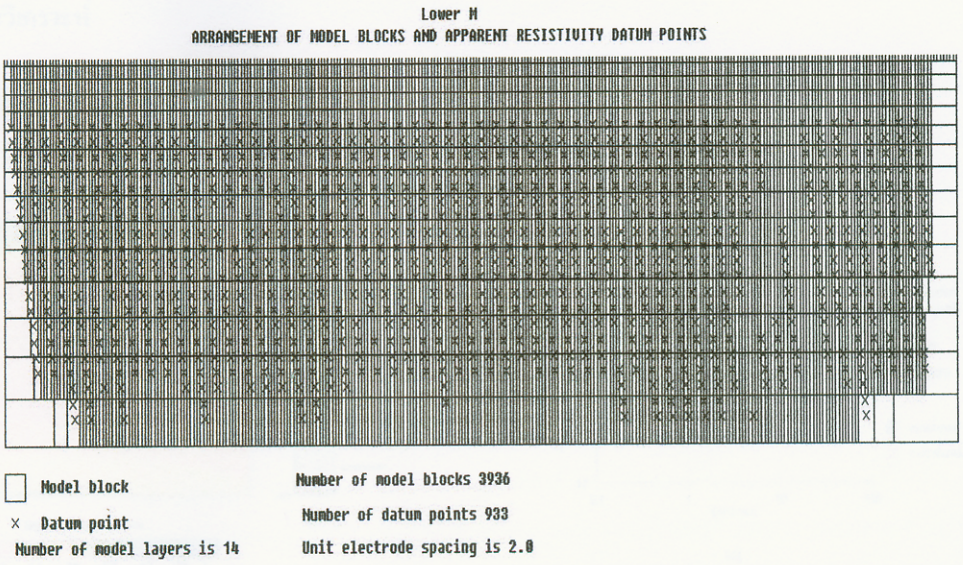
ลึกในแนวดิ่งจึงเพิ่มขึ้นทุกๆ 0.35m สำหรับข้อมูลส่วนล่างซึ่งได้ออกแบบให้มีข้อมูลหนาแน่นน้อยกว่าส่วนบน โดยให้ความลึกของจุดข้อมูลเพิ่มขึ้นเป็น 1.73m เมื่อระยะ a เพิ่มขึ้น 2m หลังจากการวัดชุดแรกเสร็จสิ้น จึงทำการย้ายตำแหน่งขั้วกระแสไฟฟ้าไปปักยังตำแหน่งที่ห่างจากจุดเดิม 10m จากนั้นจึงทำการวัดด้วยวิธีการเดียวกันกับการวัดในชุดแรก แล้วจึงทำการย้ายขั้วกระแส B เพื่อทำการวัดชุดต่อไปจนกระทั่งสิ้นสุดแนววัด ระยะห่างของขั้วกระแส B ในการย้ายแต่ละครั้งเท่ากับ 10m สำหรับแนววัด L, M และ N และเปลี่ยนเป็น 20m สำหรับแนววัดอื่นๆ ในการวัดแต่ละแนววัด ตำแหน่งของขั้วไฟฟ้า A และ N จะต้องย้ายไปปักที่ตำแหน่งใหม่เมื่อระยะห่างระหว่างขั้ว M และ N เท่ากับ 150m

3.1.8 การประมวลผลข้อมูล (Data processing)

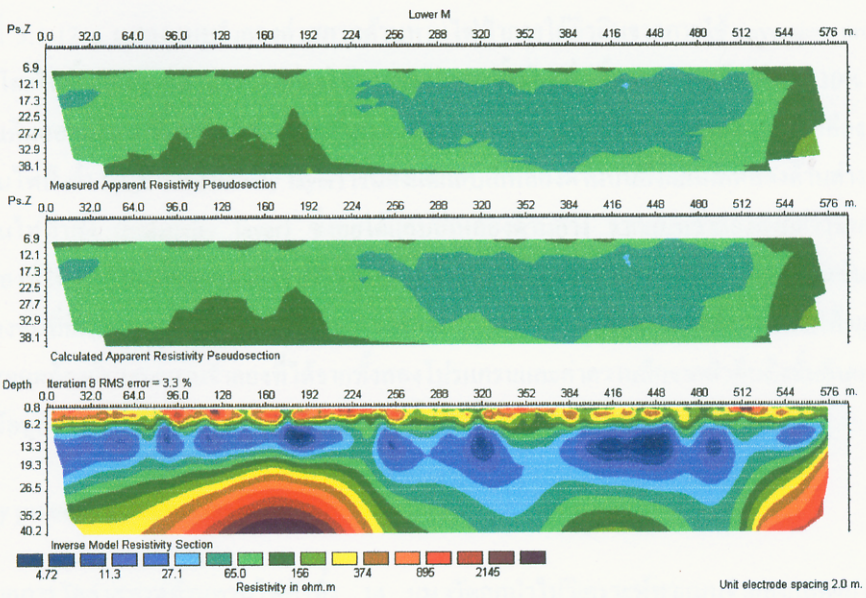
ข้อมูลจากการวัดของแต่ละแนววัด สามารถคำนวณหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏของแต่ละจุดวัดได้โดยใช้สมการ 3-15 เมื่อรู้ตำแหน่งของขั้วไฟฟ้าทั้ง 4 ขั้ว จากนั้นจึงนำข้อมูลค่าสภาพต้านไฟฟ้าปรากฏและค่าตำแหน่งของขั้วไฟฟ้าทั้ง 4 มาป้อนเข้าสู่โปรแกรม RES2DINV Ver.3.42c. (Loke, 2000) เพื่อให้โปรแกรมคำนวณหาแบบจำลองโครงสร้างชั้นดินใน 2 มิติที่เป็นไปได้มากที่สุดและสอดคล้องกับค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏที่คำนวณได้ อีกทั้งสอดคล้องกับสภาพทางธรณีวิทยาในบริเวณนั้นๆ ด้วย โปรแกรม RES2DINV นี้เป็น inversion program คือโปรแกรมจะสร้างรูปแบบจำลองโครงสร้างของชั้นดิน จากนั้นจะทำการคำนวณค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่จุดวัดต่างๆจากแบบจำลอง ค่าที่คำนวณได้จะนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริงจากภาคสนาม เมื่อเปรียบเทียบแล้วพบว่าค่าดังกล่าวมีค่าต่างกัน โดยมักจะพิจารณาจากค่าความผิดพลาด (RMS error) โปรแกรมจะนำค่าความแตกต่างนั้นไปปรับแก้แบบจำลองโดยใช้เทคนิค non-linear least squares optimisation (deGroot-Hedlin and Constable 1990, Loke and Baker 1996a) แล้วทำการคำนวณค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่จุดวัดต่างๆจากแบบจำลองและทำการเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริงจากภาคสนามอีกครั้ง หากพบว่าค่า RMS error ยังคงมีค่ามาก โปรแกรมจะปรับแก้แบบจำลอง คำนวณ และเปรียบเทียบจนกระทั่งได้ค่า RMS error ที่ยอมรับได้ ในการใช้โปรแกรมนี้ผู้วิจัยพยายามจะหาแบบจำลองที่มีค่า RMS error น้อยกว่า 2% ซึ่งจะต้องมีการปรับแก้แบบจำลอง 4 ถึง 8 ครั้ง สำหรับบางแบบจำลองไม่สามารถปรับแก้ให้ได้ค่า RMS error น้อยกว่า 2% ได้ ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะสัญญาณรบกวนที่มีอยู่ในข้อมูลดิบ อย่างไรก็ตามทุกแบบจำลองที่ได้จากการใช้โปรแกรมในงานวิจัยนี้มีค่า RMS error น้อยกว่า 5% ถึงแม้ว่าแบบจำลองที่ได้จะมีค่า RMS error ต่ำ สิ่งที่ต้องคำนึงอย่างยิ่งคือแบบจำลองที่ได้จะต้องสอดคล้องกับลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาในพื้นที่ด้วย

การทำงานของโปรแกรม เริ่มต้นโดยการสร้างแบบจำลองของชั้นดินโดยแบ่งชั้นดินออกเป็นแท่งสี่เหลี่ยมเล็กๆ ดังรูปที่ 3.1-10 แต่ละแท่งจะแทนข้อมูลของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏ ณ พิกัดนั้นๆ สำหรับค่าความลึกจะอ้างอิงที่ฐานของแท่งสี่เหลี่ยม (Edwards, 1977) โดยปกติในการคำนวณหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าจากแบบจำลอง โปรแกรมจะสร้างจำนวนของแท่งสี่เหลี่ยมน้อยกว่าหรือเท่ากับจำนวนของข้อมูลจากภาคสนาม แต่อย่างไรก็ตามการคำนวณยังคงทำได้ในกรณีที่จำนวนแท่งสี่เหลี่ยมของแบบจำลองมีมากกว่าจำนวนข้อมูลจากภาคสนาม ซึ่งสามารถคำนวณข้อมูลมากถึง 6500 ข้อมูลในการคำนวณเพียงหนึ่งครั้ง

การกำหนดค่าความหนาของชั้นดินที่เพิ่มขึ้นกับความลึก เพื่อให้โปรแกรมคำนวณหาแบบจำลองนั้นเป็นส่วนที่สำคัญมาก สำหรับ Pole – Pole array ค่าความหนาของแท่งสี่เหลี่ยม (block) ชั้นบนสุดจะกำหนดให้เท่ากับ 0.9a ส่วนความหนาของชั้นที่สองและชั้นลึกๆจะกำหนดให้มีค่าเพิ่มขึ้น 10% ของชั้นบนที่อยู่ติดกัน ในการคำนวณเพื่อหาแบบจำลองของชั้นดินจะใช้ข้อมูลของชั้นดินที่สังเกตได้จากหลุมเจาะลึก JICA2 เป็นข้อมูลอ้างอิง (รูปที่ 3.1-12)



รูปที่ 3.1-10 Arrangement of model blocks an apparent resistivity datum points of the lower part of the profile M (0-560m).



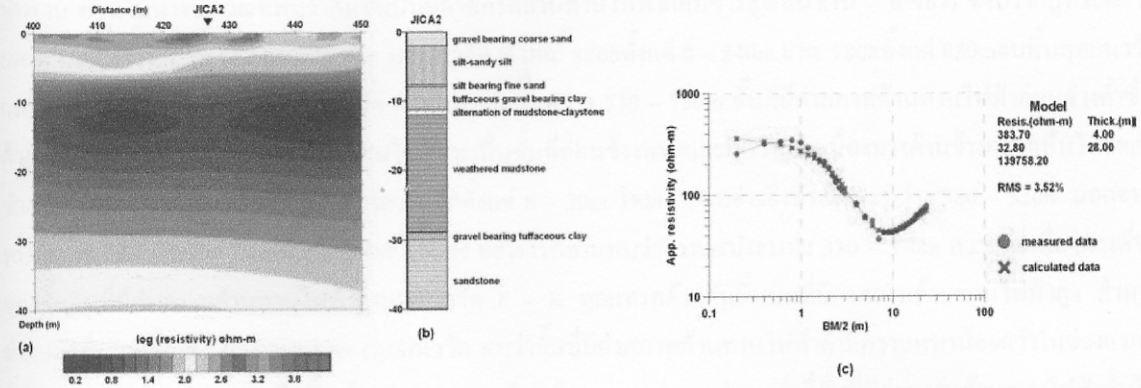
รูปที่ 3.1-11 The inverse resistivity model of the lower part of profile M (0 –560m), calculated with 8 iterations, (RMS error =3.3%).

ถึงแม้ว่า inversion program จะให้แบบจำลองของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าภายใต้ผิวดิน ดังรูปที่ 3.1-11 แต่เนื่องจากมีหลายแบบจำลองจากหลายแนววัด ดังนั้นจึงใช้โปรแกรม Surfer7 (Golden Software, Inc. 1999) ช่วยในการสร้างคอนทัวร์ของแบบจำลองให้มีรูปแบบเดียวกันก่อนที่จะนำไปแปลความหมายข้อมูล

ความน่าเชื่อถือของแบบจำลองที่ได้จาก inversion program ได้ทำการสอบเทียบกับแบบจำลองที่ได้จากการใช้โปรแกรม 4Pole (Thunehed, 2000) และข้อมูลการลำดับชั้นดินจากหลุมเจาะลึก โดยใช้ข้อมูลชุดเดียวกันที่ตำแหน่งหลุมเจาะ JICA 2 (รูปที่ 3.1-12) บนแนววัด M

3.1.9 ผลและวิเคราะห์

3.1.9.1 Pseudodepth control



รูปที่ 3.1-12 The models of the subsurface layer that conducted by the inversion program (a) and 4pole program (c) compare to logging data at the deep well JICA 2 (b).

จากรูปที่ 3.1-12 a แสดงแบบจำลองค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าภายใต้ผิวดินจากการใช้ inversion program ที่ตำแหน่งหลุมเจาะ JICA2 โดยในขั้นตอนการคำนวณกำหนดให้ความหนาของชั้นดินเพิ่มขึ้นตามความลึกเท่ากับ 10% จากแบบจำลองที่ได้สามารถแบ่งชั้นดินออกเป็น 3 ชั้นหลัก ได้แก่ ดินชั้นบน (top soil layer) ตั้งแต่ส่วนบนสุดถึงแถบสีเหลือง ชั้นที่ 2 เป็นชั้นที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำ (high conductivity layer) เริ่มตั้งแต่แถบสีเหลืองด้านบนถึงแถบสีเหลืองด้านล่าง ชั้นที่ 3 เป็นชั้นที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูง (resistivity layer) ซึ่งอยู่ใต้แถบสีเหลืองด้านล่าง จากแบบจำลองดังกล่าวจะเห็นว่ามีความสอดคล้องกับแบบจำลองที่ได้จากโปรแกรม 4pole (รูปที่ 3.1-12 c) ซึ่งให้ภาพโครงสร้างของชั้นดินเป็น 3 ชั้นเช่นเดียวกัน โดยมีรูปแบบการวางตัวของชั้นที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำอยู่ตรงกลาง ระหว่างชั้นที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงทางด้านบนและด้านล่าง ความสอดคล้องกันของแบบจำลองที่ได้จากทั้งสองโปรแกรมและค่าความลึกจากผิวดินถึงชั้นดินแต่ละชั้น มีความสอดคล้องกันกับข้อมูลลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาของชั้นดินของหลุมเจาะ JICA2

3.1.9.2 Resistivity pseudosection results

ข้อมูลจากการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าทั้ง 14 แนววัดถูกนำไปวิเคราะห์หาแบบจำลองแสดงการกปลี่ยนแปลงค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าภายใต้ผิวดินของแต่ละแนววัดโดยใช้โปรแกรม RES2DINV แสดงดังรูปที่ 3.1-13

จากโมเดลที่ได้ทั้ง 14 แนววัด ช่วยให้เห็นรูปแบบการกระจายของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าภายใต้ผิวดินครอบคลุมพื้นที่ที่ทำวิจัย การเปลี่ยนแปลงค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าภายใต้แนววัด F – S ได้แสดงเพื่อให้เห็นความต่อเนื่องระหว่างแนววัดดังรูปที่ 3.1-13 จากแผนภาพดังกล่าวสามารถจำแนกโครงสร้างของชั้นดินออกได้ 4 ชั้นหลัก ได้แก่

ดินชั้นบน เริ่มจากผิวดินลึกลงไปถึงความลึกที่สัมผัสกับชั้นที่ระบุด้วยแถบสีเหลือง

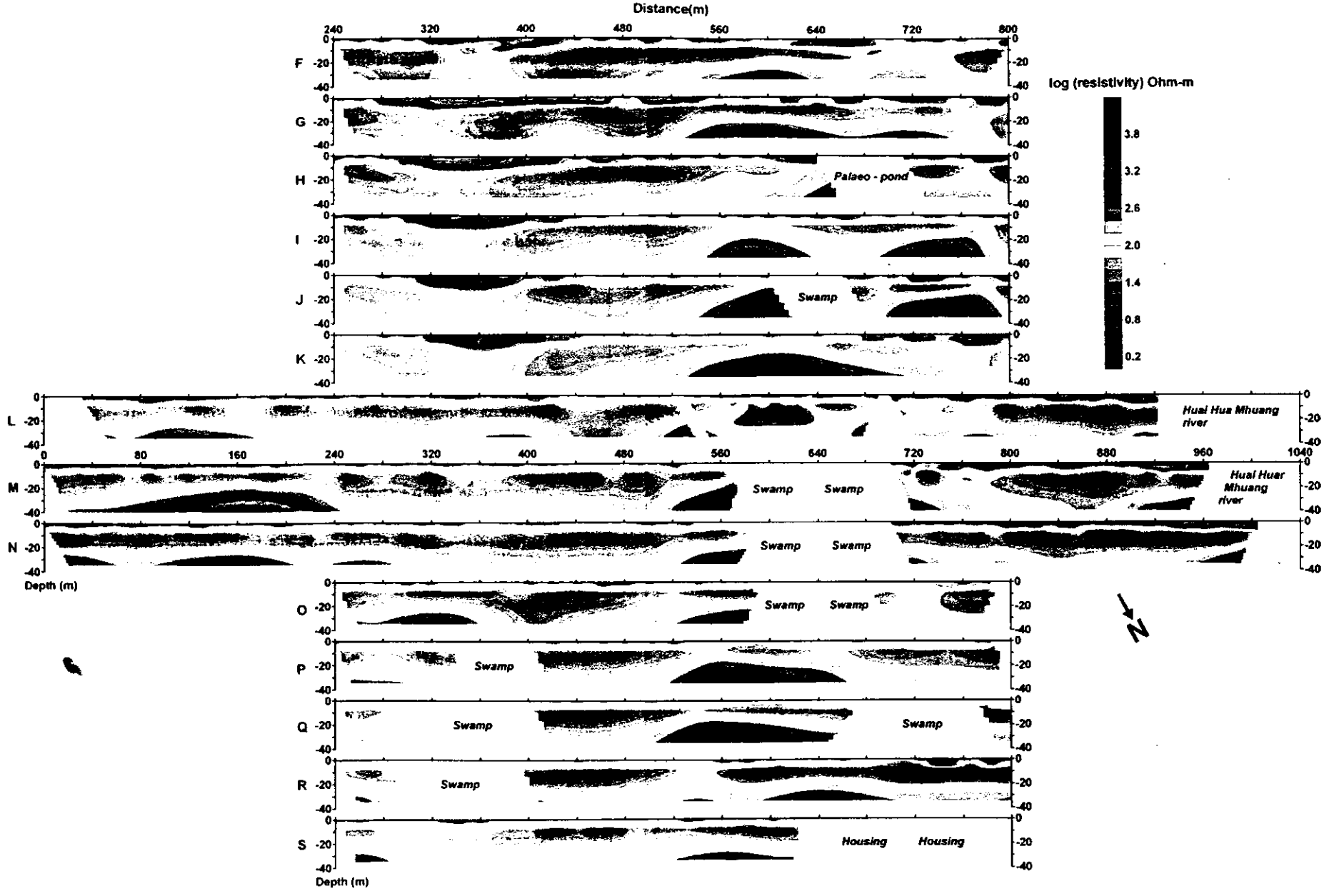
ชั้นที่สอง เป็นชั้นที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงขึ้นซึ่งระบุด้วยแถบสีเหลือง ซึ่งใช้แทนชั้นดินที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเท่ากับ 100 Ohm.m

ชั้นที่สาม เป็นชั้นที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำซึ่งระบุด้วยแถบสีชมพู – สีแดง

ชั้นที่สี่ เป็นชั้นที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูง ซึ่งระบุด้วยแถบสีเหลือง- สีน้ำเงิน

จะเห็นว่าค่าสภาพต้านทานไฟฟ้ามีค่าลดลงกับความลึกสอดคล้องกับการลำดับชั้นดินซึ่งค่าความชื้นจะเพิ่มขึ้นตามความลึก สำหรับค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่มีค่าสูงที่ระดับลึก(ชั้นที่สี่) อาจจะมีอิทธิพลมาจากค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นหินฐาน ส่วนในบางบริเวณที่พบว่าดินชั้นบนมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าค่อนข้างสูง(สีน้ำเงิน – สีเขียว) ซึ่งปรากฏที่ระยะ 630 - 690m บนแนววัด F ที่ระยะ 660 – 800m บนแนววัด G และ ระยะตั้งแต่ 0 – 340m และ ระยะตั้งแต่ 850mจนสิ้นสุดแนววัดบนแนววัด L, M และ N สำหรับบนแนววัด R พบที่ระยะระหว่าง 730 – 750m ชั้นที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าค่อนข้างต่ำซึ่งระบุด้วยแถบสีชมพู - แดง เป็นชั้นที่น่าสนใจเพราะเป็นชั้นที่ค่อนข้างหนาและมีความต่อเนื่องทางด้านข้างอย่างเห็นได้ชัดเจนในช่วงแรกของแนววัด F – S ซึ่งอยู่ในช่วงความลึกตั้งแต่ 8 – 30m โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ระยะระหว่าง 380 – 520m นอกจากนี้ยังพบที่ระยะ 780 – 960m บนแนววัด L, M และ N อย่างไรก็ตามพบว่าที่ระยะประมาณ 330 – 370m ความต่อเนื่องทางด้านข้างของชั้นดินที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำบนแนววัด F – K ถูกแทรกด้วยดินชั้นบนที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูง สำหรับในช่วงหลังที่ระยะตั้งแต่ 560 – 800m ของทุกแนววัด พบว่าชั้นที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำมีความหนาน้อยกว่าในช่วงแรก มีรูปร่างแบบเลนส์ โดยมีค่าความลึกตั้งแต่ 6 – 20m จุดที่น่าสังเกต พบว่า ณ ตำแหน่งที่ชั้นที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำมีความหนาน้อยจะมีชั้นที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงวางตัวอยู่ด้านล่างในลักษณะที่ดันตัวขึ้นมาใกล้ผิวดิน

ชั้นที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงที่อยู่ในระดับลึกซึ่งระบุด้วยแถบสีเขียว - น้ำเงิน ปรากฏชัดเจนในแนว NE – SW ทิศทาง 39°E มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำดันตัวขึ้นมาใกล้ผิวดิน แต่สำหรับในแนววัด H และ S รูปแบบของชั้นดังกล่าวเห็นได้ไม่ชัดเจนนัก ทั้งนี้ส่วนหนึ่งอาจเนื่องมาจากการขาดข้อมูลในแนววัด H และอาจจะเป็นไปได้ที่ตำแหน่งดังกล่าวชั้นที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงวางตัวอยู่ที่ระดับลึกกว่าตำแหน่งอื่นๆของทุกแนววัด นอกจากนี้ชั้นที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงที่ระดับลึกยังสามารถเห็นได้ที่ระยะ 0 – 260m บนแนววัด L, M และ N



รูปที่ 3.1-13 The resistivity sections of profile line F – S.