การสร้างแบบจำลองธรณีวิทยา 3 มิติของหินตะกอนและหินแปรจากข้อมูลการสำรวจธรณีวิทยาภาคสนามบนโปรแกรมอาร์กวิว

นายสนธยา โชคเศรษฐกิจ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาระบบสารสนเทศปริภูมิทางวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-53-1199-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3D GEOLOGICAL MODELING OF SEDIMENTARY AND METAMORPHIC ROCKS FROM GEOLOGICAL MAPPING DATA ON ARCVIEW PROGRAM

Mr. Sonthaya Choksattakig

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Spatial Information System in Engineering
Department of Survey Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2004

ISBN 974-53-1199-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสร้างแบบจำลองธรณีวิทยา 3 มิติของหินตะกอนและหินแปร จากข้อมูลการสำรวจธรณีวิทยาภาคสนามบนโปรแกรมอาร์กวิว
โดย	นายสนธยา โชคเศรษฐกิจ
สาขาวิชา	ระบบสารสนเทศปริภูมิทางวิศวกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิชัย เยี่ยงวีรชน
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร.สัญญา สราภิรมย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิชัย เยี่ยงวีรชน)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร. สัญญา สราภิรมย์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สวัสดิ์ชัย เกรียงไกรเพชร)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บรรเจิด พละการ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สนธยา โชคเศรษฐกิจ : การสร้างแบบจำลองธรณีวิทยา 3 มิติของหินตะกอนและหินแปรจากข้อมูลการสำรวจธรณีวิทยาภาคสนามบนโปรแกรมอาร์กวิว. (3D GEOLOGICAL MODELING OF SEDIMENTARY AND METAMORPHIC ROCKS FROM GEOLOGICAL MAPPING DATA ON ARCVIEW PROGRAM) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. วิชัย เยี่ยงวีรชน, อ. ที่ปรึกษาร่วม : ดร. สัญญา สราภิรมย์ , 72 หน้า. ISBN 974-53-1199-5.

การใช้แบบจำลอง 3 มิติในการแสดงผลข้อมูลธรณีวิทยาสามารถสื่อให้นักธรณีวิทยามีความเข้าใจลักษณะของชั้นหินและโครงสร้างธรณีวิทยาได้ชัดเจนขึ้นโดยเฉพาะมิติที่ 3 ปัจจุบันโปรแกรมทางด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มีขีดความสามารถในการแสดงผล 3 มิติได้ นอกจากใช้ในการบริหารจัดการข้อมูลธรณีวิทยาแล้ว ยังสามารถสร้างแบบจำลองขึ้นเพื่อการแสดงผลได้ ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาและพัฒนาขั้นตอนการสร้างแบบจำลองธรณีวิทยา โดยใช้กรณีศึกษาของชั้นหินตะกอนและหินแปรด้วยโปรแกรมอาร์กวิว 8.1 และโมดูล 3D Analyst 1.0 ซึ่งได้พัฒนาโปรแกรม 2 โปรแกรมคือ โปรแกรมประมวลผลข้อมูลเบื้องต้นเพื่อจัดรูปแบบข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และโปรแกรมสร้างแบบจำลอง 3 มิติ ของโครงสร้างธรณีวิทยาและการลำดับชั้นหิน ผลลัพธ์ของการสร้างแบบจำลองสามารถแสดงผลเป็นภาพตัดขวางธรณีวิทยา และพื้นผิว TIN (Triangulated Irregular Network) ของระนาบชั้นหินและรอยเลื่อน

กระบวนการส่วนแรกของโปรแกรมประกอบด้วยขั้นตอน การวิเคราะห์โครงสร้างธรณีวิทยา การจัดกลุ่มหินตามโครงสร้างธรณีวิทยา การเรียงลำดับอายุของกลุ่มหินและหมวดหิน ซึ่งได้ให้ข้อมูลเส้นลำดับอายุที่ประกอบด้วยข้อมูลขอบเขต รอยเลื่อนและเส้นสัมผัสหมวดหิน แล้วจึงผ่านกระบวนการส่วนที่ 2 คือการนำไปสร้างแบบจำลองธรณีวิทยา ด้วยการนำข้อมูลเส้นลำดับอายุมาขยายเป็นการวางตัวที่แตกต่างกันตามโครงสร้างทางธรณีวิทยา และสร้างพื้นผิว TIN ของชั้นหินขึ้น การสร้างภาพตัดขวางทำได้ด้วยการดึงข้อมูลเส้นหน้าตัดบนพื้นผิว TIN ทุกพื้นผิวที่อยู่ในแนวตัดขวางออกมา เพื่อนำข้อมูลเหล่านั้นมาหาความสัมพันธ์ระหว่างชั้นหินและรอยเลื่อน ผลลัพธ์สุดท้ายของการจำลองได้ภาพตัดขวางธรณีวิทยาที่มีค่าพิกัดแบบ 3 มิติ

ภาควิชา วิศวกรรมสำรวจ ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา ระบบสารสนเทศปริภูมิทางวิศวกรรม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2547 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4470575521 : MAJOR SPATIAL INFORMATION SYSTEM IN ENGINEERING

KEY WORD: ARCVIEW / GEOLOGY / MODEL / 3 DIMENSION / ARCOBJECT

SONTHAYA CHOKSATTAKIG : 3D GEOLOGICAL MODELING OF SEDIMENTARY AND METAMORPHIC ROCKS FROM GEOLOGICAL MAPPING DATA ON ARCVIEW PROGRAM. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. VICHAI YIENGVEERACHON, THESIS CO-ADVISOR : DR. SUNYA SARAPIROME, 72 pp. ISBN 974-53-1199-5.

The use of 3D modeling to represent geological data can display stratigraphy and geological structure distinctly, particularly in depth dimension. Nowadays, Geographic Information System (GIS) program becomes the effectual tool which can provide geological data management, 3D visualization and display. The objective of this study aims at developing 3D modeling of sedimentary and metamorphic rocks using ArcView 8.1 and 3D Analyst 1.0. The processes include 2 modules: 1) preparing and analyzing geological data captured in form of GIS data and 2) 3D modeling geological planar structures and rock sequences. The study results are geological cross-section and Triangulated Irregular Network (TIN) surfaces of rock contact and fault planes.

The first module involves analysis of rocks and geological structures in terms of grouping, age sorting, and polylines ordering. The ordered polylines of study area boundary, faults and rock boundaries are used in the second module to generate TIN surfaces orientated according to their attitude information. The cross-section is constructed using elevation data extracted from each TIN surface profiles and rock sequences from ordered polylines. The final result is geological cross-section showing relationship of rock units and fault surfaces with 3D coordinates.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Survey Engineering Student's signature.....

Field of study Spatial Information System in Engineering Advisor's signature.....

Academic year 2004 Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิชัย เยี่ยงวีรชน อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นอย่างดี ทั้งในงานวิจัย การออกแบบ การจัดหาโปรแกรม และรวมทั้งการตรวจแก้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ด้วย และ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร. สัญญา สราภิรมย์ ที่ช่วยเหลือแนะนำในเรื่องการจัดการและขั้นตอนการเขียนโปรแกรม จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

สุดท้ายขอขอบพระคุณ คณะอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจและธรณีวิทยาที่ให้ความรู้ทั้งการเรียนและประสบการณ์ต่างๆ จนทำให้เกิดวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อไทย..... ง

บทคัดย่ออังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ฎ

บทที่ 1. บทนำ..... 1

1.1. ความสำคัญและที่มา..... 1

1.2. วัตถุประสงค์..... 2

1.3. ขอบเขตงานวิจัย..... 2

1.4. ข้อตกลงเบื้องต้น..... 2

1.5. ข้อจำกัดของการวิจัย..... 3

1.6. คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย..... 3

1.7. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4

1.8. วิธีการดำเนินงานวิจัย..... 4

บทที่ 2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 6

2.1. หลักการธรณีวิทยา 6

2.2. ข้อมูลธรณีวิทยาที่ใช้ในการวิจัย..... 11

2.3. ความสัมพันธ์ของข้อมูลธรณีวิทยาและข้อมูลเชิงปริภูมิ..... 12

2.4. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 12

2.5. แนวคิดการแสดงผลแบบจำลอง..... 14

บทที่ 3. การออกแบบและวิเคราะห์..... 19

3.1. การวิเคราะห์ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม..... 19

3.2. แนวคิดการออกแบบ..... 21

3.3. การออกแบบโครงสร้างแฟ้มข้อมูลนำเข้า..... 22

3.4. หลักการประมวลผลของโปรแกรม..... 26

3.5. การออกแบบโครงสร้างแฟ้มข้อมูลเส้นลำดับอายุ..... 31

บทที่ 4. การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์..... 33

หน้า

4.1. โปรแกรมการประมวลผลข้อมูลเบื้องต้น..... 33
4.1.1. การวิเคราะห์โครงสร้างธรณีวิทยาของแต่ละรูปปิด..... 35
4.1.2. การจำแนกกลุ่มหินตามโครงสร้างธรณีวิทยา..... 37
4.1.3. การเรียงลำดับกลุ่มหิน..... 37
4.1.4. การเรียงลำดับหมวดหินแต่ละกลุ่มหิน..... 39
4.1.5. ข้อมูลเส้นลำดับอายุ..... 40
4.2. โปรแกรมแบบจำลองธรณีวิทยา 3 มิติ..... 41
4.2.1. กำหนดขอบเขตการจำลอง..... 42
4.2.2. การสร้างข้อมูลสำหรับแบบจำลอง TIN..... 45
4.2.3. การสร้างแบบจำลอง TIN..... 48
4.2.4. การดึงข้อมูลเส้นในแนวตัดขวาง..... 48
4.2.5. การแปลงข้อมูล 3 มิติเป็น 2 มิติ..... 49
4.2.6. การหาความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ..... 50
4.2.7. การแปลงข้อมูล 2 มิติเป็น 3 มิติ..... 50
บทที่ 5. การทดสอบโปรแกรม..... 51
5.1. ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ..... 51
5.2. การจัดเตรียมข้อมูลเส้นลำดับอายุ..... 54
5.3. การแสดงผลแบบจำลอง..... 57
5.4. แฟ้มข้อมูลผลทดสอบ..... 59
5.5. ประสิทธิภาพการทำงานของโปรแกรม..... 63
5.6. สรุปผลการทดสอบ..... 63
บทที่ 6. บทสรุปและข้อเสนอแนะ..... 65
6.1. สรุปผลการวิจัย..... 65
6.2. ปัญหาและอุปสรรค..... 66
6.3. ข้อเสนอแนะ..... 69
รายการอ้างอิง..... 70
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 72

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลธรณีวิทยาและข้อมูลเชิงปริภูมิ..... 12

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดโครงสร้างแฟ้มข้อมูลจุดที่นำเข้า..... 23

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดโครงสร้างแฟ้มข้อมูลเส้นที่นำเข้า..... 25

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดโครงสร้างแฟ้มข้อมูลรูปปิดที่นำเข้า..... 25

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลการลำดับชนิดหิน..... 27

ตารางที่ 3.5 รายละเอียดโครงสร้างแฟ้มข้อมูลเส้นลำดับอายุ..... 32

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 2.1 วัฏจักรหิน..... 6
รูปที่ 2.2 การวัดการวางตัวแนวระดับและมุมเท..... 7
รูปที่ 2.3 การเลื่อนตัวของรอยเลื่อนแบบปกติ..... 8
รูปที่ 2.4 การคดโค้งโก่งงอของชั้นหิน..... 9
รูปที่ 2.5 ค่าการวางตัวที่ใช้ลงค่า pole บน Stereonet..... 10
รูปที่ 2.6 การคดโค้งของชั้นหินที่ลงค่าบน Stereonet..... 10
รูปที่ 2.7 รูปทรงกระบอกเหลื่อม..... 16
รูปที่ 2.8 การจัดเรียงแผ่นสามเหลี่ยม ก.) TriangleStrip ข.) TriangleFan..... 16
รูปที่ 2.9 การสร้างรูปทรง 3 มิติโดยวิธี ConstructExtrude..... 17
รูปที่ 3.1 ลำดับขั้นตอนภาพรวมของโปรแกรม..... 20
รูปที่ 3.2 ข้อมูลนำเข้าทั้ง 3 ประเภทคือ จุด เส้น และรูปปิด..... 23
รูปที่ 3.3 การลำดับชั้นของชนิดหิน..... 26
รูปที่ 3.4 ก.) stereonet แบบ Lambert equal area projection หรือ Schmidt net
ข.) การลงค่าการวางตัวบน stereonet..... 28
รูปที่ 3.5 การสืบค้นระนาบการคดโค้งของชั้นหินบน stereonet
ก.) การวางตัว 0/30 ข.) การวางตัว 0/60 ค.) การวางตัว 30/30
ง.) การวางตัว 30/60 จ.) การวางตัว 60/30 ฉ.) การวางตัว 60/60..... 29
รูปที่ 3.6 การสืบค้นแขนการคดโค้งของชั้นหินบน stereonet
ก.) การวางตัว 0/30 ข.) การวางตัว 0/60 ค.) การวางตัว 30/30
ง.) การวางตัว 30/60 จ.) การวางตัว 60/30 ฉ.) การวางตัว 60/60..... 29
รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการทำงานในโปรแกรมประมวลผลข้อมูลเบื้องต้น..... 34
รูปที่ 4.2 ข้อมูลเส้นขอบเขตในแฟ้มข้อมูลเส้นลำดับอายุ..... 35
รูปที่ 4.3 การจำแนกชนิดหินบนโปรแกรมประยุกต์..... 38
รูปที่ 4.4 ตารางแฟ้มข้อมูลเส้นลำดับอายุ..... 40
รูปที่ 4.5 คำสั่ง Features to 3D ในโปรแกรม 3D Analyst..... 41
รูปที่ 4.6 การใส่ข้อมูลเพื่อแปลงเป็นข้อมูล 3 มิติ..... 41
รูปที่ 4.7 ขั้นตอนการทำงานในโปรแกรมการสร้างแบบจำลองธรณีวิทยา 3 มิติ..... 43
รูปที่ 4.8 แสดงการสร้าง TIN ที่ขอบบิดเบี้ยว..... 45

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 4.9 การเตรียมข้อมูลรอยเลื่อนสำหรับสร้าง TIN 46
รูปที่ 4.10 การเตรียมข้อมูลชั้นหินแบบระนาบเรียบสำหรับสร้าง TIN 46
รูปที่ 4.11 การเตรียมข้อมูลชั้นหินแบบคดโค้งประทุนหงายสำหรับสร้าง TIN 47
รูปที่ 4.12 การสร้างเส้นคดโค้ง..... 48
รูปที่ 4.13 แสดงการดึงข้อมูลเส้นจากข้อมูล TIN ในแนวภาพตัดขวาง..... 49
รูปที่ 4.14 แสดงการแปลงค่า x new และ y new ในภาพตัดขวาง..... 49
รูปที่ 5.1 แสดงลักษณะของภูมิประเทศ..... 51
รูปที่ 5.2 การเปิดคำสั่ง Customize..... 53
รูปที่ 5.3 แสดงการนำเข้าโปรแกรม ET GeoWizards 8.7..... 53
รูปที่ 5.4 แสดงการฟังก์ชันการทำงานของ ET GeoWizards 8.7 เรื่องทั่วไป..... 54
รูปที่ 5.5 การเข้าทำงานในส่วน VBA ของโปรแกรม..... 54
รูปที่ 5.6 หน้าต่างการทำงาน VBA..... 55
รูปที่ 5.7 แสดงข้อมูลรอยเลื่อนในแฟ้มข้อมูลเส้นลำดับอายุ..... 55
รูปที่ 5.8 แสดงข้อมูลเส้นสัมผัสในแฟ้มข้อมูลเส้นลำดับอายุ..... 56
รูปที่ 5.9 ตารางข้อมูลเส้นลำดับอายุที่มีข้อมูลเส้น..... 56
รูปที่ 5.10 แสดงข้อมูลเส้นลำดับอายุสำหรับสร้างแบบจำลอง 3 มิติ..... 58
รูปที่ 5.11 แสดงข้อมูลผลลัพธ์ของชั้นข้อมูล TIN ทุกชั้นข้อมูล..... 58
รูปที่ 5.12 แสดงข้อมูลผลลัพธ์ที่เป็นภาพตัดขวางธรณีวิทยา..... 58
รูปที่ 5.13 ตารางแฟ้มข้อมูลผลลัพธ์ของจุด..... 60
รูปที่ 5.14 ตารางแฟ้มข้อมูลผลลัพธ์ของรูปปิด..... 60
รูปที่ 5.15 แสดงข้อมูลเส้นสำหรับสร้าง TIN 62
รูปที่ 5.16 รูปขวาแสดงข้อมูลเส้นหน้าตัดของ TIN และรูปซ้ายเป็นตารางข้อมูล..... 62
รูปที่ 5.17 รูปขวาแสดงข้อมูลเส้นความสัมพันธ์ และรูปซ้ายเป็นตารางข้อมูล..... 63
รูปที่ 6.1 การสร้าง TIN ที่มีส่วนซ้อนทับกันในแนวแกน Z..... 67
รูปที่ 6.2 การสร้าง TIN ที่มีน้ำหนักในแต่ละทิศทางไม่เท่ากัน..... 68

บทที่ 1

บทนำ

1.1. ความสำคัญและที่มา

การสำรวจข้อมูลทางธรณีวิทยาส่วนใหญ่เป็นข้อมูลที่เก็บมาจากผิวโลกจริงที่เป็น 3 มิติ แต่เมื่อนำมาแสดงผลข้อมูลมักจะแสดงได้เพียง 2 มิติเท่านั้น โดยแสดงในรูปของแผนที่ธรณีวิทยาบนแผ่นกระดาษและมีรายละเอียดของข้อมูลมิติที่ 3 แสดงเป็นสัญลักษณ์ ซึ่งถ้าสามารถนำเสนอในรูปแบบจำลอง 3 มิติจะดูง่ายยิ่งขึ้น และในปัจจุบันการพัฒนาทางด้านการแสดงผลข้อมูล 3 มิติได้มีความก้าวหน้าทั้งทางด้านโปรแกรมและรูปแบบของข้อมูล มีเครื่องมือที่ช่วยในการแสดงผลได้รวดเร็วและมีความถูกต้องมากขึ้น ถ้านำการพัฒนานี้มาใช้ทางด้านธรณีวิทยาน่าจะช่วยให้นักธรณีวิทยาเข้าใจลักษณะชั้นหิน และโครงสร้างธรณีวิทยาได้สะดวกยิ่งขึ้น ข้อมูลธรณีวิทยาโดยทั่วไปมีรูปทรงแบบ 3 มิติที่เป็นทั้งแบบพื้นผิวและแบบโซลิดโมเดล (Solid model) ประกอบกับวัตถุทางธรณีวิทยามีความสัมพันธ์กันแบบเป็นชั้นๆ ทำให้การมโนภาพข้อมูลคดโค้งโก่งงอและรอยเลื่อนเกิดความซับซ้อนในรูปทรง 3 มิติเป็นไปอย่างยากลำบาก การที่นำข้อมูลมาแสดงทีละชั้นทำให้ดูข้อมูลได้ง่ายขึ้น แต่ในปัจจุบันการอ่านแผนที่ธรณีวิทยาที่สลับซับซ้อนเป็นแค่ 2 มิติและในสภาพธรณีวิทยา ทำให้ยากต่อการเข้าใจลักษณะทางธรณีวิทยา การจินตนาการหาความสัมพันธ์ชั้นหินและโครงสร้างทางธรณีวิทยาในบริเวณที่มีข้อมูลสลับซับซ้อนทำได้ยาก และต้องใช้เวลาในการศึกษาและจัดความสัมพันธ์ของข้อมูลเพื่อที่จะเข้าใจสภาพธรณีวิทยา

การสำรวจธรณีวิทยาในภาคสนาม เป็นการเก็บข้อมูลธรณีวิทยาในแต่ละจุดสำรวจ และต้องนำข้อมูลที่จดบันทึกมาหาความสัมพันธ์กันระหว่างจุดสำรวจ เพื่อจะแปลความหมายของลักษณะของธรณีวิทยาในบริเวณที่สำรวจแผนที่ขอบเขตของหมวดหิน เพื่อสร้างโครงสร้างของหินและความสัมพันธ์ของหมวดหินให้เกิดเป็นแผนที่ธรณีวิทยา การสร้างเครื่องมือที่หาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลธรณีวิทยาและการแสดงผลข้อมูลที่เป็นแบบ 3 มิติจากแผนที่ธรณีวิทยาและข้อมูลจุดจะช่วยให้เข้าใจถึงลักษณะของชั้นหิน และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในทางธรณีวิทยาได้รวดเร็วและมีความชัดเจนยิ่งขึ้น ฉะนั้นการมีเครื่องมือที่ช่วยในการมโนภาพในมิติที่ 3 จะช่วยให้นัก

ธรณีวิทยาเข้าใจขั้นตอนการเกิดของหิน และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างธรณีวิทยาตามลำดับเวลาได้อย่างถูกต้องและตรงกันมากยิ่งขึ้น

1.2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาแนวทางพัฒนาการแสดงผลข้อมูลธรณีวิทยาในรูปแบบจำลอง 3 มิติโดยการพัฒนาฟังก์ชันต่างๆ ได้แก่ รูปแบบการนำเข้าข้อมูล การประมวลผลและวิเคราะห์จากข้อมูลธรณีวิทยาภาคสนามและแผนที่ธรณีวิทยา บนโปรแกรม อาร์กวิว(ArcView) และ 3D Analyst

1.3. ขอบเขตงานวิจัย

1) ชนิดหินที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองประกอบด้วยหินตะกอนและหินแปร

2) โครงสร้างธรณีวิทยาครอบคลุมรอยเลื่อน(Fault)แบบระนาบเรียบ และการคดโค้งโก่งงอ(fold)ที่แกนการคดโค้งเป็นแนวตรง แต่ไม่รวมถึงรอยแตก(Joint) เส้นความไม่ต่อเนื่อง(Unconformity) และ การคดโค้งตลบทับ(Overturn fold)

3) การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนโปรแกรมอาร์กวิว 8.1 และ 3D Analyst 1.0

4) ตัวอย่างพื้นที่ที่ใช้ทดสอบคือ พื้นที่ที่มีทั้งหินตะกอนและหินแปร โดยมีพื้นที่กว้างประมาณ 6.5 กิโลเมตรและยาวประมาณ 10 กิโลเมตร

1.4. ข้อตกลงเบื้องต้น

1) ข้อมูลตัวอย่างแบบเส้น และรูปปิดจะต้องไม่มีการเปลี่ยนแปลงความโค้งแบบหักกลับแบบซับซ้อน

2) ข้อมูลจุดมีชนิดหินเพียงชนิดเดียว และมีการวางตัวของหิน

3) การคดโค้งโก่งงอของชั้นหินมีการคดโค้งแบบประทุนคว่ำ หรือประทุนหงายอย่างง่ายเท่านั้น

4) รอยเลื่อนสมมุติเป็นระนาบเรียบ และการเลื่อนตัวจะเลื่อนตัวอยู่ในทิศทางบนระนาบของรอยเลื่อน

5) ในกรณีไม่ทราบอายุหินให้ถือว่าหินแปรมีอายุแก่กว่าหินตะกอน

1.5. ข้อจำกัดของการวิจัย

1) การสร้างแบบจำลอง 3 มิติขึ้นกับเครื่องมือและภาษาที่ใช้ในโปรแกรม อาร์กวิว เนื่องจากความสามารถในการสร้างแบบจำลองขึ้นกับคำสั่งการทำงานบน ArcObject และ Visual Basic for Application(VBA) ในโปรแกรมอาร์กวิว

2) ความซับซ้อนของข้อมูลธรณีวิทยา ในธรรมชาติข้อมูลธรณีมีความซับซ้อนมาก การจำลองข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้เริ่มต้นจากข้อมูลอย่างไม่ซับซ้อนก่อน

3) ความไม่สมบูรณ์ของข้อมูล ในการสืบหาข้อมูลบางอย่างจะต้องใช้เครื่องมือเฉพาะทาง

1.6. คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

หมวดหิน(Rock unit) หน่วยลำดับชั้นหินหรือชนิดหินที่ประกอบด้วยหินที่มีคุณสมบัติทางกายภาพเด่นพอที่ประกอบกันเป็นหน่วยพื้นฐานในการทำแผนที่ธรณีวิทยา หมวดหินต้องมีความหนามากพอและแผ่กระจายตัวมากพอที่ปรากฏลงบนแผนที่ และสามารถแยกจากหมวดหินที่วางตัวอยู่ข้างบนและข้างล่างได้อย่างดี

กลุ่มหิน หมวดหินหลายๆหมวดที่รวมกัน ในที่นี้จะใช้หมวดหินที่มีโครงสร้างธรณีวิทยาคล้ายกันและหมวดหินจะต้องมีแนวสัมผัสกัน

ชื่อหิน หรือ ชนิดหิน การตั้งชื่อหิน โดยหินก้อนเดียวกันอาจมีได้หลายชื่อตามลำดับการจำแนกแจกแจงของชนิดหินขึ้นอยู่กับผู้เรียกชื่อหิน และลำดับการจำแนก

กลุ่มหินหลัก หรือ ชนิดหินหลัก การเรียกชื่อหินที่อยู่ในกลุ่มหลักของการจำแนกคือ หินอัคนี หินแปร หินตะกอน และกึ่งตะกอนกึ่งหิน

รอยเลื่อน(Fault) รอยแตกหรือแนวรอยแตกของหินสองฟากซึ่งเคลื่อนที่สัมพันธ์กันและขนานไปกับรอยแตกนั้น

ชั้นหินคดโค้ง(Fold) รอยคดโค้งที่ปรากฏในหินเปลือกโลกที่เกิดจากแรงเค้นและความเครียดของเปลือกโลก

การวางตัวแนวระดับ(Strike) การวัดทิศทางในระนาบระดับที่ทำมุมกับทิศเหนือไปตามเข็มนาฬิกา มีหน่วยเป็น องศา

มุมเท(Dip) การวัดมุมเอียงเทของระนาบโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่ทำกับแนวระดับ และทิศทางแนวเทจะต้องตั้งฉากกับทิศทางการวางตัวแนวระดับและมีค่ามากกว่า 90 องศา โดยมีหน่วยเป็น องศา

มุมกด(Plunge) การวัดมุมเอียงเทของแกนชั้นหินคดโค้ง หรือลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาอื่นๆที่เป็นเชิงเส้น โดยวัดมุมที่ทำกับแนวระดับ โดยมีหน่วยเป็น องศา

การวางตัวชั้นหิน(Rock attitude) การวัดระนาบการวางตัวของชั้นหินที่ประกอบด้วยการวางตัวแนวระดับ และมุมเท

โครงสร้างธรณีวิทยา(Geological structure) การเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือ ลักษณะของหินทั้งภายในและภายนอก

เส้นสัมผัสหมวดหิน(Contact boundary) เส้นแนวรอยต่อระหว่างหิน 2 หมวดหิน ใน 2 มิติมีลักษณะเป็นเส้น และใน 3 มิติมีลักษณะเป็นพื้นผิว

1.7. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้งานบนโปรแกรมอาร์กวิว 8.1 ขึ้นไป ที่สามารถแสดงผลข้อมูลธรณีวิทยาในมิติที่ 3 แบบโดยมีทั้งแบบจำลองพื้นผิวและภาพตัดขวาง

1.8. วิธีดำเนินการวิจัย

1.8.1. ศึกษารวบรวมแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1) ศึกษากระบวนการการทำงานของแบบจำลองและโครงสร้างข้อมูล

2) กฎและทฤษฎีทางธรณีวิทยา

1.8.2. การวิเคราะห์และออกแบบ

1) ข้อมูลนำเข้า

2) การออกแบบโปรแกรม

3) การวิเคราะห์ข้อมูล

1.8.3. การเตรียมข้อมูลสำหรับการสร้างแบบจำลอง

1) การวิเคราะห์โครงสร้างธรณีวิทยาของแต่ละรูปปิด

2) การจำแนกกลุ่มหินตามโครงสร้างธรณีวิทยา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3) การเรียงลำดับกลุ่มหิน

4) การเรียงลำดับหมวดหินแต่ละกลุ่มหิน

5) ข้อมูลเส้นลำดับ

1.8.4. การพัฒนาฟังก์ชันสำหรับแบบจำลองธรณีวิทยา 3 มิติ

1) การกำหนดขอบเขตการจำลอง

2) การเตรียมข้อมูลแบบจำลอง TIN (Triangulated Irregular Network)

3) การสร้างแบบจำลอง TIN

4) การดึงข้อมูลเส้นในแนวตัดขวาง

5) การแปลงข้อมูล 3 มิติเป็น 2 มิติ

6) การหาความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ

7) การแปลงข้อมูล 2 มิติเป็น 3 มิติ

1.8.5. การทดสอบฟังก์ชัน

1.8.6. สรุปผลการทำงาน, ข้อเสนอแนะและจัดพิมพ์รายงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

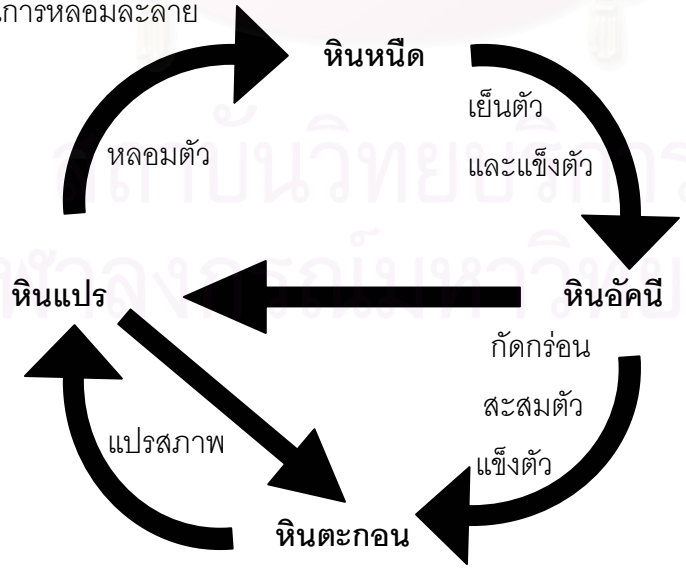
บทที่ 2

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1. หลักการธรณีวิทยา

2.1.1. หิน (ปัญญา และคณะ, 2545)

หมายถึง มวลสารที่เป็นของแข็งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติจากอนินทรีย์วัตถุ หรืออินทรียวัตถุที่เป็นส่วนประกอบของผิวโลกที่อยู่ลึกลงไปจากผิวดินจนถึงใต้ดิน 50-100 กิโลเมตร ส่วนใหญ่หินประกอบด้วยแร่ต่างๆ หินแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดตามสภาพการเกิดคือ 1. หินอัคนี (Igneous rock) คือ หินที่เกิดจากการรวมตัวของแร่ที่ตกผลึกจากการเย็นตัวและแข็งตัวของสารหลอมละลายหรือหินหนืด (Magma) ที่อุณหภูมิสูง และประกอบด้วยสารประกอบจำพวกซิลิเกตเป็นส่วนใหญ่ที่มีการกำเนิดอยู่ใต้ผิวโลกและบนผิวโลก 2. หินตะกอน (Sedimentary rock) คือ หินที่เกิดจากการแข็งตัวและอัดตัวของตะกอนเศษหินหรือสารละลายที่ถูกกัดกร่อนออกมา โดยลมและน้ำพัดพามาและสะสมตัวบริเวณที่ต่ำๆของผิวโลก 3. หินแปร (Metamorphic rock) คือ หินที่เปลี่ยนแปลงมาจากหินอัคนี หรือหินตะกอน หรือหินแปรเองโดยกระบวนการแปรสภาพทางกายภาพและทางเคมี ในสภาพของแข็ง ณ ที่อุณหภูมิและความดันสูง ในระดับที่ลึกใต้ผิวโลกโดยหินไม่ผ่านการหลอมละลาย

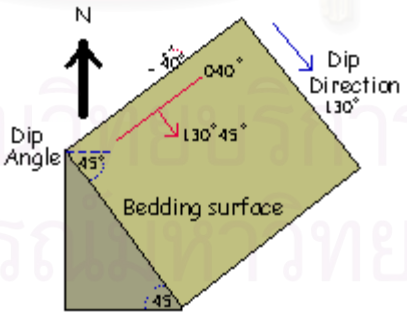


รูปที่ 2.1 วัฏจักรหิน (จาก http://www.rockwalkpark.com/htm2/rockclass.htm)

การกำเนิดของหินอธิบายตามรูปที่ 2.1. โดยยุคแรกๆหินที่เกิดขึ้นเป็นหินจำพวกหินอัคนี เมื่อโลกค่อยๆเย็นตัวลง ในกระบวนธรรมชาติมีการกระทำของน้ำ คลื่น แสงแดด และลม ทำให้หินอัคนี หินแปร หรือหินตะกอนกัดกร่อนพังลง ตะกอนที่เกิดจากการผุพังก็มีการสะสมตัวใหม่และเมื่อสะสมตัวมากๆจะเกิดการอัดทับถมกันจนกลายเป็นหินตะกอน และในขณะเดียวกันโลกมีการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกตลอดเวลา ทำให้เกิดแรงเค้นมหาศาลที่ผลักดันให้หินถูกบดอัดด้วยอุณหภูมิและความดันสูงภายใต้ผิวโลก หินเดิมจึงแปรสภาพเปลี่ยนเป็นหินแปร และบริเวณเกิดการแปรสภาพที่รุนแรงในระดับลึกมากอาจทำให้หินเกิดการหลอมเหลวอีกครั้ง หินที่หลอมเหลวนั้นจะแทรกดันและเย็นตัวลงเกิดเป็นหินอัคนีได้อีกครั้ง และวัฏจักรของหินก็ยังคงเกิดขึ้นจนถึงปัจจุบันมีระยะเวลายาวนานมากกว่า 4000 ล้านปี จึงทำให้โครงสร้างธรณีวิทยาของหินมีความสลับซับซ้อน

2.1.2. **การลำดับชั้นหิน**(Stratigraphy)

การเกิดของหินตะกอน ส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นมักจะวางตัวในแนวระดับและมีการวางตัวซ้อนกันเป็นชั้นๆ ตามกฎการวางตัวแนวระดับ(Law of Original Horizontality) เมื่อตะกอนทับถมใหม่ๆจะมีการวางตัวแนวระดับ การที่ชั้นหินมีการเอียงเทได้นั้นเกิดการเปลี่ยนรูปภายหลังการสะสมตัวของตะกอนโดยแรงที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก และน้ำหนักการสะสมตัวของตะกอนเอง และการลำดับความแก่อ่อนของชั้นหินก็สามารถอธิบายโดยกฎการวางซ้อน(Law of Stratigraphic Superposition) ที่สรุปว่าชั้นหินที่วางตัวอยู่บนย่อมเกิดที่หลังหรืออ่อนกว่าชั้นหินที่วางตัวอยู่ข้างล่าง ถ้าหากชั้นหินไม่มีการตลบทับ(Overturned)



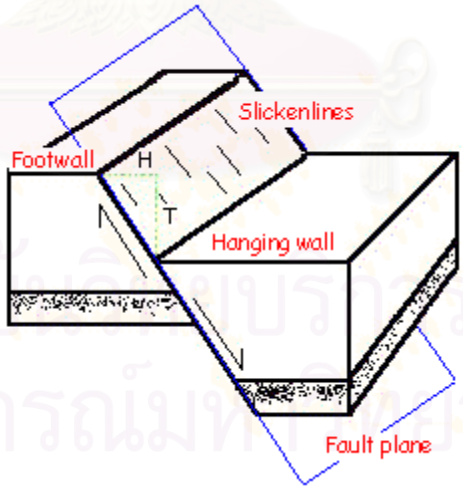
รูปที่ 2.2 การวัดการวางตัวแนวระดับและมุมเท (จาก http://www.chipr.sunysb.edu/eserc/SummerEducationalInterns/Linda/structuralguide.html)

รูปที่ 2.2. อธิบายถึงการวัดระนาบการวางตัวชั้นหิน รอยแตก และรอยเลื่อนจะต้องวัด 2 ค่าคือ การวางตัวแนวระดับ(เส้นที่ตั้งฉากกับทิศทางมุมเท) และมุมเท การวัดการวางตัวมี

หลายรูปแบบแต่ในที่นี้จะกล่าวถึงแบบที่นิยมกันในประเทศไทย คือ การวัดการวางตัวแนวระดับที่ทำมุมกับทิศเหนือไปตามเข็มนาฬิกา และการวัดมุมเทที่ทำมุมกับแนวระดับในแนวดิ่ง มุมเทจะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 90 องศา และทิศทางการวางตัวแนวระดับจะมีค่าน้อยกว่าทิศทางของมุมเทเท่ากับ 90 องศา และมีตัวอย่างการวางตัว เช่น 40 $^{\circ}$ /45 $^{\circ}$(ตามรูปที่ 2.2), 210 $^{\circ}$ /70° และ 70 $^{\circ}$ /30 $^{\circ}$ ส่วนการวัดแนวทิศทางการเลื่อนตัวของรอยเลื่อน จะวัดเช่นเดียวกับการวัดทิศทางของเวกเตอร์ ทิศทางการวัดในแนวระดับจะมีค่าเท่ากับทิศทางการเลื่อนตัว เพราะการวัดจะวัดบนเส้น 3 มิติมิได้วัดบนระนาบ 3 มิติ

2.1.3. โครงสร้างธรณีวิทยา

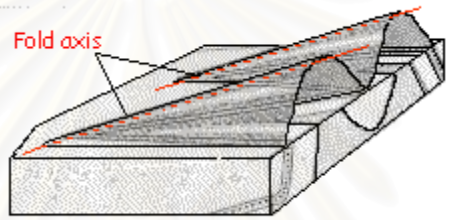
การเปลี่ยนรูปหิน (Deformation of rocks) หินมีการเปลี่ยนรูปเมื่อมีแรงเค้น (Stress) ภายนอกมากระทำภายใต้ความดัน, อุณหภูมิ และช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ทำให้หินมีการเปลี่ยนรูปในแบบต่างๆ ในที่นี้จะกล่าวถึงการเปลี่ยนรูปแบบรอยเลื่อน(Fault)และแบบคดโค้ง (Fold) การเปลี่ยนรูปแบบรอยเลื่อน เกิดในสภาพของหินที่มีความยืดหยุ่นต่ำทำให้เกิดการแตกหักของหินและแรงที่มากระทำยังมีต่อเนื่องจนทำให้หินเกิดการเลื่อนตัวออกจากกัน ในทิศทางของแรงที่มากระทำ ทำให้เกิดเลื่อนตัวในแบบต่างๆ ส่วนการเปลี่ยนรูปแบบคดโค้ง เกิดในสภาพของหินที่มีความยืดหยุ่นสูงเนื่องจากอยู่ภายใต้แรงดันและอุณหภูมิสูง ทำให้ชั้นหินเกิดการคดโค้งโก่งงอ



รูปที่ 2.3 การเลื่อนตัวของรอยเลื่อนแบบปกติ (จาก http://www.chipr.sunysb.edu /eserc/SummerEducationalInterns/Linda/structuralguide.html)

การเปลี่ยนรูปแบบรอยเลื่อนทำให้หินมีการแตกหักเป็นระนาบ และมีแรงเค้นกระทำต่อเนื่องทำให้หินที่อยู่คนละด้านของรอยแตกมีการเคลื่อนตัวออกจากกันตามรูปที่ 2.3. ในทิศทางตามแรง ระนาบที่แตกหักเรียกว่า ระนาบรอยเลื่อน(Fault plane) และรอยเลื่อนที่ปรากฏตัวบน

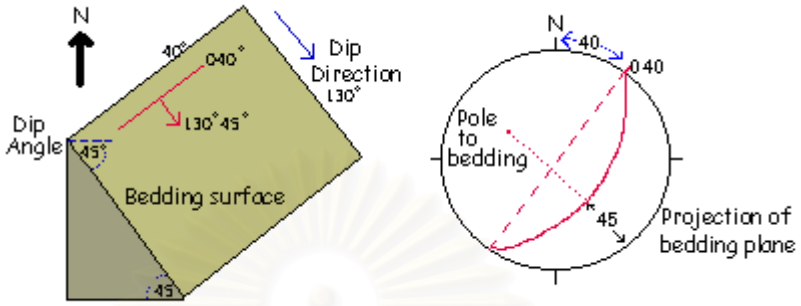
พื้นดินเรียกว่า แนวรอยเลื่อน(Fault line) และในการสำรวจจะบอกได้ว่ารอยเลื่อนมีความสัมพันธ์กันแบบใดโดยเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 2 ด้านของรอยเลื่อน รวมทั้งทิศทางการวางตัวระนาบของรอยเลื่อนซึ่งมีหลายรูปแบบเช่น รอยเลื่อนปกติ(Normal fault) รอยเลื่อนย้อนหรือรอยเลื่อนผิดวิสัย (Reverse fault) รอยเลื่อนแนวระดับ(Strike slip fault) และอื่นๆ แต่ในการศึกษามิได้แบ่งรอยเลื่อนออกเป็นตามชนิดของรอยเลื่อน แต่จะใช้การกำหนดของการวางตัวระนาบรอยเลื่อน ขนาดของรอยเลื่อน ทิศทางการเลื่อนตัว และระยะการเลื่อนตัว เป็นตัวกำหนดรอยเลื่อนซึ่งถ้าจะจำแนกในภายหลังก็สามารถทำได้ และระนาบรอยเลื่อนในการศึกษาจะให้เป็นเพียงระนาบเรียบเท่านั้น เนื่องจากข้อมูลจากแผนที่ไม่ค่อยมีรายละเอียดมากพอในมิติที่ 3



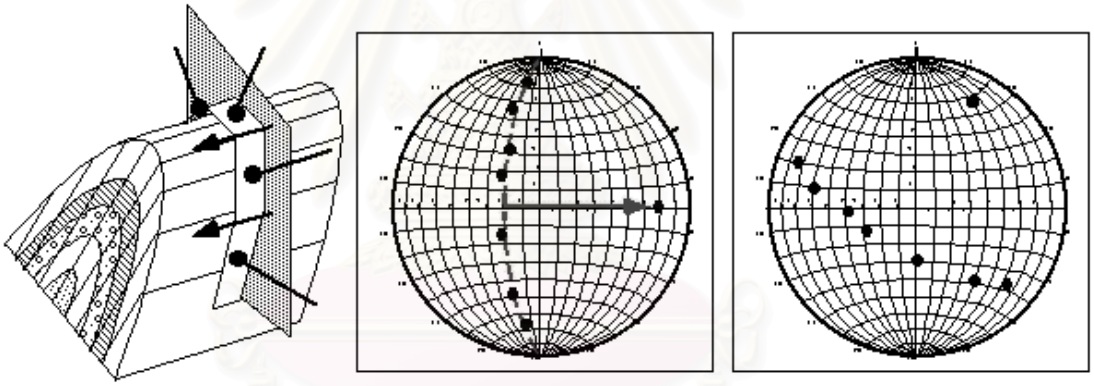
รูปที่ 2.4 การคดโค้งโก่งอของชั้นหิน (จาก http://www.chipr.sunysb.edu /eserc/SummerEducationalInterns/Linda/structuralguide.html)

การเปลี่ยนรูปแบบคดโค้งของชั้นหินมีรูปแบบหลายรูปแต่ในที่นี้จะกล่าวถึง การคดโค้งแบบประทุนคว่ำ และประทุนหงายเท่านั้น และโครงสร้างของการคดโค้งก็จะเป็นเพียงอย่างง่าย โดยมีการวัดค่าอย่างน้อย 3 ค่าที่จะบอกถึงลักษณะของการคดโค้งดังต่อไปนี้ ค่าแรกคือ แกนคดโค้ง(Fold axis, รูปที่ 2.4.)มีลักษณะเป็นเวกเตอร์ 3 มิติ โดยวัดแบบวัดทิศทางที่มีการวัดทิศทางแนวระดับของแกนคดโค้ง และมุมระหว่างแนวระดับและมุมเอียงเทของแกนคดโค้งเรียกว่า มุมกด (Plunge) ส่วนค่าที่ 2 และ 3 คือ แขนการคดโค้ง(Fold limb)ซึ่งมีลักษณะเป็นระนาบ 3 มิติ โดยการคดโค้งจะมี 2 แขนการคดโค้ง แต่ละแขนการคดโค้งจะวัดแบบระนาบชั้นหินคือมีค่าการวางตัวในแนวระดับและมุมเท การวัดการคดโค้งมักทำได้ง่ายถ้าการคดโค้งมีขนาดเล็ก แต่ถ้าการคดโค้งมีขนาดใหญ่ ก็จะใช้ข้อมูลการวัดการวางตัวของชั้นหินทั้งบริเวณมาทำการวิเคราะห์โดย Stereonet การลงจุดแบบนี้เรียกว่า การลงค่าแบบ Pole รูปที่ 2.5. โดยทำการลงค่าการวางตัวของแต่ละจุดลงใน Stereonet การแทนค่าแต่ละจุดด้วยค่าการวางตัวแนวระดับจะวัดมุมที่ทำมุมกับทิศเหนือใน Stereonet ซึ่งมีทิศเหนือกำกับอยู่ ทิศทางของ pole มีค่ามากกว่าทิศทางการวางตัวแบบเรียบ 270 องศา และค่ามุมเทจะมีค่า 90 ที่ขอบวงกลม และ 0 ที่ศูนย์กลางวงกลม ผลจากการลงจุดจะได้การ

กระจายของจุดซึ่งจะบอกถึงรูปร่างและทิศทางของการคดโค้งโก่งงอของชั้นหิน ตามรูป 2.6. จุดเดี่ยวที่อยู่นอกแถวของแนวจุดคือ แกนการคดโค้ง



รูปที่ 2.5 ค่าการวางตัวที่ใช้ลงค่า Pole บน Stereonet (จาก http://www.chipr.sunysb.edu/eserc/SummerEducationalInterns/Linda/structuralguide.html)



รูปที่ 2.6 การคดโค้งของชั้นหินที่ลงค่าบน Stereonet (จาก http://tesla.jcu.edu.au/~glpww/Webpages/EA2005/Stereonets/stereonets.html)

เมื่อได้ค่ากระจายตัวของจุดแล้ว ก็ทำการหาความหนาแน่นในแต่ละกลุ่มจุดที่ เพื่อใช้สร้างเส้นชั้นความหนาแน่นของข้อมูลที่จะบอกได้ถึงรูปร่างการคดโค้ง ในการวัดค่าการคดโค้งจะต้องเลื่อนกลุ่มของข้อมูลจุดส่วนใหญ่วางตัวอยู่บนเส้นที่ลากระหว่างขั้วของ Stereonet หรือเรียกเส้นนี้ว่า Great circle จุดตั้งฉากกับจุดกึ่งกลางความโค้งของเส้น Great circle บอกถึงทิศทางและมุมกดแกนคดโค้ง และตำแหน่งของเส้น Great circle บอกถึงค่าการแนววางตัวแนวของระนาบที่ตั้งฉากกับแกนคดโค้ง เมื่อได้ค่าแกนคดโค้งแล้ว ในขั้นตอนถัดไปจะใช้ค่าการกระจายตัวของข้อมูลในการบอกรูปร่างการคดโค้ง ซึ่งโดยทั่วไปมักจะแบ่งได้ 2 กลุ่ม เมื่อแบ่งการกระจายตัวของการข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม และที่ศูนย์กลางของแต่ละกลุ่มก็คือค่าการวางตัวของระนาบ

แขนการคดโค้ง หรือระนาบชั้นหินแต่ละด้านของการคดโค้ง ค่าที่วัดได้แต่ละค่าของการคดโค้งต้องวัดบน Stereonet เท่านั้น

2.1.4. แผนที่ธรณีวิทยา

การทำแผนที่ธรณีวิทยามักจะเริ่มต้นจาก การหาข้อมูลจากภาพถ่ายทางอากาศโดยทำการแปลความหมายจากภาพถ่ายทางอากาศโดยกล้องดูภาพ 3 มิติ(Stereoscope) ข้อมูลที่ได้จากการแปลความหมายภาพถ่ายทางอากาศ ทำให้ประเมินสภาพธรณีวิทยาอย่างกว้างของบริเวณที่ศึกษา และจะใช้ข้อมูลดังกล่าวประกอบในการวางแผนการออกภาคสนามเพื่อทำการเก็บและตรวจสอบข้อมูลในรายละเอียดอีกครั้ง ข้อมูลที่ได้ทั้งหมดจะต้องนำมาลงประกอบในแผนที่และทำการหาความสัมพันธ์ของผลการแปลความหมายและผลการออกภาคสนาม ผลการรวมข้อมูลจะออกมาในรูปของการจินตนาการ 3 มิติของชั้นหินและธรณีวิทยาโครงสร้างที่มีความสัมพันธ์กัน และจะถูกถ่ายทอดออกมาในรูปของแผนที่ 2 มิติและภาพตัดขวาง ที่ประกอบด้วยข้อมูลหมวดหินและโครงสร้างธรณีวิทยา

2.2. ข้อมูลธรณีวิทยาที่ใช้ในการวิจัย

ในการศึกษานี้ใช้ข้อมูลธรณีวิทยาในการสร้างจำลอง ข้อมูลธรณีวิทยาที่ใช้ในการนำเข้ามีลักษณะดังนี้

2.2.1. ข้อมูลสนาม

ข้อมูลดิบที่บันทึกในสมุด ได้แก่ ข้อมูลตำแหน่งของหิน(พิกัด UTM), ขนาดของหิน โผล่ ชนิดหิน คุณสมบัติของหิน การวางตัวชั้นหิน ข้อมูลเหล่านี้เมื่อนำเสนอในการศึกษาครั้งนี้จะอยู่รูปตาราง และแทนตำแหน่งของข้อมูลนี้ด้วยจุด ข้อมูลที่สำคัญคือชนิดหินและการวางตัวชั้นหิน

2.2.2. ข้อมูลแผนที่ธรณีวิทยา

ที่ได้จากการแปลความหมายจากภาพถ่ายทางอากาศ (อาจรวมกับข้อมูลสำรวจภาคสนามแล้วก็ได้) บนแผนที่ธรณีวิทยาจะประกอบด้วยข้อมูลหลายแบบแต่ในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย โดยประกอบด้วยข้อมูลต่างๆดังนี้

2.2.2.1. ขอบเขตหมวดหิน(Rock unit boundary) บนแผนที่มีลักษณะเป็นรูปปิดและมีข้อมูลการวางตัวประกอบอยู่ด้วย แต่ในสภาพแบบ 3 มิติมีลักษณะเป็นโซลิดโมเดล

2.2.2.2. รอยเลื่อน มีลักษณะเป็นระนาบที่อาจจะเรียบหรือไม่ก็ได้ ข้อมูลนี้แสดงบนแผนที่ 2 มิติจะเป็นเพียงข้อมูลเส้นเท่านั้น

2.2.2.3. เส้นสัมผัสหมวดหิน มีลักษณะเป็นระนาบที่อยู่ระหว่างหิน 2 หมวดหิน เมื่ออยู่บนแผนที่ 2 มิติจะแสดงเป็นข้อมูลเส้น โดยข้อมูลนี้เป็นส่วนหนึ่งของข้อมูลขอบเขตหมวดหิน ในที่นี้จะใช้เฉพาะเส้นสัมผัสที่มีความต่อเนื่อง คือหมายถึงการไม่มีช่องว่างของกาลเวลาระหว่างหมวดหิน 2 ชุด

2.3. ความสัมพันธ์ของข้อมูลธรณีวิทยาและข้อมูลเชิงปริภูมิ

ลักษณะข้อมูลข้างต้นจะสามารถเทียบเคียงระหว่าง ข้อมูลธรณีวิทยาและข้อมูลเชิงปริภูมิ(Spatial data) ทั้งในแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ โดยข้อมูลเชิงปริภูมิ 2 มิติประกอบด้วย ข้อมูลจุด, เส้น, และรูปปิด ที่มีพิกัด 2 ค่า และข้อมูลเชิงปริภูมิ 3 มิติประกอบด้วย ข้อมูลจุด, เส้น, พื้นผิว และ โซลิดโมเดล ที่มีพิกัดทั้งในแนวระนาบระดับและแนวดิ่งคือมี 3 ค่า ข้อมูลธรณีวิทยาสามารถแสดงทั้งในรูปแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ การแสดงวัตถุชนิดเดียวกันในแบบ 2 มิติและ 3 มิติจะแสดงด้วยรูปแบบคนละแบบกัน ดังมีความสัมพันธ์กันตามตารางที่ 2.1.

ตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลธรณีวิทยาและข้อมูลเชิงปริภูมิ

ข้อมูลธรณี	**ข้อมูลเชิงปริภูมิ 2 มิติ**	**ข้อมูลเชิงปริภูมิ 3 มิติ**
จุดตัวอย่างหิน	จุด	จุด
รอยเลื่อน	เส้น	พื้นผิว
ขอบเขตหิน	รูปปิด	โซลิดโมเดล
แนวสัมผัสหมวดหิน	เส้น	พื้นผิว

2.4. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Cox, Watson, Hornby และ Gunn(1997) กล่าวถึงแบบจำลองธรณีวิทยา 3 มิติอย่างซับซ้อนจะต้องมีการพัฒนาอีกมาก จึงจะสำเร็จโดยมีปัจจัยขึ้นกับภาษาการเขียนโปรแกรม การสร้างแบบจำลองข้อมูลที่มีหลายๆชนิดที่ให้ประโยชน์ได้ การสร้างเครื่องมือที่ง่ายต่อการตอบโต้ และรวมถึงการพัฒนาเทคนิคใหม่ ทั้งนี้ได้กล่าวถึงชนิดของแบบจำลอง ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง 3 มิติที่มีการแปลความหมายแบบตอบโต้ การนำเข้าและออกของข้อมูล การแสดงผล และการจำลองแบบพื้นผิว

Lattuada(1998) เขียนวิทยานิพนธ์เรื่องการเทียบเคียงใช้หลักการเชิงสามเหลี่ยมในการสร้างแบบจำลองธรณีวิทยา 3 มิติ โดยเปรียบเทียบการสร้างแบบจำลองในแบบต่างๆ รวมทั้งกล่าวถึง Algorithm ต่างๆในการสร้างแบบจำลองทั้งในแบบ 2 และ 3 มิติ และข้อจำกัดในการใช้วัตถุเชิงสามเหลี่ยมทั้งในการจัดการและส่วนแสดงผล ข้อมูลทางธรณีที่ใช้ศึกษานี้กล่าวโดยรวมโดยไม่จำเพาะเจาะจงชนิดข้อมูล

Richard(1999) ศึกษาถึงแนวคิดแบบจำลองธรณีวิทยาในเรื่องเนื้อหินและลักษณะธรณีวิทยาพื้นฐานอื่นๆ การจำแนกเนื้อหินแบ่งตามระดับของการการแข็งตัว (consolidation) องค์ประกอบเนื้อหิน และชนิดการกำเนิด แนวคิดแบบจำลอง(Conceptual models)ใช้ Object-Role Model(ORM)ในการแสดงแบบจำลองข้อมูล ซึ่งมีการแสดงถึงข้อมูลในเชิงปริมาตรเชิงตัวเลข (Scalar quantity) และการวิเคราะห์เชิงเศษส่วน(Fractional analysis) รวมไปถึงผังการจำลองธรณีวิทยาพื้นผิว

Li, Cao และ Zhu(2001) ได้กล่าวถึงแบบจำลองข้อมูลเหมืองแร่แบบ 3 มิติและข้อคิดต่างๆ โดยกล่าวถึงแบบจำลอง 3 มิติในแบบต่างๆทั้งข้อดีและข้อเสียในแต่ละแบบจำลอง และให้ข้อคิดในแง่ความซับซ้อนของข้อมูล ความสามารถที่แตกต่างกันในแต่ละแบบจำลอง ความซับซ้อนในทางธรณีวิทยา และการหาปริมาตรภายใน

Apel(2001) เขียนเรื่องการพัฒนา GIS 3 มิติบนแบบจำลอง 3 มิติ Gocad ซึ่งการฟังก์ชันทำงานบนข้อมูล 3 มิติจะมีการคัดเลือก(Query)ทั้งเชิงตำแหน่งและช่วงเวลา รวมทั้งในส่วนแสดงผลของการคัดสรรข้อมูล และก้าวต่อไปของเรื่องนี้จะก้าวไปทางการคัดสรรที่มีความหลากหลายมากขึ้น การขาดการปฏิบัติระหว่างกัน(Inter-operability)

การประยุกต์ใช้ของการแสดงภาพ 3 มิติทางธรณีวิทยาผ่านโปรแกรม ArcView โดยใช้ภาษา Avenue เขียนให้เป็น Extension ใน ArcView โดยมีผู้เขียนขึ้นมาให้สามารถแสดงผลข้อมูลของโครงสร้างธรณีวิทยา(การวางตัวของชั้นหิน รอยแตก และ Lineament)และ การแสดงผลหลุมเจาะที่เปรียบเทียบกับข้อมูลธรณีฟิสิกส์และบางส่วนของโครงสร้างธรณีวิทยา โดยทั้ง 2 แบบพัฒนาโดย New Jersey Geological Survey

นอกจากนี้ยังมีการเขียนโปรแกรมประยุกต์บน ArcView ชื่อ GeoEditor ที่พัฒนาโดย DHI Water & Environment(Denmark) และร่วมมือกับ Geological Survey of Denmark and Greenland (GEUS) เพื่อใช้ในงานการเปรียบเทียบแบบจำลองธรณีวิทยาจากข้อมูลหลุมเจาะกับข้อมูลธรณีฟิสิกส์ ที่แสดงในลักษณะภาพตัดขวาง

นอกจากนี้ Ianko Tchoukanski ได้พัฒนาโปรแกรมประยุกต์ Profile Extractor 6.0 for 3D Analyst เพื่อทำการสร้างภาพตัดขวางของลักษณะภูมิประเทศจาก TIN หรือ Grid

Marieke, Jim Borer และ Donna (2004) ได้ทำการศึกษาในการนำเข้าข้อมูลหินโผล่ในสนามจนกระทั้งออกมาเป็นแบบจำลองธรณีวิทยาแอ่งสะสมตัว โดยทำงานผ่านชุดโปรแกรมของบริษัท Environmental System Research Institute (ESRI) การทำงานจะเก็บข้อมูลภาคสนามนำเข้าโดย ArcPad และส่งผ่านข้อมูลไปยังระบบฐานข้อมูลของ ArcView ทำการวิเคราะห์และแสดงผลด้วย ArcView Spatial และ ArcView 3D Analyst ข้อมูลที่ได้จะเป็นแผนที่การสะสมตัวแบบทางน้ำ และภาพตัดขวาง แล้วจึงนำข้อมูลเข้าไปสร้างเป็นแบบจำลองธรณีวิทยาแอ่งสะสมตัว 3 มิติโดยใช้โปรแกรม GoCad

จากงานศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าการสร้างแบบจำลองธรณีวิทยา 3 มิติได้มีการทำงานบนโปรแกรมที่หลากหลาย และรูปแบบของแบบจำลองก็มีหลายรูปแบบ แต่โปรแกรมที่เด่นในเรื่องแบบจำลอง คือโปรแกรม GoCad และราคาของโปรแกรมก็สูงมาก และการใช้โปรแกรมจะต้องเป็นผู้สนับสนุนการเงิน ให้กับสมาคมโดยผู้สนับสนุนมีทั้งที่เป็นบริษัทและสถาบันการศึกษา และในระดับราคาที่ถูกมากคือโปรแกรมอาร์กวิว ที่มีการใช้งานทางด้านนี้พอสมควร แต่ก็จะเป็นงานที่เฉพาะแต่ละด้าน ส่วนการพัฒนาบนโปรแกรมอาร์กวิวโดยใช้ภาษา ArcObject ยังไม่มีสำหรับงานที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองธรณีวิทยาโดยตรง

2.5. แนวคิดการแสดงผลแบบจำลอง

โปรแกรมระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ ที่ใช้แสดงผลข้อมูลธรณีวิทยาในการวิจัยครั้งนี้ได้แก่ โปรแกรมอาร์กวิว 8.1 เพราะเป็นที่นิยมในการใช้งานทางด้านธรณีวิทยาโดยเฉพาะประเทศทางฝั่งด้านประเทศสหรัฐอเมริกาที่นิยมใช้ข้อมูลประเภท Shape files (*.shp) ในหลายหน่วยงาน โดยรวมทั้งหน่วยงานทางด้านธรณีวิทยาด้วย โปรแกรมอาร์กวิวมีความสามารถในการจัดการ การวิเคราะห์และประมวลผล ความสัมพันธ์ทางด้าน topology รวมทั้งการแสดงผลได้อย่างดี และข้อดีอีกประการหนึ่งของโปรแกรมอาร์กวิวคือมีการพัฒนาทางด้าน Topology และฟังก์ชัน 3 มิติมานานพอสมควร ทำให้เชื่อได้ว่าน่าจะมีคุณสมบัติในการสร้างและจัดการข้อมูลที่เป็นแบบ 3 มิติ โดยเป็นโปรแกรมอีกชุดหนึ่งในชุดโปรแกรมอาร์กวิว มีชื่อว่า 3D Analyst 1.0 ที่รองรับการทำงานแบบ 3 มิติได้

โปรแกรมอาร์กวิวมีการแสดงผลแบบ 3 มิติในส่วนโปรแกรมที่ชื่อ ArcScene ที่ใช้แสดงผลข้อมูลที่เป็น 3 มิติ แต่ไม่สามารถแก้ไขรายละเอียดที่อยู่ในแฟ้มข้อมูลได้ การแสดงผล

ข้อมูล 2 มิติก็ทำได้แต่เป็นรูปแผ่นเรียบธรรมดา แต่ก็สามารถสร้างให้เป็นข้อมูล 3 มิติได้โดยใช้ข้อมูลพื้นผิวอื่นทั้งแบบเวกเตอร์และแบบราสเตอร์ หรือไม่ก็ใช้ข้อมูลที่อยู่ในส่วนของอรรถาธิบายของแฟ้มข้อมูลนั้นก็จะสามารถสร้างเป็นข้อมูล 3 มิติได้แต่ต้องใช้การจัดการและวิเคราะห์ของโปรแกรม 3D Analyst ทำให้เป็นข้อมูล 3 มิติ ข้อมูลในโปรแกรมอาร์กวิวแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ

2.5.1. **แบบจำลองพื้นผิว**

การจำลองแบบพื้นผิวในโปรแกรมจะแบ่งกลุ่มได้เป็น 2 กลุ่มคือแบบ TIN และแบบราสเตอร์ ลักษณะการแสดงผลจะเป็นแบบพื้นผิวภูมิประเทศที่มีเฉพาะผิวด้านบนและมีความสูงต่ำของพื้นที่ เรียกได้ว่าไม่มีความหนา การแสดงผลจะแสดงได้ทั้งแบบ TIN และราสเตอร์ ขึ้นอยู่กับการสร้างข้อมูล ในโปรแกรมเองก็สามารถปรับทิศทางและระยะของแสงที่ตกกระทบได้ การจัดมุมมองที่ทำให้มาตราส่วนในแนวดิ่งและแนวนอนให้ต่างกันได้โดยให้ค่าแนวนอนเท่ากับ 1 และให้กำหนดค่ามาตราส่วนในแนวดิ่ง รวมทั้งสามารถปรับความแตกต่างของแสง(Contrast) มุมมองในการดูวัตถุ 3 มิติก็สามารถดูได้ทุกมุมมอง และสามารถหมุนดูได้ 360 องศา

2.5.2. **แบบจำลองโซลิดโมเดล**

การแสดงแบบจำลองโซลิดโมเดลจะประกอบด้วยชิ้นงานวัตถุจำนวน 1 ชิ้นหรือมากกว่าประกอบกันเป็นรูปทรง 3 มิติต่างๆ แต่ถ้าแต่ละด้านประกอบกันเข้าสนิทพอดีจะทำให้มองเห็นว่ารูปทรงเป็นโซลิดโมเดล แต่ด้วยมุมมองของโปรแกรมสามารถเคลื่อนไหวทะลุผ่านชิ้นวัตถุได้โดยชิ้นวัตถุจะเป็นเพียงวัตถุแผ่นบางเท่านั้น หรือพูดอีกอย่างว่าไม่มีความหนาแต่ถ้าประกอบสนิททุกด้านจะทำให้มองเหมือนวัตถุมีความหนา เช่นการสร้างรูปทรงกระบอกเหลื่อมแต่ถ้าเปิดหัวและท้ายกระบอกจะดูเป็นท่อน้ำตามรูปที่ 2.7. ส่วนการแสดงผลจะเหมือนกับการแสดงแบบจำลองพื้นผิว

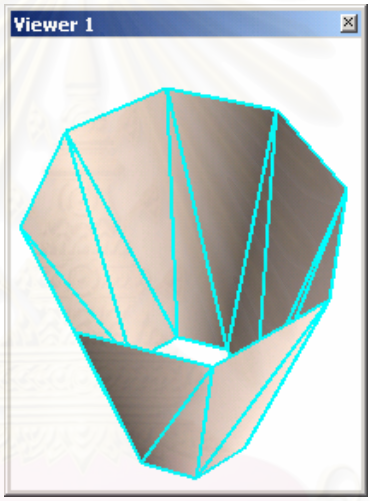
การศึกษาความสามารถของโปรแกรมอาร์กวิวในการแสดงแบบจำลอง 3 มิติ โปรแกรมจะเน้นความสามารถในการแสดงผลวัตถุ 3 มิติที่เป็นแบบพื้นผิว เส้น และจุด และโปรแกรมนี้ก็มีความสามารถในการแสดงผลแบบโซลิดโมเดลได้เป็นอย่างดี แต่การจัดการปฏิบัติการกับโซลิดโมเดลมีข้อจำกัดหลายอย่างทั้งการสร้างและการจัดการ ฉะนั้นข้อมูลโซลิดโมเดลที่ซับซ้อนควรจัดการโดยโปรแกรมอื่นที่เหมาะสมก่อนนำเข้า และบนโปรแกรมอาร์กวิวก็มีการสร้าง โซลิดโมเดลอย่างง่ายได้ 4 รูปแบบคือ

1) การเรียงแผ่นสามเหลี่ยมต่อเนื่องแบบแถบ(TriangleStrip) แต่ละจุดมุมของแผ่นสามเหลี่ยมจะต้องเรียงต่อกันตามลำดับเพื่อให้แผ่นสามเหลี่ยมจัดเรียงกันเป็นแถบดังรูปที่ 2.8.ก.

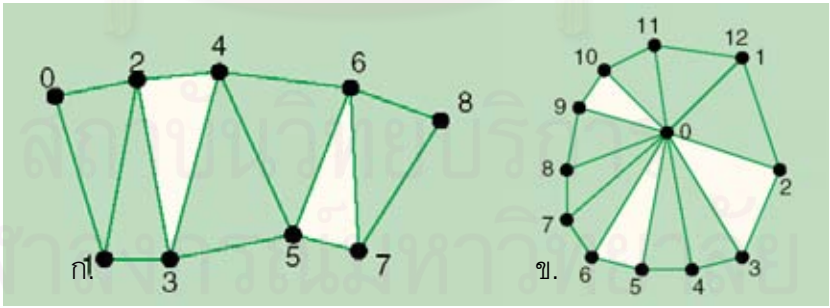
2) การเรียงแผ่นสามเหลี่ยมต่อเนื่องแบบวงกลม(TriangleFan) โดยมีจุดร่วมของแผ่นสามเหลี่ยมทุกรูปที่จุดเดียวกันและจุดมุมอื่นจะเรียงต่อกันตามลำดับดังรูปที่ 2.8.ข.

3) การเรียงแผ่นเรียบต่อเนื่อง(MultiPatch) โดยทุกจุดและด้านของรูปปิดเดี่ยวแผ่นเรียบอยู่บนระนาบเดียวกัน และจะมีกี่ด้านก็ได้ โดยที่แต่ละด้านของรูปปิดเดี่ยวแผ่นเรียบจะมีด้านต่อเนื่องกับด้านของรูปปิดเดี่ยวระนาบเรียบรูปอื่น

4) การสร้างความหนาให้รูปปิดใดๆ ที่อยู่ระหว่าง 2 พื้นผิว (ConstructExtrude) และพื้นผิวทั้ง 2 พื้นผิวจะต้องไม่ตัดกัน ผลที่ออกมาก็จะได้โซลิดโมเดลที่อยู่ระหว่าง 2 พื้นผิว และผนังด้านข้างตั้งฉากกับพื้นราบเท่านั้นดังรูปที่ 2.9. ขวามือ

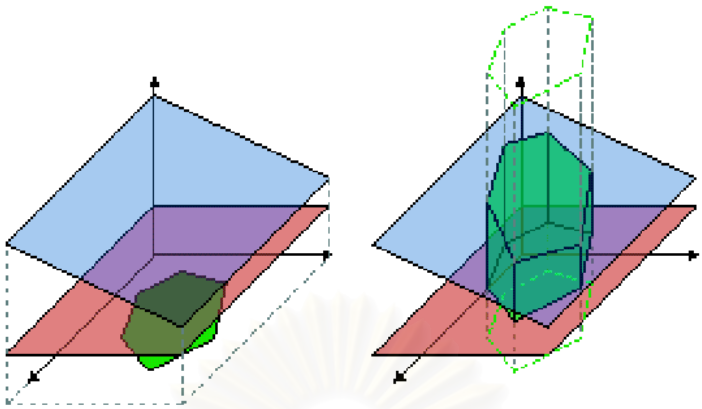


รูปที่ 2.7 รูปทรงกระบอกเหลื่อม



รูปที่ 2.8 การจัดเรียงแผ่นสามเหลี่ยม ก.) TriangleStrip ข.) TriangleFan

(Environmental System Research Institute, Inc., 2001.)



รูปที่ 2.9 การสร้างรูปทรง 3 มิติโดยวิธี ConstructExtrude

(Environmental System Research Institute, Inc., 2001.)

ฉะนั้นการสร้างโซลิดโมเดลแบบที่ 1 และ 2 จะสร้างได้ง่ายกับรูปทรงที่เป็นระเบียบ เพราะจะต้องกำหนดเรียงลำดับจุดที่สร้างให้ต่อเนื่องกันอย่างถูกต้อง และทุกด้านเรียงต่อกันจนเป็นรูปปิด การสร้างทั้งแบบที่ 1 และแบบที่ 2 จะเหมาะกับรูปทรงแต่ละแบบ ส่วนการสร้างโซลิดโมเดลแบบที่ 3 จะต้องรู้ว่าจุดของแต่ละรูปปิดเดี่ยวจะต้องอยู่บนระนาบเดียวกันเท่านั้น และแต่ละด้านของรูปปิดเดี่ยวแผ่นเรียบ จะต้องเรียงต่อเนื่องกับด้านอื่นของรูปปิดเดี่ยวแผ่นเรียบอันอื่นจนครบทุกด้าน แล้วประกอบเป็นโซลิดโมเดล ฉะนั้นการสร้างรูปทรงนี้จะต้องรู้ว่ามีระนาบเรียบทั้งหมดกี่ระนาบเรียบ และจุดร่วมของแต่ละระนาบเรียบอยู่ที่ใดบ้าง โดยสรุปแล้วการสร้างโซลิดโมเดลทั้ง 3 แบบแรกจะต้องรู้ตำแหน่งของจุดทุกจุดและการจัดเรียงลำดับ รวมทั้งรูปแบบการจัดเรียงในแต่ละแบบเพื่อที่จะกำหนดรูปแบบของโซลิดโมเดล 3 มิติ จากการกล่าวถึงการสร้างโซลิดโมเดลทั้ง 3 แบบจะมีความยากที่แตกต่างกันในแต่ละแบบ และการสร้างโซลิดโมเดลแบบที่ 4 จะไม่สามารถกำหนดรูปร่างด้านข้างได้ เพราะผนังด้านข้างจะต้องตั้งฉากกับระนาบราบ ดังนั้นการสร้างโซลิดโมเดลของโปรแกรมนี้เป็นเพียงการสร้างโซลิดโมเดลที่มีทรงสูง แต่ความสูงไม่จำเป็นต้องสม่ำเสมอเท่านั้น

ผู้พัฒนาโซลิดโมเดลบนโปรแกรมอาร์กวิวชื่อ Alexey และ Kyler (2003) ได้พัฒนาบน Visual Basic และ ArcObject ที่จะสร้าง Block diagram และ Fence diagram จากพื้นผิว 3 มิติ 2 พื้นผิว โดยในการทำงานของโปรแกรมจะสร้างโซลิดโมเดลที่อยู่ระหว่างพื้นผิว 3 มิติ 2 พื้นผิว ส่วนการสร้าง Fence diagram จะได้พื้นผิวโดยรอบของที่อยู่ระหว่างพื้นผิว 3 มิติ 2 พื้นผิว แต่ในกระบวนการสร้างก็ยังมีข้อจำกัดตรงที่ว่าพื้นผิวทั้ง 2 พื้นผิวจะต้องไม่มีการตัดกันของพื้นผิว หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือค่า Z ของทั้ง 2 พื้นผิวจะต้องไม่มีการซ้อนทับกันจึงจะสร้างโซลิดโมเดลได้ โดย

ฟังก์ชันนี้จะทำงานได้ในโปรแกรมอาร์กวิว 8.2 ขึ้นไป และอีกข้อคือการสร้างผนังของโซลิดโมเดล ผลจาการสร้างก็มีข้อจำกัดว่าผนังจะต้องสร้างตั้งฉากกับแนวระดับเท่านั้น จากข้อจำกัดในภาษา ArcObject ทำให้การสร้างโซลิดโมเดลในโปรแกรมอาร์กวิวไม่สามารถกระทำได้อย่างสมบูรณ์ การพัฒนาบนโปรแกรมอาร์กวิวของงานวิจัยครั้งนี้จึงเป็นการสร้างแบบจำลอง 3 มิติที่เป็นแบบพื้นผิวเท่านั้น

สรุปการสร้างโซลิดโมเดลกับวัตถุทางธรณีวิทยาพบว่า วัตถุทางธรณีวิทยาจะมีลักษณะรูปร่างที่ไม่แน่นอนมีทั้งส่วนโค้งเว้าในแบบต่างๆตามข้อมูล ความซับซ้อนของโซลิดโมเดลของวัตถุทางธรณีวิทยา ทำให้การสร้างแบบจำลองบนโปรแกรมอาร์กวิวมีข้อจำกัดในหลายๆเรื่อง เช่น การกำหนดแต่ละตำแหน่ง การจัดเรียงจุด และการลำดับแต่ละด้านของส่วนประกอบของโซลิดโมเดล นอกจากนี้โซลิดโมเดลแต่ละรูปต้องมีขอบเขตที่ชิดกันพอดี ฉะนั้นการสร้างโซลิดโมเดลของวัตถุทางธรณีวิทยาจะต้องมีเครื่องมือในการจัดการข้อมูลอีกมาก ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกการแสดงผลแบบจำลองแบบพื้นผิวและภาพตัดขวาง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การออกแบบและวิเคราะห์

แบบจำลองที่เลือกใช้ในโปรแกรมคือ แบบเวกเตอร์ เนื่องการสำรวจข้อมูลธรณีวิทยาภาคสนามส่วนใหญ่ข้อมูลเป็นแบบเวกเตอร์ กระบวนการเริ่มต้นด้วยการนำเข้าข้อมูลทั้ง 3 ประเภท ข้อมูลทั้งหมดที่ถูกนำเข้าจะต้องผ่านการวิเคราะห์และประมวลผล เพื่อให้ได้ข้อมูลผลลัพธ์ออกมาเป็นแบบจำลองธรณีวิทยา 3 มิติที่มีพิกัดอยู่ในระบบเดียวกัน มีการขั้นตอนออกแบบดังนี้

3.1. การวิเคราะห์ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

จากการศึกษาลักษณะข้อมูลทางธรณีวิทยาในบทที่ 2 ประกอบกับการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรมอาร์กวิว สามารถวางลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมได้ดังรูป 3.1. ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองมีกระบวนการหลักแยกเป็น 2 ขั้นตอนเพราะมีความแตกต่างในกระบวนการอย่างชัดเจน และการแบ่งการประมวลผลข้อมูลเบื้องต้นออกเป็นส่วนแรกเพื่อให้มีอิสระในเตรียมข้อมูลเส้นลำดับด้วยมือ การเตรียมข้อมูลในส่วนแรกเมื่อมีความชำนาญหรือรู้หลักการทางธรณีวิทยาเป็นอย่างดี จะสามารถใส่ตัวแปรอื่นๆ ทำให้ผลการจำลองข้อมูลมีรูปแบบตามต้องการโดยมิต้องใช้งานการเตรียมข้อมูลของโปรแกรมในส่วนแรก ฉะนั้นการแสดงผลแบบจำลองที่อยู่ในส่วนหลังเป็นในรูปแบบใดจะขึ้นกับข้อมูลที่ได้มาเป็นหลัก และมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

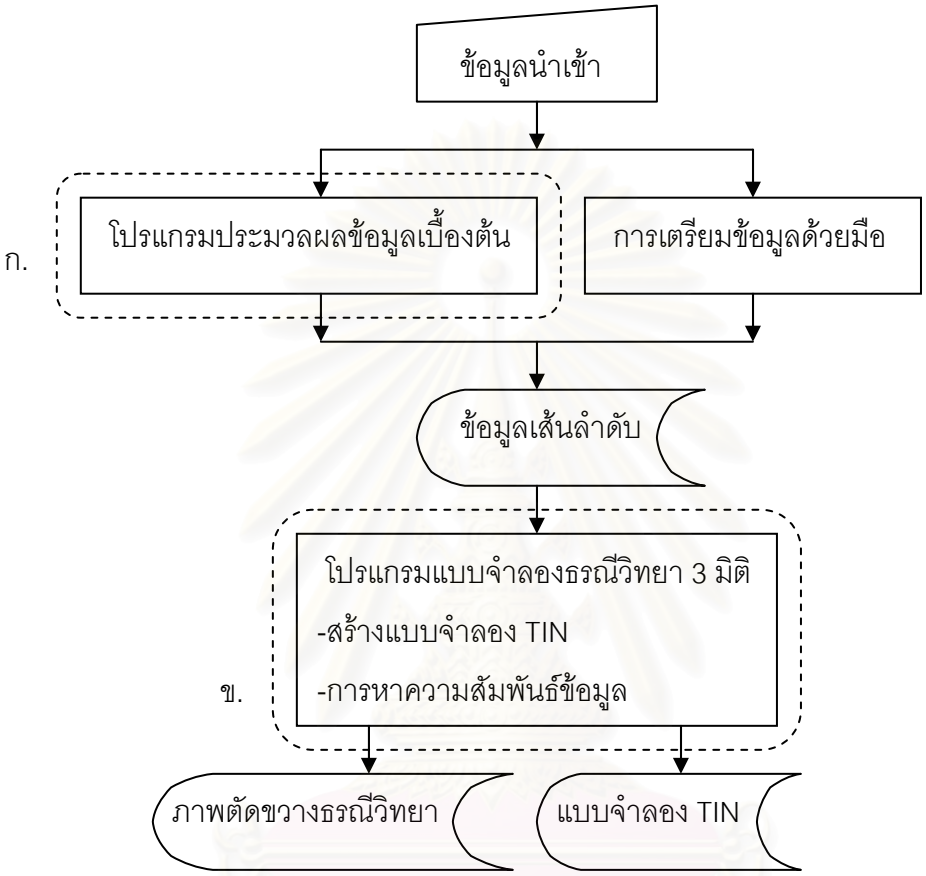
3.1.1. การนำเข้าข้อมูล

การจัดรูปแบบข้อมูลที่จะถูกนำมาวิเคราะห์และประมวลผล จะต้องรู้ว่ามีข้อมูลส่วนสำคัญอะไรบ้างในการวิเคราะห์และหาความสัมพันธ์ของข้อมูลนั้นอย่างไร โดยมีรายละเอียดของตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างหิน ขอบเขตของหมวดหินและรอยเลื่อน ฉะนั้นข้อมูลนำเข้าทั้งหมดมี 3 ประเภท

3.1.2. การประมวลผลข้อมูลเบื้องต้น

การวิเคราะห์โครงสร้างของหมวดหินเพื่อจะแบ่งกลุ่มหินออกเป็นกลุ่มๆ และจุดเก็บตัวอย่างจะถูกนำมาวิเคราะห์หาชนิดหินเพื่อที่จะแบ่งอายุอย่างง่ายแก่กลุ่มหินนั้น ผลที่ได้คือการ

เรียงลำดับกลุ่มหิน แต่กลุ่มหินแต่ละกลุ่มยังประกอบด้วยหมวดหินหลายหมวด การเทียบอายุหมวดหินโดยใช้การวางตัวของหมวดหินมาทำการวิเคราะห์ เพื่อลำดับหมวดหินว่าหมวดหินใดแก่อ่อนกว่ากันอย่างไร ผลของขั้นตอนนี้จะได้การลำดับการเกิดของหมวดหินทั้งหมด



รูปที่ 3.1 ลำดับขั้นตอนภาพรวมของโปรแกรม

3.1.3. ข้อมูลเส้นลำดับและการเตรียมข้อมูลด้วยมือ

คือแฟ้มข้อมูลที่ทำหน้าที่รวบรวมข้อมูลธรณีวิทยาแบบต่างๆ ที่ผ่านการจัดเรียงลำดับเรียบร้อยแล้ว ข้อมูลที่อยู่ในแฟ้มข้อมูลนี้คือข้อมูลเส้น ที่ผ่านการวิเคราะห์และมีอรรถาธิบายประกอบด้วย โดยในขั้นตอนนี้ถ้าผู้ใช้มีความเข้าใจโครงสร้างแฟ้มข้อมูลสามารถเตรียมข้อมูลด้วยโดยใช้โปรแกรมแก้ไขใน shape file ดังนั้นในขั้นตอนต่อไปจะเลือกใช้ข้อมูลแบบใดแบบหนึ่ง

3.1.4. แบบจำลองธรณีวิทยา 3 มิติ

การประมวลผลจะมี 2 ส่วนคือการจำลองข้อมูลและการหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล ข้อมูลในขั้นตอนนี้จะถูกแบ่งเป็นประเภทต่างๆที่จะใช้แบบจำลองที่ไม่เหมือนกันโดย

แบ่งเป็นรอยเลื่อน การวางตัวแบบเรียบ และการวางตัวแบบประทุนหงาย ส่วนการวางตัวแบบประทุนคว่ำจะถูกจัดในการวางตัวแบบเรียบ ข้อมูลที่ผ่านขั้นตอนการจำลองจะต้องนำมาสร้างความสัมพันธ์ที่เกิดจากการเลื่อนของรอยเลื่อนแต่ละตัว ข้อมูลชั้นหินในขั้นตอนที่ผ่านมายังไม่ได้ทำการหาความสัมพันธ์กัน การเลื่อนตัวของชั้นหินยังไม่เกิดขึ้น แต่ถ้าไม่มีการเลื่อนตัวเกิดขึ้นเลย การทำงานในส่วนนี้จะไม่มีการหาความสัมพันธ์เกิดขึ้น การจัดความสัมพันธ์ของรอยเลื่อนจะต้องจัดให้ข้อมูลสอดคล้องกับความเป็นจริง มิฉะนั้นแบบจำลองจะไม่ได้ผลที่ถูกต้อง

3.1.5. การแสดงผลข้อมูล

ผลข้อมูลที่ได้จะถูกนำมาแสดงผลในโปรแกรม ArcScene ซึ่งมีความสามารถในการแสดงผลวัตถุที่เป็น 3 มิติได้อย่างดี โดยมีมุมมองที่เห็นได้ในทุกทิศทาง มีการจัดทิศทางและระยะทางของแสง ความแตกต่างของแสง การจัดมุมมองที่ทำให้มาตราส่วนในแนวดิ่งและแนวนอนให้ต่างกันได้โดยให้ค่าแนวนอนเท่ากับ 1 และให้กำหนดค่ามาตราส่วนในแนวดิ่งโดยมีค่ามากกว่า 0 การแสดงผลจะแสดงในรูปแบบจำลอง TIN และภาพตัดขวาง

3.2. แนวคิดการออกแบบ

การทำงานของการศึกษาทั้งหมดจะอยู่บนโปรแกรมอาร์กวิว มีการจัดข้อมูลนำเข้าเพื่อการจัดการของงานข้อมูล และในส่วนของโปรแกรมจะจัดการกับข้อมูลและนำแสดงผลโดยมีการแบ่งส่วนการทำงาน 2 ส่วนดังนี้

3.2.1. การประมวลผลข้อมูลเบื้องต้น

การจัดการข้อมูลดิบที่จะนำสร้างแบบจำลอง (กรอบเส้นประ ก. รูปที่ 3.1) ในส่วนนี้จะเน้นการวิเคราะห์และประมวลผลเพื่อลำดับข้อมูลธรณีวิทยาทั้งหมด ประกอบด้วยข้อมูลจุดเก็บตัวอย่าง ข้อมูลเส้นของรอยเลื่อน และข้อมูลรูปปิดของขอบเขตของหมวดหิน โดยในส่วนนี้โปรแกรมจะทำการประมวลและวิเคราะห์ข้อมูลนำเข้าทั้ง 3 ข้อมูลนำเข้ามาแล้วจะถูกวิเคราะห์และประมวลผลเพื่อให้ได้ข้อมูลเส้นลำดับอายุที่รูปแบบของข้อมูลเป็นเส้นออกมาก่อน การที่จะได้มาของข้อมูลเส้นลำดับอายุจะต้องนำข้อมูลทั้ง 3 ประเภทมาจัดเรียงหาความสัมพันธ์ของข้อมูลโดยเริ่มต้นนำข้อมูลรูปปิดมาหาชนิดหินและโครงสร้างธรณีวิทยา โดยดึงมาจากข้อมูลจุดที่อยู่ภายในแต่ละรูปปิด จากนั้นจะจัดกลุ่มหินตามโครงสร้างธรณีวิทยา และชนิดหินในแต่กลุ่มหินจะถูกรวบรวมและจัดเรียงตามชนิดหินที่พอจะบอกอายุอย่างง่ายๆได้ เมื่อแต่ละกลุ่มทราบความแก่อ่อนแล้วแต่ภายในแต่ละกลุ่มหินยังมีหมวดหินหลายหมวดหิน การจะบอกอายุของหมวดหินแต่ละหมวดจะต้องอาศัยความสัมพันธ์การวางตัวของหมวดหินข้างเคียง ทำให้บอกได้ว่าหมวดหินใด

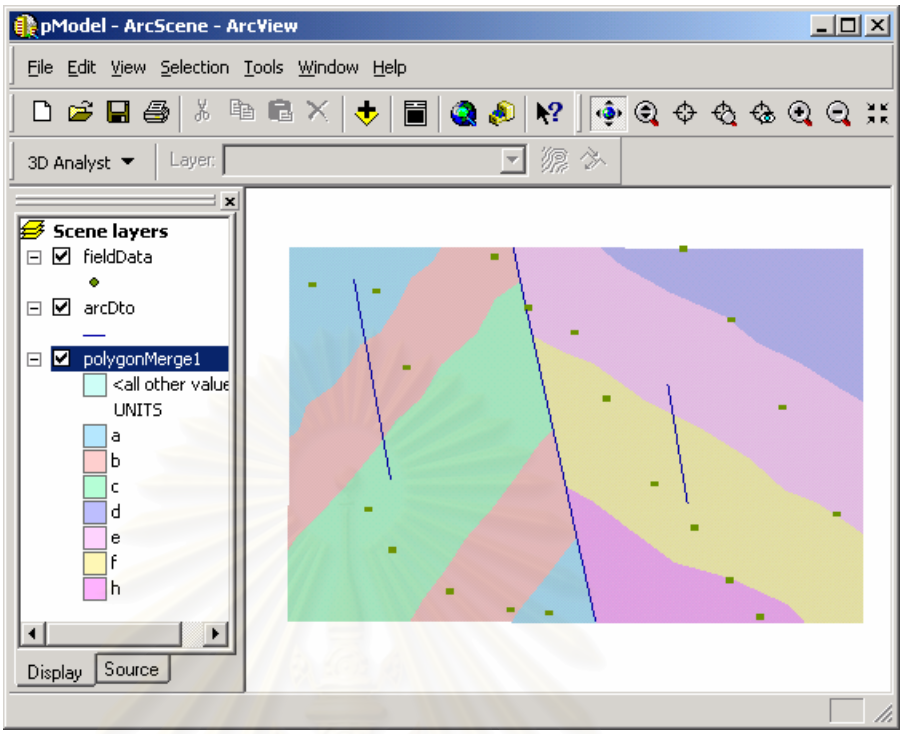
อายุแก่อ่อนกว่ากัน การเรียงลำดับอายุหมวดหินแล้วทำให้ได้ผลลัพธ์การจัดเรียงทั้งหมด แต่รูปแบบที่กำหนดเป็นข้อมูลผลลัพธ์จะต้องเป็นข้อมูลเส้น เพราะข้อมูลการเรียงลำดับควรจะเป็นข้อมูลแบบเดียวกันเพื่อป้องกันการสับสน และที่ต้องเป็นเส้นเพราะเส้นจะสามารถแทนได้ทั้งรอยเลื่อนและหมวดหิน เหตุนี้จึงแทนหมวดหินด้วยเส้นสัมผัสหมวดหิน ทั้งๆที่หมวดหินเป็นรูปปิด แต่ถ้าข้อมูลเส้นลำดับใช้เป็นรูปปิด รอยเลื่อนที่เป็นเส้นก็ไม่สามารถแทนเป็นรูปปิดได้ ทำให้ขาดข้อมูลไป

3.2.2. การจำลองธรณีวิทยา 3 มิติ

ข้อมูลที่มาจากขั้นตอนแรก หรือจะจัดเตรียมข้อมูลเส้นด้วยมือสำหรับการสร้างแบบจำลองเองก็ได้ ข้อมูลที่นำมาสร้างแบบจำลองจะต้องเป็นข้อมูลเส้นที่มีองค์ประกอบของการวางตัว การเรียงลำดับอายุเรียบร้อยแล้วในส่วนอรรถาธิบาย และข้อมูลในส่วนนี้ก็พร้อมจะสร้างแบบจำลอง โปรแกรมในส่วนนี้จะเน้นที่การจำลองข้อมูลและหาความสัมพันธ์ของข้อมูล (รูปที่ 3.1 กรอบเส้นประ ข.) โดยจะสร้างข้อมูลที่อายุอ่อนเป็นอันดับแรก และไล่ลำดับจนถึงข้อมูลที่อายุมากสุด ข้อมูลเส้นลำดับที่ได้ในขั้นตอนแรก จะนำมาผ่านกระบวนการขั้นที่ 2 ข้อมูลจะถูกนำมาขึ้นรูปเป็น TIN ในแต่ละรูปแบบของข้อมูลเส้นเช่น รอยเลื่อน การวางตัวแบบเรียบ การวางตัวแบบคดโค้งประทุนหงาย แต่ข้อมูลขณะนี้ยังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกันเป็นภาพไม่ได้ จะต้องดึงข้อมูลมาอยู่ในรูปภาพตัดขวางทั้งของชั้นหินและรอยเลื่อน แล้วจึงจะแสดงความสัมพันธ์ของชั้นหินและรอยเลื่อน โดยเรียงลำดับกระบวนการจากอายุอ่อนมาอายุแก่

3.3. การออกแบบโครงสร้างแฟ้มข้อมูลนำเข้า

ข้อมูลที่นำเข้าในขั้นตอนการวิเคราะห์และประมวลผล จะต้องได้รับการออกแบบให้เหมาะสมกับการเรียกใช้ในโปรแกรม ตามกระบวนการการทำงานในแต่ละขั้นตอน งานวิจัยในส่วนนี้ประกอบด้วยการนำเข้าข้อมูล รูปแบบข้อมูลนำเข้าจะต้องแบ่งเป็น 3 ประเภทข้อมูล(รูปที่ 3.2.) เพราะการจัดข้อมูลบนโปรแกรมอาร์กวิว จะไม่มีข้อมูลต่างประเภทปนกันในแฟ้มข้อมูลชนิดเดียวกัน ฉะนั้นข้อมูลนำเข้าจะต้องแยกเป็นข้อมูลจุด เส้น และรูปปิด การนำเข้าทั้ง 3 แบบข้อมูลจะต้องกำหนดชื่อสดมภ์ที่แน่นอนในแต่ละแบบข้อมูล และชื่อสดมภ์ที่มีเครื่องหมายดอกจัน 2 ดวง (**) หมายถึงเป็นสดมภ์ที่จำเป็นต้องมีในแฟ้มข้อมูลแต่ละแบบ โดยมีสดมภ์ 2 สดมภ์ที่สร้างโดยโปรแกรมอาร์กวิวเองไม่สามารถแก้ไขได้คือสดมภ์ FID ที่บอกดัชนีของวัตถุ และสดมภ์ shape ที่บอกถึงชนิดของวัตถุว่าเป็น จุด เส้น รูปปิด หรืออื่นๆ



รูปที่ 3.2 ข้อมูลนำเข้าทั้ง 3 ประเภทคือ จุด เส้น และรูปปิด

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดโครงสร้างแฟ้มข้อมูลจุดที่นำเข้า

คอลัมน์	**ชนิดตัวแปร**	**ความหมาย**
id**	จำนวนเต็ม	เลขดัชนี
rock1**	ตัวหนังสือ	ชนิดหิน
strike1**	จำนวนเต็ม	การวางตัวแนวระดับ
dip1**	จำนวนเต็ม	มุมเท
traverse	จำนวนเต็ม	หมายเลขเส้นทาง
station	จำนวนเต็ม	หมายเลขจุดเก็บตัวอย่าง
exposure	ตัวหนังสือ	ชนิดหินโผล่
exWidth	จำนวนจริง	ความกว้างหินโผล่
exLength	จำนวนจริง	ความยาวหินโผล่

3.3.1. ข้อมูลจุด

ข้อมูลเก็บตัวอย่างภาคสนาม และตำแหน่งจุดจะต้องมีสดมภ์ที่สำคัญได้แก่ ชื่อชนิดหิน และการวางตัวของหินนั้นประกอบอยู่ด้วย ในส่วนนี้แต่ละจุดจะมีหินและค่าการวางตัวเพียงค่าเดียว ซึ่งเป็นในรูปแบบที่ง่ายก่อน เพราะการที่มีหินและค่าการวางตัว 2 ค่าในตำแหน่งการเก็บตัวอย่างเดียวกันจะต้องบอกถึงความสัมพันธ์ของหินคู่นั้น และเมื่อมีความสัมพันธ์กันแบบอื่นที่ต่างๆจากที่กำหนดในโปรแกรมจะทำให้ไม่สามารถหาความสัมพันธ์ได้ หรือเมื่อหินมีความสัมพันธ์กัน แล้วจะต้องบอกการวางตัวที่อยู่ระหว่างหินทั้ง 2 ชุดด้วย แต่ถ้าหินมีการวางตัวที่สอดคล้องกันก็จะไม่มีปัญหามากนัก แต่ถ้าหินมีการวางตัวที่ไม่สัมพันธ์กัน ก็จะมีการวางตัวที่อยู่ระหว่างแนวสัมผัสอีก 1 ค่าการวางตัว ทำให้กระบวนการวิเคราะห์จะมีความซับซ้อนเพิ่มขึ้นจนไม่สามารถจัดการโดยใช้โปรแกรมในขั้นนี้ได้ รูปแบบการข้อมูลนำเข้าของจุดจะมีข้อมูลอรรถาธิบายที่จำเป็นคือชื่อหินและการวางตัว ดังตารางที่ 3.1.

3.3.2. ข้อมูลเส้น

ข้อมูลรอยเลื่อนที่ปรากฏอยู่บนแผนที่ธรณีวิทยา และข้อมูลเส้นควรจะมีข้อมูลอรรถาธิบายของการวางตัวของรอยเลื่อน ทิศทางการเลื่อนตัว ระยะการเลื่อนตัว และความลึกของรอยเลื่อน หรืออาจใส่ในตารางอรรถาธิบายภายหลังก็ได้ ดังตารางที่ 3.2. ข้อมูลรอยเลื่อนรอยเดียวกันควรจะต่อเนื่องกันเป็นเส้นเดียวกัน ยกเว้นจะถูกรอยเลื่อนที่อายุอ่อนกว่ามาตัด ทำให้เกิดการเลื่อนตัวแยกกันของรอยเลื่อนที่อายุมากกว่า และการกำหนดอายุของรอยเลื่อนมักจะแบ่งได้ยาก ยกเว้นจะมีหลักฐานการเลื่อนตัวที่ชัดเจน เพราะฉะนั้นการกำหนดอายุมักไม่ค่อยได้ แต่ถ้ามีรอยเลื่อนหลายตัวก็จะให้คำนวณจากตัวที่อยู่ใกล้ก่อนเป็นลำดับแรก รูปแบบข้อมูลนำเข้าของเส้นจะไม่ต้องมีข้อมูลอรรถาธิบายที่จำเป็นก็ได้ถ้าไม่รู้การเลื่อนตัว แต่ถ้าต้องการใส่อาจใส่ในช่วงก่อนสร้างแบบจำลอง 3 มิติก็ได้

ระนาบรอยเลื่อนจะถูกกำหนดด้วยการวางตัวแนวระดับและมุมเท ขนาดของรอยเลื่อนจะยาวตามความยาวของเส้นรอยเลื่อน และความลึกของรอยเลื่อนมีหน่วยเป็นหน่วยความยาวตามในแผนที่ ส่วนการเลื่อนตัวของรอยเลื่อนจะถูกกำหนดโดยทิศทางการเลื่อนตัวและระยะการเลื่อนตัว ทิศทางการเลื่อนตัวจะอ้างอิงตามระนาบรอยเลื่อน ซึ่งโดยทั่วไปการเลื่อนตัวจะบอกทิศทางการเลื่อนเป็นแบบเวกเตอร์ 3 มิติ แต่ในโปรแกรมได้กำหนดเป็น 2 มิติเพื่อไม่ให้เกิดการขัดแย้งของข้อมูล แต่ในความหมายของรอยเลื่อนจะต้องรู้ว่าด้านใดเป็นการเลื่อนตัว ในโปรแกรมนี้ได้กำหนดฝั่งเริ่มต้นที่อยู่ใกล้ผิวดินมากกว่าโดยเทียบข้อมูลในภาพตัดขวาง และสุดท้ายระยะการรอยเลื่อนมีหน่วยตามหน่วยความยาวในแผนที่

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดโครงสร้างแฟ้มข้อมูลเส้นที่นำเข้า

คอลัมน์	**ชนิดตัวแปร**	**ความหมาย**
id**	จำนวนเต็ม	เลขดัชนี
lineType**	ตัวหนังสือ	ชนิดเส้น
stk	จำนวนจริง	การวางตัวแนวระดับ
dip	จำนวนจริง	มุมเท
dir	จำนวนจริง	ทิศทางการเลื่อนตัวของรอยเลื่อน
dis	จำนวนจริง	ระยะการเลื่อนตัวของรอยเลื่อน
depth	จำนวนจริง	ระยะความลึกของรอยเลื่อน

3.3.3. ข้อมูลรูปปิด

ขอบเขตของหมวดหินแต่ละหมวดที่อยู่บนแผนที่ธรณีวิทยา โดยข้อมูลต้องรวมหมวดหินที่เหมือนกันและอยู่ติดกันเข้าด้วยกัน ทั้งนี้เนื่องจากการทำแผนที่ธรณีวิทยาบางหน่วยงานจะแยกขอบเขตหมวดหินที่มีรอยเลื่อนตัดผ่านออกเป็นอีกรูปปิดหนึ่ง ทำให้การเทียบเคียงเปรียบเทียบอาจผิดพลาดได้ และจะต้องไม่มีปัญหาการเกิดรูปปิดขนาดเล็กๆที่อยู่ระหว่างรูปปิดขนาดใหญ่ (sliver polygon) เพราะทำให้การเทียบเคียงหาอายุอาจผิดพลาดได้ และที่บริเวณรอยต่อระหว่างหมวดหินจะต้องแนบสนิทกันพอดี ข้อมูลจะต้องมีอรรถาธิบายประกอบของข้อมูลรูปปิดด้วยคือ ชื่อหมวดหินตามตารางที่ 3.3. เพราะจะต้องใช้ในการเทียบเคียงข้อมูล

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดโครงสร้างแฟ้มข้อมูลรูปปิดที่นำเข้า

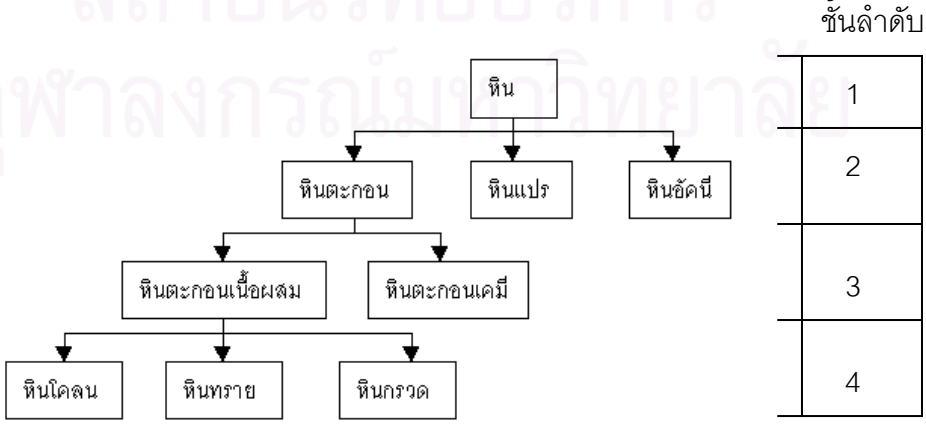
คอลัมน์	**ชนิดตัวแปร**	**ความหมาย**
id**	จำนวนเต็ม	เลขดัชนี
Units**	ตัวหนังสือ	ชื่อหมวดหิน

3.4. หลักการประมวลผลของโปรแกรม

การประมวลผลของโปรแกรมส่วนใหญ่จะอยู่ในส่วนการประมวลผลเบื้องต้น ยกเว้นหัวข้อ 3.4.5. อยู่ในส่วนแบบจำลองธรณีวิทยา 3 มิติ หลักการประมวลผลแต่ละหัวข้อจะถูกใช้ในเป็นส่วนๆของโปรแกรมในงานที่เกี่ยวข้อง โดยมีหลักการทางธรณีวิทยาดังนี้

3.4.1. การจำแนกกลุ่มหินหลัก

การประมวลผลจะเริ่มต้นจากข้อมูลจุดที่มีรายละเอียดของชื่อหิน และทำการจำแนกชนิดหินดังกล่าวให้อยู่ในกลุ่มหินหลัก เพื่อใช้ในการแบ่งแยกว่าภายในรูปปิดประกอบด้วยหินหลักกี่ชนิด อะไรบ้าง เพื่อใช้ในการเรียงลำดับอายุของกลุ่มหินเหล่านั้นอย่างง่ายๆ การจำแนกชนิดหินมีการขั้นลำดับการจำแนกหลายขั้น เพราะในทางปฏิบัติ การให้ชื่อหินของแต่ละคนอาจไม่เท่ากันตามความสามารถ และประสบการณ์ ในขั้นลำดับที่แตกต่างกันนั้นหินอาจอยู่ในกลุ่มหินหลักชนิดเดียวกัน การจัดกลุ่มหินหลักจะแบ่งตามการกำเนิดของหินเป็นหลักโดยแบ่งเป็น 4 กลุ่มหินหลักคือ 1) หินอัคนี 2) หินแปร 3) หินตะกอน และ 4) กึ่งตะกอนกึ่งหิน การแบ่งแยกชนิดหินจะต้องอาศัยการแยกตามขั้นลำดับย่อยของชนิดหิน และในงานวิจัยมีการแจกแจงชนิดหินตามลำดับสาขาแบบกราฟรูปต้นไม้ดังรูปที่ 3.3. ชนิดหินจะถูกจัดอยู่ใน 4 กลุ่มหินหลัก แต่ก็มีลำดับย่อยๆที่ใช้ในการแจกแจงตามลำดับชั้น ข้อมูลกราฟชนิดหินรูปต้นไม้ทั้งหมดจะถูกจัดเก็บในรูปตาราง ตารางการเก็บข้อมูลลำดับย่อยของชนิดหินได้แสดงดังตารางที่ 3.4. ประกอบด้วย 4 สดมภ์คือ 1) เลขที่ แสดงลำดับของชนิดหินที่มีเลขดัชนีกำกับอยู่ 2) ชื่อหิน แสดงชื่อของชนิดหิน 3) รากแสดงลำดับย่อยที่บ่งบอกถึงที่มาของหน่วยหินที่ใหญ่กว่า หรือเลขดัชนีของหินนั้นเอง และ 4) ชั้นลำดับ แสดงลำดับย่อยของชนิดหิน ฉะนั้นความหมายของตารางคือ สดมภ์แรกเป็นดัชนี สดมภ์ที่ 3 เป็นดัชนีย้อนกลับ ส่วนสดมภ์สุดท้ายเป็นชั้นลำดับย่อยของชนิดหิน โดยแสดงหมายเลขของชั้นลำดับทั้งในตารางที่ 3.4. สดมภ์ที่ 4 และรูปที่ 3.3.



รูปที่ 3.3 การลำดับชั้นของชนิดหิน

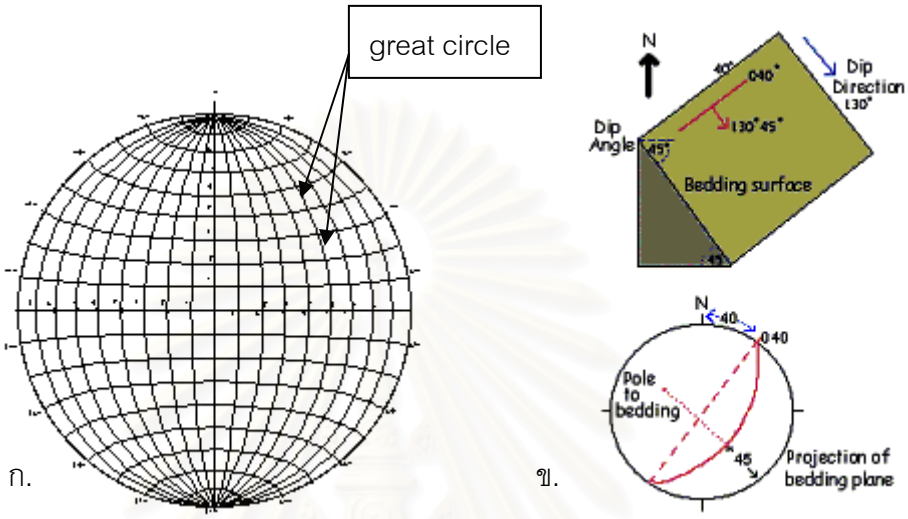
ตารางที่ 3.4 ข้อมูลการลำดับชนิดหิน

NO	ROCK_NAME	ROOT	LEVEL
r1	consolidated	r0	1
r2	unconsolidated	r0	1
r3	sedimentary	r1	2
r4	metamorphic	r1	2
r5	ignous	r1	2
r6	clastic	r3	3
r7	nonclastic	r3	3
r8	shale	r6	4
r9	mudstone	r6	4
r10	claystone	r6	4
r11	sandstone	r6	4
r12	conglomerate	r6	4
r13	clay	r2	2
r14	silt	r2	2
r15	sand	r2	2
r16	andesite	r5	3
r17	slate	r4	3
r18	gravel	r2	2
r19	dolomite	r7	4
r20	evapolite	r7	4
r21	skarn	r4	3
r22	limestone	r7	4
r23	schist	r4	3
r24	phyllite	r4	3

3.4.2. **การวิเคราะห์โครงสร้างธรณีวิทยา**

การวิเคราะห์โครงสร้างธรณีวิทยาจะกระทำกับข้อมูลที่อยู่ในรูปปิดเดียวกัน หรือหมวดหินเดียวกัน การวิเคราะห์นี้เพื่อการจำแนกว่าโครงสร้างธรณีวิทยาในพื้นที่ดังกล่าวมีลักษณะแบบใด ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์จะเลือกมาจากข้อมูลจุดที่อยู่ภายในรูปปิดนั้นๆทุกข้อมูลจุด ค่าที่นำมาวิเคราะห์คือค่าการวางตัวแนวราบและมุมเท รูปปิดใดที่มีค่าการวางตัวในทิศทางเดียวกันทั้งการวางตัวแนวราบและมุมเทในรูปปิดนั้นจะมีโครงสร้างแบบการวางตัวแบบเรียบ แต่ถ้าข้อมูลมีการวางตัวในทิศทางที่แตกต่างกันก็จะจัดเป็นการวางตัวแบบคดโค้ง และจำนวนข้อมูลที่แตกต่างจะต้องมากกว่า 1/10 ของข้อมูลจุดทั้งหมดในรูปปิดนั้นๆด้วย แต่ถ้าข้อมูลมีจำนวนความแตกต่างน้อยกว่า 1/10 จะถือว่าเป็นรูปปิดที่มีการวางตัวแบบเรียบและข้อมูลที่แตกต่างน่าจะเป็นค่าผิดพลาด ทั้งนี้ยังไม่มีกฎเกณฑ์การแบ่งที่แน่นอนว่าใช้เกณฑ์ใดในการแบบว่าข้อมูลมากเท่าใดและแตกต่างกันเท่าใดจึงจะมีการวางตัวแบบเรียบหรือแบบคดโค้ง

การวิเคราะห์แบบนี้โดยทั่วไปทางธรณีวิทยา จะใช้การวิเคราะห์โดย Stereonet (ดังรูปที่ 3.4.)หรือไม่ก็อาศัยข้อมูลข้างเคียงเพื่อตรวจสอบว่าโครงสร้างธรณีวิทยาเป็นแบบใด แต่การแปลความหมายโดยโปรแกรมยังทำได้ยาก ในโปรแกรมนี้จึงออกแบบการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลมาหาค่าทางสถิติแทน

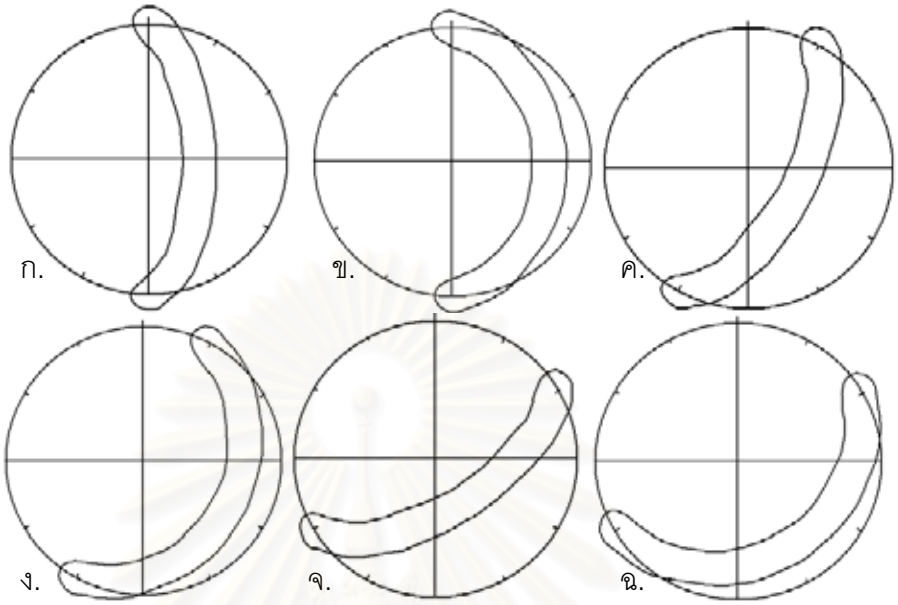


รูปที่ 3.4 ก.) Stereonet แบบ Lambert equal area projection หรือ Schmidt net

ข.) การลงค่าการวางตัวบน Stereonet (จาก http://www.chipr.sunysb.edu/eserc/SummerEducationalInterns/Linda/structuralguide.html)

3.4.3. การวิเคราะห์โครงสร้างธรณีวิทยาแบบคดโค้ง

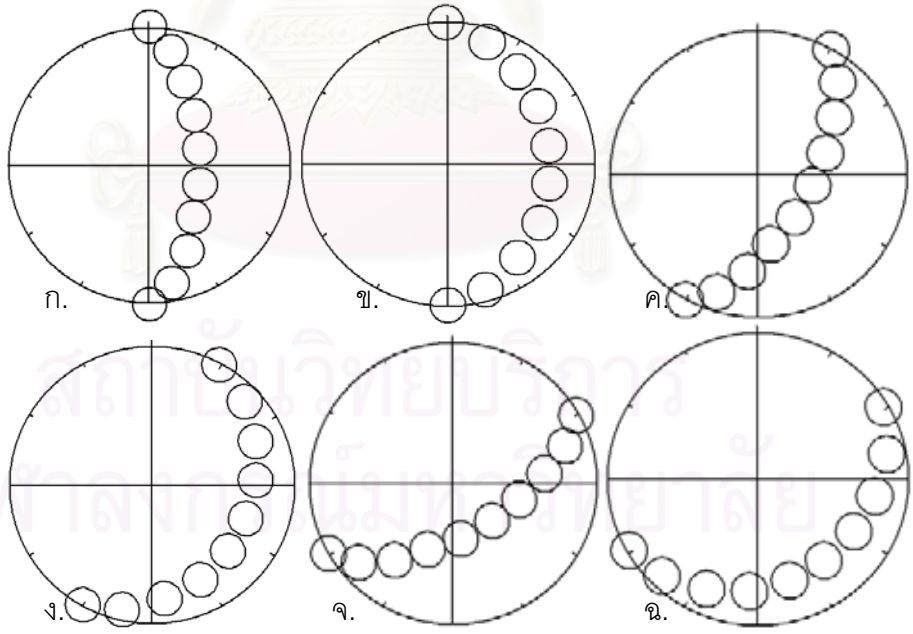
ข้อมูลที่ผ่านการวิเคราะห์ในหัวข้อ 3.4.2. แล้ว และผลออกมาว่าข้อมูลมีการวางตัวแบบคดโค้ง ข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำมาวิเคราะห์โครงสร้างธรณีวิทยาแบบคดโค้งอีกครั้งหนึ่ง โดยจะทำการวิเคราะห์บน Stereonet (Peter และ Richard, 1996) ข้อมูลจุดทุกจุดจะแสดงค่าแบบ pole ดังรูปที่ 3.4.ข. ลงใน Stereonet ในขั้นแรกจะทำการหาค่าระนาบที่ตั้งฉากกับแกนการคดโค้งโดยหาจำนวนจุดที่มากที่สุดที่อยู่ในรัศมีจากเส้น Great circle ดังรูปที่ 3.4.ก. โดยรัศมีในที่นี้กำหนดเป็น 10 องศาโดยรอบ จากนั้นจะเริ่มกวาดทุกเส้น Great circle โดยมีระยะห่างเท่ากับ 10 องศาแนวราบและ 10 องศามุมเท โดยเริ่มที่ Great circle ที่ 0 องศาแนวราบและ 0 องศามุมเท เส้นถัดมาคือ 0 องศาแนวราบและ 10 องศามุมเท และถัดไปคือ 0 องศาแนวราบและ 20 องศามุมเท จนถึง เส้น 0 องศาแนวราบและ 90 องศามุมเท และเริ่มอีกที่ 10 องศาแนวราบและ 0 องศามุมเท และไล่ลำดับมุมเทจนถึง 90 องศา จากนั้นก็จะเพิ่มองศาแนวราบทีละ 10 องศาจนถึงเส้นสุดท้ายที่ 350 องศาแนวราบและ 90 องศามุมเทดังรูปที่ 3.5. รวมจำนวนเส้น Great circle ทั้งหมดที่คิดเท่ากับ 360 เส้นต่อรอบ แต่ละพื้นที่ของเส้นที่สร้างจะต้องมีการนับจำนวนจุดที่ตกอยู่ในรัศมีที่กำหนดด้วยทุกครั้ง



รูปที่ 3.5 การสืบค้นระนาบการคดโค้งของชั้นหินบน Stereonet

ก.) การวางตัว 0/30 ข.) การวางตัว 0/60 ค.) การวางตัว 30/30

ง.) การวางตัว 30/60 จ.) การวางตัว 60/30 ฉ.) การวางตัว 60/60



รูปที่ 3.6 การสืบค้นแขนการคดโค้งของชั้นหินบน Stereonet

ก.) การวางตัว 0/30 ข.) การวางตัว 0/60 ค.) การวางตัว 30/30

ง.) การวางตัว 30/60 จ.) การวางตัว 60/30 ฉ.) การวางตัว 60/60

เมื่อได้เส้น Great circle ที่มีจำนวนจุดมากที่สุดแล้ว ก็จะทราบถึงระนาบที่ตั้งฉากกับแกนการคดโค้ง และรู้ว่าแกนคดโค้งอยู่ในทิศทางใดและมีมุมกดเท่าไร ถัดมาจะต้องทำการหาแขนการคดโค้ง ทั้ง 2 ระนาบที่อยู่บนเส้น Great circle นั้น โดยการแบ่งจุดทุกระยะ 5 องศาบนเส้น Great circle และใช้รัศมี 10 องศาในการหาจำนวนจุดที่อยู่ในพื้นที่นั้นดังรูปที่ 3.6. ทุกจุดบนเส้น Great circle จะมีค่าจำนวนจุดการวางตัวอยู่ ถ้าลงค่าบนกราฟเส้นโดยไล่จากจุด 1 ถึงจุด 37 จะพบว่ามีค่าที่เป็นจุดสูงสุด 2 ค่า จุดสูงสุดทั้งสองจุดคือแกนที่ตั้งฉากกับระนาบแขนการคดโค้งทั้งสองด้าน ในที่นี้จะใช้ค่าที่มีสองค่าเท่านั้น แต่ถ้าค่ามีแบบอื่นจะถือว่าใช้ไม่ได้ แต่ถ้าจะนำค่านั้นมาใช้จะต้องแปลงค่ากลับบน Stereonet เสียก่อนจึงจะได้ค่าการวางตัวที่ถูกต้อง ถึงแม้จะได้ค่าของระนาบแขนทั้ง 2 ระนาบแล้วก็ยังคงสรุปไม่ได้ว่าการคดโค้งของชั้นหินเป็นการคดโค้งแบบใด ถ้าจะทราบได้จะต้องหาข้อมูลข้างเคียงมาเปรียบเทียบ

3.4.4. การหาจุดอายุมากสุดในรูปปิด

รูปปิดรูปเดียวจะมีอายุแต่ละจุดที่ไม่เท่ากัน ในส่วนนี้เกิดจากการที่จะต้องสร้างเส้นสัมผัสของหมวดหินที่แก่ที่สุดในกลุ่มหิน เพราะเมื่อเทียบเคียงความแก่อ่อนของหมวดหินแต่ละหมวดแล้วก็จะมีเส้นสัมผัสชั้นหินเป็นตัวแทน แต่ชั้นหินที่แก่ที่สุดจะหาเส้นสัมผัสชั้นหินไม่ได้ จึงต้องหาจุดที่แก่ที่สุดเพื่อจะสร้างเป็นเส้นสัมผัสชั้นหินให้แก่หมวดหินที่แก่ที่สุดในแต่ละกลุ่มหิน เริ่มต้นด้วยรูปปิดของหมวดหิน ในการหาลำดับแรกจะแทนจุดในตำแหน่งของจุดบนรูปปิดและวัดมุมจากจุดนั้นไปยังจุดหลังและจุดหน้าอย่างละ 1 จุดโดยมีทิศทางเริ่มต้นจากจุดที่เลือกไว้ไปยังจุดหน้าและจุดหลัง ทิศทางที่คิดเป็นทิศทางในแนวระดับที่วัดแบบ Azimuth จากนั้นแบ่งครึ่งตามแนวการวางตัวเป็น 2 ส่วนโดยวางตรงกลางจุดที่เลือกคือส่วนที่อยู่ด้านทิศทางมุมเท และส่วนที่อยู่ทิศทางตรงกันข้ามกับมุมเท ถ้าทิศทางของเส้นทั้งสองอยู่ทางด้านทิศทางมุมเทแสดงว่าเป็นจุดแก่ในรูปปิด และทำการวัดกับจุดทุกจุดบนรูปปิด ถ้ามีจุดแก่เพียงจุดเดียวก็แสดงว่าจุดนั้นเป็นจุดแก่สุด แต่ถ้ามีหลายจุดให้นำจุดที่ได้มาสร้างรูปปิดและกระทำซ้ำจนเหลือเพียงจุดเดียว ก็จะได้จุดแก่สุดในรูปปิดที่จะนำไปสร้างเป็นเส้นสัมผัสชั้นหินโดยสร้างเป็นเพียงเส้นสั้นๆ

3.4.5. การคำนวณหา Apparent dip

การคำนวณหามุมของ Apparent dip จะต้องนำไปใช้ในการจำลองการวางตัวแบบเรียบ เพราะเส้นข้อมูลที่มีให้มาจะถูกโปรเจคออกไปตามทิศทางการวางตัวเท่านั้น ส่วนบริเวณจุดปลายของเส้นจะต้องถูกต่อออกไปให้ถึงขอบ ทำให้ต้องหามุม Apparent dip เพื่อใช้ในการโปรเจคออกไปในทิศทางต่างๆรอบจุดเป็นรูปครึ่งวงกลม

Apparent dip คือการหามุมเทของชั้นหินที่ไม่ได้อยู่ในทิศทางการเอียงเทของชั้นหิน มุมเทของชั้นหินจะมีค่ามากสุดในทิศทางการเอียงเท และเรียกมุมเทที่มีค่ามากสุดว่า True dip แต่ถ้าจะหาค่าของมุมเทในทิศทางอื่นจะต้องมีการวัดมุมใหม่ และค่าของมุมเทจะสามารถหาได้ด้วยสมการด้านล่าง(Clive, 1990: 18-19) โดยจะต้องรู้ค่ามุม True dip และทิศทางแนวระดับของมุม Apparent dip ที่จะต้องหาโดยมีสมการดังนี้

$$\tan A = \tan B \sin C$$

โดย A – มุม Apparent dip

B – มุม True dip

C – มุมแนวระดับระหว่างทิศทาง True dip และทิศทาง Apparent dip

3.5. การออกแบบโครงสร้างแฟ้มข้อมูลเส้นลำดับ

รูปแบบข้อมูลที่นำเข้าประกอบด้วยข้อมูลเชิงตำแหน่ง 3 ประเภท โดยพื้นฐานของโปรแกรมอาร์กวิวข้อมูลแต่ละประเภทจะต้องอยู่คนละแฟ้มข้อมูล การนำเข้าข้อมูลจะต้องมี 3 แฟ้มข้อมูล ฉะนั้นข้อมูลทั้ง 3 ประเภทข้อมูลจะต้องถูกนำมาประมวลผลและวิเคราะห์รวมกัน ผลของการประมวลผลจะได้ข้อมูลที่ถูกเรียงลำดับการเกิด ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลรอยเลื่อน และข้อมูลชั้นหิน ข้อมูลผลลัพธ์มี 2 ประเภทแต่ว่าแฟ้มข้อมูลบนโปรแกรมอาร์กวิวควรออกมาในรูปแบบเดียว เพราะสะดวกในการตรวจสอบและจัดเรียงลำดับของข้อมูล ข้อมูลผลลัพธ์จะเป็นข้อมูลจุดไม่ได้ เพราะขาดรายละเอียดของข้อมูลไปมาก และถ้าข้อมูลผลลัพธ์เป็นข้อมูลรูปปิดจะทำให้ข้อมูลรอยเลื่อนที่เป็นข้อมูลเส้นขาดหายไป ฉะนั้นข้อมูลที่เหมาะสมที่จะเป็นข้อมูลผลลัพธ์คือข้อมูลเส้น โดยข้อมูลรอยเลื่อนเป็นข้อมูลเส้นอยู่แล้ว ส่วนข้อมูลชั้นหินซึ่งเป็นข้อมูลแบบรูปปิดจะต้องถูกแทนด้วยเส้นสัมผัสหมวดหิน ข้อมูลผลลัพธ์จะออกมาในรูปข้อมูลเส้นที่มีอรรถาธิบายของทั้ง 2 ข้อมูลปนกันอยู่ในตารางข้อมูลเดียวกัน นอกจากนี้ยังเป็นข้อมูลที่เหมาะแก่การแปลงเป็นข้อมูลพื้นผิวที่ใช้แสดงในรูปแบบข้อมูลที่เป็น 3 มิติ

รูปแบบข้อมูลเส้นลำดับอายุกำหนดจากข้อมูลนำเข้าที่กล่าวถึงในข้อ 3.3. ประกอบด้วยข้อมูลเชิงตำแหน่งและอรรถาธิบายที่จำเป็นในแต่ละประเภทของข้อมูล ข้อมูลมูลทั้ง 3 ประเภทจะถูกประมวลผล ข้อมูลผลลัพธ์จะถูกเก็บในแฟ้มข้อมูลใหม่ในรูปข้อมูลเส้นโดยมีอรรถาธิบายดังตารางที่ 3.5. ซึ่งประกอบด้วยคอลัมน์ชื่อ sequ จะบอกถึงลำดับการสร้างแบบจำลอง(ถ้าเรียงผิดแบบจะทำให้ผลการจำลองออกมาแตกต่างกัน) และคอลัมน์อื่นๆได้แก่ข้อมูลรายละเอียดของรอยเลื่อนและชั้นหิน ที่จะนำไปใช้ในการแสดงผลแบบ 3 มิติ ส่วนการเชื่อมสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเส้นลำดับอายุ แบบจำลอง TIN และข้อมูลภาพตัดขวาง คือ สดมภ์ sequ

ของแฟ้มข้อมูลเส้นลำดับอายุและแฟ้มข้อมูลภาพตัดขวางจะเหมือนกัน และจะเหมือนกัน หมายเลขท้ายของชื่อแฟ้มข้อมูล TIN

ตารางที่ 3.5 รายละเอียดโครงสร้างแฟ้มข้อมูลเส้นลำดับอายุ

คอลัมน์	ชนิดตัวแปร	ความหมาย
sequ	จำนวนเต็ม	แสดงลำดับการเรียงลำดับ
type	ตัวหนังสือ	ชนิดข้อมูลธรณีวิทยา
typeSt	ตัวหนังสือ	ชนิดข้อมูลโครงสร้างธรณีวิทยา
typeNo	จำนวนเต็ม	ชนิดข้อมูลโครงสร้างธรณีวิทยา
units	ตัวหนังสือ	หมวดหิน
St_group	จำนวนเต็ม	กลุ่มโครงสร้างธรณีวิทยา
surNo	จำนวนเต็ม	ชนิดของพื้นผิว
stk	จำนวนจริง	การวางตัวแนวระดับ
dip	จำนวนจริง	มุมเท
stk1	จำนวนจริง	การวางตัวแนวระดับ
dip1	จำนวนจริง	มุมเท
azi_axis	จำนวนจริง	การวางตัวแนวระดับแกนคดโค้ง
plunge	จำนวนจริง	มุมกด
dir	จำนวนจริง	ทิศทางการเลื่อนตัวของรอยเลื่อน
dis	จำนวนจริง	ระยะการเลื่อนตัวของรอยเลื่อน
depth	จำนวนจริง	ระยะความลึกของรอยเลื่อน

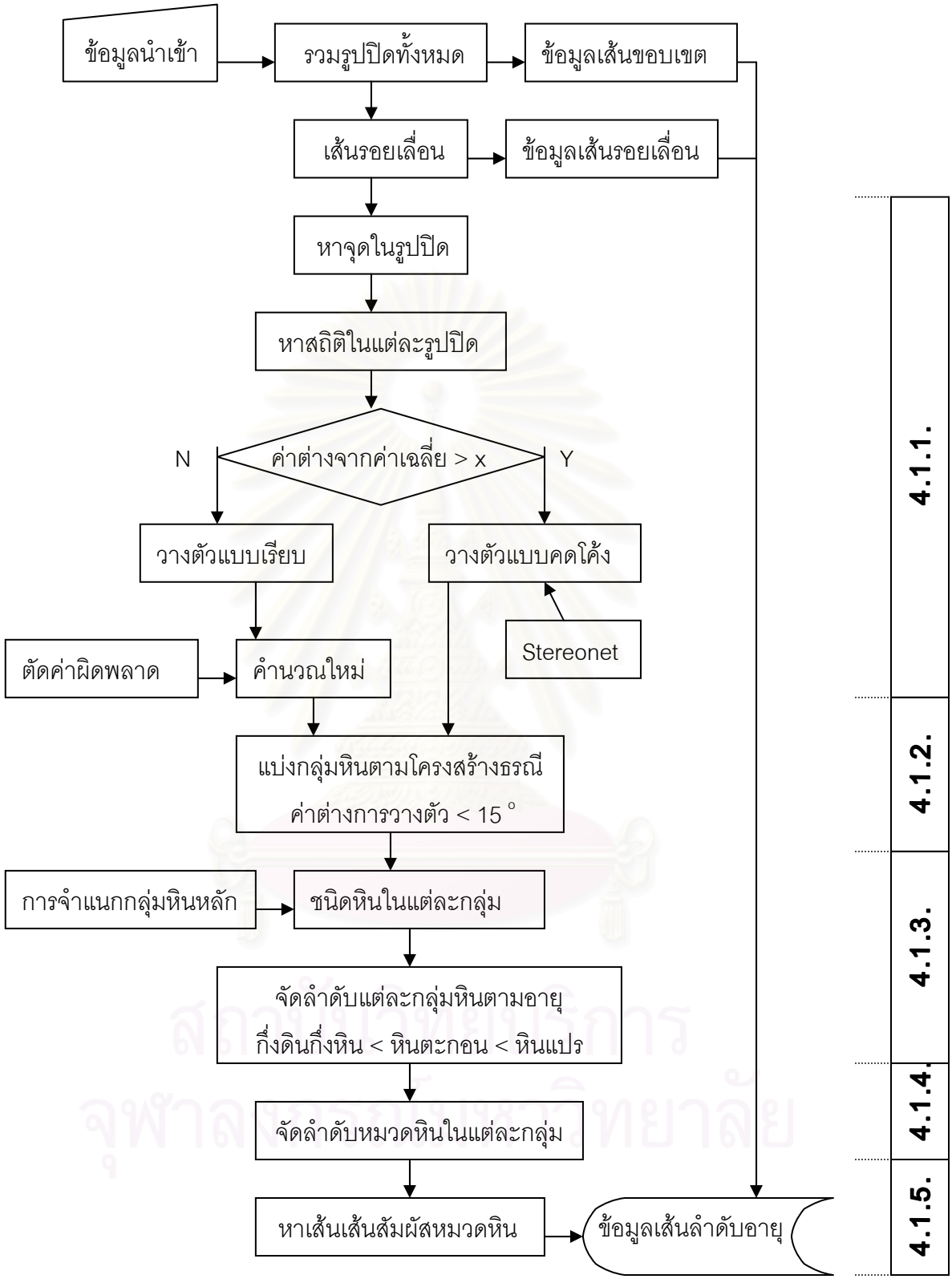
บทที่ 4

การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์

โปรแกรมอาร์กวิวพัฒนาโดยบริษัท อีเอสอาร์ไอ (ESRI, Environmental Systems Research Institute, Inc.) เป็นโปรแกรมทางด้านระบบภูมิศาสตร์สารสนเทศ(GIS, Geographic Information System) ที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวางโปรแกรมหนึ่ง โดยเฉพาะในเรื่องการจัดการแบบจำลองของข้อมูลในด้านต่างๆ ในการพัฒนานี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้โปรแกรมอาร์กวิว 8.1 ในการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ โดยอาศัยภาษา VBA และ ArcObject ที่มีแนวโน้มในการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ต่อไปในอนาคตแทนที่ภาษา Avenue ที่ใช้ในโปรแกรมอาร์กวิว 3.x มีแนวโน้มจะหยุดการพัฒนา ภาษา ArcObject ถูกเขียนเป็นลำดับขั้นตอนตามหลักการและการออกแบบในบทที่ 3 การเขียนโปรแกรมแบ่งเป็น 2 ส่วนดังนี้

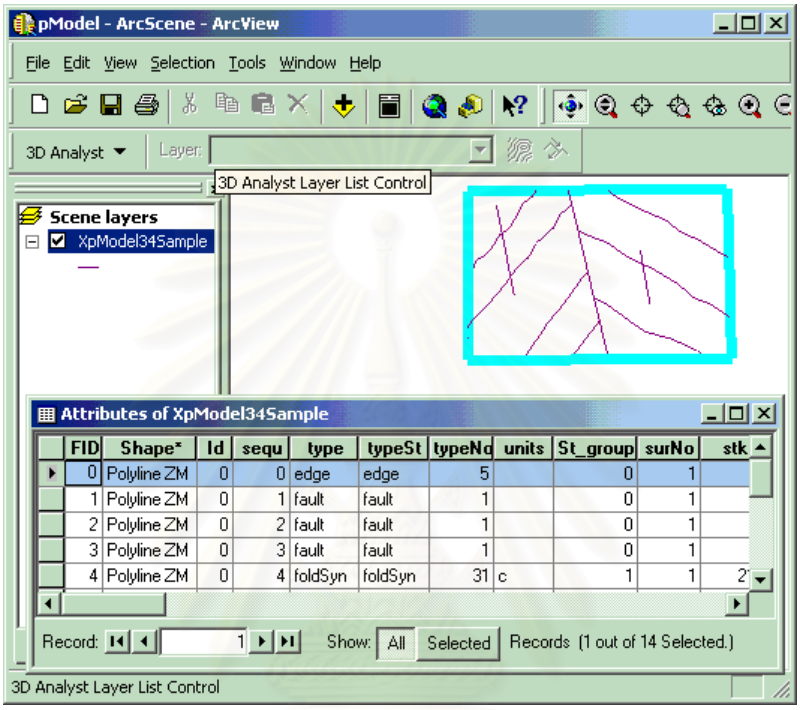
4.1. โปรแกรมการประมวลผลข้อมูลเบื้องต้น

การทำงานของโปรแกรมประยุกต์ในส่วนแรกจะนำเข้าข้อมูลทั้ง 3 ประเภท ข้อมูลนำเข้าจะต้องมีครบทั้ง 3 ประเภท แต่ถ้าไม่มีรอยเลื่อนให้ใส่เป็นแฟ้มข้อมูลที่ไม่มีข้อมูลลงไปแทน หลังจากใส่ข้อมูลแล้ว โปรแกรมจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลจุดที่อยู่ในแต่ละข้อมูลรูปปิดเพื่อหาโครงสร้างธรณีวิทยาของแต่ละรูปปิด และนำมาเทียบเคียงเพื่อเรียงลำดับการเกิดของแต่ละรูปปิด ผลที่ได้ของการวิเคราะห์และเทียบเคียงข้อมูลจะออกมาในรูปข้อมูลเส้นลำดับอายุ โดยข้อมูลเส้นจะมีเส้นสัมผัสหมวดหินที่มีการจัดเรียงลำดับการเกิด และเส้นสัมผัสหมวดหินเองสามารถแทนที่ข้อมูลรูปปิดได้ ดังนั้นผู้เขียนจึงเลือกการเตรียมข้อมูลเส้นลำดับอายุเป็นข้อมูลเส้นเพื่อแสดงข้อมูลธรณีวิทยาได้ทั้ง 2 ส่วนคือรอยเลื่อนและเส้นสัมผัสหมวดหิน และอรรถาธิบายของผลการเตรียมข้อมูลเส้นมีดังนี้คือ ลำดับเรียงข้อมูล ประเภทข้อมูล และข้อมูลลักษณะการวางตัวของแต่ละประเภทตามหัวข้อ 3.5. ขั้นตอนการทำงานมี 5 ขั้นตอนดังรูปที่ 4.1. ที่มีหัวข้อขั้นตอนกำกับอยู่ทางด้านขวามือของรูป ขั้นตอนทั้งหมดในรูปที่ 4.1.มีความหมายเช่นเดียวกันกับรูปสี่เหลี่ยมกรอบประ ก. ในรูปที่ 3.1.



รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการทำงานในโปรแกรมประมวลผลข้อมูลเบื้องต้น

การหาขอบเขตของพื้นที่จะทำการหาในขั้นตอนแรกๆ โดยทำการรวมรูปปิดทั้งหมดเข้าด้วยกัน ก็จะได้พื้นที่ที่ทำการศึกษา โดยจะได้เป็นรูปปิดใหญ่รูปเดียว แต่ในส่วนข้อมูลผลลัพธ์เป็นข้อมูลประเภทเส้น ฉะนั้นจะต้องเปลี่ยนรูปปิดเส้นขอบเขตเป็นขอบเขตแบบเส้น ดังแสดงในรูปที่ 4.2. และข้อมูลรอยเลื่อนจะถูกเก็บในข้อมูลเส้นลำดับอายุ



รูปที่ 4.2 ข้อมูลเส้นขอบเขตในแฟ้มข้อมูลเส้นลำดับอายุ

4.1.1. การวิเคราะห์โครงสร้างธรณีวิทยาของแต่ละรูปปิด

ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ในส่วนนี้จะมีข้อมูลจุดและข้อมูลรูปปิด โดยแต่ละรูปปิดหมายถึงหมวดหินแต่ละหมวด เริ่มแรกจะต้องจัดข้อมูลจุดก่อนว่าแต่ละจุดอยู่ในรูปปิดใด และทำการใส่หมายเลขรูปปิดลงในสดมภ์ in_polygon ของแฟ้มข้อมูลจุดในหัวข้อ 5.4.2. และทำการจำแนกการวางตัวชั้นหินในแต่ละรูปปิด โดยหาค่าเฉลี่ยของการวางตัวแนวระดับและมุมเทของทุกๆจุดในรูปปิด จากนั้นทำการหาค่าต่างของการวางตัวแนวระดับและมุมเท กับค่าเฉลี่ยทั้งการวางตัวแนวระดับและมุมเท จำนวนค่าต่างที่มากกว่า X องศาจะเป็นตัวกำหนดว่าการวางตัวของชั้นหินว่าเป็นการวางตัวแบบเรียบ หรือคดโค้ง โดยกำหนดค่า X = 20 การจำแนกว่ารูปปิดใดจะมีการวางตัวแบบเรียบหรือคดโค้งโดยนับจำนวนจุดค่าต่างที่มากกว่า X องศามีมากกว่า 1 ใน 10 ก็จัดให้เป็นการวางตัวแบบคดโค้ง ส่วนการวางตัวแบบเรียบจะต้องไม่มีค่าต่างของการวางตัวเลยส่วนค่าต่างที่น้อยกว่า 1 ใน 10 ที่อยู่ในการวางตัวแบบเรียบให้เป็นค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้น โดยในส่วนนี้จะต้องถูกนำไปคัดเอาจุดที่มีค่าผิดพลาดออก ก่อนที่จะนำไปคำนวณใหม่หาค่าการวางตัว

แบบเรียบของชั้นหิน ค่าที่ได้คือการวางตัวแนวระดับและมุมเท รูปปิดที่มีการวางตัวแบบคดโค้งจะต้องทำการวิเคราะห์เพื่อหาการคดโค้งของชั้นหิน โดยวิเคราะห์แบบใช้ stereonet และค่าที่เป็นองค์ประกอบของการคดโค้งคือ ทิศทางแกนคดโค้งในแนวระดับ มุมกด ระนาบแขนทั้ง 2 ระนาบของการคดโค้งที่ประกอบด้วยการวางตัวแนวระดับและมุมเท ผลของขั้นตอนนี้จะได้ข้อมูลรูปปิดที่รู้ว่าแต่ละรูปปิดมีโครงสร้างธรณีวิทยาอย่างไร โดยจะใส่ข้อมูลลงในสดมภ์ type ในแฟ้มข้อมูลรูปปิด

การสร้าง Stereonet ในโปรแกรมจะต้องสร้างพื้นที่ในการแปลงค่าการวางตัว งานโปรแกรมส่วนนี้ทำเพื่อใช้แปลความหมายการวางตัวของโครงสร้างธรณีวิทยาแบบคดโค้ง การวิเคราะห์โครงสร้างธรณีวิทยาจะใช้หลักการทางสถิติ และเขียนโปรแกรมจำแนกด้วยคำสั่งทางสถิติที่มีอยู่ในภาษา ArcObject ส่วนการวิเคราะห์โครงสร้างธรณีวิทยาแบบคดโค้งจะต้องอาศัยพื้นที่สร้างที่มีลักษณะเป็นวงกลมตามรูปแบบ Stereonet หัวข้อ 2.1.3. เพื่อใช้ในการลงค่าและอ่านค่าการวางตัวของของชั้นหินโดยค่าที่ใช้เป็นแบบ pole หลักการหาโครงสร้างธรณีวิทยาแบบคดโค้งได้กล่าวในหัวข้อ 3.4.3. การเขียนโปรแกรมก็เขียนตามหลักการข้างต้น แต่ความถูกต้องของการสร้างมีค่าผิดพลาด เนื่องจากการหาค่ากราฟที่ถูกต้องมีความละเอียดสูง ทำให้การแบ่งระยะ ที่ทำโดยโปรแกรมมีความแบ่งระยะที่ซับซ้อนในแต่ละจุดตัดภายใน Stereonet จึงแบ่งโดยฟังก์ชันของ ArcObject ที่มีอยู่ในโปรแกรมโดยแบ่งระยะที่เท่ากันแทน และความโค้งของเส้นขึ้นกับการสร้างโดยฟังก์ชันของ ArcObject เช่นกัน

การเขียนโปรแกรมได้ออกแบบค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณหาโดยแบ่ง ระยะระหว่างมุมในแนวระดับ ระยะระหว่างมุมเท ระยะระหว่างจุดบนเส้น Great circle และรัศมีในการค้นหาโดยในโปรแกรมกำหนดเป็น 10, 10, 5 และ 10 องศาตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ที่ออกมาจะได้แกนคดโค้ง 1 แกนและแขนระนาบการคดโค้ง 2 ระนาบเท่านั้น ถ้าได้แขนการคดโค้งน้อยหรือมากกว่านี้จะถือว่าการวิเคราะห์ไม่สมบูรณ์ เพราะไม่สามารถแปลความหมายได้โดยโปรแกรม แต่ถ้าเป็นการแปลความหมายโดยนักธรณีวิทยา จะสามารถบอกได้ถึงรูปร่างลักษณะทางโครงสร้างธรณีวิทยา แต่อย่างไรโปรแกรมจะแทนค่าด้วยค่าอื่นเพื่อบอกถึงว่าเป็นการผิดพลาดแบบใด

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างแบบคดโค้ง จะออกมาในลักษณะที่สมบูรณ์เท่านั้น คือมีค่าครบ 3 ค่าคือ แกนการวางตัว และระนาบแขนการคดโค้ง 2 ระนาบ แต่ถ้ามีการคำนวณที่ไม่ถูกต้อง โปรแกรมจะแจ้งในสดมภ์ azi_axis เป็นหมายเลข คือ **–1** หมายถึง มีระนาบแขนคดโค้งเพียง 1 ระนาบเท่านั้น **–3** หมายถึงมีระนาบแขนคดโค้งมากกว่า 2 ระนาบ และ **-4** หมายถึง

คำนวณแล้วไม่มีค่าระนาบแขนคดโค้ง การแจ้งรหัสออกมาเพื่อให้ผู้ใช้งานทราบถึงผลการวิเคราะห์โดย stereonet

นอกจากนี้ยังพบว่า การนับจุด pole ในแต่ละระนาบการวางตัวจนครบรอบ แต่ผลอาจออกมาในลักษณะที่มีค่าการนับสูงสุดเท่ากันหลายค่า โปรแกรมจะทำการเลือกค่าแรกที่พบถึงแม้ว่าอาจจะไม่ใช่ค่าที่ถูกต้อง แต่ด้วยข้อจำกัดในการจำแนกโดยเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ไม่สามารถแบ่งแยกค่าที่เท่ากันได้

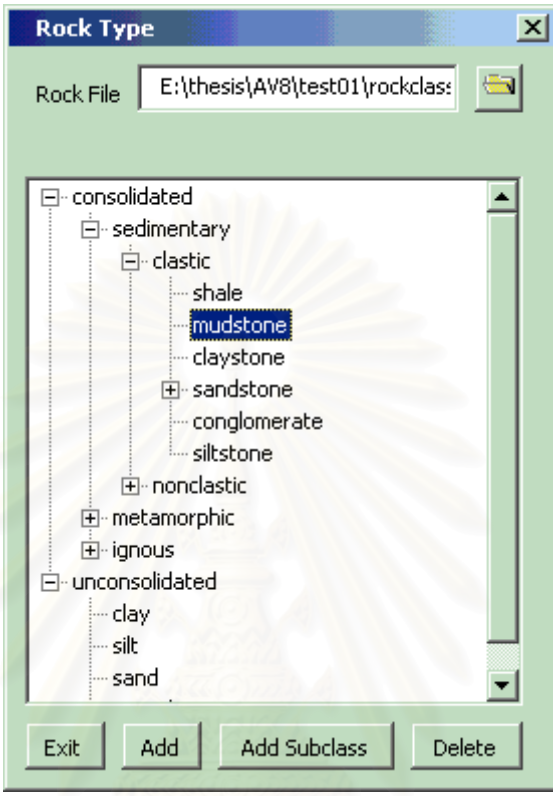
4.1.2. การจำแนกกลุ่มหินตามโครงสร้างธรณีวิทยา

รูปปิดแต่ละรูปปิดจะแทนความหมายทางธรณีวิทยาที่หมายถึงหมวดหิน ในขั้นตอนนี้จะรวมหมวดหินที่มีโครงสร้างธรณีวิทยาที่เหมือนหรือคล้ายกันเข้าด้วยกันโดยอาศัยข้อกำหนด 2 ข้อคือ 1) หมวดหินจะต้องมีรอยต่อสัมผัสกัน และ 2) การวางตัวในแนวระดับและมุมเทของหินทั้ง 2 หมวดหินจะต้องมีค่าต่างไม่เกิน 15 องศา ก็จะจัดหมวดหินทั้ง 2 อยู่ในกลุ่มเดียวกันตามโครงสร้างธรณีวิทยาที่มีการวางตัวแบบเรียบ แต่ถ้าหินมีการวางตัวแบบคดโค้งก็จะพิเศษกว่าการวางตัวแบบเรียบคือ มีค่าการวางตัวทั้ง 2 แขนของการคดโค้ง ฉะนั้นจะต้องเปรียบเทียบทั้ง 2 แขนของการคดโค้ง โดยใช้หลักการเดียวกับการวางตัวแบบเรียบ ในกระบวนการคือการรวมหมวดหินที่มีโครงสร้างธรณีวิทยากลุ่มเดียวกันเข้าด้วยกันโดยจะต้องมีขอบเขตติดต่อกันด้วย ผลลัพธ์ของการจัดกลุ่มโครงสร้างของหมวดหินจะถูกบรรจุลงในสดมภ์ St_group และสดมภ์ typeSt ของแฟ้มข้อมูลรูปปิดโดยเก็บเป็นจำนวนเต็มและตัวหนังสือตามลำดับ เลขจำนวนเต็มที่เหมือนกันจะอยู่ในกลุ่มเดียวกัน แต่ในขั้นตอนนี้ยังไม่สามารถจำแนกความแก่อ่อนของหินแต่ละกลุ่มได้เพียงแต่รู้ว่าในกลุ่มเดียวกันจะมีโครงสร้างธรณีวิทยาเหมือนกันเท่านั้น

4.1.3. การเรียงลำดับกลุ่มหิน

การจำแนกกลุ่มหินหลัก การเขียนโปรแกรมที่ใช้จำแนกก็เริ่มต้นจากการสร้างข้อมูลฐานของชนิดหินต่างๆ โดยมีการเรียงลำดับชั้นของกลุ่มหินตามกราฟรูปต้นไม้ ตามรูปที่ 4.3. ข้อมูลจะถูกบรรจุในแฟ้มข้อมูลชนิดไฟล์ดาต้าเบส(*.dbf) ตัวโปรแกรมจะเปิดแฟ้มข้อมูลขึ้นเพื่อรองรับการทำงาน ในส่วนนี้ผู้ใช้อาจเลือกแก้ไขจากในโปรแกรมได้ ถ้าข้อมูลชนิดหินในแฟ้มข้อมูลไม่ครอบคลุมชื่อหิน โดยสามารถลบและเพิ่มชนิดหินใหม่ลงไปได้ รวมทั้งเพิ่มชนิดหินที่จำแนกย่อยออกจากชนิดหินเดิม แต่ถ้ามีการแก้ไขเป็นชนิดหินเป็นจำนวนมากผู้ใช้ควรจะศึกษาโครงสร้างของแฟ้มข้อมูลชนิดหิน และสร้างแฟ้มข้อมูลใหม่ที่เป็นแฟ้มข้อมูลชนิดไฟล์ดาต้าเบส(*.dbf)ที่มีความสะดวกมากกว่า โดยโปรแกรมสามารถเรียกแฟ้มข้อมูลชนิดหินที่สร้างใหม่ได้ด้วย และการหากลุ่มหินหลักของแต่ละชนิดหินที่เป็นงานหลักของโปรแกรมนี้ โดยตัวโปรแกรมหลักจะส่งชนิดหินมาและ

โปรแกรมจะค้นหากลุ่มหินหลักแล้วจึงส่งข้อมูลกลับไปยังโปรแกรมหลัก ทำให้การทำงานของการจำแนกกลุ่มหินหลักเสร็จสมบูรณ์



รูปที่ 4.3 การจำแนกชนิดหินบนโปรแกรมประยุกต์

กลุ่มหินที่จำแนกตามโครงสร้างธรณีวิทยาครอบคลุมพื้นที่จำนวนหนึ่ง ขั้นตอนนี้จะตรวจสอบว่าในพื้นที่นั้นประกอบด้วยกลุ่มหินหลักใดเป็นหลัก และทำการจัดเรียงลำดับอายุกลุ่มหินแต่ละกลุ่ม ในวิธีจัดเรียงลำดับกลุ่มหินจะต้องทราบว่ามีจุดเก็บตัวอย่างแต่ละจุดและประกอบด้วยหินอะไรบ้าง เมื่อทราบชื่อหินก็จะใช้โปรแกรมการจำแนกกลุ่มหินในแต่ละจุดแบ่งเป็น 4 กลุ่ม จากจุดต่างๆในพื้นที่กลุ่มหินเดียวกันที่มีโครงสร้างธรณีวิทยาเหมือนกันก็จะทราบว่า ในพื้นที่นี้ประกอบด้วยกลุ่มหินใดเป็นหลักในจำนวน 4 กลุ่มหิน การจัดเรียงแต่ละกลุ่มหินเป็นตามชนิดการเกิด หินอัคนีจะไม่มีการกำหนดอายุที่แน่นอนได้ว่าแก่หรืออ่อนกว่าหินชนิดอื่น ฉะนั้นหินอัคนีจะไม่ถูกจัดเรียงอายุ หินแปรจัดได้ว่าเป็นหินที่แก่มากที่สุด รองลงมาคือหินตะกอน ส่วนตะกอนกึ่งดินกึ่งหินจะมีการจัดอายุอ่อนสุด การแบ่งอายุตามหินกลุ่มต่างๆได้อาศัยหลักการการเกิดของหินในหัวข้อ 2.1.1. แต่ทั้งนี้มีเกณฑ์กำหนดว่ากลุ่มหินนั้นจะต้องประกอบด้วยหินหลักตามชนิดการเกิดมากกว่า 50% ของจำนวนข้อมูลทั้งหมดจึงจะจัดเป็นหินกลุ่มหลักนั้นได้ การเทียบเคียงใช้เปอร์เซ็นต์กลุ่มหินหลักเป็นอันดับแรกก่อน ถ้าเปอร์เซ็นต์ในกลุ่มหินหลักเท่ากัน ก็จะใช้เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มหินที่มีค่ารองลงมา แล้วจึงนำกลุ่มหินแต่ละกลุ่มมาเทียบเคียงกัน และผลที่

ได้คือการจัดเรียงกลุ่มหินตามอายุโดยประมาณ ค่าที่ได้จะนำมาจัดเรียงใหม่และใส่ลงในสดมภ์ St_group อีกครั้ง

4.1.4. การเรียงลำดับหมวดหินแต่ละกลุ่มหิน

จากขั้นตอนข้างต้นจะทราบว่าลำดับความแก่อ่อนของแต่ละกลุ่มหิน แต่ในขั้นตอนนี้จะเป็นการเรียงลำดับอายุของหมวดหินหรือรูปปิดที่อยู่ในแต่ละกลุ่มหิน การลำดับอายุหินแต่ละชั้นอาศัยกฎการวางซ้อนในหัวข้อ 2.1.2. ทำให้ทราบว่าหินที่อายุอ่อนกว่าจะวางตัวอยู่บนถ้าไม่มีการตลบทับ แต่หินอาจมีการเปลี่ยนแปลงการวางตัวจากธรณีวิทยาโครงสร้าง ทำให้การวางตัวเปลี่ยนไป แต่การลำดับอายุก็ยังใช้กฎการวางซ้อน แต่มีข้อยกเว้นว่าชั้นหินจะต้องไม่มีการตลบทับเท่านั้น การเรียงลำดับจะแยกเป็นกลุ่มที่มีการวางตัวแบบเรียบ และกลุ่มที่มีการวางตัวแบบคดโค้ง การเรียงลำดับจะต้องอาศัยค่าการวางตัวของชั้นหิน และทิศทางการต่อเนื่องในแนวสัมผัสหมวดหิน การจัดลำดับของหมวดหินหรือรูปปิด 2 รูปจะต้องมีแนวสัมผัสกัน ส่วนการวางตัวของทั้ง 2 รูปก็จะต้องใกล้เคียงกันคือมีค่าแนววางตัวต่างกันไม่เกิน 15 องศา เมื่อหินมีแนวสัมผัสกันแล้ว ก็ให้รูปปิดรูปใดเป็นหลัก และสร้างจุดทดสอบขึ้นมาโดยจุดอยู่ห่างจากจุดกึ่งกลางของเส้นสัมผัสไปทางทิศการวางตัวของรูปปิดรูปที่ 2 เป็นระยะ 2หน่วยแผนที่ และให้ตรวจดูว่าจุดทดสอบอยู่ในรูปปิดรูปที่ 2 หรือไม่ แต่ต้องดูพร้อมกับทิศทางมุมเทด้วยเพื่อจะรู้ว่ารูปปิดใดมีอายุอ่อนกว่ากัน และการเรียงลำดับอายุของรูปปิดที่มีการวางตัวแบบคดโค้งจะมีความยุ่งยากมากกว่า เพราะจะต้องจำแนกด้วยว่ารูปปิดที่มีการวางตัวแบบคดโค้งนั้นมีการวางตัวคดโค้งแบบใด ระหว่างการคดโค้งแบบประทุนคว่ำหรือประทุนหงาย การหาว่าเป็นการคดโค้งแบบใดจะต้องความสัมพันธ์เชิงปริภูมิอยู่ด้วย ฉะนั้นจะต้องหารูปปิดหรือหมวดหินที่มีค่าการวางตัวทั้ง 2 แขนของหินคดโค้งก่อน จากนั้นจึงหารูปปิดหรือหมวดหินที่มีแนวสัมผัสกันกับรูปปิดหรือหมวดหินที่คดโค้ง และตรวจหาอายุอ่อนแก่ตามการวางตัวแบบเรียบ ถ้าจุดทดสอบอยู่ในรูปปิดที่มาสัมผัสแสดงว่ากลุ่มหินมีการคดโค้งแบบเดียวกับหินชุดคดโค้ง การเทียบเคียงอายุของหมวดหินคดโค้งก็ใช้วิธีเดียวกับแบบการวางตัวแบบเรียบ ยกเว้นกรณีที่รูปปิดมีความซับซ้อนทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ได้

การเรียงลำดับการทำงานจะเริ่มกับกลุ่มหินที่มีอายุอ่อนกว่าก่อน เมื่อรู้ว่าหมวดหินในกลุ่มหินแรกมีความแก่อ่อนอย่างไรก็จะใส่ข้อมูลลงในสดมภ์ sequ จากนั้นก็จะทำงานกับกลุ่มหินที่อายุแก่กว่าถัดไปจนหมดหมวดหิน แต่ถ้ารอยเลื่อนมีการลำดับอายุตัวเลขของหมวดหินจะเริ่มต้นต่อจากการลำดับอายุของรอยเลื่อน

4.1.5. ข้อมูลเส้นลำดับอายุ

หมวดหินหรือรูปปิดทั้งหมดได้ถูกจัดเรียงลำดับตามอายุแล้ว แต่การจะจัดรูปปิดให้เป็นแบบเส้นเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลอง TIN เส้นสัมผัสจะถูกแทนที่ระหว่างรอยต่อของรูปปิดหรือหมวดหิน 2 ชุด และข้อมูลอรรถาธิบายที่จะติดไปกับเส้นสัมผัสจะเป็นข้อมูลที่บ่งบอกว่าหมวดหินใดมีอายุแก่อ่อนกว่ากัน ส่วนการจัดข้อมูลเส้นขอบเขตและรอยเลื่อน ข้อมูลเส้นขอบเขตได้แก่ การรวมข้อมูลรูปปิดทั้งหมดและหาเส้นที่ล้อมรอบนอก เพื่อให้ได้ขอบเขตของพื้นที่ศึกษาและใช้ในการจำลองพื้นผิวภูมิประเทศ ส่วนข้อมูลรอยเลื่อนก็จัดการส่งผ่านข้อมูลเส้นนำเข้ามาเก็บไว้ในแฟ้มข้อมูลเส้นลำดับอายุเพื่อใช้แสดงผลต่อไปดังรูปที่ 4.4. แต่ถ้ามีอายุของรอยเลื่อนควรใส่ลงไปด้วยเพื่อการสร้างแบบจำลองที่ถูกต้อง และถ้ามีรายละเอียดของข้อมูลรอยเลื่อนก็จะถูกเก็บไว้ในแฟ้มข้อมูลเส้นลำดับอายุเช่นกัน โดยเรียงลำดับในสดมภ์ sequ

Attributes of XpModel09

FID	Shape	sequ	type	typeSt	typeNo	units	St_group	surNo	stk	dip	stk1	dip1	azi_axis	plunge	dir	dis	depth
0	Polyline	0	edge	edge	5		0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	Polyline	1	fault	fault	1		0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Polyline	2	fault	fault	1		0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Polyline	3	fault	fault	1		0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Polyline	4	fold	fold	1	c	1	1	220	30	40	30	310	0	0	0	0
5	Polyline	4	fold	fold	1	c	1	1	220	30	40	30	310	0	0	0	0
6	Polyline	6	bed	fold	1	b	1	1	220	32	0	0	0	0	0	0	0
7	Polyline	6	bed	fold	1	b	1	1	38	32	0	0	0	0	0	0	0
8	Polyline	8	bed	fold	1	a	1	1	220	40	0	0	0	0	0	0	0
9	Polyline	8	bed	fold	1	a	1	1	40	42	0	0	0	0	0	0	0
10	Polyline	10	bed	bed	1	g	2	1	308	38	0	0	0	0	0	0	0
11	Polyline	11	bed	bed	1	f	2	1	298	53	0	0	0	0	0	0	0
12	Polyline	12	bed	bed	1	e	2	1	298	31	0	0	0	0	0	0	0
13	Polyline	13	bed	bed	1	d	2	1	302	50	0	0	0	0	0	0	0

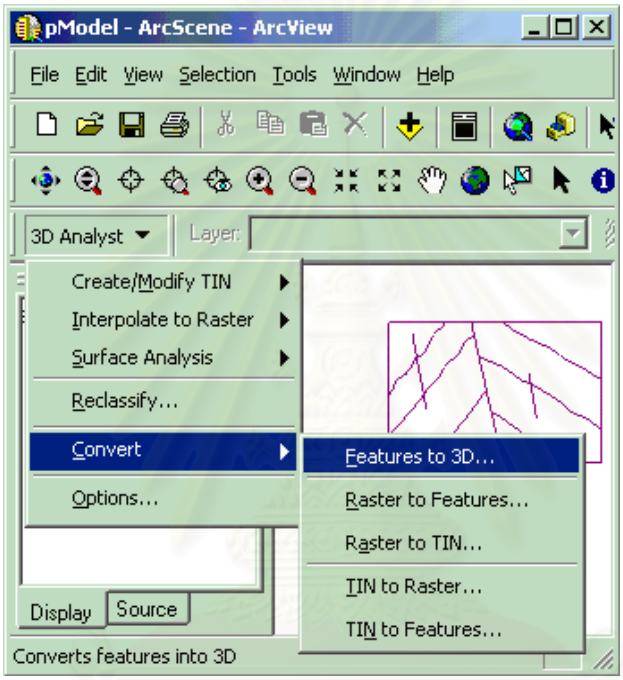
Record: 1 Show: All Selected Records (0 out of 14 Selected.) Options

รูปที่ 4.4 ตารางแฟ้มข้อมูลเส้นลำดับอายุ

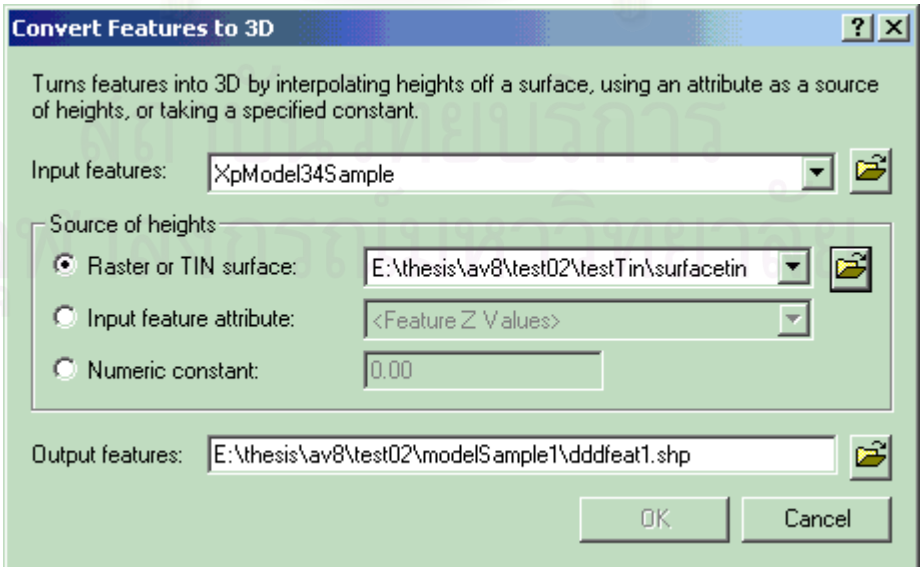
ข้อมูลหมวดหินในแต่ละกลุ่มหินจะมีเท่าไรก็ตาม แต่เมื่อเวลานำมาสร้างข้อมูลเส้นแล้ว จำนวนเส้นสัมผัสหมวดหินจะมีน้อยกว่าหมวดหิน อย่างเช่นหมวดหินที่วางตัวแบบเรียบมีหมวดหิน 5 ชุดจะมีเส้นสัมผัสเพียง 4 เส้นเท่านั้น ฉะนั้นหมวดหินที่แก่จะไม่มีเส้นสัมผัสที่ใช้แทนชั้นหิน แต่ก็สามารถหาขอบเขตได้ไกลที่สุดเท่าที่จะไกลได้ โดยหาจุดในรูปปิดที่คำนวณจากค่าการวางตัวแล้วว่าเป็นจุดที่อายุแก่ที่สุด หรืออีกความหมายหนึ่งคือจุดที่อยู่ทางด้านตรงข้ามกับทิศทางมุมเทมากที่สุด ตามหัวข้อ 3.4.4. ก็จะใช้จุดนั้นสร้างเส้นสั้นๆเปรียบเสมือนว่าเป็นเส้นข้อมูลผลลัพธ์เส้นหนึ่งและจะใช้เส้นนี้สร้างแบบจำลองต่อไป และใส่ลำดับลงในสดมภ์ sequ จนหมด การใส่ลำดับในสดมภ์ sequ จะเพิ่มทีละ 1 ยกเว้นกรณีที่หมวดหินคดโค้งที่มีหมวดหินเดียวกันทั้ง 2 ฝั่งของการคดโค้งจะให้เลขในสดมภ์ sequ ของหมวดหินเป็นเลขเดียวกันทั้ง 2 ชุด แต่ตัวเลขถัดไปเว้นว่างไว้ และในส่วนสดมภ์ surNo จะใส่ค่า 1 เท่านั้นเพื่อใช้เป็นตัวชี้ว่าเส้นนี้อยู่บนพื้นผิวเพื่อใช้เลือกสร้างพื้นผิวดินต่อไป

4.2. แบบจำลองธรณีวิทยา 3 มิติ

ข้อมูลที่ผ่านขั้นตอนแรกมาจะพบว่าข้อมูลยังมิได้มีข้อมูลความสูง ก็สามารถเพิ่มข้อมูลโดย ใส่ข้อมูลพื้นผิวเข้าไปแล้วดึงความสูงมาใส่ในข้อมูลเส้นซึ่งในโปรแกรมอาร์กวิวมีวิธีการนี้อยู่ในส่วน 3D Analyst โดยผ่านคำสั่ง Convert และคำสั่งย่อย Features to 3D จากนั้นจึงจะนำข้อมูลมาทำงานในส่วนที่สองของโปรแกรม ถ้าข้อมูลไม่เป็นแบบ 3 มิติจะไม่สามารถทำงานบนโปรแกรมในส่วนที่ 2 ได้



รูปที่ 4.5 คำสั่ง Features to 3D ในโปรแกรม 3D Analyst



รูปที่ 4.6 การใส่ข้อมูลเพื่อแปลงเป็นข้อมูล 3 มิติ

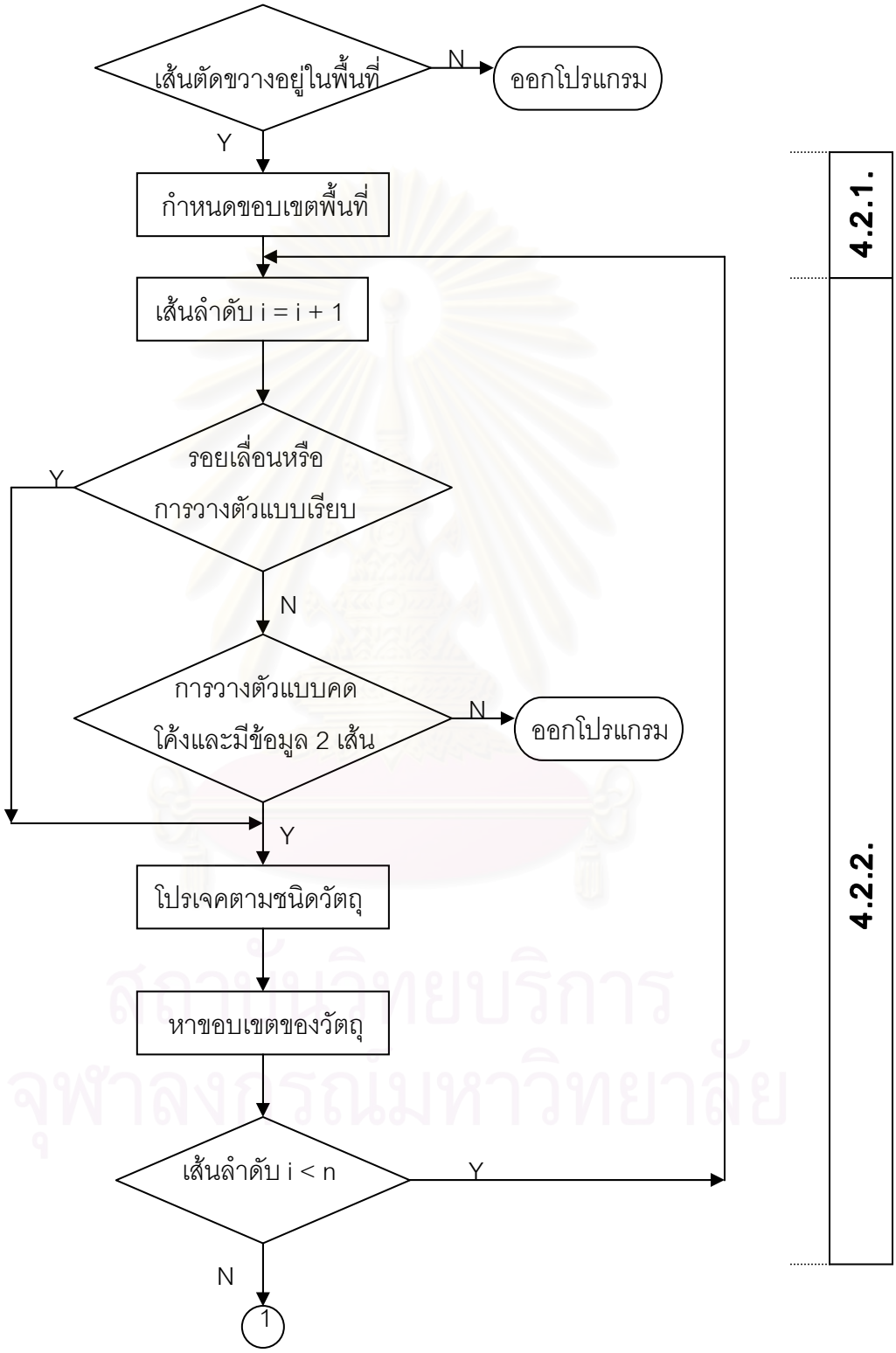
จากขั้นตอนในช่วงแรก ผลลัพธ์ที่ได้ก็จะอยู่ในรูปข้อมูลเส้นที่มีการเรียงลำดับ พร้อมทั้งข้อมูลอรรถาธิบายของข้อมูลเส้น ซึ่งข้อมูลดังกล่าวพร้อมที่จะใช้จำลองข้อมูล 3 มิติ และสามารถปรับแต่ง เพิ่ม หรือ ลดข้อมูลได้ในตารางข้อมูล(การแก้ไขจะทำงานได้บน ArcMap) จะทำให้การแสดงผลแบบจำลองที่เปลี่ยนไปตามข้อมูลที่เปลี่ยนไปเช่นกัน การจำลองข้อมูล 3 มิติจะแบ่งลักษณะการแสดงผลออกเป็น 2 ส่วนตามความสามารถของโปรแกรมที่ทำงานได้คือ 1) กรณีที่ไม่มีรอยเลื่อนหรือมีรอยเลื่อนแต่ไม่มีการเลื่อนตัว จะสามารถแสดงผลทั้งในรูป TIN และภาพตัดขวาง และ 2) กรณีมีรอยเลื่อนและมีการเลื่อนตัว จะแสดงได้ในลักษณะภาพตัดขวางเท่านั้น เพราะการเลื่อนตัวของรอยเลื่อนไม่สามารถสร้าง TIN ของชั้นหินที่แสดงการเลื่อนตัวได้ แต่การแสดงผลจะแสดงได้ในรูปของภาพตัดขวางซึ่งอยู่ในความสามารถของโปรแกรมที่จะแสดงได้ การเริ่มต้นในขั้นตอนนี้เริ่มจากการสร้าง TIN ของแต่ละแบบข้อมูล แล้วจึงดึงข้อมูล TIN มาเป็นข้อมูลที่แสดงบนภาพตัดขวางซึ่งเป็นข้อมูลที่มีค่าแบบ 3 มิติ แต่การทำงานของโปรแกรมไม่สามารถทำงานกับข้อมูล 3 มิติได้ เนื่องจากฟังก์ชันการทำงานในเรื่อง topological operation และ relational operation ในส่วนของ ArcObject จะทำงานกับข้อมูล 2 มิติเท่านั้น ฉะนั้นในส่วนการเขียนโปรแกรมจะต้องแปลงข้อมูล 3 มิติมาเป็น 2 มิติก่อน แล้วจึงผ่านกระบวนการการจัดสร้างภาพตัดขวาง เมื่อสร้างเสร็จแล้วจึงแปลงข้อมูล 2 มิติเป็น 3 มิติในภายหลังแล้วจึงแสดงผลออกมาในเชิงมิติที่ 3 การทำงานจะแบ่งการวนรอบการทำงานเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงแรกหัวข้อ 4.2.2. ส่วนช่วงหลังวนรอบหัวข้อ 4.2.3. ถึง 4.2.7. โดยแต่ละรอบจะผ่านกระบวนการครั้งละข้อมูลแล้วจึงวนกลับมาทำกับข้อมูลที่แก่กว่าตามลำดับอายุ และมีรายละเอียดการสร้างดังรูป 4.7. และมีขั้นตอนย่อยในแต่ละส่วนอยู่ทางด้านขวามือของรูปโดยเขียนหมายเลขหัวข้อกำกับไว้

4.2.1. กำหนดขอบเขตการจำลอง

ก่อนอื่นจะต้องกำหนดปริมาตรการจำลอง โดยขยายขอบเขตในแนวระดับต่อออกไปอีก ½ เท่าของทั้งความกว้างและความยาว และขยายความลึกตามความต้องการ ในที่นี้กำหนดเป็น -5000 หน่วย สาเหตุที่ต้องขยายปริมาตรออกไป เพราะการโปรเจคข้อมูลบางตัวอาจไม่ครอบคลุมทั่วทั้งพื้นที่ที่อยู่ในพื้นที่ศึกษา หรือบางส่วนของข้อมูลอาจมีความสัมพันธ์กันนอกพื้นที่ทำให้ผลการแปลความหมายในพื้นที่ผิดไป

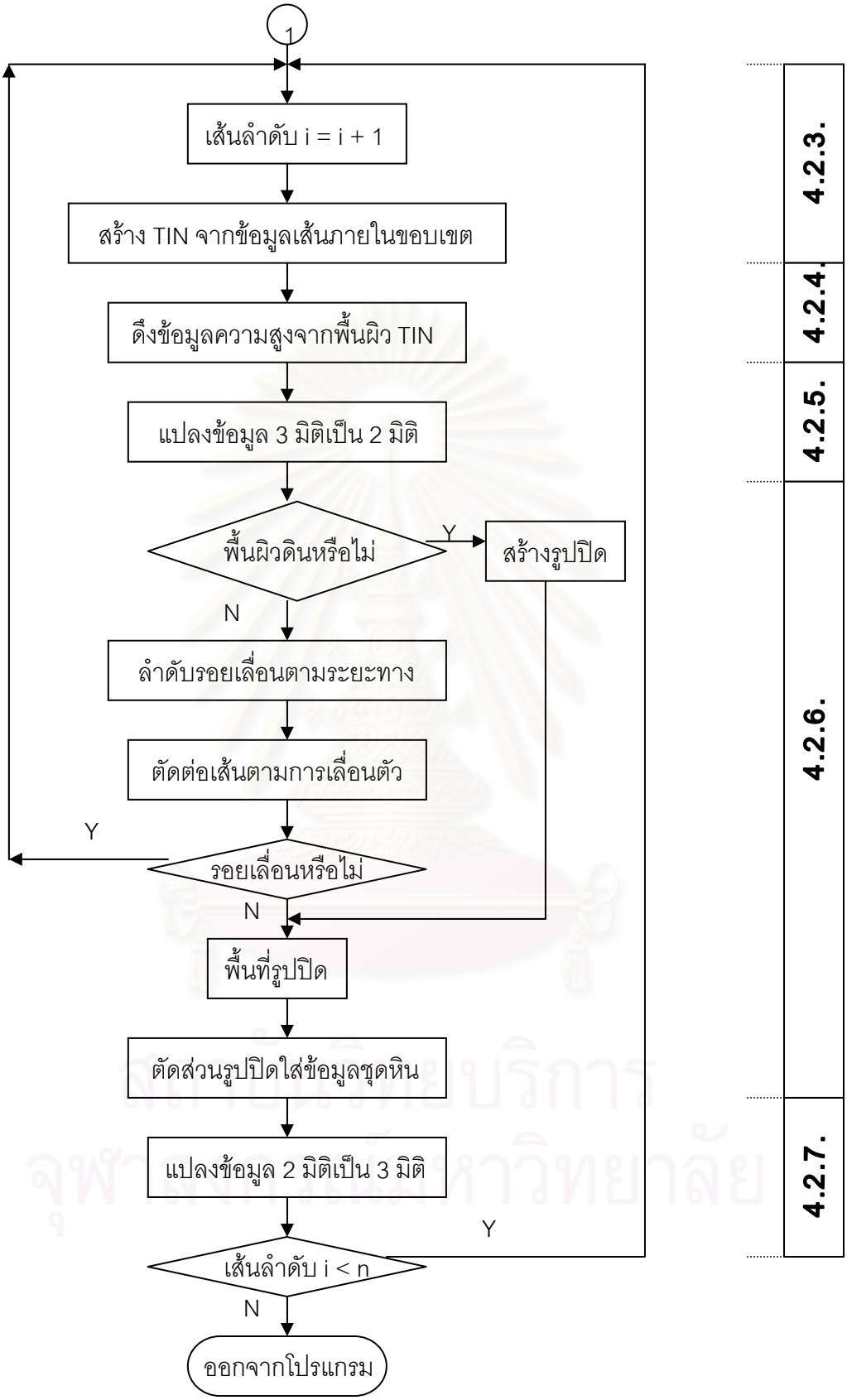
การกำหนดแนวภาพตัดขวางของแบบจำลองธรณีวิทยา โดยกำหนดอยู่ภายในส่วนโปรแกรมคือบอกค่าพิกัด x,y เริ่มต้น และ x,y จุดปลายที่เป็นเส้นตรง และสาเหตุที่ต้องกำหนดในโปรแกรมเพราะการทำงานบน ArcScene ไม่สามารถกำหนดเส้นโดยผ่านบนโปรแกรมได้ ในขั้นตอนก่อนเริ่มจะต้องหาขอบเขตของพื้นที่ที่ยังไม่ขยายออกไป โดยใช้ข้อมูลขอบเขตใน

แฟ้มข้อมูลเส้นลำดับอายุที่ได้จากหัวข้อ 4.1. และทำการตรวจสอบแนวภาพตัดขวางว่าอยู่ในพื้นที่หรือไม่ โดยจะต้องไม่มีส่วนใดส่วนหนึ่งของแนวภาพตัดขวางอยู่นอกขอบเขต



รูปที่ 4.7 ขั้นตอนการทำงานในโปรแกรมแบบจำลองธรณีวิทยา 3 มิติ

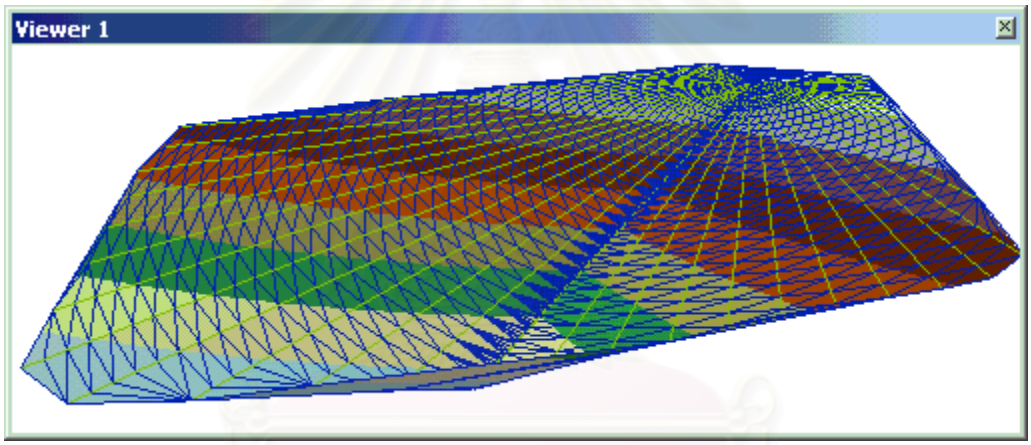
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.7 (ต่อ) ขั้นตอนการทำงานในโปรแกรมแบบจำลองธรณีวิทยา 3 มิติ

4.2.2. การสร้างข้อมูลสำหรับแบบจำลอง TIN

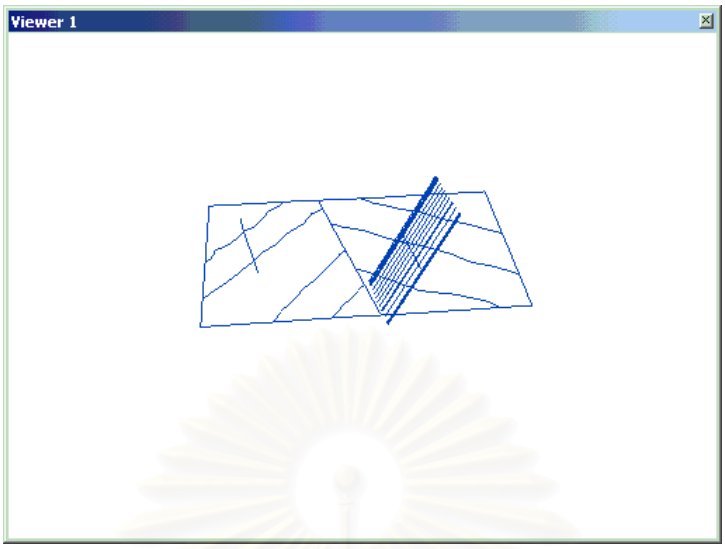
ข้อมูลเส้นที่นำเข้าในขั้นตอนนี้จะจำแนกตามชนิดเพื่อสร้าง TIN ในแต่ละแบบ นอกจากนี้ยังต้องกำหนดขอบเขตของแต่ละข้อมูลเส้นที่จะสร้าง TIN เพราะการสร้าง TIN ข้อมูลจุดที่อยู่บริเวณขอบของ TIN มีการจำลองที่ผิดพลาดไปตามรูปที่ 4.8. ฉะนั้นการกำหนดขอบเขตของการสร้าง TIN ทำให้ผลการสร้างมีความถูกต้อง และทุกข้อมูลที่สร้างจะมีต้องเส้นขอบเขตที่กำหนดให้ด้วย และอีกข้อมูลที่ต้องสร้างเพิ่มในขั้นตอนนี้คือข้อมูลที่ขยายจากข้อมูลจุดบนเส้นและทำการโปรเจคออกไปในทิศทางการเอียงเท การขยายข้อมูลจะขึ้นอยู่ตามชนิดข้อมูลที่สร้าง TIN ข้อมูลการสร้าง TIN แบ่งได้ 3 ประเภทคือ



รูปที่ 4.8 แสดงการสร้าง TIN ที่ขอบบิดเบี้ยว

4.2.2.1. แบบรอยเลื่อน

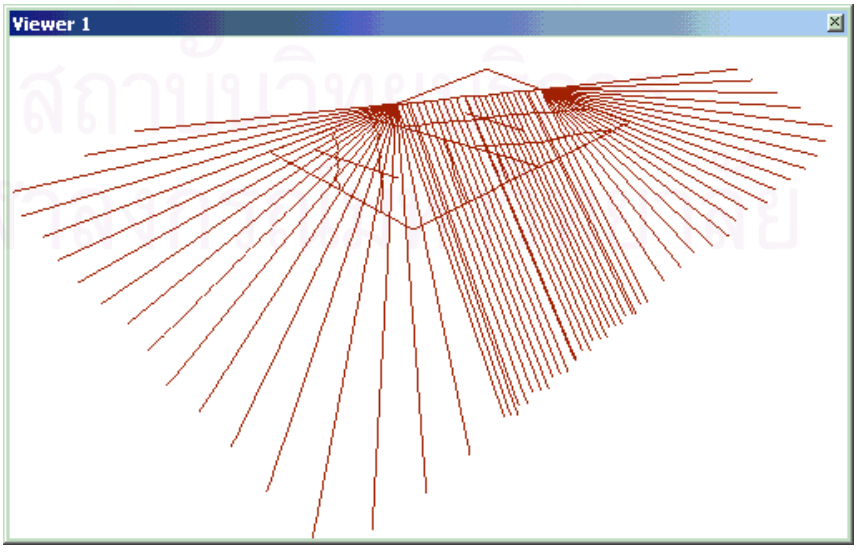
วิธีนี้เส้นรอยเลื่อนจะโปรเจคตามทิศทางตามมุม True dip โดยโปรเจคออกจากจุดที่อยู่บนข้อมูลเส้นทุกจุด และจุดที่โปรเจคออกลงใต้ดินจะยาวออกไปจนถึงความลึกของตัวรอยเลื่อนที่กำหนดไว้หรือจนถึงขอบเขตพื้นที่ตามรูปที่ 4.9. ส่วนทิศที่พุ่งไปในอากาศต่อออกจนเท่าความลึกของตัวรอยเลื่อน เหตุที่ต้องโปรเจคไปในอากาศด้วยเพราะบางครั้งรอยเลื่อนมีการเลื่อนตัวขึ้นไปทำให้ข้อมูลชั้นหินที่ถูกรอยเลื่อนยกตัวขึ้นสูงจากระดับผิวดิน ถึงแม้ส่วนที่สูงจากผิวดินจะถูกตัดหายไป แต่ส่วนชั้นหินที่ถูกยกตัวสูงขึ้นที่ต่อเนื่องจากส่วนที่ขาดหายไป อาจกลับมาโผล่ที่ใต้ผิวดินอีกครั้งก็ได้ ส่วนระยะการเลื่อนตัวและทิศทางการเลื่อนตัวจะใช้ในขั้นตอนหลัง



รูปที่ 4.9 การเตรียมข้อมูลรอยเลื่อนสำหรับสร้าง TIN

4.2.2.2. แบบระนาบเรียบ

วิธีนี้จะโปรเจคออกไปจากทุกจุดบนข้อมูลเส้นลง จนถึงขอบเขตพื้นที่โดยมีทิศทางตามมุม True dip แต่ที่จุดปลายทั้ง 2 ด้านของข้อมูลเส้นสัมผัสหินจะโปรเจคออกไปเป็นรัศมีเสี้ยววงกลมดังรูปที่ 4.10. มุมระหว่างเส้นเท่ากับ 5 องศา และมีการคำนวณมุมที่พุ่งออกไปเป็นมุม Apparent dip ตามสูตรในหัวข้อ 3.4.5. โดยรอบทิศทางที่อยู่บนระนาบการวางตัวจนถึงขอบของการสร้างแบบจำลอง ระนาบของชั้นหินไม่จำเป็นต้องเรียบเนื่องจากข้อมูลจุดที่อยู่บนข้อมูลเส้นมีตำแหน่งที่ต่างกัน การโปรเจคแบบระนาบเรียบจะรวมไปถึงการโปรเจคคดโค้งแบบประทุนคว่ำด้วย เพราะการโปรเจคคดโค้งแบบประทุนคว่ำจะต้องการโปรเจคเฉพาะแขนของการคดโค้งเท่านั้น ถ้ามีส่วนโค้งของประทุนคว่ำจะพบอยู่ใต้พื้นผิวซึ่งก็ไม่มีการเก็บข้อมูลขึ้นมาได้



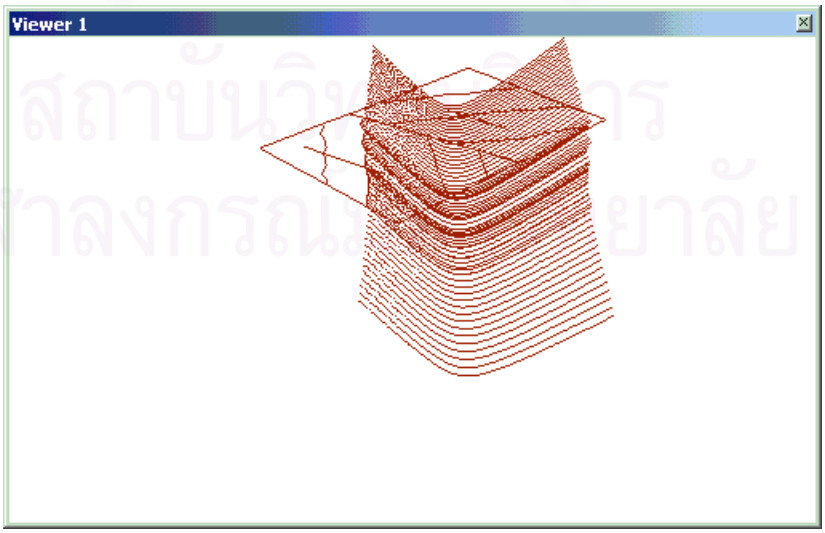
รูปที่ 4.10 การเตรียมข้อมูลชั้นหินแบบระนาบเรียบสำหรับสร้าง TIN

4.2.2.3. **แบบชั้นหินคดโค้งแบบประทุนหงาย**

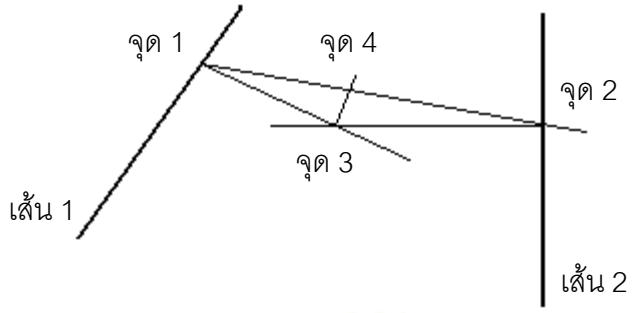
การโปรเจคแบบนี้จะกล่าวถึงการโปรเจคคดโค้งแบบประทุนหงายเท่านั้น เพราะส่วนที่โปรเจคออกจะมีการคดโค้งบริเวณแกนคดโค้งตามรูปที่ 4.11. และการโปรเจคแบบนี้ในครั้งแรกจะต้องมีเส้นสัมผัสอย่างน้อย 2 เส้น ผลที่ได้จะได้ชั้นหินคดโค้ง 1 พื้นผิวและแนวแกนกลางของการคดโค้ง โดยแนวแกนกลางการคดโค้งจะถูกใช้ประโยชน์เมื่อพบว่ามีเส้นสัมผัสเพียงเส้นเดียว เพราะการสร้างชั้นหินคดโค้งจะสร้างจากเส้นสัมผัสเพียงเส้นเดียวไม่ได้ และก่อนการโปรเจคแบบนี้จะต้องขยายส่วนต่อของเส้นสัมผัสออกไปจนชนขอบเขต หรือไม่ก็ไปตัดกับอีกเส้นหนึ่งเพื่อให้การจำลองครบส่วนสมบูรณ์ของรูปร่างการคดโค้งแบบประทุนหงายทั้งแขนการคดโค้งและแนวแกนคดโค้ง รวมถึงครอบคลุมพื้นที่การสร้างแบบจำลอง

การสร้างชั้นหินคดโค้งจะต้องประกอบด้วยเส้นสัมผัสอย่างน้อย 2 เส้น หรือไม่ก็มีเส้นสัมผัส 1 เส้นและแกนการคดโค้งอีก 1 เส้น แต่ถ้ามีเส้นเดียวจะสร้างไม่ได้ ฉะนั้นอย่างน้อยในรอบแรกของการสร้างชั้นหินคดโค้งจะต้องมีเส้นสัมผัส 2 เส้นและผลจากการสร้างเส้นคดโค้งจะได้แกนการคดโค้งมาด้วย เพื่อใช้ในกรณีหาชั้นหินคดโค้งและมีข้อมูลเพียงเส้นสัมผัสเส้นเดียว

การคำนวณเส้นคดโค้ง 3 มิติ โดยมีเส้นสัมผัส 2 เส้นให้เลือกจุด 1 (รูปที่ 4.12.)บนเส้นสัมผัส 1 เป็นที่ตั้ง และสร้างเส้นระดับทิศทางตั้งฉากกันแกนคดโค้งไปตัดที่เส้นสัมผัส 2 ให้เป็นจุด 2 ค่า z คำนวณจากระดับของเส้น ใช้จุด 1 และจุด 2 คำนวณด้วยทิศทางการเอียงเทเข้าหากันจะได้จุดตัดของแกนคดโค้งคือ จุด 3 ที่มีค่า x,y ส่วนค่า z หาจากมุมเทและระยะห่างระหว่างจุดแกนคดโค้งและเส้น ทำการโปรเจคจุดแกนคดโค้งขึ้นข้างบนผิวดินโดยใช้การแบ่งมุมเท่ากันที่จุด 3 และจุดตัดกับเส้นระดับตั้งฉากแกนคดโค้งคือจุด 4 และใช้จุดนี้ทำการสร้างเส้นแกนคดโค้งชั้นหิน



รูปที่ 4.11 การเตรียมข้อมูลชั้นหินแบบคดโค้งประทุนหงายสำหรับสร้าง TIN



รูปที่ 4.12 การสร้างเส้นคดโค้ง

การสร้างข้อมูลสำหรับแบบจำลอง TIN ในกระบวนการนี้จะกระทำทีละข้อมูลและจะวนกลับทำตามลำดับข้อมูลจนครบทุกข้อมูลแล้วจึงจะผ่านกระบวนการถัดไป ผลการสร้างข้อมูลเพิ่มสำหรับการสร้าง TIN จะได้ข้อมูลที่พร้อมสร้าง TIN ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลจุดของเส้นที่ถูกเก็บไว้ในแฟ้มข้อมูลเส้น และข้อมูลขอบเขตที่กำหนดพื้นที่ที่จะสร้าง TIN เก็บในหน่วยความจำของโปรแกรม

4.2.3. การสร้างแบบจำลอง TIN

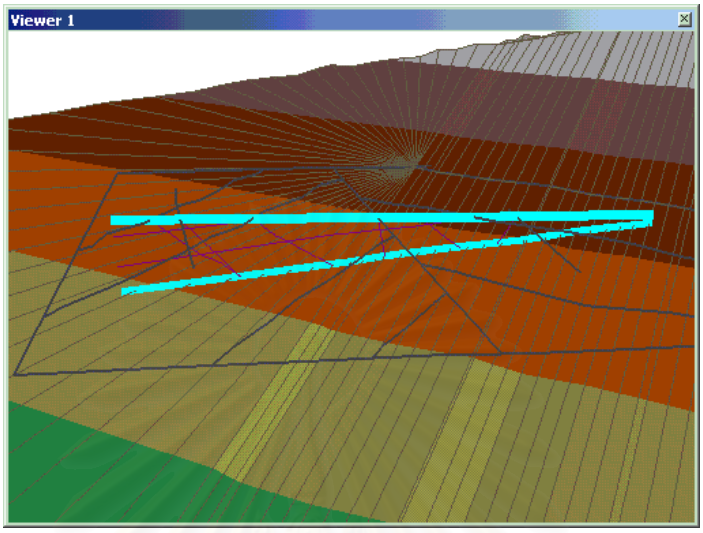
ก่อนเริ่มทำการจำลอง TIN แบบต่างๆ ต้องเริ่มต้นที่ TIN ของผิวโลกโดยใช้ข้อมูลเส้นทุกเส้นก่อนการโปรเจคข้อมูล แต่ละจุดบนเส้นจะมีค่าความสูงของพื้นผิวโลก และให้เส้นขอบของพื้นที่ศึกษาเป็นขอบของ TIN ก็จะได้พื้นผิวโลกบริเวณที่ศึกษาออกมา จากนั้นก็จะสร้าง TIN ของข้อมูลเส้นเรียงตามลำดับอ่อนไปแก่ การสร้าง TIN จะมีคำสั่งใน ArcOject ที่สร้างพื้นผิวขึ้นมา โดยสามารถเลือกข้อมูลที่จะสร้างได้ และเส้นขอบเขตที่ใช้กำหนดขอบเขตที่สร้าง TIN ข้อมูล TIN จะถูกเก็บไว้ในแฟ้มข้อมูลแต่ละแฟ้ม

ผลในขั้นนี้ก็จะได้พื้นผิวทุกข้อมูลสำหรับพื้นผิวของแบบจำลอง แต่ถ้ามีการเลื่อนตัวของรอยเลื่อนจะไม่ใช่พื้นผิวที่แท้จริง เพราะแบบจำลอง TIN ยังไม่สามารถกำหนดพื้นที่ที่มีการเลื่อนตัวได้ ในขั้นนี้จะแสดงผลของการจำลองธรณีวิทยา 3 มิติที่เป็นแบบพื้นผิวและรอยเลื่อนที่ไม่มีการเลื่อนตัวได้ถูกต้องเท่านั้น

4.2.4. การดึงข้อมูลเส้นในแนวตัดขวาง

เริ่มต้นต้องใส่แนวเส้นที่จะเป็นแนวภาพตัดขวางก่อน จากนั้นอันดับแรกคือดึงข้อมูล TIN ที่เป็นพื้นผิวโลกขึ้นมา และใช้คำสั่งในโปรแกรมให้ดึงข้อมูลแนวภาพตัดขวางที่อยู่บน TIN ออกมา ข้อมูลเส้นที่ดึงออกมาจะเป็นข้อมูลเส้นแบบ 3 มิติที่มีข้อมูลค่าความสูงจาก TIN และในบางจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความสูง TIN ก็จะถูกเพิ่มจุดเข้าไปบนข้อมูลเส้น 3 มิติที่ได้ ข้อมูลเส้น 3 มิติที่ได้มาถ้าลงบนภาพตัดขวางจะได้ระดับความสูงของพื้นผิวนั้นๆ ความยาวของเส้น 3

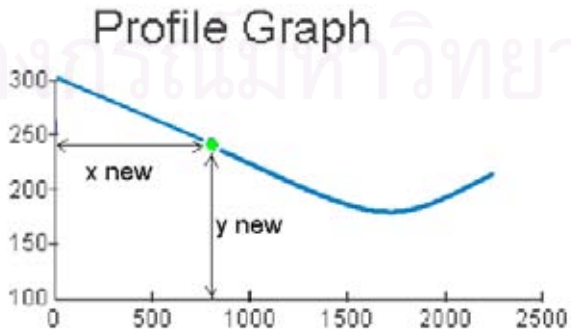
มิติที่เป็นภาพตัดขวางจะมีความยาวในแนว 2 มิติที่วัดในแนวระดับที่มีความยาวมากที่สุดเท่ากับความยาวของแนวภาพตัดขวาง



รูปที่ 4.13 แสดงการดึงข้อมูลเส้นจากข้อมูล TIN ในแนวภาพตัดขวาง

4.2.5. การแปลงข้อมูล 3 มิติเป็น 2 มิติ

ข้อมูลในหัวข้อ 4.2.4. นี้จะถูกแปลงค่าจาก 3 มิติเป็น 2 มิติโดยค่า x,y → x new และ z → y new โดยอ้างอิงจากจุดเริ่มต้นของเส้นแนวตัดขวาง ค่า x new ที่ได้คือระยะทางที่ห่างจากจุดเริ่มต้นของแนวตัดขวางในแนวระดับไปยังจุด x,y ของเส้นภาพตัดขวาง 3 มิติ ส่วนค่า y new จะเป็นค่าความสูงของพื้นผิวของเส้นภาพตัดขวาง 3 มิติตามรูปที่ 4.14. การแปลงค่าจาก 3 มิติเป็น 2 มิติจะเริ่มกระทำกับจุดแรกของเส้น 3 มิติไปจนถึงจุดสุดท้าย ฉะนั้นภาพของเส้น 3 มิติและเส้น 2 มิติจะเป็นภาพเดียวกันแต่ถ้าแสดงในแผนที่จะอยู่คนละตำแหน่งกันเท่านั้น จากนั้นจะตรวจดูว่าเป็นเส้นพื้นผิวดินหรือไม่ ถ้าไม่ก็ส่งทำขั้นตอนต่อไป แต่ถ้าใช่ให้สร้างข้อมูลเส้น 3 มิติให้เป็นพื้นที่รูปปิดเพื่อใช้ในกระบวนการต่อไป เส้นข้อมูลเส้นแรกคือเส้นพื้นผิวดิน



รูปที่ 4.14 แสดงการแปลงค่า x new และ y new ในภาพตัดขวาง

4.2.6. การหาความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ

ในขั้นตอนนี้จะแบ่งแยกข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่มคือ ข้อมูลรอยเลื่อน และข้อมูลชั้นหินที่มีการวางตัวแบบเรียบและคดโค้ง โปรแกรมจะตรวจสอบข้อมูลรอยเลื่อนว่ามีผ่านเข้ามาหรือไม่ ถ้ามีจะมีการลำดับรอยเลื่อนอย่างไร ในขั้นแรกจะลำดับตามความใกล้ด้านที่ใกล้ผิวดินก่อน ข้อมูลในช่วงแรกมักเป็นข้อมูลรอยเลื่อน ข้อมูลรอยเลื่อนที่ไม่มีการเลื่อนตัวจะถูกใส่ลงในภาพตัดขวางโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ ส่วนข้อมูลรอยเลื่อนที่มีการเลื่อนตัวและข้อมูลหมวดหินจะต้องผ่านกระบวนการหาความสัมพันธ์การเลื่อนตัวของรอยเลื่อนจึงจะนำมาสร้างภาพตัดขวางได้ จากนั้นก็ใส่ลงในภาพตัดขวางแล้วตรวจสอบว่ามีรอยเลื่อนตัดผ่านหรือไม่ ถ้าตัดผ่านมีรอยเลื่อนตัดผ่านกี่เส้น และให้ตรวจดูว่าเส้นรอยเลื่อนเส้นใดอยู่ใกล้ไกลเท่าไรจากจุดที่ผิวดินตามแนวเส้น เมื่อพบแล้วก็จะกระทำกับเส้นรอยเลื่อนที่ใกล้ที่สุดก่อน เส้นชั้นหินหรือเส้นรอยเลื่อนก็จะเลื่อนตามระยะและทิศทางการเลื่อนตัว เมื่อทำครบทุกเส้นแล้วก็จะนำเส้นดังกล่าวมาทำการตัดที่รูปปิดของภาพตัดขวาง แล้วเลือกส่วนบนของบริเวณที่ตัดออกทำเป็นชั้นหินของเส้นสัมผัสนั้นซึ่งเป็นข้อมูลรูปปิด 2 มิติ จากนั้นจะวนไปกระบวนการต่อไป และจะทำกับข้อมูลเส้นจนครบทุกเส้นเพื่อที่จะได้ชั้นหินแต่ละชั้น

4.2.7. การแปลงข้อมูล 2 มิติเป็น 3 มิติ

ผลจากกระบวนการหัวข้อ 4.2.6. จะได้ข้อมูล 2 มิติ ค่าพิกัดจะอยู่คนละที่กับแฟ้มข้อมูล จะต้องทำการแปลงค่าเส้น 2 มิติให้เป็นเส้น 3 มิติก่อนจึงจะนำมาแสดงผลเป็นข้อมูล 3 มิติบนโปรแกรมอาร์กวิว การแปลงข้อมูลกลับเป็นแบบ 3 มิติก็ทำแบบย้อนกลับของหัวข้อ 4.2.5. คือใช้จะพิกัดเริ่มต้นของแนวเส้นตัดขวางเป็นหลัก ค่า x ของข้อมูลรูปปิด 2 มิติแปลงเป็นค่า x,y ของข้อมูลรูปปิด 3 มิติและค่า y ของข้อมูลรูปปิด 2 มิติแปลงเป็นค่า z ของข้อมูลรูปปิด 3 มิติ และค่าพิกัดของข้อมูลรูปปิดก็คือค่าพิกัดระบบเดียวกับข้อมูลธรณีวิทยา ข้อมูลอรรถาธิบายในสดมภ์ sequ ของข้อมูลเส้นลำดับอายุก็จะถูกถ่ายทอดลงในแฟ้มข้อมูลภาพตัดขวาง

ผลการสร้างจะสามารถแสดงข้อมูลได้ในส่วนของ ArcScene เท่านั้น แต่ถ้าแสดงผลในโปรแกรม ArcMap จะปรากฏให้เห็นเป็นเพียงข้อมูลเส้นเพียงเส้นเดียวเท่านั้น แต่ความจริงแล้วประกอบด้วยข้อมูลรูปปิดที่ซ้อนทับกันหลายรูป

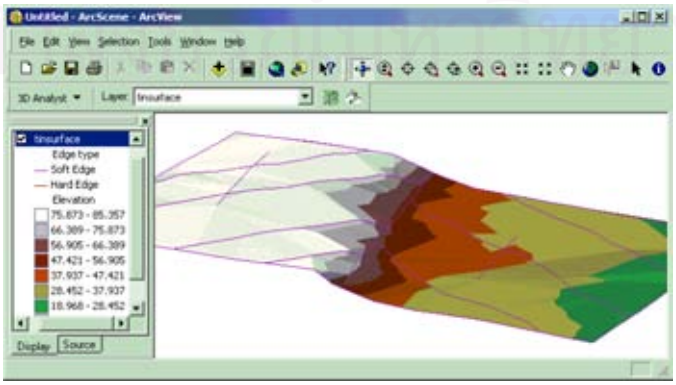
บทที่ 5

การทดสอบโปรแกรม

5.1. ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาเป็นข้อมูลที่สร้างขึ้นมาโดยให้มีหินครบทั้ง 2 กลุ่มหินและมีโครงสร้างธรณีวิทยาที่ไม่ซับซ้อน สาเหตุที่ต้องสร้างขึ้นมาเองเพราะในการเลือกพื้นที่จริงที่จะทำการศึกษาลักษณะทางธรณีวิทยาที่ไม่ซับซ้อนก็จะมีพื้นที่ขนาดใหญ่ ทำให้ข้อมูลไม่ครบตามวัตถุประสงค์ จากการค้นหาข้อมูลธรณีวิทยาหลายพื้นที่ แต่ในการศึกษาเลือกพื้นที่กว้าง 6.5 กิโลเมตรและยาว 10 กิโลเมตร ด้านยาวจะอยู่ในแนวตะวันตก-ตะวันออก พื้นที่ทางฝั่งด้านตะวันตกประกอบด้วยหินจำพวกหินแปรที่มีการวางตัวแบบคดโค้งประทุนหงาย และแกนการคดโค้งอยู่ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ ส่วนทางด้านตะวันออกประกอบด้วยหินตะกอนที่มีการวางตัวแบบเรียบมีมุมเทประมาณ 25 องศาทิศทางการเอียงเทไปทางตะวันตกเฉียงใต้

ลักษณะภูมิประเทศเป็นแบบที่ราบลูกคลื่น โดยทางฝั่งตะวันตกที่เป็นหินแปรจะมีระดับความสูงประมาณ 75-85 เมตรจากระดับ 0 เมตรและหินตะกอนทางฝั่งตะวันออกมีความสูงประมาณ 20-50 เมตรโดยมีความลาดชันลดลงไปทางตะวันออกตามรูปที่ 5.1. สาเหตุที่สร้างให้พื้นที่ของหินแปรมีความสูงมากกว่าเพราะหินแปรมีความผุพังได้น้อยกว่าหินตะกอน บริเวณรอยต่อระหว่างหินแปรและหินตะกอนจะมีความลาดชันค่อนข้างสูงกว่า และแนวสัมผัสระหว่างหินทั้งกลุ่มเป็นรอยเลื่อนตัวใหญ่พาดผ่านตรงกลางตลอดแนว และข้อมูลที่ใช้มี 4 ประเภทคือ



รูปที่ 5.1 แสดงลักษณะของภูมิประเทศ

5.1.1. ข้อมูลจุด

ข้อมูลจุดแสดงถึงตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างประกอบด้วยชื่อหิน และการวางตัวของหิน 1 ค่า โดยมีดัชนีอยู่ที่สดมภ์ id เป็นหมายเลขกำกับ ข้อมูลนี้เป็นข้อมูลแบบ 2 มิติ ตำแหน่งมีพิกัด 2 ค่า วางตัวกระจายในพื้นที่ตามเส้นทางการเดินสำรวจ ข้อมูลจุดไม่ควรอยู่นอกพื้นที่ข้อมูลรูปปิด

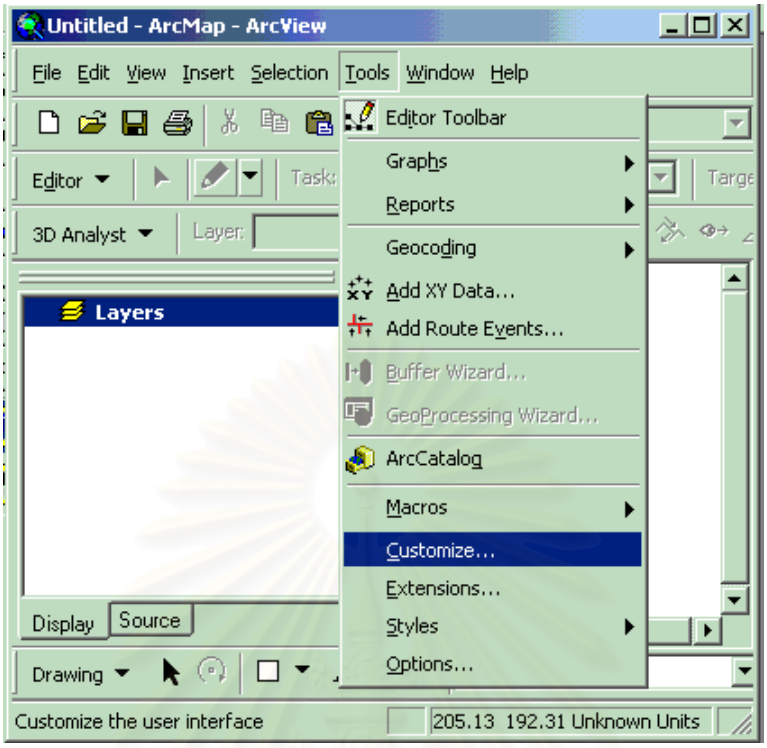
5.1.2. ข้อมูลเส้น

ข้อมูลแสดงแนวรอยเลื่อนบนพื้นผิวที่อยู่ในพื้นที่ การศึกษาได้ใช้ 3 รอยเลื่อนโดยมีรอยเลื่อนใหญ่อยู่ตรงกลางพาดผ่านตลอดพื้นที่ และมีรอยเลื่อยขนาดปานกลางอยู่ทั้งทางตะวันตกและตะวันออก แนวการวางตัวของรอยเลื่อนทั้ง 3 อยู่ในแนวประมาณ 11 นาฬิกา รอยเลื่อนตัวกลางและฝั่งตะวันตกมีการเอียงเทไปทางตะวันออก ส่วนรอยเลื่อนทางฝั่งตะวันออกเอียงเทไปทางตะวันตก

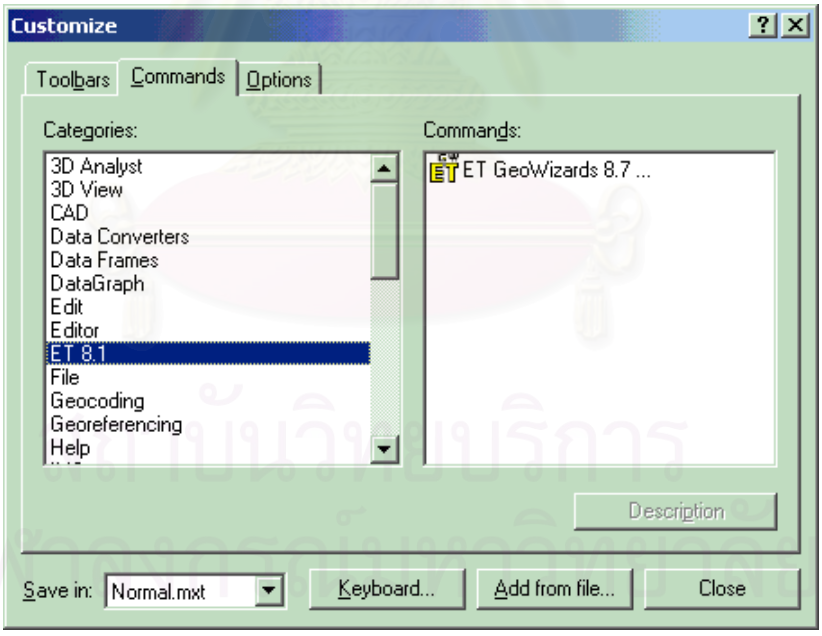
5.1.3. ข้อมูลรูปปิด

รูปปิด 1 รูปคือชนิดหินที่มีการเกิดและมีสภาพแวดล้อมคล้ายกันที่อยู่ในบริเวณเดียวกัน การศึกษาบนพื้นที่ทดสอบมีรูปปิด 9 รูปปิดโดยแต่ละรูปปิดมีชื่อหมวดหินโดยใส่เป็นตัวหนังสือ และมีดัชนีที่เป็นหมายเลขในช่องสดมภ์ id ข้อมูลรูปปิดความมีแนวสัมผัสต่อเนื่องกันคือไม่มีช่องวางระหว่างรูปปิด และรูปปิดหมวดหินเดียวกันที่ติดกันจะไม่แยกเป็น 2 รูปปิด

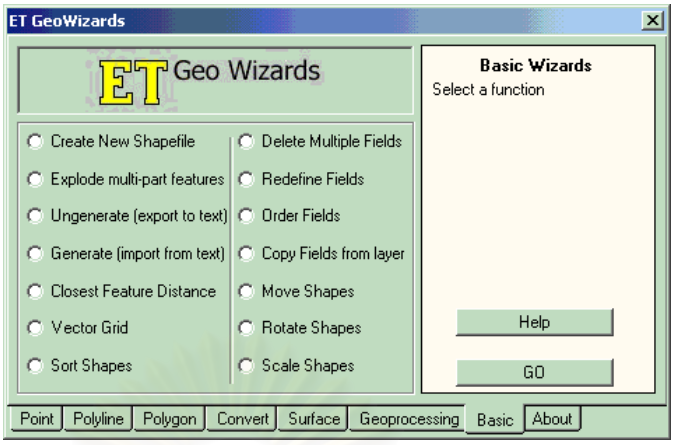
การตรวจสอบรูปปิด และรอยเลื่อนจะทำได้โดยใช้เครื่องมือที่สร้างโดย Ianko(2004) ที่เรียกว่า ET GeoWizards 8.7 โดยสามารถ download ผ่าน http://www.ian-ko.com แล้วทำการติดตั้งบน ArcMap โดยหาแฟ้มข้อมูล ETGeoWizards87.dll เปิดโปรแกรม ArcMap ไปที่เมนู Tool มาคำสั่งที่ Customize… คลิกตามรูปที่ 5.2. จะปรากฏไดอะลอก Customize ให้ไปที่ปุ่มคำสั่ง Add from file คลิก จะปรากฏให้เลือกชื่อแฟ้มข้อมูลโดยเลือกที่ ETGeoWizards87.dll คลิกปุ่ม Save ให้ไปที่แท็บ Commands ที่ช่อง Categories เลือก ET 8.1 ในช่อง Commands จะปรากฏ ET GeoWizards 8.7 ตามรูปที่ 5.3. ให้กดแช่แล้วดึงไปวางไว้ที่แถบคำสั่งจะเป็นปุ่มที่มีตัวอักษร ET เมื่อกดที่ปุ่มจะขึ้นไดอะลอกของ ETGeoWizards ตามรูปที่ 5.4. ที่เลือกการทำงานในส่วนต่างๆได้ เช่น จุด เส้น รูปปิด การแปลง พื้นผิว Geoprocessing และ ทั่วไป โดยการตรวจสอบส่วนใหญ่จะใช้ฟังก์ชันการทำงานเรื่อง เส้นและรูปปิด



รูปที่ 5.2 การเปิดคำสั่ง Customize



รูปที่ 5.3 แสดงการนำเข้าโปรแกรม ET GeoWizards 8.7



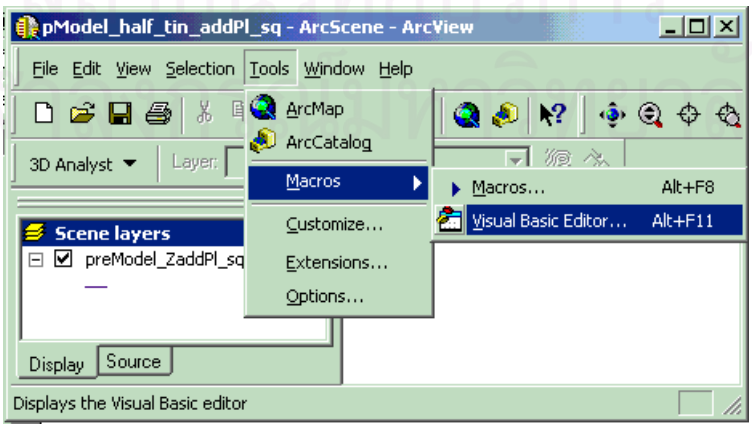
รูปที่ 5.4 แสดงการฟังก์ชันการทำงานของ ET GeoWizards 8.7 เรื่องทั่วไป

5.1.4. ข้อมูลภูมิประเทศ

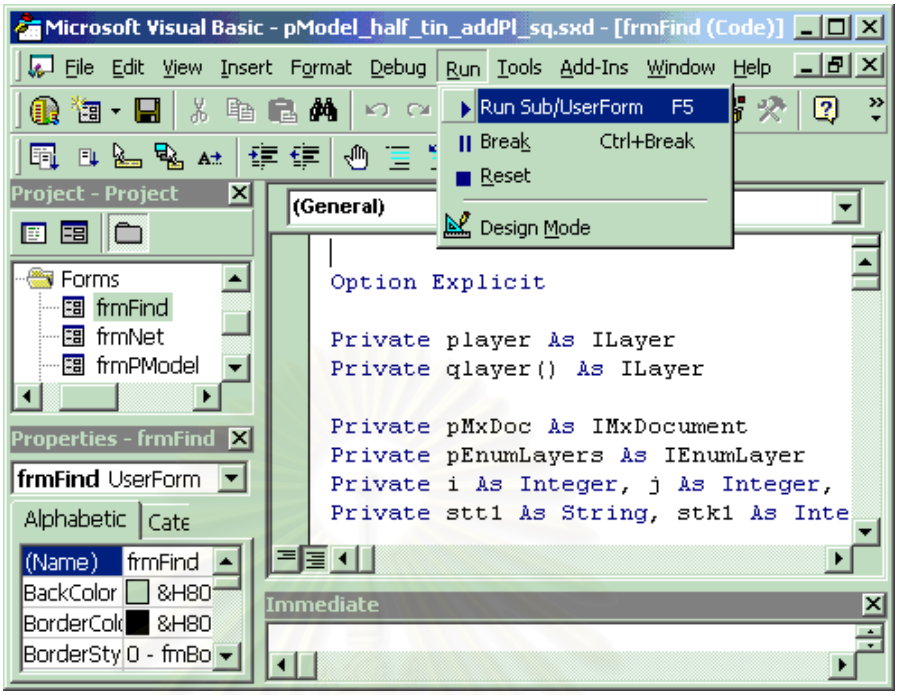
ข้อมูลนี้สร้างมาจากข้อมูลจุดที่ใส่ค่าความสูงลงไปตามจุดแต่ละจุด แล้วจึงนำมาสร้างเป็น TIN เพื่อใช้ในเวลาแปลงข้อมูลเส้นลำดับอายุให้มีค่าแบบ 3 มิติ

5.2. การจัดเตรียมข้อมูลเส้นลำดับอายุ

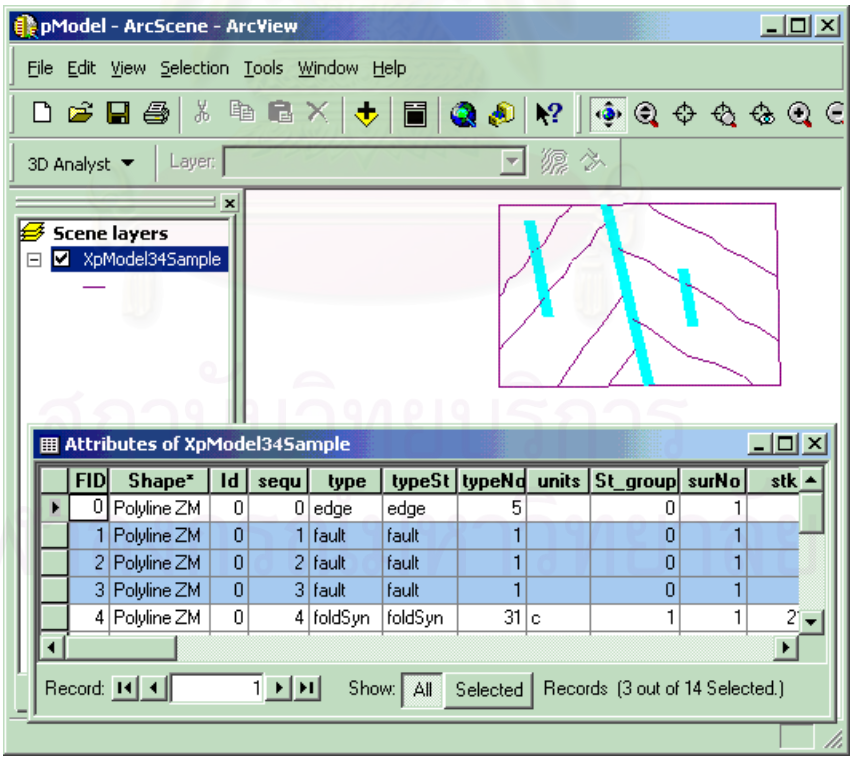
จากข้อมูลที่กล่าวมาในหัวข้อ 5.1. ให้นำข้อมูลนำเข้าทั้ง 3 แฟ้มข้อมูลคือข้อมูลจุด เส้นและรูปปิด เปิดในโปรแกรม ArcScene โดยเปิดที่โครงงานที่ทำงานและนำแฟ้มข้อมูลทั้ง 3 เข้ามาในโปรแกรม มาที่เมนู Tool ไปที่คำสั่ง Macros ไปที่คำสั่ง Visual Basic Editors ตามรูปที่ 5.5. จะปรากฏ โปรแกรม Microsoft Visual Basic ให้ไปที่ Form ชื่อ frmFind และถ้าเปลี่ยนชื่อแฟ้มและที่เก็บให้แก้ไขในขั้นตอนนี้ หลังจากนั้นให้เลือกที่คำสั่งที่ต้องการแล้วกดปุ่มเมนู Run และเลือก Run Sub/UserForm ตามรูปที่ 5.6. ก็จะขึ้นไดอะลอกทำงานให้กดปุ่ม Find โปรแกรมจะทำงานประมวลผลและเก็บแฟ้มข้อมูลในที่เก็บ รูปที่ 5.7. แสดงเส้นลำดับชนิดรอยเลื่อน และ รูปที่ 5.8.แสดงเส้นลำดับชนิดเส้นสัมผัส



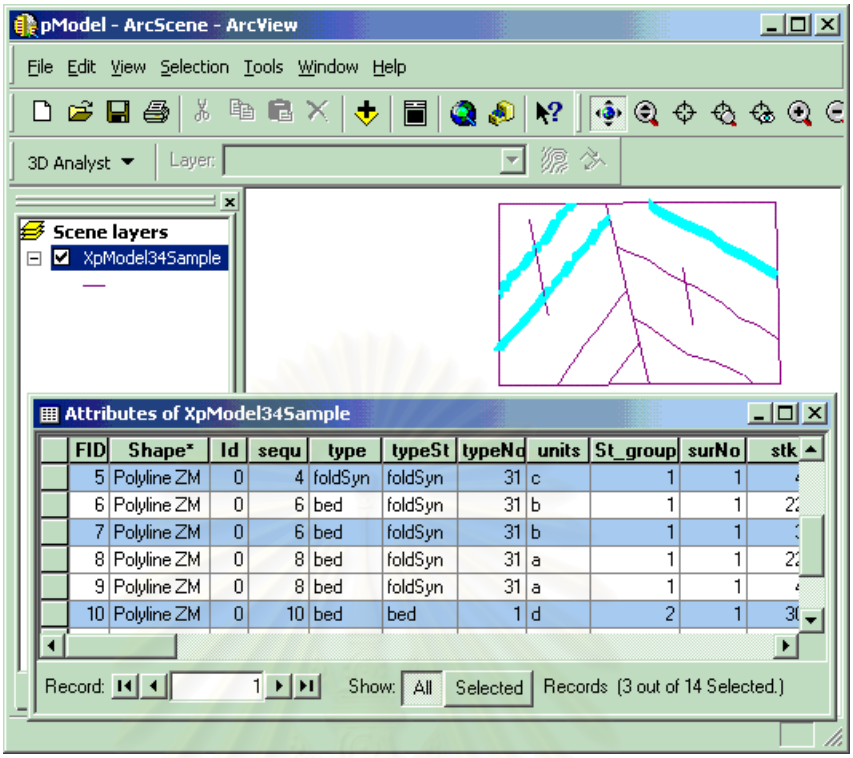
รูปที่ 5.5 การเข้าทำงานในส่วน VBA ของโปรแกรม



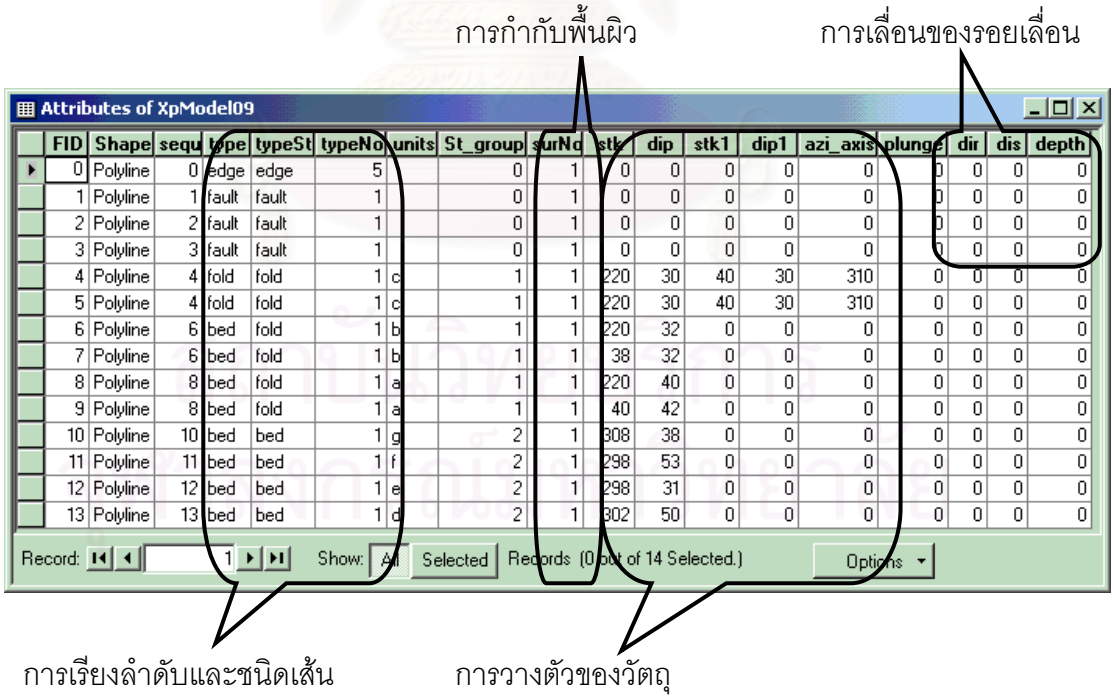
รูปที่ 5.6 หน้าต่างการทำงาน VBA



รูปที่ 5.7 แสดงข้อมูลรอยเลื่อนในแฟ้มข้อมูลเส้นลำดับอายุ



รูปที่ 5.8 แสดงข้อมูลเส้นสัมผัสในแฟ้มข้อมูลเส้นลำดับอายุ



รูปที่ 5.9 ตารางข้อมูลเส้นลำดับอายุที่มีข้อมูลเส้น

รูปที่ 5.9. แสดงข้อมูลตารางของแฟ้มข้อมูลเส้นลำดับอายุที่เป็นผลลัพธ์จากการเตรียมข้อมูลเส้นลำดับอายุ มีข้อมูลการเรียงลำดับอายุของเส้นและชนิดเส้นในสดมภ์ sequ, type, typeSt และ typeNo ที่ใช้ในการบอกว่าวัตถุจะถูกประมวลผลเมื่อใดและเป็นวัตถุชนิดใด ส่วนสดมภ์ surNo บอกถึงข้อมูลเส้นที่อยู่บนพื้นผิว เวลาสร้างพื้นผิวดินจะดึงเฉพาะข้อมูลเหล่านี้ การวางตัวของวัตถุต่างๆทั้งรอยเลื่อนและชั้นหินอยู่ในช่องสดมภ์ stk, dip, stk1, dip1, azi_axis และ plunge ถ้าเป็นการวางตัวแบบเรียบและรอยเลื่อนจะใช้ 2 ช่องแรก แต่ถ้าการวางตัวแบบคดโค้งใช้ 2 ถึง 6 ช่องตามข้อมูล และสุดท้ายข้อมูลการเลื่อนตัวของรอยเลื่อนอยู่ที่ สดมภ์ dir, dis และ depth ที่บอกถึงทิศทางการเลื่อน ระยะการเลื่อน และความลึกของรอยเลื่อน ข้อมูลการเลื่อนสามารถแก้ไขได้

ผลลัพธ์ที่ปรากฏอย่างแรกคือช่องสดมภ์ stk, dip, stk1, dip1, azi_axis และ plunge ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลจุดในแต่ละรูปปิด จากค่านี้จะทำการจำแนกรูปปิดตามชนิดการวางตัว โดยใส่ผลลัพธ์ในสดมภ์ type ที่วิเคราะห์เฉพาะภายในแต่ละรูปปิด แต่เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างธรณีวิทยาที่เหมือนกันระหว่างรูปปิดแล้ว ข้อมูลใหม่จะใส่ในสดมภ์ typeSt และพบว่าข้อมูลในสดมภ์ type และสดมภ์ typeSt จะมีค่าแตกต่างกัน โดยผลลัพธ์ที่ถูกต้องอยู่ในสดมภ์ typeSt ชนิดของวัตถุทางธรณีวิทยาแตกต่างกันทำให้ 2 สดมภ์แตกต่างกัน ผลที่ได้คือโครงสร้างธรณีวิทยาในแต่ละหมวดหินที่รวมกันเป็นกลุ่มๆ เมื่อได้กลุ่มโครงสร้างธรณีวิทยาก็จะจำแนกอายุในแต่ละกลุ่มตามกลุ่มหินหลัก ผลการจัดเรียงอายุของกลุ่มโครงสร้างธรณีวิทยาเดียวกันจะบรรจุลงในสดมภ์ St_group จากผลจะเห็นว่ารอยเลื่อนไม่ถูกจัดในกลุ่มใดๆ หมวดหินจะแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ โดยตัวเลขกลุ่มที่น้อยแสดงว่าหินมีอายุน้อย จากนั้นจึงจะมาเรียงลำดับอายุหินในแต่ละหมวดหิน โดยเรียงลำดับในสดมภ์ sequ การเรียงลำดับจะทำที่ละกลุ่มหิน

5.3. การแสดงผลแบบจำลอง

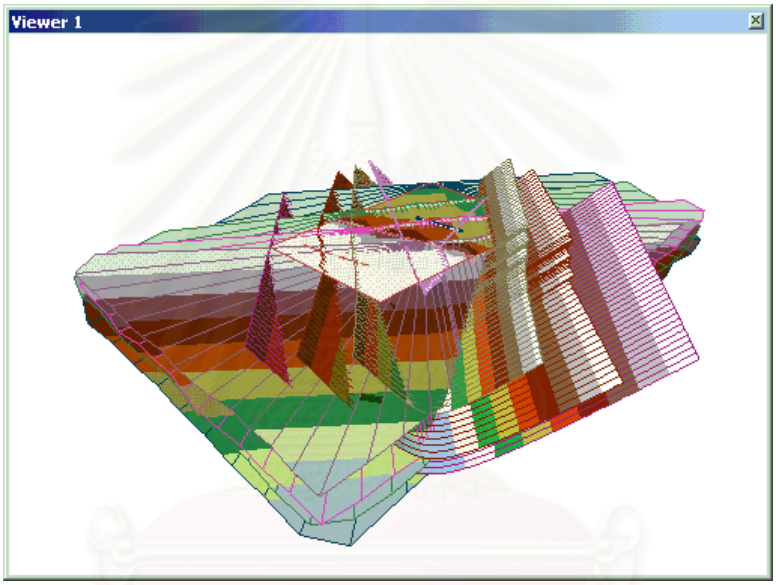
ข้อมูลเส้นลำดับอายุจากหัวข้อ 5.2. จะถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลในการสร้างแบบจำลอง แต่ก่อนนำเข้าจะต้องแปลงข้อมูลเส้นลำดับอายุที่เป็นค่า 2 มิติให้เป็น 3 มิติก่อนตามหัวข้อ 4.2. ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างจะเป็นข้อมูลเส้นลำดับอายุที่อยู่ในรูปที่ 5.10. จากนั้นเปิดโครงงานที่ต้องการทำเหมือนขั้นตอนในหัวข้อ 5.2. โดยเลือกที่Form ชื่อ frmModel ถ้าเปลี่ยนชื่อแฟ้มและที่เก็บให้แก้ไขในขั้นตอนนี้ หลังจากนั้นให้เลือกที่คำสั่งที่ต้องการแล้วกดปุ่มเมนู Run และเลือก Run Sub/UserForm และผลที่ได้ขั้นตอนนี้คือข้อมูล TIN ตามจำนวนชั้นหิน รอยเลื่อน และพื้นผิวดินตามรูปที่ 5.11. และข้อมูลภาพตัดขวางตามรูปที่ 5.12.

Attributes of preModel_ZaddPl_sq_na

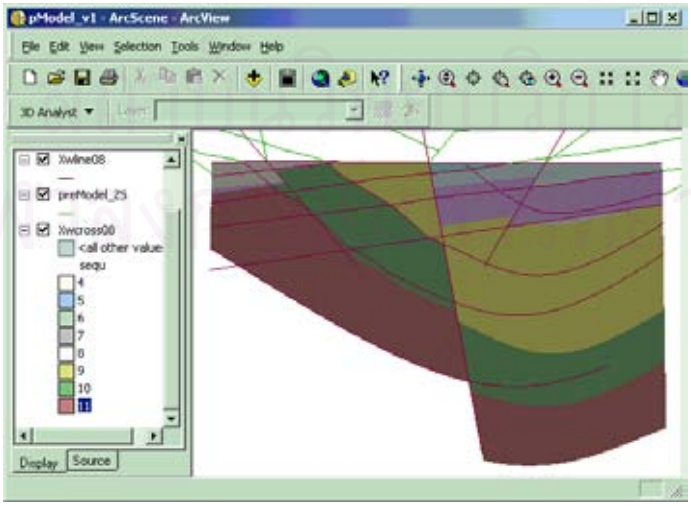
FID	Shape	sequ	type	typeNo	units	surNo	stk	dip	stk1	dip1	azi_axis	plunge	dir	dis	dept
0	Polyline ZM	0	edge	5		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	Polyline ZM	3	fault	1		1	345	80	0	0	0	0	255	1500	5000
2	Polyline ZM	1	fault	1		1	345	50	0	0	0	0	75	300	2000
3	Polyline ZM	2	fault	1		1	170	60	0	0	0	0	215	500	1800
4	Polyline ZM	10	fold	3		1	50	25	250	20	0	0	0	0	0
5	Polyline ZM	9	fold	3		1	45	25	250	20	0	0	0	0	0
6	Polyline ZM	8	fold	33		1	35	20	250	20	0	0	0	0	0
7	Polyline ZM	8	fold	33		1	250	20	45	25	45	25	0	0	0
8	Polyline ZM	6	bed	2		1	120	15	0	0	0	0	0	0	0
9	Polyline ZM	5	bed	2		1	125	15	0	0	0	0	0	0	0
10	Polyline ZM	4	bed	2		1	130	10	0	0	0	0	0	0	0
11	Polyline ZM	7	bed	2		1	125	15	0	0	0	0	0	0	0
12	Polyline ZM	11	fold	3		1	45	25	250	20	0	0	0	0	0

Record: 1 Show: All Selected Records (0 out of 13 Selected.) Options

รูปที่ 5.10 แสดงข้อมูลเส้นลำดับอายุสำหรับสร้างแบบจำลอง 3 มิติ



รูปที่ 5.11 แสดงข้อมูลผลลัพธ์ของชั้นข้อมูล TIN ทุกชั้นข้อมูล



รูปที่ 5.12 แสดงข้อมูลผลลัพธ์ที่เป็นภาพตัดขวางธรณีวิทยา

ข้อมูลแบบจำลอง TIN สร้างขึ้นมาก่อนแล้วจึงดึงข้อมูลมาได้แก่ข้อมูลเส้นที่ปรากฏในภาพตัดขวางโดยแต่ละเส้นแทนรอยเลื่อนและเส้นสัมผัสชั้นหิน ข้อมูลเส้นเหล่านี้จะนำไปสร้างภาพตัดขวางแต่ต้องหาความสัมพันธ์ของข้อมูลก่อน ผลลัพธ์ของการหาความสัมพันธ์จะได้ตามภาพตัดขวางธรณีวิทยาตามรูปที่ 5.12. รอยเลื่อนที่เลื่อนตัวทำให้ชั้นหินเลื่อนออกจากกัน ชั้นหินแสดงแต่ละชั้นโดยแยกตามสีที่ถูกสร้างขึ้น ชั้นหินที่วางตัวแบบเรียบจะเรียงกันเป็นชั้นๆ ชั้นหินที่คดโค้งก็จะโค้งตามข้อมูล จากภาพจะเห็นว่าข้อมูลเส้นและข้อมูลรูปปิดคือข้อมูลตัวเดียวกันแต่การที่เชื่อมความสัมพันธ์โครงสร้างธรณีวิทยา ทำให้ตำแหน่งของข้อมูลมีการเคลื่อนที่ออกจากตำแหน่งก่อนเชื่อมความสัมพันธ์ และผลข้อมูลสุดท้ายคือภาพตัดขวาง

จากภาพตัดขวางและข้อมูลเส้นลำดับอายุพบว่า การวางตัวของรอยเลื่อนมีทิศทางตามข้อมูลที่ใช้สร้าง มุมเทของรอยเลื่อนก็มีความถูกต้องตามข้อมูล การสร้างหมวดหินตะกอนที่มีการวางตัวแบบเรียบจะมีการวางตัวที่ถูกต้องคือประมาณ 10-15 องศา และเอียงเทไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ แต่ในภาพตัดขวางที่อยู่ในแนวตะวันตก-ตะวันออก การเอียงเทของชั้นหินจะเทไปทางทิศตะวันตกและมีมุมเทน้อยกว่า 15 องศา และการเรียงลำดับแก่อ่อนของหินก็จัดเรียงได้ถูกต้อง แต่มีหินตะกอนบางส่วนอยู่ในพื้นที่หินแปร ที่ผิดจากความเป็นจริง การเรียงชั้นของหินแปรมีการเรียงที่ถูกต้องตามข้อมูล โดยหินมีการวางตัวแบบประทุนหงาย แต่ละแขนของการโค้งงอมีมุมเอียงเทที่มากกว่าข้อมูลเส้นลำดับอายุ ค่ามุมแขนคดโค้งในข้อมูลเส้นลำดับอายุมีค่า 20-25 องศา แต่ในภาพตัดขวางมีมุมสูงเกือบถึง 40 องศา การเลื่อนตัวของรอยเลื่อนก็ทำให้หินทั้งหินตะกอนและหินแปรมีการเลื่อนตัวไปจากตำแหน่งเดิมซึ่งสอดคล้องกับทิศทาง และระยะการเลื่อนตัวของรอยเลื่อนทั้ง 3 รอยเลื่อน

5.4. **แฟ้มข้อมูลผลทดสอบ**

การทำงานของโปรแกรมประยุกต์ที่มี 2 ขั้นตอนจะมีผลของการวิเคราะห์และประมวลผลออกมาในรูปแฟ้มข้อมูลทั้งหมดอย่างน้อย 7 แฟ้มข้อมูล โดยในขั้นตอนการเตรียมข้อมูลช่วงแรกจะมีผลออกมา 3 แฟ้มข้อมูลที่ประกอบด้วยข้อมูลจุด เส้น และรูปปิด แต่มีข้อมูลเส้นเพียงแฟ้มข้อมูลเดียวที่นำไปใช้สร้างแบบจำลองในขั้นตอนที่ 2 การจำลองข้อมูล 3 มิติ ส่วนข้อมูลจุดและรูปปิดจะมีไว้เพื่อตรวจสอบเท่านั้น และผลในขั้นตอนหลังจะออกมาอย่างน้อย 4 แฟ้มข้อมูลที่ประกอบด้วยเส้น 3 แฟ้มข้อมูลและรูปปิด 1 ข้อมูล ข้อมูลที่ใช้ในการแสดงผลลัพธ์คือข้อมูลรูปปิด ส่วนข้อมูลเส้นทั้ง 3 แฟ้มข้อมูลจะมีไว้เพื่อการตรวจสอบการสร้างแบบจำลอง และส่วนแฟ้มข้อมูลที่เพิ่มเติมจะเป็นแฟ้มข้อมูล TIN ตามจำนวนชั้นหินกับรอยเลื่อน และพื้นผิวดินอีก 1 พื้นผิว เช่นถ้ามีจำนวนเส้นรอยเลื่อนและชั้นหินรวมกันเท่ากับ 8 พื้นผิว และมีพื้นผิวดินอีก 1 พื้นผิว เพราะฉะนั้น

จะมีแฟ้มข้อมูล TIN เท่ากับ 9 แฟ้มข้อมูล แฟ้มข้อมูล TIN เป็นข้อมูลที่สร้างขึ้นก่อนหาความสัมพันธ์ระหว่างรอยเลื่อนและชั้นหิน รายละเอียดผลแฟ้มข้อมูล 3 แฟ้มข้อมูลแรกเป็นผลจากขั้นการเตรียมข้อมูลในช่วงแรก และ 4 แฟ้มข้อมูลหลังอยู่ในส่วนขั้นตอนที่ 2 ของการสร้างแบบจำลอง 3 มิติดังมีรายละเอียดดังนี้

5.4.1. แฟ้มข้อมูลเส้นลำดับอายุ

คือข้อมูลเตรียมแบบจำลองที่จะต้องนำไปสร้างแบบจำลองธรณีวิทยา 3 มิติ แฟ้มข้อมูลนี้ได้อธิบายในหัวข้อ 3.3.3.1.

5.4.2. แฟ้มข้อมูลจุด

คือข้อมูลจุดที่นำเข้าแต่เพิ่มสดมภ์สุดท้ายที่ชื่อ in_polygon ตามรูปที่ 5.13. ที่ไว้สำหรับเก็บข้อมูลว่าจุดนี้จะอยู่ในหมายเลขดัชนีรูปปิดใด แฟ้มข้อมูลนี้สร้างขึ้นเพื่อตรวจสอบความถูกต้องเท่านั้น

Attributes of XptFile01

FID	Shape	Id	exposure	rock1	strike1	dip1	z	in_polygon
0	Point	1	float	sandstone	30	40	0	1
1	Point	2	outcrop	sandstone	50	45	0	1
2	Point	3	outcrop	mudstone	35	30	0	3
3	Point	4	outcrop	conglomerate	40	35	0	7
4	Point	5	outcrop	conglomerate	220	30	0	7
5	Point	6	outcrop	siltstone	215	30	0	4
6	Point	7	outcrop	mudstone	225	35	0	4
7	Point	8	outcrop	protoquartzite	220	40	0	2

Record: 4 Show: All Selected Records (0 out of 20 Selectec

รูปที่ 5.13 ตารางแฟ้มข้อมูลผลลัพธ์ของจุด

Attributes of XpgFile44sample

FID	Shape*	UNITS	id	sequ	type	typeNo	St_group	stk	dip	stk1	dip1	azi_axis	plunge	temp
0	Polygon	a	2	3	bed	foldSyn	1	220	40	0	0	0	0	0
1	Polygon	h	9	7	bed	bed	2	308	38	0	0	0	0	0
2	Polygon	b	4	2	bed	foldSyn	1	220	32	0	0	0	0	1
3	Polygon	f	8	6	bed	bed	2	298	53	0	0	0	0	0
4	Polygon	c	7	1	fold	foldSyn	1	48	30	218	40	210	0	1
5	Polygon	a	1	3	bed	foldSyn	1	40	42	0	0	0	0	0
6	Polygon	b	3	2	bed	foldSyn	1	38	32	0	0	0	0	1
7	Polygon	e	5	5	bed	bed	2	298	31	0	0	0	0	0
8	Polygon	d	6	4	bed	bed	2	302	50	0	0	0	0	0

Record: 1 Show: All Selected Records (0 out of 9 Selected.) Optio

รูปที่ 5.14 ตารางแฟ้มข้อมูลผลลัพธ์ของรูปปิด

5.4.3. แฟ้มข้อมูลรูปปิด

ข้อมูลรูปปิดนำเข้าที่เพิ่มสดมภ์เหมือนในแฟ้มข้อมูลเส้นลำดับอายุ และข้อมูลที่ผ่านกระบวนการวิเคราะห์และประมวลผลแล้ว จะถูกเก็บและเรียกใช้งานผ่านแฟ้มข้อมูลนี้จนสมบูรณ์แล้ว(ตามรูปที่ 5.14.) จึงเปลี่ยนไปเก็บในแฟ้มข้อมูลเตรียมแบบจำลอง แฟ้มข้อมูลนี้สร้างขึ้นเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของชั้นหินเท่านั้น

5.4.4. แฟ้มข้อมูลรูปปิดภาพตัดขวาง

แฟ้มข้อมูลที่ใช้แสดงภาพตัดขวางธรณีวิทยา(รูปที่ 5.11.) โดยแสดงได้ใน ArcScene เท่านั้น ถ้าแสดงใน ArcMap หรือ ArcCatalog จะเห็นเพียงเส้นเส้นเดียว แต่จริงๆคือซ้อนทับกันของหลายรูปปิด การแสดงผลสามารถแสดงได้พร้อมกับแผนที่ธรณีวิทยา เพราะข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลรูปปิดที่มีค่าพิกัดเดียวกับแผนที่ธรณีวิทยา แต่การส่งผ่านข้อมูลอรรถาธิบายยังไม่ได้มีการจัดการ แต่จะเชื่อมกันด้วยหมายเลขในสดมภ์ sequ ของแฟ้มข้อมูลทั้งหมดยกเว้นแฟ้มข้อมูลแฟ้มข้อมูลเส้นความสัมพันธ์

5.4.5. แฟ้มข้อมูลเส้นสำหรับสร้าง TIN

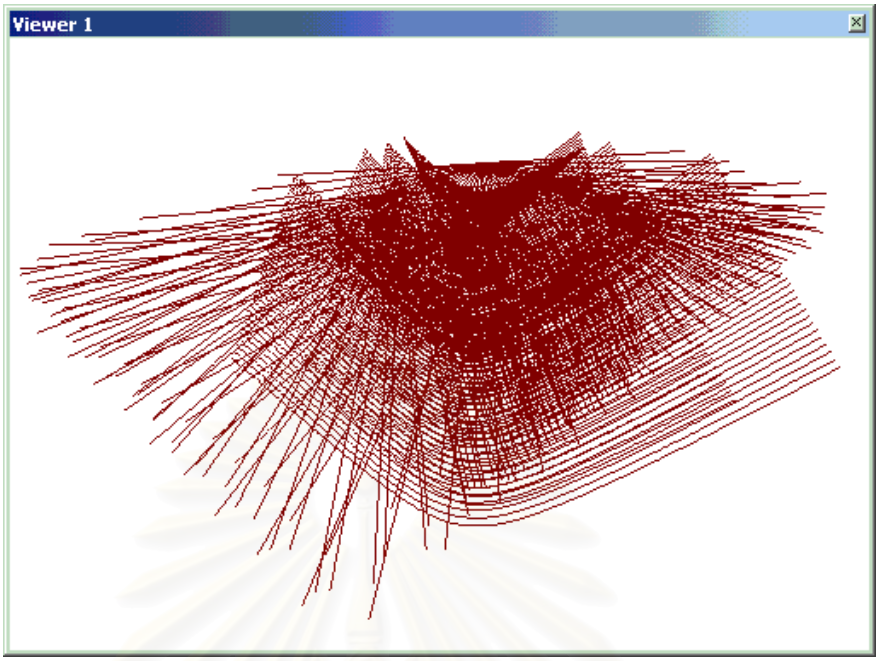
แฟ้มข้อมูลเตรียมแบบจำลองที่มีการเพิ่มเส้นเข้าไปเพื่อใช้ในการสร้าง TIN โดยมีการโปรเจคเส้นออกไปตามชนิดของข้อมูลเส้นแต่ละแบบ ฉะนั้นแฟ้มข้อมูลนี้จะประกอบด้วยเส้นเป็นจำนวนมากตามรูปที่ 5.15. แฟ้มข้อมูลนี้สร้างขึ้นเพื่อใช้ตรวจสอบความถูกต้องของการเตรียมข้อมูลเพื่อสร้าง TIN เท่านั้น

5.4.6. แฟ้มข้อมูลเส้นหน้าตัดของ TIN

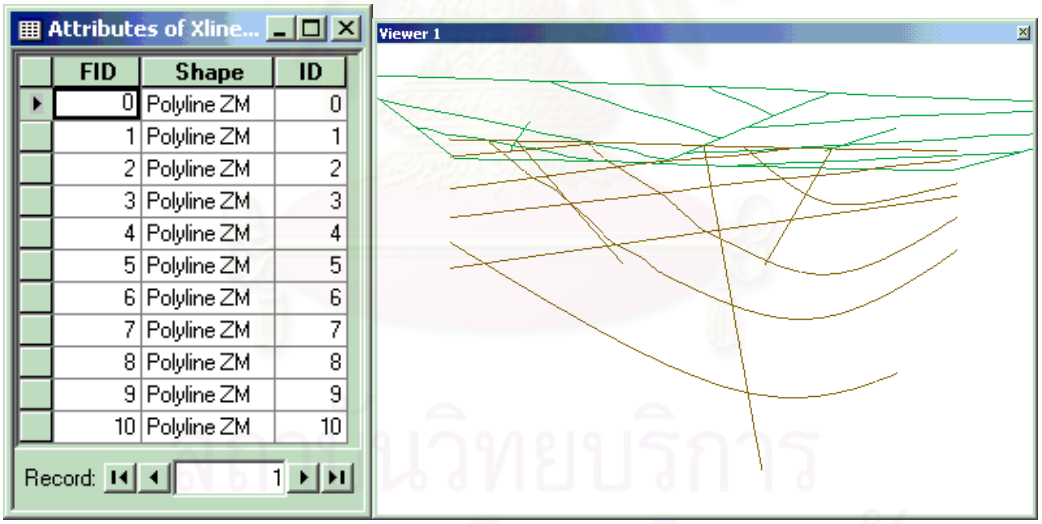
แฟ้มข้อมูลนี้เก็บข้อมูลเส้นภาพตัดขวางที่เป็นพื้นผิวแต่ละชั้นของ TIN ที่เป็นข้อมูลก่อนการหาความสัมพันธ์ตามรูปที่ 5.16. แฟ้มข้อมูลนี้สร้างขึ้นเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ดึงจากข้อมูล TIN เท่านั้น

5.4.7. แฟ้มข้อมูลเส้นความสัมพันธ์

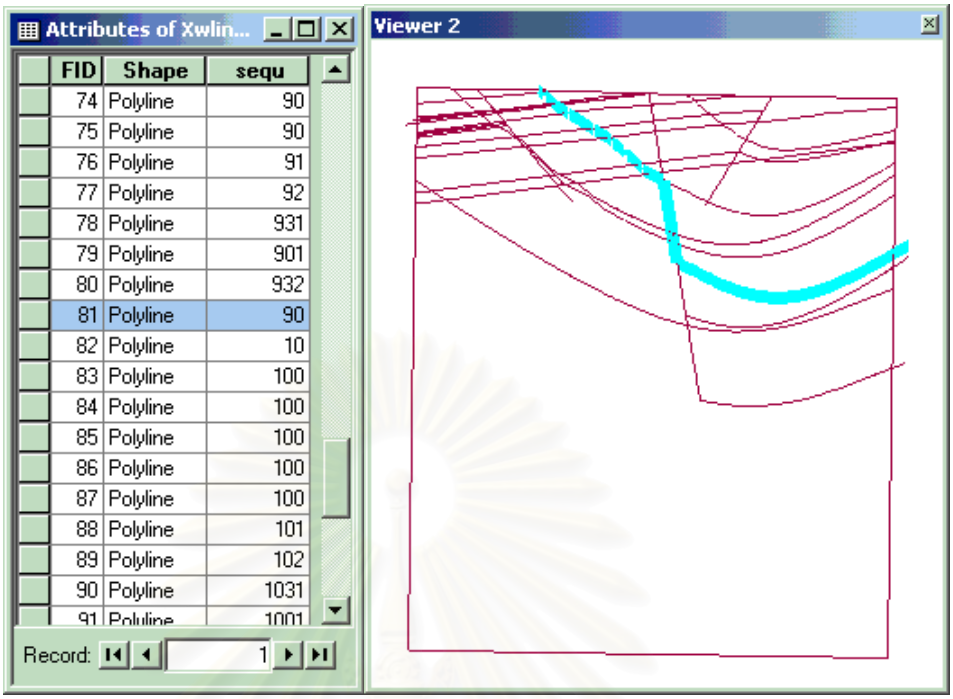
แฟ้มข้อมูลที่เก็บข้อมูลเส้นภาพตัดขวาง ที่เป็นพื้นผิวแต่ละชั้นของ TIN ที่หาความสัมพันธ์กันแล้วตามรูปที่ 5.17. แต่ข้อมูลที่เก็บเป็นข้อมูลที่แปลงค่าพิกัดเป็นแบบ 2 มิติ ฉะนั้นพิกัดจะแตกต่างจากแฟ้มข้อมูลอื่น แฟ้มข้อมูลนี้สร้างขึ้นเพื่อใช้ตรวจสอบความถูกต้องการหาความสัมพันธ์ระหว่างรอยเลื่อนและชั้นหินเท่านั้น



รูปที่ 5.15 แสดงข้อมูลเส้นสำหรับสร้าง TIN



รูปที่ 5.16 รูปขวาแสดงข้อมูลเส้นหน้าตัดของ TIN และรูปซ้ายเป็นตารางข้อมูล



รูปที่ 5.17 รูปขวาแสดงข้อมูลเส้นความสัมพันธ์ และรูปซ้ายเป็นตารางข้อมูล

5.4.8. **แฟ้มข้อมูล** TIN

พื้นผิว TIN ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อเป็นแบบจำลองของพื้นผิวสัมผัสของชั้นหิน โดยมีจำนวนแฟ้มข้อมูลเท่ากับจำนวนเส้นสัมผัสหมวดหินตามรูป 5.10.

5.5. **ประสิทธิภาพการทำงานของโปรแกรม**

โปรแกรมทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลผลกลาง Pentium III ขนาดความเร็วเท่ากับ 800 เมกกะเฮิร์ต(MHz) และมีหน่วยความจำหลักแบบ SDRAM ขนาดความจุ 512 เมกกะไบต์(MB) โปรแกรมประมวลผลเบื้องต้นใช้เวลาในการประมวลผลนาน 32 วินาที และโปรแกรมแบบจำลองธรณีวิทยา 3 มิติใช้เวลาในการประมวลผลนาน 2.31 นาที โดยทำงานกับข้อมูลจุด 20 จุดตัวอย่าง เส้นรอยเลื่อน 3 รอยเลื่อน และขอบเขตหมวดหิน 9 ขอบเขต ผลลัพธ์ที่ออกมามีแฟ้มข้อมูล 7 แฟ้มข้อมูล และพื้นผิว TIN 12 ชั้นข้อมูลโดยรวมชั้นพื้นผิวดินด้วย

5.6. **สรุปผลการทดสอบ**

ผลการเตรียมข้อมูลเส้นลำดับอายุที่ได้จะถูกเก็บอยู่ที่ช่องสดมภ์ในแฟ้มข้อมูล เพื่อใช้สร้างแบบจำลอง ข้อมูลที่ได้คือผลจากการวิเคราะห์และประมวลจากข้อมูลนำเข้าทั้ง 3 ประเภท โดยข้อมูลยังมีระบบพิกัดแบบ 2 มิติ ข้อมูลเส้นที่ได้ก็คือข้อมูลรอยเลื่อนและชั้นหินที่มีค่าการวางตัวตามข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลรูปปิดและข้อมูลจุด ลักษณะของเส้นที่ได้ก็คือเส้นรอยเลื่อนเดิมและเส้นรอยต่อระหว่างรูปปิดหรือเส้นสัมผัส ผลการวิเคราะห์ของการวางตังแบบ

เรียบไม่น่าจะผิดพลาดเพราะเป็นการหาค่าเฉลี่ย ผลการวิเคราะห์การคดโค้งของชั้นหินที่ออกมาไม่ควรมีค่าต่างเกิน 15-20 องศา แต่ด้วยการวิเคราะห์แบบคดโค้งบน Stereonet การอ่านค่าที่ทำโดยโปรแกรมมีโอกาสเกิดการผิดพลาดได้ เนื่องจากตำแหน่งที่อ่านทำการอ่านทุก 5 องศาตามแนว Great circle และ 10 องศาระหว่างเส้น Great circle

การแสดงผลแบบจำลอง TIN ทำให้ได้เห็นรูปร่างของรอยเลื่อนและชั้นหินในตำแหน่งที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน แต่การต่อเนื่องของพื้นผิวทำให้ซ้อนทับกับข้อมูลตัวอื่น การหาความสัมพันธ์จะทำให้ดูถูกต้องมากขึ้น ภาพตัดขวางธรณีวิทยาที่ได้ก็มีความผิดพลาดเกิดขึ้นโดยข้อมูลชั้นหินที่วางตัวแบบเรียบแทนที่จะอยู่เฉพาะฝั่งตะวันออก แต่ก็พบในฝั่งตะวันตกด้วยเพราะการจำลองเกิดขึ้นแต่ในส่วนชั้นหินใต้ดินมิได้โปรเจคออกไปในอากาศด้วย ทำให้ข้อมูลชั้นหินไม่ถูกรอยเลื่อนดึงขึ้นไปผลออกมาจึงไม่ตรงกับในแผนที่ และอีกส่วนหนึ่งเกิดจากการกำหนดการเลื่อนตัวของรอยเลื่อนไม่ตรงกับความเป็นจริง ส่วนข้อมูลชั้นหินคดโค้งข้อมูลที่อยู่ห่างจากผิวดินมีความถูกต้องถ้าโปรเจคไปถึงผิวดิน ทางฝั่งตะวันออกชั้นหินคดโค้งก็ถูกดึงลงให้อยู่ใต้ชั้นหินที่วางตัวแบบเรียบก็มีความถูกต้อง เพราะชั้นหินคดโค้งน่าจะมีอายุแก่กว่าชั้นหินที่วางตัวแบบเรียบ การลำดับอายุของหินมีความถูกต้องทั้งในหินตะกอนและหินแปร

ในส่วนของรอยเลื่อนก็มีการเลื่อนตัวไปตามทิศทางการเลื่อน โดยระยะการเลื่อนตัวที่สัมพันธ์กันในแต่ละหมวดหิน ทิศทางการเลื่อนคือวัดจากจุดเริ่มต้นการเลื่อนตัวมายังจุดสิ้นสุดการเลื่อนตัว ระยะก็ได้ตามการเลื่อนตัว ทั้งนี้การเลื่อนตัวจะเกิดบนระนาบรอยเลื่อนเท่านั้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1. สรุปผลการวิจัย

การเตรียมข้อมูลในการสร้างแบบจำลองจะได้ผลลัพธ์คือ ข้อมูลเส้นลำดับอายุที่ออกมาในรูปตาราง และข้อมูลเส้นเชิงตำแหน่งซึ่งเป็นผลจากการวิเคราะห์ แปลความหมาย และการหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลธรณีวิทยา ทำให้มีการเรียงลำดับการเกิดของข้อมูลธรณีวิทยา ผลจากขั้นตอนนี้จะสามารถวิเคราะห์กับข้อมูลอย่างง่ายเท่านั้น และมีจุดด้อยตรงการวิเคราะห์หาความคดโค้งของชั้นหิน เพราะในการแปลความหมายจะต้องแปลจาก Stereonet ซึ่งค่อนข้างยากมากในการใช้โปรแกรมแปลความหมายออก ในโปรแกรมจึงเป็นการวิเคราะห์อย่างง่าย และผลที่ออกมาก็มีความผิดพลาดอยู่ในเรื่องตำแหน่งของส่วนโค้ง

การทดลองสร้างแบบจำลอง 3 มิติบนโปรแกรมอาร์กวิว และ 3D Analyst ในครั้งนี้อาจไม่สามารถเรียกได้ว่าเป็นข้อมูล 3 มิติอย่างแท้จริง เพราะข้อมูลเป็นเพียงพื้นผิว ถึงแม้จะมีความสูงต่ำของพื้นที่ แต่ในตัววัตถุก็ไม่มีความหนา หรือถ้ามีก็เป็นความหนาคงที่จึงไม่อาจจะเรียกได้เต็มคำว่าเป็นข้อมูลแบบ 3 มิติ ถึงแม้ว่าจะสามารถสร้างวัตถุที่มีความหนาไม่คงที่ได้ตามแบบที่ 4 ในหัวข้อ 2.5. แต่ก็มีข้อจำกัดบางอย่างในการสร้างโซลิดโมเดลไม่ได้ทุกกรณี ในการศึกษาครั้งนี้น่าจะเรียกว่าเป็นการพัฒนาแบบ 2.5 มิติเท่านั้น ซึ่งข้อจำกัดต่างๆของการศึกษาอธิบายในหัวข้อถัดไป และการศึกษาครั้งนี้สามารถสร้างได้เพียงเป็นภาพตัดขวางของธรณีวิทยาอย่างง่ายที่มีความสัมพันธ์ระหว่างกันแล้วเท่านั้น และผลพลอยได้จากการสร้างคือข้อมูลพื้นผิวชั้นหินและรอยเลื่อนในอยู่รูปแบบ TIN แต่ข้อมูลเองก็ยังมีความไม่สมบูรณ์อยู่ด้วย เพราะยังไม่มีการเชื่อมความสัมพันธ์กันระหว่างข้อมูลธรณีวิทยา

การเขียนโปรแกรมประยุกต์ที่จะแสดงข้อมูลธรณีวิทยาในมิติที่ 3 เป็นเพียงโครงการนำร่อง ดังนั้นการเขียนจึงมีอุปสรรคของการจัดการข้อมูลในรูปแบบต่างๆค่อนข้างมากทั้งตัวโปรแกรมประยุกต์เองและการจัดการข้อมูลทางธรณีวิทยาเอง นอกจากนั้นยังรวมถึงความซับซ้อนของข้อมูลธรณีวิทยาน่าจะเป็นอีกปัญหาหนึ่ง ที่ทำให้การเขียนโปรแกรมจะต้องวางกรอบที่มีอยู่มากมายมีผลให้เกิดข้อจำกัดในการคิดและเขียนโปรแกรม ฉะนั้นโดยภาพรวมของการเขียน

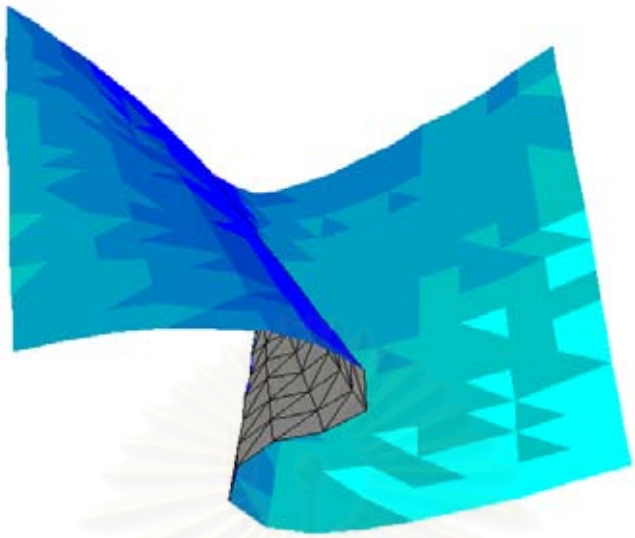
โปรแกรมประยุกต์เพื่อจัดการข้อมูลธรณีวิทยาจึงทำได้ไม่ดีนัก และข้อมูลที่จัดการได้จะเป็นเพียงข้อมูลธรณีวิทยาอย่างง่ายๆเท่านั้น ในการจำลองข้อมูลที่มีรูปร่างในแบบต่างๆแบบ 3 มิติก็มีความซับซ้อนมากเกินกว่าที่จะสามารถแสดงผลได้ในการศึกษาครั้งนี้

6.2. ปัญหาและอุปสรรค

ข้อมูลธรณีวิทยามีความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลซึ่งกันและกัน และสามารถจัดเรียงลำดับการเกิดได้ตามความแก่อ่อนของอายุหิน หรือโครงสร้างธรณีวิทยา การลำดับข้อมูลมีทั้งข้อมูลที่มีความต่อเนื่องและข้อมูลที่ไม่มีความต่อเนื่องระหว่างข้อมูล ในความสัมพันธ์ที่หลากหลายรูปแบบทำให้เกิดความซับซ้อนของรูปร่างชั้นหิน และโครงสร้างธรณีวิทยา ยิ่งกาลเวลาผ่านไปมากเท่าไรความซับซ้อนของข้อมูลธรณีวิทยาจะยิ่งมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น ในความตั้งใจของการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์เพื่อสร้างข้อมูลธรณีวิทยาแบบ 3 มิติ ผู้พัฒนาได้พยายามเลือกใช้ข้อมูลที่มีความซับซ้อนน้อยก่อน เพราะยังไม่เข้าถึงความสามารถของโปรแกรมได้อย่างลึกซึ้ง แต่เมื่อทำงานได้สักระยะหนึ่งทำให้รู้ว่า ข้อจำกัดของโปรแกรมในการสร้างข้อมูลธรณีวิทยา 3 มิติมีค่อนข้างมากและต้องอาศัยการพัฒนาต่อไปของตัวโปรแกรมเอง และความซับซ้อนทางธรณีวิทยาด้วย หัวข้ออุปสรรคแบ่งเป็นใหญ่ๆ ดังนี้

6.2.1. การสร้างพื้นผิว TIN

แบบจำลอง 3 มิติแบบพื้นผิว TIN ในโปรแกรมเองก็ยังมีข้อจำกัดในการสร้างพื้นผิวทางธรณีวิทยาที่ซับซ้อน เพราะบางครั้งพื้นผิวที่มีการคดโค้ง หรือรอยเลื่อนที่มีการกลับทิศทางเอียงเทและมีส่วนซ้อนทับกันในแนวดิ่ง ก็จะทำให้ไม่สามารถสร้างพื้นผิว 3 มิติได้ หรือถ้าเปรียบพื้นผิว 3 มิติให้เหมือนผืนผ้าแล้ว การมองในแนวดิ่งลงมาจะต้องไม่มีส่วนใดของผ้าที่ซ้อนทับกัน จึงจะสามารถสร้างพื้นผิว TIN บนโปรแกรมอาร์กวิวได้ การสร้างพื้นผิวที่มีความซับซ้อนแบบนี้จะได้ผลข้อมูลพื้นผิวอีกแบบหนึ่งที่ให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างจากข้อมูลที่น่าจะเป็น รูปที่ 6.1.คือรูปพื้นผิวที่ควรจะเป็น ถึงแม้ว่าจะมีข้อมูลเส้นที่กำกับเป็น Breaklines ในการสร้าง TIN ทั้งชนิด Hard line หรือ Soft line ก็ตาม การสร้างพื้นผิวก็จะไม่ได้พื้นผิวอย่างที่คาดหวัง ถ้าจะกล่าวอีกอย่างหนึ่งคือ การสร้างพื้นผิวบนโปรแกรมอาร์กวิวยังเป็นการสร้างแบบ 2 มิติมีการใช้ค่าระยะระหว่างจุดที่สร้างเป็นแบบค่า X และค่า Y แต่มิได้นำค่า Z มาใช้ในการคำนวณระยะ ทำให้การสร้างเครือข่ายระหว่างจุดจึงไม่เหมาะกับข้อมูล 3 มิติที่มีความซับซ้อน

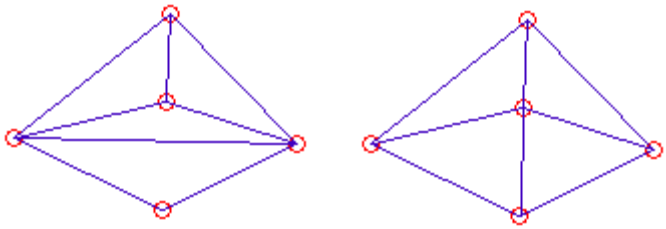


รูปที่ 6.1 การสร้าง TIN ที่มีส่วนซ้อนทับกันในแนวแกน Z(จาก http://www.agcrc.csiro.au/projects/3046CO/)

แบบจำลองธรณีวิทยามักจะพบรูปแบบของชั้นหินที่มีรูปร่างคล้ายเลนส์กระจกนูน ก็จะเป็นอีกรูปแบบหนึ่งที่ทำให้การสร้าง TIN มีปัญหาในการสร้างอีกพอสมควรเพราะนอกจากจะมีส่วนซ้อนในแนวดิ่งแล้ว ข้อมูลจะต้องต่อกันเป็นรูปร่างจาน 2 ใบประกบกันทำให้ต้องมีเครื่องมือในการจัดการเกี่ยวกับขอบของรูปร่างแบบเลนส์

6.2.2. การใช้ข้อมูล TIN จำแนกพื้นที่ชนิดหิน

การศึกษาแบบจำลองได้พยายามลองใช้รูปแบบ TIN ในการช่วยจัดการการจำแนกพื้นที่ที่มีหินชนิดเดียวกันในแต่ละพื้นที่รูปสามเหลี่ยมที่ต่อเนื่องกัน เพื่อใช้ในการจำแนกบริเวณที่มีหินกลุ่มเดียวกัน แต่เนื่องจากหลักการการสร้างของ TIN จะมีอิทธิพลต่อการสร้างในทุกทิศทุกทางเท่ากัน แต่ข้อมูลของธรณีวิทยาแต่ละจุดที่มีความสัมพันธ์กันจะมีน้ำหนักในแต่ละทิศทางที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะทิศทางการวางตัวของชั้นหินจะทำให้น้ำหนักของรูปสามเหลี่ยม TIN แบนยาวตามการวางตัวมากกว่าในทิศทางที่ตั้งฉากตามรูปซ้ายมือของรูปที่ 6.2. ทำให้การจัดจำแนกตามชนิดหินไม่สามารถใช้รูปแบบ TIN ในการช่วยจัดการได้หรือถ้าใช้ได้ก็จะมีความยากในการจัดการรูปแบบการสร้าง เพราะจะต้องสร้างเส้น Soft line ในข้อมูลเป็นจำนวนมาก และความซับซ้อนในการเรียงลำดับเส้น Soft line อีกด้วย และในการพัฒนาโปรแกรมเอง คำสั่งใน ArcObject ก็มีการจัดการเกี่ยวกับเครือข่ายสามเหลื่อมเป็นจำนวนมากพอสมควรในการจัดการจุด เส้นระหว่างจุด และ สามเหลื่อมแต่ละสามเหลี่ยม ซึ่งรวมไปถึง Topology ของ TIN ด้วย แต่ด้วยข้อมูลธรณีวิทยาที่มีน้ำหนักความสัมพันธ์ในแต่ละทิศทางที่ไม่เท่ากัน ทำให้ไม่มีความเหมาะสมในการจัดจำแนกข้อมูลธรณีวิทยาด้วยโครงสร้างของ TIN



รูปที่ 6.2 การสร้าง TIN ที่มีน้ำหนักในแต่ละทิศทางไม่เท่ากัน

6.2.3. จำนวนชั้นข้อมูล TIN ใน ArcScene

การเปิดใช้งานข้อมูล TIN ที่แสดงแบบ 3 มิติบน ArcScene จะสามารถเปิดข้อมูลได้สูงสุด 15 ชั้นข้อมูล ถ้ามีข้อมูลมากกว่านี้ก็ไม่สามารถเปิดใช้งานได้ จากข้อมูลที่เปิดได้อย่างจำกัดทำให้การแสดงข้อมูลที่มีจำนวนชั้นข้อมูลมากๆ ก็ไม่สามารถเปิดดูได้ทั้งหมด

6.2.4. คำสั่งปฏิบัติการที่ทำงานบนข้อมูล 3 มิติ

คำสั่งตรวจสอบเชิงความสัมพันธ์(Relational operation) และคำสั่งปฏิบัติการความสัมพันธ์(Topological operation) บนคำสั่งของ ArcObject จะสามารถใช้ทำงานได้กับวัตถุ 2 มิติเท่านั้น ฉะนั้นถ้าจะตรวจสอบหรือปฏิบัติการเชิงความสัมพันธ์ของวัตถุ 3 มิติจะไม่มีคำสั่งที่จะทำงานได้ แม้แต่การตรวจสอบความสัมพันธ์ของวัตถุเองก็ไม่สามารถทำได้ แต่ในการแสดงผลของข้อมูล 3 มิติจะแสดงผลได้ดี ดังนั้นสรุปได้ว่า โปรแกรมอาร์กวิวจะเน้นที่การทำปฏิบัติการระหว่างวัตถุ 2 มิติเท่านั้น การปฏิบัติการระหว่างวัตถุ 3 มิติจะอยู่นอกเหนือโปรแกรม และทำให้การตรวจสอบข้อมูล 3 มิติไม่สามารถทำได้ ฉะนั้นการใช้งานของโปรแกรมอาร์กวิว 8.1 เหมาะสมกับการปฏิบัติการกับข้อมูล 2 มิติมากกว่าข้อมูล 3 มิติ

ดังนั้นในการพัฒนาโปรแกรมครั้งนี้มีการสร้างตำแหน่งข้อมูลใหม่ในมิติที่ 3 โดยมีการคิดคำนวณขึ้นมาเองโดยใช้สูตรการคำนวณแบบง่ายๆ เพื่อจะจำลองข้อมูลในมิติที่ 3 แม้ว่าการคำนวณจะมีความผิดพลาดอยู่ แต่ด้วยว่าตัวโปรแกรมมิได้มีการสร้างหรือหาตำแหน่งในมิติที่ 3 อย่างแท้จริง โดยความสามารถของตัวโปรแกรมเองแล้ว การคำนวณหาตำแหน่งในแบบ 2 มิติมีวิธีหาได้หลายรูปแบบตามความเหมาะสมทั้งการหาโดย มุมและระยะ โดยถ้ารู้ระยะ 2 ระยะ หรือ มุม 2 มุม หรือรู้ระยะและมุมอย่างละ 1 ค่า ก็จะสามารถหาจุดตำแหน่งใหม่แบบ 2 มิติได้ และในการสร้างจุด เส้น และรูปปิดที่มีรูปทรงต่างๆก็สามารถสร้างได้โดยไม่ยากนักเพราะมีคำสั่งของ ArcObject ที่ช่วยในการจัดการเรื่องนี้

6.2.5. ธรณีวิทยากับ topology

การหาความสัมพันธ์ของวัตถุในทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ มักจะเกี่ยวข้องกับ topolgy ที่จะบอกว่าวัตถุอยู่ที่ใดและบอกถึงการเชื่อมต่อของวัตถุด้วย ที่อาจนำมาใช้งานเกี่ยวกับทางแบบจำลองธรณีวิทยา การใช้ Topology มาช่วยในการเตรียมข้อมูลทำให้ข้อมูลมีความถูกต้องในด้านความสัมพันธ์ แต่ในแง่ธรณีวิทยาการหาว่าชั้นหินใดมีอายุอ่อนกว่าจะต้องอาศัยทิศทางของการสัมผัสกันด้วยทำให้บอกได้ว่าหินชั้นใดอายุแก่กว่า แต่ในทาง Topology ไม่มีการบอกทิศทางทำให้การหาความสัมพันธ์ทางธรณีวิทยามีข้อจำกัด

6.3. ข้อเสนอแนะ

6.3.1. การจำลองรอยเลื่อน

การศึกษาได้จำลองรอยเลื่อนที่มีลักษณะพื้นผิวแบบรูปสี่เหลี่ยม ซึ่งผิดจากความเป็นจริงมากเพราะไม่มีข้อมูลเพียงพอสำหรับการจำลอง ในธรรมชาติรูปร่างของรอยเลื่อนจะขึ้นกับแรงและชั้นหิน นอกจากเรื่องรูปร่างแล้ว การมีรายละเอียดการเลื่อนตัวในรอยเลื่อนเองก็มีความสำคัญสำหรับการจำลองวัตถุให้คล้ายของจริง ในที่นี้ได้จำลองการเลื่อนตัวเท่ากันทุกๆ จุดยกเว้นการเลื่อนตัวที่ชนกับขอบรอยเลื่อนจะมีการเลื่อนตัวที่น้อยกว่า แต่ในสภาพที่เป็นจริงแล้วการเลื่อนตัวในรอยเลื่อนอาจไม่เท่ากันในทุกๆจุดบนพื้นผิวรอยเลื่อนขึ้นกับคุณสมบัติชั้นหิน เช่นรอยเลื่อนตัวเดียวกันในหินชนิดหนึ่งอาจไม่มีการเลื่อนตัวเลย แต่ในอีกชนิดหินหนึ่งมีการเลื่อนตัวเกิดขึ้น เพื่อให้การจำลองคล้ายของจริงควรเพิ่มข้อมูลจุดที่บอกถึงระยะการเลื่อนตัว และทิศทางการเลื่อนตัวที่อยู่บนระนาบการเลื่อนตัวด้วย

6.3.2. การจำลองชั้นหินที่มีรอยเลื่อนผ่านและมีการเลื่อนตัว

ถึงแม้ว่าการศึกษาในครั้งนี้ จะยังไม่ถึงขั้นจำลองชั้นหินที่มีรอยเลื่อนผ่านและมีการเลื่อนตัวจนชั้นหินแยกออกจากกัน แต่ถึงมีการจำลองก็จะต้องแบ่งชั้นหินที่เลื่อนตัวขาดออกจากกันเป็น 2 ส่วนทั้งที่ชั้นหินเป็นชั้นเดียวกัน แต่ในสภาพที่เป็นจริงแล้วชั้นหินที่มีรอยเลื่อนผ่านและมีการเลื่อนตัวตัดขาดออกจากกันจะต้องเป็นชั้นหินชั้นเดียวกัน แต่ต้องเชื่อมด้วยระนาบรอยเลื่อนที่มีการเลื่อนตัว เหมือนกับถนนเส้นเดียวกันแต่มีหลายช่วงถนน โดยถนนจะเป็นวัตถุที่เป็นเส้นเหมือนกัน แต่ในชั้นหินนั้นวัตถุเป็นโซลิดโมเดล และเชื่อมต่อด้วยรอยเลื่อนที่เป็นพื้นผิว แล้วจึงเชื่อมกับ โซลิดโมเดลที่เป็นชั้นหินอีกครั้งหนึ่ง

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

คณะกรรมการแห่งชาติว่าด้วยการศึกษาวิทยาศาสตร์และวัฒนธรรมแห่งสหประชาชาติ. พจนานุกรมศัพท์ธรณีวิทยา. 3,000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.

ปัญญา จารุศิริ, วิโรจน์ ดาวฤกษ์, สุวภาคย์ อิ่มสมุทร, จักรพันธ์ สุทธิรัตน์ และมนตรี ชูวงษ์. ธรณีวิทยากายภาพ. 1,000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์พลัสเพรส, 2545.

ภาษาอังกฤษ

Alexey, B. K., and Kyler, D. blockdiagram.zip, http://www.steepearthgis.com, Jan 2003.

Apel, M. Development of a 3D GIS based on the 3D modeller Gocad, In International Association for Mathematical Geology(IAMG) Meeting. Cancun, 2001.

Bonham-Carter, G. F. Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS. Computer methods in the geosciences Vol 13. Netherlands: Pergamon, 2002.

Bruce, E. D. GIS: A visual approach. 2nd ed. Canada: Onword press, 2001.

Chen, X., and Murai, S. Analysis and visualization of 3D geospatial data by delaunay tetrahedral tessellation. ACRS 1999[Online] Available from: http://gisdevelopment.net/aars/acrs/1999/ts4/ts4124.shtml

Clive, A. B. Four dimensional analysis of geological maps : Techniques of interpretation. Great Britain: John Wiley & Sons, 1990.

Cox, S.; Watson, D.; Hornby, P., and Gunn, C. 3D complex geology modelling, Geodynamics and ore deposits conference, pp. 76-79. Victoria, 1997.

Environmental System Research Institute, Inc. Avenue. United States of America: Thomas G. Lane, 1996.

Environmental System Research Institute, Inc. Areview 3D analyst. United States of America: Thomas G. Lane, 1997.

Environmental System Research Institute, Inc. Exploring ArcObjects vol. 1- Applications and cartography and vol. 2- Geographic data management. United States of America: Michael Zeiler, 2001.

Houlding, S. W. 3D geoscience modeling. Hong Kong: Springer-Verlag, 1994.

Ianko Tchoukanski. ETGeoWizards87.zip. [Online] Available from: http://www.ian-ko.com [2004]

Lattuada, R. A triangulation based approach to three dimensional geoscientific modelling. Doctoral Dissertation, Department of Geography, Birkbeek College, University of London, 1998.

Li, Q. Y.; Cao, D. Y., and Zhu, X. D. "Mine GIS 3D data model and some thinking", Dynamic and Multi-Dimensional GIS & Geoinformatics XXXIV, Part 2W2 (23-25 May 2001): 154-158.

Marieke, D.; Jim, B., and Donna, A. From Outcrop Observations to Geologic Reservoir Models using ESRI Software [Online] Available from: http://gis.esri.com/library/userconf/proc02 /pap1167/p1167.htm [2004]

Peter, R. L., and Richard, J. L. Stereographic projection techniques in structural geology. Great Britain: Butterworth-Heinemann, 1996.

Richard, S. M. Geologic concept modeling, with examples for lithology and some other basic geoscience features, In D. R. Soller (ed.), Digital Mapping Techniques '99 Workshop Proceedings, pp. 59-76. Wiaconsin, 1999.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ นาย สนธยา โชคเศรษฐกิจ

เกิด วันที่ 6 พฤศจิกายน พ.ศ. 2513

ภูมิลำเนา อ.แกลง จ.ระยอง

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2532-2536 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2536-2537 หัวหน้าห้องเตรียมตัวอย่าง บริษัท เค็มเม็กซ์ แลบส์(ประเทศไทย) จำกัด

พ.ศ. 2537-2540 นักธรณีวิทยา บริษัท จีเอ็มที คอร์ปอเรชั่น จำกัด

พ.ศ. 2540-2543 นักธรณีวิทยา บริษัท อินโดไชน่า โกลด์ฟิลด์ จำกัด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย