

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ใช้วัสดุ อุปกรณ์ และระเบียบวิธีดำเนินการ ดังนี้

วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุและอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้จำแนกตามวิธีการศึกษามีดังนี้

1. การศึกษาความหนาแน่นของตัวอย่างหิน ประกอบด้วย
 - 1.1 ตัวอย่างหินโพล์ ซึ่งเก็บมาจากพื้นที่ศึกษา ตำแหน่งละ 3-12 ก้อน ๆ ละไม่เกิน 3,000 กรัม
 - 1.2 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบตัวเลขยี่ห้อ METTLER รุ่น BB3000 ผลิตโดยบริษัท Mettler Toledo AG Switzerland มีพิกัดจำกัด 3,000 กรัม และมีความละเอียดสุด 0.1 กรัม สำหรับชั่งมวลตัวอย่างหิน และการดัดแปลงให้สามารถชั่งมวลในน้ำได้ โดยมีแขนพิเศษสำหรับเกี่ยวห้วงตะแกรงที่ใส่ตัวอย่างหินให้จมอยู่ในน้ำ
 - 1.3 ภาชนะบรรจุน้ำ ขนาดความจุ 16 ลิตร สำหรับใช้ใส่น้ำเพื่อแช่หินให้อิ่มตัวด้วยน้ำ
2. การวัดคลื่นไหวสะเทือนชนิดหักเห ประกอบด้วย
 - 2.1 เครื่อง SmartSiesTMS-24 Seismograph (รูปที่ 5) เป็นอุปกรณ์วัดและบันทึกคลื่นไหวสะเทือน
 - 2.2 จีโอโฟน (geophone) จำนวน 12 ตัว และสายเคเบิล (cable) จำนวน 2 ชุด
 - 2.3 อุปกรณ์กำเนิดคลื่นและส่งสัญญาณ ได้แก่ แผ่นเหล็ก ม้อน และ เครื่องส่งสัญญาณ (hammer switch)
3. การวัดระดับความสูงของพื้นที่ศึกษา ประกอบด้วย (รูปที่ 6)
 - 3.1 กล้องวัดระดับ ยี่ห้อ PENTAX รุ่น AL-3 กำลังขยาย 22x สำหรับอ่านค่าความสูงของจุดวัด
 - 3.2 ไม้สต๊าฟ ความยาว 4 เมตร มีความละเอียด 0.01 เมตร
4. อุปกรณ์อื่น ๆ ที่ใช้ร่วมกัน
 - 4.1 เครื่องมืออ่านพิกัดภูมิศาสตร์ (GPS) ยี่ห้อ Trimble Basic Pathfinder (รูปที่ 7) สำหรับอ่านพิกัดของตำแหน่งสำรวจวัดคลื่นไหวสะเทือนและตำแหน่งเก็บตัวอย่างหิน
 - 4.2 เทปวัดระยะ
 - 4.3 เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์
 - 4.4 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่นำมาใช้วิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูล ประกอบด้วย
 - 4.4.1 โปรแกรม Microsoft Excel version 7.0 สำหรับวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล ความถ่วงและการวัดคลื่นไหวสะเทือน
 - 4.4.2 โปรแกรม Winsurf version 5.0 สำหรับทำแผนที่คอนทัวร์และภาคตัดขวางความถ่วง

4.4.3 โปรแกรม Grapher version 1.22 สำหรับเขียนกราฟและแผนภาพโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่ได้จากแบบจำลองภาคตัดขวางความถ่วงและการวัดคลื่นไหวสะเทือน

4.4.4 โปรแกรม GRIDEPTH 3-D Euler Deconvolution of Magnetic and Gravity data Version 1.0 สำหรับวิเคราะห์หาตำแหน่งและความลึกของวัตถุต้นเหตุจากแผนที่ความถ่วงผิดปกติด้วยแบบจำลองอย่างง่าย

4.4.5 โปรแกรม Geo Vista AB-GMM version 1.31 สำหรับสร้างแบบจำลองภาคตัดขวางด้วยข้อมูลความถ่วง

4.4.6 โปรแกรม SIP (Seismic Interpretation Program) สำหรับวิเคราะห์และประมวลผล ข้อมูลทางด้านคลื่นไหวสะเทือนชนิดหักเห

4.5 แผนที่ภูมิประเทศ (กรมแผนที่ทหาร, 2529) มาตรฐาน 1:50,000 ระวังต่าง ๆ ดังนี้

4.5.1 ระวัง 5022 I บ้านคลองแจะ

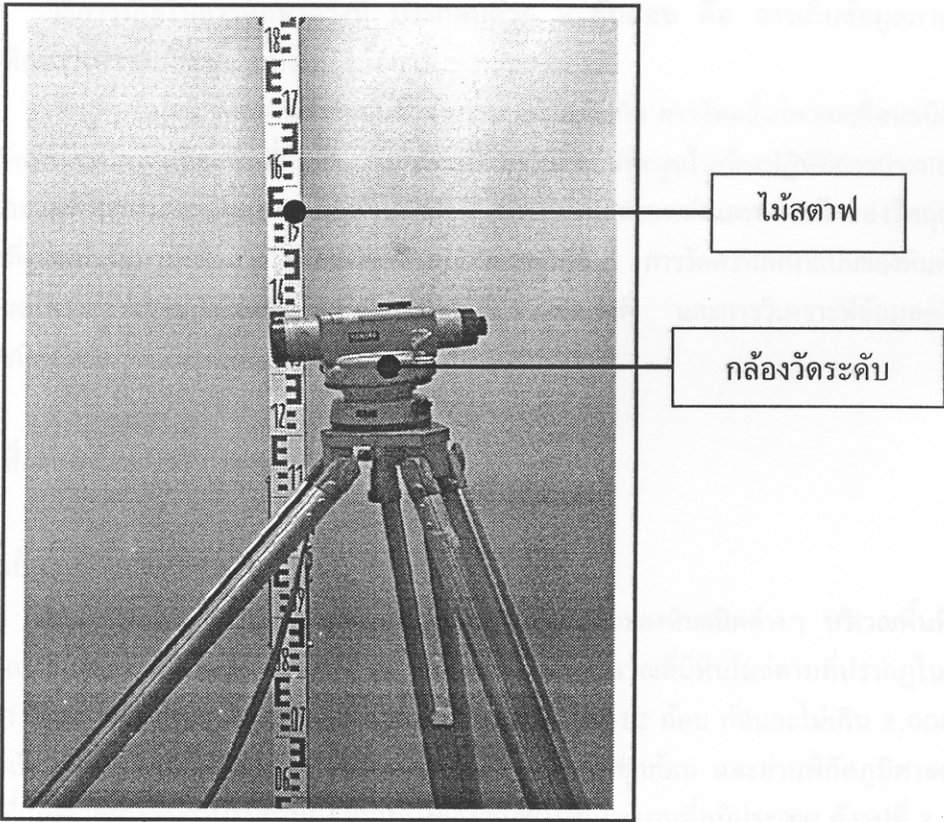
4.5.2 ระวัง 5023II อำเภอหาดใหญ่

4.5.3 ระวัง 5122 IV อำเภอจะนะ

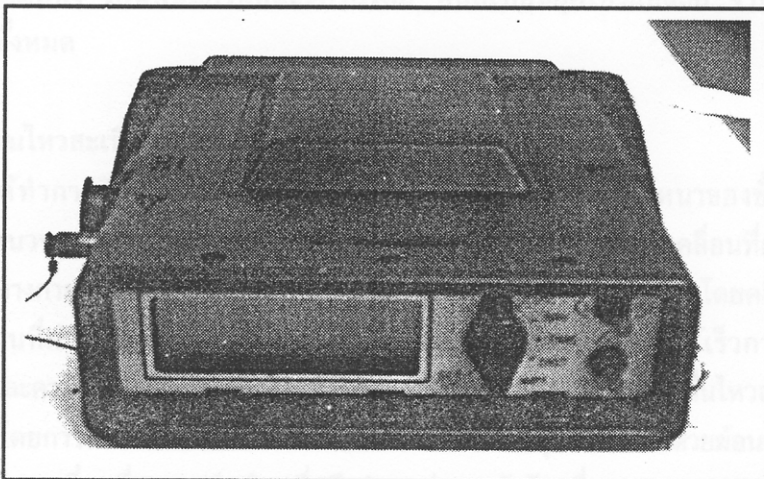
รูปที่ 5 เครื่องมือวัดคลื่นไหวสะเทือนยี่ห้อ GEOMETRICS /Smart Seis S-24



รูปที่ 6 เครื่องมือสำหรับการวัดระดับ



รูปที่ 7 เครื่องมืออ่านพิกัดภูมิศาสตร์ (GPS)



วิธีการ

วิธีการที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การเก็บข้อมูลภาคสนาม และการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลในห้องปฏิบัติการ

การเก็บข้อมูลภาคสนามประกอบด้วย การเก็บตัวอย่างหิน การวัดคลื่นไหวสะเทือนชนิดหักเห และการวัดระดับความสูงของพื้นที่ศึกษา และการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลในห้องปฏิบัติการประกอบด้วย การรวบรวมและประมวลผลข้อมูลสนามโน้มถ่วงผิดปกติ การกำหนดตำแหน่งและความลึกของวัตถุต้นเหตุจากแผนที่คอนทัวร์สนามโน้มถ่วงผิดปกติโดยแบบจำลองอย่างง่าย การวัดความหนาแน่นของหินตัวอย่าง การกำหนดโครงสร้างทางธรณีวิทยาด้วยข้อมูลสนามโน้มถ่วงผิดปกติ และการวิเคราะห์ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนชนิดหักเห

ขั้นตอนที่ 1 การเก็บข้อมูลภาคสนาม

1. การเก็บรวบรวมตัวอย่างหิน

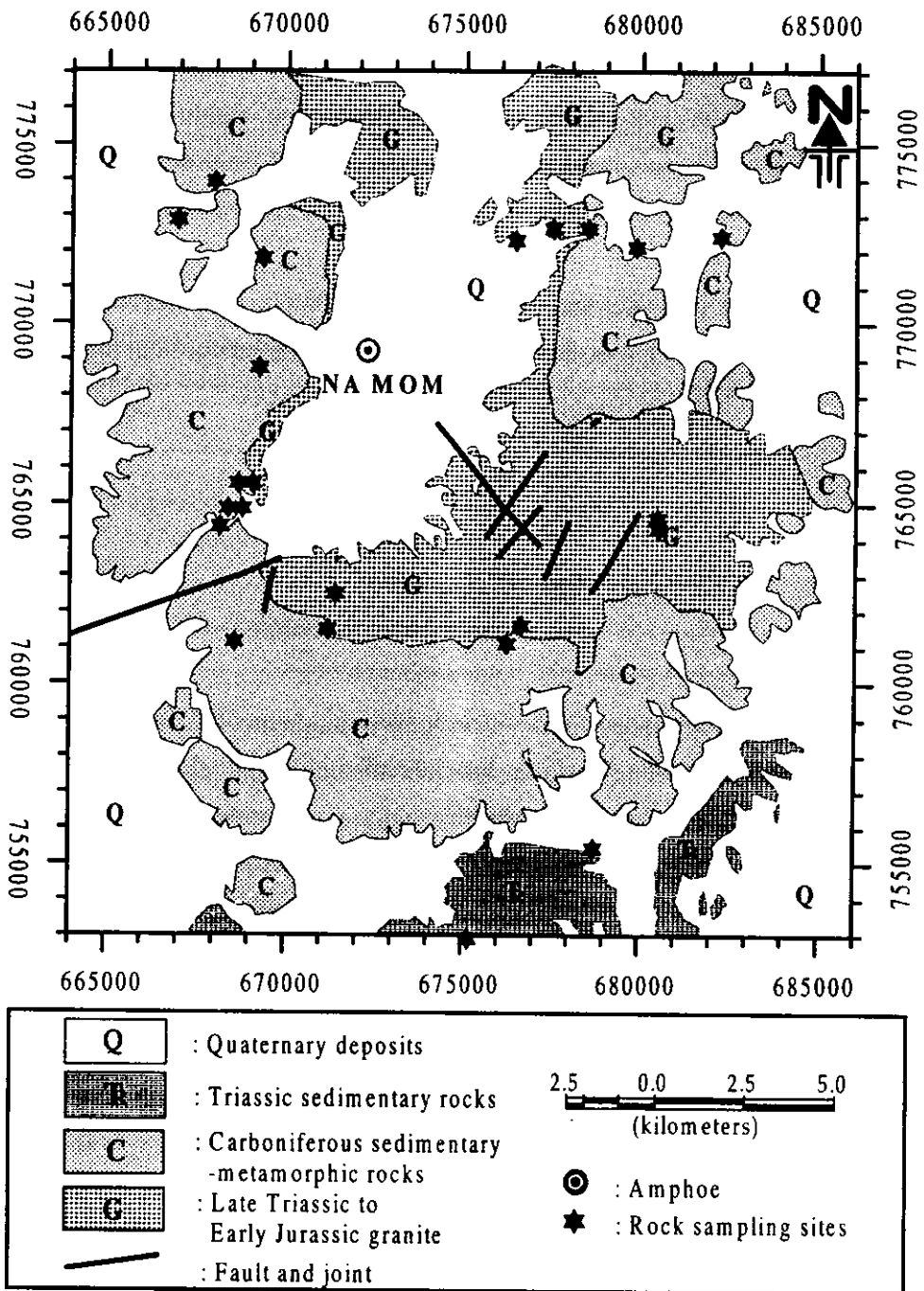
ได้เก็บรวบรวมตัวอย่างหินเพื่อกำหนดค่าความหนาแน่นของหินชนิดต่าง ๆ บริเวณพื้นที่ศึกษา โดยได้ทำการเก็บรวบรวมตัวอย่างหินตามเส้นทางคมนาคมที่ผ่านบริเวณที่มีหินโผล่ตามที่ปรากฏในแผนที่ธรณีวิทยา (รูปที่ 3) จำนวนทั้งหมด 21 ตำแหน่ง ตำแหน่งละ 3-12 ก้อน ก้อนละไม่เกิน 3,000 กรัม พร้อมกับเขียนรหัสตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างหินกำกับไว้ที่ตัวอย่างหินทุกก้อน และอ่านพิกัดภูมิศาสตร์ของตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างหินสำหรับกำหนดตำแหน่งของตัวอย่างหินในแผนที่ภูมิประเทศ ดังรูปที่ 8

ตัวอย่างหินจำนวนทั้งหมด 21 ตำแหน่ง ประกอบด้วยหินตะกอนและหินแปรยุคคาร์บอนิเฟอรัส จำนวน 13 ตำแหน่ง เป็นหินทรายและหินดินดาน หินอัคนียุคปลายยุคไทรแอสสิกถึงต้นยุคจูแรสสิก จำนวน 6 ตำแหน่ง เป็นหินแกรนิตและควอร์ตซ์ หินตะกอนยุคไทรแอสสิก จำนวน 6 ตำแหน่ง เป็นหินทรายทั้งหมด

2. การวัดคลื่นไหวสะเทือนชนิดหักเห

ได้ทำการวัดคลื่นไหวสะเทือนชนิดหักเหเพื่อตรวจหาความหนาของชั้นดินตะกอนและขอบเขตตามแนวราบของหินแกรนิตโดยอาศัยหลักการของคลื่นไหวสะเทือนเคลื่อนที่ผ่านชั้นหินและดินที่มีคุณสมบัติทางกายภาพแตกต่างกัน เช่น ความยืดหยุ่นและความหนาแน่น โดยคลื่นไหวสะเทือนจะสามารถเคลื่อนที่ผ่านชั้นตัวกลางที่มีความยืดหยุ่นและความหนาแน่นสูงได้เร็วกว่าชั้นตัวกลางที่มีความยืดหยุ่นและความหนาแน่นต่ำ ซึ่งแสดงได้ดังตาราง 2 และการสำรวจวัดคลื่นไหวสะเทือนชนิดหักเหสามารถทำได้โดยการทำให้เกิดคลื่นไหวสะเทือนที่ผิวดินจากการทุบแผ่นเหล็กด้วยฆ้อนแล้วทำการวัดเวลาที่คลื่นไหวสะเทือนเคลื่อนที่จากจุดกำเนิดคลื่นถึงตำแหน่งของตัวรับคลื่น (geophone) การศึกษาครั้งนี้ได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

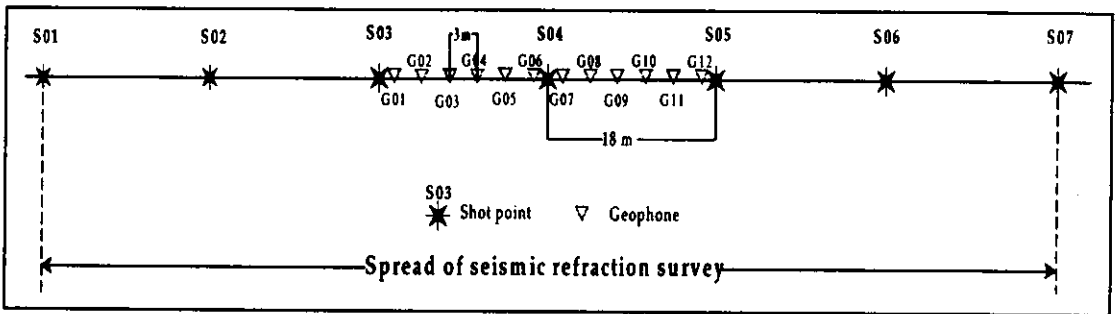
รูปที่ 8 ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างหินบริเวณพื้นที่ศึกษา



1. กำหนดแนวการวัดตามเส้นทางคมนาคม โดยเลือกกำหนดแนวการวัดให้ตัดผ่านรอยสัมผัสระหว่างหมวดหินตะกอนและหินแปรยุคคาร์บอนิเฟอรัสกับหมวดหินแกรนิตดั้งเดิมที่ธรณีวิทยา (รูปที่ 3)

2. วางแนวการวัดให้ขนานกับเส้นทางคมนาคมโดยใช้จีโอโฟนจำนวน 12 ตัว ให้มีระยะระหว่างจีโอโฟนแต่ละตัวเท่ากับ 3 เมตร และกำหนดจุดกำเนิดคลื่นที่ได้จากการทุบแผ่นเหล็กด้วยฆ้อนจำนวน 7 จุดต่อหนึ่งช่วงการวัด ประกอบด้วยจุด S01, S02, S03, S04, S05, S06 และ S07 แต่ละจุดกำเนิดคลื่นห่างกัน 18 เมตร ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 9 ทำการวัดและบันทึกสัญญาณคลื่นไหวสะเทือนที่เกิดจากจุดกำเนิดคลื่นเดินทางถึงจีโอโฟนด้วยเครื่อง Seismograph

รูปที่ 9 รูปขบวนการวางแนวการวัดคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเหสำหรับหาความหนาของชั้นตะกอนและติดตามความต่อเนื่องของชั้นตะกอนและหมวดหินต่าง ๆ



3. ทำการวัดคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเหจำนวนทั้งหมด 6 แนวการวัด ดังรูปที่ 10 ประกอบด้วยแนวการวัดที่ 1 อยู่บริเวณเหมืองแร่ทุ่งโพธิ์ ระหว่างเส้นกริด 672300E, 764800N ถึง 667600E, 765700N ประกอบด้วย 8 แนวการวัดย่อย รวมระยะทางประมาณ 5.0 กิโลเมตร โดยแนวการวัดนี้เริ่มต้นวัดจากทางด้านทิศตะวันออกต่อเนื่องไปยังด้านทิศตะวันตกตามถนน รพช. และมีระยะห่างจากขอบถนนประมาณ 1-2 เมตร

แนวการวัดที่ 2 อยู่บริเวณควนจง ตั้งแต่เส้นกริด 669420E, 769884N ถึง 671582E, 769745N รวมระยะทางประมาณ 2.0 กิโลเมตร โดยแนวการวัดนี้เริ่มต้นวัดจากด้านทิศตะวันตกไปยังทิศตะวันออกและมีระยะห่างจากเส้นทางรถไฟสายใต้ ประมาณ 15 เมตร ประกอบด้วย 3 ระยะ คือ ระยะแรกมีช่วงการวัด 2 ช่วงการวัด และมีระยะทางการวัดประมาณ 150 เมตร ระยะที่สองมีระยะทางประมาณ 1.7 กิโลเมตร ไม่สามารถทำการวัดได้เนื่องจากเป็นบริเวณที่ลุ่มน้ำขังและป่าหนาทึบ ระยะที่สามมี 2 ช่วงการวัด และมีระยะทางการวัดประมาณ 150 เมตร

แนวการวัดที่ 3 อยู่บริเวณระหว่างเขาคอหงษ์และเขาควนเลา ตั้งแต่เส้นกริด 668260E, 773714N ถึง 670180E, 774410N ประกอบด้วย 5 ช่วงการวัด รวมระยะทางประมาณ 2.3 กิโลเมตร โดยแนวการวัดนี้เริ่มวัดจากทางด้านทิศตะวันตกไปยังด้านทิศตะวันออกและมีระยะห่างจากขอบถนนประมาณ 5-10 เมตร

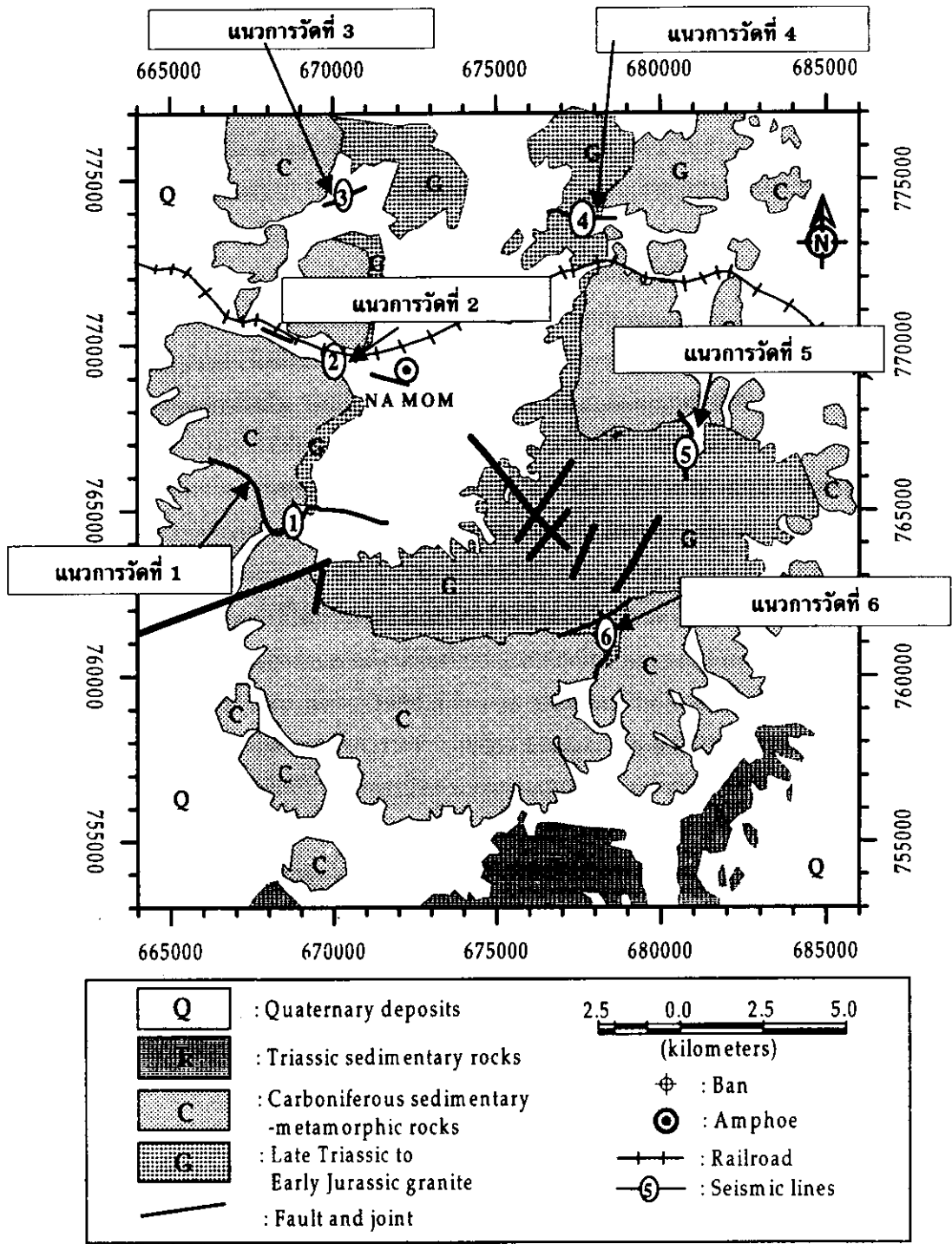
ตาราง 2 ความเร็วของคลื่นไหวสะเทือน (V_p) ในตัวกลางแบบต่าง ๆ ในหน่วยเป็น เมตร/วินาที
(ที่มา: มานพ รักษาสกุลวงศ์; 2530)

ความเร็ว (เมตร/วินาที)	ลักษณะของวัสดุ
200 – 1,400	ดิน ททราย กรวดที่ยังไม่แข็งตัว (unconsolidated clays, sand, gravels)
1,400 – 1,800	ทรายและกรวดอิ่มตัว (saturated sands and gravels), ชั้นหินผุพังอย่างสมบูรณ์ (completely weathered rocks)
1,800 – 2,400	ตะกอนที่แข็งตัวเป็นหิน (consolidated sediment) หินแปรและหินอัคนีผุพัง/รอยแตกสูง (highly weathered/fractured metamorphic and igneous rocks)
2,400 – 3,700	หินทรายและหินดินดานผุพัง และ/หรือรอยแยก (weathered and/or jointed sandstones and shales) หินดินดาน (shale), หินทราย (sandstones), หินแปรและหินอัคนีผุพัง (weathered metamorphic and igneous rocks) หินปูน (limestones)
3,700 – 4,500	หินอัคนีผุพังและ/หรือรอยแตกเล็กน้อย (slightly weathered and/or fractured igneous rocks) หินปูน (limestones) หินทรายและหินดินดานแข็ง (hard sandstone and shale)
4,500 – 6,000	หินแปรและหินอัคนีไม่ผุพัง (unweathered metamorphic and igneous rocks) หินปูน (limestones) แรโดโลไมต์ (dolomite)

แนวการวัดที่ 4 (Line 4) อยู่บริเวณระหว่างควนใบพัดและควนเลื่อม ตั้งแต่เส้นกริด 676412E, 773802N ถึง 678483E, 773746N ประกอบด้วย 17 ช่วงการวัด รวมระยะทางประมาณ 1.8 กิโลเมตร แนวการวัดนี้เริ่มวัดจากทางด้านตะวันออกไปยังด้านตะวันตกและมีระยะห่างจากขอบถนนสาย บ้านหินลับ ประมาณ 1-2 เมตร

แนวการวัดที่ 5 (Line 5) อยู่บริเวณบ้านป่ายาง แนวการวัดนี้เริ่มวัดจากด้านทิศเหนือ ไปยังด้านทิศใต้และมีระยะห่างจากขอบถนนสายบ้านป่ายาง-บ้านควนยาง ประมาณ 2-5 เมตร ตั้งแต่เส้น กริด 680895E, 767650N ถึง 680725E, 766500N ประกอบด้วย 8 ช่วงการวัด รวมระยะทาง ประมาณ 0.7 กิโลเมตร

รูปที่ 10 แนวการวัดหลักของการวัดคลื่นไหวสะเทือนชนิดหักเห



แนวการวัดที่ 6 (Line 6) อยู่บริเวณบ้านหัวหลัง โดยทำการวัดทั้งหมด 2 แนวการวัดย่อย คือแนวการวัดย่อยที่ 601 ตั้งแต่เส้นกริด 677877E, 762057N ถึง 678498E, 762475N แนวการวัดนี้เริ่มวัดจากทางด้านทิศตะวันตกไปยังด้านทิศตะวันออกและมีระยะห่างจากขอบถนนสายบ้านหัวหลัง-ควนยาง ระยะประมาณ 2-5 เมตร ประกอบด้วย 5 ช่วงการวัด รวมระยะทางประมาณ 0.7 กิโลเมตร และแนวการวัดย่อยที่ 602 ตั้งแต่เส้นกริด 678137E, 761894N ถึง 678471E, 760661N โดยเริ่มทำการวัดจากทางด้านทิศเหนือไปยังด้านทิศใต้และมีระยะห่างจากถนนสายบ้านหัวหลัง-คูนายสังข์ ประมาณ 2-5 เมตร ประกอบด้วย 12 ช่วงการวัด รวมระยะทางประมาณ 1.5 กิโลเมตร

4. ทำการวัดระดับความสูงของจุดกำเนิดคลื่นและตำแหน่งจีโอโพน โดยใช้กล้องวัดระดับ เพื่อเป็นข้อมูลในการปรับแก้ความเร็วตามความสูงของจุดกำเนิดคลื่นและตำแหน่งจีโอโพน และสร้างภาคตัดขวางตามแนวการวัดต่างๆ เนื่องจากบริเวณที่ทำการวัดคลื่นไหวสะเทือนใหญ่มากและทำให้แต่ละแนวการวัดอยู่ห่างกัน ดังนั้นการกำหนดจุดอ้างอิงของแต่ละแนวการวัดจึงมีตำแหน่งเป็นต่อไป นี้ แนวการวัดที่หนึ่ง ที่ตำแหน่ง 672346E, 764870N แนวการวัดที่สอง ที่ตำแหน่ง 669438E, 769884N แนวการวัดที่สาม ที่ตำแหน่ง 668276E, 773725N แนวการวัดที่สี่ ที่ตำแหน่ง 676420E, 773838N แนวการวัดที่ห้า ที่ตำแหน่ง 680895E, 767650N แนวการวัดที่หก ที่ตำแหน่ง 677885E, 762070N

5. การศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดวิธีการวัดคลื่นไหวสะเทือนชนิดหักเหเป็น 2 แบบ คือ

5.1 การวัดคลื่นไหวสะเทือนชนิดหักเหแบบต่อเนื่อง โดยการวางช่วงการวัดให้ต่อเนื่องกัน ตลอดแนวการวัด ตัวอย่างเช่น แนวการวัดย่อยที่ 108 ประกอบด้วย 5 ช่วงการวัด คือ ช่วงการวัดที่ 10801-10805 ได้ทำการวัดจากช่วงการวัดที่ 10801, 10802, 10803, 10804, 10805 ตามลำดับ ซึ่งช่วงการวัดทั้งหมดวางติดต่อกันอย่างต่อเนื่อง ทำการวัดเฉพาะแนวการวัดที่ 1

5.2 การวัดคลื่นไหวสะเทือนชนิดหักเหแบบไม่ต่อเนื่อง มี 2 ขั้นตอน คือ

ตอนที่ 1 ทำการวัดโดยการวางช่วงการวัดไม่ต่อเนื่องกัน กล่าวคือ ทำการวัดช่วงการวัดที่หนึ่ง แล้วเว้นระยะการวัดไป 2-5 ช่วงการวัด แล้วทำการวัดอีกช่วงการวัดเป็นช่วงการวัดที่สอง และเว้นระยะการวัดไปอีก 2-5 ช่วงการวัด แล้วทำการวัดเป็นช่วงการวัดที่สาม และทำต่อไปเรื่อยๆ จนได้ระยะการวัดตามที่กำหนดไว้ในข้อ 2.1 ตัวอย่างเช่น แนวการวัดย่อยที่ 601 ประกอบด้วย 5 ช่วงการวัด คือ ช่วงการวัดที่ 60101-60105 โดยเริ่มทำการวัดจากช่วงการวัดที่ 60101 และเว้นระยะการวัดไว้ 5 ช่วงการวัด แล้วทำการวัดช่วงการวัดที่ 60102 และเว้นระยะการวัดไว้อีก 5 ช่วง แล้วทำการวัดช่วงการวัดที่ 60103 และเว้นระยะการวัดไว้อีก 5 ช่วง แล้วทำการวัดช่วงการวัดที่ 60104 และเว้นระยะการวัดไว้อีก 5 ช่วง แล้วทำการวัดช่วงการวัดที่ 60105

ตอนที่ 2 เลือกทำการวัดช่วงการวัดที่วางไว้ในตอนที่ 1 ซ้ำอีกครั้ง เพื่อตรวจหารอยต่อของหมวดหินต่างๆ โดยเลือกจากผลการวิเคราะห์ความเร็วของชั้นตัวกลางที่มีความแตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น แนวการวัดย่อยที่ 602 ประกอบด้วย 12 ช่วงการวัด คือ ช่วงการวัดที่ 60201-60212 ตอนแรกได้ทำการวัดช่วงการวัดที่ 60201, 60202, 60203, 60204, 60205 และ 60211 ตอนหลังได้ทำการวัดซ้ำอีกครั้งระหว่างช่วงการวัดที่ 60205 และ 60211 ได้เป็นช่วงการวัดที่ 60206-60210

ได้ทำการวัดคลื่นไหวสะเทือนชนิดหักเหแบบไม่ต่อเนื่อง ตั้งแต่แนวการวัดที่ 2-6

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลในห้องปฏิบัติการ

1. การรวบรวมและประมวลผลข้อมูลสนามโน้มถ่วงผิดปกติ

การศึกษาสนามโน้มถ่วงมีพื้นฐานมาจากกฎของนิวตันคือ กฎความโน้มถ่วง และกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สอง และความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงมีความสัมพันธ์เป็นดังสมการ (กิตติชัย วัฒนานิก, 2525)

$$g = \frac{GM}{R^2} \quad (1)$$

เมื่อ g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

G คือ ค่าคงตัวโน้มถ่วงของโลก เท่ากับ $6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2 \text{ kg}^{-2}$

M คือ มวลของโลก

R คือ รัศมีของโลก

สนามโน้มถ่วง (gravitation field) ณ จุดใด ๆ บนผิวโลก กำหนดให้มีค่าเท่ากับแรงดึงดูดที่โลกกระทำต่อมวลขนาดเล็กที่วางอยู่บนผิวโลก ซึ่งก็คือความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงนั่นเอง

ศักย์โน้มถ่วง (gravit potential) คือ งานที่ต้องการในการเคลื่อนมวลหนึ่งหน่วยจากอ้างอิงใด ๆ มายังจุดบนผิวโลกภายใต้การโน้มถ่วงของโลก ซึ่งกำหนดได้ดังสมการ

$$U = \frac{GM}{R} \quad (2)$$

เมื่อ U คือ ศักย์โน้มถ่วง ณ จุดใด ๆ บนผิวโลก

สนามโน้มถ่วงสามารถกำหนดได้จากศักย์โน้มถ่วง โดยอนุพันธ์อันดับแรกของศักย์โน้มถ่วงในทิศทางใดจะเป็นส่วนประกอบของสนามโน้มถ่วงในทิศทางนั้น และผิวที่มีศักย์โน้มถ่วงคงที่จะเรียกว่า ผิวสมศักย์ (equipotential surface) ผิวของระดับน้ำทะเลหรือยอยด์ (geoid) จึงเป็นผิวสมศักย์ซึ่งอยู่ในแนวระนาบและตั้งฉากกับทิศทางของความถ่วงในทุกหนทุกแห่ง (วรวิทย์ โลหะวิจารณ์, 2542)

วัตถุดันเหตุคือหน่วยหินที่มีความหนาแน่นต่างจากหินท้องที่ ซึ่งทำให้เกิดการรบกวนในสนามโน้มถ่วง และค่าสนามโน้มถ่วงที่เกิดจากบริเวณที่มีมวลผิดปกติใต้ผิวดิน เรียกว่า ค่าสนามโน้มถ่วงผิดปกติ ดังนั้นการแปลความค่าสนามโน้มถ่วงผิดปกติจึงเป็นการประเมินความลึกและรูปร่างของวัตถุดันเหตุ โดยความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงที่ผิวโลกมีค่าประมาณ 9.80 m/s^2 แต่การเปลี่ยนแปลงค่าสนามโน้มถ่วงผิดปกติเนื่องจากมวลผิดปกติใต้ผิวดินจะอยู่ในระดับ $100 \text{ } \mu\text{m/s}^2$ และหน่วย $\mu\text{m/s}^2$ เรียกว่า หน่วยความถ่วง หรือ gu (gravity unit)

การสำรวจด้านสนามโน้มถ่วงจะเป็นการวัดค่าสนามโน้มถ่วงสัมพัทธ์ หรือความแตกต่างของสนามโน้มถ่วงระหว่างตำแหน่งต่าง ๆ และก่อนทำการแปลความข้อมูลสนามโน้มถ่วงจำเป็นต้องมีการปรับแก้การแปรผันของค่าสนามโน้มถ่วงของโลกซึ่งไม่ได้เกิดจากมวลผิดปกติใต้ผิวดิน เรียกว่า การปรับลดค่าความถ่วง (gravity reduction) และผลต่างของค่าสนามโน้มถ่วงที่ได้รับการปรับลดทุกด้านแล้ว ณ สถานีวัดใด ๆ กับสนามโน้มถ่วงบูแกร์ ณ สถานีฐาน (g_{base}) จะเรียกว่า ค่าสนามโน้มถ่วงผิดปกติบูแกร์ (Bouguer gravity anomaly) ซึ่งกำหนดไว้ดังสมการ (Reynolds, 1997)

$$\Delta g_B = g_{obs} + \Sigma(corr) - g_{base} \quad (3)$$

โดย $\Sigma(corr) = \delta g_L + (\delta g_F - \delta g_B) + \delta g_{TC} \pm \delta g_{EC} \pm \delta g_{IC} - \delta g_D$

เมื่อ Δg_B คือ ค่าสนามโน้มถ่วงผิดปกติบูแกร์

g_{obs} คือ ค่าสนามโน้มถ่วงที่ได้จากการวัด

$\Sigma(corr)$ คือ ค่าสนามโน้มถ่วงที่ได้รับการปรับลดค่าต่าง ๆ แล้ว

สำหรับการปรับลดค่าสนามโน้มถ่วงแต่ละประเภทสามารถศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมได้จากเอกสารอ้างอิง หรือหนังสือธรณีฟิสิกส์ทั่วไป

การศึกษาสนามโน้มถ่วงของแหล่งแร่ดีบุก บริเวณเหมืองแร่ทุ่งโพธิ์-ทุ่งขมิ้น อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลาในครั้งนี้ เป็นการรวบรวมข้อมูลค่าสนามโน้มถ่วงผิดปกติบูแกร์เดิมที่มีอยู่แล้วเพื่อนำมาประมวลผลข้อมูลและใช้สร้างแผนที่คอนทัวร์และใช้ประโยชน์ในการแปลความสำหรับกำหนดลักษณะโครงสร้างธรณีวิทยาบริเวณพื้นที่ทำการศึกษา โดยได้ข้อมูลมาจากการศึกษาโครงสร้างธรณีวิทยาเชิงภูมิภาค ในจังหวัดสตูลและจังหวัดสงขลา (สุรศักดิ์ แก้วอ่อน; 2539) ครอบคลุมพื้นที่ทุกอำเภอของจังหวัดสตูล (ไม่รวมหมู่เกาะนอกชายฝั่ง) และพื้นที่ทางด้านตะวันตกของจังหวัดสงขลา ประกอบด้วย อำเภอหาดใหญ่ อำเภอสะเตา อำเภอรัตภูมิ อำเภอกวนเนียง กิ่งอำเภอบางลำและกิ่งอำเภอคอกหยอไซ ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 5,600 ตารางกิโลเมตร ที่มีระยะห่างของสถานีวัดเท่ากับ 2 กิโลเมตร โดยข้อมูลค่าสนามโน้มถ่วงผิดปกติบูแกร์ที่รวบรวมได้มีการปรับลดค่าต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว สำหรับการรวบรวมและการประมวลผลข้อมูลค่าสนามโน้มถ่วงผิดปกติบูแกร์ มีขั้นตอนดังนี้

1. นำข้อมูลที่ได้ซึ่งรวบรวมไว้ในแผ่นบันทึกข้อมูลแม่เหล็ก มาจัดทำแผนที่คอนทัวร์ของสนามโน้มถ่วงผิดปกติ โดยใช้โปรแกรม Winsurf version 5.0 ด้วยวิธีการจัดข้อมูลแบบ Inverse Distance Power Two, Search Type: Quadrant, Search radius: 10,000 m., Data per Sectors: 6, Minimum Total Data: 5, Max Empty Sectors: 4, Spacing: 1,000 m. ตั้งแต่เส้นกริด 664000E-686000E และ 753000N-777000N

2. เปรียบเทียบแผนที่เส้นชั้นความถ่วงที่ได้จากข้อ 1. ด้วยการซ้อนทับกับแผนที่ธรณีวิทยาบริเวณพื้นที่ศึกษาวิจัย เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงผิดปกติกับชนิดของหมวดหินต่าง ๆ

2. การกำหนดตำแหน่งและความลึกของวัตถุต้นเหตุจากแผนที่คอนทัวร์สนามโน้มถ่วง ผิดปกติโดยแบบจำลองอย่างง่าย

การกำหนดตำแหน่งและความลึกของวัตถุต้นเหตุจากแผนที่คอนทัวร์สนามโน้มถ่วงผิดปกติโดยแบบจำลองอย่างง่ายเป็นการประเมินหาตำแหน่งและความลึกของวัตถุต้นเหตุที่ทำให้เกิดค่าสนามโน้มถ่วงผิดปกติได้โดยตรงจากแผนที่คอนทัวร์สนามโน้มถ่วงผิดปกติ โดยไม่จำเป็นต้องทราบความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างวัตถุต้นเหตุกับหินท้องที่ ในการประเมินตำแหน่งและความลึกดังกล่าวได้ใช้ประโยชน์จากสมการเอกพันธ์ของออยเลอร์และดัชนีโครงสร้าง โดยการกำหนดรูปทรงของวัตถุเป็นแบบจุดมวล สำหรับวัตถุต้นเหตุแบบ 3 มิติ และวัตถุทรงกระบอกแนวตั้ง (vertical pipe) วัตถุรูปทรงแผ่นบาง (ribbon) และวัตถุรูปทรงแผ่นหนา (dyke) เป็นวัตถุต้นเหตุแบบ 2 มิติ

สมการเอกพันธ์ของออยเลอร์ (Euler's homogeneity equation)

สมการเอกพันธ์ของออยเลอร์ เป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กหรือความถ่วงกับองค์ประกอบเกรเดียนต์ (gradient components) ของสนามแม่เหล็กหรือความถ่วงตามค่าอันดับของความเป็นเอกพันธ์ N (degree of homogeneity, N) หรือดัชนีโครงสร้างของวัตถุต้นกำเนิด

พิจารณาฟังก์ชัน $f(x, y, z)$ ซึ่งเป็นฟังก์ชันคาร์ทีเซียนโคออร์ดิเนตสามตัวแปร (three cartesian coordinates) คือ x , y และ z เมื่อ $z = 0$ เป็นระนาบของการสังเกต (plane of observation) และจะมีค่าเป็นบวก เมื่อแกน x ชี้ไปทางทิศเหนือ แกน y ชี้ไปทางทิศตะวันออก และ z มีทิศทางตามแนวตั้ง

โดย $f(x, y, z)$ เป็นฟังก์ชันเอกพันธ์อันดับที่ n ถ้า

$$f(tx, ty, tz) = t^n f(x, y, z) \quad (4)$$

สมการที่ (3) สามารถเขียนในรูปของสมการพาร์เชียลดิฟเฟอเรนเชียล (Partial differential equation) ได้ดังสมการ

$$x \frac{\partial f}{\partial x} + y \frac{\partial f}{\partial y} + z \frac{\partial f}{\partial z} = nf \quad (5)$$

สมการที่ (4) เรียกว่า **สมการเอกพันธ์ของออยเลอร์**

โดย $f(x, y, z)$ เป็นฟังก์ชันทั่วไป (General function) ที่มีรูปแบบดังสมการ

$$f(x, y, z) = \frac{G}{r^N} \quad (6)$$

เมื่อ $r = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}$ และ $N = 1, 2, 3, \dots$ โดยที่ $n = -N$

สำหรับค่าความผิดปกติของความถ่วงซึ่งมีสาเหตุมาจากวัตถุต้นกำเนิดอย่างง่ายต่าง ๆ ที่ตำแหน่ง x_0, y_0, z_0 ซึ่งสัมพันธ์กับระนาบของการวัด (plane of measurement) เป็นดังสมการ

$$f[(x - x_0), (y - y_0), z_0] = \Delta g(x, y) = \frac{K}{r^N} \quad (7)$$

เมื่อ K = ค่าคงตัวซึ่งรวมทั้งค่าคงตัวโน้มถ่วง

r = ระยะทางจากวัตถุต้นกำเนิดอย่างง่ายถึงจุดวัด

ดังนั้น สมการเอกพันธ์ของออยเลอร์สำหรับค่าความผิดปกติของความถ่วงซึ่งมีสาเหตุมาจากวัตถุต้นกำเนิดอย่างง่าย จึงเป็นดังสมการ

$$(x - x_0) \frac{\partial \Delta g}{\partial x} + (y - y_0) \frac{\partial \Delta g}{\partial y} + z_0 \frac{\partial \Delta g}{\partial z} = -N \Delta g(x, y) \quad (8)$$

ดัชนีโครงสร้าง

จากสมการ (8) สมการเอกพันธ์ของออยเลอร์สามารถหาค่าตำแหน่งและความลึกเนื่องจากค่าความผิดปกติของความถ่วงที่มีสาเหตุมาจากวัตถุต้นกำเนิดอย่างง่ายได้ (Thompson, 1982) โดยค่าอันดับของความเป็นเอกพันธ์ N คือ ดัชนีโครงสร้าง ซึ่งหมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของสนามศักย์ (potential field) ตามระยะทางและรูปร่างของแหล่งกำเนิด (source geometry) และดัชนีโครงสร้างของแบบจำลองอย่างง่ายแสดงได้ดังตาราง 3

ตาราง 3 ดัชนีโครงสร้างของแบบจำลองอย่างง่าย(ดัดแปลงจาก Geosoft Inc.;1992)

ดัชนีโครงสร้าง (SI)	แบบจำลองอย่างง่าย (gravity model)
0.0	วัตถุแบบแผ่นมวลหนา/ชั้นบันได (sill/dyke/step)
0.5	วัตถุแบบแผ่นมวลบาง (ribbon)
1.0	วัตถุทรงกระบอก (pipe)
2.0	วัตถุทรงกลม (Sphere)

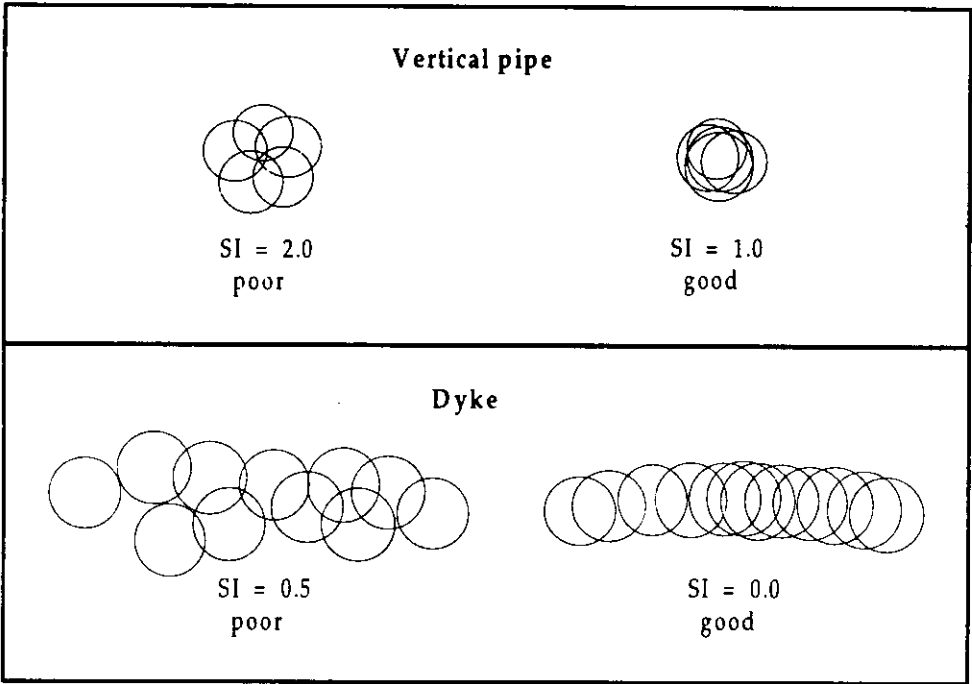
GRIDEPTH เป็นระเบียบวิธีประเมินหาตำแหน่ง (location) และ ความลึก (depth) สำหรับข้อมูลทางแม่เหล็กและทางความถ่วงแบบกริด (gridded magnetic and gravity data) ซึ่งมีพื้นฐานของการแก้สมการเอกพันธ์ของออยเลอร์สำหรับหาแต่ละตำแหน่งกริดพร้อมกันโดยระเบียบวิธีเลสต์สแควร์ (Least squares method)

ลักษณะของวัตถุต้นเหตุและดัชนีโครงสร้างเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการแปลข้อมูลสนามโน้มถ่วงด้วย GRIDEPTH ดังนั้นก่อนทำแปลความข้อมูลจึงจำเป็นต้องพิจารณาลักษณะของวัตถุต้นเหตุที่น่าสนใจ เช่น การแปลความเชิงภูมิภาค ลักษณะของวัตถุต้นเหตุที่น่าสนใจก็คือ รอยสัมผัสและรอยเลื่อน ซึ่งมีดัชนีโครงสร้าง เท่ากับ 0.5 แต่ก็สามารถใช้ดัชนีโครงสร้างอื่นๆ ได้ เพื่อช่วยในการแปลความได้ถูกต้อง แต่การเลือกใช้ดัชนีโครงสร้างที่เหมาะสมจะทำให้ตำแหน่งของแบบจำลองอย่างง่ายมีการซ้อนกันอย่างน้อยหนึ่งหรือมีการเรียงตัวกันอย่างต่อเนื่อง ทำให้ระดับความลึกมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำซึ่งเป็นระดับความลึกที่เหมาะสมของแหล่งกำเนิด (Reid et al, 1990) ดังรูปที่ 11

การประเมินตำแหน่งและความลึกของวัตถุต้นเหตุจากแบบจำลองอย่างง่ายด้วยข้อมูลสนามโน้มถ่วงผิดปกติมีดังนี้

- 1.นำข้อมูลความถ่วงที่รวบรวมได้มาทำการประเมินหาความลึกและตำแหน่งโดยใช้โปรแกรม GRIDEPTH 3-D Euler Deconvolution of Magnetic and Gravity Data version 1.0
- 2.นำข้อมูลที่ได้จากข้อที่ 3.1 มาจัดทำแผนที่ตำแหน่งและความลึกของแต่ละแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม Graf4win
- 3.เปรียบเทียบแผนที่ความลึกและตำแหน่งกับแผนที่ธรณีวิทยา

รูปที่ 11 การแปลความข้อมูลความถ่วงด้วย GRIDEPTH ของวัตถุแบบทรงกระบอกแนวตั้ง และวัตถุแบบแผ่นหนา (ที่มา Geosoft Inc.; 1992)



3. การวัดความหนาแน่นของหินตัวอย่าง

การวัดความหนาแน่นของหินตัวอย่างสำหรับกำหนดค่าความหนาแน่นของหินชนิดต่างๆ และใช้เป็นพารามิเตอร์ควบคุมในการสร้างแบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษา

ความหนาแน่นของหินตัวอย่าง (ρ_d) หาได้จากอัตราส่วนของมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของหินตัวอย่าง ดังสมการ

$$\rho_d = \frac{M}{V} \quad (9)$$

เมื่อ ρ_d คือ ความหนาแน่นของหินตัวอย่าง (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

M คือ มวลของหินตัวอย่าง (กิโลกรัม)

V คือ ปริมาตรของหินตัวอย่าง (ลูกบาศก์เมตร)

การหาปริมาตรของหินตัวอย่างจะใช้ความสัมพันธ์ตามหลักของอาร์คิมิดีส (Archimedes) จากการชั่งหินตัวอย่างในอากาศและในน้ำ โดยความแตกต่างของน้ำหนักจะสัมพันธ์กับปริมาตร ดังนั้นการวัดความหนาแน่นของหินตัวอย่างจึงมีขั้นตอนดังนี้

1. ทำความสะอาดหินตัวอย่างที่มีขนาดไม่เกิน 3,000 กรัม ให้เศษหินและฝุ่นหลุดออกไป
2. ทำการชั่งมวลหินตัวอย่างในอากาศ โดยการนำเครื่องชั่งน้ำหนักวางบนโต๊ะที่แข็งแรงและเรียบ ปรับให้ได้ระดับ ชั่งหินตัวอย่างที่ได้จากข้อ 1. บันทึกค่าเป็น W_1
3. นำหินตัวอย่างที่ผ่านขั้นตอนข้อ 2. มาแช่ให้จมน้ำในภาชนะตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 คืน เพื่อให้อิ่มตัวด้วยน้ำ
4. ทำการชั่งหินตัวอย่างในน้ำ โดยอาศัยที่แขวนพิเศษและตะแกรงซึ่งดัดแปลงสำหรับชั่งหินตัวอย่างจมน้ำได้ น้ำ ชั่งหินตัวอย่างที่ผ่านขั้นตอนข้อที่ 2. บันทึกค่าเป็น W_2
5. คำนวณหาค่าความหนาแน่นของหินตัวอย่าง โดยนำผลที่ได้จากข้อ 2. และข้อ 4. มาคำนวณจากสมการ

$$\rho_d = \left(\frac{W_1}{W_1 - W_2} \right) \times \rho_w \quad (10)$$

เมื่อ ρ_d คือ ความหนาแน่นของหินตัวอย่าง (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

ρ_w คือ ความหนาแน่นของน้ำ (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

W_1 คือ น้ำหนักของหินตัวอย่างที่ชั่งในอากาศ (กิโลกรัม)

W_2 คือ น้ำหนักของหินตัวอย่างที่ชั่งในน้ำ (กิโลกรัม)

4. การกำหนดโครงสร้างทางธรณีวิทยาด้วยข้อมูลสนามโน้มถ่วงผิดปกติ

ค่าสนามโน้มถ่วงผิดปกติเกิดจากบริเวณที่มีมวลผิดปกติใต้ผิวดิน ดังนั้นการกำหนดโครงสร้างทางธรณีวิทยาด้วยข้อมูลสนามโน้มถ่วงผิดปกติ จึงเป็นการจำลองลักษณะของมวลผิดปกติใต้ผิวดิน โดยใช้แบบจำลองที่สามารถคำนวณหาค่าผิดปกติได้ การเปรียบเทียบค่าผิดปกติที่ได้จากการวัดกับค่าผิดปกติที่คำนวณได้จากวัตถุรูปทรงเรขาคณิต โดยการเปลี่ยนขนาด ตำแหน่ง รูปทรง จนกระทั่งค่าผิดปกติทั้งสองซ้อนทับกันพอดี เป็นวิธีการแปลความโดยอ้อม (วรวิทย์ โลหะวิจารณ์, 2542)

เนื่องจากอนุพันธ์อันดับแรกของศักย์โน้มถ่วงในทิศทางใดจะเป็นส่วนประกอบของสนามโน้มถ่วงในทิศทางนั้น ดังนั้นอนุพันธ์ของศักย์โน้มถ่วงในแนวแกน z คือองค์ประกอบของสนามโน้มถ่วงในแนวแกน z ซึ่งกำหนดได้ดังสมการ

$$g_z(r_o) = \frac{\partial U}{\partial r} = G\rho \int_V \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{R} \right) \bar{z} dV \quad (11)$$

เมื่อ $\bar{z}$ คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยในแนวแกน z

โดยการใช้ทฤษฎีไดเวอร์เจน (divergence theorem) กับสมการ (11) สำหรับลดทอนการอินทิกรัลเชิงปริมาตร (volume integral) ให้เป็นการอินทิกรัลเชิงผิว (surface integral) กำหนดได้โดย

$$g_z(r_o) = -G\rho \int_S \bar{z} \cdot \bar{n} \frac{1}{R} dS \quad (12)$$

เมื่อ S คือ พื้นผิวของวัตถุ

$\bar{n}$ คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยที่มีทิศพุ่งออกจากผิววัตถุและตั้งฉากกับพื้นผิวย่อย dS (surface element)

ถ้ากำหนดให้มวลผิดปกติใต้ผิวดินแทนได้ด้วยปริซึม (prism) ซึ่งมีหน้าตัดที่ปลายของปริซึมเป็นรูปหลายเหลี่ยม (polygon) และด้านข้างปริซึมมีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมพื้นผ้า มีลักษณะดังรูป 12 ค่าสนามโน้มถ่วงผิดปกติสามารถกำหนดได้โดย (Enmark, 1981)

$$\Delta g_z(r_o) = G\rho \sum_i \bar{z} \cdot \bar{n} \int_{S_i} \frac{1}{|r - r_o|} dS \quad (13)$$

เมื่อ S_i คือ หน้าตัดของปริซึมที่ i

$$\text{และ } \bar{z} \cdot \bar{n} = \frac{\Delta x_i}{\Delta r_i} = \frac{\Delta x_i}{(\Delta x_i^2 + \Delta z_i^2)^{1/2}}$$

โดย $\Delta x_i = x_{i+1} - x_i$ $\Delta z_i = z_{i+1} - z_i$ และ r = เวกเตอร์จากจุดกำเนิด (origin) ถึงพื้นผิวย่อย dS

4. การวิเคราะห์ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนชนิดหักเห

พื้นฐานของการวิเคราะห์ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนชนิดหักเหคือการประยุกต์ใช้กฎการหักเหของสเนลล์ (Snell's law) ซึ่งกำหนดได้ดังสมการ

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin i_1}{\sin i_2} \quad \text{และ} \quad \frac{V_1}{V_2} = \sin i_c \quad (14)$$

เมื่อ i_c คือ มุมวิกฤติ ซึ่งมุมที่รังสีคลื่นตกกระทบผิวรอยต่อระหว่างตัวกลางแล้วเกิดการหักเหเป็นมุมเท่ากับ 90° และรังสีหักเหจะเดินทางขนานไปกับผิวรอยต่อระหว่างตัวกลาง ในกรณีที่ตัวกลางที่ 2 มีความเร็วมากกว่าตัวกลางที่หนึ่ง V_1 และ V_2 คือ ความเร็วของคลื่นในตัวกลางที่ 1 และตัวกลางที่ 2 i_1 และ i_2 คือ มุมตกกระทบและมุมหักเหของรังสีคลื่น

ในกรณีของตัวกลางเป็นชั้นดินสองชั้นที่มีผิวรอยต่อเรียบและขนานกัน ดังรูปที่ 13 (ข) กำหนดให้จุดกำเนิดคลื่นคือ S และ ตำแหน่งจีโอโฟนบนผิวดินคือ G คลื่นที่เดินทางมาถึง G ที่อยู่ใกล้กับจุดกำเนิดคลื่นเป็นครั้งแรกคือ คลื่นตรงตามแนว SG หลังจากนั้นคลื่นหักเหจะเดินทางมาถึง โดยเวลาที่คลื่นตรงเดินทางมาถึงจีโอโฟนคือ $t = X/V_1$ เมื่อ X คือ ระยะทางตามแนว SG แต่ถ้า SG มีระยะทางมากพอ คลื่นที่เดินทางมาถึงจีโอโฟนครั้งแรกคือคลื่นหักเห เพราะความเร็วของคลื่นในชั้นดินชั้นที่สองมากกว่าดินชั้นที่หนึ่ง และเวลาที่คลื่นใช้ในการหักเห t กำหนดได้โดย

$$t = \frac{X}{V_2} + \frac{2Z_1\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_1V_2} \quad (15)$$

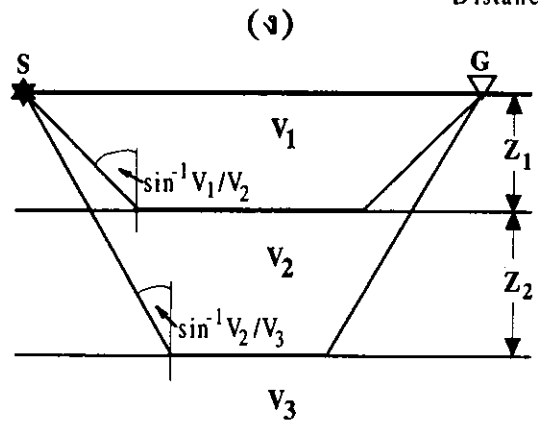
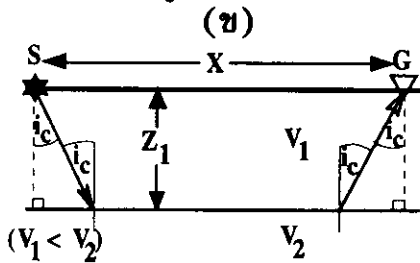
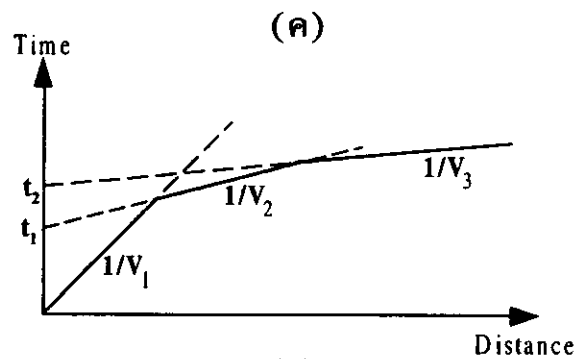
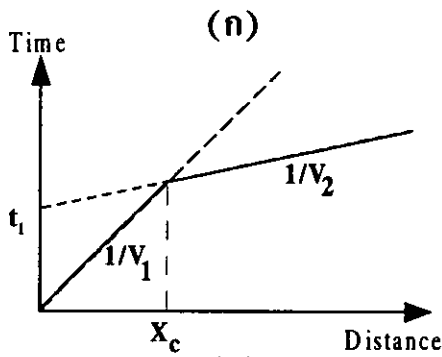
จากสมการ (14) แทนค่า $t = X/V_1$ จะได้

$$X_c = 2Z_1\sqrt{\frac{V_2 + V_1}{V_2 - V_1}} \quad (16)$$

เมื่อ X_c คือ ระยะวิกฤติ (critical distance) ซึ่งเป็นระยะที่คลื่นตรงและคลื่นหักเหเดินทางถึงจีโอโฟนพร้อมกันกับคลื่นตรง แต่ถ้า $X < X_c$ คลื่นหักเหจะเดินทางถึงจีโอโฟนหลังคลื่นตรง และ $X > X_c$ คลื่นหักเหจะเดินทางมาถึงจีโอโฟนก่อนคลื่นตรง

เมื่อเขียนกราฟระหว่างเวลาที่คลื่นแรกเดินทางจากจุดกำเนิดคลื่นถึงจีโอโฟน (t) กับระยะทางจากจุดกำเนิดคลื่นถึงจีโอโฟน (X) เรียกว่า กราฟของเวลา-ระยะทาง (time-distance graph) จะได้ดังรูปที่ 13 (ก) ที่ตำแหน่งห่างจากจุดกำเนิดคลื่นน้อยกว่าระยะวิกฤติ ($X < X_c$) เส้นกราฟมีความชันเป็น $1/V_1$ ส่วนที่ตำแหน่งห่างออกกระยะวิกฤติ ($X > X_c$) ความชันของกราฟจะเป็น $1/V_2$

รูปที่ 13 กราฟเวลา-ระยะทางและลักษณะของชั้นดินสองชั้นที่มีผิวย่อต่อเรียบและขนานกัน



โดยอาศัยกราฟของเวลา-ระยะทาง จะทำให้ทราบ V_1 , V_2 และ X_c ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาความหนาของดินชั้นที่หนึ่ง (Z_1) โดยใช้สมการ (16)

ในกรณีชั้นดินสามชั้นซึ่งมีความเร็ว V_1 , V_2 , และ V_3 ($V_1 < V_2 < V_3$) ดังรูปที่ 13 (ง) การพิจารณาก็คล้ายคลึงกับกรณีสองชั้น ความหนาของดินชั้นที่หนึ่งคำนวณได้จากสมการ (15) และความหนาของดินชั้นที่สองสามารถกำหนดได้ดังสมการ (วรวิทย์ โลหะวิจารณ์, 2542)

$$Z_2 = \frac{V_2 \left\{ t_2 - t_1 \left(\frac{\cos i_3}{\cos i_1} \right) \right\}}{2 \cos i_2} \quad (17)$$

เมื่อ $i_1 = \sin^{-1}(V_1/V_2)$, $i_2 = \sin^{-1}(V_2/V_3)$ และ $i_3 = \sin^{-1}(V_1/V_3)$

ความสัมพันธ์ต่างๆ ที่กล่าวมายังสามารถกับกรณีที่ชั้นดินมีจำนวนหลายๆ ชั้นได้เช่นเดียวกัน โดยตัวกลางชั้นล่างจะต้องมีความเร็วกว่าตัวกลางชั้นบน

รูปที่ 14 แสดงกรณีที่รอยต่อระหว่างชั้นดินสองชั้นทำมุมเทเท่ากับ α การหาความหนาของชั้นตัวกลางที่หนึ่งพิจารณาจากเวลาที่คลื่นเดินทางจากจุดกำเนิดคลื่น S มาถึงจีโอโฟน G ตามแนว ABCD กำหนดได้ดังสมการ (Reynolds, 1997)

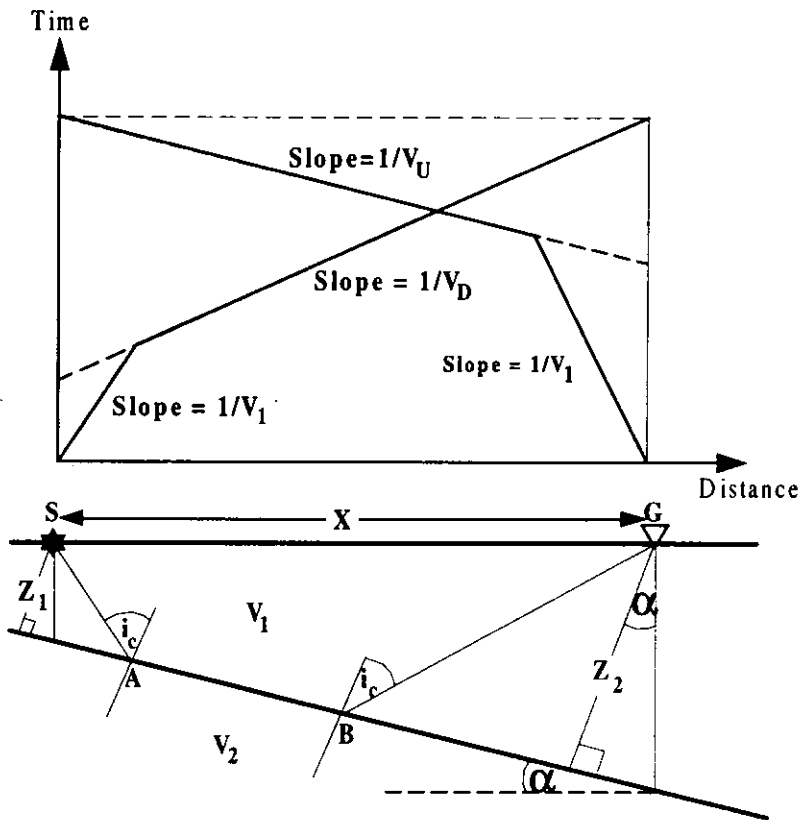
$$t_D = \frac{x[\sin(i_C + \alpha)]}{V_1} + \frac{2Z_1(\cos i_C)}{V_1} \quad (18)$$

และเวลาที่คลื่นเดินทางจากจุดกำเนิดคลื่น S มาถึงจีโอโฟน G ตามแนว DCBA กำหนดได้ดังสมการ

$$t_U = \frac{x[\sin(i_C - \alpha)]}{V_1} + \frac{2Z_2(\cos i_C)}{V_1} \quad (19)$$

เมื่อ $\alpha = 0.5(\sin^{-1}V_1/V_D - \sin^{-1}V_1/V_U)$ และ $i_C = 0.5(\sin^{-1}V_1/V_D + \sin^{-1}V_1/V_U)$

รูปที่ 14 กราฟเวลา-ระยะทางและลักษณะผิวยรอยต่อเอียง



ขนาดมุมเท (α) ของชั้นดิน คำนวณจาก $\alpha = 0.5(\sin^{-1}V_1/V_D - \sin^{-1}V_1/V_U)$ และการคำนวณหาค่า Z_1 และ Z_2 จะใช้สมการ (18) และ (19)

ไม่ว่ามีชั้นดินสองชั้น หรือชั้นดินหลายชั้น และผิวรอยต่ออยู่ในแนวนานกันหรือไม่ก็ตาม การวิเคราะห์ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนชนิดหักเหจะประกอบขั้นตอนดังนี้

1. หาเวลาที่คลื่นแรกเดินทางจากจุดกำเนิดคลื่นมาถึงจีโอโฟน
2. เขียนกราฟเวลา-ระยะทาง
3. คำนวณหาพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับชั้นดิน

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเหที่มีเป้าหมายสำหรับการตรวจหาขอบเขตตามแนวราบของหินแกรนิตและความหนาของตะกอนที่ปกคลุมชั้นหินแกรนิตในการศึกษาครั้งนี้ตามกรรมวิธีข้างต้นได้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Siesmic Inerpretation Program version 4.1 (SIP, รายเอียดศึกษาได้จาก Rimrock geophysics inc., 1995) ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมข้อมูลเวลาที่คลื่นไหวสะเทือนเดินทางจากจุดกำเนิดคลื่นมาถึงจีโอโฟนที่ได้จากการทาบแผ่นเหล็กด้วยฟอนที่ได้รับการบันทึกไว้ด้วยเครื่อง SmartSiesTMS-24 Seismograph
2. ทำการเลือกเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่มาถึงจีโอโฟนครั้งแรก
3. ประมวลผลจำนวนชั้นดิน ความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนในดินแต่ละชั้น และความหนาของดินแต่ละชั้น

4. นำพารามิเตอร์ของของดินที่ประมวลผลได้จากข้อ 2 มาสร้างแบบจำลองโครงสร้างของชั้นหินและดิน ของแต่ละแนวการวัด ด้วยโปรแกรม Grapher

5. ทำการแปลงความข้อมูลโดยการพิจารณาจากค่าความเร็วที่ได้ดังนี้

5.1 ความเร็วของหินแต่ละหมวด พิจารณาจากแผนที่ธรณีวิทยาประกอบกับความเร็วที่ได้จากการวิเคราะห์ โดยความเร็วของหมวดหินแกรนิตกำหนดให้มีความเร็วสูง และหมวดหินตะกอนกำหนดให้มีความเร็วต่ำ

5.2 ขอบเขตของหินแกรนิต พิจารณาจากความแตกต่างของความเร็วแต่ละช่วงการวัด โดยแต่ละช่วงการวัดที่มีความเร็วเท่ากันหรือใกล้เคียงกันกำหนดให้เป็นหมวดหินประเภทเดียวกัน และแต่ละช่วงการวัดที่มีความเร็วต่างมากกำหนดให้เป็นหมวดหินต่างประเภทกัน และความหนาของดินตะกอน พิจารณาจากความหนาของดินชั้นแรก