

การวิเคราะห์ค่าสภาพความต้านทานดินสำหรับระบบสายจ่ายกำลังไฟฟ้า
22 กิโลโวลต์ จากการประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียม

นายขวัญชัย นอแสงศรี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2553

**EARTH RESISTIVITY ANALYSIS FOR 22 KV ELECTRIC
POWER DISTRIBUTION SYSTEM FROM SATELLITE
IMAGE PROCESSING**

Kwanchai Norsangsri

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering
Suranaree University of Technology
Academic Year 2010**

การวิเคราะห์ค่าสภาพความต้านทานดินสำหรับระบบสายจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์
จากการประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.อนันต์ อุ่นศิริวิไลย์)

ประธานกรรมการ

(รศ. ดร.ชนัดชัช กุลวรรณิษพงษ์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร.เผด็จ เผ่าละออ)

กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิ้มปีจางค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(รศ. น.อ. ดร.วราภรณ์ จำพิศ)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ขวัญชัย นอแสงศรี : การวิเคราะห์ค่าสภาพความต้านทานดินสำหรับระบบสายจ่าย
กำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ จากการประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียม (EARTH RESISTIVITY
ANALYSIS FOR 22 KV ELECTRIC POWER DISTRIBUTION SYSTEM FROM
SATELLITE IMAGE PROCESSING) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.ชนัดชัย
กุลวรวานิชพงษ์, 246 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการประมาณค่าสภาพความต้านทานดิน จากการประยุกต์ใช้
วิธีการประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียม ด้วยเทคนิคการจำแนกประเภทข้อมูลแบบที่ต้องใช้ตัวอย่าง
ข้อมูลในการจำแนก (Supervised classification) ด้วยวิธีการประมาณค่าความควรจะเป็นสูงสุด
(Maximum likelihood) ประกอบกับข้อมูลการสำรวจค่าสภาพความต้านทานดินในพื้นที่จริง
ดำเนินการสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดิน (Earth resistivity map) ด้วยโปรแกรม ENVI
โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซต 5 ที่ผ่านการผสมแบนด์ทั้งหมด 6 ชุด เพื่อเปรียบเทียบหาแบนด์
ที่เหมาะสม ซึ่งพบว่าแบนด์ที่มีความถูกต้องมากที่สุดคือ แบนด์ 7-5-3 มีความถูกต้อง 93.33%
จากนั้นนำแผนที่สภาพความต้านทานดินที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการสร้างแบบจำลองค่าสภาพ
ความต้านทานดิน เพื่อวิเคราะห์กระแสลัดวงจรลงดินย้อนกลับจากบริเวณสายจ่ายกำลังไฟฟ้า
22 กิโลโวลต์ ที่อยู่ระหว่างสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 และสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2 ทั้งหมด
10 สายจ่าย โดยใช้การโปรแกรมด้วย MATLAB เพื่อค้นหาพื้นที่ของสายจ่ายกำลังไฟฟ้าที่มี
ความเสี่ยงที่กระแสลัดวงจรลงดินย้อนกลับไหลไปสู่กราวด์กริดของสถานีไฟฟ้าข้างเคียงมากกว่า
สถานีไฟฟ้าต้นทางที่เกิดลัดวงจรในสายจ่าย ทำให้กราวด์พอลต์รีเลย์ของสถานีไฟฟ้าข้างเคียง
มีโอกาสทำงานผิดพลาด นอกจากนี้ได้นำแผนที่สภาพความต้านทานดินมาประยุกต์ใช้ในการ
ประมาณการไหลของกระแสลัดวงจรลงดินซึ่งไหลผ่านพื้นดินและสายป้องกันฟ้าผ่าไปยัง
กราวด์กริดของสถานีไฟฟ้า

KWANCHAI NORSANGSRI : EATH RESISTIVITY ANALYSIS FOR 22 KV
ELECTRIC POWER DISTRIBUTION SYSTEM FROM SATELLITE IMAGE
PROCESSING. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. THANATCHAI
KULWORAWANICHPONG, Ph.D., 246 PP.

EARTH RERISTIVITY MAP/CLASSIFICATION/GROUND FAULT RETURN
EARTH/GROUND GRID

This thesis presents the classification method for earth resistivity estimation by using satellite image processing. This method uses exploration data of a targeted area to create an earth resistivity map by using ENVI software. It is based on a supervised classification of satellite images obtained from LANSAT 5. The combination of band 7, 5 and 3 gives the best estimated result of 93.33% accuracy. The application of the estimation is used to synthesize a model to analyze earth-returned currents resulting from ground faults. 22-kV electric power distribution feeders of Nakhon Ratchasima substation 1 and Nakhon Ratchasima substation 2 are used for test. By instructing MATLAB programs for power network solutions based on earth-returned current consideration, the performance of ground fault relay operation is evaluated. Therefore the feeder portion with the highest risk of causing a mal-function of ground fault relays can be specified. In addition, the earth resistivity map can be used for estimating components of the fault current through the earth and the overhead ground wire to the substation's ground grid.

School of Electrical Engineering

Academic Year 2010

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ รวมทั้งได้ให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย ซึ่งได้แก่

รองศาสตราจารย์ ดร.ชนัดชัช กุลสุวรรณิชพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำ และแนะแนวทางอันเป็นประโยชน์ยิ่งต่องานวิจัย รวมถึงได้ช่วยตรวจทานและแก้ไขรายงานวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนทำให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมทั้งเป็นกำลังใจ และเป็นแบบอย่างที่ดีในการดำเนินชีวิตหลาย ๆ ด้านให้กับผู้วิจัยเสมอมา

อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่าน ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และให้ความรู้ทางด้านวิชาการอย่างดียิ่งมาโดยตลอด

อาจารย์ ดร.อัมพรศักดิ์ วรรณโกมล อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีสุรนารี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และความรู้ทางด้านวิชาการอย่างดียิ่ง

ขอบคุณการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่สนับสนุนงบประมาณสำหรับการวิจัยและอนุเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับการวิจัย

ขอบคุณนางสาวนภาพร วัฒนธร สาขาวิชาเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ให้คำปรึกษาด้านกรณีศึกษาขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ บัณฑิตศึกษาทุกท่าน รวมถึงมิตรสหายทั้งในอดีตและปัจจุบันที่คอยถามไถ่และให้กำลังใจในการทำวิจัยมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ทางด้านต่าง ๆ ทั้งในอดีตและปัจจุบัน และขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา รวมถึงญาติพี่น้องของผู้วิจัยทุกท่าน ที่ได้ให้ความรัก ความอบอุ่น ความห่วงใย การอบรมเลี้ยงดู และให้การสนับสนุนทางการศึกษาอย่างดียิ่งมาโดยตลอด รวมทั้งเป็นกำลังใจที่ยิ่งใหญ่ในยามที่ผู้วิจัยท้อและท้อแท้ใจ ช่วยให้มีพลังเข้มแข็งพร้อมเผชิญกับปัญหาอุปสรรคต่าง ๆ จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตเรื่อยมา

ขวัญชัย นอแสงศรี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	3
1.3 ขีดกลางเบื้องต้น.....	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.6 การจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์.....	4
2 ปรัชญ่วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 บทนำ.....	6
2.2 ปรัชญ่วรรณกรรม.....	6
2.3 สภาพความต้านทานดิน.....	7
2.3.1 นิยามค่าสภาพความต้านทานดิน.....	7
2.3.2 การเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานดิน.....	9
2.3.2 การวัดค่าความต้านทานดิน.....	12
2.4 การสำรวจระยะไกลด้วยดาวเทียม.....	15
2.4.1 ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ.....	17
2.4.2 ดาวเทียมแลนด์แซต 5.....	18
2.5 ระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์.....	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 การผสมแบนด์ภาพถ่ายดาวเทียม.....	24
2.7 การจำแนกประเภทข้อมูล.....	25
2.8 โปรแกรมวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียม.....	29
2.9 การไหลย้อนกลับของกระแสไฟฟ้า.....	31
2.10 สรุป.....	34
3 การทดสอบวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อศึกษาค่าสภาพความต้านทานดิน.....	35
3.1 บทนำ.....	35
3.2 การเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม.....	35
3.3 การสำรวจและวัดค่าสภาพความต้านทานของดิน.....	39
3.4 การจำแนกค่าสภาพความต้านทานดิน.....	43
3.5 จำแนกค่าสภาพความต้านทานดินจากภาพที่ผ่านกระบวนการทาง คณิตศาสตร์.....	55
3.6 สรุป.....	60
4 การทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความต้านทานดิน.....	61
4.1 บทนำ.....	61
4.2 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนและค่าของความชื้นของดิน.....	61
4.3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ.....	64
4.4 การทดสอบวัดค่าสภาพความต้านทานดินเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลง.....	65
4.4.1 การทดสอบวัดค่าสภาพความต้านทานดินในช่วง 1 ปี.....	66
4.4.2 การทดสอบวัดค่าสภาพความต้านทานดินในช่วง 1 วัน.....	69
4.4.3 การทดสอบวัดค่าสภาพความต้านทานดินใน กระบะดินทดสอบ.....	72
4.5 สรุป.....	75
5 การสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดินจากภาพถ่ายดาวเทียม.....	76
5.1 บทนำ.....	76
5.2 การเตรียมข้อมูลสำหรับการสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดิน.....	76

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2.1 การเตรียมภาพถ่ายดาวเทียม.....	76
5.2.2 การสำรวจวัดค่าสภาพความต้านทานดินภาคสนาม.....	82
5.3 การสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดิน.....	85
5.4 สรุป.....	96
6 การวิเคราะห์ทางเดินของกระแสลัดวงจรลงดินย้อนกลับ.....	97
6.1 บทนำ.....	97
6.2 การเตรียมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ทางเดินกระแสลัดวงจรลงดิน ย้อนกลับ.....	97
6.2.1 การเตรียมแผนที่สภาพความต้านทานดิน.....	98
6.2.2 การเตรียมข้อมูลสายจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์.....	99
6.3 การวิเคราะห์หาพื้นที่ของสายจ่ายที่มีโอกาสทำงานผิดพลาด.....	100
6.3.1 การพิจารณาสายจ่ายที่มีโอกาสทำงานผิดพลาด.....	100
6.3.2 การค้นหาพื้นที่ของสายจ่ายที่มีโอกาสทำงานผิดพลาด.....	100
6.3.3 การวิเคราะห์การเกิดกระแสไฟฟ้าผิดปรongของสถานีไฟฟ้า.....	120
6.4 การวิเคราะห์กระแสไฟฟ้าลัดวงจรลงดิน.....	122
6.4.1 แบบจำลองค่าสภาพความต้านทานดินสำหรับวิเคราะห์ กระแสลัดวงจรย้อนกลับ.....	122
6.4.2 การประมาณค่ากระแสลัดวงจรลงดินย้อนกลับ.....	127
6.5 สรุป.....	136
7 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	138
7.1 สรุป.....	138
7.2 ข้อเสนอแนะ.....	139
7.3 แนวทางการวิจัยต่อไป.....	140
รายการอ้างอิง.....	141

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก.....	144
ภาคผนวก ก. ตารางการวัดค่าสภาพความต้านทานดิน.....	144
ภาคผนวก ข. ตารางการโคจรของดาวเทียมแลนดส์แซต 5.....	157
ภาคผนวก ค. การใช้โปรแกรม ENVI.....	160
ภาคผนวก ง. อุปกรณ์การดำเนินงาน.....	208
ภาคผนวก จ. รายละเอียดเบื้องต้นของแนวทางในการวิจัยต่อ.....	215
ภาคผนวก ช. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา.....	225
ประวัติผู้เขียน.....	227

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	การเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความต้านทานดินอันเนื่องมาจากชนิดของดิน.....10
2.2	การเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความต้านทานดินที่ส่งผลมาจากความชื้นของดิน.....10
2.3	การเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความต้านทานดินที่ส่งผลมาจากการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิ.....11
2.4	ศักยภาพการใช้ประโยชน์ของช่วงคลื่นระบบ Multispectral scanner.....18
2.5	ศักยภาพการใช้ประโยชน์ของช่วงคลื่นระบบ Thematic mapper.....19
3.1	ค่าสภาพความต้านทานดิน ความชื้น และอุณหภูมิบริเวณที่สำรวจ.....42
3.2	ค่าสภาพความต้านทานดิน ความชื้น และอุณหภูมิบริเวณที่สำรวจ 15 จุด.....44
3.3	ค่าสภาพความต้านทานดินบริเวณที่สำรวจเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง.....48
3.4	เปรียบเทียบความถูกต้องจากการใช้จุดตรวจสอบความถูกต้อง 14 จุด.....54
4.1	ค่าสภาพความต้านทานดินในช่วงเดือนต่าง ๆ ปี 2552.....66
4.2	ผลการวัดค่าสภาพความต้านทานดิน ความชื้นและอุณหภูมิในรอบ 1 วัน (24 ชั่วโมง).....70
4.3	ผลการทดสอบค่าสภาพความต้านทานดินจากกระบะดินทดลอง.....73
5.1	ค่าสภาพความต้านทานดิน ความชื้น และอุณหภูมิบริเวณที่สำรวจ.....84
5.2	ค่าสภาพความต้านทานดินบริเวณที่สำรวจเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง.....89
5.3	เปรียบเทียบความถูกต้องจากการใช้จุดตรวจสอบความถูกต้อง 15 จุด.....95
6.1	แรงดันไฟฟ้าที่จุดต่าง ๆ บนสายจ่ายกำลังไฟฟ้า NRA03.....133
6.2	แรงดันไฟฟ้าที่จุดต่าง ๆ บนสายจ่ายกำลังไฟฟ้า NRA10.....135
ก.1	ข้อมูลการวัดค่าสภาพความต้านทานจำเพาะของดิน โดยเฉลี่ย 21 มีนาคม 2552.....145
ก.2	ข้อมูลการวัดค่าสภาพความต้านทานจำเพาะของดิน โดยเฉลี่ย 23 พฤษภาคม 2552.....146
ก.3	ข้อมูลการวัดค่าสภาพความต้านทานจำเพาะของดิน โดยเฉลี่ย 18 กรกฎาคม 2552.....146

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.4	ข้อมูลการวัดค่าสภาพความต้านทานจำเพาะของดิน โดยเฉลี่ย 27 กันยายน 2552.....147
ก.5	ข้อมูลการวัดค่าสภาพความต้านทานจำเพาะของดิน โดยเฉลี่ย 8 พฤศจิกายน 2552.....147
ก.6	ค่าสภาพความต้านทานจำเพาะของดินโดยเฉลี่ยในช่วงเดือนต่าง ๆ.....148
ก.7	ค่าของอุณหภูมิของดินในช่วงเดือนต่าง ๆ.....148
ก.8	ค่าความชื้นของดินบริเวณผิวของดินในช่วงเดือนต่าง ๆ.....149
ก.9	ผลการวัดค่าสภาพความต้านทานจำเพาะของดิน โดยเฉลี่ยในระยะเวลา 1 วัน (24 ชม.).....150
ก.10	ผลการวัดค่าสภาพความต้านทานดิน เมื่อวันที่ 26 พฤศจิกายน 2552.....150
ก.11	การแปลงระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ของผลการวัดค่าสภาพความต้านทานดิน.....155
ก.12	ผลการทดสอบค่าสภาพความต้านทานของดิน โดยเฉลี่ยในกระบะดิน.....156
ข.1	ตารางการโคจรของดาวเทียม Landsat 5 ปี 2552.....158
ข.2	ตารางการโคจรของดาวเทียม Landsat 5 ปี 2552 บริเวณจังหวัดนครราชสีมา (P128 R50).....159
ค.1	ตัวอย่างตารางบันทึกผลการสำรวจภาคสนาม.....185
ค.2	ตัวอย่างค่าพิกัดภูมิศาสตร์ที่ผ่านการเปลี่ยนแปลงพิกัดทางภูมิศาสตร์.....186
ค.3	ตัวอย่างข้อมูลค่าสภาพความต้านทานดินที่ใช้สำหรับเป็นข้อมูลตัวอย่าง.....188
ค.4	ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้อง.....201

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	ทางเดินของกระแสลัดวงจรลงดินในระบบสายจ่ายกำลังไฟฟ้า.....2
1.2	ทางเดินของกระแสลัดวงจรลงดินในระบบสายจ่ายกำลังไฟฟ้า เมื่อพิจารณาผลจากสถานีข้างเคียง.....2
2.1	สภาพความต้านทานจำเพาะของดิน.....8
2.2	โครงสร้างความต้านทานของพื้นดิน.....9
2.3	การเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความต้านทานดินในช่วง 1 ปี.....12
2.4	วิธีการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของดินด้วยวิธีการของเวนเนอร์.....13
2.5	ระยะลึกของการวัดค่าสภาพต้านทานดิน.....14
2.6	การวัดค่าความต้านทานจำเพาะของดินหลายชั้นด้วยวิธีการของเวนเนอร์.....14
2.7	การสะท้อนรังสีจากดวงอาทิตย์.....15
2.8	การสะท้อนรังสีจากตัวเองที่มีแหล่งพลังงานที่สร้างขึ้น.....16
2.9	ช่วงคลื่นที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ.....17
2.10	คุณสมบัติในการสะท้อนคลื่นจากพื้นโลกของแต่ละช่วงคลื่น.....20
2.11	ขนาดภาพภาพของดาวเทียมแลนด์แซต 5.....21
2.12	Part และ Row ที่ครอบคลุมประเทศไทยของภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซต 5.....22
2.13	การระบุพิกัดจากดาวเทียม.....23
2.14	การระบุพิกัดของจุดสำรวจภาคสนามเพื่อวัดค่าสภาพความต้านทานดิน.....24
2.15	การผสมสีเท็จ.....25
2.16	การผสมแบนด์ของภาพถ่ายดาวเทียม.....25
2.17	การจัดกลุ่มข้อมูล.....26
2.18	การกำหนดข้อมูลตัวอย่างให้จุดภาพ.....28
2.19	การจัดกลุ่มข้อมูลของจุดภาพ.....28
2.20	หลักการกระแสไฟฟ้าย้อนกลับใต้ผิวดิน.....34
3.1	ภาพที่เกิดจากการผสม แบนด์ 7-5-4 (สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน).....36

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.2 ภาพที่เกิดจากการผสมแบนด์ 7-5-3 (สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน).....	36
3.3 ภาพที่เกิดจากการผสมแบนด์ 7-4-3 (สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน).....	37
3.4 ภาพที่เกิดจากการผสมแบนด์ 5-4-3 (สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน).....	37
3.5 ภาพที่เกิดจากการผสมแบนด์ 5-3-2 (สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน).....	38
3.6 ภาพที่เกิดจากการผสมแบนด์ 4-3-2 (สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน).....	38
3.7 ระยะเวลาวัดค่าสภาพความต้านทานดิน.....	39
3.8 เครื่องวัดค่าสภาพความต้านทานดิน METREL earth tester รุ่น MI 2124.....	40
3.9 การวัดค่าสภาพความต้านทานดินภาคสนาม.....	40
3.10 เครื่องวัดความชื้นดิน.....	41
3.11 เครื่องวัดอุณหภูมิของดิน.....	41
3.12 ผลการจำแนกจากจุดตัวอย่าง 15 จุดกับภาพที่เกิดจากการผสมแบนด์ 7-5-4.....	45
3.13 ผลการจำแนกจากจุดตัวอย่าง 15 จุดกับภาพที่เกิดจากการผสมแบนด์ 7-5-3.....	45
3.14 ผลการจำแนกจากจุดตัวอย่าง 15 จุดกับภาพที่เกิดจากการผสมแบนด์ 7-4-3.....	46
3.15 ผลการจำแนกจากจุดตัวอย่าง 15 จุดกับภาพที่เกิดจากการผสมแบนด์ 5-4-3.....	46
3.16 ผลการจำแนกจากจุดตัวอย่าง 15 จุดกับภาพที่เกิดจากการผสมแบนด์ 5-3-2.....	47
3.17 ผลการจำแนกจากจุดตัวอย่าง 15 จุดกับภาพที่เกิดจากการผสมแบนด์ 4-3-2.....	47
3.18 กราฟการเปรียบเทียบความถูกต้องจากการสำรวจจากภาพที่ได้จากแบนด์ 7-5-4.....	49
3.19 กราฟการเปรียบเทียบความถูกต้องจากการสำรวจจากภาพที่ได้จากแบนด์ 7-5-3.....	50
3.20 กราฟการเปรียบเทียบความถูกต้องจากการสำรวจจากภาพที่ได้จากแบนด์ 7-4-3.....	51
3.21 กราฟการเปรียบเทียบความถูกต้องจากการสำรวจจากภาพที่ได้จากแบนด์ 5-4-3.....	52
3.22 กราฟการเปรียบเทียบความถูกต้องจากการสำรวจจากภาพที่ได้จากแบนด์ 5-3-2.....	53
3.23 กราฟการเปรียบเทียบความถูกต้องจากการสำรวจจากภาพที่ได้จากแบนด์ 4-3-2.....	54
3.24 ภาพที่เกิดจากการใช้วิธีการ Band Math จากสมการที่ (3.1).....	56
3.25 ภาพที่เกิดจากการใช้วิธีการ Band Math จากสมการที่ (3.2).....	56
3.26 ผลการจำแนกข้อมูลด้วยวิธี Isodata ภาพที่เกิดจากจากสมการที่ (3.1).....	57
3.27 ผลการจำแนกข้อมูลด้วยวิธี K-mean ภาพที่เกิดจากจากสมการที่ (3.1).....	58

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.28 ผลการจำแนกข้อมูลด้วยวิธี Isodata ภาพที่เกิดจากจากสมการที่ (3.2)	58
3.29 ผลการจำแนกข้อมูลด้วยวิธี K-mean ภาพที่เกิดจากจากสมการที่ (3.2)	59
4.1 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในรอบ 10 ปี (2542 - 2551) ในช่วงเดือนต่าง ๆ บริเวณจังหวัดนครราชสีมา	62
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของดินกับปริมาณน้ำฝนที่ระดับความลึก 60 เซนติเมตร	63
4.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความต้านทานดินกับความชื้นของดิน	64
4.4 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิค่าสุดและสูงสุดเฉลี่ย ในช่วงเดือนต่าง ๆ	65
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างจุดทดสอบกับค่าสภาพความต้านทานของดิน ในช่วงเดือนต่าง ๆ	67
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างจุดทดสอบกับค่าอุณหภูมิของดินในช่วงเดือนต่าง ๆ	68
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างจุดทดสอบกับค่าความชื้นของดินในช่วงเดือนต่าง ๆ	69
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในช่วงวันกับค่าสภาพความต้านทานดิน	70
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในช่วงรอบวันกับค่าความชื้น	71
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในช่วงวันกับค่าของอุณหภูมิของดิน	72
4.11 กระบะดินทดสอบค่าสภาพความต้านทานดิน	73
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านจำเพาะของดินกับความชื้น	74
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านจำเพาะของดินกับอุณหภูมิ	75
5.1 ภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากการผสมแบนด์ 7-5-3 ที่มีเมฆปกคลุม ถ่ายเมื่อวันที่ 28 พฤศจิกายน 2552	78
5.2 ภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากการผสมแบนด์ 7-5-4	78
5.3 ภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากการผสมแบนด์ 7-5-3	79
5.4 ภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากการผสมแบนด์ 7-4-3	80
5.5 ภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากการผสมแบนด์ 5-4-3	80
5.6 ภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากการผสมแบนด์ 5-3-2	81
5.7 ภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากการผสมแบนด์ 4-3-2	82

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.8 การวัดค่าสภาพความต้านทานดินที่ระยะ 2 เมตร.....	83
5.9 การวัดค่าสภาพความต้านทานดินที่ระยะ 3 เมตร.....	83
5.10 แผนที่สภาพความต้านทานดินจากการผสมแบนด์ 7-5-4.....	86
5.11 แผนที่สภาพความต้านทานดินจากการผสมแบนด์ 7-5-3.....	86
5.12 แผนที่สภาพความต้านทานดินจากการผสมแบนด์ 7-4-3.....	87
5.13 แผนที่สภาพความต้านทานดินจากการผสมแบนด์ 5-4-3.....	87
5.14 แผนที่สภาพความต้านทานดินจากการผสมแบนด์ 5-3-2.....	88
5.15 แผนที่สภาพความต้านทานดินจากการผสมแบนด์ 4-3-2.....	88
5.16 เปรียบเทียบแผนที่สภาพความต้านทานดินจากการผสมแบนด์ 7-5-4.....	90
5.17 เปรียบเทียบแผนที่สภาพความต้านทานดินจากการผสมแบนด์ 7-5-3.....	91
5.18 เปรียบเทียบแผนที่สภาพความต้านทานดินจากการผสมแบนด์ 7-4-3.....	92
5.19 เปรียบเทียบแผนที่สภาพความต้านทานดินจากการผสมแบนด์ 5-4-3.....	93
5.20 เปรียบเทียบแผนที่สภาพความต้านทานดินจากการผสมแบนด์ 5-3-2.....	94
5.21 เปรียบเทียบแผนที่สภาพความต้านทานดินจากการผสมแบนด์ 4-3-2.....	95
6.1 แผนที่สภาพความต้านทานดินจากการผสมแบนด์ 7-5-3.....	98
6.2 แผนที่สภาพความต้านทานดินสำหรับใช้คำนวณค่าสภาพความต้านทานดิน.....	99
6.3 สายจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 และ 2.....	99
6.4 สายจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ระหว่างสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 และ 2.....	100
6.5 การไหลของกระแสลัดวงจรลงดินย้อนกลับสู่กราวด์กริดสถานีไฟฟ้า.....	101
6.6 การประมาณเส้นทางการไหลของกระแสลัดวงจรลงดินย้อนกลับสู่สถานีไฟฟ้า.....	101
6.7 สายจ่าย NRB02 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2 บนแผนที่ สภาพความต้านทานดิน.....	102
6.8 ขั้นตอนการคำนวณค่าของกระแสลัดวงจรลงดินย้อนกลับสู่สถานีไฟฟ้า.....	103
6.9 ช่วงของสายจ่าย NRA01 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1.....	105
6.10 โอกาสที่ระบบป้องกันทำงานผิดพลาดบนช่วงของสายจ่าย NRA01.....	105
6.11 ช่วงของสายจ่าย NRA02 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1.....	106

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.12 โอกาสที่ระบบป้องกันทำงานผิดพลาดบนช่วงของสายจ่าย NRA02.....	107
6.13 ช่วงของสายจ่าย NRA03 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1.....	108
6.14 โอกาสที่ระบบป้องกันทำงานผิดพลาดบนช่วงของสายจ่าย NRA03.....	108
6.15 ช่วงของสายจ่าย NRA07 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1.....	109
6.16 โอกาสที่ระบบป้องกันทำงานผิดพลาดบนช่วงของสายจ่าย NRA07.....	110
6.17 ช่วงของสายจ่าย NRA09 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1.....	111
6.18 โอกาสที่ระบบป้องกันทำงานผิดพลาดบนช่วงของสายจ่าย NRA09.....	111
6.19 ช่วงของสายจ่าย NRA10 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1.....	112
6.20 โอกาสที่ระบบป้องกันทำงานผิดพลาดบนช่วงของสายจ่าย NRA10.....	113
6.21 ช่วงของสายจ่าย NRB02 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2.....	114
6.22 โอกาสที่ระบบป้องกันทำงานผิดพลาดบนช่วงของสายจ่าย NRB02.....	114
6.23 ช่วงของสายจ่าย NRB04 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2.....	115
6.24 โอกาสที่ระบบป้องกันทำงานผิดพลาดบนช่วงของสายจ่าย NRB04.....	116
6.25 ช่วงของสายจ่าย NRB05 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2.....	117
6.26 โอกาสที่ระบบป้องกันทำงานผิดพลาดบนช่วงของสายจ่าย NRB05.....	117
6.27 ช่วงของสายจ่าย NRB06 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2.....	118
6.28 โอกาสที่ระบบป้องกันทำงานผิดพลาดบนช่วงของสายจ่าย NRB06.....	119
6.29 สถานีไฟฟ้าบริเวณอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา.....	120
6.30 ลักษณะของระบบสายจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์.....	123
6.31 แบบจำลองค่าสภาพความต้านทานดินกับสายจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์.....	124
6.32 แบบจำลองค่าสภาพความต้านทานดินกับสายจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ เมื่อไม่คิดผลของรีโมเตอร์.....	125
6.33 ขนาดของเสาไฟฟ้าในระบบสายจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์.....	127
6.34 สายจ่าย NRA03 บนแผนที่สภาพความต้านทานดิน.....	130
6.35 ขั้นตอนการคำนวณกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่สายจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์.....	131
6.36 การกำหนดจุดของสายจ่าย NRA03.....	132

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.37 การกำหนดจุดของสายจ่าย NRA10.....	134
6.38 การไหลของกระแสลัดวงจรลงดินผ่านสายป้องกันฟ้าผ่าและพื้นดิน.....	136
ค.1 หน้าต่างของโปรแกรม ENVI 4.0.....	161
ค.2 หน้าต่างในส่วนที่ 1 ของโปรแกรม ENVI.....	162
ค.3 หน้าต่างของคำสั่งในการจำแนกประเภทข้อมูล.....	162
ค.4 หน้าต่างคำสั่ง Registration.....	163
ค.5 หน้าต่างของคำสั่ง Mosaicking.....	163
ค.6 หน้าต่างเครื่องมือ Convert map projection.....	164
ค.7 คำสั่ง Map coordinate converter.....	165
ค.8 หน้าต่าง Image.....	165
ค.9 หน้าต่างคำสั่ง Annotation.....	166
ค.10 หน้าต่าง คำสั่ง Contour line.....	167
ค.11 หน้าต่างคำสั่ง Grid line parameters.....	167
ค.12 หน้าต่าง คำสั่ง Region of interest (ROI).....	168
ค.13 หน้าต่างคำสั่ง Enhance.....	169
ค.14 ขั้นตอนการสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดิน.....	170
ค.15 ภาพถ่ายดาวเทียมที่มีเมฆปกคลุม.....	172
ค.16 ภาพถ่ายดาวเทียมที่ไม่มีเมฆปกคลุม.....	172
ค.17 หน้าต่าง Available bands list หลังจากการเปิดไฟล์ข้อมูลขึ้นมา.....	173
ค.18 ตัวอย่างภาพที่ได้จากการผสมแบนด์ 7-5-4.....	174
ค.19 ตัวอย่างภาพที่ได้จากการผสมแบนด์ 7-5-3.....	174
ค.20 ตัวอย่างภาพที่ได้จากการผสมแบนด์ 7-4-3.....	175
ค.21 ตัวอย่างภาพที่ได้จากการผสมแบนด์ 5-4-3.....	175
ค.22 ตัวอย่างภาพที่ได้จากการผสมแบนด์ 5-3-2.....	176
ค.23 ตัวอย่างภาพที่ได้จากการผสมแบนด์ 5-3-2.....	176
ค.24 หน้าต่างจากการเลือก Map - convert map projection.....	178

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ค.25 หน้าต่าง Convert map projection parameter.....	178
ค.26 หน้าต่าง Registration parameters.....	179
ค.27 ภาพถ่ายดาวเทียมหลังจากการเปลี่ยนแปลงพิกัดระบบภูมิศาสตร์.....	179
ค.28 หน้าต่าง Image ของภาพถ่ายดาวเทียมที่ผ่านการผสมแบนด์ 7-5-3.....	180
ค.29 หน้าต่าง Output display to image file.....	181
ค.30 หน้าต่าง Select spatial subset และ Subset function.....	181
ค.31 หน้าต่าง Select spatial subset และ Spatial subset by map coordinate	182
ค.32 ภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากตัดภาพ.....	182
ค.33 การตัดกริดภาพจาก Google earth เพื่อกำหนดพื้นที่ในการวัด.....	183
ค.34 เครื่องวัดค่าสภาพความต้านทานดิน METREL earth tester รุ่น MI 2124.....	184
ค.35 การวัดที่ระยะห่างระหว่างแท่งอิเล็กโทรด 2 เมตร ระยะลึก 10 เซนติเมตร.....	184
ค.36 การวัดที่ระยะห่างระหว่างแท่งอิเล็กโทรด 3 เมตร ระยะลึก 15 เซนติเมตร.....	184
ค.37 หน้าต่าง Map coordinate converter.....	186
ค.38 หน้าต่าง ROI Tool.....	187
ค.39 การแสดง Cursor location /Value หรือแสดงข้อมูลของภาพ และหน้าต่าง ROI Tool.....	189
ค.40 การระบายสีพื้นที่ตัวอย่างในหน้าต่าง Zoom.....	189
ค.41 การกำหนด New region และระบายสี.....	190
ค.42 หน้าต่าง Save ROI to file.....	190
ค.43 การ Restore ROIs มาใช้งาน.....	191
ค.44 วิธีการจำแนกประเภทข้อมูล.....	192
ค.45 หน้าต่าง Classification input file.....	193
ค.46 หน้าต่าง Maximum likelihood parameters.....	194
ค.47 ผลการจำแนกค่าสภาพความต้านทานดิน.....	194
ค.48 การปรับปรุงผลการจำแนกประเภทข้อมูล.....	195
ค.49 หน้าต่าง Classification input file.....	196

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ค.50 หน้าต่าง Sieve parameters.....	197
ค.51 ภาพที่ผ่านการ Sieve ข้อมูล.....	198
ค.52 หน้าต่าง Grid line parameter.....	199
ค.53 การบันทึกภาพแผนที่สภาพความต้านทานดิน.....	200
ค.54 หน้าต่าง Annotation.....	201
ค.55 การตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่สภาพความต้านทานดิน.....	202
ค.56 หน้าต่างเริ่มต้นของโปรแกรม Arc view.....	203
ค.57 หน้าต่างโปรแกรม Arc view ที่แสดงสายจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 kV.....	204
ค.58 หน้าต่างคำสั่ง Add Theme.....	205
ค.59 แผนที่สภาพความต้านทานดินซ้อนทับบนสายจ่ายไฟฟ้า บนโปรแกรม Arc view.....	205
ค.60 หน้าต่างการปรับเปลี่ยนข้อมูลสายจ่าย 22 kV	206
ค.61 หน้าต่าง Export ภาพจากโปรแกรม Arc view.....	207
ง.1 เครื่องวัดความต้านทานดิน.....	209
ง.2 สายไฟสำหรับวัดค่าสภาพความต้านทานดิน.....	210
ง.3 แท่งอิเล็กโทรดสำหรับวัดค่าสภาพความต้านทานดิน.....	211
ง.4 เทอร์โมมิเตอร์ Thermometer รุ่น WT-1.....	211
ง.5 เครื่องมือวัดความชื้นในดิน.....	212
ง.6 เครื่องวัดพิคโคมิเตอร์ Etrex H.....	213
จ.1 อิมพีแดนซ์ของสายส่งกำลังไฟฟ้า.....	216
จ.2 วงจรสมมูลค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งกำลังไฟฟ้า.....	217
จ.3 วงจรสมมูลรวมของค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งกำลังไฟฟ้า.....	217
จ.4 การวิเคราะห์กระแสเสถียรวงจรลงดินย้อนกลับในสถานีไฟฟ้า ของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงดันสูง.....	218
จ.5 การวิเคราะห์กระแสเสถียรวงจรลงดินย้อนกลับระหว่าง 2 สถานีไฟฟ้า ของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงดันสูง.....	220

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
จ.6	วงจรมุมลของกระแสควงจรลงดินย้อนกลับระหว่าง 2 สถานีไฟฟ้า ของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงดันสูง.....221
จ.7	วงจรมุมรวมของกระแสควงจรลงดินย้อนกลับระหว่าง 2 สถานีไฟฟ้า ของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงดันสูง.....222

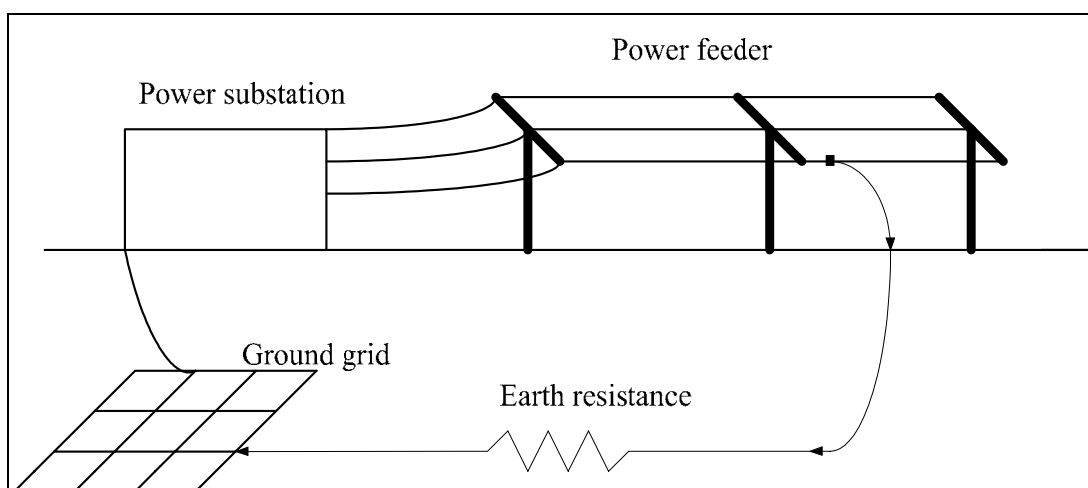
บทที่ 1

บทนำ

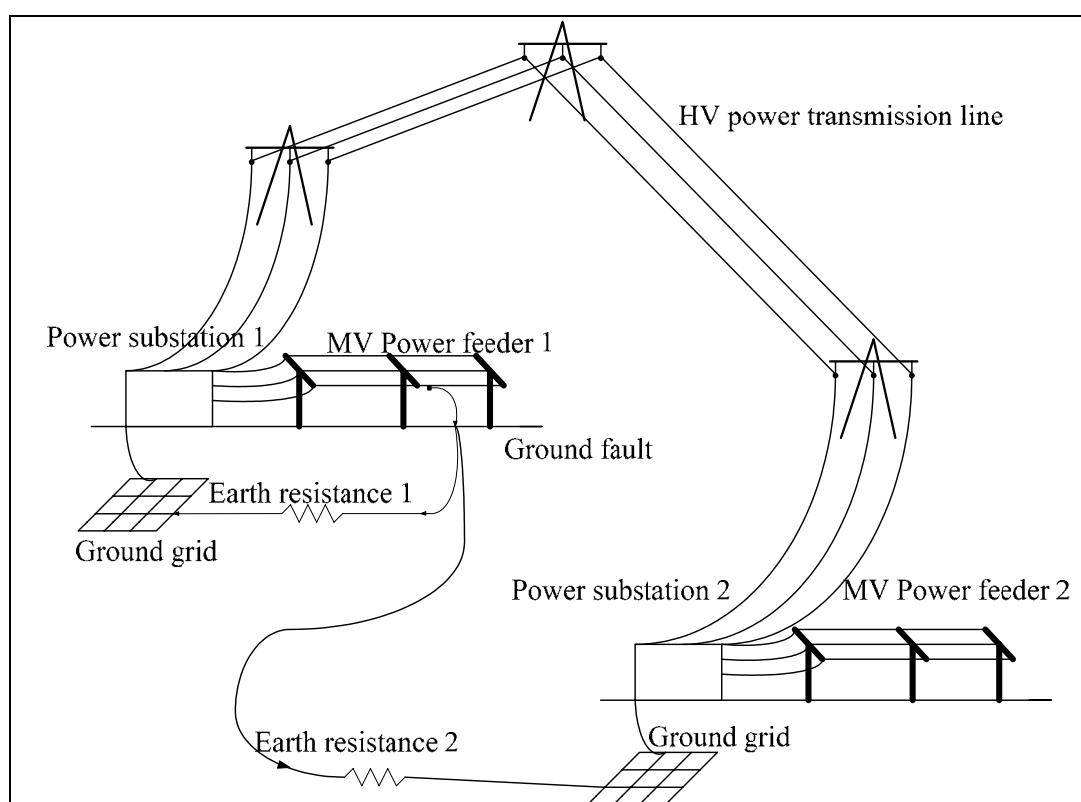
1.1 ความสำคัญของปัญหา

การออกแบบการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้า (Power substation) ต้องอาศัยข้อมูลค่าสภาพความต้านทานของดิน (Earth resistivity) ในบริเวณที่ก่อสร้างอาคารสถานีไฟฟ้า โดยเมื่อเกิดการลัดวงจรลงดิน ความต้านทานของกราวด์กริด (Ground grid) ที่ถูกออกแบบไว้จะสามารถช่วยให้กระแสลัดวงจรลงดินมีค่าอยู่ในขอบเขตที่กำหนด และกระแสลัดวงจรลงดินจะไหลย้อนกลับมาสู่สถานีไฟฟ้าผ่านกราวด์กริดดังรูปที่ 1.1 เนื่องจากระบบสายจ่ายกำลังไฟฟ้าอาจจะมีระยะจ่ายได้หลายกิโลเมตร ครอบคลุมไปตามพื้นที่ต่าง ๆ ซึ่งในพื้นที่ที่สายจ่ายกำลังไฟฟ้า (Power line distribution) ลากผ่านจะมีสภาพต้านทานดินแตกต่างออกไปจากบริเวณสถานีไฟฟ้า ในการเกิดการลัดวงจรลงดินของสายจ่ายกำลังไฟฟ้า กระแสลัดวงจรลงดินจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน ดังรูปที่ 1.2 ส่วนหนึ่งจะไหลกลับไปยังกราวด์กริดของสถานีไฟฟ้าของสายจ่ายที่เกิดลัดวงจร กระแสลัดวงจรส่วนที่เหลือจะไหลไปยังกราวด์กริดของสถานีไฟฟ้าอื่น ๆ ที่อยู่ข้างเคียง ถ้าสภาพต้านทานของดินในบริเวณที่เชื่อมต่อจากตำแหน่งลัดวงจรไปยังสถานีไฟฟ้าของสายจ่ายนั้นมีค่าสูง และ สภาพต้านทานของดินจากตำแหน่งลัดวงจรไปยังสถานีไฟฟ้าข้างเคียงมีค่าต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญ จะทำให้กระแสลัดวงจรปริมาณน้อยเท่านั้นที่ไหลกลับสู่สถานีไฟฟ้าของสายจ่ายที่เกิดการลัดวงจร กระแสลัดวงจรส่วนใหญ่จะไหลกลับไปยังสถานีไฟฟ้าข้างเคียง ที่มีความต้านทานโดยรวม ของกราวด์กริดรวมกับความต้านทานของชั้นดินต่ำกว่า ทำให้รีเลย์ป้องกันการลัดวงจรลงดิน (Ground Fault Relay) ของสถานีไฟฟ้าข้างเคียงตรวจพบกระแสลัดวงจรลงดิน เป็นสาเหตุของการทำงานผิดพลาดของรีเลย์ป้องกันการลัดวงจรลงดินทำให้เกิดการตัดวงจรของสถานีไฟฟ้าที่ไม่ได้เกิดการลัดวงจร

จากปัญหาข้างต้นสิ่งที่เป็นปัจจัยในการเกิดการตัดวงจรของสถานีไฟฟ้าที่ไม่ได้เกิดการลัดวงจรนั้น เกิดจากสภาพต้านทานของดินมีผลต่อการไหลของกระแสลัดวงจรลงดิน ทำให้ต้องมีการวิเคราะห์สภาพต้านทานของดินครอบคลุมพื้นที่สายจ่ายของสถานีไฟฟ้าที่พิจารณา และสถานีไฟฟ้าข้างเคียง เพื่อนำมาใช้ทำนายทางเดินของกระแสลัดวงจรลงดินย้อนกลับไปยังสถานีไฟฟ้าได้ เนื่องจากพื้นที่การจ่ายไฟฟ้าของระบบสายจ่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ครอบคลุมพื้นที่หลายตารางกิโลเมตร ทำให้การทดสอบด้วยการวัดค่าสภาพต้านทานของดินโดยตรงด้วยอุปกรณ์ทดสอบสิ้นเปลืองเวลา แรงงาน ค่าใช้จ่าย และเข้าถึงยากในบางพื้นที่



รูปที่ 1.1 ทางเดินของกระแสควงจรลงดินในระบบสายจ่ายกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 1.2 ทางเดินของกระแสควงจรลงดินในระบบสายจ่ายกำลังไฟฟ้า
เมื่อพิจารณาผลจากสถานีข้างเคียง

ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภาพถ่ายดาวเทียม จากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติในการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ เช่น ป่าไม้ การใช้ประโยชน์ที่ดิน แหล่งแร่ ชนิดดิน เป็นต้น ซึ่งสามารถทำได้โดยการประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลในรูปแบบต่าง ๆ จากภาพถ่ายดาวเทียม ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์สภาพด้านทานของดิน เพื่อประมาณค่าและสร้างแผนที่ของสภาพด้านทานของดิน (Earth resistivity map: ER map) ครอบคลุมพื้นที่ระบบสายจ่ายของสถานีไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์ทางเดินของกระแสลัดวงจรลงดินย้อนกลับในการแก้ปัญหาการลัดวงจรลงดินในสายจ่ายต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- เพื่อประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียมครอบคลุมพื้นที่ของระบบสายจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
- เพื่อวิเคราะห์สภาพด้านทานของดินครอบคลุมพื้นที่สายจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ จากภาพถ่ายดาวเทียม
- เพื่อวิเคราะห์แนวของสายจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ ในเชิงแผนที่ ประกอบกับแผนที่สภาพความต้านทานดินที่ได้จากการวิเคราะห์จากภาพถ่ายดาวเทียม
- เพื่อวิเคราะห์ทางเดินของกระแสลัดวงจรลงดินย้อนกลับที่เกิดขึ้นในระบบสายจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ อันเป็นผลมาจากค่าสภาพความต้านทานดิน

1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น

- เพื่อประมวลผลจากภาพถ่ายดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติแลนด์แซท 5 (Landsat 5)
- วิเคราะห์สภาพความต้านทานดิน ในระดับความลึกประมาณ 3 เมตร จากผิวดิน
- วิเคราะห์และประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียมด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมเอนวี (ENVI) เป็นโปรแกรมหลัก
- ใช้การสำรวจภาคสนามมาเป็นข้อมูลประกอบการวิเคราะห์ข้อมูล
- วิเคราะห์สภาพความต้านทานดินจากภาพถ่ายดาวเทียมครอบคลุมพื้นที่ สถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 และ 2
- วิเคราะห์ทางเดินของกระแสลัดวงจรย้อนกลับที่เกิดขึ้นในระบบสายจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 และ 2 อันเป็นผลมาจากค่าสภาพความต้านทานดิน

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

- ประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียม ครอบคลุมบริเวณพื้นที่ของระบบสายจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 และ 2 จังหวัดนครราชสีมาเพื่อเป็นกรณีศึกษา
- วิเคราะห์ความต้านทานของดินจากภาพถ่ายดาวเทียมด้วยวิธีการจำแนกประเภทข้อมูล โดยอาศัยข้อมูลการสำรวจภาคสนามจากพื้นที่จริง เพื่อสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดิน
- วิเคราะห์แนวของสายจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ ในเชิงแผนที่ ครอบคลุมพื้นที่ สถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 และ 2 ประกอบด้วยแผนที่สภาพความต้านทานดินที่ได้จากการวิเคราะห์ จากภาพถ่ายดาวเทียม
- วิเคราะห์ทางเดินของกระแสลัดวงจรย้อนกลับที่เกิดขึ้นในระบบสายจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 และ 2 อันเป็นผลมาจากค่าสภาพความต้านทานดิน ที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียม

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- พบวิธีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีทางภาพถ่ายดาวเทียมมาใช้ในระบบไฟฟ้า
- ได้วิธีการสร้างแผนที่สภาพต้านทานของดินจากการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียม
- ได้วิธีการนำแผนที่สภาพความต้านทานดินไปประยุกต์ใช้ในระบบไฟฟ้า
- การวิเคราะห์ทางเดินของกระแสลัดวงจรลงดินย้อนกลับสามารถใช้แผนที่สภาพ ความต้านทานดินประกอบในการวิเคราะห์เพื่อเพิ่มเสถียรภาพของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า
- ได้เผยแพร่ความรู้จากงานวิจัยในที่ประชุมทางวิชาการหรือในวารสารวิชาการ

1.6 การจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย 7 บท และ 6 ภาคผนวก *บทที่ 1* เป็นบทนำกล่าวถึงความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตของงานวิจัย และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย รวมทั้งแนะนำเนื้อหาเบื้องต้นของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ส่วนบทอื่น ๆ ประกอบด้วยเนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงปริทัศน์วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ความต้านทานดิน การสำรวจระยะไกลด้วยดาวเทียม ระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ การจำแนกประเภทข้อมูล โปรแกรมวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียม และการเกิดกระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับ

บทที่ 3 กล่าวถึงการทดสอบวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อศึกษาสภาพความต้านทานดิน จากภาพที่ผ่านการผสมแบนด์แบบต่าง ๆ และจากภาพที่ผ่านวิธีการนำช่วงคลื่นหรือแบนด์ มาผ่าน

กระบวนการทางคณิตศาสตร์ (Band math) โดยใช้วิธีการจำแนกประเภทข้อมูลในการประมาณค่าสภาพความต้านทานดิน

บทที่ 4 กล่าวถึงการทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความต้านทานดิน โดยการสำรวจภาคสนามวัดค่าสภาพความต้านทานดิน การทดสอบในกระบะดินทดสอบ เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความต้านทานดิน

บทที่ 5 กล่าวถึงการสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดินจากการประมาณค่าด้วยภาพถ่ายดาวเทียม โดยใช้วิธีการจำแนกประเภทข้อมูล จากข้อมูลการสำรวจในภาคสนาม

บทที่ 6 กล่าวถึงการวิเคราะห์ทางเดินของกระแสลัดวงจรลงดินย้อนกลับอันเป็นผลมาจากค่าสภาพความต้านทานดิน โดยการสร้างแบบจำลองค่าสภาพความต้านทานดิน และวิเคราะห์พื้นที่สายจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ทำให้รั่วไหลป้องกันการลัดวงจรลงดินมีโอกาทำงานผิดพลาด

บทที่ 7 กล่าวถึงบทสรุปและข้อเสนอแนะ

ภาคผนวก ก. ตารางการวัดค่าสภาพความต้านทานดิน

ภาคผนวก ข. ตารางการโคจรของดาวเทียมแลนดซ์แซต 5

ภาคผนวก ค. การใช้โปรแกรม ENVI

ภาคผนวก ง. อุปกรณ์การดำเนินงาน

ภาคผนวก จ. รายละเอียดเบื้องต้นของแนวทางในการวิจัยต่อไป

ภาคผนวก ช. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา

บทที่ 2

ปฏิสัมพันธ์ธรรมชาติและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึง ปฏิสัมพันธ์ธรรมชาติและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง โดยปฏิสัมพันธ์ธรรมชาติจะสรุปโดยย่อเกี่ยวกับงานวิจัยของนักวิจัยต่าง ๆ ที่ดำเนินงานวิจัยเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภาพถ่ายดาวเทียมในด้านธรณีวิทยา และกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ได้แก่ ความต้านทานดิน ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความต้านทานดิน การวัดค่าความต้านทานดิน การสำรวจระยะไกลด้วยดาวเทียม ระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ การจำแนกประเภทข้อมูล ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ทั้งหมด

2.2 ปฏิสัมพันธ์ธรรมชาติ

จากการทบทวนวรรณกรรม สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง เกี่ยวกับการวิเคราะห์ค่าสภาพความต้านทานดินและการต่อลงดิน สำหรับระบบสายจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ และการประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียมที่มีการประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ สามารถสรุปทฤษฎี หลักการ และวิธีการดำเนินงานวิจัยต่าง ๆ ที่ใช้โดยย่อได้ดังนี้

การนำเทคโนโลยีทางภาพถ่ายดาวเทียมมาประยุกต์ใช้ในการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ มีการนำมาประยุกต์ใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Giannetti, Montanarella, and Salandini (2001) ได้ทำการวิเคราะห์ลักษณะทางธรณีวิทยาในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยด้วยวิธีการจำแนกข้อมูลโดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียมแลนดแซตทีเอ็ม (Landsat TM) และ ดาวเทียมสปอต (SPOT) งานวิจัยของ Wylie, Meyera, Tieszenb, and Mannelc (2002) ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะชีวะฟิสิกส์ของดินบริเวณผิวดิน บริเวณทุ่งหญ้าทางภาคเหนือของอเมริกา และงานวิจัยของ Sabins (1999) ได้ทำการประยุกต์ใช้ข้อมูลจากดาวเทียม Landsat 4 5 7 ดาวเทียม SPOT และดาวเทียม AVIRIS ในการสำรวจแหล่งแร่เหล็กและทองแดงในอเมริกา นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอีกมากมายที่มีการนำเทคโนโลยีการสำรวจด้วยดาวเทียมมาใช้ประโยชน์ ในประเทศไทยก็เช่นเดียวกันมีการนำเอาเทคโนโลยีการสำรวจด้วยดาวเทียมมาประยุกต์ใช้ประโยชน์มากมายเช่น งานวิจัยของวิทยาสรรพตสมัย (2541) มีการนำมาประยุกต์ใช้ในการสำรวจแหล่งแร่และวัตถุคืบ โดยใช้การแปลความหมายของลักษณะภูมิประเทศที่แตกต่างกันบนภาพถ่ายดาวเทียม และจัดทำเป็นแผนที่โครงสร้าง

ทางธรณีวิทยา ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดความเป็นไปได้ของขอบเขตการแผ่กระจายของแหล่งแร่และ วัตถุคืบในบริเวณที่ต้องการจะสำรวจ งานวิจัยของสมศักดิ์ พันธุ์หนองหว้า (2542) มีการประยุกต์ใช้ ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมและระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน บริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด อำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยอง งานวิจัยของกัญฉะ มลิลลา (2544) มีการศึกษาปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับเกลือหินในแอ่งโคราชโดยใช้การรับรู้ระยะไกล ประกอบกับการสำรวจธรณีฟิสิกส์และการสำรวจภาคสนาม งานวิจัยของสุจิตรา เจริญทรัพย์ยิ่งยศ (2545) มีการใช้ประโยชน์จากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat TM ในช่วงคลื่นความร้อนเพื่อใช้ตรวจหา ความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นผิว จากผลกระทบที่เกิดจากการเพิ่มขึ้นของอาคารสูงในเขต กรุงเทพฯ นอกจากนี้ยังมีหน่วยงานต่าง ๆ ที่มีการนำไปประยุกต์ใช้งาน เช่น กรมทรัพยากรธรณี กรมพัฒนาที่ดิน เป็นต้น ซึ่งจะเห็นว่าการนำภาพถ่ายดาวเทียมมาวิเคราะห์และแปลความหมายของ ข้อมูลในการประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ มากมาย แต่ยังไม่มีการนำมาประยุกต์ใช้ในการ ประเมินค่าและวิเคราะห์ ค่าสภาพความต้านทานดินซึ่งจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ ใน ระบบไฟฟ้าได้

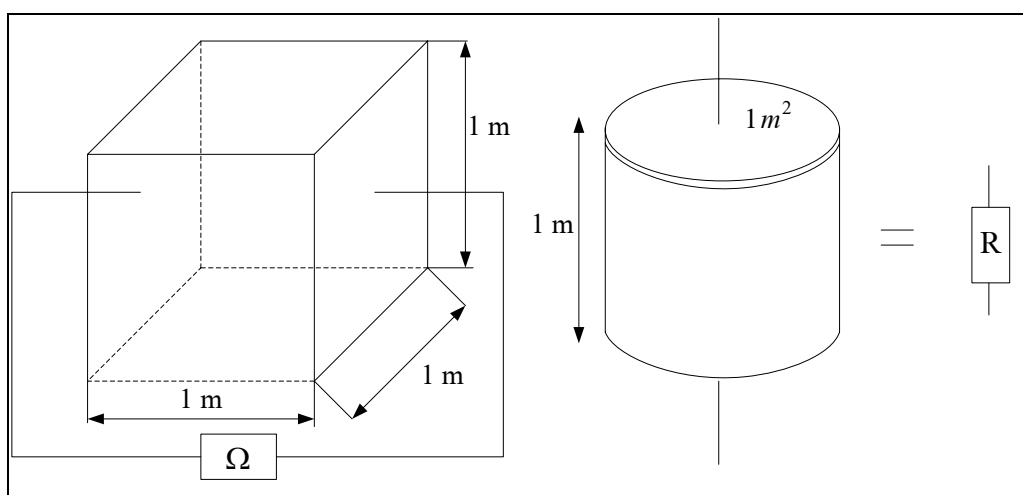
2.3 สภาพความต้านทานดิน

ค่าสภาพความต้านทานดิน มีความสำคัญในระบบไฟฟ้าทั้งในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าและ การติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ เพราะระบบไฟฟ้ามีการต่อลงดินเพื่อใช้เทียบแรงดันไฟฟ้าให้เป็น ศูนย์ และเพื่อความปลอดภัยในกรณีที่เกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือ เรียกว่าการต่อสายดิน (Grounding) โดยธรรมชาติแล้วค่าสภาพความต้านทานดินไม่ได้มีค่าเดียวกัน ทั่วทั้งบริเวณ แม้ว่าจะอยู่ในบริเวณที่ใกล้เคียงกันก็ตาม เพราะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิด ของดิน ความชื้นของดิน อุณหภูมิ เป็นต้น ส่งผลให้ค่าสภาพความต้านทานดินมีการ เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เพราะขึ้นอยู่กับปัจจัยทางธรรมชาติ จึงได้มีการศึกษาเกี่ยวกับค่าสภาพ ความต้านทานดิน ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง และวิธีการวัดค่าสภาพความต้านทานดิน ดังต่อไปนี้

2.3.1 นิยามค่าสภาพต้านทานดิน

พื้นดินเป็นผิวโลกที่ประกอบไปด้วยมวลสารต่าง ๆ มากมาย ซึ่งไม่ได้ประกอบเป็น เนื้อเดียวกันหมด มีการแบ่งออกเป็นส่วนต่าง ๆ ตามการกำเนิดและการใช้งานพื้นที่ ค่าสภาพความ ต้านทานดินโดยชายชาญ โภธิสาร (2550) ได้มีการนิยามไว้ โดยให้ความหมายของค่าสภาพความ ต้านทานดินว่าเป็นค่าความต้านทานของดินจากบริเวณผิวน้ำดินลึกลงไป โดยที่ดินเปรียบเสมือน ตัวนำไฟฟ้าที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดใหญ่มาก ทำให้มีการนิยามค่าความต้านทานจำเพาะของดินหรือ ค่าสภาพความต้านทานดิน (ρ_E) ให้หมายถึงค่าที่ได้จากการวัดความต้านทานของดินที่มีปริมาตรหนึ่ง

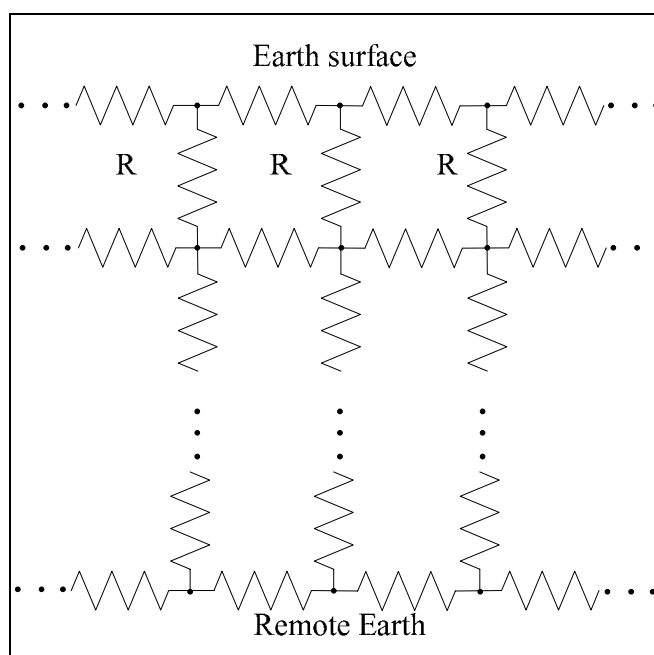
หน่วย โดยทั่วไปมีหน่วยเป็น โอห์มเมตร ($\Omega.m$) หรือหมายถึงค่าความต้านทานดินที่วัดระยะผิวหน้าของด้านตรงข้ามดินหนึ่งลูกบาศก์เมตร ดังรูปที่ 2.1 โดยที่ค่าสภาพความต้านทานดิน มีค่าเป็นส่วนกลับของสภาพการนำไฟฟ้า (σ) ของดินหนึ่งลูกบาศก์เมตร ดังสมการที่ (2.1) ดังนั้นค่าสภาพความต้านทานดินจึงเป็นค่าเฉลี่ยของความต้านทานดินต่อดินหนึ่งลูกบาศก์เมตร เพราะเนื้อดิน แต่ละส่วนอาจนำไฟฟ้าได้ไม่เท่ากัน



รูปที่ 2.1 สภาพความต้านทานจำเพาะของดิน

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \quad (2.1)$$

โครงสร้างของดินประกอบไปด้วยค่าสภาพความต้านทานดินประกอบกัน ทั้งอยู่ในรูปแบบของการต่ออนุกรม และการต่อขนานกัน ทั้งในแนวระนาบและแนวตั้งดังรูปที่ 2.2 โดยดินมีลักษณะที่แบ่งลงไปเป็นชั้น ๆ ซึ่งดินไม่ได้เป็นเนื้อเดียวกันทั้งหมด ทำให้มีความแตกต่างของการนำไฟฟ้าหรือค่าสภาพความต้านทานดิน ซึ่งเมื่อระดับดินลึกกลงไปค่าสภาพความต้านทานดินก็ยังมีค่าน้อยลง จนถึงในระดับที่มีค่าเป็นศูนย์โอห์มหรือมีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์โวลต์ เรียกว่า รีโมทเอิร์ธ (Remote earth) ซึ่งมีระยะไกลมากไม่สามารถระบุระยะได้แน่นอน



รูปที่ 2.2 โครงสร้างความต้านทานของพื้นดิน

2.3.2 การเปลี่ยนแปลงของค่าสภาพความต้านทานดิน

การเปลี่ยนแปลงของค่าสภาพความต้านทานดิน ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น ชนิดของดิน ความชื้น อุณหภูมิ การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลทางธรรมชาติ คุณสมบัติทางเคมีหรือปริมาณแร่ธาตุ โดยเฉพาะปริมาณของธาตุเกลือ ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาอัตราการเปลี่ยนแปลงและแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากปัจจัยต่าง ๆ เพื่อนำมาประกอบในการวิเคราะห์ค่าสภาพความต้านทานดินจากภาพถ่ายดาวเทียม โดยได้ศึกษาจากวารสารของสถาบันวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Institute of Electrical and Electronic Engineers: IEEE) โดยสรุปปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความต้านทานดินได้ดังนี้

ชนิดของดิน

การเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากผลของชนิดของดิน เป็นเพราะว่าดินแต่ละชนิดมีส่วนประกอบที่แตกต่างกันออกไป และเนื้อดินก็ไม่ได้เป็นเนื้อเดียวกันทั้งหมด ส่วนประกอบบางอย่างอาจนำไฟฟ้าได้ดี หรือส่วนประกอบบางอย่างอาจนำไฟฟ้าได้ไม่ดี และดินแต่ละชนิดอาจมีส่วนประกอบที่หลากหลาย ขึ้นอยู่กับภูมิประเทศที่ตั้งอยู่ ลักษณะของการกำเนิด และการใช้งานของพื้นที่ โดยในเบื้องต้นสามารถสรุปผลอันเนื่องมาจากความแตกต่างของชนิดของดินได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความต้านทานดินอันเนื่องมาจากชนิดของดิน

ชนิดของดิน	ค่าสภาพความต้านทานดิน ดินเฉลี่ย ($\Omega.m$)
หินกรวด	600 - 2500
ดินเหนียวผสมหินกรวด	200 - 400
ดินโคลนปนทราย	100 - 500
ดินเหนียวปนทราย	50 - 200
ดินโคลน	80 - 300
ดินเหนียว	25 - 60
ดินผิวหน้า ดินปุ๋ย	10 - 55

ความชื้นของดิน

ความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความต้านทานของดิน โดยการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากความชื้นของดินนั้นเมื่อดินมีความชื้นสูงจะส่งผลให้ค่าสภาพความต้านทานดินมีค่าต่ำลง และในทางตรงกันข้ามเมื่อดินมีความชื้นต่ำหรือดินแห้งมากค่าสภาพความต้านทานดินก็จะมีค่าที่สูง ในเบื้องต้นสรุปได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความต้านทานดินที่ส่งผลมาจากความชื้นของดิน

เปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินตามน้ำหนัก (%)	ค่าสภาพความต้านทานดิน ($\Omega.m$)		
	Top soil	Sandy loam	Red clay
2	-	1850	-
4	-	600	-
6	1350	380	-
8	900	280	-
10	600	220	-
12	350	170	1800
14	250	140	550
16	200	120	200
18	150	100	140
20	120	90	100

ตารางที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความต้านทานดินที่ส่งผลมาจากความชื้นของดิน (ต่อ)

เปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินตามน้ำหนัก (%)	ค่าสภาพความต้านทานดิน ($\Omega.m$)		
	Top soil	Sandy loam	Red clay
22	100	80	90
24	100	70	80

อุณหภูมิ

การเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากอุณหภูมิของดินมีความสำคัญเช่นกัน เพราะในหนึ่งวันจะมีกลางวันและกลางคืน ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ แต่การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของดินจะเป็นไปอย่างช้า และไม่เปลี่ยนแปลงในอัตราที่แตกต่างกันมาก แต่การเปลี่ยนแปลงฤดูกาลทางธรรมชาติ อุณหภูมิของดินจะมีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกัน ในเบื้องต้นสามารถสรุปการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความต้านทานดิน จากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ดังตารางที่ 2.3

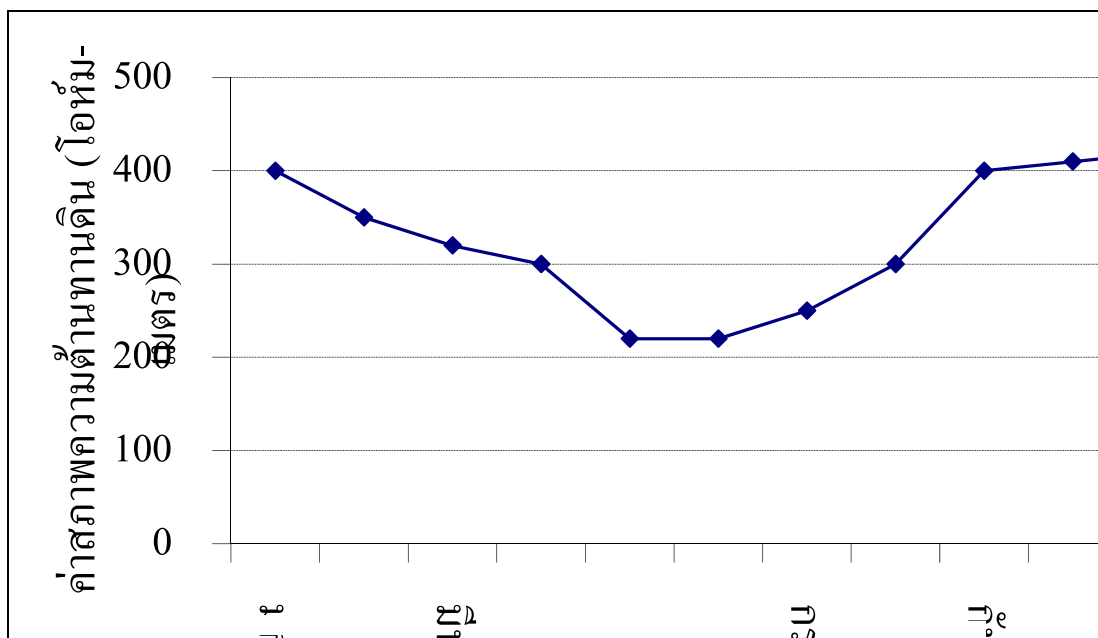
ตารางที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความต้านทานดินที่ส่งผลมาจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	ค่าสภาพความต้านทานดิน ($\Omega.m$)
-5	700
0 น้ำแข็ง	300
0 น้ำ	100
10	80
20	70
30	60
40	50
50	40

ฤดูกาล

การเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความต้านทานดินอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลทางธรรมชาติ โดยในประเทศไทยมีฤดู 3 ฤดู คือ ฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน โดยการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความต้านทานดินแสดงดังรูปที่ 2.3 โดยใน ฤดูหนาว และฤดูร้อน ดินจะมีความชื้นน้อยแต่จะแตกต่างกันที่อุณหภูมิ แต่ฤดูฝนดินจะมีความชื้นสูง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาล

ทางธรรมชาตินี้ จะมีความสัมพันธ์กันกับการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความต้านทานดินอันเนื่องมาจากความชื้นและอุณหภูมิของดิน



รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความต้านทานดินในช่วง 1 ปี

ข้อมูลปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความต้านทานของดินในเบื้องต้นนี้เป็นข้อมูลที่ยังอิงมาจากมาตรฐานของ IEEE ซึ่งอาจจะยังไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้โดยตรงแต่นำมาประกอบเพื่อเป็นแนวทางในการทดสอบปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อค่าสภาพความต้านทานดินซึ่งจะได้ทำการทดลองและทดสอบปัจจัยต่าง ๆ เพื่อนำมาประกอบในการวิเคราะห์ในพื้นที่จริงต่อไป

2.3.3 การวัดค่าสภาพความต้านทานดิน

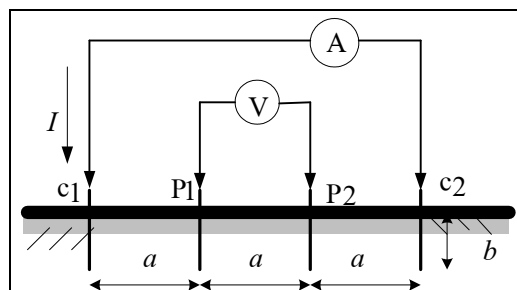
การวัดค่าสภาพความต้านทานจำเพาะของดินมีวิธีการวัดได้หลายวิธี เช่นวิธีการของ Schlumberger วิธีการใช้แท่งขั้วไฟฟ้า 3 แท่ง (Drivend) วิธีการใช้แท่งขั้วไฟฟ้า 4 แท่ง (Four-point method) หรือเรียกวิธีนี้ว่า เวนเนอร์ (Wenner) ซึ่งเป็นที่นิยมและเป็นที่ยอมรับผลของการวัดในการใช้งานทั่วไป โดยสามารถทำการวัดและคำนวณค่าความต้านทานจำเพาะของดินได้ทั้งแบบดินชั้นเดียวและดินหลายชั้น

การวัดค่าความต้านทานจำเพาะของดินโดยวิธีการของเวนเนอร์ (ชายชาญ โพธิสาร, 2550) เป็นวิธีการวัดโดยใช้หลักดินทดสอบจำนวน 4 แท่งปักไว้บนพื้นดินที่ต้องการวัดหาความต้านทานจำเพาะของดิน 4 จุดที่ระยะเท่า ๆ กันหรือเท่ากับระยะ a ดังรูปที่ 2.4 โดยปักให้อยู่ในแนว

เส้นตรงเดียวกันและปักลึกลงไปในดินไม่เกิน $(1/20)$ ของระยะห่าง a กระแสทดสอบจากเครื่องวัด (I) จะจ่ายออกมาสู่หลักนอกสุด 2 หลัก ไหลลงสู่ใต้ดินและทำให้มีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่หลักใน 2 หลัก แรงดันไฟฟ้าแปรตามความต้านทานดินซึ่งค่าความต้านทานที่ได้ จะเป็นผลมาจากอัตราส่วนระหว่างแรงดันกับกระแส (V/I) ที่ป้อน ค่าความต้านทาน (R) มีหน่วยเป็น โอห์ม (Ω) ค่านี้เป็นค่าเฉลี่ยของพิกัดความต้านทานของเนื้อดินที่ความลึกจากผิวลงไปเท่ากับระยะ a ของแท่งอิเล็กโทรด หรือค่าสภาพความต้านทานดิน (ρ_E) เฉลี่ยที่ความลึก D ดังรูปที่ 2.5 จากวิธีการวัดของเวนเนอร์เมื่อได้ค่าความต้านทาน (R) แล้วสามารถหาค่าสภาพความต้านทานดิน (ρ_E) ได้จากสมการที่ (2.2) แต่เนื่องจากระยะความลึก b มีค่าไม่เกิน $0.05a$ ซึ่งมีค่าน้อยมาก จึงสามารถลดรูปสมการลงเพื่อให้สะดวกต่อการคำนวณได้ดังสมการที่ (2.3)

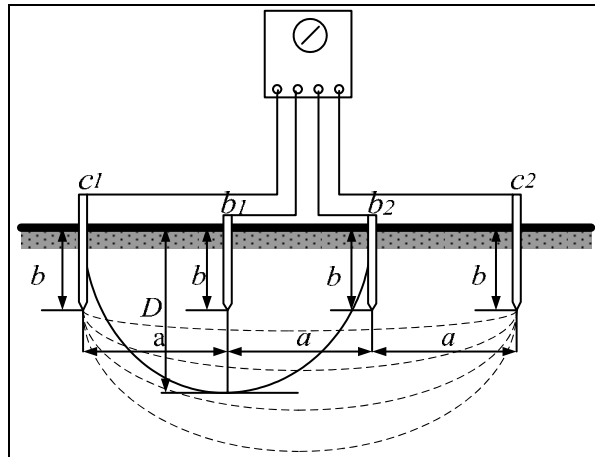
$$\rho_E = \frac{4\pi aR}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}} \quad (2.2)$$

$$\rho_E = 2\pi aR \quad (2.3)$$

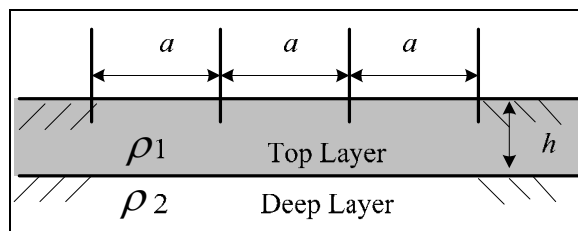


รูปที่ 2.4 วิธีการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของดินด้วยวิธีการของเวนเนอร์

ในบางพื้นที่อาจมีลักษณะของดินที่มากกว่าหนึ่งชั้น การหาค่าความต้านทานดินของดินสองชั้นหรือมากกว่าสองชั้น ซึ่งจะมีผลต่อความต้านทานจำเพาะของดิน จึงจำเป็นต้องทำการวัดและคำนวณหาค่าความต้านทานจำเพาะของดิน ซึ่งสามารถใช้วิธีการของเวนเนอร์ในการวัดค่าดินมากกว่าสองชั้นได้ โดยนำดินชั้นบนมาพิจารณาพร้อมกับดินชั้นล่างดังแสดงในรูปที่ 2.6 สามารถหาค่าสภาพความต้านทานดินเฉลี่ยของดินหลายชั้น ได้จากสมการที่ (2.4) และสมการที่ (2.5)



รูปที่ 2.5 ระยะเวลาของการวัดค่าสภาพต้านทานดิน



รูปที่ 2.6 การวัดค่าความต้านจำเพาะของดินหลายชั้นด้วยวิธีการของเวนเนอร์

โดยที่ h คือระยะลึกของดินชั้นบน ρ_1 คือ ความต้านทานจำเพาะของดินชั้นบน ρ_2 คือ ความต้านทานจำเพาะของดินชั้นล่าง

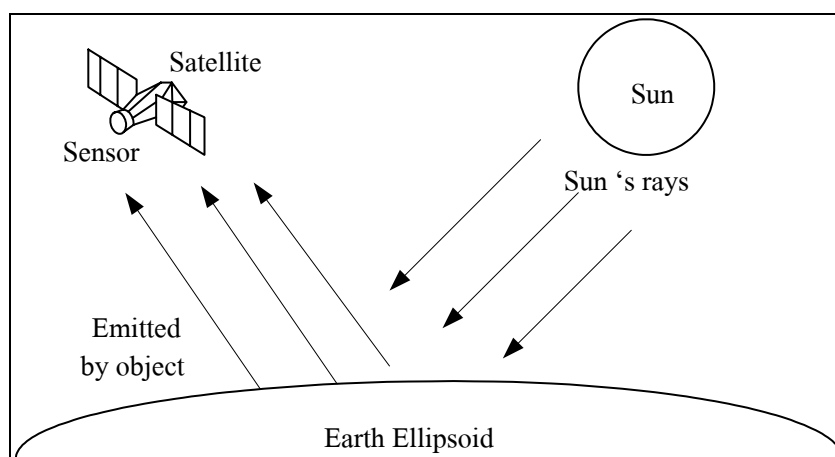
$$\rho_E = \rho_1 \left[1 + 4 \sum_{i=1}^{\infty} \frac{K^n}{\sqrt{1 + \left(2n \frac{h}{a}\right)^2}} - \frac{K^n}{\sqrt{4 + \left(2n \frac{h}{a}\right)^2}} \right] \quad (2.4)$$

$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \quad (2.5)$$

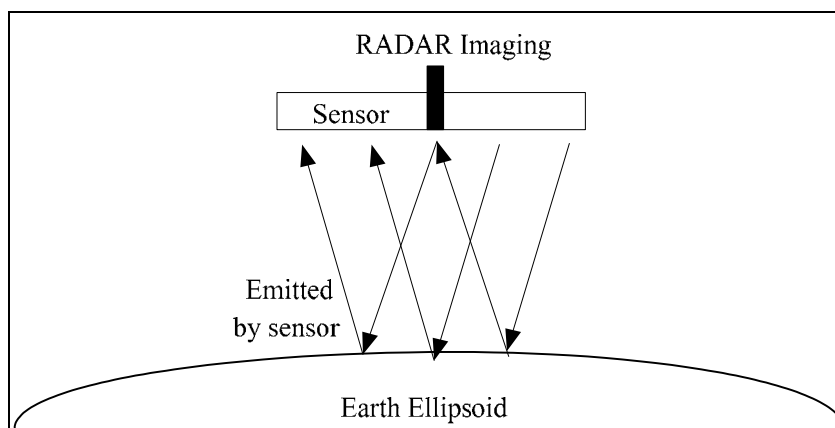
2.4 การสำรวจระยะไกลด้วยดาวเทียม

การสำรวจจากระยะไกล (Remote sensing) เป็นการสำรวจจากระยะไกล โดยเครื่องมือวัดไม่มีการสัมผัสกับสิ่งที่ต้องการตรวจวัดโดยตรง ทำการสำรวจโดยให้เครื่องวัดอยู่ห่างจากสิ่งที่ต้องการตรวจวัด โดยอาจติดตั้งเครื่องวัดเช่น กล้องถ่ายภาพ วิทยุที่ส่ง บนบอลลูน บนเครื่องบิน ยานอวกาศ หรือดาวเทียม แล้วอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ หรือสะท้อนมาจากสิ่งที่ต้องการสำรวจเป็นสื่อในการวัด การสำรวจโดยใช้วิธีนี้เป็นการเก็บข้อมูลที่ได้ข้อมูลจำนวนมาก ในบริเวณกว้างกว่าการสำรวจภาคสนาม

องค์ประกอบที่สำคัญของการสำรวจจากระยะไกลโดย Jensen (2007) ได้แก่ คลื่นแสงที่เป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ซึ่งเกิดจากการสะท้อนรังสีจากดวงอาทิตย์ (Passive remote sensing) ดังรูปที่ 2.7 และพลังงานจากตัวเองที่มีแหล่งพลังงานที่สร้างขึ้น (Active remote sensing) และส่งไปยังวัตถุเป้าหมาย เช่น ระบบเรดาร์ ดังรูปที่ 2.8 โดยวัตถุแต่ละชนิดมีอัตราการดูดซับและสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แตกต่างกัน

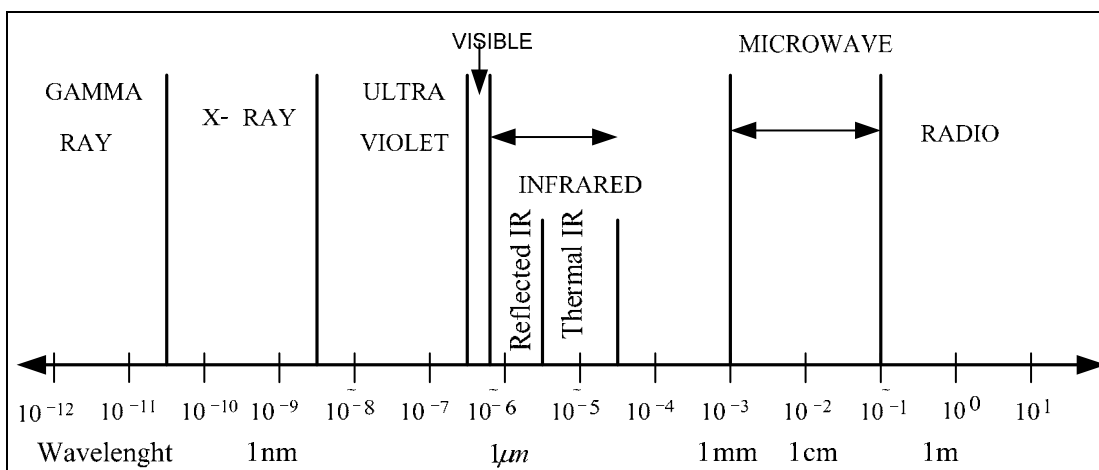


รูปที่ 2.7 การสะท้อนรังสีจากดวงอาทิตย์



รูปที่ 2.8 การสะท้อนรังสีจากตัวเองที่มีแหล่งพลังงานที่สร้างขึ้น

การสำรวจระยะไกลด้วยดาวเทียม เป็นการสำรวจเพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงพื้นที่ หรือปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในพื้นที่นั้น ๆ โดยไม่ต้องเข้าไปสัมผัสกับวัตถุ ไม่ต้องเข้าไปสำรวจในพื้นที่นั้น แต่อาศัยคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการบันทึกข้อมูลที่อยู่บนพื้นผิวโลก เกี่ยวข้องกับช่วงคลื่น (Spectral) ซึ่งช่วงคลื่นต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 2.9 รูปทรงสัญญาณของวัตถุบนพื้นผิวโลกจะมีการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา ดังนั้นข้อมูลที่บันทึกได้จากดาวเทียมจึงไม่เหมือนกับรูปถ่ายที่ถ่ายจากกล้องถ่ายรูปทั่วไป กล่าวคือรูปที่ถ่ายด้วยกล้องธรรมดานั้นเป็นการบันทึกภาพด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave) หรือแสงที่ตกกระทบกับวัตถุแล้วสะท้อนมายังกล้องถ่ายรูป เราจึงเห็นภาพที่ถ่ายแล้วเหมือนกับภาพที่เราเห็นจริง ๆ เนื่องจากแสงที่เรามองเห็นนั้นเป็นการผสมสีของแม่สี 3 สี ได้แก่ น้ำเงิน เขียว และแดง มีความยาวช่วงคลื่นระหว่าง 0.4 - 0.7 ไมโครเมตร เรียกว่า ช่วงคลื่นที่ตามองเห็น (Visible) แต่ข้อมูลที่บันทึกได้จากดาวเทียมนั้นไม่ได้บันทึกด้วยกล้องถ่ายรูปธรรมดา แต่เป็นเครื่องรับหรือเครื่องบันทึก (Sensor) ที่มีคุณสมบัติพิเศษที่บันทึกภาพเพียงช่วงคลื่นใดช่วงคลื่นหนึ่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เรียกว่า ช่วงคลื่นหรือแบนด์ (Band) ประกอบไปด้วยช่วงคลื่นที่ตามองเห็นและตาไม่สามารถมองเห็นได้ ตัวอย่างช่วงคลื่นของอุปกรณ์แบบมัลติสเปกตรัม (Multispectral) เช่น แบนด์ 1 บันทึกข้อมูลในช่วงคลื่น 0.45 - 0.52 ไมโครเมตร แบนด์ 2 บันทึกข้อมูลในช่วงคลื่น 0.52 - 0.60 ไมโครเมตร แบนด์ 3 บันทึกข้อมูลในช่วงคลื่น 0.63 - 0.69 ไมโครเมตร และช่วงคลื่นที่ตามองไม่เห็น เช่น แบนด์ 4 บันทึกข้อมูลในช่วงคลื่น 0.76 - 0.90 ไมโครเมตร เป็นช่วงคลื่นอินฟราเรด (Infrared) จากนั้นจึงเปลี่ยนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นต่าง ๆ ให้เป็นข้อมูลเชิงตัวเลข (Digital data) แล้วจัดเก็บไว้ ดังนั้น ภาพที่บันทึกได้จากดาวเทียมจึงไม่เรียกว่าภาพถ่ายดาวเทียม แต่เรียกว่า ภาพข้อมูลดาวเทียม และเมื่อใดที่ต้องการดูข้อมูล ก็เอาแต่ละช่วงคลื่นมาทำการผสมสี (Color composite) หรือเรียกว่าการผสมแบนด์ สร้างเป็นภาพอีกครั้งก่อนนำมาประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ



รูปที่ 2.9 ช่วงคลื่นที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ

2.4.1 ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ

การสำรวจระยะไกลด้วยดาวเทียมเป็นการใช้หลักการ คุณสมบัติ ปฏิสัมพันธ์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับบรรยากาศ และค่าการสะท้อนของวัตถุต่างชนิดกันบนพื้นผิวโลก เนื่องจากดาวเทียมสำรวจแต่ละดวงมีเครื่องบันทึกที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน ทำให้ข้อมูลที่บันทึกได้มีคุณสมบัติแตกต่างกันด้วย ทำให้ต้องมีการนำข้อมูลมาเข้าสู่กระบวนการเตรียมข้อมูล เช่น การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงคลื่น (Radiometric correction) การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิต (Geometric correction) เพื่อจัดความคลาดเคลื่อนต่าง ๆ ของข้อมูล และทำให้ข้อมูลที่ได้มีพิสัยตามระบบพิกัดบนแผนที่ และยังสามารถทำการปรับปรุงคุณภาพข้อมูล (Image enhancement) เช่น การผสมสีเพื่อให้ข้อมูลดาวเทียมแสดงสีของวัตถุที่เราสนใจให้เด่นชัดขึ้นมาได้ เพื่อให้เราสามารถทำการจำแนกแยกแยะวัตถุต่าง ๆ บนพื้นผิวโลกออกจากกันได้ เรียกว่า การจำแนกประเภทข้อมูล (Image classification) ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในงานด้านต่าง ๆ ได้ ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจระยะไกลด้วยดาวเทียมนี้ ได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะใช้ในการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ เช่น การใช้ประโยชน์ในด้านการติดตามและวางแผน การจัดการสิ่งแวดล้อม การสำรวจทางด้านธรณีวิทยา การติดตามและประเมินสภาพป่าไม้ ติดตามการขยายตัวของเมือง นอกจากนี้ยังรวมไปถึงการศึกษาผลกระทบหรือความเสียหายที่เกิดจากภัยธรรมชาติ เช่น ผลกระทบที่เกิดจากคลื่นสึนามิ ประเมินความเสียหายจากไฟฟ้า และอื่น ๆ อีกมากมาย

2.4.2 ดาวเทียมแลนด์แซต 5

ดาวเทียมแลนด์แซต 5 เป็นดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจร โดยจรวด McDonald Douglas Delta 3920 จากฐานทัพอากาศ Vandenberg California เมื่อวันที่ 1 มีนาคม พ.ศ.2527 ปัจจุบันยังโคจรและบันทึกข้อมูล เป็นดาวเทียมที่มีการนำมาใช้ประโยชน์ในการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติอย่างแพร่หลาย ใช้ระบบการสำรวจระยะไกลโดยอาศัยพลังงานแสงธรรมชาติมีความสูงของการโคจร 705 กิโลเมตร ลักษณะการโคจรแบบสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์โดยผ่านขั้วโลก (Near - polar sun - synchronized) เอียงทำมุมกับแกนโลก 98.2 องศา เวลาที่ท้องถิ่นในการบันทึกข้อมูล 9:30 นาฬิกา ใช้เวลาในการโคจรรอบโลก 1 รอบ 99 นาที มีจำนวนรอบของการโคจรใน 1 วัน 14.5 รอบ บันทึกข้อมูลซ้ำที่เดิม ทุก 16 วัน ใช้ระบบบันทึกข้อมูล Multispectral scanner (MSS) และ Thematic mapper (TM) รายละเอียดภาพ 80 เมตร (MSS) และ 30 เมตร (TM) ความกว้างของภาพ 185 กิโลเมตร โดยมีศักยภาพการใช้ประโยชน์ของอุปกรณ์บันทึกข้อมูลดังต่อไปนี้

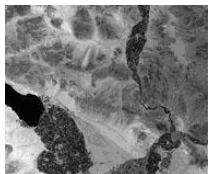
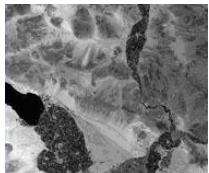
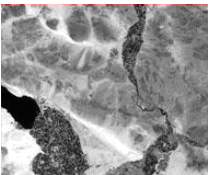

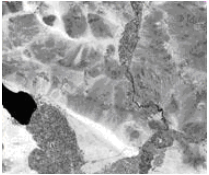
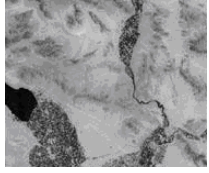
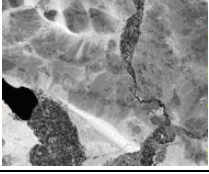
ตารางที่ 2.4 ศักยภาพการใช้ประโยชน์ของช่วงคลื่นระบบ Multispectral scanner

แบนด์	ความยาวคลื่น (ไมโครเมตร)	ศักยภาพการใช้ประโยชน์
4	0.5 - 0.6 น้ำเงินเขียว (visible light)	แยกพืชและสภาพความเขียว แสดงความแตกต่างของพืชพรรณต่าง ๆ ที่มีความไวต่อการมีหรือไม่มีคลอโรฟิลล์
5	0.6 - 0.7 แดง (visible light)	แสดงความแตกต่างชนิดพืช
6	0.7 - 0.8 อินฟราเรดใกล้ (near IR)	แสดงความแตกต่างของพืชและแหล่งน้ำ
7	0.8 - 1.1 อินฟราเรดใกล้ (near IR)	พืช ความชื้นในดิน เมฆ และหิมะ

ตารางที่ 2.5 ศักยภาพการใช้ประโยชน์ของช่วงคลื่น ระบบ Thematic mapper

แบนด์	ความยาวคลื่น (ไมโครเมตร)	ศักยภาพการใช้ประโยชน์
1	0.45 - 0.52 น้ำเงิน (visible light)	ใช้ตรวจสอบลักษณะน้ำตามชายฝั่ง แสดงความแตกต่างของต้นไม้ชนิดผลัดใบและไม่ผลัดใบออกจากกัน และแสดงความแตกต่างของพืชพรรณต่าง ๆ ที่มีความไวต่อการมีหรือไม่มีคลอโรฟิลล์
2	0.52 - 0.60 เขียว (visible light)	แสดงการสะท้อนพลังงานสีเขียวจากพืชพรรณที่เจริญเติบโตแล้ว
3	0.63 - 0.69 แดง (visible light)	แสดงความแตกต่างของการดูดกลืนคลอโรฟิลล์ในพืชพรรณชนิดต่าง ๆ กัน
4	0.76 - 0.90 อินฟราเรดใกล้ (near IR)	ใช้ตรวจวัดปริมาณมวลชีวะ แสดงความแตกต่างของน้ำและส่วนที่ไม่ใช่น้ำ
5	1.55 - 1.75 อินฟราเรดคลื่นสั้น (short-wave IR)	ตรวจวัดความชื้นในพืช ความแตกต่างหิมะกับเมฆ
6	10.4 - 12.5 อินฟราเรดความร้อน (thermal IR)	ใช้ตรวจการการเหี่ยวเฉาอันเนื่องมาจากความร้อนในพืช แสดงความแตกต่างของความร้อนบริเวณที่ศึกษา แสดงความแตกต่างของความชื้นของดิน
7	2.08 - 2.35 อินฟราเรดสะท้อน (short-wave IR)	ใช้ตรวจความร้อนในน้ำ ใช้แยกประเภทแร่ธาตุและหินชนิดต่าง ๆ

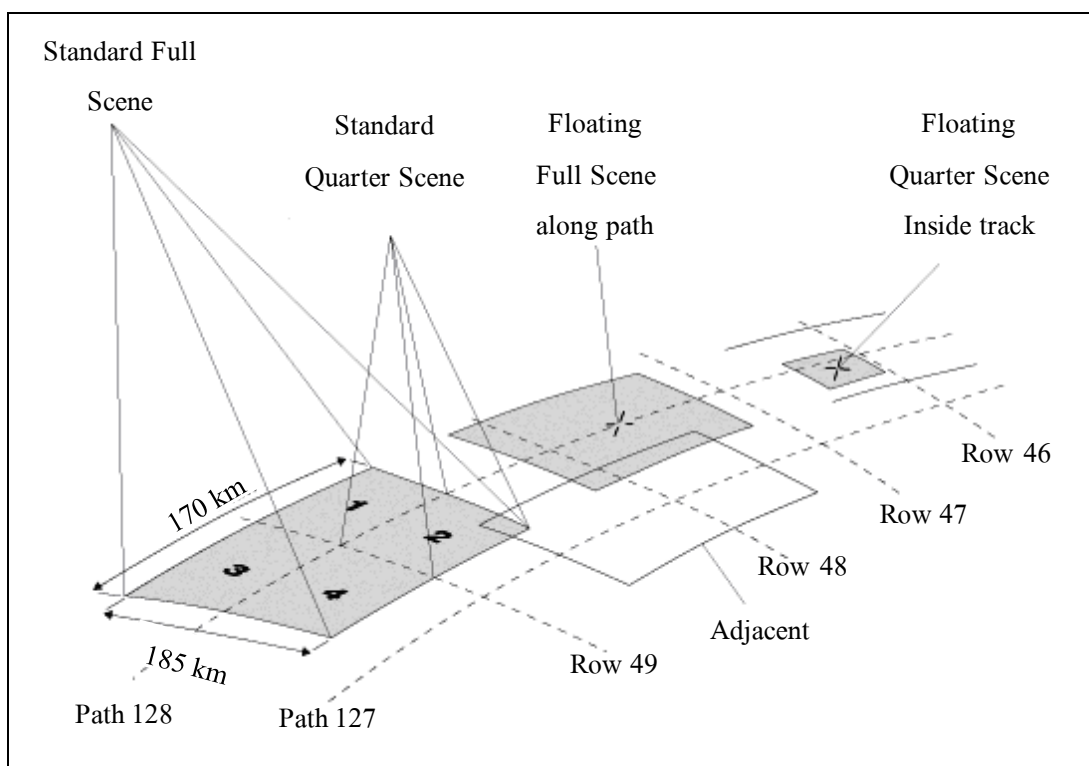
อุปกรณ์บันทึกข้อมูลของดาวเทียมแลนด์แซต 5 ใช้จัดเก็บข้อมูลของอัตราการสะท้อนของวัตถุบนพื้นผิวโลก โดยลักษณะการสะท้อนของแต่ละช่วงคลื่นจะมีความแตกต่างกันไป ตัวอย่างคุณสมบัติในการสะท้อนคลื่นจากพื้นโลกของดาวเทียมแลนด์แซต 5 ดังรูปที่ 2.10 ซึ่งแต่ละช่วงจะให้ภาพที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของแบนด์นั้นว่าสามารถสะท้อนวัตถุชนิดใดบนพื้นโลกได้ดี ดังนั้นการนำช่วงคลื่นมาผสมกันนั้นจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการสำรวจ หรือความเด่นชัดของวัตถุที่ผู้ใช้งานต้องการ

Band 1 0.45 - 0.52 ไมโครเมตร (น้ำเงิน)	
Band 2 0.52 - 0.60 ไมโครเมตร (เขียว)	
Band 3 0.63 - 0.69 ไมโครเมตร (แดง)	
Band 4 0.76 - 0.90 ไมโครเมตร (อินฟราเรดใกล้)	
Band 5 1.55 - 1.75 ไมโครเมตร (อินฟราเรดคลื่นสั้น)	
Band 6 10.4 - 12.5 ไมโครเมตร (อินฟราเรดความร้อน)	
Band 7 2.08 - 2.35 ไมโครเมตร (อินฟราเรดสะท้อน)	

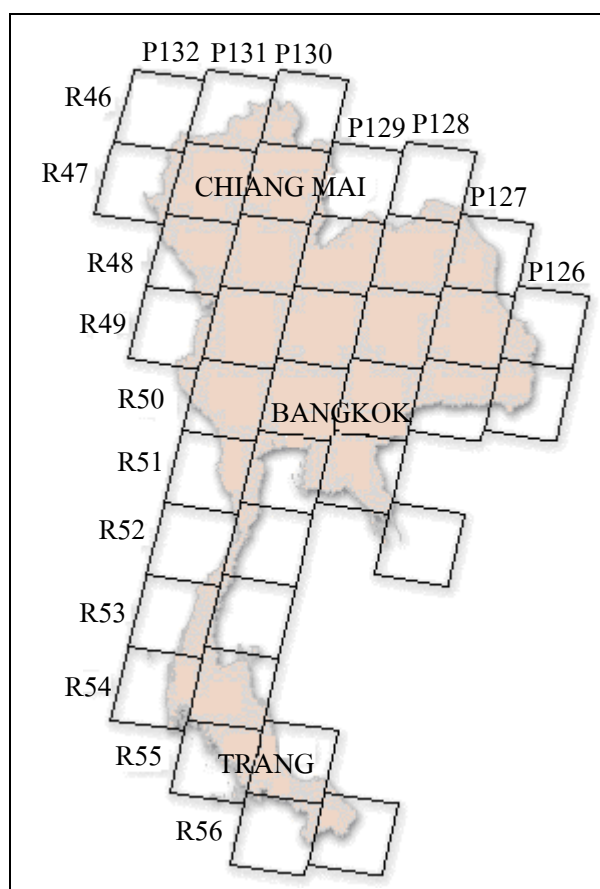
รูปที่ 2.10 คุณสมบัติในการสะท้อนคลื่นจากพื้น โลกของแต่ละช่วงคลื่น

ภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซต 5 มีขนาดภาพ 185 x 170 กิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 31450 ตารางกิโลเมตร แต่ในการบันทึกภาพของดาวเทียมยังมีการบันทึกข้อมูลเป็นภาพย่อยหรือภาพขนาดเล็กดังรูปที่ 2.11 ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้งานและถ้าต้องการภาพถ่ายดาวเทียมที่มีขนาดใหญ่มากต้องในภาพถ่ายดาวเทียมมาต่อกันตามความต้องการ โดยลักษณะของภาพถ่าย

จะแบ่งออกเป็น Part (P) และ Row (R) ต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ซึ่งเป็นภาพถ่ายดาวเทียมที่ครอบคลุมประเทศไทย สำหรับพื้นที่กรณีศึกษาใช้ภาพถ่ายดาวเทียมแบบมาตรฐาน (Standard full scene) P128 R50 เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา



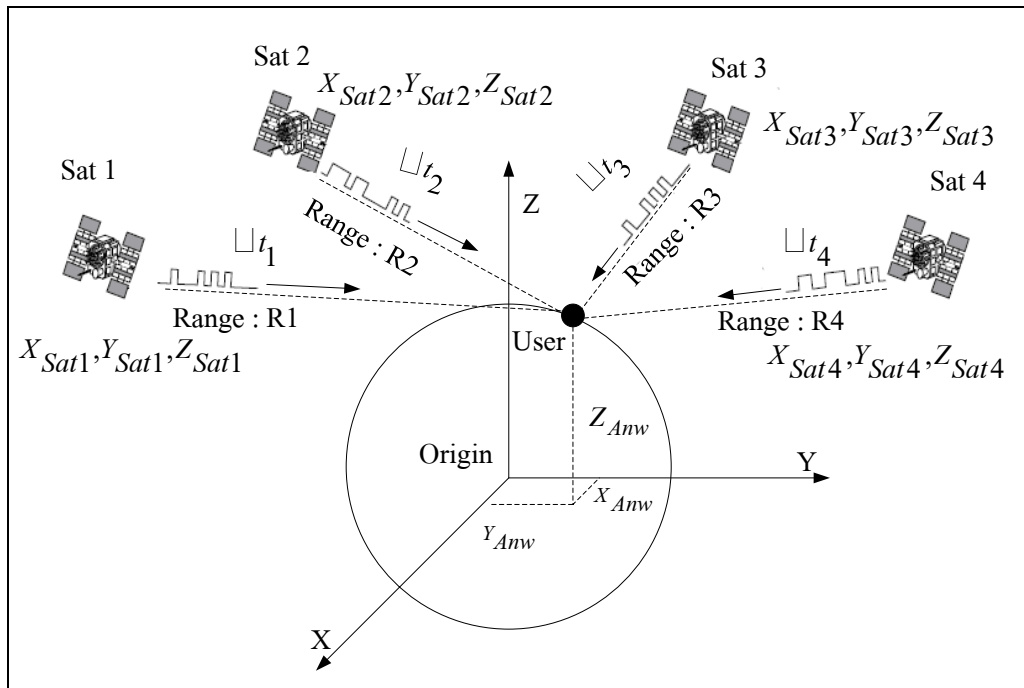
รูปที่ 2.11 ขนาดภาพภาพของดาวเทียมแลนด์แซต 5



รูปที่ 2.12 Part และ Row ที่ครอบคลุมประเทศไทยของภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซต 5

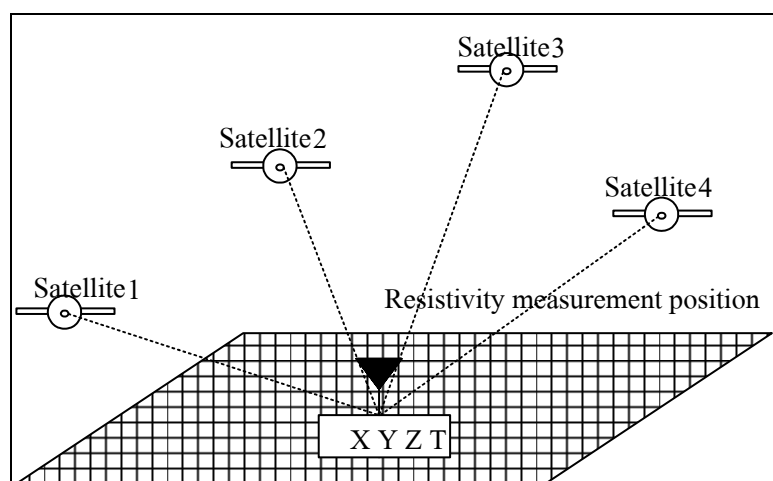
2.5 ระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์

ระบบระบุตำแหน่งพิกัดบนพื้นโลกเป็นระบบที่สร้างขึ้นสำหรับใช้อ้างอิงในการกำหนดตำแหน่ง หรือบอกตำแหน่งของพื้นโลกจากแผนที่ มีลักษณะเป็นตารางโครงข่ายที่เกิดจากตัดกันของเส้นตรง 2 ชุด ที่ถูกกำหนดให้วางตัวในแนวเหนือ – ใต้ (N) และแนวตะวันออก – ตะวันตก (E) ตามแนวของจุดศูนย์กำเนิด (Origin) ที่กำหนดขึ้น ค่าพิกัดที่ใช้อ้างอิงในการบอกตำแหน่งต่าง ๆ จะใช้ค่าของหน่วยที่นับออกจากจุดศูนย์กำเนิดเป็นระยะเชิงมุม (Degree) ในการหาพิกัดบนพื้นโลกต้องใช้ดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวงดังรูปที่ 2.13 ระบบพิกัดที่ใช้อ้างอิงกำหนดตำแหน่งบนแผนที่ที่นิยมใช้กับแผนที่ในปัจจุบัน มีอยู่ด้วยกัน 2 ระบบ คือ ระบบพิกัดภูมิศาสตร์ (Geographic coordinate system) และระบบพิกัดภูมิศาสตร์แบบกริด (Universal transverse mercator coordinate system: UTM) ในแต่ละระบบจะมีระบบแบ่งย่อยอีกซึ่งขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้งาน หรือมาตรฐานของแต่ละหน่วยงานที่นำไปใช้



รูปที่ 2.13 การระบุพิกัดจากดาวเทียม

ข้อมูลที่ทำกรนำเข้าโดยเทปบันทึกข้อมูลที่ทำกรอ่านเข้าสู่ระบบ ต้องมีการให้พิกัดภูมิศาสตร์แก่ข้อมูล เพื่อเป็นการปรับแก้ค่าความถูกต้องทางเรขาคณิต ยกเว้นข้อมูลที่มีการปรับแก้ค่าความถูกต้องทางเรขาคณิตมาแล้ว ซึ่งจะรู้ขอบเขตและพิกัดของข้อมูลที่แน่นอนโดยสามารถป้อนค่าพิกัด เพื่อเป็นการกำหนดค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ให้กับข้อมูลภาพที่ไม่ทราบพิกัด โดยอ้างอิงกับตำแหน่งที่ทราบค่าพิกัด ซึ่งสามารถเลือกตำแหน่งจากภาพและทำการป้อนค่าพิกัดเข้าไปเอง โดยข้อมูลการระบุตำแหน่งอาจได้จากการอ่านแผนที่ภูมิประเทศ หรือการรับพิกัดด้วยเครื่องระบุพิกัดทางภูมิศาสตร์ (Global positioning system: GPS) ในพื้นที่จริง การระบุพิกัดทางภูมิศาสตร์จะถูกนำมาใช้ในการระบุพิกัดของพื้นที่สำรวจภาคสนามดังรูปที่ 2.14 เพื่อสำรวจค่าสภาพความต้านทานดินสำหรับนำไปใช้ในการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียม



รูปที่ 2.14 การระบุพิกัดของจุดสำรวจภาคสนามเพื่อวัดค่าสภาพความต้านทานดิน

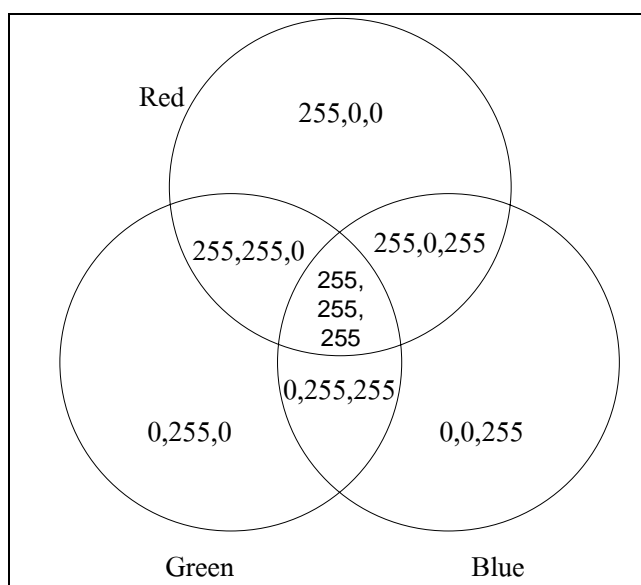
2.6 การผสมแบนด์ภาพถ่ายดาวเทียม

การบันทึกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแต่ละช่วงคลื่นหรือแบนด์จะอยู่ในรูปของข้อมูลตัวเลข 0–255 และถ้านำมาแสดงผลเป็นภาพ จะเป็นเพียงภาพแบบระดับสีเทา (Gray scale) จึงต้องมีการนำแบนด์ของภาพถ่ายดาวเทียมมาทำให้เกิดเป็นภาพสีต่าง ๆ โดยหลักการผสมสีเท็จแบบธรรมชาติ โดยการกำหนดให้ข้อมูลของแต่ละแบนด์เป็นแม่สี คือ สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน โดยในการผสมแบนด์นั้น ใช้จำนวน 3 แบนด์ในการผสมสี ดังรูปที่ 2.15 โดยใช้หลักการรวมค่าแบบเวกเตอร์ดังสมการที่ (2.6) หรือเรียกว่าการผสมแบนด์

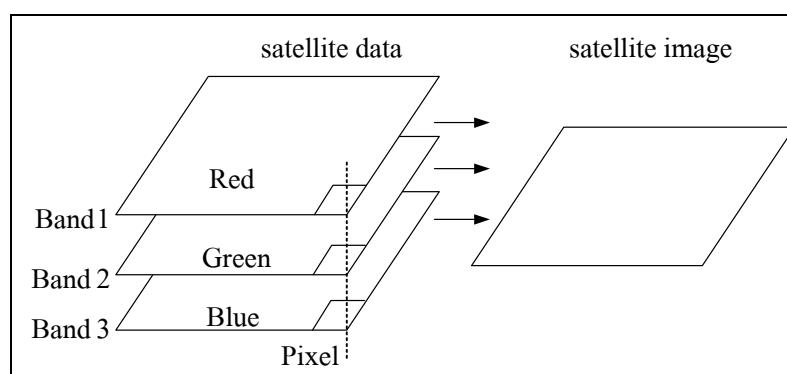
$$[R,0,0]+[0,G,0]+[0,0,B]=[R,G,B] \quad (2.6)$$

โดยที่ค่าสี $R = 0 - 255$ $G = 0 - 255$ $B = 0 - 255$ เมื่อผ่านการผสมแบนด์แล้ว ค่าของจุดภาพ (pixel) จะประกอบเป็นเวกเตอร์ดังสมการที่ (2.7) ซึ่งค่าต่าง ๆ จะถูกแสดงออกมาเป็นสีที่แตกต่างกันไป ลักษณะการผสมแบนด์ของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแสดงดังรูปที่ 2.16

$$1 \text{ Pixel} = [0-255, 0-255, 0-255] = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$



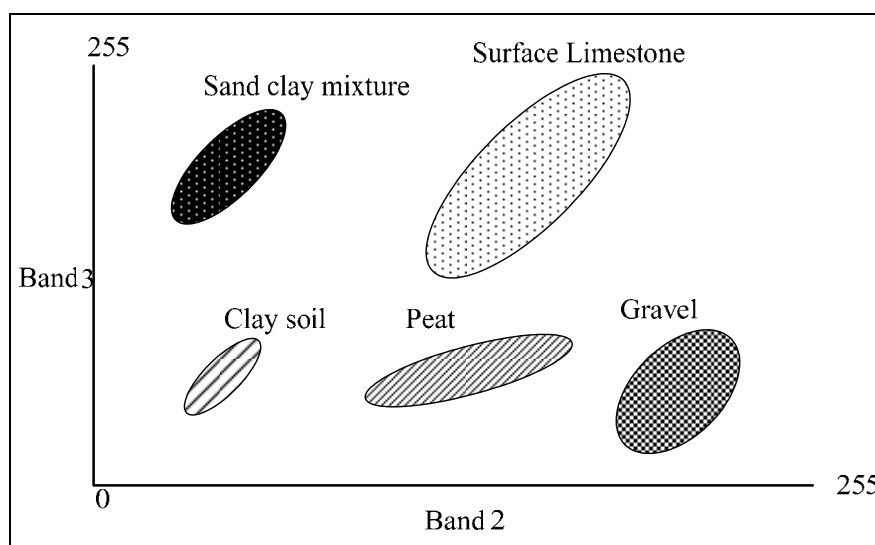
รูปที่ 2.15 การผสมสีเท็จ



รูปที่ 2.16 การผสมแบนด์ของภาพถ่ายดาวเทียม

2.7 การจำแนกประเภทข้อมูล

การจำแนกประเภทข้อมูล (Classification data) เป็นการวิเคราะห์เพื่อจำแนกข้อมูลเป็นประเภทกลุ่มข้อมูล สำหรับกลุ่มข้อมูลที่มีลักษณะที่คล้ายคลึงกันไว้ด้วยกันดังรูปที่ 2.17 ในการจัดกลุ่มข้อมูลหรือการจำแนกประเภทข้อมูลของภาพนั้นใช้ระยะสเปกตรัม (Spectral distance) ในการจัดกลุ่ม ซึ่งเป็นระยะที่วัดในปริภูมิ โดยใช้เวกเตอร์สองชุดเพื่อเปรียบเทียบกันในการหาความคล้ายคลึงกันของภาพ โดยระยะสเปกตรัมหาได้จากสมการที่ (2.8)



รูปที่ 2.17 การจัดกลุ่มข้อมูล

$$D = \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i - b_i)^2} \quad (2.8)$$

- โดยที่ n = จำนวนแบนด์
 i = แบนด์ที่จะจำแนกข้อมูล
 a_i = ข้อมูลจุดภาพ d ในแบนด์ i
 b_i = ข้อมูลจุดภาพ e ในแบนด์ i

การจำแนกประเภทข้อมูลนั้นสามารถดำเนินการได้ใน 2 ลักษณะคือ การจำแนกแบบที่ไม่ต้องใช้ตัวอย่างข้อมูลในการจำแนก (Unsupervised classification) และแบบที่ต้องใช้ตัวอย่างข้อมูลในการจำแนก (Supervised classification) ขึ้นอยู่วัตถุประสงค์ของผู้ใช้งาน การจำแนกประเภทข้อมูลแบบที่ไม่ต้องใช้ตัวอย่างข้อมูล เป็นการแยกกลุ่มของข้อมูลเองตามความเหมาะสม พร้อมทั้งคำนวณค่าสถิติของกลุ่มข้อมูล โดยสามารถกำหนดขอบเขตของจำนวนกลุ่มของข้อมูลได้ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีคือ K-Mean และ Isodata การจำแนกประเภทข้อมูลแบบที่ต้องใช้ตัวอย่างข้อมูลในการจำแนก เป็นการจำแนกข้อมูลที่ต้องกำหนดพื้นที่ตัวอย่าง (Training area) เพื่อเป็นตัวแทนของแต่ละประเภทข้อมูลแล้วทำการคำนวณค่าสถิติ โดยค่าสถิติดังกล่าวจะเป็นตัวแทนสำหรับจำแนกประเภทข้อมูลของพื้นที่ทั้งหมด โดยสามารถแบ่งวิธีการจำแนกประเภทข้อมูลออกได้ดังนี้

- 1) Parallelepiped
- 2) Maximum likelihood
- 3) Minimum distance
- 4) Mahalanobis distance

วิธีการจำแนกข้อมูลที่มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ข้อมูลได้แม่นยำและเป็นที่ยอมรับใช้งานทั่วไปคือวิธีการประมาณค่าความควรจะเป็นสูงสุด (Maximum likelihood) ซึ่งหมายถึงการจัดกลุ่มให้กับจุดภาพ โดยอาศัยหลักการความน่าจะเป็น ซึ่งมีรูปสมการที่กำหนดว่าความน่าจะเป็นของการที่จุดภาพหนึ่ง ๆ จะเข้าไปเป็นสมาชิกของกลุ่มข้อมูลใดข้อมูลหนึ่งนั้นเท่ากัน และการแจกแจงของข้อมูลภาพใกล้เคียงโค้งปกติ ถ้าวัดได้ว่าจุดภาพนั้นมีความน่าจะเป็นในการที่จะเป็นสมาชิกของกลุ่มข้อมูลหนึ่งสูงที่สุด ซึ่งเปรียบเทียบกับค่าของ likelihood กับกลุ่มข้อมูลอื่น ๆ ก็ให้จัดให้อยู่ในกลุ่มข้อมูลนั้น วิธีการประมาณค่าความควรจะเป็นสูงสุดใช้สมการดังต่อไปนี้

$$D = \ln(a_c) - [0.5 \ln(|Cov_c|)] - [0.5(X - M_c)^T (Cov_c^{-1})(X - M_c)] \quad (2.9)$$

- โดยที่ D คือ ระยะถ่วงน้ำหนัก (Weighted distance of likelihood)
 c คือ ชั้นหรือกลุ่มข้อมูลหนึ่ง ๆ
 X คือ เวกเตอร์การวัด (Measurement vector) ของจุดภาพที่จะจัดชั้นให้
 M_c คือ เวกเตอร์เฉลี่ย (Mean vector) ของค่าลักษณะกลุ่ม ข้อมูลของชั้นข้อมูล c
 a_c คือ ความน่าจะเป็น (Percent probability) ของจุดภาพ ที่จะเป็นสมาชิกของชั้นข้อมูล c
 Cov_c คือ เมตริกซ์ความแปรปรวน (Covariance matrix)

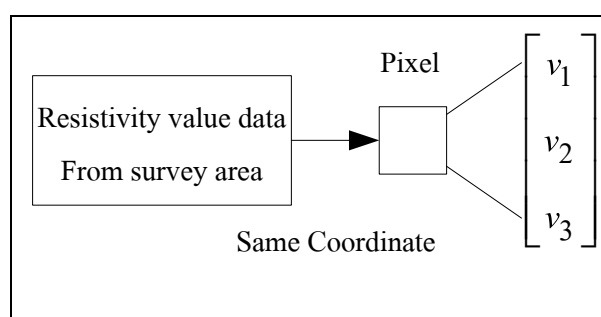
สามารถคำนวณได้โดยสมการดังต่อไปนี้

$$Cov_c = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})(Y_i - \bar{y})}{n-1} \quad (2.10)$$

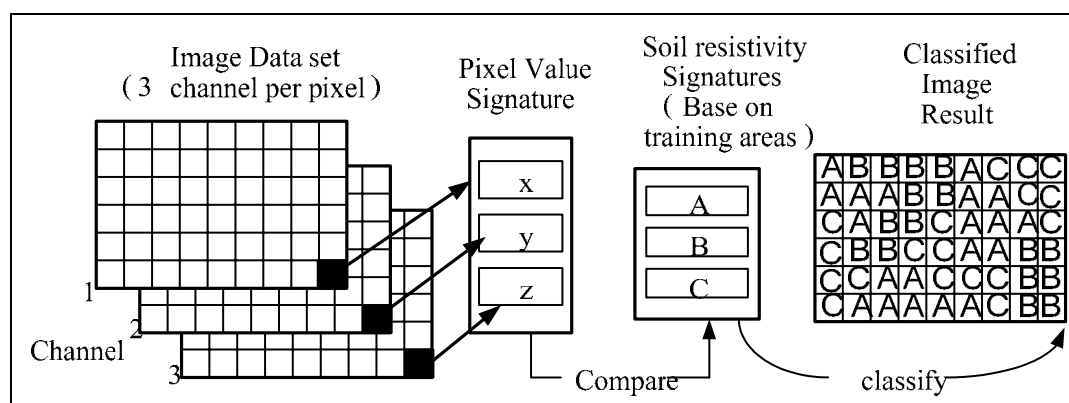
เมื่อ (\bar{x}, \bar{y}) คือ เวกเตอร์เฉลี่ย (Mean vector)

วิธีการจำแนกข้อมูล แบบประมาณค่าความควรจะเป็นสูงสุดเป็นการใช้ข้อมูลตัวแทนคำนวณค่าสถิติ เช่น ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าเมตริกซ์ความแปรปรวนของแต่ละประเภทข้อมูล ค่าสถิติดังกล่าวเป็นตัวแทนสำหรับการจำแนกประเภทข้อมูลของพื้นที่ทั้งหมด โดยพิจารณาค่า

ของเวกเตอร์เฉลี่ยและเมตริกซ์ความแปรปรวน โดยการตั้งสมมติฐานว่า แต่ละประเภทข้อมูลจะมีการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ (Normal distribution) แล้วนำมาคำนวณค่าความน่าจะเป็น (Probability) ของแต่ละจุดภาพว่าถูกจำแนกในประเภทข้อมูลใด ซึ่งสามารถกำหนดจำนวนกลุ่มประเภทข้อมูลได้ โดยการกำหนดจำนวนของข้อมูลตัวแทนของข้อมูลแต่ละประเภท ซึ่งเป็นการกำหนดข้อมูลตัวอย่างลงในภาพแต่ละจุดภาพดังรูปที่ 2.18 เพื่อใช้เปรียบเทียบและจัดกลุ่มข้อมูลดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.18 การกำหนดข้อมูลตัวอย่างให้จุดภาพ



รูปที่ 2.19 การจัดกลุ่มข้อมูลของจุดภาพ

2.8 โปรแกรมวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียม

ปัจจุบันเทคโนโลยีทางการสำรวจจากระยะไกล รวมทั้งภาพถ่ายดาวเทียมและภาพถ่ายทางอากาศมีความสำคัญเป็นอย่างมากในการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ ดังนั้น โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Software) ที่สามารถจัดการข้อมูลภาพและวิเคราะห์ทางด้านการสำรวจจากระยะไกล จึงมีความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากปัจจุบันนิยมนำคอมพิวเตอร์มาใช้ในการประมวลผลและวิเคราะห์ เพราะสะดวก

รวดเร็ว มีความถูกต้องสูง ดังนั้นการเลือกใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ จึงมีความสำคัญ ถ้าใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับงาน จะทำให้ผู้ใช้สามารถลดระยะเวลาในการทำงาน ประหยัดค่าใช้จ่าย และสามารถบริหารทรัพยากรบุคคลที่มีอยู่ได้เป็นอย่างดี โปรแกรม ENVI เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ทางด้านการสำรวจจากระยะไกล ที่มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ปัญหา ทางพื้นที่และจัดการข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมและภาพถ่ายทางอากาศได้เป็นอย่างดี มีฟังก์ชันที่ง่ายต่อการใช้งาน สะดวก รวดเร็ว สามารถเชื่อมโยงกับระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ได้

โปรแกรม ENVI เป็นโปรแกรมที่ใช้งานในด้านการสำรวจจากระยะไกล โดยประมวลผล ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม โดยมีความสามารถในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงตัวเลขที่ได้รับจากการ สะท้อนของวัตถุต่าง ๆ บนพื้นโลก กระบวนการในการตรึงภาพถ่ายจากดาวเทียมให้ถูกต้องตามพิกัด ภูมิศาสตร์ และที่สำคัญโปรแกรมนี้เหมาะสำหรับการวิเคราะห์หัดคลื่นเรดาร์ (Radar analysis) โดยเฉพาะ ข้อมูลคลื่น ไมโครเวฟ (Microwave) เช่น ERS - 1 ERS - 2 และ JERS - 1 โปรแกรม ENVI สามารถ ประยุกต์ใช้งานได้กับโปรแกรม PC ArcView GIS ได้อย่างไม่มีปัญหา ลักษณะความสามารถของ โปรแกรม ENVI มีดังต่อไปนี้

- 1) สนับสนุนการทำงานแบบ (Graphical user interface: GUI) เพื่อง่ายต่อการใช้งาน สามารถ แสดงข้อมูลภาพได้ทั้ง 2 มิติ และ 3 มิติ
- 2) สามารถแสดงข้อมูลได้ 2 แฉกข้อมูล คือเพิ่มข้อมูลภาพซึ่งเป็นข้อมูลเชิงพื้นที่และ เพิ่มข้อมูลเชิงคุณลักษณะของภาพ
- 3) สามารถแสดงเพิ่มข้อมูลจากภายนอกได้หลากหลายรูปแบบ
 - เพิ่มข้อมูลที่ได้จากดาวเทียม สามารถแสดงได้ทั้งแบบค่าระดับสีเทาและแบบผสมสี (Composit color RGB)
 - เพิ่มข้อมูลรูปภาพทั่วไป
 - เพิ่มข้อมูลจากโปรแกรมประมวลผลข้อมูลจากการสำรวจระยะไกล
 - เพิ่มข้อมูลแบบจำลองชั้นความสูงเชิงตัวเลข (Digital elevation model: DEM)
- 4) สามารถแสดงรูปแบบเพิ่มข้อมูลเชิงเส้นและเปลี่ยนแปลง แก้ไข เพิ่มเติม ลักษณะของ การแสดงผลข้อมูลเชิงเส้นภายในหน้าต่างแสดงผลได้
- 5) มีหน้าต่างแสดงค่าของข้อมูลดาวเทียม ณ ตำแหน่งที่เคอร์เซอร์ชี้ ดังต่อไปนี้
 - แสดงตำแหน่งพิกัด (x,y) ของข้อมูล
 - แสดงค่าของข้อมูลที่ปรากฏในช่อง RGB ซึ่งเป็นค่าที่ผ่านการเพิ่มความชัดให้กับ ข้อมูลในการแสดงผลแล้ว (Display enhancement)
 - แสดงค่า Projection ของข้อมูล
 - แสดงค่าพิกัด UTM และพิกัดภูมิศาสตร์ ของข้อมูล

- แสดงค่าของข้อมูลจริงในช่องของ RGB ในกรณีที่ข้อมูลใช้ Projection UTM
- 6) การตัดข้อมูลภาพ (Resize image) สามารถตัดโดยกำหนดเฉพาะพื้นที่ที่ศึกษาหรือครอบคลุมพื้นที่ที่สนใจศึกษา
- 7) การตัดข้อมูลดาวเทียม (Spatial subset) สามารถกำหนดขอบเขตข้อมูลจากพิกัด มุมซ้ายบนและมุมขวาล่าง ได้ตามต้องการ
- 8) การเชื่อมต่อภาพ (Mosaic) สามารถต่อภาพได้ทั้งข้อมูลภาพดาวเทียมและภาพถ่ายทางอากาศ โดยเชื่อมต่อภาพได้ทั้งภาพที่มีค่าพิกัด (Georeferenced) และภาพที่ทราบค่าของจุดภาพ (Pixel base)
- 9) สามารถกำหนดให้แผนที่โปร่งใสสามารถมองเห็นทะลุไปด้านหลังได้
- 10) การบันทึกผลลัพธ์ของการประมวลผล (Processing output) สามารถบันทึกได้ 2 วิธี คือ บันทึกลงบนแฟ้มข้อมูลที่ต้องการ (File) และบันทึกลงบนหน่วยความจำชั่วคราว (Memory)
- 11) สามารถบันทึกผลลัพธ์เพื่อนำไปใช้กับโปรแกรมคอมพิวเตอร์อื่น ๆ ทางด้านการสำรวจระยะไกลและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic information system: GIS) ได้
- 12) การเพิ่มความเด่นชัดในการแสดงผลข้อมูล (Display enhancement) สามารถกำหนดโดยใช้ค่าเริ่มต้นของโปรแกรมหรือกำหนดโดยผู้ใช้
- 13) สามารถแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลระหว่างหน้าต่างแสดงผล (Link display)
- 14) สามารถแปลงค่าพิกัดภูมิศาสตร์และพิกัด UTM จากค่าที่ทราบการแปลงพิกัด (Map coordinate converter) ใช้ในการหาค่าพิกัดที่ต้องการทราบใน Projection อื่น ๆ เมื่อเราทราบค่าพิกัดในอีก Projection
- 15) การให้ค่าพิกัดภูมิศาสตร์แก่ข้อมูลภาพ สามารถทำได้โดยการกำหนดค่าพิกัดภูมิศาสตร์ด้วยการอ้างอิงจากแผนที่ที่แสดงพิกัดภูมิศาสตร์ (Image to map registration) และการกำหนดค่าพิกัดภูมิศาสตร์ด้วยการอ้างอิงจากภาพถ่ายที่มีพิกัดแล้ว (Image to image registration)
- 16) การจำแนกประเภทข้อมูลดาวเทียมสามารถจำแนกข้อมูลแบบไม่ใช้ข้อมูลตัวอย่างในการจำแนกและแบบที่ใช้ข้อมูลตัวอย่างในการจำแนก
- 17) สามารถกำหนดขอบเขตพื้นที่ในการจำแนกข้อมูลได้ (Masking)
- 18) สามารถจำแนกประเภทข้อมูลดาวเทียมโดยเส้นระดับของค่าภายในแบนด์ข้อมูล (Contour lines classification)
- 19) สามารถจำแนกประเภทข้อมูลดาวเทียมโดยใช้ค่าภายในแบนด์ข้อมูล (Density slice)
- 20) สามารถจำลองข้อมูลเวกเตอร์ แบบ 2 มิติ ให้เป็น 3 มิติได้ (Convert contours to DEM)

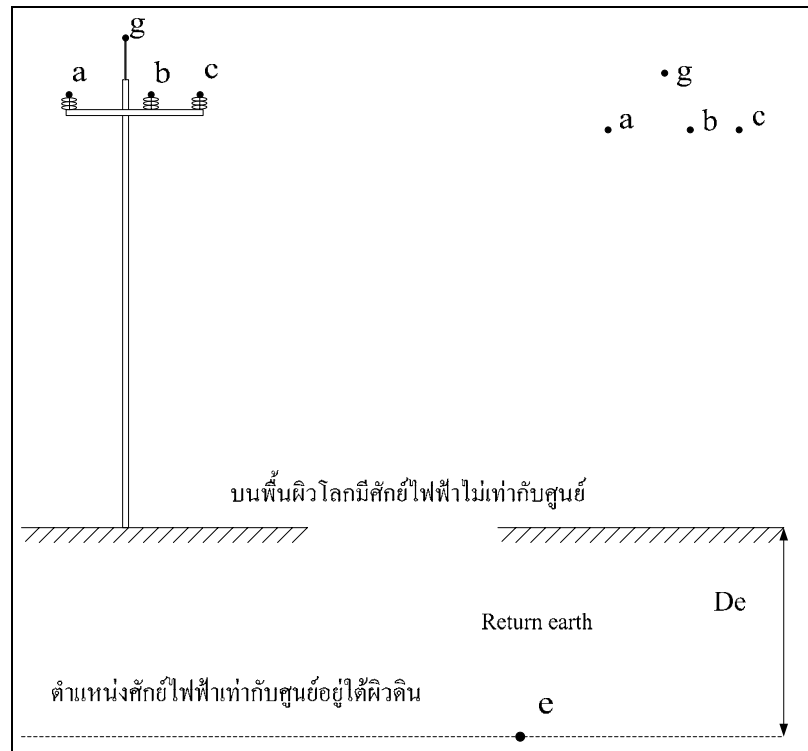
- 21) สามารถเชื่อมต่อกับเครื่องรับสัญญาณ GPS ได้โดยตรงรวมทั้งสามารถแสดงตำแหน่งของจุด (Waypoint) และเส้นทาง (Tracking)

2.9 การไหลย้อนกลับของกระแสไฟฟ้า

การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง ชนิดชั้ย กุลวรวานิชพงษ์ (2550) ในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า สภาวะการทำงานปกติจะมีความสมดุลของกระแสที่ไหลในแต่ละเฟส ทำให้ไม่มีกระแสไหลในสายนิวทรัล สำหรับระบบจำหน่าย 22 กิโลโวลต์ มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป เนื่องจากโหลดเชื่อมต่อกับผู้ใช้โดยตรง ไม่ใช่โหลดรวมของสถานีไฟฟ้าย่อยเหมือนระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงดันสูง ทำให้เกิดความไม่สมดุล และย่อมส่งผลทำให้เกิดปัญหาต่าง ๆ มากมาย เช่น ปัญหาจากการแทรกสอดของสนามแม่เหล็ก ปัญหาแรงดันตก และความไม่สมดุลของแรงดัน ณ จุดโหลดที่ปลายสาย เป็นต้น ถึงแม้ระบบจำหน่ายส่วนใหญ่จะส่งด้วยระบบสายป้อน 3 เส้น ไม่มีนิวทรัลก็ตาม สายป้องกันฟ้าผ่าหรือที่เรียกว่า สายล่อฟ้าหรือสายป้องกันฟ้าผ่าของระบบไฟฟ้ากำลัง (Overhead ground wire) ที่พาดอยู่บนต้นเสาเดียวกันย่อมได้รับผลจากการแทรกสอดสนามแม่เหล็กดังกล่าว ทำให้ศักย์ไฟฟ้าของสายนี้ไม่จำเป็นต้องเท่ากับศูนย์ หรือในระบบแรงดัน 380/220 โวลต์ แบบ 4 สาย (Three - phase, four - wire system) เมื่อเกิดความไม่สมดุลย่อมทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลในนิวทรัล และศักย์ไฟฟ้าที่สายนิวทรัลไม่จำเป็นต้องเท่ากับศูนย์ตลอดทั้งความยาวสาย ตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์อย่างแท้จริงจะอยู่ลึกใต้ผิวดิน โดยใช้หลักที่ว่าผลรวมของกระแสไฟฟ้าทั้ง 3 เฟสที่ไม่สมดุลย่อมไม่เท่ากับศูนย์จะเกิดกระแ่วไปสู่พื้นโลกผ่านเส้นทางการไหลย้อนของกระแส (Return earth) ดังแสดงในรูปที่ 2.20 ระยะดังกล่าวคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$D_e = 658.368 \sqrt{\frac{\rho_e}{f}} \quad (2.11)$$

เมื่อ ρ_e เป็นค่าสภาพความต้านทานดินบริเวณที่พิจารณาอาจจะได้จากการทดลองวัด หรือถ้าไม่ได้กำหนดให้เป็นอย่างอื่น นิยมใช้ค่า $\rho_e = 100 \Omega.m$ ตัวอย่างเช่น ในระบบไฟฟ้าความถี่ 50 Hz จะมีค่า $D_e = 931.073 m$



รูปที่ 2.20 หลักการกระแสไฟฟ้าย้อนกลับใต้ผิวดิน

กรณีที่ไม่พิจารณาค่าความต้านทานของสายส่ง ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าคร่อมส่วนของสายส่งต่อหน่วยความยาวสามารถเขียนในรูปเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \\ V_g \\ V_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{aa} & L_{ab} & L_{ac} & L_{ag} & L_{ae} \\ L_{ba} & L_{bb} & L_{bc} & L_{bg} & L_{be} \\ L_{ca} & L_{cb} & L_{cc} & L_{cg} & L_{ce} \\ L_{ga} & L_{gb} & L_{gc} & L_{gg} & L_{ge} \\ L_{ea} & L_{eb} & L_{ec} & L_{eg} & L_{ee} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \\ I_g \\ I_e \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

จากข้อกำหนดของกระแสย้อนกลับใต้ผิวโลก $V_e = 0$ โวลต์ และ $I_e = I_a + I_b + I_c + I_g$ ทำให้เมตริกซ์ดังกล่าวลดรูปเหลือขนาด 4×4 เท่านั้น จะได้เมตริกซ์ใหม่ดังนี้

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \\ V_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{L}_{aa} & \tilde{L}_{ab} & \tilde{L}_{ac} & \tilde{L}_{ag} \\ \tilde{L}_{ba} & \tilde{L}_{bb} & \tilde{L}_{bc} & \tilde{L}_{bg} \\ \tilde{L}_{ca} & \tilde{L}_{cb} & \tilde{L}_{cc} & \tilde{L}_{cg} \\ \tilde{L}_{ga} & \tilde{L}_{gb} & \tilde{L}_{gc} & \tilde{L}_{gg} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \\ I_g \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

โดยที่

$$\tilde{L}_{ii} = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \left(\frac{D_e}{GMR_i} \right) \quad (2.14)$$

$$\tilde{L}_{ij} = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \left(\frac{D_e}{D_{ij}} \right) \quad (2.15)$$

เมื่อ ij แทนตัวนำเฟส abc หรือ g $GMR = 0.7788r$ และ D_{ij} คือระยะห่างระหว่างเฟส (เมตร)
เมื่อพิจารณาค่าความต้านทานของสายส่งจะได้เมตริกซ์ดังต่อไปนี้

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \\ V_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} & Z_{ag} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} & Z_{bg} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} & Z_{cg} \\ Z_{ga} & Z_{gb} & Z_{gc} & Z_{gg} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \\ I_g \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

โดยที่

$$Z_{ii} = (R_i + R_e) + j2\pi f \tilde{L}_{ii} \quad (2.17)$$

$$Z_{ij} = j2\pi f \tilde{L}_{ij} \quad (2.18)$$

โดยที่ R_i คือความต้านทานของสายตัวนำ (Ω) และ $R_e = 9.87 \times 10^{-7} f \ \Omega/m$ เมื่อระบบสมดุล จะทำให้ $V_g = 0$ และ $I_g = I_a + I_b + I_c$ ทำให้เมตริกซ์จะลดรูปเหลือขนาดเพียง 3×3 เท่านั้น ได้เมตริกซ์ที่ลดรูปดังนี้

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{Z}_{aa} & \tilde{Z}_{ab} & \tilde{Z}_{ac} \\ \tilde{Z}_{ba} & \tilde{Z}_{bb} & \tilde{Z}_{bc} \\ \tilde{Z}_{ca} & \tilde{Z}_{cb} & \tilde{Z}_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

โดยที่

$$\tilde{Z}_{ij} = Z_{ij} - \frac{Z_{ig}Z_{gi}}{Z_{gg}} \quad (2.20)$$

2.10 สรุป

ในบทนี้กล่าวถึงพิธีกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง โดยได้กล่าวถึงงานวิจัยต่าง ๆ ที่ได้มีการศึกษา และทฤษฎีที่มีความเกี่ยวข้องกับการวิจัย โดยกล่าวถึงนิยามของค่าสภาพความต้านทานดิน ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความต้านทานดิน วิธีการวัดค่าสภาพความต้านทานดิน ทฤษฎีเกี่ยวกับระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ซึ่งนำมาใช้ในการสำรวจวัดค่าสภาพความต้านทานดินในภาคสนาม ทฤษฎีเกี่ยวกับภาพถ่ายดาวเทียม ศักยภาพการสำรวจของดาวเทียม การผสมแบนด์ การจำแนกประเภทข้อมูลของภาพถ่ายดาวเทียม โปรแกรมวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียม ENVI และทฤษฎีกระแสย้อนกลับ ซึ่งทฤษฎีต่าง ๆ จะได้มีการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อวิเคราะห์และสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดินต่อไปและใช้เป็นประกอบเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ในระบบไฟฟ้า

บทที่ 3

การทดสอบวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อศึกษาค่าสภาพความต้านทานดิน

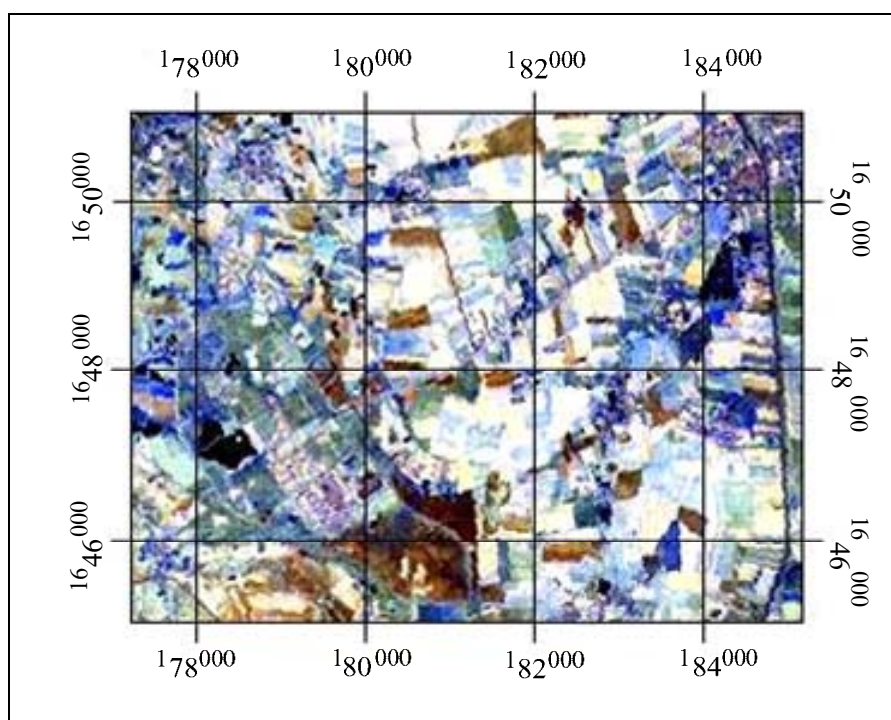
3.1 บทนำ

ในบทนี้ได้ทำการทดสอบสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดิน จากภาพถ่ายดาวเทียมในพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีและบริเวณข้างเคียง โดยได้ทำการผสมแบนด์ของภาพถ่ายกรณีต่าง ๆ เพื่อเป็นการค้นหาชุดแบนด์ที่มีความเหมาะสมในการสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดิน เพราะการเลือกใช้แบนด์ที่เหมาะสมจะช่วยให้การวิเคราะห์มีความถูกต้องมากขึ้น โดยในการสร้างนั้นใช้วิธีการเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ทางธรณีวิทยา คือใช้วิธีการจำแนกประเภทข้อมูลด้วยวิธีการที่ใช้ข้อมูลตัวอย่างในการจำแนก แบบการประมาณค่าความควรจะเป็นสูงสุดซึ่งเป็นวิธีการที่ให้ผลการจำแนกใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมจริงมากที่สุด และได้ทำการทดสอบด้วยวิธีการนำแบนด์มาผ่านกระบวนการทางคณิตศาสตร์เพื่อทดสอบหาวิธีการสำหรับการสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดินได้เหมาะสมที่สุด โดยมีขั้นตอนและวิธีการดำเนินการดังต่อไปนี้

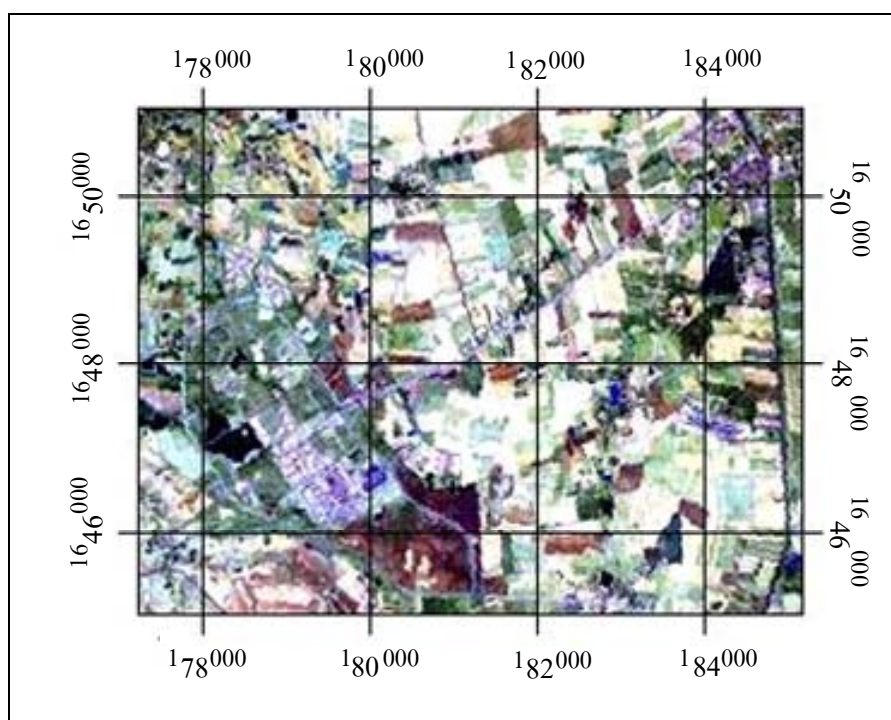
3.2 การเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

เตรียมภาพถ่ายดาวเทียม โดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียมแลนดแซต 7 ที่รับสัญญาณในปี พ.ศ. 2548 โดยตัดเอาพื้นที่บริเวณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และบริเวณรอบข้างซึ่งมีพื้นที่ประมาณ 40 ตารางกิโลเมตร เป็นพื้นที่ที่มีขนาดเล็ก เพื่อสามารถทำการสำรวจวัดค่าสภาพความต้านทานดินได้ง่ายและครอบคลุมพื้นที่ จากนั้นทำการทดสอบนำแบนด์มาผสมกัน เพื่อนำไปทดสอบสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดิน สำหรับเปรียบเทียบหาชุดแบนด์ที่ให้ผลการจำแนกค่าสภาพความต้านทานดิน ที่มีความถูกต้องมากที่สุด โดยผลที่ได้จากการผสมแบนด์ต่าง ๆ จากการดำเนินการด้วยโปรแกรม ENVI แสดงดังรูปที่ 3.1-3.6 ซึ่งได้จากการผสมแบนด์ชุดต่าง ๆ ดังนี้

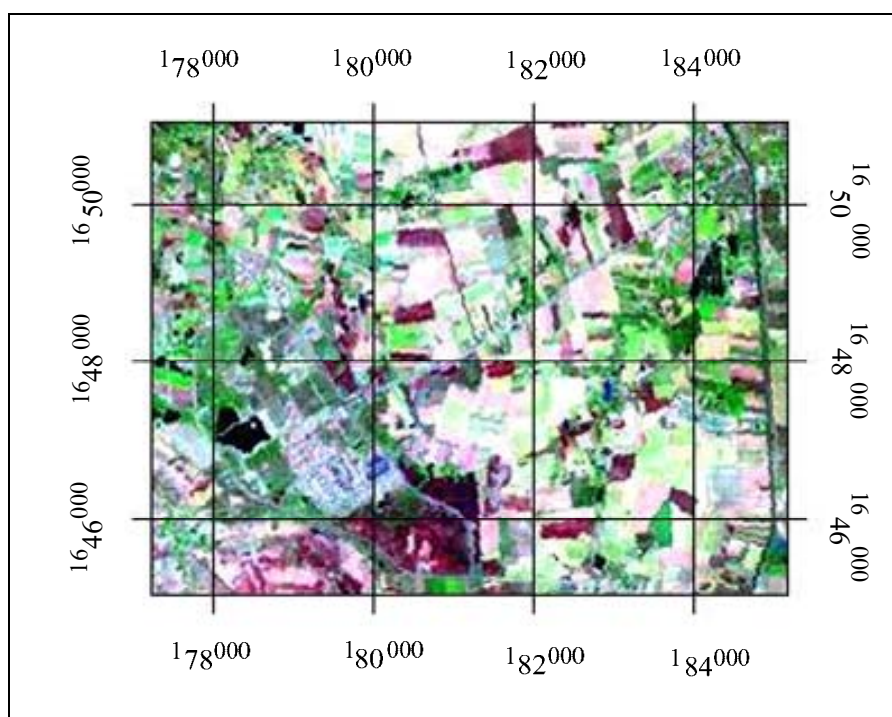
- 1) แบนด์ 7-5-4 ดังรูปที่ 3.1
- 2) แบนด์ 7-5-3 ดังรูปที่ 3.2
- 3) แบนด์ 7-4-3 ดังรูปที่ 3.3
- 4) แบนด์ 5-4-3 ดังรูปที่ 3.4
- 5) แบนด์ 5-3-2 ดังรูปที่ 3.5
- 6) แบนด์ 4-3-2 ดังรูปที่ 3.6



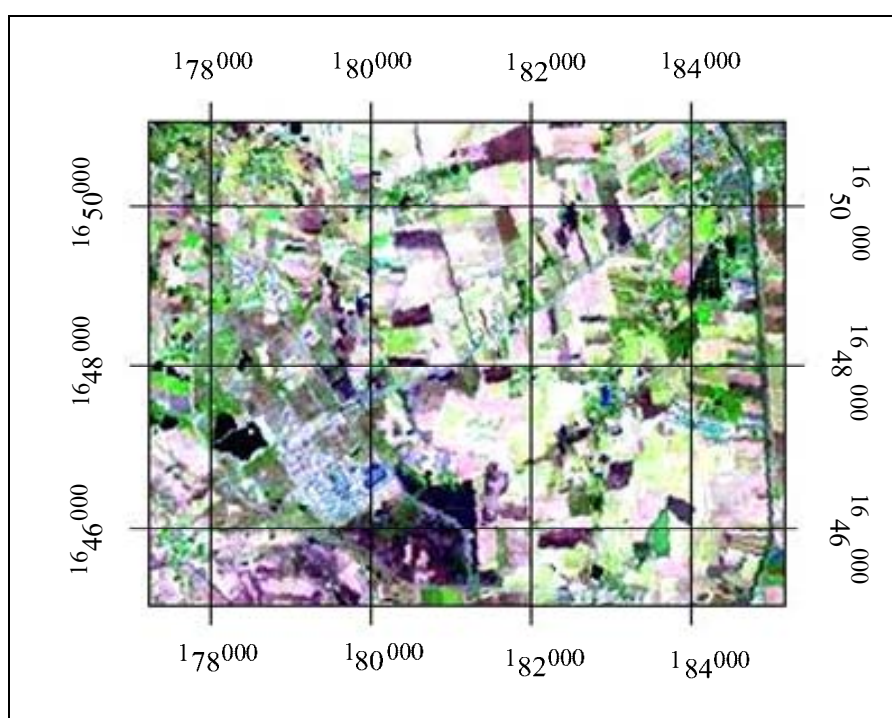
รูปที่ 3.1 ภาพที่เกิดจากการผสม แบนด์ 7-5-4 (สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน)



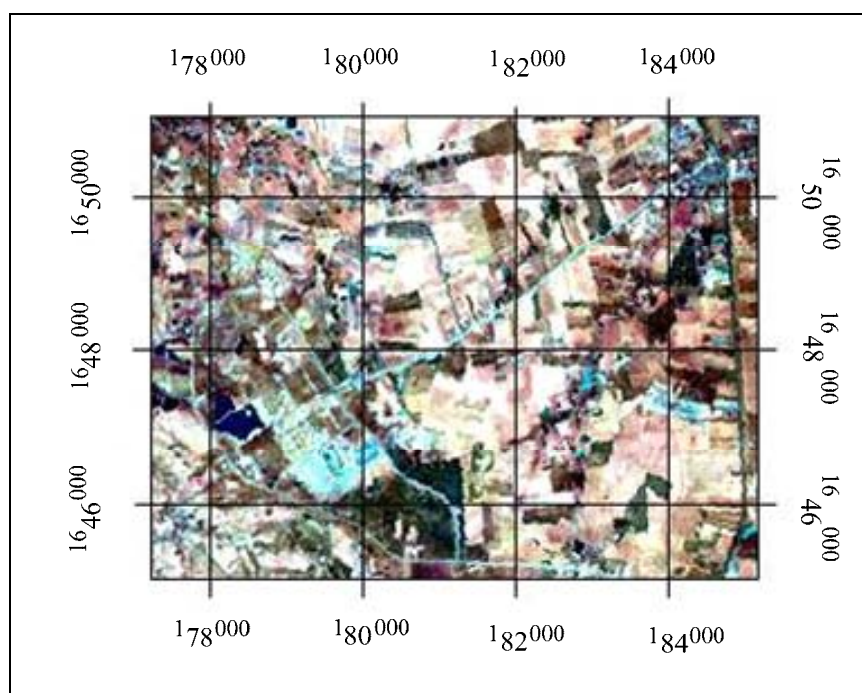
รูปที่ 3.2 ภาพที่เกิดจากการผสม แบนด์ 7-5-3 (สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน)



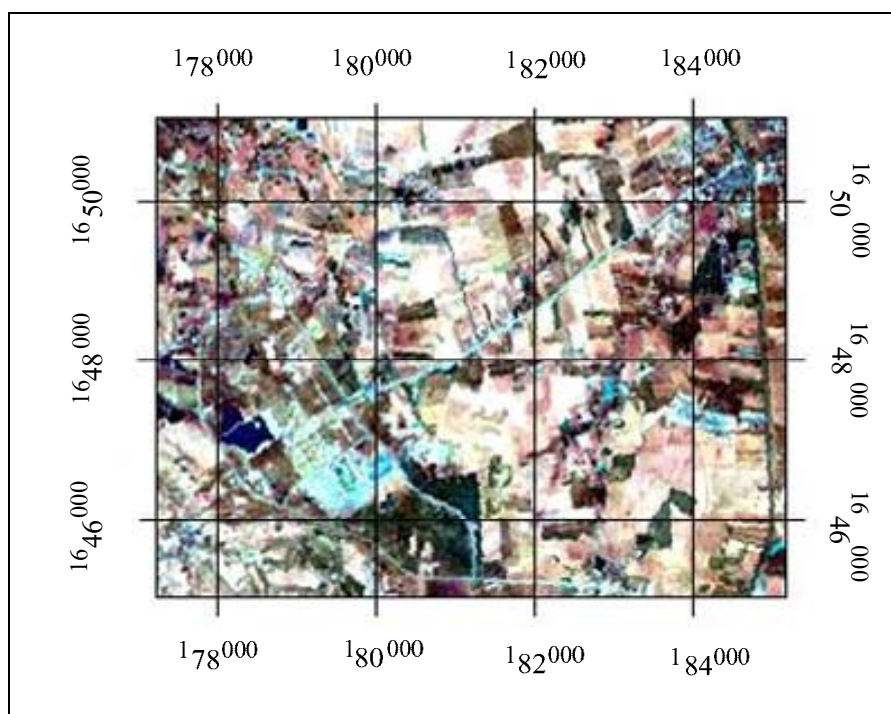
รูปที่ 3.3 ภาพที่เกิดจากการผสม แบนด์ 7-4-3 (สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน)



รูปที่ 3.4 ภาพที่เกิดจากการผสม แบนด์ 5-4-3 (สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน)



รูปที่ 3.5 ภาพที่เกิดจากการผสม แบนด์ 5-3-2 (สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน)

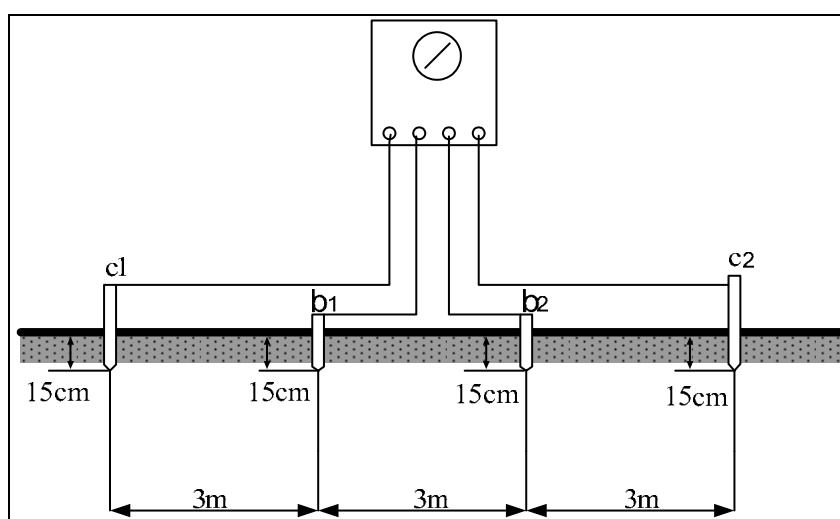


รูปที่ 3.6 ภาพที่เกิดจากการผสม แบนด์ 4-3-2 (สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน)

ในการผสมแบนด์นั้นมิแบนด์ที่ไม่ได้มีการนำมาใช้คือแบนด์ 6 ซึ่งเป็นแบนด์ที่ตรวจสอบความร้อน และแบนด์ 1 ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายกับแบนด์ 2 จากการผสมแบนด์พบว่าลักษณะของภาพมีความแตกต่างกันทั้งลักษณะการสะท้อนของพื้นที่ ความเด่นชัดของภาพและความแตกต่างของสีภาพ ซึ่งแต่ละภาพจะมีลักษณะการนำไปใช้ประโยชน์ ที่แตกต่างกันออกไป โดยจะได้นำภาพที่ผ่านการผสมแบนด์ทั้งหมดไปทดสอบสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดิน เพื่อหาช่วงแบนด์ที่เหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้งานสำหรับสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดิน

3.3 การสำรวจและวัดค่าสภาพความต้านทานของดิน

สำรวจพื้นที่ศึกษาเพื่อวัดค่าสภาพความต้านทานดินด้วยวิธีการของเวนเนอร์ โดยใช้เครื่องวัดค่าสภาพความต้านทานดินแบบ 4 จุด (Four - point) ใช้ระยะการวัดดังรูปที่ 3.7 ซึ่งในการวัดค่าสภาพความต้านทานดินจากเครื่องมือวัด ได้ค่าสภาพความต้านทานของดินที่ระยะความลึกจากผิวหน้าดินประมาณ 2 - 6 เมตร เพื่อนำข้อมูลการวัดมาใช้สำหรับสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดินในบริเวณดินชั้นบนหรือบริเวณผิวหน้าดินที่ความลึกดังกล่าว



รูปที่ 3.7 ระยะการวัดค่าสภาพความต้านทานดิน

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าสภาพความต้านทานดินเพื่อเก็บข้อมูล เป็นเครื่องวัดค่าสภาพความต้านทานดินของ METREL earth tester รุ่น MI 2124 ดังรูปที่ 3.8 โดยผลที่ได้จากเครื่องมือวัดคือค่าสภาพความต้านทานดิน (ρ) มีหน่วยเป็น $\Omega.m$ และเป็นค่าสภาพความต้านทานดินเฉลี่ยในบริเวณนั้น โดยไม่สามารถระบุจำนวนชั้นของดินได้



รูปที่ 3.8 เครื่องวัดค่าสภาพความต้านทานดิน METREL Earth Tester รุ่น MI 2124

ทำการสุ่มพื้นที่เพื่อทำการสำรวจวัดค่าสภาพความต้านทานดิน โดยที่ทำการวัดให้ครอบคลุมลักษณะของพื้นที่ และสภาพของพื้นที่ เช่น ที่อยู่อาศัย พื้นที่การเกษตร ป่าไม้ เป็นต้น เพื่อสังเกตค่าสภาพความต้านทานดิน ลักษณะการวัดค่าสภาพความต้านทานดินแสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 การวัดค่าสภาพความต้านทานดินภาคสนาม

ทำการวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิของดินเพื่อนำมาเป็นข้อมูลประกอบการวิเคราะห์ว่าในช่วงที่ทำการวัดค่าสภาพความต้านทานดิน ลักษณะค่าความชื้นและอุณหภูมิของดินเป็นอย่างไร เครื่องมือที่ใช้วัดความชื้นแสดงดังรูปที่ 3.10 และเครื่องวัดอุณหภูมิแสดงดังรูปที่ 3.11 โดยในการวัดค่าของอุณหภูมิ และความชื้น ต้องใช้ระยะเวลาวัดประมาณ 5 - 10 นาที



รูปที่ 3.10 เครื่องวัดความชื้นดิน



รูปที่ 3.11 เครื่องวัดอุณหภูมิของดิน

ทำการสุ่มพื้นที่เพื่อทำการสำรวจวัดค่าสภาพความต้านทานดิน โดยใช้เครื่องระบุพิกัดตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ มาช่วยในการระบุตำแหน่งของจุดที่ทำการวัดค่าสภาพความต้านทานดิน ข้อมูลการวัดค่าสภาพความต้านทานดิน ค่าความชื้นดิน และค่าอุณหภูมิ ทั้งหมด 29 จุดแสดงดังตารางที่ 3.1 แต่จากตารางผลของค่าความชื้น พบว่าค่าของความชื้นมีค่าน้อยมาก และมีค่าเท่ากันหมด ทั้งนี้เกิดจากช่วงที่ทำการเป็นช่วงฤดูแล้งซึ่งทำการวัดที่ผิวดินไม่ได้เจาะลึกลงไป ทำให้ค่าความชื้นมีค่าน้อยมาก ส่งผลให้เครื่องวัดค่าความชื้นอ่านค่าความชื้นได้ประมาณ 10%

ตารางที่ 3.1 ค่าสภาพความต้านทานดิน ความชื้น และอุณหภูมิบริเวณที่สำรวจ




จุดที่	ตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์		สภาพต้านทานดิน ($\Omega.m$)	อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	ความชื้น (%)
1	0179439E	1646865N	6.66	33.1	10
2	0179623E	1647390N	68.9	37.2	10
3	0178534E	1648961N	12.69	33.1	10
4	0178338E	1649352N	68.2	32.3	10
5	0178874E	1649006N	70.7	31.9	10
6	0177923E	1648594N	28.1	31.9	10
7	0177770E	1647665N	38.8	32.1	10
8	0177741E	1647627N	37.2	31.1	10
9	0180230E	1645498N	34.3	31.8	10
10	0181194E	1645615N	88.3	31.5	10
11	0178568E	1647572N	50.9	35.4	10
12	0180769E	1646275N	17.95	35.1	10
13	0181344E	1645302N	505	34.0	10
14	0182339E	1645256N	1318	33.3	10
15	0184935E	1646006N	291	33.6	10
16	0183873E	1650118N	80.3	33.3	10
17	0182883E	1649397N	417	33.7	10
18	0182657E	1649214N	412	35.6	10
19	0180474E	1647819N	144.3	34.9	10
20	0179403E	1647484N	25.6	31.6	10

ตารางที่ 3.1 ค่าสภาพความต้านทานดิน ความชื้น และอุณหภูมิบริเวณที่สำรวจ (ต่อ)

จุดที่	ตำแหน่ง		สภาพต้านทาน ดิน ($\Omega.m$)	อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	ความชื้น (%)
	พิกัดทางภูมิศาสตร์				
21	0178851E	1647829N	24.1	31.7	10
22	0178406E	1649120N	22.99	32.8	10
23	0177281E	1647068N	68.8	38.1	10
24	0178314E	1648063N	43.9	34.6	10
25	0178778E	1648388N	8.46	31.9	10
26	0179137E	1648218N	107.2	36.4	10
27	0181507E	1645293N	500	31.9	10
28	0181824E	1648579N	200	33.9	10
29	0184727E	1645344N	311	33.6	10

3.4 การจำแนกค่าสภาพความต้านทานดิน

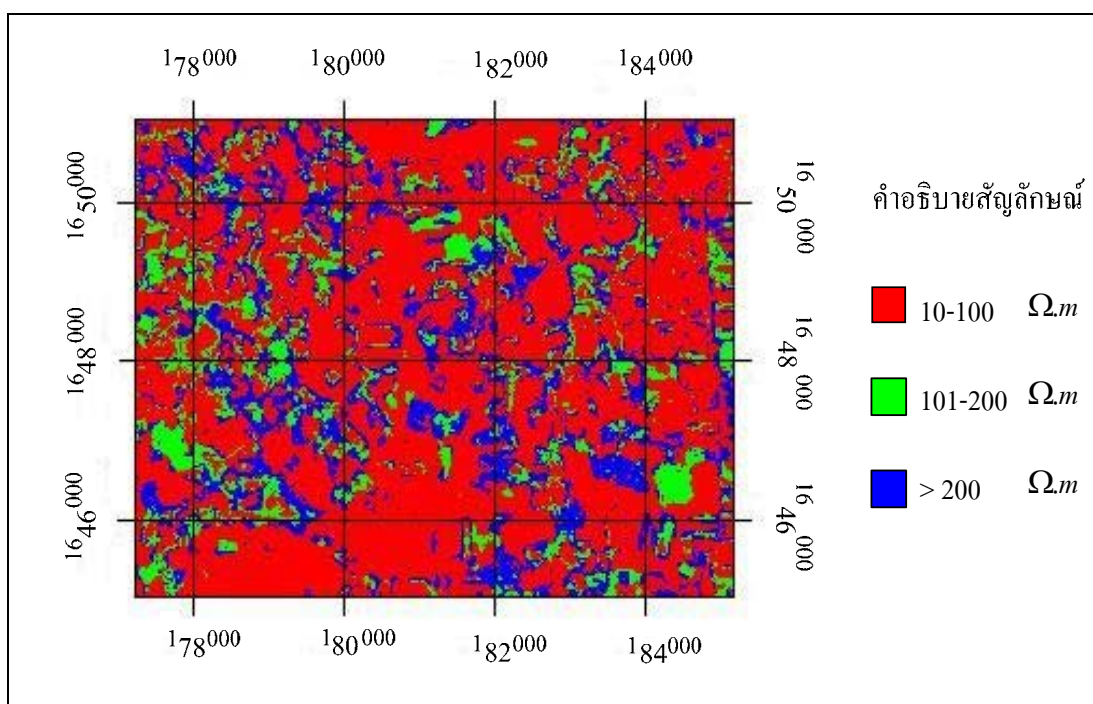
สร้างแผนที่สภาพความต้านทานดินจากการจำแนกข้อมูลค่าสภาพความต้านทานดิน ด้วยวิธีการจำแนกข้อมูลที่ใช้ตัวอย่างข้อมูลในการจำแนก ด้วยวิธีการประมาณค่าความควรจะเป็น สูงสุด โดยทดลองทำการจำแนกข้อมูลกับภาพที่ได้จากการผสมแบนด์ที่แตกต่างกัน เพื่อเปรียบเทียบผลการจำแนกของแต่ละภาพ โดยนำข้อมูลจากตารางที่ 3.1 ทั้งหมด 15 จุด ดังตารางที่ 3.2 มาใช้เป็นข้อมูลตัวอย่างสำหรับนำมากำหนดพื้นที่ที่ให้ความสำคัญ (Region of interest: ROI) ในการจำแนกประเภทข้อมูล ใช้ระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ที่วัดได้จากจุดสำรวจ มาระบุลงในภาพถ่ายเพื่อให้จุดดังกล่าวเป็นจุดข้อมูลตัวอย่างในการจำแนก จากข้อมูลการสำรวจได้ แบ่งช่วงของข้อมูลตัวอย่างออกเป็น 3 ช่วงนี้เพื่อใช้เป็นกลุ่มข้อมูลตัวอย่างดังนี้

- 1) สีแดง  มีค่าสภาพความต้านทานประมาณ 0 - 100 $\Omega.m$
- 2) สีเขียว  มีค่าสภาพความต้านทานประมาณ 101 - 200 $\Omega.m$
- 3) สีน้ำเงิน  มีค่าสภาพความต้านทานมากกว่า 200 $\Omega.m$

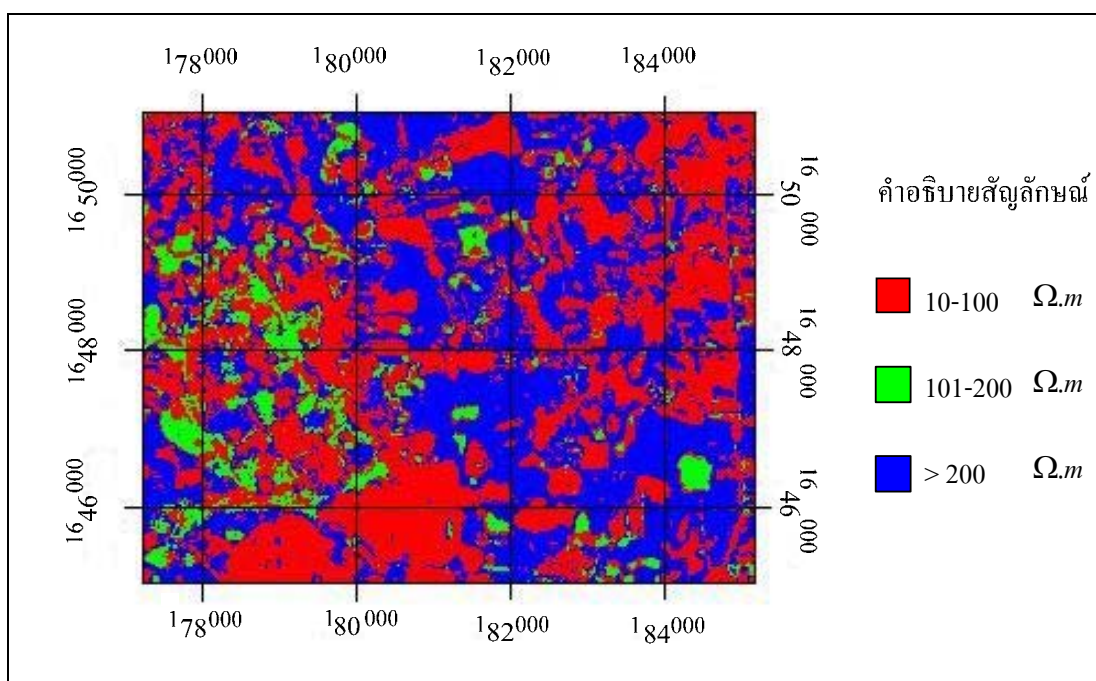
ตารางที่ 3.2 ค่าสภาพความต้านทานดิน ความชื้น และอุณหภูมิบริเวณที่สำรวจ 15 จุด

จุดที่	ตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์		สภาพความต้านทานดิน ($\Omega.m$)
1	0179439E	1646865N	6.66
2	0179623E	1647390N	68.9
3	0178534E	1648961N	12.69
4	0178338E	1649352N	68.2
5	0178874E	1649006N	70.7
6	0177923E	1648594N	28.1
7	0177770E	1647665N	38.8
8	0180230E	1645498N	34.3
9	0181194E	1645615N	88.3
10	0178568E	1647572N	50.9
11	0180769E	1646275N	17.95
12	0181344E	1645302N	505
13	0182339E	1645256N	1318
14	0180474E	1647819N	144.3
15	0184727E	1645344N	311

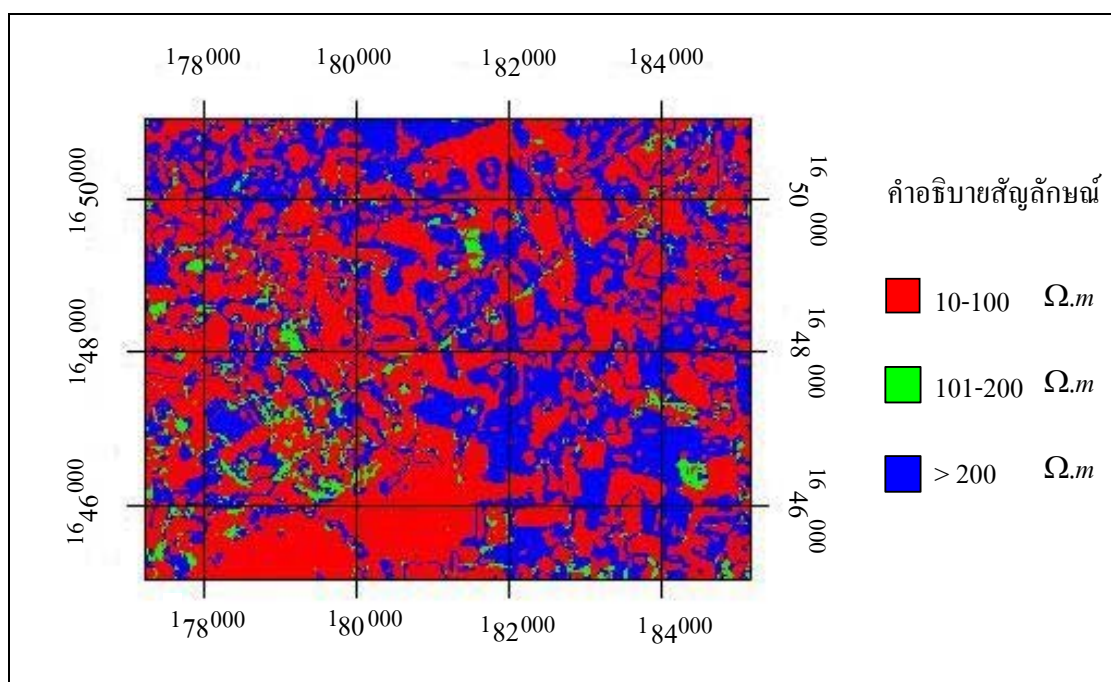
ดำเนินการจำแนกประเภทข้อมูลด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียม ENVI โดยใช้ข้อมูลตัวอย่างกำหนดให้กับภาพถ่ายที่ผ่านการผสมแบนด์ที่แตกต่างกัน และเมื่อทำการจำแนกประเภทข้อมูลเสร็จสิ้น ได้ทำการปรับปรุงผลของแผนที่สภาพความต้านทานดินที่ได้ด้วยวิธีการ sieve เพื่อเป็นการแก้ไขพื้นที่บางจุดภาพที่ยังไม่ถูกจัดกลุ่มข้อมูล จากนั้นทำการใส่กริดภาพเพื่อให้สามารถอ่านค่าพิกัดภูมิศาสตร์ของภาพได้พอสังเขป และใส่สัญลักษณ์ของสีภาพที่บ่งบอกถึงค่าสภาพความต้านทานดิน ได้แผนที่สภาพความต้านทานดินที่ได้จากการผสมแบนด์ทั้ง 6 ชุด ดังรูปที่ 3.12 - 3.17



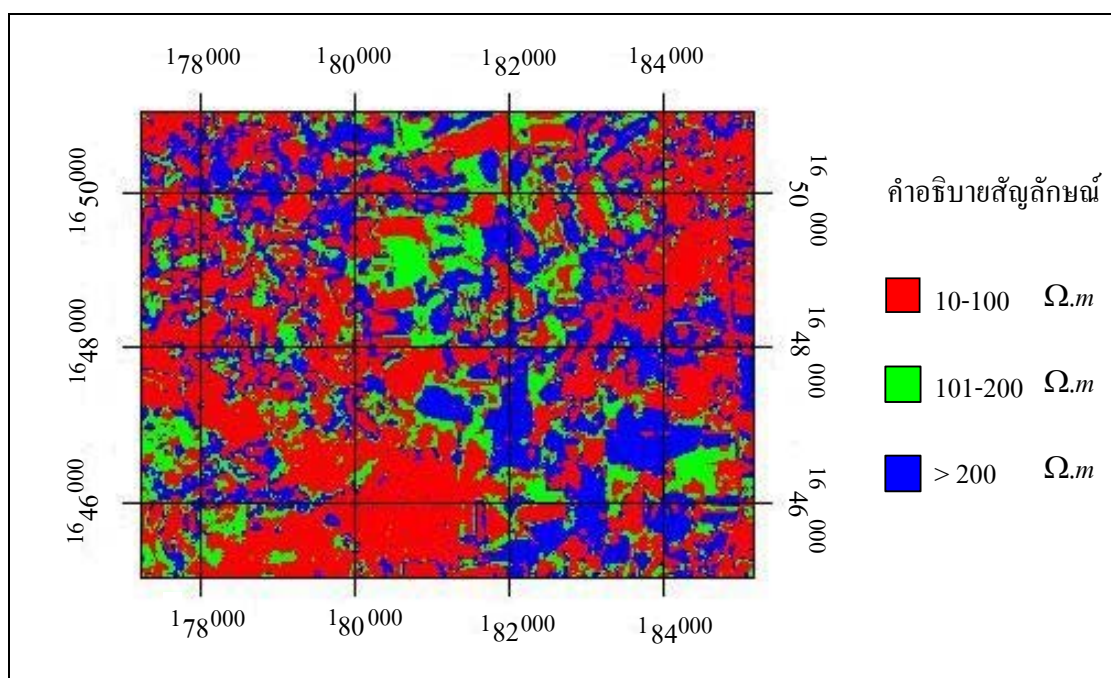
รูปที่ 3.12 ผลการจำแนกจากจุดตัวอย่าง 15 จุดกับภาพที่เกิดจากการผสมแบนด์ 7-5-4



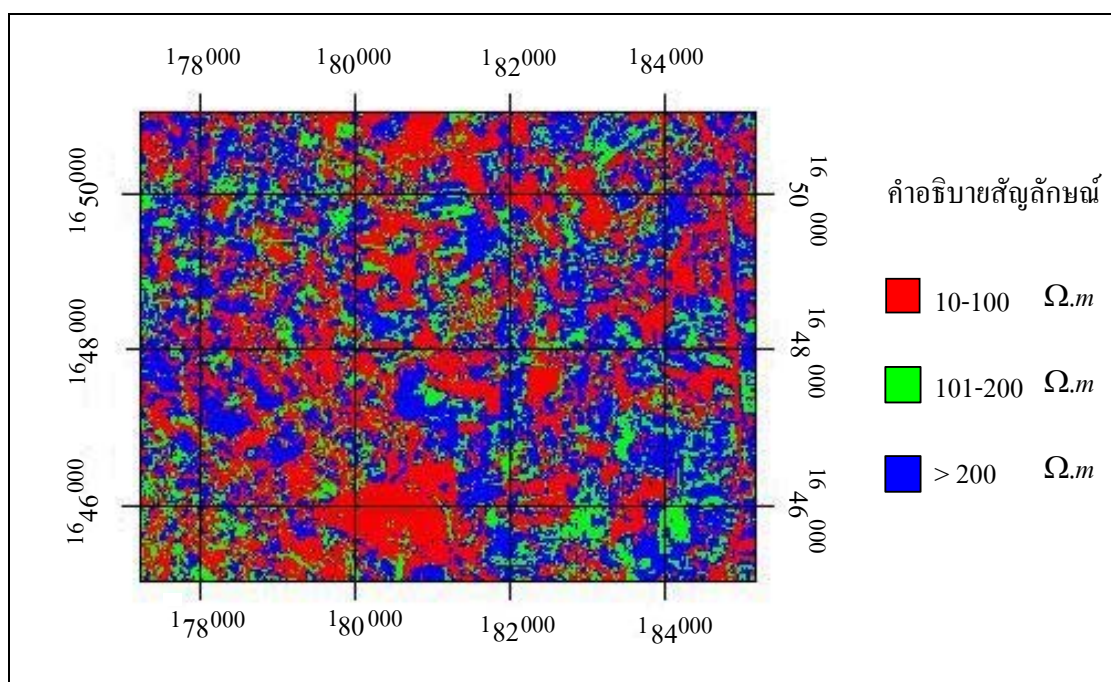
รูปที่ 3.13 ผลการจำแนกจากจุดตัวอย่าง 15 จุดกับภาพที่เกิดจากการผสมแบนด์ 7-5-3



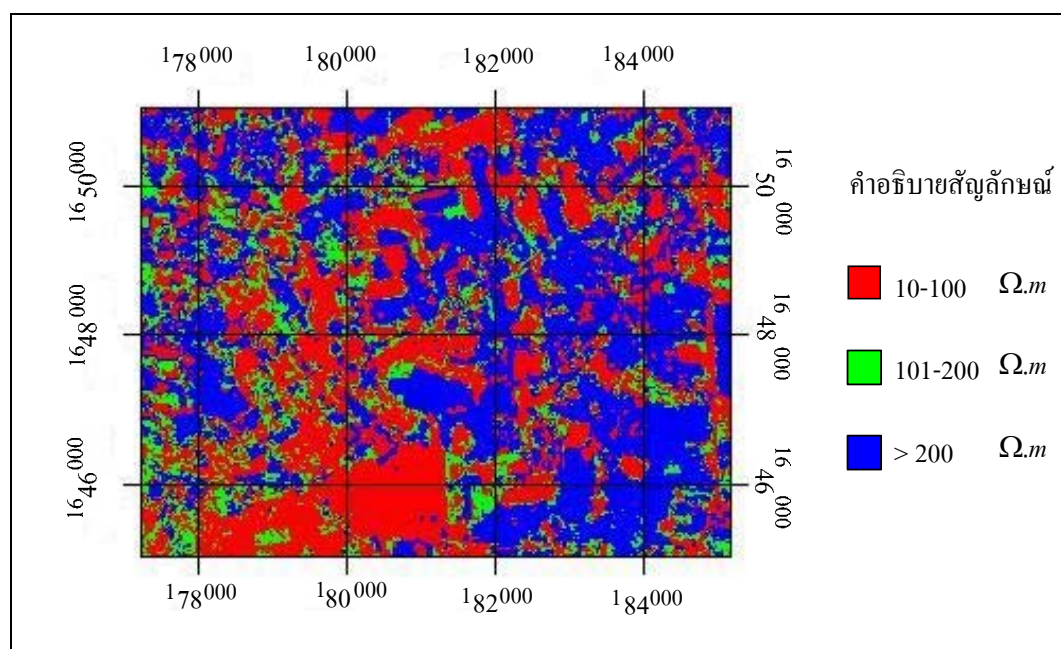
รูปที่ 3.14 ผลการจำแนกจากจุดตัวอย่าง 15 จุดกับภาพที่เกิดจากการผสมแบนด์ 7-4-3



รูปที่ 3.15 ผลการจำแนกจากจุดตัวอย่าง 15 จุดกับภาพที่เกิดจากการผสมแบนด์ 5-4-3



รูปที่ 3.16 ผลการจำแนกจากจุดตัวอย่าง 15 จุดกับภาพที่เกิดจากการผสมแบนด์ 5-3-2

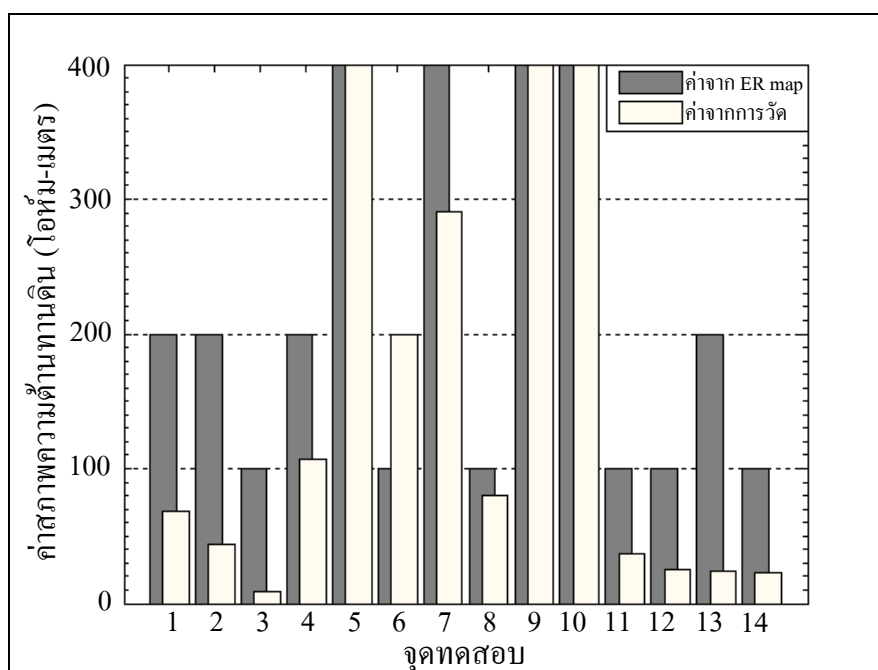


รูปที่ 3.17 ผลการจำแนกจากจุดตัวอย่าง 15 จุดกับภาพที่เกิดจากการผสมแบนด์ 4-3-2

จากผลการจำแนกข้อมูลเพื่อสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดินทั้งหมด 6 ภาพ พบว่า ลักษณะของภาพหลังการจำแนกที่ได้จากภาพที่ผ่านการผสมแบนด์ที่ต่างกัน ผลที่ได้มีความแตกต่างกันซึ่งต้องทำการตรวจสอบความถูกต้อง เพื่อเป็นการเปรียบเทียบว่าภาพที่เกิดจากการผสมแบนด์ชุดใด สามารถนำมาใช้ในการจำแนกค่าสภาพความต้านทานดินได้ดีที่สุด โดยทำการตรวจสอบความถูกต้องจากการใช้ข้อมูล 14 จุดดังตารางที่ 3.3 เพื่อทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากแผนที่สภาพความต้านทานดินกับพื้นที่บริเวณที่ทำการวัด ถ้าค่าที่ได้จากการวัดอยู่ในช่วงของค่าแผนที่สภาพความต้านทานดิน แสดงว่าจุดดังกล่าวมีความถูกต้อง ได้ผลการเปรียบเทียบความถูกต้องระหว่างภาพที่เกิดจากการผสมแบนด์ชุดต่าง ๆ ดังรูปที่ 3.18 - 3.23 ซึ่งเป็นกราฟการเปรียบเทียบความถูกต้องจากการสำรวจกับค่าจากแผนที่สภาพความต้านทานดิน โดยกราฟแท่งสีเทาเป็นข้อมูลที่ได้จากการอ่านแผนที่สภาพความต้านทานดิน และกราฟแท่งสีขาวยเป็นกราฟที่ได้จากการวัดค่าภาคสนาม ซึ่งจะมีความถูกต้องก็ต่อเมื่อค่าที่ได้จากการวัดอยู่ในช่วงของค่าที่อ่านค่าได้จากแผนที่สภาพความต้านทานดิน

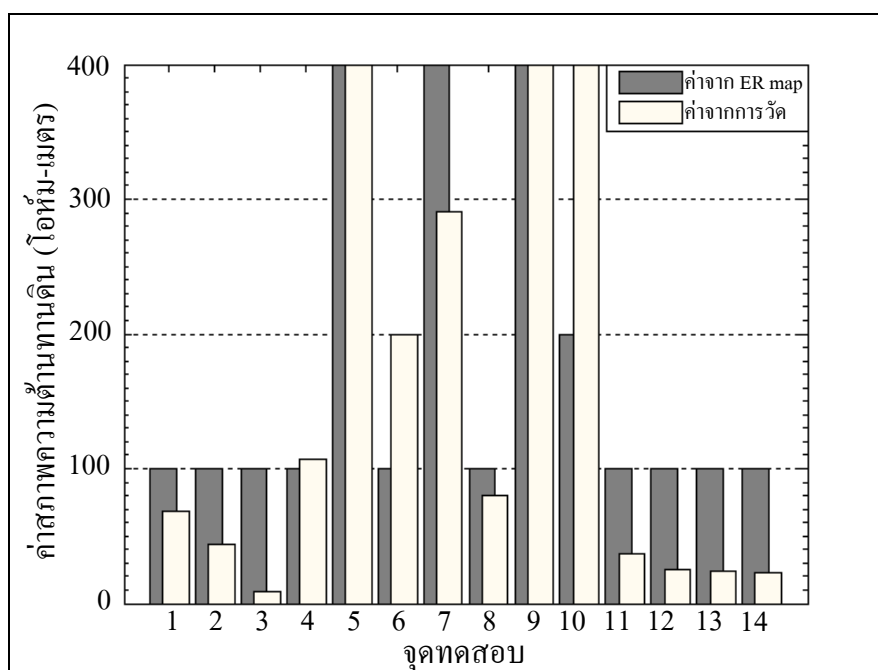
ตารางที่ 3.3 ค่าสภาพความต้านทานดินบริเวณที่สำรวจเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง

จุดที่	ตำแหน่ง พิกัดทางภูมิศาสตร์		สภาพความต้านทานดิน ($\Omega.m$)
1	0177281E	1647068N	68.8
2	0178314E	1648063N	43.9
3	0178778E	1648388N	8.46
4	0179137E	1648218N	107.2
5	0181507E	1645293N	500
6	0181824E	1648579N	200
7	0184935E	1646006N	291
8	0183873E	1650118N	80.3
9	0182883E	1649397N	417
10	0182657E	1649214N	412
11	0177741E	1647627N	37.2
12	0179403E	1647484N	25.6
13	0178851E	1647829N	24.1
14	0178406E	1649120N	22.99



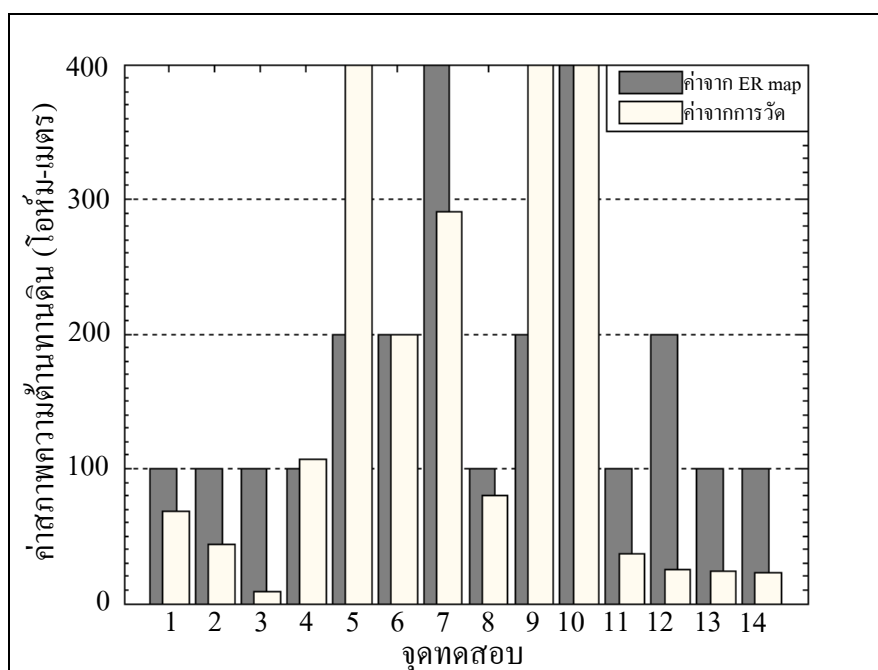
รูปที่ 3.18 กราฟการเปรียบเทียบความถูกต้องจากการสำรวจจากภาพที่ได้จากแบนด์ 7-5-4

จากรูปที่ 3.18 เป็นกราฟการเปรียบเทียบความถูกต้องจากการสำรวจสำหรับภาพที่ได้จากแบนด์ 7-5-4 โดยมีจุดที่ค่าจากการสำรวจวัดไม่อยู่ในช่วงของแผนที่สภาพความต้านทานดินทั้งหมด 4 จุดคือ จุดที่ 1 2 4 และ 13 ของจุดสำรวจวัดค่าเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง 14 จุด คิดเป็นความถูกต้องเท่ากับ 71.43%



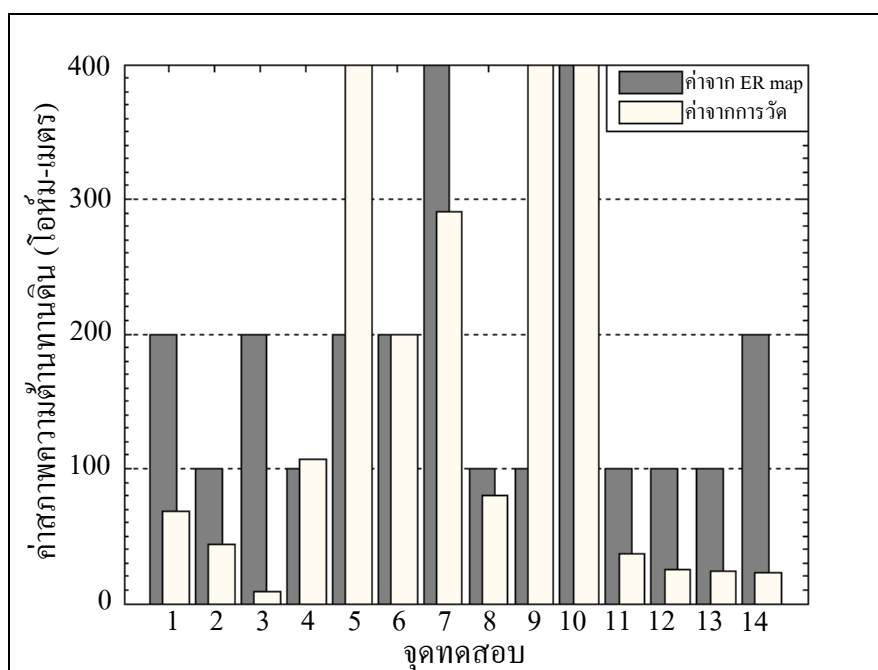
รูปที่ 3.19 กราฟการเปรียบเทียบความถูกต้องจากการสำรวจจากภาพที่ได้จากแบนด์ 7-5-3

จากรูปที่ 3.19 เป็นกราฟการเปรียบเทียบความถูกต้องจากการสำรวจสำหรับภาพที่ได้จากแบนด์ 7-5-3 โดยมีจุดที่ค่าจากการสำรวจวัดไม่อยู่ในช่วงของแผนที่สภาพความต้านทานดินทั้งหมด 2 จุดคือ จุดที่ 4 และ 10 ของจุดสำรวจวัดค่าเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง 14 จุด คิดเป็นความถูกต้องเท่ากับ 85.71%



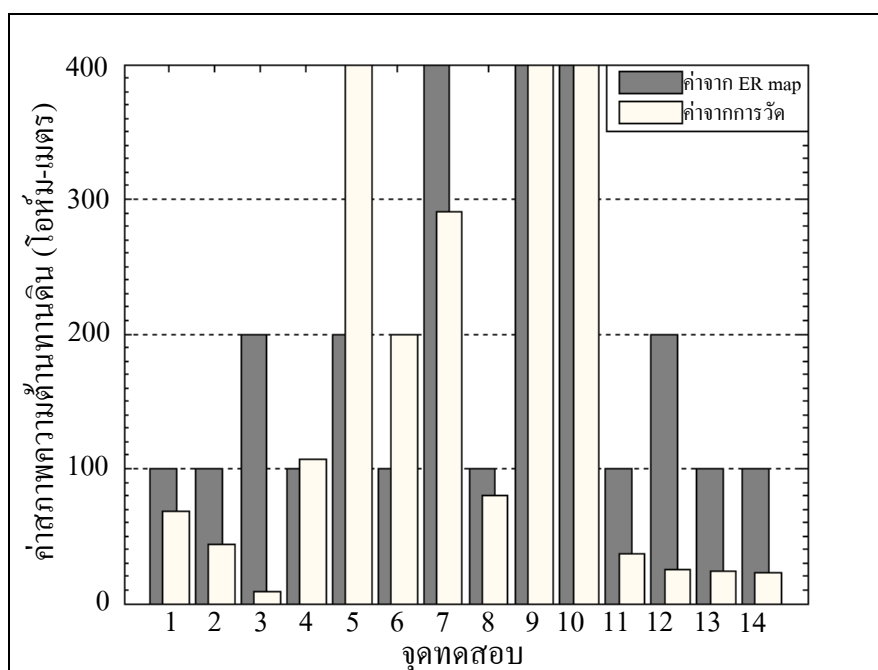
รูปที่ 3.20 กราฟการเปรียบเทียบความถูกต้องจากการสำรวจจากภาพที่ได้จากแบนด์ 7-4-3

จากรูปที่ 3.20 เป็นกราฟการเปรียบเทียบความถูกต้องจากการสำรวจสำหรับภาพที่ได้จากแบนด์ 7-4-3 โดยมีจุดที่ค่าจากการสำรวจวัดไม่อยู่ในช่วงของแผนที่สภาพความต้านทานดินทั้งหมด 4 จุดคือ จุดที่ 4 5 9 และ 12 ของจุดสำรวจวัดค่าเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง 14 จุด คิดเป็นความถูกต้องเท่ากับ 71.43%



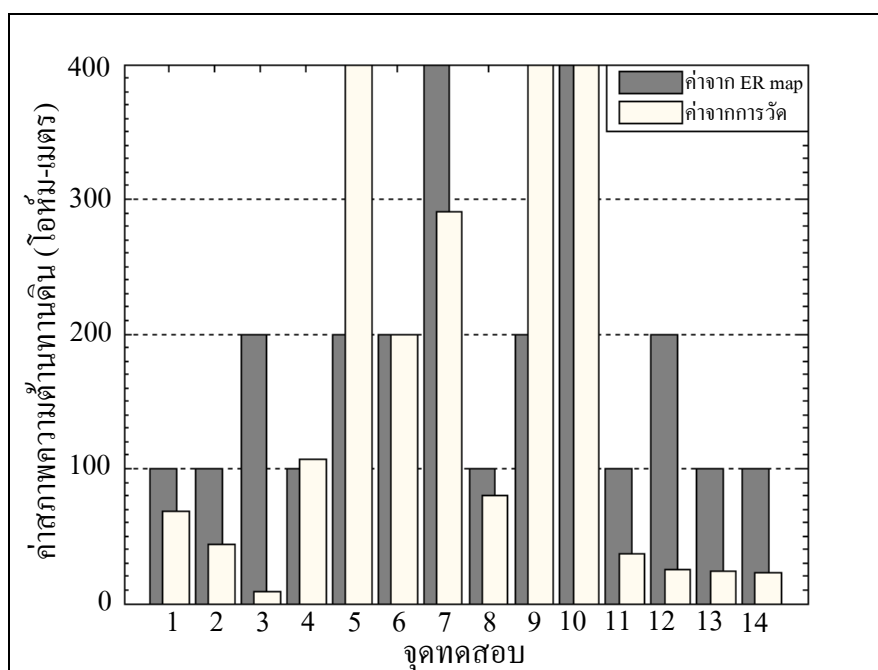
รูปที่ 3.21 กราฟการเปรียบเทียบความถูกต้องจากการสำรวจจากภาพที่ได้จากแบนด์ 5-4-3

จากรูปที่ 3.21 เป็นกราฟการเปรียบเทียบความถูกต้องจากการสำรวจสำหรับภาพที่ได้จากแบนด์ 5-4-3 โดยมีจุดที่ค่าจากการสำรวจวัดไม่อยู่ในช่วงของแผนที่สภาพความต้านทานดินทั้งหมด 6 จุดคือ จุดที่ 1 3 4 5 9 และ 14 ของจุดสำรวจวัดค่าเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง 14 จุด คิดเป็นความถูกต้องเท่ากับ 57.14%



รูปที่ 3.22 กราฟการเปรียบเทียบความถูกต้องจากการสำรวจจากภาพที่ได้จากแบนด์ 5-3-2

จากรูปที่ 3.22 เป็นกราฟการเปรียบเทียบความถูกต้องจากการสำรวจสำหรับภาพที่ได้จากแบนด์ 5-3-2 โดยมีจุดที่ค่าจากการสำรวจวัดไม่อยู่ในช่วงของแผนที่สภาพความต้านทานดินทั้งหมด 5 จุดคือ จุดที่ 3 4 5 6 และ 12 ของจุดสำรวจวัดค่าเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง 14 จุด คิดเป็นความถูกต้องเท่ากับ 64.28%



รูปที่ 3.23 กราฟการเปรียบเทียบความถูกต้องจากการสำรวจจากภาพที่ได้จากแบนด์ 4-3-2

จากรูปที่ 3.23 เป็นกราฟการเปรียบเทียบความถูกต้องจากการสำรวจสำหรับภาพที่ได้จากแบนด์ 4-3-2 โดยมีจุดที่ค่าจากการสำรวจวัดไม่อยู่ในช่วงของแผนที่สภาพความต้านทานดินทั้งหมด 5 จุดคือ จุดที่ 3 4 5 9 และ 12 ของจุดสำรวจวัดค่าเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง 14 จุด คิดเป็นความถูกต้องเท่ากับ 64.29%

จากข้อมูลที่ตรวจสอบความถูกต้องแผนที่สภาพความต้านทานดินที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมที่ทำการผสมแบนด์ทั้ง 6 ชุด สรุปค่าความถูกต้องได้ดังนี้

ตารางที่ 3.4 เปรียบความถูกต้องจากการใช้จุดตรวจสอบความถูกต้อง 14 จุด

ภาพถ่ายดาวเทียมที่เกิดจากการผสมแบนด์	ความถูกต้อง (%)
7-5-4 (สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน)	71.43
7-5-3 (สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน)	85.71
7-4-3 (สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน)	71.43
5-4-3 (สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน)	57.14
5-3-2 (สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน)	64.29
4-3-2 (สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน)	64.29

จากตารางที่ 3.4 เป็นสรุปผลการตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่สภาพความต้านทานดิน ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบที่ได้จากการสำรวจภาคสนามเพื่อวัดค่าสภาพความต้านทานดินทั้งหมด 14 จุด กับแผนที่สภาพความต้านทานดินที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมที่ผ่านการผสมแบนด์ทั้งหมด 6 ชุด ซึ่งได้ประมาณค่าสภาพความต้านทานดินไว้เป็นช่วง พบว่าแผนที่สภาพความต้านทานดินที่ได้จากภาพที่ผ่านการผสมแบนด์ 7-5-3 มีค่าความถูกต้องสูงสุด คือ 85.71% หรือมีค่าที่ได้จากการวัดอยู่ในช่วงของแผนที่สภาพความต้านทานดินมากที่สุดเมื่อเทียบกับแบนด์อื่น ๆ

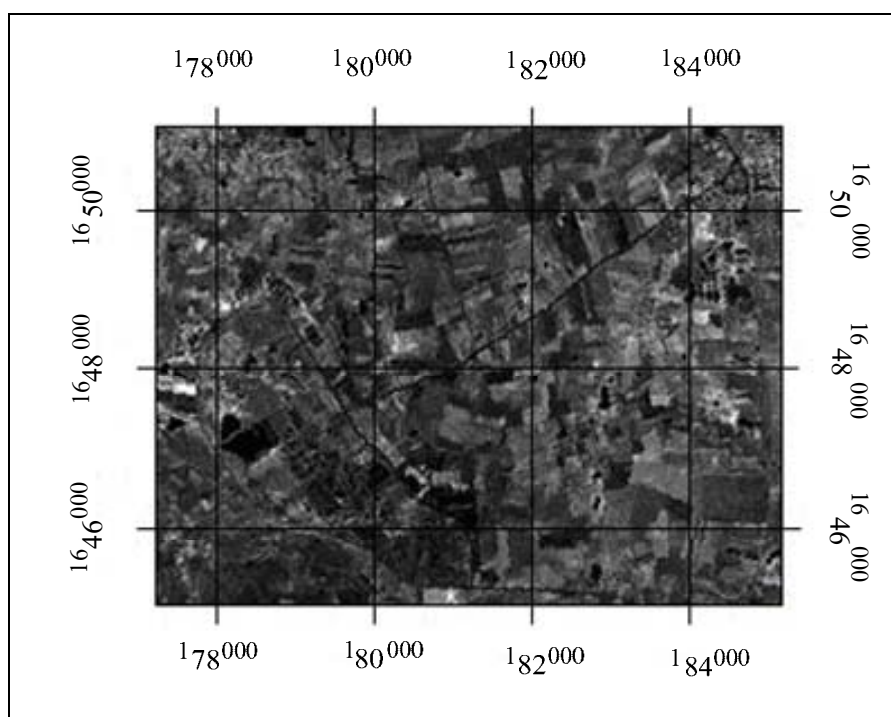
3.5 จำแนกค่าสภาพความต้านทานดินจากภาพที่ผ่านกระบวนการทางคณิตศาสตร์

ทำการทดลองการใช้วิธีการนำแบนด์มาผ่านกระบวนการทางคณิตศาสตร์ซึ่งเป็นวิธีการนำข้อมูลตัวเลขในแต่ละจุดภาพ มาใช้กระบวนการคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อให้เห็นข้อมูลส่วนที่ต้องการ โดยทำการทดสอบที่แบนด์ 3 และแบนด์ 4 ซึ่งเป็นแบนด์ที่มีความโดดเด่นในการแยกสภาพพื้นที่ทางธรรมชาติและมีการนำมาใช้ในการจำแนกลักษณะพื้นที่ทางธรณี โดยทดลองใช้การดำเนินการทางคณิตศาสตร์ 2 แบบตามสมการดังนี้

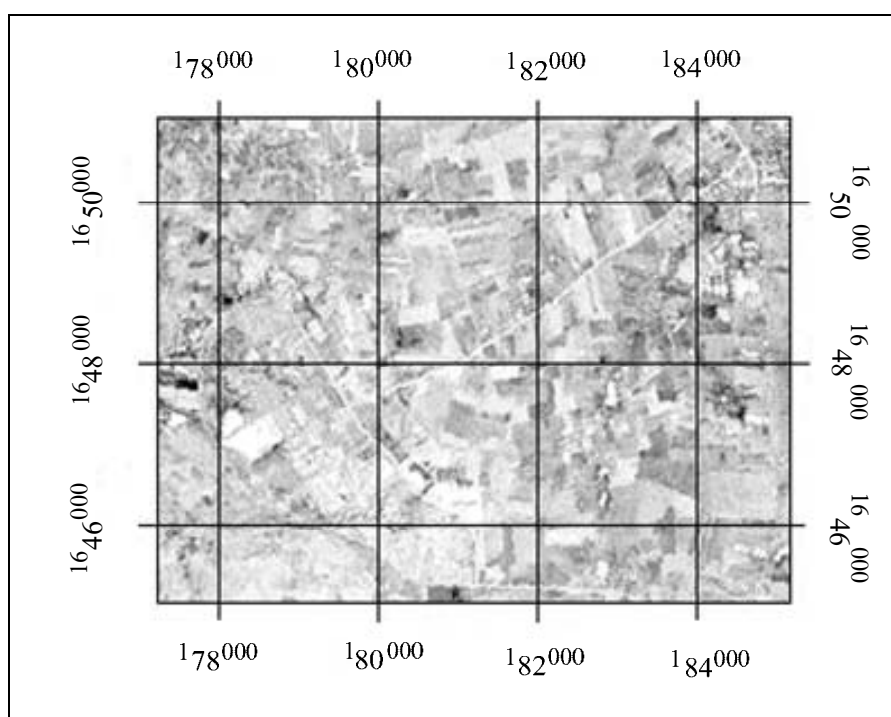
$$\frac{(Band4 - Band3)}{(Band4 + Band3)} \quad (3.1)$$

$$\frac{(Band3 - Band4)}{(Band4 + Band3)} \quad (3.2)$$

ผลที่ได้จากการใช้วิธีการนำแบนด์มาผ่านกระบวนการทางคณิตศาสตร์โดยใช้สมการที่ (3.1) และสมการที่ (3.2) เป็นภาพที่แสดงผลในรูปแบบค่าระดับสีเทา หรือมีข้อมูลในหนึ่งจุดภาพเพียงข้อมูลเดียวไม่ได้อยู่ในรูปแบบของเวกเตอร์เหมือนกับภาพที่ได้จากการผสมแบนด์ ผลที่ได้แสดงดังภาพต่อไปนี้



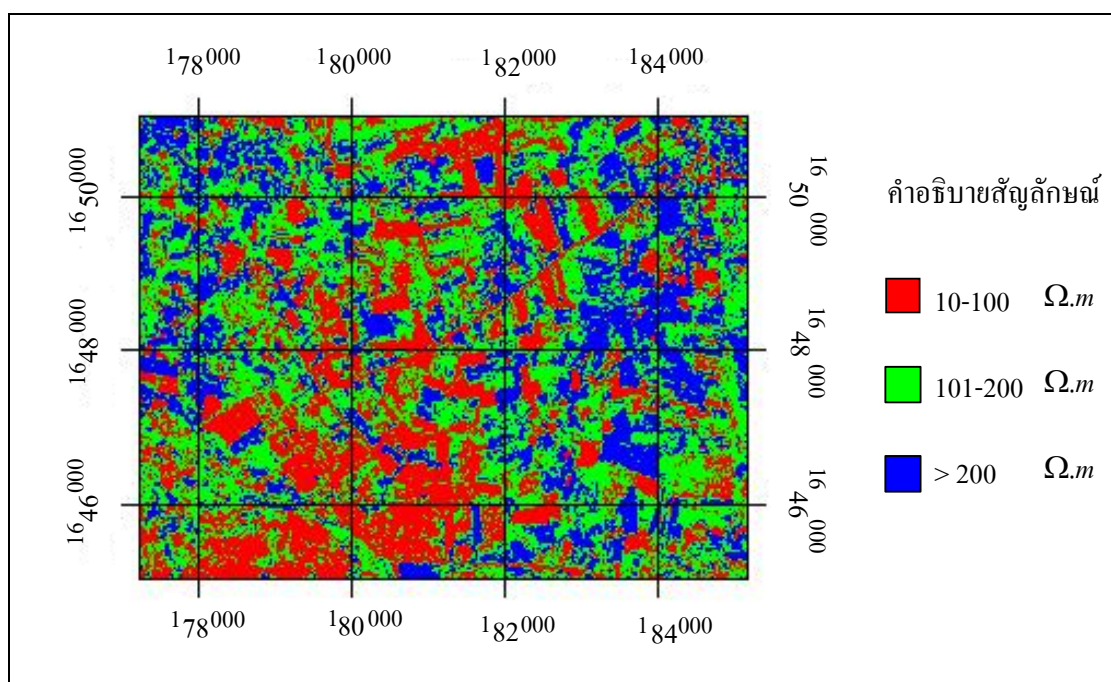
รูปที่ 3.24 ภาพที่เกิดจากการใช้วิธีการ Band Math จากสมการที่ (3.1)



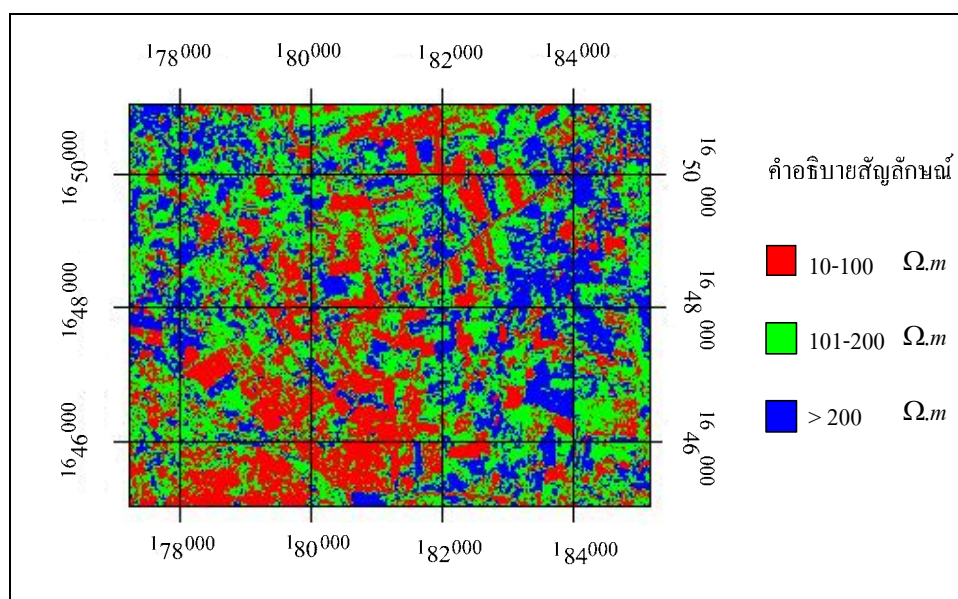
รูปที่ 3.25 ภาพที่เกิดจากการใช้วิธีการ Band Math จากสมการที่ (3.2)

จากผลที่ได้พบว่าภาพที่ได้มีลักษณะความเข้มของสีที่แตกต่างกัน แต่จะมีลักษณะที่คล้ายกัน โดยผลที่ได้จะแสดงในลักษณะที่ตรงข้ามกัน คือจุดที่สีเข้มของ ภาพที่เกิดจากการใช้วิธีการนำแบนด์มาผ่านกระบวนการทางคณิตศาสตร์จากสมการที่ (3.1) เป็นจุดที่มีสีจางของ ภาพที่เกิดจากสมการที่ (3.2) นำภาพที่ได้จากการใช้วิธีการนำแบนด์มาผ่านกระบวนการทางคณิตศาสตร์มาสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดินด้วยวิธีการจำแนกข้อมูลแบบที่ไม่ใช่ข้อมูลตัวอย่างในการจำแนก ซึ่งวิธีนี้ไม่สามารถกำหนดชุดข้อมูลตัวอย่างได้ โดยโปรแกรมจะทำการจำแนกข้อมูลตามการกำหนดจำนวนกลุ่มของผู้ใช้ ทำการจำแนกสีของภาพโดยมีวิธีการจำแนกข้อมูล 2 แบบ คือ Isodata และ K-mean

ผลการจำแนกด้วยวิธีการจำแนกประเภทข้อมูลแบบที่ไม่ใช่ข้อมูลตัวอย่างในการจำแนกแบบ Isodata และ K-mean กับภาพที่เกิดจากการใช้วิธีการนำแบนด์มาผ่านกระบวนการทางคณิตศาสตร์จากสมการที่ (3.1) ได้ผลการจำแนกดังนี้

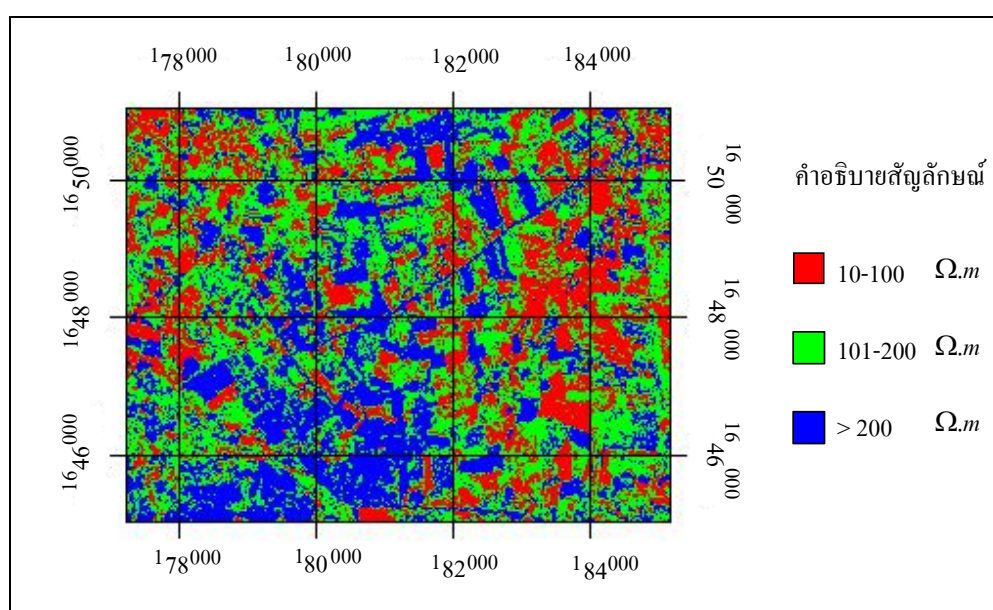


รูปที่ 3.26 ผลการจำแนกข้อมูลด้วยวิธี Isodata ภาพที่เกิดจากจากสมการที่ (3.1)

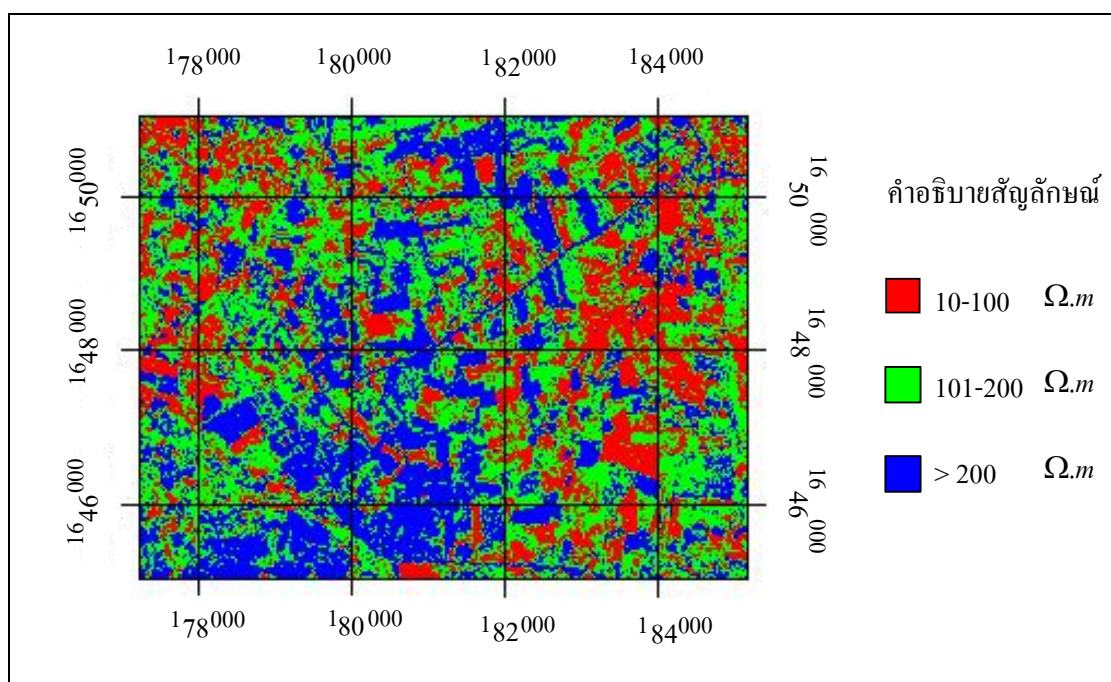


รูปที่ 3.27 ผลการจำแนกข้อมูลด้วยวิธี K-mean ภาพที่เกิดจากจากสมการที่ (3.1)

ผลการจำแนกด้วยวิธีการจำแนกประเภทข้อมูลแบบที่ไม่ใช่ข้อมูลตัวอย่างในการจำแนกแบบ Isodata และ K-mean กับภาพที่เกิดจากการใช้วิธีการนำแบนด์มาผ่านกระบวนการทางคณิตศาสตร์จากสมการที่ 3.2 ได้ผลการจำแนกดังนี้



รูปที่ 3.28 ผลการจำแนกข้อมูลด้วยวิธี Isodata ภาพที่เกิดจากจากสมการที่ (3.2)



รูปที่ 3.29 ผลการจำแนกข้อมูลด้วยวิธี K-mean ภาพที่เกิดจากจากสมการที่ (3.2)

จากผลที่ได้จากการจำแนกด้วยวิธีที่ไม่ใช่ข้อมูลตัวอย่างในการจำแนกทั้งแบบ Isodata และ K-mean กับภาพที่ได้จากการใช้วิธีการนำแบนด์มาผ่านกระบวนการทางคณิตศาสตร์พบว่าภาพที่ได้จากการจำแนกข้อมูล มีลักษณะที่เหมือนกันทุกภาพ แตกต่างเพียงการเรียงลำดับสีของภาพ เพราะภาพที่เกิดจากการใช้สมการที่ 3.1 มีลักษณะความเข้มที่ตรงกันข้ามกับภาพที่เกิดจากการใช้สมการที่ 3.2 ภาพที่ได้จากการใช้นำแบนด์มาผ่านกระบวนการทางคณิตศาสตร์แสดงผลในรูปแบบค่าระดับสีเทาซึ่งเป็นลักษณะแบบแบนด์เดียน ทำให้ผลการจำแนกของ Isodata และ K-mean มีลักษณะที่เหมือนกัน

ตรวจสอบความถูกต้องของผลการจำแนกข้อมูล โดยการใช้ข้อมูลการสำรวจทั้งหมด 29 จุด มาตรวจสอบซึ่งมีจุดที่อยู่ในช่วงเดียวกันกับค่าจากแผนที่สภาพความต้านทานดิน 15 จุด คิดเป็นความถูกต้อง 51.72% ผลการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกค่าสภาพความต้านทานดินจากภาพที่ได้จากการใช้วิธีการนำแบนด์มาผ่านกระบวนการทางคณิตศาสตร์ทั้ง 4 ภาพ ให้ผลการจำแนกมีลักษณะที่เหมือนกัน ดังนั้น ความถูกต้องที่ทำการตรวจสอบจึงมีค่าเท่ากันทั้ง 4 ภาพ โดยค่าความถูกต้องมีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับผลการจำแนกประเภทข้อมูลจากภาพที่ผ่านการผสมแบนด์แล้วด้วยวิธีการใช้ข้อมูลตัวอย่างในการจำแนก

3.6 สรุป

การสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดินจากการประมวลภาพถ่ายดาวเทียม สามารถนำวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทางธรณีวิทยาซึ่งเป็นวิธีการจำแนกประเภทข้อมูลของภาพถ่ายดาวเทียม มาประยุกต์ใช้เพื่อประมาณค่าของสภาพความต้านทานดินในการสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดิน โดยใช้ข้อมูลตัวอย่างจากการวัดค่าในภาคสนาม มาเป็นตัวอย่างข้อมูลในการจำแนกและในการตรวจสอบความถูกต้อง ใช้วิธีการจำแนกข้อมูลด้วยวิธีการใช้ข้อมูลตัวอย่างในการจำแนกด้วยวิธีการประมาณค่าความควรจะเป็นสูงสุด โดยภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความถูกต้องมากที่สุดคือ ภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากการผสมแบนด์ 7 5 3 แต่ความถูกต้องยังมีค่าน้อยซึ่งอาจเกิดจากสาเหตุของภาพถ่ายดาวเทียมเป็นภาพถ่ายที่ถ่ายในช่วงเวลาที่ต่างกันกับการสำรวจวัดค่าสภาพความต้านทานดินภาคสนาม ทำให้ค่าสภาพความต้านทานดินมีการเปลี่ยนแปลงส่งผลต่อความถูกต้อง สำหรับผลการใช้วิธีการนำแบนด์มาผ่านกระบวนการทางคณิตศาสตร์ให้ความถูกต้องที่มีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำแนกข้อมูลจากภาพที่ผ่านการผสมแบนด์ โดยขั้นตอนและวิธีการสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดินจะนำไปใช้ในการสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดิน ในพื้นที่ที่กว้างขึ้น หรือในบริเวณระหว่างสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 และ 2 เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในระบบไฟฟ้าต่อไป

บทที่ 4

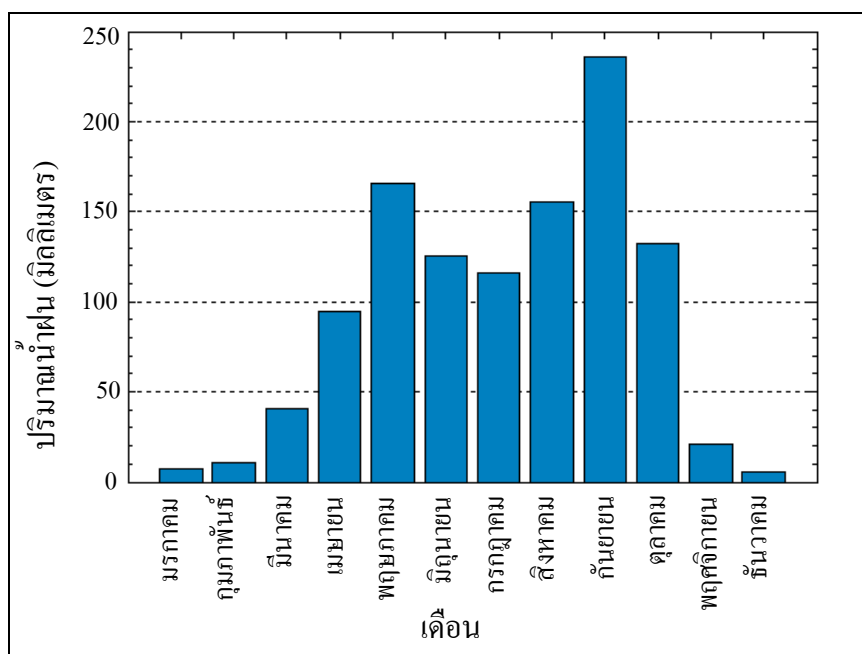
การทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความต้านทานดิน

4.1 บทนำ

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสภาพความต้านทานดิน เช่น ความชื้น อุณหภูมิ จึงได้มีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนซึ่งส่งผลต่อค่าของความชื้นของดิน ในบริเวณพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา และทำการทดสอบวัดค่าสภาพความต้านทานดินจากการสำรวจภาคสนามในช่วงเวลาต่าง ๆ เพื่อศึกษาค่าสภาพความต้านทานดินในช่วงเดือนต่าง ๆ และในรอบวัน รวมถึงได้ทำการทดสอบปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความชื้น และ อุณหภูมิ ในกระบะดินทดลอง ซึ่งปัจจัยที่ศึกษาดังกล่าวเป็นปัจจัยที่เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาต่าง ๆ ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสภาพความต้านทานดินตลอดเวลา เพราะในช่วงเวลาต่าง ๆ ค่าของความชื้น และอุณหภูมิจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เพื่อเป็นการเปรียบเทียบผลการศึกษาและผลที่ได้จากการทดสอบ

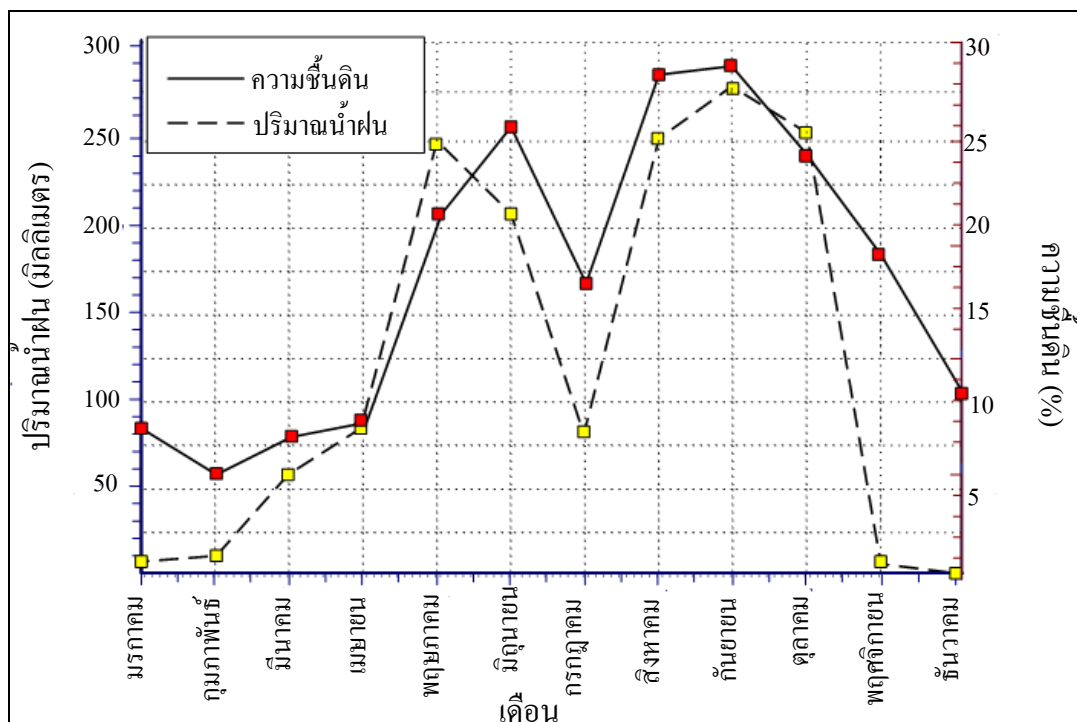
4.2 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนและค่าของความชื้นของดิน

ความชื้นเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความต้านทานดินในช่วงเวลาต่าง ๆ มากที่สุด ปริมาณความชื้นในดินนั้นเป็นผลมาจากปริมาณน้ำฝนที่ตกในบริเวณนั้น ๆ จึงได้มีการรวบรวมและศึกษาข้อมูลปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลาต่าง ๆ โดยอ้างอิงข้อมูลจากสำนักงานอุตุนิยมวิทยา พบว่าสภาพน้ำฝน ในแต่ละเดือนของจังหวัดนครราชสีมา ค่าเฉลี่ย 10 ปี (พ.ศ.2542 - 2551) แสดงดังรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นถึงฤดูกาลที่โดยปกติฤดูฝนจะเริ่มประมาณช่วงเดือนเมษายน โดยมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 95.94 ± 23.82 มิลลิเมตร จากนั้นปริมาณน้ำฝนจะเพิ่มมากขึ้นเป็น 166.11 ± 18.89 มิลลิเมตร ในเดือนพฤษภาคม ปริมาณน้ำฝนสูงสุดอยู่ในเดือนกันยายน 236.35 ± 41.53 มิลลิเมตร ก่อนที่ปริมาณจะลดลงอย่างรวดเร็วในเดือนตุลาคม และฤดูฝนสิ้นสุดในเดือนพฤศจิกายน ปริมาณน้ำฝนสะสมเฉลี่ยรายเดือน 10 ปีย้อนหลัง พบว่าเดือนกันยายนมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยสะสมมากที่สุด คือ 236.35 ± 41.53 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำฝนทั้งปี 1117.89 ± 198.20 มิลลิเมตร



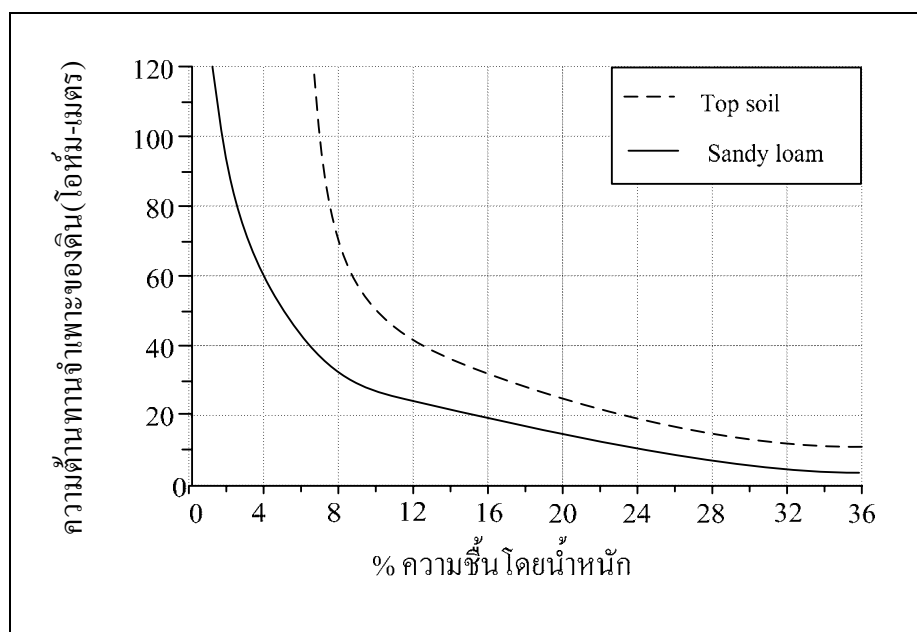
รูปที่ 4.1 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในรอบ 10 ปี (2542 - 2551) ในช่วงเดือนต่าง ๆ
บริเวณจังหวัดนครราชสีมา

ปริมาณน้ำฝนมีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของดิน ซึ่งในแต่ละพื้นที่หรือดินแต่ละชนิดจะมีการกักเก็บน้ำและระบายน้ำไม่เท่ากัน รวมทั้งแร่ธาตุในดินบางชนิด เช่น ธาตุเกลือ เมื่อมีความชื้นสูงจะทำให้หน้าไฟฟ้าได้ดีมาก ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของดินที่ระดับความลึก 60 เซนติเมตร กับปริมาณน้ำฝน ในช่วงเดือนต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 4.2 ซึ่งจากรูปพบว่าช่วงฤดูฝนที่มีฝนตกมากค่าความชื้นของดินจะมีค่าสูง เมื่อเข้าสู่ช่วงฤดูแล้งหรือช่วงเริ่มต้นเดือน พฤศจิกายน ความชื้นจะลดลงอย่างช้า ๆ เนื่องจากปริมาณน้ำฝนมีน้อย และมีการระเหยของน้ำในดินออกไปตลอดเวลา ในช่วงเดือนที่ค่าความชื้นต่ำที่สุดคือช่วงเดือน พฤศจิกายน ถึงเดือน กุมภาพันธ์



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของดินกับปริมาณน้ำฝนที่ระดับความลึก 60 เซนติเมตร

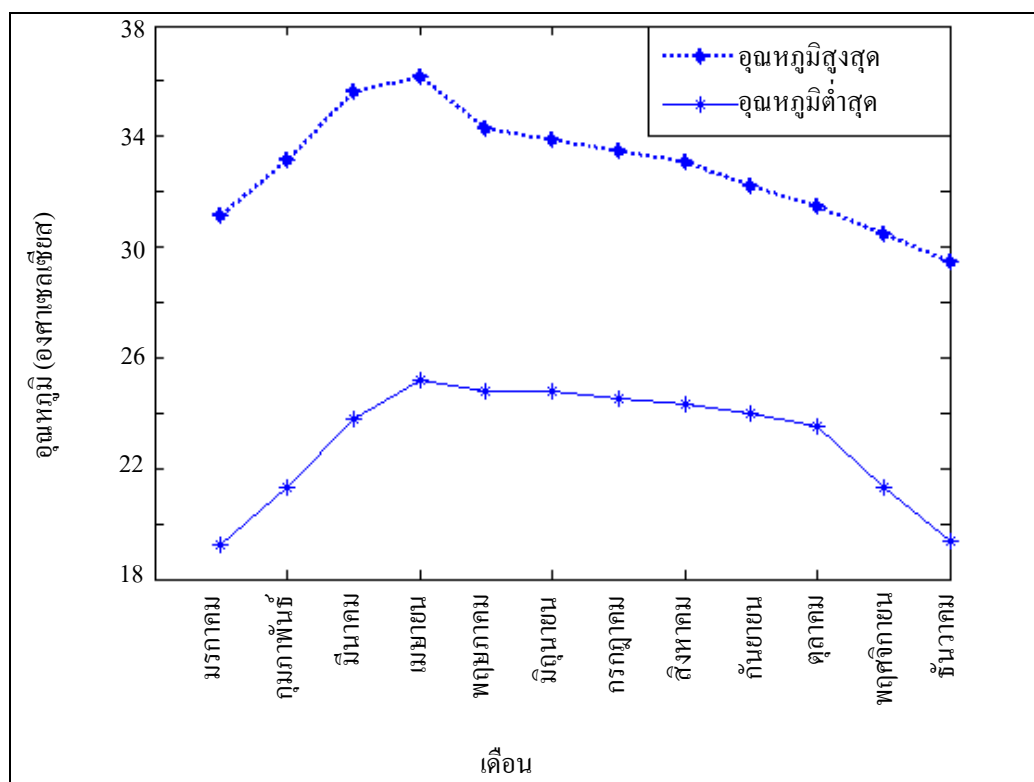
ความต้านทานดินบริเวณผิวดินจะมีค่าสูง และความต้านทานจะลดลงเมื่อมีความลึกลงมากขึ้น ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนและความชื้นมีอิทธิพลต่อค่าสภาพความต้านทานของดินชั้นบนมาก ตัวอย่างอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความต้านทานดินกับความชื้นของดินแสดงดังรูปที่ 4.3 จากกราฟดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าที่ระดับความชื้นสูง ค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้ามีค่าต่ำ และจะมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่ระดับความชื้นต่ำกว่า 12% (ความชื้นโดยน้ำหนัก) ซึ่งดินแต่ละชนิดจะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่คล้ายกัน ดังนั้นในช่วงที่ความชื้นน้อย ดินจะเปรียบเสมือนฉนวนไฟฟ้าที่ดี แต่ในช่วงที่มีความชื้นสูงดินก็จะกลายเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีเช่นกัน



รูปที่ 4.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความต้านทานดินกับความชื้นของดิน

4.3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อค่าสภาพความต้านทานดิน แต่ผลของอุณหภูมิที่มีต่อสภาพความต้านทานไฟฟ้าของดินโดยตรงนั้นมีอัตราน้อย เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของดินในพื้นที่ต่าง ๆ ในช่วงเวลาต่าง ๆ มีช่วงของการเปลี่ยนแปลงที่แคบ แต่อุณหภูมิและสภาพอากาศจะมีผลต่อการระเหยของน้ำในดินซึ่งจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของดิน ตัวอย่างข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดในเดือนต่าง ๆ บริเวณจังหวัดนครราชสีมา เฉลี่ย 10 ปี (พ.ศ. 2542 - 2551) โดยอ้างอิงข้อมูลจากสำนักงานอุตุวิทยามหาวิทยาลัยขอนแก่น แสดงดังรูปที่ 4.4 พบว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตลอดปีของจังหวัดนครราชสีมา มีสภาพอากาศหนาวเย็นช่วงต้นปี อุณหภูมิเฉลี่ยในเดือนมกราคม $25.05 \pm 0.24^{\circ}\text{C}$ อุณหภูมิต่ำสุดลดลงถึง $19.04 \pm 0.30^{\circ}\text{C}$ อุณหภูมิเฉลี่ยเริ่มขยับสูงขึ้นเรื่อย ๆ จากเดือนกุมภาพันธ์ $27.05 \pm 0.46^{\circ}\text{C}$ ถึงเดือนเมษายน $30.62 \pm 0.26^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเป็นช่วงกลางฤดูร้อน อุณหภูมิในตอนกลางวันร้อนจัดในเดือนมีนาคมและเมษายน โดยอุณหภูมิสูงสุด $35.39 \pm 0.37^{\circ}\text{C}$ และ $36.28 \pm 0.42^{\circ}\text{C}$ ในเดือนมีนาคมและเมษายน ตามลำดับ หลังจากนั้นอุณหภูมิลดลงเล็กน้อยเมื่อเข้าสู่ช่วงฤดูฝน จนถึงเดือนสิงหาคม จากนั้นลดลงเรื่อย ๆ เนื่องจากเข้าสู่ฤดูหนาว อุณหภูมิลดลงถึงต่ำสุดช่วงปลายปีในเดือนธันวาคมมีอุณหภูมิต่ำสุด $18.99 \pm 0.50^{\circ}\text{C}$ เฉลี่ย $24.24 \pm 0.45^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดเฉลี่ย ในช่วงเดือนต่าง ๆ

การเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความต้านทานดินที่เป็นผลมาจากอุณหภูมินั้น เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในอัตราการเปลี่ยนแปลงมากจึงจะส่งผลต่อค่าสภาพความต้านทานดินโดยตรง แต่ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจากดินแบบช้า ๆ จะส่งผลโดยอ้อมคือเมื่ออุณหภูมิดินมีค่าเพิ่มขึ้นจะส่งผลต่ออัตราการระเหยของน้ำในดิน ซึ่งจะทำให้ความชื้นของดินมีค่าลดลง และทำให้ค่าสภาพความต้านทานดินมีการเปลี่ยนแปลง

4.4 การทดสอบวัดค่าสภาพความต้านทานดินเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลง

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความต้านทานดิน จึงได้มีการทดลองวัดค่าสภาพความต้านทานดินในช่วงเวลาต่าง ๆ ทั้งในช่วงรอบปี และรอบวัน เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลง และการทดสอบในกระบะดินทดสอบเพื่อเป็นการศึกษา โดยได้ดำเนินการทดสอบดังต่อไปนี้

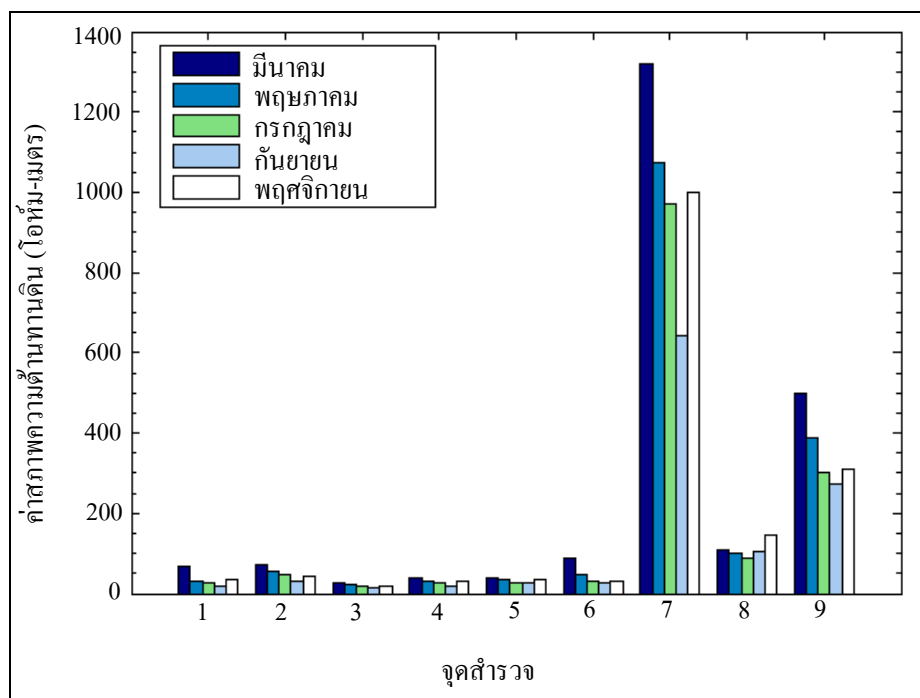
4.4.1 การทดสอบวัดค่าสภาพความต้านทานดินในช่วง 1 ปี

เพื่อเป็นการศึกษาอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าสภาพความต้านทานดิน ในช่วงเวลาต่าง ๆ ในรอบ 1 ปี จึงได้มีการสำรวจภาคสนามในจุดทดสอบ 9 จุด โดยมีการวัดค่าสภาพความต้านทานดิน ค่าความชื้นของดิน และค่าอุณหภูมิ เพื่อสังเกตลักษณะการเปลี่ยนแปลง ได้ผลการวัดค่าสภาพความต้านทานดินดังตารางที่ 4.1 และผลการวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นทั้งหมดดังในภาคผนวก ก.

ตารางที่ 4.1 ค่าสภาพความต้านทานดิน ในช่วงเดือนต่าง ๆ ปี 2552

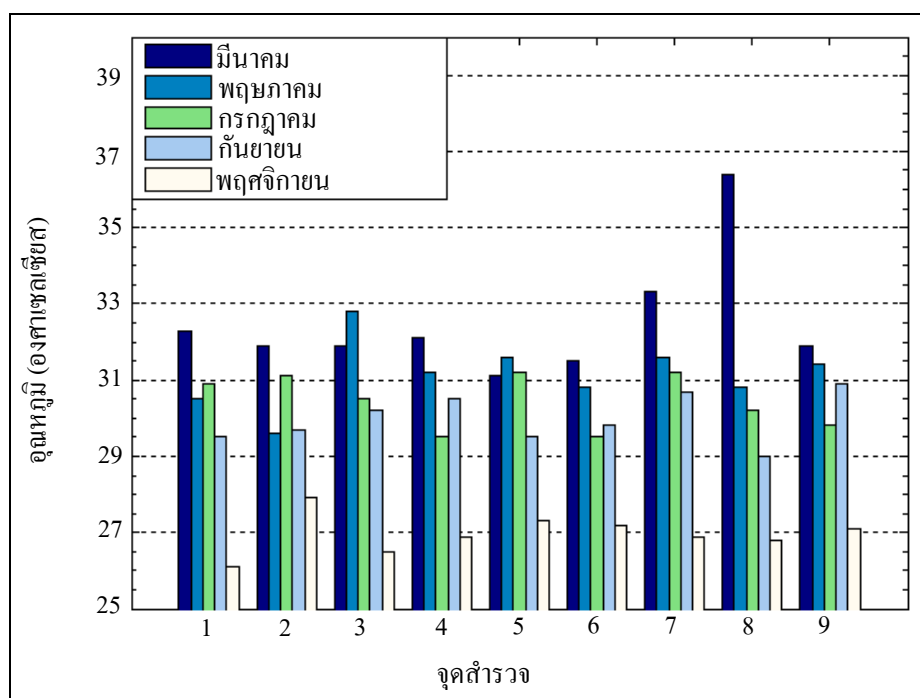
จุดที่	ตำแหน่ง พิกัดทางภูมิศาสตร์		ค่าสภาพความต้านทานดิน ($\Omega.m$)				
			มีนาคม	พฤษภาคม	กรกฎาคม	กันยายน	พฤศจิกายน
1	0178338E	1649352N	68.2	31.3	25.6	20.1	35.1
2	0178874E	1649006N	70.7	55.8	48.2	32.5	44.3
3	0177923E	1648594N	28.1	22.0	17.8	14.3	19.2
4	0177770E	1647655N	38.8	31.8	27.9	20.5	29.1
5	0177741E	1647627N	37.2	36.2	28.1	25.1	33.1
6	0181194E	1645615N	88.3	48.0	30.8	25.2	30.9
7	0182339E	1645256N	1318	1072	972.6	643.5	998.3
8	0179137E	1648218N	107.2	99.3	87.3	103.7	145.6
9	0181507E	1645293N	500	386	301.3	273.5	310.5

จากตารางที่ 4.1 เมื่อนำค่าสภาพความต้านทานดินมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจุดทดสอบกับค่าสภาพความต้านทานดินเปรียบเทียบในช่วงเดือนต่าง ๆ ได้ดังกราฟรูปที่ 4.5 และจากข้อมูลการวัดในภาคผนวก ก. เมื่อนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจุดทดสอบกับค่าอุณหภูมิของดินเปรียบเทียบกันในช่วงเดือนต่าง ๆ ได้ดังกราฟรูปที่ 4.6 และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจุดทดสอบกับค่าความชื้นของดินในช่วงเวลาต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.7 ซึ่งจากกราฟการเปลี่ยนแปลงที่ได้ทั้งค่าสภาพความต้านทานดิน อุณหภูมิของดิน และความชื้นของดิน มีความสัมพันธ์กัน โดยเมื่ออยู่ในช่วงเดือนที่มีความชื้นสูง ค่าสภาพความต้านทานดินจะมีค่าต่ำ สำหรับผลของอุณหภูมิไม่มีผลมากต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสภาพความต้านทานดิน



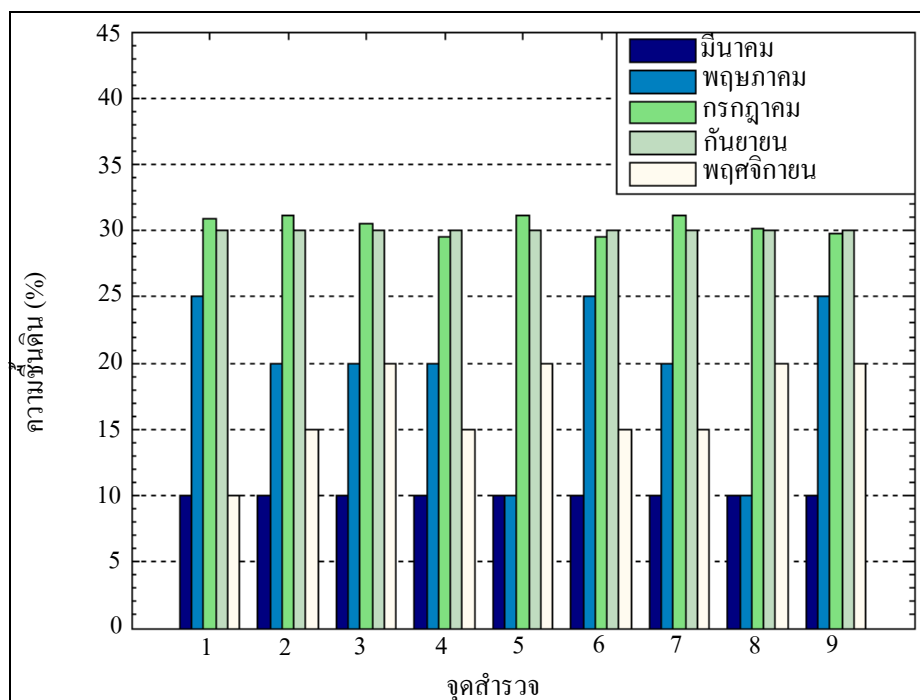
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างจุดทดสอบกับค่าสภาพความต้านทานของดินในช่วงเดือนต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.5 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจุดทดสอบกับค่าสภาพความต้านทานดินเปรียบเทียบในช่วงเดือนต่าง ๆ พบว่าเดือนมีนาคม ค่าสภาพความต้านทานดินมีค่าสูงและมีค่าลดลงในเดือนพฤษภาคมและเดือนกรกฎาคม มีค่าต่ำสุดในเดือนกันยายน และมีค่าสูงขึ้นในเดือนพฤศจิกายน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าสภาพความต้านทานดินมีการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลทางธรรมชาติ คือในช่วงฤดูฝนค่าสภาพความต้านทานดินมีค่าต่ำกว่าช่วงฤดูแล้ง



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างจุดทดสอบกับค่าอุณหภูมิของดินในช่วงเดือนต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.6 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจุดทดสอบกับค่าอุณหภูมิของดินเปรียบเทียบในช่วงเดือนต่าง ๆ ซึ่งเป็นการทดสอบวัดในช่วงเวลากลางวันพบว่าค่าอุณหภูมิของดินมีการเปลี่ยนแปลงสอดคล้องกับฤดูกาลทางธรรมชาติ โดยในช่วงเดือนมีนาคมอุณหภูมิของดินมีค่าสูงและมีค่าต่ำในเดือนพฤศจิกายน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงในช่วงกลางวันและกลางคืนจะ ได้มีการทดสอบเพื่อศึกษาต่อไป



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างจุดทดสอบกับค่าความชื้นของดินในช่วงเดือนต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.7 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจุดทดสอบกับค่าความชื้นของดินเปรียบเทียบในช่วงเดือนต่าง ๆ พบว่าค่าความชื้นของดินมีการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกับฤดูกาลทางธรรมชาติ คือ ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน ความชื้นของดินมีค่าสูง และมีค่าลดต่ำในเดือนพฤศจิกายน และเดือนมีนาคมซึ่งเป็นฤดูแล้งที่ปริมาณน้ำฝนมีน้อย

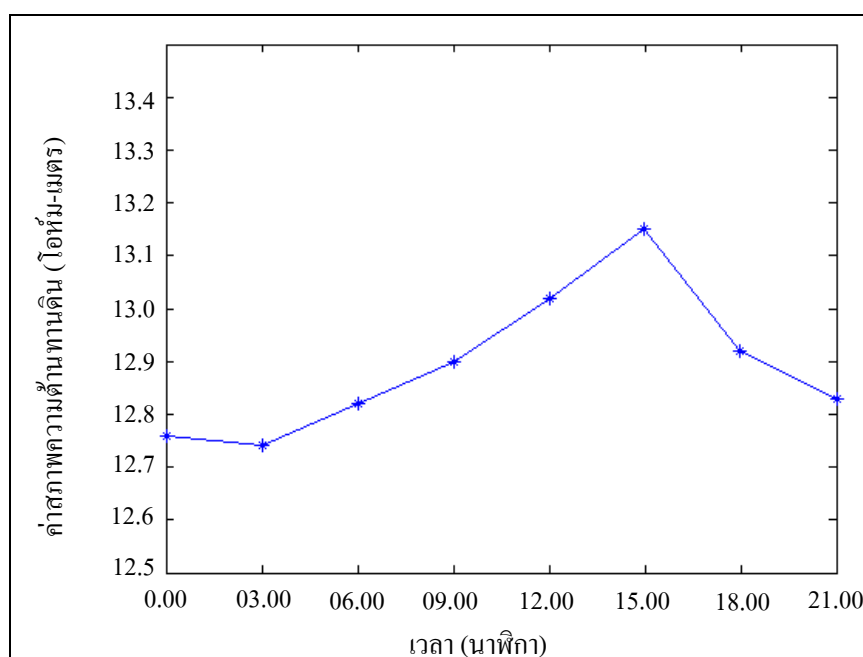
ปัจจัยต่าง ๆ ที่ได้ทำการศึกษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความต้านทานดินในช่วงเวลาต่าง ๆ สามารถที่จะนำแนวโน้มและอัตราการเปลี่ยนแปลงไปประกอบในการวิเคราะห์หรือประมาณการเปลี่ยนแปลงของค่าสภาพความต้านทานดิน ที่ได้จากแผนที่ค่าสภาพความต้านทานดิน ให้มีค่าที่ใกล้เคียงกับช่วงเวลาต่าง ๆ ในรอบ 1 ปีต่อไป

4.4.2 การทดสอบวัดค่าสภาพความต้านทานดินในช่วง 1 วัน

การทดสอบวัดค่าสภาพความต้านทานในช่วงเวลา 1 วัน หรือ 24 ชั่วโมง เป็นการวัดค่าเพื่อศึกษาและสังเกตอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าสภาพความต้านทานดิน ค่าความชื้น และค่าอุณหภูมิในรอบวัน ว่ามีการเปลี่ยนแปลงในปริมาณที่มากหรือน้อย เพราะในช่วงหนึ่งวันจะมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของอากาศโดยกลางวันอากาศมีอุณหภูมิที่สูง และตอนกลางคืนอากาศมีอุณหภูมิต่ำ ซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าสภาพความต้านทานดิน โดยได้ทำการวัดในจุดทดสอบ ทุก ๆ 3 ชั่วโมง ได้ผลการวัดค่าดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการวัดค่าสภาพความต้านทานดิน ความชื้นและอุณหภูมิ ในรอบ 1 วัน (24 ชั่วโมง)

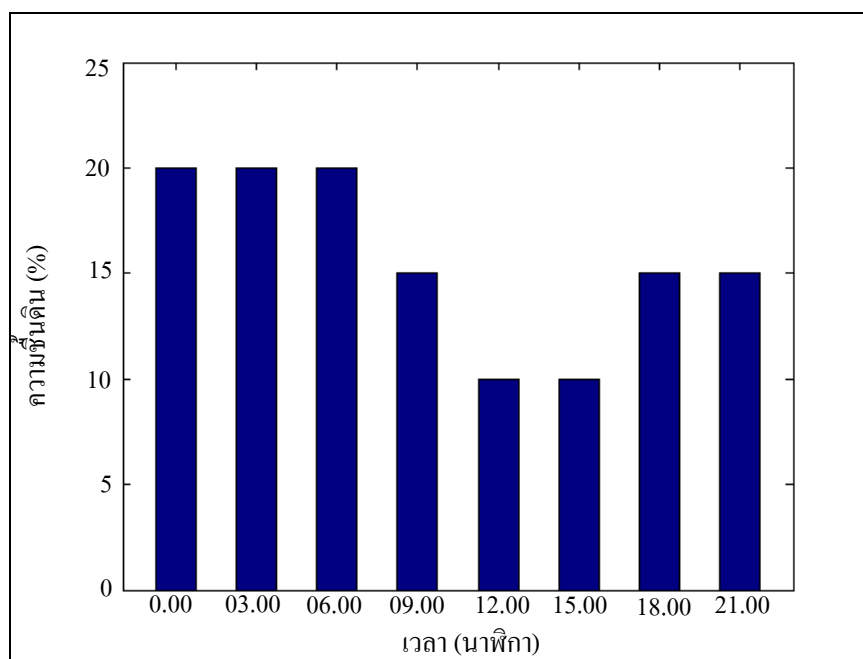
พิกัด	เวลา	ค่าสภาพความต้านทานดิน ($\Omega.m$)				ความชื้น (%)	อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
0178260E 1648963N	18.00	13.18	12.96	12.62	12.92	20	30.3
	21.00	12.67	12.91	12.90	12.83	20	28.8
	00.00	13.01	12.08	13.19	12.76	20	27.6
	03.00	12.56	12.73	12.93	12.74	20	27.3
	06.00	12.78	12.86	12.82	12.82	20	28.1
	09.00	13.01	13.01	12.68	12.90	15	31.3
	12.00	13.02	13.00	13.04	13.02	15	32.0
	15.00	13.17	13.07	13.20	13.15	15	32.9



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในช่วงวันกับค่าสภาพความต้านทานดิน

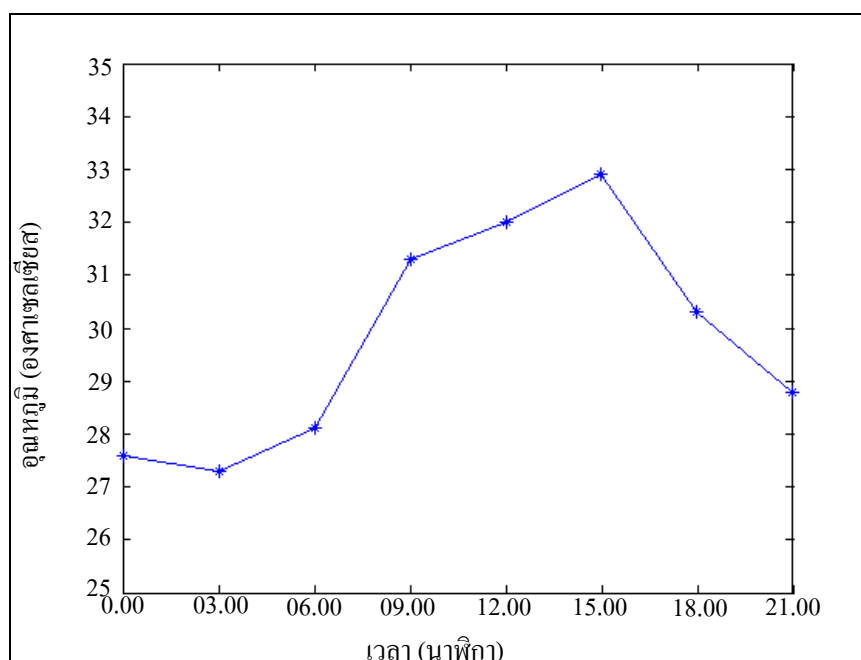
จากรูปที่ 4.8 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในช่วงวันและค่าสภาพความต้านทานดิน พบว่าค่าสภาพความต้านทานดินมีการเปลี่ยนแปลงในอัตราที่น้อยโดยในวันปกติที่ไม่มีฝนตก ค่าสภาพความต้านทานดินมีค่าสูงขึ้นในช่วงเวลา ประมาณ 15.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำ ในช่วง

เวลาประมาณ 24.00 นาฬิกา โดยมีการเปลี่ยนแปลงของค่าสภาพความต้านทานดินในรอบวันน้อยมากคือประมาณ $0.4 \Omega.m$



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในช่วงรอบวันกับค่าความชื้น

จากรูปที่ 4.9 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในช่วงรอบวันกับค่าความชื้น พบว่าค่าความชื้นมีค่าสูงในช่วงเวลากลางคืน และมีค่าต่ำในช่วงเวลากลางวัน โดยเฉพาะในช่วงเวลาประมาณ 12.00 นาฬิกา ถึง 15.00 นาฬิกา ความชื้นมีค่าต่ำ ส่งผลให้ค่าสภาพความต้านทานดิน มีค่าสูงขึ้น



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในช่วงวันกับค่าของอุณหภูมิของดิน

จากรูปที่ 4.10 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในช่วงรอบวันกับค่าของอุณหภูมิของดิน พบว่าค่าอุณหภูมิของดินมีค่าต่ำในช่วงเวลากลางคืน และมีค่าสูงในเวลากลางวัน เป็นไปตามอุณหภูมิของอากาศในช่วงวัน ซึ่งจะส่งผลต่อค่าของความชื้นของดินและค่าสภาพความต้านทานดิน

จากข้อมูลการสำรวจและกราฟการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความต้านทานดิน ค่าของความชื้นของดิน และอุณหภูมิของดิน กับเวลาในช่วงรอบวัน พบว่าค่าต่าง ๆ มีความสัมพันธ์กันคือ ในช่วงเวลาที่ค่าความชื้นมีค่าต่ำ อุณหภูมิมีค่าสูง ส่งผลให้ค่าสภาพความต้านทานดินมีค่าสูง ในช่วงเวลาประมาณ 12.00 นาฬิกา ถึง 18.00 นาฬิกา

4.4.3 การทดสอบวัดค่าสภาพความต้านทานดินในกระบะดินทดสอบ

ทำการทดสอบค่าสภาพความต้านทานดินในกระบะดินทดลองเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความต้านทานดิน ที่มีผลมาจากความชื้น โดยมีการควบคุมความชื้นของดิน ด้วยการเพิ่มปริมาณความชื้นของดินในกระบะดินจากการเพิ่มปริมาณน้ำให้มีความสม่ำเสมอ ลงบนผิวดินแล้วรอให้น้ำซึมลงไปดิน จากนั้นทำการวัดค่าสภาพความต้านทานดินเป็นช่วง ๆ แต่ไม่สามารถควบคุมค่าของอุณหภูมิได้เนื่องจากทำได้ยากเพราะเนื้อดินมีความหนาและนำความร้อนได้ไม่ดี โดยใช้ดินบริเวณผิวดินที่มีลักษณะเป็นดินร่วนปนทรายมาใช้ในการทดสอบดังรูปที่ 4.11 ซึ่งมี

ความกว้าง 50 เซนติเมตร ยาว 4.5 เมตร และสูง 50 เซนติเมตร ได้ผลการทดสอบค่าสภาพความต้านทานดินดังตารางที่ 4.3

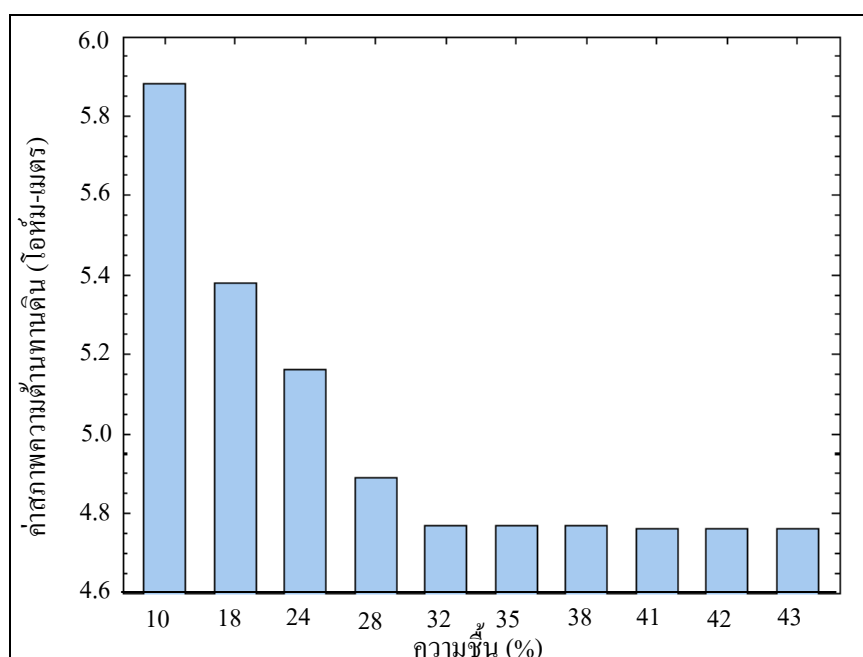


รูปที่ 4.11 กระบะดินทดสอบค่าสภาพความต้านทานดิน

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบค่าสภาพความต้านทานดินจากกระบะดินทดลอง

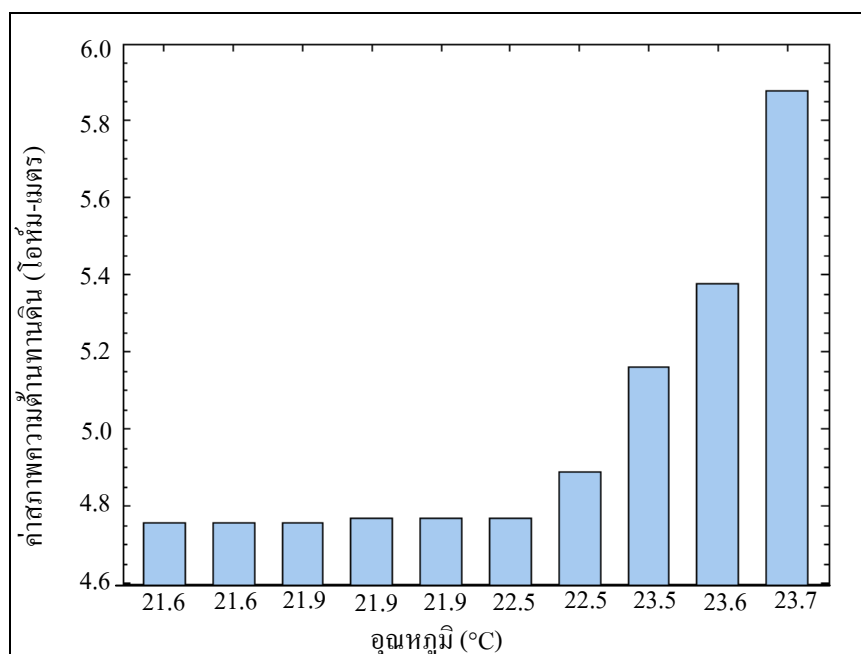
ครั้งที่	ค่าสภาพความต้านทานดิน ($\Omega.m$)	อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	ความชื้น (%)
1	5.88	23.7	10
2	5.38	23.6	18
3	5.16	23.5	24
4	4.89	22.5	28
5	4.77	22.5	32
6	4.77	21.9	35
7	4.77	21.9	38
8	4.76	21.9	41
9	4.76	21.6	42
10	4.76	21.6	43

จากตารางที่ 4.3 เมื่อนำค่าจากผลการวัดที่ได้มาสร้างกราฟเพื่อสังเกตแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความต้านทานดิน ที่เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของค่าความชื้นในดิน ได้ดังกราฟรูปที่ 4.12 และความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับค่าสภาพความต้านทานดินดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านจำเพาะของดินกับความชื้น

จากรูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านจำเพาะของดินกับความชื้นของดิน พบว่าเมื่อความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ค่าสภาพความต้านทานของดินมีค่าลดลง เมื่อทำการเพิ่มปริมาณน้ำให้กับดินเพิ่มขึ้นความชื้นของดินจะมีการอิ่มตัว และค่าสภาพความต้านทานดินมีค่าต่ำลงจนถึงค่าหนึ่ง แสดงให้เห็นว่าดินแต่ละพื้นที่จะมีการอิ่มตัวของน้ำ แต่จะทำให้ค่าสภาพความต้านทานของดินมีค่าต่ำลงถึงระดับหนึ่ง



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านจำเพาะของดินกับอุณหภูมิ

จากรูปที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านจำเพาะของดินกับอุณหภูมิ พบว่าค่าสภาพความต้านทานดินมีค่ามีค่าต่ำลงเมื่อค่าของอุณหภูมิมี่ค่าลดลง แต่ทั้งนี้สาเหตุของการลดลงของอุณหภูมิมี่เป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของความชื้นในดินซึ่งส่งผลโดยตรงกับค่าสภาพความต้านทานดิน เพราะไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิของดินได้

4.5 สรุป

ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสภาพความต้านทานดินในบริเวณใดบริเวณหนึ่ง จะมีการเปลี่ยนแปลงอันเป็นผลมาจากปัจจัย ความชื้น อุณหภูมิ ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพอากาศ จึงมีความไม่แน่นอนเพราะสภาพอากาศมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาและมีความไม่แน่นอน จากการทดสอบปัจจัยต่าง ๆ พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าสภาพความต้านทานดินมากที่สุดที่ความชื้น ซึ่งความชื้นนั้นเป็นผลมาจากปริมาณน้ำฝน เมื่อความชื้นสูงค่าสภาพความต้านทานดินจะมีค่าน้อย ส่วนปัจจัยของอุณหภูมิมี่ผลกับการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความต้านทานดินในอัตราที่น้อย เพราะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในประเทศไทย มีความแตกต่างของอุณหภูมิในช่วงรอบวันอยู่ในอัตราที่น้อย

บทที่ 5

การสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดินจากภาพถ่ายดาวเทียม

5.1 บทนำ

ในบทนี้กล่าวถึงการสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดินจากการประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียม โดยใช้วิธีการเช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์ข้อมูลทางธรณีวิทยา ซึ่งใช้ข้อมูลการสำรวจในภาคสนามประกอบในการสร้าง โดยได้มีการปรับปรุงวิธีการวัดค่าสภาพความต้านทานดินเพื่อให้ตรงตามมาตรฐานและให้มีความถูกต้องมากขึ้น สำหรับใช้เป็นข้อมูลตัวอย่างสำหรับการประมาณค่าสภาพความต้านทานดิน โดยใช้เทคนิคการจำแนกประเภทข้อมูลด้วยวิธีการที่ใช้ข้อมูลตัวอย่างในการจำแนก แบบการประมาณค่าความควรจะเป็นสูงสุด ดำเนินการด้วยโปรแกรม ENVI โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมจากการผสมแบนด์ 6 แบบ เพื่อเป็นการเปรียบเทียบช่วงแบนด์ที่เหมาะสมในการสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดิน โดยจะนำแผนที่สภาพความต้านทานดินที่มีความถูกต้องมากที่สุด ไปประยุกต์ใช้ในระบบไฟฟ้าต่อไป

5.2 การเตรียมข้อมูลสำหรับการสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดิน

การเตรียมข้อมูลสำหรับสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดินมีการเตรียมข้อมูล 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม และส่วนของข้อมูลการสำรวจวัดค่าสภาพความต้านทานดินภาคสนาม เนื่องจากค่าสภาพความต้านทานดินมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพอากาศ ดังนั้นข้อมูลการสำรวจในภาคสนามจึงต้องเป็นข้อมูลที่สำรวจในวันที่ดาวเทียมถ่ายภาพในบริเวณที่ต้องการสร้างแผนที่ค่าสภาพความต้านทานดิน เพื่อให้ข้อมูลการสำรวจและภาพถ่ายดาวเทียมมีความสัมพันธ์กันมากที่สุด

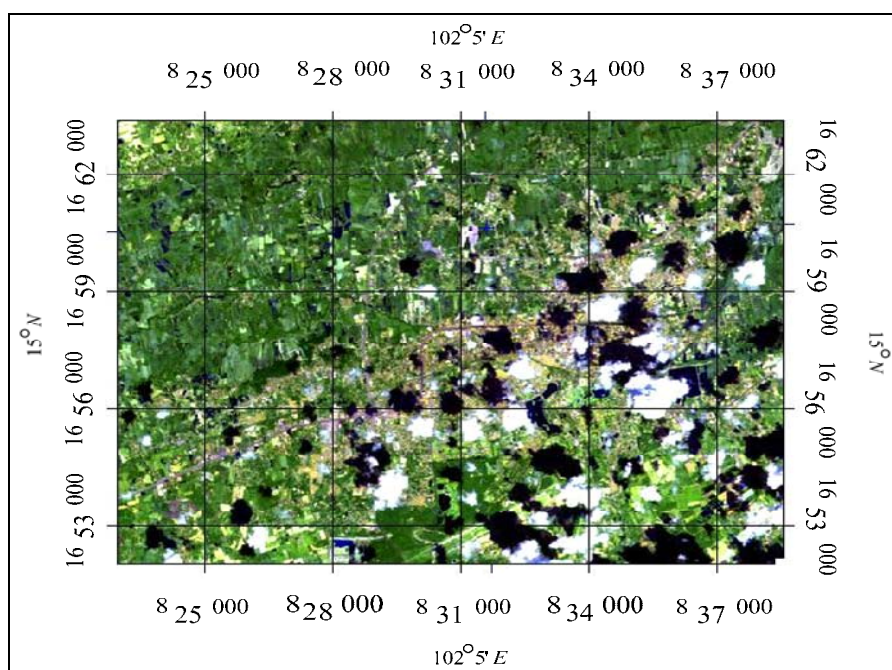
5.2.1 การเตรียมภาพถ่ายดาวเทียม

เตรียมภาพถ่ายดาวเทียมโดยการเลือกภาพถ่ายดาวเทียมที่ครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการ โดยให้สัมพันธ์กับตารางวันที่ดาวเทียมโคจรผ่านบริเวณดังกล่าว งานวิจัยนี้ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมจากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรณีชาติแลนด์แซต 5 ใช้ภาพ Path 128 Row 50 ซึ่งเป็นภาพที่ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา ตารางการโคจรของดาวเทียมแลนด์แซต 5 แสดงในภาคผนวก ข. ภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้มีลักษณะเป็นแบนด์ทั้งหมด 7 แบนด์ ซึ่งแต่ละแบนด์จะจัดเก็บข้อมูลการสะท้อนในช่วงคลื่นต่าง ๆ และแสดงผลเป็นแบบค่าระดับสีเทา เมื่อต้องการนำมาสร้างให้

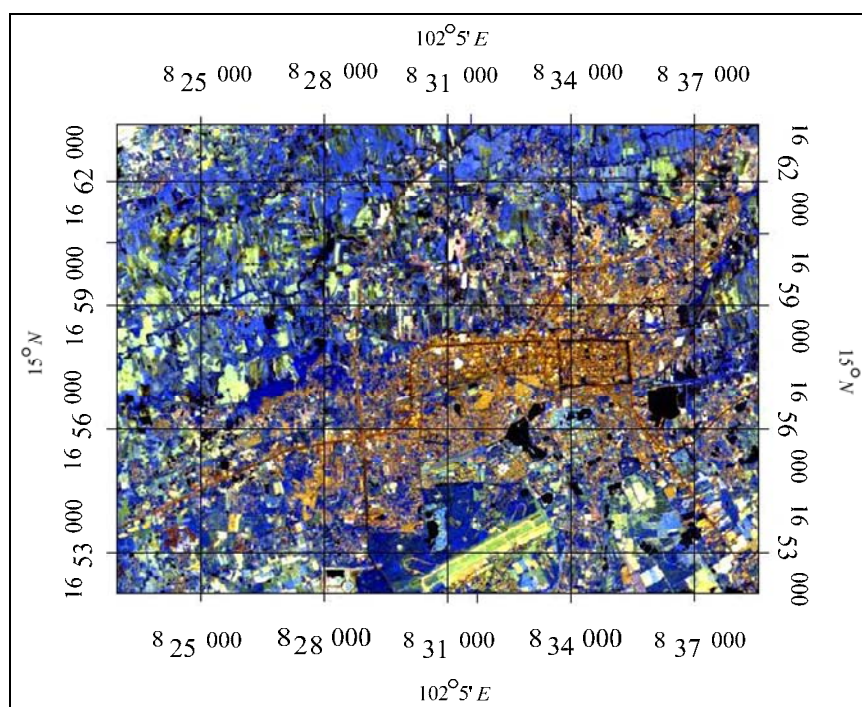
เกิดเป็นภาพที่แสดงถึงลักษณะต่าง ๆ ของพื้นผิวโลก ต้องนำมาผสมสีเท็จหรือการผสมแบนด์ให้กับภาพเพื่อให้เกิดเป็นภาพสี สำหรับนำไปวิเคราะห์ และประมาณค่าสภาพความต้านทานดินได้ โดยในการใช้ภาพถ่ายดาวเทียมนั้นต้องเลือกภาพถ่ายดาวเทียมที่ไม่มีเมฆปกคลุม เพราะถ้าภาพถ่ายมีเมฆปกคลุมมากจะส่งผลต่อการสะท้อนของวัตถุบนพื้นโลก ทำให้ภาพถ่ายมีการบิดเพี้ยน ส่งผลต่อการนำมาวิเคราะห์ค่าสภาพความต้านทานดิน ตัวอย่างลักษณะภาพถ่ายดาวเทียมที่มีเมฆปกคลุมดังรูปที่ 5.1 ซึ่งเป็นภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ 7-5-3 ถ่ายเมื่อวันที่ 28 พฤศจิกายน 2552 จะเห็นว่าลักษณะของภาพมองเห็นวัตถุที่เป็นก้อนเมฆปกคลุม ทำให้บางส่วนของภาพถูกบังด้วยเมฆ ในการทดสอบนี้ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมเมื่อวันที่ 12 พฤศจิกายน 2552 ซึ่งเป็นภาพที่ไม่มีเมฆปกคลุม หลังจากได้ภาพถ่ายดาวเทียมมาแล้วซึ่งมีทั้งหมด 7 แบนด์ ทำการผสมแบนด์ทั้งหมด 6 ชุดดังนี้

- 1) แบนด์ 7-5-4
- 2) แบนด์ 7-5-3
- 3) แบนด์ 7-4-3
- 4) แบนด์ 5-4-3
- 5) แบนด์ 5-3-2
- 6) แบนด์ 4-3-2

หลังจากทำการผสมแบนด์ครบทั้ง 6 ชุดแล้ว ทำการตัดภาพจากที่มุมซ้ายบนที่พิกัด 822965.35E 1663375.5N และมุมขวาล่างที่พิกัด 838535.35E 1652065.5N มีขนาดภาพประมาณ 176 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ระหว่างสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 และ 2 สำหรับการเลือกพิกัดในการตัดภาพนั้นสามารถกำหนดจุดได้ตามความเหมาะสม โดยต้องคำนึงถึงจุดสำรวจที่ได้ทำการสำรวจ เพื่อให้จุดสำรวจอยู่ในภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้ตัดภาพออกมา ภาพถ่ายดาวเทียมที่ผ่านการผสมแบนด์ทั้ง 6 ชุดและผ่านการตัดภาพในบริเวณระหว่างสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 และ 2 จากการดำเนินการด้วยโปรแกรม ENVI แสดงดังรูปที่ 5.2 - 5.7

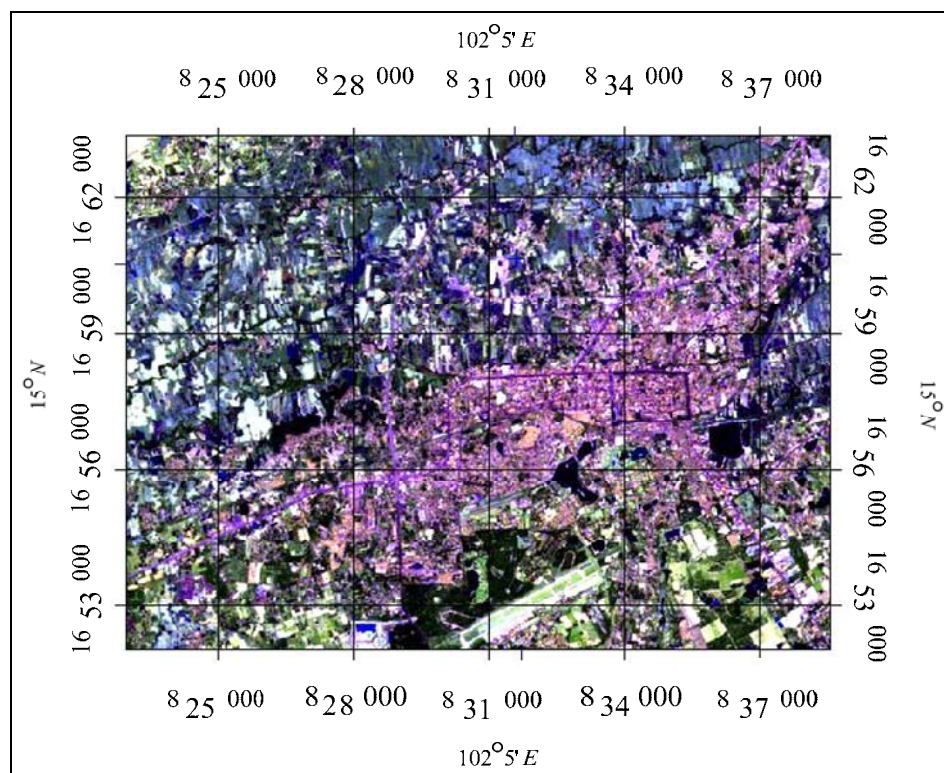


รูปที่ 5.1 ภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากการผสมแบนด์ 7-5-3 ที่มีเมฆปกคลุมถ่ายเมื่อวันที่ 28 พฤศจิกายน 2552



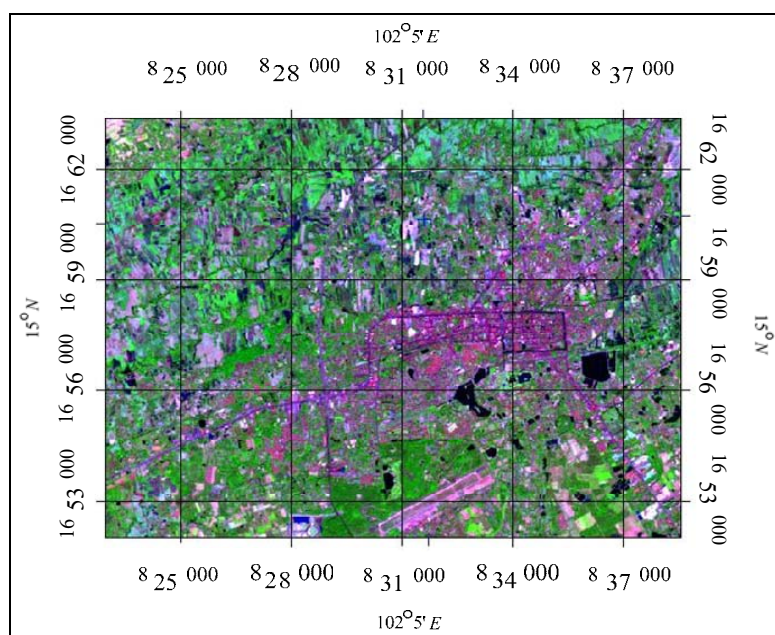
รูปที่ 5.2 ภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากการผสมแบนด์ 7-5-4

จากรูปที่ 5.2 เป็นภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากการผสมแบนด์ 7-5-4 ถ่ายเมื่อวันที่ 12 พฤศจิกายน 2552 พบว่ามีลักษณะสีส่วนใหญ่เป็นสีน้ำเงิน เขียว เหลืองและดำ โดยพื้นที่ที่มีต้นไม้ปกคลุมส่วนใหญ่เป็นสีน้ำเงิน



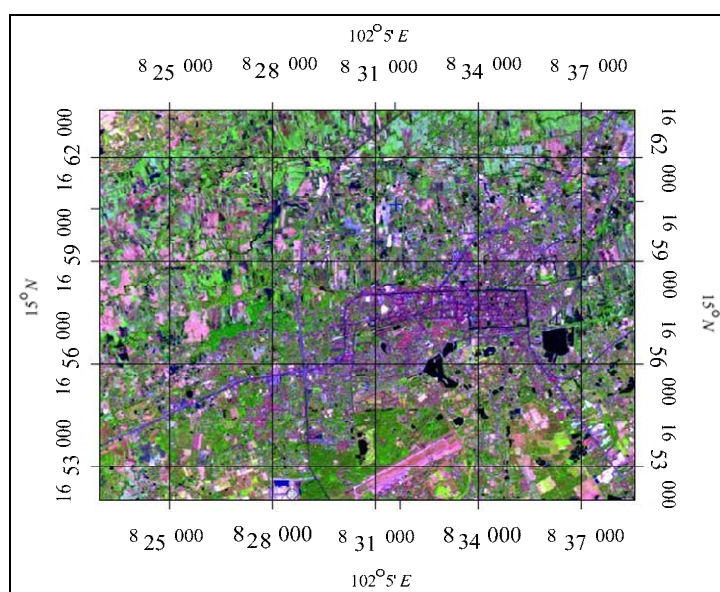
รูปที่ 5.3 ภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากการผสมแบนด์ 7-5-3

จากรูปที่ 5.3 เป็นภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากการผสมแบนด์ 7-5-3 ถ่ายเมื่อวันที่ 12 พฤศจิกายน 2552 พบว่ามีลักษณะสีส่วนใหญ่เป็นสีเขียว น้ำเงิน ม่วงและดำ โดยพื้นที่ที่มีต้นไม้ปกคลุมส่วนใหญ่เป็นสีเขียว น้ำเงิน



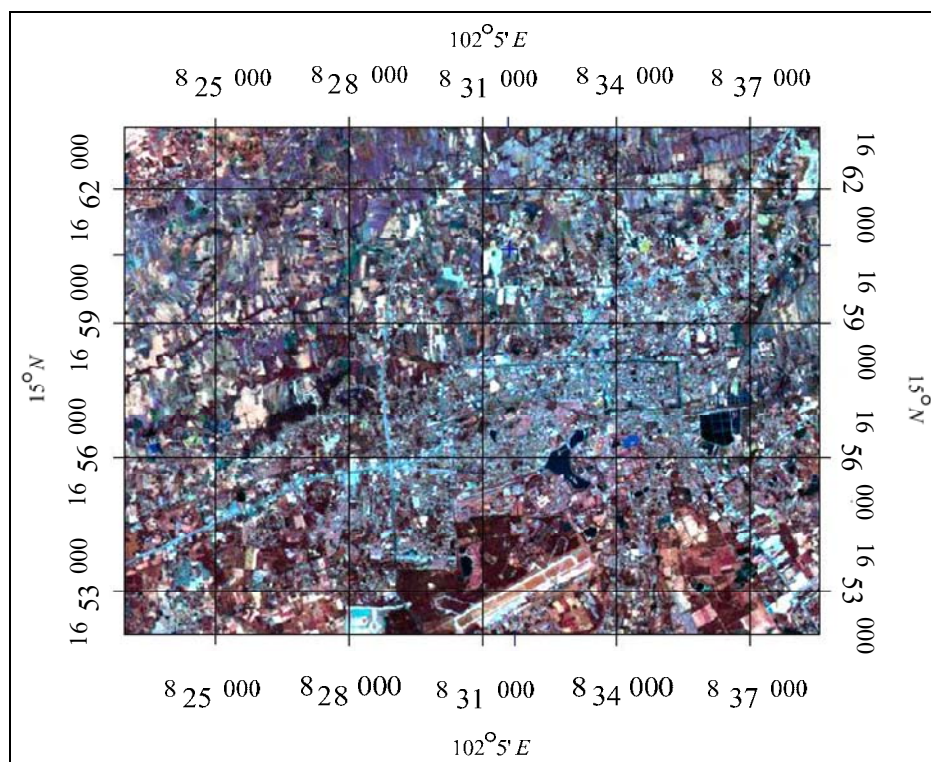
รูปที่ 5.4 ภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากการผสมแบนด์ 7-4-3

จากรูปที่ 5.4 เป็นภาพถ่ายภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากการผสมแบนด์ 7-4-3 ถ่ายเมื่อวันที่ 12 พฤศจิกายน 2552 พบว่ามีลักษณะสีส่วนใหญ่เป็นสีเขียว ฟ้า ชมพู ม่วงและดำ โดยพื้นที่ที่มีต้นไม้ปกคลุมส่วนใหญ่เป็นสีเขียว



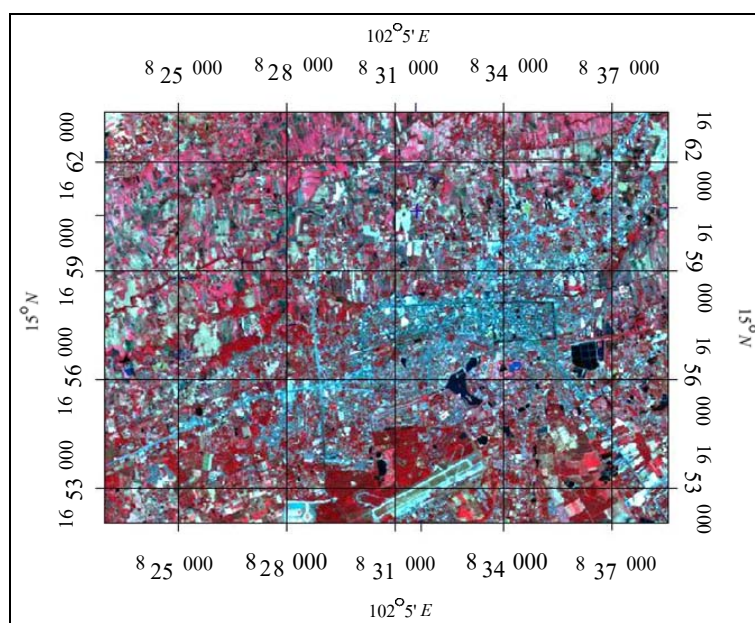
รูปที่ 5.5 ภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากการผสมแบนด์ 5-4-3

จากรูปที่ 5.5 เป็นภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากการผสมแบนด์ 5-4-3 ถ่ายเมื่อวันที่ 12 พฤศจิกายน 2552 พบว่ามีลักษณะสีส่วนใหญ่เป็นสีเขียว น้ำเงิน ชมพู ม่วงและดำ โดยพื้นที่ที่มีต้นไม้ปกคลุมส่วนใหญ่เป็นสีน้ำเงิน



รูปที่ 5.6 ภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากการผสมแบนด์ 5-3-2

จากรูปที่ 5.6 เป็นภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากการผสมแบนด์ 5-3-2 ถ่ายเมื่อวันที่ 12 พฤศจิกายน 2552 พบว่ามีลักษณะสีส่วนใหญ่เป็นสีน้ำตาล ฟ้ำ ขาวและดำ โดยพื้นที่ ที่มีต้นไม้ปกคลุมส่วนใหญ่เป็นสีน้ำตาล



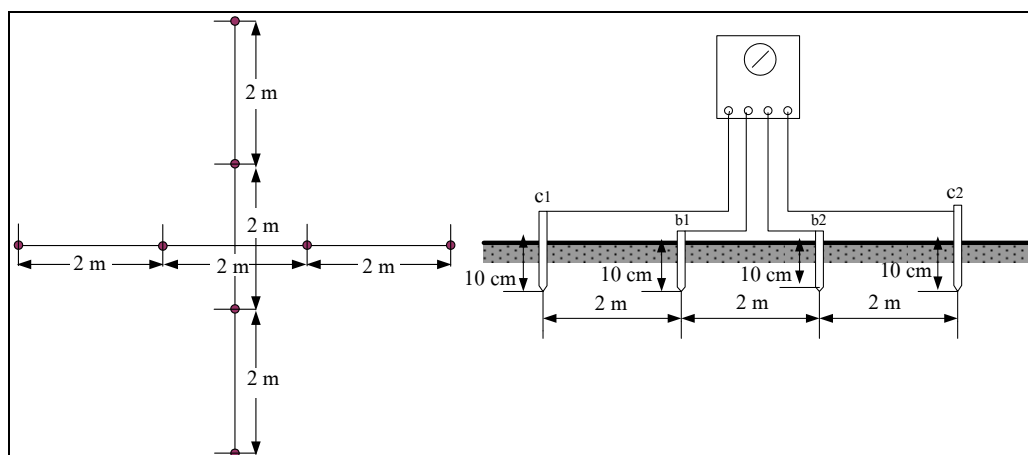
รูปที่ 5.7 ภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากการผสมแบนด์ 4-3-2

จากรูปที่ 5.7 เป็นภาพถ่ายภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากการผสมแบนด์ 4-3-2 ถ่ายเมื่อวันที่ 12 พฤศจิกายน 2552 พบว่ามีลักษณะสีส่วนใหญ่เป็นสีแดง ฟ้า ขาว และดำ โดยพื้นที่ที่มีต้นไม้ปกคลุมส่วนใหญ่เป็นเขียวสีแดง

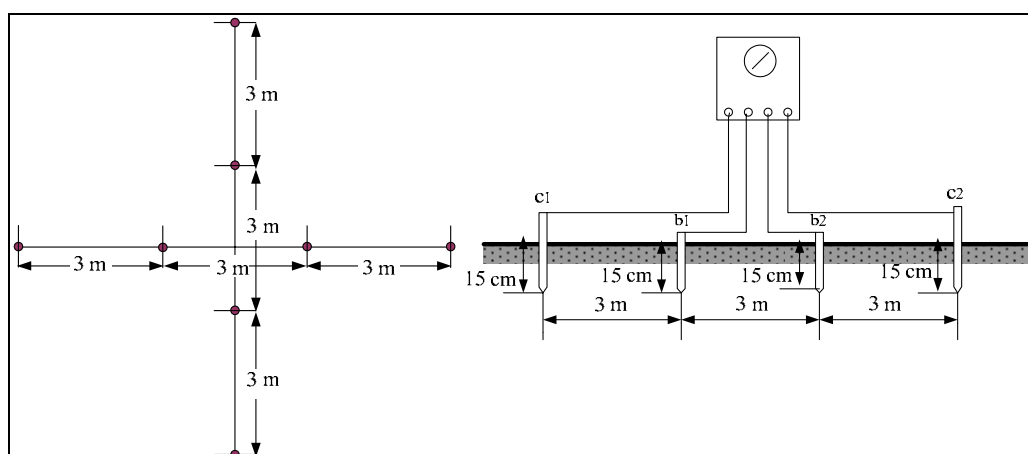
จากภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้ผ่านการผสมแบนด์ทั้งหมด 6 ชุดพบว่าภาพแต่ละภาพมีความแตกต่างกันของสีภาพ ลักษณะความเด่นชัดของภาพ ซึ่งแต่ละภาพมีความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้งานที่แตกต่างกันออกไป สำหรับการนำมาใช้ในการจำแนกค่าสภาพความต้านทานดินนั้นต้องทำการทดสอบกับภาพที่ผ่านการผสมแบนด์ทั้ง 6 ชุด เพื่อหาภาพที่มีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้งาน

5.2.2 การสำรวจวัดค่าสภาพความต้านทานดินภาคสนาม

ทำการสำรวจภาคสนามในพื้นที่ศึกษา เพื่อวัดค่าสภาพความต้านทานดิน ซึ่งใช้วิธีการวัดของเวนเนอร์ โดยทำการปรับปรุงวิธีการวัดค่าสภาพความต้านทานดิน เป็นการวัด 2 ระยะ คือที่ระยะห่างระหว่างแท่งอิเล็กโทรด 2 เมตรและ 3 เมตร ทำการวัดในแนวเหนือใต้ และแนวตะวันออกตะวันตก ใช้ระยะลึกของแท่งอิเล็กโทรดดังรูปที่ 5.8 และรูปที่ 5.9 แล้วนำค่าสภาพความต้านทานดินที่ได้จากการวัดแต่ละครั้งมาหาค่าเฉลี่ย เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าสภาพความต้านทานดินเพื่อเก็บข้อมูล คือเครื่องวัดค่าสภาพความต้านทานดินของ METREL earth teste รุ่น MI 2124 โดยผลที่ได้จากเครื่องมือวัดคือค่าสภาพความต้านทานดิน มีหน่วยเป็น $\Omega.m$



รูปที่ 5.8 การวัดค่าสภาพความต้านทานดินที่ระยะ 2 เมตร



รูปที่ 5.9 การวัดค่าสภาพความต้านทานดินที่ระยะ 3 เมตร






การสำรวจภาคสนามนอกจากทำการวัดค่าสภาพความต้านทานดินแล้ว ต้องวัดค่าความชื้น และอุณหภูมิของดิน ประกอบ ในขณะที่ทำการวัดนั้นใช้เครื่องระบุพิกัดทางภูมิศาสตร์ในการระบุจุดที่ทำการวัด โดยใช้ระบบ UTM - WGS - 84 โดยสุ่มวัดพื้นที่ทดสอบตามพื้นที่ระหว่างสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 และ 2 และบริเวณรอบ ๆ โดยต้องทำการวัดค่าให้เสร็จสิ้นภายในหนึ่งวัน หรือในวันที่ดาวเทียมโคจรถ่ายภาพในบริเวณที่ศึกษา เพื่อให้ข้อมูลการวัดและข้อมูลของภาพถ่ายดาวเทียมมีความสัมพันธ์กัน โดยได้ข้อมูลการสำรวจภาคสนามแสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ค่าสภาพความต้านทานดิน ความชื้น และอุณหภูมิบริเวณที่สำรวจ

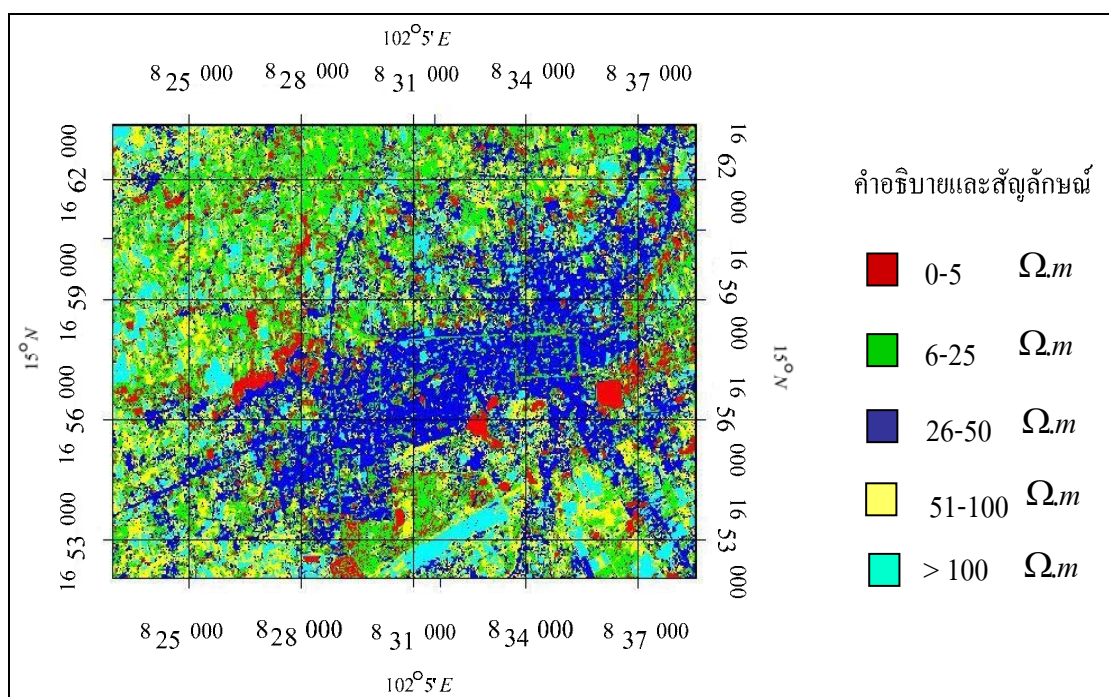
จุดที่	ตำแหน่ง พิกัดทางภูมิศาสตร์		สภาพต้านทานดิน ($\Omega.m$)	อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	ความชื้น (%)
1	179925E	1653275N	57.85	30.8	20
2	181825E	1652675N	26.05	31.5	15
3	183975E	1653225N	34.45	32.7	15
4	181400E	1655200N	3.56	34.2	30
5	184000E	1656650N	16.19	32.1	30
6	181550E	1656125N	122.3	34.7	10
7	182425E	1657375N	8.19	33.6	30
8	185025E	1656925N	2.17	33.7	30
9	184575E	1659175N	5.09	32.2	35
10	185275E	1660400N	27.67	32.5	20
11	186350E	1660900N	21.1	31.5	20
12	187400E	1660350N	13.72	32.3	20
13	190925E	1660450N	75.67	31.6	10
14	184375E	1651625N	789.15	31.1	10
15	190975E	1658475N	164.73	25.7	10
16	193025E	1658475N	29.37	27.3	15
17	187900E	1654275N	8.29	30.3	20
18	186475E	1653975N	2.23	28.1	30
19	191400E	1657175N	924.75	27.1	10
20	192125E	1656575N	513.62	29.6	10
21	187125E	1657175N	54.55	25.7	15
22	188525E	1658275N	16.67	32.9	20
23	187150E	1658325N	834.5	31.4	10
24	190200E	1658550N	119.75	31.1	15
25	191600E	1659450N	72.37	27.2	10
26	192300E	1660175N	22.27	28.1	20
27	184325E	1652375N	30.97	27.5	20

5.3 การสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดิน

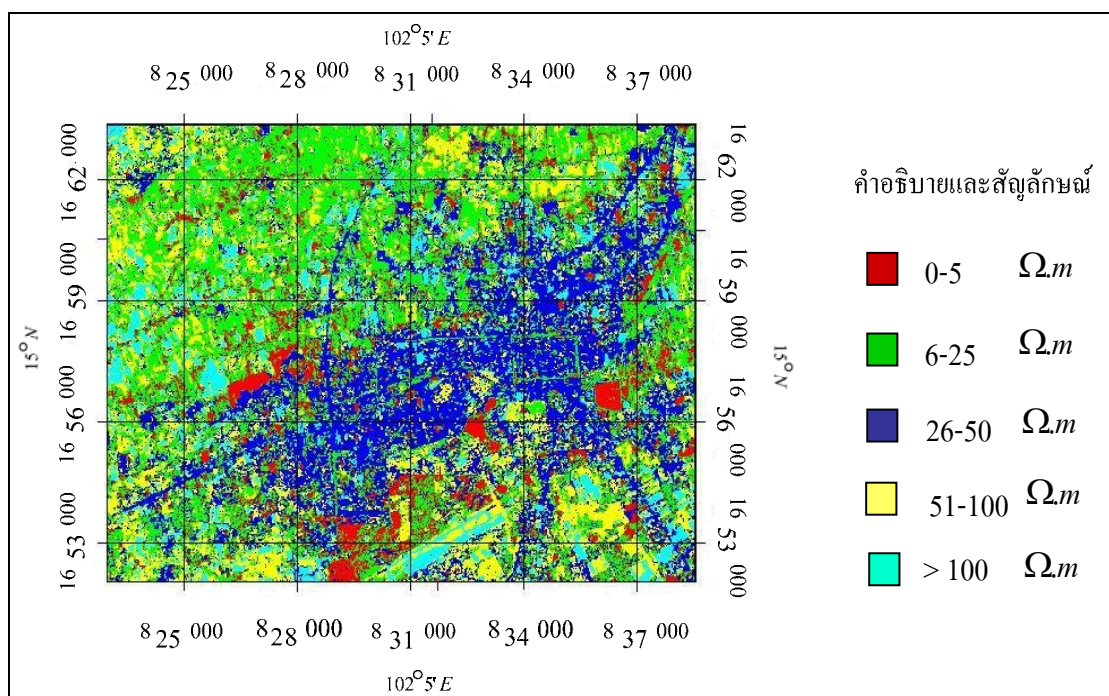
การสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดินซึ่งดำเนินการด้วยโปรแกรม ENVI ในขั้นตอนแรกคือการกำหนดข้อมูลตัวอย่างเพื่อใช้ในการจำแนกประเภทข้อมูล โดยใช้ข้อมูลจากการสำรวจวัด ค่าสภาพความต้านทานดินในภาคสนามในการกำหนดค่าสภาพความต้านทานดินลงไปภาพถ่ายดาวเทียมที่ผ่านการผสมแบนด์มาแล้ว ในการกำหนดนั้นใช้ความสัมพันธ์ของระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์จากจุดที่ทำการวัดและจุดบนภาพให้เป็นจุดเดียวกัน เพื่อเป็นการกำหนดค่าให้กับภาพในจุดการสำรวจนั้นให้เป็นตัวอย่างของข้อมูลค่าสภาพความต้านทานดินในภาพถ่ายดาวเทียมเมื่อกำหนดตัวอย่างข้อมูลครบถ้วนแล้ว ดำเนินการจำแนกประเภทข้อมูลจากข้อมูลค่าสภาพความต้านทานดินที่ได้กำหนดไว้ ใช้การจำแนกประเภทข้อมูลด้วยวิธีที่ต้องใช้ข้อมูลตัวอย่างในการจำแนก แบบการประมาณค่าความควรจะเป็นสูงสุด ทำการจำแนกประเภทข้อมูลกับภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากการผสมแบนด์ทั้ง 6 ชุด เพื่อสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดินและเปรียบเทียบภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความเหมาะสมในการสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดิน จากข้อมูลการสำรวจ จากมาตรฐานการติดตั้งระบบการต่อลงดินของระบบไฟฟ้าได้แบ่งช่วงของข้อมูลตัวอย่างออกเป็น 5 ช่วงเพื่อใช้เป็นกลุ่มข้อมูลตัวอย่างดังนี้

- 1) สีแดง  มีค่าสภาพความต้านทานประมาณ 0-5 $\Omega.m$
- 2) สีเขียว  มีค่าสภาพความต้านทานประมาณ 6-25 $\Omega.m$
- 3) สีน้ำเงิน  มีค่าสภาพความต้านทานมากกว่า 26-50 $\Omega.m$
- 4) เหลือง  มีค่าสภาพความต้านทานประมาณ 51-100 $\Omega.m$
- 5) สีฟ้า  มีค่าสภาพความต้านทานประมาณ > 100 $\Omega.m$

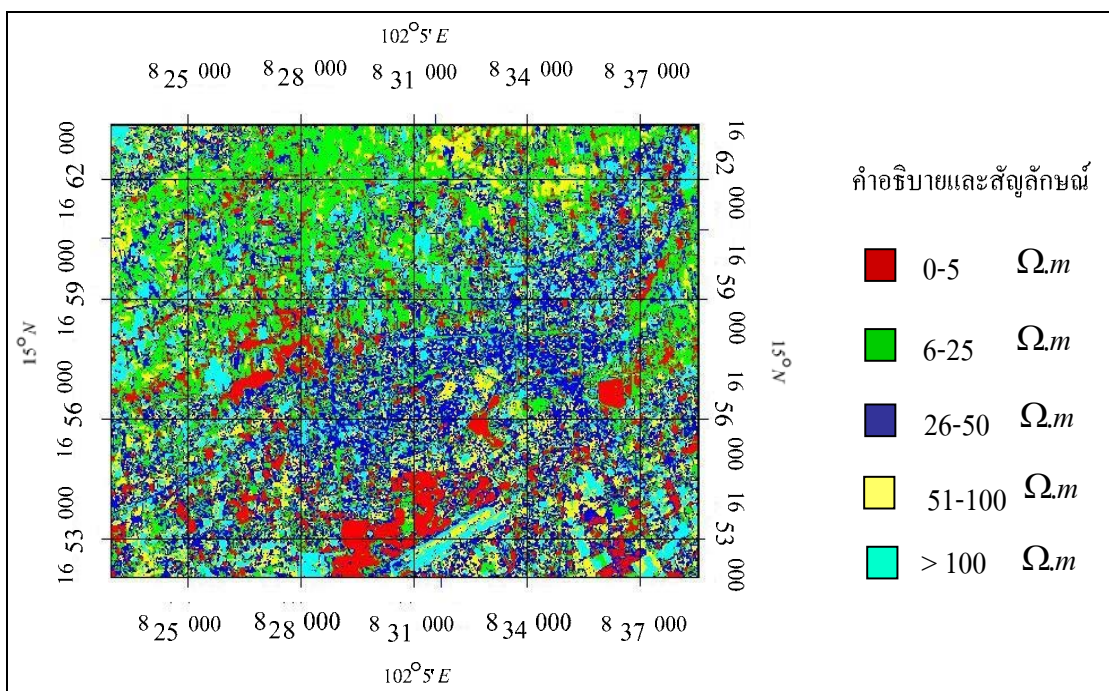
ผลจากการจำแนกประเภทข้อมูลค่าสภาพความต้านทานดินที่ได้ เป็นภาพที่แบ่งเป็น 5 ระดับสี ตามที่ได้กำหนดข้อมูลตัวอย่างไว้ จากนั้นทำการตกแต่งภาพแผนที่โดยการใส่กริดภาพและใส่คำอธิบายสัญลักษณ์ ได้ผลดังรูปที่ 5.10 - 5.15 ซึ่งแต่ละภาพแผนที่สภาพความต้านทานดินนั้น มีความแตกต่างกัน เป็นผลมาจากการใช้ภาพถ่ายดาวเทียมที่ผ่านการผสมแบนด์ที่แตกต่างกัน



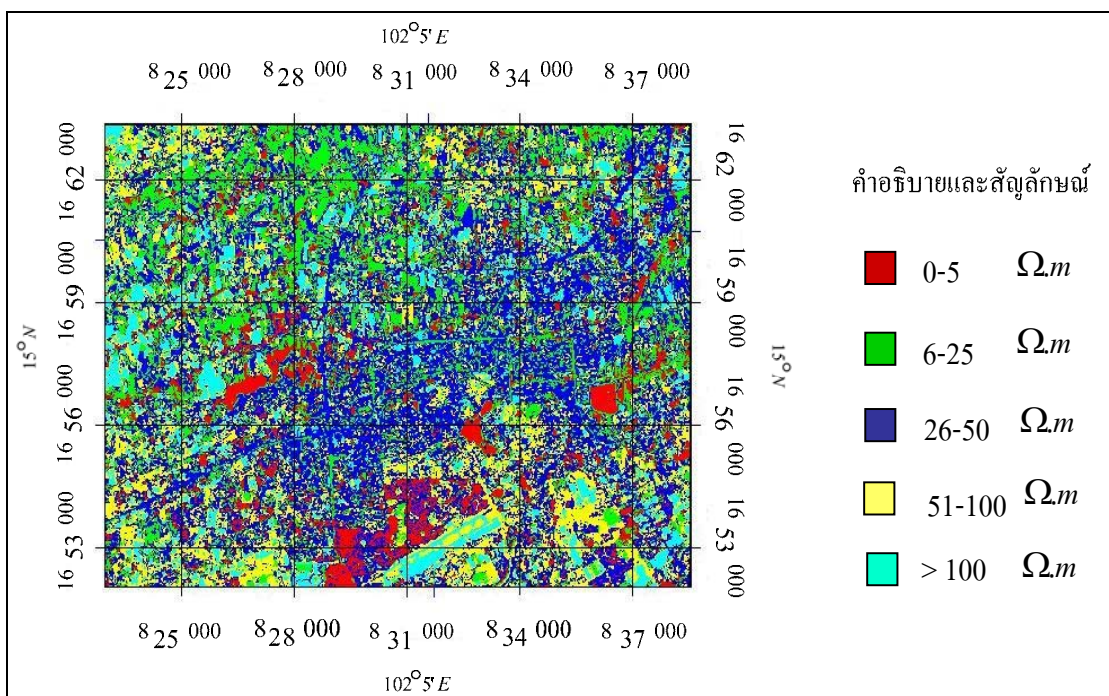
รูปที่ 5.10 แผนที่สภาพความต้านทานดินจากการผสมแบนด์ 7-5-4



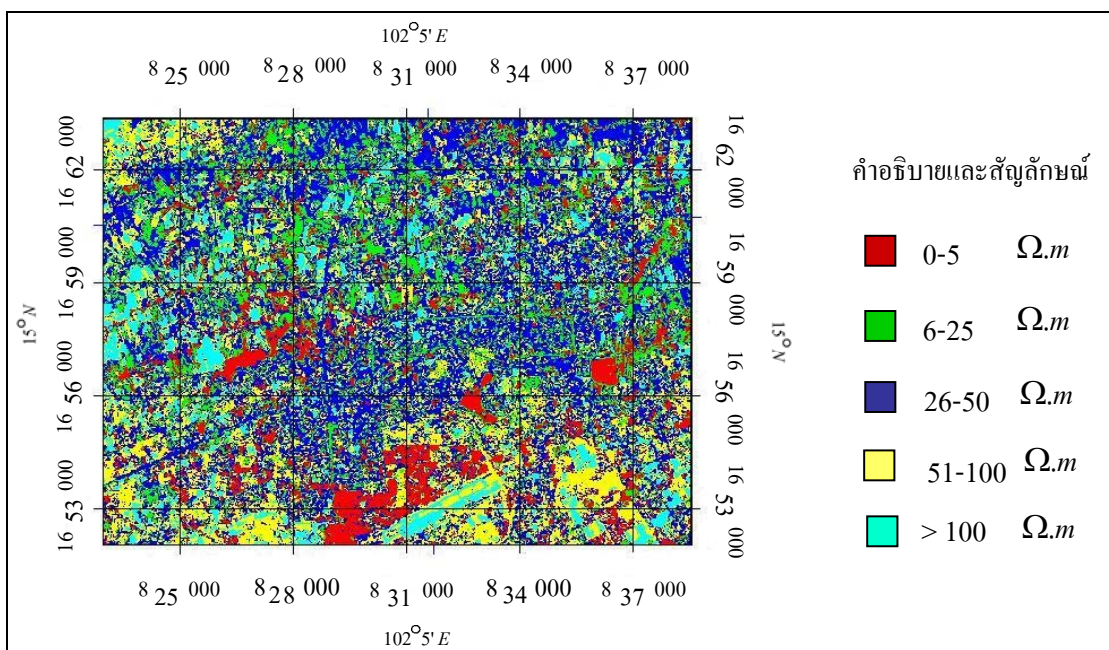
รูปที่ 5.11 แผนที่สภาพความต้านทานดินจากการผสมแบนด์ 7-5-3



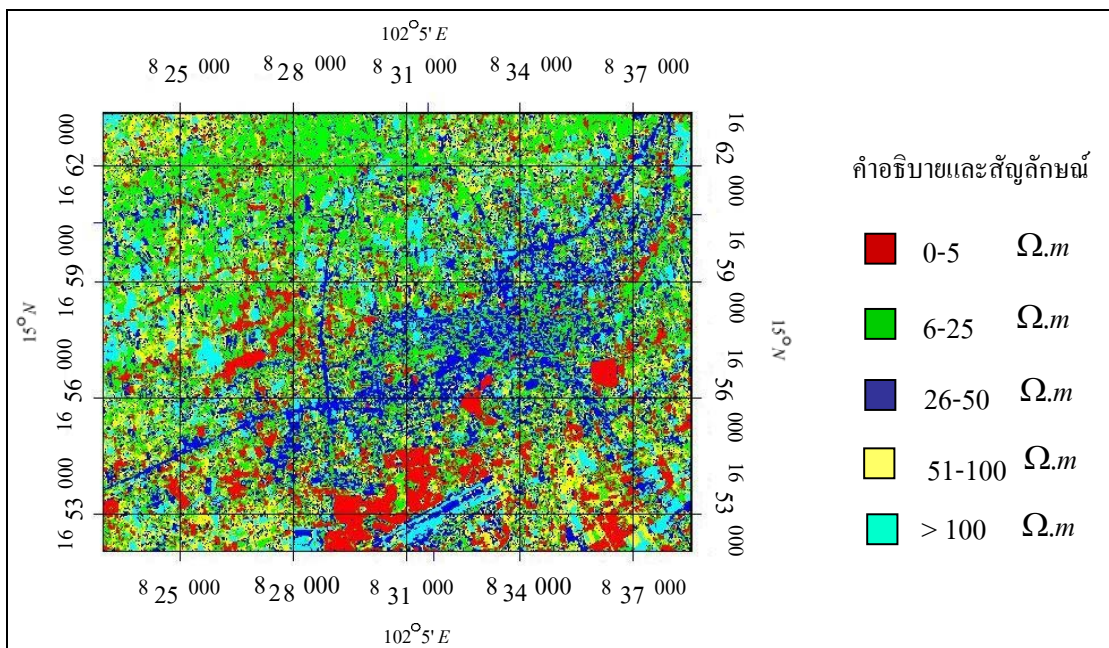
รูปที่ 5.12 แผนที่สภาพความต้านทานดินจากการผสมแบบนต์ 7-4-3



รูปที่ 5.13 แผนที่สภาพความต้านทานดินจากการผสมแบบนต์ 5-4-3



รูปที่ 5.14 แผนที่สภาพความต้านทานดินจากการผสมแบนด์ 5-3-2

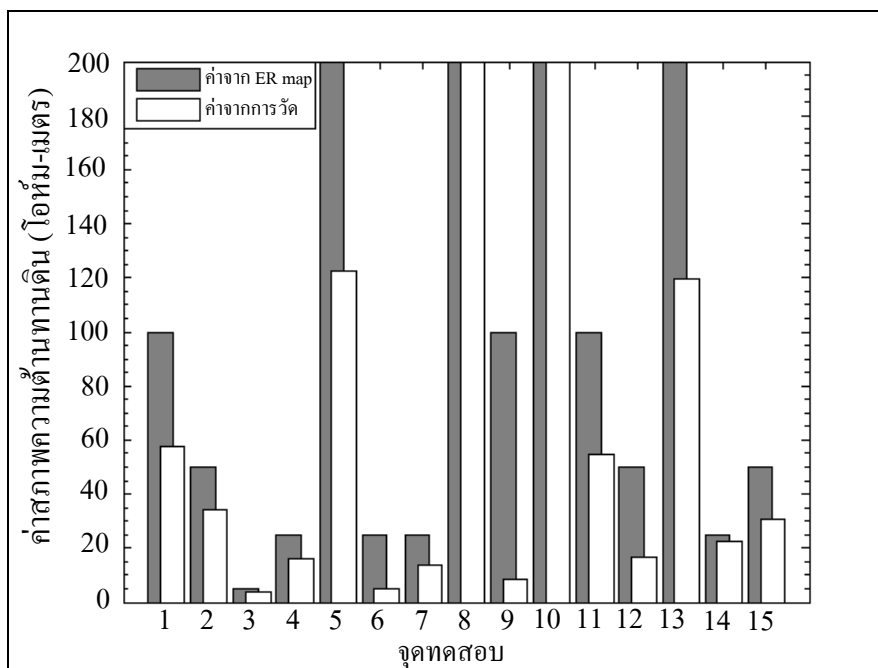


รูปที่ 5.15 แผนที่สภาพความต้านทานดินจากการผสมแบนด์ 4-3-2

ตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่สภาพความต้านทานดินที่ได้จากการผสมแบนด์ ทั้ง 6 ชุด โดยใช้ข้อมูลการสำรวจวัดค่าสภาพความต้านทานดินมาเปรียบเทียบกับค่าสภาพความต้านทานดินที่อ่านค่าได้จากแผนที่สภาพความต้านทานดิน ในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลการสำรวจเพื่อนำมาตรวจสอบความถูกต้องทั้งหมด 15 จุด ดังตารางที่ 5.2 ซึ่งในการตรวจสอบความถูกต้องนั้นใช้ความสัมพันธ์ของระบบพิกัดภูมิศาสตร์ของจุดที่ทำการวัดกับจุดของภาพถ่ายดาวเทียมให้ตรงกัน และเปรียบเทียบสีของภาพว่ามีค่าอยู่ในช่วงใดกับค่าที่ได้จากการสำรวจวัด ได้ผลการตรวจสอบความถูกต้องดังกราฟรูปที่ 5.16 - 5.21

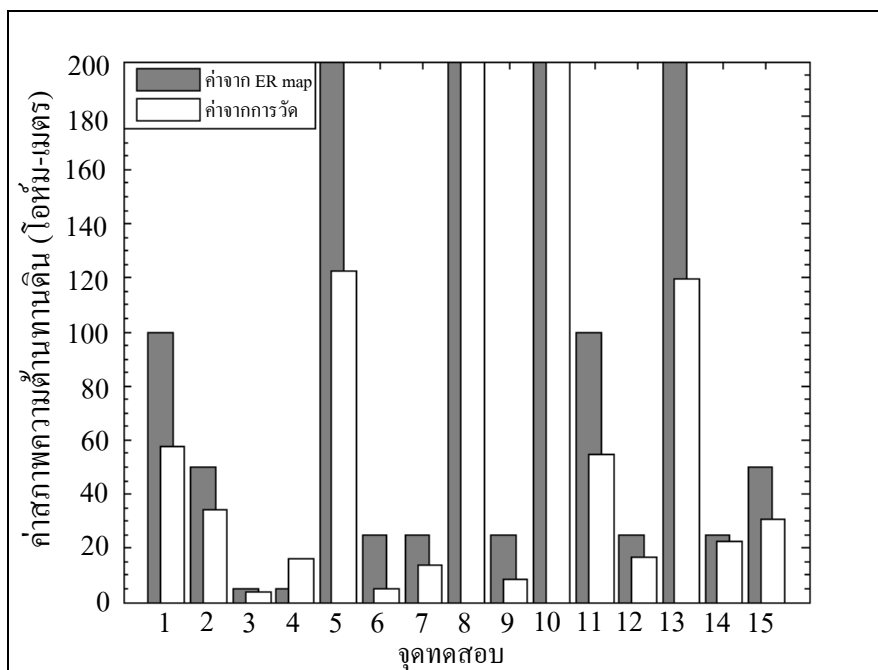
ตารางที่ 5.2 ค่าสภาพความต้านทานดินบริเวณที่สำรวจเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง

ที่	พิกัดภูมิศาสตร์		Earth resistivity ($\Omega.m$)
1	824501.96E	1654547.22N	57.85
2	828552.13E	1654606.62N	34.45
3	825924.47E	1656511.48N	3.56
4	828484.52E	1658031.42N	16.19
5	826049.41E	1657440.26N	122.3
6	828990.98E	1660571.35N	5.09
7	831783.47E	1661822.68N	13.72
8	828995.23E	1653017.83N	789.15
9	832447.87E	1655762.45N	8.29
10	835868.82E	1658756.65N	924.75
11	831594.57E	1658640.89N	54.55
12	832964.50E	1659778.59N	16.67
13	834631.75E	1660098.93N	119.75
14	836687.39E	1661780.64N	22.27
15	828925.00E	1653766.29N	30.97



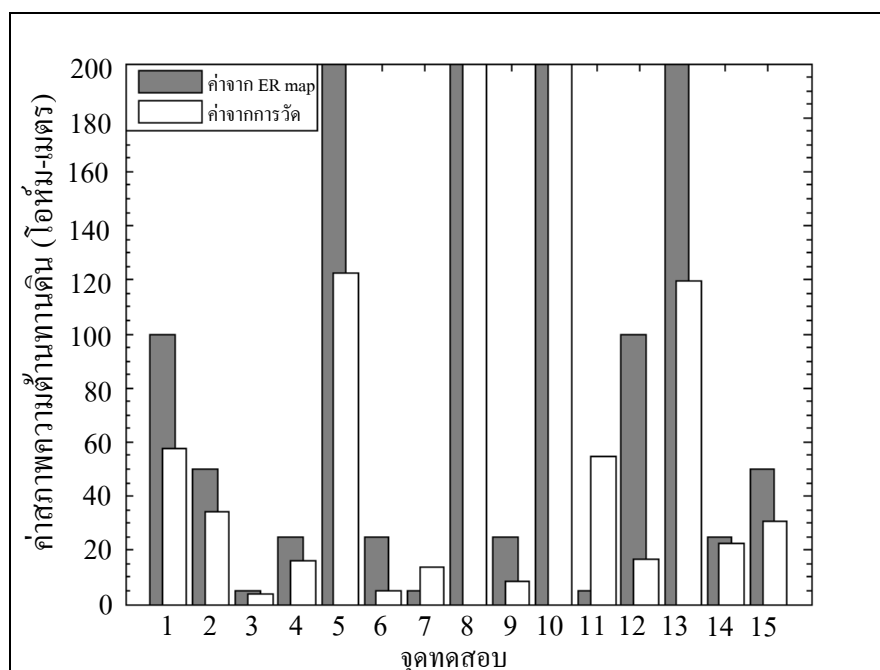
รูปที่ 5.16 เปรียบเทียบแผนที่สภาพความต้านทานดินจากการผสมแบนด์ 7-5-4

จากรูปที่ 5.16 เป็นกราฟการเปรียบเทียบความถูกต้องจากการสำรวจกับที่ได้จากแบนด์ 7-5-4 โดยมีจุดที่ค่าจากการสำรวจวัดไม่อยู่ในช่วงของแผนที่สภาพความต้านทานดินทั้งหมด 2 จุด คือ จุดที่ 9 และ 12 ของจุดสำรวจวัดค่าเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง 15 จุด คิดเป็นความถูกต้องเท่ากับ 86.67%



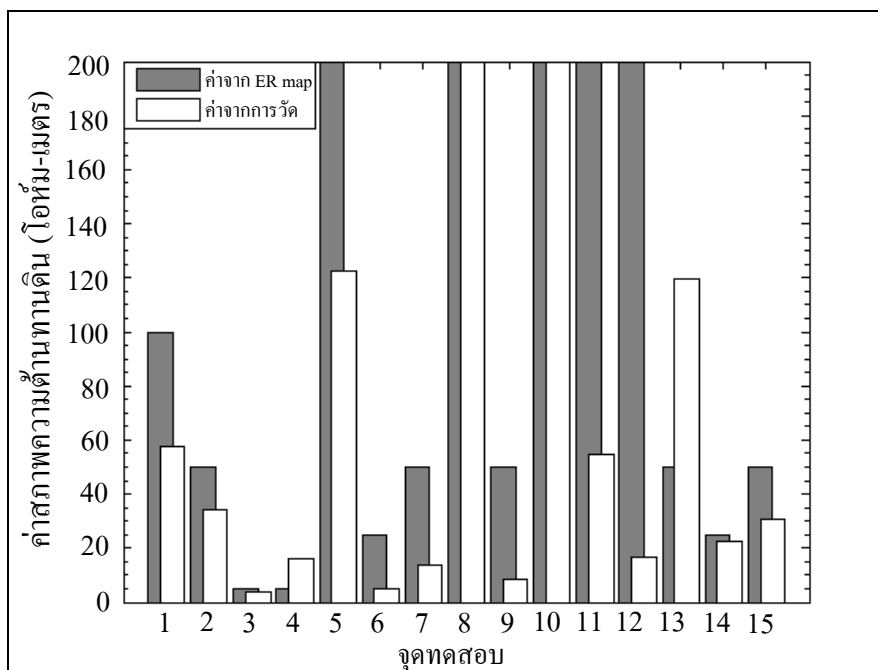
รูปที่ 5.17 เปรียบเทียบแผนที่สภาพความต้านทานดินจากการผสมแบนด์ 7-5-3

จากรูปที่ 5.17 เป็นกราฟการเปรียบเทียบความถูกต้องจากการสำรวจกับภาพที่ได้จากแบนด์ 7-5-3 โดยมีจุดที่ค่าจากการสำรวจวัดไม่อยู่ในช่วงของแผนที่สภาพความต้านทานดินทั้งหมด 1 จุดคือ จุดที่ 4 ของจุดสำรวจวัดค่าเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง 15 จุด คิดเป็นความถูกต้องเท่ากับ 93.33%



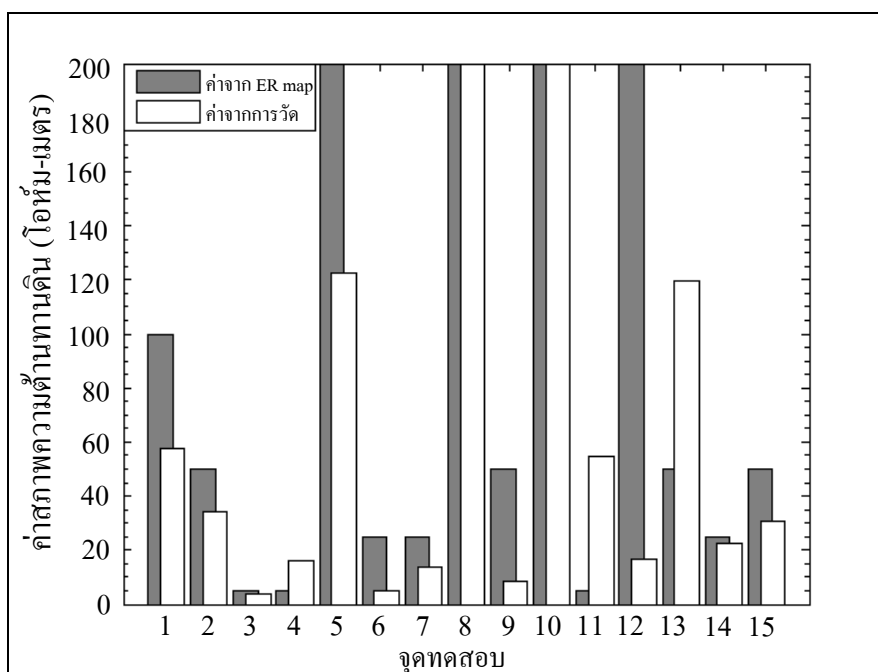
รูปที่ 5.18 เปรียบเทียบแผนที่สภาพความต้านทานดินจากการผสมแบบต์ 7-4-3

จากรูปที่ 5.18 เป็นกราฟการเปรียบเทียบความถูกต้องจากการสำรวจกับภาพที่ได้จากแบบต์ 7-4-3 โดยมีจุดที่ค่าจากการสำรวจวัดไม่อยู่ในช่วงของแผนที่สภาพความต้านทานดินทั้งหมด 3 จุดคือ จุดที่ 7 11 และ 12 ของจุดสำรวจวัดค่าเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง 15 จุด คิดเป็นความถูกต้องเท่ากับ 80%



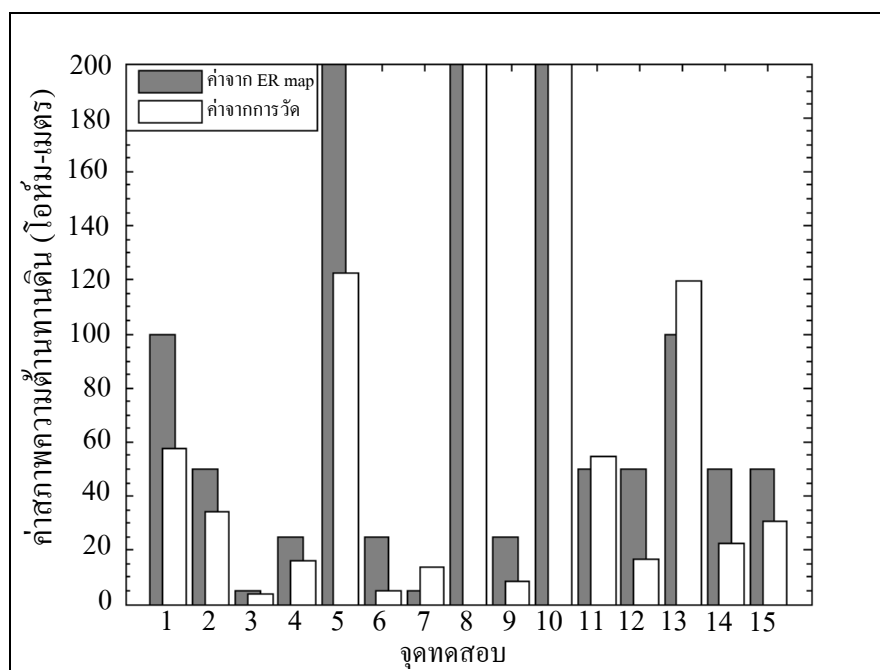
รูปที่ 5.19 เปรียบเทียบแผนที่สภาพความต้านทานดินจากการผสมแบนด์ 5-4-3

จากรูปที่ 5.19 เป็นกราฟการเปรียบเทียบความถูกต้องจากการสำรวจกับภาพที่ได้จากแบนด์ 5-4-3 โดยมีจุดที่ค่าจากการสำรวจวัดไม่อยู่ในช่วงของแผนที่สภาพความต้านทานดินทั้งหมด 6 จุดคือ จุดที่ 4 7 9 11 12 และ 13 ของจุดสำรวจวัดค่าเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง 15 จุดคิดเป็นความถูกต้องเท่ากับ 60%



รูปที่ 5.20 เปรียบเทียบแผนที่สภาพความต้านทานดินจากการผสมแบนด์ 5-3-2

จากรูปที่ 5.20 เป็นกราฟการเปรียบเทียบความถูกต้องจากการสำรวจกับภาพที่ได้จากแบนด์ 5-3-2 โดยมีจุดที่ค่าจากการสำรวจวัดไม่อยู่ในช่วงของแผนที่สภาพความต้านทานดินทั้งหมด 5 จุดคือ จุดที่ 4 9 11 12 และ 13 ของจุดสำรวจวัดค่าเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง 15 จุด คิดเป็นความถูกต้องเท่ากับ 66.67%



รูปที่ 5.21 เปรียบเทียบแผนที่สภาพความต้านทานดินจากการผสมแบบต์ 4-3-2

จากรูปที่ 5.21 เป็นกราฟการเปรียบเทียบความถูกต้องจากการสำรวจกับภาพที่ได้จากแบบต์ 4-3-2 โดยมีจุดที่ค่าจากการสำรวจวัดไม่อยู่ในช่วงของแผนที่สภาพความต้านทานดินทั้งหมด 5 จุดคือ จุดที่ 7 11 12 13 และ 14 ของจุดสำรวจวัดค่าเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง 15 จุด คิดเป็นความถูกต้องเท่ากับ 66.67%

จากข้อมูลการตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่สภาพความต้านทานดินที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากการผสมแบบต์ทั้ง 6 ชุด สรุปค่าความถูกต้องได้ดังนี้

ตารางที่ 5.3 เปรียบความถูกต้องจากการใช้จุดตรวจสอบความถูกต้อง 15 จุด

ภาพถ่ายดาวเทียมที่เกิดจากการผสมแบบต์	ความถูกต้อง (%)
7-5-4 (สีแดง สีเขียว สีนํ้าเงิน)	86.67
7-5-3 (สีแดง สีเขียว สีนํ้าเงิน)	93.33
7-4-3 (สีแดง สีเขียว สีนํ้าเงิน)	80.00
5-4-3 (สีแดง สีเขียว สีนํ้าเงิน)	60.00
5-3-2 (สีแดง สีเขียว สีนํ้าเงิน)	66.67
4-3-2 (สีแดง สีเขียว สีนํ้าเงิน)	66.67

จากตารางที่ 5.3 เป็นผลการตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่สภาพความต้านทานดิน ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบที่ได้จากการสำรวจวัดกับค่าที่อ่านค่าได้จากแผนที่สภาพความต้านทานดิน ทั้งหมด 15 จุด กับแผนที่สภาพความต้านทานดินที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมที่ผ่านการผสมแบนด์ ทั้งหมด 6 ชุด พบว่าภาพที่ได้จากการผสมแบนด์ 7-5-3 มีค่าความถูกต้องสูงสุด คือ 93.33% เนื่องจากแผนที่สภาพความต้านทานดินที่ได้ ไม่สามารถสร้างได้ในทุกช่วงระยะเวลา และค่าสภาพความต้านทานดินยังมีการเปลี่ยนแปลงตามปัจจัยต่าง ๆ ของการเปลี่ยนแปลงทางธรรมชาติ ดังนั้นในการนำแผนที่สภาพความต้านทานดินไปใช้งาน ควรนำค่าของปริมาณน้ำฝน ความชื้นและ อุณหภูมิ มาประกอบเพื่อเป็นการประมาณค่าในเบื้องต้น

5.4 สรุป

การสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดินจากการประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียมสามารถทำได้ โดยการจำแนกประเภทข้อมูลด้วยวิธีการที่ใช้ข้อมูลตัวอย่างในการจำแนก แบบการประมาณค่า ความควรจะเป็นสูงสุด ซึ่งทำการจำแนกข้อมูลค่าสภาพความต้านทานดินโดยใช้ข้อมูลจากการสำรวจวัดค่าสภาพความต้านทานดินภาคสนาม ใช้ระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ในการระบุจุดสำรวจลง ให้ภาพถ่ายดาวเทียม จากการใช้ภาพถ่ายดาวเทียมที่ผ่านการผสมแบนด์ทั้ง 6 ชุด มาสร้างแผนที่ สภาพความต้านทานดิน พบว่าแบนด์ที่มีความเหมาะสมและให้ผลที่ดีที่สุดคือ แบนด์ 7-5-3 ซึ่งภาพถ่ายดาวเทียมที่นำมาใช้ใช้ต้องเป็นภาพถ่ายวันเดียวกับวันที่มีการสำรวจวัดค่าและต้องเป็น ภาพถ่ายที่ไม่มีเมฆปกคลุม สำหรับแผนที่สภาพความต้านทานดินที่มีความถูกต้องมากที่สุด จะถูกนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาการเกิดการลัดวงจรลงดินที่ทำให้ระบบป้องกัน ทำงานผิดพลาดอันเนื่องมาจากผลของค่าสภาพความต้านทานดินในพื้นที่ระหว่างสถานีไฟฟ้า นครราชสีมา 1 และ 2 เพื่อเป็นกรณีศึกษาในบทถัดไป

บทที่ 6

การวิเคราะห์ทางเดินกระแสลัดวงจรลงดินย้อนกลับ

6.1 บทนำ

การเกิดการลัดวงจรลงดินในสายจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาด 22 กิโลโวลต์ กระแสลัดวงจรลงดินจะไหลจากจุดที่เกิดการลัดวงจรไปสู่กราวด์กริดของสถานีไฟฟ้า เพื่อให้ระบบครบวงจร ซึ่งการไหลของกระแสลัดวงจรลงดินนั้น ไหลผ่านพื้นดินหรือผ่านค่าความต้านทานของดินไปสู่สถานีไฟฟ้า โดยกระแสไฟฟ้าสามารถไหลไปยังสถานีไฟฟ้าของสายจ่ายที่เกิดการลัดวงจรนั้น และยังสามารถไหลไปสู่สถานีไฟฟ้าที่อยู่ใกล้เคียง ซึ่งมีผลต่อการทำงานของระบบป้องกันการลัดวงจรลงดินของสถานีไฟฟ้า หรือรีเลย์ป้องกันการลัดวงจรลงดิน ที่ใช้สำหรับตรวจวัดกระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับจากการเกิดการลัดวงจรลงดิน เมื่อความต้านทานดินจากจุดที่เกิดการลัดวงจรลงดินกับสถานีไฟฟ้าข้างเคียงมีค่าน้อยกว่าสถานีไฟฟ้าที่เกิดการลัดวงจรบนสายจ่าย จะส่งผลให้กระแสไฟฟ้าส่วนใหญ่ไหลไปยังสถานีไฟฟ้าข้างเคียงมากกว่า ทำให้สถานีไฟฟ้าข้างเคียงตรวจพบกระแสไหลย้อนกลับในปริมาณมาก และทำให้ระบบป้องกันการเกิดลัดวงจรลงดินทำงานและตัดวงจรของสายจ่ายในสถานีไฟฟ้าข้างเคียงซึ่งไม่ได้เกิดการลัดวงจร ทำให้ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า

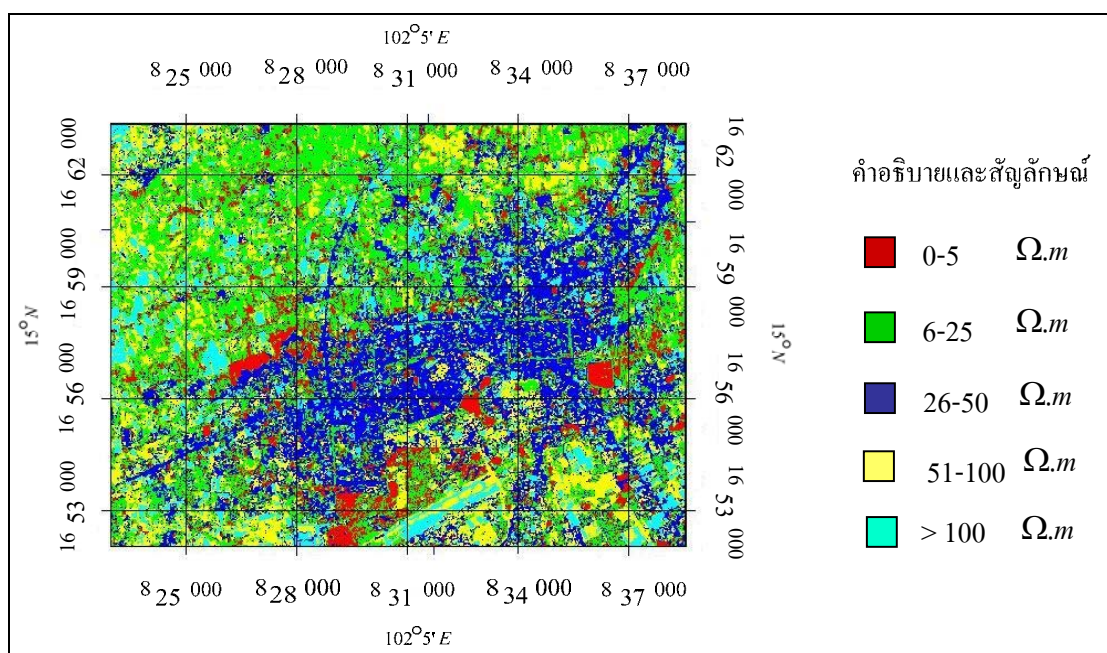
เนื้อหาในบทนี้เป็นการนำเสนอแผนที่สภาพความต้านทานดินที่ได้จากการประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียมมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ในการประมาณค่าการไหลของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรลงดินย้อนกลับไปสู่สถานีไฟฟ้า เพื่อเป็นการระบุจุดหรือบริเวณสายจ่ายที่มีโอกาสทำให้สถานีไฟฟ้าข้างเคียงทำงานผิดพลาด เพื่อใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่อไป

6.2 การเตรียมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ทางเดินกระแสลัดวงจรลงดินย้อนกลับ

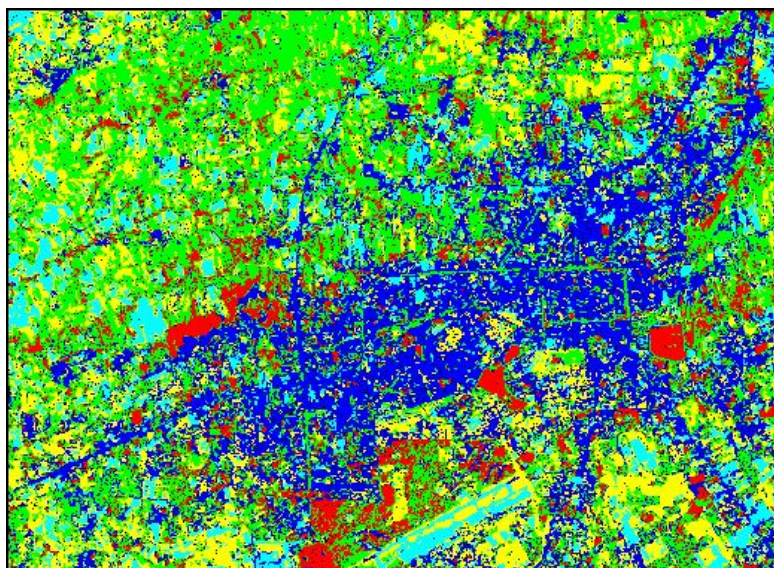
การเตรียมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์นั้นแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของแผนที่สภาพความต้านทานดินในบริเวณที่ต้องการวิเคราะห์ ในงานวิจัยนี้ใช้บริเวณอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ครอบคลุมพื้นที่ระหว่างสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 และ 2 ซึ่งต้องมีระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์แบบเดียวกันกับระบบพิกัดของสายจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และการเตรียมข้อมูลของสายจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ ซึ่งใช้ข้อมูลของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยมีรายละเอียดในการเตรียมข้อมูลดังต่อไปนี้

6.2.1 การเตรียมแผนที่สภาพความต้านทานดิน

การเตรียมแผนที่สภาพความต้านทานดินนั้นใช้แผนที่สภาพความต้านทานดินจากภาพที่ได้จากการผสมแบนด์ 7-5-3 ซึ่งมีความถูกต้องมากที่สุดดังรูปที่ 6.1 โดยมีการแปลงระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ของภาพถ่ายดาวเทียมในขั้นตอนการเตรียมภาพถ่ายดาวเทียม จากโซน 48 เป็นโซน 47 ในระบบ WGS – 84 เพื่อให้ตรงกับระบบของสายจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ก่อนนำไปซ้อนทับกับสายจ่ายกำลังไฟฟ้า นำส่วนของกริดภาพออกเพื่อให้สีของภาพไม่มีเส้นสีอื่นมาประกอบเพราะจะทำให้ค่าของสีภาพคลาดเคลื่อน ให้เป็นเพียงภาพแผนที่สภาพความต้านทานดินดังรูปที่ 6.2 ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ระหว่างสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 และ 2 จังหวัดนครราชสีมา โดยแผนที่สภาพความต้านทานดินที่เตรียมไว้จะถูกนำไปวางซ้อนทับกับสายจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ ของทั้งสองสถานีไฟฟ้า เพื่อใช้วิเคราะห์ผลของค่าสภาพความต้านทานดินต่อการไหลของกระแสลัดวงจรลงดินในบริเวณสายจ่ายกำลังไฟฟ้า



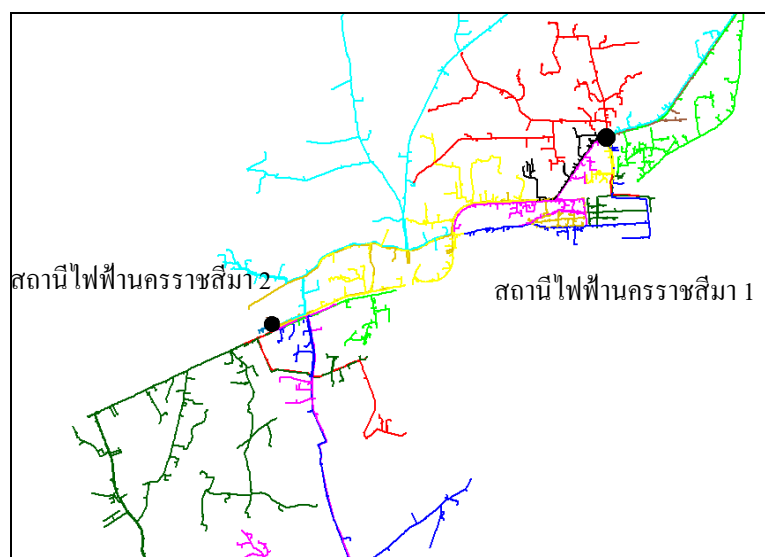
รูปที่ 6.1 แผนที่สภาพความต้านทานดินจากการผสมแบนด์ 7-5-3



รูปที่ 6.2 แผนที่สภาพความต้านทานดินสำหรับใช้คำนวณค่าสภาพความต้านทานดิน

6.2.2 การเตรียมข้อมูลสายจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์

การเตรียมข้อมูลสายจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์นั้น ใช้ข้อมูลจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยแสดงเฉพาะส่วนของสายจ่ายของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 และ 2 ซึ่งสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 มี 12 สายจ่าย และสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2 มี 12 สายจ่ายดังรูปที่ 6.3

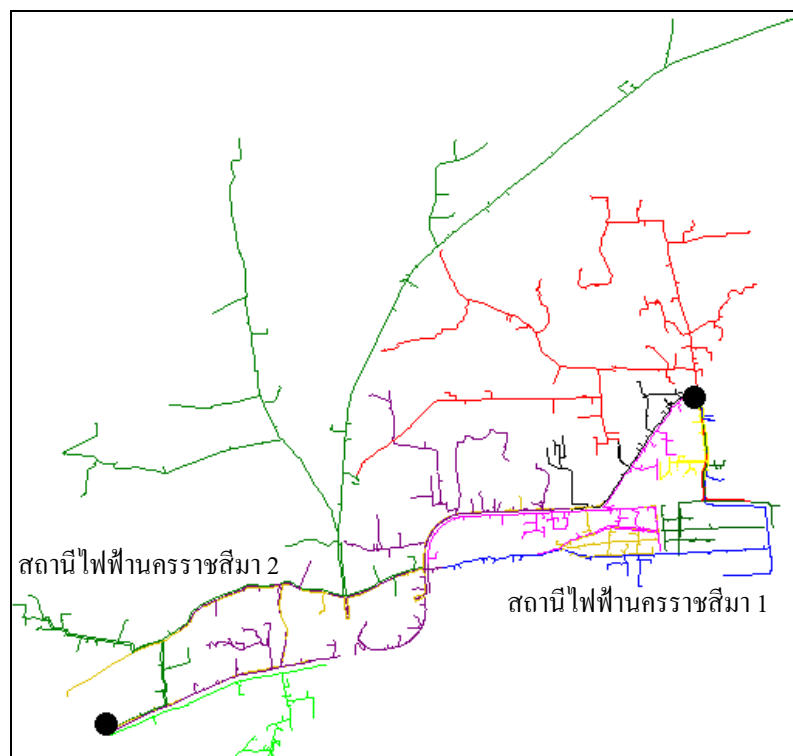


รูปที่ 6.3 สายจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 และ 2

6.3 การวิเคราะห์หาพื้นที่ของสายจ่ายที่มีโอกาสทำงานผิดพลาด

6.3.1 การพิจารณาสายจ่ายที่มีโอกาสทำงานผิดพลาด

จากข้อมูลของสายจ่ายกำลังไฟฟ้าทั้งหมดมีสายจ่ายที่ไม่ได้อยู่ในพื้นที่ระหว่างสถานีไฟฟ้าทั้ง 2 ซึ่งจะมีโอกาสน้อยมากที่จะเกิดการไหลของกระแสลัดวงจรลงดินไปยังสถานีไฟฟ้าที่ไม่ได้เกิดการลัดวงจร ดังนั้นในการวิเคราะห์จึงใช้สายจ่ายกำลังไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างพื้นที่ของสถานีไฟฟ้าทั้งสองดังรูปที่ 6.4 เพราะมีโอกาสจะทำให้เกิดการทำงานผิดพลาดของสถานีไฟฟ้าสายจ่ายของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 มี 6 สายจ่าย และสายจ่ายของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2 มี 4 สายจ่าย

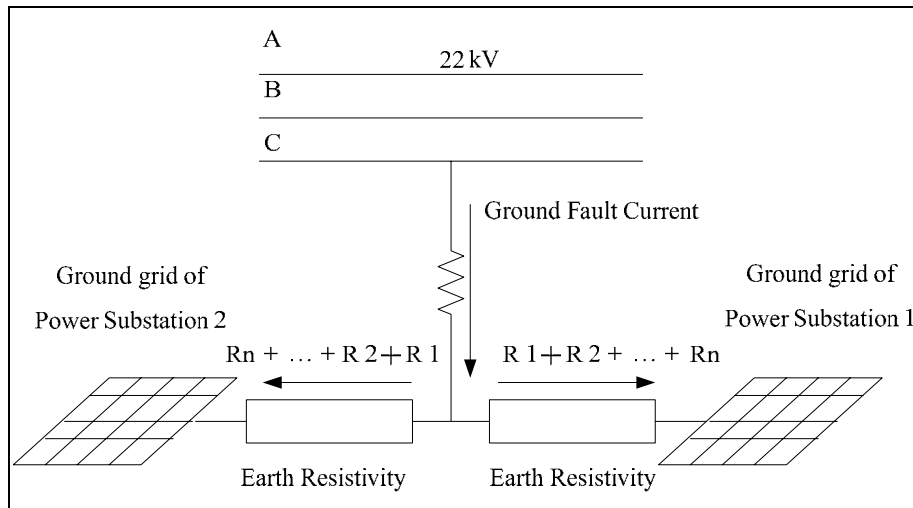


รูปที่ 6.4 สายจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ระหว่างสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 และ 2

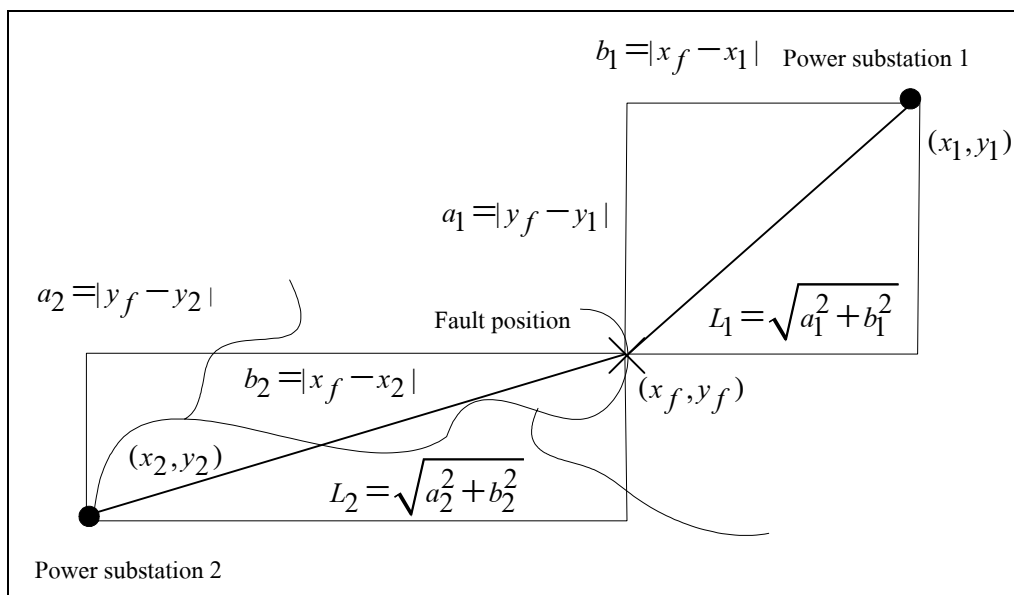
6.3.2 การค้นหาพื้นที่ของสายจ่ายที่มีโอกาสทำงานผิดพลาด

การค้นหาพื้นที่ของสายจ่ายกำลังไฟฟ้าที่มีโอกาสทำให้ระบบป้องกันของสถานีไฟฟ้าทำงานผิดพลาดนั้น ใช้แผนที่สภาพความต้านทานดินเพื่อคำนวณและประมาณค่าอัตราส่วนของกระแสลัดวงจรลงดินที่ไหลไปยังสถานีไฟฟ้าทั้งสองแห่ง โดยประมาณการไหล

ของกระแสไฟฟ้าเป็นเส้นตรงจากจุดลัดวงจรไปยังสถานีไฟฟ้าทั้งสองแห่ง ซึ่งไหลผ่านพื้นดินที่มีค่าสภาพความต้านทานดินที่แตกต่างกันไป เปรียบเสมือนความต้านทานดินต่ออนุกรมกันอยู่ ดังรูปที่ 6.5

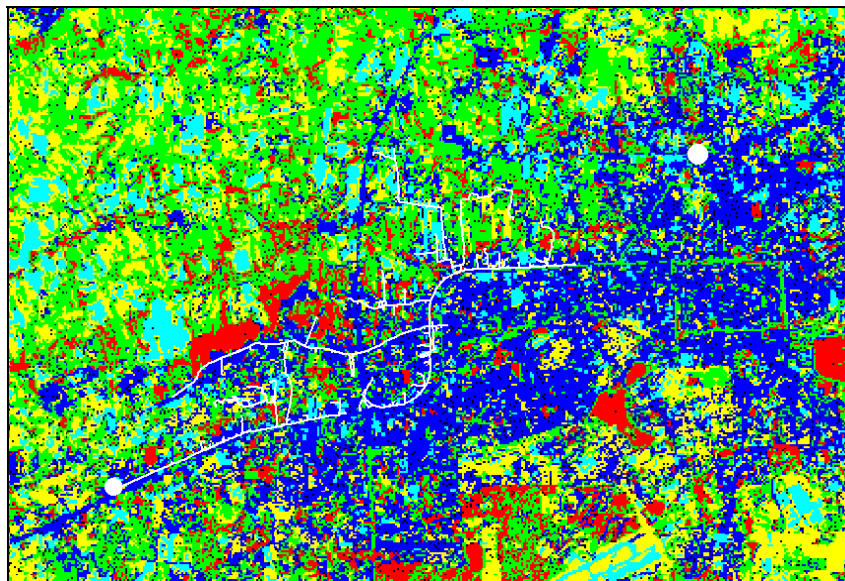


รูปที่ 6.5 การไหลของกระแสลัดวงจรลงดินย้อนกลับสู่กราวด์กริดสถานีไฟฟ้า



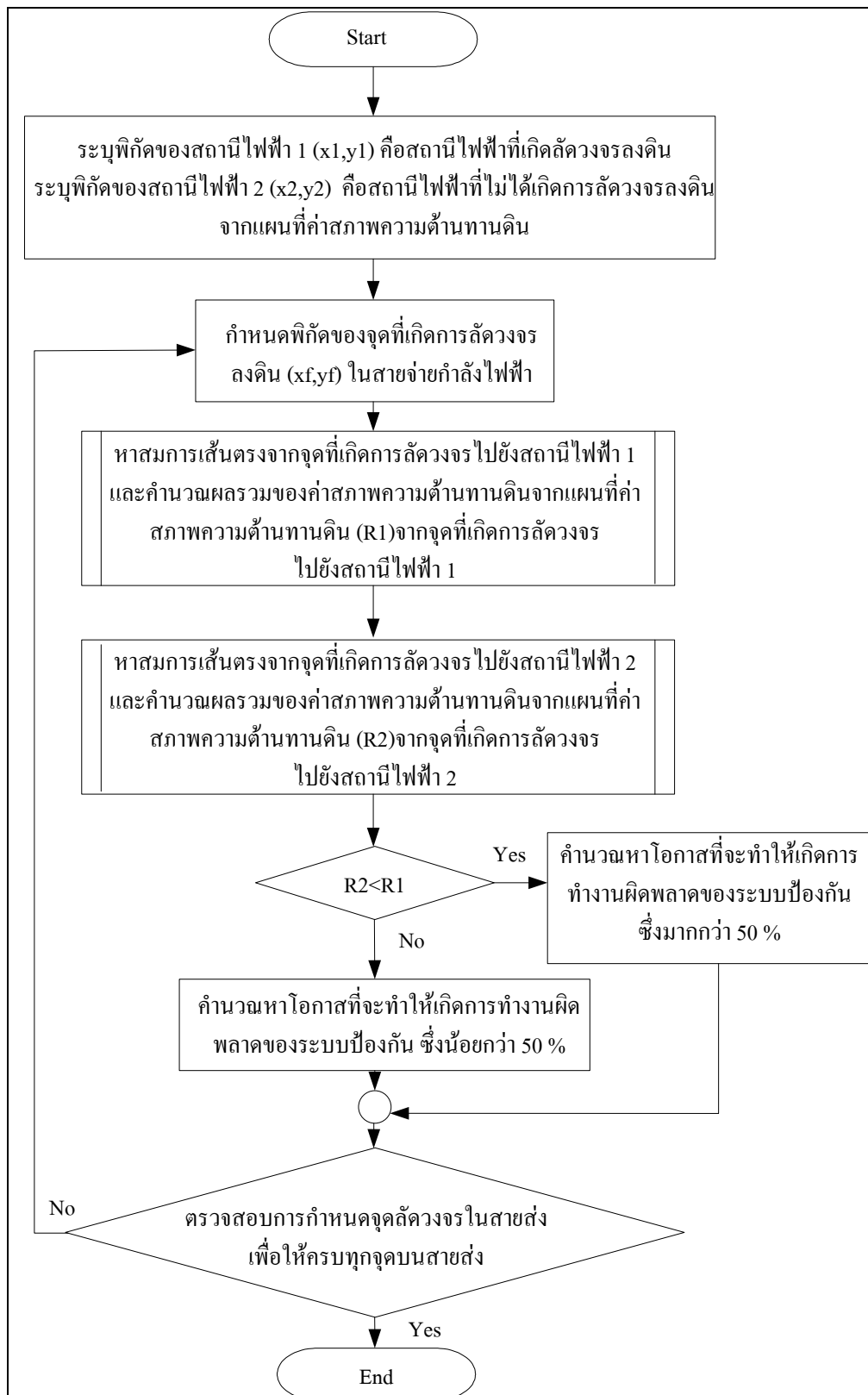
รูปที่ 6.6 การประมาณเส้นทางการไหลของกระแสลัดวงจรลงดินย้อนกลับสู่สถานีไฟฟ้า

จากรูปที่ 6.6 เป็นรูปแบบการกำหนดเส้นตรงเพื่อใช้กำหนดทิศทางกรไหลของกระแสลัดวงจรย้อนกลับลงดินที่ไหลไปสู่สถานีไฟฟ้าทั้งสองแห่ง โดยนำพิกัด (x,y) ในรูปมาสร้างสมการเส้นตรง เพื่อใช้เป็นเส้นทางในการหาผลรวมของค่าสภาพความต้านทานดินจากจุดที่เกิดการลัดวงจรไปยังสถานีไฟฟ้าทั้งสองแห่งจากภาพแผนที่สภาพความต้านทานดิน โดยภาพถ่ายที่นำมาใช้ในการคำนวณเป็นภาพแผนที่สภาพความต้านทานดินที่ถูกซ้อนทับด้วยสายจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ โดยเลือกนำมาวางซ้อนทับที่ละสายจ่าย ตัวอย่าง สายจ่าย NRB02 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2 บนแผนที่สภาพความต้านทานดินดังรูปที่ 6.7



รูปที่ 6.7 สายจ่าย NRB02 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2 บนแผนที่สภาพความต้านทานดิน

เมื่อนำสายจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ต้องการพิจารณาวางบนแผนที่สภาพความต้านทานดินแล้ว ให้ระบุพิกัด (x,y) ของสถานีไฟฟ้าทั้งสองแห่ง เพื่อใช้สำหรับการคำนวณ โดยกำหนดให้สถานี 1 เป็นสถานีที่เกิดการลัดวงจรในสายจ่าย และสถานี 2 เป็นสถานีที่ไม่ได้เกิดการลัดวงจร และทำการแบ่งช่วงของสายจ่ายกำลังไฟฟ้าออกเป็นช่วง ๆ ตามความเหมาะสม แล้วกำหนดให้เกิดการลัดวงจรลงดิน ในช่วงของสายจ่ายในแต่ละช่วง เพื่อคำนวณหาอัตราส่วนของค่าสภาพความต้านทานดินจากจุดที่กำหนดให้เกิดการลัดวงจรลงดินไปยังสถานีไฟฟ้าทั้งสองแห่ง และคำนวณหาโอกาสโดยเฉลี่ยของสายจ่ายแต่ละช่วงที่ทำให้เกิดการดำเนินงานผิดพลาดของระบบป้องกันการลัดวงจรลงดินของสถานีไฟฟ้าที่ไม่ได้เกิดการลัดวงจร โดยใช้การเขียนโปรแกรมด้วย MATLAB ในการคำนวณ โดยมีขั้นตอนการโปรแกรมดังรูปที่ 6.8



รูปที่ 6.8 ขั้นตอนการคำนวณค่าของกระแสลัดวงจรลงดินย้อนกลับสู่สถานีไฟฟ้า

จากรูปที่ 6.8 ขั้นตอนการคำนวณค่าของกระแสลัดวงจรลงดินย้อนกลับสู่สถานีไฟฟ้าทั้ง 2 สถานีโดยมีขั้นตอนการดำเนินการของโปรแกรมดังต่อไปนี้

1) ขั้นตอนแรกเป็นการระบุพิกัดของสถานีไฟฟ้า 1 (x_1, y_1) คือสถานีไฟฟ้าที่กำหนดให้เกิดการลัดวงจรลงดิน ระบุพิกัดของสถานีไฟฟ้า 2 (x_2, y_2) คือสถานีไฟฟ้าที่ไม่ได้เกิดการลัดวงจรลงดินจากแผนที่สภาพความต้านทานดินเพื่อนำมาใช้ในการคำนวณ

2) การกำหนดพิกัด (x, y) ของสายจ่ายกำลังไฟฟ้าเพื่อสมมติให้เป็นจุดที่เกิดการลัดวงจรลงดิน

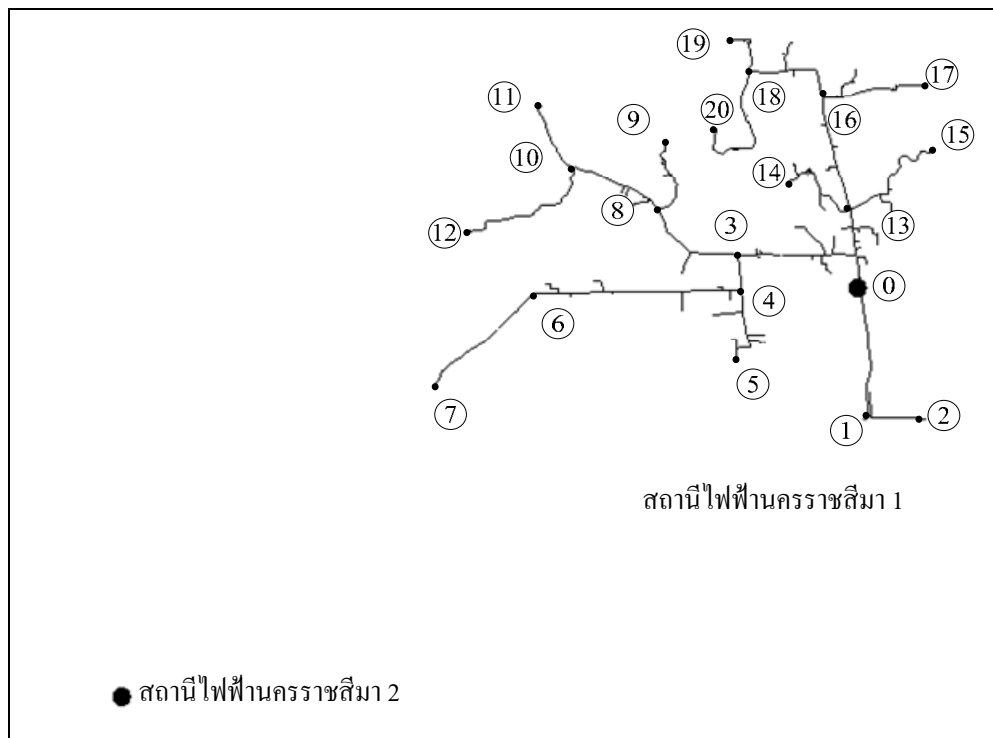
3) การหาสมการเส้นตรงจากจุดที่เกิดการลัดวงจรลงดินในสายจ่าย เพื่อใช้เป็นเส้นทางการคำนวณผลรวมของค่าสภาพความต้านทานดินจากแผนที่สภาพความต้านทานดิน จากจุดที่เกิดการลัดวงจรไปยังสถานีไฟฟ้าต้นทางของสายจ่ายที่สมมติให้เกิดการลัดวงจรลงดิน โดยใช้ค่าสีของแผนที่สภาพความต้านทานดินในการคำนวณค่าความต้านทานดิน

4) การหาสมการเส้นตรงจากจุดที่เกิดการลัดวงจรลงดินในสายจ่าย เพื่อใช้เป็นเส้นทางการคำนวณผลรวมของค่าสภาพความต้านทานดินจากแผนที่สภาพความต้านทานดิน จากจุดที่เกิดการลัดวงจรไปยังสถานีไฟฟ้าที่ไม่ได้เกิดการลัดวงจรลงดินบนสายจ่าย โดยใช้ค่าสีของแผนที่สภาพความต้านทานดินในการคำนวณค่าความต้านทานดิน

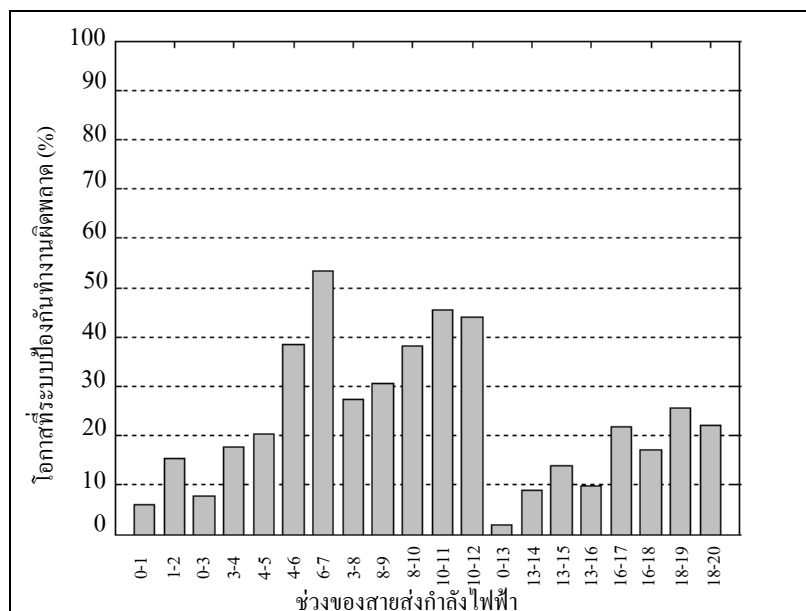
5) เปรียบเทียบค่าผลรวมของค่าสภาพความต้านทานดินที่ได้จากการคำนวณในขั้นตอนที่ 4 และขั้นตอนที่ 5 เพื่อหาอัตราส่วนของค่าสภาพความต้านทานดินและคำนวณความน่าจะเป็นในช่วงที่กำหนดให้เกิดการลัดวงจรนั้น มีโอกาสที่จะทำให้ระบบป้องกันทำงานผิดพลาดถ้าผลรวมของค่าสภาพความต้านทานดินระหว่างจุดที่เกิดการลัดวงจรไปยังสถานีไฟฟ้าต้นทางมีค่ามากกว่าผลรวมของค่าสภาพความต้านทานดินไปยังสถานีไฟฟ้าที่ไม่ได้เกิดการลัดวงจรแล้วโอกาสที่จะจุดเกิดลัดวงจรนั้นจะทำให้ระบบป้องกันการเกิดลัดวงจรลงดินทำงานผิดพลาดมีค่ามากกว่า 50%

6) ตรวจสอบจุดพิกัดที่กำหนดให้เกิดการลัดวงจรลงดินในสายจ่ายให้ครอบคลุมตลอดทั้งสายจ่ายที่พิจารณาเมื่อครบทุกจุดแล้วจึงสิ้นสุดการทำงานของโปรแกรม

จากการดำเนินการได้ผลการคำนวณสำหรับสายจ่ายกำลังไฟฟ้า ที่อยู่ระหว่างสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 และ 2 ทั้ง 10 สายจ่าย ดังรูปที่ 6.9 - 6.28 ซึ่งเป็นภาพการแบ่งช่วงของสายจ่ายเพื่อใช้คำนวณและหาค่าเฉลี่ยในช่วงสายนั้นสำหรับใช้คำนวณหาโอกาสที่ช่วงสายนั้นจะทำให้ระบบป้องกันการลัดวงจรลงดินทำงานผิดพลาด และด้านล่างของภาพเป็นกราฟแสดงเปอร์เซ็นต์โอกาสการทำงานผิดพลาดของระบบป้องกันของสายจ่ายแต่ละช่วง

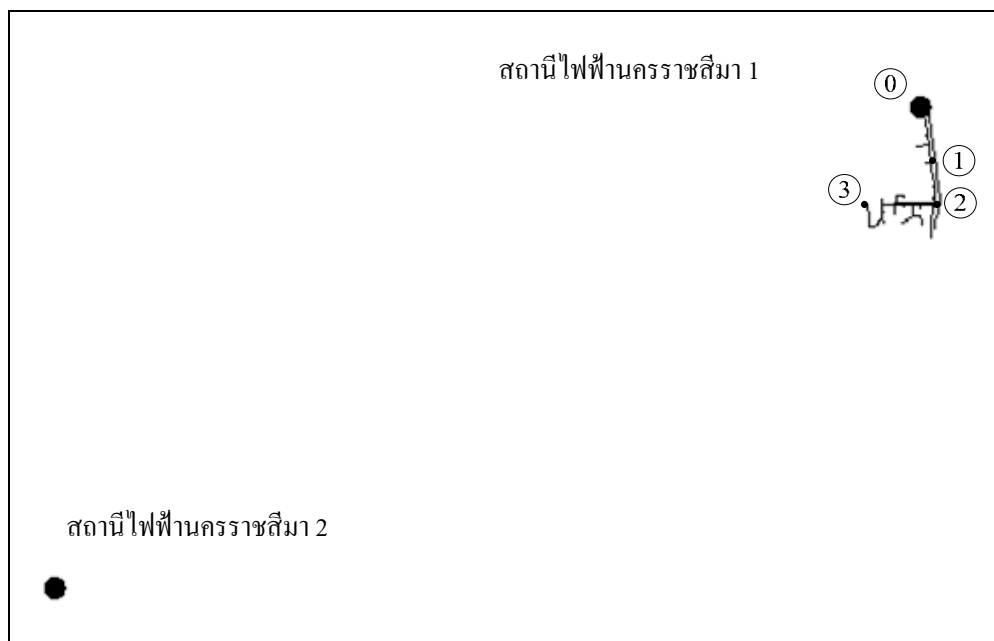


รูปที่ 6.9 ช่วงของสายจ่าย NRA01 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1

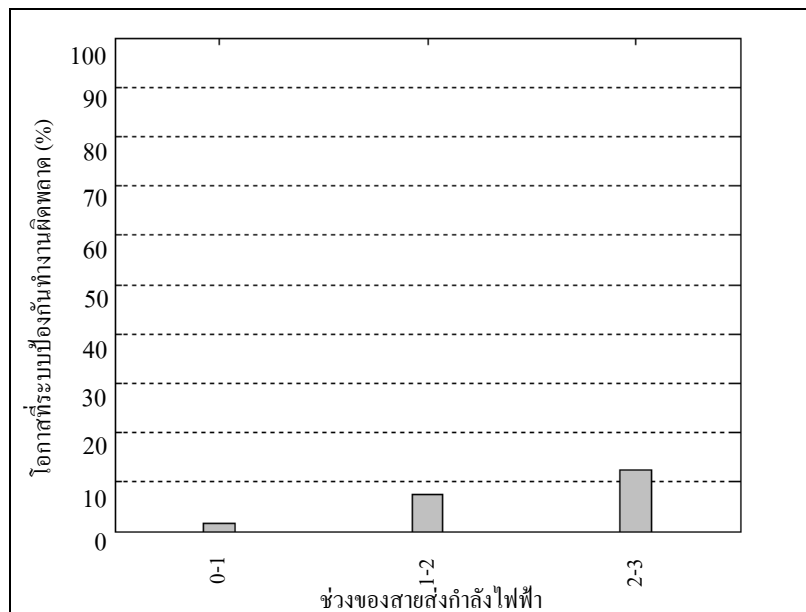


รูปที่ 6.10 โอกาสที่ระบบป้องกันทำงานผิดพลาดบนช่วงของสายจ่าย NRA01

จากรูปที่ 6.9 เป็นการระบุโหนดที่ใช้กำหนดช่วงของสายจ่าย NRA01 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 ทั้งหมด 20 ช่วง เพื่อนำช่วงของสายจ่ายแต่ละช่วงมาคำนวณหาโอกาสที่สายจ่ายในช่วงนั้นจะทำให้ระบบป้องกันการลัดวงจรลงดินของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2 ทำงานผิดพลาด ได้ผลการคำนวณดังกราฟรูปที่ 6.10 ซึ่งพบว่าช่วงของสายจ่ายโหนด 6 – 7 มีโอกาสเฉลี่ย 53.44% และเมื่อสังเกตจากรูปจะเห็นว่าช่วงดังกล่าวมีระยะห่างจากสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2 น้อยกว่าช่วงของสายจ่ายอื่น จึงมีโอกาสสูงที่จะทำให้เมื่อเกิดการลัดวงจรแล้วกระแสไฟฟ้าลัดวงจรลงดินจะไหลไปยังสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2 ในปริมาณมาก

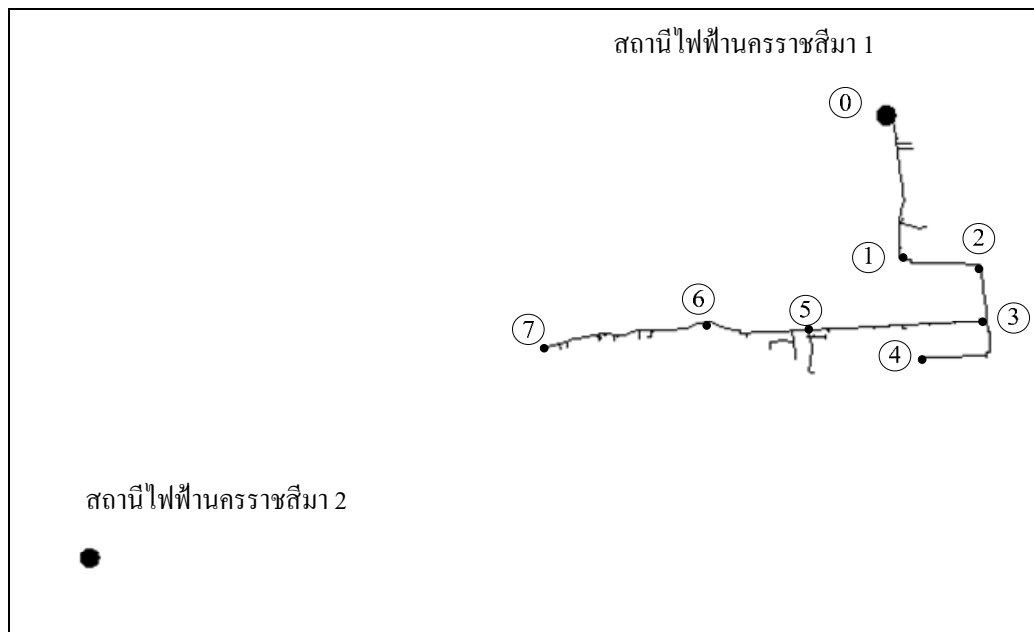


รูปที่ 6.11 ช่วงของสายจ่าย NRA02 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1

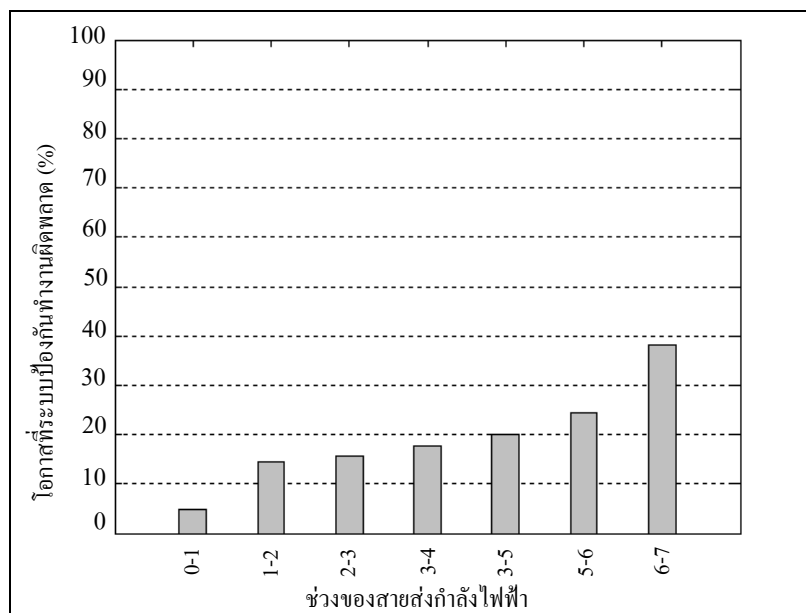


รูปที่ 6.12 โอกาสที่ระบบป้องกันทำงานผิดพลาดบนช่วงของสายจ่าย NRA02

จากรูปที่ 6.11 เป็นการระบุโหนดที่ใช้กำหนดช่วงของสายจ่าย NRA02 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 ทั้งหมด 3 ช่วง เพื่อนำช่วงของสายจ่ายแต่ละช่วงมาคำนวณหาโอกาสที่สายจ่ายในช่วงนั้นจะทำให้ระบบป้องกันการลัดวงจรลงดินของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2 ทำงานผิดพลาดได้ผลการคำนวณดังกราฟรูปที่ 6.12 ซึ่งพบว่าช่วงของสายจ่ายแต่ละช่วงมีโอกาสน้อยมากที่จะทำให้ระบบทำงานผิดพลาด และเมื่อสังเกตจากรูปพบว่าสายจ่าย NRA02 มีพื้นที่การจ่ายไฟไม่กว้างมากและอยู่ใกล้กับสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1

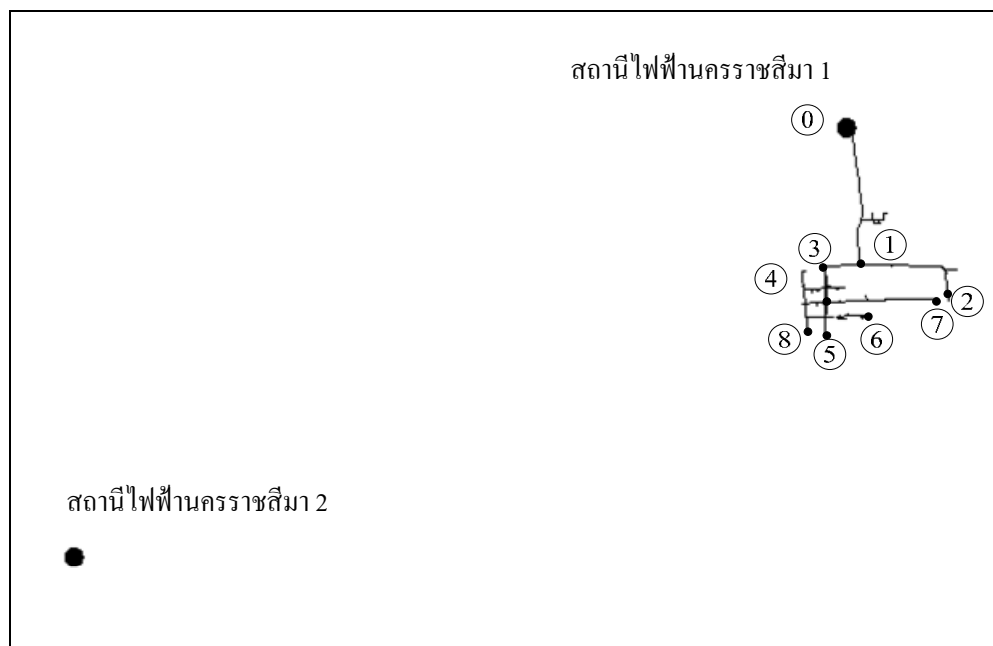


รูปที่ 6.13 ช่วงของสายจ่าย NRA03 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1

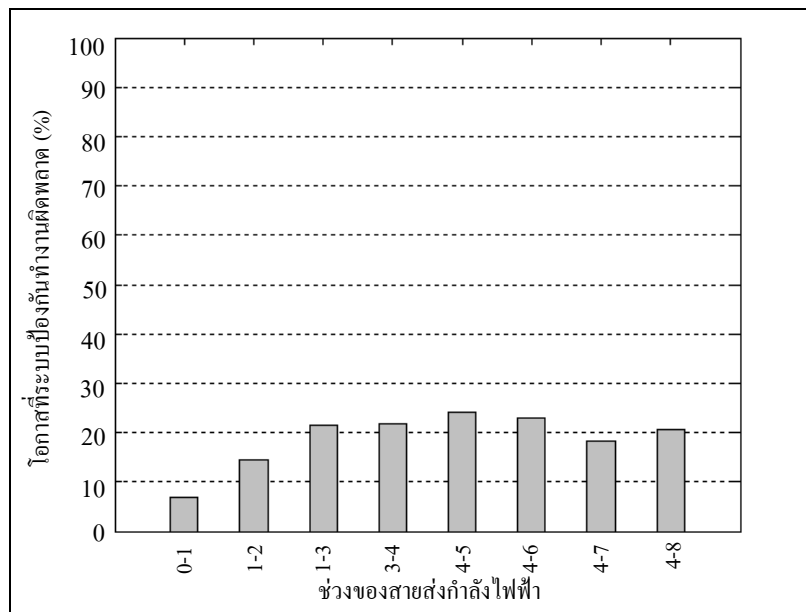


รูปที่ 6.14 โอกาสที่ระบบป้องกันทำงานผิดพลาดบนช่วงของสายจ่าย NRA03

จากรูปที่ 6.13 เป็นการระบุโหนดที่ใช้กำหนดช่วงของสายจ่าย NRA03 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 ทั้งหมด 7 ช่วง เพื่อนำช่วงของสายจ่ายแต่ละช่วงมาคำนวณหาโอกาสที่สายจ่ายในช่วงนั้นจะทำให้ระบบป้องกันการลัดวงจรลงดินของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2 ทำงานผิดพลาด ได้ผลการคำนวณดังกราฟรูปที่ 6.14 ซึ่งพบว่าช่วง 6-7 มีโอกาส 38.08% ส่วนช่วงของสายจ่ายช่วงอื่นมีโอกาสน้อยมากที่จะทำให้ระบบทำงานผิดพลาด และเมื่อสังเกตจากรูปสายจ่าย NRA03 ช่วง 6-7 มีระยะห่างอยู่ใกล้กับสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2 มากกว่าช่วงอื่น ๆ ซึ่งมีโอกาสมากที่กระแสลัดวงจรลงดินจะไหลไปยังสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2 มากกว่าช่วงอื่น ๆ ของสายจ่ายช่วงอื่น มีโอกาสน้อยมากที่จะทำให้ระบบทำงานผิดพลาด และเมื่อสังเกตจากรูปสายจ่าย NRA03 ช่วง 6-7 มีระยะห่างอยู่ใกล้กับสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2 มากกว่าช่วงอื่น ๆ ซึ่งมีโอกาสมากที่กระแสลัดวงจรลงดินจะไหลไปยังสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2 มากกว่าช่วงอื่น ๆ

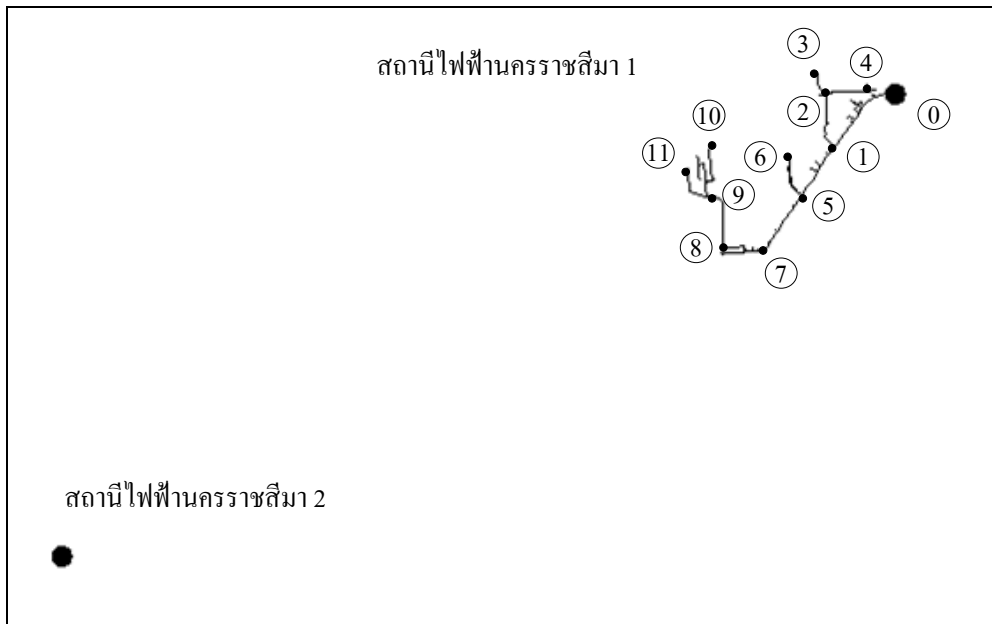


รูปที่ 6.15 ช่วงของสายจ่าย NRA07 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1

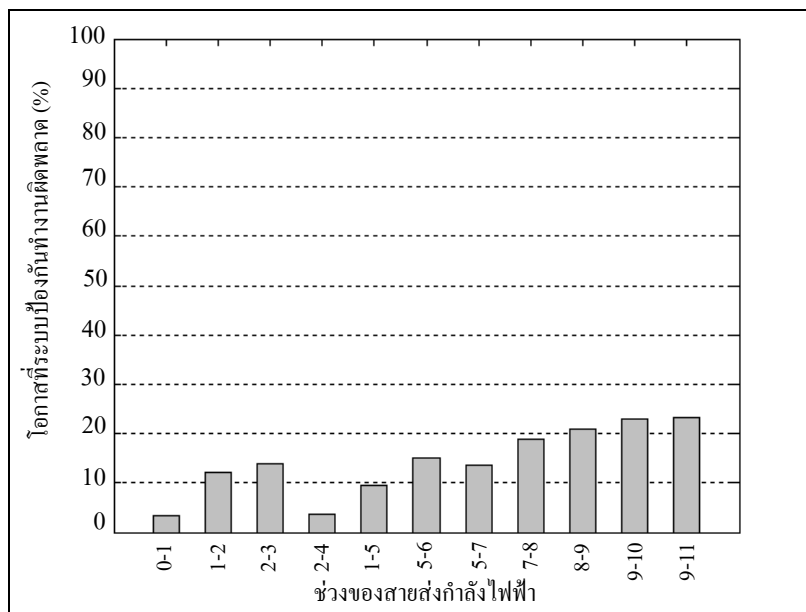


รูปที่ 6.16 โอกาสที่ระบบป้องกันทำงานผิดพลาดบนช่วงของสายจ่าย NRA07

จากรูปที่ 6.15 เป็นการระบุโหนดที่ใช้กำหนดช่วงของสายจ่าย NRA07 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 ทั้งหมด 8 ช่วง เพื่อนำช่วงของสายจ่ายแต่ละช่วงมาคำนวณหาโอกาสที่สายจ่ายในช่วงนั้นจะทำให้ระบบป้องกันการลัดวงจรลงดินของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2 ทำงานผิดพลาดได้ผลการคำนวณดังกราฟรูปที่ 6.16 ซึ่งพบว่าช่วงของสายจ่ายแต่ละช่วงมีโอกาสน้อย และเมื่อสังเกตจากรูปสายจ่าย NRA07 จะเห็นว่าสายจ่ายมีพื้นที่การจ่ายไฟในบริเวณที่ไม่กว้างและอยู่ใกล้กับสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 จึงมีโอกาสน้อยที่กระแสลัดวงจรลงดินจะไหลไปยังสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2 ในปริมาณมาก

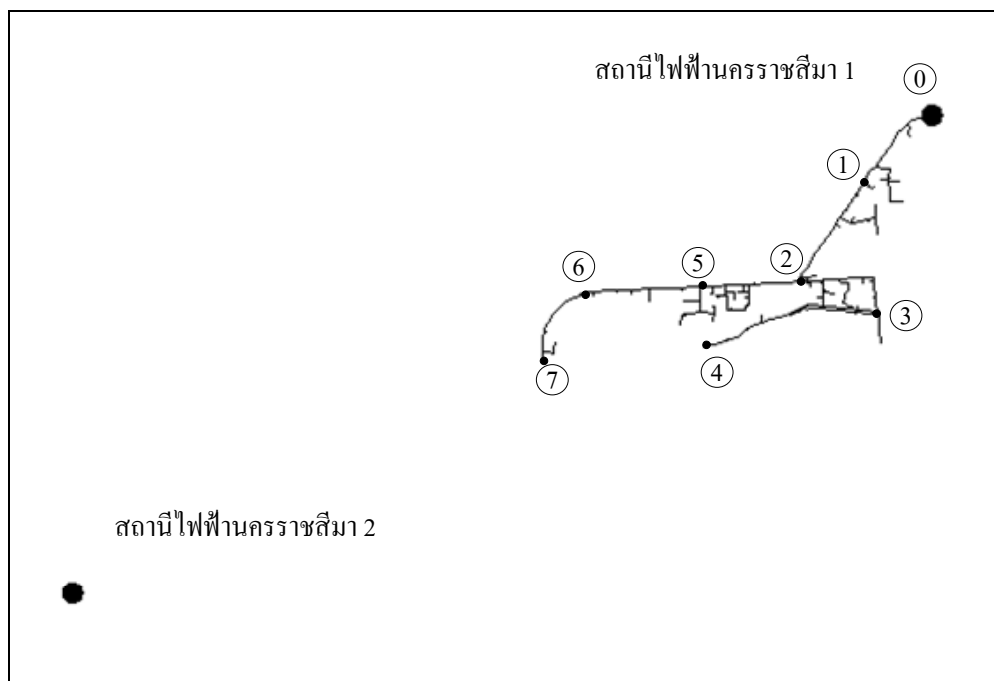


รูปที่ 6.17 ช่วงของสายจ่าย NRA09 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1

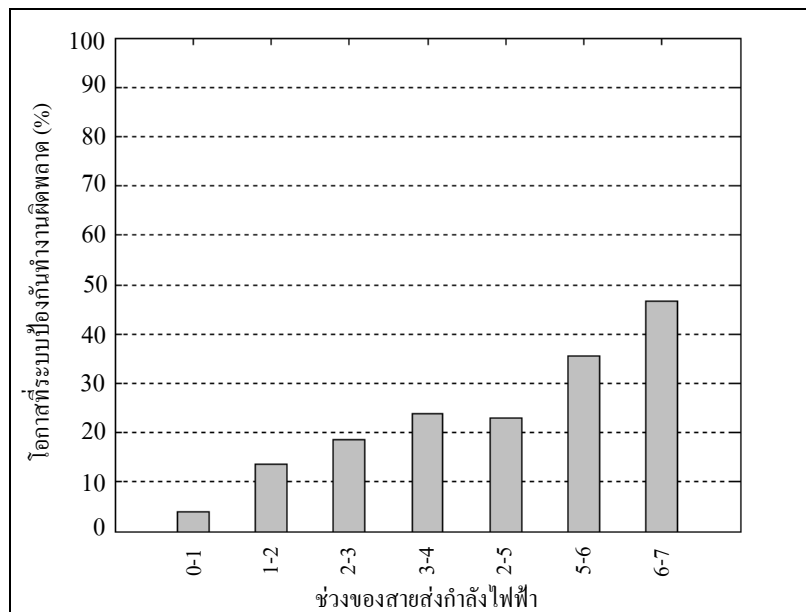


รูปที่ 6.18 โอกาสที่ระบบป้องกันทำงานผิดพลาดบนช่วงของสายจ่าย NRA09

จากรูปที่ 6.17 เป็นการระบุโหนดที่ใช้กำหนดช่วงของสายจ่าย NRA09 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 ทั้งหมด 11 ช่วง เพื่อนำช่วงของสายจ่ายแต่ละช่วงมาคำนวณหาโอกาสที่สายจ่ายในช่วงนั้นจะทำให้ระบบป้องกันการลัดวงจรลงดินของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2 ทำงานผิดพลาด ได้ผลการคำนวณดังกราฟรูปที่ 6.18 ซึ่งพบว่าช่วงของสายจ่ายแต่ละช่วงมีโอกาสน้อยและเมื่อสังเกตจากรูป สายจ่าย NRA09 จะเห็นว่าสายจ่ายมีพื้นที่การจ่ายไฟในบริเวณที่ไม่กว้างและอยู่ใกล้กับสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 จึงมีโอกาสน้อยที่กระแสลัดวงจรลงดินจะไหลไปยังสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2 ในปริมาณมาก

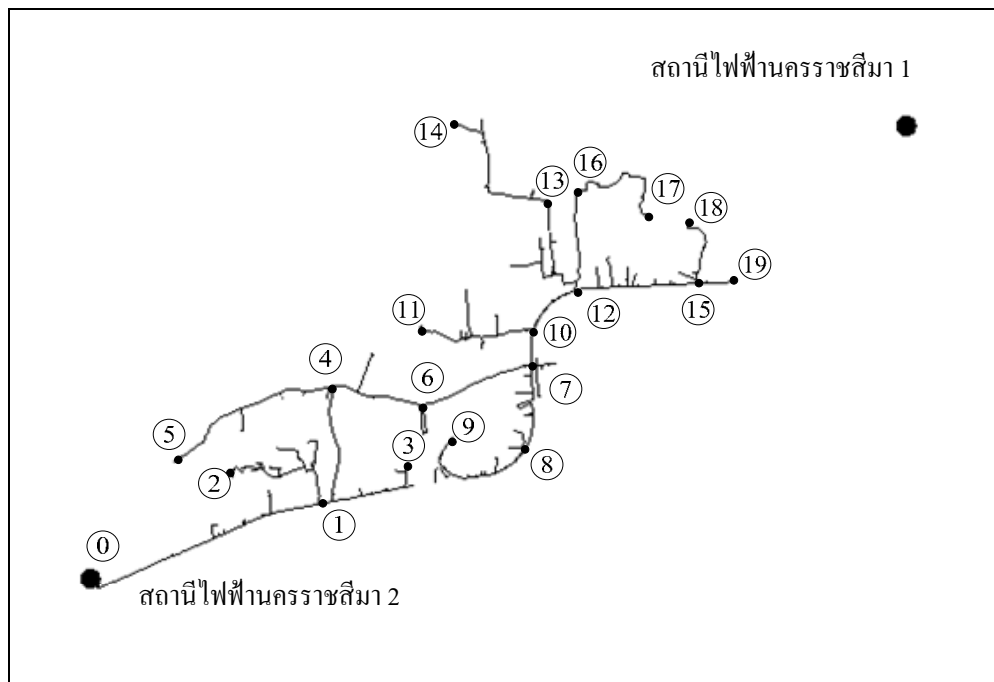


รูปที่ 6.19 ช่วงของสายจ่าย NRA10 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1

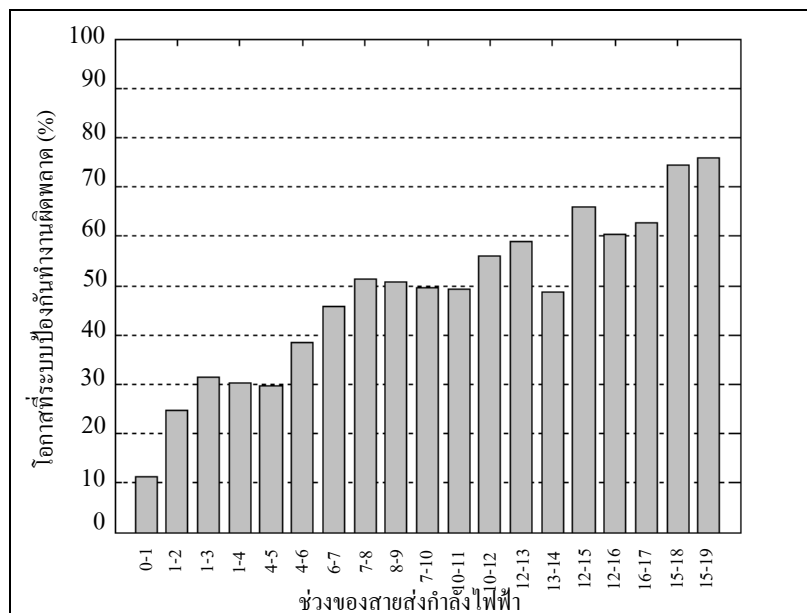


รูปที่ 6.20 โอกาสที่ระบบป้องกันทำงานผิดพลาดบนช่วงของสายจ่าย NRA10

จากรูปที่ 6.19 เป็นการระบุโหนดที่ใช้กำหนดช่วงของสายจ่าย NRA10 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 ทั้งหมด 7 ช่วง เพื่อนำช่วงของสายจ่ายแต่ละช่วงมาคำนวณหาโอกาสที่สายจ่ายในช่วงนั้นจะทำให้ระบบป้องกันการลัดวงจรลงดินของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2 ทำงานผิดพลาดได้ผลการคำนวณดังกราฟรูปที่ 6.20 ซึ่งพบว่าช่วง 6 - 7 มีค่า 46.74% ซึ่งมีโอกาสสูงกว่าสายจ่ายช่วงอื่น จากรูปสายจ่าย NRA10 จะเห็นว่าช่วงดังกล่าวมีระยะใกล้กับสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2 มากกว่าช่วงอื่นจึงมีโอกาสสูงมากกว่าช่วงอื่น ๆ

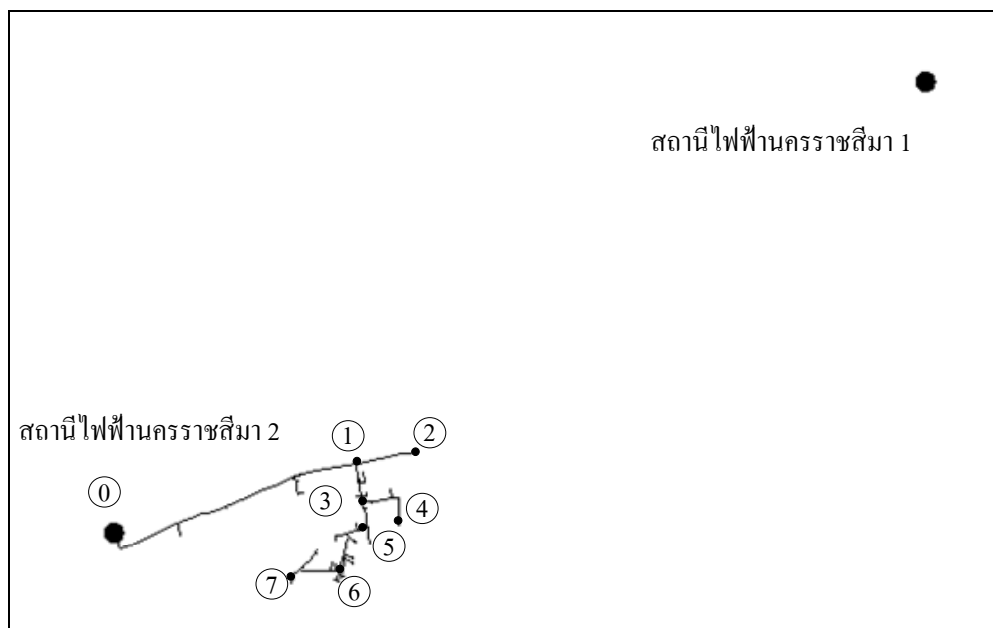


รูปที่ 6.21 ช่วงของสายจ่าย NRB02 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2

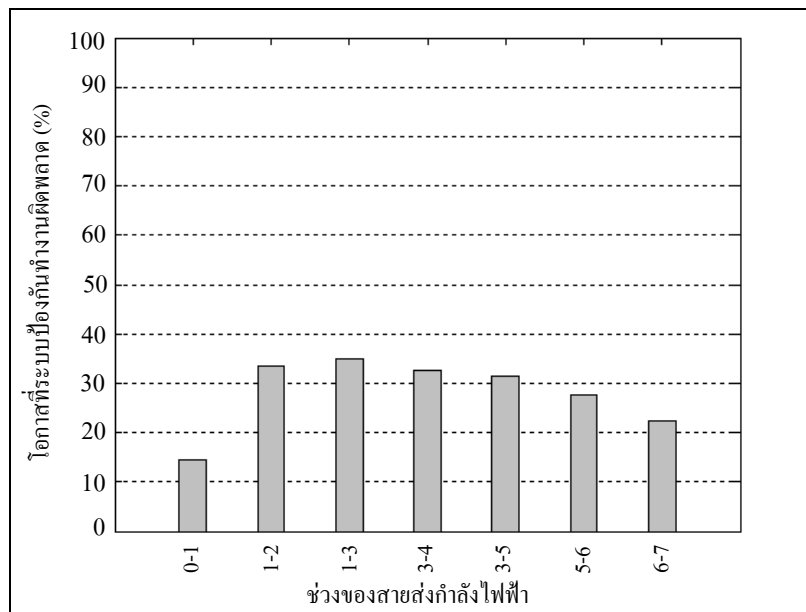


รูปที่ 6.22 โอกาสที่ระบบป้องกันทำงานผิดพลาดบนช่วงของสายจ่าย NRB02

จากรูปที่ 6.21 เป็นการระบุโหนดที่ใช้กำหนดช่วงของสายจ่าย NRB02 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2 ทั้งหมด 19 ช่วง เพื่อนำช่วงของสายจ่ายแต่ละช่วงมาคำนวณหาโอกาสที่สายจ่ายในช่วงนั้นจะทำให้ระบบป้องกันการลัดวงจรลงดินของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 ทำงานผิดพลาด ได้ผลการคำนวณดังกราฟรูปที่ 6.22 พบว่าช่วงของสายจ่ายหลายช่วงมีโอกาสทำให้ระบบป้องกันของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 ทำงานผิดพลาดสูงมากกว่า 50% โดยเฉพาะช่วงของสายจ่าย 15 - 18 และ 15 - 19 มีโอกาสสูงมากกว่า 70% ซึ่งเมื่อพิจารณาจากรูปของสายจ่าย NRB02 แล้วจะเห็นว่าพื้นที่การจ่ายไฟของช่วงดังกล่าว อยู่ใกล้กับสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1

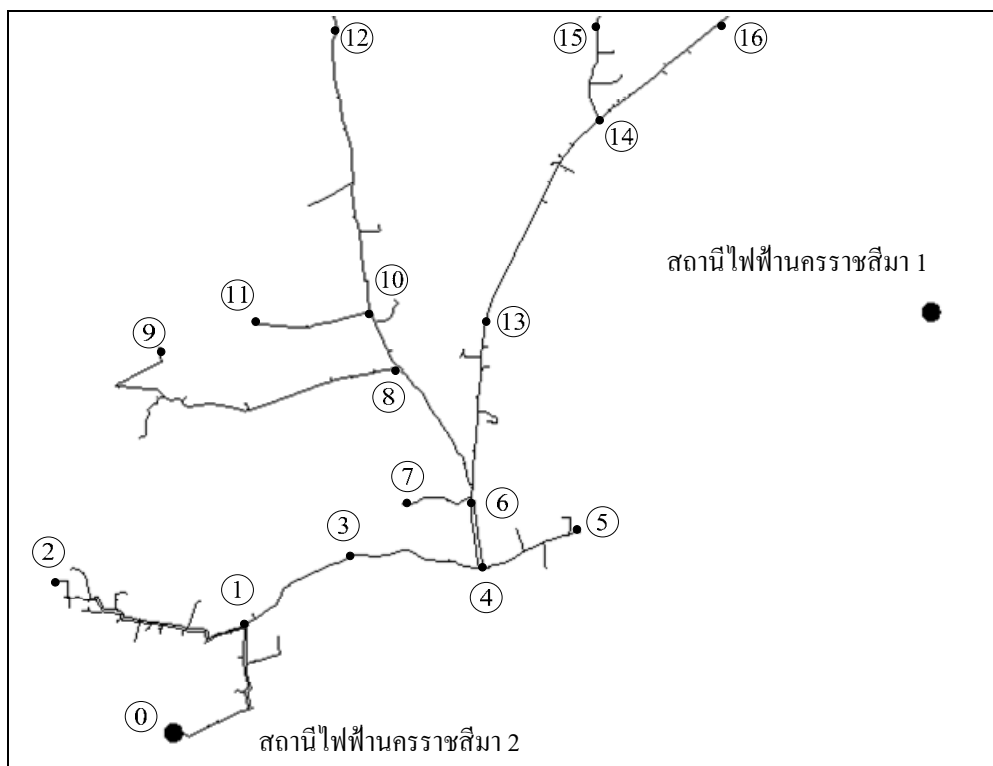


รูปที่ 6.23 ช่วงของสายจ่าย NRB04 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2

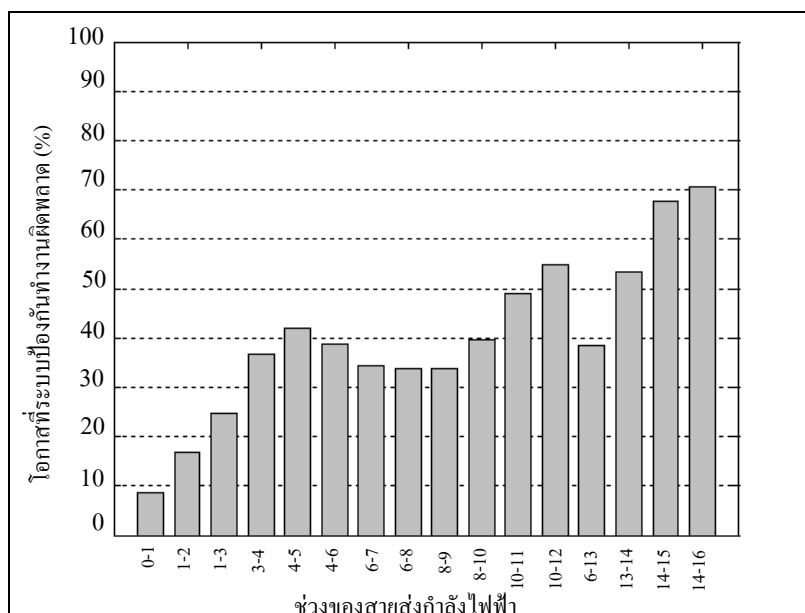


รูปที่ 6.24 โอกาสที่ระบบป้องกันทำงานผิดพลาดบนช่วงของสายจ่าย NRB04

จากรูปที่ 6.23 เป็นการระบุโหนดที่ใช้กำหนดช่วงของสายจ่าย NRB04 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2 ทั้งหมด 7 ช่วง เพื่อนำช่วงของสายส่งแต่ละช่วงมาคำนวณหาโอกาสที่สายจ่ายในช่วงนั้นจะทำให้ระบบป้องกันการลัดวงจรลงดินของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 ทำงานผิดพลาดได้ผลการคำนวณดังกราฟรูปที่ 6.24 พบว่าช่วงของสายจ่ายแต่ละช่วงมีโอกาสน้อย และเมื่อสังเกตจากรูปสายส่ง NRB04 จะเห็นว่าสายจ่ายมีพื้นที่การจ่ายไฟในบริเวณที่ไม่กว้างและอยู่ใกล้กับสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2 จึงทำให้กระแสลัดวงจรลงดินส่วนใหญ่ไหลกลับมายังสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2

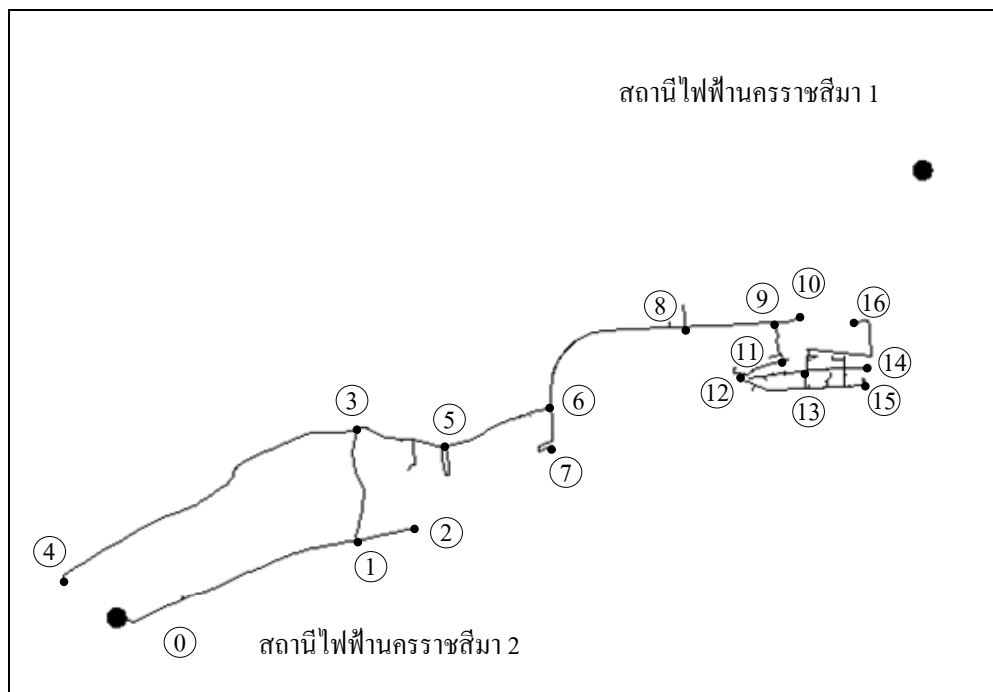


รูปที่ 6.25 ช่วงของสายจ่าย NRB05 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2

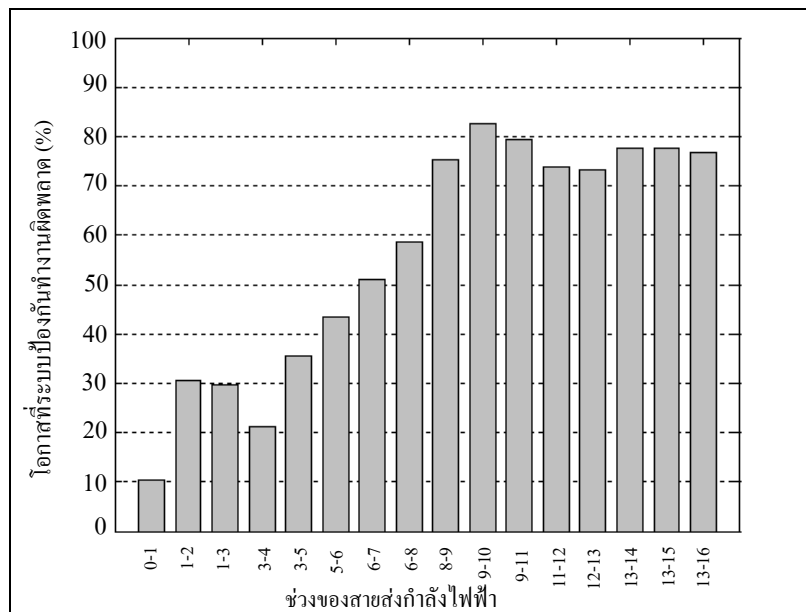


รูปที่ 6.26 โอกาสที่ระบบป้องกันทำงานผิดพลาดบนช่วงของสายจ่าย NRB05

จากรูปที่ 6.25 เป็นการระบุโหนดที่ใช้กำหนดช่วงของสายจ่าย NRB05 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2 ทั้งหมด 16 ช่วงเพื่อนำช่วงของสายจ่ายแต่ละช่วงมาคำนวณหาโอกาสที่สายจ่ายในช่วงนั้นจะทำให้ระบบป้องกันการลัดวงจรลงดินของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 ทำงานผิดพลาด ได้ผลการคำนวณดังกราฟรูปที่ 6.26 พบว่าช่วงของสายจ่าย 10-12 13-14 14-15 และ 14-16 มีโอกาสทำให้ระบบป้องกันของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 ทำงานผิดพลาดมากกว่า 50% ซึ่งพิจารณาจากรูปสายจ่าย NRB05 จะเห็นว่าช่วงดังกล่าวมีระยะห่างจากสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 น้อยจึงทำให้มีโอกาสสูงที่กระแสลัดวงจรลงดินย้อนกลับจะไหลไปยังสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 ในปริมาณมาก



รูปที่ 6.27 ช่วงของสายจ่าย NRB06 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2



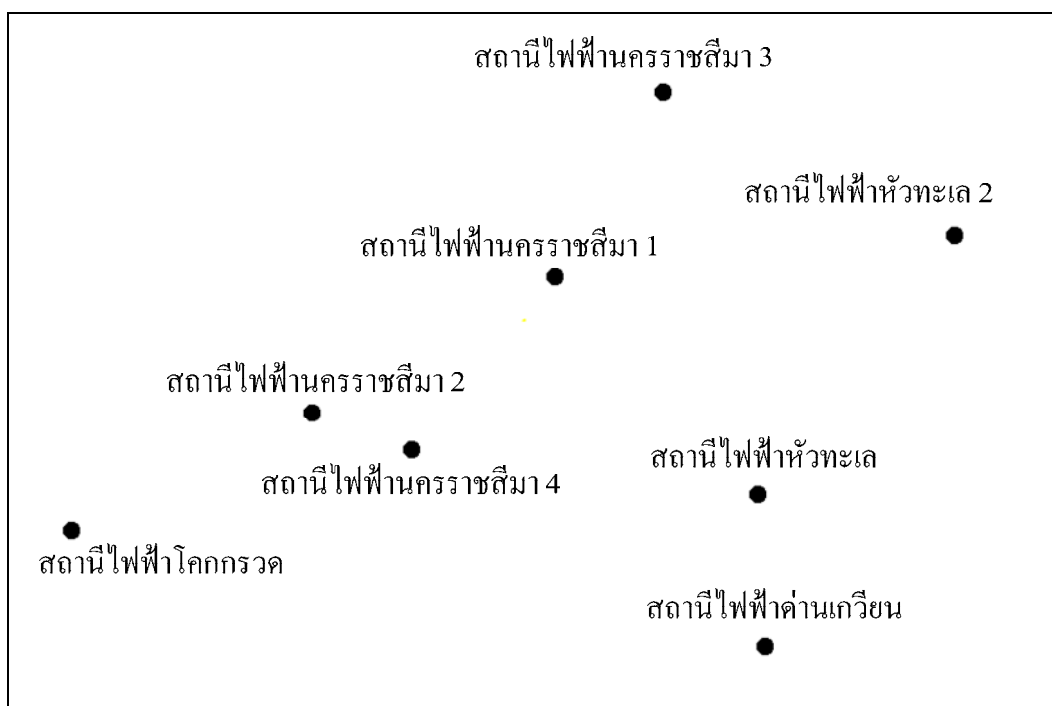
รูปที่ 6.28 โอกาสที่ระบบป้องกันทำงานผิดพลาดบนช่วงของสายจ่าย NRB06

จากรูปที่ 6.27 เป็นการระบุโหนดที่ใช้กำหนดช่วงของสายจ่าย NRB06 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2 ทั้งหมด 16 ช่วงเพื่อนำช่วงของสายจ่ายแต่ละช่วงมาคำนวณหาโอกาสที่สายจ่ายในช่วงนั้นจะทำให้ระบบป้องกันการลัดวงจรลงดินของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 ทำงานผิดพลาด ได้ผลการคำนวณดังกราฟรูปที่ 6.28 พบว่าช่วงของสายจ่ายที่มีพื้นที่การจ่ายไฟอยู่ใกล้สถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 มีโอกาสมากกว่า 50% ทั้งหมด 10 ช่วง ซึ่งพิจารณาจากรูปสายจ่าย NRB06 จะเห็นว่าช่วงสายจ่ายดังกล่าวเป็นช่วงที่มีพื้นที่การจ่ายไฟอยู่ใกล้บริเวณสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 มากกว่าสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2

จากผลการคำนวณหาโอกาสของช่วงของสายจ่ายที่มีโอกาสทำให้ระบบป้องกันการลัดวงจรลงดินของสถานีไฟฟ้าทำงานผิดพลาดดังรูปที่ 6.9 - 6.28 ซึ่งเป็นกราฟแท่งที่แสดงเปอร์เซ็นต์ เมื่อมีค่ามากกว่า 50% แสดงว่าสายจ่ายช่วงนั้นมีโอกาสสูงที่จะทำให้เกิดการทำงานผิดพลาดของระบบป้องกัน เพราะค่าสภาพความต้านทานดินจากจุดนั้นไปยังสถานีไฟฟ้าข้างเคียงที่ไม่ได้เกิดการลัดวงจรลงดิน มีค่าน้อยกว่าไปยังสถานีไฟฟ้าต้นทางของสายจ่ายที่เกิดการลัดวงจรสายจ่ายใดที่มีช่วงของสายจ่ายที่มีโอกาสทำให้ระบบป้องกันการลัดวงจรลงดินของสถานีไฟฟ้าทำงานผิดพลาดสูงหลายช่วง ข้อมส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพและความเชื่อถือได้ของระบบป้องกันการลัดวงจรลงดินของสายจ่ายดังกล่าว

6.3.3 การวิเคราะห์การเกิดกระแสไฟฟ้าผิดปกติของสถานีไฟฟ้า

สถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 และ 2 มีสถานีไฟฟ้าที่ตั้งอยู่ข้างเคียงหลายสถานี ดังรูปที่ 6.29 โดยที่การเกิดความผิดปกติของระบบป้องกันนั้นอาจจะเป็นผลมาจากสถานีไฟฟ้าใดก็ได้ เนื่องจากกระแสลัดวงจรลงดินย้อนกลับสามารถไหลไปยังกราวด์กริดของสถานีไฟฟ้าทุกสถานีที่อยู่ใกล้เคียง แต่เนื่องจากมีข้อจำกัดในการสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดิน ที่สร้างได้ไม่ครอบคลุมพื้นที่ของสถานีไฟฟ้าทั้งหมด จึงได้พิจารณาสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 และ 2 เป็นหลักโดยไม่ได้พิจารณาผลของสถานีไฟฟ้าที่อยู่ใกล้เคียงทั้งหมด



รูปที่ 6.29 สถานีไฟฟ้าบริเวณอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา

เมื่อนำข้อมูลการเกิดกระแสไฟฟ้าขัดข้องของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2 ดังแสดงในตารางที่ 6.1 ซึ่งเป็นข้อมูลสรุปเหตุการณ์และสาเหตุของการเกิดกระแสไฟฟ้าขัดข้องระหว่างวันที่ 1 กรกฎาคม ถึง 16 ตุลาคม 2553 เมื่อพิจารณาสาเหตุของการเกิดกระแสไฟฟ้าขัดข้องจะเห็นว่าการเกิดกระแสไฟฟ้าขัดข้องส่วนใหญ่ไม่ทราบสาเหตุของการเกิด และสาเหตุถัดมาคืออุปกรณ์ชำรุดเสียหาย ในกรณีที่ไม่ทราบสาเหตุนั้นอาจเกิดจากหลายสาเหตุ และหนึ่งในสาเหตุนั้นอาจเกิดจากผลของสถานีไฟฟ้าข้างเคียงที่เป็นผลมาจากความแตกต่างของค่าสภาพความต้านทานดิน

ตารางที่ 6.1 การเกิดกระแสไฟฟ้าขัดข้องของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2

สาเหตุ	จำนวนครั้ง
อุปกรณ์ชำรุดเสียหาย	5
อุบัติเหตุ	2
ต้นไม้	2
สัตว์	4
ไม่ทราบสาเหตุ	26
รวม	39

จากตารางที่ 6.1 การเกิดกระแสไฟฟ้าขัดข้องของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2 เมื่อพิจารณาสายจ่ายเพื่อสังเกตจำนวนการเกิดความผิดปกติในแต่ละสายจ่าย ได้ดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 การเกิดกระแสไฟฟ้าขัดข้องในแต่ละสายจ่ายของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2

สายจ่าย	จำนวนครั้ง
NRB01	1
NRB02	3
NRB03	2
NRB04	3
NRB05	3
NRB06	1
NRB07	5
NRB08	16
NRB09	-
NRB10	5
NRB11	-
NRB12	-
รวม	39

จากตารางที่ 6.2 จะเห็นว่าสายจ่าย NRB08 มีการเกิดความผิดปกติพร้อมมากที่สุด ซึ่งสายจ่ายดังกล่าวมีระยะการจ่ายในบริเวณน้อยและอยู่ใกล้กับสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 2 มากกว่า ส่วนสายจ่ายที่เกิดกระแสไฟฟ้าขัดข้องถัดมาคือ NRB10 ซึ่งมีระยะจ่ายไฟในพื้นที่บริเวณกว้างจึงมีโอกาสที่จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขัดข้องสูง ส่วนสายจ่ายที่เกิดกระแสไฟฟ้าขัดข้องและอยู่ระหว่างสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 นั่นคือสายจ่าย NRB02 มีการเกิดกระแสไฟฟ้าขัดข้อง 3 ครั้ง ไม่ทราบสาเหตุ 2 ครั้ง สายจ่าย NRB04 มีการเกิดกระแสไฟฟ้าขัดข้อง 3 ครั้ง ไม่ทราบสาเหตุ 1 ครั้ง สายจ่าย NRB05 มีการเกิดกระแสไฟฟ้าขัดข้อง 3 ครั้ง ไม่ทราบสาเหตุ 3 ครั้ง และสายจ่าย NRB06 มีการเกิดกระแสไฟฟ้าขัดข้อง 1 ครั้ง โดยมีสาเหตุจากอุปกรณ์เสาถูกถั่วแตก ซึ่งในช่วงสามเดือนนั้น มีอัตราการเกิดกระแสไฟฟ้าขัดข้องกับสายจ่ายโดยที่ไม่ทราบสาเหตุในปริมาณที่มากกว่าทราบสาเหตุ ซึ่งอาจจะเกิดจากหลายสาเหตุ หรือเกิดจากผลของสถานีไฟฟ้าข้างเคียงที่เกิดจากความแตกต่างของค่าสภาพความต้านทานดิน แต่ไม่สามารถสรุปสาเหตุได้ชัดเจน เพราะมีข้อมูลการเกิดกระแสไฟฟ้าขัดข้องเพียงสถานีเดียว ซึ่งในการศึกษานั้นจำเป็นต้องใช้ข้อมูลการเกิดกระแสไฟฟ้าขัดข้องของสถานีไฟฟ้าที่อยู่ข้างเคียงทั้งหมดซึ่งมีหลายสถานีไฟฟ้า เพื่อนำเวลาการเกิดกระแสไฟฟ้าขัดข้องของแต่ละสถานีไฟฟ้ามาเปรียบเทียบกัน เพื่อหาช่วงเวลาที่มีการเกิดกระแสไฟฟ้าขัดข้องที่ตรงกัน เพราะถ้าเกิดกระแสไฟฟ้าขัดข้องในเวลาตรงกันและไม่ทราบสาเหตุแล้ว มีความเป็นไปได้สูงที่ความผิดปกติดังกล่าวเกิดจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านค่าสภาพความต้านทานดินมาจากสถานีไฟฟ้าข้างเคียง

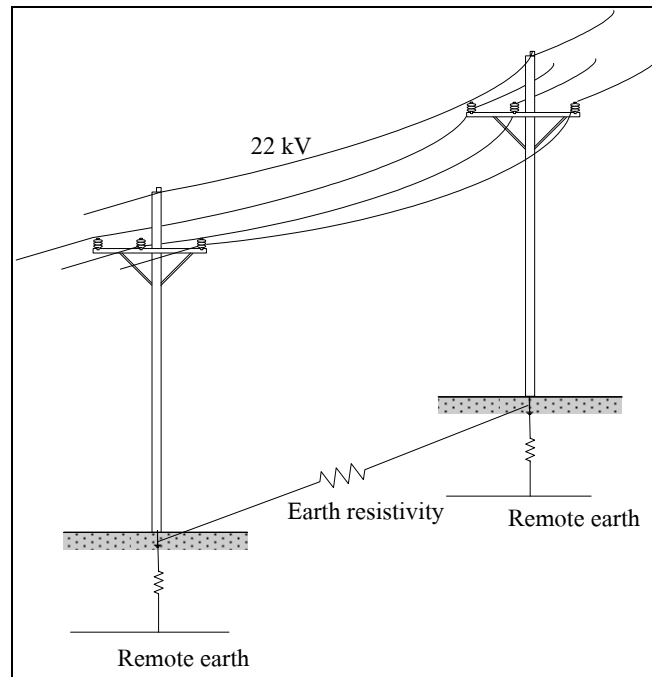
6.4 การวิเคราะห์กระแสไฟฟ้าลัดวงจรลงดิน

การวิเคราะห์กระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่ไหลจากจุดที่เกิดการลัดวงจรลงดินผ่านพื้นดินไปยังกราวด์กริดของสถานีไฟฟ้าที่อยู่ใกล้เคียงซึ่งการเกิดการลัดวงจรลงดินนั้น สามารถเกิดได้หลายกรณี เช่น การลัดวงจรลงดินชนิดหนึ่งเฟสลงดิน (L - G fault) การลัดวงจรลงดินระหว่างสองเฟสลงดิน (2L - G faults) การลัดวงจรลงดินระหว่างสามเฟสลงดิน (3L - G fault) ในการวิจัยได้พิจารณาการเกิดการลัดวงจรชนิดหนึ่งเฟสลงดิน เพราะเป็นชนิดที่มีอัตราการเกิดมากที่สุด มีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

6.4.1 แบบจำลองค่าสภาพความต้านทานดินสำหรับวิเคราะห์กระแสลัดวงจรย้อนกลับ

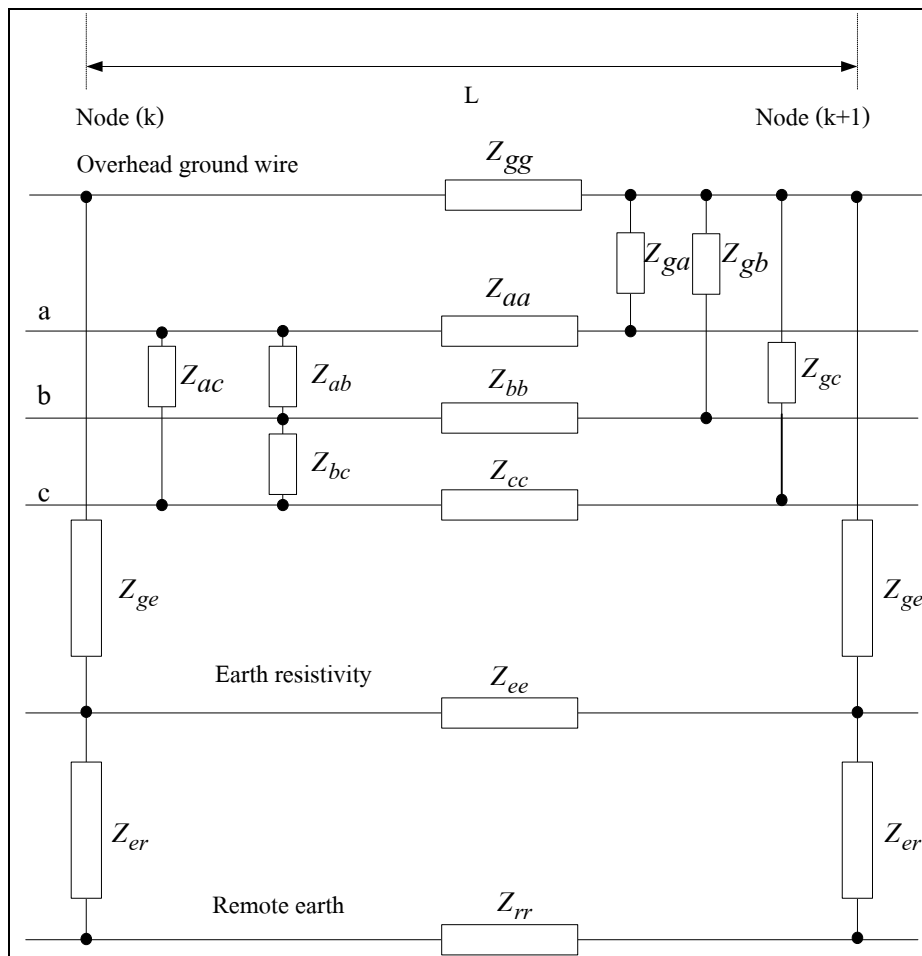
การสร้างแบบจำลองค่าสภาพความต้านทานดินของสายจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ พิจารณาระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้าซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 6.29 ซึ่งเป็นระบบสายจ่ายแบบ 3 เฟส โดยใช้เสาไฟฟ้าแบบคอนกรีต และมีสายป้องกันฟ้าผ่าอยู่บนยอดของเสา ระบบมีการต่อลงดินจากสายป้องกันฟ้าผ่าสู่แกนเหล็กของเสาไฟฟ้าที่ฝังอยู่ในดิน และยังมีการต่อสายดิน

จากสายป้องกันฟ้าผ่าทุก ๆ 300 – 500 เมตร การใช้สายตัวนำไฟฟ้าขึ้นอยู่กับขนาดของโหลดที่จ่ายให้ และยังขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นที่เพื่อเป็นการป้องกันอุบัติเหตุที่จะทำให้เกิดความผิดปกติและเพื่อให้เกิดความปลอดภัยกับผู้ใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ดังกล่าว



รูปที่ 6.30 ลักษณะของระบบสายจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์

จากรูปที่ 6.30 นำมาสร้างแบบจำลองโดยนำแบบจำลองของเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของสายตัวนำ สายป้องกันฟ้าผ่า เสาไฟฟ้า ความต้านทานดิน และรีโมทเอิร์ธ ได้รูปแบบจำลองดังรูปที่ 6.31 ซึ่งเป็นแบบจำลองที่นอกจากมีค่าความต้านทานระหว่างสายตัวนำทั้ง 3 เฟสแล้วยังมี ค่าความต้านทานดินระหว่างสายป้องกันฟ้าผ่ากับสายตัวนำทั้ง 3 เฟส ระหว่างสายป้องกันฟ้าผ่ากับพื้นดินหรือค่าสภาพความต้านทานดิน (Z_{ee}) และพิจารณาค่าความต้านทานจากพื้นดินกับรีโมทเอิร์ธซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าเท่ากับศูนย์

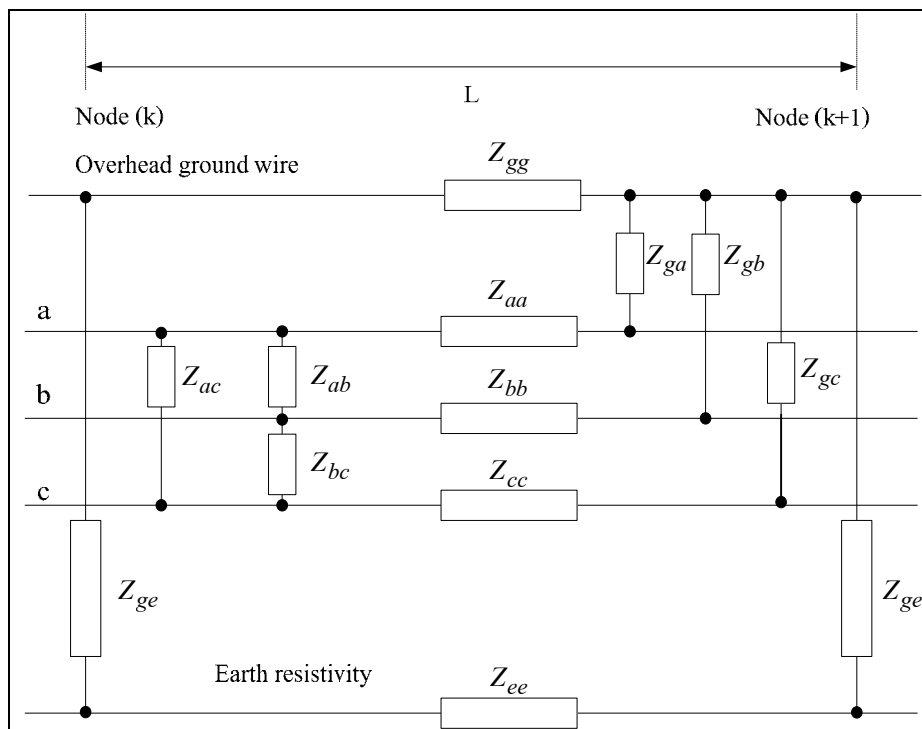


รูปที่ 6.31 แบบจำลองค่าสภาพความต้านทานดินกับสายจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์

นำแบบจำลองในรูปที่ 6.31 มาสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสไฟฟ้า ในรูปแบบเมตริกซ์ขนาด 6×6 ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} V_g \\ V_a \\ V_b \\ V_c \\ V_e \\ V_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{gg} & Z_{ga} & Z_{gb} & Z_{gc} & Z_{ge} & Z_{gr} \\ Z_{ag} & Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} & Z_{ae} & Z_{ar} \\ Z_{bg} & Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} & Z_{be} & Z_{br} \\ Z_{cg} & Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} & Z_{ce} & Z_{cr} \\ Z_{eg} & Z_{ea} & Z_{eb} & Z_{ec} & Z_{ee} & Z_{er} \\ Z_{rg} & Z_{ra} & Z_{rb} & Z_{rc} & Z_{re} & Z_{rr} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_g \\ I_a \\ I_b \\ I_c \\ I_e \\ I_r \end{bmatrix} \tag{6.1}$$

เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่ผิวดินเทียบได้ว่ารีโมทเออร์ธเป็นกราวด์หรือจุดที่มีศักย์ไฟฟ้าเท่ากับศูนย์ แสดงว่าความต้านระหว่างผิวดินกับรีโมทเออร์ธ (Z_{er}) มีค่าความต้านทานดินอยู่ ซึ่งแสดงว่าในดินที่ระดับความลึกมากการไหลของกระแสไฟฟ้าจะมีค่าประมาณเท่ากันเพราะเป็นพื้นที่ที่ตั้งอยู่บนลักษณะทางธรณีวิทยาที่เหมือนกัน แต่กระแสไฟฟ้าที่ไหลบนผิวดินจะมีความแตกต่างกันเพราะค่าความต้านของผิวดินมีค่าที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถลดรูปของเมตริกซ์โดยละเว้นการพิจารณา รีโมทเออร์ธ ได้แบบจำลองดังรูปที่ 6.32



รูปที่ 6.32 แบบจำลองค่าสภาพความต้านทานดินสายจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์
เมื่อไม่คิดผลของรีโมทเออร์ธ

นำแบบจำลองในรูปที่ 6.32 มาสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า โดยไม่พิจารณา รีโมทเออร์ธ ในรูปแบบเมตริกซ์ขนาด 5×5 ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} V_g \\ V_a \\ V_b \\ V_c \\ V_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{gg} & Z_{ga} & Z_{gb} & Z_{gc} & Z_{ge} \\ Z_{ag} & Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} & Z_{ae} \\ Z_{bg} & Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} & Z_{be} \\ Z_{cg} & Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} & Z_{ce} \\ Z_{eg} & Z_{ea} & Z_{eb} & Z_{ec} & Z_{ee} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_g \\ I_a \\ I_b \\ I_c \\ I_e \end{bmatrix} \quad (6.2)$$

โดยที่

$$Z_{ee} = \rho \times L \quad \Omega \quad (6.3)$$

ρ คือ ค่าสภาพความต้านทานดิน ($\Omega.m$)

L คือ ระยะห่างระหว่างโหนดที่พิจารณา (เมตร)

Z_{er} คือ ค่าความต้านทานดินจากผิวดินถึงจุดที่มีศักย์ไฟฟ้าเท่ากับศูนย์

ค่าอิมพีแดนซ์ของสายตัวนำของแต่ละเฟสทั้ง 3 เฟส โดย Bergen and Vittal (2000) หาค่าได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$Z_{ii} = R_i + r_d + j\omega 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_e}{GMR} \quad (6.4)$$

ค่าความต้านทานระหว่างสายตัวนำทั้ง 3 เฟสหาค่าได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$Z_{ij} = j\omega 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_e}{d_{ab}} \quad (6.5)$$

โดยที่

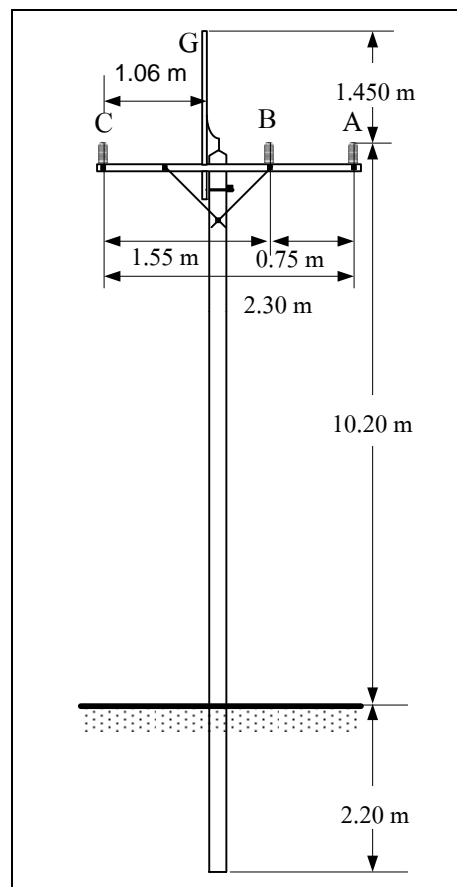
$$GMR_i = 0.7788 r_i$$

$$r_d = 9.869 \times 10^{-7} f \quad \Omega/m$$

$$D_e = 658.368 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad m$$

6.4.2 การประมาณค่ากระแสลัดวงจรลงดินย้อนกลับ

การประมาณค่าของกระแสลัดวงจรลงดินที่ไหลย้อนกลับสู่สถานีไฟฟ้า พิจารณาผลของค่าสภาพความต้านทานดิน โดยพิจารณาระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ ดังรูปที่ 6.33 และนำแผนที่สภาพความต้านทานดินที่ได้จากการประมวลภาพถ่ายดาวเทียม มาประยุกต์ใช้ในการหาค่า (Z_{ee}) และค่า ρ เพื่อแทนค่าลงในสมการที่ใช้ค่าสภาพความต้านทานดินสำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ



รูปที่ 6.33 ขนาดของเสาไฟฟ้าในระบบสายจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์

จากรูปที่ 6.33 เป็นตัวอย่างของขนาดของเสาไฟฟ้าในระบบสายจ่าย 22 กิโลโวลต์ ซึ่งความจริงมีการใช้ขนาดเสาหลายแบบ แต่ได้นำขนาดดังกล่าวมาใช้เป็นกรณีศึกษา ซึ่งในเส้นทางการวางสายไฟฟ้าปกติมีระยะห่างระหว่างเสาในทางตรง 40 เมตร เบื้องต้นได้พิจารณาสายจ่ายที่ใช้

เป็นชนิด ACSR ขนาด $185/30 \text{ mm}^2$ และสายป้องกันฟ้าผ่าขนาด 50 mm^2 จากรูปมีระยะห่างในส่วนต่าง ๆ มีค่าดังนี้

$$d_{ab} = d_{ba} = 0.75 \text{ เมตร}$$

$$d_{ac} = d_{ca} = 2.30 \text{ เมตร}$$

$$d_{cb} = d_{bc} = 1.06 \text{ เมตร}$$

$$d_{ag} = d_{ga} = \sqrt{1.24^2 + 1.45^2} = 1.907 \text{ เมตร}$$

$$d_{bg} = d_{gb} = \sqrt{0.49^2 + 1.45^2} = 1.530 \text{ เมตร}$$

$$d_{cg} = d_{gc} = \sqrt{1.06^2 + 1.45^2} = 1.796 \text{ เมตร}$$

สาย ACSR $185/30 \text{ mm}^2$ มี $r = 0.0095$ เมตร มีค่า $GMR = 0.0073986$ เมตร ค่าความต้านทานของสายตัวนำเท่ากับ $0.1517 \Omega/km$ หรือ $r_a = r_b = r_c = 1.571 \times 10^{-4} \Omega/m$ สายป้องกันฟ้าผ่าใช้สาย No.5 Awg 50 mm^2 มี $r = 0.00498$ เมตร มีค่า $GMR = 0.003878424$ เมตร มีค่าความต้านทานของสายเท่ากับ $2.7800 \Omega/mile$ หรือ $1.7274 \times 10^{-3} \Omega/m$ พิจารณาที่ความถี่ 50 Hz สามารถหาค่า $r_d = 4.9345 \times 10^{-5} \Omega/m$ และ $D_e = 93.107 \sqrt{\rho}$ เมตร ซึ่งกำหนดให้ค่าสภาพความต้านทานดิน ρ เป็นตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงตามพื้นที่ต่าง ๆ จากสมการที่ (6.4) หาค่าอิมพีแดนซ์ของสายตัวนำได้ดังนี้

$$Z_{aa} = Z_{bb} = Z_{cc} = 2.06445 \times 10^{-4} + j628.32 \times 10^{-7} \ln(12584.408 \sqrt{\rho}) \quad \Omega/m$$

จากสมการที่ (6.5) สามารถหาค่าอิมพีแดนซ์ระหว่างเฟสได้ดังนี้

$$Z_{ab} = Z_{ba} = j628.32 \times 10^{-7} \ln(124.14 \sqrt{\rho}) \quad \Omega/m$$

$$Z_{bc} = Z_{cb} = j628.32 \times 10^{-7} \ln(87.836 \sqrt{\rho}) \quad \Omega/m$$

$$Z_{ac} = Z_{ca} = j628.32 \times 10^{-7} \ln(40.481 \sqrt{\rho}) \quad \Omega/m$$

ค่าอิมพีแดนซ์ของสายป้องกันฟ้าผ่า (g) ซึ่งเป็นสายสำหรับป้องกันกระแสจากฟ้าผ่าซึ่งมีความถี่สูง ซึ่งถ้าไม่มีการเกิดฟ้าผ่าจะถูกเหนี่ยวนำจากสายตัวนำทั้ง 3 เฟส จึงกำหนดให้ใช้ความถี่ 50 Hz จากสมการที่ (6.4) สามารถหาค่าได้ดังนี้

$$Z_{gg} = 1.7767 \times 10^{-3} + j628.32 \times 10^{-7} \ln(24009.03\sqrt{\rho}) \quad \Omega/m$$

เมื่อพิจารณาสายป้องกันฟ้าผ่า (g) ที่ได้รับการเหนี่ยวนำจากสายตัวนำไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส สามารถหาค่าอิมพีแดนซ์ระหว่างสายตัวนำจากสมการที่ (6.5) ได้ดังนี้

$$Z_{ga} = j628.32 \times 10^{-7} \ln(48.823\sqrt{\rho}) \quad \Omega/m$$

$$Z_{gb} = j628.32 \times 10^{-7} \ln(60.854\sqrt{\rho}) \quad \Omega/m$$

$$Z_{gc} = j628.32 \times 10^{-7} \ln(51.841\sqrt{\rho}) \quad \Omega/m$$

เมื่อพิจารณาพื้นดินที่ได้รับการเหนี่ยวนำจากสายตัวนำไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส จากสมการที่ (6.5) สามารถหาค่าอิมพีแดนซ์ระหว่างสายตัวนำกับพื้นดินได้ดังนี้

$$Z_{ea} = j628.32 \times 10^{-7} \ln(7.759\sqrt{\rho}) \quad \Omega/m$$

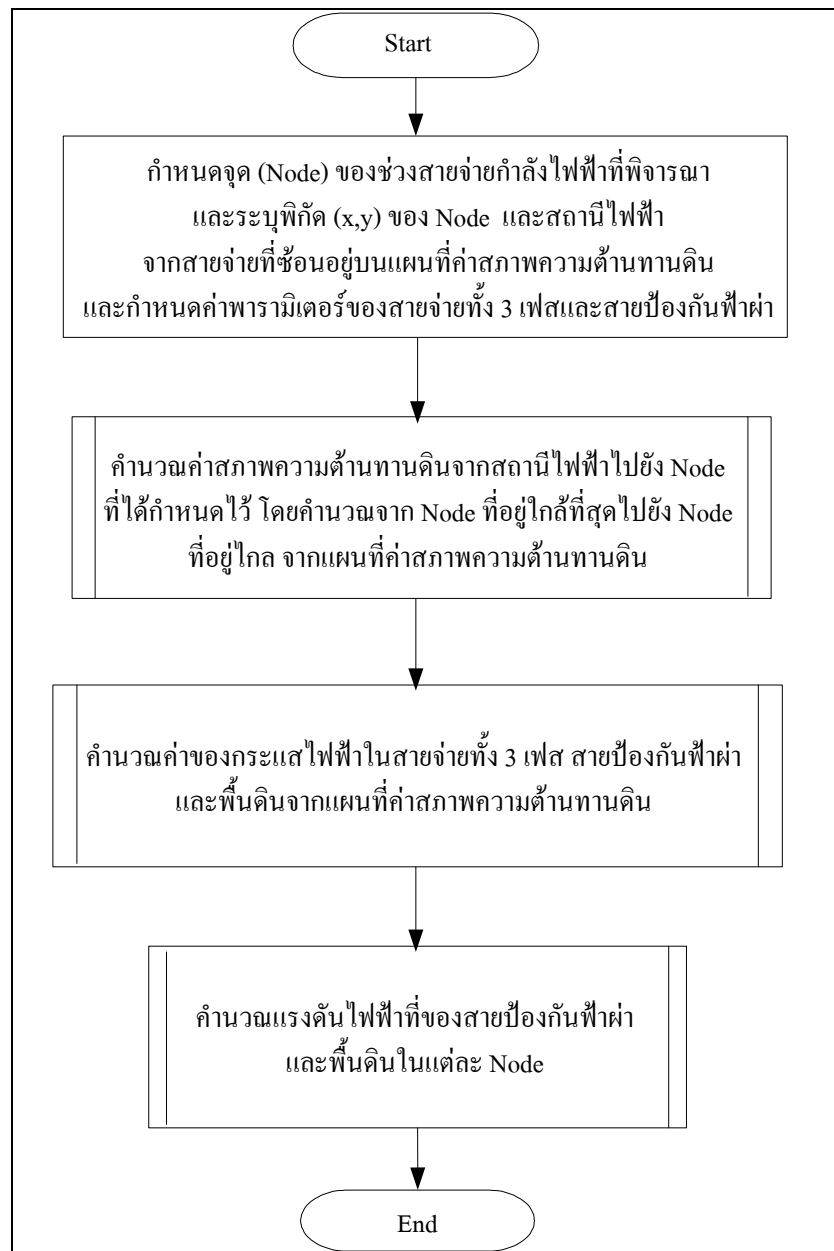
$$Z_{ea} = Z_{eb} = Z_{ec}$$

ความต้านทานระหว่างสายป้องกันฟ้าผ่า (g) กับพื้นดิน มีการต่อผ่านเหล็กโอเวอร์เฮด และต่อลงแกนเหล็กของเสาไฟฟ้า โดยเสาไฟฟ้ามีขนาด 12.20 เมตร ตามมาตรฐานของการไฟฟ้า ใช้ลวดชนิด PC - Wire ขนาด 5mm. มีจำนวนลวดทั้งหมด 36 เส้น ซึ่งเหล็กเส้น PC - wire ทำจากเหล็กกล้า มีค่าสภาพความต้านทาน $1.5 \times 10^{-7} \Omega.m$ คัดค่าความต้านทานได้ดังนี้

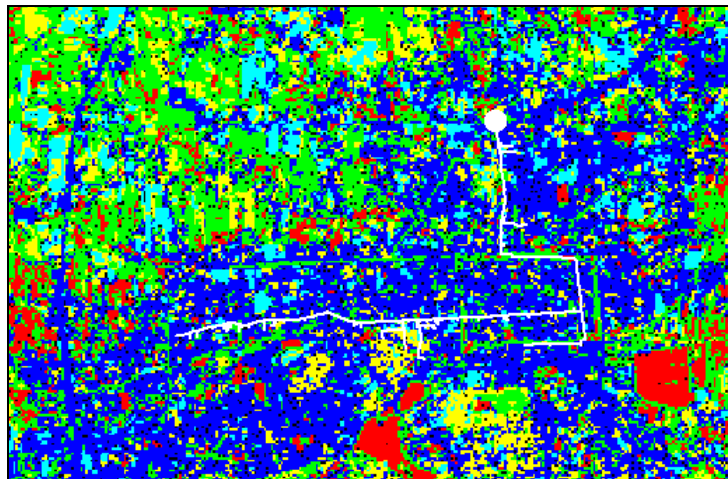
$$R = \frac{\rho l}{A} = \frac{1.5 \times 10^{-7} \times 12.2m}{\pi(2.5 \times 10^{-3})^2} = 0.093201 \quad \Omega$$

$$Z_{ge} = Z_{eg} = 0.093201 \quad \Omega$$

จากค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้ ซึ่งเป็นค่าที่คิดตัวแปร ρ ไว้เพื่อนำค่าจากแผนที่สภาพความต้านทานดินมาประยุกต์ใช้ ในงานวิจัยได้เลือกสายจ่าย NRA03 และ NRA10 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 เพื่อใช้เป็นกรณีศึกษา โดยนำสายจ่ายกำลังไฟฟ้าที่พิจารณาวางซ้อนบนแผนที่สภาพความต้านทานดิน ดำเนินการโดยใช้โปรแกรม Arcview ตัวอย่างสายจ่าย NRA03 ดังรูปที่ 6.35



รูปที่ 6.34 ขั้นตอนการคำนวณกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่สายจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์



รูปที่ 6.35 สายจ่าย NRA03 บนแผนที่สภาพความต้านทานดิน

การคำนวณค่ากระแสลัดวงจรลงดินย้อนกลับจากสายจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์สู่สถานีไฟฟ้าโดยผ่านพื้นดิน ซึ่งได้นำแผนที่สภาพความต้านทานดินมาประยุกต์ใช้เพื่อให้เปรียบเสมือนพื้นดินที่กระแสลัดวงจรลงดินย้อนกลับไหลผ่านไปสู่กราวด์กริดของสถานีไฟฟ้า และนำกระแสลัดวงจรมาคำนวณค่าแรงดันในแต่ละจุดที่ได้กำหนดไว้บนสายจ่าย ใช้การเขียนโปรแกรมด้วย MATLAB มีขั้นตอนการดำเนินการดังรูปที่ 6.34 ในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

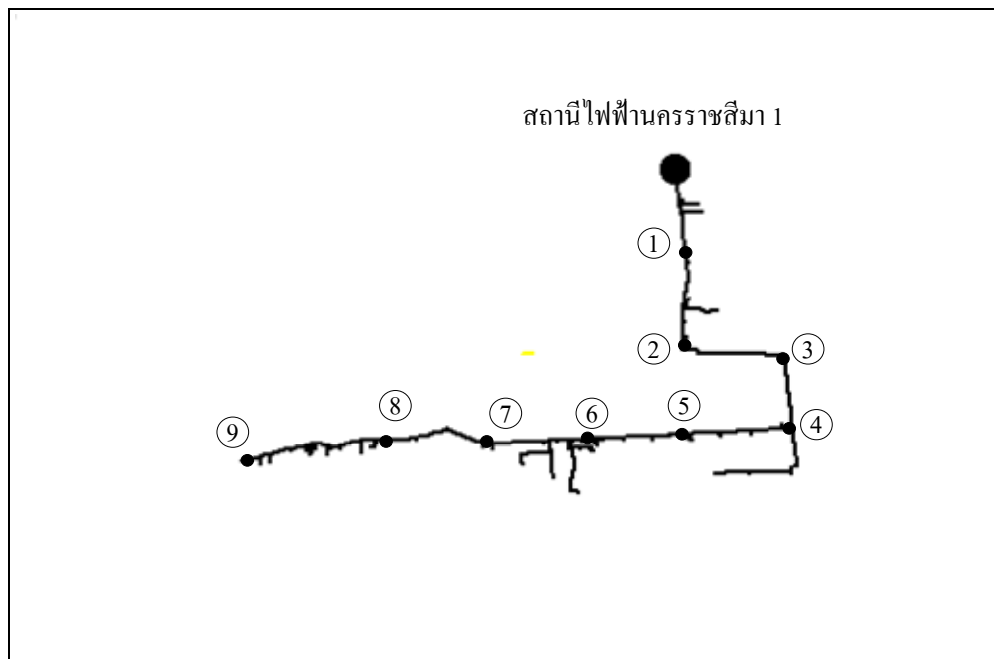
1) กำหนดจุด ของช่วงสายจ่ายกำลังไฟฟ้าที่พิจารณาและระบุพิกัด (x, y) ของจุดนั้นและสถานีไฟฟ้าจากสายจ่ายที่ซ่อนอยู่บนแผนที่สภาพความต้านทานดิน กำหนดค่าพารามิเตอร์ของสายจ่ายทั้ง 3 เฟสและสายป้องกันฟ้าผ่า โดยที่คิดตัวแปร ρ ไว้เพื่อที่จะนำค่าจากแผนที่สภาพความต้านทานดินมาใช้ในการคำนวณ

2) คำนวณค่าสภาพความต้านทานดินจากแผนที่สภาพความต้านทานดินจากสถานีไฟฟ้าไปยังจุด ที่ได้กำหนดไว้ โดยคำนวณจากจุด ที่อยู่ใกล้ที่สุดไปยังจุดที่อยู่ปลายสาย พร้อมทั้งเก็บค่าสภาพความต้านทานดินแต่ละช่วงและผลรวมของค่าสภาพความต้านทานดินจากสถานีไฟฟ้าถึงจุดที่อยู่ปลายสายของสายจ่ายกำลังไฟฟ้า

3) คำนวณค่าของกระแสในสายตัวนำไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส สายป้องกันฟ้าผ่า และพื้นดิน โดยใช้ค่าสภาพความต้านทานดินที่ได้เก็บค่าไว้ในขั้นตอนที่ 2

4) คำนวณแรงดันไฟฟ้าที่ของสายป้องกันฟ้าผ่า และพื้นดินในแต่ละจุด โดยใช้ค่าของกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณในขั้นตอนที่ 3 และจบการทำงานของโปรแกรม

จากการดำเนินการด้วยโปรแกรม MATLAB โดยใช้สายจ่าย NRA03 และ NRA10 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 แล้วกำหนดจุดบนสายจ่ายเพื่อศึกษากระแสลัดวงจรลงดินย้อนกลับ และแรงดันไฟฟ้าที่เป็นผลมาจากกระแสลัดวงจรลงดิน ได้ผลการคำนวณกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 6.36 การกำหนดจุดของสายจ่าย NRA03

จากการกำหนดจุดของสายจ่าย NRA03 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 โดยที่คิดค่าสภาพความต้านทานดินจากแผนที่สภาพความต้านทานดิน เพื่อใช้ประกอบในสมการในการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบ เพื่อคำนวณหาค่าของกระแสไฟฟ้าจากสมการที่ (6.2) โดยพิจารณาที่จุดปลายสายของสายจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ผลการคำนวณค่าของกระแสไฟฟ้าในสายป้องกันฟ้าผ่า (I_g) และกระแสไฟฟ้าที่ไหลในผิวดิน (I_e) ดังนี้

$$I_g = 20.876 \angle -25.154 \quad \text{A}$$

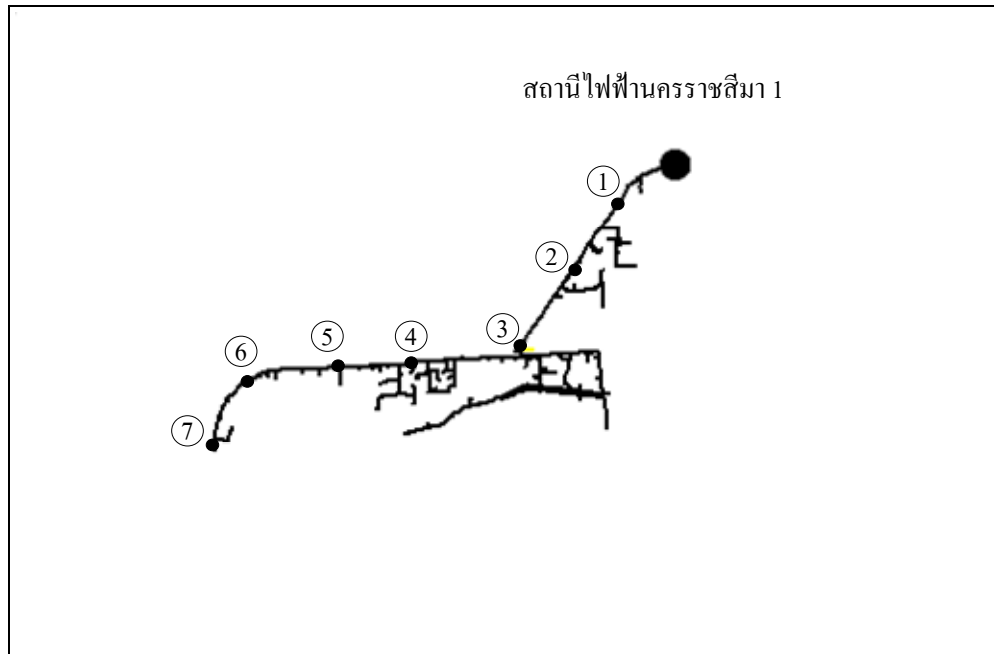
$$I_e = 0.0264 \angle 38.002 \quad \text{A}$$

เมื่อนำค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้มาคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าในแต่ละจุดของสายจ่าย NRA03 โดยพิจารณาค่าแรงดันไฟฟ้าของสายป้องกันฟ้าผ่า (V_g) และพื้นดิน (V_e) ได้ผลการคำนวณดังตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 แรงดันไฟฟ้าที่จุดต่าง ๆ บนสายจ่ายกำลังไฟฟ้า NRA03

จุดบนสายจ่าย	แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	
		V_g
1	V_g	59.65 \angle -2.58
	V_e	1111.21 \angle 37.91
2	V_g	114.18 \angle -2.2528
	V_e	3033.41 \angle 37.97
3	V_g	177.06 \angle -2.46
	V_e	3865.64 \angle 37.98
4	V_g	223.10 \angle -2.44
	V_e	4974.36 \angle 37.98
5	V_g	287.15 \angle -2.39
	V_e	6683.30 \angle 37.99
6	V_g	346.30 \angle -2.40
	V_e	8055.44 \angle 37.99
7	V_g	415.36 \angle -2.39
	V_e	9748.82 \angle 37.99
8	V_g	492.68 \angle -2.33
	V_e	11682.33 \angle 37.99
9	V_g	568.57 \angle -2.42
	V_e	13401.31 \angle 37.99

พิจารณาสายจ่าย NRA10 เพื่อคำนวณค่าของกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากการลัดวงจรลงดินดังรูปที่ 6.37



รูปที่ 6.37 การกำหนดจุดของสายจ่าย NRA10

จากการกำหนดจุดของสายจ่าย NRA10 ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 โดยที่พิจารณาค่าสภาพความต้านทานดินจากแผนที่สภาพความต้านทานดิน เพื่อใช้ประกอบในสมการสำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบ เพื่อคำนวณหาค่าของกระแสไฟฟ้าจากสมการที่ (6.2) โดยที่พิจารณาจุดปลายสายของสายจ่ายกำลังไฟฟ้า ได้ผลการคำนวณค่าของกระแสไฟฟ้าในสายป้องกันฟ้าผ่า (I_g) และกระแสไฟฟ้าที่ไหลในผิวดิน (I_e) ดังนี้

$$I_g = 31.211 \angle -25.83 \text{ A}$$

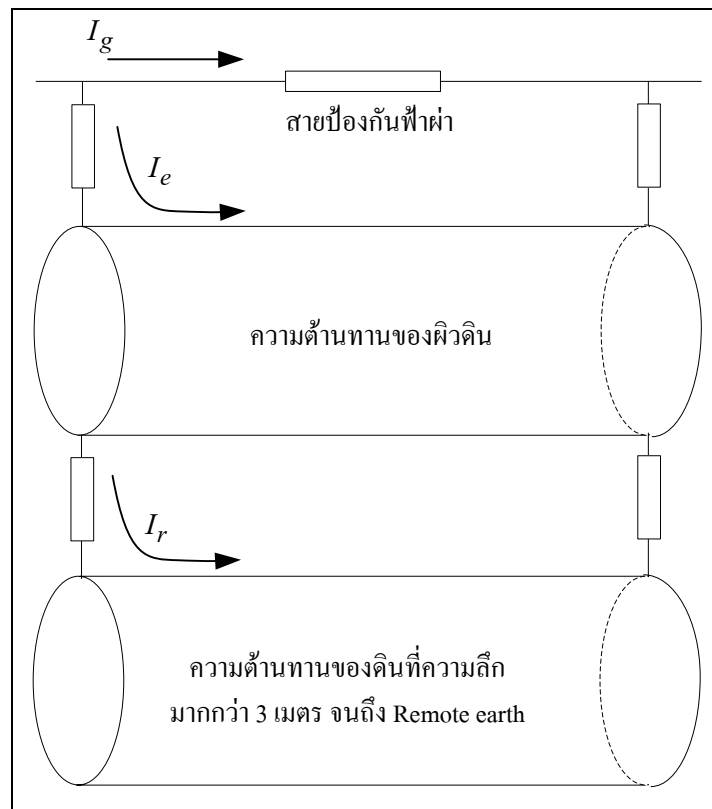
$$I_e = 0.0312 \angle 38.755 \text{ A}$$

เมื่อนำค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้ มาคำนวณหาค่าของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละจุดของสายจ่าย NRA10 โดยพิจารณาค่าแรงดันของสายป้องกันฟ้าผ่า และพื้นดิน ได้ผลการคำนวณดังตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 แรงดันไฟฟ้าที่จุดต่าง ๆ บนสายจ่ายกำลังไฟฟ้า NRA10

จุดบนสายจ่าย	แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	
1	V_g	70.79 \angle -2.91
	V_e	1501.47 \angle 38.66
2	V_g	141.80 \angle -3.07
	V_e	2513.42 \angle 38.69
3	V_g	238.93 \angle -3.05
	V_e	4335.146 \angle 38.7207
4	V_g	335.04 \angle -2.94
	V_e	7072.69 \angle 38.73
5	V_g	409.40 \angle -2.84
	V_e	9466.14 \angle 38.74
6	V_g	498.89 \angle -2.78
	V_e	12487.21 \angle 38.74
7	V_g	571.69 \angle -2.81
	V_e	13844.19 \angle 38.74

จากตารางที่ 6.3 และ 6.4 พบว่าค่าของแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่าง ๆ เทียบกับสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 1 ค่าของแรงดันไฟฟ้าของสายป้องกันฟ้าผ่ามีค่าแรงดันไฟฟ้าน้อยกว่าพื้นดิน แต่เมื่อพิจารณาค่าของกระแสไฟฟ้าแล้ว สายป้องกันฟ้าผ่ามีกระแสไฟฟ้าไหลในปริมาณที่มากกว่า เนื่องจากค่าความต้านทานของตัวนำสายป้องกันฟ้าผ่ามีค่าน้อยกว่าพื้นดินมาก ทำให้มีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมน้อยกว่า



รูปที่ 6.38 การไหลของกระแสลัดวงจรลงดินผ่านสายป้องกันฟ้าผ่าและพื้นดิน

จากรูปที่ 6.38 กระแสลัดวงจรลงดินจะแบ่งออกเป็นสามส่วน คือไหลในสายป้องกันฟ้าผ่า ไหลบนผิวดิน และในรีโมทเอิร์ธซึ่งมีความลึกมากและมีค่าความต้านทานน้อย จากค่าของกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการประมาณค่าในสายป้องกันฟ้าผ่าและพื้นดิน เมื่อรวมกันแล้วยังมีค่าน้อย เมื่อพิจารณากับค่าของกระแสลัดวงจรลงดินที่ปกติจะมีค่ามาก ดังนั้นค่าของกระแสส่วนใหญ่จึงมีความเป็นไปได้ที่จะไหลในดินส่วนที่เป็นรีโมทเอิร์ธ

6.5 สรุป

การนำแผนที่สภาพความต้านทานดินมาประยุกต์ใช้ในระบบไฟฟ้าเพื่อใช้คำนวณหาปริมาณกระแสลัดวงจรลงดินย้อนกลับที่ไหลผ่านพื้นดินสู่สถานีไฟฟ้าต้นทางกับสถานีไฟฟ้าข้างเคียง โดยสามารถนำค่าจากแผนที่สภาพความต้านทานดินมาใช้ในการคำนวณผลรวมของค่าสภาพความต้านทานดินจากจุดที่เกิดการลัดวงจรลงดินไปยังกราวด์กริดสถานีไฟฟ้า โดยการหาค่าเฉลี่ยของโอกาสที่ช่วงของสายจ่ายกำลังไฟฟ้าแต่ละช่วงจะทำให้ระบบป้องกันการลัดวงจรลงดินของสถานีไฟฟ้าที่ไม่ได้เกิดการลัดวงจรทำงานผิดพลาด ซึ่งจะเห็นว่าผลที่ได้มีความสอดคล้องกับ

แนวของพื้นที่การจ่ายไฟฟ้าของสายจ่ายแต่ละช่วง เพราะในช่วงของสายจ่ายที่มีพื้นที่การจ่ายไฟ อยู่ใกล้กับสถานีไฟฟ้าข้างเคียงมากกว่าจะมีโอกาสที่จะทำให้ระบบป้องกันของสถานีไฟฟ้าข้างเคียง นั้นมีโอกาสทำงานผิดพลาดสูง เมื่อนำแผนที่สภาพความต้านทานดินมาสร้างแบบจำลองร่วมกับ สายจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ เพื่อคำนวณค่าของกระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับ และแรงดันไฟฟ้า ที่เป็นผลมาจากกระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับ พบว่าค่าของกระแสไฟฟ้าที่ไหลในสายป้องกันฟ้าผ่า มีค่าสูงกว่าพื้นดิน เนื่องจากกว่าสายป้องกันฟ้าผ่ามีการต่อลงดินในทุกเสาไฟฟ้า เปรียบเสมือนเป็น การต่อขนานระหว่างสายป้องกันฟ้าผ่าและตัวนำที่เป็นพื้นดิน ซึ่งสายป้องกันฟ้าผ่ามีค่าความ ต้านทานน้อย ทำให้กระแสไฟฟ้าส่วนใหญ่ไหลในสายป้องกันฟ้าผ่ามากกว่าพื้นผิวดิน แต่ค่าของ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในสายป้องกันฟ้าผ่าและพื้นผิวดินเมื่อรวมกันแล้วยังมีค่าน้อยจึงสันนิษฐานว่า กระแสไฟฟ้าลัดวงจรลงดินส่วนใหญ่จะไหลลงไปสู่รีโมเทอร์ช เพราะค่าความต้านทานดินในระยะ ดังกล่าวนั้นมีค่าน้อยมาก

บทที่ 7

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดินจากการประยุกต์ใช้การประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียม โดยใช้หลักการเช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์ทางธรณีวิทยา ซึ่งได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการใช้งานภาพถ่ายดาวเทียม วิธีการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม ENVI ในการประมวลผล การศึกษาเกี่ยวกับการวัดค่าสภาพความต้านทานดิน และศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสภาพความต้านทานของดิน การนำแผนที่สภาพความต้านทานดินที่ได้มาประยุกต์ใช้ประโยชน์ในระบบไฟฟ้า เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาในระบบไฟฟ้าเช่น ปัญหาการลัดวงจรลงดินในระบบสายจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ สามารถสรุปงานวิจัยได้ดังนี้

1) การทดสอบสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดินบริเวณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลเช่นเดียวกับทางธรณีวิทยาคือใช้วิธีการจำแนกประเภทข้อมูลของภาพถ่ายดาวเทียม มาประยุกต์ใช้เพื่อประมาณค่าของสภาพความต้านทานดิน ประกอบกับข้อมูลตัวอย่างที่ได้จากการวัดค่าในภาคสนามด้วยวิธีการของเวนเนอร์ มาเป็นตัวอย่างข้อมูลในการจำแนกและในการตรวจสอบความถูกต้อง ซึ่งได้ทดสอบผสมแบบด์ 6 ชุด เพื่อหาช่วงแบบด์ที่เหมาะสมในการนำมาใช้ในการสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดิน ใช้วิธีการจำแนกข้อมูลด้วยวิธีการใช้ข้อมูลตัวอย่างในการจำแนกแบบการประมาณค่าความควรจะเป็นสูงสุด พบว่าภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความถูกต้องมากที่สุดคือ ภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากการผสมแบบด์ 7 5 3

2) ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสภาพความต้านทานดินในบริเวณใดบริเวณหนึ่งนั้น นอกเหนือจากชนิดของดินของแต่ละพื้นที่ที่แตกต่างกัน ยังเป็นผลมาจากปัจจัยความชื้น อุณหภูมิ ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพอากาศ และมีความไม่แน่นอนเพราะสภาพอากาศมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยเมื่อความชื้นสูงค่าสภาพความต้านทานดินจะมีค่าน้อย ส่วนปัจจัยของอุณหภูมิมีผลกับการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความต้านทานดินในอัตราที่น้อย

3) การสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดินจากวิธีการประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียม แลนด์แชต 5 ทำได้โดยการจำแนกประเภทข้อมูลด้วยวิธีการที่ใช้ข้อมูลตัวอย่างในการจำแนกแบบ

การประมาณค่าความควรจะเป็นสูงสุด ประกอบกับการวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ วัดค่าสภาพความต้านทานดินภาคสนาม โดยใช้ระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ในการระบุจุดสำรวจลงให้ ภาพถ่ายดาวเทียม พบว่าแบนด์ที่มีความเหมาะสมและให้ผลดีที่สุดสำหรับการสร้างแผนที่สภาพ ความต้านทานดินคือ แบนด์ 7-5-3

4) การวิเคราะห์การเกิดการลัดวงจรลงดินของสายจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ ที่ส่งผลให้ ระบบป้องกันการลัดวงจรลงดินของสถานีไฟฟ้าที่ไม่ได้เกิดการลัดวงจรลงดินทำงานผิดพลาด อันเป็นผลมาจากค่าสภาพความต้านทานดินบริเวณที่เกิดการลัดวงจรกับสถานีไฟฟ้า เมื่อนำแผนที่ สภาพความต้านทานดินที่ได้จากการประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียมมาใช้ในการประมาณค่าสภาพ ความต้านทานดิน จากบริเวณสายจ่ายถึงสถานีไฟฟ้าต้นทางและสถานีไฟฟ้าข้างเคียง ทำให้ได้พื้นที่ ของสายจ่ายที่มีโอกาสทำให้ระบบป้องกันการลัดวงจรลงดินของสถานีไฟฟ้าที่ไม่ได้เกิดการ ลัดวงจรทำงานผิดพลาด เพื่อใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น และจากการคำนวณค่าของ กระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับ และแรงดันไฟฟ้าที่เป็นผลมาจากกระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับ แสดงให้ เห็นว่าการไหลย้อนกลับของกระแสไฟฟ้าไหลผ่านสายป้องกันฟ้าผ่าและพื้นดิน ซึ่งเปรียบเสมือน เป็นการต่อขนานระหว่างสายป้องกันฟ้าผ่าและตัวนำที่เป็นพื้นดิน กระแสไฟฟ้าส่วนใหญ่ไหลใน สายป้องกันฟ้าผ่ามากกว่าพื้นดินเพราะสายป้องกันฟ้าผ่ามีค่าความต้านทานที่ต่ำกว่า แต่ค่าของ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในสายป้องกันฟ้าผ่าและพื้นดินเมื่อรวมกันแล้วยังมีค่าน้อย เนื่องจาก กระแสไฟฟ้าลัดวงจรลงดินย้อนกลับส่วนใหญ่จะไหลลงไปสู่อิฐหรือเสา

7.2 ข้อเสนอแนะ

1) การสำรวจวัดค่าสภาพความต้านทานดินเพื่อใช้เป็นข้อมูลตัวอย่างในการจำแนกข้อมูล เพื่อสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดินใช้จุดวัดมากขึ้น ซึ่งอาจจะต้องใช้เครื่องมือและแรงงาน ในการสำรวจเพิ่มขึ้น แต่อาจจะทำให้ได้แผนที่สภาพความต้านทานดินมีความถูกต้องมากขึ้นและ ครอบคลุมพื้นที่กว้างขึ้น

2) การใช้ภาพถ่ายดาวเทียมนั้นควรจะมีการตรวจสอบการใช้ดาวเทียมสำหรับสำรวจ ทรัพยากรธรรมชาติที่มีการใช้งานในปัจจุบันมากที่สุด เพราะเทคโนโลยีมีการพัฒนาตลอดเวลา ซึ่งอาจจะเพิ่มศักยภาพของการสำรวจได้มากขึ้น และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการประมาณค่า สภาพความต้านทานดินได้ดีขึ้นหรือนำภาพถ่ายดาวเทียมในช่วงคลื่นความร้อนมาประยุกต์ใช้ เพื่อศึกษาความร้อนที่เกิดขึ้นในสายส่งกำลังไฟฟ้าแรงสูง

3) การประมาณการไหลของกระแสลัดวงจรลงดินที่ไหลผ่านพื้นดินนั้น การทดลอง ตรวจสอบหรือพิสูจน์ มีความเป็นไปได้ยากเพราะการทดสอบกับระบบจริงนั้นจะส่งผลกระทบต่อ

การจ่ายไฟฟ้ากับผู้ใช้ไฟโดยตรงซึ่งอาจเกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจ ดังนั้นถ้าสามารถหาแนวทางในการทดสอบและพิสูจน์ได้จะทำให้การนำแผนที่สภาพความต้านทานไปใช้ประโยชน์ในระบบไฟฟ้ามีความสำคัญมากขึ้น

4) การวิเคราะห์การเกิดกระแสไฟฟ้าขัดข้องของแต่ละสถานีไฟฟ้านั้น ควรใช้ข้อมูลการเกิดกระแสไฟฟ้าขัดข้องของสถานีไฟฟ้าที่อยู่ข้างเคียงทั้งหมดมาพิจารณาร่วมกัน ถ้าสามารถจัดหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องดังกล่าวได้

7.3 แนวทางการวิจัยต่อไป

การนำแนวโน้มของการเกิดการลัดวงจรลงดินที่ทำให้ระบบป้องกันการลัดวงจรลงดินของสถานีไฟฟ้าที่ไม่ได้เกิดการลัดวงจรนั้นทำงานผิดพลาด มาใช้ทดสอบและหาแนวทางในการปรับตั้งรีเลย์ป้องกันการลัดวงจรลงดินให้มีความสัมพันธ์กันเพื่อเพิ่มเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า การนำแผนที่สภาพความต้านทานดินไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในระบบไฟฟ้านอกเหนือจากปัญหาการลัดวงจรลงดิน เช่น ปัญหาเกี่ยวกับระบบการป้องกันฟ้าผ่าบนสายจ่ายกำลังไฟฟ้า ทั้ง 22 กิโลโวลต์ และระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงดันสูง โดยสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดินครอบคลุมพื้นที่การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เพื่อหาวิธีการแก้ไขปัญหานั้นเนื่องมาจากผลของค่าสภาพความต้านทานดิน

จากการวิเคราะห์ค่าของกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่เป็นผลมาจากกระแสไหลย้อนกลับนั้น จะเห็นว่า สายป้องกันฟ้าผ่าและพื้นดินเปรียบเสมือนตัวนำไฟฟ้าที่ต่อขนานกัน ซึ่งสายป้องกันฟ้าผ่ามีค่าความต้านทานต่ำกว่าทำให้กระแสไฟฟ้าไหลในปริมาณที่มาก ซึ่งอาจจะนำไปใช้ในการคิดค้นออกแบบ และทดสอบระบบป้องกันในสายป้องกันฟ้าผ่าเพื่อนำมาใช้ในการป้องกันการเกิดการลัดวงจรลงดิน นอกเหนือจากการใช้ประโยชน์เพื่อป้องกันฟ้าผ่า

การนำแผนที่สภาพความต้านทานดินไปประยุกต์ใช้ในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดแรงดันสูง ระหว่างสถานีไฟฟ้าต้นทางกับสถานีไฟฟ้าปลายทาง ซึ่งมีการส่งจ่ายในระยะไกล ดังนั้นต้องเพิ่มพื้นที่การสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดินให้ครอบคลุมพื้นที่ในระบบส่งจ่าย ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในแบบจำลองได้อีก 2 แบบคือ แบบจำลองการเกิดลัดวงจรที่สถานีไฟฟ้า และแบบจำลองการเกิดลัดวงจรบนสายส่งระหว่างสถานีไฟฟ้าต้นทางและปลายทาง โดยมีรายละเอียดเบื้องต้นในภาคผนวก จ

รายการอ้างอิง

- กฤษณะ มลิตา. (2544). การศึกษาปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับเกลือหินในแอ่งโคราชโดยใช้การรับรู้ระยะไกล การสำรวจธรณีฟิสิกส์และการสำรวจภาคสนาม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ชายชาญ โพธิสาร. (2550). การต่อลงดินและการวัดค่าความต้านทานดิน. ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ชนิดชัย กุลวรรณิพงษ์. (2550). Electrical power system analysis. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- ชนิดชัย กุลวรรณิพงษ์. (2551). ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า. สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- วิทยา พรรณสมัย. (2541). วิธีการสำรวจแหล่งแร่และวัตถุดิบ. กรมทรัพยากรธรณี.
- สมศักดิ์ พันธุ์หนองหว่า. (2542). การประยุกต์ใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมและระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ศึกษา การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด อำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยอง. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- ศุจิตรา เจริญหิรัญยงยศ. (2545). การใช้ประโยชน์จากภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซท ทีเอ็มช่วงคลื่นความร้อนในการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นผิวผลกระทบที่เกิดจากการเพิ่มขึ้นของอาคารสูงในเขตกรุงเทพฯ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์. (2538). ธรณีสารสนเทศไทยจากห้วงอวกาศ.
- Alasdair, M. (2004). **Introduction to digital image processing with Matlab**. Thomson Course Technology.
- Banman, C. (2002). **Supervised and Unsupervised Land Use Classification**. spring session
- Bellec, B., and Gleau, H.L. (1992). The multispectral colour-composite technique: an improved method to display meteorological satellite imagery. **International Journal of Remote Sensing**. 13: 1981 - 1998.
- Bergen, A.R., and Vittal, V. (2000). **Power systems analysis**. Prentice Hall.
- Blackburn, J.L. (1952). **Ground Fault Relay Protection of Transmission Lines**. 1: 685 - 692.
- Brian, L., Markham, and John, L.B. (1985). Spectral characterization of the LANDSAT Thematic Mapper sensors. **International Journal of Remote Sensing**. 5: 697 - 716.

- Card, R.H. (1936). Earth Resistivity and Geological Structure. **The Bell System Technical Journal**.
- Castellana, L., Addabbo, A.D., and Pasquariello, G. (2007). **A composed supervised/unsupervised approach to improve change detection from remote sensing**. Pattern Recognition Letters. 4: 405 - 413.
- Elshorbagy, W., and Elhakeem, A. (2008). Risk assessment maps of oil spill for major desalination plants in the United Arab Emirates. **Desalination**. 1-3: 200 - 216.
- Finnveden, G., and Moberg, A. (2005). Environmental systems analysis tools an overview, **Journal of Cleaner Production**. 13: 1165 - 1173.
- Floyd, F.S. (1999). Remote sensing for mineral exploration. **Ore Geology Reviews**. 14: 157 - 183.
- Giannett, F.i., Montanarella, L., and Salandinl, R. (2001). **Integrated use of satellite images, DEMS, soil and substrate data in studying mountainous lands**. 1: 25 - 29.
- Gonzalez, R.C., and Wood, R.E. (2007). **Digital image processing**. Addison Wesley.
- HallPalisades (2001). **Remote Sensing Applications at the State and Local Level**. Report of a User Workshop.
- IEEE. Std. (1993). **Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems**.
- IEEE. Std. (1983) **Guide for Measuring Earth Resistivity Ground Impedance and Earth Surface Potentials of a Ground system**.
- Jia, X., and John, A., and Richards (1994). Efficient Maximum Likelihood Classification for Imaging Spectrometer Data Sets. **IEEE Transactions on Geoscienc and Remote sensing**, 32: 274 - 281.
- John, R., and Jensen (2007). **Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective**. : 2 Up per Saddle River. NJ: Prentice.
- Nasser, D.T. (2008). **Power systems modelling and fault analysis : theory and practice**. Burlington Oxford.
- Richards, J.A., (1994). **Remote Sensing Digital Image Analysis**. Springer - Verlag.
- Nishigami, Y., Sano, H., and Kojima, T. (2000). Estimation of forest area near deserts production of Global Bio-Methanol from solar energy. **Applied Energy**. 4: 383 - 393.

- Sickle, V.J. (2001). **Global positioning system for land surveyors**. Ann Arbor Press.
- Storz and Jacobs (2000). **Electrical resistivity tomography to investigate geological structures of the earth's upper crust**. G Prospecting Geophysical Prospecting.
- Tutorials the environment for visualizing images**. ENVI version 3.2. (1999).
- Venkateswarlu, N.B. (1995). A fast maximum likelihood classifier. **International Journal of Remote Sensing**. 2: 313 - 320.
- Wyliea, B.K., Meyera, D.J., Tieszenb, L.L., and Mannelc, S. (2002). Satellite mapping of surface biophysical parameters at the biome scale over the North American grasslands A case study. **Remote Sensing of Environment**. 79: 266 - 278.

ภาคผนวก ก

ตารางการวัดค่าสภาพความต้านทานดิน

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลการวัดค่าสภาพความต้านทานจำเพาะของดิน โดยเฉลี่ย 21 มีนาคม 2552

จุดที่	ตำแหน่ง		สภาพต้านทานดิน ($\Omega.m$)	อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	ความชื้น บริเวณ ผิวดิน (%)
	พิกัดทางภูมิศาสตร์				
1	0179439E	1646865N	6.66	33.1	10
2	0179623E	1647390N	68.9	37.2	10
3	0178534E	1648961N	12.69	33.1	10
4	0178338E	1649352N	68.2	32.3	10
5	0178874E	1649006N	70.7	31.9	10
6	0177923E	1648594N	28.1	31.9	10
7	0177770E	1647665N	38.8	32.1	10
8	0177741E	1647627N	37.2	31.1	10
9	0180230E	1645498N	34.3	31.8	10
10	0181194E	1645615N	88.3	31.5	10
11	0178568E	1647572N	50.9	35.4	10
12	0180769E	1646275N	17.95	35.1	10
13	0181344E	1645302N	505	34.0	10
14	0182339E	1645256N	1318	33.3	10
15	0184935E	1646006N	291	33.6	10
16	0183873E	1650118N	80.3	33.3	10
17	0182883E	1649397N	417	33.7	10
18	0182657E	1649214N	412	35.6	10
19	0180474E	1647819N	144.3	34.9	10
20	0179403E	1647484N	25.6	31.6	10
21	0178851E	1647829N	24.1	31.7	10
22	0178406E	1649120N	22.99	32.8	10
23	0177281E	1647068N	68.8	38.1	10
24	0178314E	1648063N	43.9	34.6	10
25	0178778E	1648388N	8.46	31.9	10
26	0179137E	1648218N	107.2	36.4	10

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลการวัดค่าสภาพความต้านทานจำเพาะของดิน โดยเฉลี่ย 21 มีนาคม 2552 (ต่อ)

จุดที่	ตำแหน่ง		สภาพต้านทานดิน ($\Omega.m$)	อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	ความชื้น บริเวณ ผิวดิน (%)
	พิกัดทางภูมิศาสตร์				
27	0181507E	1645293N	500	31.9	10
28	0181824E	1648579N	200	33.9	10
29	0184727E	1645344N	311	33.6	10

หมายเหตุ ตารางแถบสีเทาคือจุดที่มีการวัดซ้ำเพื่อเปรียบเทียบในช่วงเดือนต่าง ๆ

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลการวัดค่าสภาพความต้านทานจำเพาะของดิน โดยเฉลี่ย 23 พฤษภาคม 2552

จุดที่	ตำแหน่ง		สภาพต้านทานดิน ($\Omega.m$)	อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	ความชื้น บริเวณ ผิวดิน (%)
	พิกัดทางภูมิศาสตร์				
1	0178338E	1649352N	31.3	30.5	25
2	0178874E	1649006N	55.8	29.6	20
3	0177923E	1648594N	22.0	32.8	20
4	0177770E	1647655N	31.8	31.2	20
5	0177741E	1647627N	36.2	31.6	10
6	0181194E	1645615N	48.0	30.8	25
7	0182339E	1645256N	1072	31.6	20
8	0179137E	1648218N	99.3	30.8	10
9	0181507E	1645293N	386	31.4	25

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลการวัดค่าสภาพความต้านทานจำเพาะของดิน โดยเฉลี่ย 18 กรกฎาคม 2552

จุดที่	ตำแหน่ง		สภาพต้านทานดิน ($\Omega.m$)	อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	ความชื้น บริเวณ ผิวดิน (%)
	พิกัดทางภูมิศาสตร์				
1	0178338E	1649352N	25.6	30.9	30
2	0178874E	1649006N	48.2	31.1	40
3	0177923E	1648594N	17.8	30.5	35
4	0177770E	1647655N	27.9	29.5	30

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลการวัดค่าสภาพความต้านทานจำเพาะของดิน โดยเฉลี่ย 18 กรกฎาคม 2552 (ต่อ)

จุดที่	ตำแหน่ง พิกัดทางภูมิศาสตร์		สภาพต้านทานดิน ($\Omega.m$)	อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	ความชื้นบริเวณ ผิวดิน (%)
5	0177741E	1647627N	28.1	31.2	30
6	0181194E	1645615N	30.8	29.5	30
7	0182339E	1645256N	972.6	31.2	30
8	0179137E	1648218N	87.3	30.2	20
9	0181507E	1645293N	301.3	29.8	30

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลการวัดค่าสภาพความต้านทานจำเพาะของดิน โดยเฉลี่ย 27 กันยายน 2552

จุดที่	ตำแหน่ง พิกัดทางภูมิศาสตร์		สภาพต้านทานดิน ($\Omega.m$)	อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	ความชื้นบริเวณ ผิวดิน (%)
1	0178338E	1649352N	20.1	29.5	30
2	0178874E	1649006N	32.5	29.7	30
3	0177923E	1648594N	14.3	30.2	30
4	0177770E	1647655N	20.5	30.5	30
5	0177741E	1647627N	25.1	29.5	30
6	0181194E	1645615N	25.2	29.8	30
7	0182339E	1645256N	643.5	30.7	30
8	0179137E	1648218N	103.7	29.0	30
9	0181507E	1645293N	273.5	30.9	30

ตารางที่ ก.5 ข้อมูลการวัดค่าสภาพความต้านทานจำเพาะของดิน โดยเฉลี่ย 8 พฤศจิกายน 2552

จุดที่	ตำแหน่ง พิกัดทางภูมิศาสตร์		สภาพต้านทานดิน ($\Omega.m$)	อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	ความชื้นบริเวณ ผิวดิน (%)
1	0178338E	1649352N	35.1	26.1	10
2	0178874E	1649006N	44.3	27.9	15
3	0177923E	1648594N	19.2	26.5	20
4	0177770E	1647655N	29.1	26.9	15

ตารางที่ ก.5 ข้อมูลการวัดค่าสภาพความต้านทานจำเพาะของดิน โดยเฉลี่ย 8 พฤษจิกายน 2552 (ต่อ)

จุดที่	ตำแหน่ง พิกัดทางภูมิศาสตร์		สภาพต้านทานดิน ($\Omega.m$)	อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	ความชื้นบริเวณ ผิวดิน (%)
5	0177741E	1647627N	33.1	27.3	20
6	0181194E	1645615N	30.9	27.2	15
7	0182339E	1645256N	998.3	26.9	15
8	0179137E	1648218N	145.6	26.8	20
9	0181507E	1645293N	310.5	27.1	20

ตารางที่ ก.6 ค่าสภาพความต้านทานจำเพาะของดิน โดยเฉลี่ยในช่วงเดือนต่าง ๆ

จุดที่	ตำแหน่ง พิกัดทางภูมิศาสตร์		ค่าสภาพความต้านทานดิน ($\Omega.m$)				
			มี.ค.	พ.ค.	ก.ค.	ก.ย.	พ.ย.
1	0178338E	1649352N	68.2	31.3	25.6	20.1	35.1
2	0178874E	1649006N	70.7	55.8	48.2	32.5	44.3
3	0177923E	1648594N	28.1	22.0	17.8	14.3	19.2
4	0177770E	1647655N	38.8	31.8	27.9	20.5	29.1
5	0177741E	1647627N	37.2	36.2	28.1	25.1	33.1
6	0181194E	1645615N	88.3	48.0	30.8	25.2	30.9
7	0182339E	1645256N	1318	1072	972.6	643.5	998.3
8	0179137E	1648218N	107.2	99.3	87.3	103.7	145.6
9	0181507E	1645293N	500	386	301.3	273.5	310.5

ตารางที่ ก.7 ค่าของอุณหภูมิของดินในช่วงเดือนต่าง ๆ

จุดที่	ตำแหน่ง พิกัดทางภูมิศาสตร์		อุณหภูมิ				
			มี.ค.	พ.ค.	ก.ค.	ก.ย.	พ.ย.
1	0178338E	1649352N	32.3	30.5	30.9	29.5	26.1
2	0178874E	1649006N	31.9	29.6	31.1	29.7	27.9
3	0177923E	1648594N	31.9	32.8	30.5	30.2	26.5
4	0177770E	1647655N	32.1	31.2	29.5	30.5	26.9

ตารางที่ ก.7 ค่าของอุณหภูมิของดินในช่วงเดือนต่าง ๆ (ต่อ)

จุดที่	ตำแหน่ง พิกัดทางภูมิศาสตร์		อุณหภูมิ (°C)				
			มี. ค.	พ.ค.	ก.ค.	ก.ย.	พ.ย.
5	0177741E	1647627N	31.1	31.6	31.2	29.5	27.3
6	0181194E	1645615N	31.5	30.8	29.5	29.8	27.2
7	0182339E	1645256N	33.3	31.6	31.2	30.7	26.9
8	0179137E	1648218N	36.4	30.8	30.2	29.0	26.8
9	0181507E	1645293N	31.9	31.4	29.8	30.9	27.1

ตารางที่ ก.8 ค่าความชื้นของดินบริเวณผิวของดินในช่วงเดือนต่าง ๆ

จุดที่	ตำแหน่ง พิกัดทางภูมิศาสตร์		ความชื้น (%)				
			มี. ค.	พ.ค.	ก.ค.	ก.ย.	พ.ย.
1	0178338E	1649352N	10	25	30.9	30	10
2	0178874E	1649006N	10	20	31.1	30	15
3	0177923E	1648594N	10	20	30.5	30	20
4	0177770E	1647655N	10	20	29.5	30	15
5	0177741E	1647627N	10	10	31.2	30	20
6	0181194E	1645615N	10	25	29.5	30	15
7	0182339E	1645256N	10	20	31.2	30	15
8	0179137E	1648218N	10	10	30.2	30	20
9	0181507E	1645293N	10	25	29.8	30	20

ตารางที่ ก.9 ผลการวัดค่าสภาพความต้านทานจำเพาะของดินโดยเฉลี่ยในระยะเวลา 1 วัน (24 ชม.)

ตำแหน่ง พิกัดทาง ภูมิศาสตร์	เวลา	ค่าสภาพความต้านทานดิน ($\Omega.m$)				ความชื้น (%)	อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
0178260E 1648963N	00.00	13.01	12.08	13.19	12.76	20	27.6
	03.00	12.56	12.73	12.93	12.74	20	27.3
	06.00	12.78	12.86	12.82	12.82	20	28.1
	09.00	13.01	13.01	12.68	12.90	15	31.3
	12.00	13.02	13.00	13.04	13.02	10	32.0
	15.00	13.17	13.07	13.20	13.15	10	32.9
	18.00	13.18	12.96	12.62	12.92	15	30.3
	21.00	12.67	12.91	12.90	12.83	15	28.8

ตารางที่ ก.10 ผลการวัดค่าสภาพความต้านทานดิน เมื่อวันที่ 26 พฤศจิกายน 2552

จุดที่	พิกัด ภูมิศาสตร์	ระยะที่	ค่าสภาพความต้านทานดิน ($\Omega.m$)		ความชื้น (%)	อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)
			ค่าที่วัดได้	ค่าเฉลี่ย		
1	0179925E 1653275N	2 m	52	57.85	20	30.8
		3 m	65			
		2 m	55.1			
		3 m	59.1			
2	0181825E 1652675N	2 m	27.1	26.05	15	31.5
		3 m	26.5			
		2 m	28.2			
		3 m	22.4			
3	0183975E 1653225N	2 m	39.1	34.45	15	32.7
		3 m	32.6			
		2 m	34.2			
		3 m	31.9			

ตารางที่ ก.10 ผลการวัดค่าสภาพความต้านทานดิน เมื่อวันที่ 26 พฤศจิกายน 2552 (ต่อ)

จุดที่	พิกัด ภูมิศาสตร์	ระยะ	ค่าสภาพความต้านทานดิน ($\Omega.m$)		ความชื้น (%)	อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)
			ค่าที่วัดได้	ค่าเฉลี่ย		
4	0181400E 1655200N	2 m	3.24	3.56	30	34.2
		3 m	3.92			
		2 m	3.09			
		3 m	4.01			
5	0184000E 1656650N	2 m	16.14	16.19	30	32.1
		3 m	16.44			
		2 m	15.96			
		3 m	16.22			
6	0181550E 1656125N	2 m	120.1	122.3	10	34.7
		3 m	121.2			
		2 m	122.4			
		3 m	124.5			
7	0182425E 1657375N	2 m	9.67	8.19	30	33.6
		3 m	7.54			
		2 m	7.56			
		3 m	8			
8	0185025E 1656925N	2 m	2.04	2.17	30	33.7
		3 m	2.02			
		2 m	2.48			
		3 m	2.17			
9	0184575E 1659175N	2 m	5.34	5.09	35	32.2
		3 m	5.62			
		2 m	4.78			
		3 m	4.65			

ตารางที่ ก.10 ผลการวัดค่าสภาพความต้านทานดิน เมื่อวันที่ 26 พฤศจิกายน 2552 (ต่อ)

จุดที่	พิกัด ภูมิศาสตร์	ระยะ	ค่าสภาพความต้านทานดิน ($\Omega.m$)		ความชื้น (%)	อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)
			ค่าที่วัดได้	ค่าเฉลี่ย		
10	0185275E 1660400N	2 m	26.8	27.67	20	32.5
		3 m	28.1			
		2 m	25.3			
		3 m	30.5			
11	0186350E 1660900N	2 m	23.2	21.1	20	31.5
		3 m	19.5			
		2 m	21.2			
		3 m	20.5			
12	0187400E 1660350N	2 m	15.5	13.72	20	32.3
		3 m	12.1			
		2 m	14.3			
		3 m	13.0			
13	0190925E 1660450N	2 m	78	75.67	10	31.6
		3 m	75.5			
		2 m	77.2			
		3 m	72			
14	0184375E 1651625N	2 m	821.5	789.15	10	31.1
		3 m	708			
		2 m	817.6			
		3 m	809.5			
15	0190975E 1658475N	2 m	198	164.73	10	25.7
		3 m	133.5			
		2 m	170.3			
		3 m	157.1			

ตารางที่ ก.10 ผลการวัดค่าสภาพความต้านทานดิน เมื่อวันที่ 26 พฤศจิกายน 2552 (ต่อ)

จุดที่	พิกัด ภูมิศาสตร์	ระยะ	ค่าสภาพความต้านทานดิน ($\Omega.m$)		ความชื้น (%)	อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)
			ค่าที่วัดได้	ค่าเฉลี่ย		
16	0193025E 1658475N	2 m	29.6	29.37	15	27.3
		3 m	28.8			
		2 m	30			
		3 m	29.1			
17	0187900E 1654275N	2 m	9.2	8.29	20	30.3
		3 m	7.55			
		2 m	8.5			
		3 m	7.92			
18	0186475E 1653975N	2 m	2.55	2.23	30	28.1
		3 m	2			
		2 m	2.3			
		3 m	2.1			
19	0191400E 1657175N	2 m	850	924.75	10	27.1
		3 m	951			
		2 m	978			
		3 m	920			
20	0192125E 1656575N	2 m	514	513.62	10	29.6
		3 m	513			
		2 m	514			
		3 m	513.5			
21	0187125E 1657175N	2 m	117.2	54.55	15	25.7
		3 m	52.4			
		2 m	85.5			
		3 m	69.1			

ตารางที่ ก.10 ผลการวัดค่าสภาพความต้านทานดิน เมื่อวันที่ 26 พฤศจิกายน 2552 (ต่อ)

จุดที่	พิกัด ภูมิศาสตร์	ระยะ	ค่าสภาพความต้านทานดิน ($\Omega.m$)		ความชื้น (%)	อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)
			ค่าที่วัดได้	ค่าเฉลี่ย		
22	0188525E	2 m	21.6	16.67	20	32.9
		3 m	11.9			
	1658275N	2 m	19.5			
		3 m	13.7			
23	0187150E	2 m	831	834.5	10	31.4
		3 m	825			
	1658325N	2 m	853			
		3 m	829			
24	0190200E	2 m	123.3	119.75	15	31.1
		3 m	115			
	1658550N	2 m	121.5			
		3 m	119.3			
25	0191600E	2 m	78.3	72.37	10	27.2
		3 m	65.5			
	1659450N	2 m	75.5			
		3 m	70.2			
26	0192300E	2 m	23.3	22.27	20	28.1
		3 m	21.2			
	1660175N	2 m	24.5			
		3 m	20.1			
27	0184325E	2 m	33.5	30.97	20	27.5
		3 m	29.1			
	1652375N	2 m	31.2			
		3 m	30.1			

ตารางที่ ก.11 การแปลงระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ของผลการวัดค่าสภาพความต้านทานดิน

จุดที่	พิกัดภูมิศาสตร์ของจุดสำรวจ (Zone48)		พิกัดภูมิศาสตร์ของจุดสำรวจ (Zone47)	
	E	N	E	N
1	179925	1653275	824501.963	1654547.221
2	181825	1652675	826417.5835	1653998.716
3	183975	1653225	828552.1396	1654606.629
4	181400	1655200	825924.4795	1656511.485
5	184000	1656650	828484.5242	1658031.42
6	181550	1656125	826049.4143	1657440.266
7	182425	1657375	826890.3258	1658713.585
8	185025	1656925	829501.8226	1658334.097
9	184575	1659175	828990.9831	1660571.35
10	185275	1660400	829657.592	1661815.029
11	186350	1660900	830718.7758	1662344.079
12	187400	1660350	831783.4713	1661822.686
13	190925	1660450	835305.1255	1662018.3
14	184375	1651625	828995.2368	1653017.835
15	190975	1658475	835408.6718	1660044.953
16	193025	1658475	837458.3991	1660100.51
17	187900	1654275	832447.8778	1655762.451
18	186475	1653975	831031.2811	1655423.998
19	191400	1657175	835868.8268	1658756.655
20	192125	1656575	836609.9735	1658176.366
21	187125	1657175	831594.5783	1658640.896
22	188525	1658275	832964.5049	1659778.597
23	187150	1658325	831588.4242	1659791.331
24	190200	1658550	834631.7598	1660098.939
25	191600	1659450	836007.151	1661036.755

ตารางที่ ก.11 การแปลงระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ของผลการวัดค่าสภาพความต้านทานดิน (ต่อ)

จุดที่	พิกัดภูมิศาสตร์ของจุดสำรวจ (Zone48)		พิกัดภูมิศาสตร์ของจุดสำรวจ (Zone47)	
	E	N	E	N
26	192300	1660175	836687.3932	1661780.642
27	184325	1652375	828925.005	1653766.298

ตารางที่ ก.12 ผลการทดสอบค่าสภาพความต้านทานของดินโดยเฉลี่ยในกระบะดิน

ครั้งที่	ค่าความต้านทานจำเพาะ ($\Omega.m$)	อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	ความชื้น (%)
1	5.88	23.7	10
2	5.38	23.6	18
3	5.16	23.5	24
4	4.89	22.5	28
5	4.77	22.5	32
6	4.77	21.9	35
7	4.77	21.9	38
8	4.76	21.9	41
9	4.76	21.6	42
10	4.76	21.6	43

ภาคผนวก ข

ตารางการโคจรของดาวเทียม Landsat 5

ตารางที่ ข.2 ตารางการโคจรของดาวเทียม Landsat 5 ปี 2552 บริเวณ จ.นครราชสีมา (P128 R50)

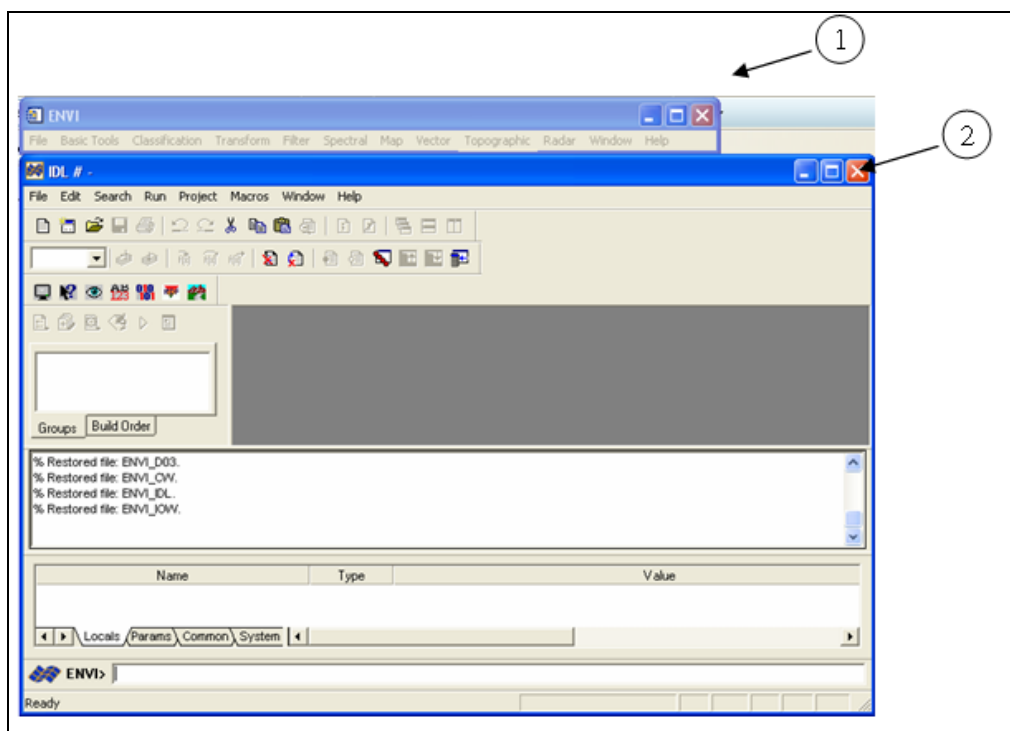
เดือน	วันที่
มิถุนายน	5 21
กรกฎาคม	7 23
สิงหาคม	8 24
กันยายน	9 25
ตุลาคม	11 27
พฤศจิกายน	10 26
ธันวาคม	12 28

ภาคผนวก ค

การใช้โปรแกรม ENVI

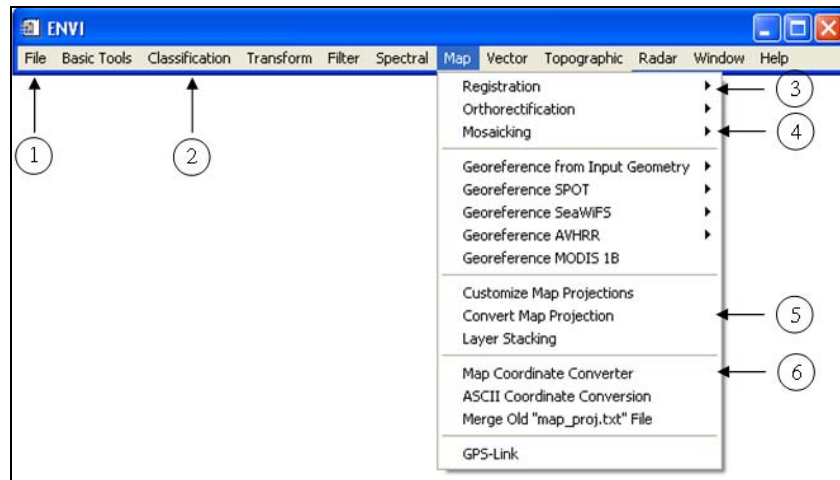
ค.1 แถบเครื่องมือและคำสั่งเบื้องต้นของโปรแกรม ENVI

โปรแกรม ENVI เป็นโปรแกรมวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย และมีประสิทธิภาพการใช้งานดี โดยได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันคือเวอร์ชัน ENVI 4.0 โดยมีการพัฒนาประสิทธิภาพการใช้งานให้ดีขึ้น เมื่อเข้าสู่โปรแกรม ENVI จะได้นหน้าต่าง 2 หน้าต่าง คือส่วนของการประมวลผลภาพแบบปกติ และส่วนที่เป็นการเขียนโปรแกรมประมวลผล ดังรูปที่ ค.1



รูปที่ ค.1 หน้าต่างของโปรแกรม ENVI 4.0

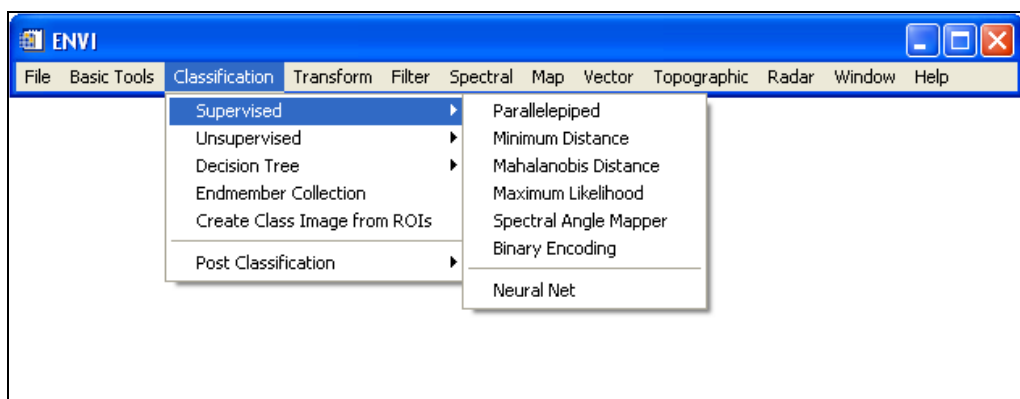
ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะในส่วนที่ 1 ซึ่งเป็นส่วนที่มีการใช้งานในการสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดิน โดยในส่วนที่ 1 มีแถบเครื่องมือที่สำคัญที่มีการใช้งานบ่อย ดังรูปที่ ค.2



รูปที่ ค.2 หน้าต่างในส่วนที่ 1 ของโปรแกรม ENVI

หมายเลข 1 เป็นส่วนของการจัดการไฟล์ข้อมูลเช่น การเปิดไฟล์ การบันทึกไฟล์ การนำเข้าข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม การ Export ข้อมูล และอื่น ๆ

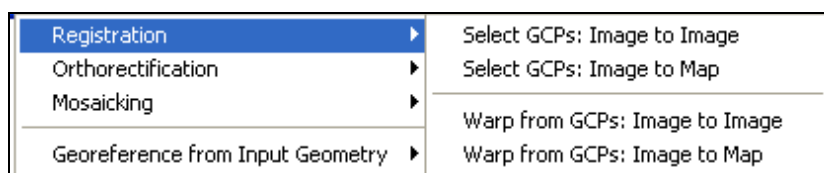
หมายเลข 2 เป็นส่วนของคำสั่งในการจำแนกประเภทข้อมูลดังรูปที่ ค.3



รูปที่ ค.3 หน้าต่างของคำสั่งในการจำแนกประเภทข้อมูล

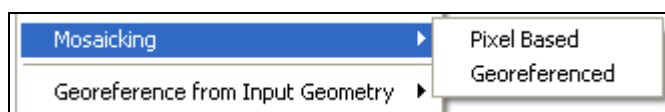
ในการจำแนกประเภทข้อมูล (Classification) แบบ Supervised มีวิธีการจำแนกข้อมูลทั้งหมด 6 วิธี คือ (1) Parallelepiped (2) Minimum distance (3) Mahalanobis distance (4) Maximum likelihood (5) Spectral angle mapper และ (6) Binary encoding ซึ่งแต่ละวิธีการจะมีกระบวนการจำแนกที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งจะอธิบายละเอียดในหัวข้อ ขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดิน

หมายเลข 3 คำสั่ง Registration แสดงดังรูปที่ ค.4 เป็นคำสั่งในการระบุพิกัดทางภูมิศาสตร์ในกรณีที่ภาพถ่ายดาวเทียมยังไม่ได้มีการระบุพิกัดทางภูมิศาสตร์ หรือในกรณีที่ต้องการเปลี่ยนแปลงพิกัดทางภูมิศาสตร์ตามระบบที่ใช้งานจริง เพื่อให้เป็นระบบเดียวกับงานที่กำลังทำอยู่ โดยแถบคำสั่งนี้มีทั้งหมด 2 ส่วน ส่วนแรกคือ Select GCP คือการระบุจุดที่รู้พิกัดตำแหน่งที่แน่นอน อาจจะมาจกภาพถ่ายดาวเทียมอื่น (Image to image) หรือมาจากแผนที่ที่มีพิกัดอยู่แล้ว (Image to map) ในส่วนที่ 2 เป็นส่วนของคำสั่งในการนำภาพที่ไม่มีพิกัดทางภูมิศาสตร์มาผ่านคำสั่งนี้เพื่อให้ภาพนั้นมีพิกัดทางภูมิศาสตร์หรือเรียกกันว่า (Warp)



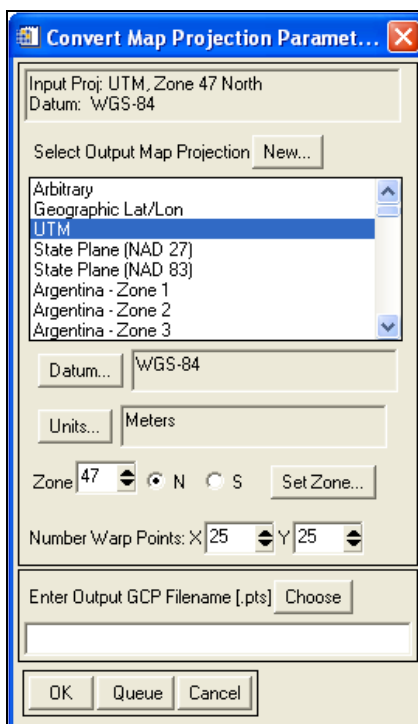
รูปที่ ค.4 หน้าต่างคำสั่ง Registration

หมายเลข 4 คำสั่ง Mosaicking ดังรูปที่ ค.5 เป็นคำสั่งที่ใช้ในการต่อภาพถ่ายดาวเทียมในกรณีที่ต้องการภาพที่มีขนาดใหญ่กว่าภาพถ่ายดาวเทียมที่ถ่ายได้ หรือต้องการวิเคราะห์พื้นที่ที่มีบริเวณกว้าง โดยในการต่อภาพถ่ายดาวเทียมนี้สามารถทำได้สองวิธีคือ วิธีการต่อภาพด้วยวิธีจุดต่อจุด (Pixel based) และวิธีการต่อภาพแบบอ้างอิงพิกัดทางภูมิศาสตร์ (Georeferenced)



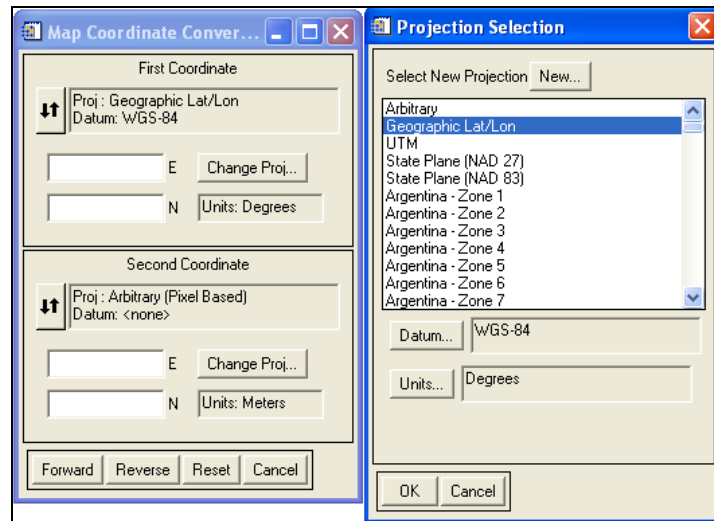
รูปที่ ค.5 หน้าต่างของคำสั่ง Mosaicking

หมายเลข 5 เครื่องมือ Convert map projection แสดงดังรูปที่ ค.6 เป็นเครื่องมือสำหรับการแปลงโซนของภาพถ่ายดาวเทียม รวมไปถึงการแปลงระบบที่ใช้ของภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อให้เป็นระบบที่ผู้ใช้ต้องการ เนื่องจากว่าระบบของภาพถ่ายดาวเทียมมีการใช้งานหลากหลายระบบขึ้นอยู่กับแต่ละประเทศที่จะใช้ระบบใด ดังนั้นเครื่องมือนี้เป็นอีกเครื่องมือสำคัญที่จะแปลงระบบให้อยู่ในระบบที่ผู้ใช้ต้องการใช้งาน โดยทั่วไปแล้วในประเทศไทยมีการใช้ระบบต่าง ๆ หลายระบบ เช่น ระบบ UTM-WGS-84 ระบบ UTM-Thai/Viet (Indian) และระบบละติจูด ลองจิจูด เป็นต้น



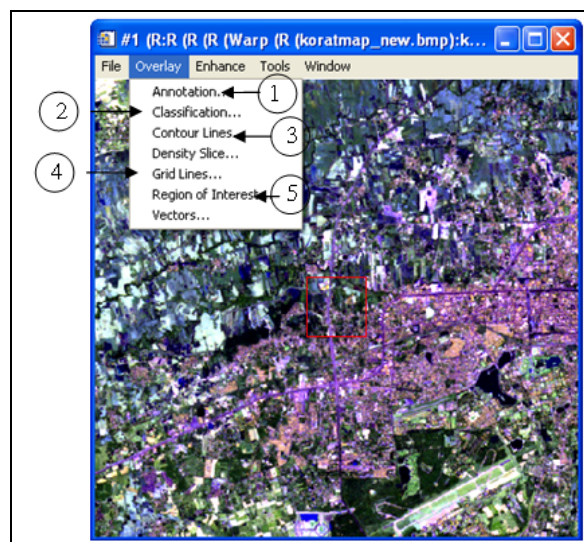
รูปที่ ๓.6 หน้าต่างเครื่องมือ Convert map projection

หมายเลข 6 คำสั่ง Map coordinate converter ดังรูปที่ ๓.7 เป็นเครื่องมือสำหรับใช้ในการแปลงค่าพิกัดจากระบบหนึ่งไปอีกระบบหนึ่ง รวมถึงการแปลงโซนหนึ่งไปเป็นอีกโซนหนึ่ง เนื่องจากว่าในแต่ละระบบ ค่าพิกัด ณ จุดเดียวกันจะมีค่าแตกต่างกัน จึงจำเป็นที่จะต้องมีการแปลง ซึ่งเครื่องมือนี้สามารถทั้งแปลงไป (Forward) และแปลงกลับ (Reverse) ได้



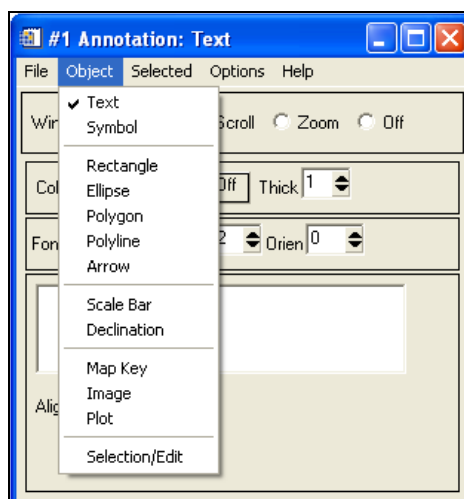
รูปที่ ค.7 คำสั่ง Map coordinate converter

เมื่อทำการเปิดไฟล์ข้อมูลภาพ จะปรากฏหน้าต่างทั้งหมด 3 หน้าต่าง คือหน้าต่าง Image หน้าต่าง Scroll และหน้าต่าง Zoom โดยหน้าต่าง Image เป็นหน้าต่างที่แสดงผลของรูปภาพในส่วนที่ถูกโฟกัสด้วยกรอบสีแดง หน้าต่าง Scroll เป็นหน้าต่างที่แสดงภาพทั้งหมด ส่วนหน้าต่าง Zoom เป็นส่วนของการแสดงผลของการขยายภาพ ซึ่งสามารถขยายได้จนถึง 1 pixel ทั้งสามหน้าต่างที่แสดงนั้น บนหน้าต่างของ Image จะมีแถบเครื่องมือดังรูปที่ ค.8



รูปที่ ค.8 หน้าต่าง Image

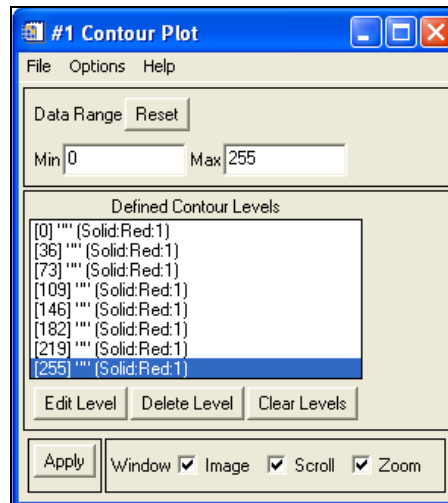
หมายเลข 1 คำสั่ง Annotation ดังรูปที่ ค.9 ในส่วนของการใส่ Object ต่าง ๆ ลงบนภาพถ่ายดาวเทียม เช่น สัญลักษณ์ต่าง ๆ ตัวหนังสือ และอื่น ๆ เพื่อเป็นการอธิบายในส่วนที่ต้องการแสดงเพิ่มเติมเพื่อ หรือเพื่อเพิ่มรายละเอียดให้กับภาพถ่ายดาวเทียม



รูปที่ ค.9 หน้าต่างคำสั่ง Annotation

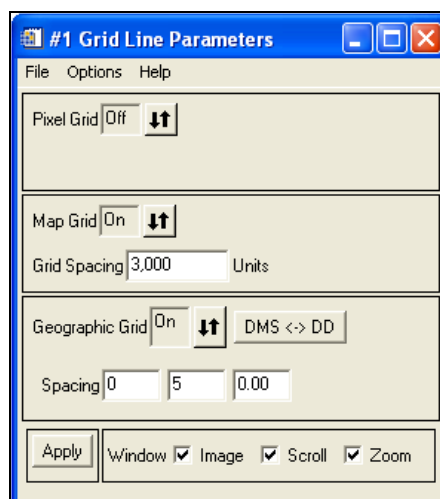
หมายเลข 2 คำสั่ง Classification เป็นคำสั่งในการจำแนกข้อมูลของภาพที่คำสั่งแสดงในหน้าต่าง Image โดยคำสั่งนี้สามารถใช้งานได้ในหน้าต่างหลักของโปรแกรมได้เช่นเดียวกัน โดยรายละเอียดของคำสั่งนี้จะอธิบายในหัวข้อ ขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดิน

หมายเลข 3 คำสั่ง Contour Line ดังรูปที่ ค.10 เป็นคำสั่งที่ใช้ในการสร้างเส้นระดับหรือ Contour โดยสามารถกำหนดจำนวนและความกว้างของข้อมูล โดยในภาพสีจะมีค่า 0 - 255 แต่โปรแกรมจะมีการกำหนดมาให้ก่อน โดยผู้ใช้สามารถเปลี่ยนแปลงได้



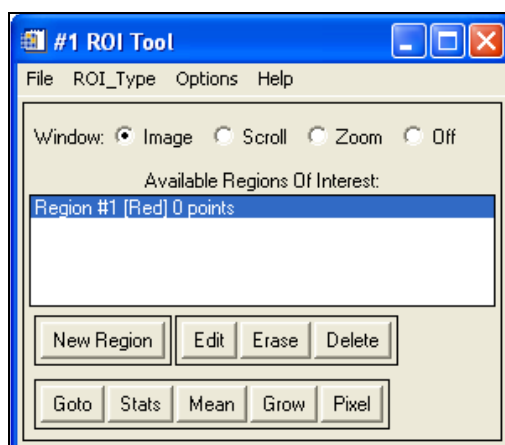
รูปที่ ค.10 หน้าต่าง คำสั่ง Contour line

หมายเลข 4 คำสั่ง Grid Line Parameters ดังรูปที่ ค.11 เป็นคำสั่งเพื่อใช้ในการเพิ่มกริดให้กับภาพ โดยสามารถกำหนดความกว้าง ขนาดของเส้น เพื่อให้เหมาะสมกับภาพ โดยภาพถ่ายดาวเทียมที่ผ่านกระบวนการวิเคราะห์ที่ดี ควรจะมีการตีกริดภาพ เพราะสามารถอ่านค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์จากภาพถ่ายดาวเทียมได้ในระดับหนึ่งจากการตีกริด



รูปที่ ค.11 หน้าต่างคำสั่ง Grid line parameters

หมายเลข 5 คำสั่ง Region of Interest (ROI) ดังรูปที่ ค.12 คำสั่งนี้มีความสำคัญกับวิธีการจำแนกข้อมูล เพราะเป็นคำสั่งที่ใช้กำหนดพื้นที่ตัวอย่างหรือตัวแทนของข้อมูล โดยการกำหนดนั้นต้องทราบข้อมูลที่น่ามาเป็นตัวอย่าง ซึ่งข้อมูลส่วนใหญ่มาจากการสำรวจภาคสนาม วิธีการกำหนดค่า ROI นั้นจะอธิบายละเอียดในหัวข้อ ขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดิน



รูปที่ ค.12 หน้าต่าง คำสั่ง Region of interest (ROI)

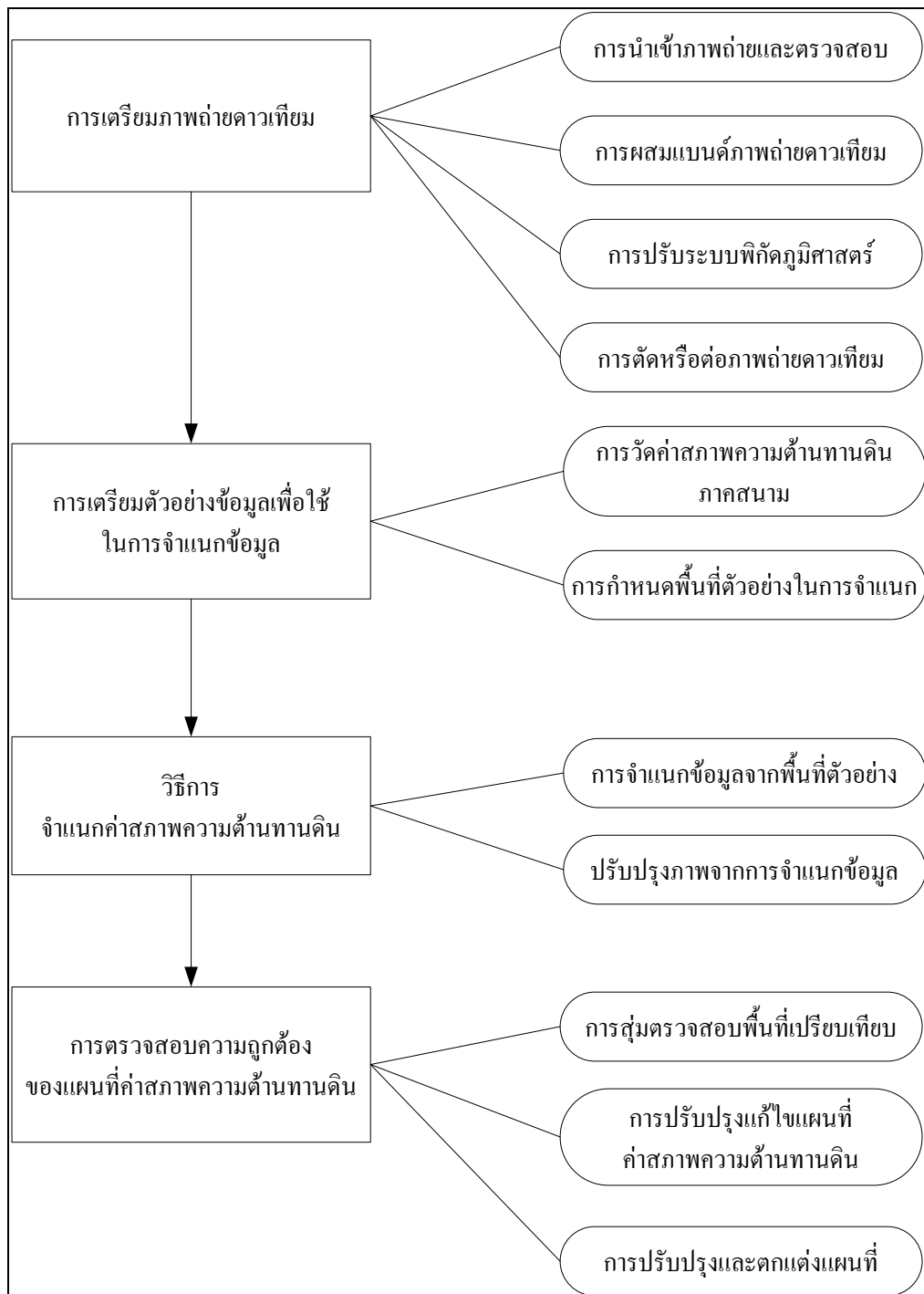
คำสั่ง Enhance ดังรูปที่ ค.13 เป็นคำสั่งในการเน้นข้อมูลหรือสีของภาพให้แสดงชัดเจนมากขึ้นในส่วนต่าง ๆ โดยวิธีการนี้จะเป็นการปรับเปลี่ยนค่าตัวเลขของข้อมูลภาพโดยแปลงข้อมูลผ่านสมการทางคณิตศาสตร์ ทำให้สีของภาพมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งอาจจะเป็นประโยชน์ในการประยุกต์ใช้งานบางประเภท โดยสามารถเลือกให้แสดงในแต่ละหน้าต่างของภาพได้ คือ หน้าต่าง Image Zoom และ Scroll นอกจากนี้ในแถบเครื่องมือนี้ยังมีคำสั่ง Filter เป็นการปรับสีของภาพ และรายละเอียดของภาพเช่นกัน



รูปที่ ค.13 หน้าต่างคำสั่ง Enhance

ค.2 ขั้นตอนการสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดินด้วยโปรแกรม ENVI

ในขั้นตอนการสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดินด้วยวิธีการจำแนกประเภทข้อมูลได้แบ่งขั้นตอนออกเป็นขั้นตอนหลัก ๆ คือ การเตรียมภาพถ่ายดาวเทียม การเตรียมตัวอย่างข้อมูลเพื่อใช้ในการจำแนกข้อมูล วิธีการจำแนกค่าสภาพความต้านทานดิน และการตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่สภาพความต้านทานดิน และแต่ละขั้นตอนประกอบไปด้วยขั้นตอนย่อย ๆ ดังแผนภาพรูปที่ ค.14



รูปที่ ค.14 ขั้นตอนการสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดิน

ค.2.1 การเตรียมภาพถ่ายดาวเทียม

การนำเข้าภาพถ่ายดาวเทียมและการตรวจสอบการใช้งานภาพถ่ายดาวเทียม

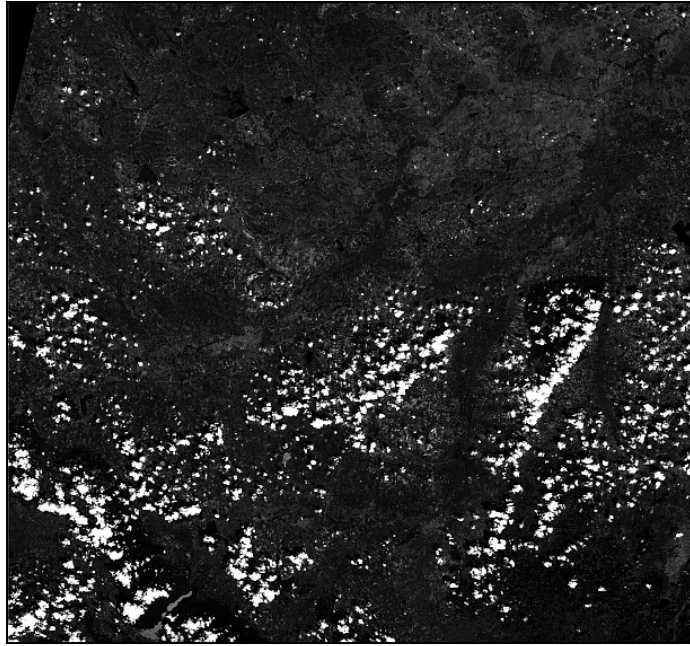
ในการนำภาพถ่ายดาวเทียมมาใช้งานนั้นต้องมีการระบุข้อมูลต่าง ๆ ของภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อนำมาใช้งานให้ตรงตามวัตถุประสงค์ของงาน โดยในการระบุภาพถ่ายดาวเทียมที่ต้องการ ให้ระบุดังต่อไปนี้

- ชื่อของดาวเทียมที่จะนำมาใช้
- พิกัดภูมิศาสตร์ ที่มุมบนซ้าย และมุมขวาล่าง ของภาพถ่ายที่ต้องการใช้งาน
- ระบุวันที่ถ่ายภาพของดาวเทียม ดูจากตารางที่ 1.3
- ขนาดภาพที่ต้องการ เช่น Super Scene 270 กม. x 350 กม. Full Scene

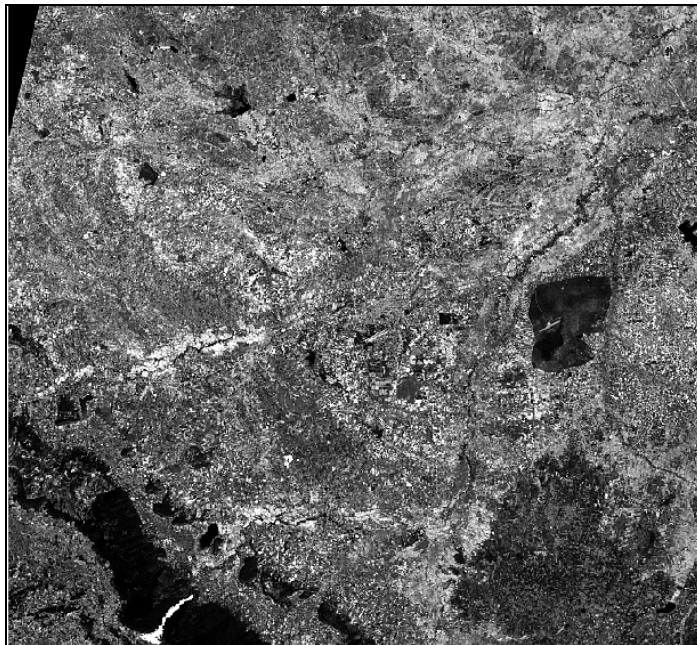
184 กม. x 172 กม. Sub scene 100 กม. x 100 กม. เป็นต้น

ตัวอย่างใบสั่งซื้อภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 สามารถดูได้จากเว็บไซต์ http://www.gistda.or.th/images/download/orderform/f_order_LS5.pdf

เมื่อได้ภาพถ่ายดาวเทียมมาแล้วให้ทำการตรวจสอบเบื้องต้น โดยทำการเปิดไฟล์ภาพขึ้นมาด้วยโปรแกรม ENVI หรือ โปรแกรมอื่นที่สามารถเปิดไฟล์ข้อมูลได้ โดยให้สังเกตลักษณะของภาพถ่ายดาวเทียมว่าไม่มีเมฆปกคลุมมากเกินไปจนทำให้ไม่สามารถนำมาใช้งานได้ ตัวอย่างภาพถ่ายดาวเทียมที่มีเมฆปกคลุมมากดังรูปที่ ค.15 และภาพถ่ายดาวเทียมที่สามารถนำมาใช้งานได้ดังรูปที่ ค.16 หรือก่อนทำการจัดซื้อข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมมานั้น สามารถให้หน่วยงานที่รับผิดชอบในการจำหน่ายข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมตรวจสอบข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมก่อนได้



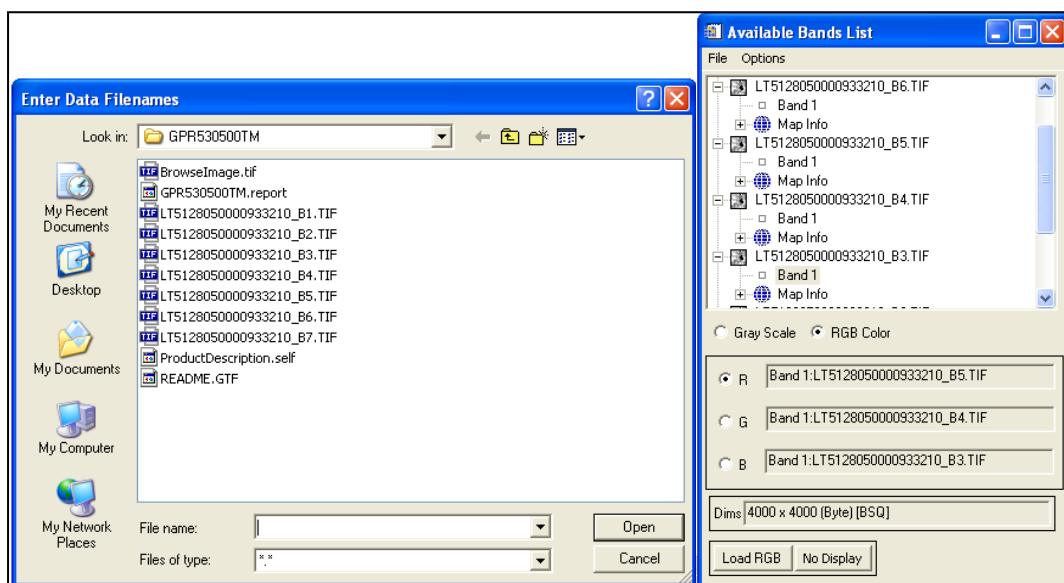
รูปที่ ค.15 ภาพถ่ายดาวเทียมที่มีเมฆปกคลุม



รูปที่ ค.16 ภาพถ่ายดาวเทียมที่ไม่มีเมฆปกคลุม

การผสมแบนด์ภาพถ่ายดาวเทียม

การผสมแบนด์ของภาพถ่ายดาวเทียมด้วยโปรแกรม ENVI เมื่อทำการเปิดไฟล์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมขึ้นมาจะปรากฏหน้าต่างเครื่องมือดังรูปที่ ค.17 ซึ่งถ้าข้อมูลที่เปิดขึ้นมา นั้นเป็นแต่ละแบนด์ของข้อมูล จะสามารถนำมาแสดงผลของข้อมูลแต่ละแบนด์ในรูปแบบของ Gray scale หรือภาพระดับสีเทา แต่ถ้าต้องการแสดงผลของภาพเป็นภาพสี ต้องใช้ข้อมูลภาพ 3 แบนด์ มาทำการผสมสีโดยสามารถที่จะเลือกให้แบนด์ไหนเป็นแม่สี โดยเลือกที่ RGB color แล้วเลือกชื่อของไฟล์ภาพมาสามไฟล์ แล้วเลือกที่ไอคอน Load GB จะได้ภาพที่ผ่านการผสมสีเท็จ โดยภาพจะมีลักษณะแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับตัวเลือกแบนด์ที่นำมาผสมสีกันนั่นเอง

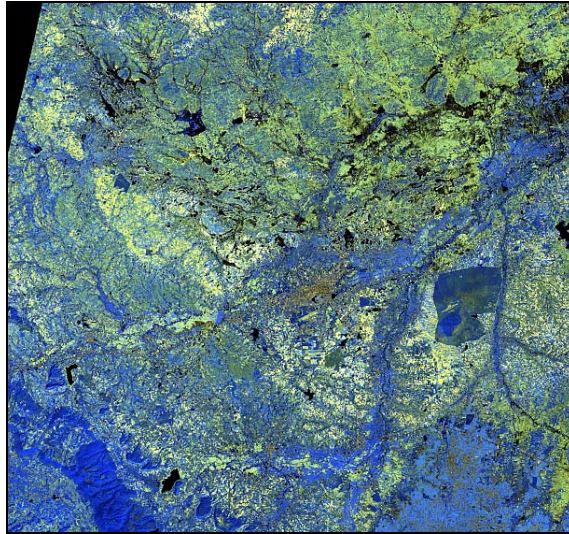


รูปที่ ค.17 หน้าต่าง Available Bands List หลังจากการเปิดไฟล์ข้อมูลขึ้นมา

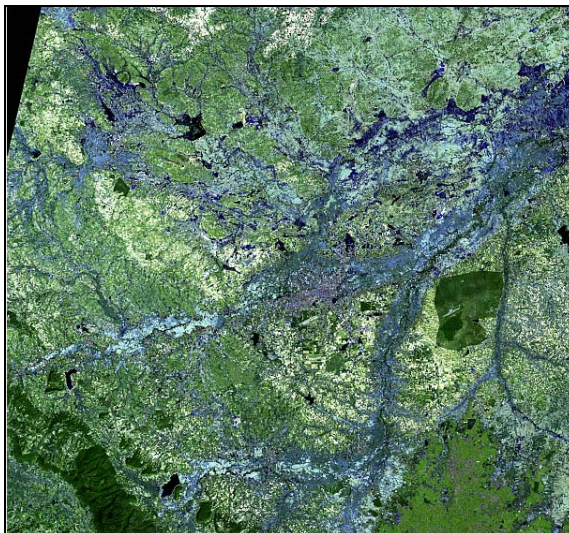
ทำการผสมแบนด์ด้วยโปรแกรม ENVI โดยทำการผสมแบนด์ทั้งหมด 6 กรณีเพื่อเป็นการเปรียบเทียบผลจากการวิเคราะห์ข้อมูล โดยทำการผสมแบนด์ดังต่อไปนี้

- 1) Band 7-5-4 ตัวอย่างภาพที่ได้จากการผสมแบนด์ แสดงดังรูปที่ ค.18
- 2) Band 7-5-3 ตัวอย่างภาพที่ได้จากการผสมแบนด์ แสดงดังรูปที่ ค.19
- 3) Band 7-4-3 ตัวอย่างภาพที่ได้จากการผสมแบนด์ แสดงดังรูปที่ ค.20
- 4) Band 5-4-3 ตัวอย่างภาพที่ได้จากการผสมแบนด์ แสดงดังรูปที่ ค.21
- 5) Band 5-3-2 ตัวอย่างภาพที่ได้จากการผสมแบนด์ แสดงดังรูปที่ ค.22
- 6) Band 4-3-2 ตัวอย่างภาพที่ได้จากการผสมแบนด์ แสดงดังรูปที่ ค.23

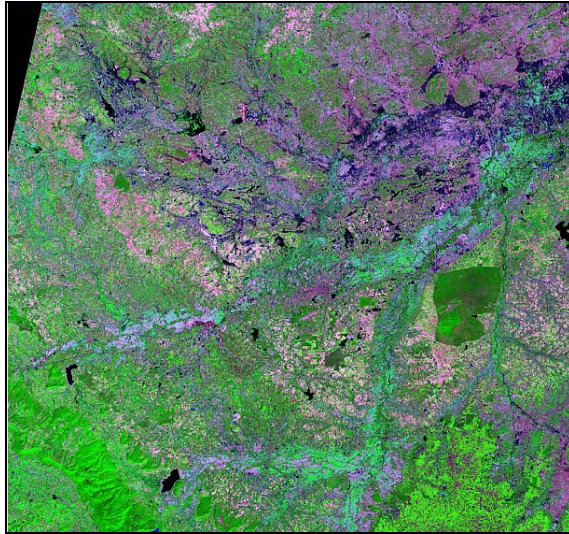
ในการผสมแบนด์ของภาพถ่ายดาวเทียมไม่สามารถนำแบนด์ที่มีความละเอียดต่างกัน มาผสมแบนด์กันได้ ซึ่งในที่นี้คือ แบนด์ 6 เพราะเป็น Thermal Band ขนาด Pixel 60 x 60 เมตร ตัวอย่างภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากการผสมแบนด์ด้วยการผสมสีเท็จด้วยโปรแกรม ENVI ดังรูป ต่อไปนี้



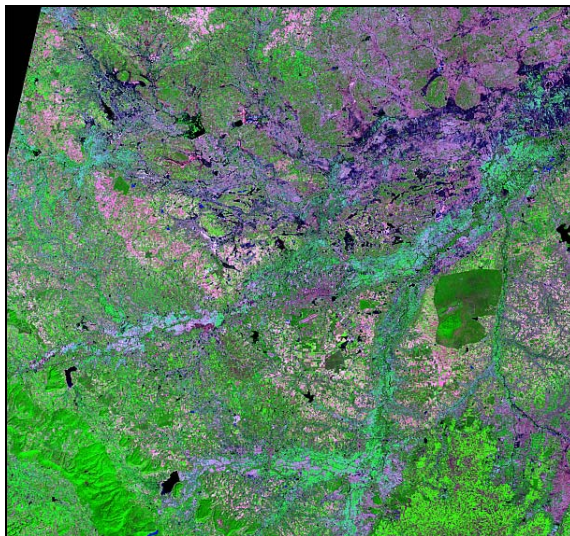
รูปที่ ค.18 ตัวอย่างภาพที่ได้จากการผสมแบนด์ 7-5-4



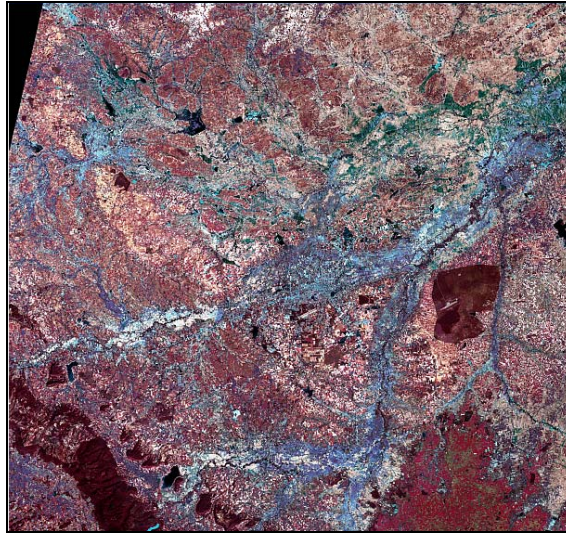
รูปที่ ค.19 ตัวอย่างภาพที่ได้จากการผสมแบนด์ 7-5-3



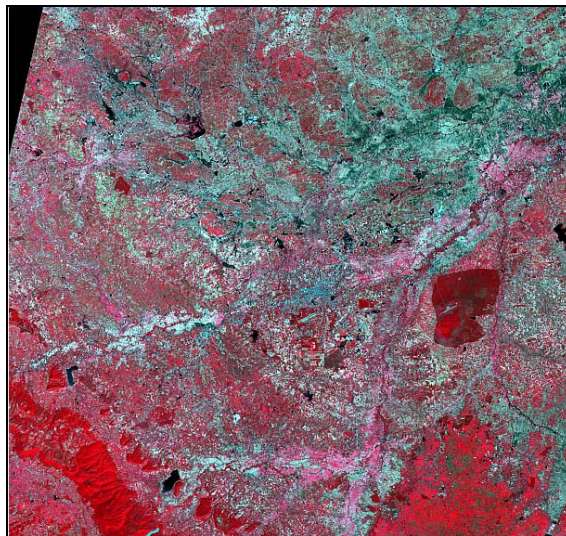
รูปที่ ค.20 ตัวอย่างภาพที่ได้จากการผสมแบนด์ 7-4-3



รูปที่ ค.21 ตัวอย่างภาพที่ได้จากการผสมแบนด์ 5-4-3



รูปที่ ค.22 ตัวอย่างภาพที่ได้จากการผสมแบนด์ 5-3-2



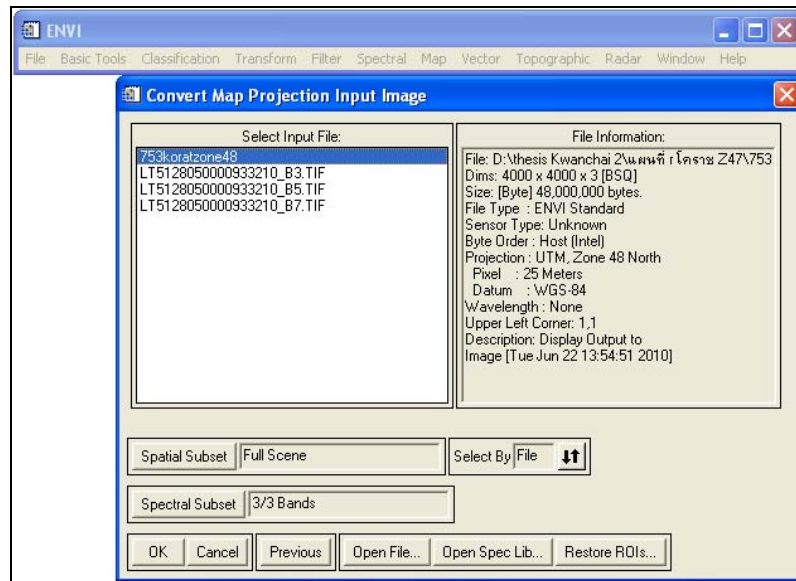
รูปที่ ค.23 ตัวอย่างภาพที่ได้จากการผสมแบนด์ 4-3-2

เมื่อได้ภาพที่ผ่านกระบวนการผสมแบนด์มาแล้ว สามารถที่จะนำภาพมาผ่านกระบวนการ เปลี่ยนแปลงข้อมูลภาพผ่านสมการและกระบวนการทางคณิตศาสตร์โดยเลือกที่คำสั่ง Enhance บนหน้าต่าง Image จะพบคำสั่งต่าง ๆ คือ Linear Linear 0 - 255 Linear 2% Gaussian Equalization และ Square Root เพื่อทำให้สีของภาพมีความแตกต่างและชัดเจนมากขึ้น ซึ่งอาจจะเป็นประโยชน์ในการนำไปประยุกต์ใช้งานในบางอย่าง แต่ในการสร้างแผนที่สภาพความ

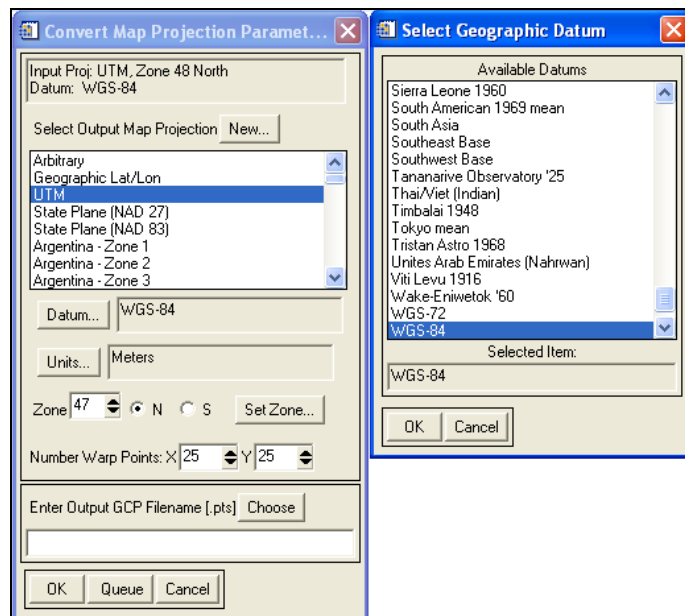
ด้านทานดินนั้นได้ทำการทดสอบแล้วว่าภาพที่ผ่านกระบวนการต่าง ๆ ดังกล่าวให้ผลของความถูกต้องในค่าที่เท่ากัน ดังนั้นจึงสามารถใช้ภาพที่ทำการผสมแบนด์แล้วมาใช้ในการสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดินได้

การปรับระบบภูมิศาสตร์

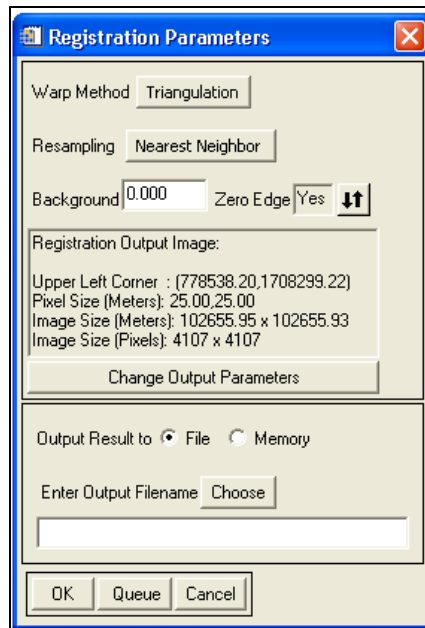
การปรับระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์สามารถทำได้หลายวิธี แต่ที่สะดวกคือใช้เครื่องมือในโปรแกรม ENVI เนื่องจากพิกัดของสายจ่ายกำลังไฟฟ้าของ กฟภ. ที่เก็บไว้ในรูปแบบของโปรแกรม Arc view ใช้ระบบพิกัดภูมิศาสตร์ WGS-84 โดยที่บริเวณจังหวัดนครราชสีมาเป็น Zone 47 ซึ่งปกติข้อมูลของดาวเทียมที่ได้จากการจัดซื้อมาบริเวณจังหวัดนครราชสีมา อยู่ใน Zone 48 ทำให้ก่อนการวิเคราะห์ต้องมีการปรับเปลี่ยน Zone เพื่อให้เป็นข้อมูลในระบบเดียวกัน โดยนำภาพถ่ายดาวเทียมที่ผ่านผสมแบนด์แล้วมาทำการเปลี่ยนโซนโดยใช้โปรแกรม ENVI เริ่มต้นด้วยการเปิดภาพถ่ายดาวเทียมที่ผ่านการผสมแบนด์เสร็จเรียบร้อยแล้วเลือกไปที่ Map → Convert map projection จะแสดงหน้าต่างเครื่องมือขึ้นมาดังรูปที่ ค.24 จากนั้นให้ทำการเลือกชื่อไฟล์ข้อมูลที่ต้องการเปลี่ยนพิกัดภูมิศาสตร์ เมื่อเลือกเสร็จแล้วทางด้านคอลัมน์ทางซ้ายมือจะแสดงข้อมูลเกี่ยวกับภาพออกมา หลังจากนั้นให้ทำการเลือกไปที่ OK จะได้หน้าต่างดังรูปที่ ค.25 ซึ่งเป็นส่วนของการเลือกข้อมูลที่ต้องการเปลี่ยนให้เป็นตามที่ต้องการ โดยสามารถทำการเลือกระบบเช่นในตัวอย่างเลือก UTM จากนั้นเลือกที่ Datum แล้วเลือกระบบที่ต้องการ จากนั้นทำการเลือก Unit และ Zone เมื่อเสร็จแล้วให้ทำการเลือกที่อยู่และตั้งชื่อไฟล์ .pts ซึ่งเป็นไฟล์ของพิกัดข้อมูลใหม่ หลังจากนั้นให้เลือก OK จะได้หน้าต่าง Registration Parameters ดังรูปที่ ค.26 เพื่อบอกรายละเอียดภาพใหม่และใส่ชื่อภาพและจัดเก็บในที่อยู่ที่ต้องการ โดยชื่อของภาพนั้นต้องตั้งให้เหมือนกับชื่อของไฟล์ .pts แล้วเลือก OK จะได้ภาพใหม่ที่ผ่านการเปลี่ยนโซนมาดังรูปที่ ค.27 ซึ่งข้อมูลพิกัดจะมีค่าแตกต่างจากค่าเดิม จากนั้นนำภาพที่ผ่านการผสมแบนด์ในกรณีต่าง ๆ มาเปลี่ยนโซนด้วยวิธีเดียวกันนี้



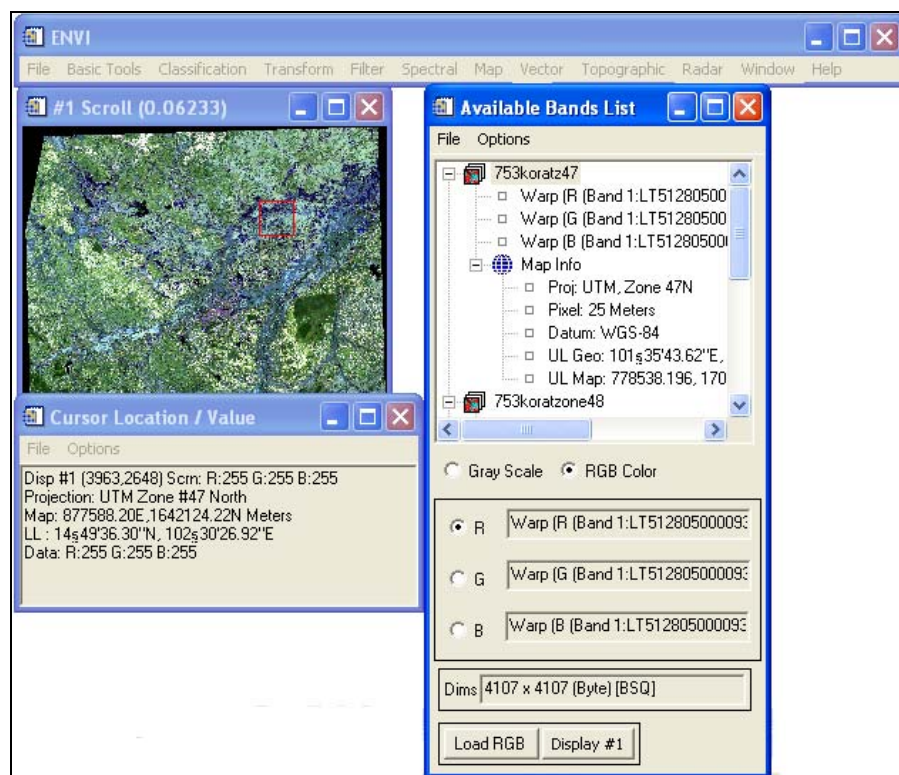
รูปที่ ก.24 หน้าต่างจากการเลือก Map - Convert map projection



รูปที่ ก.25 หน้าต่าง Convert map projection parameter



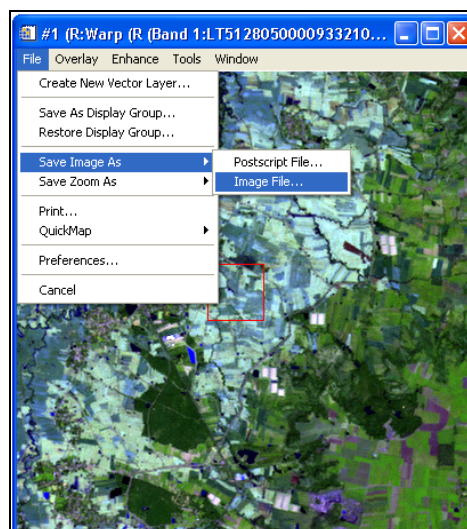
รูปที่ ก.26 หน้าต่าง Registration parameters



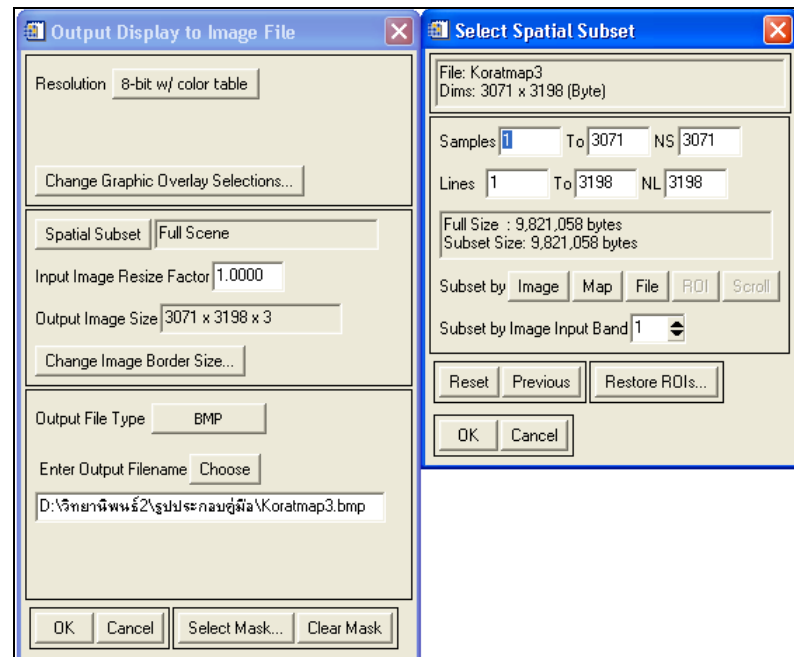
รูปที่ ก.27 ภาพถ่ายดาวเทียมหลังจากการเปลี่ยนแปลงพิกัดระบบภูมิศาสตร์

ค.2.1.4 การตัดภาพถ่ายดาวเทียม

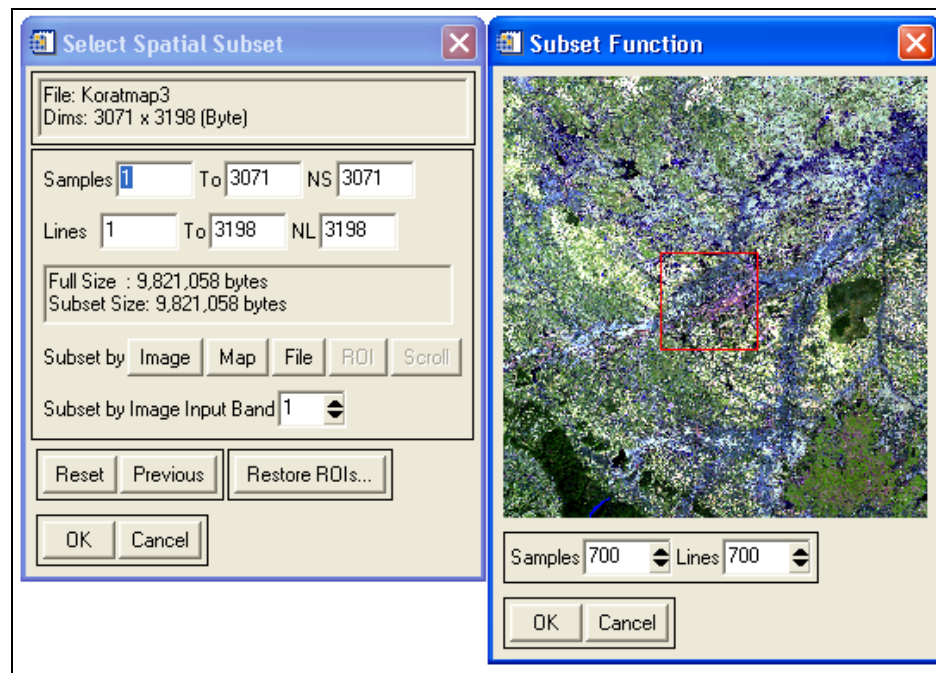
ในกรณีที่ต้องการใช้พื้นที่ของภาพถ่ายดาวเทียมในบริเวณที่ไม่กว้าง หรือไม่ต้องการใช้ภาพถ่ายดาวเทียมทั้ง Full Scene 184 x 172 กิโลเมตร จำเป็นต้องมีการตัดเอาภาพถ่ายดาวเทียม โดยในการตัดภาพออกมานั้นทำได้โดยการเปิดไฟล์ภาพขนาดใหญ่ที่ผ่านการผสมแบนด์แล้ว หลังจากนั้นไปที่หน้าต่าง Image ดังรูปที่ ค.28 แล้วเลือก Save Image As → Image File จะได้หน้าต่าง Output Display to Image File ดังรูปที่ ค.29 จากนั้นเลือกไปที่ Spatial Subset จะแสดงหน้าต่าง Select Spatial Subset โดยในการเลือกขอบเขตนั้นสามารถทำได้ 2 วิธีคือ วิธีแรกคือเลือกไปที่ Image บนหน้าต่างของ Select Spatial Subset จะได้หน้าต่าง Subset Function รูปที่ ค.30 ในหน้าต่างนี้มีกรอบสีแดงสามารถกำหนดให้ขยายได้หรือสามารถกรอกตัวเลขลงในช่อง Sample และ Line เพื่อกำหนดความกว้างและความยาวของภาพได้ และสามารถกำหนดกรอบไปในส่วนที่ต้องการตัดภาพได้ เมื่อเลือกพื้นที่ที่ต้องการเสร็จแล้วเลือก OK หรือวิธีที่สองคือเลือกไปที่ Map บนหน้าต่าง Select Spatial Subset จะได้หน้าต่าง Spatial Subset by Map Coordinate ดังรูปที่ ค.31 ซึ่งจะช่องให้กรอกพิกัดมุมบนซ้าย และมุมขวาล่างของรูปที่ต้องการ ซึ่งมีข้อดีคือสามารถกำหนดพื้นที่ได้ชัดเจนกว่าวิธีแรก เมื่อระบุข้อมูลเสร็จแล้วก็เลือกที่ OK จากนั้นก็กลับมาสู่หน้าต่าง Select Spatial Subset ซึ่งสังเกตว่าค่าในช่อง Sample และ Line จะเปลี่ยนไปจากเดิม จากนั้นให้เลือก OK ก็จะกลับมาสู่หน้าต่าง Output Display to Image File .ให้ตรวจสอบชื่อ ที่อยู่การจัดเก็บและนามสกุลของไฟล์ที่ต้องการ เมื่อเสร็จแล้วก็เลือก OK จะได้ภาพใหม่ดังรูปที่ ค.32 ซึ่งเป็นภาพที่ได้จากการตัดภาพออกมาจากภาพใหญ่



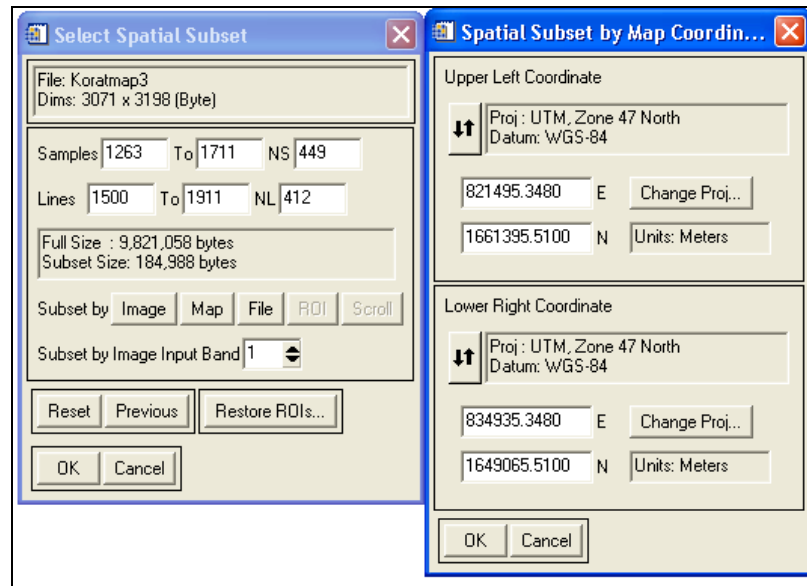
รูปที่ ค.28 หน้าต่าง Image ของภาพถ่ายดาวเทียมที่ผ่านการผสมแบนด์ 7-5-3



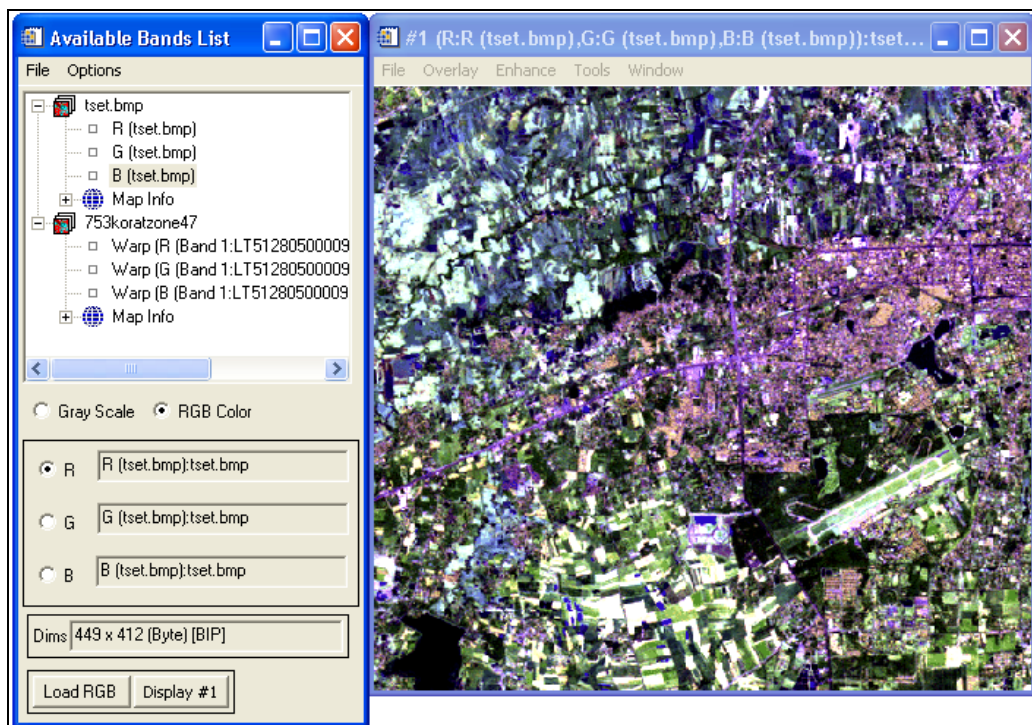
รูปที่ ค.29 หน้าต่าง Output display to image file



รูปที่ ค.30 หน้าต่าง Select spatial subset และ Subset function



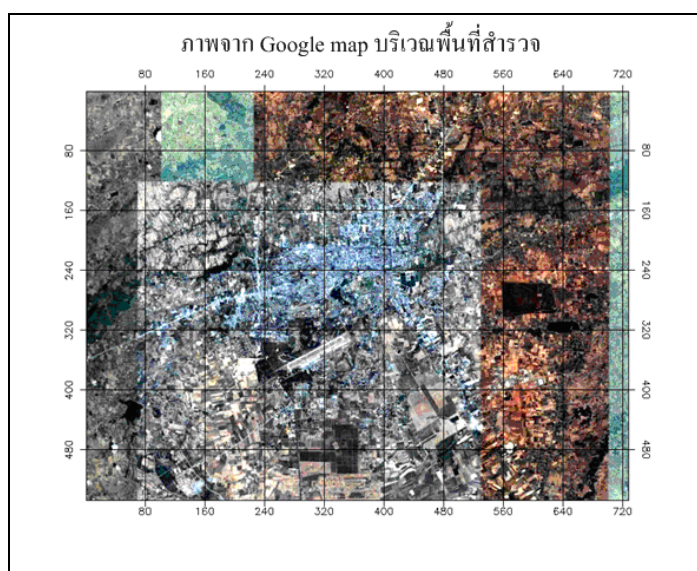
รูปที่ ค.31 หน้าต่าง Select spatial subset และ Spatial subset by map coordinate



รูปที่ ค.32 ภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากตัดภาพ

การเตรียมตัวอย่างข้อมูลเพื่อใช้ในการจำแนกข้อมูล

ในขั้นตอนของการเตรียมข้อมูลเพื่อนำมาเป็นข้อมูลตัวอย่างในการจำแนกประเภทข้อมูลนั้นใช้ข้อมูลค่าสภาพความต้านทานดิน จากการสำรวจภาคสนามในบริเวณพื้นที่ที่ต้องการสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดิน โดยทำการกำหนดจุดสำรวจในการวัดค่าสภาพความต้านทานดินในภาคสนามด้วยการตีกริดภาพจาก Google earth หรือ Google map เพื่อให้เห็นถึงพื้นที่ที่ต้องการวัด โดยทำการวัดในบริเวณที่ตีกริด ตัวอย่างการกำหนดพื้นที่สำรวจภาคสนาม ดังรูปที่ ค.33 แต่ในบางจุดอาจจะเข้าถึงยาก ดังนั้นในการวัดควรจะวัดให้กระจายและครอบคลุมพื้นที่ให้มากที่สุด



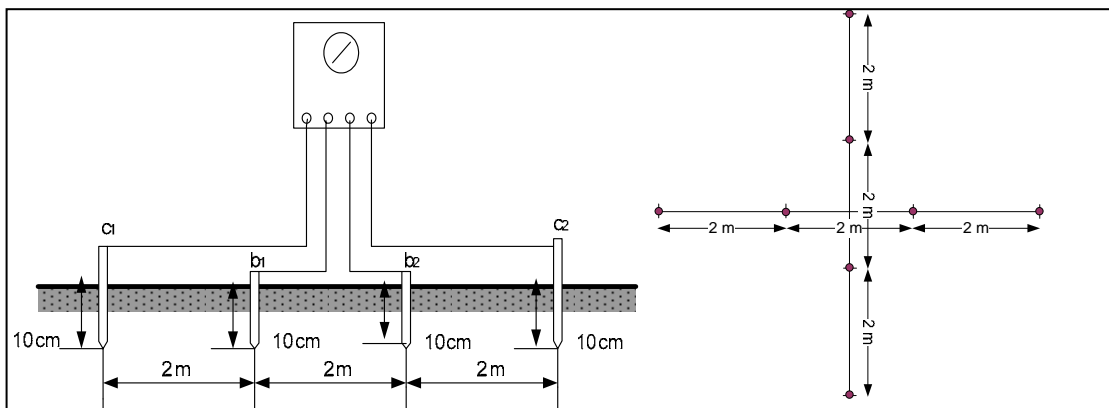
รูปที่ ค.33 การตีกริดภาพจาก Google Earth เพื่อกำหนดพื้นที่ในการวัด

การวัดค่าสภาพความต้านทานดิน

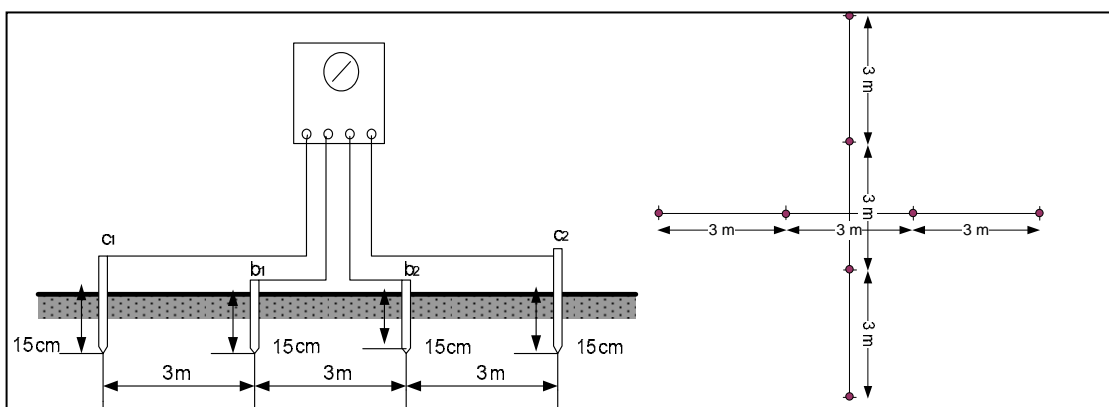
ในการสำรวจในภาคสนามเพื่อวัดค่าสภาพความต้านทานดินเพื่อใช้เป็นข้อมูลตัวอย่างในการจำแนกข้อมูลในการสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดินนั้น ในเบื้องต้นในการทดสอบใช้เครื่องวัดค่าสภาพความต้านทานดิน METREL Earth Tester รุ่น MI 2124 ดังรูปที่ ค.34 โดยได้ทำการวัดค่าสภาพความต้านทานดินเป็นสองแนว และทำการเปลี่ยนระยะการวัด ที่ระยะห่างระหว่างแท่งอิเล็กโทรด 2 เมตร ระยะลึก 10 เซนติเมตร ดังรูปที่ ค.35 และระยะห่างระหว่างแท่งอิเล็กโทรด 3 เมตร ระยะลึก 15 เซนติเมตร ดังรูปที่ ค.36 แล้วนำค่าในการวัดแต่ละครั้งมาหาค่าเฉลี่ยกันเพื่อใช้เป็นข้อมูล



รูปที่ ค.34 เครื่องวัดค่าสภาพความต้านทานดิน METREL earth tester รุ่น MI 2124



รูปที่ ค.35 การวัดที่ระยะห่างระหว่างแท่งอิเล็กโทรด 2 เมตร ระยะลึก 10 เซนติเมตร



รูปที่ ค.36 การวัดที่ระยะห่างระหว่างแท่งอิเล็กโทรด 3 เมตร ระยะลึก 15 เซนติเมตร

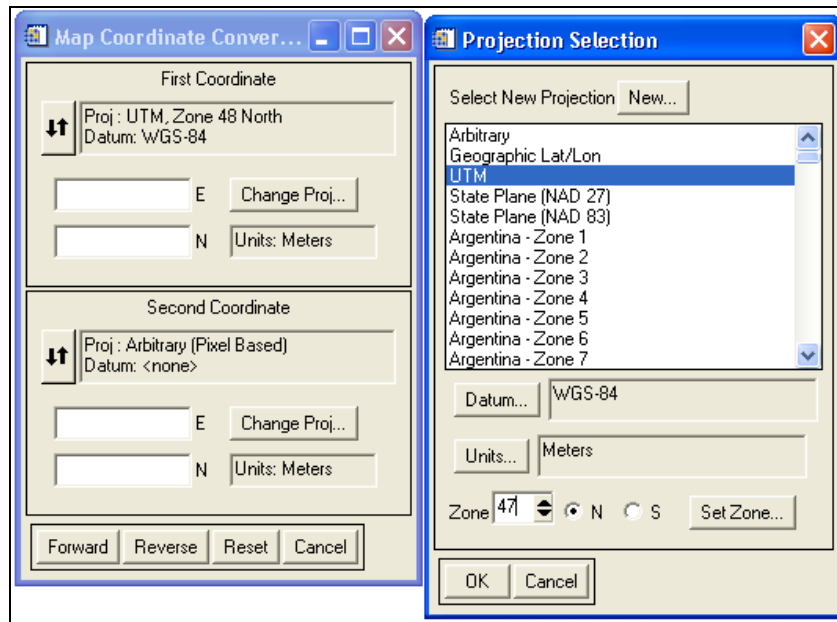
โดยในการออกวัดภาคสนามนั้นนอกจากจะต้องทำการวัดค่าสภาพความต้านทานดินแล้วต้องทำการวัด อุณหภูมิที่ผิวดิน และความชื้น เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบในการเก็บข้อมูลภาคสนาม โดยเมื่อทำการวัดต้องทำการบันทึกพิกัดทางภูมิศาสตร์ของจุดที่ทำการวัดเพื่อใช้เป็นข้อมูลเพื่อที่จะทำให้เราสามารถระบุจุดบนภาพถ่ายดาวเทียมได้ ตารางการบันทึกผลการสำรวจควรประกอบไปด้วยข้อมูลดังตัวอย่างตารางบันทึกผล ดังตารางที่ ค.1

ตารางที่ ค.1 ตัวอย่างตารางบันทึกผลการสำรวจภาคสนาม

พิกัดทางภูมิศาสตร์		ค่าสภาพความต้านทานดิน ($\Omega.m$)				อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	ความชื้น (%)
E	N	2 m	2 m	3 m	3 m		
Data	Data	Data	Data	Data	Data	Data	Data

การปรับระบบพิกัดภูมิศาสตร์ของข้อมูลตารางการสำรวจ

เนื่องจากข้อมูลระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ที่อ่านค่าได้จากเครื่องรับ GPS เป็นค่าใน Zone 48 ทำให้ต้องมีการปรับเปลี่ยนค่าข้อมูลให้อยู่ในค่าพิกัดของ Zone 47 เพื่อให้ตรงกันกับข้อมูลของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และตรงกับภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้มีการเปลี่ยนโซนแล้ว โดยในการเปลี่ยนระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ใช้เครื่องมือใน โปรแกรม ENVI โดยดั่งเลือกเมนู Map \rightarrow Map Coordinate Converter จะได้กล่องเครื่องมือดังรูปที่ ค.37 จากนั้นให้กำหนดและตั้งค่าต่าง ๆ ให้ตรงกับระบบที่ใช้ ทั้งค่าที่จะนำไปแปลง และค่าที่ต้องการได้จากการแปลง โดยเลือกที่ Change Proj จะปรากฏหน้าต่าง Projection Selection เพื่อให้ทำการเลือกระบบและโซนของข้อมูลพิกัด เมื่อเลือกข้อมูลครบแล้วก็ไปใส่ค่าพิกัดที่ต้องการในช่อง First Coordinate จากนั้นให้เลือกที่ Forward จะได้ค่าพิกัดใหม่ที่ต้องการในช่อง Second Coordinate ตัวอย่างค่าพิกัดที่ผ่านการเปลี่ยนพิกัดดังตารางที่ ค.2 ซึ่งเครื่องมือดังกล่าวนี้สามารถแปลงไปและแปลงกลับได้



รูปที่ ค.37 หน้าต่าง Map coordinate converter

ตารางที่ ค.2 ตัวอย่างค่าพิกัดภูมิศาสตร์ที่ผ่านการเปลี่ยนแปลงพิกัดทางภูมิศาสตร์

ข้อมูลจากการสำรวจ	ข้อมูลจากการแปลง
ระบบ :UTM	ระบบ :UTM
Datum :WGS-84	Datum :WGS-84
Zone : 48	Zone : 47
E:179925	E: 825421.96
N:1653275	N: 1653347.22

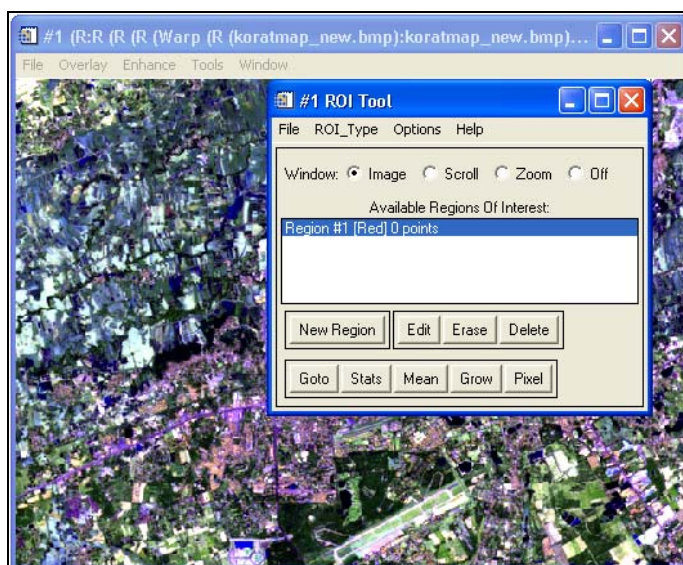
ค.2.3 วิธีการจำแนกค่าสภาพความต้านทานดิน

ในการสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดินนั้นขั้นตอนที่สำคัญในการสร้าง และ ประมวลผลค่าสภาพความต้านทานดินนั้นก็คือการจำแนกประเภทข้อมูล โดยใช้วิธีการจำแนกข้อมูล จากข้อมูลการสำรวจที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม มาเป็นข้อมูลตัวอย่างที่ใช้จัดกลุ่มข้อมูลของ ภาพถ่ายดาวเทียม โดยมีขั้นตอนในการจำแนกประเภทข้อมูลโดยใช้โปรแกรม ENVI ดังต่อไปนี้

การกำหนดพื้นที่ตัวอย่าง (Region of interest: ROI)

ในขั้นตอนการกำหนดพื้นที่ตัวอย่างนั้นเริ่มต้นด้วยการเปิดภาพถ่ายดาวเทียมที่ต้องการนำมาสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดิน หลังจากนั้นไปที่หน้าต่าง Image เลือก Overlay → Region of Interest จะได้หน้าต่าง ROI Tool ดังรูปที่ ค.38 จากนั้นใช้ข้อมูลค่าสภาพความต้านทานดิน ที่ผ่านเปลี่ยนโซนและปรับพิกัดทางภูมิศาสตร์ให้มีค่าเดียวกับระบบที่ใช้กับภาพถ่ายดาวเทียมดังกล่าว ตัวอย่างดังตารางที่ ตารางที่ ค.3 ซึ่งเป็นตารางการสำรวจค่าสภาพความต้านทานดินเมื่อวันที่ 28 พฤศจิกายน 2552 ซึ่งเป็นวันเดียวกันกับการถ่ายภาพของดาวเทียม โดยเมื่อได้หน้าต่าง ROI Tool ให้ทำการกำหนดช่วงต่าง ๆ ที่ต้องการประมาณค่าสภาพความต้านทานดิน ซึ่งขึ้นอยู่กับความเหมาะสมกับค่าที่วัดได้จากการสำรวจภาคสนาม โดยในตัวอย่างนี้ได้ทำการกำหนดตัวอย่างดังนี้

- Region #1 (Red) หรือสีแดง มีค่าสภาพความต้านทานดินในช่วง 0-5 $\Omega.m$
- Region #2 (Green) หรือสีเขียว มีค่าสภาพความต้านทานดินในช่วง 6-25 $\Omega.m$
- Region #3 (Blue) หรือสีน้ำเงิน มีค่าสภาพความต้านทานดินในช่วง 26-50 $\Omega.m$
- Region #4 (Yellow) หรือสีเหลือง มีค่าสภาพความต้านทานดินในช่วง 51-100 $\Omega.m$
- Region #5 (Cyan) หรือสีฟ้า ให้มีค่าสภาพความต้านทานดินในช่วง >101 $\Omega.m$



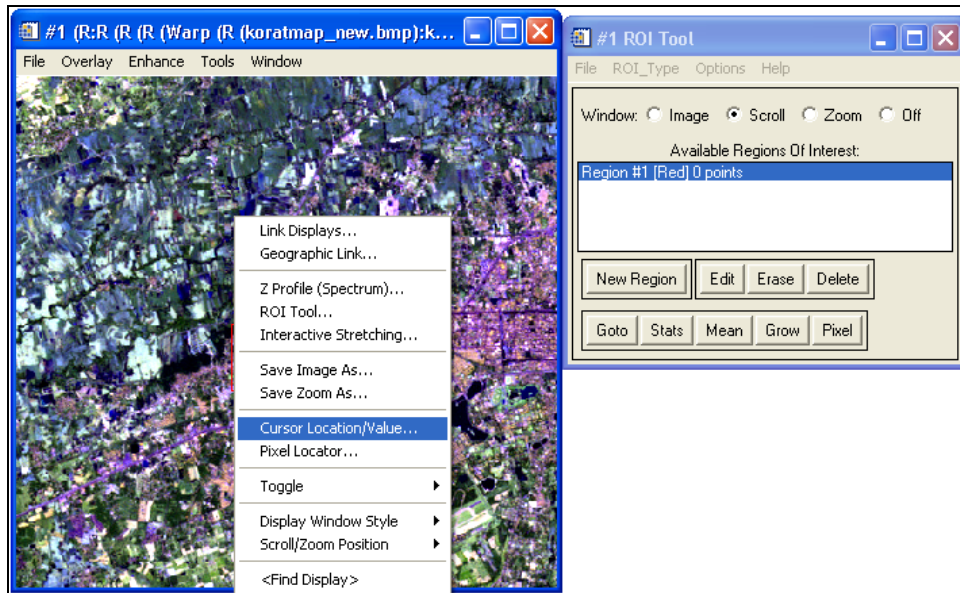
รูปที่ ค.38 หน้าต่าง ROI Tool

ตารางที่ ค.3 ตัวอย่างข้อมูลค่าสภาพความต้านทานดินที่ใช้สำหรับเป็นข้อมูลตัวอย่าง

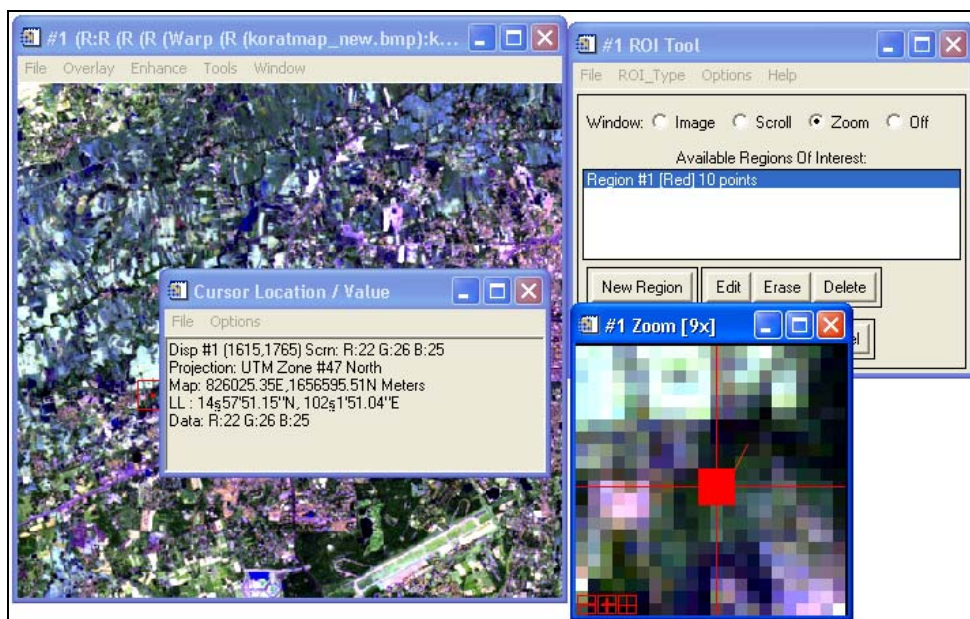
ที่	E	N	$\Omega.m$
1	824501	1654547	57.85
2	828552	1654606	34.45
3	825924	1656511	3.56
4	828484	1658031	16.19
5	826049	1657440	122.3
6	828990	1660571	5.09
7	831783	1661822	13.72
8	828995	1653017	789.15
9	832447	1655762	8.29
10	835868	1658756	924.75
11	831594	1658640	54.55
12	832964	1659778	16.67

เมื่อกำหนดช่วงค่าสภาพความต้านทานดินที่จะใช้ในแผนที่สภาพความต้านทานดินเสร็จแล้ว ให้อ่านค่าพิกัดภูมิศาสตร์บนตารางที่ ค.3 ที่ละจุดเพื่อระบายจุดตัวอย่าง แนะนำให้แบ่งกลุ่มค่าในตารางก่อน เพื่อจะได้กำหนดไปที่ละช่วง ๆ โดยไปที่หน้าต่าง Image คลิกเมา์ทางขวา แล้วเลือก แสดง Cursor Location /Value ดังรูปที่ ค.39 จะปรากฏหน้าต่างขนาดเล็ก Cursor Location /Value ที่แสดงข้อมูลของภาพในขณะที่เลื่อนเมา์ไปยังจุดต่างๆ ของภาพ จากนั้นเลือกคำสั่ง Overlay → Region of Interest จะแสดงหน้าต่าง ROI Tool ดังรูปที่ ค.40 จากนั้นให้ทำการกด Zoom+ ที่หน้าต่าง Zoom แล้วกดเลื่อนพิกัดไปยังพิกัดที่สำรวจ ซึ่งในบางครั้งอาจจะไม่มีค่าที่ตรงกันเนื่องจากพิกัดมีความละเอียด 30x30 m แต่เครื่องรับสัญญาณ GPS จะมีความละเอียดมากกว่า จึงต้องใช้พิกัดที่มีค่าใกล้เคียงที่สุด เมื่อเลื่อน ไปจนถึงพิกัดแล้วให้ทำการเลือกที่ หน้าต่าง ROI Tool เลือกที่ Window → Zoom แล้วทำการระบายสี Region #1 ซึ่งตามรูปแบบทั่วไปแล้วจะเป็นสีแดง แต่สามารถปรับเปลี่ยนได้โดยการเลือกที่ Edit ทำการระบายสีลงในหน้าต่าง Zoom เพราะจะสามารถระบายได้ตรงจุดที่สุด เมื่อระบายเสร็จแล้วให้คลิกเมา์ทางขวาตรงที่ระบายจะขึ้นเป็นสีแดง ดังรูปที่ ค.40 และค่าใน Region #1 จะเปลี่ยนไปตามต้องการเปลี่ยนสีหรือความต้านทานดินอยู่ใน

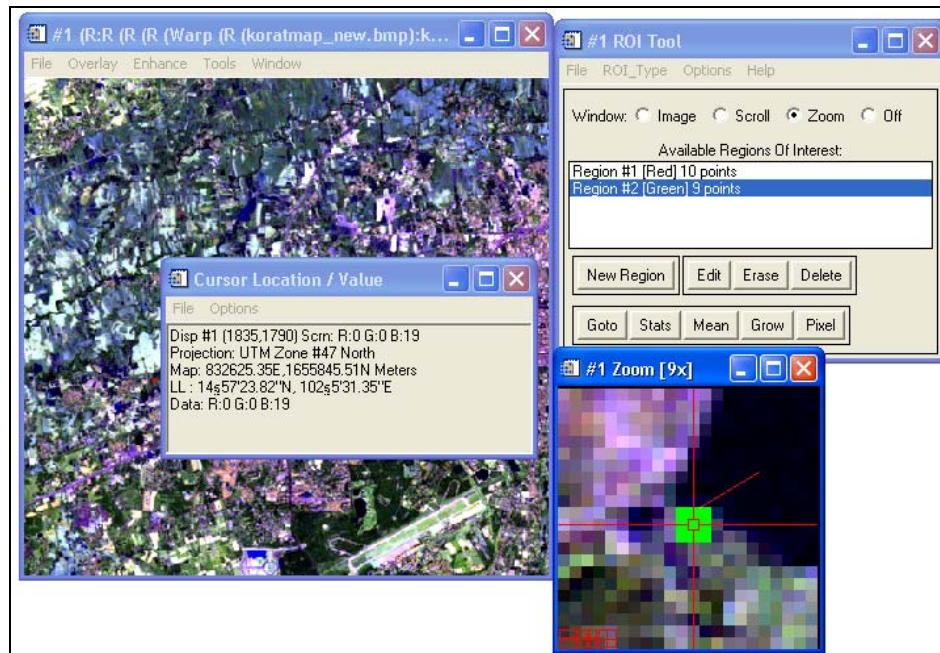
ช่วงอื่นให้เลือก New region ก็จะปรากฏ Region #2 ขึ้นมา แล้วปฏิบัติเหมือนกันกับขั้นตอนเดิม ดัง รูปที่ ค.41



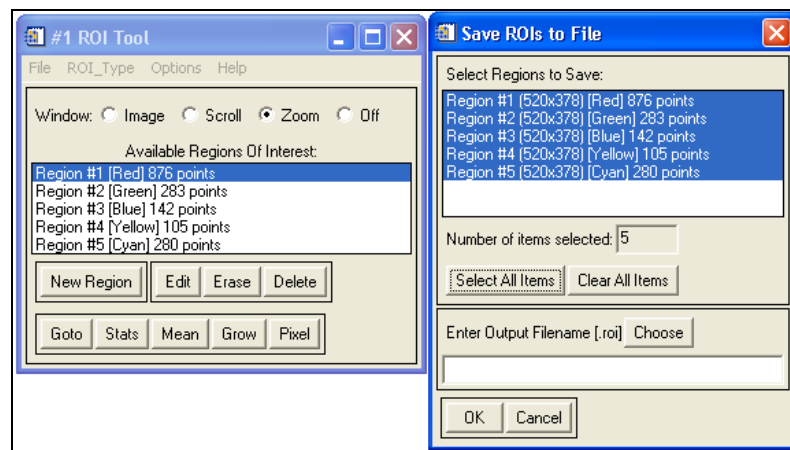
รูปที่ ค.39 การแสดง Cursor location /Value หรือแสดงข้อมูลของภาพและหน้าต่าง ROI Tool



รูปที่ ค.40 การขยายสี่เหลี่ยมที่ตัวอย่างในหน้าต่าง Zoom



รูปที่ ค.41 การกำหนด New region และระบายสี

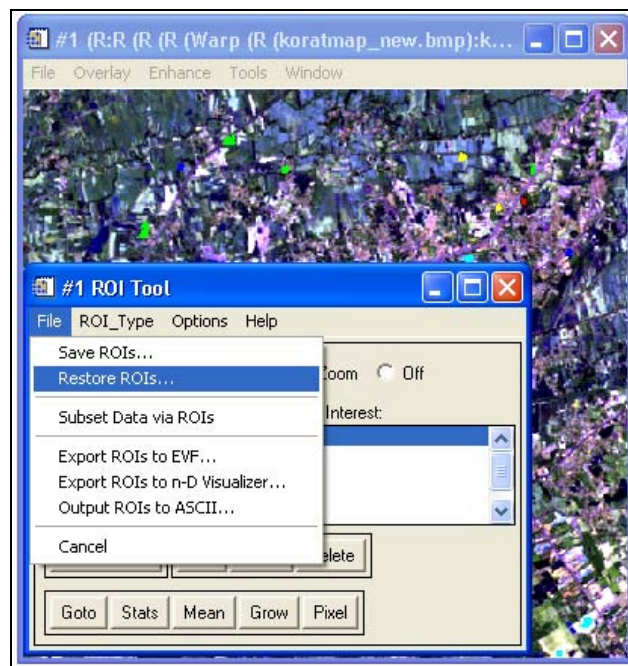


รูปที่ ค.42 หน้าต่าง Save ROI to file

เมื่อทำการกำหนดพื้นที่ตัวอย่างด้วยการระบายสีต่าง ๆ ลงในภาพถ่ายดาวเทียม ในบริเวณพื้นที่สำรวจเรียบร้อยแล้ว ให้ไปที่หน้าต่าง ROI Tool เลือกที่ File → Save ROIs to File จะได้หน้าต่างดังรูปที่ ค.42 แล้วเลือกที่ Select All Item ให้แสดงสีน้ำเงิน แล้วไปเลือกที่ Choose เพื่อตั้งชื่อและจัดเก็บไฟล์ แล้วกด OK ไฟล์ดังกล่าวจะถูกใช้สำหรับเป็นข้อมูลตัวอย่างในการจำแนก ประเภทข้อมูลตามที่คุณใช้กำหนดไว้

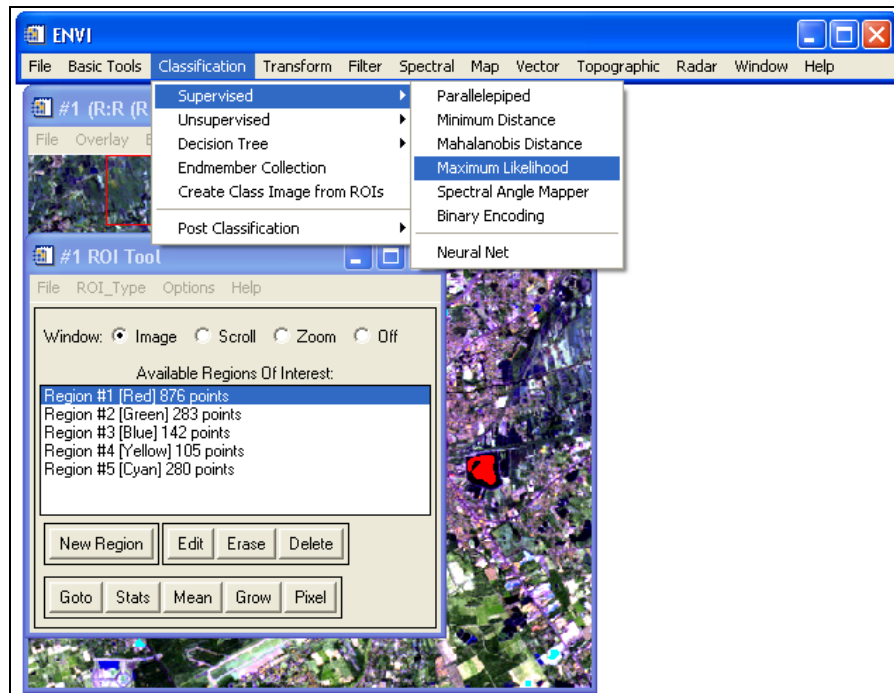
การจำแนกข้อมูลค่าสภาพความต้านทานดิน (Classification)

ในขั้นตอนการจำแนกค่าสภาพความต้านทานดินเริ่มจากการเปิดภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้มีการกำหนดพื้นที่ตัวอย่าง (ROI) จากนั้นให้ทำการตรวจสอบว่าพื้นที่ตัวอย่างได้แสดงบนภาพหรือยัง ถ้ายังไม่แสดงให้ไปที่ Overlay → Region of Interest จะได้หน้าต่าง ROI Tool แล้วเลือกที่ File → Restore ROIs... แล้วไปเลือกไฟล์ ROI ที่ได้จัดเก็บไว้ ออกมาดังรูปที่ ค.43

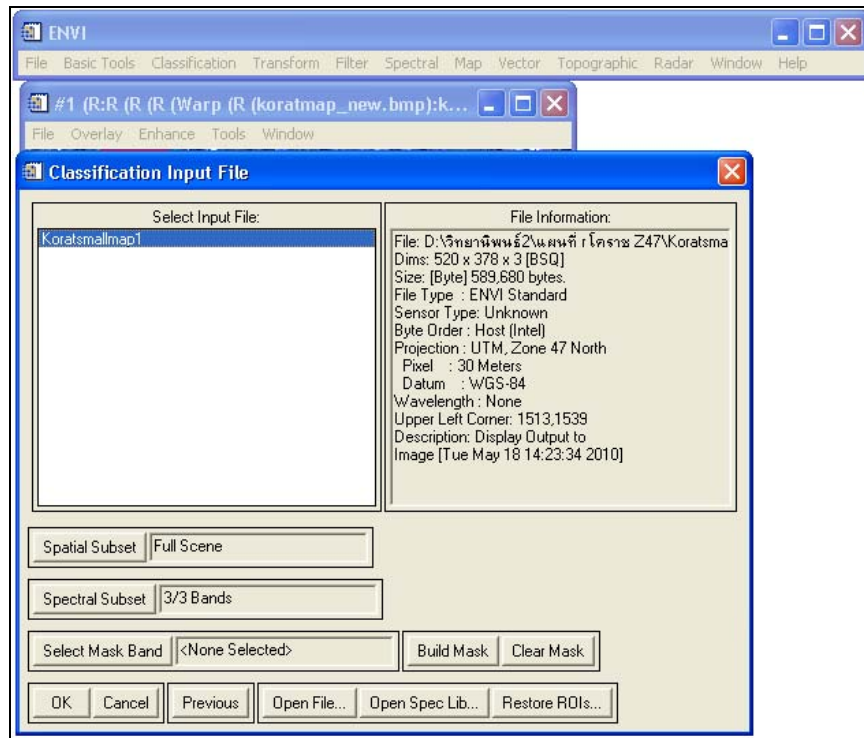


รูปที่ ค.43 การ Restore ROIs มาใช้งาน

เมื่อมีพื้นที่ตัวอย่างสำหรับจำแนกประเภทข้อมูลแล้ว ให้ทำการจำแนกประเภทข้อมูลโดยไปที่หน้าต่างหลักของโปรแกรม ENVI เลือก Classification → Supervised → Maximum Likelihood ดังรูปที่ ค.44 ซึ่งเป็นวิธีการที่ได้ทำการทดสอบมาแล้วว่ามีประสิทธิภาพในการจำแนกประเภทข้อมูลของภาพถ่ายดาวเทียมได้ดี เมื่อเลือกแล้วจะได้หน้าต่าง Classification Input File ดังรูปที่ ค.45 ซึ่งเป็นหน้าต่างที่ใช้เลือกภาพที่จะทำการจำแนกประเภทข้อมูล ถ้าหากเปิดไฟล์ภาพไว้หลายภาพก็จะมีไฟล์ภาพขึ้นมาหลายไฟล์ ให้เลือกไฟล์ที่ต้องการใช้งาน เมื่อคลิกแล้วข้อมูลของภาพจะแสดงขึ้นมาทางด้านคอลัมน์ขวามือ ไม่ต้องทำการตั้งค่าใดในหน้าต่างนี้ จากนั้นให้เลือก OK จะได้หน้าต่าง Maximum Likelihood Parameters ดังรูปที่ ค.46

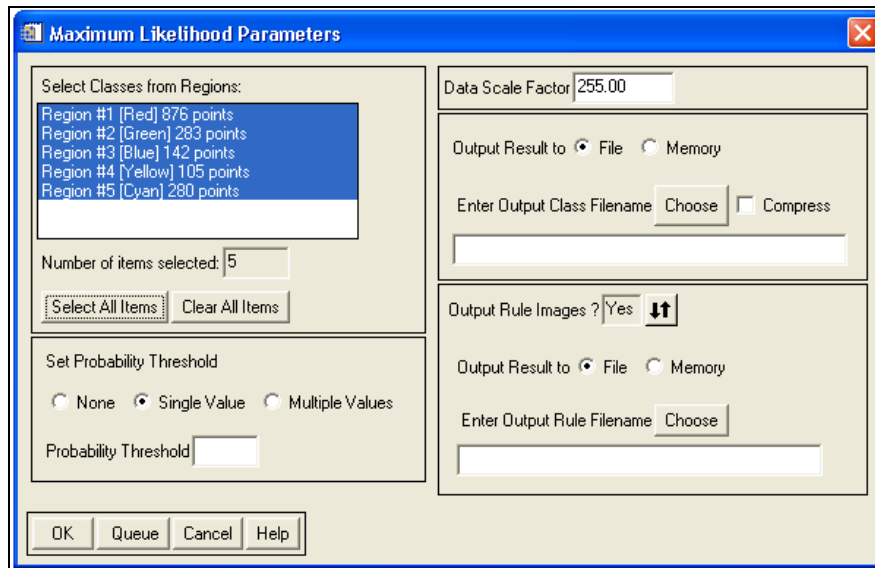


รูปที่ ค.44 วิธีการจำแนกประเภทข้อมูล

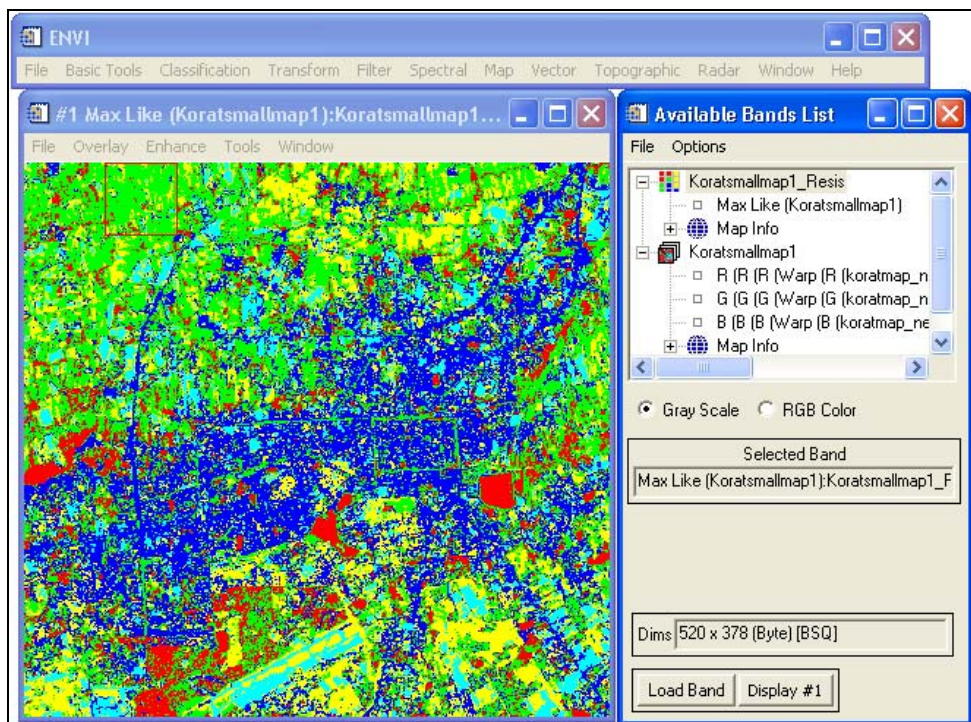


รูปที่ ก.45 หน้าต่าง Classification input file

ในส่วนของหน้าต่าง Maximum Likelihood Parameters ดังรูปที่ ก.46 ในช่อง Select Classes from Region ให้ทำการเลือกทั้งหมดซึ่งเป็นค่า ROI ที่ทำการ Restore File มาในขั้นตอนแรก โดยเลือกที่ Select All Item และในส่วนของ Set Probability Threshold ให้เลือก Single Value ในส่วนของคอลัมน์ทางขวามือ Enter Output Class Filename ให้ทำการตั้งชื่อไฟล์และที่อยู่ในการจัดเก็บไฟล์ภาพ ในส่วนของ Output Rule Image ปกติจะอยู่ในสถานะ Yes ให้เปลี่ยนเป็น No จากนั้นเลือก OK จะได้ไฟล์ใหม่ที่ผ่านการจำแนกประเภทข้อมูลดังรูปที่ ก.47



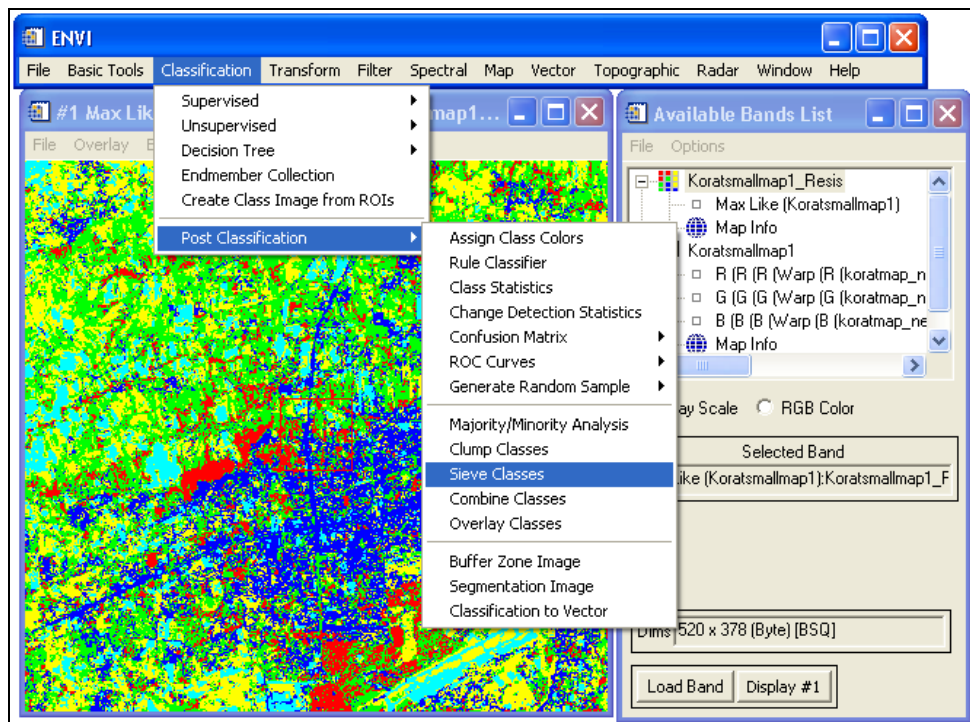
รูปที่ ค.46 หน้าต่าง Maximum likelihood parameters



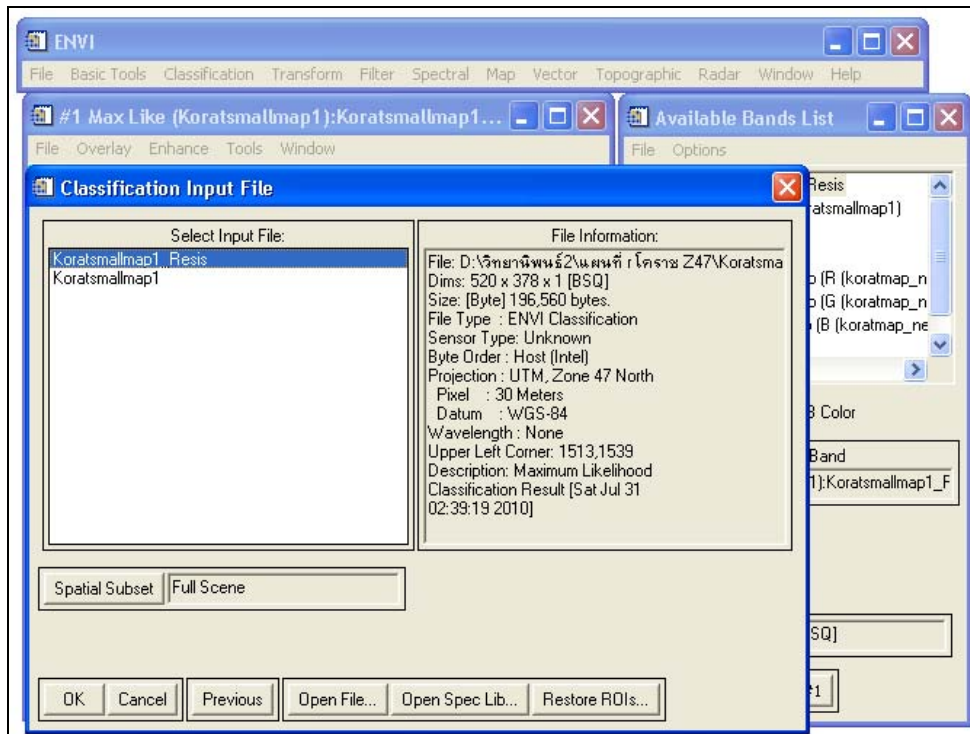
รูปที่ ค.47 ผลการจำแนกค่าสภาพความต้านทานดิน

การปรับปรุงผลการจำแนกค่าสภาพความต้านทานดิน

เมื่อทำการจำแนกข้อมูลเสร็จสิ้นอาจจะนำไปใช้งานหรือวิเคราะห์ที่ใช้ประโยชน์ได้ แต่ถ้ามองการทำให้ผลของการจำแนกมีความสมบูรณ์มากขึ้นต้องมีการปรับปรุง เนื่องจากบางจุดภาพที่ผ่านการจำแนกมาบางจุดอาจจะถูกล้อมรอบไปด้วยค่าข้อมูลอื่น ซึ่งความเป็นไปได้จริง ๆ แล้วจุดจุดนั้นควรจะมีความเหมือนค่าที่อยู่รอบ ๆ มากกว่า ดังนั้นเพื่อความเหมาะสมในผลการจำแนกประเภทข้อมูลจึงต้องมีการปรับปรุงข้อมูล โดยในส่วนของโปรแกรม ENVI มีส่วนของเครื่องมือที่ช่วยในการปรับปรุงคุณภาพข้อมูล โดยไปที่หน้าต่างหลักของโปรแกรม เลือก Classification → Post Classification จะปรากฏคำสั่งต่าง ๆ ดังรูปที่ ค.48 ซึ่งในส่วนของการปรับปรุงผลการจำแนกประเภทข้อมูลนั้น คือ Majority/Minority Analysis, Clump Classes, Sieve Classes, Combine Classes และ Overlay Classes .ซึ่งได้ทำการทดสอบแล้วว่า Sieve Classes มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ในการปรับปรุงผลการจำแนกค่าสภาพความต้านทานดิน เพราะมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในส่วนหนึ่งของบางจุดเท่านั้น แต่บางคำสั่งอาจทำให้ภาพมีการเปลี่ยนแปลงมากจนเกินไป เมื่อทำการเลือกคำสั่งแล้วจะปรากฏหน้าต่าง Classification Input File ดังรูปที่ ค.49 แล้วทำการเลือกไฟล์ภาพที่เป็นไฟล์จากการจำแนกประเภทข้อมูล แล้วเลือก OK

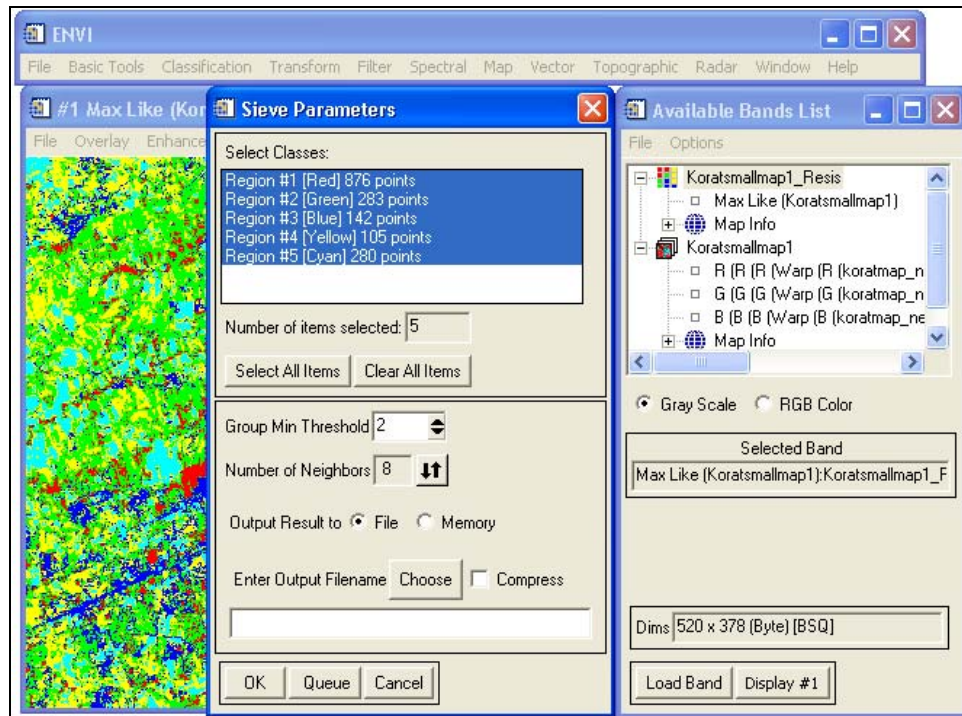


รูปที่ ค.48 การปรับปรุงผลการจำแนกประเภทข้อมูล



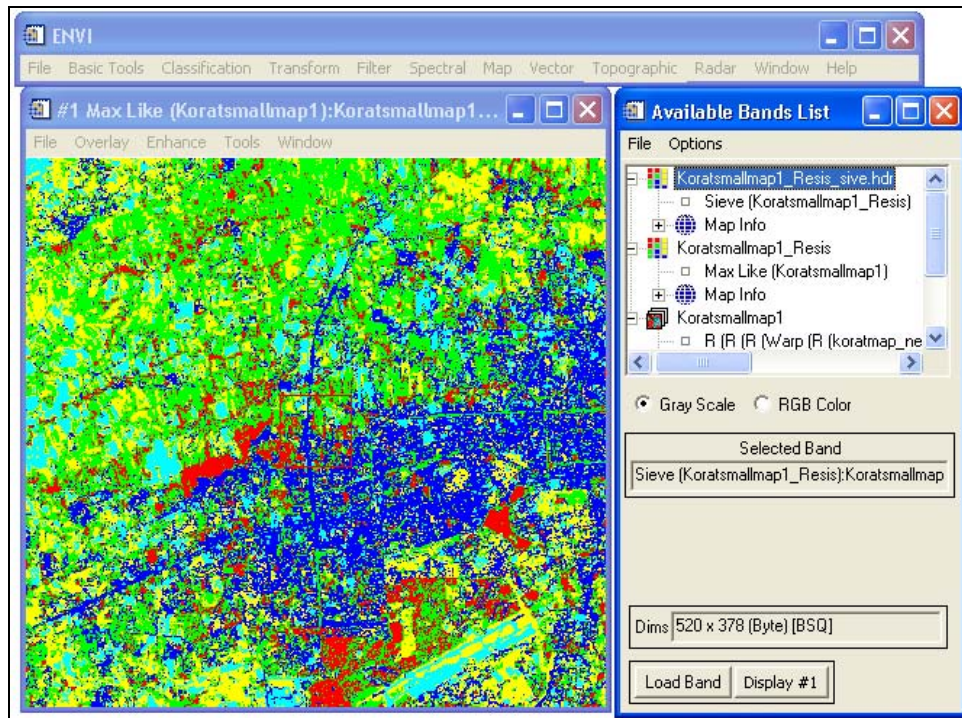
รูปที่ ค.49 หน้าต่าง Classification input file

หลังจากเลือก OK จากหน้าต่าง Classification Input File จะได้นหน้าต่าง Sieve Parameters ดังรูปที่ ค.50 แล้วทำการ Select Classes เลือก Select All Item ในส่วนของ Group Min Threshold และ Number of Neighbors ให้ใช้ตาม default หรือกำหนดเองได้ จากนั้นให้ทำการตั้งชื่อไฟล์ และที่อยู่สำหรับจัดเก็บไฟล์ ที่ Choose แล้วเลือก OK



รูปที่ ค.50 หน้าต่าง Sieve parameters

เมื่อทำการเลือก OK จากหน้าต่าง Sieve Parameters จะได้ไฟล์ใหม่ที่ผ่านการปรับปรุงข้อมูลการจำแนกประเภทข้อมูลตั้งรูปที่ ค.51 ซึ่งภาพที่ได้จะมองไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงมากนัก แต่ถ้าต้องการดูการเปลี่ยนแปลงต้อง Zoom ดู แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงในบางส่วนเท่านั้น หากต้องการปรับปรุงด้วยวิธีอื่นสามารถทำได้เช่นเดียวกันแต่ผลที่ได้อาจจะเปลี่ยนแปลงมากซึ่งไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการจำแนกค่าสภาพความต้านทานดิน

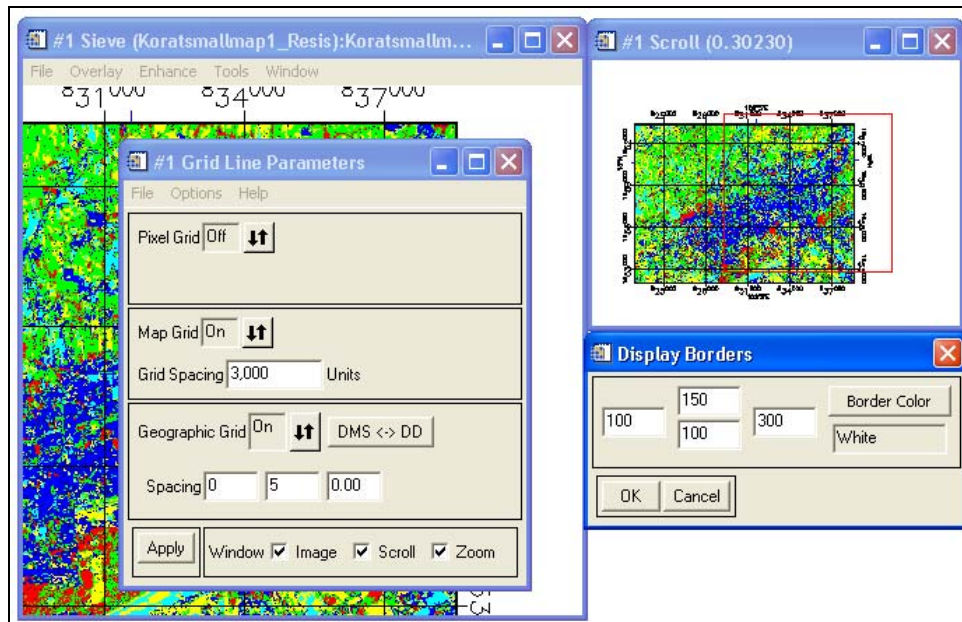


รูปที่ ค.51 ภาพที่ผ่านการ Sieve ข้อมูล

การใส่ข้อมูลเพิ่มเติมให้กับแผนที่สภาพความต้านทานดิน

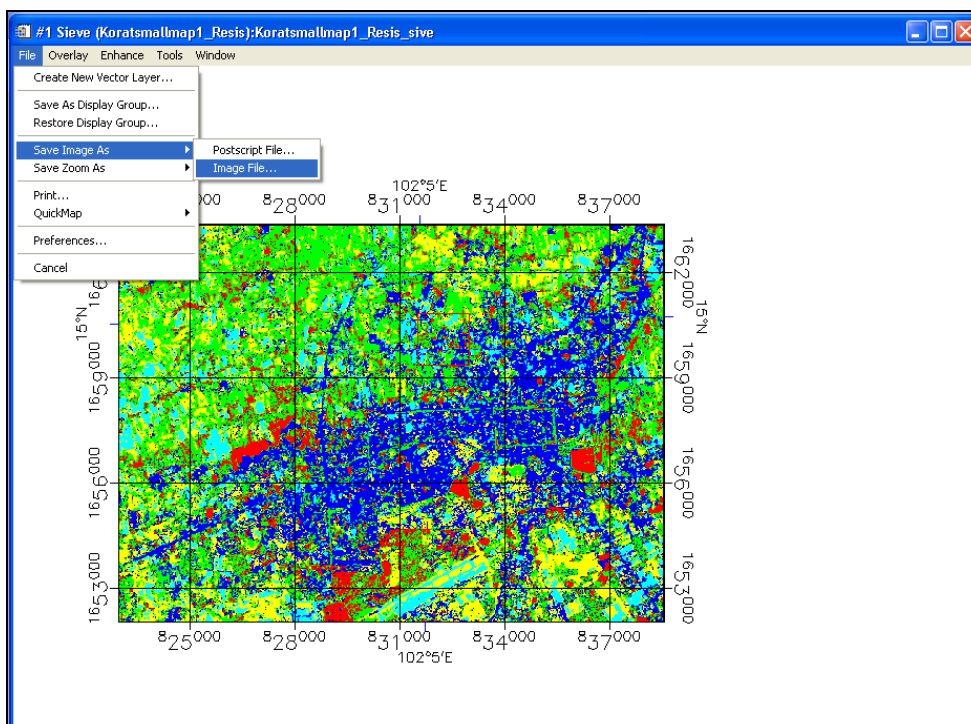
เมื่อได้ทำการจำแนกประเภทข้อมูลเพื่อทำการประมาณค่าสภาพความต้านทานดิน ผลที่ได้จะเป็นภาพที่แบ่งออกเป็นช่วงสีต่าง ๆ ตามที่ได้กำหนดไว้ เพื่อเป็นการตกแต่งทำให้ภาพดังกล่าวมีรายละเอียดเพิ่มเติม หรือสามารถอ่านค่าพิกัดโดยประมาณได้จากแผนที่ ด้วยการใส่กริดลงไปบนภาพ โดยกริดจะบอกเส้นแนวพิกัดทางภูมิศาสตร์ ทั้งแนวเหนือ - ใต้ และแนวตะวันออก - ตะวันตก รวมทั้งการใส่ข้อมูลหรือสัญลักษณ์ต่าง ๆ เพื่อเป็นการเพิ่มรายละเอียดให้กับภาพ จนทำให้สามารถเรียกว่าแผนที่สภาพความต้านทานดินได้

การใส่กริดลงไปบนภาพนั้นทำได้โดยเปิดภาพที่ต้องการหรือภาพที่ได้จากการจำแนกประเภทข้อมูล แล้วไปที่หน้าต่าง Image เลือก Overlay → Grid Line จะปรากฏหน้าต่าง Grid Line Parameter ดังรูปที่ ค.52 ถ้าต้องการตั้งค่า Set display Border จะปรากฏหน้าต่างที่ใช้สำหรับตั้งค่าทั้งขอบซ้าย ขวา บน ล่าง โดยตั้งค่าตามความเหมาะสมสำหรับความต้องการใส่ข้อมูลภาพ



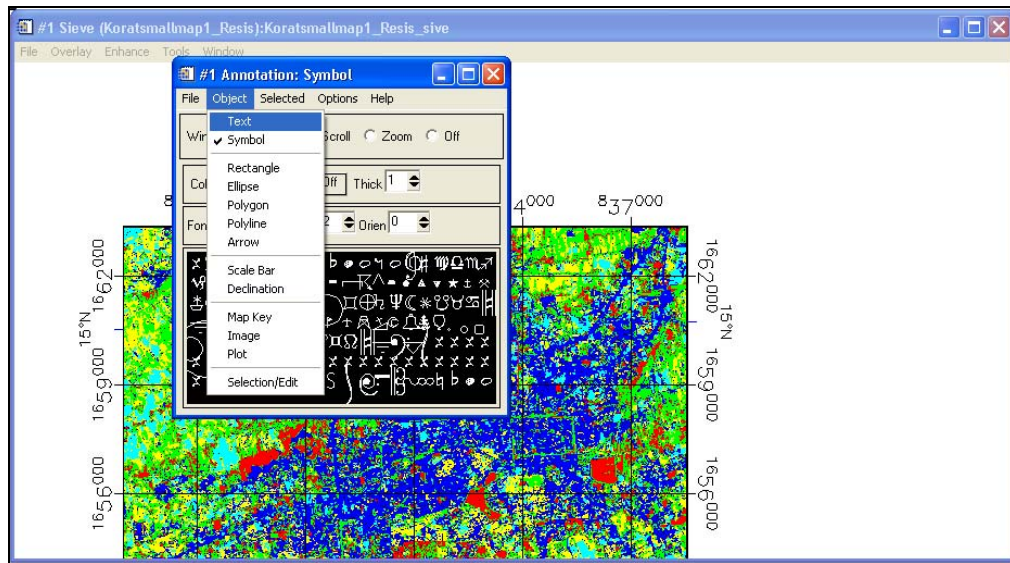
รูปที่ ค.52 หน้าต่าง Grid line parameter

เมื่อทำการตั้งค่าต่าง ๆ ของกริดเรียบร้อยแล้วสามารถดูภาพที่ใส่กริดสมบูรณ์ได้ที่ หน้าต่าง Scroll เมื่อเรียบร้อยแล้ว ทำการบันทึกภาพไว้โดยการเลือก File → Save Image As → Image File แล้วทำการบันทึกภาพซึ่งจะเป็นภาพที่มีกริดบนภาพดังรูปที่ ค.53 ซึ่งสังเกตว่า บนเส้นกริดจะมีแนวพิกัดภูมิศาสตร์ระบุไว้ทำให้สามารถอ่านค่าพิกัดโดยประมาณจากภาพได้



รูปที่ ค.53 การบันทึกภาพแผนที่สภาพความต้านทานดิน

นอกจากการใส่กริดลงบนภาพซึ่งเป็นส่วนสำคัญแล้วการใส่ตัวอักษร หรือ สัญลักษณ์ต่าง ๆ ก็มีส่วนสำคัญที่จะเพิ่มรายละเอียดให้กับภาพ โดยไปที่หน้าต่าง Image เลือกที่ Overlay → Annotation จะปรากฏหน้าต่าง Annotation ดังรูปที่ ค.54 ในส่วนของ Object มี สัญลักษณ์ และตัวอักษรให้เลือกสำหรับใช้ระบุรายละเอียดต่าง ๆ ลงบนภาพแต่มีข้อเสียคือ สัญลักษณ์เหล่านี้ จะไม่ชัดเจนเมื่อทำการบันทึกภาพเป็นไฟล์นามสกุล Jpg หรือ bmp แนะนำให้นำไปใส่ในโปรแกรมเวิร์คเพื่อจะได้ชัดและสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามต้องการ



รูปที่ ค.54 หน้าต่าง Annotation

ค.2.4 การตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่สภาพความต้านทานดิน

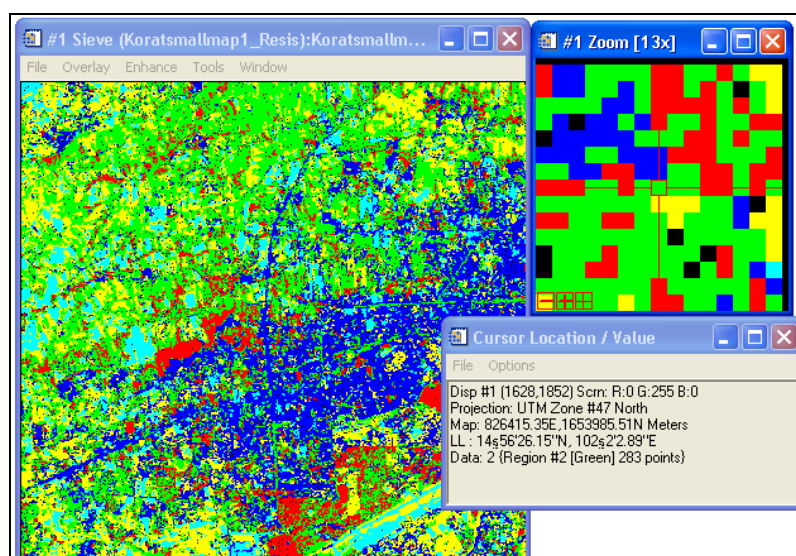
นำข้อมูลค่าสภาพความต้านทานดินที่ได้จากการสำรวจภาคสนามไปเปรียบเทียบกับข้อมูลค่าสภาพความต้านทานดินที่อ่านค่าจากแผนที่สภาพความต้านทานดิน โดยทำการเปรียบเทียบเป็นจุด ๆ แล้วนำข้อมูลที่มีความถูกต้องทั้งหมดมาคิดอัตราส่วนเทียบกับจำนวนจุดที่ใช้ทดสอบความถูกต้อง ตัวอย่างตารางการสำรวจที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้อง ดังตารางที่ ค.54 โดยวิธีการตรวจสอบนั้นทำโดยการเปิดภาพที่ผ่านการจำแนกค่าสภาพความต้านทานดินมาแล้ว จากนั้นให้แสดง Cursor Location เพื่อเลื่อนหาพิกัดที่ต้องการตรวจสอบ เมื่อเลื่อนไปถึงพิกัดที่ต้องการแล้วให้ไปที่หน้าต่าง Zoom แล้วกด Zoom+ ดังรูปที่ ค.55 เพื่อเปรียบเทียบสีของภาพว่าอยู่ในช่วงเดียวกับค่าสภาพความต้านทานดินที่วัดได้จากการสำรวจหรือไม่

ตารางที่ ค.4 ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้อง

ที่	E	N	ค่าสภาพความต้านทานดิน ($\Omega.m$)
1	826417	1653998	26.05
2	826890	1658713	8.19
3	829501	1658334	2.17
4	829657	1661815	27.67

ตารางที่ ค.4 ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้อง (ต่อ)

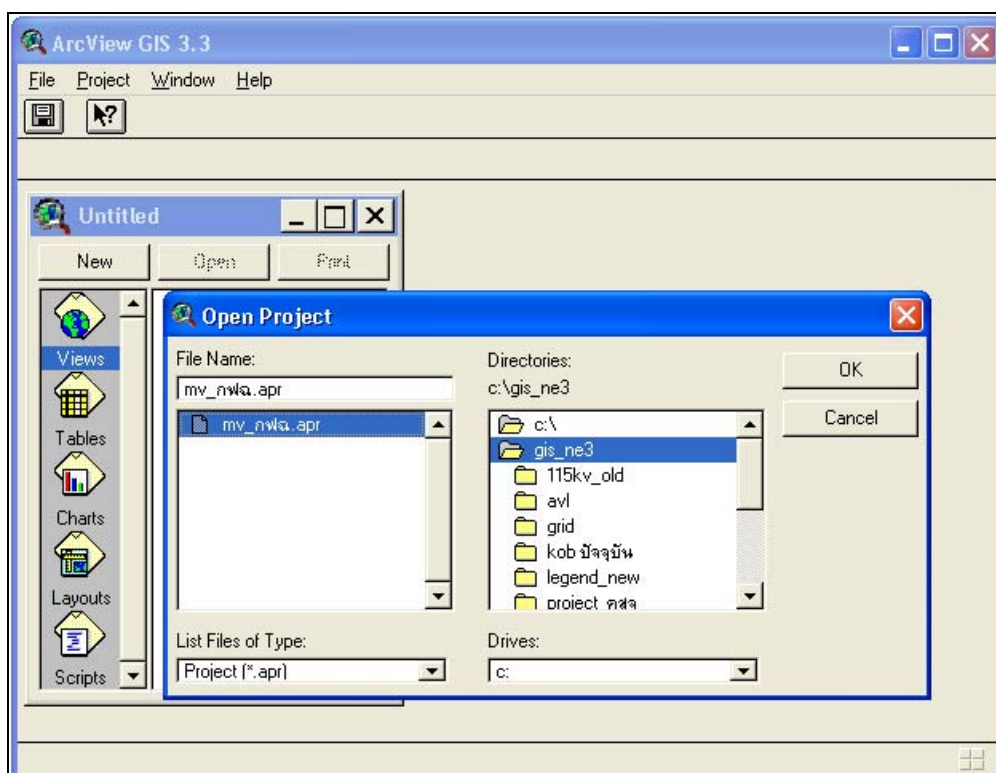
ที่	E	N	ค่าสภาพความต้านทานดิน ($\Omega.m$)
5	830718	1662344	21.1
6	835305	1662018	75.67
7	835408	1660044	164.73
8	837458	1660100	29.37
9	831031	1655423	2.23
10	836609	1658176	513.62
11	831588	1659791	834.5
12	834631	1660098	119.75
13	836007	1661036	72.37
14	836687	1661780	22.27
15	828925	1653766	30.97



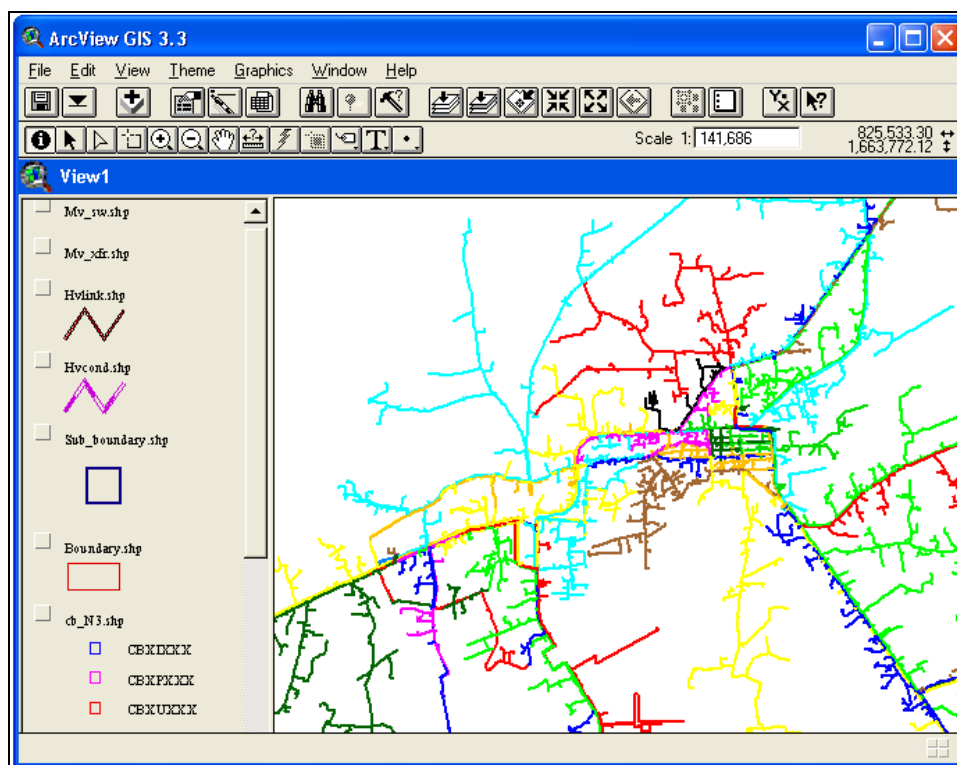
รูปที่ ค.55 การตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่สภาพความต้านทานดิน

ค.3 การวางแผนสายส่งลงบนภาพ

ในขั้นตอนการวางแผนสายส่งทับซ้อนกันกับแผนที่สภาพความต้านทานดิน ใช้โปรแกรม Arc view ซึ่งเป็นโปรแกรมที่มีการประยุกต์ใช้ในการทำแผนที่ รวมทั้งในส่วนของการไฟฟ้า ส่วนภูมิภาคมีการเก็บข้อมูลแนวสายส่งและสถานีไฟฟ้า ในรูปแบบของโปรแกรม Arc view โดยภาพที่จะมาวางซ้อนทับกันนั้นจะต้องมีพิกัดที่ตรงกัน ดังนั้นภาพถ่ายดาวเทียมและแผนที่สภาพความต้านทานดินที่ได้นั้น ต้องมีการเปรียบเทียบพิกัดทางภูมิศาสตร์กับโปรแกรม Arc view ก่อน และทำการปรับเปลี่ยนให้ตรงกัน เมื่อเปิดโปรแกรม Arc view มาแล้วเลือกไปที่ File → Open Project ในส่วนของ List File of Type ให้เลือก Project (*.apr) ดังรูปที่ ค.56 แล้วเลือก Drives C → gis_ne3 จะมีชื่อไฟล์ mv_กฟฉ. apr ซึ่งโฟลเดอร์ gis_ne3 ต้องนำไปไว้ใน Drives : C เมื่อเลือกแล้วให้เลือก OK จะได้น้ำต่างที่แสดงแนวของสายจ่ายกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้า บริเวณจังหวัด นครราชสีมาทั้งหมด ดังรูปที่ ค.57 ซึ่งมีส่วนคอลัมน์ทางซ้ายมือเป็นส่วนที่เป็นการเลือกให้โปรแกรมแสดงข้อมูลต่าง ๆ สามารถเลือกแล้วจะมีลูกศรขึ้นสีดำและข้อมูลก็จะแสดงมาซ้อนทับบนภาพทั้งหมด

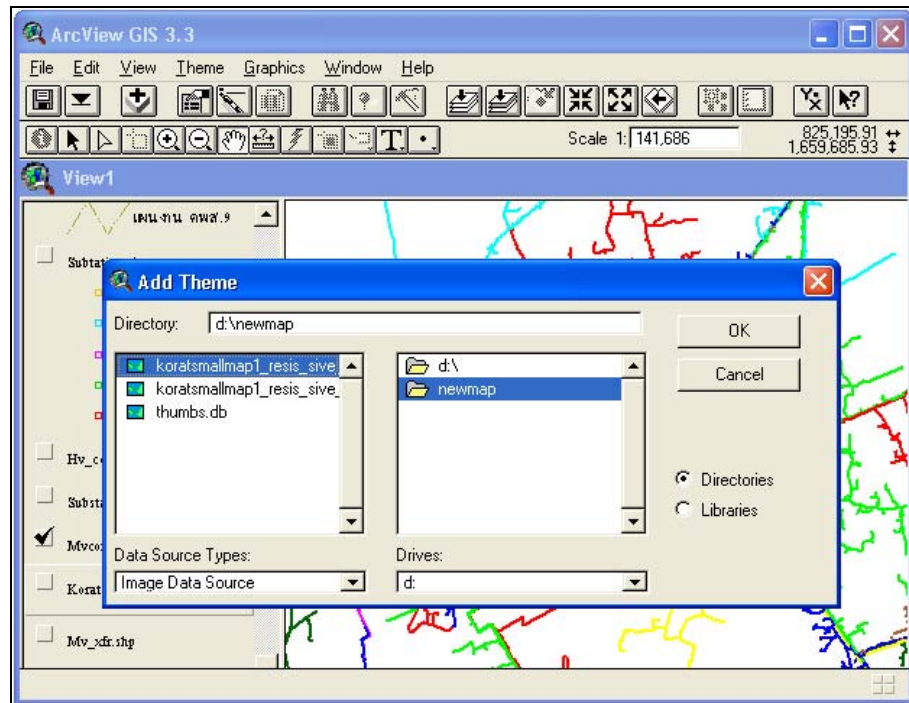


รูปที่ ค.56 หน้าต่างเริ่มต้นของโปรแกรม Arc view

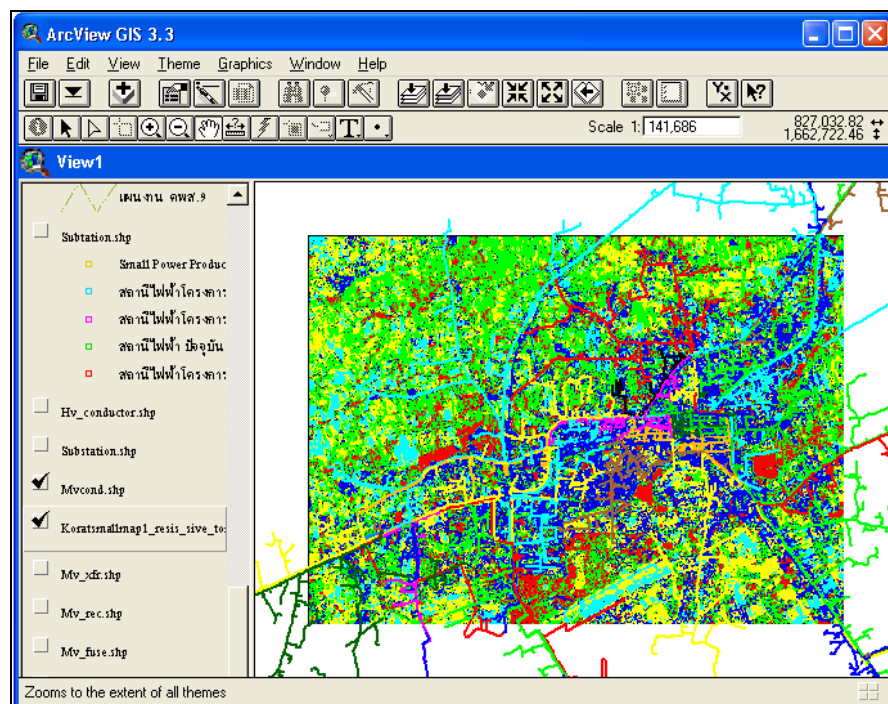


รูปที่ ค.57 หน้าต่างโปรแกรม Arc view ที่แสดง สายจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 kV

ในขั้นการนำแผนที่สภาพความต้านทานดินมาวางทับลงบนสายจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ ด้วยโปรแกรม Arc view ทำได้โดยใช้คำสั่ง Add Theme จากนั้นจะได้หน้าต่างดังรูปที่ ค.58 ให้เลือก Data Source Type → Image Data Source หน้าต่างจะแสดงไฟล์ที่เป็นภาพขึ้นมาทั้งหมดจากไดรฟ์ที่ได้เลือกไว้ทางคอลัมน์ทางขวามือ เมื่อเลือกเสร็จแล้วชื่อไฟล์ที่ได้ทำการเลือกไว้จะไปปรากฏบนคอลัมน์ทางขวามือบนหน้าต่าง Arc view ซึ่งเมื่อเลือกไฟล์นั้นภาพก็จะแสดงซ้อนทับกันบนสายจ่ายกำลังไฟฟ้า แต่ต้องทำการเลื่อนลงไปไว้ด้านล่างสุด เพราะโปรแกรมจะแสดงข้อมูลของไฟล์ที่อยู่ล่างสุด มาบนสุด ถ้าไม่เลื่อนไฟล์ลงไปด้านล่าง ภาพแผนที่สภาพความต้านทานดินจะทับบนสายจ่าย ทำให้มองไม่เห็นแนวของสายจ่ายกำลังไฟฟ้า ตัวอย่างภาพที่ดูกวางแนวสายจ่ายกำลังไฟฟ้าแล้วดังรูปที่ ค.59 โดยสายจ่ายแต่ละ Feeder ของสถานีไฟฟ้านั้นจะใช้สีของเส้นที่แตกต่างกันไป

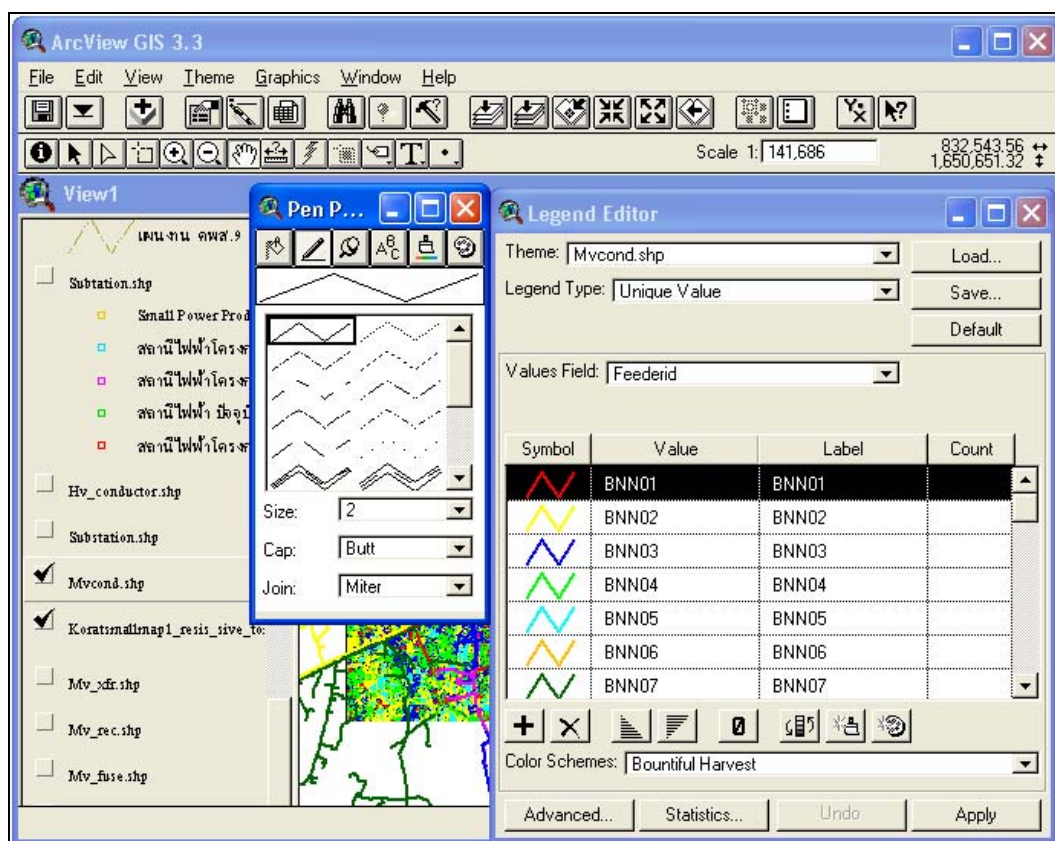


รูปที่ ก.58 หน้าต่างคำสั่ง Add Theme



รูปที่ ค.59 แผนที่สภาพความต้านทานดินชั้นทับบนสายจ่ายไฟฟ้า บนโปรแกรม Arc view

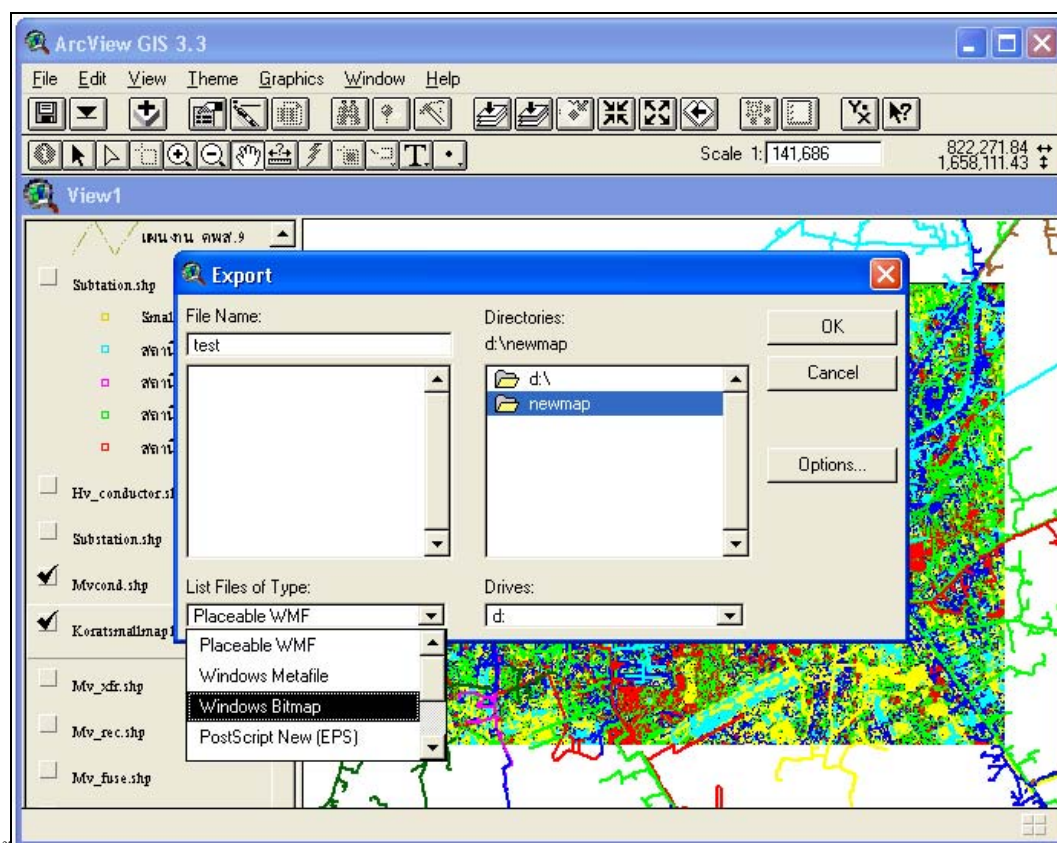
เมื่อต้องการเปลี่ยนแปลงข้อมูลต่าง ๆ บนโปรแกรม Arc view เช่นขนาดของเส้น หรือสีของเส้น หรือต้องการให้แสดงเพียง Feeder บางเส้น ทำได้การดับเบิลคลิกที่ตัวข้อมูลนั้น ๆ เช่น ตัวอย่างต้องการเปลี่ยนขนาดเส้นของสายจ่ายกำลังไฟฟ้า ก็ดับเบิลคลิกที่ไฟล์ที่ชื่อว่า Mvcond.shp จะได้หน้าต่าง Legend Editor ดังรูปที่ ค.60 ซึ่งบนหน้าต่างนี้จะแสดงข้อมูลลักษณะของเส้นและสี และแบบของเส้น ซึ่งสามารถทำการปรับเปลี่ยนหรือแก้ไขได้ทุกเส้นโดยต้องแก้ไขไปที่ละเส้น



รูปที่ ค.60 หน้าต่างการปรับเปลี่ยนข้อมูลสายจ่าย 22 kV

เมื่อต้องการบันทึกภาพจากโปรแกรม ซึ่งสามารถที่จะทำการ Export ภาพจากโปรแกรม Arc view ได้โดยสามารถ Export ให้เป็นไฟล์นามสกุล BMP ได้โดยเลือกที่ File → Export จะได้หน้าต่างดังรูปที่ ค.61 ในส่วนของ List File of Type ให้เลือก Windows Bitmap และตั้งชื่อไฟล์ และที่อยู่สำหรับจัดเก็บไฟล์ แล้วเลือก OK จะได้ภาพที่ต้องการ แต่ภาพที่ได้อาจจะมีส่วนที่ไม่

ต้องการเพราะภาพที่บันทึกนั้น โปรแกรมจะทำการบันทึกภาพที่ขึ้นเต็มหน้าต่างหลัก ของโปรแกรม ดังนั้นเมื่อได้ภาพมาแล้ว สามารถใช้โปรแกรมอื่นมาตัดภาพในส่วนที่เราต้องการได้



รูปที่ ค.61 หน้าต่าง Export ภาพจากโปรแกรม Arc view

ภาพที่ได้จากการวางซ้อนทับกันระหว่างภาพแผนที่สภาพความต้านทานดินกับเส้นสายจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ จากโปรแกรม Arc view นั้นจะนำไปใช้ในการวิเคราะห์เพื่อประมาณอัตราส่วนของค่ากระแสลัดวงจรลงดินในสายจ่ายกึ่งไฟฟ้าของแต่ละ Feeder และปรับเปลี่ยนให้สีของเส้นสายจ่ายกำลังไฟฟ้าเป็นเส้นสีขาวเพื่อให้สะดวกในการ โปรแกรมและเลือกมาครั้งละ Feeder โดยการใช้การเขียนโปรแกรม ด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อเป็นการนำไปใช้ประโยชน์ในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าต่อไป

ภาคผนวก ง
อุปกรณ์การดำเนินงาน

ง.1 เครื่องมือวัดค่าสภาพความต้านทานดิน

เครื่องมือวัด METREL Earth Tester รุ่น MI 2124 เป็นเครื่องมือที่สามารถทำการวัดได้หลายแบบซึ่งรวมถึงวัดค่าสภาพความต้านทานดิน ที่ให้หน่วยเป็น ($\Omega.m$) ลักษณะทั่วไปและส่วนประกอบของตัวเครื่องมือวัดแสดงดังรูปที่ ง.1



รูปที่ ง.1 เครื่องวัดความต้านทานดิน

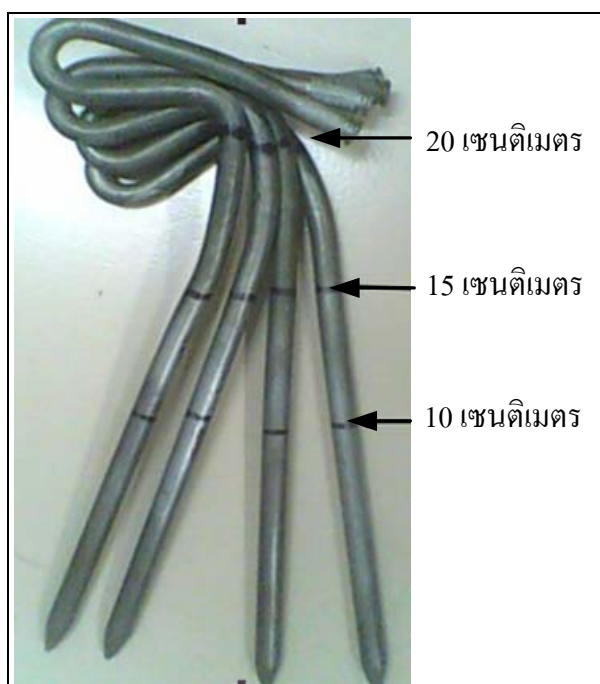
คุณสมบัติ

- วัดค่าความต้านทานดินแบบ 2 ขั้ว 3 ขั้ว 4 ขั้ว 4 ขั้ว + Clamp และแบบ 2 Clamp
- วัดค่าความต้านทานดินแบบ 2 Clamps ใช้งานสำหรับการต่อกราวด์หลายจุด โดยไม่ต้องปลดจุดต่อลงกราวด์
- วัดค่าความต้านทานจำเพาะของดิน
- วัดแบบอัตโนมัติประมวลด้วยตัวเครื่อง แสดงผลเป็นดิจิตอลบนหน้าจอแสดงผลเตือนเมื่อมีสัญญาณรบกวน
- สามารถปรับระยะการวัดได้ โดยมีหน่วยเป็นเมตร โดยที่แท่งอิเล็กโทรดมีความลึกสูงสุด 20 เซนติเมตร
- ทำงานด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ในตัวเครื่อง

- ส่วนประกอบที่ใช้ร่วมกับของเครื่องมือวัดค่าสภาพความต้านทานดินคือ สายไฟ 4 เส้น ดังรูปที่ ง.2 และแท่งอิเล็กโทรด 4 แท่ง ดังรูปที่ ง.3



รูปที่ ง.2 สายไฟสำหรับวัดค่าสภาพความต้านทานดิน



รูปที่ ๓.๓ แท่งอิเล็กโทรดสำหรับวัดค่าสภาพความต้านทานดิน

๓.๒ เทอร์โมมิเตอร์ Thermometer รุ่น WT-1



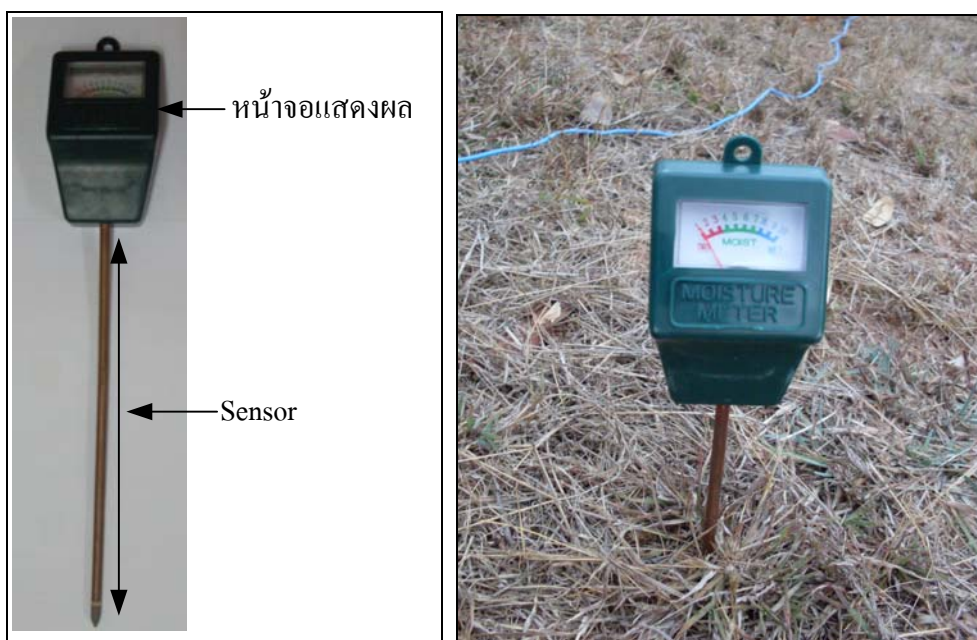
รูปที่ ๓.๔ เทอร์โมมิเตอร์ รุ่น WT-1

คุณสมบัติ

- Temperature Range : -50°C ถึง $+300^{\circ}\text{C}$
- ความเที่ยง $\pm 1^{\circ}\text{C}$
- แบตเตอรี่ขนาด 1.5 V
- สามารถบันทึกค่าการวัดล่าสุดได้
- เตือนแบตเตอรี่ต่ำ
- ปิดเครื่องอัตโนมัติ ภายใน 15 นาทีเมื่อไม่มีการใช้งาน
- แสดงสถานะของ Sensor
- เลือกรหัสอุณหภูมิระหว่าง $^{\circ}\text{C}$ กับ $^{\circ}\text{F}$ ได้
- สามารถนำมาใช้วัดอุณหภูมิของผิวดินได้ ซึ่งในการวัดแต่ละครั้งควรใช้เวลาประมาณ

5 นาที

ง.3 เครื่องมือวัดความชื้นในดิน



รูปที่ ง.5 เครื่องมือวัดความชื้นในดิน

คุณสมบัติ

- ใช้ได้กับดินทุกประเภท
- สะดวกในการตรวจวัดค่าความชื้นในดินบริเวณผิวดิน
- ให้หน่วยการวัดเป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้นระหว่าง 0 - 100%
- ทำงานด้วยแบตเตอรี่ในตัวเครื่อง

ง.4 เครื่องระบุพิกัดทางภูมิศาสตร์

เครื่องระบุพิกัดทางภูมิศาสตร์ GARMIN รุ่น etrex H ดังรูปที่ ง.6 เป็นเครื่องที่สามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมเพื่อใช้ระบุพิกัดบนพื้นผิวโลกได้ โดยใช้ดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง ซึ่งขณะใช้งานควรอยู่ในบริเวณโล่งแจ้ง ไม่ควรอยู่ในอาคารเพราะจะทำให้การรับสัญญาณจากดาวเทียมได้ไม่ดี



รูปที่ ง.6 เครื่องวัดพิกัดภูมิศาสตร์ Etrex H

คุณสมบัติ

- เป็นเครื่องมือค้นหาและระบุพิกัดบน โลก โดยใช้สัญญาณจากดาวเทียมในระบบ หรือเรียกว่าระบบ GPS

- มีจำนวนช่องรับสัญญาณแบบ Parallel จำนวน 12 ช่อง
- มีความคลาดเคลื่อนของการหาตำแหน่งน้อยกว่า 15 เมตร RMS
- มีจอภาพแบบ LCD ซึ่งมีไฟส่องสว่างหน้าจอ
- มีอัตราการคำนวณค่าพิกัด (Update rate) ได้เร็วถึง 1 วินาที
- สามารถแสดงตำแหน่งพิกัดทั้งระบบพิกัด UTM และ Latitude/ Longitude
- สามารถแสดงค่าพิกัดได้ทั้ง Datum ของระบบสากล (WGS84) และ Datum ที่ใช้กับ

ประเทศไทย

- สามารถบันทึกข้อมูลตำแหน่งพิกัดได้ไม่น้อยกว่า 500 จุด และ สร้างเส้นทางได้ มากถึง 20 เส้นทาง

- บันทึกข้อมูลค่าพิกัดโดยอัตโนมัติ (Track log) ได้ถึง 10,000 จุด และสามารถใช้แยก จัดเก็บได้ 10 Saved tracks

- สามารถใช้เพื่อนำทาง (Navigation) ไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้ โดยที่แสดงเป็น ระยะทางและทิศทาง

- สามารถพล็อตจุดพิกัดและเส้นทางได้ โดยสามารถทำการ Pan, Scan และ Zoom หน้าจอ พล็อตเตอร์ได้

- เครื่องมีลักษณะทนทานต่อการกระแทก และสามารถกันน้ำได้

- ใช้ไฟจากถ่านแบตเตอรี่ขนาด AA จำนวน 2 ก้อน และสามารถทำงานต่อเนื่องได้ ไม่น้อยกว่า 17 ชั่วโมง

- รองรับสัญญาณดาวเทียมระบบ WAAS

- มีพอร์ตสำหรับต่อเข้าคอมพิวเตอร์ได้

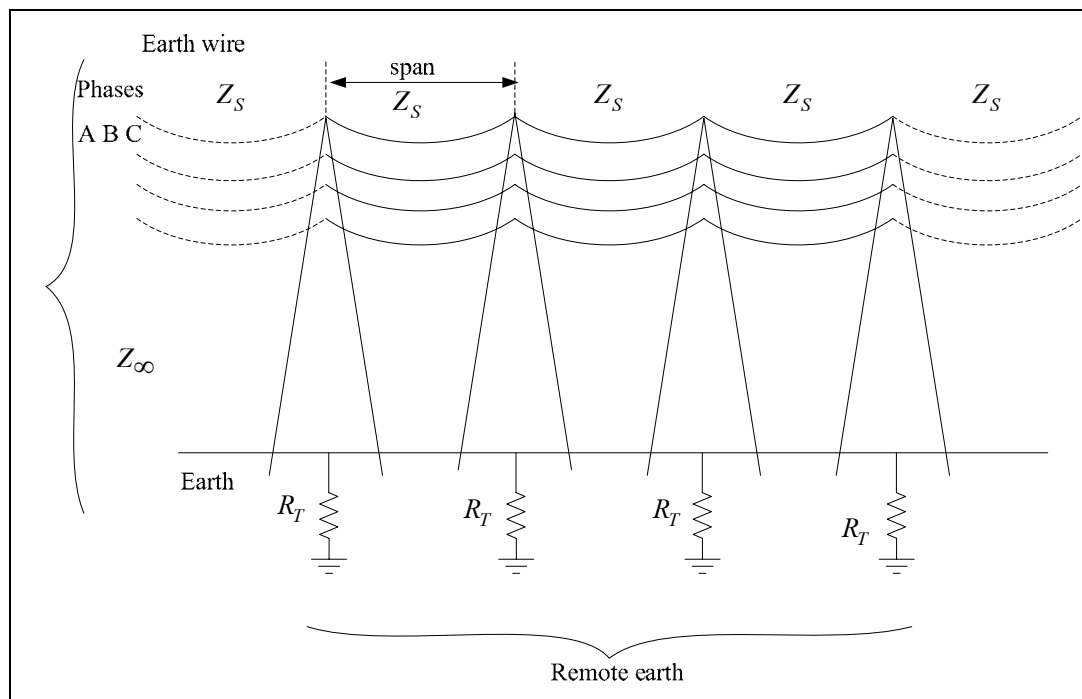
ภาคผนวก จ

รายละเอียดเบื้องต้นของแนวทางในการวิจัยต่อ

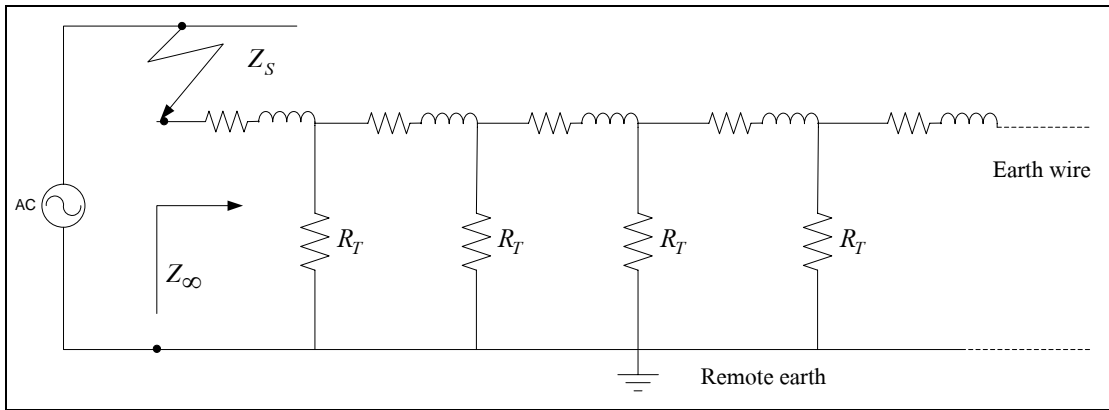
การนำแผนที่สภาพความต้านทานดินไปประยุกต์ใช้ในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงดันสูงระหว่างสถานีไฟฟ้าต้นทางกับสถานีไฟฟ้าปลายทาง ซึ่งมีการส่งจ่ายในระยะไกล ดังนั้นต้องเพิ่มพื้นที่การสร้างแผนที่สภาพความต้านทานดินให้ครอบคลุมพื้นที่ในระบบส่งจ่าย ซึ่งมีการสร้างแบบจำลองไว้ 2 แบบ โดย Nasser (2008). คือ แบบจำลองการเกิดลัดวงจรที่สถานีไฟฟ้างดรูปที่ จ.4 และแบบจำลองการเกิดการลัดวงจรบนสายส่งระหว่างสถานีไฟฟ้าต้นทางและปลายทาง ดังรูปที่ จ.5 โดยที่นำค่าจา แผนที่สภาพความต้านทานดินมาใช้ในสมการที่ จ.1 ซึ่งเป็นการพิจารณาความต้านทานระหว่างผิวดินกับรีโมทเอิร์ธ เปรียบเสมือนให้กระแสไหลจากพื้นดินไปสู่รีโมทเอิร์ธ และทำให้กระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับนั้นไหลผ่านดินที่เป็นรีโมทเอิร์ธ โดยวงจรสมมูลอิมพีแดนซ์ของสายส่งแสดงดังรูปที่ จ.1 - จ.3

$$R_T = \frac{\rho_e}{2\pi r} \quad (จ.1)$$

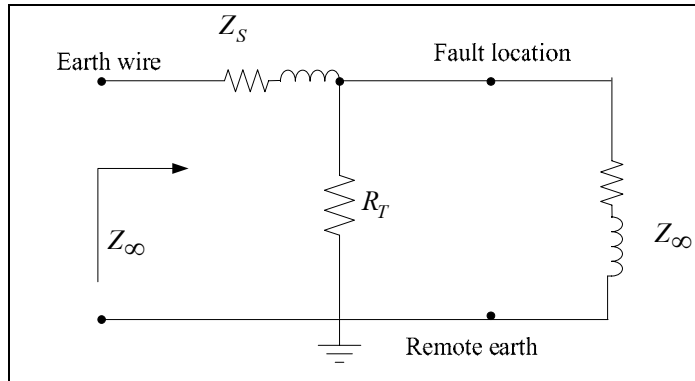
โดยที่ r คือระยะลึกของแท่งอิเล็กโทรดของเสาไฟฟ้า



รูปที่ จ.1 อิมพีแดนซ์ของสายส่งกำลังไฟฟ้า



รูปที่ จ.2 วงจรสมมูลค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งกำลังไฟฟ้า

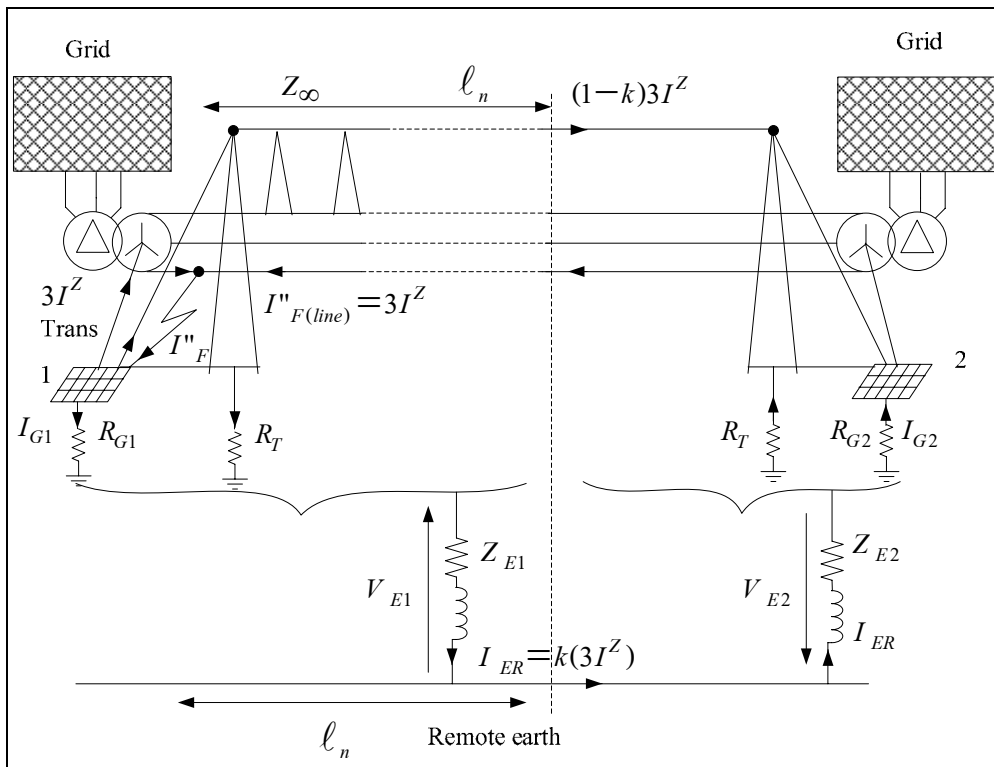


รูปที่ จ.3 วงจรสมมูลรวมของค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งกำลังไฟฟ้า

จากรูปที่ จ.3 เป็นวงจรสมมูลของค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งกำลังไฟฟ้าและรีโมทเอิร์ธ จะได้ว่า Z_{∞} มีค่าดังสมการ

$$Z_{\infty} = Z_s + \frac{Z_{\infty} R_T}{Z_{\infty} + R_T} \tag{จ.2}$$

พิจารณาการเกิดการลัดวงจรในสถานีไฟฟ้าในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า การเกิดลัดวงจรในสถานีไฟฟ้านั้น จะส่งผลต่อสถานีไฟฟ้าที่เชื่อมต่อในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าด้วยกัน โดยที่กระแสลัดวงจรจะไหลไปยังกราวด์กริดของสถานีไฟฟ้าในระบบด้วย ดังรูปที่ จ.4



รูปที่ จ.4 การวิเคราะห์กระแสลัดวงจรลงดินย้อนกลับใน สถานีไฟฟ้าของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงดันสูง

จากรูปที่ จ.4 ค่าของกระแสลัดวงจรลงดินเป็นค่าผลรวมของกระแสจากสายส่งและ หม้อแปลงไฟฟ้า ดังสมการ

$$I''_F = I''_{F(trans)} + I''_{F(line)} \tag{จ.3}$$

เนื่องจากเป็นกระแสลัดวงจรหนึ่งเฟสลงดินมูลฐานลำดับเฟสศูนย์ (Zero Phase Sequence : ZPS) จึงได้สมการ

$$I''_F = 3I^Z_{(trans)} + 3I^Z_{(line)} \tag{จ.4}$$

กระแสไฟฟ้าย้อนกลับที่ไหลผ่านสายป้องกันฟ้าผ่าระยะ l_n หาค่าได้จากสมการ

$$I_{ER} = k \times (3I^Z) \quad (จ.5)$$

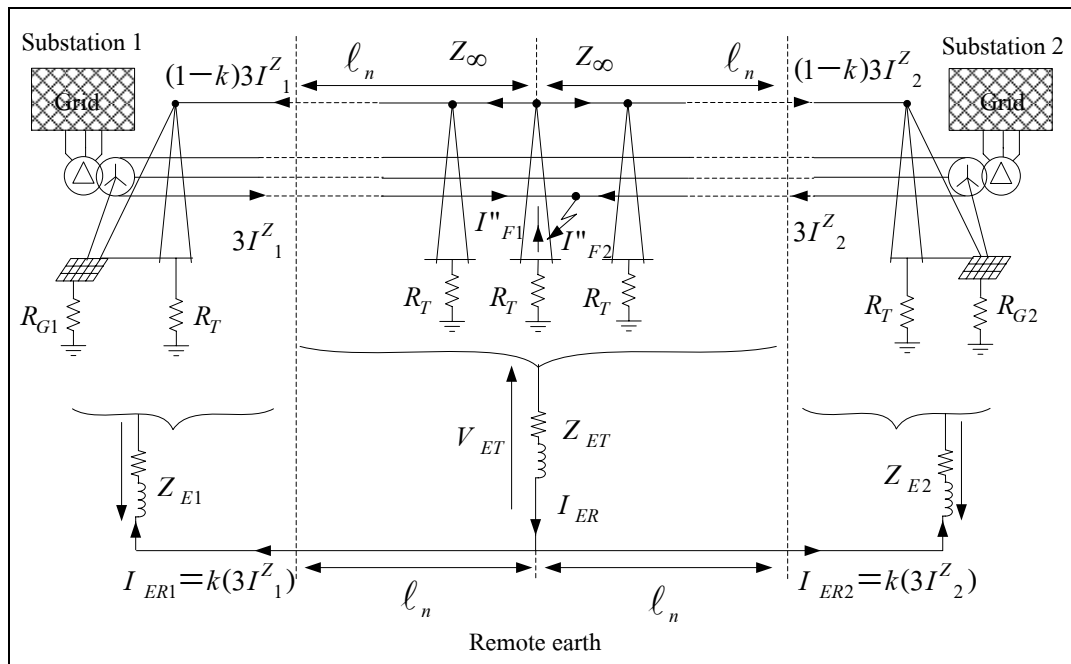
ค่าของกระแสไฟฟ้าบนตัวนำสายป้องกันฟ้าผ่าหาได้ดังสมการ

$$I_S = (1-k) \times (3I^Z) \quad (จ.6)$$

ค่าอิมพีแดนซ์ Z_{E1} ซึ่งเป็นค่าอิมพีแดนซ์รวมของกราวด์กริดของสถานีไฟฟ้าและอิเล็กโทรดของสายส่งหาได้ดังสมการ

$$Z_{E1} = \frac{1}{\frac{1}{R_{G1}} + \frac{1}{Z_{\infty}}} \quad (จ.7)$$

พิจารณาการเกิดการลัดวงจรลงดินในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เกิดการลัดวงจรระหว่าง 2 สถานีไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกันกระแสลัดวงจรลงดินถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน และไหลไปยังสถานีไฟฟ้า ทั้ง 2 โดยไหลผ่านพื้นดิน และสายป้องกันฟ้าผ่า ดังรูปที่ จ.5



รูปที่ จ.5 การวิเคราะห์กระแสลัดวงจรลงดินย้อนกลับระหว่าง 2 สถานีไฟฟ้าของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงดันสูง

ผลรวมของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรจากสายส่งที่มาจากทั้ง 2 สถานีไฟฟ้า ดังสมการ

$$I''_F = I''_{F1} + I''_{F2} \tag{จ.8}$$

เขียนให้อยู่ในรูปของลำดับกระแสไฟฟ้า ZPS ได้ดังสมการ

$$I''_F = 3I_1^Z + 3I_2^Z \tag{จ.9}$$

กระแสไฟฟ้าบนตัวนำสายป้องกันฟ้าผ่าที่ไหลไปยังสถานีไฟฟ้าทั้ง 2 หาได้จากสมการ

$$I_{S1} = (1-k) \times (3I_1^Z) \tag{จ.10}$$

$$I_{S2} = (1-k) \times (3I_2^Z) \tag{จ.11}$$

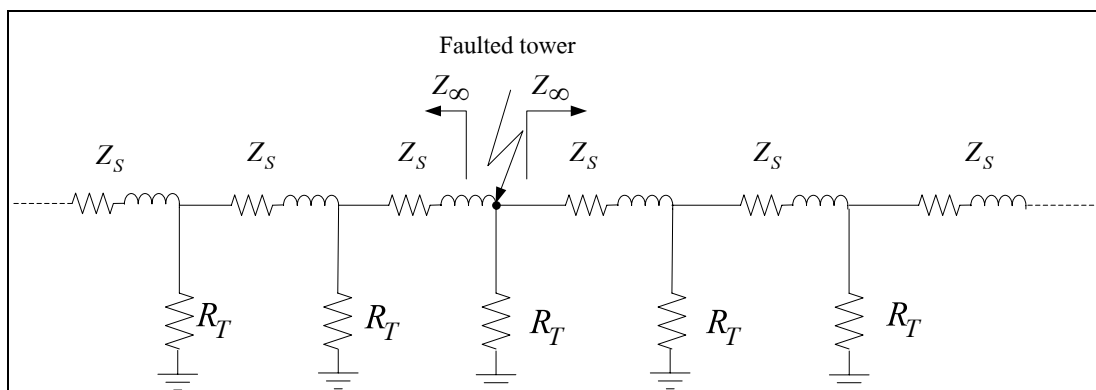
โดยที่ k คือ Screening factor ของสายตัวนำค่าของกระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับสู่สถานีไฟฟ้า ทั้ง 2 สถานี ซึ่งไหลผ่านรีโมทเออร์ธ หาได้จากสมการ

$$I_{ER1} = k \times (3I_1^Z) \quad (จ.12)$$

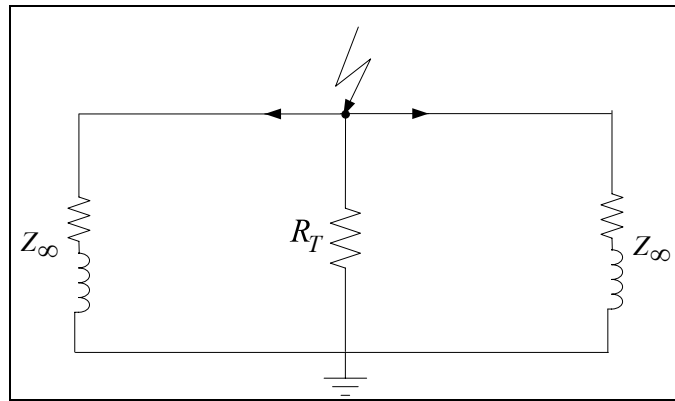
$$I_{ER2} = k \times (3I_2^Z) \quad (จ.13)$$

ค่าของกระแสลัดวงจรที่มีการไหลย้อนกลับผ่านรีโมทเออร์ธทั้งหมด ดังสมการ

$$I_{ER} = I_{ER1} + I_{ER2} = k[(3I_1^Z) + (3I_2^Z)] \quad (จ.14)$$



รูปที่ จ.6 วงจรสมมูลของกระแสลัดวงจรลงดินย้อนกลับระหว่าง 2 สถานีไฟฟ้าของระบบส่งจ่าย กำลังไฟฟ้าแรงดันสูง



รูปที่ จ.7 วงจรสมมูลรวมของกระแสลัดวงจรลงดินย้อนกลับระหว่าง 2 สถานีไฟฟ้าของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงดันสูง

จากรูปที่ จ. 6 และ จ.7 เมื่อนำมาพิจารณาค่าของอิมพีแดนซ์ได้ดังสมการ

$$Z_E = \frac{1}{\frac{1}{R_G} + \sum_i \frac{1}{Z_{\infty(i)-line}} + \sum_i \frac{1}{Z_{Sheath/armour(j)-cable}}} \quad (\text{จ.15})$$

จากสมการ จ.15 โดยพิจารณารูปที่ จ. 6 และ จ.7 ได้สมการเพื่อหาผลรวมของอิมพีแดนซ์ดังสมการ

$$Z_{ET} = \frac{1}{\frac{1}{R_T} + \frac{2}{Z_{\infty}}} \quad (\text{จ.16})$$

แรงดันไฟฟ้าที่เป็นผลจากการไหลของกระแสไฟฟ้าจากอิเล็กทรอนิกส์โรตอร์พิจารณาได้ดังสมการ

$$V_E = Z_E \times I_{ER} \quad (\text{จ.17})$$

ในกรณีที่เกิดการลัดวงจรในสถานีไฟฟ้าสามารถหาแรงดันไฟฟ้าที่เป็นผลจากการไหลของกระแสไฟฟ้าจากอิล็กโทรดสูรีโมทเออร์รี่ ได้ดังสมการ

$$V_{E1} = \frac{1}{\frac{1}{R_{G1}} + \frac{2}{Z_{\infty}}} \times I_{ER} \quad (\text{จ.18})$$

ในกรณีที่เกิดการลัดวงจรบนสายส่งระหว่างสถานีไฟฟ้า 2 สถานี สามารถหาแรงดันไฟฟ้าที่เป็นผลจากการไหลของกระแสไฟฟ้าจากอิล็กโทรดสูรีโมทเออร์รี่ ได้ดังสมการ

$$V_{ET} = \frac{1}{\frac{1}{R_T} + \frac{2}{Z_{\infty}}} \times I_{ER} \quad (\text{จ.19})$$

เมื่อพิจารณากระแสลัดวงจร I_T จากสายส่งกำลังไฟฟ้าไปสูรีโมทเออร์รี่ โดยใช้วิธีการคำนวณจากสมการที่ จ.1 สามารถหาแรงดันได้ดังสมการ

$$V_{ET} = R_T \times I_T = \frac{\rho_E}{2\pi r} I_T \quad (\text{จ.20})$$

ค่าของแรงดันไฟฟ้าจากขอบของอิล็กโทรดสูรีโมทเออร์รี่ สามารถประมาณค่าได้ดังสมการ

$$V(x) \cong \frac{1}{1 + \frac{2\pi R_T x}{\rho_e}} V_{ET} \quad (\text{จ.21})$$

การประยุกต์นำแผนที่ค่าสภาพความต้านทานดินมาใช้งานในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงสูงทั้ง 2 กรณีนั้น จะทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายและประหยัดเวลาในการวัดค่าสภาพความต้านทานดิน เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ค่าของแรงดันและกระแสไฟฟ้าได้

ภาคผนวก ข

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา

Norsangsri, K., and Kulworawanichpong, T. (2011) **Estimation of Earth Resistivity Based on Multispectral Image Classification**. IEEE Transactions on Power Delivery, Issue 2, Vol. 26, pp. 1280-1281.

Norsangsri, K., and Kulworawanichpong, T. (2009) **Earth Resistivity Estimation Based on Satellite Imaging Techniques**. The WSEAS Transactions on System, Issue 9, Vol. 8 : pp. 1061-1071.

Norsangsri, K., and Kulworawanichpong, T. (2009) **Application of Satellite Image Processing to Earth Resistivity Map**. The 9th International Conference on Power System (PS '09), 3-5 September, Budapest Hungary : pp. 137-141.

ขวัญชัย นอแสงศรี และ ธนัชชัย กุลวรวานิชพงษ์. (2009) **การประยุกต์ใช้วิธีการประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อสร้างแผนที่ค่าสภาพความต้านทานดิน**. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 32 (EECON32) ณ โรงแรมทวาราวดีรีสอร์ท จังหวัดปราจีนบุรี วันที่ 28-30 ตุลาคม 2552

Earth Resistivity Estimation Based on Satellite Imaging Techniques

KWANCHAI NORSANGSRI and THANATCHAI KULWORAWANICHPONG*

Power System Research Unit
School of Electrical Engineering
Suranaree University of Technology
111 University Avenue, Nakhon Ratchasima
THAILAND

* Corresponding author, thanatchai@gmail.com

Abstract: - This paper proposes a useful technique for generating an earth resistivity map. Earth resistance is one of essential factors in a broad range of power system analysis and design. Information of earth resistivity is helpful for practical power system engineers in order to establish power system grounding. In this paper, a LANSAT7 image of a tested area of 50 km² was used by ENVI program in associative with a set of resistivity data obtained from field measurement. By using the maximum likelihood for supervised classification of a mixed band 7, 5 and 3, highest value of 85.71% confidence was obtained.

Key-Words: - Earth resistivity, Wenner method, Satellite image technology, Power system grounding, Classification technique, Multispectral

1 Introduction

Satellite images have found their several applications [1-5] in fields of agriculture, geology, forestry, biodiversity conservation, regional planning, education, intelligence, warfare, weather forecast, electric power system, etc. Images can be in visible colors and in other spectra. To interpret and analyze satellite images, some efficient software packages like ERDAS or ENVI are necessary. All satellite images produced by NASA are published by Earth Observatory and are freely available to the public. Several other countries, nowadays, have satellite imaging programs, and a collaborative European effort launched the ERS and Envisat satellites carrying various sensors. There are also private companies that provide commercial satellite imagery. In the early 21st century satellite imagery became widely available when affordable, easy to use software with access to satellite imagery databases became offered by several companies and organizations.

Satellite Image Technology or Remote Sensing has guided the way to the development of hyperspectral and multispectral sensors around the world as a useful tool that can be used to map specific materials by detecting specific chemical and material bonds from satellite and airborne sensors. Multispectral data obtained in space by those sensors have been exploited extensively for the past several years in a wide range of research projects such as land cover and topographic mapping, physical and biological oceanography, archaeology, etc. Research has expanded to include analysis of hyperspectral data acquired simultaneously in tens to hundreds of narrow channels. New algorithms have been developed both to exploit the spectral information of these sensors and to

better deal with the computational demands of these enormous data sets. It is an excellent tool for environmental assessments, mineral mapping and land cover mapping, wildlife habitat monitoring and general land management studies. Multispectral imaging often can include large data sets and require specialized processing methods. In this paper, satellite images have been brought to estimate earth resistivity that can be used extensively in applications of power system grounding. Hyperspectral data sets of satellite images are generally composed of about 100 to 200 spectral bands of relatively narrow bandwidths (5-10 nm), whereas, multispectral data sets are usually composed of about 5 to 10 bands of relatively large bandwidths (70-400 nm). Actual detection of materials is dependent on the spectral coverage, spectral resolution, and signal-to-noise of the spectrometer, the abundance of the material and the strength of absorption features for that material in the wavelength region. In remote sensing situations, the surface materials mapped must be exposed in the optical surface and the diagnostic absorption features must be in regions of the spectrum that are reasonably transparent to the atmosphere. With these assumptions, it is possible to employ satellite images in order to visualize earth resistivity of the earth surface.

This paper consists of five main sections. Section 2 gives explanation of earth resistivity and its measurement. Section 3 covers a brief of satellite image processing. Results and discussion are put in Section 4. Section 5 presents a conclusion remark and further work.

2 Earth Resistivity and Its Measurement

Electrical equipment at all voltage levels must be earthed i.e. connected directly to an electrode driven or buried in the ground [6,7]. The resistance between the earth electrodes is critical to the safety of equipment and personnel. Usually it must be less than 100 Ω e.g. 10 Ω for an overhead line pylon. This is not always possible because of the high resistivity of some earthy materials. Earth resistivity depends on the nature of the ground, moisture content and can vary substantially. Table 1 gave information of resistivity of various soil types. Table 2 gave information of resistivity of effect of moisture content on soil resistivity. Table 3 gave information of resistivity of effect of temperature on soil resistivity. Earth resistivity, ρ_E , is a measured resistance of one unit volume of soil as shown in Fig.1. Its unit is typically assigned as ohm-meter. Also, earth resistivity can be defined by (1) in term of soil conductivity.

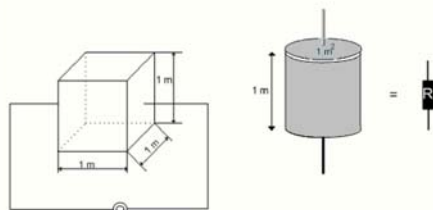


Fig. 1 Definition of earth resistivity

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \tag{1}$$

Table 1 Resistivity of some soil materials

Materials	Resistivity (Ω-m)
Ashes	3.5
Clay soil – 40% moisture	7.7
Clay soil – 20% moisture	33
Clay – London	4-20
Clay – very dry	50-150
Chalk	50-150
Coke	0.2-8
Consolidated Sedimentary rocks	10-500
Garden earth 50% moisture	14
Garden earth 20% moisture	48
Gravel - well graded	900-1000
Gravel - poorly graded	1000-2500
Gravel clay mixture	50-400
Peat	45-200
Materials	Resistivity (Ω-m)
Sand - 90% moisture	130
Sand - normal moisture	300-800
Sand clay mixture	200-400
Surface Limestone	100-10,000

Table 2 Effect of Moisture Content on Soil Resistivity

Moisture content	Resistivity (Ω-m)		
	Top soil	Sandy loam	Red clay
2	-	1850	-
4	-	600	-
6	1350	380	-
8	900	280	-
10	600	220	-
12	350	170	1800
14	250	140	550
16	200	120	200
18	150	100	140
20	120	90	100
22	100	80	90
24	100	70	80

Table 3 Effect of Temperature on Soil Resistivity

Temperature (c°)	Resistivity (Ω-m)
-5	700
0 (ice)	300
0 (water)	100
10	80
20	70
30	60
40	50
50	40

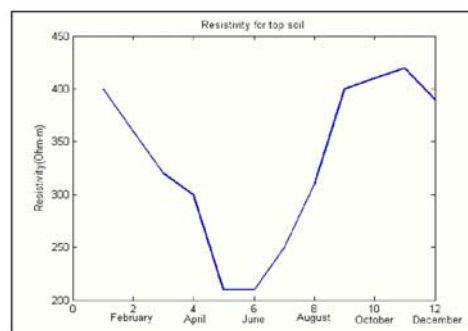


Fig. 2 Effect of Season on Resistivity

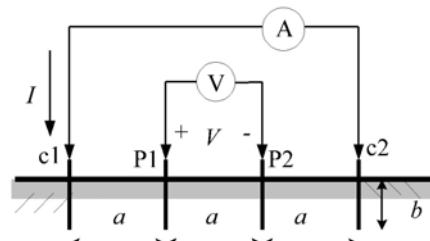


Fig. 3 Measurement of the four point method

Several methods exist to measure the earth resistance and impedance, earth resistivity and potential gradients from ground current. It is recommended that where possible the four point method (Wenner method) be used. When carrying out measurements it should be remembered that earth resistivity varies with salt contents, moisture content and temperature. Care should be taken when carrying out earth measurements as large potentials can exist between the station earth tests and remote earth's if a power system fault occurs. Four electrodes are spaced apart as shown in Fig. 3 (equally spaced or Wenner arrangement). A disadvantage of the Wenner method is the rapid decrease in potential when the spacing is increased to large values. Often commercial instruments are inadequate at measuring such low values.

According to the Wenner method, earth resistivity at the depth of b and the electrode spacing of a is given in (2) as follows.

$$\rho_E = \frac{4\pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}} \quad (2)$$

Frequently, $b < 0.05a$, (2) can be reduced to (3), where R denotes a measured apparent resistance.

$$\rho_E = 2\pi a R \quad (3)$$

3 Satellite Imaging Techniques

Remote Sensing is the science and art of acquiring information (spectral, spatial, temporal) about material objects, area, or phenomenon, without making any physical contact with the objects, or area, or phenomenon under investigation. Without direct contact, some means of transferring information through space must be utilized. In remote sensing, information transfer is accomplished by use of electromagnetic radiation (EMR). EMR is a form of energy that reveals its

presence by the observable effects it produces when it strikes the matter. EMR is considered to span the spectrum of wavelengths from 10-10 mm to cosmic rays up to 1010 mm, the broadcast wavelengths, which extend from 0.30-15 mm.

There are two types of remote sensing, passive and active sensing techniques. Passive sensing, as described in Fig. 4, collects information about a medium based on naturally occurring signals that can be received (like the radiation emitted by an object or reflected by an object). Active remote sensing provides its own radiation and, as such, can be controlled to enable significantly more information to be gathered about the object under study as shown in Fig. 5.

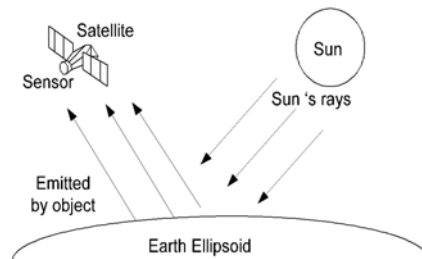


Fig. 4 Passive Remote Sensing

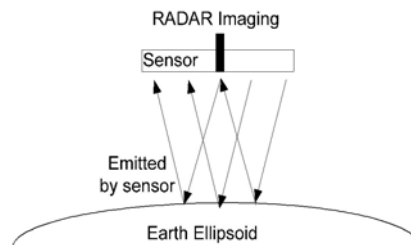


Fig. 5 Active Remote Sensing

As mentioned previously, this paper was based on aerial picture analysis. The source of these pictures came from two main sources: i) satellite images from LANDSAT and topographic map based on topographical surveys.

3.1 LANDSAT Imaging

A latest LANDSAT, LANDSAT 7, was launched in April 1999 [8]. It has a unique and essential role in the realm of earth observing satellites in orbit. The earth observing sensors on LANDSAT 7, the enhanced thematic mapper plus (ETM+), replicates the capabilities

of the thematic mapper instrument on LANDSAT 4 and 5. The ETM+ also includes new features that make it a more versatile and efficient instrument for global change studies, land cover monitoring and assessment and large area mapping. The primary new features on Landsat 7 are: i) a panchromatic band with 15m spatial resolution, ii) on board, full aperture, 5% absolute radiometric calibration and iii) a thermal IR channel with 60m spatial resolution. Fig. 6 showed a satellite image covering Thailand [9]. As mentioned earlier the dot circle is the area of study in this paper. Fig. 7 gave a close view inside the circle of Fig. 2. It revealed city of Nakhon Ratchasima from the space.

LANDSAT 7 moves around the earth with near-polar sun-synchronized orbit. It utilizes the 3.8 Giga-bits S-band communication for up- and down-link. X-band is also used for down-link purpose. Its orbital period is 16 days and time to cross the equator is 10 a.m.

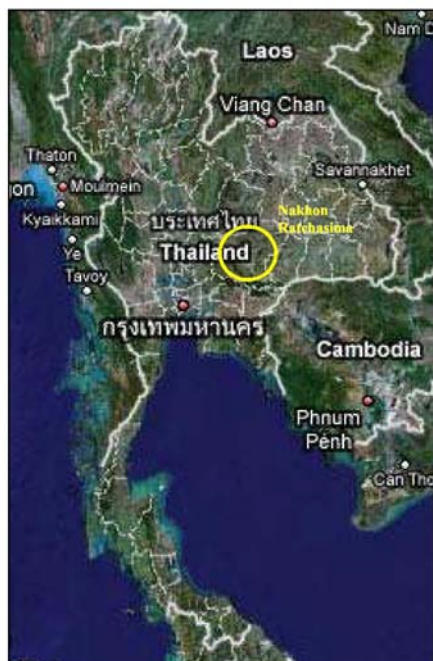


Fig. 6 Satellite image covering Thailand [9]

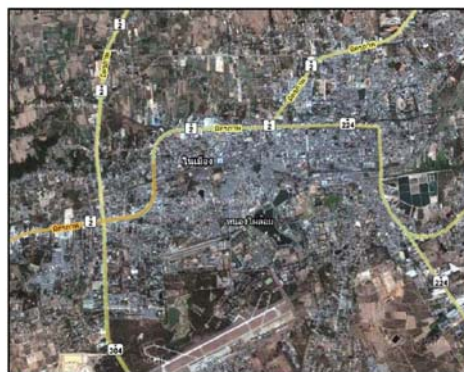


Fig. 7 Satellite image of City of Nakhon Ratchasima [8]

Satellite images acquired from LANDSAT 7 have been exploited. It depends on applications in which specific wavelengths absorbed and/or reflected from targeted materials are involved. Classification of spectral ranges of LANDSAT 7 images is given in Table 4. Fig. 8 shows coverage area of LANDSAT. However, according to applications, size of LANDSAT images is various as shown in Fig. 9. For instance, standard full scene is 183x170 km² per patch covering a total of 31110 km². It is also divided into path (P) and row (R) as imaging indices. For Nakhon Ratchasima area, P128 and R49 are codes for a LANDSAT 7 image covering that area.

Table 4 Generalized application details of spectral range

Band Number	Spectral Range (microns)	Generalized Application Details
1	0.45 - 0.52 Visible Blue	Coastal water mapping, differentiation of vegetation from soils
2	0.52 - 0.60 Visible Green	Assessment of vegetation vigour
3	0.63 - 0.69 Visible Red	Chlorophyll absorption for vegetation differentiation
4	0.76 - 0.90 Near Infrared	Biomass surveys and delineation of water bodies
5	1.55 - 1.75 Middle Infrared	Vegetation and soil moisture measurements; differentiation between snow and cloud
6	10.4 - 12.5 Thermal Infrared	Thermal mapping, soil moisture studies and plant heat stress measurement
7	2.08 - 2.35 Middle Infrared	Hydrothermal mapping, soil type, mineral
PAN	0.52 - 0.90 Green, Visible Red, Near Infrared	Large area mapping, urban change studies

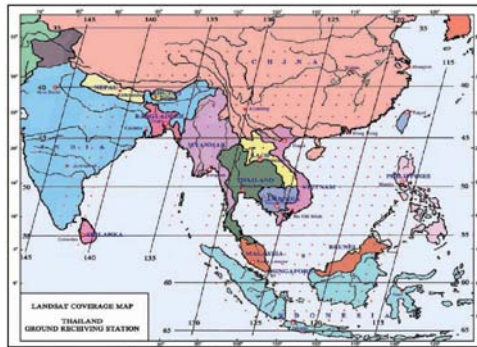


Fig. 8 LANDSAT coverage map

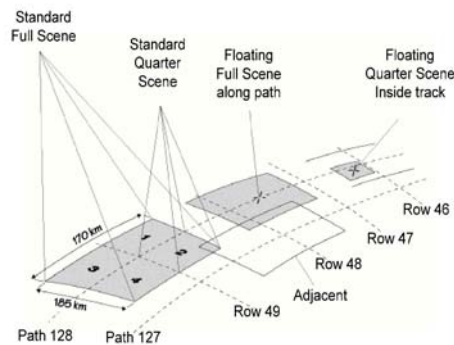


Fig. 9 Scene of satellite



Fig. 10 Path and Row for Thailand

3.2 Classification Techniques

In order to obtain information of earth resistivity from the satellite image, two methods of classification are commonly used: unsupervised and supervised classifications [10-11]. In unsupervised classification any individual pixel is compared to each discrete cluster to see which one it is closest to. A map of all pixels in the image, classified as to which cluster each pixel is most likely to belong, is produced (in black and white or more commonly in colors assigned to each cluster). In a supervised classification the interpreter knows beforehand what classes, etc. are present and where each is in one to perhaps many locations within the scene. These are located on the image, areas containing examples of the class are circumscribed (making them training sites), and the statistical analysis is performed on the multiband data for each such class. All pixels in the image lying outside training sites are then compared with the class discriminants derived from the training sites, with each being assigned to the class it is closest to - this makes a map of established classes (with a few pixels usually remaining unknown) which can be reasonably accurate (but some classes present may not have been set up; or some pixels are misclassified).

Image classification based on maximum likelihood method is to establish groups of pixels containing similar properties as shown in Fig. 11. With the help from probability principles, any pixel can be classified into a pre-defined group that gives the distribution curve of the group closest to normal distribution. Each pixel containing information acquired from a satellite image must be assigned to be a member of the most likelihood group as described in Fig. 12. From the figure, relationship between spectral information acquired from the satellite image and earth resistivity measured from field test is featured. The weighted distance representing the likelihood can be expressed by the following relation.

$$D = \ln(a_c) - [0.5 \ln(|Cov_c|)] - [0.5(X - M_c)^T (Cov_c^{-1})(X - M_c)] \quad (4)$$

Where

- D is the weighted distance (likelihood)
- c is a cluster or group
- X is a set of measurement vectors
- M_c is a mean vector of a data group
- a_c is probability of a pixel with respect to the group
- Cov_c is covariance matrix of a group
- $|Cov_c|$ is the determinant of Cov_c
- Cov_c^{-1} = inverse matrix of Cov_c

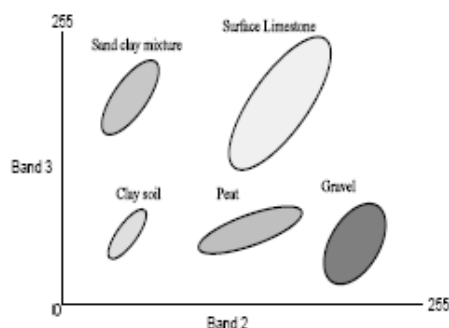


Fig. 11 Classification Techniques

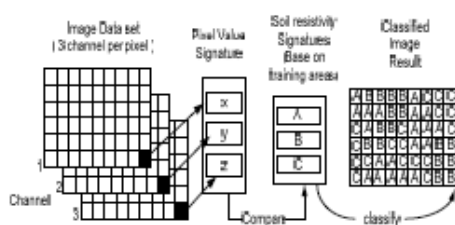


Fig. 12 Soil resistivity Classification

multiple datasets. These data products, known as derived products, can be generated by performing calculations on the raw numerical (digital numbers) data.

Classification is a process by which a set of items is grouped into classes based on common characteristics. Classification of satellite image data is based on placing pixels with similar values into groups and identifying the common characteristics of the items represented by these pixels. Classification is another tool that is very useful when multispectral imagery of the same geographical region is compared. Algorithms can be used that derive a value for each pixel in the image from its brightness values in each image. Plotting the resulting data on a 2 or 3 dimensional graph can identify clusters of pixels that share common spectral characteristics across multiple bands. This can be summarized in Fig. 13.

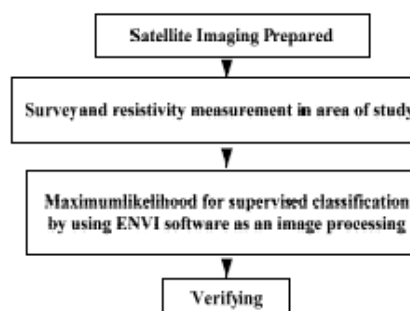


Fig. 13 Step of Classification Techniques

4 Earth Resistivity Map

4.1 Satellite Image Applications

Satellite image data is sent from the satellite to the ground station in a raw digital format, which is essentially a stream of numerical data. The smallest unit of digital data is a bit. A bit is represented by a binary number, which has only two possible values, 0 or 1. A bit can be used to represent any piece of data that has two states, such as on/off, true/false, or open/closed. With only two potential values, a bit does not offer much flexibility in representing data that is more complex than a binary number. Therefore, data is often stored as a collection of eight bits, resulting in a unit of data called a byte. It is important to remember that a satellite image is not just a picture of the target similar to what a simple camera would take. Instead it is a collection of numeric data that is capable of being displayed as an image. The underlying dataset can be manipulated using algorithms (mathematical equations) that correct for errors (like atmospheric interference), re-map the data to a geographical reference point, or extract information that is not readily apparent in the data. The data for two or more images of the same location can even be combined mathematically, creating imagery that is a composite of

4.2 Satellite Imaging Prepared

A position on the Earth is referenced in the Universal Transverse Mercator (UTM) coordinate system [12] by the UTM zone, and the easting and northing coordinate pair. Each satellite image must be specified with this coordinate system. Raw satellite data often contain a vast amount of information that is not readily apparent to the analyst. Therefore, image enhancement techniques are used to highlight features of interest and expose subtle differences in the spectral signature of the components of the target. Some of these techniques involve modifying an image in order to improve contrast between features in a well defined spectral range or to improve resolution and detail, while other techniques use complex mathematical calculations to derive an entirely new image from a set of raw image data. False color [13-16] is a technique by which colors are assigned to spectral bands that do not equate to the spectral range of the selected color. This allows an analyst to highlight particular features of interest using a

color scheme that makes the features stand out. This is illustrated by Figs 14 and 15.

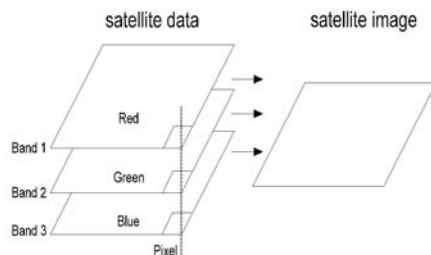


Fig. 14 Band combination for satellite images

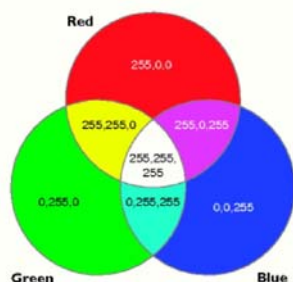


Fig. 15 Primary color: Red Green Blue

4.3 Survey and resistivity measurement in area of study

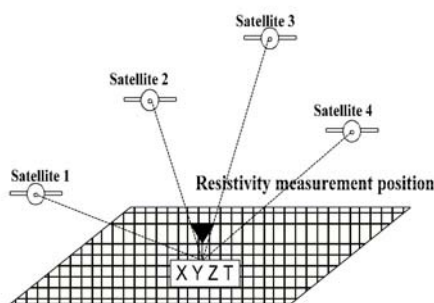


Fig. 16 GPS identification

Field measurement is necessary for supervised classification. Measured resistivity at a specific

location must be determined with multispectral data of a relevant pixel. This can be performed by identifying GPS coordinate [17,18] of the test site. GPS coordinator can be used to obtain the position with respect to satellite positions as shown in Fig. 16.

4.4 Maximum likelihood for supervised classification by using ENVI software

In this paper, supervised classification based on the maximum likelihood method was employed. ENVI software was exploited as a potential tool for satellite image processing. Before performing the test, a set of data must be assigned. 50 field measurement sites were defined [19]. Then, measured values of their resistivity were obtained. 36 of all were used for classification process as shown in Table 5. Whereas, 14 left were used for accuracy assessment of the proposed method as shown in Table 6.

Table 5 Information of Survey and resistivity measurement in area of study

No	Coordinate		ρ ($\Omega.m$)	T °C	RH %
1	0179439E	1646865N	6.66	33.1	11
2	0179623E	1647390N	68.9	37.2	12
3	0178534E	1648961N	12.69	33.1	9
4	0178338E	1649352N	68.2	32.3	11
5	0178874E	1649006N	70.7	31.9	12
6	0177923E	1648594N	28.1	31.9	10
7	0177770E	1647665N	38.8	32.1	8
8	0177741E	1647627N	37.2	31.1	10
9	0180230E	1645498N	34.3	31.8	12
10	0181194E	1645615N	88.3	31.5	7
11	0178568E	1647572N	50.9	35.4	10
12	0180769E	1646275N	17.95	35.1	13
13	0181344E	1645302N	505	34.0	10
14	0182339E	1645256N	1318	33.3	10
15	0184935E	1646006N	291	33.6	10
16	0183873E	1650118N	80.3	33.3	11
17	0182883E	1649397N	417	33.7	9
18	0182657E	1649214N	412	35.6	10
19	0180474E	1647819N	144.3	34.9	11
20	0179403E	1647484N	25.6	31.6	11
21	0178851E	1647829N	24.1	31.7	10
22	0178406E	1649120N	22.99	32.8	10
23	0180775E	1644079N	33.5	32.5	7
24	0183105E	1649209N	54.3	33.1	10
25	0182628E	1650235N	407	32.5	13
26	0184680E	1650178N	83.5	33.1	10
27	0183967E	1647927N	303.8	32.8	10
28	0182001E	1648069N	103.5	33.1	10
29	0180034E	1648041N	82.7	32.5	10
30	0178039E	1647984N	256.9	33.8	12
31	0177982E	1646017N	157.5	32.1	7
32	0180006E	1646017N	48.9	33.1	10
33	0181944E	1646046N	786.5	34.5	13

34	0183967E	1645989N	324.3	32.4	10
35	0184395E	1646359N	123.7	31.4	11
36	0177583E	1646929N	175.4	32.30	10

Table 6 Information of Survey and resistivity measurement in area of study for Verifying

No	Coordinate		ρ (Ωm)	T °C	RH %
1	0177281E	1647068N	68.8	38.1	10
2	0178314E	1648063N	43.9	34.6	10
3	0178778E	1648388N	8.46	31.9	10
4	0179137E	1648218N	107.2	36.4	10
5	0181507E	1645293N	500	31.9	10
6	0181824E	1648579N	200	33.9	10
7	0184727E	1645344N	311	33.6	10
8	0177868E	1647043N	114.9	32.5	10
9	0181060E	1647442N	256.8	32.1	12
10	0178666E	1645390N	75.5	33.1	7
11	0178353E	1650264N	345.4	32.6	10
12	0184452E	1649067N	32.5	32.7	13
13	0179122E	1648212N	178.1	31.9	10
14	0181288E	1650634N	45.3	31.2	11

5 Results and Discussion

This research was conducted by using ENVI software as an image processing tool for extracting earth resistivity from the satellite data. A LANSAT 7 image of a tested area of 50 km² as shown in Fig. 17 was used for test.



Fig. 17 Satellite image of the test area

A satellite image acquired from LANSAT 7 consists of eight spectral bands with spatial resolutions ranging from 15 – 60 meters. To create earth resistivity map, five mixed bands were prepared for supervised classification as follows.

1. Bands 4-3-2
2. Bands 4-5-3

3. Bands 4-5-7
4. Bands 7-4-3
5. Bands 7-5-3

Table 7 Result of confidence level

Mixed bands	Confidence level (%)
4-3-2	64.29
4-5-3	57.14
4-5-7	71.43
7-4-3	71.43
7-5-3	85.71

50 test locations were selected and then measured for earth resistivity. 36 of all were used as input of supervised training process, while 14 left were used for verifying the effectiveness of the earth resistivity classification. Figs 18 – 22 showed visualization of five respective mixed bands as described earlier. Fig. 23-27 presented the earth resistivity map of the test area. This picture was selected from the mixed bands that gave the best estimation of the earth resistivity result. Table 7 gave results of evaluation of confidence level from the supervised classification. The results showed that the mixed bands of 7-5-3 gave the best of 85.71% confidence. The mix of bands 4-5-3 was the worst result of 57.14% confidence.

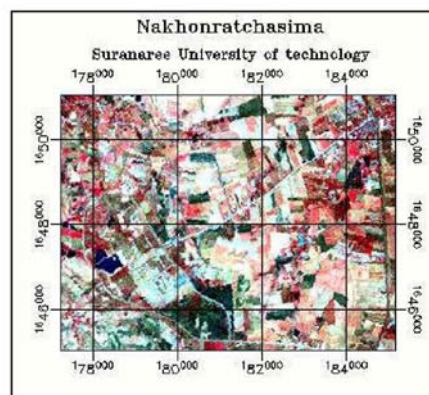


Fig. 18 Color rendering of the mixed bands 4-3-2

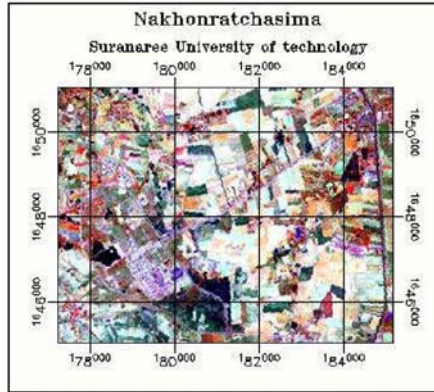


Fig. 19 Color rendering of the mixed bands 4-5-3

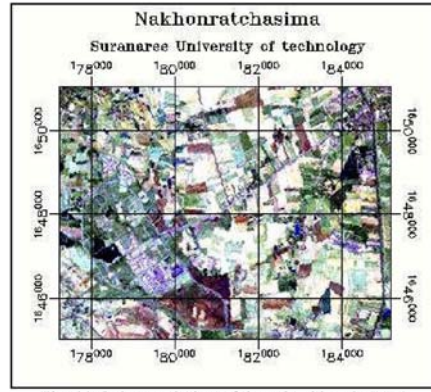


Fig. 22 Color rendering of the mixed bands 7-5-3

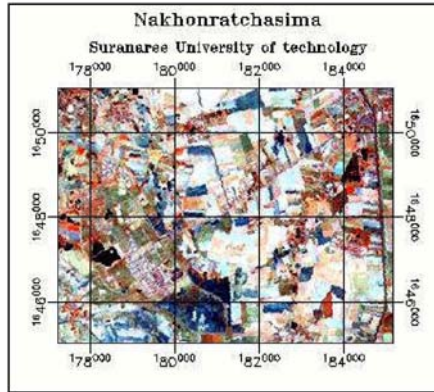


Fig. 20 Color rendering of the mixed bands 4-5-7

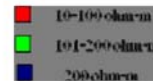
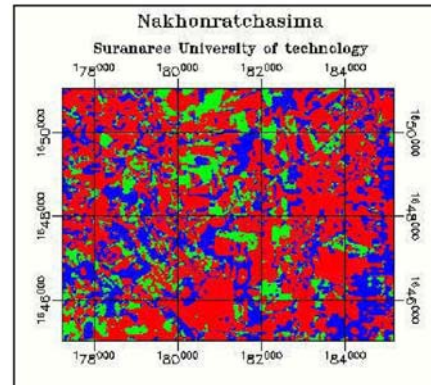


Fig. 23 Earth resistivity map of the mixed bands 4-3-2

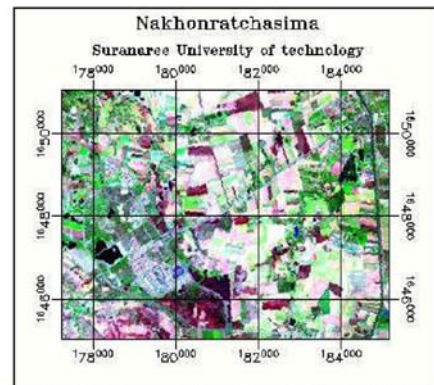


Fig. 21 Color rendering of the mixed bands 7-4-3

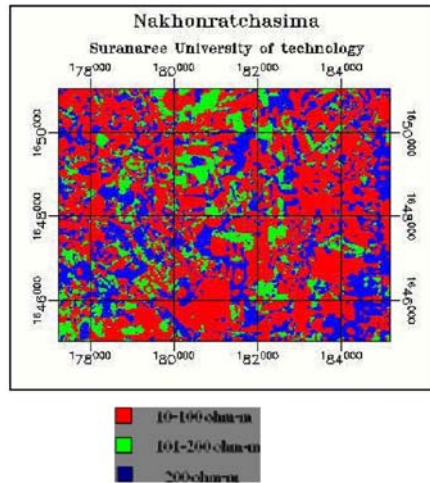


Fig. 24 Earth resistivity map of the mixed bands 4-5-3

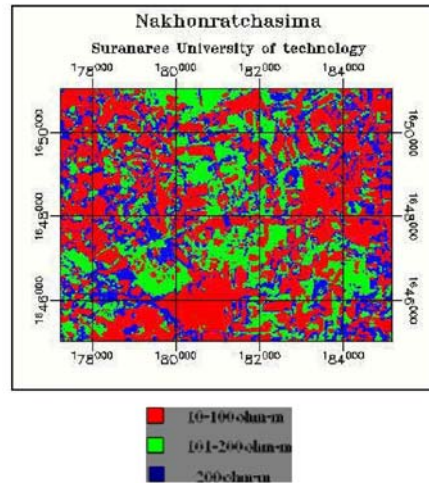


Fig. 26 Earth resistivity map of the mixed bands 7-4-3

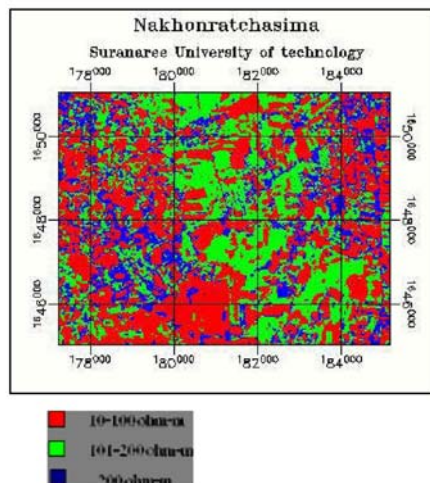


Fig. 25 Earth resistivity map of the mixed bands 4-5-7

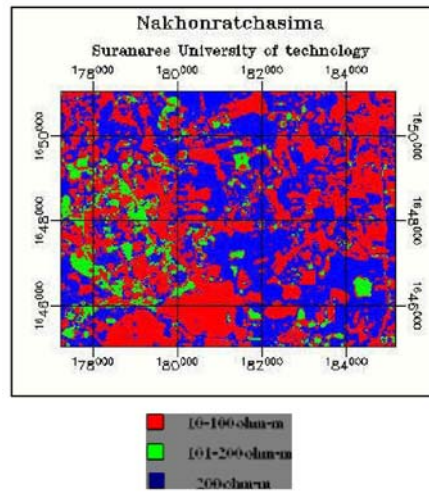


Fig. 27 Earth resistivity map of the mixed bands 7-5-3

6 Conclusion

This paper presented a satellite imaging technique of estimating earth resistivity. A 50-km² satellite image acquired by LANSAT 7 of the test area was used by ENVI program in associative with a set of resistivity data obtained from field measurement in order to evaluate the proposed scheme. By using the maximum

likelihood for supervised classification of a mixed band 7, 5 and 3, highest value of 85.71% confidence was obtained. The earth resistivity can be exploited in various fields, for example, power system grounding, lightning, ground fault protection, etc, in both transmission and distribution levels.

7 Acknowledgment

The authors would like to acknowledge the financial support of the research grant (E-006-51) sponsored by the Provincial Electric Authority of Thailand, during a period of this work.

References:

- [1] W. Elshorbagy and A. Elhakeem, Risk assessment maps of oil spill for major desalination plants in the United Arab Emirates, *Desalination*, Volume 228, Issues 1-3, pp. 200-216, 2008
- [2] X. Jin and C. H. Davis, An integrated system for automatic road mapping from high-resolution multi-spectral satellite imagery by information fusion, *Information Fusion*, Volume 6, Issue 4, pp. 257-273, 2005
- [3] G. Finnveden and A. Moberg, Environmental systems analysis tools – an overview, *Journal of Cleaner Production*, Volume 13, Issue 12, pp. 1165-1173, 2005
- [4] Y. Nishigami, H. Sano and T. Kojima, Estimation of forest area near deserts — production of Global Bio-Methanol from solar energy, *Applied Energy*, Volume 67, Issue 4, pp. 383-393, 2000
- [5] G.P. Patil, W.L. Myers, Z. Luo, G.D. Johnson and C. Taillie, Multiscale assessment of landscapes and watersheds with synoptic multivariate spatial data in environmental and ecological statistics, *Mathematical and Computer Modelling*, Volume 32, Issues 1-2, pp. 257-272, 2000
- [6] IEEE Std 142-1991, *IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems*, 1993
- [7] IEEE, *IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity Ground Impedance and Earth Surface Potentials of a Ground system*, 1983
- [8] C. Banman, *Supervised and Unsupervised Land Use Classification*, spring session 2002
- [9] <http://maps.google.com/>
- [10] *Tutorials the environment for visualizing images*, ENVI version 3.2, July, 1999
- [11] L. Castellana, A. D'Addabbo and G. Pasquariello, A composed supervised/unsupervised approach to improve change detection from remote sensing, *Pattern Recognition Letters*, Volume 28, Issue 4, pp.405-413, 2007
- [12] N. G. Terry, Jr., How to read the Universal Transverse Mercator (UTM) Grid, *Adapted from GPS World*, pp. 32, April, 1996
- [13] R.C. Gonzalez and R. E. Wood, *Digital image processing*, 3rd Edition, 2007
- [14] Richards J.A., *Remote Sensing Digital Image Analysis*, Springer-Verlag, 1994
- [15] H. Roosta, R. Farhudi and M.E. Afifi, Comparison between sub-pixel classifications of MODIS images: linear mixture model and neural network model, *WSEAS Trans. Environment and Development*, Issue 2, Volume 4, pp. 161 – 168, 2009
- [16] T. Luemongkol, A. Wannakomol and T. Kulworawanichpong, Rerouting electric power transmission lines by using satellite imagery, *WSEAS Trans. Environment and Development*, Issue 2, Volume 5, pp. 189 – 198, 2009
- [17] R. Bajaj, S. L. Ranawera, D. P. Agrawal, GPS: Location-Tracking Technology, *Computer*, vol. 35, no. 4, pp. 92-94, Apr. 2002
- [18] V. Barrile, G. Armocida and F. Di Capua, Advanced thematic mapping: GIS/neural networks application for tracking isoseismic lines, *WSEAS Trans. Environment and Development*, Issue 6, Volume 9, pp. 435 – 444, 2009
- [19] K. Norsangsri and T. Kulworawanichpong, Application of satellite image processing to earth resistivity map, *The 9th WSEAS International Conferences on Power Systems*, 3-5 September 2009, Budapest, Hungary, pp. 137 – 141

Application of Satellite Image Processing to Earth Resistivity Map

KWANCHAI NORSANGSRI and THANATCHAI KULWORAWANICHONG

Power System Research Unit
School of Electrical Engineering
Suranaree University of Technology
111 University Avenue, Nakhon Ratchasima
THAILAND
thanatchai@gmail.com

Abstract: - This paper proposes a useful technique for generating an earth resistivity map. Earth resistance is one of essential factors in a broad range of power system analysis and design. Information of earth resistivity is helpful for practical power system engineers in order to establish power system grounding. In this paper, a LANSAT7 image of a tested area of 50 km² was used by ENVI program in associative with a set of resistivity data obtained from field measurement. By using the maximum likelihood for supervised classification of a mixed band 7, 5 and 3, highest value of 85.71% confidence was obtained.

Key-Words: - Earth resistivity, Wenner method, Satellite image technology, Power system grounding, Classification technique, Multispectral

1 Introduction

Satellite images have found their several applications [1-5] in fields of agriculture, geology, forestry, biodiversity conservation, regional planning, education, intelligence, warfare, weather forecast, electric power system, etc. Images can be in visible colors and in other spectra. To interpret and analyze satellite images, some efficient software packages like ERDAS or ENVI are necessary. All satellite images produced by NASA are published by Earth Observatory and are freely available to the public. Several other countries, nowadays, have satellite imaging programs, and a collaborative European effort launched the ERS and Envisat satellites carrying various sensors. There are also private companies that provide commercial satellite imagery. In the early 21st century satellite imagery became widely available when affordable, easy to use software with access to satellite imagery databases became offered by several companies and organizations.

Satellite Image Technology or Remote Sensing has guided the way to the development of hyperspectral and multispectral sensors around the world as a useful tool that can be used to map specific materials by detecting specific chemical and material bonds from satellite and airborne sensors. Multispectral data obtained in space by those sensors have been exploited extensively for the past several years in a wide range of research projects such as land cover and topographic mapping, physical and biological oceanography, archaeology, etc. Research has expanded to include analysis of hyperspectral data, acquired simultaneously in tens to hundreds of narrow channels. New algorithms have been developed both to exploit the spectral information of these sensors and to

better deal with the computational demands of these enormous data sets. It is an excellent tool for environmental assessments, mineral mapping and land cover mapping, wildlife habitat monitoring and general land management studies. Multispectral imaging often can include large data sets and require specialized processing methods. In this paper, satellite images have been brought to estimate earth resistivity that can be used extensively in applications of power system grounding. Hyperspectral data sets of satellite images are generally composed of about 100 to 200 spectral bands of relatively narrow bandwidths (5-10 nm), whereas, multispectral data sets are usually composed of about 5 to 10 bands of relatively large bandwidths (70-400 nm). Actual detection of materials is dependent on the spectral coverage, spectral resolution, and signal-to-noise of the spectrometer, the abundance of the material and the strength of absorption features for that material in the wavelength region. In remote sensing situations, the surface materials mapped must be exposed in the optical surface and the diagnostic absorption features must be in regions of the spectrum that are reasonably transparent to the atmosphere. With these assumptions, it is possible to employ satellite images in order to visualize earth resistivity of the earth surface.

This paper consists of five main sections. Section 2 gives explanation of earth resistivity and its measurement. Section 3 covers a brief of satellite image processing. Results and discussion are put in Section 4. Section 5 presents a conclusion remark and further work.

2 Earth Resistivity and Its Measurement

Electrical equipment at all voltage levels must be earthed i.e. connected directly to an electrode driven or buried in the ground [6,7]. The resistance between the earth electrode is critical to the safety of equipment and personnel. Usually it must be less than 100Ω e.g. 10Ω for an overhead line pylon. This is not always possible because of the high resistivity of some earthy materials. Earth resistivity depends on the nature of the ground, moisture content and can vary substantially. Table 1 gave information of resistivity of various soil types.

Table 1 Resistivity of some soil materials

Materials	Resistivity (Ω m)
Ashes	3.5
Clay soil – 40% moisture	7.7
Clay soil – 20% moisture	33
Clay – London	4-20
Clay – very dry	50-150
Chalk	50-150
Coke	0.2-8
Consolidated Sedimentary rocks	10-500
Garden earth 50% moisture	14
Garden earth 20% moisture	48
Gravel - well graded	900-1000
Gravel - poorly graded	1000-2500
Gravel clay mixture	50-400
Peat	45-200
Sand - 90% moisture	130
Sand - normal moisture	300-800
Sand clay mixture	200-400
Surface Limestone	100-10,000

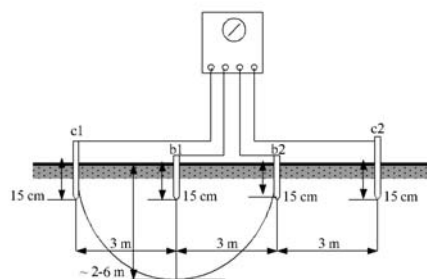


Fig. 1 Measurement of the four point method

Several methods exist to measure the earth resistance and impedance, earth resistivity and potential gradients from ground current. It is recommended that where possible the four point method (Wenner method) be used. When carrying out measurements it should be remembered that earth resistivity varies with salt contents, moisture content and temperature. Care should be taken when carrying out earth measurements as large

potentials can exist between the station earth tests and remote earth's if a power system fault occurs. Four electrodes are spaced apart as shown in Fig. 1 (equally spaced or Wenner arrangement). A disadvantage of the Wenner method is the rapid decrease in potential when the spacing is increased to large values. Often commercial instruments are inadequate at measuring such low values.

3 Satellite Imaging Techniques

As mentioned previously, this paper was based on aerial picture analysis. The source of these pictures came from two main sources: i) satellite images from LANDSAT and topographic map based on topographical surveys.

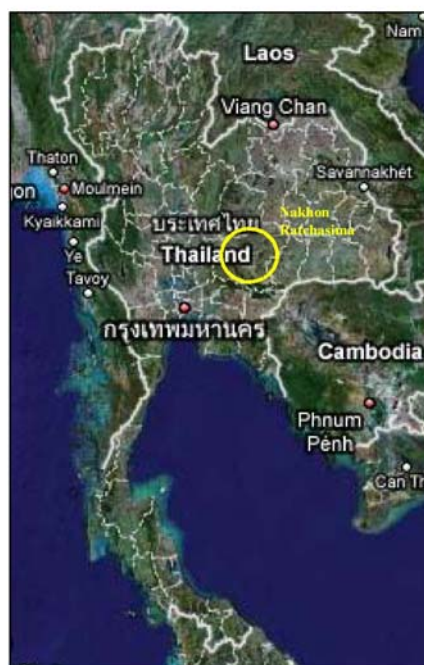


Fig. 2 Satellite image covering Thailand [8]

3.1 LANDSAT Imaging

A latest LANDSAT, LANDSAT 7, was launched in April 1999 [10]. It has a unique and essential role in the realm of earth observing satellites in orbit. The earth observing sensors on LANDSAT 7, the enhanced thematic mapper plus (ETM+), replicates the capabilities of the thematic mapper instrument on LANDSAT 4 and 5. The ETM+ also includes new features that make it a

more versatile and efficient instrument for global change studies, land cover monitoring and assessment and large area mapping. The primary new features on Landsat 7 are: i) a panchromatic band with 15m spatial resolution, ii) on board, full aperture, 5% absolute radiometric calibration and iii) a thermal IR channel with 60m spatial resolution. Fig. 2 showed a satellite image covering Thailand [8]. As mentioned earlier the dot circle is the area of study in this paper. Fig. 3 gave a close view inside the circle of Fig. 2. It revealed city of Nakhon Ratchasima from the space.

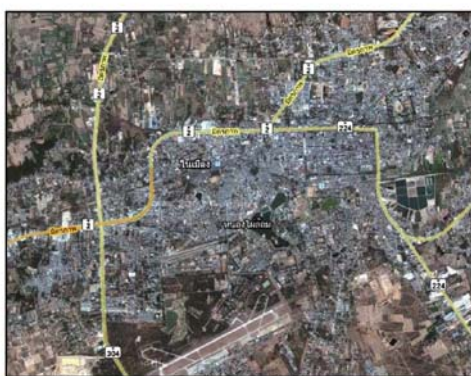


Fig. 3 Satellite image of City of Nakhon Ratchasima [8]

3.2 Classification Techniques

In order to obtain information of earth resistivity from the satellite image, two methods of classification are commonly used: unsupervised and supervised classifications [9]. In unsupervised classification any individual pixel is compared to each discrete cluster to see which one it is closest to. A map of all pixels in the image, classified as to which cluster each pixel is most likely to belong, is produced (in black and white or more commonly in colors assigned to each cluster). In a supervised classification the interpreter knows beforehand what classes, etc. are present and where each is in one to perhaps many locations within the scene. These are located on the image, areas containing examples of the class are circumscribed (making them training sites), and the statistical analysis is performed on the multiband data for each such class. All pixels in the image lying outside training sites are then compared with the class discriminants derived from the training sites, with each being assigned to the class it is closest to - this makes a map of established classes (with a few pixels usually remaining unknown) which can be reasonably accurate (but some classes present may not have been set up; or some pixels are misclassified).

4 Results and Discussion

This research was conducted by using ENVI software as an image processing tool for extracting earth resistivity from the satellite data. A LANSAT 7 image of a tested area of 50 km² as shown in Fig. 4 was used for test.



Fig. 4 Satellite image of the test area

A satellite image acquired from LANSAT 7 consists of eight spectral bands with spatial resolutions ranging from 15 – 60 meters. To create earth resistivity map, five mixed bands were prepared for supervised classification as follows.

1. Bands 4-3-2
2. Bands 4-5-3
3. Bands 4-5-7
4. Bands 7-4-3
5. Bands 7-5-3

Table 2 Result of confidence level

Mixed bands	Confidence level (%)
4-3-2	64.29
4-5-3	57.14
4-5-7	71.43
7-4-3	71.43
7-5-3	85.71

50 test locations were selected and then measured for earth resistivity. 36 of all were used as input of supervised training process, while 14 left were used for verifying the effectiveness of the earth resistivity classification. Figs 5 – 9 showed visualization of five respective mixed bands as described earlier. Fig. 10 presented the earth resistivity map of the test area. This picture was selected from the mixed bands that gave the best estimation of the earth resistivity result. Table 2

gave results of evaluation of confidence level from the supervised classification. The results showed that the mixed bands of 7-5-3 gave the best of 85.71% confidence. The mix of bands 4-5-3 was the worst result of 57.14% confidence.

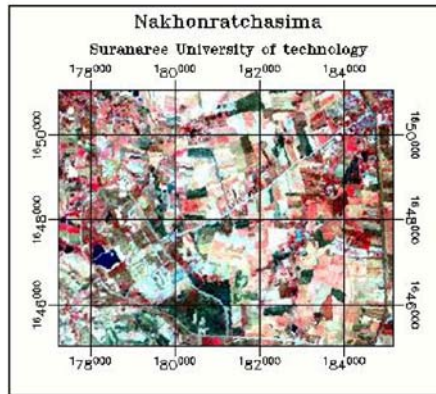


Fig. 5 Color rendering of the mixed bands 4-3-2

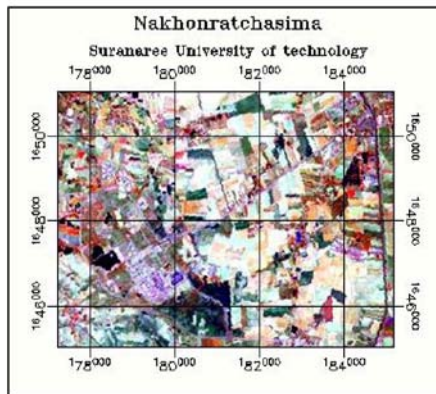


Fig. 6 Color rendering of the mixed bands 4-5-3

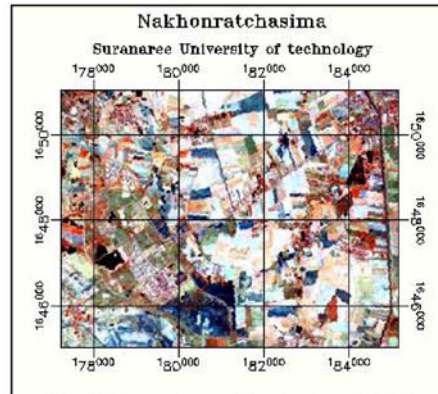


Fig. 7 Color rendering of the mixed bands 4-5-7

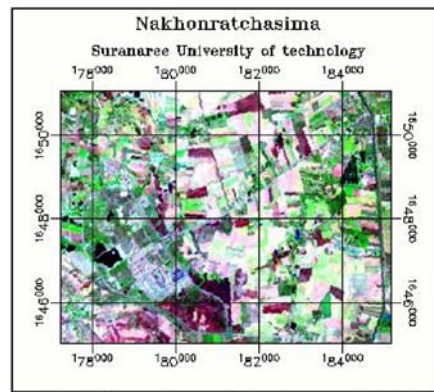


Fig. 8 Color rendering of the mixed bands 7-4-3

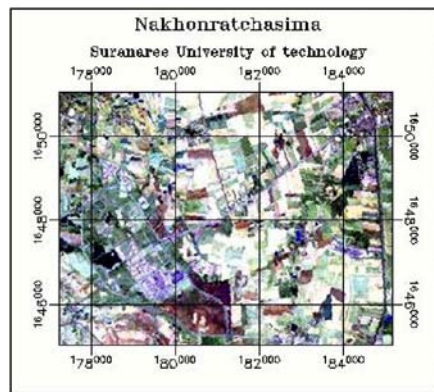


Fig. 9 Color rendering of the mixed bands 7-5-3

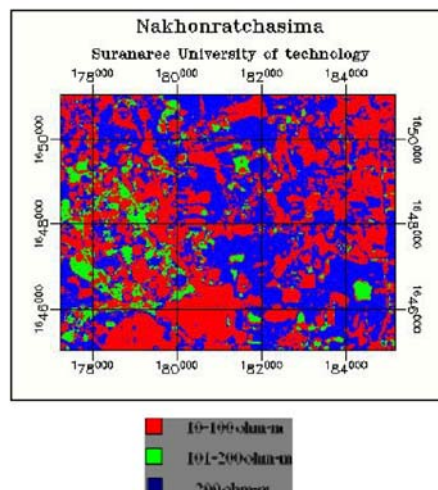


Fig. 10 Earth resistivity map of the mixed bands 7-5-3

5 Conclusion

This paper presented a satellite imaging technique of estimating earth resistivity. A 50-km² satellite image acquired by LANSAT 7 of the test area was used by ENVI program in associative with a set of resistivity data obtained from field measurement in order to evaluate the proposed scheme. By using the maximum likelihood for supervised classification of a mixed band 7, 5 and 3, highest value of 85.71% confidence was obtained. The earth resistivity can be exploited in various fields, for example, power system grounding, lightning, ground fault protection, etc, in both transmission and distribution levels.

References:

- [1] W. Elshorbagy and A. Elhakeem, Risk assessment maps of oil spill for major desalination plants in the United Arab Emirates, *Desalination*, Volume 228, Issues 1-3, pp. 200-216, 2008
- [2] X. Jin and C. H. Davis, An integrated system for automatic road mapping from high-resolution multi-spectral satellite imagery by information fusion, *Information Fusion*, Volume 6, Issue 4, pp. 257-273, 2005
- [3] G. Finnveden and A. Moberg, Environmental systems analysis tools – an overview, *Journal of Cleaner Production*, Volume 13, Issue 12, pp. 1165-1173, 2005
- [4] Y. Nishigami, H. Sano and T. Kojima, Estimation of forest area near deserts — production of Global Bio-Methanol from solar energy, *Applied Energy*, Volume 67, Issue 4, pp. 383-393, 2000
- [5] G.P. Patil, W.L. Myers, Z. Luo, G.D. Johnson and C. Taillie, Multiscale assessment of landscapes and watersheds with synoptic multivariate spatial data in environmental and ecological statistics, *Mathematical and Computer Modelling*, Volume 32, Issues 1-2, pp. 257-272, 2000
- [6] IEEE Std 142-1991, *IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems*, 1993
- [7] IEEE, IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity Ground Impedance and Earth Surface Potentials of a Ground system, 1983
- [8] <http://maps.google.com/>
- [9] Tutorials the environment for visualizing images, ENVI version 3.2, July, 1999

การประยุกต์ใช้วิธีการประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อสร้างแผนที่ค่าสภาพความต้านทานดิน Application of Satellite Image Processing to Earth Resistivity Map

ขวัญชัย นอแสงศรี และ ธนัชชัย กุลรวราวณิชพงษ์
หน่วยวิจัยระบบไฟฟ้ากำลัง

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ถนนมหาวิทยาลัย ต. สุรนารี อ. เมือง จ.นครราชสีมา 30000

โทรศัพท์ 0-4422-4400, 0-4422-4404 โทรสาร 0-4422-4401 Email: Kwanchain750@gmail.com and thanatchai@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการในการสร้างแผนที่ค่าสภาพความต้านทานดิน ค่าสภาพความต้านทานดินเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่ใช้ประกอบในการวิเคราะห์และออกแบบระบบไฟฟ้า ข้อมูลของค่าสภาพความต้านทานดินเป็นประโยชน์สำหรับการปฏิบัติงานของวิศวกรในระบบไฟฟ้า เพื่อใช้ประโยชน์ในการก่อสร้างระบบการต่อลงดินของระบบไฟฟ้า ในบทความนี้ใช้พื้นที่ทดสอบประมาณ 50 ตารางกิโลเมตร จากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat7 ใช้โปรแกรม ENVI ประกอบด้วยข้อมูลค่าสภาพความต้านทานดินที่ได้จากการวัดภาคสนาม โดยใช้วิธีการจำแนกข้อมูลแบบ supervised classification ชนิด maximum likelihood ซึ่งภาพที่ได้จากการผสมแบนด์ 7, 5 และ 3 มีความถูกต้องที่ได้มากที่สุดคือ 85.71%

คำสำคัญ : ค่าสภาพความต้านทานดิน, วิธีการเวนเนอร์, เทคโนโลยีภาพถ่ายดาวเทียม, ระบบการต่อลงดิน, วิธีการจำแนกข้อมูล, ช่วงคลื่น, จุดภาพ

Abstract

This paper proposes a useful technique for generating an earth resistivity map. Earth resistance is one of essential factors in a broad range of power system analysis and design. Information of earth resistivity is helpful for practical power system engineers in order to establish power system grounding. In this paper, a LANSAT7 image of a tested area of 50 km^2 was used by ENVI program in associative with a set of resistivity data obtained from field measurement. By using the maximum likelihood for supervised classification of a mixed band 7, 5 and 3, highest value of 85.71% confidence was obtained.

Keywords: Earth resistivity, Wenner method, Satellite image technology, Grounding, Classification technique, Band, Pixel

1. บทนำ

เทคโนโลยีภาพถ่ายดาวเทียม ในปัจจุบันมีการนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ มากมาย [1-5] เช่น ทางการเกษตร ธรณีวิทยา การจัดการชายฝั่งทะเล การจัดการสิ่งแวดล้อม ป่าไม้ การจัดการน้ำบาดาล แก๊ส เหมืองแร่ ทางแผนที่ การวางผังเมือง และระบบไฟฟ้า เป็นต้น โดยการนำภาพถ่ายดาวเทียมมาวิเคราะห์และตีความหมายต่างๆ กันออกไปตามลักษณะของการประยุกต์ใช้งาน ซึ่งปัจจุบันนี้มีการพัฒนาโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์และประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียมขึ้นมา มากมาย เช่น โปรแกรมERDAS โปรแกรมENVI เป็นต้น โดยภาพถ่ายดาวเทียมมีการนำมาเผยแพร่ในเชิงพาณิชย์ของบริษัทเอกชน หรือใช้ในการศึกษาของหน่วยงานต่างๆ ทั่วโลก ทำให้เทคโนโลยีภาพถ่ายดาวเทียมเป็นที่แพร่หลายในการใช้งานในด้านต่างๆ เพราะสามารถเข้าถึงได้ง่าย ราคาถูก และยังมีโปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมให้เลือกใช้มากมาย

เทคโนโลยีภาพถ่ายดาวเทียมและการสำรวจระยะไกล มีการพัฒนาของอุปกรณ์การสำรวจขึ้นมาอย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันนี้มีอุปกรณ์การสำรวจที่เรียกว่า Hyperspectral และ Multispectral เพื่อใช้ประโยชน์ในการตีความและวิเคราะห์ลักษณะต่างๆ ของพื้นผิวโลก โดยใช้หลักการดูดซับและสะท้อนรังสีของวัตถุแต่ละชนิด ซึ่งมีการดูดซับและสะท้อนที่ความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน อุปกรณ์ดังกล่าวมีการติดตั้งทั้งในเครื่องบิน การสำรวจและดาวเทียม โดยที่อุปกรณ์ Hyperspectral เน้นการเก็บข้อมูลให้มากกว่าภาพ Multispectral ในช่วงคลื่นหรือแบนด์(Band) ที่ทำกัน โดยมี การแบ่งช่วงคลื่น เป็น 100-200 ช่วงคลื่นมากกว่าอุปกรณ์ Multispectral ที่มีการแบ่งช่วงคลื่น เป็น 5-10 ช่วงคลื่น ในขณะที่ความกว้างของช่วงคลื่นเดียวกัน ซึ่ง Hyperspectral ให้ความละเอียดในการสำรวจได้มากกว่า แต่ปัจจุบันยังมีราคาสูง และยังมีมีการนำมาใช้งานน้อยในประเทศไทย ในบทความนี้นำภาพถ่ายดาวเทียมจากอุปกรณ์ Multispectral มาใช้ในการประมวลผลค่าสภาพความต้านทานดิน โดยมีหลักการคล้ายกับการสำรวจพื้นผิวโลกแบบอื่นๆ เช่น การสำรวจแหล่งแร่ และการสำรวจชนิดของดิน เป็นต้น ซึ่งใช้ความแตกต่างกันของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในแต่ละพื้นที่มาใช้ในการแยกชนิดแหล่งแร่หรือดินที่แตกต่างกัน ในการ

ประมาณค่าสภาพความต้านทานดินนั้น จะใช้ความแตกต่างของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมมาประยุกต์เป็นความแตกต่างของสภาพความต้านทานดินในแต่ละพื้นที่ ผลการประมาณค่าสภาพความต้านทานดินที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในระบบไฟฟ้าได้

บทความนี้ประกอบด้วยเนื้อหาเกี่ยวกับค่าสภาพความต้านทานดินและวิธีการวัดค่าสภาพความต้านทานดิน เทคโนโลยีภาพถ่ายดาวเทียม วิธีการจำแนกข้อมูล วิธีการสร้างแผนที่ค่าสภาพความต้านทานดิน และผลการทดสอบสร้างแผนที่ค่าสภาพความต้านทานดิน

2. ค่าสภาพความต้านทานดินและวิธีการวัด

อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ทั้งแรงดันสูงและแรงดันต่ำ มีการเชื่อมต่อกับสายดิน สายต่อเหล็กดิน และเหล็กดินซึ่งฝังลงในดิน เพื่อให้เมื่อเกิดการผิดพลาดของอุปกรณ์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าที่มีความผิดปกติจะไหลลงสู่พื้นดิน [6] ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าไม่เกิดความเสียหายและเกิดความปลอดภัยสำหรับผู้ใช้งาน โดยทั่วไปค่าสภาพความต้านทานดินบริเวณการต่อเหล็กดินควรมีค่าน้อยกว่า 100 Ω สำหรับสายส่งไฟฟ้าแบบ Overhead line บริเวณการต่อเหล็กดินควรมีค่าน้อยกว่า 10 Ω ซึ่งเป็นไปไม่ได้เสมอที่จะมีค่าความต้านทานดังกล่าวในพื้นที่การติดตั้ง เพราะบางพื้นที่ที่มีค่าความต้านทานสูง เนื่องจากส่วนประกอบของแต่ละพื้นที่นั้นมีความแตกต่างกันและค่าความต้านทานดินในพื้นที่ต่างๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงตามชนิดของดิน ความชื้นและอุณหภูมิ

วิธีการวัดค่าสภาพความต้านทานดิน [7] มีหลายวิธี ซึ่งในการทดสอบนี้ใช้วิธีการวัดแบบ 4 จุด (four point method) หรือเรียกว่าวิธีการวัดแบบเวนเนอร์ (Wenner method) โดยค่าสภาพความต้านทานดิน (ρ_E) คือค่าความต้านทานดินที่มีปริมาตร 1 หน่วยลูกบาศก์เมตร มีหน่วยเป็น ($\Omega \cdot m$) ในการวัดค่าสภาพความต้านทานดินที่ใช้ในการทดสอบ ใช้ระยะห่างของแท่งอิเล็กโทรดในการวัด 3 เมตร โดยปักลงในดินไม่เกิน 1/20 ของระยะห่างของแท่งอิเล็กโทรด โดยข้อเสียของวิธีการวัดแบบเวนเนอร์ คือการลดลงอย่างรวดเร็วของระดับแรงดันไฟฟ้าเมื่อมีการเพิ่มระยะห่างเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการวัดลดลง

3. เทคโนโลยีภาพถ่ายดาวเทียม

ในบทความนี้ใช้การวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมเป็นหลัก โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมจากดาวเทียม Landsat 7 ประกอบด้วยแผนที่ภูมิประเทศ (Topographic map) [8] เพื่อใช้ในการสำรวจภูมิประเทศ

3.1 ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat7

ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ Landsat ดวงล่าสุดที่ถูกส่งขึ้นไปโคจรรอบโลกคือ ดาวเทียม Landsat 7 ถูกส่งขึ้นไปเมื่อ เดือนเมษายน 2542 มีการพัฒนาอุปกรณ์สำรวจเพิ่มจากดาวเทียม Landsat 4 และ 5 ซึ่งเดิมมีอุปกรณ์การสำรวจ Thematic mapper โดยทำการเพิ่ม

อุปกรณ์ Thematic mapper plus หรือ ETM+ ในดาวเทียม Landsat 7 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ multispectral scanning radiometer 8 ช่วงคลื่น โดยมี 3 ช่วงคลื่นในย่าน visible light ซึ่งมีขนาดจุดภาพหรือ pixel size 30 เมตร มี 3 ช่วงคลื่นในย่านอินฟราเรดใกล้ (near IR) และ อินฟราเรดคลื่นสั้น (short-wave IR) ซึ่งมีขนาดจุดภาพหรือ pixel size 30 เมตร มี 1 ช่วงคลื่นในย่านอินฟราเรดความร้อน (thermal IR) ซึ่งมีขนาดจุดภาพหรือ pixel size 60 เมตร และมี 1 ช่วงคลื่นในย่าน visible (panchromatic) ซึ่งมีขนาดจุดภาพหรือ pixel size 15 เมตร ความกว้างของแถบสำรวจเท่ากับ 183 กิโลเมตร ให้ภาพการสำรวจแต่ละภาพ กว้าง 183 กิโลเมตร ยาว 170 กิโลเมตร

3.2 แนวทางการนำมาประยุกต์ใช้

ภาพถ่ายดาวเทียมใช้หลักการดูดซับและสะท้อนของคลื่นที่แตกต่างกัน โดยวัตถุแต่ละชนิดจะมีอัตราการดูดซับและสะท้อนของคลื่นที่ความยาวคลื่นที่แตกต่างและปริมาณที่แตกต่างกัน โดยดาวเทียมจะเก็บข้อมูลการสะท้อนดังกล่าวในรูปของตัวเลข และเมื่อต้องการสร้างในเกิดเป็นภาพ จึงต้องนำตัวเลขดังกล่าวผ่านกระบวนการผสมสีที่เห็น ทำให้สีที่แสดงออกมานั้นมาจากค่าตัวเลขของการสะท้อนในช่วงคลื่นนั้น ซึ่งจะบ่งบอกถึงลักษณะของโลก ณ จุดนั้นๆ ซึ่งความต้านทานดินเป็นค่าที่เป็นผลมาจาก ชนิดของดิน ความชื้น อุณหภูมิ โดยปัจจัยดังกล่าวก็จะมีปริมาณและอัตราการสะท้อนที่ช่วงคลื่นที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถที่จะนำประยุกต์ใช้ในการหาค่าสภาพความต้านทานดินได้

3.3 วิธีการจำแนกข้อมูล

ค่าสภาพความต้านทานดินที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม ได้จากการใช้วิธีการจำแนกข้อมูล [9-10] ซึ่งโดยปกติแล้วมีวิธีการจำแนกข้อมูล 2 ลักษณะคือ การจำแนกข้อมูลแบบ Unsupervised classifications และ Supervised classifications

- UnSupervised Classification คือการจำแนกประเภทข้อมูลโดยอาศัยข้อมูลค่าสถิติของการสะท้อนแสง ในช่วงคลื่นของวัตถุต่างๆ มีการจำแนกประเภทข้อมูล โดยไม่ต้องอาศัยข้อมูลพื้นที่ตัวอย่าง (Training Area) ของข้อมูลภาคพื้นดิน สามารถกำหนดจำนวนกลุ่มประเภทข้อมูลได้ การจำแนกวิธีนี้มีค่าใช้จ่ายพื้นที่ที่ไม่คุ้นเคย และผลการจำแนกมีความถูกต้องของข้อมูลน้อย

- Supervised Classification คือการจำแนกประเภทข้อมูลโดยอาศัยข้อมูลพื้นที่ตัวอย่างของข้อมูลภาคพื้นดิน หรือจากข้อมูลการสำรวจภาคสนาม เป็นตัวแทนของลักษณะต่างๆ ที่ปรากฏในภาพถ่ายดาวเทียม และใช้ข้อมูลตัวแทนนี้คำนวณค่าสถิติ เช่น ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่า Covariance Matrix ของแต่ละประเภทข้อมูล ค่าสถิติดังกล่าวเป็นตัวแทนสำหรับการจำแนกประเภทข้อมูลของพื้นที่ทั้งหมด สามารถกำหนดจำนวนกลุ่มประเภทข้อมูลได้ โดยการกำหนดจำนวนของข้อมูลตัวแทน การจำแนกประเภทข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์ที่นิยมใช้และให้ผล

การจำแนกที่มีความถูกต้องมากที่สุด คือ Maximum Likelihood Classification เป็นการจำแนกประเภทข้อมูลโดยพิจารณาจากค่าของ Mean Vector และ Covariance Matrix ของข้อมูลแต่ละประเภท โดยการตั้งสมมติฐานว่า แต่ละประเภทข้อมูลจะมีการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ(Normal Distribution) แล้วนำมาคำนวณค่าความน่าจะเป็น (Probability) ของแต่ละจุดภาพที่จำแนกในประเภทข้อมูล วิธีการนี้ใช้เวลานานในการประมวลผลของคอมพิวเตอร์

4. ผลการทดสอบ

งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม ENVI [11] ในการวิเคราะห์และประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียม ภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้ในการทดสอบสกัดค่าสภาพความชื้นผิวดินนี้ ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 7 ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 50 ตารางกิโลเมตร บริเวณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ดังรูปที่ 1 [12] ซึ่งมีขนาดพื้นที่ไม่กว้างมาก เพื่อสะดวกในการสำรวจภาคสนามในการเก็บข้อมูลค่าสภาพความชื้นผิวดิน ใช้วิธีการจำแนกข้อมูลแบบ Supervised classifications โดยวิธี Maximum Likelihood Classification โดยใช้ข้อมูลตัวแทนจากการสำรวจภาคสนาม



รูปที่ 1 ภาพบริเวณพื้นที่ศึกษา

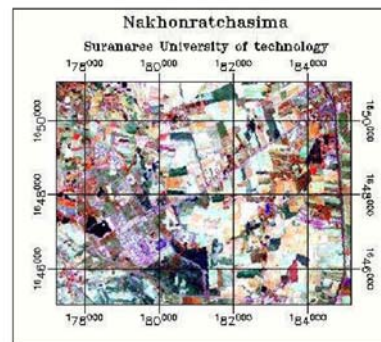
ภาพถ่ายดาวเทียมที่นำมาใช้ในการสร้างแผนที่ค่าสภาพความชื้นผิวดิน ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat7 ซึ่งมีทั้งหมด 7 ช่วงคลื่นมีความละเอียดของจุดภาพ 30 เมตร แต่ละช่วงคลื่นมีประสิทธิภาพในการสำรวจที่ต่างกันออกไป เนื่องจากเป็นการประยุกต์ใช้งานแบบใหม่ดังนั้นจึงต้องมีการค้นหาช่วงคลื่นที่เหมาะสมในการใช้งาน โดยทำการเตรียมภาพถ่ายดาวเทียมด้วยการผสมแบบคู่หรือช่วงคลื่น โดยใช้หลักการผสมสีเท็จ [13] ซึ่งคือการกำหนดให้แบนด์แต่ละแบนด์เป็นสีตามแม่สีคือ สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน ทดสอบผสมแบนด์ทั้งหมด 5 กรณีดังนี้

- กรณีที่ 1 แบนด์ 4-3-2 (สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน)
- กรณีที่ 2 แบนด์ 4-5-3 (สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน)
- กรณีที่ 3 แบนด์ 4-5-7 (สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน)
- กรณีที่ 4 แบนด์ 7-4-3 (สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน)
- กรณีที่ 5 แบนด์ 7-5-3 (สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน)

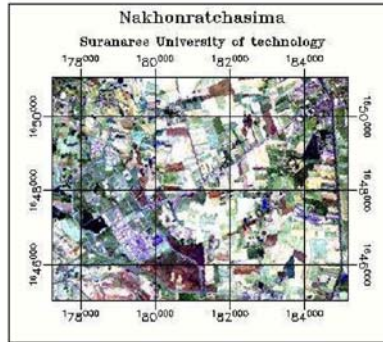
ตารางที่ 1 ความถูกต้องจากผลการจำแนกค่าสภาพความชื้นผิวดิน

การผสมแบนด์	ความถูกต้อง (%)
4-3-2 (สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน)	64.29
4-5-3 (สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน)	57.14
4-5-7 (สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน)	71.43
7-4-3 (สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน)	71.43
7-5-3 (สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน)	85.71

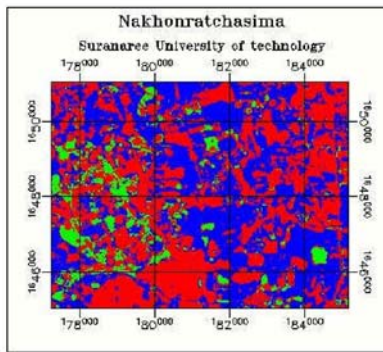
สำรวจภาคสนามและวัดค่าสภาพความชื้นผิวดินในบริเวณทดสอบทั้งหมด 50 จุด โดยแบ่งข้อมูล 36 จุดใช้เป็นข้อมูลตัวอย่างในการจำแนกค่าสภาพความชื้นผิวดิน และใช้ข้อมูลอีก 14 จุดในการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกค่าสภาพความชื้นผิวดิน จากภาพถ่ายดาวเทียมที่ผ่านการผสมแบนด์ทั้ง 5 กรณี โดยภาพที่เกิดจากการผสมแบนด์ในแต่ละกรณี มีความต่างกันของสีภาพและรายละเอียดภาพ ตัวอย่าง เช่นภาพที่เกิดจากการผสมแบนด์ 4-5-3 แสดงดังรูปที่ 2 และภาพที่เกิดจากการผสมแบนด์ 7-5-3 แสดงดังรูปที่ 3 จะเห็นว่าภาพทั้ง 2 ภาพมีความแตกต่างกัน ผลที่ได้จากการจำแนกค่าสภาพความชื้นผิวดินจากภาพที่เกิดจากการผสมแบนด์ 7-5-3 จากตารางที่ 1 พบว่ามีความถูกต้องมากที่สุดคือ 85.71% กรณีภาพที่มีความถูกต้องน้อยที่สุดคือภาพที่เกิดจากการผสมแบนด์ 4-5-3 มีความถูกต้อง 57.14%



รูปที่ 2 ภาพที่เกิดจากการผสมแบนด์ 4-5-3



รูปที่ 3 ภาพที่เกิดจากการผสมแบนด์ 7-5-3



ค่าอธิบายสัญลักษณ์

- 10-100 $\Omega.m$
- 101-200 $\Omega.m$
- >200 $\Omega.m$

รูปที่ 4 แผนที่ค่าสภาพความต้านทานดินจากภาพที่ผสมแบนด์ 7-5-3

5. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอวิธีการประยุกต์ใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อนำมาประมวลค่าสภาพความต้านทานดิน ในการทดสอบใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat7 ครอบคลุมพื้นที่ 50 ตารางกิโลเมตร ใช้โปรแกรม ENVI ประกอบกับข้อมูลการสำรวจค่าสภาพความต้านทานดินภาคสนาม ใช้วิธีการจำแนกข้อมูลแบบ Supervised classifications โดยวิธี Maximum Likelihood โดยผลที่มีความถูกต้องมากที่สุดคือการใช้ภาพจากการผสมแบนด์ 7-5-3 ซึ่งมีความถูกต้อง 85.71% ข้อมูลแผนที่ค่าสภาพความต้านทานดินที่ได้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในระบบส่ง

จ่ายกำลังไฟฟ้าและระบบจำหน่าย เช่น ระบบการต่อลงดิน ระบบป้องกันฟ้าผ่า ระบบป้องกันการเกิดลัดวงจรลงดิน เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] W. Elshorbagy and A. Elhakeem, "Risk assessment maps of oil spill for major desalination plants in the United Arab Emirates", Desalination, Volume 228, Issues 1-3, pp. 200-216, 2008
- [2] X. Jin and C. H. Davis, "An integrated system for automatic road mapping from high resolution multispectral satellite imagery", Information Fusion, Volume 6, Issue 4, pp. 257-273, 2005
- [3] G. Finnveden and A. Moberg, "Environmental systems analysis tools an overview", Journal of Cleaner Production, Volume 13, Issue 12, pp. 1165-1173, 2005
- [4] Y. Nishigami, H. Sano and T. Kojima, "Estimation of forest area near deserts production of Global Bio-Methanol from solar energy", Applied Energy, Volume 67, Issue 4, pp. 383-393, 2000
- [5] G.P. Patil, W.L. Myers, Z. Luo, G.D. Johnson and C.Taillie, "Multiscale assessment of landscapes and watersheds with synoptic multivariate spatial data in environmental and ecological statistics", Mathematical and Computer Modelling, Volume 32, Issues 1-2, pp. 257-272, 2000
- [6] IEEE Std 142-1991, "IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems", 1993
- [7] IEEE, "IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity Ground Impedance and Earth Surface Potentials of a Ground system", 1983
- [8] http://en.wikipedia.org/wiki/Topographic_map
- [9] C. Banman, "Supervised and Unsupervised Land Use Classification", spring session 2002
- [10] L. Castellana, A. Addabbo and G. Pasquariello, "A composed supervised/unsupervised approach to improve change detection from remote sensing", Pattern Recognition Letters, Volume 28, Issue 4, pp.405-413, 2007
- [11] Tutorials the environment for visualizing images, ENVI version 3.2, July, 1999
- [12] <http://maps.google.com/>
- [13] R.C. Gonzalez and R. E. Wood, "Digital image processing", 3rd Edition, 2007

ประวัติผู้เขียน

นายขวัญชัย นอแสงศรี เกิดเมื่อวันที่ 23 มิถุนายน พ.ศ. 2528 ที่จังหวัดขอนแก่น สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนสีชมพูศึกษา อำเภอสีชมพู จังหวัดขอนแก่น และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) เกียรตินิยมอันดับ 2 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อ พ.ศ. 2550 จากนั้นเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า โดยได้เป็นผู้สอนปฏิบัติการของสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จำนวน 7 รายวิชา ได้แก่ (1) ปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้า 2 (2) ปฏิบัติการระบบไฟฟ้ากำลัง 1 (3) ปฏิบัติการระบบไฟฟ้ากำลัง 2 (4) ปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้า 1 (5) ปฏิบัติการเครื่องจักรกลไฟฟ้า 1 (6) ปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์วิศวกรรม และ (7) ปฏิบัติการการใช้โปรแกรมแมทแลบสำหรับวิศวกรรมไฟฟ้า โดยมีความสนใจในด้านระบบไฟฟ้ากำลัง มีผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษาดังในภาคผนวก ข.