต่างๆ การคำนวณปริมาตรของพื้นที่ และการแสดงลักษณะภูมิประเทศร่วมกับแผนที่หรือภาพถ่าย เช่นภาพดาวเทียม Landsat ดังแสดงในรูปที่ 2-8

รูปที่ 2-8 แสดงลักษณะภูมิประเทศร่วมกับแผนที่

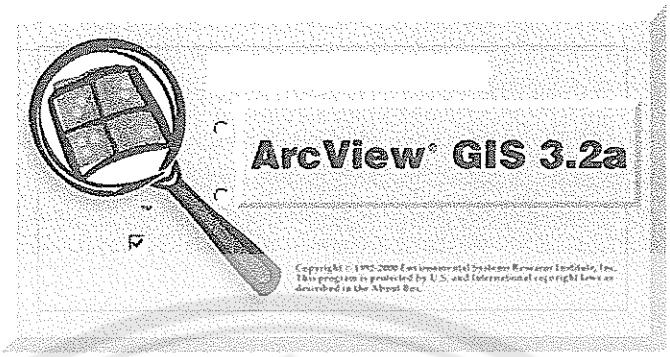
4) การแสดงผลข้อมูล ผลที่ได้รับจากการวิเคราะห์ข้อมูล สามารถนำเสนอหรือแสดงผลได้ทั้งบนจอคอมพิวเตอร์(Monitor) จัดพิมพ์แผนที่และตาราง โดยใช้เครื่องพิมพ์ หรือ Plotter หรือสามารถแปลงข้อมูลเหล่านั้นไปสู่ระบบการทำงานในโปรแกรมอื่นๆ ในรูปแบบของแผนที่ (Map) แผนภูมิ (Chart) หรือตาราง (Table) ได้



รูปที่ 2-9 การแสดงผลข้อมูลของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในลักษณะของแผนที่ (Map)

2.2 โปรแกรม ArcView GIS

ArcView GIS เป็นโปรแกรม GIS โปรแกรมหนึ่ง ที่พัฒนาโดย บริษัท Enviromental Systems Research Institute Inc. (ESRI) เพื่อใช้งานในการนำเสนอข้อมูล และเรียกค้นข้อมูลจากโปรแกรม Arc/Info หรือโปรแกรมอื่นๆ ที่สามารถใช้งานได้ง่ายและมีประสิทธิภาพ เนื่องจากการทำงานบนระบบปฏิบัติการของWindows System (Window98 or Windows95) ซึ่งมีเมนูต่างๆ แสดงบนหน้าจอ และสามารถเปิดได้หลายๆหน้าต่าง (Windows) ในระหว่างการทำงาน



รูปที่ 2-10 โปรแกรม ArcView GIS 3.2a

ArcView Gis เป็นซอฟต์แวร์ด้าน Desktop Mapping และ GIS (Geographic Information System) ที่สามารถแสดงข้อมูล สร้างข้อมูล แก้ไขข้อมูล สอบถามข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูลทางภูมิศาสตร์ (geographic data) ทั้งข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial data) และข้อมูลเชิงคุณลักษณะ (attribute data) เป็นซอฟต์แวร์ที่มีลักษณะการใช้งานเป็นแบบ Graphical User Interface (GUI) ซึ่งสะดวกต่อการใช้งาน ข้อมูลที่ถูกสร้างขึ้นโดย ArcView GIS จะอยู่ในรูป shape file ซึ่งสามารถนำไปใช้ร่วมกับโปรแกรม GIS และโปรแกรมด้าน Image Processing อื่นได้ เช่น ENVI, ERDAS, MapInfo หรือ Arc/Info เป็นต้น ArcView GIS สามารถเข้าถึงข้อมูลของโปรแกรม ARC/INFO ได้โดยตรง ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท ESRI (Environmental System Research Institute) และสามารถเข้าถึงข้อมูลกราฟฟิกเชิงราสเตอร์ (Image file) ได้ ดังแฟ้มข้อมูลรูปแบบต่อไปนี้ BMP, BSQ, BIL, BIP, GRID, TIFF, TIFF/LZW compressed และ IMPELL Bitmaps

2.2.1 ความสามารถของ ARCVIEW

- PC ArcView GIS เป็นโปรแกรมที่ในการประมวลผลทางด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เช่นการทำแผนที่ ทำงานบน Desktop ที่เป็นที่นิยมมากที่สุด เนื่องจากความสะดวกในการใช้งาน ด้วยความสามารถ ทางด้านการทำแผนที่และวิเคราะห์เชิงพื้นที่
- ด้วย ArcView GIS เราสามารถสร้างแผนที่ แสดงข้อมูลได้อย่างสะดวกง่ายดาย โดยอาศัยข้อมูลจากแหล่งข้อมูลที่มีอยู่ เช่น Coverage หรือ Shape File หรือ Image file ในรูปแบบ Graphic ต่างๆ เช่นAutoCAD file)
- ArcView GIS ทำให้เป็นการง่ายที่จะสร้างแผนที่และใส่ข้อมูลของเราลงไป

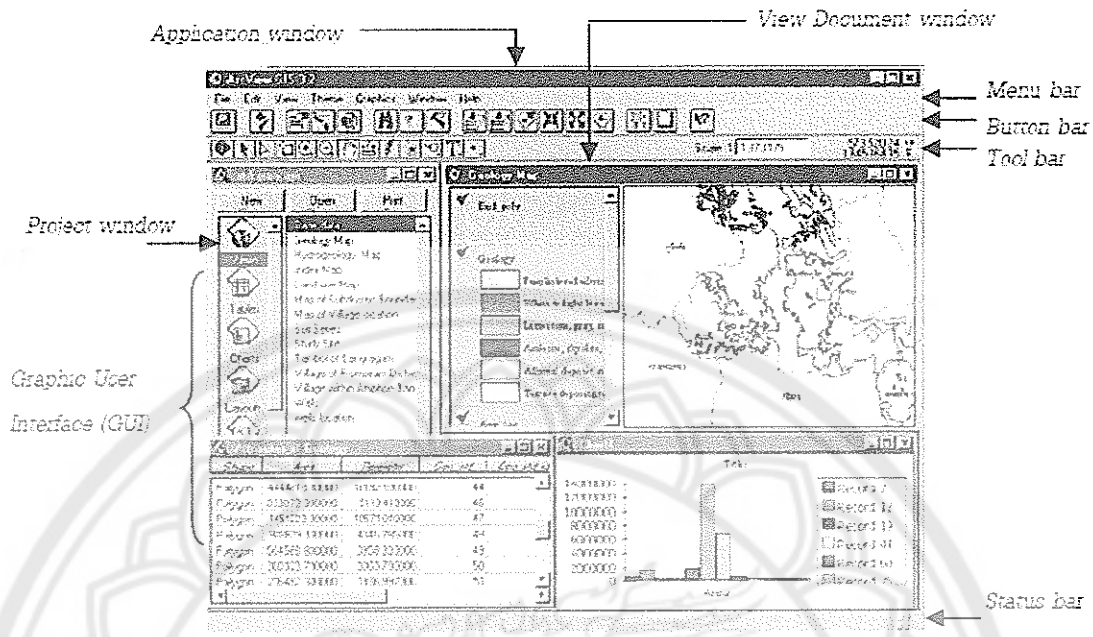
- ArcView GIS คุณสามารถดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลที่มีอยู่ และแสดง บนแผนที่ได้
- ArcView GIS สามารถรวบรวมฐานข้อมูลที่เรามีอยู่ และให้ทำงานกับข้อมูลเชิงภูมิศาสตร์ได้
- ArcView GIS ช่วยให้การพิมพ์และสร้าง แผนที่ก่อนพิมพ์ทำได้ง่ายด้วย Layout
- การแสดงในรูปแบบโต้ตอบโดยการ link ไปที่แผนภูมิ, ตาราง, ภาพวาด, ภาพถ่าย, และ file อื่นๆ
- ภาษา Avenue ซึ่งเป็น ภาษาทำ script ในเชิง object-oriented ที่ฝังอยู่ใน ArcView GIS ทำให้เราสามารถพัฒนาเครื่องมือ, การติดต่อ interfaces, และโปรแกรมประยุกต์ที่สมบูรณ์ได้อย่างรวดเร็ว

2.2.2 **ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานของ** ARCVIEW

ผู้ใช้สามารถใช้งานนำเสนอ และเรียกค้นข้อมูลตามเงื่อนไขต่างๆ แล้ว ยังสามารถใช้ในการผลิตแผนที่ได้เป็นอย่างดี จะสร้างและแก้ไขข้อมูล ทั้งที่เป็นพื้นที่ (Spatial Data) และตารางฐานข้อมูล (Database) ได้ด้วย และยังสามารถรับข้อมูลที่จัดเก็บในรูปแบบต่างๆ เช่น AutoCAD (.dwg), Image (.tiff, .bmp, etc.) และสามารถใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Analysis) ได้ด้วย โดยการเขียนชุดคำสั่ง (Scripts) หรือใช้โปรแกรมประยุกต์ (ชุดคำสั่งสำเร็จรูป) ที่ได้จัดเขียนไว้โดยผู้เชี่ยวชาญ

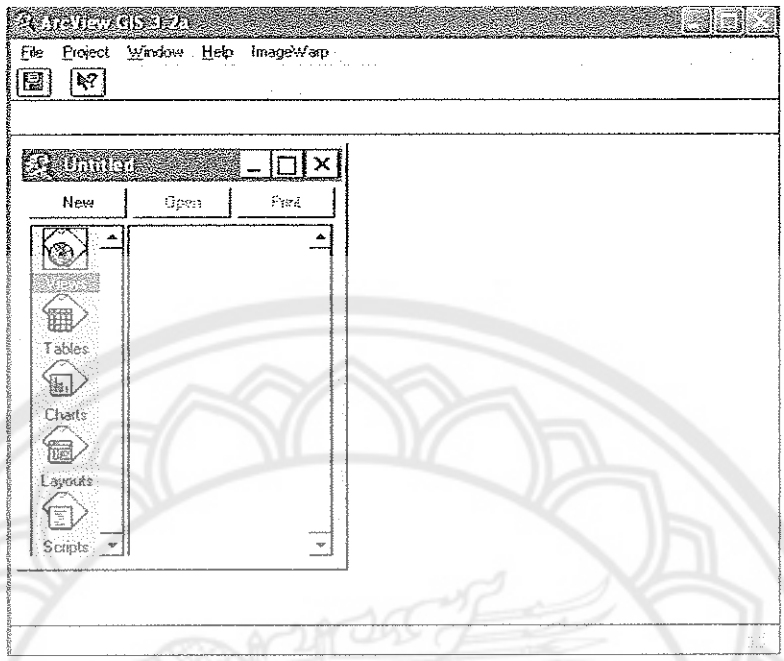
ส่วนประกอบหลักๆ ของหน้าต่าง ArcView GIS จะประกอบไปด้วย

- หน้าต่าง (Windows) ซึ่งประกอบด้วย 5 หน้าต่าง คือ Project Window, View Window, Table Window, Chart Window, Layout Window และ Scripts Window
- เมนู (Pull down Menus) จะเปลี่ยนแปลงไปตามการทำงานของหน้าต่างทั้ง 5 ชนิด
- เครื่องมือ (Toolbars) จะเปลี่ยนแปลงไปตามการทำงานของหน้าต่างทั้ง 5 ชนิด
- ไอคอน (Icon) ซึ่งอยู่ภายใต้ Project Window ประกอบไปด้วย View icon, Table icon, Charticon, Layout icon และ Scripts icon



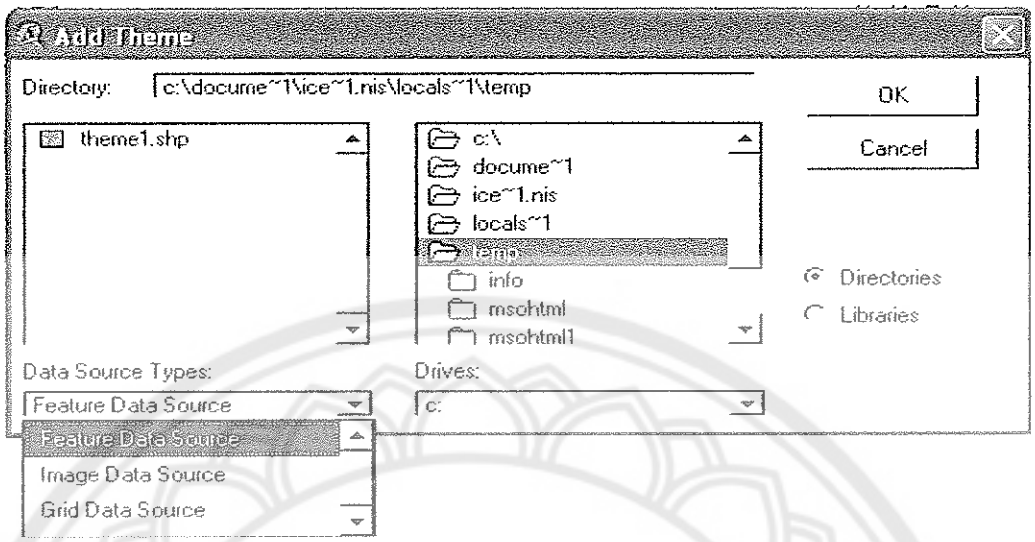
รูปที่ 2-11 แสดง ArcView Interface

Project Window คือ แฟ้มข้อมูลที่ ArcView GIS สร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการจัดการระบบการทำงานทั้งหมด ในProject หนึ่งๆ ซึ่งจะรวมองค์ประกอบทั้งหมดให้อยู่ในแฟ้มข้อมูลเดียวกัน แต่ Project file ที่มีนามสกุลเป็น .apr (จุด-A-P-R) ซึ่ง แฟ้มข้อมูลดังกล่าวจะไม่มีข้อมูลพื้นที่ และตารางฐานข้อมูล แต่จะใช้ในการเรียกค้นข้อมูลจากแหล่งต่างๆ ใน Project หนึ่งๆ จะประกอบด้วยหน้าต่างย่อย หรือองค์ประกอบหลัก5 หน้าต่าง คือ View Window, Table Window, Chart Window, Layout Window และScripts ดังภาพที่ 1 แต่ Arcview GIS จะทำงานครั้งละ 1 Project เท่านั้น หากต้องการดูรายละเอียดในProject อื่น ต้องปิด Project ที่กำลังทำงานอยู่ก่อน แสดงดังรูปที่ 2-12



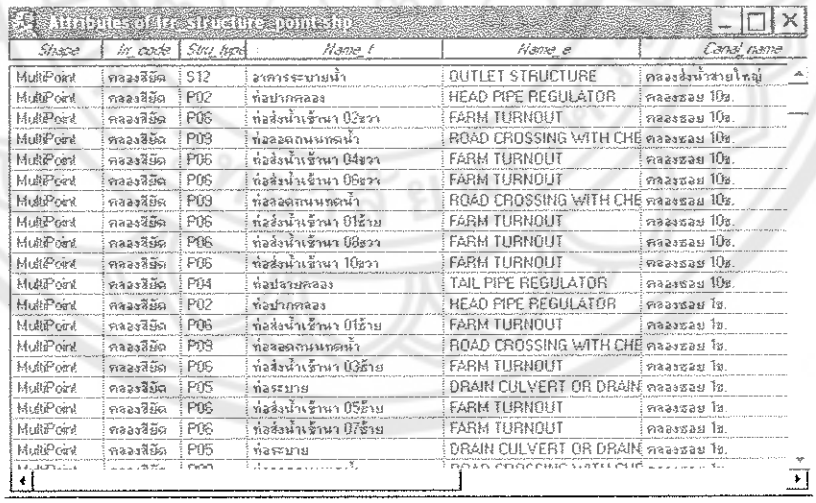
รูปที่ 2-12 แสดงหน้าต่าง Project Window

View Window เป็นองค์ประกอบหนึ่งของ Project windows โดยใช้ Themes เป็นการกำหนดข้อมูลที่ต้องการแสดงบนหน้า View เลือก เมนูบาร์ View เลือก add Theme โดยกำหนดชนิดข้อมูลที่ต้องการว่าจะเป็นข้อมูลประเภทใด ชนิดของข้อมูลของโปรแกรม ArcView GIS นั้นจะรองรับข้อมูลเชิงตำแหน่ง (Spatial data) เป็นสองลักษณะ คือ Vector Data และRaster Data โดยเรียกข้อมูลในกลุ่ม Vector Data ว่า Feature Data Source และข้อมูลในกลุ่ม Raster Data ว่า Image Data Source แสดงดังรูปที่ 2-13



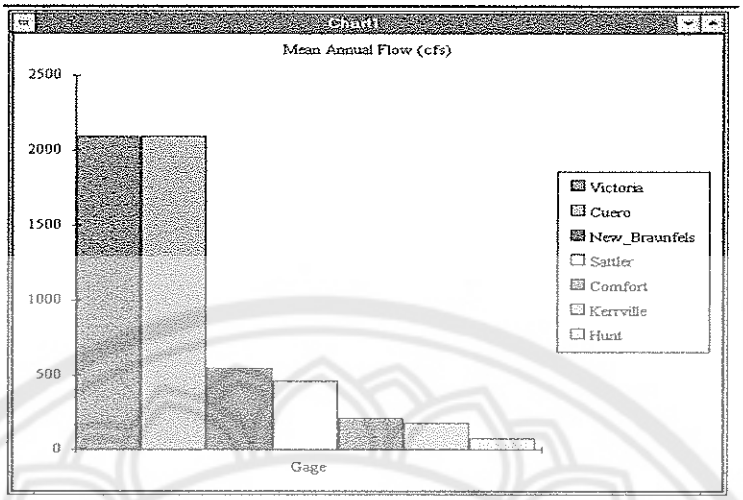
รูปที่ 2-13 แสดงชนิดข้อมูลของโปรแกรม ArcView GIS

Table Window ใช้แสดงรายละเอียดข้อมูลเชิงคุณลักษณะ แสดงรายการข้อมูลเป็น (record) และเขตข้อมูล (field) แสดงข้อมูลเชิงคุณลักษณะของแต่ละ Features ใน Theme นั้น ๆ แสดงดังรูปที่ 2-14



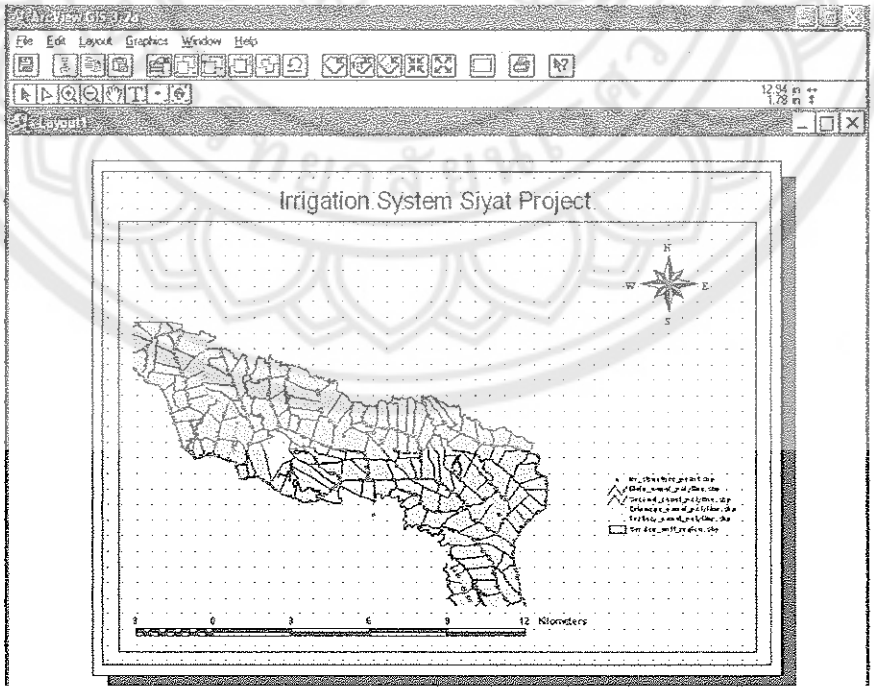
รูปที่ 2-14 แสดงตารางฐานข้อมูล

Chart Window ใช้แสดงข้อมูลในรูปแบบกราฟ สามารถแสดงกราฟเปรียบเทียบข้อมูลเชิงคุณลักษณะ แสดงดังรูปที่ 2-15



รูปที่ 2-15 แสดงข้อมูลในรูปแบบกราฟ

Layout Window คือแผนที่ ที่ประกอบด้วย ข้อมูลต่างๆ เช่น ชั้นข้อมูล (themes) บน view แผนภูมิ (chart) ตาราง (table) หรือสัญลักษณ์ต่างๆ ทั้งที่ทำโดย ArcView GIS หรือ นำเข้าจากแหล่งข้อมูลต่างๆ ภาพที่ปรากฏบนLayout จะเหมือนกับข้อมูลที่แสดงบน View ซึ่งใน Layout หนึ่งอาจจะมีข้อมูลหลาย View แสดงดังรูปที่ 2-16



รูปที่ 2-16 แสดงหน้าต่าง Layout Window

Scripts Window เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการแก้ไขข้อความ (Text editor) โดยใช้สำหรับเขียนโปรแกรมด้วยรหัส (code) Avenue scripts เป็นโปรแกรมที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งาน ArcView GISสร้างชุดคำสั่งเพื่อการใช้งานอัตโนมัติ เพิ่มคำสั่งใหม่ในการใช้งาน สร้างโปรแกรมประยุกต์ที่เหมาะสมกับความต้องการ

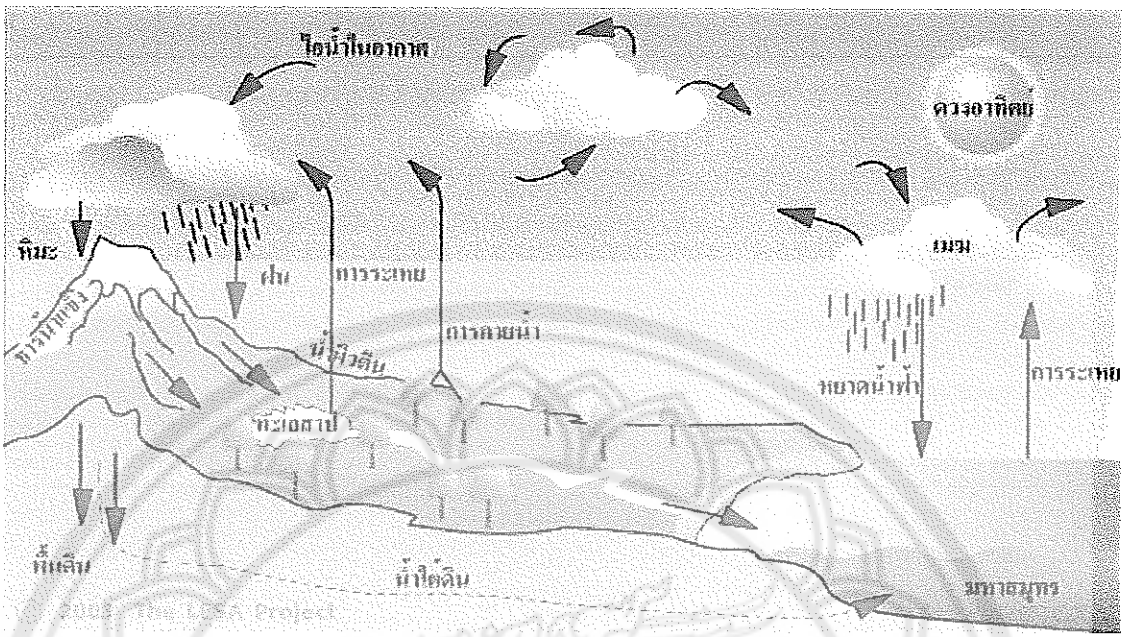
2.3 การจำแนกดินทางวิศวกรรม (Soil Classification)

ดินเป็นวัสดุที่ประกอบขึ้นด้วยสิ่งต่างๆ หลายอย่าง เช่น กรวด, ทราย, ดินเหนียว, อินทรียสาร เป็นต้น ทั้งนี้ เนื่องจากอิทธิพลของหินต้นกำเนิด, การกัดกร่อนผุพัง, การพัดพาและการตกตะกอนทับถม เพื่อที่จะจัดหมวดหมู่ของดินที่มีคุณสมบัติเฉพาะคล้ายกัน เข้าอยู่ในพวกเดียวกันตามวัตถุประสงค์ในการใช้งาน การจำแนกประเภทของดินจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในงานทางวิศวกรรมโยธา การจำแนกดินมีหลายระบบ ขึ้นอยู่กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและประโยชน์ใช้สอย เช่น งานด้านถนนใช้ระบบ AASHO Classification ซึ่งจัดแบ่งดินตามความเหมาะสมในการใช้เป็นวัสดุก่อสร้างถนน, งานสนามบินใช้ระบบของ FAA Classification และระบบ Unified Soil Classification ซึ่งใช้กับงานวิศวกรรมทั่วๆ ไปและนิยมแพร่หลายกว่าระบบอื่นๆ

การจำแนกดินมี 2 ระบบ คือ 1. ระบบ Unified Soil Classification 2. ระบบ AASHO Classification ทั้งสองระบบ อาศัยข้อมูลพื้นฐานในการจำแนกคล้ายๆกัน คือ การกระจายและขนาดของเม็ดดิน, ค่า Atterberg's limits (L.L., P.L., P.I) สีกลิ่น และการจับตัวของเม็ดดิน รวมทั้งอินทรีย์สารที่เจือปน

2.4 วัฏจักรอุทกวิทยา (Water Cycle)

โลกของเราประกอบขึ้นด้วยพื้นดินและพื้นน้ำ โดยส่วนที่เป็นผืนน้ำนั้น มีอยู่ประมาณ 3 ส่วน (75%) และเป็นพื้นดิน 1 ส่วน (25%) น้ำมีความสำคัญอย่างยิ่งกับชีวิตของพืชและสัตว์บนโลก รวมทั้งมนุษย์เราด้วย วัฏจักรของน้ำคือ การเกิดและการหมุนเวียนของน้ำที่อยู่ในโลกนั่นเอง การหมุนเวียนของน้ำเป็น Cycle อาจเริ่มนับได้จากมหาสมุทร เมื่อน้ำระเหยจาก มหาสมุทรไปสู่บรรยากาศ เป็นไอน้ำแล้ว ความแปรปรวน ของลมฟ้าอากาศจะทำให้เกิด ฝนตกลงสู่ผิวโลก ในทะเลบ้าง บนผิวดินบ้าง น้ำฝนที่ตกบนดินก็จะเกิดการสูญเสียดูดซึม ลงดินเสียเป็นส่วนใหญ่ และด้วยเหตุอื่นบ้างเล็กน้อย เช่น ระเหย ขังในที่ลุ่ม พืชดูดไปใช้ ส่วนที่เหลือก็จะไหลเป็นน้ำท่าลงแม่น้ำลำธารออกทะเล ส่วนที่ซึมลงดินนั้นก็จะค่อย ๆ ซึมออกสู่แม่น้ำลำธาร และไหลออกทะเลไปเช่นกัน แต่อาจช้ากว่ามากซึ่งจะเห็นได้ว่าสุดท้าย น้ำจะระเหยกลายเป็นไอสู่บรรยากาศ วัฏจักรของน้ำจึงไม่มีเริ่มต้นและไม่มีที่สิ้นสุด หมุนเวียนอยู่เช่นนี้ตลอดเวลา ดังรูปที่ 2-17



รูปที่ 2-17 วัฏจักรของน้ำ

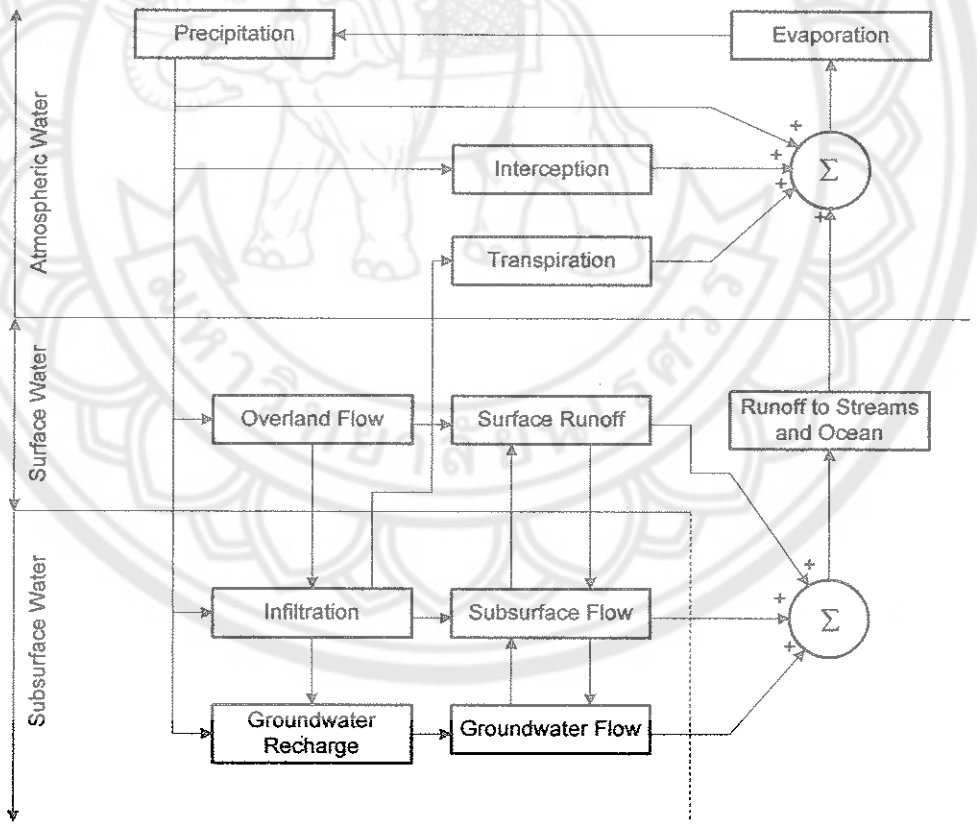
เมื่อพิจารณารูปที่ 2-17 จะเห็นได้ว่า น้ำจะมีการระเหย (Evaporation) จากทะเลมหาสมุทรและที่สะสมอยู่บนแผ่นดินเช่น อ่างเก็บน้ำ ห้วย หนอง คลอง บึง หรือจากน้ำใต้ผิวดินบางส่วนขึ้นสู่บรรยากาศเป็นไอน้ำ (Water Vapor) ซึ่งจะมีการลอยตัวขึ้นไปสะสมจนกระทั่งเกิดขบวนการควบแน่นและกลั่นตัวกลายเป็นน้ำจากอากาศ (Precipitation) ตกลงมาสู่ทะเลมหาสมุทรหรือบนแผ่นดินอีก โดยจะมีน้ำบางส่วนถูกดัก (Interception) จากพืชบางส่วนจะตกลงบนผิวดินแล้วเกิดการไหลบนผิวดิน (Overland Flow) แต่ก็มีบางส่วนระเหยและบางส่วนเกิดจากการคายน้ำ (Transpiration) กลับสู่บรรยากาศ ขณะเดียวกันจะมีน้ำบางส่วนซึมลงเป็นการไหลใต้ผิวดิน (Subsurface Flow) ซึ่งจะมีแนวทางไหลซึมสู่แม่น้ำลำคลองเช่นเดียวกับน้ำท่าผิวดิน (Surface Runoff) และมีน้ำบางส่วนซึมลึกลงไประหว่างช่องว่างของเม็ดดิน หรือรอยหินแตกลงไปเป็นน้ำใต้ดิน (Groundwater) ซึ่งถ้าน้ำใต้ดินซึมเข้าสู่ลำน้ำจะเรียกลำน้ำนั้นว่า ลำน้ำรับ (Effluent Stream) แต่ถ้าลำน้ำที่ให้แก่น้ำใต้ดินเรียกว่า ลำน้ำให้ (Influent Stream) ซึ่งท้ายที่สุดแล้วน้ำใต้ดินก็มักจะมีแนวการไหลซึมออกสู่แหล่งน้ำหรือทะเลมหาสมุทร แล้วเกิดการระเหยกลับสู่บรรยากาศเป็นเช่นนี้หมุนเวียนอย่างต่อเนื่องเป็นวัฏจักรอุทกวิทยา

ระบบวัฏจักรอุทกวิทยาสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระบบย่อย คือ

1) ระบบน้ำในบรรยากาศ (Atmospheric Water System) ประกอบด้วยกระบวนการที่เกิดจากน้ำจากอากาศ (Precipitation) การระเหย (Evaporation) การดัก (Interception) และการคายน้ำ (Transpiration)

2) ระบบน้ำผิวดิน (Surface Water System) ประกอบด้วยขบวนการที่เกิดจากการไหลบนผิวดิน (Overland Flow) น้ำท่าผิวดิน (Surface Runoff) การไหลออกของน้ำใต้ผิวดินและน้ำใต้ดิน (Subsurface and Groundwater Outflow) การไหลในแม่น้ำและน้ำในทะเลมหาสมุทร

3) ระบบน้ำใต้ผิวดิน (Subsurface Water System) ประกอบด้วย ขบวนการซึม (Infiltration) การเพิ่มน้ำใต้ดิน (Groundwater Recharge) การไหลใต้ผิวดิน (Subsurface Flow) และการไหลของน้ำใต้ดิน (Groundwater Flow)



รูปที่ 2-18 แผนผังวัฏจักรอุทกวิทยา (Chow, V.T., D.R. Maidment, and L.W. Mays., 1998)

2.5 น้ำฝน (Rain)

เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากการที่ละอองไอน้ำในอากาศหรือเมฆจับตัวหรือเกาะกันจนมีขนาดใหญ่ขึ้นจนกระทั่งอากาศไม่สามารถรองรับไว้ได้อีกจึงตกลงมาเป็นหยด น้ำขนาดใหญ่บ้างเล็กบ้างลงมาตามแรงดึงดูดของโลกละอองน้ำฝนหรือฝนที่ตกลงมาเป็นละอองจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดน้ำประมาณ 0.5 มิลลิเมตรเม็ดฝนที่ตกลงมาขณะฝนตกหนักจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดน้ำประมาณ 2 มิลลิเมตร หรืออาจมีขนาดที่ใหญ่กว่านี้ การเกิดฝนมีปัจจัยต่างๆ ดังนี้

1) ปริมาณไอน้ำในอากาศ ที่มีจำนวนมากจะรวมตัวกันทำให้เกิดเป็นเมฆ จากนั้นก็จะพัฒนาไปเป็นหยดของไอน้ำที่มี น้ำหนักมากขึ้น และตกลงสู่พื้นผิวโลก ยิ่งมีไอน้ำมากปริมาณของน้ำฝนก็จะยิ่งมากการตกแต่ละครั้งก็ตกนานและตกได้บ่อยครั้ง

2) อุณหภูมิของชั้นบรรยากาศ มีส่วนในการรวมตัวกันของไอน้ำ และการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำตกลงสู่ผิวโลก อุณหภูมิที่สูงจะทำให้น้ำอยู่ในสภาพไอน้ำมากขึ้น อุณหภูมิที่ลดต่ำลงจะทำให้ไอน้ำรวมตัวกันเป็นเมฆ และถ้าอุณหภูมิลดต่ำลงอีกไอน้ำจะรวมตัวเป็นหยดน้ำตกลงสู่ผิวโลก

3) ลมซึ่งเป็นทั้งลมปกติและลมพายุ ลมเป็นปัจจัยในการพัดพาละอองไอน้ำให้ไปรวมกันตามบริเวณต่างๆ เมื่ออุณหภูมิลดลงจะตกลงมาเป็นฝนลมที่เกิดตามปกติของประเทศไทยที่ทำให้เกิดฤดูฝน คือ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ลมนี้จะพัดพาไอน้ำจากมหาสมุทรอินเดียเข้าสู่พื้นที่ของประเทศทำให้เกิดฝนตก เป็นช่วงฤดูกาล ลมที่เกิดเป็นกรณีพิเศษ คือ ลมพายุ (ลมพายุไต้ฝุ่น ลมพายุทอร์นาโด ลมพายุเฮอริเคน) ลมพายุจะเกิดขึ้นในมหาสมุทร มีกำลังแรงมาก จะพัดพาเอาไอน้ำจำนวนมหาศาลเข้าสู่พื้นดิน ไอน้ำจะรวมตัวกันตกลงมาเป็นฝนจำนวนมากเป็นระยะเวลายาวนาฯ

4) ภูเขาและป่าไม้ ภูเขาเป็นส่วนที่สูงขึ้นมาจากผิวโลกจึงเป็นเหมือนกำแพงที่กั้นปะทะให้ไอน้ำมารวมตัวกันเป็นจำนวนมาก ในขณะที่ป่าไม้จะคายไอน้ำ ทำให้อุณหภูมิต่ำลงและทำให้ไอน้ำรวมตัวกันเป็นหยดน้ำตกลงสู่ผิวโลก ภูเขาและป่าไม้จึงเป็นบริเวณที่ฝนจะตกมากเป็นพิเศษเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ที่ไม่มีภูเขาและป่าไม้

2.5.1 การหาปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย

บนพื้นที่ลุ่มน้ำหรือพื้นที่รับน้ำของแต่ละแห่ง มักจะมีสถานีวัดน้ำฝนอยู่หลายสถานี ซึ่งเมื่อทำการเก็บข้อมูลปริมาณน้ำฝนในแต่ละวัน แต่ละเดือน แต่ละฤดู แต่ละปี หรือในช่วงที่เกิดพายุแต่ละครั้ง จะได้ข้อมูลปริมาณฝนที่สถานีวัดน้ำฝนต่างๆเป็นตัวเลขไม่เท่ากัน โดยในการนำตัวเลขที่ได้ไปใช้ในงานทางอุทกวิทยา จำเป็นต้องหาค่าปริมาณฝนที่เป็นตัวแทนของปริมาณฝนที่ตก

กระจายอยู่ทั่วบริเวณพื้นที่ที่พิจารณา ซึ่งมักจะคำนวณออกเป็นปริมาตรเฉลี่ย (average precipitations) บนพื้นที่พิจารณา โดยมีวิธีการหาปริมาณฝนเฉลี่ยที่ใช้กันโดยทั่วไป 3 วิธีคือ

1) วิธีเฉลี่ยทางคณิตศาสตร์ (Arithmetic-Mean Method) เป็นวิธีหาปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยที่ง่ายที่สุด โดยหาได้จากการนำค่าปริมาณน้ำฝนจากสถานีวัดน้ำฝนภายในลุ่มน้ำทุกสถานีมารวมกันแล้วหารด้วยสถานีวัดน้ำฝน จะได้ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยภายในลุ่มน้ำดังสมการ

ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย $$\overline{P} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} P_i$$ ----------(2.1)

เมื่อ n = จำนวนสถานีวัดน้ำฝน

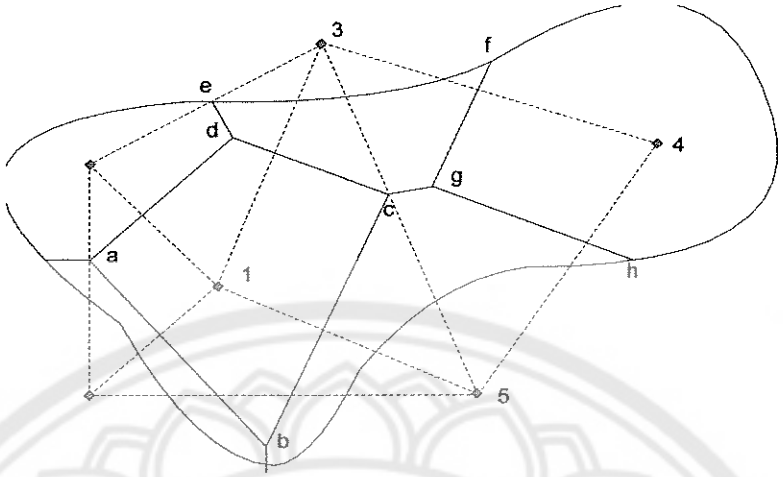
P_i = ปริมาณน้ำฝนที่สถานี i

วิธีเฉลี่ยทางคณิตศาสตร์จะให้ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยที่นำมาใช้ได้ก็ต่อเมื่อ ลุ่มน้ำหรือบริเวณที่ต้องการวิเคราะห์ข้อมูลต้องเป็นที่ราบกล่าวคือ ไม่มีอิทธิพลของแนวเขตภูเขาที่จะมีผลทำให้ฝนตกไม่สม่ำเสมอตลอดทั่วพื้นที่ สถานีวัดน้ำฝนจะต้องกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำและปริมาณน้ำฝนของแต่ละสถานีจะต้องมีค่าที่ไม่แตกต่างจากปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยมากนัก

2) วิธีของทิสเสน (Thiessen Method)

จะพิจารณาว่าปริมาณน้ำฝนที่วัดได้จากสถานีวัดน้ำฝนแต่ละแห่ง จะมีอาณาบริเวณครอบคลุมพื้นที่รับน้ำฝนที่อยู่ล้อมรอบสถานีวัดน้ำฝนนั้น ๆ ซึ่งการกำหนดพื้นที่ที่ล้อมรอบสถานีวัดน้ำฝน จะกำหนดได้จากการแบ่งพื้นที่เป็นรูปหลายเหลี่ยมของทิสเสน (Thiessen Polygon) ตัวอย่างเช่นเมื่อสถานีวัดน้ำฝน 6 แห่ง ดังรูปที่ 2-19

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร



I 5097149
IS
ร 1190
ค
2553

รูปที่ 2-19 แสดงการหาปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยของทิสเสน (กีรติ ลีวัจนกุล, 2539)

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2-19 มีขั้นตอนในการแบ่งพื้นที่เป็นรูปหลายเหลี่ยมของทิสเสนดังต่อไปนี้

- กำหนดตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนทั้งในพื้นที่และที่อยู่รอบ ๆ พื้นที่ที่ต้องการหาปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย

- ลากเส้นตรง (เส้นประ) เชื่อมโยงระหว่างสถานีวัดน้ำฝน 2 แห่ง ที่อยู่ใกล้กัน โดยที่เส้นตรงเหล่านี้จะต้องไม่ตัดกัน จะได้รูปโครงข่ายสามเหลี่ยม (Network of Triangle)

- ลากเส้นตรง (เส้นทึบ) แบ่งครึ่งและตั้งฉากกับด้านทั้งสามของรูปสามเหลี่ยมจะได้รูปสามเหลี่ยมของทิสเสนล้อมรอบของสถานีวัดน้ำฝนแต่ละแห่ง ดังเช่น สถานีวัดน้ำฝนสถานีที่ 1 ล้อมรอบด้วยด้าน abcd เป็นต้น

- วัดขนาดพื้นที่รูปหลายเหลี่ยมที่คลอบคลุมสถานีวัดน้ำฝนแต่ละรูป โดยอาจใช้วิธีนับจุดในกระดาษกราฟ หรือใช้เครื่องมือวัดพื้นที่ที่เรียกว่า พลานิมิเตอร์ (Planimeter) จะได้พื้นที่รูปหลายเหลี่ยมของทิสเสน เป็น A_1, A_2, ...,A_6 จากนั้น จึงนำพื้นที่รูปหลายเหลี่ยมที่ได้นี้ไปคำนวณหาปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อไป

เมื่อกำหนดให้ $P_1, P_2,....,P_6$ คือสถานีวัดน้ำฝนที่วัดได้จากสถานีที่ 1, 2,..., 6 ตามลำดับ

ดังนั้นปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย $$\overline{P} = \frac{P_1A_1 + P_2A_2 + ... + P_6A_6}{(A_1 + A_2 + ... + A_6)} \quad \text{----------(2.2)}$$

เขียนเป็นรูปทั่วไปในกรณีที่มีสถานีวัดน้ำฝน n แห่ง ได้ดังนี้

ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย $\overline{P} = \dfrac{\sum_{i=1}^{n} P_i A_i}{\sum_{i=1}^{n} A_i}$

$$= \frac{1}{A}\sum_{i=1}^{n} P_i A_i \qquad \text{----------(2.3)}$$

โดยที่ $\overline{P}$ = ปริมาณที่เฉลี่ย n แห่ง

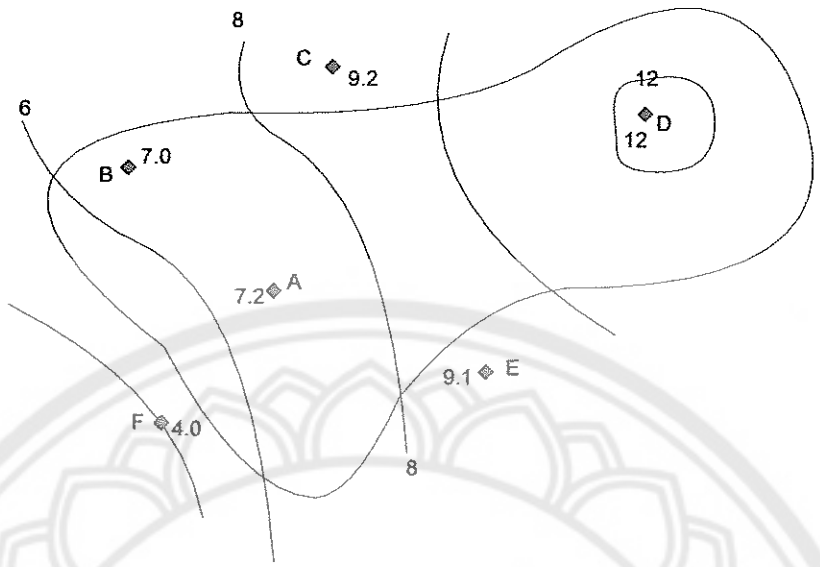
P_i = ปริมาณน้ำฝนที่วัดได้จาสถานีวัดน้ำฝนที่ i

A_i = พื้นที่รูปหลายเหลี่ยมที่ล้อมรอบสถานีวัดน้ำฝนที่ i

A = พื้นที่รับน้ำฝนรวมมีค่าเท่ากับ $\sum_{i=1}^{n} A_i$

3) วิธีเส้นชั้นน้ำฝน (Isohyetal Method)

วิธีนี้จะเป็นการลากเส้นชั้นน้ำฝนซึ่งหมายถึงเส้นที่ลากผ่านบริเวณที่มีความลึกหรือ ปริมาณน้ำฝนเท่านั้น โดยอาศัยข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ได้จากสถานีวัดน้ำฝนเป็นหลัก และพิจารณาแผนที่ภูมิประเทศ โดยดูจากสภาพภูมิประเทศ ลักษณะภูมิประเทศ และทิศทางพายุฝน เป็นต้น มาประกอบการลากเส้นชั้นน้ำฝนดังตัวอย่างการลากเส้นชั้นน้ำฝนดังรูปที่ 2-20 ซึ่งการลากเส้นชั้นน้ำฝนนี้จะได้ผลใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริง ก็ต่อเมื่อมีสถานีวัดน้ำฝนเป็นจำนวนมาก จึงจะได้แนวเส้นชั้นน้ำฝนที่ถูกต้องยิ่งขึ้น



รูปที่ 2-20 ตัวอย่างการลากเส้นชั้นน้ำฝน (กีรติ ลีวัจนกุล, 2539)

การหาปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยโดยวิธีเส้นชั้นน้ำฝน มีหลักการดังต่อไปนี้ คือ

- กำหนดสถานีวัดน้ำฝนลงบนแผนที่ทั้งในบริเวณพื้นที่รับน้ำฝนและบริเวณล้อมรอบขอบเขตพื้นที่รับน้ำฝน

- ตรวจดูแนวโน้มของเส้นชั้นน้ำฝน และกะประมาณด้วยสายตา จากนั้น จึงลากเส้นชั้นน้ำฝน โดยพยายามให้เส้นโครงราบเรียบ ซึ่งวิธีการลากเส้นชั้นน้ำฝนนี้ จะคล้ายกับการลากเส้นระดับความสูง (Contour Lines) จากนั้นจึงหาปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยระหว่างเส้นชั้นน้ำฝน 2 เส้น ที่อยู่ใกล้กันได้ $P_1, P_2, \ldots, P_n$ โดยที่ n คือปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยระหว่างเส้น ชั้นน้ำฝน 2 เส้น

- หาพื้นที่ระหว่างเส้นชั้นน้ำฝน 2 เส้นที่อยู่ใกล้เคียงกัน และอยู่ภายในขอบเขตของพื้นที่รับน้ำจะได้พื้นที่ $A_1, A_2, \ldots, A_n$

- คำนวณปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยได้ดังสมการ

ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย $$\overline{P} = \frac{P_1 A_1 + P_2 A_2 + \ldots + P_n A_n}{(A_1 + A_2 + \ldots + A_n)}$$ ----------(2.4)

หรือ $$\overline{P} = \frac{1}{A}\sum_{i=1}^{n} P_i A_i$$ ----------(2.5)

โดยที่ $\bar{P}$ = ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยทั่วพื้นที่รับน้ำ

n = จำนวนปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยระหว่างเส้นชั้นน้ำฝน 2 เส้น

P_i = ปริมารน้ำฝนเฉลี่ยระหว่างเส้นชั้นน้ำฝน 2 เส้นที่อยู่ใกล้กัน

A_i = พื้นที่ระหว่างเส้นชั้นน้ำฝน 2 เส้นที่อยู่ใกล้เคียงกัน

A = พื้นที่รับน้ำฝนรวมภายในลุ่มน้ำมีค่าเท่ากับ $\sum_{i=1}^{n} A_i$

2.5.2 **การวิเคราะห์โอกาสที่จะเกิด** (Probability Analysis)

การวิเคราะห์โอกาสที่จะเกิดขึ้น คือ การวิเคราะห์โอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ต่าง ๆ เช่น การหาปริมาณน้ำฝนสูงสุด หรือปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่จะเกิดขึ้นในรอบปีที่มีโอกาสจะเกิดเหตุการณ์นั้น ๆ ที่เรียกว่า รอบปีการเกิดซ้ำ (Return Period) ซึ่งผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำฝนสูงสุดหรือปริมาณน้ำหลากสูงสุดจะมีประโยชน์ในการนำไปออกแบบหรือวิเคราะห์ปัญหาทางวิศวกรรมชลศาสตร์ต่อไป

สำหรับรอบปีการเกิดซ้ำจะขึ้นอยู่กับจำนวนปีที่เก็บข้อมูลและลำดับที่ข้องมูลซึ่งมีสมการคำนวณอยู่หลายสมการ แต่สมการที่เหมาะสำหรับคำนวณเกี่ยวกับปริมาณน้ำฝนสูงสุดหรือปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่ใช้ได้ผลมาแล้ว มักจะนิยมใช้สมการของ Weibull ดังนี้

$$T_p = \frac{N+1}{M} \qquad \text{----------(2.6)}$$

เมื่อ T_p = รอบปีการเกิดซ้ำ (Return Period)

N = จำนวนปีที่เก็บข้อมูล

และ M = ลำดับที่ (M = 1สำหรับค่าข้อมูลที่มากที่สุด)

ในการออกแบบหรือวิเคราะห์ปัญหาทางวิศวกรรมชลศาสตร์นั้น ทางสำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท (รพช) ได้มีการกำหนดรอบปีการเกิดซ้ำของโครงสร้างอาคารชลศาสตร์ต่าง ๆ ดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 รอบปีการเกิดซ้ำที่แนะนำสำหรับการออกแบบงานประเภทต่าง ๆ (รพช)

ลำดับที่	งาน	รอบปี (ปี)
1	งานระบายน้ำ ท่อลอดที่มีน้ำน้อย และการขุดขยายลำน้ำเล็ก ๆ ในชนบท	3-5
2	ทางระบายน้ำล้น ฝายน้ำล้นขนาดเล็กในชนบท หากได้รับความเสียหายเนื่องจากน้ำหลากก็ไม่เกิดอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สิน	10-20
3	ท่อลอด และสะพานเล็ก ๆ บนทางสาธารณะระหว่างหมู่บ้าน	30-50
4	งานตามข้อ (1) หากเสียหายเนื่องจากน้ำนอง จะเป็นอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สิน	50-100
5	งานตามข้อ (2) หากเสียหายแล้ว จะเกิดอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สิน	50-100
6	ท่อลอดและสะพานเล็ก ๆ บนทางหลวง ถ้ามีน้ำมาก อาจก่อให้เกิดความเสียหายแก่ทรัพย์สิน	50-100

เมื่อทราบรอบปีการเกิดซ้ำ (T_P) จะสามารถหาโอกาสที่จะเกิด (Probability ; P) ได้จากส่วนกลับของรอบปีการาเกิดซ้ำ ดังสมการ

$$P = \frac{1}{T_P} \qquad \text{----------(2.7)}$$

สมการที่ 2.7 สามารถอธิบายโอกาสที่จะเกิด (Probability) ได้ดังเช่น ถ้าในรอบปีการเกิดซ้ำ 10 ปี มีอัตราการไหลของน้ำหลากสูงสุด 800 cms จะมีโอกาสที่เกิด $P = \frac{1}{10} = 0.1$ หรือ 10% หมายความว่าใน 100 ครั้งที่เกิดน้ำหลาก จะมีโอกาสน้ำหลากเกิดมีอัตราการไหล 800 cms ได้ 10 ครั้ง หรือในทุก ๆ 10 ปี จะมีโอกาสเกิดน้ำหลากที่มีอัตราการไหล 800 cms จำนวน 1 ครั้ง ซึ่งนั้นคือโอกาสที่จะเกิด แต่ในสภาพความเป็นจริงนั้นจะเกิดหรือไม่ ไม่มีใครบอกได้ แต่ตัวเลขที่คำนวณได้จะช่วยวิเคราะห์หรือประเมินเหตุการณ์ที่มีโอกาสจะเกิดขึ้นได้ในอนาคตและลดความเสี่ยงลง

เมื่อทราบว่า P เป็นโอกาสที่จะเกิด ดังนั้นโอกาสที่จะไม่เกิดเหตุการณ์ขนาดนี้จึงหาได้จาก 1- P ซึ่งจากหลักการพื้นฐานของโอกาสที่จะเกิด (Principle of probability) พบว่าโอกาสที่จะเกิดได้ในช่วงเวลา N ปี คือ

$$J = 1 - (1-P)^N \quad \text{----------(2.8)}$$

สมการที่ 2-8 สามารถพิสูจน์ได้ดังนี้

P = โอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ 1 ครั้ง

1-P = โอกาสที่จะไม่เกิดเหตุการณ์

(1-P) (1-P) = โอกาสที่จะไม่เกิดเหตุการณ์ในช่วง 2 ปี

$(1-P)^3$ = โอกาสที่จะไม่เกิดเหตุการณ์ในช่วง 3 ปี

$(1-P)^N$ = โอกาสที่จะไม่เกิดเหตุการณ์ในช่วง N ปี

ดังนั้น J = $1 - (1-P)^N$ คือ โอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ในช่วง N ปี

สมการที่ 2.8 สามารถหาค่า J หรือโอกาสที่จะไม่เกิดเหตุการณ์ในช่วง N ปี เท่ากับ 1 ปี ถึง 500 ปี ที่รอบการเกิดซ้ำ T_P ตั้งแต่ 1 ปี ถึง 200 ปี ได้ดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 โอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ในช่วง N ปี ที่รอบการเกิดซ้ำ T_P

ช่วงเวลา	1	5	10	25	50	100	200	500
TP ปี	โอกาสที่จะเกิด J							
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
2	0.5	0.97	0.999	*	*	*	*	*
5	0.2	0.67	0.89	0.996	*	*	*	*
10	0.1	0.41	0.65	0.93	0.995	*	*	*
50	0.02	0.10	0.18	0.40	0.64	0.87	0.98	*
100	0.01	0.05	0.10	0.22	0.40	0.63	0.87	0.993
200	0.005	0.02	0.05	0.12	0.22	0.39	0.63	0.92

หมายเหตุ * หมายถึง ค่า J ใกล้ 1 มาก ซึ่งในทางปฏิบัติอาจจะให้เท่ากับ 1 ได้

2.6 การซึมลงดิน (Infiltration)

ฝนหรือหิมะที่ละลายในตอนแรกมีแนวโน้มที่จะเติมความชื้นให้กับผิวดินก่อน จากนั้นก็จะเคลื่อนเข้าสู่ช่องว่าง ที่มีอยู่ในเนื้อดินกระบวนการนี้เรียกว่าการซึมน้ำผ่านผิวดิน(Infiltration) สัดส่วนต่าง ๆ ของน้ำก็จะถูกจัดการต่างกันไป ตามลักษณะช่องเปิดของผิวดิน อุณหภูมิ รวมถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ในดินก่อนหน้านั้นแล้ว ถ้าหากผิวดินจับตัวแข็ง หรืออิ่มน้ำอยู่ก่อนแล้ว มันก็จะรับน้ำใหม่เข้าไปเพิ่มได้เพียงเล็กน้อยน้ำทั้งหมดก็จะถูกดูดซึม บางส่วนจะไหลซึมลงไป เป็นส่วน

ของน้ำใต้ดิน บางส่วนถูกพืชดูดไปใช้ประโยชน์แล้วคายระเหย คืนสู่บรรยากาศ บางส่วนถูกบังคับให้ระเหย ไปด้วย แรงยึดเหนี่ยว (Capillary) ของช่องว่างในดิน ในภูมิประเทศที่มีความลาดเทและชั้นผิวดินบาง น้ำที่ถูกดูดซึม อาจไหลย้อนสู่ผิวดินได้ โดยการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า เรียกว่าน้ำไหลใต้ผิวดิน (Sub-surface runoff) กระบวนการซึมลงดินเริ่มต้นขึ้นเมื่อมีน้ำตกลงสู่ผิวดินน้ำจะซึมผ่านผิวดินและแพร่ลงไปในดินตามแรงดึงความชื้น จนกระทั่งดินอิ่มตัวด้วยน้ำ จากนั้นแรงดึงดูดของโลกจะทำให้น้ำไหลลึกซึมลงไปในดิน สามารถพิจารณาแยกปริมาณความชื้นในดินได้เป็น 4 ส่วน คือ 1. ส่วนที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (saturation zone) ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่ใกล้กับผิวดิน 2. ส่วนที่น้ำแพร่ผ่าน (transmission zone) เป็นส่วนที่น้ำไหลผ่านชั้นดิน ขณะที่ดินยังไม่อิ่มตัวโดยปริมาณความชื้นตลอดหน้าตัดใกล้เคียงกัน 3. ส่วนที่กำลังเปียก (wetting zone) เป็นส่วนที่ความชื้นกำลังเพิ่มขึ้น โดยในชั้นดินที่ลึกลงไปจะมีความชื้นน้อย 4.หน้าตัดที่กำลังเปียก (wetting front) เป็นหน้าตัดที่เริ่มเปียกน้ำและกำลังมีการเปลี่ยนความชื้นอย่างรวดเร็วซึ่งบริเวณนี้ ดินจะมีความชื้นแตกต่างกันมากจนสามารถแยกระหว่างดินเปียกกับดินแห้งได้อย่างชัดเจน

สิ่งที่มีอิทธิพลต่ออัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดิน คือการหาค่าอัตราการซึมลงดิน ณ เวลาต่างๆ การเปลี่ยนแปลงของอัตราการซึมนั้นเป็นผลจากทั้งอิทธิพลของแรงดึงดูดของโลก (gravity force) และ แรงดันหรือแรงดึงของน้ำ (pressure force) โดยสิ่งที่มีผลต่อการซึมลงดินสามารถสรุปได้ ดังนี้

1. อัตราการตกของน้ำฝน น้ำชลประทาน หรือความลึกของน้ำที่ขังบนผิวดิน
2. ความสามารถในการน้ำน้ำของดิน
3. ปริมาณความชื้นในดินขณะเริ่มต้น
4. ความลาดชันและความขรุขระของผิวดิน
5. คุณสมบัติทางเคมีของดิน
6. คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำ

2.7 การไหลของน้ำบนผิวดิน(Surface Runoff)

เมื่อน้ำฝนที่ตกลงมามีมากเกินกว่าจะไหลซึมลงในดินได้หมด ก็จะกลายเป็นน้ำบ่า หน้าดินหรือน้ำท่า เมื่อมันไหลไปเติมพื้นผิวที่เป็นแอ่งลุ่มต่ำจนเต็มแล้ว มันก็จะไหลไปบนผิวดินต่อไปจนไปบรรจบกับระบบร่องน้ำในที่สุด แล้วก็ไหลตามเส้นทางของลำน้ำ จนกระทั่งลงสู่มหาสมุทรหรือแหล่งน้ำ

2.7.1 **การวัดน้ำในลำน้ำ** (Stream flow Measurement)

ข้อมูลสถิติเกี่ยวกับการไหลของน้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณน้ำในลำน้ำเป็นสิ่งสำคัญมากสำหรับนักอุทกวิทยา วิศวกร และนักอนุรักษ์วิทยา ในการนำไปวิเคราะห์เพื่อให้ทราบถึงโอกาสความน่าจะเป็น (Probability) และความรุนแรง (Seriousness) ในการเกิดน้ำท่วมเฉพาะแห่ง และเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณาถึงเพื่อการวางแผนและการก่อสร้างเขื่อน อ่างเก็บน้ำ คลองระบายน้ำ ท่อระบายน้ำลอดถนน (Culvert) และสะพาน ยิ่งไปกว่านั้นข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณน้ำยังมีอิทธิพลมากต่อการวางแผนการใช้ประโยชน์จากน้ำเพื่อการเกษตรและกิจการอื่น ๆ รวมทั้งเป็นข้อมูลในการวางแผนพัฒนาลุ่มน้ำและแหล่งน้ำอีกด้วย ข้อมูลสถิติเกี่ยวกับการไหลของน้ำจะทำการวัดกันในลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาณน้ำสูงสุด ปริมาณน้ำเฉลี่ย และปริมาณน้ำต่ำสุดของแต่ละปี ปริมาณน้ำเฉลี่ยประจำวันตลอดปี ปริมาณน้ำรายชั่วโมง เฉพาะช่วงที่เกิดสภาพน้ำนอง การขึ้นลงของระดับน้ำประจำวันตลอดปี เพื่อให้ได้ข้อมูลสถิติดังกล่าวอย่างครบถ้วน การวัดน้ำในลำน้ำจึงต้องประกอบด้วย

1) การวัดระดับน้ำในลำน้ำ (Water Level/Water Stage)

2) การวัดอัตราการไหลของน้ำ (Rate of Discharge)

2.7.2 **ระดับน้ำในลำน้ำ** (Water Level)

หมายถึงระดับผิวน้ำในลำน้ำที่สูงจากท้องน้ำ ซึ่งสามารถวัดได้โดยใช้เครื่องมือต่าง ๆ ได้แก่

- Staff Gages มีลักษณะคล้าย ๆ ไม้บรรทัดหรือหลักที่แบ่งสเกลเรียบร้อยแล้ว ติดไว้กับตอม่อของสะพานหรือสิ่งก่อสร้างอื่น ๆ ถ้าเป็นหลักก็อาจปักไว้ในลำน้ำในระดับที่พอจะวัดระดับต่ำสุดได้เรียกว่า Simple Vertical Staff Gage หากไม่มีสิ่งก่อสร้างใด ๆ ที่สามารถติดตั้งเครื่องวัดได้ทุกระดับในทุกฤดูกาล หรือติดตั้งแล้วสามารถวัดได้ทุกฤดูกาลแต่ไม่สะดวก ให้ติดเครื่องวัดหลายอันเป็นช่วง ๆ เพื่อวัดระดับน้ำทุกระดับทั้งหน้าแล้งที่มีน้ำน้อยและช่วงที่มีน้ำหลากในหน้าฝน เรียกว่า Sectional Staff Gage ถ้าลำน้ำมีความลาดชันของตลิ่งค่อนข้างสม่ำเสมอเช่น คลองชลประทานที่ดาดคอนกรีต อาจวัดระดับน้ำโดยการติดเครื่องวัดให้วางทอดไปตามความลาดของตลิ่ง และมีสเกลสำหรับอ่านได้ในแนวระดับเรียกว่า Inclined Staff Gage

- Recording Gages หรือ Float Type Water Stage Recorder เป็นเครื่องมือที่ง่ายแก่การใช้และสามารถบันทึกระดับน้ำแบบต่อเนื่องในลักษณะของ Hydrograph อาจบันทึกระดับน้ำได้ถึง 1 เดือนติดต่อกัน แต่ราคาแพง เครื่องมือจะบันทึกระดับน้ำโดยอาศัยทุ่นลอยซึ่งอาจจะลอยขึ้นลงตามระดับน้ำ การลอยขึ้นลงของทุ่นลอยนี้จะมีผลให้ปากกาบันทึกระดับน้ำขึ้นและลงตามทุ่น

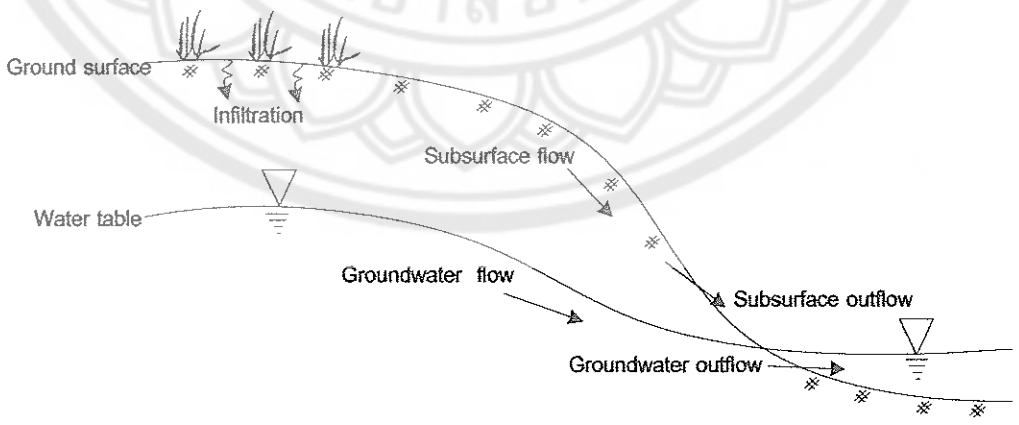
ลอยด้วย โดยปากกาจะบันทึกระดับน้ำบนกระดาษกราฟที่หุ้มติดอยู่กับกระบอกโลหะซึ่งหมุนได้รอบตัวอย่างสม่ำเสมอตลอดเวลา โดยปกติเครื่องมือชนิดนี้จะติดตั้งในบ่อน้ำนิ่ง (Stilling Well) ซึ่งอยู่ริมฝั่งน้ำจากบ่อน้ำนิ่งจะมีท่อต่อออกไปยังลำน้ำเพื่อให้น้ำไหลเข้าและไหลออกได้ บ่อน้ำนิ่งนี้ใช้เพื่อป้องกันการกระเพื่อมขึ้นลงของผิวน้ำและป้องกันวัตถุสิ่งของไม่ให้ลอยมากระทบทุ่นลอยอันจะส่งผลให้การบันทึกผิดพลาดได้

2.8 น้ำใต้ดิน (Ground Water)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อน้ำใต้ดิน น้ำใต้ดินมาจากน้ำในบรรยากาศ ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราการไหลซึมลงดิน โดยจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้ ช่วงเวลาที่มีฝนตก (Time) หมายถึง ถ้าช่วงเวลาที่มีฝนตกสั้น น้ำจะไหลผ่านผิวดินไปอย่างรวดเร็ว ปริมาณการไหลซึมลงดินของน้ำจะต่ำ และซึมลงได้น้อย แต่ถ้ามีฝนตกเป็นเวลานาน และเบา ๆ อัตราการไหลซึมจะมีมากกว่า ความลาดชันของพื้นที่ (Slope) ถ้าพื้นที่มีความลาดชันมากน้ำจะไหลไปบนดินมากกว่าที่จะซึมลงดิน ปริมาณของต้นไม้ ต้นไม้จะช่วยชะลอการไหลของน้ำผิวดินให้ช้าลง ซึ่งจะช่วยให้ปริมาณน้ำไหลซึมลงดินได้มากขึ้น

2.8.1 กระบวนการไหลของน้ำใต้ดิน

น้ำใต้ดินเป็นน้ำที่ไหลและเก็บกักอยู่ใต้ผิวดิน (Ground Surface) กระบวนการไหลของน้ำใต้ดิน (Subsurface Flow Processes) และโซนการไหลของน้ำใต้ดิน (Zone of Subsurface Flow) แสดงในรูปที่ 2-21



รูปที่ 2-21 โซนการไหลของน้ำใต้ดินและกระบวนการ

1) การไหลซึม (Infiltration) เป็นลักษณะของการไหลซึมของน้ำจากผิวดินชั้นบนลงสู่ดินชั้นล่างกลายเป็นความชื้นในดิน (Soil Moisture)

2) การไหลของน้ำใต้ดินชั้นบน (Subsurface Flow) เป็นลักษณะของการไหลแบบไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated Flow) ทั้งนี้เนื่องจากช่องว่างในดินบางส่วนจะมีอากาศแทรกอยู่ และช่องว่างอีกบางส่วนจะมีน้ำเก็บกักอยู่

3) การไหลของน้ำใต้ดิน (Groundwater Flow) เป็นลักษณะของการไหลแบบอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated Flow) ผ่านชั้นดินและชั้นหินที่อยู่ด้านล่าง

ชั้นดินและชั้นหินที่ยอมให้น้ำไหลผ่านได้จะเรียกว่า ตัวกลาง (Porous Media) โดยมีระดับน้ำใต้ดิน (Water Table) เป็นเส้นแบ่งระหว่างตัวกลางที่อิ่มตัวด้วยน้ำและไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ พิจารณารูปหน้าตัดของตัวกลางที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated Porous Medium) ซึ่งประกอบด้วยอนุภาคดินของแข็ง (Solid Particles) และช่องว่าง (Voids) ที่มีทั้งน้ำและอากาศแทรกซึมอยู่บางส่วนดังภาพที่ 2-22

รูปที่ 2-22 รูปหน้าตัดของตัวกลางที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ(Todd, 1976)

ประสิทธิภาพในการอุ้มน้ำของมวลดินหรือหินว่าจะเป็นชั้นหินอุ้มน้ำที่ดีหรือไม่ สามารถนำน้ำมาใช้ประโยชน์ได้มากน้อยแค่ไหน จะขึ้นอยู่กับสภาพทางธรณีวิทยาพื้นฐานของชั้นดินหรือชั้นหินนั้น ๆ

2.8.2 การกระจายของน้ำใต้ดิน

ในทางธรณีวิทยาสามารถแบ่งน้ำใต้ดินออกเป็นหลายลักษณะด้วยกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตำแหน่งและความลึกที่น้ำนั้นถูกกักเก็บอยู่ โดยทั่ว ๆ ไปแล้วดินและหินจะประกอบด้วยช่องว่างที่น้ำสามารถแทรกเข้าไปอยู่หรือถูกกักเก็บไว้ตลอดจนมีการเคลื่อนไหวไปมาได้ซึ่งสามารถแบ่งชั้นดินและหินที่อยู่ใต้ผิวดินลงไปเป็น 2 ชั้นคือ ชั้นสัมผัสอากาศ (Zone of Aeration) และชั้นที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Zone of Saturation)

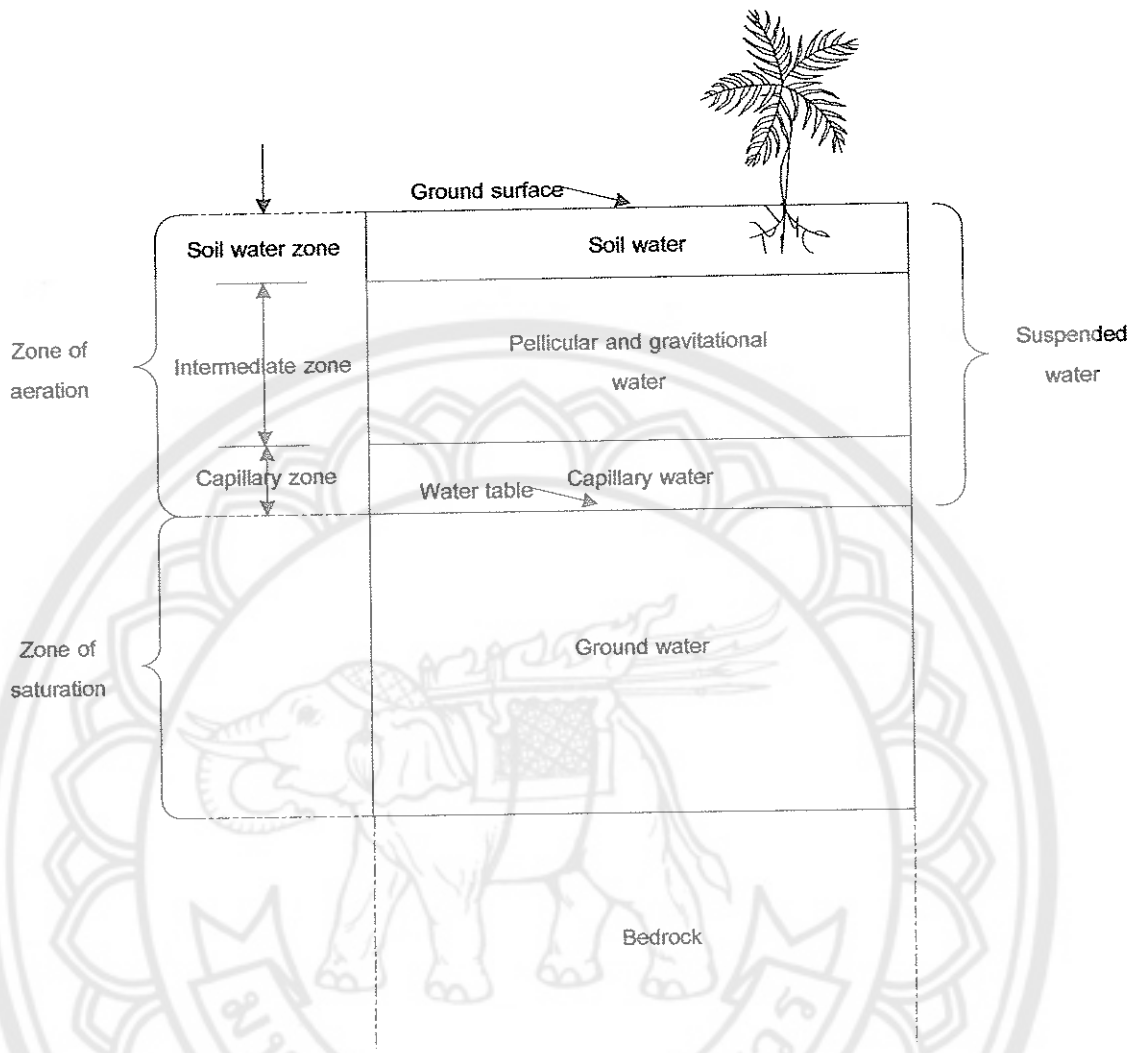
1) ชั้นสัมผัสอากาศ (Zone of Aeration) เริ่มตั้งแต่ผิวดินลึกลงไปจนถึงระดับน้ำใต้ดิน ความหนาของชั้นนี้อาจมีค่าตั้งแต่ศูนย์เมตร (กรณีพื้นที่ราบลุ่มซึ่งมีน้ำขังอยู่เป็นประจำ) จนถึงสิบหรือร้อยเมตร (ในบริเวณพื้นที่แห้งแล้ง) ในบริเวณของส่วนสัมผัสอากาศ ช่องว่างบางส่วนจะมีอากาศแทรกอยู่ และบางส่วนจะมีน้ำกักเก็บอยู่ เรียกน้ำใต้ดินส่วนนี้ว่า Vadose or Suspended Water อัตราส่วนของปริมาณน้ำและอากาศขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการได้แก่ สภาพทางภูมิศาสตร์ สภาพทางธรณีวิทยาของพื้นผิวโลก ฤดูกาล และความสูงจากระดับน้ำใต้ดิน ชั้นสัมผัสอากาศแบ่งย่อยได้เป็น 3 ชั้นคือ

1.1) Soil Water Zone : อยู่ตอนบนสุดของชั้นอากาศมีความหนามากน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของดินและพืช ซึ่งขึ้นอยู่ในบริเวณดังกล่าว น้ำในชั้นดินนี้จะเคลือบอยู่รอบผิวของเม็ดดิน การยึดเหนี่ยวของน้ำและเม็ดดินเกิดจากแรงตึงผิว (Surface tension) การเคลื่อนที่ของน้ำเป็นไปโดย Capillary action

1.2) Intermediate Zone : อยู่ต่ำกว่าชั้นของ Soil Water ความหนาจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพ ต่าง ๆ เช่นเดียวกับ Soil Water Zone ระดับน้ำใต้ดินในชั้นนี้เรียกว่า Gravitational Water ซึ่งจะมีปริมาณมากกว่า Soil Water และเป็นน้ำที่เหลืออยู่หลังจากการซึมจากผิวดินลงไปสู่ชั้นที่อิ่มตัวด้วยน้ำแล้ว การเคลื่อนที่ของน้ำเป็นไปด้วยแรงดึงดูดของโลก

1.3) Capillary Zone : อยู่ระหว่าง Intermediate Zone กับชั้นที่อิ่มตัวด้วยน้ำ มีความหนาเท่ากับความสูงของ Capillary Rise ของน้ำใต้ดิน Capillary Rise มีค่าตั้งแต่เศษส่วนของนิ้วในกรวด (Gravel) ประมาณ 1 ฟุตในทราย (Sand) และหลายฟุตในดินเหนียว (Clay)

2) ชั้นอิ่มตัวด้วยน้ำ (Zone of Saturation) มีความหนามากน้อยแตกต่างกันไปโดยวัดจากระดับน้ำใต้ดิน (Water Table) จนถึงชั้นของหินแข็ง (Bed Rock) ที่รองรับอยู่ ในชั้นนี้มวลดินหรือหินจะเต็มไปด้วยน้ำแต่เพียงอย่างเดียว ไม่มีส่วนที่เป็นอากาศเลย น้ำในส่วนนี้จึงเรียกว่า น้ำใต้ดินหรือน้ำบาดาล (Groundwater) นั่นเอง



รูปที่ 2-23 การแบ่งชั้นน้ำใต้ดิน (Todd, 1976)

2.8.3 **ชลศาสตร์การไหลของน้ำใต้ดิน** (Groundwater Hydraulics)

การเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินจะค่อนข้างช้า ซึ่งส่วนใหญ่แล้วลักษณะการไหลของน้ำใต้ดินจะเป็นแบบราบเรียบ (Laminar Flow) ยกเว้นในบริเวณที่มีรอยแยกหรือรอยแตกของชั้นดินและชั้นหิน ความเร็วในการเคลื่อนที่ของน้ำจะสูงทำให้การไหลมีลักษณะปั่นป่วน (Turbulent Flow)

Hagen (1839) และ Poiseuille (1846) แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านหน้าตัดดินเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความลาดชันของเส้นพลังงาน (Slope of Energy Line, i) หลังจากนั้น Darcy (1856) ได้ประยุกต์หลักการดังกล่าวเพื่อทดสอบอัตราการไหลของน้ำผ่านดินทราย และตั้งเป็นกฎของดาร์ซี (Darcy's Law) ดังแสดงในสมการ

$$q = ki \qquad \text{----------(2.9)}$$

เมื่อ q = อัตราการไหลของน้ำผ่านหน้าตัดดิน (Specific Discharge)

k = สัมประสิทธิ์ความซาบซึมน้ำ (Coefficient of Permeability)

i = ความลาดชันของเส้นพลังงาน (Slope of Energy Line)

โดยที่ Specific Discharge คำนวณจาก

$$q = Q/A \qquad \text{----------(2.10)}$$

เมื่อ Q = อัตราการไหลของน้ำผ่านชั้น Aquifer (Discharge)

A = พื้นที่หน้าตัดดิน (Cross Section Area)

อย่างไรก็ตามเนื่องจากความเร็วของการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินช้ามาก ดังนั้นจึงไม่ได้นำ Velocity Head มาพิจารณาในการคำนวณเส้นพลังงาน ดังนั้น i ในที่นี้จึงมีค่าเท่ากับความลาดชันของระดับน้ำใต้ดิน (Slope of Water Table) หรือเท่ากับความลาดชันของ Piezometric Surface

เนื่องจากค่าความหนืด (Viscosity) ของน้ำมีอิทธิพลอย่างมากต่อลักษณะการไหล ในขณะเดียวกันค่าความหนืดเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิ (Temperature) ซึ่งจากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการกำหนดให้อุณหภูมิ 60°F (15°C) เป็นอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำใต้ดิน และค่าความนำน้ำ (Hydraulic Conductivity) ที่อุณหภูมิใด ๆ คำนวณจาก

$$K_T = K_{60}\frac{\upsilon_{60}}{\upsilon_T} \qquad \text{----------(2.11)}$$

เมื่อ K_T = ค่าความนำน้ำที่อุณหภูมิใด ๆ

K_{60} = ค่าความนำน้ำที่อุณหภูมิ 60°F

υ_T = ค่าความหนืดจลศาสตร์ที่อุณหภูมิใด ๆ

υ_{60} = ค่าความหนืดจลศาสตร์ที่อุณหภูมิ 60°F

Transmissivity (T) เป็นค่าอัตราการไหลของน้ำ (cms) ผ่านหน้าตัดในแนวดิ่งของชั้น Aquifer กว้าง 1 m คำนวณได้จาก

$$Q = KiA = TiW \qquad \text{----------(2.12)}$$

เมื่อ W = ความกว้างของชั้น Aquifer

T = Transmissivity

$$T = K(A/W) = KB \qquad \text{----------(2.13)}$$

เมื่อ B = ความลึกของชั้น Aquifer

ค่าสัมประสิทธิ์ K และ T ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกลางและของไหล ซึ่งโดยทั่วไปแล้วค่า Intrinsic Permeability, k ของตัวกลางสามารถหาได้จาก

$$k = Cd^2 \qquad \text{----------(2.14)}$$

เมื่อ C = ค่าสัมประสิทธิ์ที่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวกลางเช่น ความพรุน และขนาดอนุภาคและการกระจายตัว

d = เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของอนุภาคดิน

มิติของค่า k คือ L^2 ซึ่งเป็นหน่วยพื้นที่ที่มีค่าน้อยมาก ดังนั้น Darcy จึงมีการกำหนดหน่วยมาตรฐานของค่า Intrinsic Permeability ใหม่คือ 1 darcy = 0.987×10^{-8} cm^2 = 1.062×10^{-11} ft^2 โดยความสัมพันธ์ระหว่าง Hydraulic Conductivity (K) กับ Intrinsic Permeability (k) แสดงในสมการ

$$K = \frac{kg}{\upsilon} \qquad \text{----------(2.15)}$$

2.9 การจัดรูปที่ดิน (Land Consolidation)

การดำเนินงานพัฒนาที่ดินที่ใช้เพื่อเกษตรกรรมให้สมบูรณ์ทั่วถึงที่ดินทุกแปลงเพื่อเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุนการผลิต โดยทำการรวบรวมที่ดินหลายแปลงในบริเวณเดียวกันเพื่อวางผังจัดรูปที่ดินเสียใหม่ การจัดระบบชลประทาน และการระบายน้ำ การจัดสร้างถนน หรือทางลำเลียงในไร่นา การปรับระดับพื้นที่ดิน การบำรุงดิน การวางแผน การผลิตและการจำหน่ายผลิตผลการเกษตร รวมตลอดถึงการแลกเปลี่ยน การโอน การรับโอนสิทธิในที่ดิน การให้เช่าซื้อที่ดิน และการอื่นๆ ที่เกี่ยวกับการจัดรูปที่ดิน ตลอดจนการจัดเขตที่ดินสำหรับอยู่อาศัย การจัดรูปที่ดินจึงมักถูกใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาพื้นที่เพาะปลูกที่ต่อเนื่องจากการพัฒนาระบบชลประทานหลักที่ได้จัดสร้างคลองส่งน้ำสายใหญ่และสายย่อยไว้แล้ว เพื่อให้ลำเลียงน้ำส่งไปยังแปลงเกษตรกรรมอย่างทั่วถึง โดยหลักการของการจัดรูปที่ดินไม่ได้เปลี่ยนแปลงการถือครองที่ดินที่เจ้าของที่ดินมีกรรมสิทธิ์ในที่ดินเดิมแต่อย่างใด เพียงแต่เจ้าของที่ดินต้องสละที่ดินบางส่วน (โดยทั่วไป จำนวนไม่เกินร้อยละเจ็ดของจำนวนที่ดินที่มีอยู่เดิม) เพื่อใช้สำหรับการก่อสร้างสิ่งสาธารณประโยชน์ที่ใช้ร่วมกัน คือ คูส่งน้ำ คูระบายน้ำ ถนนหรือทางลำเลียง ซึ่งจะช่วยเร่งรัดการเพิ่มผลผลิตและรายได้ให้แก่เกษตรกรในเขตที่ธรรมชาติ เอื้ออำนวยให้สามารถใช้พื้นที่เพิ่มผลผลิตได้เต็มที่ ให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูงในระยะเวลาอันสั้นการดำเนินงานจัดรูปที่ดินจึงต้องเลือกพื้นที่ให้เหมาะสมในหลายๆ ด้าน ทั้งด้านทางวิศวกรรมเศรษฐกิจ และสังคม หลักเกณฑ์การพิจารณาคัดเลือกพื้นที่ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบด้วยกัน

1. ความเหมาะสมด้านกายภาพ
   - สภาพภูมิประเทศ
   - สภาพของระบบชลประทานหลัก
   - สภาพดิน
2. ความเหมาะสมด้านเศรษฐกิจ
   - ค่าลงทุนปรับปรุงระบบชลประทานหลักเดิม
   - ค่าลงทุนงานพัฒนาแปลงเพาะปลูก
   - สภาพการเพาะปลูกปัจจุบันและศักยภาพในการพัฒนาปรับปรุง
   - ขนาดการถือครองที่ดิน รูปร่างแปลงกรรมสิทธิ์และการกระจายพื้นที่ถือครองของเจ้าของที่ดินเดียวกัน
   - สภาพแรงงานในท้องถิ่นปัจจุบันและอนาคต
   - การกระจายความช่วยเหลือของรัฐ
   - การกระจายรายได้แก่เกษตรกรในท้องถิ่น

3. ความเหมาะสมด้านสังคม

- ความหนาแน่นของประชากร
- การเป็นเจ้าของกรรมสิทธิ์ในที่ดินของเกษตรกรและขนาดการถือครอง
- ทัศนคติของเกษตรกรเจ้าของที่ดินที่มีต่อการจัดรูปที่ดิน
- ความต้องการของเกษตรกรเจ้าของที่ดินเอง

รูปแบบของการจัดรูปที่ดินนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบ คือ

1) การจัดรูปที่ดินประเภทพัฒนาสมบูรณ์แบบ (Intensive Type) เป็นการพัฒนาจากรูปแปลงที่มีรูปร่างบิดเบี้ยว มีขนาดต่อแปลงเล็ก ไม่เป็นระเบียบ ไม่สามารถใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้อย่างเต็มที่ โดยทำการจัดรูปแปลงใหม่ โดยให้รูปแปลงเป็นรูปสี่เหลี่ยมพื้นผ้า มีคูส่งน้ำ คูระบายน้ำ ถนนหรือทางลำเลียงที่มีลักษณะเป็นแนวตรงผ่านทุกแปลง มีการปรับระดับพื้นดินภายในแปลงให้มีความราบเรียบ หรือลาดชันที่เหมาะสมกับต่อการทำเกษตรกรรม แสดงดังรูปที่ 2-24

รูปที่ 2-24 การจัดรูปที่ดินประเภทพัฒนาสมบูรณ์แบบ (กรมชลประทาน, 2552)

2) การจัดรูปที่ดินประเภทพัฒนาบางส่วน (Extensive Type)เป็นการพัฒนาเพื่อให้มีคูส่งน้ำ คูระบาย ถนนหรือทางลำเลียงวางไปตามแนวของขอบเขตแปลงเดิม มีการปรับระดับพื้นดินภายในแปลงบ้างตามความจำเป็น หรืออาจจะไม่ต้องปรับระดับพื้นดินภายในแปลงเลย ทั้งนี้ จะไม่

มีการจัดรูปแปลงใหม่ อาจเป็นเพราะรูปแปลงนาเดิมมีขนาดค่อนข้างเหมาะสมและเป็นระเบียบ หรือเป็นที่ราบลุ่ม มีความอุดมสมบูรณ์ดีอยู่แล้ว หรืออาจเป็นพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำในพื้นที่มาก ดังแสดงดังรูปที่ 2-25

รูปที่ 2-25 การจัดรูปที่ดินประเภทพัฒนาบางส่วน (กรมชลประทาน, 2552)

2.10 การประเมินโครงการลงทุน (Project Evaluation)

ในการจัดทำงบประมาณเงินทุน มีวิธีการในการจัดลำดับโครงการลงทุนและการตัดสินใจที่สำคัญ 6 วิธีคือ

2.10.1 วิธีระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

ระยะเวลาคืนทุน หมายถึง จำนวนปีที่กิจการจะได้รับเงินที่จ่ายลงทุนในโครงการลงทุนกลับมา การคำนวณระยะเวลาคืนทุน

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \text{จำนวนปีก่อนคืนทุน} + \frac{\text{เงินลงทุนส่วนที่เหลือ}}{\text{กระแสเงินรับของปีที่คืนทุน}}$$

2.10.2 **วิธีระยะเวลาคืนทุนคิดลด** (Discounted Payback Period)

วิธีระยะเวลาคืนทุนคิดลดมีหลักการเหมือนกับวิธีระยะเวลาคืนทุน ยกเว้นกระแสเงินสดของโครงการเป็นกระแสเงินสดที่ถูกลดค่าให้มาอยู่ ณ เวลาปัจจุบัน ด้วยอัตราต้นทุนของเงินทุนของโครงการ ดังนั้น ระยะเวลาคืนทุนคิดลดก็คือ จำนวนปีที่กิจการจะได้รับกระแสเงินสดที่ถูกคิดลดแล้วคืนมาเท่ากับเงินที่จ่ายลงทุนไป

ข้อดี-ข้อเสียของวิธีระยะเวลาคืนทุน และ วิธีระยะเวลาคืนทุนคิดลด

ระยะเวลาคืนทุน เป็นประเภทหนึ่งของการคำนวณ จุดคุ้มทุน ในแง่ที่ว่า ถ้ากระแสเงินสดเข้ามาตามที่คาดคะเนไว้จนถึงปีที่มีการคืนทุนแล้วโครงการก็จะคุ้มทุน อย่างไรก็ดี วิธีระยะเวลาคืนทุนมีข้อบกพร่องในเรื่องที่ไม่ได้นำต้นทุนของเงินทุนมาพิจารณา ในขณะที่วิธีระยะเวลาคืนทุนคิดลดคำนึงถึงต้นทุนของเงินทุนด้วย และให้ผลเป็นจำนวนปีที่โครงการจะคุ้มทุน หลังจากจ่ายผลตอบแทนให้แก่เจ้าของเงินทุนซึ่งได้แก่เจ้าหนี้ และ ผู้ถือหุ้นแล้ว

แต่ข้อเสียที่สำคัญของทั้งวิธีระยะเวลาคืนทุนและวิธีระยะเวลาคืนทุนคิดลด คือ ทั้ง 2 วิธีไม่สนใจกระแสเงินสดที่จะจ่ายออกไปหรือได้รับเข้ามาหลังจากคืนทุนแล้ว

ถึงแม้วิธีระยะเวลาคืนทุนจะมีข้อบกพร่องในเรื่องการจัดลำดับโครงการ แต่ก็เป็นวิธีที่ให้ข้อมูลว่าเงินลงทุนจะผูกพันอยู่กับโครงการนานเท่าไร ดังนั้น ระยะเวลาคืนทุนยิ่งเร็วเท่าไร สภาพคล่องของโครงการก็ยิ่งสูงเท่านั้น และด้วยเหตุผลที่ว่ากระแสเงินสดที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคตยิ่งห่างไกลจากปัจจุบันมากเท่าไร ก็ยิ่งมีความเสี่ยงมากขึ้นเท่านั้น วิธีระยะเวลาคืนทุนจึงยังเป็นที่นิยมใช้เป็นตัวชี้วัดถึงความเสี่ยงของโครงการได้อย่างหนึ่ง

2.10.3 **วิธีค่าปัจจุบันสุทธิ** (Net Present Value)

เนื่องจากวิธีระยะเวลาคืนทุนยังมีข้อบกพร่องดังได้กล่าวมาแล้ว จึงมีความพยายามคิดหาวิธีการประเมินโครงการลงทุนวิธีอื่น ๆ ที่มีประสิทธิผลมากขึ้น หนึ่งในวิธีเหล่านั้นคือ วิธีค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value) หรือ วิธี NPV ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งในกลุ่มของเทคนิคกระแสเงินสดคิดลด (discounted cash flow techniques) หรือกลุ่มเทคนิค DCF วิธีค่าปัจจุบันสุทธิมีขั้นตอนดังนี้

- คำนวณค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดแต่ละจำนวน ทั้งกระแสเงินสดรับและกระแสเงินสดจ่าย โดยคิดลดด้วยอัตราต้นทุนของเงินทุนของโครงการ
- หาผลรวมของกระแสเงินสดที่ถูกลดค่าแล้ว ผลรวมนี้เรียกว่า NPV ของโครงการ
- ถ้าค่า NPV เป็น บวก ควร ตอบรับ โครงการ แต่ถ้าค่า NPV เป็น ลบ ควรปฏิเสธโครงการ ในกรณีที่โครงการ 2 โครงการซึ่งมีค่า NPV เป็นบวกทั้งคู่ แต่ต้องเลือกเพียงโครงการเดียว (mutually exclusive) ให้เลือกโครงการที่มีค่า NPV สูงกว่า ดังสมการต่อไปนี้

$$NPV = CF_0 + \frac{CF_1}{(1+r)1} + \frac{CF_2}{(1+r)^2} + \ldots + \frac{CF_n}{(1+r)^n}$$

$$= \sum_{t=1}^{n} \frac{CF_t}{(1+r)^t} \qquad \text{----------(2.16)}$$

โดยที่ CF_t = กระแสเงินสดสุทธิ ณ เวลา t

r = ต้นทุนของเงินทุนของโครงการ

n = อายุของโครงการ

วิธี NPV มีเหตุผลที่ตรงไปตรงมา ค่า NPV เป็น 0 แสดงว่า กระแสเงินสดของโครงการพอดีกับเงินจ่ายลงทุน และโครงการให้ผลตอบแทนเท่าที่ต้องการจากเงินลงทุน คือเท่ากับต้นทุนของเงินทุน ถ้าโครงการมีค่า NPV เป็นบวก แสดงว่า โครงการนั้นให้กระแสเงินสดเกินกว่าที่ธุรกิจต้องการเพื่อนำมาจ่ายคืนเงินกู้และจ่ายผลตอบแทนที่ผู้ถือหุ้นต้องการ และกระแสเงินสดส่วนที่เกินนี้จะคงอยู่เป็นของผู้ถือหุ้นของกิจการ ดังนั้น ถ้าธุรกิจลงทุนในโครงการที่ให้ NPV เป็นบวก ก็จะเพิ่มความมั่งคั่งให้แก่ผู้ถือหุ้น นอกจากนี้ NPV ยังมีความสัมพันธ์โดยตรงกับ EVA กล่าวคือ NPV มีค่าเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของ EVA ในอนาคตของโครงการ ดังนั้น การตอบรับโครงการที่ให้ NPV เป็นบวก จึงมีผลให้ธุรกิจมี EVA และ MVA (มูลค่าเพิ่มทางตลาด) เป็นบวกด้วย ดังนั้น หากธุรกิจมีระบบการให้ผลตอบแทนแก่ผู้บริหารโดยผูกโยงกับ EVA ก็จะเป็นมูลเหตุจูงใจให้มีการใช้วิธี NPV ในการตัดสินใจเรื่องงบประมาณเงินทุน

2.10.4 **วิธีอัตราผลตอบแทนของโครงการ** (Internal Rate of Return – IRR)

อัตราผลตอบแทนของโครงการ หรือ IRR หมายถึง อัตราลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับของโครงการมีค่าเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของเงินสดจ่ายลงทุนพอดี

PV (กระแสเงินสดจ่าย) = PV (เงินจ่ายลงทุน)หรืออีกนัยหนึ่ง IRR คือ อัตราลดที่ให้ NPV = 0

$$CF_0 + \frac{CF_1}{(1+IRR)^1} + \frac{CF_2}{(1+IRR)^2} + \ldots + \frac{CF_n}{(1+IRR)^n} = 0$$

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{CF_t}{(1+r)^t} = 0 \qquad \text{----------(2.17)}$$

จากสมการข้างต้นมีค่าที่ไม่ทราบหนึ่งค่าคือ IRR ซึ่งเป็นค่าที่ต้องการหาคำตอบการคำนวณ IRR จากสมการข้างต้น หรือโดยใช้ตารางปัจจัยดอกเบี้ยช่วย ไม่ใช่เรื่องง่ายเหมือนอย่างการคำนวณ NPV เพราะต้องแก้สมการโดยวิธีลองผิดลองถูก (trial and error) นั่นคือ ทดลองค่าอัตราลดค่าใดค่าหนึ่ง และหาว่าด้วยอัตราลดนี้จะทำให้ด้านซ้ายของสมการมีค่าเท่ากับ 0 หรือไม่ ถ้ายังไม่เท่ากับ 0 จะต้องทดลองอัตราลดค่าอื่นจนกว่าจะพบอัตราลดที่ให้ด้านซ้ายของสมการมีค่าเท่ากับ 0 อัตราลดซึ่งให้ค่าด้านซ้ายของสมการ (หรือ NPV) เท่ากับ 0 เรียกว่า IRR สำหรับโครงการลงทุนที่มีอายุโครงการนานหลายปี การหา IRR ด้วยวิธีลองผิดลองถูกเป็นงานที่สิ้นเปลืองเวลาและแรงงาน วิธีที่จะหาค่า IRR ที่ง่าย คือใช้ Spreadsheet

มีข้อสังเกตว่าสูตรของ IRR ในสมการ 2.17 ก็คือสูตรของ NPV ในสมการ 2.16 ที่นำมาแก้สมการเพื่อหาอัตราลดที่ให้ NPV เท่ากับ 0 นั่นเอง ดังนั้น ทั้ง NPV และ IRR มีสมการที่มาจากแนวคิดพื้นฐานเดียวกัน แต่ในวิธี NPV กำหนดอัตราลด r มาให้ แล้วคำนวณหาค่า NPV ใน ขณะที่วิธี IRR กำหนดค่า NPV มาให้ว่าเท่ากับ 0 แล้วคำนวณหาอัตราลดที่ทำให้สมการสองข้างเท่ากัน

ในทางคณิตศาสตร์แล้ว ทั้งวิธี NPV และ IRR จะให้ผลการตัดสินใจตอบรับหรือปฏิเสธโครงการที่เป็นอิสระไม่แตกต่างกัน นั่นคือ ถ้า NPV มีค่าเป็นบวก IRR ก็จะมีค่าสูงกว่า r

2.10.5 **วิธีปรับอัตราผลตอบแทนของโครงการ** (Modified Internal Rate of Return – MIRR)

แม้ว่าวิธี NPV จะดีกว่า IRR แต่จากการสำรวจชี้ว่ามีผู้บริหารจำนวนไม่น้อยที่นิยมวิธี IRR มากกว่า NPV เหตุผลก็คือ ผู้บริหารส่วนหนึ่งคุ้นเคยกับการประเมินผลตอบแทนจากโครงการลงทุนออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์มากกว่าเป็นจำนวนเงิน ด้วยข้อเท็จจริงดังกล่าวนี้ จึงได้มีการพัฒนาวิธีประเมินโครงการที่ให้คำตอบเป็นเปอร์เซ็นต์เหมือนกันกับ IRR แต่ดีกว่าวิธี IRR โดยวิธีใหม่นี้เป็นการปรับปรุงข้อด้อยต่าง ๆ ของวิธี IRR เรียกวิธีนี้ว่า วิธีปรับอัตราผลตอบแทนจากโครงการ หรือ Modified IRR (MIRR) ดังสมการต่อไปนี้

$$\sum_{t=0}^{n} \frac{COF}{(1+r)^t} = \frac{\sum_{t=0}^{n} CIF(1+r)^{n-t}}{(1+MIRR)^n}$$

$$PV \text{ of costs} = \frac{\text{Terminal Value}}{(1+MIRR)^n} \quad \text{----------(2.18)}$$

$$= PV \text{ of Terminal Value}$$

โดยที่ COF = กระแสเงินสดจ่าย (cash outflows) ซึ่งมีค่าเป็นลบ หรือหมายถึงเงินจ่ายลงทุนของโครงการ

CIF = กระแสเงินสดรับ (cash inflows) ซึ่งมีค่าเป็นบวก

r = ต้นทุนของเงินทุน

ค่าซ้ายมือของสมการ 2.18 คือ มูลค่าปัจจุบันของเงินจ่ายลงทุนเมื่อเริ่มโครงการซึ่งถูกลดค่าด้วยอัตราต้นทุนของเงินทุน

ตัวเศษทางขวามือของสมการ 2.18 คือ มูลค่าในอนาคต (มูลค่าทบต้น) ของกระแสเงินสดรับ โดยสมมุติว่ากระแสเงินสดรับถูกนำไปลงทุนต่อด้วยอัตราต้นทุนของเงินทุน มูลค่าทบต้นของกระแสเงินสดรับนี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า มูลค่าสุดท้าย หรือ Terminal value (TV) อัตราลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของ TV เท่ากับมูลค่าปัจจุบันของเงินจ่ายลงทุนของโครงการ เรียกว่า MIRR

วิธี MIRR มีข้อดีเหนือกว่าวิธี IRR ดังนี้

1) วิธี MIRR มีข้อสมมุติว่ากระแสเงินสดของแต่ละโครงการถูกนำไปลงทุนต่อด้วยอัตราผลตอบแทนเท่ากับอัตราต้นทุนของเงินทุน ในขณะที่วิธี IRR มีข้อสมมุติว่ากระแสเงินสดของแต่ละโครงการถูกนำไปลงทุนต่อด้วยอัตราผลตอบแทนเท่ากับ IRR ของโครงการนั้น เนื่องจากข้อสมมุติให้อัตราผลตอบแทนจากการลงทุนต่อเท่ากับอัตราต้นทุนของเงินทุนมีความถูกต้องมากกว่า ดังนั้น เราจึงถือว่าวิธี MIRR เป็นเครื่องมือวัดความสามารถในการทำกำไรของโครงการได้ดีกว่าวิธี IRR

2) วิธี MIRR จะขจัดปัญหาเรื่อง IRR หลายอัตรา ตัวอย่างเช่น ที่อัตราต้นทุนของเงินทุน (r) 10% เมื่อคำนวณ MIRR ของโครงการ M จะได้ $MIRR_M$ = 5.6% เมื่อเปรียบเทียบกับ

อัตราต้นทุนของเงินทุนแล้ว $MIRR_M < r$ ดังนั้นจึงควรปฏิเสธโครงการ M ซึ่งการประเมินโครงการ M ด้วยวิธี MIRR ให้ผลการตัดสินใจเช่นเดียวกับวิธี NPV

2.10.6 **วิธีดัชนีกำไร** (Profitability Index)

อีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการประเมินโครงการลงทุน คือ วิธีดัชนีกำไร หรือ PI เขียนสมการของ PI ได้ดังต่อไปนี้

$$PI = \frac{\text{มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดปีที่ 1-n}}{\text{เงินจ่ายลงทุน ณ เวลา 0}}$$

$$= \frac{\sum_{t=1}^{n} \frac{CF_t}{(1+r)^t}}{CF_0} \qquad \text{----------(2.19)}$$

โดยที่ CF_t = กระแสเงินสดที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต

CF_0 = เงินจ่ายลงทุนเมื่อเริ่มโครงการ

ค่าดัชนีกำไร หรือ PI แสดงถึงความสามารถในการทำกำไรของโครงการเมื่อเทียบกับเงินจ่ายลงทุนเริ่มแรก การตัดสินใจตอบรับโครงการ ถ้า PI มากกว่า 1.0 และจัดลำดับโครงการตามค่า PI จากมากไปหาน้อย ในการประเมินโครงการลงทุนที่เป็นโครงการอิสระด้วยวิธี NPV, IRR, MIRR และ PI ทั้ง 4 วิธีนี้จะให้ผลการตัดสินใจตอบรับหรือปฏิเสธโครงการไม่แตกต่างกัน นั่นคือ ถ้า NPV ของโครงการเป็นบวก IRR และ MIRR ของโครงการจะสูงกว่าอัตราต้นทุนของเงินทุน (r) และ PI ของโครงการจะสูงกว่า 1.0

2.11 การวิเคราะห์ผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (benefit-cost ratio; B/C)

โครงการของภาคเอกชนและโครงการของภาครัฐบาลมีความแตกต่างกันหลายประการ ดังนั้นในการวิเคราะห์เพื่อที่จะตัดสินใจจึงแตกต่างกัน ส่วนการวิเคราะห์โครงการของภาครัฐบาลนั้นแตกต่างออกไปเพราะว่าโครงการส่วนมากไม่ได้มีรายได้หรือรายรับ มีแต่รายจ่ายเท่านั้น เช่น การลงทุนสร้างสะพานให้รถข้ามจะต้องลงทุนสร้างในขั้นต้นและต้องเสียค่าบำรุงรักษาอีก ระยะเวลาหรืออายุของโครงการจะยาวนานมากกว่าโครงการเอกชน ประกอบกับมีเงื่อนไข และกฎระเบียบในการลงทุนมากกว่า แต่ก็ยังเป็นประโยชน์ต่อสาธารณชนได้ใช้กัน ซึ่งประโยชน์

ดังกล่าวสามารถวัดเปรียบเทียบด้วยอัตราส่วนของผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (benefit-cost ratio; B/C) โดยจะต้องพยายามแปลงผลประโยชน์ที่ได้รับออกมาเป็นมูลค่าของเงิน ส่วนเงินที่ใช้ในการลงทุนรู้แน่นอนอยู่แล้ว อัตราส่วนของผลประโยชน์ต่อเงินลงทุนมีสมการดังต่อไปนี้

$$\text{อัตราส่วนของผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (B/C)} = \frac{\text{ผลประโยชน์}}{\text{เงินลงทุน}} \quad \text{---------(2.20)}$$

ถ้าอัตราส่วนที่ได้มากกว่า 1 แสดงว่าควรตัดสินใจเลือกโครงการนั้น ซึ่งเป็นเกณฑ์การยอมรับต่ำสุด แต่ถ้าอัตราส่วนที่ได้น้อยกว่า 1 แสดงว่าโครงการนั้นไม่น่าสนใจในการลงทุน

ในการวิเคราะห์อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุนนั้นจริงๆ แล้วมูลค่าของเงินจะอยู่ที่ช่วงเวลาในการลงทุนแตกต่างกัน ผู้วิเคราะห์จะต้องแปลงมูลค่าเงินที่อยู่ตามช่วงเวลาต่างๆ มาอยู่ที่จุดเดียวกัน อาจจะแปลงให้เหมาะสมเขียนได้ดังสมการ 2.21

$$\text{อัตราส่วนของผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (B/C)} = \frac{\text{ผลประโยชน์เทียบเท่า}}{\text{เงินลงทุนเทียบเท่า}} \quad \text{--(2.21)}$$

เมื่อ ผลประโยชน์คือสิ่งที่เป็นประโยชน์ทั้งหมดต่อผู้ใช้เงินลงทุนคือค่าใช่จ่ายทั้งหมด

2.11.1 การคำนวณอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุนโครงการเดี่ยว (Computation of B/C for a Single Investment)

ในการลงทุนโครงการเดี่ยว การวิเคราะห์ส่วนใหญ่จะใช้เปรียบเทียบผลประโยชน์ที่ได้จากการฝากธนาคารซึ่งจะได้ดอกเบี้ยคืนมา ในกรณีของอัตราส่วนของผลประโยชน์ที่ได้มากกว่า 1 แสดงว่าโครงการนั้นได้ผลประโยชน์มากกว่าการฝากธนาคาร สูตรที่ใช้ดังสมการที่ 2.22

$$(B/C) = \frac{\text{ได้ผลประโยชน์ – เสียผลประโยชน์}}{\text{ค่าใช้จ่ายทั้งหมด}} \quad \text{----------(2.22)}$$

ค่าใช้จ่ายหมายถึงค่าใช้จ่ายทั้งหมด เช่น ค่าซ่อมบำรุงรักษา ค่าดำเนินการ เป็นต้น ในบางครั้งจะเปรียบเทียบกับเงินลงทุนครั้งแรก (initial investment) ดังสมการที่ 2.23

$$(B/C) = \frac{\text{ได้ผลประโยชน์ – เสียผลประโยชน์ – ค่าใช้จ่ายการดำเนินการ}}{\text{ค่าใช้จ่ายทั้งหมด}} \quad \text{---(2.23)}$$

สรุป ควรจะลงทุนโครงการต่อเมื่อ B/C > 1

2.12 วิธีประเมินการตัดสินใจบนพื้นฐานพหุปัจจัย

วิธีการประเมินการตัดสินใจบนพื้นฐานพหุปัจจัยเป็นการหาความสัมพันธ์ของตัวแปรตาม Y สองตัวหรือมากกว่า กับ ตัวแปรอิสระ x สองตัวแปรหรือมากกว่า การถดถอยพหุคูณ(Multiple regression) ก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่จะศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม Y และตัวแปรอิสระ X สองตัวหรือมากกว่า การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณคือ การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรอิสระหลายตัวรวมกันมีผลกระทบต่อตัวแปรตาม สมการถดถอยพหุคูณจะชี้ให้เห็นความสัมพันธ์เฉลี่ยระหว่างตัวแปรอิสระเหล่านี้ที่มีต่อตัวแปรตาม ทำให้เราสามารถใช้ความสัมพันธ์นี้พยากรณ์ตัวแปรตามได้

รูปแบบการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression Model)

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \ldots + \beta_k X_{ik} + \varepsilon_i \, , i = 1,2, \ldots, n \quad \text{----------(2.24)}$$

เมื่อ Y_i = ตัวแปรตาม

$X_{i1}, X_{i2}, \ldots, X_{ik}$ = ตัวแปรอิสระ

$\beta_0, \beta_1, \ldots, \beta_k$ = พารามิเตอร์

ε_i = ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าสังเกตที่ i

ข้อสมมติของรูปแบบการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณมีดังนี้

1) ค่า X สำหรับตัวแปรอิสระแต่ละตัวเป็นค่าที่ทราบค่า นั่นคือ X ไม่ใช่ตัวสุ่ม

2) ความคลาดเคลื่อน ε_i เป็นตัวแปรสุ่มที่เป็นอิสระ มีการแจกแจงปกติที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และความแปรปรวนเท่ากับ σ^2

3) ที่แต่ละเซตของค่า $X_1, X_2, \ldots, X_k$ Y เป็นอิสระมีการแจกแจงปกติที่มีค่าเฉลี่ย $\mu_y(X_1, X_2, \ldots, X_k)$ เท่ากับ $\beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2}$ และค่าความแปรปรวนเท่ากับ $\sigma^2 Y|X_1, X_2, \ldots, X_k$ เมื่อ $\beta_0, \beta_1, \ldots, \beta_k$ และ $\sigma^2 Y|X_1, X_2, \ldots, X_k$ เป็นพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า

4. ที่แต่ละค่า $X_1,X_2,\ldots,X_k$ ความแปรปรวนของ Y ที่ $X_1,X_2,\ldots,X_k$ มีค่าเท่ากันนั่นคือ $\sigma^2Y|X_1,X_2,\ldots,X_k = \sigma^2$ สำหรับทุกเซตของค่า $X_1,X_2,\ldots,X_k$

5. ไม่มีความสัมพันธ์อย่างสมบูรณ์ระหว่างตัวแปร $X_1,X_2,\ldots,X_k$ หรือไม่มีความสัมพันธ์กันเองเชิงเส้น (Multicollinearity)

ฟังก์ชันถดถอย

เนื่องจาก $E\{\varepsilon\} = 0$ จะได้ฟังก์ชันถดถอยหรือสมการถดถอยของประชากรรูปแบบฟังก์ชันถดถอย

$$E\{Y\} = \beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \ldots + \beta_kX_k$$

หรือ

$$\mu_y(X_1,X_2,\ldots,X_k) = \beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \ldots + \beta_kX_k \quad \text{------(2.25)}$$

นั่นคือ ค่าเฉลี่ยของ Y สำหรับทุกเซตของ $X_1,X_2,\ldots,X_k$ เท่ากับ $\beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \ldots + \beta_kX_k$ พารามิเตอร์ β_j , j = 0,1,2,...,k เรียกสัมประสิทธิ์ถดถอย (regression coefficients) β_0 แทนระยะตัดแกน Y หรือ β_0 คือค่าเฉลี่ยของการแจกแจง Y เมื่อ $X_1 = X_2 = \ldots = X_k = 0$

β_j , j = 0,1,2,...,k แทนความชันของผิวการถดถอยของประชากร ที่มีตัวแปรอิสระที่ j β_j จะแสดงการเปลี่ยนแปลงของ Y เมื่อ X_j เปลี่ยนไปหนึ่งหน่วย ขณะที่ตัวแปรอิสระอื่นๆที่เหลืออยู่ในรูปแบบ ค่าคงที่ ด้วยเหตุนี้จึงมักเรียก พารามิเตอร์ β_j , j = 0,1,2,...,k ว่าสัมประสิทธิ์การถดถอยบางส่วน (partial regression coefficients)

ในกรณีตัวแปรอิสระมี 2 ตัว คือ X_1 และ X_2 รูปแบบการถดถอย คือ

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1X_{i1} + \beta_2X_{i2} + \ldots + \beta_kX_{ik} + \varepsilon_i, i = 1,2, \quad \text{---------(2.26)}$$

และฟังก์ชันถดถอยหรือสมการถดถอยของประชากร คือ

$$\mu_y(X_1,X_2) = \beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 \quad \text{----------(2.27)}$$

การประมาณค่าพารามิเตอร์โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

เราจะประมาณค่า $\beta_0,\beta_1,\beta_2,\ldots,\beta_k$ ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่าของสมการถดถอยโดยใช้ข้อมูลของตัวอย่าง ดังนี้

ให้สมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณของตัวอย่าง (หรือที่ประมาณ) ที่มีตัวแปรอิสระ k ตัว คือ

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \ldots + \beta_k X_k$$

เมื่อ $\hat{Y}$ คือค่าประมาณของค่าเฉลี่ยของ Y ซึ่งกำหนด $X_1, X_2, \ldots, X_k$ มาให้ หรือ $\hat{Y}$ คือค่าประมาณค่าของ $\mu_{y.}(X_1, X_2, \ldots, X_k)$

b_0 คือค่าประมาณ β_0

b_j คือค่าประมาณ β_j

ความคลาดเคลื่อนของตัวอย่าง เขียนแทนด้วย e_i กำหนดโดย

$$e_i = Y_i - [b_0 + b_1 X_{i1} + b_2 X_{i2} + \ldots + b_k X_{ik}], i = 1, 2, \ldots, n \quad \text{-------(2.28)}$$

เรียก e_i ว่า residua

เช่นเดียวกับการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย การประมาณค่า $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_k$ โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (OLS) คือการหาค่า $b_0, b_1, b_2, \ldots, b_k$ ที่ทำให้ผลบวกกำลังสองของ residual มีค่าน้อยที่สุด

จากคุณสมบัติที่ว่า $\sum e_i^2$ มีค่าน้อยที่สุด หาสมการปกติได้ดังนี้

ให้ $$S = \sum e_i^2$$

$$= \sum (Y_i - b_o - \sum_{j=1}^{k} b_j X_{ij})^2 \quad \text{----------(2.29)}$$

ทำให้ S มีค่าน้อยที่สุดโดยการอนุพันธ์ย่อยเทียบกับ $b_0, b_1, b_2, \ldots, b_k$ แล้วให้เท่ากับ 0

$$\frac{\partial S}{\partial b_0} = -2 \sum_{i=1}^{n} (Y_i - b_0 - \sum_{j=1}^{k} b_j X_{ij}) = 0$$

และ

$$\frac{\partial S}{\partial b_j} = -2 \sum_{i=1}^{n} (Y_i - b_0 - \sum_{j=1}^{k} b_j X_{ij}) = 0, \quad j = 1, 2, \ldots, k$$

จัดสมการใหม่ จะได้สมการปกติ ดังนี้

$$nb_0 + b_1\sum_{i=1}^{n} X_{i1} + b_2\sum_{i=1}^{n} X_{i2} + \ldots + b_k\sum_{i=1}^{n} X_{ik} = \sum_{i=1}^{n} Y_i \quad \text{----------(2.30)}$$

$$b_0\sum_{i=1}^{n} X_{i1} + b_1\sum_{i=1}^{n} X_{i1}^2 + b_2\sum_{i=1}^{n} X_{i1}X_{i2} + \ldots + b_k\sum_{i=1}^{n} X_{i1}X_{ik} = \sum_{i=1}^{n} X_{i1}Y_i \quad \text{--(2.31)}$$

$$\vdots \qquad \vdots \qquad \vdots \qquad \vdots \qquad \vdots$$

$$b_0\sum_{i=1}^{n} X_{i1} + b_1\sum_{i=1}^{n} X_{ik}X_{i1} + b_2\sum_{i=1}^{n} X_{ik}X_{i2} + \ldots + b_k\sum_{i=1}^{n} X_{ik}^2 = \sum_{i=1}^{n} X_{ik}Y_i \quad \text{--(2.32)}$$

ทั้งหมดมี *k+1* สมการ และในกรณีสมการถดถอยมีตัวแปรอิสระ2ตัว สมการปกติจะมี *3* สมการดังนี้

$$nb_0 + b_1\sum X_1 + b_2\sum X_2 = \sum Y \quad \text{----------(2.33)}$$

$$b_0\sum X_1 + b_1\sum X_1^2 + b_2\sum X_1X_2 = \sum X_1Y \quad \text{----------(2.34)}$$

$$b_0\sum X_2 + b_1\sum X_1X_2 + b_2\sum X_2^2 = \sum X_2Y \quad \text{----------(2.35)}$$

2.12.1 **สัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณ** (Coefficient of Multiple Determination)

การแบ่งส่วนผลบวกกำลังสองในการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ กล่าวคือ ผลบวกทั้งหมดของความเบี่ยงเบนกำลังสองของตัวแปร Y จากค่าเฉลี่ย $\bar{Y}$ หรือ total sum of squared deviation เขียนแทนด้วย SST ถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ sum of square due to regression เขียนแทนด้วย SSR และ sum of squares of residuals หรือ deviation due to error เขียนแทนด้วย SSE นั่นคือ

$$\sum(Y_i - \bar{Y})^2 = \sum(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2 + \sum(Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad \text{----------(2.36)}$$

SST = SSR + SSE

SST มีองศาแห่งความเป็นอิสระเท่ากับ n-1 SSR มีองศาแห่งความเป็นอิสระเท่ากับ k SSE มีองศาแห่งความเป็นอิสระเท่ากับ n-k-1 และส่วนแบ่งขององศาแห่งความเป็นอิสระ ดังนี้

(n - 1) = (k) + (n – k - 1)

เช่นเดียวกับกรณีการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของการถดถอยพหุคูณ เท่ากับอัตราส่วนระหว่าง SSR และ SST นั่นคือ

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} \qquad \text{----------(2.37)}$$

การคำนวณค่า R^2

จากการแบ่งส่วนผลบวกกำลังสอง

SST = SSR +SSE

หรือ

$$\sum(Y_i - \bar{Y})^2 = \sum(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2 + \sum(Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

$$\sum(Y_i - \bar{Y})^2 = \sum Y^2 - \frac{(\sum Y^2)}{n} = Y'Y - \frac{(\sum Y^2)}{n} = \text{SST}$$

$$\text{SSE} = Y'Y - b'X'Y \qquad \text{----------(2.38)}$$

$$\text{SSR} = \sum(Y_i - \bar{Y})^2 - (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$$

$$= Y'Y - \frac{(\sum Y^2)}{n} - Y'Y - b'X'Y$$

$$= b'X'Y - \frac{(\sum Y^2)}{n} \qquad \text{----------(2.39)}$$

$$R^2 = \frac{b'X'Y - \frac{(\sum Y^2)}{n}}{} \qquad \text{----------(2.40)}$$

$$Y'Y - \frac{(\sum Y^2)}{n}$$

เมื่อ $b'X'Y = b_0\sum Y + b_1\sum X_1Y + b_2\sum X_2Y + \ldots + b_k\sum X_kY$

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณ R^2 คือสัดส่วนความแปรผันทั้งหมดของ Y ที่อธิบายโดยความแปรผันในตัวแปรอิสระ $X_1,X_2,\ldots,X_k$ หรือสัดส่วนของความแปรผันทั้งหมดของ Y ที่อธิบายโดยความสัมพันธ์ระหว่าง Y และ $X_1,X_2,\ldots,X_k$ ความหมายของ R^2 ในการถดถอยอย่างง่ายจะสมมูล R^2

ในการถดถอยพหุคูณค่า R^2 อยู่ระหว่าง 0 และ 1 ถ้าไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่างตัวแปรตาม Y และตัวแปรอิสระที่ใช้ในสมการถดถอยแล้ว $R^2 = 0$ ถ้าสมการถดถอยที่ประมาณได้เหมาะสมกับข้อมูลอย่างสมบูรณ์ และสามารถใช้ประมาณหรือพยากรณ์ค่า Y ได้ถูกต้องโดยแท้แล้ว $R^2 = 1$

โดยทั่วไปค่า R^2 จะสูงขึ้น เมื่อมีตัวแปรอิสระเพิ่มขึ้นเข้ามาในสมการถดถอยพหุคูณ เหตุผลคือเมื่อเพิ่มตัวแปรอิสระในสมการถดถอย ค่า SST ไม่เปลี่ยนแปลง แต่โดยทั่วไป SSR จะสูงและ SSE จะต่ำลงดังนั้น R^2 จึงมีค่าสูงขึ้น การเพิ่มตัวแปรอิสระอาจไม่ช่วยให้มีนัยสำคัญที่จะอธิบายตัวแปรตาม Y การเพิ่มตัวแปรอิสระในสมการถดถอยสำหรับจุดประสงค์เพื่อให้ R^2 มีค่าสูงขึ้น มักมีผลทำให้มีตัวแปรอิสระมีจำนวนมากเกินไปในสมการการถดถอย และอาจทำให้สมการถดถอยมีรูปแบบเลวลงแทนที่จะดีขึ้น ดังนั้นจึงอาจพบว่าการเลือกรูปแบบที่มีค่า R^2 ต่ำกว่าเล็กน้อยอาจได้รูปแบบที่ดีกว่า

เพื่อป้องกันปัญหานี้ เราสามารถใช้ Adjusted R^2 เป็นค่าวัดค่ารูปแบบเหมาะสมกับข้อมูลอย่างไร โดยการนำองศาแห่งความเป็นอิสระมาพิจารณาด้วย คำนวณจากสูตร

$$Adjusted\ R^2 = 1 - \frac{(SSE)/(n-k-1)}{(SST)/(n-1)} \qquad \text{----------(2.41)}$$

เมื่อ n ใหญ่ ค่า R^2 จะใกล้เคียงกับค่า Adjusted R^2 ค่า Adjusted R^2 อาจลดลงเมื่อเพิ่มตัวแปรอิสระในสมการถดถอย ทั้งนี้เพราะแม้ว่า SSE จะลดลงเสมอ แต่การลดลงอาจชดเชยด้วยองศาแห่งความเป็นอิสระ (n – k - 1)

หมายเหตุ สัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณ อาจเขียนแทนด้วย

$$r_y^2(X_1,\ldots,X_K) = \frac{SST - SSE(X_1,\ldots,X_k)}{SST} \qquad \text{----------(2.42)}$$

และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณที่ปรับ อาจเขียนแทนด้วย

$$Adj\ r_y^2(X_1,\ldots,X_K) = \frac{MST - MSE(X_1,\ldots,X_k)}{MST} \qquad \text{----------(2.43)}$$

2.12.2 **สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ** (Coefficient of Multiple Correlation)

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ เขียนแทนด้วย *R* คือ ค่าวัดระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม *Y* และตัวแปรอิระทั้งหมดรวมกัน มีค่าเท่ากับรากที่สองของสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณ

$$R = \sqrt{R^2} \qquad \text{----------(2.44)}$$

R มีค่าเป็นบวกเสมอ คือ $0 \leq R \leq 1$ ถ้า $R = 1$ หมายถึงมีความสัมพันธ์อย่างสมบูรณ์ และ 0 หมายถึงไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระทั้งหมด