# 2

# การวิเคราะห์เชิงพรรณา (Descriptive Analysis)

2.1 คำนำ
2.2 การทำแผนที่ธรณีวิทยา
2.3 การใช้ประโยชน์ของเข็มทิศ
2.4 การทำแผนที่ธรณีวิทยาใต้ดิน
2.5 การสร้างแบบจำลอง

# บทที่ 2
# การวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างเชิงพรรณนา
# [Descriptive Analysis of Geological Structures]

## 2.1 คำนำ

อาจกล่าวได้ว่า การวิเคราะห์เชิงพรรณนารูปร่างลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาแต่ละชนิดเป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญต่อการเข้าใจถึงกลไกของแรง ตลอดจนลักษณะและสภาพการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก รูปร่างลักษณะโครงสร้างเป็นภาพจินตนาการที่มองจากพื้นฐานข้อมูลที่มีอยู่อย่างถูกต้องและเหมาะสม ข้อมูลเหล่านั้นควรมีการแผ่กระจายอย่างทั่วถึง อาจเป็นข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคพื้นดินหรือได้จากใต้ผิวดิน ในการสร้างรูปร่างลักษณะโครงสร้างนอกจากจะอาศัยข้อมูลทางธรณีวิทยาแล้ว ยังต้องอาศัยเทคนิคและวิธีการสร้างแบบจำลอง การสร้างแบบจำลองอาจใช้วิธีการของเส้นตั้งฉากลากขนาน(orthographic projection) หรือแบบจำลองเชิงเส้นรอบทิศ (stereographic projection) ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าการบรรยายรูปลักษณะและการวางตัวของโครงสร้างธรณีวิทยาในแต่ละพื้นที่ ต้องอาศัยแผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่นั้นๆ เป็นส่วนประกอบหลัก ส่วนทิศทางและลักษณะการวางตัวของโครงสร้างแต่ละชนิดต้องอาศัยเทคนิคและวิธีการจำลองภาพประกอบ

## 2.2 การทำแผนที่ธรณีวิทยา (Geological Mapping)

ในการทำแผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ เรามักบรรยายลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างเพื่อทำให้แผนที่มีความสำคัญขึ้น ทั้งนี้เพราะแผนที่ธรณีวิทยานอกจากแสดงถึงขอบเขตและการแผ่กระจายของหินหรือหน่วยหินแล้ว แผนที่ธรณีวิทยายังแสดงถึงรูปร่างลักษณะ (shape) และรูปทรงเรขา (geometry) ของลักษณะโครงสร้างของหินหรือหน่วยหินที่มีอยู่ในพื้นที่นั้นๆด้วย แผนที่ธรณีวิทยาจึงเป็นการบรรยายภาพสามมิติของหิน โครงสร้างหินและรอยต่อหินในพื้นที่หนึ่งๆ ดังนั้นการบีบภาพสามมิติให้เหลือเพียงสองมิติบนแผ่นกระดาษก็อาจทำได้โดยอาศัยสัญลักษณ์แผนที่

### *2.2.1 แผนที่ต้นร่าง (base map)*

แผนที่ต้นร่างประกอบด้วยข้อมูลภูมิศาสตร์ การเลือกมาตราส่วนที่เหมาะสมของแผนที่ต้นร่างเป็นงานขั้นต้นสำหรับการทำแผนที่ธรณีวิทยา การกำหนดมาตราส่วนของแผนที่ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การนำไปใช้ประโยชน์ นอกจากนั้นมาตราส่วนของแผนที่ยังเชื่อมโยงไปถึงวิธีการกำหนดตำแหน่งของข้อมูล เช่น ถ้าเราใช้แผนที่ต้นร่างมาตราส่วน 1:100 หรือ 1:1,000 เราสามารถกำหนดตำแหน่งข้อมูลลงในแผนที่โดยการนับก้าว (pacing) หรือใช้เทปวัด (taping) ระยะทางควบคู่กับการใช้เข็มทิศที่เรียกการทำแผนที่แบบเข็มทิศ-.(pace-and-compass mapping) หรือแบบ

เข็มทิศ-เทปวัด(tape-and-compass mapping) เป็นต้น แผนที่ขนาดมาตราส่วนดังกล่าวอาจจำเป็นสำหรับแสดงรายละเอียดเฉพาะแห่งของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด สำหรับการทำแผนที่ในพื้นที่ที่ค่อนข้างทุรกันดาร เรามักใช้ภาพถ่ายทางอากาศช่วยในการเตรียมแผนที่ต้นร่าง ตัวอย่างเช่น สมัยผมเริ่มหัดทำแผนที่ใหม่ๆ เพราะจบมาได้ปีเดียว โดยพื้นที่ศึกษาเป็นดงผู้ก่อการร้ายรอบเขื่อนบางราง การเข้าถึงพื้นที่ (accessibility) ทำได้ยาก จึงอาศัยแผนที่ภูมิประเทศ 1:50,000 เป็นแผนที่ต้นร่างแล้วเอาผลการแปลภาพถ่ายถ่ายทอดบนแผนที่ ซึ่งในปัจจุบันเรามักใช้ภาพถ่ายทางอากาศและภาพจากดาวเทียมเสมอ ในการทำแผนที่ธรณีวิทยาสำคัญๆทุกครั้ง (ดู McClean, 1987) โดยทั่วไปแผนที่ต้นร่างมักมีขนาดมาตราส่วนเท่าๆ หรือใกล้เคียงกับมาตราส่วนของภาพถ่ายทางอากาศ ทั้งนี้เพราะเป็นการสะดวกในการโยกย้ายถ่ายเทข้อมูลจากภาพถ่ายลงในแผนที่ต้นร่างนั้นๆ

ในงานสำรวจแหล่งแร่แผนที่ธรณีวิทยาหรือแผนที่หน้าเหมือง มักอาศัยแผนที่ต้นร่างชนิดมีแกนอ้างอิง (reference-line หรือ grid-line) เพราะเป็นงานที่ครอบคลุมพื้นที่จำกัด การทำแผนที่โดยอาศัยแผนที่ต้นร่างชนิดนี้เป็นเพียงลงตำแหน่งของหินโผล่ตามแนวสำรวจ ข้อมูลหินโผล่ให้เห็นแต่ละตำแหน่งต้องบันทึกไว้ตลอดเวลา ซึ่งนับเป็นความจำเป็นที่ต้องบรรยายหินโผล่ ตลอดจนหินที่หลุดจากหินโผล่ไม่ไกลนัก(float) และลักษณะต่างๆทางธรณีวิทยาที่พบเห็นที่ตำแหน่งนั้น โดยทั่วไปเรามักบรรยายหินที่พบเห็นโดยเขียนในสมุดหน้าเดียว และการบันทึกด้วยข้อความสั้นๆแต่กะทัดรัด ส่วนอีกหน้าหนึ่งของสมุดนั้นมักเป็นภาพสะเกต(sketch) หรือภาพหน้าตัด(cross section) พร้อมคำอธิบายหรือข้อมูลสั้นๆ เช่นเดียวกัน พึงระลึกเสมอว่า ข้อมูลที่บันทึกลงในสมุดธรณีสนาม (geological field book) นั้นไม่ใช่เพื่อเราผู้ปฏิบัติงานในสนามจะเป็นผู้อ่านหรือผู้ใช้เพียงอย่างเดียว ผู้ร่วมงานเรา อาจารย์เรา เพื่อนเรา หรือลูกศิษย์เรา และลูกน้องเราก็ต้องอ่านด้วย ดังนั้นต้องใช้ถ้อยคำที่ทุกคนเข้าใจเป็นอย่างดี จึงแนะนำว่าเราควรใช้ภาษาอังกฤษอาจดีที่สุด]

.....

รูป 2.1 แสดงถึงลักษณะการเขียนข้อมูลลงสมุดธรณีสนามอย่างง่าย

การลงตำแหน่งของข้อมูลลงในแผนที่ต้นร่างก็สามารถติดตามขอบเขต และลักษณะการแผ่กระจายของชั้นหินหรือหน่วยหินของพื้นที่ได้ แผนที่อาจเริ่มจากแผนที่หินโผล่(outcrop map)(ดูรูป 3.5 A) แล้วจึงพัฒนามาเป็นแผนที่ธรณีวิทยา(ดูรูป 2.5 B) จากแผนที่ต้นร่างเดียวกันนี้หากจำเป็นสำรวจโดยวิธีการทางธรณีฟิสิกส์หรือธรณีเคมี ก็อาจดำเนินการพร้อมๆ กันหรือควบคู่กันไปก็ได้ ผลการสำรวจแต่ละวิจะถูกนำมาประกอบกันเข้า เพื่อกำหนดตำแหน่งของแปล่งแร่ที่น่าสนใจต่อไป

ในแหล่งแร่บางแหล่งจำเป็นต้องทำเหมืองโดยการขุดอุโมงค์ การทำแผนที่ธรณีวิทยาในอุโมงค์(underground mapping)เป็นงานที่ต้องทำเช่นเดียวกัน ทั้งนี้เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับจะนำไปประกอบกับข้อมูลจากหลุมเจาะ เพื่อสร้างรูปแบบทางธรณีวิทยาของแหล่งแร่(ดูรูป 2.6) แผนที่ในอ

อุโมงค์โดยปกติมีมาตราส่วนระหว่าง 1:600 ถึง 1:1,200 การทำแผนที่อุโมงค์นั้นก็คล้ายๆ กับการทำแผนที่บนผิวดิน แต่ต่างกันก็เพียงที่ทำการทำแผนที่อุโมงค์เป็นการทำแผนที่ของผนังและเพดานอุโมงค์ ทั้งนี้เพราะพื้นอุโมงค์มักปกคลุมไปด้วยดินโคลน ฝุ่น หรือแม้กระทั่งน้ำ ลักษณะทางธรณีต่างๆ เช่น หน่วยหิน รอยเลื่อน ที่อยู่บนผนังและเพดานอุโมงค์จะถูกถ่ายทอดให้ไปปรากฏอยู่บนระนาบสมมุติที่อยู่ในระดับเพียงเอว(รูป 3.7) แผนที่ในอุโมงค์ที่อยู่ที่ระดับความลึกต่างๆ เมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบหรือเทียบเคียงกับภาพหน้าตัดของปล่องอุโมงค์จะทำให้เราได้ลักษณะและสภาพทางธรณีวิทยาทั้งในทางราบและแนวดิ่ง ซึ่งก็คือรูปร่างลักษณะของโครงสร้างของพื้นที่นั้นๆ นั่นเอง

### *2.2.2 องค์ประกอบ(component)ของแผนที่ธรณีวิทยา*

แผนที่ธรณีวิทยาเป็นแผนที่แสดงขอบเขต การวางตัว และการแผ่กระจายของหินและหน่วยหิน พื้นที่การแผ่กระจายของแต่ละหน่วยหินอาจแสดงด้วยการระบายสี(ดูตาราง 3.4) หรือใช้สัญลักษณ์ต่างๆ กันแทน(รูป 2.12) สีหรือสัญลักษณ์ของหน่วยหินเหล่านั้นมักมีคำอธิบายสั้นๆ และจัดไว้เป็นแถวในแนวตั้งจากบนลงล่างตามลำดับอายุอ่อนไปหาแก่ตามลำดับ ส่วนขอบเขต(contact) ของหน่วยหินแสดงโดยใช้ “เส้น” (line) เป็นสัญลักษณ์ ลักษณะของขอบเขตของหน่วยหินอาจเป็นไปตามแนวการตกตะกอน(depositional contact) แนวการแทรกดันของหินอัคนี(intrusive contact) หรืออาจเป็นแนวของรอยเลื่อน(fault contact)ก็ได้ แล้วแต่กรณี “เส้น” ที่ใช้แทนแนวสัมผัสอาจมีน้ำหนักหรือความหนาของเส้นต่างๆ กัน(ตารางที่ 2.5) ตามสถานภาพของแนวสัมผัส นอกจากนี้ในแผนที่ธรณีวิทยายังต้องแสดงถึงโครงสร้างและรูปทรงเรขาของชั้นหินด้วย โครงสร้างและรูปทรงดังกล่าวสามารถแสดงด้วยสัญลักษณ์ของโครงสร้างลักษณะต่างๆ (ตารางที่ 2.6) การจะเข้าใจถึงขนาดและลักษณะการวางตัวของโครงสร้างเหล่านั้นพิจารณาได้จากมาตราส่วนและทิศเหนือของแผนที่ สำหรับทิศเหนือนั้นถ้าไม่กำหนดเป็นอย่างอื่นถือว่าหัวแผนที่เป็นทิศเหนือเสมอ ดังนั้นในที่นี้เพื่อให้เกิดความรอบคอบจึงควรใส่ทิศเหนือไว้เพื่อกันพลาดแบบรั้วหลังบ้านผม(borders) และชื่อเรื่อง(Title)(ดูรูป 2.11) สำหรับกรอบแผนที่นั้นอาจมีหรือไม่ก็ได้แล้วแต่กรณี แต่ชื่อเรื่องเป็นสิ่งจำเป็นต้องมีและเขียนไว้ตรงขอบบนหรือขอบล่างของแผนที่ก็ได้ สิ่งจำเป็นที่จะต้องมีอยู่ในแผนที่ธรณีวิทยาอีกประการหนึ่งก็คือ ชื่อนักธรณีวิทยาผู้สำรวจศึกษาซึ่งอาจใส่ไว้ใต้ชื่อแผนที่ หรือบริเวณมุมล่างขวาของแผนที่ก็ได้ กรณีที่แผนที่ธรณีวิทยาที่เป็นการรวบรวมมาจากผลงานศึกษาสำรวจของนักธรณีวิทยาอื่นๆ ควรใส่ชื่องานเหล่านั้นไว้ตรงบริเวณมุมล่างซ้ายของแผนที่ อย่างไรก็ตามรูปแบบและองค์ประกอบของแผนที่ธรณีวิทยาอาจศึกษาโดยการดูแบบอย่างจากแผนที่ธรณีวิทยาที่ได้มีการตีพิมพ์เผยแพร่ทั่วๆ ไปก็ได้ ดังนั้นการใช้เวลาเพิ่มอีกสักนิดในห้องสมุดเพื่อดูรูปแบบการทำแผนที่ธรณีวิทยา การกำหนดสัญลักษณ์และคำอธิบายจึงถือว่าเป็นความคุ้มค่าต่อเวลาอย่างมากก่อนจบไปเป็นนักธรณีวิทยาที่ดี

### *2.2.3 ขั้นตอนการทำแผนที่ธรณีวิทยา (Mapping Procedures)*

ในการทำแผนที่ธรณีวิทยาให้ได้ผลดีจำเป็นต้องอาศัยนักธรณีวิทยาผู้มีประสบการณ์และมีพื้นฐานทางธรณีวิทยาเป็นอย่างดี รวมทั้งต้องเป็นผู้มีความละเอียดอดทน และเป็นผู้คำนึงถึงความถูกต้อง มีความประณีตของงานเป็นนิสัย ดังนั้นผลงานการสำรวจที่ดีจึงควรมีผลิตภัณฑ์ที่เป็นแผนที่ซึ่งให้รายละเอียดถูกต้องและสมบูรณ์แบบ

โดยทั่วไปการทำแผนที่ธรณีวิทยาตั้งต้นจากการกำหนดมาตราส่วนให้เหมาะสมกับประโยชน์ที่จะนำไปใช้งาน ส่วนวิธีทำแผนที่ธรณีวิทยาจริงๆ อาจทำได้หลายวิธี ทั้งนี้โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อติดตามขอบเขต และการแผ่กระจายของหินหรือหน่วยหินในพื้นที่ กล่าวคือตลอดแนวการเดินสำรวจควรมีตำแหน่งที่มีการศึกษาและเก็บข้อมูลเป็นระยะๆ โดยให้แต่ละตำแหน่งจะมีหมายเลขกำกับไว้ในแผนที่ต้นร่าง พร้อมกับบันทึกรายละเอียดต่างๆ ไว้ในสมุดบันทึก แนวขอบเขต(contact)ของหน่วยหินที่กำหนดขึ้นแต่ละหน่วย และสามารถเดินสำรวจติดตามนั้น ให้ลากลงในแผนที่ต้นร่างทันที พร้อมๆ กับระบายสีพื้นที่ของแต่ละหน่วยหินไปพร้อมๆ กันด้วย ทิศทางการวางตัวของโครงสร้างชนิดต่างๆ นอกจากบันทึกไว้แล้วก็ให้ลงไว้ในแผนที่ต้นร่างทันทีเช่นกัน นั่นก็คือแผนที่ธรณีวิทยาเป็นผลงานในสนาม มิใช่ทำในสำนักงาน(แต่ทำสวยและสมบูรณ์ในสำนักงาน) โดยอาศัยข้อมูลส่วนใหญ่จากสมุดบันทึกและอาจผสมผสานจากความจำบ้าง การทำแผนที่ธรณีวิทยาเป็นวิธีการทางวิทยาศาสตร์จึงจำเป็นต้องศึกษาผลงานที่ได้ดำเนินการมาแต่ละวันอย่างพินิจพิจารณา เพื่อจะกำหนดว่าในวันต่อไปจะเดินสำรวจไปที่ไหน เพื่อจะดูหรือคาดหวังว่าจะพบอะไรต่อไป

## 2.3 การใช้ประโยชน์ของเข็มทิศ

เข็มทิศ (ดูรูป 2.17) เป็นเครื่องมือสำหรับนักธรณีวิทยาเพื่อประโยชน์ในการวัดทิศทางการวางตัวของโครงสร้างชนิดต่างๆ ในสมัยแรกๆ เรามักคุ้นกับเข็มทิศที่ใช้เรียกว่า “บรันตัน”(Bronton compass) ซึ่งเรียกตามชื่อคนค้นคิดดัดแปลงเข็มทิศให้เหมาะสมกับการใช้งานทางธรณีวิทยา หรือปัจจุบันเข็มทิศที่เรียกว่า ซิลวา(Silva Compass)เริ่มเข้ามามีบทบาทเพราะถูกกว่าและใช้งานได้ดีไม่แพ้บรันตัน เราต้องอาศัยเข็มทิศฯเป็นเครื่องมือวัดทิศทางการวางตัวของโครงสร้างเหล่านั้น โครงสร้างแต่ละชนิดจะสามารถจัดจำแนกเป็นแนวเส้นโครงสร้าง หรือไม่ก็เป็นระนาบโครงสร้าง ในทางปฏิบัติการวางตัวของแนวเส้นโครงสร้างแสดงด้วยแนวทิศ(trend)มุมก้มและค่ามุมก้ม(plunge) ขณะที่การวางตัวของระนาบโครงสร้างแสดงด้วยทิศการวางตัว(strike)และมุมเอียงเท(dip) ทั้งแนวทิศและทิศการวางตัวเป็นค่าทิศทางการวางตัวที่ปรากฏอยู่ในแนวระดับ ดังนั้นเราจึงวัดโดยตรงจากเข็มทิศ โดยเทียบกับทิศเหนือ ส่วนค่ามุมก้มและมุมเอียงเทเป็นค่ามุมที่ปรากฏอยู่ในระนาบดิ่ง ซึ่งวัดค่าโดยใช้เครื่องวัดมุมก้มเงย(clinometer)ที่ประกอบอยู่ทั้งในบรันตันและซิลวา

แนวทิศมุมก้มของแนวเส้นโครงสร้าง(trend) คือทิศทางการวางตัวของระนาบดิ่งที่มีแนวเส้นโครงสร้างนั้นอยู่ภายใน หรือการจำลองภาพในทางดิ่งของโครงสร้างแนวเส้นนั้นให้ปรากฏอยู่บนระนาบระดับสมมติ ดังนั้นการวัดแนวทิศของแนวเส้นโครงสร้างใดๆ จึงทำได้โดยวางขอบด้านข้างของบรันตันให้ขนานกับระนาบจำลองภาพในแนวดิ่งของโครงสร้างแนวเส้นนั้น เมื่อหน้าปัดบรันตันอยู่ในแนวระดับจึงอ่านค่ามุมที่ทำกับทิศเหนือ(azimuth หรือ bearing)ได้ทันที แต่ถ้าหากใช้ซิลวาให้เอาด้านข้างของวิลวาขนานกับระนาบจำลองภาพในทางดิ่งของโครงสร้างแนวเส้นเช่นกัน แล้วจึงหมุนกรอบหน้าปัดด้านนอก จนกระทั่งเครื่องหมายทิศเหนือแผ่นกระจกใสหน้าปัดไปทับกับเข็มทิศพอดี แล้วจึงอ่านค่าจากองศารอบๆ ขอบหน้าปัด

การอ่านมุมก้ม(plunge)ของแนวเส้นโครงสร้างทำได้โดยการวางบรันตันทาบกับระนาบแนวดิ่งที่มีแนวเส้นโครงสร้างอยู่ข้างใน และให้ขอบด้านข้างขนานกับแนวของแนวเส้นโครงสร้างนั้น เอามือหมุนหลอดเครื่องวัดมุมก้มเงยให้ระดับลูกน้ำอยู่ตรงกลางหลอดพอดี เข็มที่ติดตั้งฉากอยู่กับหลอดลูกน้ำจะชี้มุมเอียงเป็นองศาซึ่งสามารถอ่านได้ทันที กรณีที่ใช้ซิลวาเราสามารถอ่านค่ามุมก้มของแนวเส้นโครงสร้างได้ทันทีบนสเกลองศาเมื่อตะแคงข้างซิลวาให้อยู่ในแนวดิ่ง และขนานกับแนวเส้นโครงสร้างนั้น เราเขียนการวางตัวของแนวเส้นโครงสร้างได้เป็น 2 แบบ เช่น 20˚ N 60˚ E หรือ 20˚ /060˚ ซึ่งหมายถึงแนวเส้นโครงสร้างมีมุมก้มลง 20 องศาไปทางทิศตะวันออก 60 องศาจากทิศเหนือ การวางตัวดังกล่าวนี้อย่างแรกจัดเป็นระบบแบริ่ง(bearing) และอย่างหลังจัดเป็นระบบอะซิมุด(azimuth)

สำหรับการวางตัวของระนาบโครงสร้าง เรามักแสดงด้วยแนวการวางตัว(strike)และมุมเอียงเท(dip) วิธีการวัดแนวการวางตัวด้วยบรันตัน ทำโดยการหาแนวการวางตัวก่อนซึ่งเริ่มจากการจัดให้เข็มของเครื่องวัดมุมก้มเงยอยู่ที่ศูนย์ แล้วเอาขอบของบรันตันไปวางสัมผัสกับระนาบที่ต้องการวัด พร้อมๆ กับจัดหลอดลูกน้ำของเครื่องวัดมุมก้มเงยให้อยู่ในระดับแนวสัมผัสระหว่างขอบของบรันตันกับระนาบก็คือ แนวการวางตัวของระนาบนั้น ต่อมาจึงวัดทิศทางการวางตัว โดยค่อยๆ หงายบรันตันขึ้นมาในขณะที่ขอบของบรันตันยังคงสัมผัสอยู่กับระนาบนั้น เมื่อหน้าปัดมาอยู่ในระดับแล้วจึงอ่านค่าอะซิมุดหรือแบริ่งได้ทันที ส่วนการวัดค่าแนวการวางตัวโดยใช้ซิลวานั้นอาจเรียกได้ว่าค่อนข้างสะดวกและรวดเร็วมาก เพราะเข็มลูกดิ่งของซิลกาอยู่ในแนวดิ่งโดยอัตโนมัติอยู่แล้ว เมื่อเอาขอบด้านข้างของซิลวาวางสัมผัสกับระนาบ จัดแนวสัมผัสให้เป็นแนวระดับโดยการขยับแนวสัมผัสจนพอดีลูกดิ่งที่อยู่ในแนวดิ่งแล้วจึงหงายหน้าปัดให้อยู่แนวระดับหมุนหน้าปัดจนกระทั่งเครื่องหมายทิศเหนือทับกับทิศเหนือของเข็มทิศ แล้วจึงอ่านค่ามุมอะซิมุดหรือแบริ่งตรงเครื่องหมายสำหรับอ่านค่ามุมของซิลวาได้ทันที

ส่วนการวัดค่ามุมเอียงเท(dip)ของระนาบโครงสร้างนั้น ให้เอาขอบด้านข้างของบรันตันหรือซิลวาวางตั้งฉากบนระนาบให้ขนานกับทิศทางที่ตั้งฉากกับแนวการวางตัว กรณีที่ใช้บรันตันเราสามารถอ่านค่ามุมเอียงเทได้ทันทีเมื่อหมุนเครื่องวัดมุมก้มเงยจนหลอดลูกน้ำอยู่ในระดับ ส่วน

การอ่านค่ามุมเอียงเทจากซิลวาก็สามารถทำได้ทันทีเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากลูกดิ่งชี้ค่ามุมโดยอัตโนมัติ

เมื่อวัดค่ามุมเอียงเทและแนวการวางตัวของระนาบโครงสร้าง รวมทั้งแนวทิศมุมก้มและค่ามุมก้มของแนวเส้นโครงสร้างแล้ว จำเป็นต้องบันทึกไว้ในสมุดบันทึกพร้อมๆ กับแสดงค่าเหล่านั้นไว้ในแผนที่ตามตำแหน่งที่วัดให้ถูกต้อง โดยใช้เครื่องหมายที่กำหนดดังเช่นแสดงในตารางที่3..การเก็บบันทึกและแสดงค่าข้อมูลลงในแผนท่าจึงเท่ากับเป็นการแสดงรูปร่างลักษณะของโครงสร้างของพื้นที่นั้นๆ ข้อมูลที่บันทึกไว้สามารถนำไปใช้ต่อไปในการพิจารณาถึงกลไกของแรงและลักษณะการเคลื่อนที่ที่ทำให้เกิดโครงสร้างในหินที่มีอยู่ในพื้นที่นั้นๆ ต่อไป

**2.4 การทำแผนที่ธรณีวิทยาใต้ดิน**

การสำรวจธรณีวิทยาใต้ดินโดยเฉพาะในการหาแหล่งปิโตรเลียม ถ่านหิน แหล่งแร่โลหะ หรือทรัพยากรธรรมชาติอื่นๆ จะเป็นแหล่งที่มาของข้อมูลที่สำคัญในการศึกษาถึงรูปร่างลักษณะของโครงสร้าง และถ้าสามารถเจาะเก็บแท่งตัวอย่างหินได้ด้วยจะเป็นการดีเพราะเราจะได้ข้อมูลทั้งทางโครงสร้างและลักษณะหินในทางดิ่งเพิ่มเติมไปจากแผนที่ ยิ่งถ้าทราบระดับความลึกของข้อมูลที่มีการเจาะผ่านลงไปจะเป็นประโยชน์ในการสร้างเส้นแสดงรูปร่างลักษณะของโครงสร้างชนิดใดชนิดหนึ่งได้ตามระดับความลึกต่างๆ โดยปกติเรายึดระดับความลึกของชั้นหินชั้นใดชั้นหนึ่งจากค่าระดับของจุดอ้างอิงที่กำหนดขึ้นมา ระดับอ้างอิงและเส้นระดับของโครงสร้างสามารถเขียนขึ้นได้ ดังเช่นแสดงในแผนที่รูป2..... แผนที่เส้นระดับโครงสร้าง (structure contour map) มักใช้แสดงถึงโครงสร้างของชั้นหินหรือหน่วยหินที่อาจกำหนดขึ้นมาได้ในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง รูป 2..... แสดงรูปแบบของเส้นระดับของโครงสร้างชนิดต่างๆ

ยังมีแผนที่แสดงข้อมูลผิวดินอีกประการหนึ่งซึ่งเรียกแผนที่ความหนา(isopach map)ซึ่งเป็นแผนที่แสดงความหนาของชุดหินใดชุดหินหนึ่ง หรือชั้นใดชั้นหนึ่ง ความหนาของชุดหินอาจได้มาจากการทำแผนที่ธรณีวิทยาผิวดิน หรือการทำแผนที่ธรณีใต้ดิน และมีข้อมูลความหนาจากการทำเหมือง และ/หรือการเจาะสำรวจ แผนที่ความหนานี้ได้จากการแสดงตำแหน่งของข้อมูลความหนาของชั้นหินใดๆ ที่ต้องการ แล้วสร้างเส้นค่าความหนาเท่ากันของชั้นหินที่มีขนาดความหนาต่างๆ ตามแต่ละตำแหน่งในพื้นที่ แผนที่ที่ได้จึงแสดงรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้นหินในพื้นที่นั้นๆ ประโยชน์ของแผนที่ความหนานี้ก็คือ สามารถนำไปแปลความหมายในเชิงสภาพทางภูมิศาสตร์ของแอ่งสะสมตะกอนในขณะมีการสะสมตัวของตะกอน ดังนั้นแผนที่ธรณีวิทยาที่ได้จากการสำรวจภาคพื้นดินผนวกกับข้อมูลทางธรณีวิทยาที่ได้จากการศึกษาในแนวดิ่ง เช่น การเจาะสำรวจการทำเหมืองใต้ดิน จึงทำให้เราได้รูปลักษณะของโครงสร้างของชั้นหินที่เป็นอยู่ในแต่ละพื้นที่นั้นๆ แจ่มชัดขึ้น

**2.5 การสร้างแบบจำลอง**

เราอาจถือได้ว่าแผนที่ธรณีวิทยาและข้อมูลด้านต่างๆ ของโครงสร้างแต่ละชนิดสามารถใช้เป็นข้อมูลรายละเอียดเบื้องต้นในการวิเคราะห์ถึงรูปทรงเรขาคณิตของโครงสร้างนั้นๆ ได้ การศึกษาวิเคราะห์ดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดความเข้าใจถึงรูปร่างลักษณะ และระบบของโครงสร้างนั้นๆ ตลอดจนลักษณะการวางตัวของโครงสร้างซึ่งหมายถึงลักษณะการวางตัวของหน่วยหินที่มีอยู่ในพื้นที่นั้นๆ ดังนั้นรูปทรงเรขาคณิตของโครงสร้างจึงเป็นแบบจำลองที่อาศัยวิธีการและเทคนิคการสร้างแบบจำลอง 2 ลักษณะด้วยกันคือ การสร้างแบบจำลองโดยเส้นฉากลากขนาน(orthographic projection)และการสร้างแบบจำลองเชิงเส้นรองทิศ(stereographic projection)

***2.5.1 การสร้างแบบจำลองโดยเส้นฉากลากขนาน***

วิธีนี้ทำกันมาช้านานซึ่งทำขึ้นเพื่อศึกษาถึงรูปทรงเรขาของวัตถุ หรือโครงสร้างใดๆ โดยการสร้างแบบจำลองจากจุดทุกๆ จุดบนวัตถุ หรือโครงสร้างจริงไปบนระนาบด้วยเส้นตรง ดังนั้นเส้นตรงทุกๆ เส้นจากจุดเหล่านั้นต่างก็ขนานกัน และไปตั้งฉากกับระนาบที่รองรับแบบจำลองของวัตถุ หรือโครงสร้างนั้นๆ การสร้างแบบจำลองโดยอาศัยหลักการและเทคนิคดังกล่าวนี้จึงมักใช้หารูปทรงเรขาคณิตและข้อมูลทางลักษณะโครงสร้างต่างๆ ดังต่อไปนี้

*(1) ภาพตัดขวางโครงสร้าง*

โดยทั่วไปภาพตัดหน้าโครงสร้าง(structure profiles)ใดๆ มักเป็นภาพในระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางการวางตัวของโครงสร้างนั้นๆ อย่างไรก็ตามภาพตัดขวางของโครงสร้างเหล่านั้นอาจแสดงได้ในระนาบที่มีทิศทางทำมุมขนาดต่างๆ กับทิศทางการวางตัวของโครงสร้างนั้นๆ ได้ ทั้งนี้โดยที่เทคนิคและวีการมิได้แตกต่างกันเลย การสร้างภาพตัดขวางของลักษณะโครงสร้างอาจทำเป็นขั้นตอนได้ดังต่อไปนี้

1. กำหนดทิศทางการวางตัวของภาพตัดขวางในแผนที่
2. สร้างเส้นระดับความสูงบนแผ่นภาพตัดขวาง โดยใช้มาตราส่วนเดียวกันกับมาตราส่วนของแผนที่ หากใช้มาตราส่วนต่างกันต้องระบุให้แน่ชัดว่าใช้มาตราส่วนเท่าใดในแนวตั้ง และเท่าใดในแนวนอน ซึ่งโดยมากเรามักทำให้มาตราส่วนแนวตั้งมีอัตราส่วนน้อยลงไปกว่าแนวนอน ซึ่งทำให้ไม่ตรงกัน เกิดการผิดเพี้ยนไปจากความจริง(vertical exageration)จนต้องระบุว่าแตกตางไปจากแนวนอนเท่าใดหรือกี่เท่า เช่น อัตราส่วนระหว่างแนวตั้งต่อแนวนอน = 3:1
3. นำข้อมูลทางธรณีวิทยาแต่ละชนิด เช่น ส่วนล่างหรือส่วนบนของหน่วยหินที่ปรากฏอยู่ในแผนที่แต่ละตำแหน่ง โดยเฉพาะที่มีระดับความสูงต่างกันลงแสดงในแผ่นภาพหน้าตัด ทั้งนี้โดยการถ่ายทอดข้อมูลจากแผนที่ลงในภาพหน้าตัดในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการวางตัวของภาพหน้าตัดนั้น
4. เชื่อมโยงจุดข้อมูลของแต่ละชนิดที่ปรากฏอยู่ในระนาบหน้าตัด ในที่สุดเราจะได้

ภาพหน้าตัดของโครงสร้างชนิดต่างๆ ตามต้องการ(รูปที่ 3.3)

ภาพหน้าตัดของโครงสร้างที่มีทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการวางตัวของโครงสร้างนั้นอาจให้ข้อมูลที่เป็นจริงบางอย่างได้ เช่น ภาพหน้าตัดจำลองที่ตั้งฉากกับทิศทางการวางตัว(strike) ของชั้นหินทำให้เราหาค่าความหนาของหน่วยหินได้โดยตรงจากการวัดขนาดความหนาในภาพตัดขวาง และค่ามุมเอียงเท(dip)ของหน่วยหินก็เป็นค่าจริง ส่วนความหนาของชั้นหินที่วัดในภาพหน้าตัดที่มีแนวไม่ตั้งฉากกับทิศทางการวางตัวของชั้นหินอาจบอกถึงเพียงความหนาปรากฏ(apparent thickness)ขณะเดียวกันค่ามุมเอียงเทก็เป็นเพียงค่ามุมปรากฏ(apparent dip)เท่านั้น

*(2) การสร้างเส้นระดับของระนาบเอียง*

ในการประยุกต์ธรณีวิทยาอาจมีปัญหาเบื้องต้น ซึ่งต้องพึงคิดคำนึงอยู่เสมอๆ เช่น การคาดคะเนตำแหน่งของชั้นหิน และโครงสร้าง ณ ระดับ ความลึก ดังนั้นการสร้างเส้นระดับความลึกของสิ่งนั้นๆ จึงนับว่าเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง เช่น กรณีที่พบว่าตอนบนของชั้นหินปูนเป็นส่วนที่มีแร่มีค่าสะสมตัวอยู่ การมีแร่สะสมตัวอยู่ที่ระดับความลึกเป็นสิ่งที่น่าสนใจ แต่ในเชิงพาณิชย์จำเป็นต้องหาระดับความลึกของแร่ที่จะคุ้มต่อการลงทุน ดังนั้นถ้าหากชั้นหินปูนนั้นมีบางส่วนโผล่ให้เห็นบนผิวดิน เราก็สามารถวัดค่าทิศทางการวางตัวของชั้นหินปูนได้ จากค่าการวางตัวนี้จะเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการสร้างเส้นระดับความลึกต่างๆ ตามการวางตัวของชั้นหินปูนนี้ได้โดยวิธีการดังต่อไปนี้

1. สร้างภาพตัดขวางของชั้นหินปูน โดยให้ทิศทางของภาพหน้าตัดตั้งแกกับทิศการวางตัวของชั้นหิน ซึ่งก็คือขนานกับทิศทางของการเอียงเทของชั้นหินปูน

2. จากจุดที่ทิศทางของภาพตัดขวางตัดกับเส้นทิศการวางตัวของหินปูน ทำมุมเท่ากับค่ามุมการเอียงเทจริงของชั้นหินปูน และแสดงมุมในภาพหน้าตัด เส้นตรงที่ปรากฏขึ้นมาจะเป็นแนวที่ชั้นหินปูนตัดกับผิวระนาบของภาพหน้าตัด

3. ในภาพหน้าตัด สร้างระนาบระดับความลึก(จะเห็นเป็นเส้นตรง)ตามมาตราส่วนของแผนที่ โดยถือเอาระนาบระดับที่ผ่านจุดตัดของเส้นทิศการวางตัวกับภาพตัดขวางเป็นระนาบระดับอ้างอิง ดังนั้นในภาพตัดขวางนี้จึงเกิดจุดตัดขึ้นระหว่างแนวของชั้นหินปูน กับแนวระนาบระดับแต่ละระดับ

4. จากจุดที่เกิดขึ้นนี้ถ่ายทอดให้ปรากฏบนระนาบอ้างอิง แล้วจึงลากเส้นตรงจากจุดเหล่านั้นให้ขนานกับค่าทิศการวางตัวที่วัดได้ เส้นทิศการวางตัวที่เกิดขึ้นเหล่านั้นก็คือทิศการวางตัวของชั้นหินปูนที่ระดับความลึกต่างๆ กัน จึงเรียกว่าเส้นชั้นโครงสร้าง(structure contour line)

จากวิการเดียวกันนี้เราจึงสร้างเส้นระดับโครงสร้างจากตำแหน่งในลำดับชั้นหินใดๆ ก็ได้ตามที่ต้องการ ซึ่งแน่นอนหากเราทำภาพหน้าตัดขึ้นเมื่อใด เราก็สามารถหาความหนาชั้นหินเหล่านั้นได้ ถ้าหากภาพหน้าตัดที่สร้างขึ้นมานั้นมีทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการวางตัวของชุดหินหรือชั้นหินนั้น

*(3) การหารอยตัดกันระหว่างระนาบ 2 ระนาบ*

ถ้าหากมีระนาบเอียงตั้งแต่สองระนาบขึ้นไป โดยที่ระนาบเหล่านั้นวางตัวไม่-ขนานกันและมีการตัดกันของระนาบจนเกิดเป็นแนวเส้นโครงสร้าง การหาลักษณะและทิศทางการวางตัวของแนวเส้นนี้จำเป็นอย่างมากในการแก้ปัญหาทางธรณีวิทยาบางอย่าง เช่น แผ่นหินอัคนีแทรกดัน(dides)ตัดผ่านชั้นหินปูน ตลอดแนวที่หินอัคนีตัดผ่านนั้นมักเป็นแหล่งสะสมตัวของสินแร่บางชนิด เช่น ฟลูออไรด์ ซีไลต์ และดีบุก เป็นต้น การหาทิศทางการวางตัวของแนวตัดกันระหว่างหินปูนกับหินอัคนีก็คือ การหาลักษณะการวางตัวของสายแร่นั่นเอง โดยทั่วไปเราอาจหาแนวตัดกันระหว่างระนาบทั้งสิงได้โดยเชื่อมต่อจุดอย่างน้องสองจุดที่เกิดจากเส้นหรือแนวการวางตัวของหิน(strike)ที่ระดับเดียวกันของทั้งสองระนาบนั้น ขั้นตอนการหาทิศทางการวางตัวของแนวตัดกันระหว่างระนาบเอียง ดังเช่นแสดงโดยรูปที่ 2.4

***2.5.2 การสร้างแบบจำลองเชิงเส้นรอบทิศ(Stereographic projection)***

การสร้างแบบจำลองโดยวิธีนี้นับว่าเป็นวิธีการหนึ่งที่มีหลักการแตกต่างไปจากการสร้างแบบจำลอง โดยเส้นตั้งฉากลากขนาน(หัวข้อ 2.5.1) แต่เป็นวิธีการที่ทำได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำในการแก้ปัญหารูปทรงเรขาคณิตของโครงสร้างธรณีวิทยา การสร้างแบบจำลองเชิงเส้นรอบทิศจึงมีข้อได้เปรียบและเป็นที่นิยมมากกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับความสัมพันธ์เชิงมุมระหว่างโครงสร้างแต่ละชนิดหรือระหว่างโครงสร้างชนิดเดียวกัน นอกจากนี้วิธีการสร้างแบบจำลองเชิงเส้นรอบทิศยังสามารถใช้สนับสนุนแนวทางแก้ปัญหารูปทรงเรขาคณิตโดยวิธีการสร้างแบบจำลองโดยเส้นฉากลากขนานได้อย่างดีอีกด้วย

(1) วิธีการสร้างแบบจำลอง

การสร้างแบบจำลองเชิงเส้นรอบทิศเป็นการแสดงรูปทรงเรขาคณิตใดๆ ในเชิง 3 มิติ รูปทรงเรขาคณิตทุกชนิดประกอบด้วยลักษณะเบื้องต้นที่เป็นเส้นตรง(line)และระนาบ(plane) การสร้างแบบจำลองของรูปทรงเรขาจึงเป็นการจำลองความสัมพันธ์เชิงมุมระหว่างส่วนประกอบแต่ละส่วน ดังนั้นถ้าเราสร้างแบบจำลองเชิงเส้นรอบทิศของเส้นตรงและระนาบ เรามักได้แบบจำลองมาตรฐานต้นแบบ วิธีการจำลองเส้นตรง และระนาบดังกล่าวต้องอาศัยทรงกลมอ้างอิง(reference sphere)โดยกำหนดให้เส้นตรงและระนาบวางตัวตัดผ่านจุดศูนย์กลาง และตัดกับผิวครึ่งล่างของทรงกลมนั้น เส้นตรงจะตัดกับผิวของทรงกลมเป็นจุด ขณะที่ระนาบตัดกับผิวทรงกลมเกิดเป็นรอยอยู่บนผิวของทรงกลมนั้น จุดและรอยตัดของผิวระนาบจะไปปรากฏเป็นจุดและเส้นดค้งบนระนาบระดับที่แบ่งครึ่งทรงกลม(equatorial plane) เมื่อขั้วทรงกลม(zenith)เป็นตำแหน่งของตามอง(รูปที่ 2.5) ขั้วทรงกลมจะเป็นตำแหน่งที่เกิดจากรัศมีที่ลากมายังระนาบระดับตัดกับผิวทรงกลมซีกด้านบน ร่องรอยของระนาบบนผิวทรงกลมเมื่อไปปรากฏอยู่บนระนาบระดับ เรามักเรียกว่า **โค้งวงกลมใหญ่(great circle)** ดังนั้นถ้าเราจัดระนาบที่วางตัวในทิศทางใดทิศทางหนึ่งให้มี

ค่ามุมเอียงเท(dip)ต่างๆ กันจะเกิดโค้งวงกลมใหญ่หลายๆ แนวบนระนาบระดับแบ่งครึ่งทรงกลม โค้งวงกลมใหญ่แต่ละวงจะแทนระนาบที่มีค่ามุมเอียงค่าใดค่าหนึ่งโดยเฉพาะ กล่าวคือโค้งวงกลมใหญ่ตั้งแต่ขอบๆ จนถึงจุดศูนย์กลางของระนาบระดับจะเกิดจากระนาบที่เอียงเป็นมุมน้อยๆ และเพิ่มขึ้นตามลำดับจนเป็นมุมฉาก(90 องศา)ในที่สุด

(2) ตาข่ายแบบจำลองเชิงเส้นรอบทิศ(Stereonet หรือ Stereograhic net)

ถ้าเส้นตรงใดๆ ไปตัดกับผิวทรงกลมจนเกิดเป็นจุดจุดนั้นยังคงเป็นจุดอยู่บนระนาบระดับเมื่อมองที่ขั้วของทรงกลมนั้น แต่ถ้าพิจารณาเส้นตรงตามกฎเกณฑ์การวางตัว จะเห็นว่าเส้นตรงใดๆ ก็ตามสามารถจัดให้อยู่ในระนาบแนวดิ่งได้เสมอ ดังนั้นเมื่อใดที่ระนาบแนวดิ่งซึ่งมีเส้นตรงอยู่ภายในค่อยๆ ปรับตัวเข้าหาระนาบระดับปลายของเส้นตรงนั้นจะค่อยๆ เปลี่ยนตำแหน่งไป ทำให้เกิดรอยอยู่บนผิวของทรงกลม รอยปลายของเส้นตรงที่เกิดขึ้นนี้จะเป็นไปตามขนาดของมุมก้ม(plunge)ของเส้นตรงแต่ละเส้น และเมื่อมองที่ขั้วของทรงกลมจะปรากฏเป็นส่วนของวงกลมบนระนาบระดับ ส่วนของวงกลมบนระนาบระดับนี้จะเรียกว่า ***โค้งวงกลมเล็ก(small circle)*** แต่ละแนวของโค้งวงกลมเล็กจะแทนร่องรอยทางเดินของเส้นตรงแต่ละเส้นที่มีค่ามุมก้มลงต่างๆ กัน ดังนั้น ทั้งโค้งวงกลมใหญ่และวงกลมเล็กก็คือ ภาพจำลองเชิงเส้นรอบทิศทางของระนาบ และเส้นตรงที่มีค่าการวางตัวเปลี่ยนไปอย่างมีระบบ ภาพจำลองของระนาบและเส้นตรงดังกล่าว เมื่อแสดงอยู่ในระนาบระดับเดียวกันจะได้ภาพจำลองมาตรฐานต้นแบบ และเรียกว่า ตาข่ายแบบจำลองเชิงเส้นรอบทิศ (รูปที่ 2.6)

### *2.5.3 การใช้ตาข่ายแบบจำลองเชิงเส้นรอบทิศ*

ตาข่ายแบบจำลองเชิงเส้นรอบทิศ (stereonet)มีรากฐานมาจากการวางตัวของเส้นตรงและระนาบใดๆ ดังนั้นการใช้ประโยชน์จึงมีตั้งแต่การแสดงลักษณะทิศทางการวางตัวของเส้นตรงและระนาบ การแสดงและการหาความสัมพันธ์เชิงมุมระหว่างเส้นตรงกับระนาบ ตลอดจนความสัมพันธ์เชิงมุมระหว่างเส้นตรงและระนาบด้วยกันเอง

1. *เพื่อแสดงการวางตัวของเส้นตรงใดๆ (trend and plunge)*

การแสดงการวางตัวของเส้นตรง โดยใช้ตาข่ายแบบจำลองเชิงเส้นรอบทิศสามารถทำได้ง่ายและสะดวกรวดเร็วมาก ขอให้พิจารณาวิธีการแสดงเส้นตรงซึ่งมีการวางตัว 26 $^{\circ}$ N 40 $^{\circ}$ E (ดูรูป 2.7)

(1) วางกระดาษลอกลาย (tracing paper)บนแผ่นตาข่ายแบบจำลองซึ่งมีเข็มหมุด (thumbtack)เสียบทะลุผ่านจุดศูนย์กลางจากด้านล่างไว้เรียบร้อยแล้ว

(2) บนกระดาษลอกลายเขียนระนาบแบบจำลองตามแนวขอบของวงกลมรอบตาข่ายจำลองภาพ พร้อมกับทำเครื่องหมายทิศเหนือ(north index)บนกระดาษลอกลายให้ตรงกับทิศเหนือของตาข่ายจำลองภาพที่อยู่ข้างล่าง

(3) ในกรณีนี้ทิศทางการวางตัวของเส้นตรงอยู่ในทิศทาง N40 °E และมีมุมก้มไปทางปลายเหนือของเส้นตรง ดังนั้น จึงต้องหมุนกระดาษลอกลายไปทางซ้ายมือหรือทวนเข็มนาฬิกาเป็นจำนวน 40 องศา ทิศทาง N40 °E จะวางทับแนวเหนือ-ใต้ขอบตาข่ายแบบจำลอง

(4) จากขอบนอกสุดของตาข่ายจำลองภาพในแนวเหนือ-ใต้ นับจำนวนองศาเข้าหาจุดศูนย์กลางเท่ากับจำนวนมุมก้มของเส้นตรง กรณีนี้นับลงมา 26 องศา แล้วกาเครื่องหมายไว้

(5) ลากเส้นตรงบนกระดาษลอกลายเชื่อมต่อระหว่างจุดที่กำหนดไว้ในข้อ 4 กับจุดศูนย์กลางของระนาบจำลองภาพ เส้นตรงที่ได้นี้จะเป็นภาพจำลองของเส้นตรงซึ่งมีทิศทางการวางตัว 26 ° N40 ° E ตามต้องการ โดยปกติการสร้างแบบจำลองเส้นตรงมักแสดงด้วยจุดเท่านั้น

2. *เพื่อแสดงการวางตัวของระนาบใดๆ (strike and dip)*

การแสดงลักษณะการวางตัวของระนาบอาจจัดได้ว่าเป็นการแสดงข้อมูลเบื้องต้นอีกแบบหนึ่งทางธรณีวิทยาโครงสร้าง วิธีการแสดงระนาบโดยใช้ตาข่ายแบบจำลองเชิงเส้นอาจพิจารณาจากตัวอย่างระนาบ N40 ° W 30 ° SW (รูป 3.8)

(1) สร้างระนาบแบบจำลองและเครื่องหมายแสดงทิศเหนือบนกระดาษลอกลายดังเช่นที่กล่าวมาแล้ว

(2) กรณีนี้ทิศทางการวางตัวของแนวระนาบ(strike)อยู่ในทิศทาง 40 ° จากทิศเหนือไปทางทิศตะวันตก ดังนั้นการหาแนวระนาบ(strike)จึงทำได้โดยการหมุนกระดาษลอกลายไปทางขวามือหรือตามเข็มนาฬิกาเป็นจำนวน 40°ลากเส้นตรงตามแนวเหนือ-ใต้ของตาข่ายจำลองภาพก็จะได้แนวระนาบ(strike)ที่มีค่าการวางตัว N 40 ° W ทันที

(3) เนื่องจากระนาบเอียงไปทางตะวันตกเฉียงใต้ โดยมีค่ามุมเอียงเท่ากับ 30° แบบจำลองของระนาบเอียง 30 ° นี้ จึงเขียนตามโค้งวงกลมใหญ่ด้านซ้ายมือที่นับจากขอบเข้าหาจุดศูนย์กลางของตาข่ายตามแนวตะวันตก-ตะวันออกเป็นจำนวน 30 ° แนวโค้งวงกลมใหญ่ที่ลากขึ้นมานั้น ปลายทั้งสองข้างจะบรรจบกับปลายแต่ละข้างของแนวระนาบ(strike) ซึ่งจะได้ภาพจำลองเชิงเส้นรอบทิศทางของระนาบ N40 ° W 30 ° SW ตามต้องการ (รูปที่ 3.8 หรือ 3.46) อย่างไรก็ตามการวางตัวของระนาบมักแสดงด้วยเส้นตรงที่ตั้งฉากกับระนาบนั้น เส้นตรงที่ตั้งฉากกับระนาบใดๆ จะเรียกว่า*ขั้ว(pole)*ของระนาบนั้น ในกรณีของระนาบ N40 ° W 30°SW นี้ถ้าต้องการแสดงการวางตัวด้วยขั้ว(pole) ทำได้โดยแทนที่จะเขียนโค้งวงกลมใหญ่ ให้นับจากจุดศูนย์กลางไปทางขวามือ 30° แล้วจุดเป็นเครื่องหมายไว้ ตำแหน่งที่ได้จะเป็นเส้นตรงที่ตั้งฉากกับระนาบหรือขั้ว(pole)ของระนาบนั้นตามต้องการ

*3. เพื่อแสดงการวางตัวของเส้นตรงที่อยู่บนระนาบใดๆ (Line orientation in a plane*)

สำหรับเส้นตรงที่วางตัวอยู่บนระนาบเอียงใดๆ เราสามารถวัดทิศทางการวางตัวได้ 2 วิธี กล่าวคือ ทิศทางการวางตัวของเส้นและระนาบต่างทำการวัดโดยตรง กับการวัดทิศทางของเส้นตรงให้มี

ความสัมพันธ์เชิงมุมกับแนวระนาบ(strike)มุมที่จะวัดมานั้นกำหนดให้วัดเป็นค่ามุมแหลมเท่านั้น มุมดังกล่าวนี้เรียกว่ามุมคราด(rake) สำหรับกรณีแรกซึ่งเป็นการวัดทิศทางการวางตัวของเส้นตรงและระนาบเอียงอย่างอิสระต่อกัน การแสดงแนวเส้นและระนาบเอียง จะเป็นไปตามวิธีการและขั้นตอนดังกล่าวแล้ว ถ้าหาทิศทางการวางตัวของเส้นตรงและระนาบที่วัดมานั้นถูกต้อง เมื่อแสดงการวางตัวโดยใช้วิธีการจำลองภาพรอบทิศทางแล้ว จุดปลายของเส้นตรงจะอยู่บนเส้นโค้งวงกลมใหญ่ของระนาบเอียงนั้นพอดี ส่วนกรณีที่วัดทิศทางของเส้นตรงโดยใช้ค่ามุมคราด(rake)นั้น เมื่อแสดงระนาบเอียงได้แล้ว จึงหาตำแหน่งของเส้นตรงนั้นต่อไป นอกจากจะระบุค่ามุมคราดเป็นองศาแล้ว ยังต้องระบุทิศทางการวางตัว(strike)ของระนาบนั้นด้วย ดังนั้นการหาตำแหน่งของเส้นตรงบนระนาบจึงทำให้ได้โดยการนับจำนวนองศาเท่ากับค่ามุมคราดไปตามโค้งวงกลมใหญ่ของระนาบจึงทำให้ได้โดยการนับจำนวนองศาเท่ากับค่ามุมคราดไปตามโค้งวงกลมใหญ่ของระนาบจากปลายทิศทางการวางตัวข้างใดข้างหนึ่งที่ระบุ เช่น เส้นตรงเส้นหนึ่งมีค่ามุมคราด 65 $^{\circ}$ SE บนระนาบ N 40 $^{\circ}$ W 45 $^{\circ}$ SW เมื่อแสดงระนาบ N 40 $^{\circ}$ W 45 $^{\circ}$ SW แล้วจึงนับค่ามุม 65 องศาจากปลายแนวการวางตัวด้านตะวันออกเฉียงใต้ไปตามโค้งวงกลมใหญ่ของระนาบ ก็จะได้ตำแหน่งของเส้นตรงบนระนาบดังกล่าวตามต้องการ(ดูรูป 2.47)

*4. การวัดมุมระหว่างเส้นตรง* การหาความสัมพันธ์เชิงมุมระหว่างโครงสร้างแนวเส้นด้วยกัน นับว่าเป็นความจำเป็นประการหนึ่งในการศึกษาถึงธรณีวิทยาโครงสร้าง การวัดมุมระหว่างเส้นตรงโดยวิธีการสร้างแบบจำลองเชิงเส้นรอบทิศทางถือได้ว่าเป็นวิธีการที่สะดวกและรวดเร็ว ทั้งนี้อาศัยหลักการที่ว่าเส้นตรงอย่างน้อยสองเส้นประกอบกันขึ้นเป็นระนาบได้ แต่การใช้ตาข่ายจำลองภาพมีข้อจำกัดตรงที่เส้นตรงสองเส้นขนานกันมิอาจสร้างเป็นระนาบได้ เนื่องจากมุมระหว่างเส้นตรงคู่ใดๆ ก็ตามเป็นมุมที่วัดบนระนาบที่มีเส้นตรงคู่นั้นอยู่ภายใน ดังนั้นการหามุมระหว่างเส้นตรงโดยใช้ตาข่ายจำลองภาพจึงทำโดยการจัดเส้นตรงคู่นั้นให้อยู่บนโค้งวงกลมใหญ่เดียวกัน มุมระหว่างเส้นตรงทั้งสองก็คือจำนวนองศาที่นับได้ระหว่างจุดปลายของเส้นตรงบนโค้งวงกลมใหญ่นั้น

5. *การหาค่ามุมระหว่างระนาบสองระนาบ*

มุมระหว่างระนาบคู่ใดก็ตามจะเห็นเท่ากับค่ามุมจริงก็ต่อเมื่อเราเห็นระนาบคู่นั้นเป็นเส้นตรง นั่นก็คือมุมระหว่างระนาบโดยใช้ตาข่ายจำลองเมื่อแสดงระนาบทั้งสองแล้วจึงต้องสร้างระนาบใหม่ขึ้นมาอีกระนาบหนึ่งให้ตั้งฉากกับระนาบทั้งสองนั้น ระนาบที่สร้างขึ้นใหม่นี้จะไปตัดกับระนาบทั้งสองมุมระหว่างแนวตัดกันของระนาบบนระนาบที่สร้างขึ้นใหม่จะเป็นมุมระหว่างระนาบที่ต้องการ ระนาบที่สร้างขึ้นใหม่ที่จะให้ตั้งฉากกับระนาบคู่ใดก็ตามจะเป็นระนาบที่สร้างจากขั้ว(pole) ก็เป็นมุมระหว่างระนาบคู่นั้นเช่นกัน มุมระหว่างระนาบที่ได้จากการวัดมุมระหว่างขั้วของระนาบกับที่วัดบนระนาบที่สร้างขึ้นใหม่ให้ตั้งฉากกับระนาบทั้งสองต่างเป็นมุมประชิดกัน

### *2.5.4 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติโดยตาข่ายจำลองภาพ*

ในบางครั้งทิศการวางตัวของโครงสร้างทางธรณีวิทยาไม่อาจแสดงให้เห็นอย่างชัดเจน แต่เราอาจหาลักษณะการวางตัวของโครงสร้างเหล่านั้นได้จากการวิเคราะห์ หรือจัดระเบียบข้อมูลเชิงสถิติ โดยที่ข้อมูลเหล่านั้นจะต้องมีการกระจัดกระจายอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอ

ตาข่ายจำลองภาพรอบทิศทาง(รูป 2.6) มักมีพื้นที่ของแต่ละหน่วยองศาไม่เท่ากันทั้งๆ ที่พื้นที่จริงๆ ของแต่ละหน่วยองศาบนผิวระนาบทรงกลมมีขนาดเท่ากันทุกๆ หน่วยองศากล่าวคือ พื้นที่ของหน่วยองศาบริเวณกลางๆ ของตาข่ายจำลองภาพมักมีขนาดเล็กกว่าบริเวณโดยรอบ ดังนั้นตำแหน่งต่างๆ บนผิวทรงกลมเมื่อจำลองภาพแล้วถ้าปรากฏอยู่ภายในพื้นที่ตอนกลางๆ ของตาข่ายจำลองภาพมักรวมกันเป็นกลุ่มได้มากกว่าตำแหน่งที่ปรากฏตามบริเวณขอบๆ ของตาข่ายจำลองภาพ ทั้งๆ ที่ตำแหน่งต่างๆ เหล่านั้นมีความสัมพันธ์เชิงมุมต่อกันและกันเท่าๆ กัน ดังนั้นตาข่ายจำลองภาพจึงถูกดัดแปลงให้มีพื้นที่ของหน่วยองศามีขนาดเท่าๆ กันโดยตลอด ตาข่ายจำลองดังกล่าวเรียกว่าตาข่ายพื้นที่เท่า(equal area net หรือ Schmidt net)เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล(ทั้งที่เป็นเส้นตรงและระนาบ)เชิงสถิติ ทิศทางการวางตัวของโครงสร้างที่ได้จากวิธีการนี้แสดงเป็นค่าความหนาแน่นของข้อมูลเป็นร้อยละต่อหนึ่งหน่วยร้อยละของพื้นที่ อนึ่งสำหรับตาข่ายจำลองภาพที่ดัดแปลงให้มีช่องห่างของมุมในวงกลมเท่ากันเรียกตาข่ายมุมเท่า(equal angle หรือ Wulff net) โดยทั่วไปนักธรณีวิทยามักใช้ตาข่ายพื้นที่เท่ามากกว่า

การหาทิศทางการวางตัวของโครงสร้างโดยวีการเชิงสถิตินี้ ขั้นแรกเป็นการแสดงข้อมูลที่ได้มาจากการสำรวจภาพสนาม ข้อมูลอาจมีจำนวนเป็นร้อยๆ ค่า ข้อมูลที่เป็นเส้นตรงและระนาบต่างก็แสดงเป็นจุด ลักษณะการวางตัวแสดงด้วยค่าระดับความหนาแน่นของข้อมูล การนับจำนวนข้อมูลมีหลายวี แต่วีที่ทำได้ง่ายสะดวกและรวดเร็วก็คือ ใช้ตาข่ายนับจำนวนที่เรียกว่าตาข่ายคาลเบค(Kalsbeck net)(รูป 2.8) ขั้นตอนการนับมีดังนี้

(1) เอากระดาษลอกลายที่มีข้อมูลที่ต้องการนับหาค่าความหนาแน่น วางบนตาข่ายนับจำนวน ให้ทิศเหนือของกระดาษลอกลายที่มีข้อมูลทับกับทิศเหนือของตาข่ายนับจำนวน

(2) เอากระดาษลอกลาย(ซึ่งว่างเปล่า)อีกแผ่นหนึ่งวางทาบลงไปพร้อมกับทำเครื่องหมายทิศเหนือ

(3) ทำเครื่องหมายกำหนดตำแหน่งจุดศูนย์กลางของรูปหกเหลี่ยมแต่ละรูป แล้วบันทึกจำนวนข้อมูลที่อยู่ภายในพื้นที่รูปหกเหลี่ยมแต่ละรูปไว้ พื้นที่หกเหลี่ยมใดไม่มีข้อมูลให้ปล่อยว่างไว้ หรือจะเขียนเลขศูนย์กำกับไว้ก็ตาม บริเวณขอบของตาข่ายนับจำนวนจะเป็นเพียงครึ่งรูปหกเหลี่ยม หรือครึ่งวงกลม (รูป 3.8) การนับข้อมูลในพื้นที่ดังกล่าวจะต้องนับรวมกับข้อมูลในอีกครึ่งรูปซึ่งอยู่ตรงกันข้าม และ

(4) สร้างเส้นระดับความหนาแน่นของข้อมูลโดยคิดเป็นจำนวนร้อยละต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่

รูป 2.1 เส้นระดับความสูงของลักษณะโครงสร้างจากข้อมูลหลุมเจาะที่พบชั้นหินเดียวกัน(marker) ที่ระดับความลึกต่างๆ
รูป 2.2 แผนที่แสดงเส้นระดับความสูงของโครงสร้างลักษณะต่างๆ
รูป 2.3 ภาพหน้าตัดของชั้นหินที่วางตัวตามแนว (ก) ตั้งฉากกับการวางตัวของชั้นหิน
รูป 2.4 การหาเส้นตรงที่เกิดจากการตัดกันของระนาบ
รูป 2.5 ภาพสามมิติ (ก) แสดงระนาบใดๆ ที่ตัดผ่านศูนย์กลางและผิวรอบนอกของทรงกลมา (ข) แสดงแนวตัดกันของระนาบกับผิวนอกทรงกลม ที่จะปรากฏบนระนาบระดับที่ตัดผ่านศูนย์กลางทรงกลม
รูป 2.6 ลักษณะของตาข่ายจำลองภาพรอบทิศทาง (ก) ตาข่ายจำลองพื้นที่คงที่ (equal area net) (ข) ตาข่ายจำลองมุมคงที่ (equal angle net)
รูป 2.7 ขั้นตอนการจำลองระนาบโดยใช้ตาข่ายจำลองภาพรอบทิศทาง
รูป 2.8 แสดงรูปร่างลักษณะของตาข่ายนับจำนวนในการจำลองภาพโดยใช้ตาข่ายจำลองภาพรอบทิศทาง
รูป 2.9 แสดงการนับและวิธีการแสดงจำนวนข้อมูลโดยใช้ตาข่ายนับจำนวน(kalsbeek net)