

การประยุกต์ใช้วิธีธรณีสถิติในการศึกษาค่าน้ำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามบริเวณ

อำเภอบ้านไผ่ จังหวัดขอนแก่น



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อพัฒนาทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล

พ.ศ. 2546

ISBN 974-04-3988-8

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยมหิดล

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประยุกต์ใช้วิธีธรณีสถิติในการศึกษาค่าน้ำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามบริเวณ

อำเภอบ้านไผ่ จังหวัดขอนแก่น




นาย วุฒิพันธุ์ วงษ์มั่งคด

ผู้วิจัย



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุระ พัฒนเกียรติ Ph.D.

ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์



นาย ชาลี นาวานุเคราะห์ Ph.D.

กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์



นาย สุนทร พุ่มจันทร์ Ph.D.

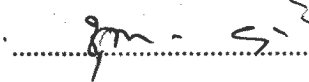
กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์



รองศาสตราจารย์ รัตมีคารา หุ่นสวัสดิ์ Ph.D.

คณบดี

บัณฑิตวิทยาลัย



นาย ชุมพร ชูวี วทม.

ประธานคณะกรรมการบริหารหลักสูตร

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนา

ทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประยุกต์ใช้วิธีธรณีสถิติในการศึกษาค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามบริเวณ
อำเภอบ้านไผ่ จังหวัดขอนแก่น

ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อพัฒนาระบบการและสิ่งแวดล้อม
วันที่ 23 กันยายน พ.ศ. 2546



นาย วุฒิพันธุ์ วงษ์มั่งคด
ผู้วิจัย



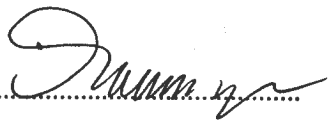
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุระ พัฒนเกียรติ Ph.D.
ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



นาย ชาลี นาวานุเคราะห์ Ph.D.
กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



นาย จงรัก วัชรินทร์รัตน์ Ph.D.
กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

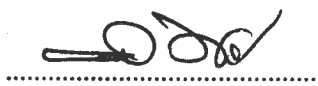


รองศาสตราจารย์ รัตมิตารา หุ่นสวัสดิ์ Ph.D.
คณบดี

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยมหิดล



นาย สุนทร พุ่มจันทร์ Ph.D.
กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



รองศาสตราจารย์ อนุชาติ พวงสำลี Ph.D.
คณบดี

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหิดล

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยต้องขอขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผศ. สุระ พัฒนะเกียรติ อ.ชาติ นาวานุเคราะห์ และอ. สุนทร พุ่มจันทร์ ซึ่งเป็นคณาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและข้อชี้แนะที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับงานวิจัย อ.จรงค์ วัชรินทร์รัตน์ ที่ได้กรุณาให้เกียรติและสละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ คุณ ชัยนาม ดิสถาพร จากกรมพัฒนาที่ดิน สำหรับข้อมูลและคำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ คุณ อุดล พร้อมจรรยากุล จากกรมพัฒนาที่ดิน และคุณ อุณากร ศิลปี สำหรับความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลภาคสนาม คุณ สุจิตตรา เจริญศิริอุทัยยศ ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับโปรแกรม และข้อมูลต่างๆที่นำมาใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณ พี่ลักขณาและพี่ฝน ห้องสมุดคณะสิ่งแวดล้อมฯ พี่อ้อ ฝ่ายการศึกษา ที่ให้คำแนะนำและประสานงานต่างๆเป็นอย่างดี รวมทั้งเจ้าหน้าที่ทุกฝ่ายของคณะสิ่งแวดล้อมฯ สำหรับความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์ในหลายๆด้าน

ขอขอบคุณ หน้อย กาน นื่องนุ่น คารณี อิง อ้อย กิฟ ป้าเจี๊ยบ ป้านวย ไพบูล และเพื่อนๆ AT 13 ท่านอื่นๆ อีกหลายท่าน ที่คอยให้กำลังใจ กระตุ้น ตักเตือน และช่วยเหลือมาตลอด

สุดท้ายเหนือสิ่งอื่นใด ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนด้านการศึกษาในทุกๆระดับแก่ผู้วิจัยเสมอมา

วุฒิพันธุ์ วงษ์มงคล

การประยุกต์ใช้วิธีธรณีสถิติในการศึกษาค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามบริเวณ อำเภอบ้านไผ่ จังหวัดขอนแก่น
(APPLICATION OF GEOSTATISTICS ON APPARENT ELECTRICAL CONDUCTIVITY STUDIES ; AMPHUR
BANPHAI ,CHANGWAT KHONKEAN)

วุฒิพนธ์ วรณมงคล 4136250 ENAT/M

วท.ม. (เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อพัฒนาทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม)

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ : สุระ พัฒนเกียรติ, Ph.D., ซาลี นาวานุเคราะห์, Ph.D., สุนทร พุ่มจันทร์, Ph.D.

บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำวิธีธรณีสถิติมาประยุกต์ใช้กับค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามบริเวณ อำเภอบ้านไผ่ จังหวัดขอนแก่น โดยวัดค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามด้วยเครื่อง EM 34 ที่ระดับความลึก 0-7.5, 0-15 และ 0-30 เมตร ข้อมูลที่ใช้แบ่งออกเป็น 2 ชุด ได้แก่ ข้อมูลทุติยภูมิจากกรมพัฒนาที่ดิน เป็นข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1,000 x 1,000 เมตร จำนวน 194 จุด และข้อมูลปฐมภูมิที่ได้จากการเก็บตัวอย่างเพิ่มเติม มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 เมตร จำนวน 169 จุด

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามทั้ง 2 ชุด สามารถนำมาใช้กับวิธีธรณีสถิติได้เป็นอย่างดี โดยเวรีโอแกรมที่ได้จากข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 เมตรทั้ง 3 ระดับความลึก เข้าได้ดีกับแบบจำลองเอ็กซ์โปเนนเชียล มีค่าระยะอิทธิพลอยู่ในระยะ 400 – 750 เมตร เวรีโอแกรมที่ได้จากข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บ 1,000 x 1,000 เมตร เข้าได้ดีกับแบบจำลองสเฟียร์คัล มีค่าระยะอิทธิพลอยู่ในระยะ 4,300 – 5,100 เมตร ลักษณะการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามมีความแตกต่างกันไปในแต่ละทิศทาง โดยค่าความแปรปรวนคงที่ของเวรีโอแกรมที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1,000 x 1,000 เมตร ทั้ง 3 ระดับความลึก มีค่ามากที่สุด ในทิศตะวันออกเฉียงใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือ ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของระดับความสูงของพื้นที่ซึ่งมีลักษณะลาดเทจากทิศตะวันออกเฉียงใต้ลงสู่ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ แผนที่ระดับความรุนแรงของความเค็มของดินที่ได้จากการประมาณค่าแบบคริกกิงในพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 ระดับความลึก แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ส่วนใหญ่มีระดับความเค็มน้อย (ค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม 80-120 mS/m) โดยพื้นที่ที่มีระดับความเค็มมากและเค็มจัดจะอยู่ในบริเวณพื้นที่ต่ำ ขณะที่พื้นที่ที่มีระดับความเค็มน้อยกว่าจะอยู่ในบริเวณพื้นที่ที่ต่ำกว่า

คำสำคัญ : ธรณีสถิติ / ค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม / เวรีโอแกรม / คริกกิง

159 หน้า ISBN. 974-04-3988-8

APPLICATION OF GEOSTATISTICS ON APPARENT ELECTRICAL CONDUCTIVITY STUDIES ; AMPHUR BANPHAI ,CHANGWAT KHONKEAN.**VUTHIPHAN VONGMONGKOL 4136250 ENAT/ M****M.Sc. (APPROPRIATE TECHNOLOGY FOR RESOURCES AND ENVIROMENTAL DEVELOPMENT)****THESIS ADVISORS : SURA PATTANAKIAT,Ph.D., CHALIE NAVANUGRAHA, Ph.D., SUNTORN PUMCHAN, Ph.D.****ABSTRACT**

This research is aimed at the application of the geostatistical method to apparent electrical conductivity (EC_a) in Banphai district, Khonkean province. EC_a was measured by an EM34 instrument at the depth of 0-7.5, 0-15 and 0-30 meters. Secondary EC_a data of 1,000 x 1,000 meter grid from 194 sites was obtained from The Land Development Department. Primary EC_a data from an 80 x 80 meter grid was taken from 169 sites.

The results show that the both EC_a data can be processed by the geostatistical method. The variogram of 80 x 80 meters from all three depths fits well into the exponential model at the range of 400 – 750 meters while the variogram of 1,000 x 1,000 meters from all 3 depths fits into the spherical model at the range of 4,300 – 5,100 meters. The difference of sill from the variogram of 1,000 x 1,000 meters in each direction shows an anisotropic condition. The sill from the variogram of 1,000 x 1,000 meters from all 3 depths has the maximum value at the northwestern – southeastern direction. This conforms with the pattern of elevation change that inclines from northwestern to southeastern direction. Salt-affected soil map from kriging estimation of all three depths shows that the majority of the area has a slight salt effect (EC_a 80-120 mS/m). Areas of strongly and very strongly salt-affected soil are located mostly in the lower area while those having slightly salt-affected soil are located in the upper area.

KEY WORDS : GEOSTATISTICS/ APPARENT ELECTRICAL CONDUCTIVITY/ VARIOGRAM / KRIGING

159 P. ISBN. 974-04-3988-8

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา.....	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.5 นิยามศัพท์.....	4
2. ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.....	6
2.2 อิทธิพลของปัจจัยต่างๆกับการแพร่กระจายของดินเค็ม.....	9
2.3 วิธีการสำรวจดินเค็ม.....	12
2.4 ค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม.....	13
2.5 ธรณีสถิติ.....	21
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	36

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3. พื้นที่ศึกษา	
3.1 ที่ตั้งของพื้นที่ศึกษา.....	40
3.2 ลักษณะภูมิประเทศ.....	40
3.3 ลักษณะทางธรณีวิทยา.....	40
3.4 ลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา.....	41
3.5 ลักษณะของดิน.....	47
4. วิธีการดำเนินการศึกษา	
4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา.....	51
4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา.....	55
4.3 การเก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น.....	56
4.4 การเก็บค่าตัวอย่างค่าน้ำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม.....	56
4.5 การดำเนินการด้วยวิธีสถิติ.....	57
4.6 การวิเคราะห์และนำเสนอข้อมูล.....	60
5. ผลการศึกษาและอภิปราย	
5.1 สถิติพื้นฐานและลักษณะการแจกแจงของข้อมูลค่าน้ำไฟฟ้า ของชั้นดินในสนาม.....	62
5.2 เวกเตอร์และค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม.....	67
5.3 ผลการวิเคราะห์เวกเตอร์และแบบจำลองเวกเตอร์.....	80
5.4 การทดสอบความเหมาะสมด้วยวิธี Cross validation.....	93
5.5 การประมาณค่าน้ำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามด้วยวิธีคริกกิง.....	100
5.6 ลักษณะการกระจายตัวของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิง.....	111
5.7 อภิปรายผลการศึกษา.....	122
6. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	
6.1 สรุปผลการศึกษา.....	128

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

6.2 ข้อเสนอแนะ.....	131
บรรณานุกรม.....	132
ภาคผนวก ก ข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามที่มีระยะห่าง ระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1,000 x 1,000 เมตร.....	137
ภาคผนวก ข ข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามที่มีระยะห่าง ระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 เมตร.....	145
ประวัติผู้วิจัย.....	152
Executive Summary.....	153

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. อัตราเร็วของอ็อนที่ 25 องศาเซลเซียส.....	20
2. ชุคดินและลักษณะดินในพื้นที่ศึกษา.....	48
3. ค่ามุมทิศทาง.....	58
4. ค่าสถิติพื้นฐานของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามที่มีระยะห่างระหว่าง จุดเก็บตัวอย่าง 80x 80 เมตร.....	62
5. ค่าสถิติพื้นฐานของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่าง จุดเก็บตัวอย่าง 1,000x 1,000 เมตร.....	64
6. ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการสร้างเวรีโอแกรมของค่านำไฟฟ้า ของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่าง ระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร.....	68
7. ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการสร้างเวรีโอแกรมของค่า นำไฟฟ้า ของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่าง ระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร.....	70
8. ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการสร้างเวรีโอแกรมของค่านำไฟฟ้า ของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-30 เมตร.....	72
9. ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการสร้างเวรีโอแกรมของค่านำไฟฟ้า ของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1000 x 1000 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร.....	74
10. ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการสร้างเวรีโอแกรมของค่านำไฟฟ้า ของชั้นดินในสนามที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1000 x 1000 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร.....	76
11. ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการสร้างเวรีโอแกรมของค่านำไฟฟ้า ของชั้นดินในสนามที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1000 x 1000 เมตร ในระดับความลึก 0-30 เมตร.....	78

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
12. ข้อมูลแบบจำลองเวริโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร.....	80
13. ข้อมูลแบบจำลองเวริโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร.....	82
14. ข้อมูลแบบจำลองเวริโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-30 เมตร.....	84
15. ข้อมูลแบบจำลองเวริโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร.....	86
16. ข้อมูลแบบจำลองเวริโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร.....	88
17. ข้อมูลแบบจำลองเวริโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-30 เมตร.....	90
18. ผลการทดสอบด้วยวิธี Cross validation กับข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดิน ในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร.....	94
19. ผลการทดสอบด้วยวิธี Cross validation กับข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดิน ในสนามที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร.....	95
20. ผลการทดสอบด้วยวิธี Cross validation กับข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดิน ในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-30 เมตร.....	96

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

21. ผลการทดสอบด้วยวิธี Cross validation กับข้อมูลค่า นำไฟฟ้าของชั้นดิน ในสนามที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร.....	98
22. ผลการทดสอบด้วยวิธี Cross validation กับข้อมูลค่า นำไฟฟ้าของชั้นดิน ในสนามที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร.....	99
23. ผลการทดสอบด้วยวิธี Cross validation กับข้อมูลค่า นำไฟฟ้าของชั้นดิน ในสนามที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-30 เมตร.....	100
24. สรุปแบบจำลองเวรีโอแกรมและจำนวนข้อมูลข้างเคียงที่เหมาะสม ในการประมาณค่า นำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 80 x 80 เมตร ด้วยวิธีคริกกิง ทั้ง 3 ระดับความลึก.....	101
25. สรุปแบบจำลองเวรีโอแกรมและจำนวนข้อมูลข้างเคียงที่เหมาะสม ในการประมาณค่า นำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามที่มีระยะห่างระหว่างจุด 1,000 x 1,000 เมตร ด้วยวิธีคริกกิง ทั้ง 3 ระดับความลึก.....	106

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่

1. หลักการวัดค่านำไฟฟ้าและค่าความต้านทานไฟฟ้า.....	14
2. หลักการวัดค่านำไฟฟ้าที่ได้จากการกระตุ้นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	16
3. ส่วนประกอบของเครื่อง EM 34.....	17
4. วิธีวัดค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ในแบบแนวตั้งและแนวราบ.....	18
5. ลักษณะและคุณสมบัติต่างๆ ของแวนิโอแกรม.....	26
6. แบบจำลองแวนิโอแกรมแบบสเฟียริคัล.....	28
7. แบบจำลองแวนิโอแกรมแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลและเกาส์เซียน.....	29
8. แบบจำลองแวนิโอแกรมแบบสุ่มหรือ Pure nugget effect.....	30
9. แบบจำลองแวนิโอแกรมแบบเส้นตรงและพาราโบลิค.....	31
10. แผนที่ขอบเขตพื้นที่ศึกษา.....	42
11. แผนที่ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางบริเวณพื้นที่ศึกษา.....	43
12. แผนที่ลักษณะธรณีวิทยาบริเวณพื้นที่ศึกษา.....	44
13. แผนที่ภาคตัดขวางลักษณะธรณีวิทยาและอุทกธรณีวิทยาบริเวณพื้นที่ศึกษา.....	45
14. แผนที่คุณภาพน้ำบาดาลบริเวณพื้นที่ศึกษา.....	46
15. แผนที่ลักษณะภูมิประเทศบริเวณพื้นที่ศึกษา.....	49
16. แผนที่ลักษณะเนื้อดินบริเวณพื้นที่ศึกษา.....	50
17. ขอบเขตพื้นที่เก็บตัวอย่างค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามที่มีระยะห่าง ระหว่างจุด 80 x 80 เมตร.....	53
18. จุดเก็บตัวอย่างค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามที่มีระยะห่าง ระหว่างจุด 1,000 x 1,000 เมตร.....	54
19. จุดเก็บตัวอย่างค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามที่มีระยะห่าง ระหว่างจุด 80 x 80 เมตร.....	54
20. ขั้นตอนการดำเนินการด้วยวิธีธรณีสถิติ.....	61
21. กราฟฮิสโตแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม จากข้อมูลที่มีระยะห่าง ระหว่างจุด 80 x 80 เมตร (ก) ระดับความลึก 0-7.5 เมตร (ข) ระดับความลึก 0-15 เมตร (ค) ระดับความลึก 0-30 เมตร.....	65

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่

22. กราฟฮิสโตแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม จากข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่างจุด 1,000 x 1000 เมตร (ก) ระดับความลึก 0-7.5 เมตร (ข) ระดับความลึก 0-15 เมตร (ค) ระดับความลึก 0-30 เมตร.....	66
23. แวริโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 80x80 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร (ก) ทิศตะวันออก-ตะวันตก (ข) ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (ค) รวมทิศ (ง) ทิศเหนือ-ใต้ (จ) ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้.....	69
24. แวริโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 80x80 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร (ก) ทิศตะวันออก-ตะวันตก (ข) ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (ค) รวมทิศ (ง) ทิศเหนือ-ใต้ (จ) ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้.....	71
25. แวริโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 80x80 เมตร ในระดับความลึก 0-30 เมตร (ก) ทิศตะวันออก-ตะวันตก (ข) ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (ค) รวมทิศ (ง) ทิศเหนือ-ใต้ (จ) ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้.....	73
26. แวริโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร (ก) ทิศตะวันออก-ตะวันตก (ข) ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (ค) รวมทิศ (ง) ทิศเหนือ-ใต้ (จ) ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้.....	75
27. แวริโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร (ก) ทิศตะวันออก-ตะวันตก (ข) ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (ค) รวมทิศ (ง) ทิศเหนือ-ใต้ (จ) ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้.....	77
28. แวริโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-30เมตร (ก) ทิศตะวันออก-ตะวันตก (ข) ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (ค) รวมทิศ (ง) ทิศเหนือ-ใต้ (จ) ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้.....	79

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่

29. แบบจำลองเวรีโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร (ก) ทิศตะวันออก-ตะวันตก (ข) ทิศเหนือ-ใต้ (ค) รวมทิศ.....	81
30. แบบจำลองเวรีโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร (ก) ทิศตะวันออก-ตะวันตก (ข) ทิศเหนือ-ใต้ (ค) รวมทิศ.....	83
31. แบบจำลองเวรีโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-30 เมตร (ก) ทิศตะวันออก-ตะวันตก (ข) ทิศเหนือ-ใต้ (ค) รวมทิศ.....	85
32. แบบจำลองเวรีโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร (อ) ทิศตะวันออก-ตะวันตก (ข) ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (ค) รวมทิศ (ง) ทิศเหนือ-ใต้ (จ) ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้.....	87
33. แบบจำลองเวรีโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร (ก) ทิศตะวันออก-ตะวันตก (ข) ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (ค) รวมทิศ (ง) ทิศเหนือ-ใต้ (จ) ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้.....	89
34. แบบจำลองเวรีโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-30 เมตร (อ) ทิศตะวันออก-ตะวันตก (ข) ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (ค) รวมทิศ (ง) ทิศเหนือ-ใต้ (จ) ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้.....	91
35. แผนที่แสดงระดับความรุนแรงของดินเค็มในพื้นที่ทดลองขนาด 0.96 ตารางกิโลเมตร ที่ระดับความลึก 0-7.5 เมตร.....	103
36. แผนที่แสดงระดับความรุนแรงของดินเค็มในพื้นที่ทดลองขนาด 0.96 ตารางกิโลเมตร ที่ระดับความลึก 0-15 เมตร.....	104
37. แผนที่แสดงระดับความรุนแรงของดินเค็มในพื้นที่ทดลองขนาด 0.96 ตารางกิโลเมตร ที่ระดับความลึก 0-30 เมตร.....	105

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
38. แผนที่แสดงระดับความรุนแรงของดินเค็มในพื้นที่ศึกษา ที่ระดับความลึก 0-7.5 เมตร.....	108
39. แผนที่แสดงระดับความรุนแรงของดินเค็มในพื้นที่ศึกษา ที่ระดับความลึก 0-15 เมตร.....	109
40. แผนที่แสดงระดับความรุนแรงของดินเค็มในพื้นที่ศึกษา ที่ระดับความลึก 0-30 เมตร.....	110
41. แผนที่เส้นชั้นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้ง ของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร.....	116
42. แผนที่เส้นชั้นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้ง ของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร.....	117
43. แผนที่เส้นชั้นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้ง ของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-30 เมตร.....	118
44. แผนที่เส้นชั้นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้ง ของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร.....	119
45. แผนที่เส้นชั้นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้ง ของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร.....	120
46. แผนที่เส้นชั้นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้ง ของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-30 เมตร.....	121

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหาดินเค็มเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่งในการจัดการทรัพยากรโดยเฉพาะทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ซึ่งมีพื้นที่ดินเค็มแพร่กระจายอยู่ทุกจังหวัดตั้งแต่ระดับความเค็มน้อย เค็มปานกลางถึงเค็มมาก คิดเป็นพื้นที่ถึง 17.81 ล้านไร่ หรือประมาณร้อยละ 17 ของพื้นที่ทั้งหมด (สมศรี, 2539) สาเหตุหลักของการแพร่กระจายนั้นเกิดขึ้นเนื่องจาก ภายใต้อากาศตะวันออกเฉียงเหนือส่วนใหญ่จะประกอบด้วยชั้นหินดินดานและหินทราย เมื่อฝนตกจะมีน้ำบางส่วนซึมลึกลงไปถึงชั้นหิน ถ้าในชั้นหินเหล่านั้นมีเกลืออยู่ เกลือก็จะละลายไปกับน้ำ เมื่อน้ำถูกพัดพาไปเกลือเหล่านี้ก็จะไปกับน้ำด้วยทำให้ไปสะสมอยู่ตามเชิงเนิน และพื้นที่ลุ่มต่ำ เกิดเป็นพื้นที่ดินเค็มซึ่งเมื่อน้ำระเหยไปก็จะเหลือคราบเกลือปรากฏอยู่บนผิวดิน (สมศรี, 2542)

กรมพัฒนาที่ดินเป็นหน่วยงานของรัฐซึ่งมีหน้าที่ในการวางแผนการจัดการดินในประเทศไทย ได้ทำการศึกษาวิจัยหาวิธีการลดการแพร่กระจายของดินเค็มทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งวิธีที่ได้ผลเป็นที่น่าพอใจและมีค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมวิธีหนึ่งก็คือ การปลูกป่าเพื่อลดการแพร่กระจายของดินเค็ม ทำให้ช่วยลดระดับความรุนแรงที่เกิดขึ้นจากอิทธิพลของน้ำเค็มใต้พื้นดิน สำหรับการวางแผนกำหนดพื้นที่ในการปลูกป่า มีขั้นตอนที่สำคัญอย่างยิ่งก็คือการกำหนดพื้นที่รับน้ำ (recharge area) และพื้นที่ให้น้ำ (discharge area) วิธีการสำรวจด้านแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยเครื่อง EM34 ได้ถูกนำมาใช้ เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่สามารถเก็บค่าตัวอย่างได้สะดวกรวดเร็ว ใช้แรงงานในการดำเนินการน้อย (Mcneill, 1980) อีกทั้งยังได้รับความนิยมแพร่หลายในนานาประเทศ(Hendrickxและคณะ, 1992) ค่าที่วัดได้จากเครื่อง EM34 จะเป็นค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม (EC_a, apparent electrical conductivity) ในระดับความลึก 0-7.5, 0-15 และ 0-30 เมตร โดยปัจจัยที่มีผลต่อค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามนี้ ได้แก่ ชนิดของดินและหิน ปริมาณความชื้น อุณหภูมิและปริมาณเกลือที่อยู่ภายในดิน (Mcneill, 1980) ค่าที่ได้นี้สามารถนำมา

คำนวณหา EM slop เพื่อใช้ในการกำหนดพื้นที่ให้น้ำและพื้นที่รับน้ำได้ (ปราโมทย์, 2542) นอกจากนี้ค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามยังสามารถนำมาคาดคะเนค่านำไฟฟ้าของน้ำใต้ดิน (ปราโมทย์และคณะ, 2539) และค่านำไฟฟ้าของสารละลายดินที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (ECe) ได้อีกด้วย (Rhoades และคณะ, 1989)

เนื่องจากค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามมีลักษณะเป็นตัวแปรภูมิภาค (Regional variable) ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีค่าผูกพันอยู่กับพิกัดตำแหน่ง และข้อมูลมีความสัมพันธ์กันในเชิงพื้นที่ (Spatial dependancy) กล่าวคือ ข้อมูลที่มีตำแหน่งอยู่ใกล้กันจะมีค่าแตกต่างกันน้อยกว่าค่าของข้อมูลที่อยู่ห่างกันออกไป การศึกษาลักษณะความสัมพันธ์เชิงพื้นที่นี้สามารถทำได้ด้วยวิธีทางธรณีสถิติ (Geostatistic) ที่แม้ในอดีตจะมีต้นกำเนิดมาจากงานด้านเหมืองแร่ แต่ในปัจจุบันมีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายในงานด้านสิ่งแวดล้อมธรณีวิทยาและปฐพีวิทยา (Webster และ Oliver, 1990) โดยธรณีสถิติสามารถแสดงให้เห็นถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ (Spatial variability) ด้วยการสร้างแวนิโอแกรม (Variogram) อันเป็นเครื่องมือหลักทางธรณีสถิติในการหาลักษณะการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ให้ออกมาในรูปของข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantitative data) (Journel และ Huijbregts, 1978) และแสดงให้เห็นถึงระยะทางและทิศทางที่ข้อมูลมีความสัมพันธ์ต่อกัน เมื่อนำไปพิจารณาร่วมกับข้อมูลพื้นฐานที่มีอยู่เดิมก็จะแสดงให้เห็นลักษณะการกระจายตัวของตัวแปรที่ทำการศึกษาได้อย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถนำเอาแวนิโอแกรมมาใช้ในการประมาณค่าเชิงเส้นตรงด้วยวิธีคริกกิง (Kriging) ซึ่งได้รับการยอมรับว่าเป็นการประเมินเชิงเส้นที่มีอคติน้อยที่สุด (Best linear unbiased estimator) (Clake, 1982) ทำให้สามารถประมาณค่าตัวอย่างในพื้นที่ที่ไม่ได้เก็บข้อมูลได้อย่างแม่นยำ ช่วยให้เกิดความสิ้นเปลืองทั้งทางด้านงบประมาณและแรงงาน อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยในอดีต แสดงให้เห็นว่าข้อมูลบางชุดไม่เหมาะสมในการนำวิธีธรณีสถิติมาใช้เนื่องจากข้อมูลไม่มีความสัมพันธ์กันในเชิงพื้นที่ ซึ่งเกิดจากระยะระหว่างจุดเก็บตัวอย่างอยู่ห่างกันเกินกว่าระยะที่ข้อมูลมีความสัมพันธ์กัน (Journel และ Huijbregts, 1978)

พื้นที่ศึกษาบริเวณอำเภอบ้านไผ่ จังหวัดขอนแก่น เป็นพื้นที่หนึ่งซึ่งกรมพัฒนาที่ดินได้ทำการวิจัยและสำรวจเก็บตัวอย่างค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ด้วยเครื่อง EM34 โดยเก็บตัวอย่างแบบตารางกริดที่ระดับความลึก 0-7.5 0-15 และ 0-30 เมตร มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บประมาณ 1,000 x 1000 เมตร ในการศึกษาครั้งนี้จะนำเอาวิธีธรณีสถิติมาใช้ โดยศึกษาถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามด้วยแวนิโอแกรมและประมาณค่าในจุดที่ไม่ทราบค่าด้วยวิธีคริกกิง เนื่องจากระยะเก็บตัวอย่างที่ 1,000 เมตร เป็นระยะที่ค่อนข้างห่าง ซึ่ง

อาจส่งผลให้ทำให้ค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามไม่มีความสัมพันธ์กันในเชิงพื้นที่ และเพื่อให้ครอบคลุมลักษณะการเปลี่ยนแปลงในทุกกระยะ จึงทำการเก็บตัวอย่างเพิ่มเติมโดยมีระยะห่างระหว่างจุดเก็บ 80 x 80 เมตร ภายในพื้นที่ประมาณ 1 ตารางกิโลเมตร ซึ่งจะทำให้เห็นถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามในระยะต่ำกว่า 1,000 เมตร ข้อมูลที่ได้จะอธิบายลักษณะการเปลี่ยนแปลงและความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ได้อย่างสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการวางแผนเก็บตัวอย่างค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ด้วยเครื่อง EM34 ในงานวิจัยอื่นๆต่อไป นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปประมาณค่าด้วยวิธีคริกกิง เพื่อสร้างแผนที่ระดับความรุนแรงของความเค็มของดินในพื้นที่ศึกษาอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม จากข้อมูลที่มีระยะห่างในการเก็บตัวอย่างระหว่างคู่ตัวอย่าง 80x80 และ 1,000x1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร 0-15 เมตร และ 0-30 เมตร

1.2.2 เพื่อประยุกต์ใช้วิธีธรณีสถิติและการประมาณค่าแบบคริกกิง ในประมาณค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ของข้อมูลที่มีระยะห่างในการเก็บตัวอย่างระหว่างคู่ตัวอย่าง 80x80 และ 1,000x1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร 0-15 เมตร และ 0-30 เมตร

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามเป็นค่าที่เก็บในช่วงฤดูแล้งเท่านั้น

1.3.2 ค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นค่าที่เก็บแบบแนวราบ (Horizontal dipole mode) โดยตั้งระยะห่างระหว่างหัวรับส่งสัญญาณที่ 10, 20 และ 40 เมตร ค่าที่ได้จะเป็นค่าที่ระดับความลึก 0-7.5, 0-15 และ 0-30 เมตรตามลำดับ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทำให้ทราบถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงและความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามเพื่อเป็นประโยชน์ในการวางแผนเก็บตัวอย่างค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามด้วยเครื่อง EM34 ในงานวิจัยอื่นๆต่อไป

1.4.2 แผนที่ระดับความรุนแรงของความเค็มของดินในพื้นที่ศึกษา ที่ระดับความลึก 0-7.5, 0-15 และ 0-30 เมตร

1.4.3 แผนที่เส้นชั้นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิงในพื้นที่ศึกษา ที่ระดับความลึก 0-7.5, 0-15 และ 0-30 เมตร

1.5 นิยามศัพท์

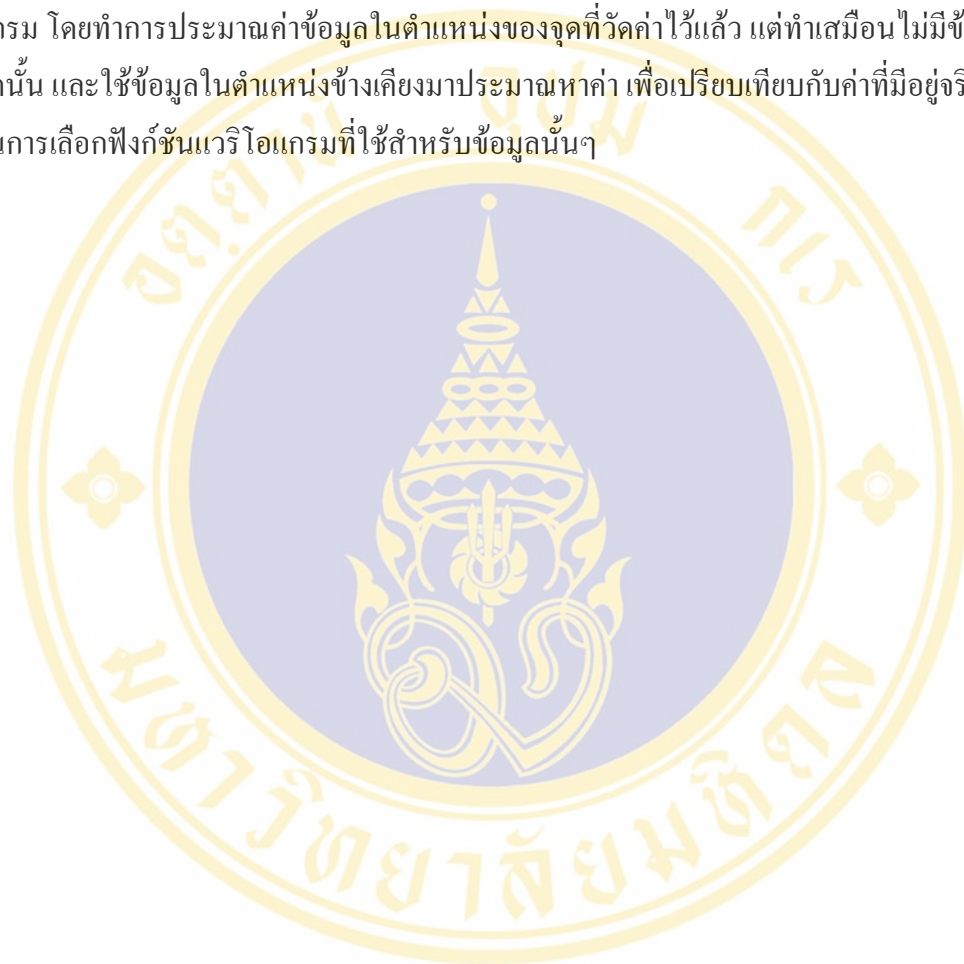
ค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม (Apparent electrical conductivity ; ECa) หมายถึง ค่านำไฟฟ้ารวมของทั้งหน้าตัดพื้นผิว โดยระดับความลึกของหน้าตัด ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างหัวรับและส่งสัญญาณ ค่าที่ได้จะขึ้นอยู่กับ ชนิดของดินและหิน ปริมาณความชื้น อุณหภูมิและปริมาณเกลือที่อยู่ภายในชั้นดิน

ธรณีสถิติ (Geostatistic) หมายถึง วิธีในการวิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลงและความสัมพันธ์ของข้อมูล โดยมีลักษณะที่สำคัญคือใช้ฟังก์ชันที่แสดงให้เห็นความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของข้อมูล เช่น แวริโอแกรม สร้างแบบจำลองของโครงสร้างความสัมพันธ์ในพื้นที่นั้นๆ โดยแบบจำลองที่สามารถนำไปประมาณค่าตัวแปรในจุดที่ไม่ทราบค่าได้ด้วยวิธีคริกกิง

แวริโอแกรม (Variogram) หมายถึง วิธีวัดค่าความเปลี่ยนแปลงหรือความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ออกมาในรูปแบบของข้อมูลเชิงคุณภาพ โดยคำนวณจากค่าความแปรปรวนของตัวแปร ในแต่ละระยะทางและทิศทางใดๆ โดยแวริโอแกรมจะแสดงออกมาในรูปแบบของกราฟค่าเซมิวาเรียนซ์ต่อระยะทาง

คริกกิง (Kriging) หมายถึง วิธีการประมาณค่าเชิงเส้นแบบหนึ่ง ซึ่งค่าถ่วงน้ำหนักคำนวณได้จากความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของข้อมูลในพื้นที่นั้น ที่แสดงออกมาในรูปของเวรีโอแกรม

Cross validation หมายถึง เทคนิคในการตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองเวรีโอแกรม โดยทำการประมาณค่าข้อมูลในตำแหน่งของจุดที่วัดค่าไว้แล้ว แต่ทำเสมือนไม่มีข้อมูลอยู่ในจุดนั้น และใช้ข้อมูลในตำแหน่งข้างเคียงมาประมาณหาค่า เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่มีอยู่จริง เพื่อช่วยในการเลือกฟังก์ชันเวรีโอแกรมที่ใช้สำหรับข้อมูลนั้นๆ



บทที่ 2

บททวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีประมาณ 17.81 ล้านไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 17 ของพื้นที่ นอกจากนี้ยังมีพื้นที่ที่มีศักยภาพในการแพร่กระจายเกลืออีก 19.4 ล้านไร่ ดินเค็มพบในทุกจังหวัดของภาค ลักษณะของดินเค็มที่สังเกตได้คือจะเห็นขุยเกลือขึ้นตามผิวดินและเป็นที่ว่างเปล่าไม่มีพืชอื่นขึ้นได้ ยกเว้นพืชทนเค็มบางชนิด เช่น หนามแดง หรือหนามปี เป็นต้น พื้นที่เค็มจัดบางแห่งมีน้ำใต้ดินเค็มอยู่ลึกประมาณ 1-2 เมตร จากผิวดิน ลักษณะอีกประการหนึ่งคือความเค็มจะไม่มีความสัมพันธ์กันในพื้นที่เดียวกัน และความจะแตกต่างกันระหว่างชั้นความลึกซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล ในฤดูฝนเกลือจะถูกชะล้างไปสะสมที่ชั้นล่างของดิน ในฤดูแล้งเกลือจะระเหยขึ้นมาทับน้ำสะสมอยู่ที่ดินชั้นบน เพราะลักษณะเนื้อดินส่วนใหญ่เป็นดินทราย การขึ้นลงของเกลือตามชั้นของดินจึงเป็นไปได้อย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับดินเหนียว ดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีความเค็มไม่สม่ำเสมอมากกว่าดินเค็มชายทะเล เพราะความซึมซาบน้ำดีกว่าจึงเปลี่ยนทิศทางการไหล และการสะสมของเกลือได้เร็วกว่า (อรุณี ยูวะนิยม, 2542)

2.1.1 การเกิดดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ทฤษฎีของการเกิดดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือนี้ มีรายงานการศึกษาจำนวนมาก เช่น งานของ Sattayarak (1985) พบว่าลักษณะทางธรณีฐานของแอ่งโคราช รองรับด้วยหินตะกอนในมหายุคมีโซโซอิก (Mesozoic era) ที่มีชั้นเกลือทับอยู่ด้านบน การวางตัวของชั้นหินดังกล่าวจะวางซ้อนตัวจากชั้นที่มีอายุมากที่สุดเรียงไปจนถึงชั้นที่มีอายุน้อยที่สุด โดยทำมุมประมาณ 5-10 องศาและมีทิศทางเทเข้าหาใจกลางแอ่ง ผลจากการเคลื่อนไหวของเปลือกโลกในยุคเทอร์เทียร์ (Tertiary period) ทำให้เกิดรอยเลื่อน (Faulting) รอยโค้งงอ (Folding) และรอยแตกอยู่ในชั้นหินที่รองรับอยู่ด้านล่าง (Ratanaharusak, 1990) โครงสร้างทางธรณีที่เกิดขึ้นภายหลังเป็น

โครงสร้างลักษณะต่างๆและโดมเกลือ การโค้งงอของโครงสร้างหินเกลือมีผลทำให้ชั้นหินที่ปิดทับด้านบนโค้งงอและมีรอยแตก(Fracture)อยู่ทั่วไป ในชั้นหินที่ปิดทับด้านบนสุดของหมวดหินมหาสารคาม(ปกรณ์, 2532) และหมวดหินภูทอก(Sattayarak, 1985)

พื้นที่ที่มีลักษณะโครงสร้างทางธรณีปรากฏให้เห็นเป็น โครงสร้างแบบรูปประทุนคว่ำ (Anticline) ส่วนใหญ่เป็นที่ลุ่มต่ำ ซึ่งมีชั้นหินเกลืออยู่ที่ความลึกจากผิวดินไม่มากนัก ส่วนพื้นที่ที่มีลักษณะโครงสร้างแบบรูปประทุนหงาย (Syncline) พื้นที่เป็นเนินสูง และมีชั้นหินที่มีปิดทับหินเกลือหนามาก (สมชัย และ สุนทร, 2533) จากลักษณะโครงสร้างดังกล่าว ซึ่งให้เห็นว่า พื้นที่ที่เป็นเนินสูงจะมีหินเกลืออยู่ลึกจากผิวดินมาก ด้วยเหตุนี้อาจเป็นไปได้ว่า พื้นที่บริเวณที่เป็นเนินสูง มักไม่ได้รับผลกระทบจากเกลือใต้ดิน แต่ในที่ลุ่มต่ำมักประสบปัญหาดินเค็ม (พิชัย, 2542) จากเหตุผลที่ว่าหินเกลืออยู่ใกล้กับผิวดิน

2.1.2 ลักษณะดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ลักษณะดินเค็มที่พบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเกิดจากชั้นหินเกลือที่รองรับอยู่เบื้องล่าง ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของเกลือที่ทำให้น้ำบาดาลเค็ม โดยน้ำจืดจากข้างบนไหลลงไปละลายชั้นหินเกลือในบริเวณ โดมเกลือและชั้นหินเกลือตื้น การหมุนเวียนของน้ำใต้ดินจะพาน้ำเค็มไหลขึ้นสู่ระดับผิวดินด้วยแรงแคปิลลารี (Capillary) ก่อให้เกิดปัญหาดินเค็มในพื้นที่ (พิทักษ์, 2533) ระดับความเค็มของน้ำใต้ดินและปริมาณน้ำใต้ดินจะมีความแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ขึ้นอยู่กับแหล่งที่เก็บกักน้ำใต้ดิน และแหล่งเก็บกักน้ำใต้ดินในภาคนี้อาจจะพบอยู่ตามรอยแตกของชั้นหินที่รองรับธรณีลักษณะอยู่ ในบริเวณพื้นที่ที่มีรอยแตกของชั้นหินจำนวนมากจะเป็นแหล่งน้ำบาดาลขนาดใหญ่สามารถนำน้ำขึ้นมาใช้ได้ ในอัตราสูง และด้วยเหตุผลใดก็ตามถ้าน้ำบาดาลใต้ดินอยู่ใกล้กับหินเกลือมากพอ บริเวณนั้นก็จะได้รับอิทธิพลจากหินเกลือทำให้น้ำบาดาลมีความเค็มไปด้วย (สมชัย และ สุนทร, 2533)

ลักษณะดินเค็มทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ อยู่ในรูปเกลือโซเดียมคลอไรด์คล้ายกับดินเค็มชายทะเล แต่ดินเค็มชายทะเลจะอยู่ในรูปของเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์และแมกนีเซียมซัลเฟตมากกว่า (อรุณี, 2542) ในภาคอีสานความเค็มของดินจะเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล และมีความเค็มไม่สม่ำเสมอในพื้นที่เดียวกัน ทำให้ค่าความเป็นกรดต่างเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลด้วย โดยในฤดูแล้งเกลือจะระเหยขึ้นมาสะสมอยู่ที่ดินชั้นบน สามารถมองเห็นชุกเกลือตามผิวดิน นอกจากนี้

เนื่องจากลักษณะดินเค็มส่วนใหญ่เป็นดินทราย ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินเค็มจะสูงในช่วงฤดูฝนและลดต่ำในฤดูแล้งและมีค่าความต้านทานการเปลี่ยนแปลงประจุต่ำ (Low buffering capacity) ด้วย ทำให้ดินเค็มในภาคนี้แตกต่างจากดินเค็มชายทะเลและดินเค็มภาคกลาง (Mitsuchi และคณะ, 1986)

2.1.3 การแบ่งระดับความเค็มของดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

เนื่องจากปริมาณเกลือที่สะสมอยู่ในดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จะเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลและลักษณะของเนื้อดินในแต่ละบริเวณ จึงยากต่อการกำหนดคุณสมบัติของระดับชั้นความเค็ม เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว จึงใช้ปริมาณความมากน้อยของคราบเกลือผิวดิน และคุณสมบัติอื่นๆ เช่นระดับความลึกและคุณภาพของน้ำใต้ดิน ตลอดจนชั้นของหินที่รองรับอยู่เบื้องล่างว่ามีชั้นหินที่มีเกลือสะสมอยู่หรือไม่ มากำหนดการแบ่งชั้นความเค็ม ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ดังนี้ (พิชัย, 2542)

2.1.3.1 บริเวณที่มีปัญหาดินเค็มรุนแรง พบอยู่ในพื้นที่ลุ่มต่ำ พบปริมาณคราบเกลือมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ว่างเปล่า พืชที่ขึ้นจะเป็นพืชทนเค็ม เช่น หนามแดง หนามพุงดอ หนามพรม บริเวณเหล่านี้จะมีระดับน้ำใต้ดินที่มีความเค็มจัดตื้นมาก ซึ่งในฤดูแล้งจะมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกจากผิวดินประมาณ 1-1.5 เมตร และประมาณ 50 ซม. ในฤดูฝนความเค็มของดินจะเกิดจากการซึมขึ้นของน้ำใต้ดิน โดยที่เกลือจะถูกนำขึ้นมาพร้อมกับน้ำสู่บริเวณผิวดิน เมื่อน้ำระเหยไปจะเหลือแต่เกลือสะสมอยู่ในชั้นดินบน

2.1.3.2 บริเวณที่มีปัญหาดินเค็มปานกลาง ส่วนใหญ่เป็นที่ราบต่ำ จะพบคราบเกลือบนผิวดินประมาณ 10-50 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ อาจพบคราบเกลือเกิดเป็นแนวแคบๆ รอบๆ บริเวณชายเนิน ซึ่งคาดว่าเกิดจากการเคลื่อนที่ของเกลือที่รวมตัวกับหินดินดานและหินทราย ที่อยู่บริเวณส่วนที่สูงกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งบนเนินที่ไม่มีต้นไม้อายุอยู่ ซึ่งจะทำให้ดินเสียความสมดุลย์ในการรักษาความชื้นเนื่องจากไม่มีรากพืชที่จะดูดซึมน้ำฝนส่วนที่เกินระเหยขึ้นไป ดังนั้นน้ำฝนจึงไหลลงไปถึงชั้นของเกลือที่แทรกอยู่ในหินนี้ละลายออกมากับน้ำพัดพาไปซึมตามชายเนิน (saline seep) เกิดดินเค็มขึ้นมาได้ แต่อย่างไรก็ดีในบริเวณที่ลุ่มถัดมา จะมีระดับน้ำใต้ดินลึกกว่าบริเวณชายเนิน โดยที่ส่วนใหญ่แล้วจะอยู่ลึกจากผิวดินมากกว่าบริเวณดินเค็มจัด โดยที่จะลึกประมาณ 2 เมตรในฤดูแล้ง หรือประมาณ 80 ซม. ในฤดูฝน

2.1.3.3 บริเวณที่มีปัญหาดินเค็มน้อย เป็นพื้นที่ราบลุ่ม พบคราบเกลือบนผิวดิน ประมาณ 1-10 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ ส่วนใหญ่เป็นนาข้าว มีต้นไม้เช่น ไม้เหียง ไม้กราดหรือ สะแบง อาจพบต้นสะแกปะปนอยู่ ดินเค็มบริเวณนี้เกิดจากน้ำใต้ดินที่ไม่เค็มจืดจาง และจะอยู่ลึกเกินกว่า 2 เมตรลงไปจากผิวดิน

2.1.3.4 บริเวณที่ต่ำและมีศักยภาพเป็นดินเค็ม จะไม่พบคราบดินปรากฏอยู่ หรืออาจมี ได้น้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ กล่าวคือบริเวณนั้นยังไม่เป็นดินเค็ม แต่น้ำใต้ดินกร่อย หรือเป็น น้ำเค็ม แต่ระดับน้ำใต้ดินยังอยู่ค่อนข้างลึกคือมากกว่า 2 เมตร ในช่วงฤดูแล้ง

2.1.3.5 บริเวณที่สูงประกอบด้วยหินที่มีเกลือ ได้แก่เนินสูงที่ใช้ปลูกพืชไร่ต่างๆไป พื้นที่เหล่านี้จะไม่พบคราบเกลือบนผิวดินเลย ระดับน้ำใต้ดินลึกมากกว่า 8 เมตร บางแห่งเป็นน้ำ กร่อยหรือน้ำเค็ม มีบางแห่งที่เป็นน้ำจืด แต่ที่บริเวณนี้มีหน่วยหินมหาสารคามรองรับ ซึ่ง ประกอบด้วยหินเกลือ หรือหินซึ่งเป็นพวกเกลือที่ปะปนอยู่ในหินดินดาน หรือหินทราย

2.1.3.6 บริเวณที่ไม่เค็ม คือบริเวณที่ไม่พบคราบเกลือเลย น้ำใต้ดินไม่เค็ม และไม่มี หินเกลือหรือหินที่มีเกลือปะปนอยู่ข้างล่าง บริเวณนี้อาจเป็นที่ลุ่มที่เกิดจากตะกอนลำน้ำใหญ่ เช่นที่ ราบลุ่มบริเวณฝั่งลำน้ำมูล และลำน้ำชี หรือบริเวณที่มีหน่วยหินอื่นๆ เช่น หินหน่วยพระวิหาร หิน หน่วยภูพาน เป็นต้น

2.2 อิทธิพลของปัจจัยต่างๆกับการแพร่กระจายดินเค็ม

2.2.1 ลักษณะภูมิประเทศ

สภาพภูมิประเทศหมายถึงความต่างระดับความสูงของพื้นที่ ซึ่งเป็นปัจจัยทางกายภาพหนึ่ง ซึ่งมีความสำคัญและเกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายดินเค็ม เนื่องจากในธรรมชาติพื้นที่จะมีลักษณะ สูง-ต่ำ แตกต่างกันไป จากการศึกษางานของกรมพัฒนาที่ดินเกี่ยวกับการแพร่กระจายดินเค็มใน บริเวณที่ราบสูงโคราชพบว่าสภาพของการเกิดดินเค็มสามารถจำแนกได้ 3 บริเวณคือ บริเวณที่สูง บริเวณหุบเขา และบริเวณแอ่งต่ำ โดยบริเวณที่สูงจะเกิดจากชั้นเกลือโดยตรง กับเกลือที่เกิดจากการ สะสมจากบริเวณเชิงเนินและไหลลงสู่ที่ต่ำในลักษณะของหอย่อมเกลือ (Hattori และคณะ,1978) เช่นเดียวกับการศึกษาของ สมาน ริมวนิช (2526) พบว่า การเคลื่อนไหลและการเก็บน้ำในบริเวณภูมิ

ประเทศที่เป็นที่ลาดที่มีความชันมากจะมีเกลือสะสมอยู่ในดินและน้ำในดินน้อย สำหรับบริเวณที่มีฝนตกน้อยดินซึมซับน้ำได้น้อยและพื้นที่ไม่ลาดชันนัก เกลือจะสะสมอยู่ในดินและน้ำใต้ดินตรงบริเวณที่ถูกชะน้อยที่สุด

2.2.2 ลักษณะธรณีสัณฐาน

ลักษณะธรณีสัณฐานเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณการสะสมเกลือ โครงสร้างทางธรณีของภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะมีชั้นเกลือปนอยู่ในหน่วยหินมหาสารคาม อันเป็นชุดหินในหนึ่งในกลุ่มหินชุดโคราช เป็นหินในยุคครีเทเชียสเป็นพวกหินดินดาน หินทราย หรือเรียกหินชุดนี้ว่าชุดหินเกลือ (ปกรณ, 2532) จากการศึกษาลักษณะธรณีสัณฐานที่มีผลต่อการแพร่กระจายดินเค็มในพื้นที่ตำบลพันคง อำเภอขามทะเลสอ จังหวัดนครราชสีมา พบว่า ความสูงของพื้นที่ในแต่ละหน่วยธรณีสัณฐานเพิ่มขึ้น ค่าความเค็มของน้ำใต้ดินจะลดลง ทั้งนี้เพราะความสูงของพื้นที่จะเป็นตัวควบคุมระดับน้ำใต้ดิน และอัตราการระเหยแต่ละฤดูกาล ลักษณะทางธรณีสัณฐานที่ลุ่มต่ำหรือที่อยู่ต่ำสุด และบริเวณตามเชิงเนินมีคราบเกลือกระจายตัวอยู่มากเป็นบริเวณกว้างมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ และความเค็มของดินจะมีความสัมพันธ์กับระดับน้ำใต้ดิน

2.2.3 ปริมาณน้ำฝน

น้ำฝนเป็นต้นกำเนิดของแหล่งน้ำธรรมชาติ เมื่อฝนตกลงสู่พื้นดิน น้ำฝนบางส่วนจะถูกดูดซึมไปอยู่ในดินเกิดเป็นน้ำใต้ดิน ส่วนบนจะกลายเป็นน้ำท่า โดยการไหลซึมของน้ำ (Infiltration) จะแปรผันโดยตรงกับธรรมชาติของดิน โดยเฉพาะเนื้อดิน (Soil texture) โครงสร้างของดิน (Soil structure) ความลาดเอียง (Slope) ความชื้นของดิน (Soil moisture) รวมทั้งความหนาแน่นของฝน ช่วงฤดู อุณหภูมิ และลักษณะของพืชที่ปกคลุมผิวดิน เมื่อปริมาณน้ำฝนมาก ปริมาณน้ำใต้ดินก็จะมากขึ้น โอกาสที่เกลือจะละลายขึ้นสู่ผิวดินและแพร่กระจายออกไปก็มีมากขึ้น (สุนทร, 2543)

2.2.4 น้ำใต้ดิน

โดยทั่วไปความเค็มของดินจะมีความสัมพันธ์กับความเค็มของน้ำใต้ดิน ซึ่งระดับของน้ำใต้ดินและการระบายน้ำ จะมีความสัมพันธ์กับความเค็มของดิน ความลึก ความลาดชัน การไหลของน้ำใต้ดิน และความเค็มของน้ำ (Saline of water)

น้ำใต้ดินเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการแพร่กระจายของดินเค็ม และเป็นปัจจัยสำคัญที่ควรศึกษาได้แก่ ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน ความลึก เป็นต้น จากการศึกษาเรื่องความสมดุลของเกลือ (Sharma, 1980) พบว่า น้ำใต้ดินและผิวหน้าของระดับน้ำใต้ดินจะมีลักษณะสอดคล้องกับระดับและสภาพพื้นผิวดิน การเคลื่อนย้ายของเกลือโดยแรงแคปิลลารีในแนวตั้งขึ้นลงนั้นจะขึ้นอยู่กับระดับของน้ำใต้ดินถ้าระดับน้ำใต้ดินสูง เกลือจะมีโอกาสเคลื่อนตัวขึ้นสู่ผิวหน้าดิน

2.2.5 ดิน

ดิน คือ เทหวัตถุธรรมชาติ ซึ่งปกคลุมผิวนอกสุดของเปลือกโลก มีลักษณะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ทำให้เกิดดิน และมีความสัมพันธ์กับลักษณะภายในของดิน ได้แก่

- วัตถุดิบกำเนิดดิน มีอยู่หลายชนิดด้วยกัน ทั้งที่เกิดอยู่กับที่และถูกเคลื่อนย้ายมาทับถมโดยกระบวนการทางธรณีต่างๆ ทำให้ลักษณะของดินแตกต่างกันออกไป

- การระบายน้ำของดิน หมายถึงความสามารถของดินที่จะให้น้ำซึมผ่านผิวดินและผ่านผิวดินชั้นล่างได้ดีหรือมากน้อยเพียงใด ทั้งนี้มีผลเกี่ยวข้องกับการไหลบ่าของน้ำ ความสามารถในการให้น้ำซึมผ่าน และการไหลซึมของน้ำภายในดิน เกลือมีคุณสมบัติอย่างหนึ่งคือสามารถละลายน้ำได้ ดังนั้นในการแพร่กระจายผ่านดินชนิดต่างๆ มักละลายไปกับน้ำ โดยการระบายน้ำของดินจะดีหรือเลวขึ้นอยู่กับ 1) สภาพพื้นที่ ถ้าพื้นที่ชัน น้ำจะไหลซึมผ่านลงไปดินน้อยมาก 2) ระดับน้ำใต้ดิน ถ้าอยู่ใกล้ผิวดินน้ำจะซึมผ่านลงไปได้ลำบาก จะทำให้เกิดการไหลบ่า 3) สมบัติทางกายภาพของดิน เช่น เนื้อดิน โครงสร้างของดิน สีดินจุดประ เป็นต้น

- ความชื้นในดิน มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องคือ ปริมาณและการกระจายของฝน การใช้ประโยชน์ที่ดิน ความลึกของระดับน้ำใต้ดินและคุณสมบัติดินซึ่งปัจจัยต่างๆเหล่านี้มีผลต่อการแพร่กระจายของดินเค็มด้วย

- ความสามารถในการซึมผ่านและการไหลบ่าของน้ำ หมายถึงประสิทธิภาพของดินที่สามารถให้น้ำซึมผ่านได้ ช้า ปานกลาง หรือเร็ว เมื่อศึกษาพื้นที่ที่มีเกลือ เกลือจะละลายน้ำและซึมผ่านดิน ถ้าดินมีความสามารถให้น้ำผ่านได้ดี เกลือก็จะแพร่กระจายได้อย่างรวดเร็ว

นอกจากปัจจัยที่ทำให้คุณสมบัติของดินมีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่แล้ว คุณสมบัติทางกายภาพภายในของดินยังมีผลต่อการแพร่กระจายของดินเค็มอันได้แก่

- (1) เนื้อดิน หมายถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของอนุภาคดินเหนียว ทรายแป้งและทราย ที่ประกอบกันขึ้นเป็นดิน ขนาดของอนุภาคดินทั้ง 3 อย่าง มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2 มิลลิเมตร มีความสำคัญที่ทำให้ดินชนิดนั้นมีคุณสมบัติในการเก็บกักและระบายน้ำได้ดีเพียงไร

เช่น ดินที่มีทรายอยู่มากหรือดินทรายจะเก็บกักน้ำได้น้อย ดังนั้นเมื่อเกลือละลายมากับน้ำผ่านชั้นดิน ทรายจะสามารถแพร่กระจายไปได้เร็วกว่าดินเหนียวที่มีความสามารถในการระบายน้ำแล้ว

(2) ความพรุนของดิน หมายถึง ส่วนของเนื้อดินทั้งหมดที่ถูกแทนที่ โดยช่องว่างมีความสำคัญในการระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศ ถ้าดินมีความพรุนมาก ช่องว่างสำหรับการระบายน้ำมีมาก โอกาสเกิดการแพร่กระจายของดินเค็มก็มีมากตามด้วย

2.3 วิธีการสำรวจดินเค็ม

การสำรวจดินเค็มในปัจจุบัน มีวิธีที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย 4 วิธีดังนี้ (Hendrickx และคณะ, 1992)

2.3.1 วิธีสังเกตจากคราบเกลือและลักษณะพืชในพื้นที่

บริเวณพื้นที่ที่มีดินเค็มจะสังเกตได้จากคราบของเกลือที่ปรากฏอยู่บริเวณผิวดิน นอกจากนี้ลักษณะของพืชบริเวณนั้นจะแตกต่างจากที่อื่นๆ เช่นถ้าเป็นพืชจำพวกไม้ยืนต้นจะพบอาการใบไหม้ เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล หรือ ใบจะเหี่ยวจากปลายใบและจะเกิดในใบแก่ก่อน ใบจะหนาขึ้นและแข็ง (ชัยนาม, 2542) ในบริเวณที่มีความเค็มสูงจะพบพืชทนเค็ม ซึ่งมีลักษณะเป็นไม้พุ่มที่มีหนาม อันได้แก่ หนามแดง หนามพุงค้อ หนามพง (พิชัย, 2542) วิธีการนี้มีข้อดี คือ สามารถสำรวจได้อย่างรวดเร็ว และมีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด แต่มีข้อเสียคือพื้นที่ที่ตรวจสอบได้ว่าเป็นดินเค็มจะเป็นพื้นที่ที่พืชพรรณถูกทำลายลงแล้ว (Hendrickx และคณะ, 1992) และวิธีการนี้ไม่สามารถบอกระดับความเค็มของดินได้ (Sharma, 1980)

2.3.2 วิธีการวัดค่านำไฟฟ้าของสารละลายดิน

โดยวัดค่านำไฟฟ้าของดินด้วยเครื่องวัดค่านำไฟฟ้า ดินตัวอย่างที่เก็บมาจะต้องทำให้อิ่มตัว (Saturation) ก่อน อย่างไรก็ตาม เพื่อความสะดวกอาจใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำ เช่น 1:2 หรือ 1:5 ซึ่งจำเป็นต้องระบุไว้เสมอ การวัดค่าต้องวัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันผลกระทบจากอุณหภูมิที่มีต่อค่านำไฟฟ้า การสำรวจดินด้วยวิธีนี้สามารถจำแนกระดับความเค็มของดินได้ และเป็นวิธีที่ได้มาตรฐาน แต่อย่างไรก็ดีเป็นวิธีที่จำเป็นต้องใช้แรงงานและระยะเวลาอีกทั้งค่าความ

เต็มที่ได้ จะเป็นค่าบริเวณผิวดินเท่านั้น เนื่องจากจำเป็นต้องเก็บตัวอย่างดิน จึงไม่สามารถเก็บค่าในระดับลึกได้ (Arunin, 1984)

2.3.3 วิธีการสำรวจความต้านทานไฟฟ้าแบบ 4 ขั้ว (4-electrod resistivity)

มีหลักการสำคัญในการสำรวจ คือ การปล่อยกระแสไฟฟ้าลงไปในชั้นดิน และจึงใช้เทคนิคและเครื่องมือวัดหาค่าความต้านทานไฟฟ้าต่อการไหลของกระแสไฟฟ้า โดยค่าความต้านทานไฟฟ้าจะแปรผกผันกับค่านำไฟฟ้าในดิน ค่าความต้านทานไฟฟ้าจะวัดได้ในระดับความลึกต่างๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปแบบการจัดขั้วไฟฟ้าในแต่ละแบบ เช่น การจัดขั้วแบบเวนเนอร์ (Wenner configuration) ใช้สำรวจในระดับตื้น ขณะที่การจัดขั้วไฟฟ้าแบบชลัมเบอร์ (Schlumberger configuration) จะใช้ในระดับที่ลึกกว่า (กิติชัย, 2526)

2.3.4 วิธีการสำรวจด้วยการกระตุ้นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic induction)

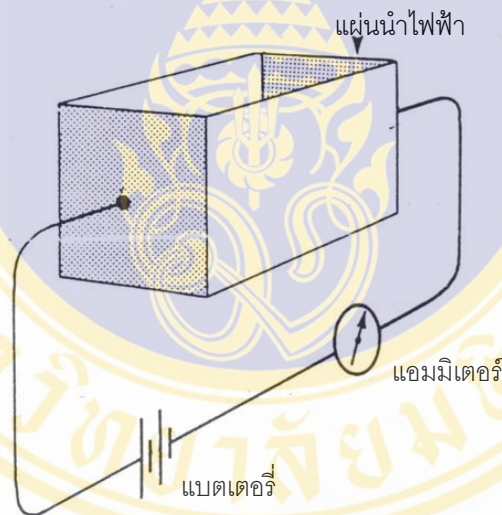
เป็นการประยุกต์ใช้วิธีแม่เหล็กไฟฟ้า ทำได้โดยการกระตุ้นพื้นผิวดินให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าปฐมภูมิ กระแสไฟฟ้าก็จะไหลในตัวนำไฟฟ้าใต้ดิน ทั้งนี้จากกฎการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า กระแสนี้จะก่อให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทุติยภูมิ ซึ่งไปรบกวนสนามปฐมภูมิข้างต้น ณ จุดใดๆ บนผิวดิน โดยทั่วไปสนามลัพธ์ของสนามทั้ง 2 ซึ่งอาจตรวจวัดได้ โดยขดลวดที่จัดไว้อย่างเหมาะสม จะแตกต่างไปจากสนามปฐมภูมิทั้งด้านความเข้ม เฟส และทิศทาง ซึ่งจะเป็นตัวบ่งบอกว่ามีตัวนำไฟฟ้าอยู่ในบริเวณดังกล่าว (กิติชัย, 2526) การสำรวจด้วยวิธีนี้สามารถวัดค่าการนำไฟฟ้าได้ในความลึกระดับต่างๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับความถี่ของกระแสที่ใช้และระยะห่างระหว่างขดลวด นอกจากนี้ยังสามารถเก็บค่าตัวอย่างได้รวดเร็วกว่าวิธีการสำรวจความต้านทานไฟฟ้า แบบ 4 ขั้ว (Mcneill, 1980)

2.4 ค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม (Apparent electrical conductivity ; EC_a)

2.4.1 ค่าการนำไฟฟ้าและค่าความต้านทานไฟฟ้า

พื้นฐานของการวัดการนำไฟฟ้าและความต้านทานไฟฟ้า ก็คือการวัดความยากง่ายในการที่กระแสไฟฟ้าจะสามารถไหลผ่านในตัวกลางต่างๆได้ สมมติว่ามีแท่ง 1 อัน ซึ่งมีฉนวนหุ้มด้านข้างๆ และมีแผ่นนำไฟฟ้า (conductive end plate) ต่อเข้ากับแบตเตอรี่ ผ่านเครื่องแอมมิเตอร์ ดัง

ในภาพที่ 1 เพื่อทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านแท่ง ถ้าแท่งนั้นว่าเปล่า แน่แน่นอนว่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่องแอมมิเตอร์จะมีค่าเท่ากับ 0 แต่ถ้ามีการเติมกรวดขนาดต่างๆและน้ำลงไปในแท่ง แน่แน่นอนว่าเครื่องแอมมิเตอร์อาจจะอ่านค่าได้ สมมติว่าแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 1 โวลต์ และค่าที่อ่านได้เท่ากับ 2 มิลลิแอมแปร์ ค่าความต้านทานไฟฟ้าของวัตถุภายในแท่งก็คืออัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าหารด้วยกระแสไฟฟ้าคือมีความต้านทานเท่ากับ 500 โอห์ม ถ้าเรานำเอาส่วนผสมเดิมมาเติมในแท่งที่มีขนาดแตกต่างกันออกไป จะพบว่าระดับความต้านทานไฟฟ้าจะเป็นสัดส่วนกับความยาวของแท่ง และเป็นส่วนผกผันกับขนาดพื้นที่ของแผ่นนำไฟฟ้า ค่าอัตราส่วนคงที่นี้จะไม่ขึ้นอยู่กับขนาดของแท่ง แต่จะขึ้นอยู่กับส่วนผสมที่อยู่ในแท่งเพียงอย่างเดียว ค่าคงที่นี้ก็คือค่าความต้านทานไฟฟ้านั่นเอง ซึ่งมีหน่วยวัดเป็น โอห์ม-เมตร (ohm-m)(Mcneill, 1980)



ภาพที่ 1 หลักการวัดค่านำไฟฟ้าและค่าความต้านทานไฟฟ้า

ค่าความนำไฟฟ้าเป็นส่วนกลับของค่าความต้านทานไฟฟ้า โดยมีหน่วยเป็นโมห์ต่อเมตร (mho/m) เช่น มีค่าความต้านทานไฟฟ้าเท่ากับ 500 โอห์ม-เมตร ก็จะมีค่านำไฟฟ้าเท่ากับ 0.002 โมห์ต่อเมตร (Mcneill, 1980) แต่เนื่องจากโดยทั่วไปคุณสมบัติการนำไฟฟ้าของสารละลายในดินและหินมีค่าต่ำมากจึงมีหน่วยเล็กลงไปคือ มิลลิโมห์ต่อเซนติเมตร (mmho/cm) หรือเดซิซีเมนต่อเมตร (ds/m) (สุภมาศ, 2528)

2.4.2 หลักการในการวัดค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามด้วยเครื่อง EM34

เครื่อง EM34 ใช้หลักการด้านแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่ง Mcniel (1980) ได้แสดงให้เห็นถึงวิธีการวัดค่านำไฟฟ้าพื้นผิวโดยการใส่กระแสไฟฟ้าความถี่ต่ำเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic conductivity measurement at low induction number) พร้อมทั้งบริษัท Geonics ได้นำหลักการนี้มาพัฒนาสร้างเครื่องมือสำรวจค่านำไฟฟ้าพื้นผิวที่เรียกโดยทั่วไปว่า EM meter มีด้วยกัน 3 ชนิด ได้แก่ EM 31 EM 38 และ EM 34 แยกกันตามระดับความลึกที่วัดได้ แต่ใช้หลักการทำงานเดียวกัน ซึ่งได้รับการยอมรับและนำไปใช้อย่างแพร่หลาย (Hendrickx และคณะ, 1992) เนื่องจากผลที่ได้ไม่แตกต่างกับวิธีวัดความต้านทานไฟฟ้าแบบ 4 ขั้ว แต่ใช้แรงงานและระยะเวลาในการเก็บข้อมูลน้อยกว่า ทำให้ได้ข้อมูลจำนวนมากในระยะเวลาอันรวดเร็ว

หลักการของวิธีนี้มีดังต่อไปนี้ พิจารณาจากภาพที่ 2 จากภาพ เมื่อห้วงส่งสัญญาณ Tx ได้ปล่อยไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่ต่ำ ที่อยู่ในระดับความถี่เสียง ผ่านลงสู่พื้นผิวและผ่านเครื่องรับสัญญาณ Rx ที่ตั้งอยู่ในระยะห่าง S กระแสไฟฟ้าจากเครื่องส่งจะเหนี่ยวนำจนเกิดสนามแม่เหล็กพื้นผิว กระแสเหล่านี้จะสร้างสนามแม่เหล็กทุติยภูมิ H_x และจะถูกวัดค่ารวมกับสนามแม่เหล็กปฐมภูมิด้วยเครื่องรับสัญญาณ

โดยทั่วไปการหาค่าสนามแม่เหล็กทุติยภูมิ จะมีความซับซ้อนซึ่งขึ้นอยู่กับ ระยะห่างระหว่างห้วงรับส่งสัญญาณ ความถี่ของกระแสที่ใช้ และค่านำไฟฟ้าพื้นผิว (Terrain conductivity) อย่างไรก็ตามด้วยเทคนิคที่เรียกว่า “Operation at low values induction number” ทำให้สนามแม่เหล็กทุติยภูมิมีความสัมพันธ์ดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{H_s}{H_p} \cong \frac{i\omega\mu_0\sigma s^2}{4} \quad (1)$$

โดย H_s = สนามแม่เหล็กทุติยภูมิที่วัดได้จากห้วงรับสัญญาณ

H_p = สนามแม่เหล็กปฐมภูมิที่วัดได้จากห้วงรับสัญญาณ

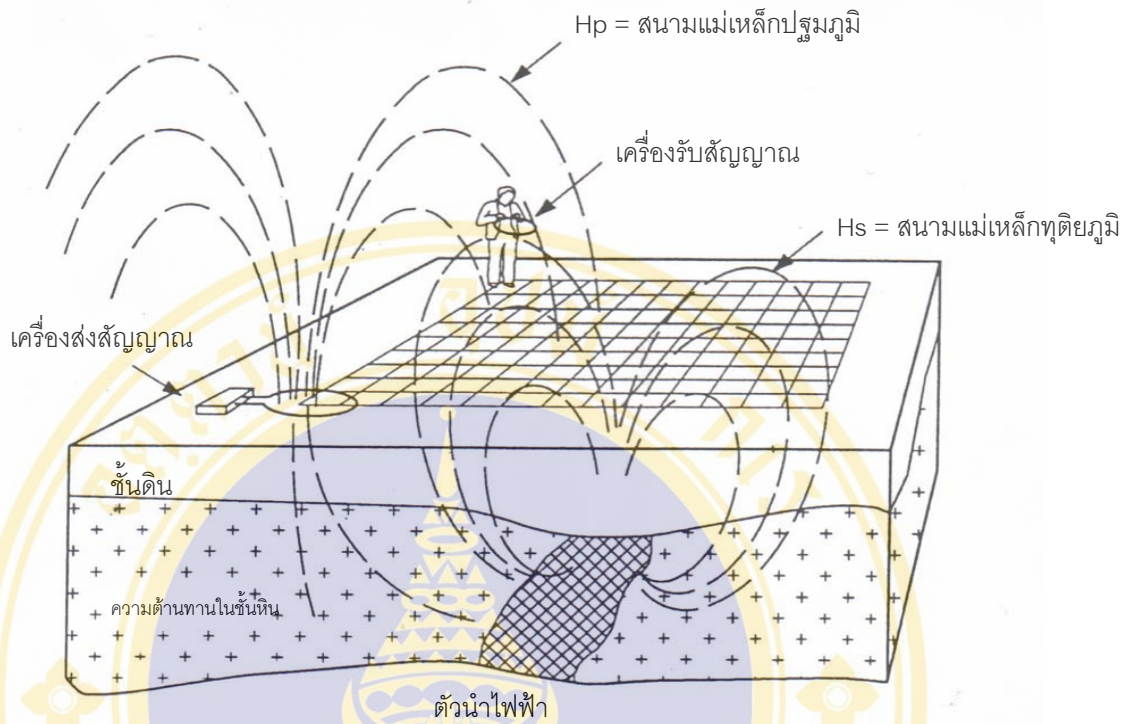
$$\omega = 2\pi f$$

f = ความถี่ของกระแสไฟฟ้า (Hz)

σ = ค่านำไฟฟ้าพื้นผิว (mho/m)

s = ระยะห่างระหว่างห้วงรับส่งสัญญาณ (m)

$$I = \sqrt{-I}$$



ภาพที่ 2 หลักการวัดค่านำไฟฟ้าที่ได้จากการกระตุ้นแม่เหล็กไฟฟ้า

จากสมการจะเห็นได้ว่าอัตราส่วนของสนามแม่เหล็กทุติยภูมิกับสนามแม่เหล็กปฐมภูมิ มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับค่านำไฟฟ้าพื้นผิว ดังนั้นเราจึงสามารถหาค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม (Apparent conductivity) ซึ่งถูกกำหนดโดยสมการต่อไปนี้

$$\sigma_a = \frac{4}{\omega \mu_0^2} \frac{H_s}{H_p} \quad (2)$$

โดยค่านำไฟฟ้าที่ได้จะมีหน่วยเป็น มิลลิซีเมนต์ต่อเมตร (mS/m)

2.4.3 วิธีการวัดค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามด้วยเครื่อง EM 34

เครื่องEM34 เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดค่านำไฟฟ้าพื้นผิวโดยการกระตุ้นสนามแม่เหล็ก มีข้อดีคือเป็นเครื่องมือที่สะดวกในการใช้งาน สามารถเคลื่อนย้ายได้เร็ว ใช้จำนวนคนอย่างน้อยเพียง 2 คนในการเก็บข้อมูลและใช้เวลาเพียงเล็กน้อยในการเก็บข้อมูลในแต่ละจุด ส่วนประกอบของเครื่อง

EM34 แสดงให้เห็นในภาพที่ 3 ประกอบด้วย ห่วงรับส่งสัญญาณที่เชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งสัญญาณและสายเคเบิล

ค่าที่วัดได้จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0-300 mS/m ลักษณะการใช้งานสามารถทำได้ 2 แบบ คือ ค่าที่วัดในแบบแนวนอน (Horizontal dipole mode) และค่าที่วัดแบบแนวตั้ง (Vertical dipole mode) ดังในภาพที่ 4 โดยในการเก็บข้อมูลด้วยเครื่อง EM34 ได้กำหนดระยะห่างระหว่างห่วงรับส่งสัญญาณที่ ระยะ 10 20 และ 40 เมตร ในการวัดแบบแนวนอนค่า นำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่ได้จะเป็นค่าเฉลี่ยของหน้าตัดพื้นที่ที่ระดับความลึก 0-7.5 0-15 และ 0-30 เมตร และในแนวตั้งจะเป็นค่าที่ระดับความลึก 0-15 0-30 และ 0-60 เมตร ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ใช้จะมีความถี่เท่ากับ 6.4 ,1.6 และ 0.4 กิโลเฮิร์ตซ์ ตามลำดับ (Geonic Limited, 1991) อย่างไรก็ตาม การวัดในแบบแนวตั้งนั้นไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากค่าที่ได้มีความอ่อนไหวต่อวัตถุที่มีการนำไฟฟ้าต่ำและโครงสร้างทางธรณีวิทยา ดังนั้นในการใช้งานจึงนิยมใช้ในแบบแนวนอน (Mcneill, 1980)



ภาพที่ 3 ส่วนประกอบต่างๆของเครื่อง EM 34



ก. วิธีวัดค่า EC_u แบบแนวตั้ง (Vertical dipole mode)



ข. วิธีวัดค่า EC_a แบบแนวราบ (Horizontal dipole mode)

ภาพที่ 4 วิธีวัดค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ในแบบแนวตั้งและแนวราบ

2.4.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการนำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการนำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม จะเป็นปัจจัยเดียวกันกับการนำไฟฟ้าพื้นผิว โดยทั่วไป แร่ในดินและหินจะมีคุณสมบัติ เป็นฉนวนไฟฟ้าเช่น ควอร์ต เฟลด์สปาร์ และไมกา ทำให้โดยปกติแล้วการนำไฟฟ้าในชั้นหินทุกชนิดจะเป็นแบบอิเล็กโทรลิติก (Electrolytic Conduction) คือการนำไฟฟ้าโดยการเคลื่อนที่ของไอออนในสารละลายเกลือแร่ (กิติชัย, 2526) ด้วยเหตุนี้การนำไฟฟ้าในชั้นหินและดินใดๆ จึงขึ้นอยู่กับ การนำไฟฟ้าของสารละลายที่แทรกอยู่ตามช่องว่าง ดังนั้นการนำไฟฟ้าของดินและหินจึงขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

2.4.4.1 คุณสมบัติของดินและหิน

สำหรับค่านำไฟฟ้าในหินรากฐาน หรือหินแข็งที่แตกต่างกันนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของหิน ขนาด ความลึกของการผุพังของหินและปริมาณรอยแตกที่มีอยู่ พวกที่มีเนื้อแน่น เช่น หินอัคนี หินทราย และหินปูนเนื้อแน่น จะมีค่านำไฟฟ้าต่ำกว่าพวกที่เป็นชั้นบางๆ ซึ่งอาจมีความชื้นหรือ

สารละลายบางส่วนแทรกเข้าไปอยู่ได้ และทำให้ค่านำไฟฟ้าสูงขึ้น โดยทั่วไปหินดินดาน (Shale) จะเป็นหินที่มีค่าการนำไฟฟ้ามากที่สุดในจำพวกหินตะกอนทั่วไป (ทวิศักดิ์ และชาญ, 2526)

การนำไฟฟ้าในดินนั้นก็เช่นเดียวกับการนำไฟฟ้าในหิน เพราะโดยทั่วไป คุณสมบัติทางด้านแร่ของอนุภาคดินไม่ว่าจะเป็น ทราย ทรายแป้ง หรือดินเหนียว ต่างก็เป็นกลาง การนำไฟฟ้าของดินจึงขึ้นอยู่กับความสามารถในการอุ้มน้ำ ซึ่งมีองค์ประกอบดังนี้ ได้แก่ ความพรุน ของดิน รูปร่างของอนุภาคดิน และค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุ (Cation Exchange Capacity ; CEC) จากคุณสมบัติเหล่านี้เองทำให้ดินเหนียว มีผลต่อค่าการนำไฟฟ้ามากกว่าอนุภาค แบบอื่น เนื่องจากดินเหนียวมีขนาดเล็กทำให้มีความพรุนสูง อีกทั้งอนุภาคของดินเหนียว นั้นเกิด จาก แร่ทุติยภูมิ (Secondary minerals) ผ่านกระบวนการผุพัง (Weathering) ทำให้อนุภาคมีขนาด เล็ก และรูปร่างเป็นเหลี่ยมเป็นมุม (Crystal imperfections) ส่งผลให้มีประจุลบอยู่บริเวณพื้นผิว จำนวนมากและช่วยดึงดูดประจุบวก ค่าCEC ของดินเหนียวจึงมากกว่าดินชนิดอื่น และส่งผลให้ดิน เหนียวที่อยู่ในสภาพอึดตัวด้วยน้ำเป็นดินที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูง (Mcneill, 1980)

2.4.4.2 ปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้นมีความสำคัญ ต่อค่านำไฟฟ้าเพราะ เกลือละลายน้ำ และแตกตัว ออกเป็นประจุบวก (Cation) และประจุลบ (Anion) ซึ่งประจุบวกและประจุลบที่เกิดขึ้น จะเป็น ตัวนำไฟฟ้าทำให้สารละลายที่มีเกลือที่แตกตัวมีค่าความนำไฟฟ้า ดังนั้นจะเมื่อปริมาณความชื้นมาก เกลือก็จะแตกตัวเพิ่มขึ้น ทำให้ค่านำไฟฟ้าสูงขึ้นด้วย

2.4.4.3 ความเข้มข้นและชนิดของสารละลายที่นำไฟฟ้า

ความเข้มข้นและชนิดของสารละลายมีผลต่อค่าการนำไฟฟ้าแบบอิลิคโตลิติก เนื่องจากเมื่อสารละลายแตกตัวออกเป็นไอออนบวกและลบ ไอออนทั้งสองก็จะเกิดการเคลื่อนที่ที่ทำให้ เกิดการนำไฟฟ้า ซึ่งไอออนต่างชนิดกันก็จะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว (Mobility) ที่แตกต่างกันดังแสดง ให้เห็นในตารางที่ 1 ค่านำไฟฟ้านั้นก็คือจำนวนไอออนรวมทั้งหมดคูณด้วยค่าอัตราเร็วของไอออน แต่ละชนิด หาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\sigma = 96500 \sum C_i M_i \quad (2)$$

โดยที่ σ = ค่านำไฟฟ้า

C_i = จำนวนกรัมสมมูลของไอออนตัวที่ i ต่อ 10^6 cm^3 ของน้ำ

$$M_i = \text{อัตราความเร็วของไอออนตัวที่ } i \text{ (m}^2\text{/sV)}$$

ซึ่งค่าความเข้มข้นของสารละลายก็คือจำนวนของไอออนนั่นเอง ดังนั้นค่านำไฟฟ้าจึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้น โดยเมื่อสารละลายมีความเข้มข้นสูง ค่าการนำไฟฟ้าก็จะสูงขึ้นเช่นกัน

ตารางที่ 1 อัตราเร็วของไอออนที่ 25 องศาเซลเซียส

ไอออน	อัตราเร็ว (Mobility)
H ⁺	3.62 x 10 ⁻⁸
OH ⁻	20.5 x 10 ⁻⁸
SO ₄ ⁻	8.3 x 10 ⁻⁸
Na ⁺	5.2 x 10 ⁻⁸
Cl ⁻	7.9 x 10 ⁻⁸
K ⁺	7.6 x 10 ⁻⁸
NO ₃ ⁻	7.4 x 10 ⁻⁸
Li ⁺	4.0 x 10 ⁻⁸
HCO ₃ ⁻	4.6 x 10 ⁻⁸

ที่มา Keller และ Frischknecht (1970)

2.4.4.4 อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีความสัมพันธ์กับค่าการนำไฟฟ้าแบบอิลคโตรลิติก เนื่องจากมีผลต่อความหนืดของของเหลว ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการเคลื่อนที่ของไอออน โดยทั่วไปเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศาเซลเซียส จะส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นในกรณีที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง ค่าการนำไฟฟ้าจะมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำลง

2.5 ธรณีสถิติ

ลักษณะของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติต่างๆบนพื้นผิวโลก เช่น ระดับความสูงหรือปริมาณแร่ธาตุต่างๆในดิน จะมีความต่อเนื่องของข้อมูลอันขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ปรากฏอยู่ในภูมิภาค โดยค่าของข้อมูลที่มีตำแหน่งใกล้เคียงกัน จะมีค่าคล้ายคลึงกันมากกว่าค่าของข้อมูลที่อยู่ห่างกันออกไป จากลักษณะเช่นนี้ ทำให้วิธีพื้นฐานทั่วไปทางสถิติไม่สามารถนำมาอธิบายลักษณะข้อมูลได้อย่างเหมาะสม ทั้งนี้เพราะทฤษฎีพื้นฐานทางสถิติจะกำหนดให้ ตัวแปรไม่ทราบค่า ที่เก็บตัวอย่างแบบสุ่ม (Random sampling) จะมีความเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งขัดแย้งกับลักษณะข้อมูลดังกล่าวข้างต้น ที่ค่าตัวแปรจะเกิดแบบมีความต่อเนื่องสัมพันธ์เกี่ยวข้องกันเชิงพื้นที่ (Spatial dependence) โดยจะถูกควบคุมด้วยตำแหน่งพิกัด ทำให้เมื่อนำทฤษฎีทางสถิติพื้นฐานทั่วไปมาประเมิน จะไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ในการนำไปใช้ เพราะสร้างความไม่แน่นอนให้กับค่าที่ประเมินได้ (Webster และ Oliver, 1990)

วิชาธรณีสถิติได้เริ่มต้นมาจากการงานวิทยานิพนธ์โดย D.G. Krige และ G. Matheron ซึ่งได้พยายามที่จะแก้ไขการคำนวณปริมาณสำรองแร่ทองคำในการทำเหมืองให้มีความถูกต้องมากขึ้น โดยอาศัยวิธีทางคณิตศาสตร์ เพราะการคำนวณแบบโพลีกอน (Polygon) ให้ผลการประมาณที่สูงเกินจริงสำหรับบริเวณที่มีความสมบูรณ์ของแร่สูง และต่ำเกินจริงในบริเวณที่มีความสมบูรณ์แร่ต่ำ ต่อมา G. Matheron ได้พัฒนากระดับมาตรฐานของวิชาธรณีสถิติ โดยนำเสนอ ทฤษฎีตัวแปรภูมิภาค (The Theory of Regionalized Variables) ซึ่งเป็นทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ที่ไม่เพียงแต่สรุปภาพลักษณ์ของตัวแปรจากลักษณะพื้นฐานทางสถิติของข้อมูลเท่านั้น ยังคำนึงถึงขนาดและตำแหน่งในมิติของข้อมูล ตัวอย่างที่เก็บมาด้วย โดยมีสมมติฐานว่าค่าของตัวแปรทางธรณีวิทยาจะถูกกำหนดด้วยตำแหน่งของตัวอย่างและขนาดขอบเขตที่มีอิทธิพลต่อกัน (พันธุศัพท์, 2540)

การนำทฤษฎีตัวแปรภูมิภาคมาใช้ ทำให้สามารถวัดระดับความเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของค่าข้อมูลหรือกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่มีตำแหน่งได้ ซึ่งสิ่งเหล่านี้ไม่สามารถทำได้ด้วยวิธีการพื้นฐานทางสถิติทั่วไป หรือแม้แต่การใช้วิธีเทียบอัตราส่วน (Interpolation) หรือวิเคราะห์แนวโน้ม (Trend surface) เพื่อประเมินค่าตัวแปรก็อาจจะทำให้เกิดความผิดพลาดได้ โดยเฉพาะถ้าข้อมูลมีจำนวนตัวอย่างน้อยเกินไป หรือตัวแปรมีความซับซ้อนทั้งทางกายภาพและคุณภาพที่มีผลกำเนิดตามธรรมชาติ การใช้วิธีธรณีสถิติจึงมีความสำคัญเพราะสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ระหว่างค่าตัวแปรได้ด้วยฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์อันได้แก่ ฟังก์ชันความแปรปรวนร่วม

(Covariance function) และ ฟังก์ชันเซมิวาเรียนซ์ (Semi-variance function) หรือเซมิเวริโอแกรม (Semi-variogram) ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่มีสมมติฐานเชิงสถิติว่าค่าของตัวอย่างใดๆ ที่อยู่ห่างกันเป็นระยะ และทิศทางเท่ากัน จะมีความแตกต่างของค่าข้อมูลคงที่สม่ำเสมอภายในขอบเขตที่กำหนด

2.5.1 หลักการและทฤษฎีของธรณีสถิติ

วิธีธรณีสถิติจำเป็นต้องอาศัยทฤษฎีของความน่าจะเป็นเหมือนกับการประยุกต์ใช้สถิติทั่วไป ซึ่งในทางสถิติจะถือว่าค่าของตัวแปรทั่วไปจะเกิดขึ้นแบบสุ่ม (Random process) ดังนั้นคุณสมบัติที่ศึกษาโดยวิธีสถิติจึงเรียกว่า เป็นตัวแปรสุ่มหรือRV (Random variables) จะกำหนดให้ เป็น Z ค่าของตัวแปรสุ่มในตำแหน่ง x ก็คือ $Z(x)$ ฟังก์ชันของตัวแปรสุ่มหรือ RF (Random function) คือค่าของตัวแปรสุ่มที่อยู่ในขอบเขตของพื้นที่ศึกษา $\{Z(x), x \in \text{พื้นที่ศึกษา}\}$ ที่จะเกิดขึ้นตามกฎความน่าจะเป็น (Probability law) แม้ว่าลักษณะการแจกแจงของตัวแปรในพื้นที่ที่จะมีความแตกต่างและซับซ้อนเกินกว่าที่จะสามารถอธิบายได้ แต่มีค่าพารามิเตอร์ที่สามารถสรุปฟังก์ชันของตัวแปรสุ่ม ได้ก็คือ โมเมนต์ลำดับที่หนึ่ง (First-order moment) หรือค่าคาดหวัง (Expected value) กับค่าโมเมนต์ลำดับที่ 2 (Second-order moment)

โมเมนต์ลำดับที่หนึ่งหรือค่าคาดหวัง

ค่าคาดหวังคือค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่ม

$$E \{Z(x)\} = m \quad (3)$$

m คือค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่ม ตามรูปแบบเป็นจริงในพื้นที่

โมเมนต์ลำดับที่สอง ในทางธรณีสถิติมีโมเมนต์ลำดับที่ 2 อยู่ด้วยกัน 3 ประเภทคือ

1. ค่าความแปรปรวน (Variance)

ค่าความแปรปรวนคือค่าเฉลี่ยของค่ายกกำลังสองของความแตกต่างของตัวแปรสุ่ม จากค่าคาดหวัง กล่าวคือ

$$\text{Var} \{Z(x)\} = E \{[Z(x) - m(x)]^2\} \quad (4)$$

หรือสามารถเขียนในอีกรูปหนึ่งได้ว่า

$$\text{Var} \{Z(x)\} = E\{Z(x)^2 - m(x)^2\} \quad (5)$$

จะเห็นได้ว่าค่าความแปรปรวนนั้น ไม่ได้มีค่าขึ้นอยู่กับตำแหน่งของข้อมูล แต่เนื่องจากข้อมูลทางธรณีสถิติมีความสัมพันธ์กันในเชิงพื้นที่ตามทฤษฎีตัวแปรภูมิภาค ถ้าพิจารณาความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรสุ่มกับค่าที่มีระยะห่างออกไประยะทางหนึ่ง (Lag) ก็จะพบความสัมพันธ์รูปหนึ่ง เมื่อพิจารณาค่าคู่ที่อยู่ออกไปมากขึ้นก็จะได้ความสัมพันธ์อีกรูปหนึ่ง โดยเราสามารถหาและอธิบายความสัมพันธ์เชิงพื้นที่นี้ได้ด้วย กราฟของค่าความแปรปรวนร่วม หรือกราฟของค่าเซมิวาเรียนซ์ ต่อระยะห่างระหว่างค่าตัวแปรสุ่ม ดังนั้นจึงเรียกว่าเป็นฟังก์ชันความแปรปรวนร่วม และฟังก์ชันค่าเซมิวาเรียนซ์ หรือ เซมิแวกริโอแกรม

2. ฟังก์ชันความแปรปรวนร่วม

เป็นค่าความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรที่สุ่มจุดต่างๆ ที่อยู่ห่างกันเป็นช่วงระยะ h มีสูตรว่า

$$\begin{aligned} C(h) &= \text{Cov}\{Z(x) Z(x+h)\} \\ &= E\{Z(x) Z(x+h)\} - E\{Z(x)\} E\{Z(x+h)\} \end{aligned}$$

เมื่อฟังก์ชันสุ่มมีลักษณะคงที่ ทำให้ $E\{Z(x)\} = E\{Z(x+h)\}$ ดังนั้น

$$C(h) = E\{Z(x) Z(x+h)\} - m^2 \quad (6)$$

กรณีที่ $h=0$ ค่าความแปรปรวนร่วมของตัวแปรสุ่มที่จุดเดียวกัน คือค่าความแปรปรวนนั่นเอง

$$C(0) = \text{Cov}\{Z(x) Z(x)\} = \text{Var} \{Z(x)\} \quad (7)$$

3. แวริโอแกรม

ค่าเซมิวาเรียนซ์คือค่าครึ่งหนึ่งของค่าเฉลี่ยของค่ายกกำลังสองของความแตกต่างระหว่างคู่ข้อมูลที่อยู่ห่างกันเป็นเวกเตอร์ h หรือ

$$\gamma(h) = 1/2 E \{Z(x) - Z(x+h)\}^2 \quad \text{หรือ}$$

$$\gamma(h) = 1/2n \sum \{Z(x) - Z(x+h)\}^2 \quad (8)$$

โดยกราฟของค่าเซมิวาเรียนซ์ต่อระยะทาง (h) จะเรียกว่า เซมิแวริโอแกรม ซึ่งปกติจะใช้คำว่าเซมิแวริโอแกรม (γ) เพื่อความสะดวกในการคำนวณเปรียบเทียบกับค่าความแปรปรวนร่วม แต่อย่างไรก็ตามค่าเซมิแวริโอแกรมกับค่าแวริโอแกรมนั้นไม่แตกต่างกันเพราะเวกเตอร์ h ระหว่างคู่ของข้อมูลคู่ใด จะใช้ได้ทั้งทิศทางไปและกลับ ทำให้นับเป็นสองคู่ของข้อมูล ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จะใช้คำว่า “แวริโอแกรม” แทนทั้ง 2 ความหมาย

เมื่อฟังก์ชันสุ่มมีลักษณะคงที่ จึงเขียนได้ใหม่ดังนี้

$$\gamma(h) = \text{Var}\{Z(x)\} - E\{Z(x)Z(x+h)\} - E\{Z(x)\}^2$$

$$\text{ดังนั้น} \quad \gamma(h) = C(0) - C(h) \quad (9)$$

เมื่อตัวแปรสุ่มอยู่ห่างกันมากเท่าใด ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ก็จะลดลงจนถึงระดับที่เป็นอิสระต่อกัน ซึ่งเมื่อระยะห่าง h ยิ่งมาก ค่าความแปรปรวนร่วมจะมีค่าเป็นศูนย์ ในขณะที่ค่าเซมิวาเรียนซ์จะเริ่มต้นจากศูนย์และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งค่าเริ่มคงที่เป็นค่าสูงสุดหรือค่าค่าความแปรปรวนคงที่ (Sill) ซึ่งโดยปกติค่าความแปรปรวนคงที่จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าความแปรปรวนชุดนั้นนั่นเอง จะเห็นได้ว่าแวริโอแกรม คือ เครื่องวัดความแปรปรวนของตัวแปรโดยไม่ต้องอาศัยการคำนวณจากค่าเฉลี่ย แต่ใช้ความแตกต่างระหว่างข้อมูล (Increment; $\{Z(x) - Z(x+h)\}$) มาคำนวณแทน เพราะค่าตัวแปรภูมิภาคอาจจะมีค่าเฉลี่ยไม่คงที่ (Journel และ Huijbregts, 1978)

แวริโอแกรมเป็นฟังก์ชันที่ใช้อธิบายตัวแปร ในลักษณะหนึ่งมิติ สองมิติ หรือสามมิติก็ได้ ขึ้นอยู่กับเวกเตอร์ h และถ้าสามารถเก็บตัวอย่างข้อมูลได้อย่างต่อเนื่อง แวริโอแกรมจะจัดเป็นฟังก์ชันแบบต่อเนื่อง (Continuous function) โดยทฤษฎีแล้วแวริโอแกรมจะมีค่าเป็นบวกเสมอ และจะมีค่าเป็นศูนย์เมื่อเวกเตอร์ h เป็นศูนย์

$$\gamma(h) \geq 0 \quad \text{เมื่อ } h \geq 0$$

$$\gamma(h) = 0 \quad \text{เมื่อ } h = 0$$

2.5.2 สมมติฐานของเวรีโอแกรม

เนื่องจากเวรีโอแกรมพัฒนามาจากทฤษฎีตัวแปรสุ่มภาค ซึ่งอาศัยพื้นฐานที่ว่าค่าของข้อมูลคือผลของการเก็บตัวอย่างแบบสุ่มจากตำแหน่ง x ใน 3 มิติ ซึ่งตำแหน่งเหล่านี้มีอยู่ไม่จำกัด ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องกำหนดสมมติฐานในแบบต่างๆ ดังต่อไปนี้เพื่อใช้อธิบายฟังก์ชันทางสถิติของตัวแปร

1. สมมติฐานแบบคงที่ (Strong Stationarity) คือสมมติฐานที่กำหนดให้ตัวแปร $Z(x)$ ซึ่งเป็นตัวแปรสุ่มมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- ค่าเฉลี่ย $E\{Z(x)\} = m$ มีค่าคงที่และเป็นอิสระจาก x

- ค่าความแปรปรวน $\sigma^2 = E\{Z(x) - E[Z(x)]\}^2$ มีค่าคงที่และเป็นอิสระจาก x

2. สมมติฐานแบบคงที่อันดับสอง (Second order stationarity) คือสมมติฐานที่กำหนดให้ตัวแปร $Z(x)$ ซึ่งเป็นตัวแปรสุ่มมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- ค่าเฉลี่ย $E\{Z(x)\} = m$ มีค่าคงที่และเป็นอิสระจาก x

- ค่าความแปรปรวนร่วม $C(h) = E\{Z(x)Z(x+h)\} - m^2$ ค่าความแปรปรวนร่วมจะมีค่าคงที่ในแต่ละระยะทาง h

และจากการที่ $\gamma(h) = C(0) - C(h)$ ทำให้ภายใต้สมมติฐานแบบคงที่อันดับสอง ค่าความแปรปรวนร่วมกับค่าเวรีโอแกรม เป็นค่าที่สามารถใช้วัดความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ได้อย่างเท่าเทียมกัน

3. สมมติฐานแบบไม่คงที่ (Intrinsic hypothesis) คือสมมติฐานที่กำหนดให้ตัวแปร $Z(x)$ ซึ่งเป็นตัวแปรสุ่มมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- ค่าเฉลี่ย $E\{Z(x)\} = m$ มีค่าคงที่และเป็นอิสระจาก x

- เวรีโอแกรม $2\gamma(h) = \text{Var}\{Z(x) - Z(x+h)\} = E\{Z(x) - Z(x+h)\}^2$ เวรีโอแกรมจะมีค่าคงที่ในแต่ละระยะทาง h

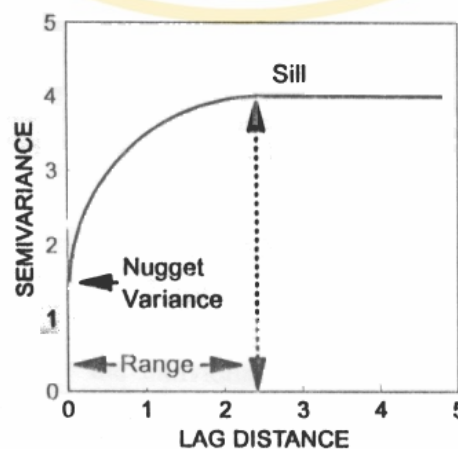
2.5.3 คุณสมบัติของเวรีโอแกรม

ในการคำนวณเวรีโอแกรมจะพบว่ามีส่วนคล้ายการหาค่าความแปรปรวน ทำให้สรุปได้ว่าเวรีโอแกรมคือค่าคาดหวังหรือ $E\{Z(x) - Z(x+h)\}^2$ ซึ่ง x คือตำแหน่งต่างๆทุกตำแหน่งในขอบเขตที่กำหนดและ h เป็นเวกเตอร์ที่คงที่ เมื่อเปลี่ยนค่า h ไปจะทำให้สมการหรือรูปแบบของ $\gamma(h)$ แบบต่างๆ ซึ่งจะแสดงคุณสมบัติโดยทั่วไปของเวรีโอแกรมได้ดังนี้

2.5.3.1 ระยะเวลาพิพด (range) คือระยะขอบเขตของความสัมพันธ์ของข้อมูล เพราะเวรีโอแกรมคือฟังก์ชันแสดงระยะที่ค่าของตัวแปรมีความต่อเนื่องสัมพันธ์กัน โดยข้อมูลที่อยู่ใกล้กันจะมีความสัมพันธ์กันมากกว่าข้อมูลที่อยู่ไกลออกไป และเมื่อห่างกันเกินกว่าระยะหนึ่งทีเรียกว่าระยะเวลาพิพดข้อมูลก็จะไม่มีความสัมพันธ์กันอีกต่อไป

2.5.3.2 ค่าของความแปรปรวนคงที่ (Sill) เมื่อ h มากกว่าระยะเวลาพิพดข้อมูลจะไม่มีความสัมพันธ์กัน และถ้าข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่ตามสมมติฐานแบบคงที่แล้ว เวรีโอแกรมจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าความแปรปรวนของข้อมูล ซึ่งทฤษฎีจะเรียกค่านี้ว่า ค่าความแปรปรวนคงที่ ดังในภาพที่ 5

2.5.3.3 ความแปรปรวนนั้กเกิด (Nugget Variance) เป็นค่าคงที่ที่เกิดจากความผิดพลาดซึ่งอาจเกิดได้จาก 2 กรณีคือ เกิดจากการเก็บตัวอย่างในระยะที่ห่างกันเกินไป จึงไม่สามารถสังเกตความต่อเนื่องที่บริเวณจุดกำเนิดได้ หรืออาจเกิดจากการผิดพลาดในกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งโดยทั่วไปค่าความแปรปรวนนั้กเกิด มักเกิดจากกรณีแรกมากกว่า (Isaaks และ Srivastava, 1989)



ภาพที่ 5 ลักษณะและคุณสมบัติต่างๆ ของเวรีโอแกรม

2.5.4 แบบจำลองเวรีโอแกรม (Variogram model)

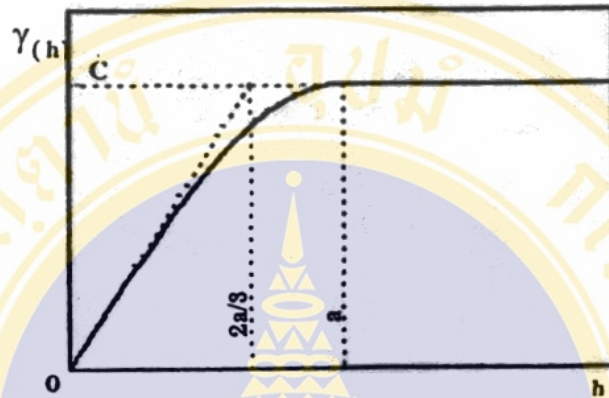
เวรีโอแกรมที่ได้จากการคำนวณ (Experimental variogram) จำเป็นต้องนำมาหาแบบจำลองเวรีโอแกรมที่เหมาะสม เพื่อที่จะได้สมการของเวรีโอแกรมสำหรับนำไปใช้ในการประมาณค่าแบบคริกกิง ทั้งนี้เนื่องจากเวรีโอแกรมที่ได้จากการคำนวณนั้นจะไม่ครอบคลุมในทุกระยะทาง ค่าเซมิวาเรียนซ์จะปรากฏอยู่ในช่วงระยะห่าง (lag) ที่เราใช้ในการคำนวณเท่านั้น ซึ่งในบางครั้งจำเป็นต้องใช้ค่าเซมิวาเรียนซ์ในช่วงที่ไม่ได้คำนวณ (Isaaks และ Srivastava, 1989) โดยทั่วไปสามารถแบ่งแบบจำลองเวรีโอแกรมออกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้ (Journel และ Huijbregts, 1987)

2.5.4.1 แบบจำลองเวรีโอแกรมที่ปรากฏค่าความแปรปรวนคงที่ (Variogram model with sill) โดยในแบบจำลองชนิดนี้จะมีค่าเซมิวาเรียนซ์เพิ่มขึ้นในช่วงแรกจนถึงจุดๆหนึ่ง ค่าเซมิวาเรียนซ์จะคงที่ ซึ่งมีแบบจำลองชนิดต่างๆได้แก่

1) แบบสเฟียริคัล (Spherical model) เป็นชนิดที่พบบ่อยในงานด้านแหล่งแร่ ซึ่งเป็นแบบที่ค่าเซมิวาเรียนซ์ มีอัตราเพิ่มแบบเส้นตรงเมื่อ h อยู่ใกล้จุดกำเนิด และค่อยๆเพิ่มด้วยอัตราที่น้อยลง จนกระทั่งไม่เพิ่มขึ้นเมื่อ h เข้าใกล้ระยะอิทธิพล สมการของเวรีโอแกรมชนิดนี้คือ

$$\begin{aligned} \gamma(h) &= C/2 (3h/a - h^3/a^3) && \text{ที่ } 0 \leq h < a \\ \gamma(h) &= C && \text{และที่ } h \geq a \end{aligned}$$

เส้นที่ลากมาสัมผัสกับเส้นโค้งเวรีโอแกรมที่จุดกำเนิดจะตัดกับเส้น $\gamma(h) = C$ ที่ระยะ $h = 2a/3$ ดังภาพที่ 6 และค่า $\gamma(h)$ จะมีค่าเท่ากับ C พอดีเมื่อ $h = a$



ภาพที่ 6 แบบจำลองเวรีโอแกรมแบบสเฟียริคัล

2) แบบเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential model) เป็นชนิดที่ค่า เซมิวาเรียนซ์เพิ่มขึ้นเกือบเป็นเส้นตรงในช่วงใกล้จุดกำเนิด และมีอัตราการเพิ่มขึ้นช้าๆจนเข้าใกล้ค่า ความแปรปรวนคงที่ แต่ ค่าเซมิวาเรียนซ์จะไม่เพิ่มขึ้นจนเท่ากับค่า ความแปรปรวนคงที่ สมการพื้นฐานของเวรีโอแกรมชนิดนี้คือ

$$\gamma(h) = C (1 - e^{-h/a})$$

กำหนดให้ C = ค่าความแปรปรวนคงที่ (Sill)

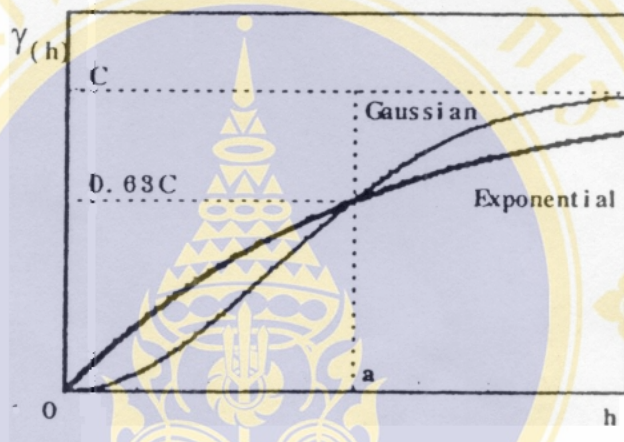
a = ค่าคงที่แสดงระยะอิทธิพล (Range)

ถ้าจะทราบค่า C จะประเมินค่า a ได้โดยลากเส้นสัมผัสกับเส้นโค้งเวรีโอแกรมที่จุดกำเนิดเส้นสัมผัสจะตัดเส้นกับเส้น $\gamma(h) = C$ ที่ระยะ $a/3$ หรือคำนวณที่ $\gamma(a) \cong 0.63C$ และในกรณีที่ทราบค่า a จะประมาณค่า C โดยใช้การคำนวณ $C \cong \gamma(3a)$

3) แบบเกาส์เซียน (Gaussian model) ซึ่งมี $\gamma(h)$ เพิ่มขึ้นแบบพาราโบลา ในช่วงใกล้จุดกำเนิด โดยเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\gamma(h) = C(1 - e^{-h^2/a^2})$$

จะประเมินค่า C ได้ที่ระยะ $h = 3a$ เช่นเดียวกัน และในการคำนวณระยะ a ให้ใช้วิธีลากเส้นตรงมาสัมผัสกับเส้นแวกซ์ไอแกรมที่จุดกำเนิดจะตัดเส้น $\gamma(h) = C$ ที่ระยะ $h = \sqrt{3}a$ หรือคำนวณ $\gamma(a) \cong 0.63C$

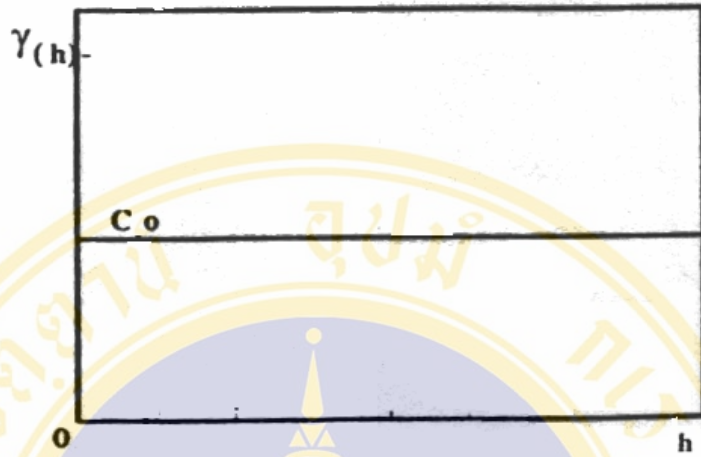


ภาพที่ 7 แบบจำลองแวกซ์ไอแกรมแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลและเกาส์เซียน

4)แบบสุ่ม (Random / Pure nugget effect model) เป็นชนิดที่ข้อมูลมีกำเนิดแบบสุ่ม (Random) ทำให้ได้ค่าเซมิวาเรียนซ์ เกิดอยู่รอบๆค่าคงที่ค่าหนึ่งซึ่งมีค่าโดยประมาณเท่ากับค่าความแปรปรวนของข้อมูล เมื่อเขียนกราฟจะได้รูปเส้นตรงในแนวนอนขนานกับแกน h ดังภาพที่ 8 ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \gamma(h) &= 0 && \text{ที่ } h = 0 \\ \gamma(h) &= C_0 && \text{ที่ } h > 0 \end{aligned}$$

โดยที่ C_0 คือค่าคงที่ หรือ Nugget effect ลักษณะแบบนี้เกิดขึ้นจากสาเหตุสองประการคือ ตัวแปรมีการแจกแจงแบบสุ่ม ทำให้ไม่มีความต่อเนื่องของข้อมูล หรืออาจเกิดจากการเก็บตัวอย่างในระยะห่างกันเกินไป จึงไม่สามารถสังเกตความต่อเนื่องที่บริเวณใกล้จุดกำเนิดได้ ทำให้การประเมินตัวแปรจะต้องใช้วิธีแบบสุ่ม



ภาพที่ 8 แบบจำลองเวริโอแกรมแบบสุ่มหรือ Pure nugget effect

2.4.4.2 แบบจำลองเวริโอแกรมที่ไม่ปรากฏค่าความแปรปรวนคงที่ (Variogram model without sill) โดยในแบบจำลองชนิดนี้จะมีค่าเวริโอแกรมเพิ่มขึ้นตลอด และไม่ปรากฏค่าความแปรปรวนคงที่ ซึ่งได้แก่

1) แบบเส้นตรง (Linear model) มีสมการดังต่อไปนี้

$$\gamma(h) = kh$$

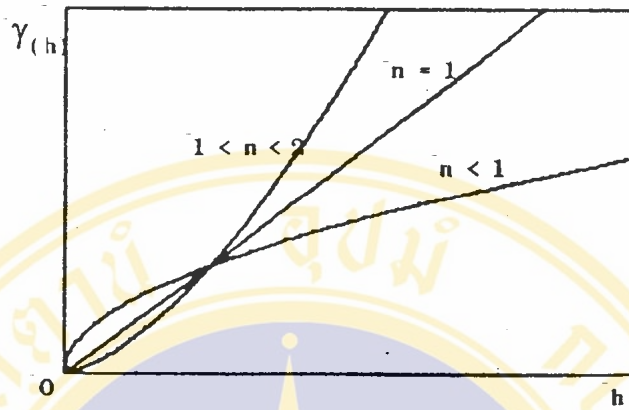
เมื่อกำหนดให้ k = ความชันของเส้นตรง

เส้นตรงจะเริ่มจากจุดกำเนิดไปยังจุด $h = L$ และ $\gamma(h) = \sigma^2$ โดยที่ L คือระยะห่างที่มากที่สุดที่ใช้คำนวณเวริโอแกรมและ σ^2 คือค่าความแปรปรวนของ $Z(x)$

2) แบบพาราโบลิก (Parabolic model) เมื่อทำชนิดเส้นตรงให้มีลักษณะทั่วไป (Generalized linear model) คือทำให้ เซมิวาเรียนซ์ แปรผันโดยตรงกับ h^n จะได้สมการ

$$\gamma(h) = kh^n$$

โดยทั่วไปจะใช้ $n \leq 2$ จะได้รูปกราฟของเวรีโอแกรม ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แบบจำลองเวรีโอแกรมแบบเส้นตรงและพาราโบลา

2.5.5 ทิศของเวรีโอแกรมและ Anisotropy

เวรีโอแกรมไม่ได้เป็นฟังก์ชันของระยะทางเท่านั้น แต่ยังมีทิศทางมาเกี่ยวข้องด้วย เวรีโอแกรมในทิศทางต่างๆจะแสดงความต่อเนื่องของข้อมูลในทิศทางนั้นๆ โดยเฉพาะ ถ้าตัวแปรมีการกระจายตัวสม่ำเสมอในทุกทิศทาง จะปรากฏค่าระยะอิทธิพลและค่าความแปรปรวนคงที่ของเวรีโอแกรมเท่ากันในทุกทิศทางเรียกลักษณะนี้ว่า Isotropic แต่ถ้าการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ จะทำให้ค่าของระยะอิทธิพลและค่าความแปรปรวนคงที่ของเวรีโอแกรมในแต่ละทิศทางไม่เท่ากัน จะเรียกว่า มี Anisotropy ซึ่งปรากฏอยู่ 2 ลักษณะคือ (พันธุลพ, 2540)

1) Geometric Anisotropy เป็นลักษณะของเวรีโอแกรมที่มีระยะอิทธิพลในแต่ละทิศทางไม่เท่ากันแต่มีค่าความแปรปรวนคงที่ เท่ากัน

2) Zonal Anisotropy เป็นลักษณะที่ค่าความแปรปรวนคงที่ในแต่ละทิศไม่เท่ากัน โดยจะมีระยะอิทธิพลเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ ในบางครั้งอาจเกิดขึ้นเพราะข้อมูลมีการแจกแจงแบบ log normal ก็ได้

2.5.6 จำนวนข้อมูลและระยะห่างที่เหมาะสมในการสร้างเวรีโอแกรม

การสร้างเวรีโอแกรมนั้นจำเป็นต้องอาศัยจำนวนข้อมูลค่อนข้างมาก โดยทั่วไปยิ่งมีจำนวนข้อมูลมาก เวรีโอแกรมก็จะแสดงโครงสร้างที่ชัดเจนและมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น สำหรับการเก็บ

ตัวอย่างที่เกี่ยวกับคุณสมบัติของดิน ที่มีรูปแบบการเก็บแบบตารางกริดนั้น Webster และ Oliver(1992) ได้ให้ข้อเสนอแนะเพื่อเป็นบรรทัดฐานเบื้องต้นสำหรับการสร้างเวรีโอแกรมใน 2 มิติ ควรจะมีข้อมูลตัวอย่างอย่างน้อย 150-200 ตัวอย่าง แต่ถ้าข้อมูลมีการกระจายตัวในหลายทิศทาง (Anisotropic) จำนวนข้อมูลควรเพิ่มขึ้นเป็น 200-300 ตัวอย่าง เพื่อจะทำให้เห็นลักษณะการกระจายตัวในทิศทางนั้นๆ อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gascuel-Odoux และ Boivin (1994) ที่ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าควรมีข้อมูลตัวอย่างอย่างน้อย 150 ตัวอย่าง

ระยะห่างในการเก็บตัวอย่างที่เหมาะสมก็เป็นอีกเรื่องที่ควรพิจารณาในการเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการงานด้านธรณีสถิติ เพราะข้อมูลที่อยู่ใกล้กันก็มีความสัมพันธ์กันสูงกว่าข้อมูลที่อยู่ห่างออกไป อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัตินั้น การเก็บข้อมูลที่มีความถี่มาก(ระยะห่างระหว่างข้อมูลน้อย) จะทำให้เสียค่าใช้จ่ายสูง ขณะที่ถ้าเราเก็บข้อมูลโดยที่มีระยะห่างของข้อมูลมาก เวรีโอแกรมที่ได้ อาจไม่ปรากฏให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลในพื้นที่ โดยแสดงออกมาเป็นฟังก์ชันแบบสุ่ม (Webster และ Oliver, 1990) ทำให้ไม่มีประโยชน์ในการนำมาใช้ประมาณค่าตัวอย่าง การสุรพา ระยะห่างที่เหมาะสมนั้นเป็นไปได้ยากเพราะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อค่าข้อมูลนั้นๆ ซึ่งแตกต่างกันออกไปในแต่ละพื้นที่ และขึ้นอยู่กับเครื่องมือวิธีการในการเก็บตัวอย่าง อย่างไรก็ตาม เราสามารถพิจารณา ระยะห่างที่เหมาะสมจากเวรีโอแกรมที่ได้ โดย Simon (1994) เสนอแนะว่า ระยะห่างที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างที่จะทำให้ได้เวรีโอแกรมที่น่าเชื่อถือ และเหมาะสมกับ ค่าใช้จ่ายในการสำรวจ ควรมีระยะน้อยกว่า ระยะอิทธิพล ประมาณ 3-5 เท่า

2.5.7 การประเมินค่าแบบคริกกิง (Kriging)

การประเมินค่าตัวแปรในจุดที่ไม่ทราบค่าเป็นเรื่องที่ได้รับความสนใจศึกษากันมายาวนาน และมีวิธีในการประเมินค่าหลายวิธี เช่น วิธีส่วนกลับของระยะห่างกำลังสอง (Inverse distance) เป็นต้น การประเมินค่าในแบบคริกกิงก็เป็นวิธีการประเมินค่าเชิงเส้นตรงแบบหนึ่ง และเป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นการประเมินเชิงเส้นที่ผิดพลาดน้อยที่สุด (Best linear unbiased estimator) (Clake, 1982) หลักการของวิธีนี้มีเหนือวิธีการประเมินค่าในแบบอื่นๆ คือ เป็นวิธีที่ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ (m_e) และพยายามทำให้ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน (σ_e^2) มีค่าน้อยที่สุด และข้อได้เปรียบประการหนึ่งก็คือ สามารถทราบค่าความแปรปรวนคลาดเคลื่อนของข้อมูลนั้นๆ

สมมติว่าต้องการประเมินค่าเฉลี่ยของตัวแปร Z_v ที่มีปริมาตร V ในจุดที่ไม่ได้เก็บตัวอย่าง ซึ่งจะสามารถประมาณค่าเชิงเส้นตรงโดยใช้ค่าตัวถ่วงน้ำหนัก (λ_α) กับค่าที่ทราบค่าจุดอื่นๆ โดยให้ Z_v เป็นค่าของตัวอย่างจำนวน n จุด กล่าวคือ

$$Z_v^* = \sum_{\alpha=1}^n \lambda_\alpha Z_{v\alpha} \quad (10)$$

ทั้งนี้จากวัตถุประสงค์ประการแรก คือ ต้องการให้ค่าอัตราความคลาดเคลื่อนของการประเมินการเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ซึ่งจะเป็นการตั้งข้อกำหนดเพื่อหาว่าตัวถ่วงน้ำหนัก (λ_α) ควรจะมีค่าเท่าใด

สมมติว่าให้อัตราความคลาดเคลื่อนของการประเมินเท่ากับ R ดังนั้น

$$R = Z_v - Z_v^* \quad (11)$$

นำค่า Z_v^* มาแทนค่าในสมการที่ 11 จะได้ว่า

$$R = Z_v - \sum_{\alpha=1}^n \lambda_\alpha Z_{v\alpha} \quad (12)$$

ดังนั้นค่าเฉลี่ยของ R จึงมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} E(R) &= E\left[Z_v - \sum_{\alpha=1}^n \lambda_\alpha Z_{v\alpha}\right] \\ &= \sum_{\alpha=1}^n \lambda_\alpha E[Z_v] - E[Z_{v\alpha}] \end{aligned}$$

ตามสมมติฐานทางสถิติแบบคงที่ (stationarity) ถ้า $E[Z_v]$ จะเท่ากับ $E[Z_{v\alpha}]$ ดังนั้น

$$E(R) = \sum_{\alpha=1}^n \lambda_\alpha E(Z) - E(Z)$$

เพื่อให้ค่าอัตราความคลาดเคลื่อนของการประเมินเฉลี่ยเท่ากับศูนย์จึงได้ว่า

$$E(R) = 0 = \sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha} E(Z) - E(Z)$$

$$\sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha} E(Z) = E(Z)$$

$$\sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha} = 1 \text{ จึงทำให้ค่า } m_R = 0 \quad (13)$$

ประการที่สอง ต้องการทำให้ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน (σ_E^2) มีค่าต่ำที่สุด

$$\begin{aligned} \text{จาก } \sigma_E^2 &= \text{Var} [Z_V - Z_V^*] = \text{minimum} \\ &= E [Z_V - Z_V^*]^2 \approx \text{minimum} \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น} \quad = E [Z_V^2] - 2E[Z_V Z_V^*] + E [Z_V^{*2}]$$

จากนิยามของความแปรปรวนร่วม ในสมการที่ 6 ดังนั้นในพจน์แรกจะได้ว่า

$$E [Z_V^2] = E [Z_V Z_V] = C(V, V) + m^2 \text{ โดยที่ } C(x, y) \text{ คือ ค่าความแปร}$$

ปรวนร่วมของ x และ y

$$\text{ในพจน์ที่สอง} \quad E[Z_V Z_V^*] = E [Z_V \sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha} Z_{V,\alpha}]$$

$$= \sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha} E[Z_V Z_{V,\alpha}]$$

$$= \sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha} C(V, V_{\alpha}) + m^2$$

$$\text{ในพจน์ที่สาม} \quad E [Z_V^{*2}] = E [Z_V^* Z_V^*]$$

$$= E [(\sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha} Z_{V,\alpha}) (\sum_{\beta=1}^n \lambda_{\beta} Z_{V,\beta})]$$

$$= \sum_{\alpha=1}^n \sum_{\beta=1}^n \lambda_{\alpha} \lambda_{\beta} E [Z_{V,\alpha} Z_{V,\beta}]$$

$$= \sum_{\alpha=1}^n \sum_{\beta=1}^n \lambda_{\alpha} \lambda_{\beta} C(V_{\alpha}, V_{\beta}) + m^2$$

$$\text{ดังนั้น } E [Z_V - Z_V^*]^2 = C(V, V) - 2 \sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha} C(V, v_{\alpha}) + \sum_{\alpha=1}^n \sum_{\beta=1}^n \lambda_{\alpha} \lambda_{\beta} C(v_{\alpha}, v_{\beta}) \quad (14)$$

นั่นคือค่าความแปรปรวนของอัตราความคลาดเคลื่อนของการประเมินค่า จะคำนวณได้จากค่าความแปรปรวนรวมของค่าตัวแปรระหว่างจุด

การทำให้ค่าความแปรปรวนของอัตราความคลาดเคลื่อนตามสมการที่ 14 มีค่าต่ำสุด ก็คือการสมการอนุพันธ์ (Patial deviratives) แล้วกำหนดให้เป็นศูนย์ เนื่องจากมีการประเมินค่าที่หนึ่งจุด โดยใช้ค่าที่ทราบจากจุดอื่น จำนวน n จุด ทำให้มีค่าถ่วงน้ำหนักที่ต้องการหา n ตัว สมการอนุพันธ์ของสมการ ที่ 14 จึงต้องมี n สมการ เพื่อหาค่าตอบค่า λ_{α} จำนวน n ตัว แต่ในเวลาเดียวกันมีข้อจำกัดเพิ่มเติมจากสมการที่ 13 ที่ว่า $\sum \lambda_{\alpha} = 1$ เพราะฉะนั้นจึงต้องใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์แบบ ลากรานจ์ (Lagrange multiplier technique) ที่จะเพิ่มค่าคงตัวอีกหนึ่งตัว เรียกว่า ตัวคูณลากรานจ์ (Lagrange multiplies, μ) ซึ่งจะช่วยให้กลายเป็นการหาค่าตอบ $n + 1$ ตามวิธีการนี้ สมการอนุพันธ์ของสมการ 14 ที่ให้เท่ากับ 0 จะมีสมการดังนี้

$$\sigma_k^2 = E [Z_V - Z_V^*]^2 = C(V, V) + \mu - \sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha} C(v_{\alpha}, V) \quad (15)$$

โดยที่ σ_k^2 คือ ความแปรปรวนคริกกิง (Kriging variance) และจากความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันความแปรปรวนรวมและเวรีโอแกรม ทำให้ได้สมการดังต่อไปนี้

$$\sigma_k^2 = \sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha} \gamma(v_{\alpha}, V) + \mu - \gamma(V, V) \quad (16)$$

หรือเขียนในรูปเมตริกซ์ ที่เรียกว่า ระบบคริกกิงธรรมดา (Ordinary kriging system) ได้ว่า

$$K \quad \lambda = M2$$

คือ

$$\begin{bmatrix} \gamma(v_1, v_1) \dots \gamma(v_1, v_\beta) \dots \gamma(v_1, v_n) & 1 \\ \gamma(v_\beta, v_1) \dots \gamma(v_\beta, v_\beta) \dots \gamma(v_\beta, v_n) & 1 \\ \dots & \dots \\ \gamma(v_n, v_1) \dots \gamma(v_n, v_\beta) \dots \gamma(v_n, v_n) & 1 \\ 1 & \dots & 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_\alpha \\ \dots \\ \lambda_n \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(v_1, V) \\ \gamma(v_\alpha, V) \\ \dots \\ \gamma(v_n, V) \\ 1 \end{bmatrix}$$

ตามวิธีการของเมตริกซ์ ค่าถ่วงน้ำหนัก λ ก็คือ

$$\lambda = C^{-1} D$$

หรือ $\lambda = \gamma^{-1} D$ นั่นเอง

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาได้ทำการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำเอาวิธีสำรวจด้านแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยเครื่อง EM 34 กับงานด้านดินเค็ม และการใช้วิธีธรณีสถิติกับงานด้านดินเค็ม

เนื่องจากค่าความนำไฟฟ้านั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณเกลือ (Mcneill, 1980) การใช้เครื่อง EM meter กับงานด้านดินเค็มจึงเป็นที่นิยมนำไปใช้อย่างแพร่หลาย โดย William และ Baker (1982) ได้นำเครื่อง EM 34 มาใช้ทดลองสำรวจจำแนกพื้นที่ดินเค็ม ด้วยการเปรียบเทียบค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามที่ได้ กับค่า EC_e 1:5 ซึ่งเป็นค่าที่ใช้วัดระดับความเค็มของดิน จากตัวอย่าง 19 แห่งที่มีความแตกต่างกันทางด้านธรณีวิทยาและธรณีสถิติ พบว่าในบริเวณที่มีค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามสูง ค่าที่ได้จะแปรผันโดยตรงกับค่าความเค็มของดิน และได้นำวิธีนี้ไปใช้ในการสำรวจจำแนกพื้นที่ดินเค็มเบื้องต้น ในพื้นที่ 10,000 ตารางกิโลเมตรบริเวณรัฐนิวเซาท์เวล ประเทศออสเตรเลีย นอกจากนี้ Wood (1985) Acworth และ Beasley (1989) Canon และคณะ (1994) เหล่านี้ล้วนนำเอาวิธีการสำรวจด้านแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยเครื่อง EM 34 มาใช้ในการจำแนกดินเค็มทั้งสิ้น อย่างไรก็ตามเนื่องจากยังมีปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม นอกเหนือไปจากปริมาณเกลือ อันได้แก่ เนื้อดิน ปริมาณความชื้น การนำค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม มาใช้จึงจำเป็นต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ และควรใช้เปรียบเทียบในบริเวณที่มีลักษณะทางปฐพี และธรณีวิทยาเหมือนกัน (Acworth, 1999) เช่นเดียวกันนี้ Dissataporn และคณะ (2002) และ

คณะได้ใช้เครื่อง EM 34 ในการสร้างแผนที่ดินเค็มบริเวณจังหวัดนครราชสีมา ซึ่งพื้นที่ศึกษาประกอบด้วยหน่วยหินในหมวดมหาสารคามตลอดทั้งพื้นที่ ผลการศึกษาพบว่า ลักษณะการกระจายตัวของค่า นำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม มีความสอดคล้องกับระดับความสูงในพื้นที่ โดยบริเวณที่มีค่า นำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม สูง จะปรากฏอยู่ในพื้นที่ต่ำ ขณะที่บริเวณที่มีค่า นำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามต่ำ จะปรากฏอยู่ในพื้นที่สูง

การนำวิธีธรณีสถิติมาใช้กับงานด้านดินเค็มมีปรากฏแพร่หลายพอสมควร โดยส่วนใหญ่จะนำมาใช้กับค่า นำไฟฟ้าของสารละลายดินที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (EC_e) ผลการวิจัยส่วนมากจะแสดงให้เห็นถึงลักษณะของ Second-order stationarity โดยจะแสดงออกมาในรูปแบบจำลองเวรีโอแกรมประเภทที่ปรากฏค่าความแปรปรวนคงที่ โดย Chang และคณะ(1988) ทำการวิจัยหาลักษณะการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของค่า นำไฟฟ้าของสารละลายดินที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำภายในพื้นที่ชลประทาน รัฐอัลเบอร์ตาประเทศแคนาดา ในปี 1987 ทำการเก็บตัวอย่างจำนวนทั้งสิ้น 64 ชุด ที่ระดับความลึก 0-15, 15-30, 30-60, 60-90, และ 90-120 โดยเก็บแบบตารางกริด มีระยะห่างระหว่างจุด 8x8 เมตร ภายในพื้นที่ขนาด 20x25 เมตร ผลการศึกษาพบว่าเวรีโอแกรมของค่า EC_e ในทั้ง 5 ระดับความลึก เข้าได้ดีกับแบบจำลองสเฟียริคัล มีระยะอิทธิพลระหว่าง 7.15 เมตร ถึง 10.6 เมตร เช่นเดียวกับ งานวิจัยของ Gallichand และคณะ (1992) ซึ่งทำการทดสอบวิธีการประมาณค่าสองแบบคือวิธีคริกกิงเปรียบเทียบกับวิธี moving average บริเวณทางใต้ของรัฐอัลเบอร์ตาประเทศแคนาดาเช่นกัน เพื่อนำมาใช้สร้างแผนที่เส้นชั้นค่า นำไฟฟ้าของสารละลายดินที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ โดยทำการเก็บตัวอย่างแบบตารางกริดมีระยะห่างระหว่างจุดเก็บ 25x25 เมตร จำนวน 40 จุด ครอบคลุมพื้นที่ขนาด 125 x 200 เมตร ในระดับความลึก 0-30 เมตร พบว่าเวรีโอแกรมที่ได้เข้าได้ดีกับแบบจำลองสเฟียริคัล โดยมีค่าความแปรปรวนนักเกิดเท่ากับ 75 dS/m ค่าความแปรปรวนคงที่ เท่ากับ 330 dS/m และมีระยะอิทธิพลเท่ากับ 90 เมตร นอกจากนี้ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าวิธีการประมาณค่าแบบคริกกิงให้ความแม่นยำกว่าการประมาณค่าในแบบ moving average ค่าประมาณที่ได้จากวิธีคริกกิงจะมีค่าความแตกต่างเฉลี่ยระหว่างที่ประมาณค่าและค่าที่เก็บได้จริง (Mean Absolute Difference : MAD) ที่ต่ำกว่าการประมาณค่าในแบบ moving average ด้วย เช่นเดียวกับ อนุวัชร โพธินาม (2535) ที่ศึกษาการแจกกระจายค่า นำไฟฟ้าของสารละลายดินชุด กำแพงแสน บริเวณสถานีทดลองมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน ได้นำวิธีธรณีสถิติมาประยุกต์ใช้ โดยเก็บตัวอย่างดินแบบตารางกริด 100 x 100 เมตร จำนวน 127 จุด ภายในพื้นที่ 1 ตารางกิโลเมตร แบ่งการเก็บตัวอย่างดินออกเป็น 4 ชุด คือในช่วงฤดูร้อน และปลายฤดูฝน ที่ระดับความลึก 0-5 ซม. และ 25-30 ซม. ข้อมูลทั้ง 4 ชุด นำมาวิเคราะห์หาค่า นำไฟฟ้าของ

สารละลายดินที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (ECE) ผลการศึกษาพบว่า แวร์โอแกรม ของค่านำไฟฟ้าของสารละลายภายในดิน ที่เก็บในช่วงฤดูร้อน ที่ระดับความลึก 0-5 ซม. และช่วงฤดูฝนที่ทั้งสองระดับความลึก เข้าได้ดีกับแบบจำลองแบบสเฟียริคัล ส่วนค่าที่เก็บในช่วงฤดูร้อน ที่ระดับความลึก 25-30 ซม. เข้าได้ดีกับแบบจำลองในแบบเส้นตรง โดยในฤดูร้อนค่านำไฟฟ้าของสารละลายดินที่ระดับความลึก 0-5 ซม. จะมีอิทธิพลถึงกันมีความสัมพันธ์ในระยะทาง 600 เมตร ส่วนในฤดูฝนจะที่ระดับความลึก 0-5 และ 25-30 จะมีค่าระยะอิทธิพลเท่ากับ 250 และ 300 เมตร ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าค่าECE เป็นค่าที่มีความสัมพันธ์กันในเชิงพื้นที่ และจากงานวิจัยของ M. Sogerstrom (1992) ได้นำวิธีธรณีสถิติมาใช้ในการสร้างแผนที่เส้นชั้นค่านำไฟฟ้าของสารละลายดินที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ ในบริเวณตอนกลางของตูนิเซีย ทำการเก็บตัวอย่างแบบสุ่มจำนวนทั้งสิ้น 188 จุด เก็บตัวอย่างที่ความลึก 0-20 ซม. และ 20-40 ซม. ผลการศึกษาพบว่าแวร์โอแกรมเข้าได้ดีกับแบบจำลองสเฟียริคัล มีค่าระยะอิทธิพลเท่ากับ 8 กม. แวร์โอแกรมที่ได้มีค่าความแปรปรวนนักเก็ตค่อนข้างสูงถึง 60 เปอร์เซนต์ ของค่าความแปรปรวนคงที่ ค่าความแปรปรวนนักเก็ตน่าจะเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ในระดับย่อย (Local spatial variability) ที่เกิดในระยะน้อยกว่าระยะที่เก็บตัวอย่าง ซึ่งน่าจะเกิดจากลักษณะการจัดการพื้นที่ของเกษตรกรที่แตกต่างกัน

นอกจากงานวิจัยดังกล่าวที่ส่วนใหญ่แสดงให้เห็นว่าค่านำไฟฟ้าของสารละลายดินที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ มีความสัมพันธ์กันในเชิงพื้นที่แล้ว ยังมีงานวิจัยบางส่วนที่ผลการวิจัยแสดงให้เห็นถึงลักษณะของค่านำไฟฟ้าของสารละลายดินที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ ที่มีความเป็นอิสระต่อกัน โดย T.J. Keck และคณะ (1993) ได้นำเอาวิธีธรณีสถิติมาใช้ในการสร้างแผนที่คุณสมบัติต่างๆรวมทั้งค่านำไฟฟ้าของสารละลายดินที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ ของดินบริเวณเหมืองแร่เก่า ทำการเก็บตัวอย่างในแบบสุ่มจำนวนทั้งสิ้น 55 ตัวอย่าง ระยะห่างระหว่างจุดเก็บแต่ละจุดจะห่างกันประมาณ 100 เมตร ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาขนาด 120 เฮกเตอร์ ผลการศึกษาพบว่าค่าแวร์โอแกรมของค่านำไฟฟ้าของสารละลายดินที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ มีลักษณะกระจาย เป็นลักษณะของแบบจำลองแวร์โอแกรมแบบสุ่ม อย่างไรก็ตามแม้แวร์โอแกรมจะแสดงให้เห็นว่าข้อมูลไม่มีความสัมพันธ์กันในเชิงพื้นที่ ซึ่งเกิดจากระยะห่างในการเก็บตัวอย่างมีมากกว่าระยะที่ตัวอย่างมีความสัมพันธ์กัน แต่เมื่อพิจารณาจากจำนวนตัวอย่างที่มีเพียง 55 ตัวอย่าง ประกอบกับลักษณะการเก็บตัวอย่างแบบสุ่ม จึงน่าจะเป็นสาเหตุให้แวร์โอแกรมที่ได้มีลักษณะที่ไม่ชัดเจน ส่งผลให้ปรากฏลักษณะแบบจำลองแบบสุ่ม มากกว่าที่จะเกิดจากการที่ข้อมูลค่านำไฟฟ้าของสารละลายดินที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ ไม่มีความสัมพันธ์กันในเชิงพื้นที่

สำหรับค่า นำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามนั้นพบว่ามิงานวิจัยไม่มากนักที่นำมาใช้กับวิธีธรณีสถิติโดยส่วนใหญ่จะใช้เครื่อง EM 38 ซึ่งสามารถเก็บค่า นำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ได้ในระดับผิวดิน ความลึก 0.1 เมตร ด้วยวิธีเก็บแบบแนวราบ และ 0.5 เมตร ด้วยวิธีเก็บแบบแนวตั้ง จากงานวิจัยของ J.M.H. Hendrickx และคณะ (1992) ที่ทำการทดลองในบริเวณพื้นที่ทดลองขนาด 37 เฮกเตอร์ บริเวณ ไฟชาลาบัด ประเทศปากีสถาน ได้ทำการเก็บตัวอย่างด้วยเครื่อง EM 38 ในแบบสุ่ม มีระยะห่างระหว่างจุด 6-12 เมตร จำนวนทั้งสิ้น 3,400 ตัวอย่าง ผลที่ได้พบว่าเวรีโอแกรมเข้าได้ดีกับแบบจำลองสเฟียริคัล โดยมีระยะอิทธิพลเท่ากับ 110 เมตร .

จากการนำเอาวิธีธรณีสถิติมาใช้กับค่า นำไฟฟ้าในแบบต่างๆ ในอดีตจะเห็นได้ว่า เวรีโอแกรมที่ได้มีรูปแบบแตกต่างกันไป งานวิจัยแสดงให้เห็นทั้งข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันในเชิงพื้นที่ซึ่งมีระยะตั้งแต่ 7 เมตร จนถึง 8 กิโลเมตร และข้อมูลไม่มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งเกิดจากทั้งลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ รวมทั้งรูปแบบการเก็บข้อมูล ระยะห่างระหว่างจุดเก็บและจำนวนข้อมูล เหล่านี้ล้วนแต่มีผลต่อความเปลี่ยนแปลงและความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ทั้งสิ้น

บทที่ 3

พื้นที่ศึกษา

3.1 ที่ตั้งของพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษามีพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในเขตอำเภอบ้านไผ่ และบางส่วนอยู่ในเขตอำเภอชนบท จังหวัดขอนแก่น มีขอบเขตอยู่ใน โชน 48 Q ตั้งแต่ พิกัดที่ 1770000-17820000 N และ 246000-260000 E ในแผนที่ภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหาร มาตรฐาน 1 : 50,000 ลำดับชุดที่ L7017 ระวัง 5541 III ชื่อระวางอำเภอบ้านไผ่ (2522) และลำดับชุดที่ L7017 ระวัง 5541 II ชื่อระวางบ้านหินตั้ง (2522) ครอบคลุมพื้นที่ทั้งสิ้น 168 ตารางกิโลเมตร ดังภาพที่ 10

3.2 ลักษณะภูมิประเทศ

ลักษณะภูมิประเทศโดยทั่วไปเป็นที่ราบขั้นบันได (Terrace) จากภาพที่ 11 แสดงให้เห็นว่าพื้นที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางอยู่ระหว่าง 151-200 เมตร โดยลักษณะพื้นที่ที่มีความลาดเอียงจากทิศตะวันออกเฉียงใต้ไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

3.3 ลักษณะทางธรณีวิทยา

ลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาอำเภอบ้านไผ่ จังหวัดขอนแก่น ประกอบด้วยหน่วยหินมหาสารคาม (Maha Sarakam Formation : Kms) (กรมทรัพยากรธรณี, 2522) ครอบคลุมอยู่ทั้งพื้นที่ศึกษา (ภาพที่12) โดยหน่วยหินมหาสารคามนี้เป็นหน่วยหินที่อยู่บนชั้นบนสุดของหินตะกอนชุดโคราช (Korat Group) ประกอบด้วยหินทรายแป้ง (Silt stone) และหินทราย (Sand stone) โดยมีชั้นของหินเกลืออยู่ถึง 3 ชั้นใหญ่ๆ และมีหินโคลนแทรกอยู่ระหว่างชั้น หินหมวดนี้วางตัวอยู่อย่างไม่ต่อเนื่องคงระดับกับหินชุดโคราช เชื่อว่าเกิดจากการระเหยของน้ำทะเลภายใต้อุณหภูมิที่แห้งแล้งจัดสลับกับสะสมตัวของตะกอนในทะเล หินหมวดนี้จะไม่พบเห็นในภูมิประเทศทั่วไป เพราะถูก

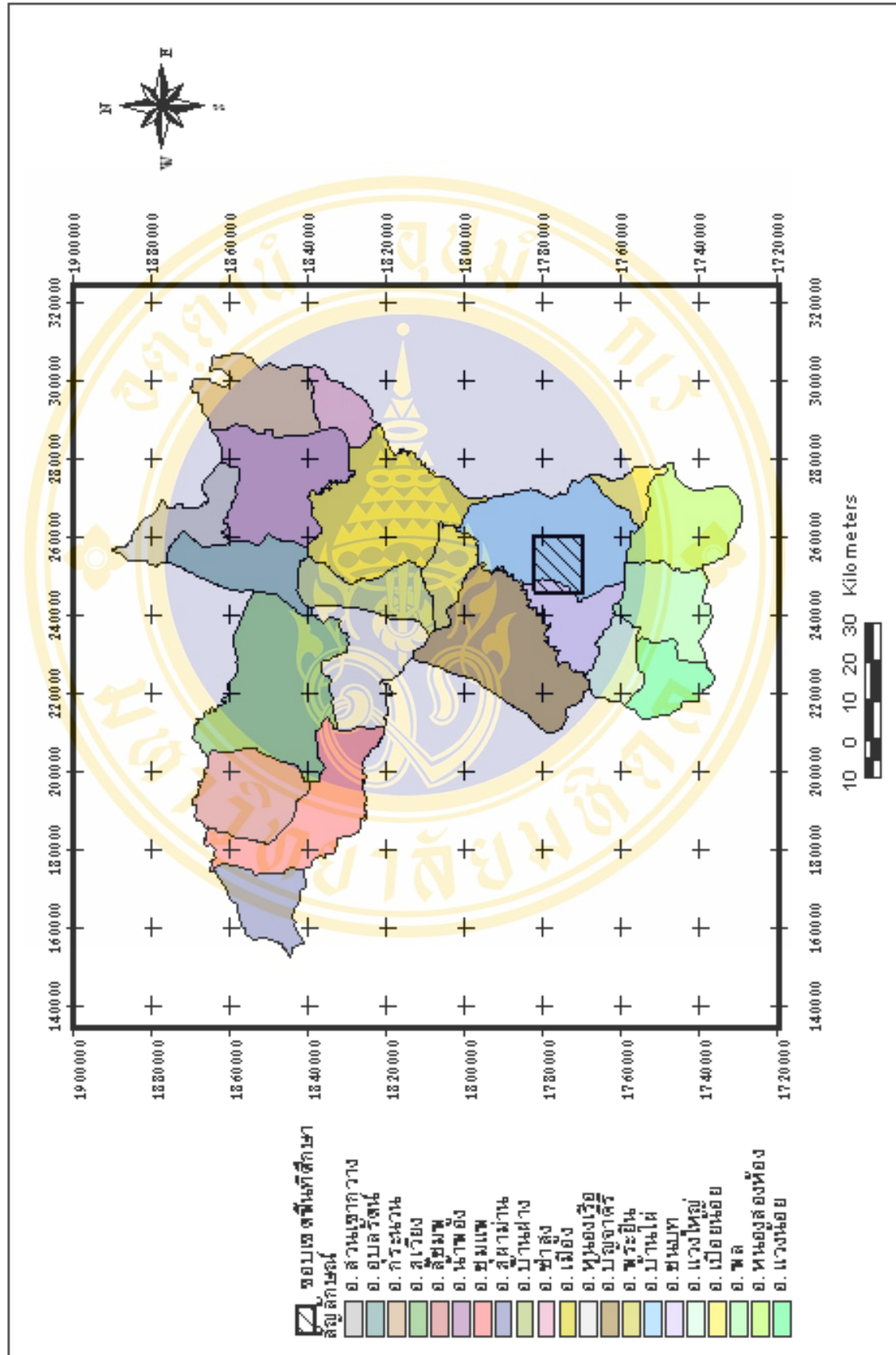
ปิดทับด้วยหินตะกอนของหมวดภูทอก หรือตะกอนดินทรายในปัจจุบัน จากภาพที่ 13 แสดงให้เห็นภาคตัดขวางทางธรณีวิทยาพบว่า ชั้นบนสุดของพื้นที่ศึกษาจะประกอบด้วยตะกอนยุคควอเตอร์นารี มีความกว้างของชั้นตะกอนประมาณ 10-20 เมตร โดยวางตัวอยู่บนหน่วยหินมหาสารคาม ที่มีความหนาของ ประมาณ 80 –160 เมตร และด้านล่างสุดจะเป็นชั้นหินเกลือ

3.4 ลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา

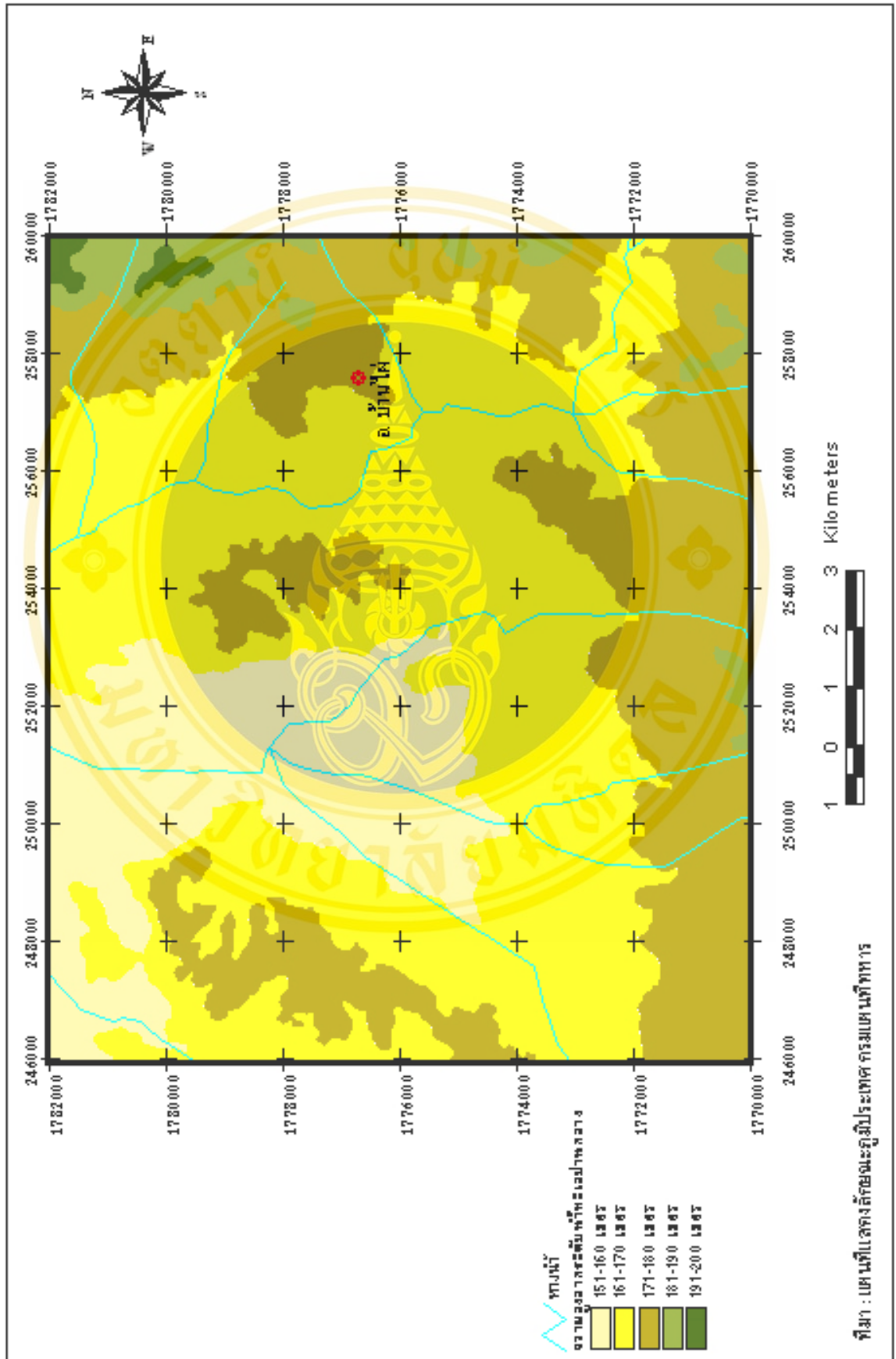
ลักษณะอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่เป็นชั้นน้ำหินหน่วยมหาสารคาม ประกอบด้วยหินทรายแป้ง หินดินดานบางส่วน มีหินทรายเม็ดละเอียดและชั้นหินเกลือ น้ำบาดาลจะสะสมในบริเวณรอยแตก รอยแยก รอยต่อ ระหว่างชั้นหินทั้งสองชนิด ความลึกของชั้นน้ำบาดาลเฉลี่ย 20-40 เมตร คุณภาพน้ำบาดาลบริเวณพื้นที่ศึกษาแสดงอยู่ในภาพที่ 14 ซึ่งจัดทำโดยกรมทรัพยากรธรณีปี 2533 (2531) แสดงให้เห็นว่าบริเวณพื้นที่ศึกษาสามารถแบ่งคุณภาพน้ำบาดาลได้ 2 ระดับ ดังนี้

3.4.1 บริเวณที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TDS) มากกว่า 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งหมายถึงน้ำเค็ม

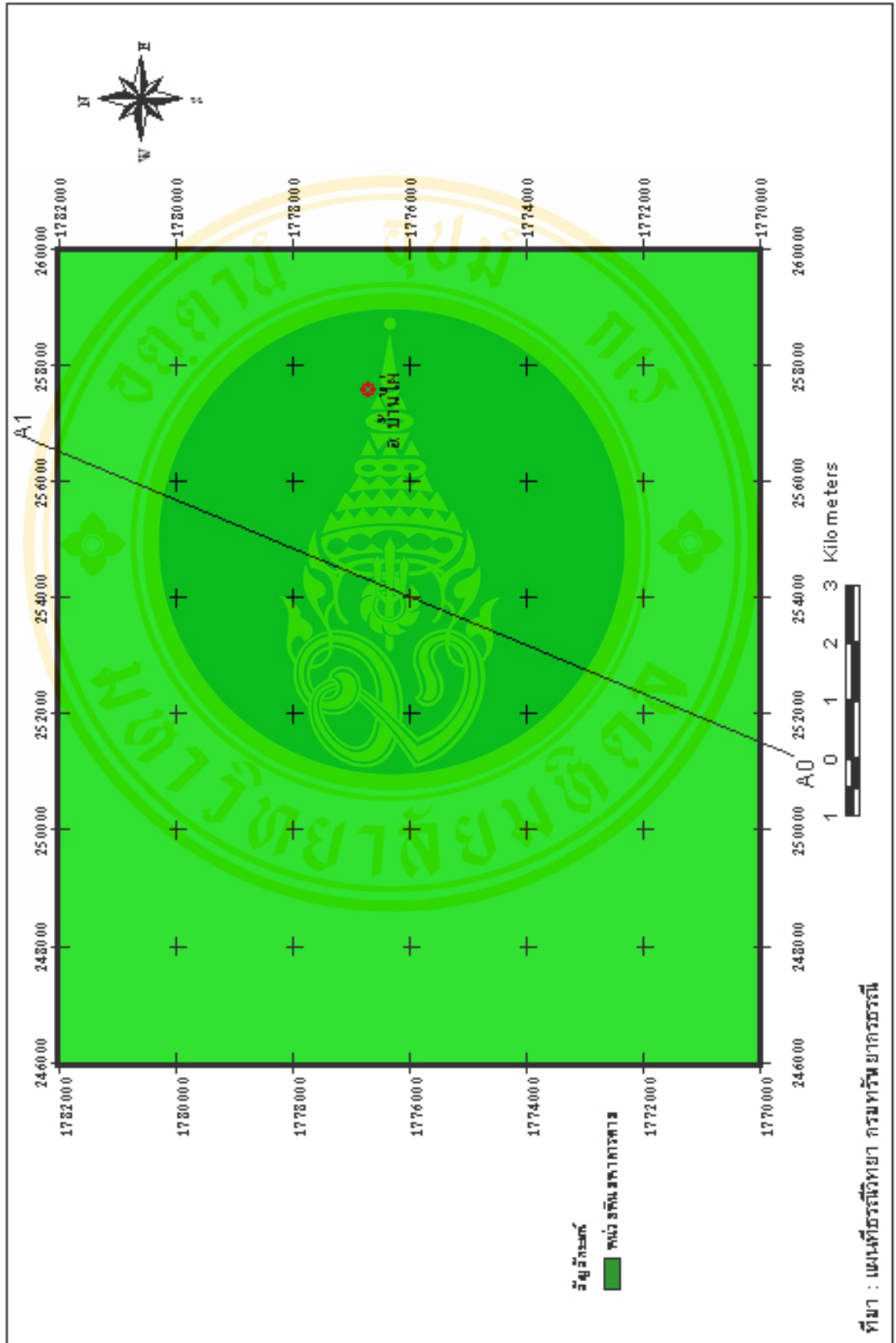
3.4.2 บริเวณที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ระหว่าง 500-1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งหมายถึงน้ำกร่อย



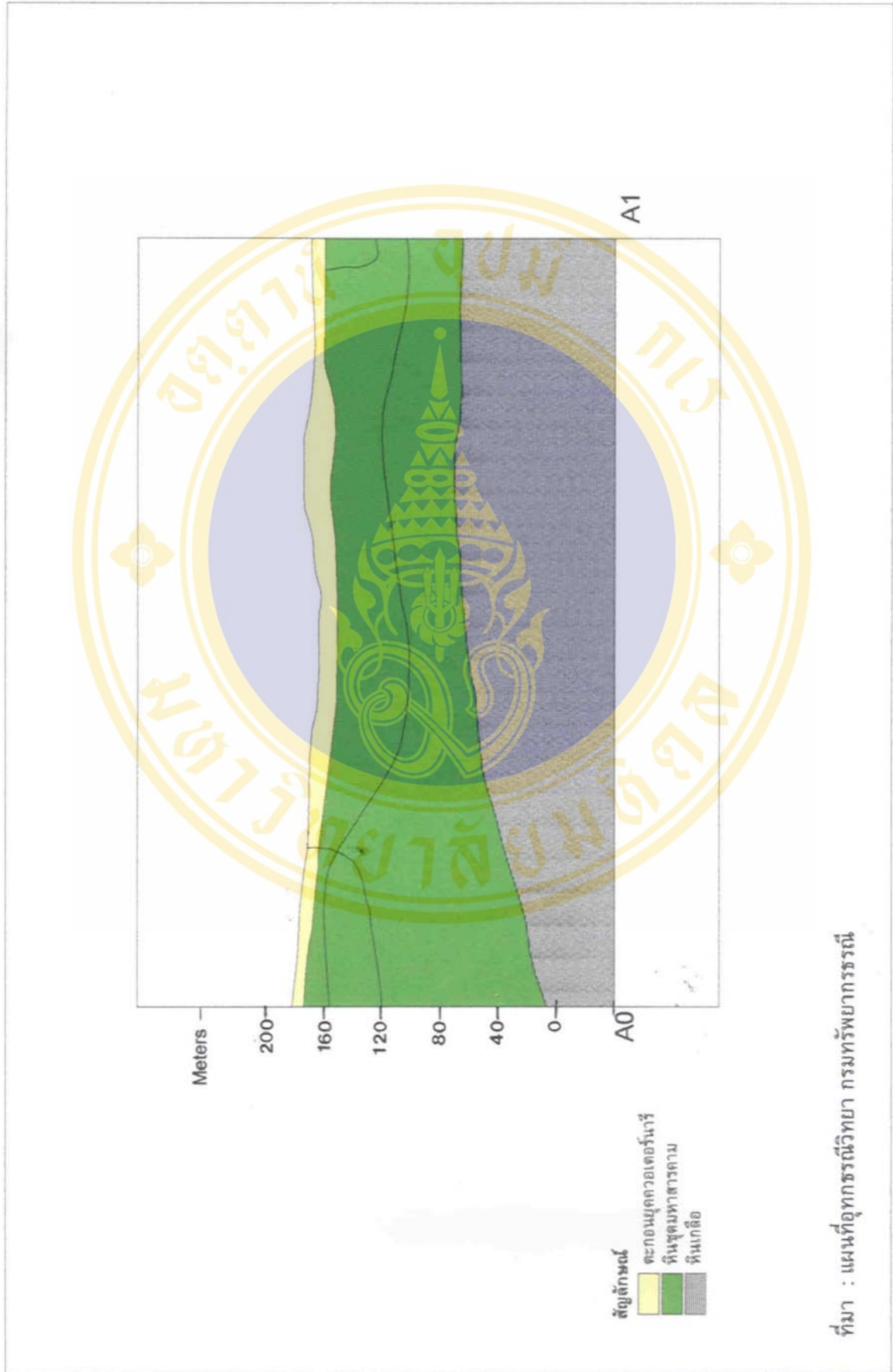
ภาพที่ 10 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 11 แผนที่ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางบริเวณพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 12 แผนที่ลักษณะทางธรณีวิทยาบริเวณพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 13 แผนที่ภาคตัดขวางลักษณะธรณีวิทยาและอุทกธรณีวิทยาบริเวณพื้นที่ศึกษา

3.5 ลักษณะของดิน

จากรายงานการสำรวจดินจังหวัดขอนแก่นปี 2536 และ แผนที่ชุดดินจังหวัดของแก่นของกรมพัฒนาที่ดินปี2516 พบชุดดินในบริเวณพื้นที่ศึกษากระจายตัวและสามารถจำแนกลักษณะภูมิประเทศ ดังภาพที่ 15 มีดังต่อไปนี้

3.5.1 บริเวณพื้นที่ที่เป็นที่ราบลุ่มแม่น้ำ (Floodplain and Valley flat) เป็นดินที่มีวัตถุต้นกำเนิดจากตะกอนน้ำพัดพามาทับถมในส่วนที่ลุ่มต่ำมีสภาพพื้นที่ค่อนข้างเป็นแอ่ง เนื้อดินเป็นดินเหนียวลึก ระบายน้ำเร็ว มีสีน้ำตาลเข้มปนเหลือง น้ำตาลเข้มปนเทา มีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 5.0-6.0 ดินที่พบได้แก่ดินชุดพิมาย มีพื้นที่ทั้งสิ้น 1.75 ตารางกิโลเมตร คิดเป็น1.04 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด

3.5.2 บริเวณพื้นที่ที่ราบขั้นบันไดระดับต่ำ (Low terrace) เป็นดินที่มีวัตถุต้นกำเนิดจากการถูกน้ำพัดพามาทับถมเป็นเวลานาน สภาพพื้นที่ที่เกิดดินนี้ค่อนข้างราบเรียบหรือเป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย มีการระบายน้ำปานกลางจนถึงเร็ว มีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ เนื้อดินมีสีเทา มีจุดประสีน้ำตาลปนเหลืองหรือสีน้ำตาลเข้ม มีปฏิกริยาของดินเป็นกรดปานกลางค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 5.5-6.7 มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำถึงปานกลาง ชุดดินที่พบในบริเวณพื้นที่ศึกษาได้แก่ ดินชุดร้อยเอ็ด ดินชุดอุตร ดินชุดร้อยเอ็ดบนที่สูง ดินชุดร้อยเอ็ดค่อนข้างเหนียว มีพื้นที่รวมทั้งสิ้น 101.58 ตารางกิโลเมตร หรือ 60.46 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ศึกษา

3.5.3 บริเวณพื้นที่ที่ราบขั้นบันไดระดับกลาง (Middle terrace) เป็นดินที่เกิดจากการทับถมของตะกอนลำน้ำ เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย มีการระบายน้ำดีปานกลางถึงดี มีความสามารถในการอุ้มน้ำปานกลาง สีของดินเป็นสีน้ำตาลปนเทา ถึงเทาเข้ม ปฏิกริยาดินเป็นกรดถึงกรดปานกลาง มีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 6 ชุดดินที่พบในพื้นที่ศึกษาได้แก่ ดินชุดโคราช ดินชุดโพนพิสัย มีพื้นที่ทั้งสิ้นรวม 50.15 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 29.85 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่

3.5.4 บริเวณพื้นที่ที่ราบขั้นบันไดระดับกลาง-สูง (Middle-high terrace) เป็นดินที่เกิดจากดินตะกอนที่พัดมาทับถม สภาพพื้นที่ที่เกิดเป็นลูกคลื่นลอนลาด เนื้อดินเป็นดินทรายร่วน หรือดินทราย มีการระบายน้ำดี มีสีน้ำตาลเข้มเข้ม ปฏิกริยาดินเป็นกรดถึงกรดปานกลาง มีค่าความเป็นกรด-

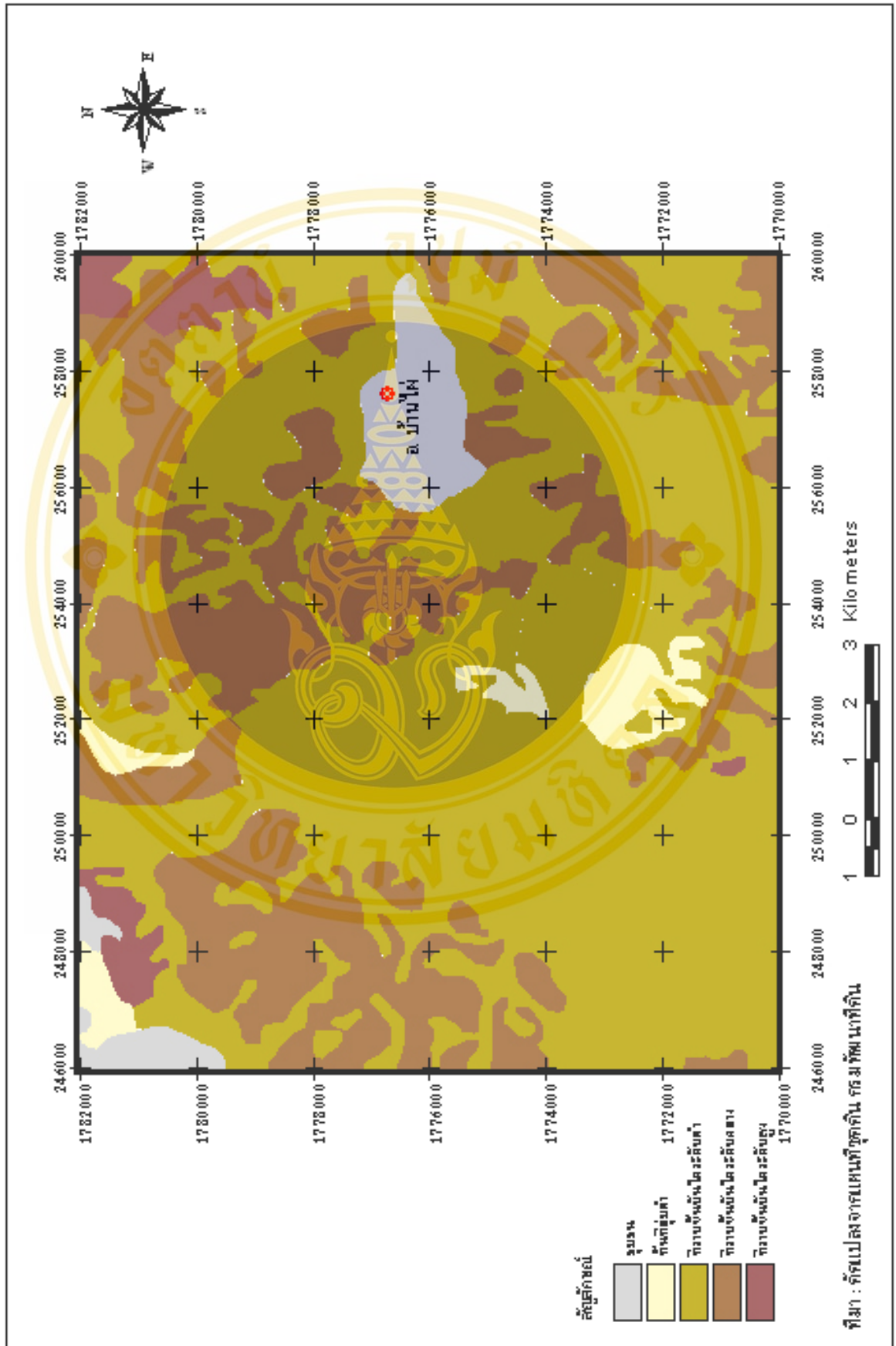
ค่าประมาณ 5.5-6 มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำชุดดินที่พบได้แก่ ดินชุดลพบุรี และดินชุดวาริน ดินชุดน้ำพอง มีพื้นที่รวม 7.62 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 4.53 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด

นอกจากนี้เมื่อจำแนกพื้นที่ตามลักษณะของเนื้อดินตามตารางที่ 2 พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่มีลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย โดยมีดินเหนียวและดินทราย เพียงเล็กน้อย ดังในภาพที่ 16

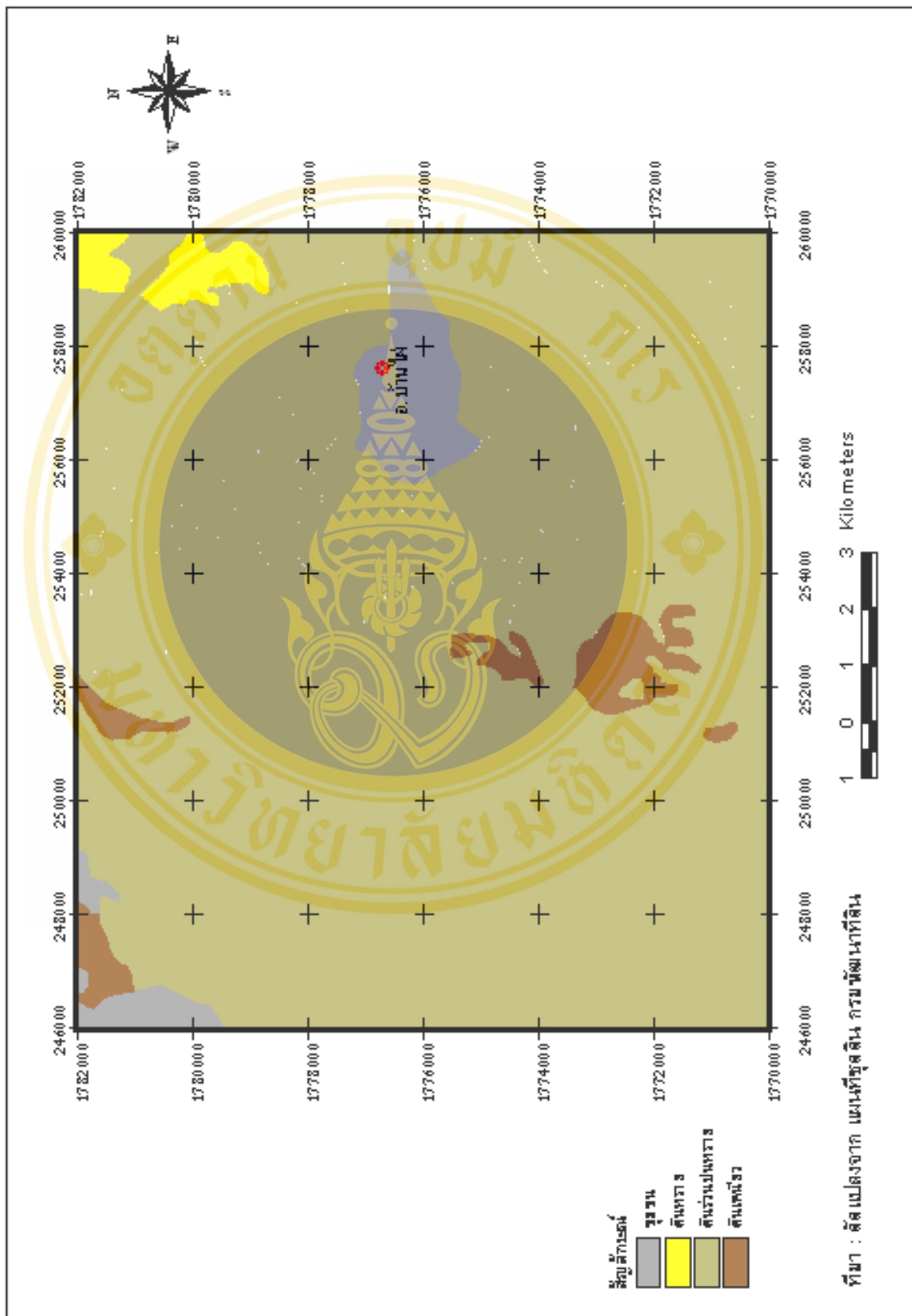
ตารางที่ 2 ชุดดินและลักษณะดินในพื้นที่ศึกษา

หน่วยแผนที่ดิน	ชื่อชุดดิน	ลักษณะพื้นที่	ลักษณะเนื้อดิน
5	พิมาย (Pm)	ที่ลุ่มต่ำ	- ดินเหนียวจัด
14	ร้อยเอ็ด (Re)	ที่ราบขั้นบันไดระดับต่ำ	- ดินร่วนปนทราย
15	คล้ายชุดร้อยเอ็ดแต่มีเนื้อดินร่วน (Re-l)	ที่ราบขั้นบันไดระดับต่ำ	- ดินร่วนปนทราย
20	อุคร(Ud)	ที่ราบขั้นบันไดระดับต่ำ	- ดินร่วนปนทราย
21	ร้อยเอ็ดประเภทที่สูง(Re-h)	ที่ราบขั้นบันไดระดับต่ำ	- ดินร่วนปนทราย
25	โคราช(Kt)	ที่ราบขั้นบันไดระดับกลาง	- ดินร่วนปนทราย
30	โพธิ์พิสัย(Pp)	ที่ราบขั้นบันไดระดับกลาง	- ดินร่วนปนทราย
33	น้ำพอง(Ng)	ที่ราบขั้นบันไดระดับกลาง-สูง	- ดินทรายหรือดินทรายร่วน
38	วาริน(Wn)	ที่ราบขั้นบันไดระดับกลาง-สูง	- ดินร่วนปนทราย
53	ลพบุรี(Lp)	ที่ลุ่มต่ำ	- ดินเหนียวจัด

ที่มา : ดัดแปลงจากกรมพัฒนาที่ดิน (2526)



ภาพที่ 15 แผนที่ลักษณะภูมิประเทศบริเวณพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 16 แผนที่ลักษณะเบื้องต้นบริเวณพื้นที่ศึกษา

บทที่ 4

วิธีการดำเนินการศึกษา

จากวัตถุประสงค์และขอบเขตในการศึกษาการประยุกต์ใช้วิธีธรณีสถิติในการศึกษาคำนำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม อำเภอบ้านไผ่ จังหวัดขอนแก่น สามารถนำมาเป็นแนวทางในการกำหนดวิธีการดำเนินการศึกษาได้ดังนี้

4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ได้แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ประเภท คือ

4.1.1 ข้อมูลคำนำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม เป็นค่าที่เก็บข้อมูลด้วยเครื่อง EM 34 โดยใช้วิธีวัดค่าแบบแนวนอน (Horizontal dipole mode) ด้วยการวางห้วงรับ-ส่งสัญญาณห่างกันเป็นระยะทาง 10 , 20 และ 40 เมตร คำนำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามจะถูกวัดที่ระดับความลึก 0-7.5, 0-15 และ 0-30 เมตร ตามลำดับ โดยค่าที่ระดับความลึก 0-30 เมตร จะครอบคลุมค่าที่ระดับความลึก 0-7.5 และ 0-15 เมตร เช่นเดียวกันค่าที่ระดับความลึก 0-15 เมตร จะครอบคลุมค่าที่ระดับความลึก 0-7.5 เมตร คำนำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามจะมีค่าอยู่ในช่วง 0-300 mS/m สำหรับการศึกษานี้ใช้ข้อมูลคำนำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามทั้งสิ้น 2 กลุ่ม ดังนี้

4.1.1.1 ข้อมูลคำนำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามที่ได้จากจุดเก็บตัวอย่างที่มีระยะห่างระหว่างจุด 1,000x1,000 เมตร

เป็นข้อมูลทุติยภูมิ จากกรมพัฒนาที่ดิน เก็บข้อมูลบริเวณ อำเภอบ้านไผ่ จังหวัดขอนแก่น โดยทำการเก็บข้อมูลในเดือนเมษายน พ.ศ. 2536 มีขอบเขตตั้งแต่ โชน 48 Q พิกัดที่ 1770000- 1782000 N และ 246000-260000E (ภาพที่ 17) จัดเก็บแบบตารางช่องกริด มีระยะห่างระหว่าง ข้อมูล 1,000 x 1,000 เมตร (ภาพที่ 18) ประกอบด้วย 3 ชุดข้อมูล คือ ที่ระดับความลึก 0-7.5 , 0-15 และ 0-30 เมตรตามลำดับ จำนวนทั้งสิ้นชุดละ 194 ตัวอย่าง โดยขาดข้อมูลที่พิกัด 1782000

N 251000 E ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาทั้งหมด ซึ่งมีพื้นที่เท่ากับ 168 ตารางกิโลเมตร (ข้อมูลทั้งหมดแสดงอยู่ในภาคผนวก ก)

4.1.1.2 ข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่ได้จากจุดเก็บตัวอย่างที่มีระยะห่างระหว่างจุด 80x80 เมตร

เป็นข้อมูลปฐมภูมิที่ได้จากการเก็บตัวอย่างภาคสนาม ทำการเก็บข้อมูลในวันที่ 18-22 เมษายน พ.ศ.2544 โดยวางแผนเก็บข้อมูลพื้นที่ 0.96 ตารางกิโลเมตร ในบริเวณพื้นที่ศึกษาบางส่วน (ภาพที่ 17) วางแผนแบบตารางช่องกริด มีระยะห่างระหว่างข้อมูล 80 x 80 เมตร (ภาพที่ 19) ประกอบด้วย 3 ชุดข้อมูล คือ ที่ระดับความลึก 0-7.5 , 0-15 และ 0-30 เมตรตามลำดับ มีจำนวนทั้งสิ้นชุดละ 169 ตัวอย่าง (ข้อมูลทั้งหมดแสดงอยู่ในภาคผนวก ข)

4.1.2 ข้อมูลของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม เป็นข้อมูลทุติยภูมิ มีดังนี้

4.1.2.1 ข้อมูลด้านลักษณะภูมิประเทศ ได้แก่

- แผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหาร มาตรฐาน 1 : 50,000 ลำดับชุดที่ L7017 ระวัง 5541 III ชื่อระวาง อำเภอบ้านไผ่ และ ชุดที่ L7017 ระวัง 5541 II ชื่อระวาง บ้านหินตั้ง โดยข้อมูลที่ศึกษาได้แก่ เส้นชั้นความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง

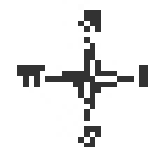
4.1.2.2 ข้อมูลด้านธรณีวิทยาและอุทกธรณีวิทยา ได้แก่

- แผนที่ธรณีวิทยาของกรมทรัพยากรธรณี มาตรฐาน 1 : 250,000 โดยข้อมูลที่ศึกษาได้แก่ ลักษณะธรณีวิทยา

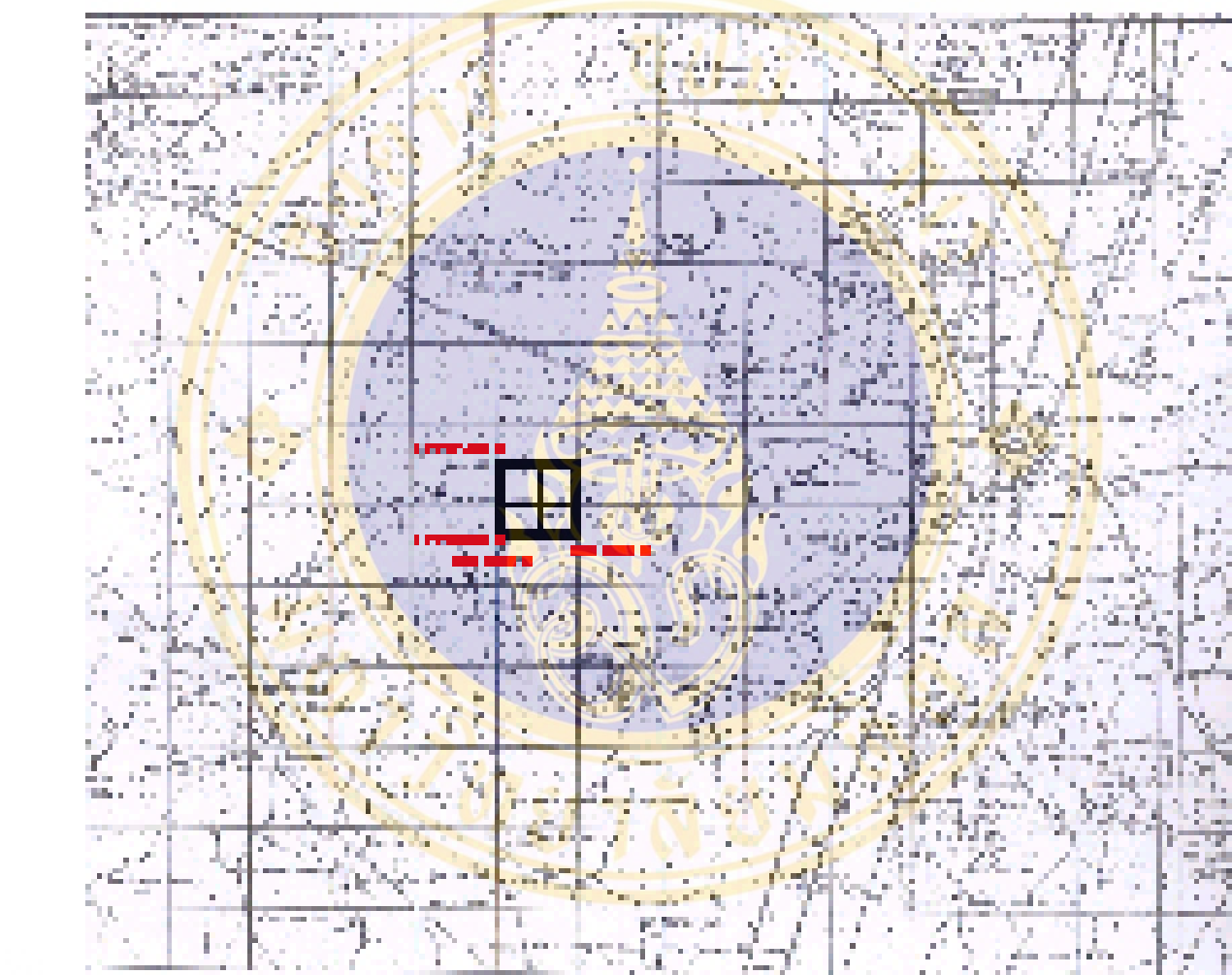
-แผนที่อุทกธรณีวิทยาจังหวัดขอนแก่นของกรมทรัพยากรธรณี มาตรฐาน 1 : 100,000 โดยข้อมูลที่ศึกษาได้แก่ คุณภาพของน้ำบาดาล

4.1.2.3 ข้อมูลดิน

- แผนที่ชุดดินจังหวัดขอนแก่นของกรมพัฒนาที่ดิน มาตรฐาน 1: 100,000 โดยข้อมูลที่ศึกษาได้แก่ ลักษณะเนื้อดิน และลักษณะภูมิประเทศ



1:700 H



1:700 H

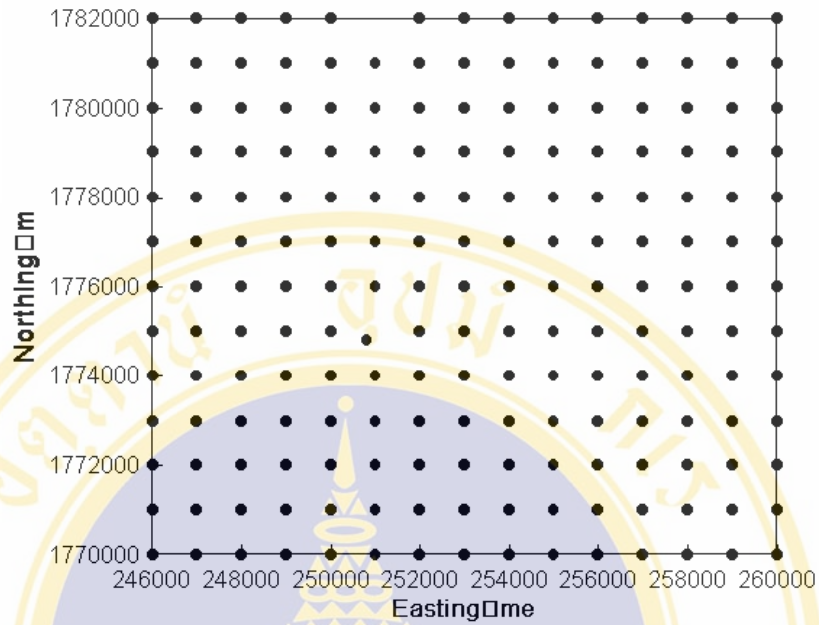
3:4000 H

3:4000 H

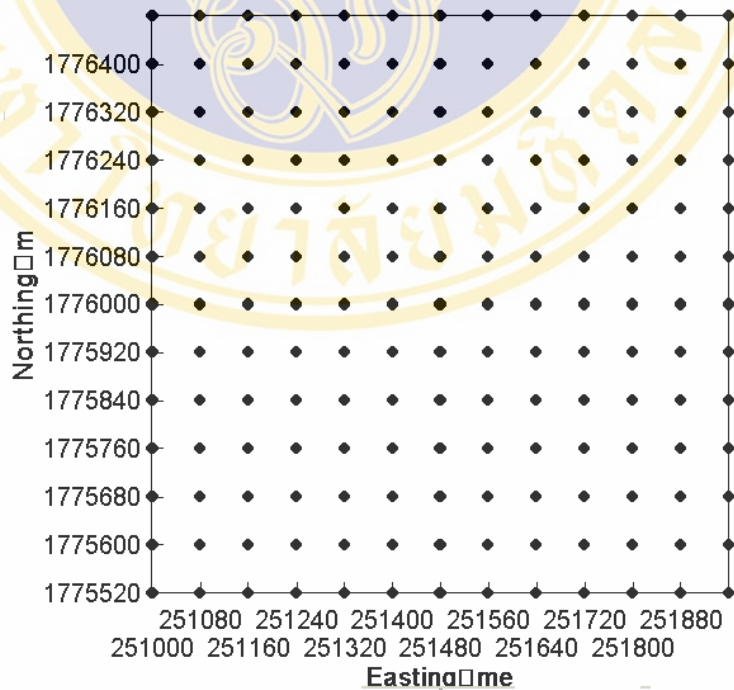


พื้นที่บริเวณที่เก็บตัวอย่างค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามที่มีระยะห่างระหว่างจุด 80 x 80 เมตร

ภาพที่ 17 ขอบเขตพื้นที่เก็บตัวอย่างค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามที่มีระยะห่างระหว่างจุด 80 x 80 เมตร



ภาพที่ 18 จุดเก็บตัวอย่างค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามที่มีระยะห่าง 1000 x 1000 เมตร



ภาพที่ 19 จุดเก็บตัวอย่างค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามที่มีระยะห่าง 80 x 80 เมตร

4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

4.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้เก็บค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ได้แก่

4.2.1.1 เครื่อง EM 34

4.2.1.2 เครื่อง GPS รุ่น Garmin45XL

4.2.1.3 เข็มทิศ

4.2.1.4 แผนที่จุดเก็บตัวอย่าง

4.2.2 อุปกรณ์ในการประมวลผลข้อมูล

4.2.2.1 เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

4.2.2.2 โปรแกรมสำหรับประมวลผลข้อมูล

- โปรแกรม GEOEAS เวอร์ชัน 1.2.1 สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ได้ใช้โปรแกรมย่อย 2 โปรแกรมได้แก่

1) โปรแกรมย่อย Stat1 ใช้ในการวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา

2) โปรแกรมย่อย Xvalid ใช้ในการทดสอบแวนไอแกรมด้วยวิธี

Crossvalidation

- โปรแกรม VARIOWIN เวอร์ชัน 2.21 เป็นโปรแกรมสำหรับหาค่าและสร้างแวนไอแกรม ประกอบด้วยโปรแกรมย่อย 3 โปรแกรมได้แก่

1) โปรแกรมย่อย Prevar2D ใช้ในการเตรียมข้อมูลให้เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ในโปรแกรมย่อย Vario2D

2) โปรแกรมย่อย Vario2D ใช้ในการสร้างแวนไอแกรม

3) โปรแกรมย่อย Model ใช้ในการหาแบบจำลองแวนไอแกรมที่เหมาะสม

- โปรแกรม SURFER 32 สำหรับคำนวณการประมาณค่าด้วยวิธีคริกกิง สร้างแผนที่ระดับความรุนแรงของดินเค็มและแผนที่เส้นชั้นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิง

4.3 การเก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น

ข้อมูลส่วนใหญ่ที่เป็นข้อมูลทุติยภูมิในหัวข้อที่ 3.1.2 เก็บรวบรวมจากหน่วยราชการต่างๆ ได้แก่ กรมพัฒนาที่ดิน กรมทรัพยากรที่ดิน เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้จะถูกจัดเก็บอยู่ในรูปแบบของระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ ซึ่งมีทั้งข้อมูลเชิงพื้นที่ และข้อมูลเชิงคุณลักษณะ

4.4 การเก็บค่าตัวอย่างค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม

การเก็บค่าตัวอย่างค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ด้วยเครื่อง EM34 โดยวางแผนการเก็บข้อมูลแบบตารางช่องกริดมีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80x80 เมตร ใช้วิธีวัดค่าแบบแนวราบ ใน 3 ระดับความลึก ที่ 0-7.5 0-15 และ 0-30 เมตร จำนวนทั้งสิ้น 169 ตัวอย่าง โดยมีวิธีการและขั้นตอนดังนี้

4.4.1 วางแผนเก็บตัวอย่างแบบตารางช่องกริด

ใช้เครื่อง GPS และเข็มทิศในการหาพิกัดตำแหน่งและทิศทางของจุดเก็บตัวอย่าง โดยดูจากแผนที่จุดเก็บตัวอย่าง ในภาพที่ 4.3 แต่ละจุดจะมีระยะห่าง 80 x 80 เมตร

4.4.2 วัดค่าตัวอย่างค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามด้วยเครื่อง EM 34

วัดค่าตัวอย่างในจุดที่กำหนดไว้แล้ว ด้วยวิธีวัดค่าแบบแนวราบ โดยตั้งห้วงวงจรของเครื่องรับและส่งสัญญาณให้อยู่ตรงข้ามกัน และให้สายเคเบิลที่เชื่อมระหว่างห้วงทั้ง 2 วางพาดผ่านจุดเก็บตัวอย่าง โดยที่กึ่งกลางของความยาวของสายเคเบิลวางอยู่บนตำแหน่งของจุดเก็บ วางห้วงทั้ง 2 ตั้งฉากกับพื้นดิน พยายามให้ห้วงทั้ง 2 อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน ค่อยๆ ถอยห้วงออกจากกัน จนห้วงทั้ง 2 ห่างกันเป็นระยะทาง 10 เมตร จากนั้นเปิดเครื่องรับและส่งสัญญาณ อ่านค่าที่ได้จากเครื่องรับสัญญาณและบันทึกลงตารางเก็บข้อมูล โดยค่าที่ได้จะเป็นค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามที่ระดับความลึก 0-7.5 เมตร จากนั้นค่อยๆ ถอยห้วงออกจากกัน เป็นระยะ 20 และ 40 เมตร ตามลำดับ อ่านและบันทึกข้อมูลที่ได้ โดยค่าที่ได้จะเป็นค่าที่ระดับความลึก 0-15 เมตร และ 0-30 เมตร ตามลำดับ

4.5 การดำเนินการด้วยวิธีธรณีสถิติ

เนื่องจากการศึกษาในครั้งนี้ได้ศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามโดยเก็บข้อมูลมีระยะระหว่างจุดเก็บตัวอย่างต่างกัน จึงได้แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม แต่ละกลุ่มมี 3 ชุดข้อมูล ดังนั้นจะมีข้อมูลทั้งหมด 6 ชุด คือ

- 1) ข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1,000 x 1,000 เมตรที่ระดับความลึก 0-7.5 จำนวน 194 ตัวอย่าง
- 2) ข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1,000 x 1,000 เมตรที่ระดับความลึก 0-15 จำนวน 194 ตัวอย่าง
- 3) ข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1,000 x 1,000 เมตรที่ระดับความลึก 0-30 จำนวน 194 ตัวอย่าง
- 4) ข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 เมตรที่ระดับความลึก 0-7.5 จำนวน 169 ตัวอย่าง
- 5) ข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 เมตรที่ระดับความลึก 0-15 จำนวน 169 ตัวอย่าง
- 6) ข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 เมตรที่ระดับความลึก 0-30 จำนวน 169 ตัวอย่าง

นำข้อมูลที่ 6 ชุด มาดำเนินการด้วยวิธีธรณีสถิติซึ่งมีขั้นตอนดังนี้ (แผนภาพที่ 20)

4.5.1 คำนวณค่าสถิติทั่วไปของข้อมูลในแต่ละชุด ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด ต่ำสุด ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความเบ้ และกราฟฮิสโตแกรม เพื่อตรวจหาความผิดปกติของข้อมูลและลักษณะการแจกแจงของข้อมูล ว่ามีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ ถ้าไม่ก็ต้องแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปลอการิทึม เพื่อให้ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

4.5.2 นำข้อมูลในแต่ละชุดมาสร้างเวรีโอแกรม โดยใช้โปรแกรมย่อย Vario 2D จากโปรแกรม VARIOWIN ทำการสร้างเวรีโอแกรมทั้งแบบรวมทิศ (Omnidirection) และแบบแยกทิศ ในแบบแยกทิศจะสร้างด้วยกัน 4 ทิศทาง ได้แก่ เหนือ-ใต้, ตะวันออก-ตะวันตก, ตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้, ตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ เวรีโอแกรมที่ได้ก็

คือกราฟของค่าการเรียนรู้ที่สัมพันธ์กับระยะทาง การสร้างเวรีโอแกรมด้วยโปรแกรม Vario 2D จำเป็นต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์พื้นฐาน ได้แก่ ค่ามุมทิศทาง(Direction) ค่าระยะห่างระหว่างข้อมูล (Lag spacing) จำนวนจุด (Number of lags) และค่ามุมเบี่ยงเบน (Angular tolerance) โดยค่ามุมทิศทางตามที่โปรแกรมกำหนดไว้ แสดงอยู่ในตารางที่ 3 ค่ามุมเบี่ยงเบนที่ใช้ในการสร้างเวรีโอแกรมแบบรวมทิศจะกำหนดไว้ที่ 90 องศา แบบแยกทิศจะกำหนดไว้ที่ 10 ,20 30 องศา ขณะที่ค่าระยะห่างระหว่างข้อมูลและค่าจำนวนระยะห่างสามารถกำหนดได้ตามความเหมาะสม ซึ่งทั้งหมดนี้จะส่งผลต่อลักษณะของเวรีโอแกรมที่ได้ การทำงานในขั้นตอนนี้จึงจำเป็นต้องเปลี่ยนค่าตัวแปรดังกล่าวข้างต้นไปเรื่อยๆ จนกว่าจะได้เวรีโอแกรมที่แสดงลักษณะโครงสร้างที่ชัดเจนซึ่งจะมีความต่อเนื่องของค่าเซมิวาเรียนซ์แสดงเป็นรูปแบบที่ชัดเจน แต่ในกรณีของข้อมูลที่ไม่มีความสัมพันธ์กันในเชิงพื้นที่ อันอาจเกิดขึ้นจากจำนวนข้อมูลมีน้อยเกินไปหรือระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่างมากเกินไป เวรีโอแกรมก็จะมีลักษณะกระจัดกระจายไม่เป็นรูปเป็นร่าง

ตารางที่ 3 ค่ามุมทิศทาง

ทิศทางของเวรีโอแกรม	ค่ามุมทิศทาง (องศา)
ตะวันออก-ตะวันตก	0
ตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้	45
เหนือ-ใต้	90
ตะวันออกเฉียงใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือ	135

ที่มา : ดัดแปลงจาก E. Englund (1991)

4.5.3 นำเวรีโอแกรมที่ได้ไปสร้างแบบจำลองเวรีโอแกรมด้วยโปรแกรมย่อย Model เลือกรูปแบบจำลองที่มีความเหมาะสมและเข้ากันได้กับเวรีโอแกรมซึ่งอาจจะเป็น แบบเส้นตรง แบบสเฟียริคัล แบบเอ็กซ์โปเนนเชียล หรือแบบเกาส์เซียน แบบใดแบบหนึ่ง หรืออาจจะประกอบด้วยหลายแบบรวมกันก็ได้ขึ้นอยู่กับลักษณะการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของข้อมูลนั้นๆ พิจารณาแบบจำลองที่เลือกมาทั้งแบบรวมทิศ และแบบแยกในแต่ละทิศ ถ้าแบบจำลองทั้งหมดมีลักษณะเดียวกัน แสดงว่าค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามกระจายตัวสม่ำเสมอในทุกทิศทาง(Isotropic) แต่ถ้าแบบจำลองเวรีโอแกรมในแต่ละทิศทางมีลักษณะไม่เหมือนกัน แสดงว่าค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามกระจายตัวในทิศทางที่ไม่สม่ำเสมอ (Anisotropic) ซึ่งในการเลือกแบบจำลองเวรีโอแกรมเพื่อเป็นตัวแทน

ลักษณะความสัมพันธ์ของข้อมูล ควรนำปัจจัยทางกายภาพที่มีอิทธิพลต่อค่าตัวแปร เช่น ลักษณะธรณีวิทยา เนื้อดิน ระดับความสูงของพื้นที่ มาร่วมในการพิจารณาด้วย แบบจำลองเวรีโอแกรมที่ได้ควรจะมีลักษณะสอดคล้องกับข้อมูลดังกล่าว

4.5.4 ตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองเวรีโอแกรมและจำนวนข้อมูลข้างเคียงที่จะนำไปใช้ในการประมาณค่าแบบคริกกิง ด้วยวิธี Cross validation โดยโปรแกรมย่อย Xvalid จากโปรแกรม GEOEAS 1.2.1 จะทำการคำนวณค่าตัวแปรในจุดที่วัดค่าไว้ แต่ทำเสมือนว่าไม่มีข้อมูลอยู่ในจุดนั้นๆ และลองคำนวณค่าโดยใช้จำนวนข้อมูลข้างเคียงและแบบจำลองเวรีโอแกรมที่เราเลือกใช้ หลังจากนั้นจะเปรียบเทียบค่าประเมินกับค่าที่วัดได้จริง จะได้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (m_E) และค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (σ_E^2) พิจารณารูปแบบแบบจำลองเวรีโอแกรมและจำนวนข้อมูลข้างเคียงที่มีความเหมาะสม โดยพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ถ้ากรณีที่ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยมีค่าเข้าใกล้ศูนย์เท่ากัน จะพิจารณาค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่มีค่าต่ำกว่า

4.5.5 เมื่อได้แบบจำลองเวรีโอแกรมและจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการประมาณค่าที่เหมาะสมแล้ว นำไปประมาณค่าตัวแปรในจุดที่ไม่ทราบค่าด้วยวิธีคริกกิงด้วยโปรแกรม SURFER 32 โปรแกรมจะทำการประมาณค่าตัวแปรในจุดที่ไม่ได้เก็บข้อมูล ค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้จะขึ้นอยู่กับลักษณะแบบจำลองเวรีโอแกรมและจำนวนข้อมูลข้างเคียงที่เลือกใช้ โดยการประมาณค่าในครั้งนี้จะใช้วิธีการประมาณค่าแบบคริกกิงธรรมดา (Ordinary kriging) และทำการประมาณค่าแบบจุด (Punctual kriging or Point kriging) ผลที่ได้จะเป็นค่าที่ทำการประมาณและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิงในจุดนั้นๆ

4.5.6 ค่าที่ได้จากการประมาณค่าด้วยวิธีคริกกิงจะถูกรวมกับค่าที่ได้จากการเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาสร้างแผนที่ระดับความรุนแรงของความเป็นพิษของดินในระดับความลึก 0-7.5 0-15 และ 0-30 เมตร โดย Dissataporn และคณะ (2002) ได้แบ่งระดับค่าความรุนแรงของความเป็นพิษของดินออกเป็น 5 ระดับ ดังนี้

บริเวณที่ไม่เค็ม	มีค่า $EC_a < 80$ mS/m
บริเวณที่มีความเค็มน้อย	มีค่า EC_a 80-120 mS/m
บริเวณที่มีความเค็มปานกลาง	มีค่า EC_a 120-160 mS/m

บริเวณที่มีความเค็มมาก	มีค่า EC_a 160-200 mS/m
บริเวณที่มีความเค็มจัด	มีค่า $EC_a >200$ mS/m

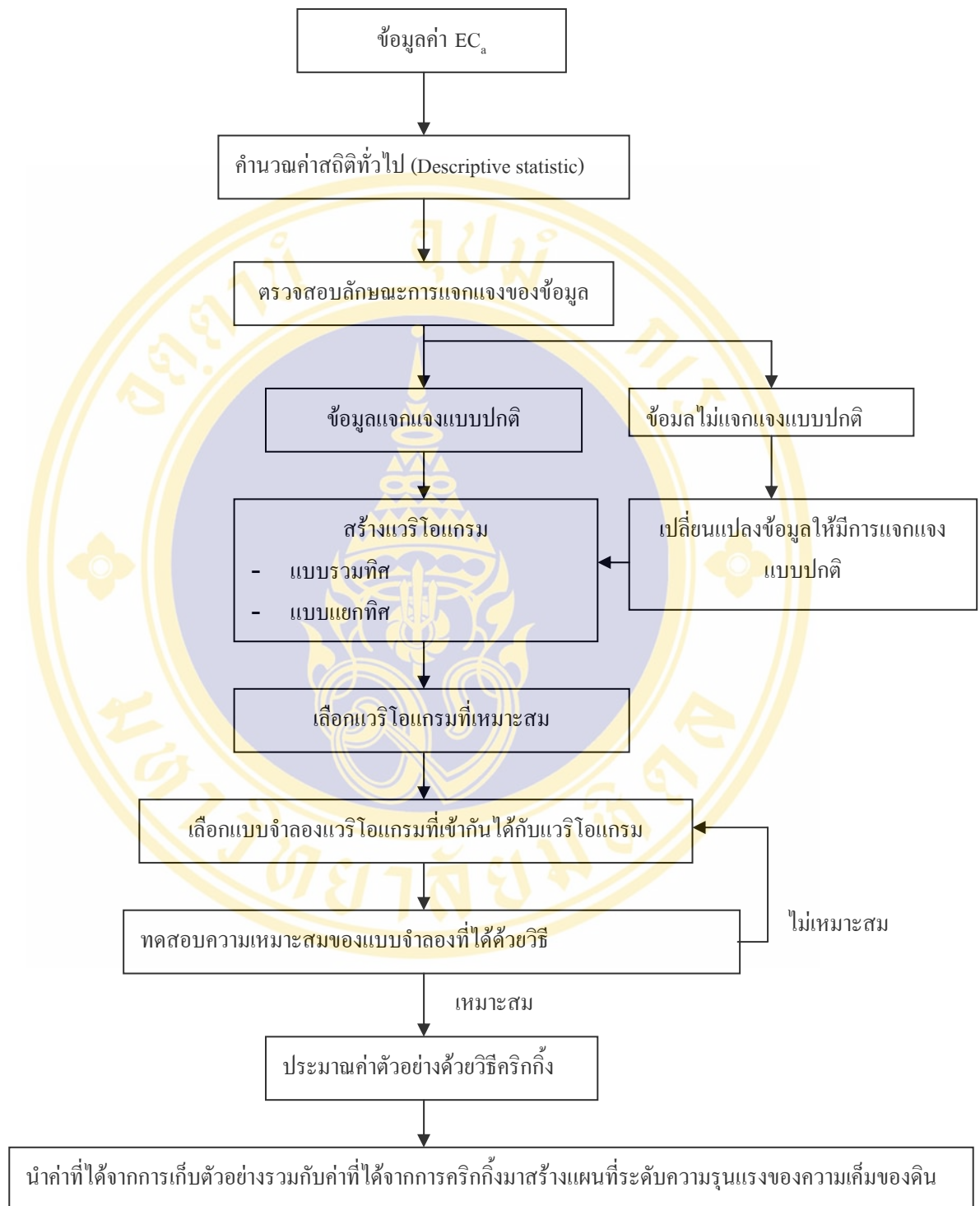
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้งที่ได้จากการประมาณค่าแบบคริกกิ้งจะนำไปสร้างเป็นแผนที่เส้นชั้นส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้งเพื่อใช้ในการวางแผนเก็บข้อมูลต่อไป

4.6 การวิเคราะห์และนำเสนอข้อมูล

4.6.1 การวิเคราะห์ลักษณะและการแจกแจงของข้อมูลด้วยสถิติเชิงบรรยาย (Descriptive statistic) ซึ่งได้แก่ ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน และค่าความเบ้

4.6.2 วิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ ของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามในพื้นที่ศึกษา จะวิเคราะห์โดยพิจารณาจากรูปลักษณะของเวรีโอแกรมที่ได้ ร่วมกับ ข้อมูล ด้านภูมิประเทศ ด้านอุทกธรณีวิทยา และข้อมูลดิน โดยเวรีโอแกรม จะแสดงให้เห็นถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามในระยะทางและทิศทางต่างๆ ซึ่งจะต้องมีความสอดคล้องกับข้อมูลต่างๆข้างต้น

ข้อมูลที่ได้นำเสนอใน ตารางสรุปค่าสถิติ กราฟฮิสโตแกรม รูปของแบบจำลองเวรีโอแกรมในระดับต่างๆ แผนที่ระดับค่าความรุนแรงของความเค็มของดินและแผนที่เส้นชั้นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้ง ที่ระดับความลึก 0-7.5 0-15 และ 0-30 เมตร



แผนภาพที่ 20 ขั้นตอนการดำเนินการด้วยวิธีคริกกิ่ง

บทที่ 5 ผลการศึกษาและอภิปราย

จากการรวบรวมข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างในการเก็บตัวอย่าง 1000 x 1000 เมตร และการเก็บข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม เพิ่มเติมที่ระยะ 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 0-15 และ 0-30 เมตร ได้นำมาวิเคราะห์และดำเนินการด้วยวิธีธรณีสถิติและมีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

5.1 สถิติพื้นฐานและลักษณะการแจกแจงของข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม

5.1.1 ค่าสถิติพื้นฐานของข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80x 80 เมตร

ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างในการสำรวจ 80x 80 เมตร ที่ระดับความลึก 0-7.5, 0-15 และ 0-30 เมตรได้แสดงไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าสถิติพื้นฐานของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80x 80 เมตร

ระดับความลึก (เมตร)	ค่าต่ำสุด (mS/m)	ค่าสูงสุด (mS/m)	ค่าเฉลี่ย (mS/m)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	สัมประสิทธิ์ ความแปรปรวน (%)	ค่าความ เบ้
0-7.5	90	300	208.67	42.38	20.30	0.1987
0-15	140	290	209.32	29.90	14.28	0.1452
0-30	150	290	215.47	24.33	11.29	-0.776

จากตารางที่ 4 พบว่าค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามของข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่างจุด 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 0-15 และ 0-30 เมตร มีค่าอยู่ในช่วง 90-300,140-290 และ 150-290 mS/m คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 208.67, 209.32 และ 215.47 mS/m ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่า นำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ทั้ง 3 ระดับความลึก มีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกันมากและมีค่าค่อนข้างสูง แสดงให้เห็นว่าในพื้นที่เก็บตัวอย่างได้รับอิทธิพลจากการนำไฟฟ้าจากเกลือ โดยสังเกตได้จากคราบเกลือที่ปรากฏในพื้นที่ขณะเก็บข้อมูล ความแตกต่างของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานแสดงออกมาอย่างสอดคล้องกับขนาดของตัวอย่าง(Sample Supports)ในแต่ละระดับความลึก โดยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ระดับความลึก 0-7.5 เมตร จะมีค่ามากที่สุดรองลงมาคือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ระดับความลึก 0-15 และ 0-30 เมตร โดยมีค่าเท่ากับ 42.38, 29.90 และ 24.33 ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เกิดขึ้นเนื่องจากเมื่อพิจารณาถึงหลักการในการวัดค่าตัวอย่างค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ด้วย เครื่อง EM34 ที่ใช้หลักการเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะพบว่าที่ระดับความลึก 0-7.5 เมตร จะมีระยะห่างระหว่างหัวรับ-ส่งสัญญาณ 10 เมตร ซึ่งน้อยกว่าที่ระดับความลึก 0-15 และ 0-30 เมตรที่มีระยะห่างระหว่างหัวรับ-ส่งสัญญาณ 20 และ 40 เมตรตามลำดับ ทำให้ขนาดของพื้นที่หน้าตัดหรือขนาดตัวอย่าง ที่วัดในระดับความลึก 0-7.5 เมตร จะมีขนาดเล็กที่สุดคือเท่ากับ 10x7.5 เมตร ขณะที่ขนาดของพื้นที่หน้าตัดของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ในระดับความลึก 0-15 และ 0-30 เมตร จะเท่ากับ 20 x 15 และ 30 x 40 เมตร และเนื่องจากค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามที่วัดได้เป็นค่าเฉลี่ยทั้งหน้าตัด ดังนั้นขนาดตัวอย่างที่เล็กกว่าจะส่งผลให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่ามากกว่า ทำให้ที่ระดับความลึก 0-7.5 เมตร ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจึงมีค่ามากที่สุด

5.1.2 ค่าสถิติพื้นฐานของข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1,000x 1,000 เมตร

ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างในการสำรวจ 1,000x 1,000 เมตร ที่ระดับความลึก 0-7.5 ,0-15 และ 0-30 ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าสถิติพื้นฐานของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1,000x 1,000 เมตร

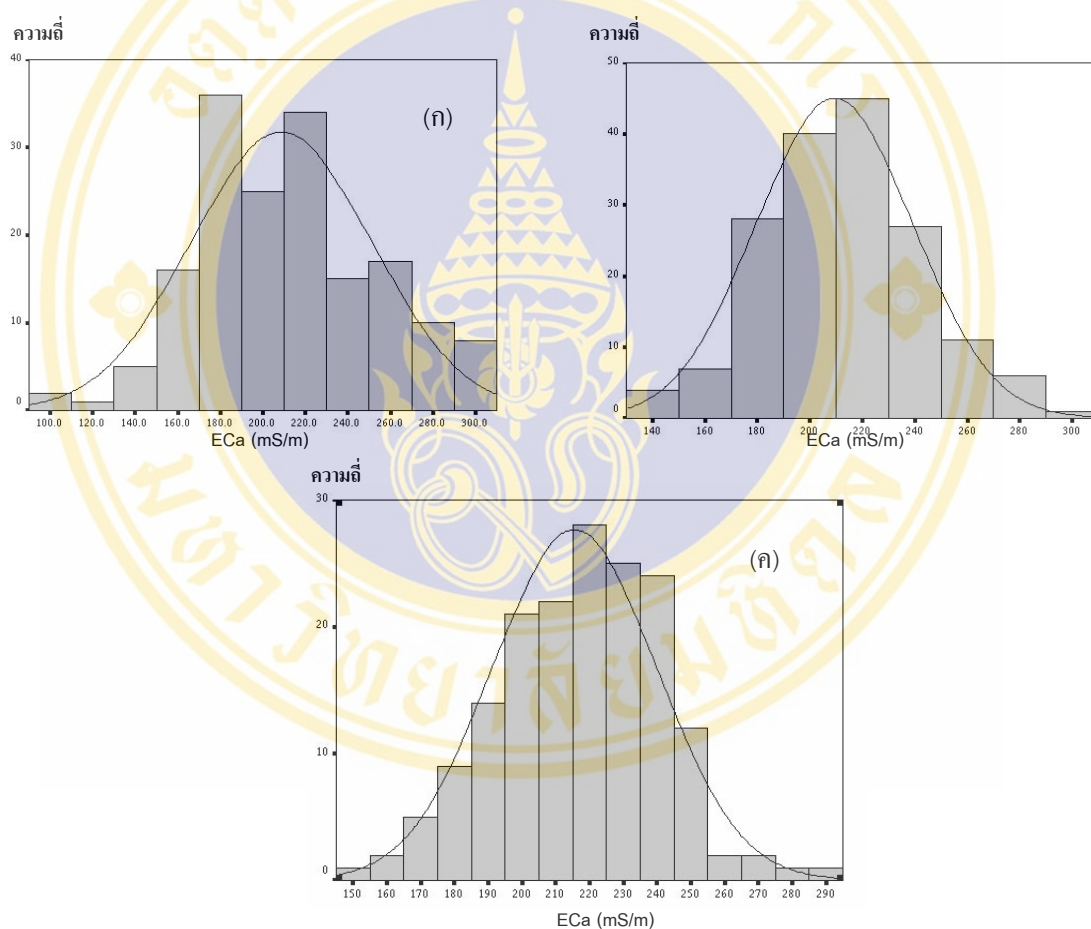
ระดับความลึก (เมตร)	ค่าต่ำสุด (mS/m)	ค่าสูงสุด (mS/m)	ค่าเฉลี่ย (mS/m)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	สัมประสิทธิ์ความ แปรปรวน (%)	ค่าความ เบ้
0-7.5	14	275	98.23	49.07	49.92	0.9816
0-15	40	260	114.61	46.40	40.48	0.6634
0-30	40	290	115.63	44.87	38.81	0.6762

จากตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ของข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่างจุด 1,000x 1,000 เมตร พบว่าในระดับความลึก 0-7.5 0-15 และ 0-30 เมตร มีค่าอยู่ในช่วง 14-275, 40-260 และ 40-290 mS/m คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 98.23, 114.61 และ 115.63 mS/m ตามลำดับจะเห็นได้ว่าค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ทั้ง 3 ระดับความลึก มีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกันมาก ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานทั้ง 3 ระดับความลึก เท่ากับ 49.07, 46.4 และ 44.87 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูง แสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีลักษณะการกระจายตัวสูง และมีลักษณะเช่นเดียวกับข้อมูลในชุด 80 x 80 เมตร คือ ที่ระดับความลึก 0-7.5 เมตร มีค่ามากที่สุด และรองลงมาคือ ที่ระดับความลึก 0-15 และ 0-30 เมตร ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของขนาดตัวอย่างที่มีต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเช่นเดียวกับที่แสดงให้เห็นในข้อมูลชุด 80x80 เมตร

เมื่อเปรียบเทียบการกระจายตัวของข้อมูลทั้ง 2 ชุดจะพบว่าข้อมูลชุด 1000 x 1000 เมตรมีการกระจายตัวมากกว่าโดยเปรียบเทียบจากค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน ที่แสดงในตารางที่ 5 พบว่าที่ระดับความลึก 0-7.5, 0-15 และ 0-30 มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนเท่ากับ 49.92, 40.48 และ 38.81 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของข้อมูลชุด 80x80 เมตร ในตารางที่ 4 ที่มีค่า เท่ากับ 20.30, 14.28 และ 11.29 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม เป็นตัวแปรภูมิภาค ค่าจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งในพื้นที่ ค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่เก็บในระยะห่าง 80 x 80 เมตร มีระยะห่างน้อยกว่าส่งผลให้ข้อมูลมีค่าใกล้เคียงกันมากกว่าจึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนมีค่าน้อยกว่าข้อมูลชุด 1000 x 1000 เมตร

5.1.3 ลักษณะการแจกแจงของชุดข้อมูลที่มีระยะห่าง 80x80 เมตร

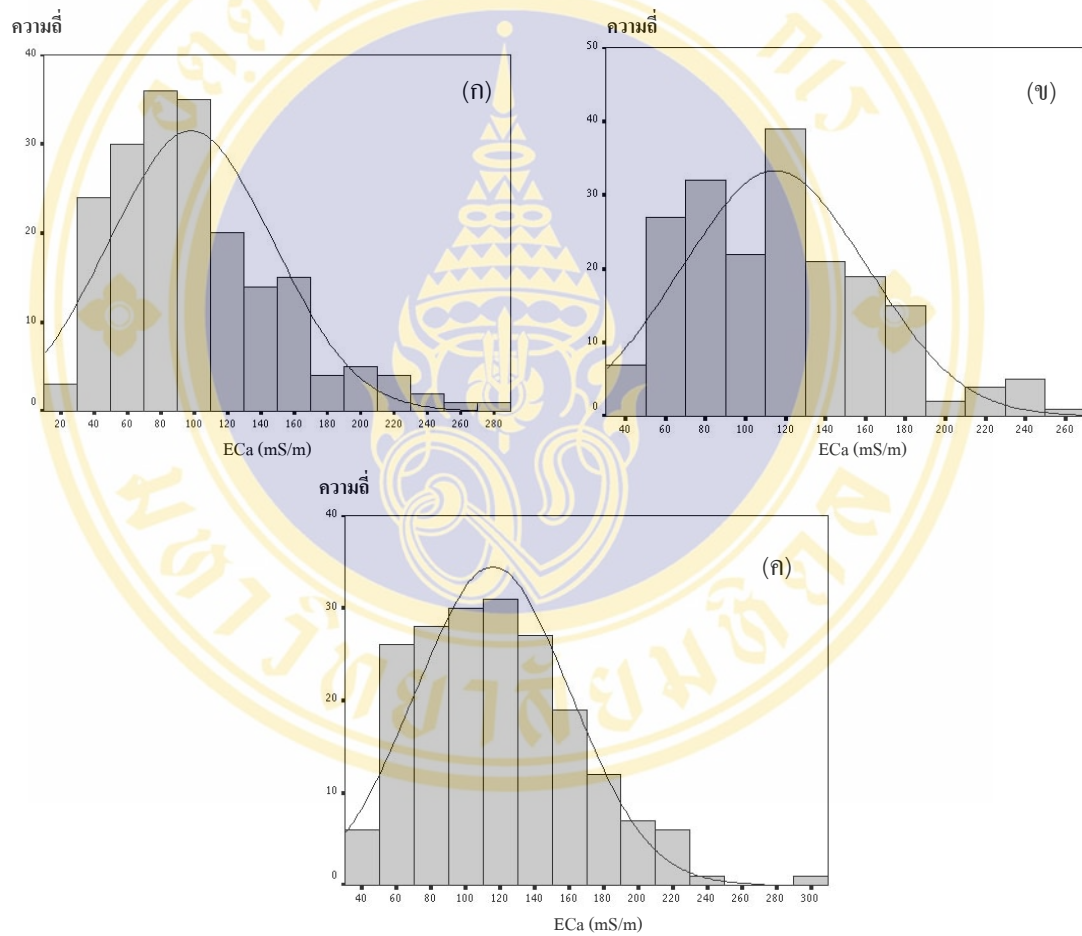
จากกราฟฮิสโตแกรม (Histogram) ในภาพที่ 21 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลทั้ง 3 ระดับความลึก อันได้แก่ 0-7.5 ,0-15 และ 0-30 เมตร มีการแจกแจงแบบปกติ โดยกราฟมีความสมมาตร และจากค่าความเบ้ ในตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลที่ระดับความลึก 0-7.5 และ 0-15 เมตร มีความเบ้เพียงเล็กน้อยมากโดยมีค่าเท่ากับ 0.20และ 0.15 ขณะที่แม้ค่าความเบ้ของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ระดับความลึกที่ 0-30 เมตร มีค่าเท่ากับ -0.77 แต่ก็ยังอยู่ในค่าที่ถือได้ว่าการแจกแจงแบบปกติ



ภาพที่ 21 กราฟฮิสโตแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม จากข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่างจุด 80 x 80 เมตร (ก) ที่ระดับความลึก 0-7.5 เมตร (ข) ที่ระดับความลึก 0-15 เมตร (ค) ที่ระดับความลึก 0-30 เมตร

5.1.4 ลักษณะการแจกแจงของชุดข้อมูลที่มีระยะห่าง 1000 x 1000 เมตร

จากกราฟฮิสโตแกรม ของข้อมูลชุด 1000 x 1000 เมตร ทั้ง 3 ระดับความลึก ดังแสดงในภาพที่ 22 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลทั้ง 3 ระดับความลึก มีความโน้มเอียงไปทางบวกเล็กน้อย นอกจากนี้ค่าความเบ้ที่แสดงในตาราง 5 มีค่า 0.98 , 0.66 และ 0.67 ที่ระดับความลึก 0-7.5 ,0-15 และ 0-30 เมตร ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีความโน้มเอียงไปทางบวก แต่อย่างไรก็ดีค่าที่ได้ยังถือได้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ



ภาพที่ 22 กราฟฮิสโตแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม จากข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่างจุด 1,000 x 1000 เมตร (ก) ระดับความลึก 0-7.5 เมตร (ข) ระดับความลึก 0-15 เมตร (ค) ระดับความลึก 0-30 เมตร

5.2 แวร์โอแกรมและค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ที่สามารถแสดงออกมาในรูปของแวร์โอแกรม ซึ่งก็คือ เส้นกราฟเซมิวาเรียนซ์ที่เป็นฟังก์ชันของค่าเซมิวาเรียนซ์กับระยะทาง โดยแกนแนวดิ่งคือค่าเซมิวาเรียนซ์ ขณะที่ในแนวระนาบคือค่าระยะทาง สำหรับโปรแกรมที่ใช้ในการสร้างแวร์โอแกรมได้แก่ โปรแกรม VARIOWIN การสร้างแวร์โอแกรมจะดำเนินการในโปรแกรมย่อย Vario2DP จำเป็นต้องทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆเพื่อใช้ในการคำนวณสร้างแวร์โอแกรม อันได้แก่ ค่ามุมทิศทาง (Direction) ค่าระยะห่างระหว่างข้อมูล (Lag spacing) ค่าจำนวนจุด (Number of lags) และค่ามุมเบี่ยงเบน (Angular tolerance) รูปร่างของแวร์โอแกรมจะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าพารามิเตอร์ที่ได้รับ และเนื่องจากลักษณะการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่อาจมีผลในทิศทางต่างๆแตกต่างกันออกไป ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงทำการศึกษาแวร์โอแกรมทั้งในแบบรวมทิศ (Omnidirection) และแบบแยกทิศ โดยในแบบแยกทิศจะแยกออกเป็น 4 ทิศทาง ได้แก่ เหนือ-ใต้ ตะวันออก-ตะวันตก ตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ และตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้

5.2.1 แวร์โอแกรมและค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของข้อมูลค่าน้ำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80x80 เมตร

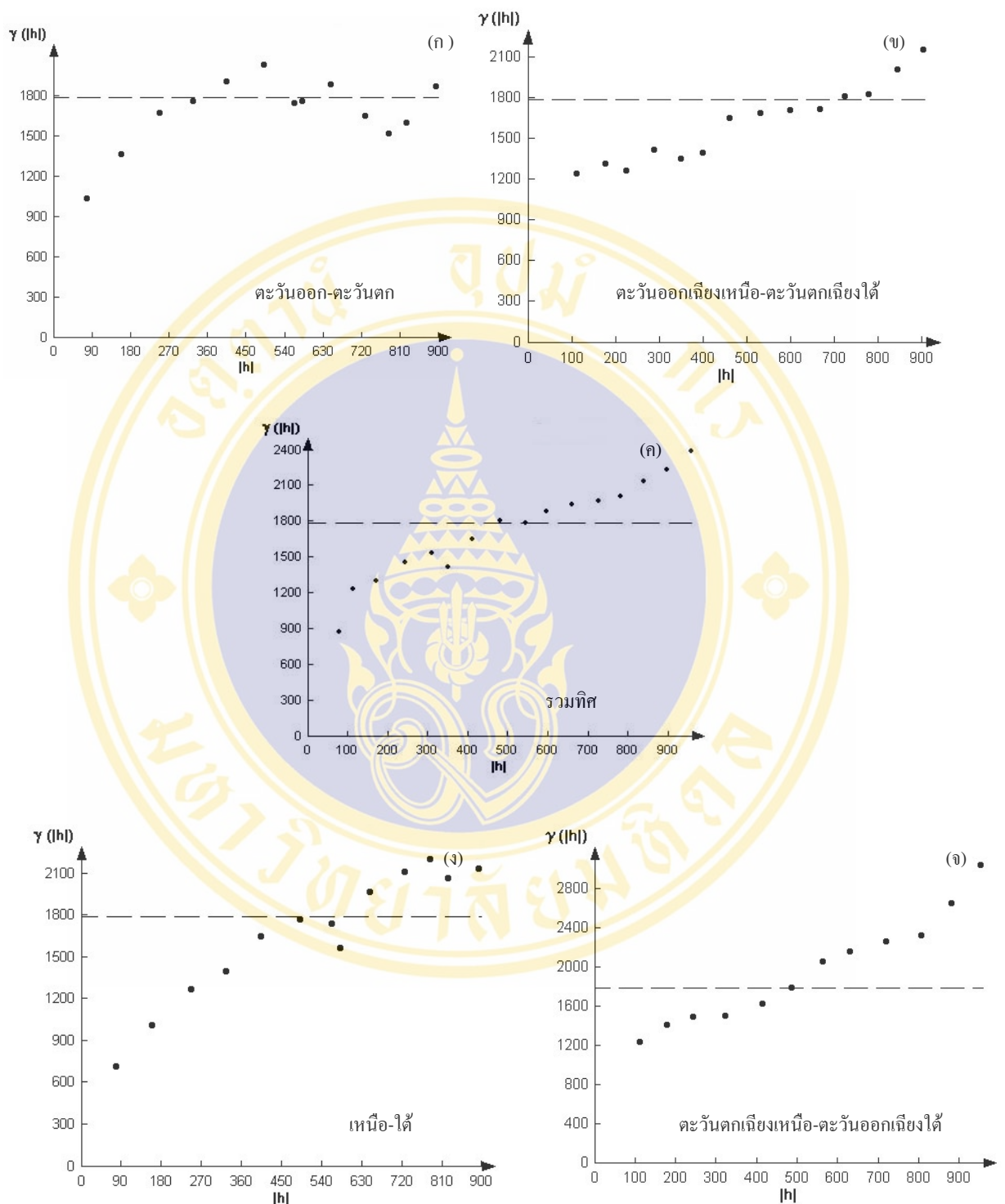
ข้อมูลของค่าน้ำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80x80 เมตร มีทั้งสิ้น 169 จุด ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาทั้งหมดรวมเป็นเนื้อที่ 0.96 ตารางกิโลเมตร โดยข้อมูลแบ่งออกเป็น 3 ระดับความลึก ได้แก่ 0-7.5 เมตร ,0-15 เมตร และ 0-30 เมตร ตามลำดับ การสร้างแวร์โอแกรมจะดำเนินการแยกกันตามแต่ละระดับความลึก

5.2.1.1 แวร์โอแกรมและค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของข้อมูลค่าน้ำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80x80 เมตรในระดับความลึก 0-7.5 เมตร

ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการสร้างแวร์โอแกรมทั้งในแบบรวมทิศและแยกทิศ ของข้อมูลค่าน้ำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80x80 เมตรในระดับความลึก 0-7.5 เมตร อันได้แก่ ค่าระยะห่างระหว่างข้อมูล ค่าจำนวนจุด และค่ามุมเบี่ยงเบน แสดงอยู่ในตารางที่ 6 ลักษณะของแวร์โอแกรมที่ได้จากค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวทั้งในแบบรวมทิศและแยกทิศในทั้ง 4 ทิศทางแสดงอยู่ในภาพที่ 23

ตารางที่ 6 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการสร้างเวรีโอแกรมของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร

ทิศทางของเวรีโอแกรม	ค่ามุม ทิศทาง (องศา)	ระยะห่างระหว่าง ข้อมูล (เมตร)	จำนวนจุด (จุด)	ค่ามุม เบี่ยงเบน (องศา)
รวมทิศ	0	60	15	90
ตะวันออก-ตะวันตก	0	60	15	20
ตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้	45	60	15	20
เหนือ-ใต้	90	60	15	20
ตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้	135	60	15	20



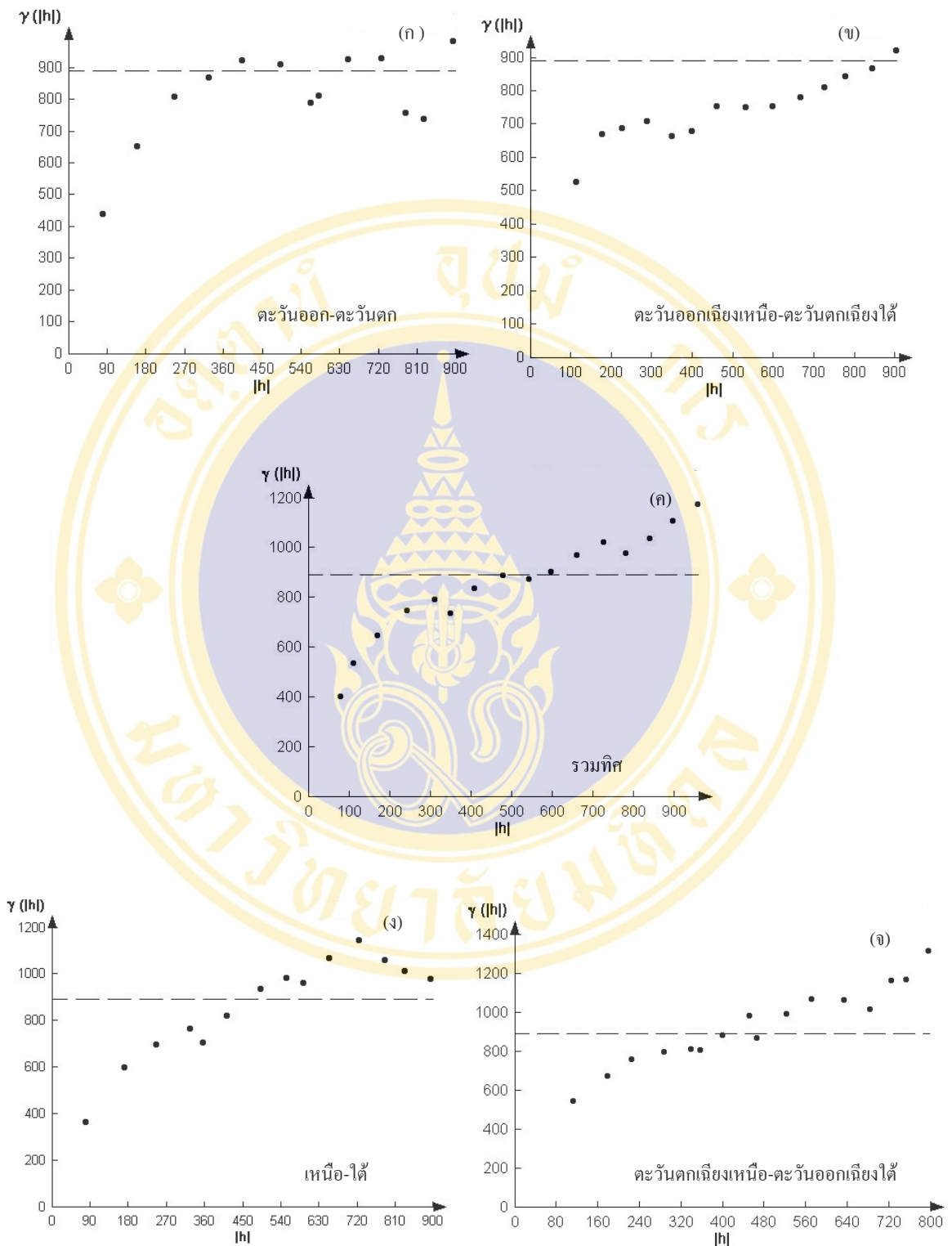
ภาพที่ 23 แวนิโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 80x80 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร (ก) ทิศตะวันออก-ตะวันตก (ข) ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (ค) รวมทิศ (ง) ทิศเหนือ-ใต้ (ฉ) ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้

5.2.1.2 แวร์โอแกรมและค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80x80 เมตรในระดับความลึก 0-15 เมตร

ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการสร้างแวร์โอแกรมทั้งในแบบรวมทิสและแยกทิส ของข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80x80 เมตรในระดับความลึก 0-15 เมตร อันได้แก่ ค่าระยะห่างระหว่างข้อมูล ค่าจำนวนจุด และค่ามุมเบี่ยงเบน แสดงอยู่ในตารางที่ 7 ลักษณะของแวร์โอแกรมที่ได้จากค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวทั้งในแบบรวมทิสและแยกทิสแสดงอยู่ในภาพที่ 24

ตารางที่ 7 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการสร้างแวร์โอแกรมของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร

ทิสทางของแวร์โอแกรม	ค่ามุม ทิสทาง (องศา)	ระยะห่างระหว่าง ข้อมูล (เมตร)	จำนวนจุด (จุด)	ค่ามุม เบี่ยงเบน (องศา)
รวมทิส	0	60	15	90
ตะวันออก-ตะวันตก	0	60	15	20
ตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้	45	60	15	20
เหนือ-ใต้	90	60	15	20
ตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้	135	45	18	30



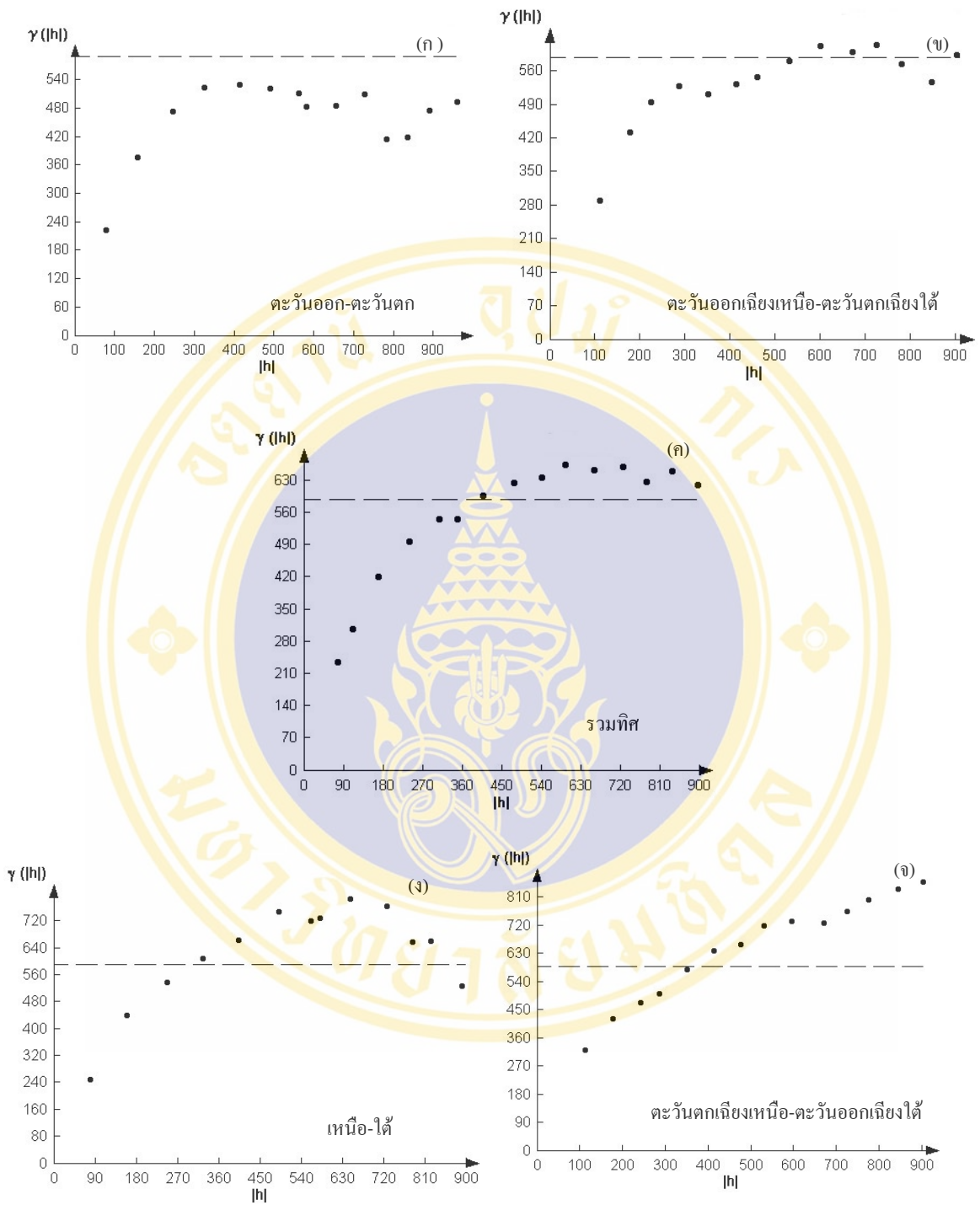
ภาพที่ 24 แวร์โอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 80x80 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร (ก) ทิศตะวันออก-ตะวันตก (ข) ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (ค) รวมทิศ (ง) ทิศเหนือ-ใต้ (จ) ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้

5.2.1.3 แวร์โอแกรมและค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80x80 เมตรในระดับความลึก 0-30 เมตร

ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการสร้างแวร์โอแกรมทั้งในแบบรวมทิสและแยกทิส ของข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-30 เมตร อันได้แก่ ค่าระยะห่างระหว่างข้อมูล ค่าจำนวนจุด และค่ามุมเบี่ยงเบน แสดงอยู่ในตารางที่ 8 ลักษณะของแวร์โอแกรมทั้งในแบบรวมทิสและแยกทิสที่ได้จากพารามิเตอร์ดังกล่าวแสดงอยู่ในภาพที่ 25

ตารางที่ 8 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการสร้างแวร์โอแกรมของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-30 เมตร

ทิศทางของแวร์โอแกรม	ค่ามุม ทิศทาง (องศา)	ระยะห่างระหว่าง ข้อมูล (เมตร)	จำนวนจุด (จุด)	ค่ามุม เบี่ยงเบน (องศา)
รวมทิส	0	45	20	90
ตะวันออก-ตะวันตก	0	60	15	20
ตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้	45	60	15	20
เหนือ-ใต้	90	60	15	20
ตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้	135	60	15	20



ภาพที่ 25 เวกซ์ไอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 80x80 เมตร ในระดับความลึก 0-30เมตร (ก) ทิศตะวันออก-ตะวันตก (ข) ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (ค) รวมทิศ (ง) ทิศเหนือ-ใต้ (จ) ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้

5.2.2 แวร์โอแกรมและค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1000x1000 เมตร

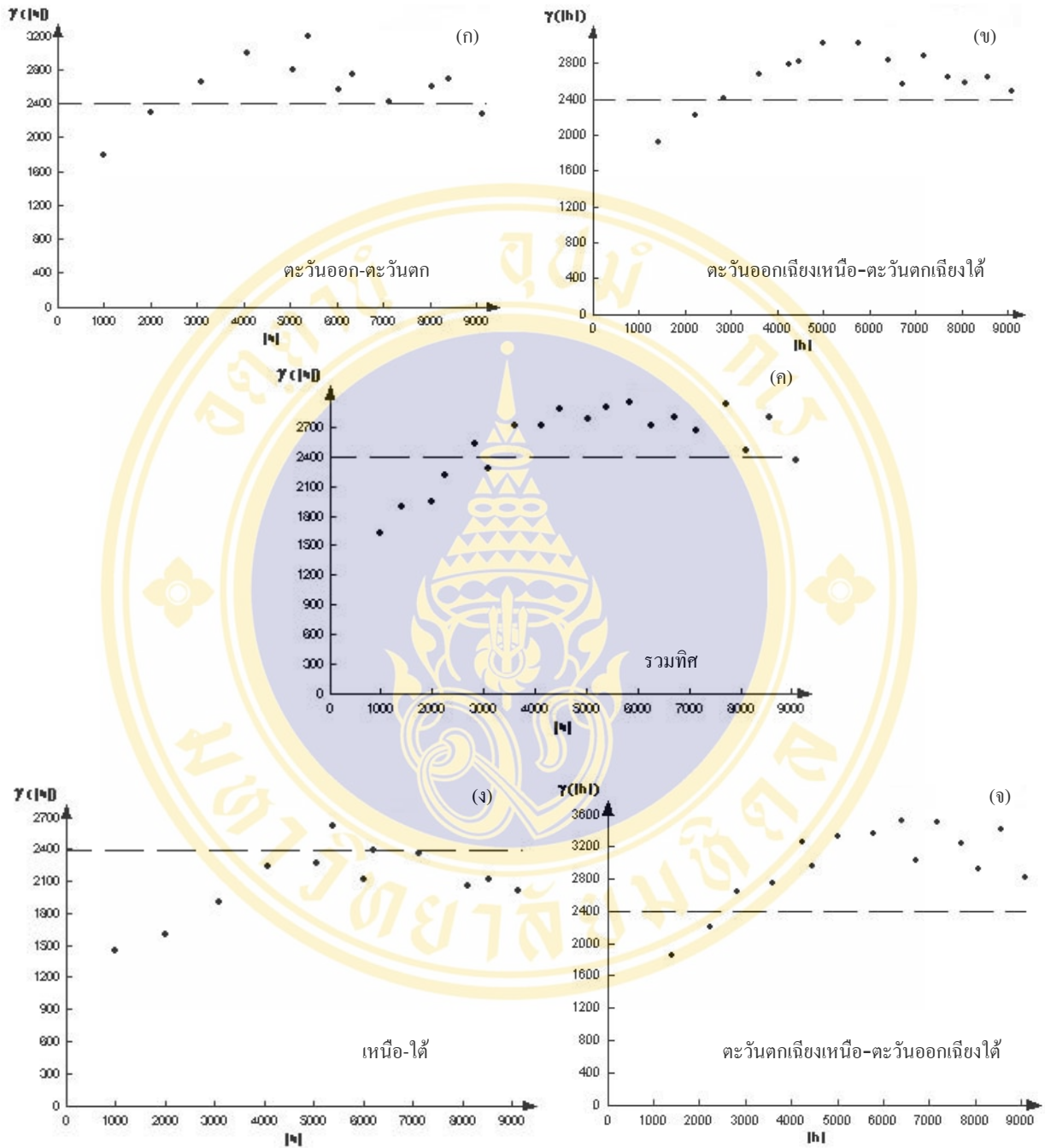
ข้อมูลของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1000x1000 เมตร มีทั้งสิ้น 194 ชุด ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาทั้งหมดรวมเป็นเนื้อที่ 195 ตารางกิโลเมตร โดยข้อมูล แบ่งออกเป็น 3 ระดับความลึก ได้แก่ 0-7.5, 0-15 และ 0-30 เมตร ตามลำดับ การสร้างแวร์โอแกรม จะดำเนินการแยกกันตามแต่ละระดับความลึก

5.2.2.1 แวร์โอแกรมและค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1000x1000 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร

ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการสร้างแวร์โอแกรมทั้งในแบบรวมทิศและแยกทิศ ของข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1000 x 1000 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร อันได้แก่ ค่าระยะห่างระหว่างข้อมูล ค่าจำนวนจุด และค่ามุมเบี่ยงเบน แสดงอยู่ในตารางที่ 9 และลักษณะของแวร์โอแกรมที่ได้จากค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวทั้งในแบบรวมทิศและแยกทิศแสดงอยู่ในภาพที่ 26

ตารางที่ 9 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการสร้างแวร์โอแกรมของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1000 x 1000 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร

ทิศทางของแวร์โอแกรม	ค่ามุม ทิศทาง (องศา)	ระยะห่างระหว่าง ข้อมูล (เมตร)	จำนวนจุด (จุด)	ค่ามุม เบี่ยงเบน (องศา)
รวมทิศ	0	450	20	90
ตะวันออก-ตะวันตก	0	450	20	20
ตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้	45	400	20	20
เหนือ-ใต้	90	400	20	20
ตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้	135	450	20	20



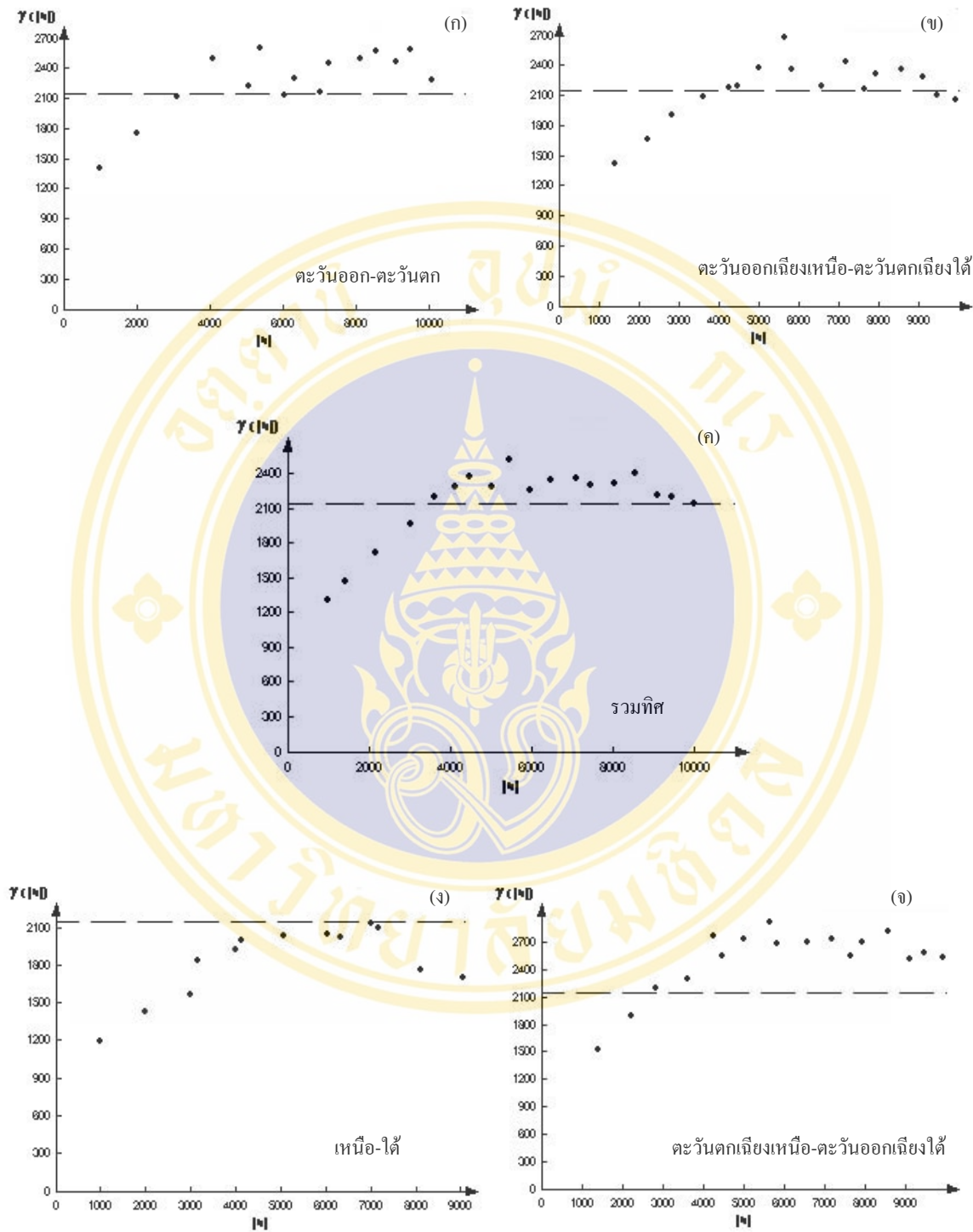
ภาพที่ 26 แวลูโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร (ก) ทิศตะวันออก-ตะวันตก (ข) ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (ค) รวมทิศ (ง) ทิศเหนือ-ใต้ (จ) ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้

5.2.2.2 แวร์โอแกรมและค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1000x1000 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร

ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการสร้างแวร์โอแกรมทั้งในแบบรวมทิสและแยกทิส ของข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1000 x 1000 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร อันได้แก่ ค่าระยะห่างระหว่างข้อมูล ค่าจำนวนจุดและค่ามุมเบี่ยงเบน แสดงอยู่ในตารางที่ 10 และลักษณะแวร์โอแกรมที่ได้จากค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวทั้งในแบบรวมทิสและแยกทิสแสดงอยู่ในภาพที่ 27

ตารางที่ 10 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการสร้างแวร์โอแกรมของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1000 x 1000 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร

ทิศทางของแวร์โอแกรม	ค่ามุม ทิศทาง (องศา)	ระยะห่างระหว่าง ข้อมูล (เมตร)	จำนวนจุด (จุด)	ค่ามุม เบี่ยงเบน (องศา)
รวมทิส	0	500	20	90
ตะวันออก-ตะวันตก	0	500	20	20
ตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้	45	500	20	20
เหนือ-ใต้	90	550	18	20
ตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้	135	500	20	20



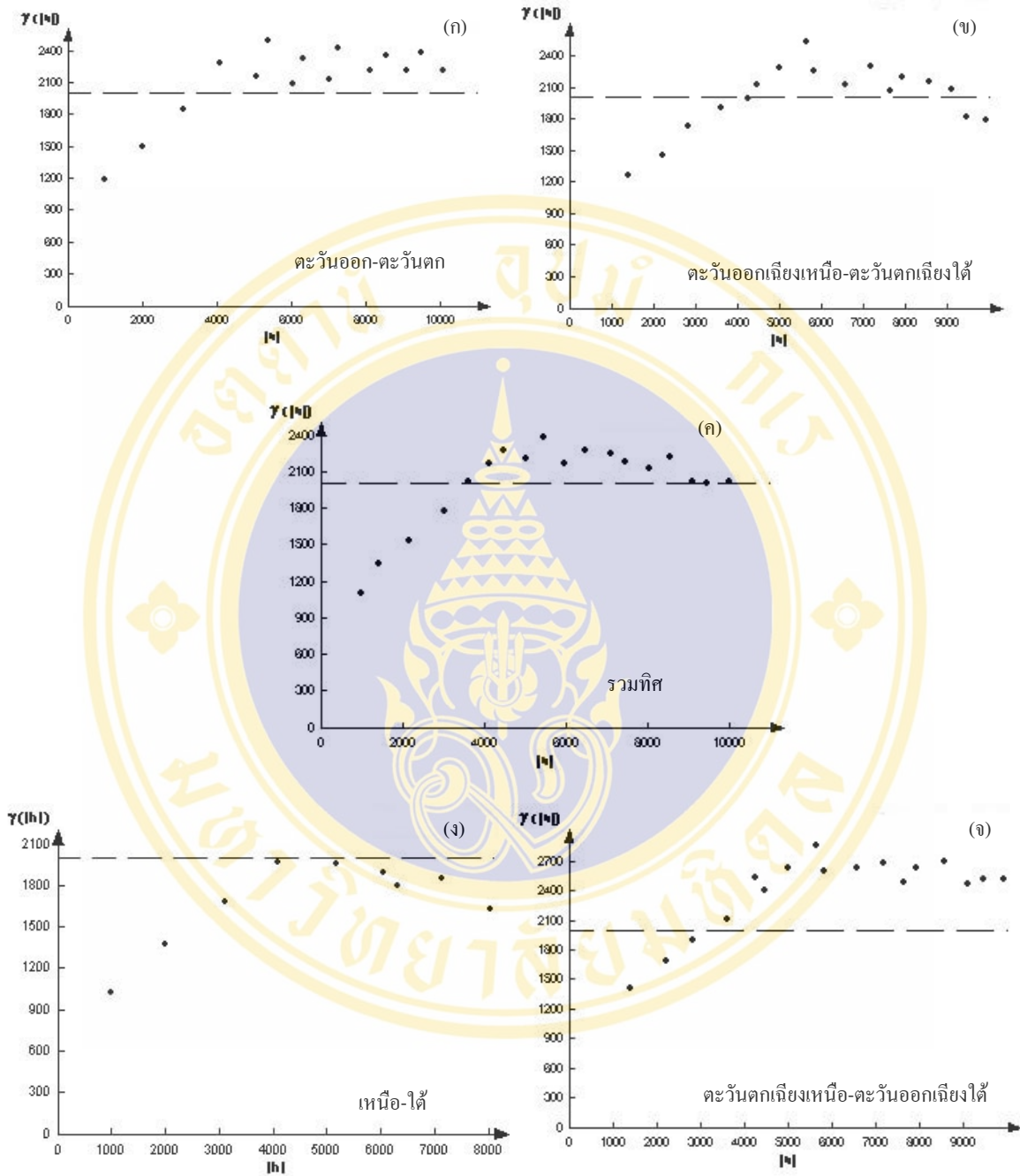
ภาพที่ 27 แวริโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร (ก) ติสตะวันออก-ตะวันตก (ข) ติสตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (ค) รวมทิส (ง) ติสหนือ-ใต้ (จ) ติสตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้

5.2.2.3 แวร์โอแกรมและค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1000x1000 เมตร ในระดับความลึก 0-30 เมตร

ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการสร้างแวร์โอแกรมทั้งในแบบรวมทิสและแยกทิสของข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1000 x 1000 เมตร ในระดับความลึก 0-30 เมตร อันได้แก่ ค่าระยะห่างระหว่างข้อมูล ค่าจำนวนจุด และค่ามุมเบี่ยงเบน แสดงอยู่ในตาราง ที่ 11 และลักษณะแวร์โอแกรมที่ได้จากค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวทั้งในแบบรวมทิสและแยกทิสแสดงอยู่ในภาพที่ 28

ตารางที่ 11 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการสร้างแวร์โอแกรมของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1000 x 1000 เมตร ในระดับความลึก 0-30 เมตร

ทิศทางของแวร์โอแกรม	ค่ามุม ทิศทาง (องศา)	ระยะห่างระหว่าง ข้อมูล (เมตร)	จำนวนจุด (จุด)	ค่ามุม เบี่ยงเบน (องศา)
รวมทิส	0	500	20	90
ตะวันออก-ตะวันตก	0	500	20	20
ตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้	45	500	20	20
เหนือ-ใต้	90	500	15	20
ตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้	135	500	20	20



ภาพที่ 28 แวริโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-30เมตร (ก) ทิศตะวันออก-ตะวันตก (ข) ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (ค) รวมทิศ (ง) ทิศเหนือ-ใต้ (จ) ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้

5.3 ผลการวิเคราะห์แวลูไอแกรมและแบบจำลองแวลูไอแกรม

แวลูไอแกรมที่ได้จากหัวข้อ 5.2 จะต้องนำมาหาแบบจำลองแวลูไอแกรม เพื่อใช้ในการประมาณค่าข้อมูลในจุดที่ไม่ทราบค่าด้วยวิธีคริกกิง ทั้งนี้เนื่องจากการประมาณค่าแบบคริกกิงจำเป็นต้องอาศัยแวลูไอแกรมมาใช้ในการคำนวณ แต่แวลูไอแกรมนั้นมีค่าเพียงบางระยะทางเท่านั้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องสร้างแบบจำลองแวลูไอแกรมเพื่อให้ครอบคลุมค่าเคมีวาเรียนซ์ในทุกระยะทาง เมื่อแทนค่าระยะทางลงไปแบบจำลองแวลูไอแกรมซึ่งก็คือสมการของแวลูไอแกรมนั้นๆ ก็จะสามารถคำนวณค่าเคมีวาเรียนซ์ที่ระยะต่างๆได้ การสร้างแบบจำลองแวลูไอแกรมที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ดำเนินการด้วยโปรแกรม VARIOWIN โปรแกรมย่อย Model ผลการวิเคราะห์แวลูไอแกรมและแบบจำลองแวลูไอแกรมของค่า นำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม จากข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 และ 1,000 x 1,000 เมตร ทั้ง 3 ระดับความลึกมีดังต่อไปนี้

5.3.1 แบบจำลองแวลูไอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม จากข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 เมตร

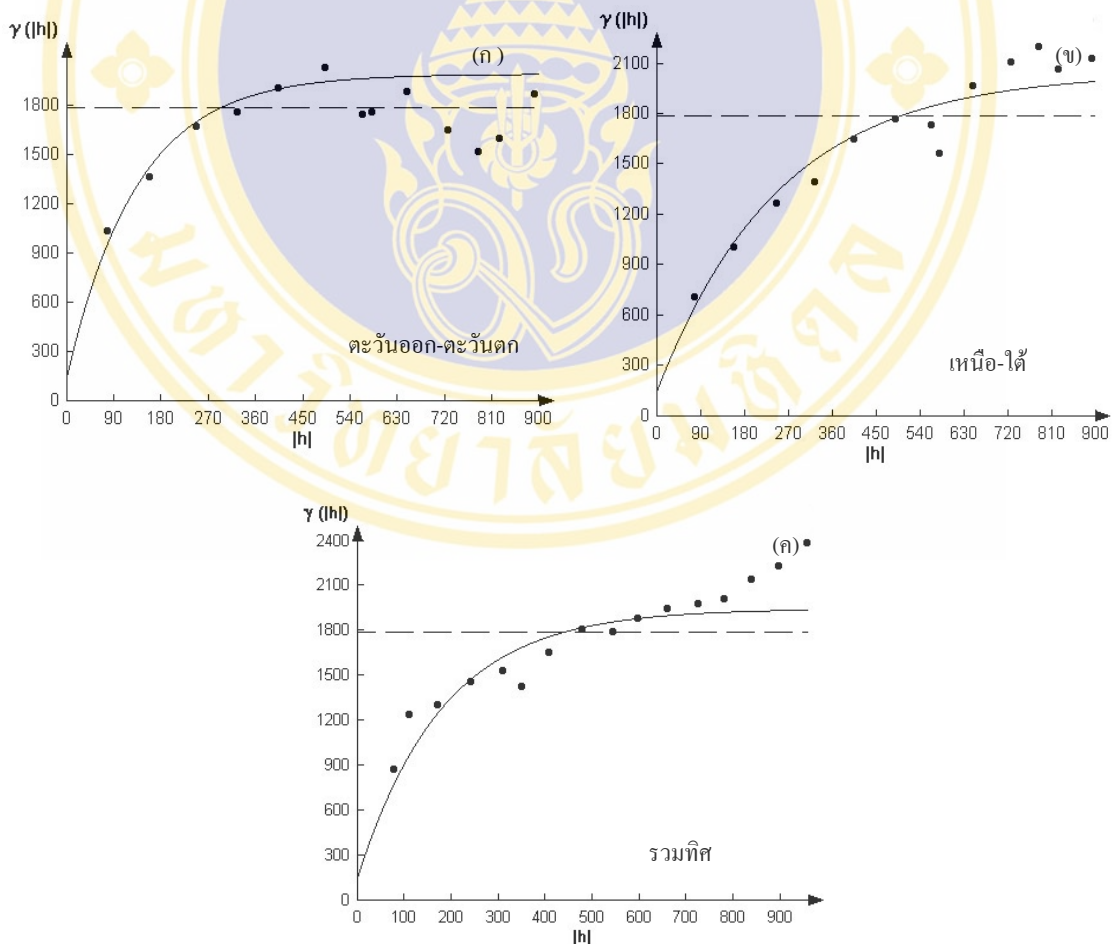
5.3.1.1 แบบจำลองแวลูไอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม จากข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 เมตร ที่ระดับความลึก 0-7.5 เมตร

ข้อมูลแบบจำลองแวลูไอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร ทั้งในแบบรวมทิสและแยกทิส ได้สรุปอยู่ในตารางที่ 12 และปรากฏอยู่ในภาพที่ 29

ตารางที่ 12 ข้อมูลแบบจำลองแวลูไอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร

ทิศทางของแวลูไอแกรม	ชนิดของแบบจำลอง	ค่าความแปรปรวนนักเกิด	ค่าความแปรปรวนคงที่	ค่าระยะอิทธิพล (เมตร)
รวมทิส	เอ็กซ์โพเนนเชียล	150	2,050	550
ตะวันออก-ตะวันตก	เอ็กซ์โพเนนเชียล	150	2,050	450
เหนือ-ใต้	เอ็กซ์โพเนนเชียล	150	2,050	750

จากตารางที่ 12 สรุปลักษณะแบบจำลองเวรีโอแกรมทั้งในแบบรวมทิสและแยกทิสที่เข้าได้ดีกับข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร พบว่าที่จุดเริ่มต้นเส้นกราฟเซมิวาเรียนซ์ตัดแกนแนวตั้งที่ค่าประมาณ 150 แสดงให้เห็นถึงความแปรปรวนนัยเกิด จากนั้นค่าเซมิวาเรียนซ์ค่อยๆเพิ่มขึ้นเป็นลักษณะเส้นโค้ง ซึ่งเข้าได้ดีกับแบบจำลองเอ็กซ์โพเนนเชียล โดยมีค่าความแปรปรวนคงที่ เท่ากับ 2,050 ทั้งในแบบรวมทิส ทิสตะวันออก-ตะวันตก และ ทิสเหนือ-ใต้ ขณะที่ค่าระยะอิทธิพลที่ได้จากแบบจำลองเวรีโอแกรมมีความแตกต่างกันในทิสต่างๆ ในทิสเหนือ-ใต้ เป็นทิสที่มีค่าระยะอิทธิพลมากที่สุดเท่ากับ 750 เมตร มีค่าน้อยที่สุดทิสตะวันออก-ตะวันตกเท่ากับ 400 เมตร ลักษณะที่ปรากฏให้เห็นถึงความแตกต่างของระยะอิทธิพลที่มีต่อทิสทางต่างๆแตกต่างกันออกไปนี้ สามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองเวรีโอแกรมของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บ 80x80 เมตรในระดับความลึก 0-7.5 เมตร มีลักษณะของ Geometry anisotropy



ภาพที่ 29 แบบจำลองเวรีโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 80x80 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร (ก) ทิสตะวันออก-ตะวันตก (ข) ทิสเหนือ-ใต้ (ค) รวมทิส

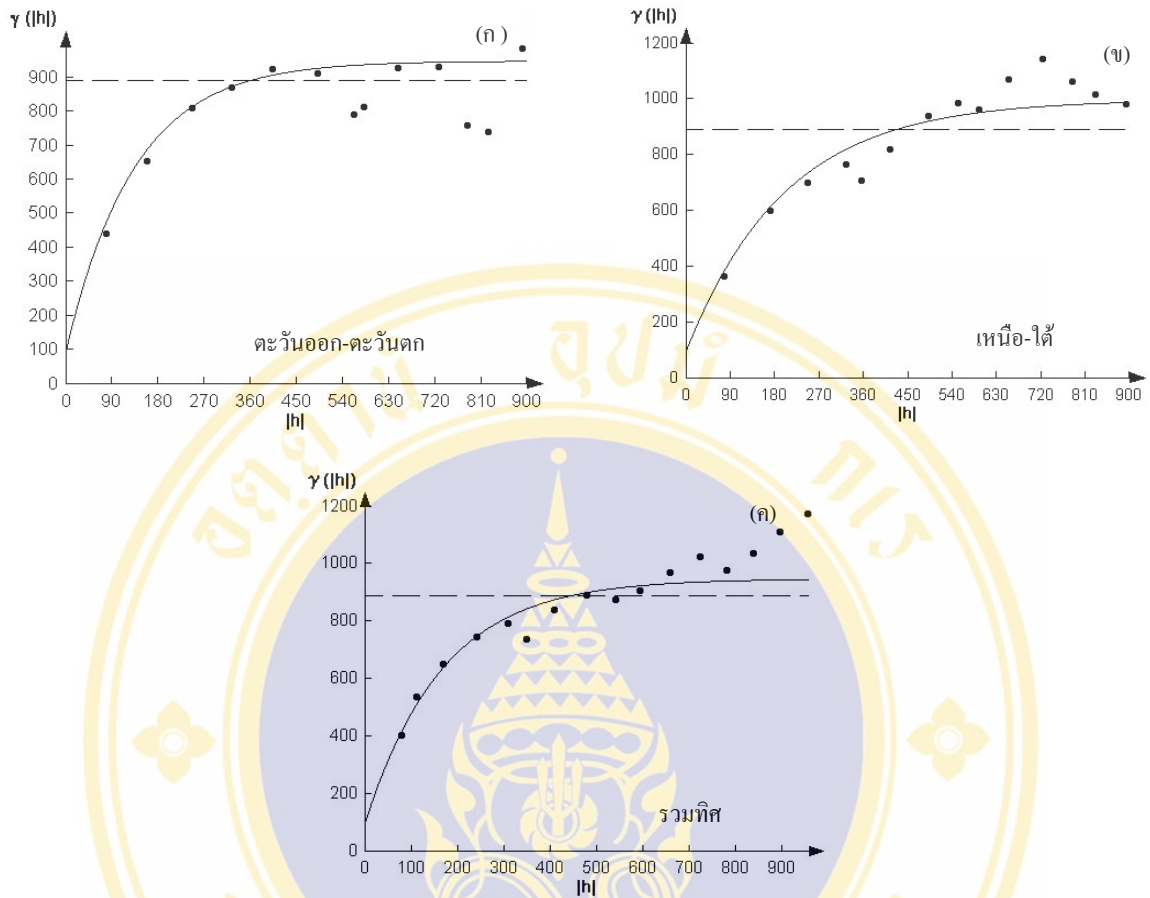
5.3.1.2 แบบจำลองแวนไอแกรมของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม จากข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 เมตร ที่ระดับความลึก 0-15 เมตร

ข้อมูลแบบจำลองแวนไอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร ทั้งในแบบรวมทิศและแยกทิศ ได้สรุปอยู่ในตารางที่ 13 และปรากฏอยู่ในภาพที่ 30

ตารางที่ 13 ข้อมูลแบบจำลองแวนไอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร

ทิศทางของแวนไอแกรม	ชนิดของแบบจำลอง	ค่าความแปรปรวนนักเกิด	ค่าความแปรปรวนคงที่	ค่าระยะอิทธิพล (เมตร)
รวมทิศ	เอ็กซ์โพเนนเชียล	100	950	500
ตะวันออก-ตะวันตก	เอ็กซ์โพเนนเชียล	100	950	400
เหนือ-ใต้	เอ็กซ์โพเนนเชียล	100	950	600

จากตารางที่ 13 สรุปลักษณะแบบจำลองแวนไอแกรมแบบรวมทิศและแยกทิศทางของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร พบว่าที่จุดเริ่มต้นของแวนไอแกรมเส้นกราฟเซมิวาเรียนซ์ตัดแกนแนวตั้งที่ค่าประมาณ 100 แสดงให้เห็นถึงค่าความแปรปรวนนักเกิด จากนั้นค่าเซมิวาเรียนซ์ค่อยๆเพิ่มขึ้นเป็นลักษณะเส้นโค้ง ซึ่งเข้าได้ดีกับแบบจำลองเอ็กซ์โพเนนเชียล มีค่าความแปรปรวนคงที่เท่ากับ 950 ขณะที่ค่าระยะอิทธิพลนั้นมีความแตกต่างกันไปในแต่ละทิศทาง พบว่ามีค่ามากที่สุด ในทิศเหนือ-ใต้ เท่ากับ 600 เมตร และในทิศตะวันออก-ตะวันตก มีค่าเท่ากับ 400 เมตร ความแตกต่างกันของค่าระยะอิทธิพลที่ปรากฏอยู่ในแบบจำลองแวนไอแกรม แสดงให้เห็นว่าค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บ 80x80 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร มีลักษณะการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอแตกต่างกันไปในแต่ละทิศทาง โดยเป็นการรวมกันของลักษณะ Geometry anisotropy



ภาพที่ 30 แบบจำลองเวรีโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 80 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร (ก) ทิศตะวันออก-ตะวันตก (ข) ทิศเหนือ-ใต้ (ค) รวมทิศ

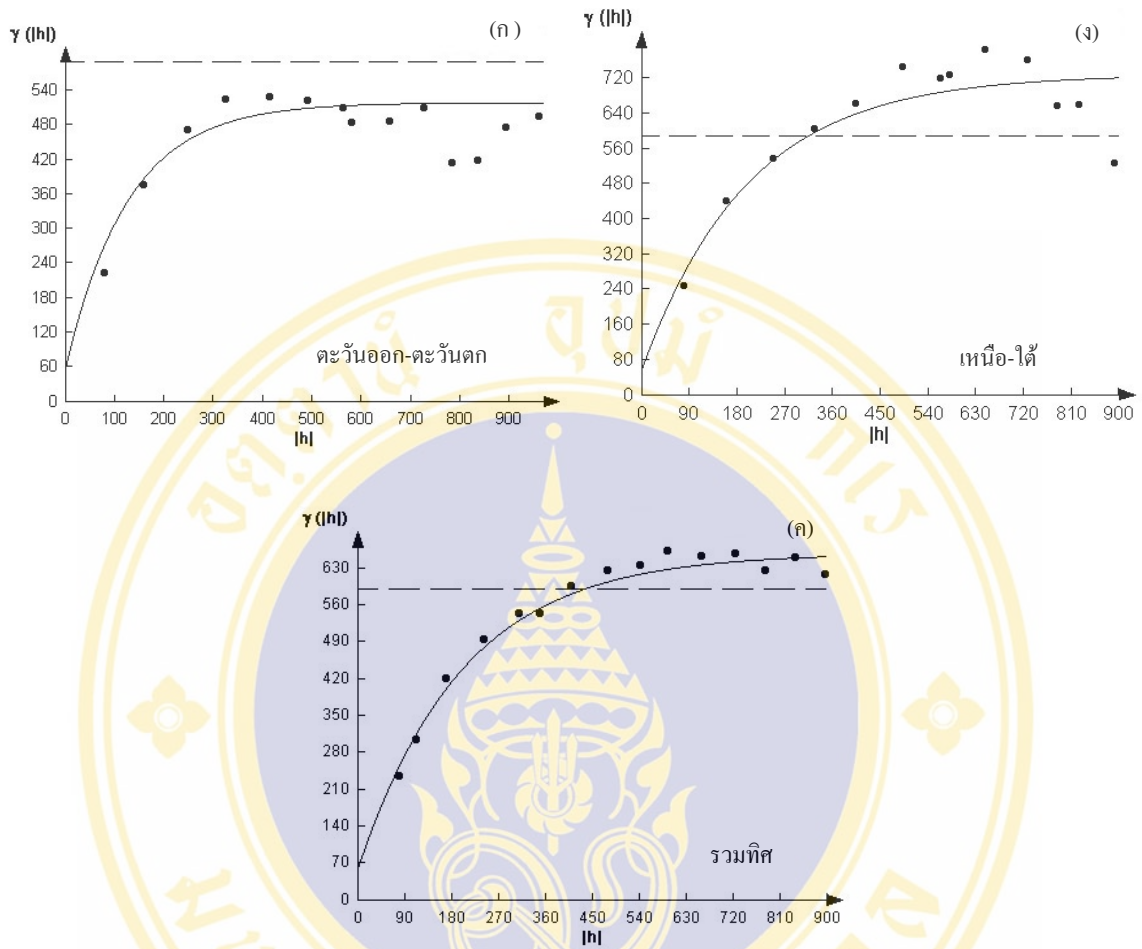
5.3.1.3 แบบจำลองเวรีโอแกรมของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม จากข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 เมตร ที่ระดับความลึก 0-30 เมตร

ข้อมูลแบบจำลองเวรีโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร ทั้งในแบบรวมทิศและแยกทิศ ได้สรุปอยู่ในตารางที่ 14 และปรากฏอยู่ในภาพที่ 31

ตารางที่ 14 ข้อมูลแบบจำลองเวรีโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-30 เมตร

ทิศทางของเวรีโอแกรม	ชนิดของแบบจำลอง	ค่าความแปรปรวนนักเก็ต	ค่าความแปรปรวนคงที่	ค่าระยะอิทธิพล (เมตร)
รวมทิศ	เอ็กซ์โพเนนเชียล	60	660	600
ตะวันออก-ตะวันตก	เอ็กซ์โพเนนเชียล	60	520	400
เหนือ-ใต้	เอ็กซ์โพเนนเชียล	60	730	600

ตารางที่ 14 สรุปแบบจำลองเวรีโอแกรมรวมทิศและแยกทิศ ของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามที่ระดับความลึก 0-30 เมตร โดยที่จุดเริ่มต้นเส้นกราฟเซมิวาเรียนซ์ตัดแกนแนวตั้งที่ 60 แสดงให้เห็นว่าเวรีโอแกรมมีค่าความแปรปรวนนักเก็ต จากนั้นค่าเซมิวาเรียนซ์ค่อยๆเพิ่มขึ้นเป็นเส้นโค้งโดยลักษณะของเวรีโอแกรมเข้าได้กับแบบจำลองเอ็กซ์โพเนนเชียล ค่าความแปรปรวนคงที่ที่มีความแตกต่างกันไปในทิศเหนือ-ใต้ มีค่าเท่ากับ 730 ขณะที่ในทิศตะวันออก-ตะวันตก เท่ากับ 520 เช่นเดียวกันค่าระยะอิทธิพลก็มีค่าแตกต่างกัน โดยในทิศตะวันออก-ตะวันตกมีค่าเท่ากับ 400 เมตร ในทิศเหนือ-ใต้มีระยะเท่ากับ 600 เมตร ความแตกต่างกันของทั้งค่าความแปรปรวนคงที่และค่าระยะอิทธิพลที่ปรากฏอยู่ในแบบจำลองเวรีโอแกรม แสดงให้เห็นว่าค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บ 80x80 เมตร ในระดับความลึก 0-30 เมตร มีลักษณะการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอแตกต่างกันไปในแต่ละทิศทาง โดยเป็นการรวมกันของลักษณะ Geometry anisotropy และ Zonal anisotropy



ภาพที่ 31 แบบจำลองเวรีโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-30 เมตร (ก) ทิศตะวันออก-ตะวันตก (ข) ทิศเหนือ-ใต้ (ค) รวมทิศ

5.3.2 แบบจำลองเวรีโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม จากข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1,000 x 1,000 เมตร

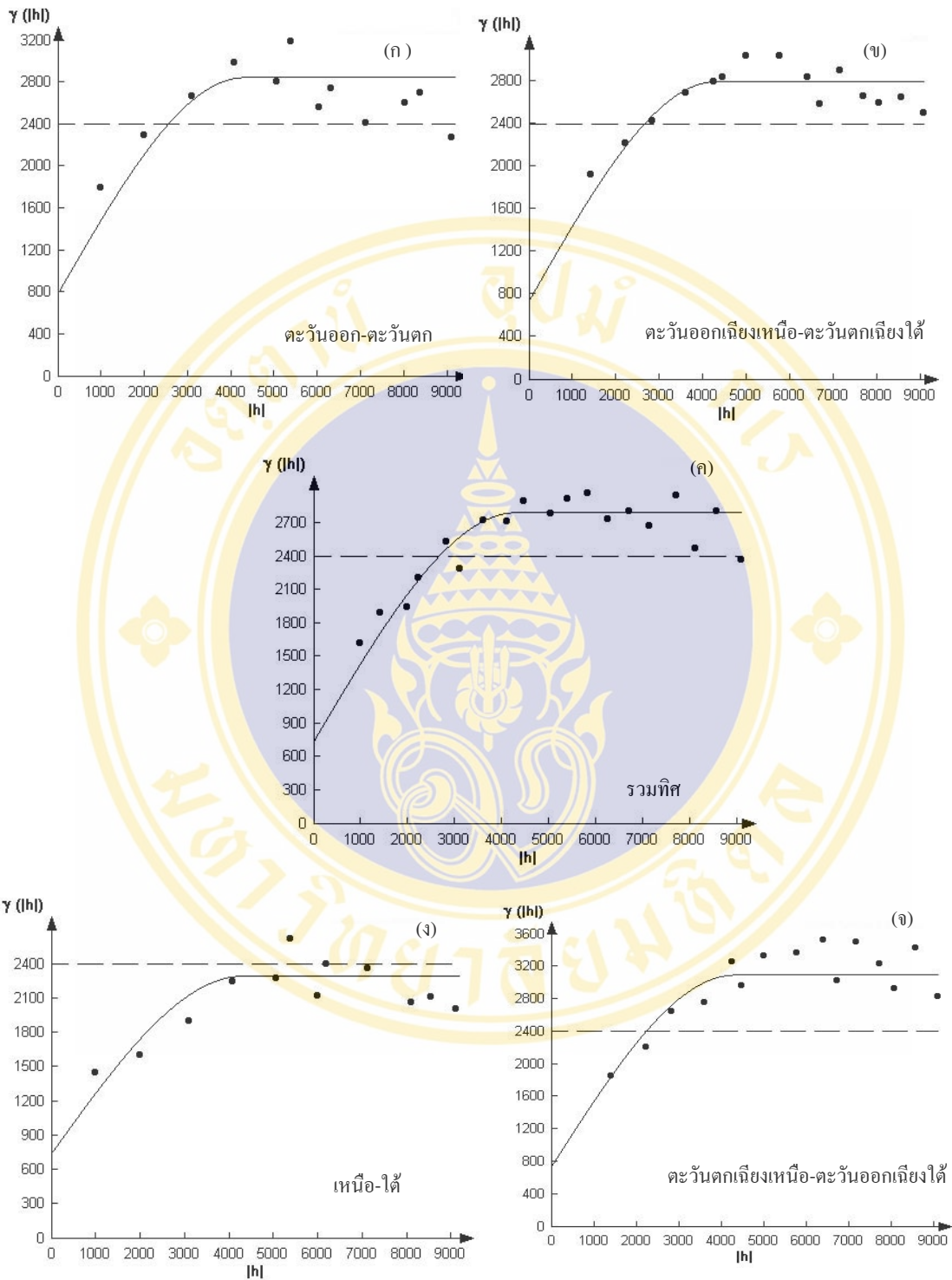
5.3.2.1 แบบจำลองเวรีโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม จากข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร

ข้อมูลของแบบจำลองที่เข้าได้ดีกับเวรีโอแกรมทั้งในแบบรวมทิศและใน 4 ทิศทาง ของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บ 1000 x 1000 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร สรุปอยู่ในตารางที่ 15 ปรากฏอยู่ในภาพที่ 32

ตารางที่ 15 ข้อมูลแบบจำลองแวนไอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร

ทิศทางของแวนไอแกรม	ชนิดของแบบจำลอง	ค่าความแปรปรวนนิกเก็ด	ค่าความแปรปรวนคงที่	ค่าระยะอิทธิพล (เมตร)
รวมทิศ	แบบสเฟียริคัล	750	2,800	4,300
ตะวันออก-ตะวันตก	แบบสเฟียริคัล	750	2,800	4,300
ตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้	แบบสเฟียริคัล	750	2,800	4,300
เหนือ-ใต้	แบบสเฟียริคัล	750	2,400	4,300
ตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้	แบบสเฟียริคัล	750	3,100	4,300

จากตารางที่ 15 พบว่า ข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บ 1000 x 1000 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตรมีการเปลี่ยนแปลงตามทิศทาง โดยแวนไอแกรมทั้งหมดเข้าได้ดีกับแบบจำลองแบบสเฟียริคัล และมีค่าความแปรปรวนนิกเก็ดเท่ากันเท่ากับ 750 ระยะอิทธิพลที่ได้จากแวนไอแกรมมีค่าเท่ากันคือ 4,300 เมตร ค่าความแปรปรวนคงที่ของแวนไอแกรมในแบบรวมทิศ และแยกทิศใน 2 ทิศทางได้แก่ทิศ ตะวันออก-ตะวันตกและ ตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ มีค่าเท่ากับ 2,800 ในทิศ เหนือ-ใต้ แวนไอแกรมที่ได้มีค่าความแปรปรวนคงที่น้อยที่สุด คือ เท่ากับ 2,400 ขณะที่ทางทิศ ตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 3,100 การที่ค่าความแปรปรวนคงที่แตกต่างกันในแต่ละทิศทางนั้นแสดงให้เห็นถึงลักษณะการกระจายตัวแบบ Zonal Anisotropy



ภาพที่ 32 แบบจำลองเวรีโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร (ก) ทิศตะวันออก-ตะวันตก (ข) ทิศ ตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (ค) รวมทิศ (ง) ทิศเหนือ-ใต้ (จ) ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ- ตะวันออกเฉียงใต้

5.3.2.2 แบบจำลองเวรีโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บ 1000 x 1000 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร

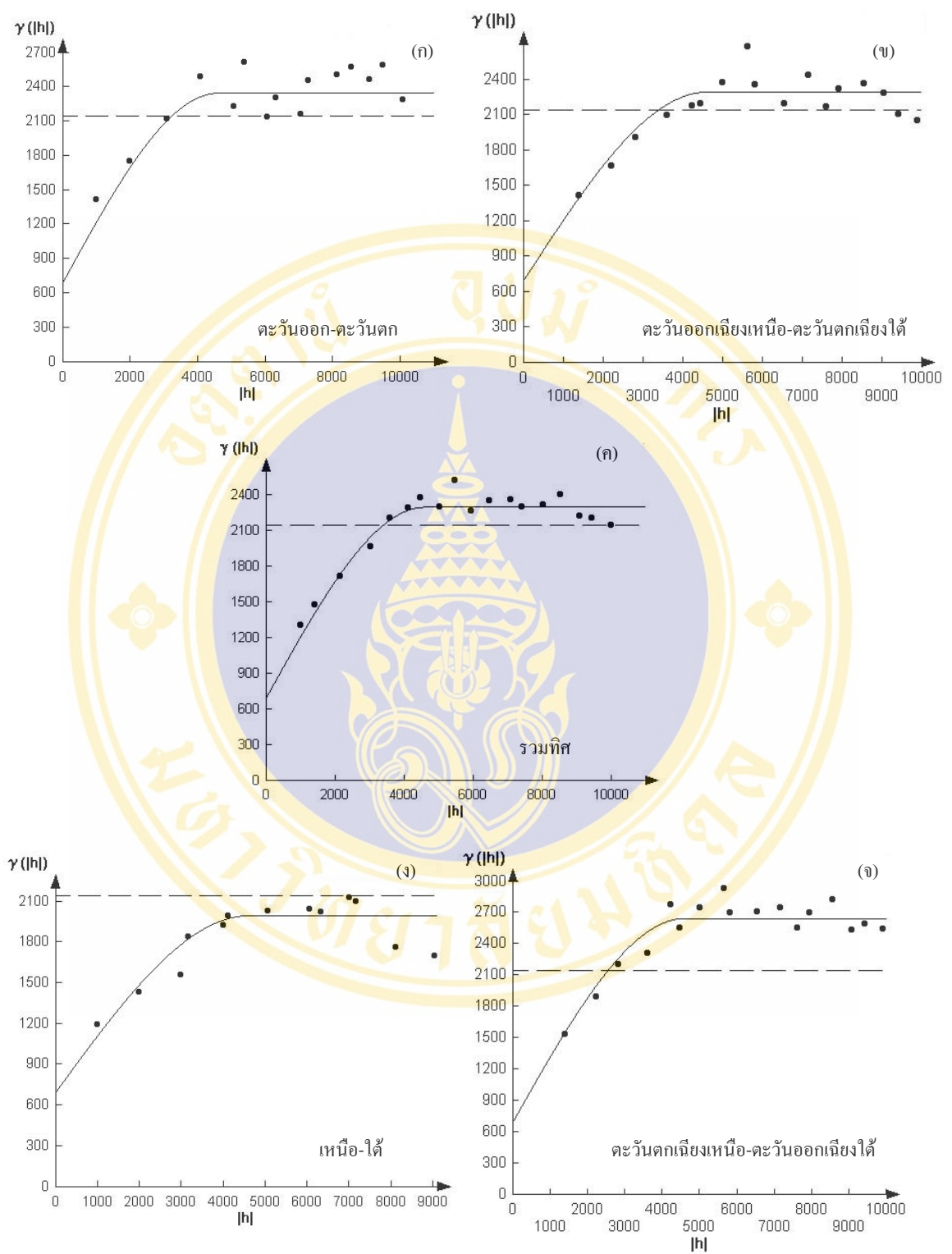
ตารางที่ 16 ได้สรุปข้อมูลของแบบจำลองที่เข้าได้ดีกับเวรีโอแกรมทั้งในแบบรวมทิศและใน 4 ทิศทาง ของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บ 1000 x 1000 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร

ตารางที่ 16 ข้อมูลแบบจำลองเวรีโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร

ทิศทางของเวรีโอแกรม	ชนิดของแบบจำลอง	ค่าความแปรปรวนนักเกิด	ค่าความแปรปรวนคงที่	ค่าระยะอิทธิพล (เมตร)
รวมทิศ	แบบสเฟียริคัล	700	2,300	4,600
ตะวันออก-ตะวันตก	แบบสเฟียริคัล	700	2,300	4,600
ตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้	แบบสเฟียริคัล	700	2,300	4,600
เหนือ-ใต้	แบบสเฟียริคัล	700	2,000	4,600
ตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้	แบบสเฟียริคัล	700	2,650	4,600

จากภาพที่ 33 พบว่า เวรีโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บ 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร ทั้งหมดเข้าได้ดีกับแบบจำลองชนิดสเฟียริคัล โดยมีค่าความแปรปรวนนักเกิดเท่ากับ 700 และค่าระยะอิทธิพลเท่ากันในทุกทิศทางเท่ากับ 4,600 เมตร ค่าความแปรปรวนคงที่ของเวรีโอแกรมในแบบรวมทิศและเวรีโอแกรมในทิศตะวันออก-ตะวันตกรวมทั้งเวรีโอแกรมในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ มีค่าเท่ากันคือ 2,300 ขณะที่เวรีโอแกรมในทิศเหนือ-ใต้ มีค่าความแปรปรวนคงที่น้อยที่สุดคือ 2,000 ส่วนเวรีโอแกรมในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ มีค่าความแปรปรวนคงที่มากที่สุดคือ 2,650

เช่นเดียวกับข้อมูลที่ระดับความลึก 0-7.5 เมตร การที่มีค่าความแปรปรวนคงที่แตกต่างกันนั้น แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวแบบ Zonal Anisotropy โดยข้อมูลจะมีความเปลี่ยนแปลงในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ มากที่สุดซึ่งส่งผลให้ค่าความแปรปรวนคงที่ของข้อมูลในทิศนี้มีค่ามากที่สุด และมีการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ในทิศเหนือ-ใต้น้อยที่สุด



ภาพที่ 33 แบบจำลองเวริโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร (ก) ทิศตะวันออก-ตะวันตก (ข) ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (ค) รวมทิศ (ง) ทิศเหนือ-ใต้ (จ) ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้

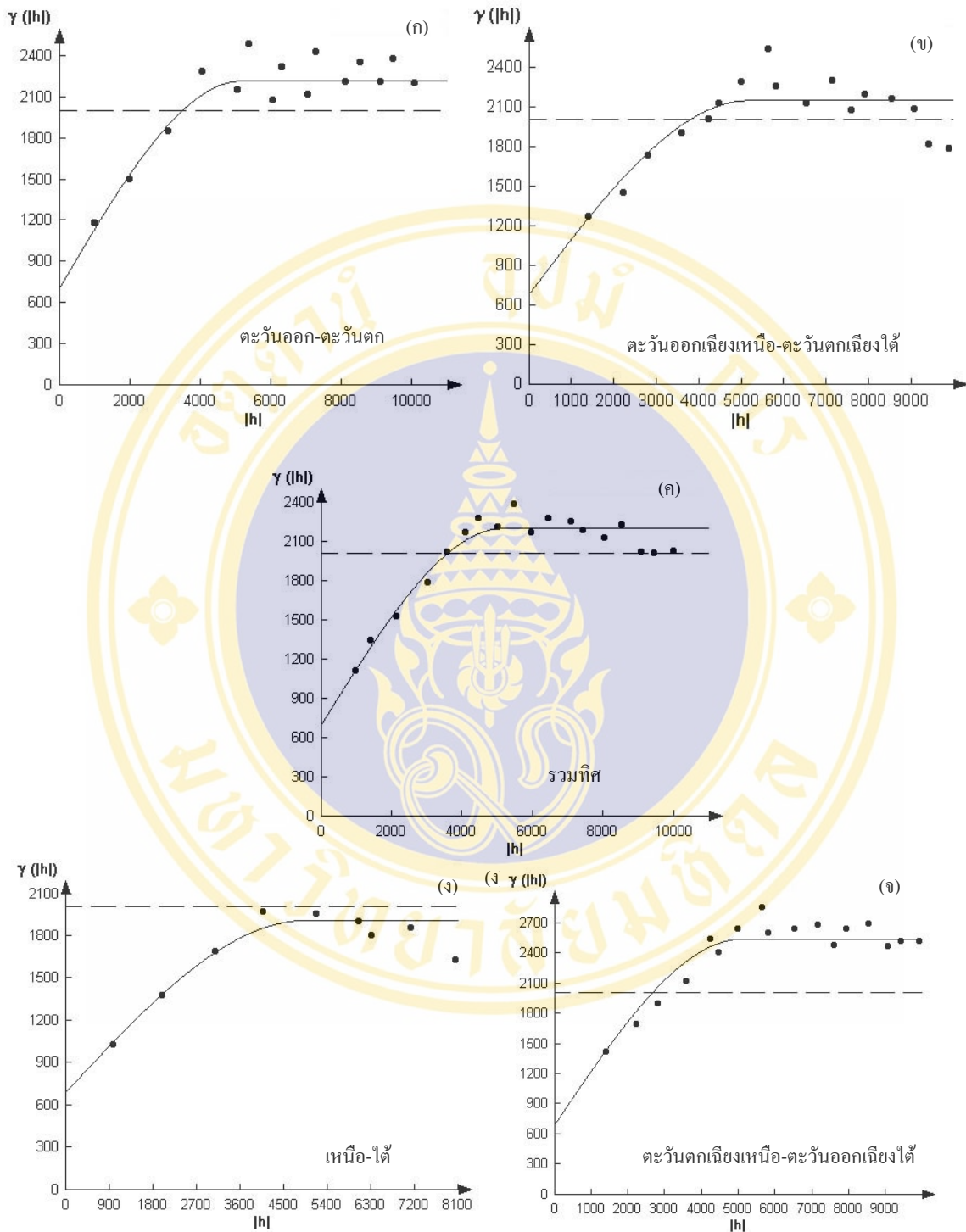
5.3.2.3 แบบจำลองเวรีโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บ 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-30 เมตร

ตารางที่ 17 ได้สรุปข้อมูลของแบบจำลองที่เข้าได้ดีกับเวรีโอแกรมทั้งในแบบรวมทิศและใน 4 ทิศทาง ของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บ 1000x1000 เมตร ในระดับความลึก 0-30 เมตร

ตารางที่ 17 ข้อมูลแบบจำลองเวรีโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-30 เมตร

ทิศทางของเวรีโอแกรม	ชนิดของแบบจำลอง	ค่าความแปรปรวนนักเกิด	ค่าความแปรปรวนคงที่	ค่าระยะอิทธิพล (เมตร)
รวมทิศ	แบบสเฟียร์คัล	700	2,200	5,100
ตะวันออก-ตะวันตก	แบบสเฟียร์คัล	700	2,200	5,100
ตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้	แบบสเฟียร์คัล	700	2,200	5,100
เหนือ-ใต้	แบบสเฟียร์คัล	700	1,950	5,100
ตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้	แบบสเฟียร์คัล	700	2,550	5,100

จากภาพที่ 34 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองเวรีโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บ 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-30 เมตร ทั้งในแบบรวมทิศและแยกทิศ 4 ทิศทาง เข้าได้ดีกับแบบจำลองแบบสเฟียร์คัล โดยมีค่าความแปรปรวนนักเกิดเท่ากับ 700 และค่าระยะอิทธิพลเท่ากับ 5,100 เมตร เวรีโอแกรมใน 3 ทิศทางอันได้แก่ รวมทิศ ทิศตะวันออก-ตะวันตก และทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ มีค่าความแปรปรวนคงที่เท่ากับ 2,200 ขณะที่ในทิศเหนือ-ใต้ เวรีโอแกรมมีค่าความแปรปรวนคงที่น้อยที่สุด คือ 1,950 ซึ่งแตกต่างกับเวรีโอแกรมในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ ที่มีค่าความแปรปรวนคงที่มากที่สุดเท่ากับ 2,550 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่ระดับความลึก 0-30 เมตร มีลักษณะการกระจายตัวแบบ Zonal Anisotropy โดยมีความเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ มากที่สุด และในทิศเหนือ-ใต้น้อยที่สุด



ภาพที่ 34 แบบจำลองเวริโอแกรมกานำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-30 เมตร (ก) ทิศตะวันออก-ตะวันตก (ข) ทิศ ตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (ค) รวมทิศ (ง) ทิศเนื้อ-ใต้ (จ) ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ- ตะวันออกเฉียงใต้

เมื่อพิจารณาแวลูโอแกรมข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1,000 x 1,000 เมตร พบว่าแวลูโอแกรมทั้ง 3 ระดับความลึกมีลักษณะคล้ายคลึงกัน โดยแวลูโอแกรมทั้งหมดเข้าได้ดีกับแบบจำลองสเฟียริคัล ซึ่งประกอบด้วยลักษณะสำคัญดังต่อไปนี้

1. ค่าความแปรปรวนนักเกิด แวลูโอแกรมทั้ง 3 ระดับความลึกแสดงให้เห็นว่ามีค่าความแปรปรวนนักเกิดใกล้เคียงกัน ซึ่งค่าความแปรปรวนนักเกิดที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปอาจเกิดจากสาเหตุสำคัญ 2 ประการได้แก่ ความผิดพลาดในกระบวนการเก็บข้อมูลหรืออาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ในระดับย่อย (ระยะที่น้อยกว่าระยะห่างระหว่างจุดเก็บข้อมูล) และเมื่อพิจารณาแวลูโอแกรมข้อมูลชุด 80 x 80 เมตร ในทั้ง 3 ระดับความลึก พบว่ามีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ในระยะต่ำกว่า 1,000 เมตร อย่างชัดเจน โดยแวลูโอแกรมของข้อมูลชุด 80x 80 เมตรในทั้ง 3 ระดับความลึกเข้าได้ดีกับแบบจำลองเอ็กซ์โพเนนเชียลมีระยะอิทธิพลอยู่ในช่วง 400-750 เมตร ดังนั้นค่าความแปรปรวนนักเกิดที่เกิดขึ้นส่วนหนึ่งจึงเกิดจากการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ในระดับย่อย

2. ค่าความแปรปรวนคงที่ แบบจำลองแวลูโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1,000 x 1,000 เมตร แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ที่มีต่อทิศทางต่างๆเหมือนกันทั้ง 3 ระดับความลึก โดยในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ มีค่าความแปรปรวนคงที่มากกว่าในทิศทางอื่นๆ ขณะที่ในทิศเหนือ-ใต้ มีค่าความแปรปรวนคงที่น้อยที่สุด เมื่อพิจารณาข้อมูลทางกายภาพที่มีอิทธิพลต่อค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม บริเวณพื้นที่ศึกษาที่แสดงไว้ในบทที่ 3 พบว่าลักษณะเนื้อดินที่เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก โดยเป็นดินร่วนปนทรายเกือบทั้งพื้นที่ (ภาพที่ 16) เช่นเดียวกับลักษณะทางธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษาซึ่งถูกปกคลุมด้วยหินทรายในหมวดมหาสารคาม โดยมีตะกอนยุคควอเตอร์นารีอยู่ด้านบนและชั้นหินเกลือปรากฏอยู่ด้านล่างเหมือนกันตลอดทั้งพื้นที่ (ภาพที่ 13) จากการศึกษาของ Dissatapon และคณะ (2002) ทำการประเมินพื้นที่ที่เกิดดินเค็มบริเวณจังหวัดนครราชสีมาที่ ด้วยเครื่อง EM 34 เช่นเดียวกัน พบว่าในพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยหินทรายในหมวดมหาสารคาม ค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม จะเปลี่ยนแปลงตามเส้นชั้นความสูงของพื้นที่ โดยในบริเวณพื้นที่ต่ำจะมีค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม สูงและค่อยๆลดลงเมื่อระดับพื้นที่สูงขึ้น และเมื่อพิจารณาแผนที่เส้นชั้นความสูงของพื้นที่ศึกษา (ภาพที่ 11) พบว่าระดับความสูงจะค่อยๆลดลงจากทิศตะวันออกเฉียงใต้ สู่ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ บริเวณด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้จะเป็นพื้นที่ที่มีระดับความสูงเท่ากับ 181-190 เมตร เหนือระดับน้ำทะเลจากนั้นความสูงจะค่อยๆลดลงสู่ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ โดยบริเวณขอบของพื้นที่ด้านนี้จะมีพื้นที่ต่ำสุดเท่ากับ 151-160 เมตร

เหนือระดับน้ำทะเล ขณะที่ระดับความสูงในแนวเหนือใต้มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ซึ่งสอดคล้องกับทิศทางของค่าความแปรปรวนคงที่ในเวรีโอแกรมทั้ง 3 ระดับความลึก ที่เวรีโอแกรมในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ จะมีค่าความแปรปรวนคงที่มากที่สุดและในทิศเหนือ-ใต้ จะมีค่าความแปรปรวนคงที่น้อยที่สุด ซึ่งจากการที่มีค่าความแปรปรวนคงที่แตกต่างกันในแต่ละทิศทาง ทำให้สามารถสรุปได้ว่าค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามในพื้นที่ศึกษามีลักษณะการกระจายตัวแบบ Zonal anisotropy ในทั้ง 3 ระดับความลึก

3. ค่าระยะอิทธิพล แสดงให้เห็นถึงระยะที่มากที่สุดโดยเฉลี่ยของข้อมูลที่ยังคงมีความสัมพันธ์กัน ถ้าคู่ข้อมูลใดมีระยะไกลกว่าระยะอิทธิพลแสดงว่าข้อมูลคู่นั้นเป็นอิสระต่อกันแบบจำลองเวรีโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามที่มีระยะห่างระหว่างจุด 1,000 x 1,000 เมตรในแต่ละระดับความลึกมีระยะอิทธิพลเท่ากันในทุกทิศทาง และมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยโดยที่ระดับความลึก 0-30 เมตรจะมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 5,100 เมตร รองมาได้แก่ที่ระดับความลึก 0-15 เมตรมีค่าเท่ากับ 4,600 เมตร และต่ำสุดได้แก่ที่ระดับความลึก 0-7.5 เมตร มีค่าเท่ากับ 4,300 เมตร แสดงให้เห็นว่าค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามมีความสัมพันธ์กันในระยะประมาณ 4,300 – 5,100 เมตร ซึ่งเป็นระยะที่ค่อนข้างมาก ทั้งนี้ น่าจะเกิดจากลักษณะของพื้นที่ศึกษาที่มีลักษณะทางธรณีวิทยาเหมือนกันตลอดทั้งพื้นที่ศึกษา ส่งผลให้ค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม มีความสัมพันธ์ต่อกันเป็นระยะทางค่อนข้างไกล

5.4 การทดสอบความเหมาะสมด้วยวิธี Cross validation

การประมาณค่าด้วยวิธีคริกกิงจำเป็นต้องอาศัยแบบจำลองเวรีโอแกรมในการประมาณค่า ความแม่นยำของการประมาณค่าจึงขึ้นอยู่กับความถูกต้องของแบบจำลองเวรีโอแกรม และจำนวนข้อมูลที่นำมาใช้ในการประเมิน วิธี Cross validation เป็นวิธีที่สามารถนำมาทดสอบความเหมาะสมของแบบจำลองเวรีโอแกรมและจำนวนข้อมูลข้างเคียงที่เหมาะสมสำหรับการประเมินค่าแบบคริกกิง สำหรับโปรแกรมที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้แก่ โปรแกรมย่อย Xvalid ที่อยู่ในโปรแกรม GEOEAS 1.2.1 โดยโปรแกรมจะลองคำนวณค่าตัวแปรในจุดที่วัดค่าไว้ แต่ทำเสมือนว่าไม่มีข้อมูลอยู่ในจุดนั้นๆ และลองคำนวณค่าโดยใช้ค่าของข้อมูลข้างเคียงจากแบบจำลองเวรีโอแกรมที่เราเลือกใช้ หลังจากนั้นจะเปรียบเทียบค่าประเมินกับค่าที่วัดได้จริง จะได้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย การพิจารณาแบบจำลองเวรีโอแกรมและจำนวนข้อมูลข้างเคียงที่ใช้ในการประเมินที่มีความเหมาะสม จะพิจารณาค่าอัตรา

ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยมีค่าต่ำสุด

โดยปกติการพิจารณาจำนวนข้อมูลข้างเคียงที่เหมาะสมที่ใช้ในการประมาณค่าแบบคริกกิ้งไม่มีหลักเกณฑ์ตายตัวที่แน่นอน แต่อาจพิจารณาได้จากค่าความแปรปรวนนักเกิด ถ้าค่าความแปรปรวนนักเกิดมีค่าใกล้ 0 จำนวนข้อมูลที่เหมาะสมจะเท่ากับ 8 ข้อมูลและอาจจะเพิ่มขึ้นถึง 20 ข้อมูล ถ้าค่าความแปรปรวนนักเกิดมีค่ามากกว่า 50 เปอร์เซนต์ของค่าความแปรปรวนคงที่ (Englund, 1991) ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จะใช้ข้อมูลจำนวน 8 ,12 ,16 และ 20 ข้อมูล มาใช้ทดสอบด้วยวิธี Cross validation

5.4.1 การทดสอบด้วยวิธี Cross validation กับข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บ 80 x 80 เมตร

5.4.1.1 การทดสอบด้วยวิธี Cross validation กับข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บ 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร

จากแบบจำลองเวรีโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บ 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร ที่ได้จากข้อ 5.3.1.1 พบว่าแบบจำลองเวรีโอแกรมที่ได้มีลักษณะของ Geometry anisotropy ดังนั้นแบบจำลองเวรีโอแกรมที่จะนำมาใช้ในการทดสอบด้วยวิธี Cross validation เป็นแบบจำลองเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีค่าความแปรปรวนนักเกิดเท่ากับ 150 ค่าความแปรปรวนคงที่เท่ากับ 2,050 และมีค่าระยะอิทธิพลมากที่สุดในพื้นที่เนื้อ-ใต้เท่ากับ 750 เมตร และน้อยที่สุดในทิศตะวันออก-ตะวันตก เท่ากับ 450 เมตร โดยทำการทดสอบกับจำนวนข้อมูลข้างเคียงที่ใช้ในการประมาณค่าที่แตกต่างกัน ผลการทดสอบแสดงอยู่ในตารางที่ 18 ตารางที่ 18 ผลการทดสอบด้วยวิธี Cross validation กับข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร

Model	nugget	sill	major-range	miner-range
เอ็กซ์โพเนนเชียล	150	2,050	N-S 750	E-W 450
จำนวนข้อมูลข้างเคียงที่ใช้ในการประมาณค่า (จุด)	ค่าจริงเฉลี่ย (mS/m)	ค่าประมาณที่ได้เฉลี่ย (mS/m)	ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย
8	208.669	208.550	-0.119	27.790
12	208.669	208.438	-0.231	27.776
16	208.669	208.388	-0.281	27.757
20	208.669	208.344	-0.324	27.751

ผลจากตารางที่ 18 สรุปได้ว่าการทดสอบด้วยวิธี Cross validation เมื่อเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยพบว่า พบว่าจำนวนข้อมูลที่ 8 จุด ให้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยใกล้ศูนย์ที่สุด คือ -0.119 ดังนั้น ข้อมูลในการประมาณค่าจำนวน 8 จุด น่าจะให้ผลการประมาณค่าที่ดีที่สุด

5.4.1.2 การทดสอบด้วยวิธี Cross validation กับข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บ 80×80 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร

จากแบบจำลองเวรีโอแกรมค่า นำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บ 80×80 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร ที่ได้จากข้อ 5.3.1.2 พบว่าแบบจำลองเวรีโอแกรมที่ได้ของ Geometry anisotropy ดังนั้นแบบจำลองเวรีโอแกรมที่จะนำมาใช้ในการทดสอบด้วยวิธี Cross validation เป็นแบบจำลองเอ็กซ์โพเนนเชียล ที่มีค่าความแปรปรวนนักเก็ต เท่ากับ 100 ค่าความแปรปรวนคงที่ เท่ากับ 950 และมีระยะอิทธิพลมากที่สุดในที่สเหนือ-ใต้ เท่ากับ 600 เมตร และน้อยที่สุดในทิศตะวันออก-ตะวันตก เท่ากับ 400 เมตร โดยทำการทดสอบกับจำนวนข้อมูลข้างเคียงที่ใช้ในการประมาณค่าที่แตกต่างกัน ผลการทดสอบแสดงอยู่ในตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ผลการทดสอบด้วยวิธี Cross validation กับข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80×80 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร

Model	nugget	sill	major-range	minor-range
เอ็กซ์โพเนนเชียล	100	950	N-S 600	E-W 400
จำนวนข้อมูลข้างเคียงที่ใช้ในการประมาณค่า (จุด)	ค่าจริงเฉลี่ย (mS/m)	ค่าประมาณที่ได้เฉลี่ย (mS/m)	ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย
8	209.320	209.228	-0.092	20.885
12	209.320	209.162	-0.157	20.874
16	209.320	209.137	-0.183	20.868
20	209.320	209.130	-0.190	20.864

ผลจากตารางที่ 19 สรุปได้ว่าการทดสอบด้วยวิธี Cross validation เมื่อเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย

พบว่าจำนวนข้อมูลที่ 8 จุด ให้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยใกล้ศูนย์ที่สุด คือ -0.092 ดังนั้นการใช้ข้อมูลในการประมาณค่าจำนวน 8 จุด น่าจะให้ผลการประมาณค่าที่แม่นยำที่สุด

5.4.1.3 การทดสอบด้วยวิธี Cross validation กับข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บ 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-30 เมตร

จากแบบจำลองเวรีโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บ 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-30 เมตร ที่ได้จากข้อ 5.3.1.3 พบว่าแบบจำลองเวรีโอแกรมที่ได้มีลักษณะของทั้ง Geometry และ Zonal anisotropy เพราะมีค่าความแปรปรวนคงที่ และค่าระยะอิทธิพลแตกต่างกันในแต่ละทิศทาง และจากข้อจำกัดทางด้านโปรแกรมที่นำมาใช้ในกระบวนการทำ Cross validation และการประมาณค่าแบบคริกกิง สามารถรองรับได้เพียงแบบจำลองที่มีลักษณะของ Geometry anisotropy เท่านั้น แต่เนื่องจากแบบจำลองที่ได้มีทิศค่าระยะอิทธิพลแตกต่างกับทิศอื่นก็มีค่าความแปรปรวนคงที่ต่างกับทิศอื่นเช่นกัน ทำให้แบบจำลองที่จะนำมาใช้ได้ก็เพียงแบบจำลองแบบรวมทิศ ดังนั้นแบบจำลองเวรีโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บ 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-30 เมตร ที่ใช้ในการทดสอบด้วยวิธี Cross validation เป็นแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล ที่มีค่าความแปรปรวนนักเกิด เท่ากับ 60 มีค่าความแปรปรวนคงที่ เท่ากับ 660 และค่าระยะอิทธิพลเท่ากับ 600 เมตร โดยทำการทดสอบกับจำนวนข้อมูลข้างเคียงที่ใช้ในการประมาณค่าที่แตกต่างกัน ผลการทดสอบแสดงอยู่ในตารางที่ 20

ตารางที่ 20 ผลการทดสอบด้วยวิธี Crossvalidation กับข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-30 เมตร

Model	nugget	sill	major-range	miner-range
เอ็กซ์โพเนนเชียล	60	660	รวมทิศ 600	-
จำนวนข้อมูลข้างเคียงที่ใช้ในการประมาณค่า (จุด)	ค่าจริงเฉลี่ย (mS/m)	ค่าประมาณที่ได้เฉลี่ย (mS/m)	ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย
8	215.473	215.419	-0.054	15.333
12	215.473	215.396	-0.078	15.325
16	215.473	215.384	-0.089	15.315
20	215.473	215.389	-0.085	15.307

ผลจากตารางที่ 20 สรุปได้ว่าการทดสอบด้วยวิธี Cross validation เมื่อเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการประเมินแล้ว พบว่าจำนวนข้อมูลที่ 8 จุด ให้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยใกล้ศูนย์ที่สุด คือ -0.054 ดังนั้นการใช้จำนวนข้อมูล 8 จุดในการประมาณค่าแบบคริกกิ้งกับแบบจำลองเวรีโอแกรมข้างต้น น่าจะให้ผลการประมาณค่าที่แม่นยำที่สุด

5.4.2 การทดสอบด้วยวิธี Cross validation กับข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ของข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บ $1,000 \times 1,000$ เมตร

แม้ลักษณะแบบจำลองเวรีโอแกรมของข้อมูลชุด $1,000 \times 1,000$ เมตร และข้อมูลพื้นฐานของพื้นที่ศึกษา แสดงให้เห็นชัดถึงการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ที่แตกต่างกันในแต่ละทิศทาง แต่เนื่องจากข้อจำกัดของโปรแกรมที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ไม่สามารถรองรับแบบจำลองที่มีลักษณะของ Zonal anisotropy ได้ และจากงานวิจัยของGotwayและHergert (1997) แสดงให้เห็นว่าการนำเอาแบบจำลองที่เป็น Isotropic มาใช้เปรียบเทียบกับ Zonal anisotropy ในการสร้างแผนที่ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน พบว่าแผนที่ที่ได้จากแบบจำลองทั้ง 2 ชนิด มีความแตกต่างกันน้อยมาก ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จึงจะนำแบบจำลองเวรีโอแกรมในแบบรวมทิศของทั้ง 3 ระดับความลึกมาใช้ในการทดสอบด้วย Cross validation และในการประมาณค่าด้วยวิธีคริกกิ้ง

5.4.2.1 การทดสอบด้วยวิธี Cross validation กับข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างระดับจุดเก็บ $1,000$ เมตร ในระดับความลึก $0-7.5$ เมตร

จากแบบจำลองเวรีโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง $1,000 \times 1,000$ เมตร ในระดับความลึก $0-7.5$ เมตร ที่ได้จากข้อ 5.3.2.1 พบว่าแบบจำลองเวรีโอแกรมมีลักษณะของ Zonal anisotropy แต่เนื่องจากโปรแกรมที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีข้อจำกัดไม่สามารถรองรับลักษณะของ Zonal anisotropy ดังนั้นในการทดสอบด้วยวิธี Cross validation จึงจำเป็นต้องใช้แบบจำลองแบบรวมทิศแทน ซึ่งได้แก่แบบจำลองแบบสเฟียร์คัล ที่มีค่าความแปรปรวนนักเกิด เท่ากับ 750 ค่าความแปรปรวนคงที่ เท่ากับ $2,800$ และค่าระยะอิทธิพล เท่ากับ $4,300$ เมตร ผลที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธี Cross validation กับแบบจำลองเวรีโอแกรมรวมทิศในข้างต้น แสดงอยู่ในตารางที่ 21

ตารางที่ 21 ผลการทดสอบด้วยวิธี Cross validation กับข้อมูลค่า นำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร

Model	nugget	sill	major-range	miner-range
สเฟียร์คัล	750	2,800	รวมทิศ 4,300	-
จำนวนข้อมูลข้างเคียงที่ใช้ในการประมาณค่า (จุด)	ค่าจริงเฉลี่ย (mS/m)	ค่าประมาณที่ได้เฉลี่ย (mS/m)	ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย
8	98.299	98.358	0.059	38.975
12	98.299	98.381	0.019	38.967
16	98.299	98.419	0.120	38.946
20	98.299	98.403	0.104	38.926

ผลจากตารางที่ 21 สรุปได้ว่าการทดสอบด้วยวิธี Cross validation เมื่อเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการประเมินแล้ว พบว่าจำนวนข้อมูลที่ 12 จุด ให้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยใกล้ศูนย์ที่สุด คือ 0.019 ดังนั้นการใช้จำนวนข้อมูล 12 จุดในการประมาณค่าแบบกริกกิงกับแบบจำลองเวรีโอแกรมข้างต้น น่าจะให้ผลการประมาณค่าที่แม่นยำที่สุด

5.4.2.2 การทดสอบด้วยวิธี Cross validation กับข้อมูลค่า นำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างระดับจุดเก็บ 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร

จากแบบจำลองเวรีโอแกรมค่า นำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร ที่ได้จากข้อ 5.3.2.2 พบว่าแบบจำลองเวรีโอแกรมมีลักษณะของ Zonal anisotropy แต่เนื่องจากโปรแกรมที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีข้อจำกัดไม่สามารถรองรับลักษณะของ Zonal anisotropy ดังนั้นในการทดสอบด้วยวิธี Cross validation จึงจำเป็นต้องใช้แบบจำลองแบบรวมทิศแทน ซึ่งได้แก่แบบจำลองแบบสเฟียร์คัล ที่มีค่าความแปรปรวนนักเก็ต เท่ากับ 700 ค่าความแปรปรวนคงที่ เท่ากับ 2,300 และค่าระยะอิทธิพล เท่ากับ 4,600 เมตร ผลที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธี Cross validation กับแบบจำลองเวรีโอแกรมรวมทิศในข้างต้น แสดงอยู่ในตารางที่ 22

ตารางที่ 22 ผลการทดสอบด้วยวิธี Cross validation กับข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร

Model	nugget	sill	major-range	miner-range
สเฟียร์คัล	700	2,300	รวมทิศ 4,600	-
จำนวนข้อมูลข้างเคียงที่ใช้ในการประมาณค่า (จุด)	ค่าจริงเฉลี่ย (mS/m)	ค่าประมาณที่ได้เฉลี่ย (mS/m)	ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย
8	114.613	114.674	0.061	35.828
12	114.613	114.643	0.030	35.823
16	114.613	114.606	-0.008	35.814
20	114.613	114.602	-0.011	35.841

ผลจากตารางที่ 22 สรุปได้ว่าการทดสอบด้วยวิธี Cross validation เมื่อเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการประเมินแล้ว พบว่าจำนวนข้อมูลที่ 16จุด ให้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยใกล้ศูนย์ที่สุด คือ -0.008 ดังนั้นการใช้จำนวนข้อมูล 16 จุดในการประมาณค่าแบบกริกกิงกับแบบจำลองเวรีโอแกรมข้างต้น น่าจะให้ผลการประมาณค่าที่แม่นยำที่สุด

5.4.2.3 การทดสอบด้วยวิธี Cross validation กับข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างระดับจุดเก็บ 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-30 เมตร

จากแบบจำลองเวรีโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1,000x1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-30 เมตร ที่ได้จากข้อ 5.3.2.3 พบว่าแบบจำลองเวรีโอแกรมมีลักษณะของ Zonal anisotropy แต่เนื่องจากโปรแกรมที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีข้อจำกัดไม่สามารถรองรับลักษณะของ Zonal anisotropy ดังนั้นในการทดสอบด้วยวิธี Crossvalidation จึงจำเป็นต้องใช้แบบจำลองแบบรวมทิศแทน ซึ่งได้แก่แบบจำลองแบบสเฟียร์คัล ที่มีค่าความแปรปรวนนักเกิด เท่ากับ 700 ค่าความแปรปรวนคงที่ เท่ากับ 2,200 และค่าระยะอิทธิพล เท่ากับ 5,100 เมตร ผลที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธี Cross validation กับแบบจำลองเวรีโอแกรมรวมทิศในข้างต้น แสดงอยู่ในตารางที่ 23

ตารางที่ 23 ผลการทดสอบด้วยวิธี Cross validation กับข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-30 เมตร

Model	nugget	sill	major-range	miner-range
สเฟียริคัล	700	2,200	รวมทิศ 5,100	-
จำนวนข้อมูลข้างเคียงที่ใช้ในการประมาณค่า (จุด)	ค่าจริงเฉลี่ย (mS/m)	ค่าประมาณที่ได้เฉลี่ย (mS/m)	ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย
8	115.629	115.634	0.005	34.752
12	115.629	115.624	-0.005	34.736
16	115.629	115.567	-0.062	34.732
20	115.629	115.508	-0.121	34.724

ผลจากตารางที่ 23 สรุปได้จากการทดสอบด้วยวิธี Cross validation เมื่อเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการประเมินแล้ว พบว่าจำนวนข้อมูลที่ 8 และ 12 จุด ให้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยใกล้เคียงกันคือ 0.005 และ -0.005 เมื่อพิจารณาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยต่ำสุด พบว่าจำนวนข้อมูลที่ 12 จุดให้ค่าต่ำกว่า ดังนั้นการใช้จำนวนข้อมูลที่ 12 จุดในการประมาณค่าแบบคริกกิ้งกับแบบจำลองเวรีโอแกรมข้างต้น น่าจะให้ผลการประมาณค่าที่แม่นยำที่สุด

5.5 การประมาณค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามด้วยวิธีคริกกิ้ง

การประมาณค่าด้วยวิธีคริกกิ้งจำเป็นต้องอาศัยแบบจำลองเวรีโอแกรมในการประมาณค่าความแม่นยำของการประมาณค่าจึงขึ้นอยู่กับความถูกต้องของแบบจำลองเวรีโอแกรม และจำนวนข้อมูลที่นำมาใช้ในการประเมิน โดยค่าเซมิวาเรียนซ์ที่เปลี่ยนไปตามระยะทางและทิศทางจะถูกนำมาใช้ในการประมาณค่าจุดที่ไม่ทราบค่า การประมาณค่าจะใช้ข้อมูลที่อยู่รอบๆจุดที่ต้องการประเมิน ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการประมาณค่าแบบคริกกิ้งได้มาจากสมการคริกกิ้งซึ่งจะขึ้นอยู่กับระยะห่างและทิศทางของจุดที่ต้องการประเมินกับค่าที่ใช้ในการประมาณค่า

สำหรับค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่ได้จากการประมาณค่าในครั้งนี้จะเป็นการประมาณค่าคริกกิ้งในแบบจุด และนำค่าที่ประมาณได้รวมกับค่าที่มีอยู่เดิมเพื่อสร้างแผนที่แสดงระดับความรุนแรงของความเค็มของดิน โดยแบ่งออกเป็น 5 ระดับดังนี้

บริเวณที่ไม่เค็ม	มีค่า $ECa < 80$ mS/m
บริเวณที่มีความเค็มน้อย	มีค่า $ECa 80-120$ mS/m
บริเวณที่มีความเค็มปานกลาง	มีค่า $ECa 120-160$ mS/m
บริเวณที่มีความเค็มมาก	มีค่า $ECa 160-200$ mS/m
บริเวณที่มีความเค็มจัด	มีค่า $ECa > 200$ mS/m

5.5.1 ลักษณะการกระจายของระดับความรุนแรงของความเค็มของดินเค็มจากข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่างจุด 80 x 80 เมตร

แบบจำลองเวรีโอแกรมและจำนวนค่าข้างเคียงที่ใช้ในการประมาณค่าด้วยวิธีคริกกิ้งของข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามที่มีระยะห่างระหว่างจุด 80 x 80 เมตร ในทั้ง 3 ระดับความลึกสรุปไว้ในตารางที่ 24 โดยจะทำการประมาณค่าคริกกิ้งในแบบจุด มีระยะห่างระหว่างจุด 40 x 40 เมตร ข้อมูลที่ประมาณค่าได้จะถูกนำมารวมกับชุดข้อมูลที่มีอยู่แล้ว เป็นจำนวนรวมทั้งสิ้น 625 จุดในแต่ละระดับความลึก และนำมาสร้างแผนที่แสดงระดับความรุนแรงของความเค็มของดิน

ตารางที่ 24 สรุปแบบจำลองเวรีโอแกรมและจำนวนข้อมูลข้างเคียงที่เหมาะสม ในการประมาณค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 80 x 80 เมตร ด้วยวิธีคริกกิ้ง ทั้ง 3 ระดับความลึก

ระดับความลึก	ชนิดของแบบจำลอง	ค่าความแปรปรวนนักเก็ต	ค่าความแปรปรวนคงที่	ค่าระยะอิทธิพล	ทิศทาง	จำนวนข้อมูลข้างเคียงที่ใช้ในการประมาณค่า
0-7.5	เอ็กซ์โพเนนเชียล	150	2,050	750 450	N-S E-W	8
0-15	เอ็กซ์โพเนนเชียล	100	950	600 400	N-S E-W	8
0-30	เอ็กซ์โพเนนเชียล	60	660	600	รวมทิศ	8

5.5.1.1 ลักษณะการกระจายตัวของระดับความรุนแรงของความเค็มของดิน จากข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บ 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร

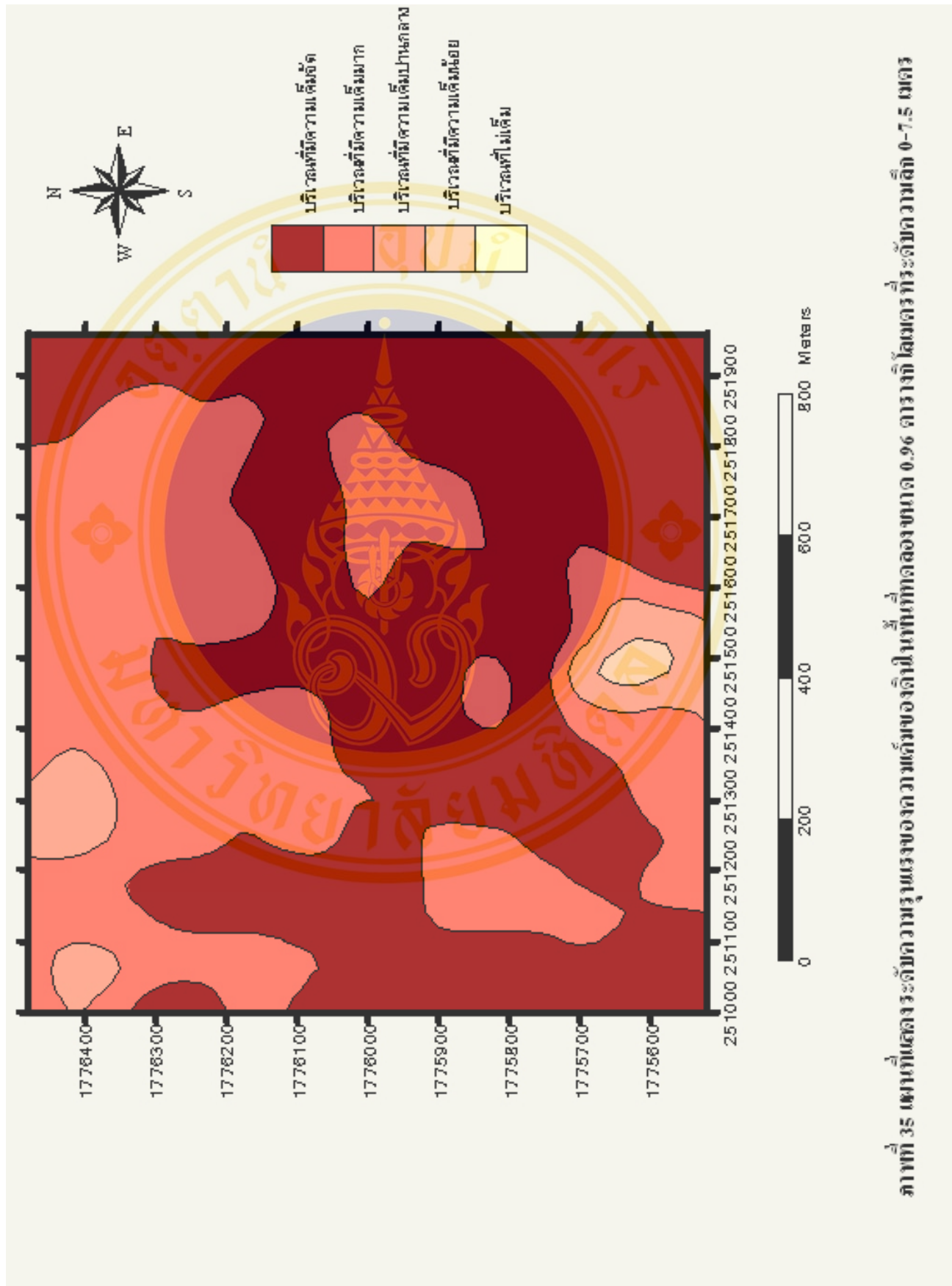
แผนที่แสดงระดับความรุนแรงของความเค็มของดิน จากข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บ 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร ปรากฏในภาพที่ 35 แสดงให้เห็นระดับความรุนแรงของดินเค็มสามารถแบ่งออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ เค็มน้อย เค็มปานกลาง เค็มมาก และเค็มจัด โดยพื้นที่ส่วนใหญ่มีความเค็มมากถึงเค็มจัด ซึ่งปรากฏอยู่ครอบคลุมเกือบทั้งพื้นที่ สำหรับพื้นที่ที่มีความเค็มปานกลาง และเค็มน้อยนั้น มีลักษณะเป็นหย่อมๆ อยู่บริเวณตอนบนและตอนล่างของพื้นที่

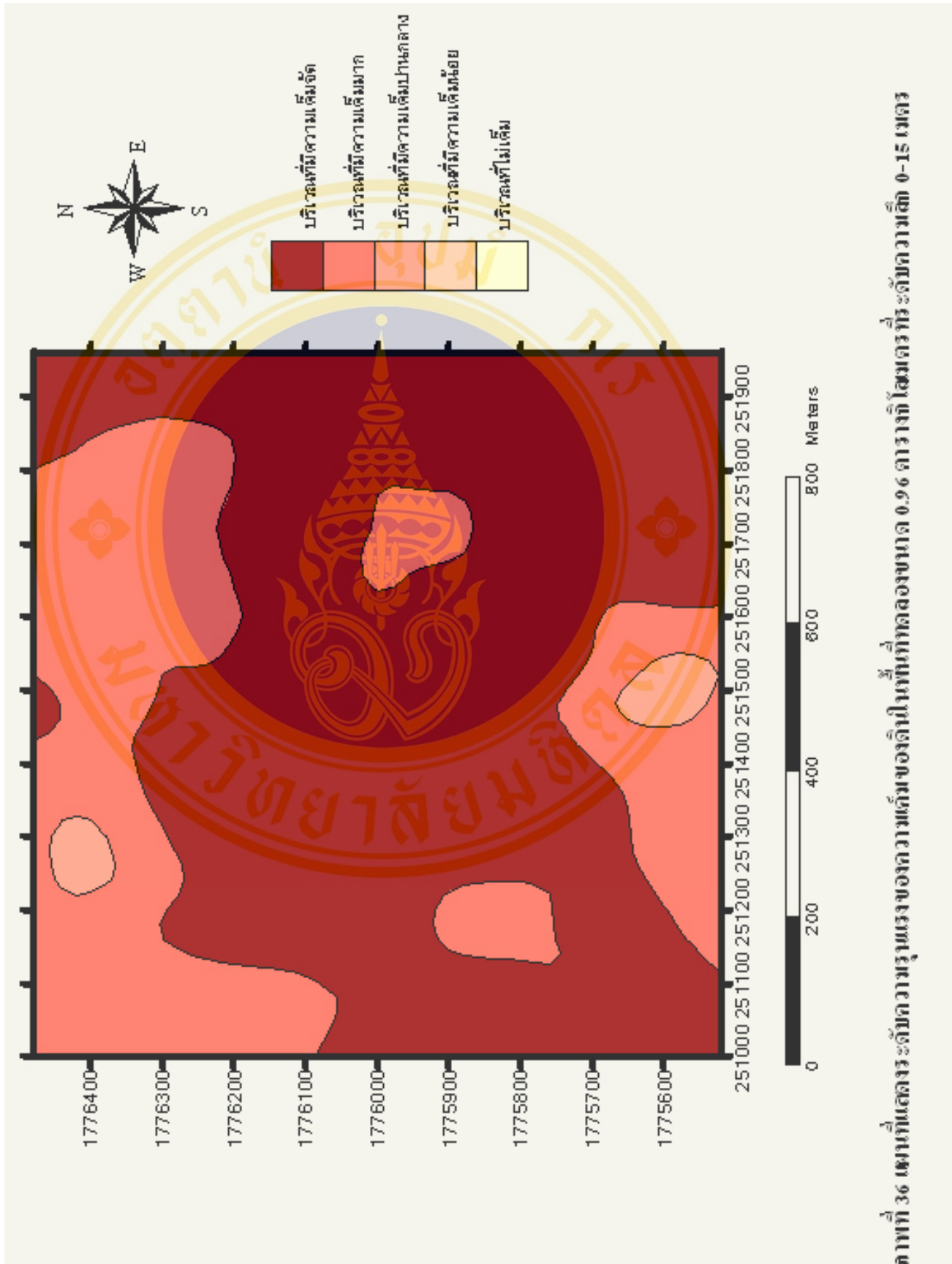
5.5.1.2 ลักษณะการกระจายตัวของระดับความรุนแรงของความเค็มของดิน จากข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บ 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร

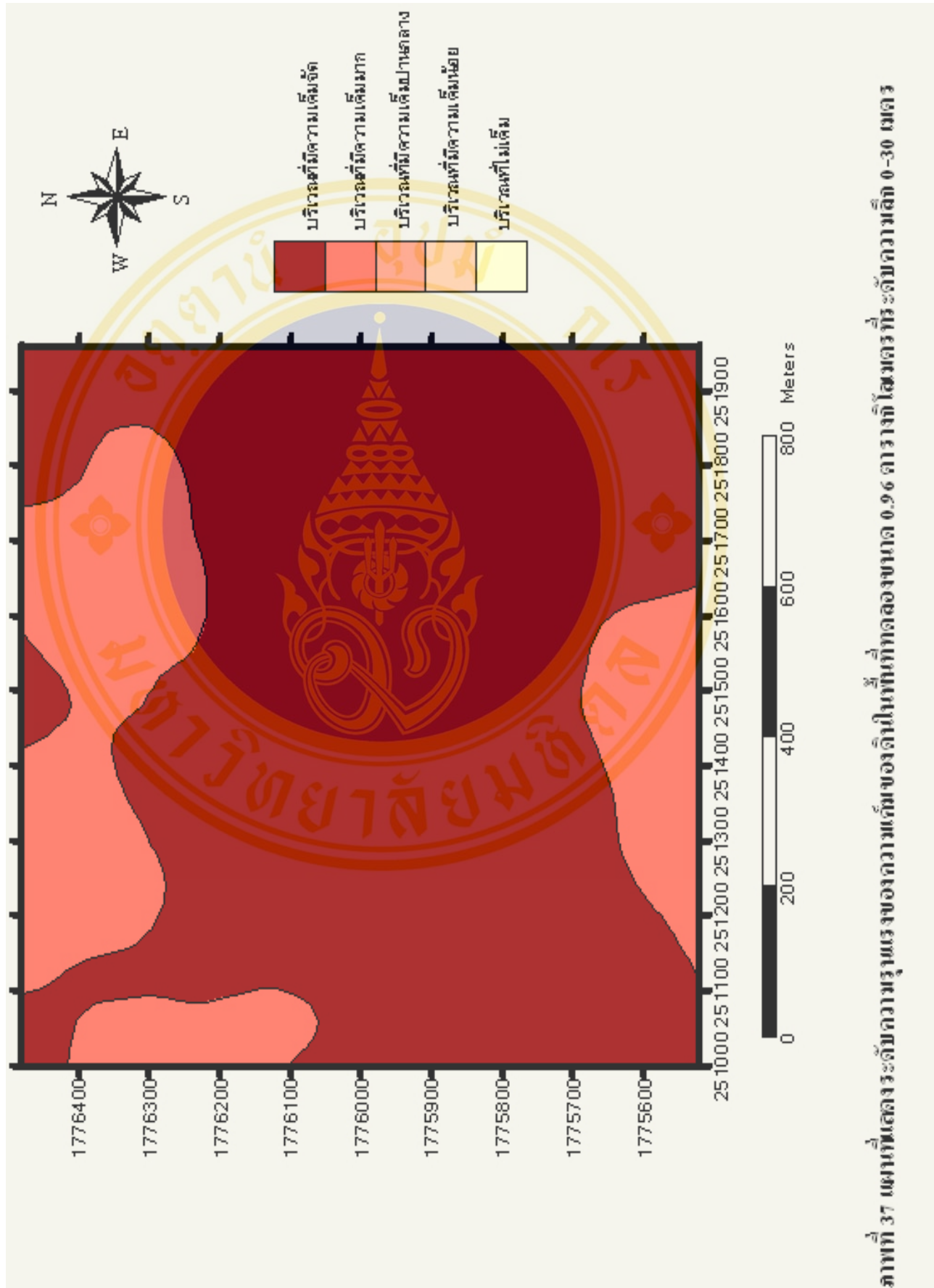
แผนที่แสดงระดับความรุนแรงของความเค็มของดิน จากข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บ 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร ปรากฏในภาพที่ 36 แสดงให้เห็นระดับความรุนแรงของดินเค็มสามารถแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ เค็มปานกลาง เค็มมาก และเค็มจัด โดยพื้นที่ส่วนใหญ่มีความเค็มมากถึงเค็มจัด ซึ่งครอบคลุมเกือบทั้งพื้นที่ สำหรับพื้นที่ที่มีความเค็มปานกลางนั้น มีลักษณะเป็นหย่อมๆ อยู่บริเวณตอนบนและตอนล่างของพื้นที่

5.5.1.3 ลักษณะการกระจายตัวของระดับความรุนแรงของความเค็มของดิน จากข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บ 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-30 เมตร

แผนที่แสดงระดับความรุนแรงของความเค็มของดิน จากข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บ 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-30 เมตร ปรากฏในภาพที่ 37 แสดงให้เห็นระดับความรุนแรงของดินเค็มสามารถแบ่งออกเป็น 2 ระดับ ได้แก่ เค็มมาก และเค็มจัด โดยพื้นที่ส่วนใหญ่มีความเค็มจัด ซึ่งครอบคลุมเกือบทั้งพื้นที่ สำหรับพื้นที่ที่มีความเค็มมากนั้น ปรากฏอยู่บริเวณตอนบนและตอนล่างของพื้นที่







ภาพที่ 37 แผนที่แสดงระดับความรุนแรงของความเค็มของดินในแผนที่ทดลองขนาด 0.96 ตารางกิโลเมตรที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร

5.5.2 ลักษณะการกระจายของระดับความรุนแรงของความเค็มของดิน จากข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่าง จุดเก็บตัวอย่าง 1,000 x 1,000 เมตร

ในการประมาณค่าด้วยวิธีกริกกิ้งจำเป็นต้องใช้ข้อมูลจากแบบจำลองเวรีโอแกรม ตารางที่ 25 ได้สรุปข้อมูลของแบบจำลองเวรีโอแกรมและจำนวนข้อมูลข้างเคียงที่ใช้ในการประมาณค่า นำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามที่มีระยะห่างระหว่างจุด 1,000 x 1,000 เมตร ในทั้ง 3 ระดับความลึก โดยทำการประมาณค่ากริกกิ้งในแบบจุดทุกระยะ 500 x 500 เมตร ค่าประมาณที่ได้จะนำไปรวมกับข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บ 1,000 x 1,000 เมตร เพื่อสร้างแผนที่ระดับความรุนแรงของความเค็มของดินในพื้นที่ศึกษา

ตารางที่ 25 สรุปแบบจำลองเวรีโอแกรมและจำนวนข้อมูลข้างเคียงที่เหมาะสม ในการประมาณค่า นำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามที่มีระยะห่างระหว่างจุด 1,000 x 1,000 เมตร ด้วยวิธีกริกกิ้ง ทั้ง 3 ระดับความลึก

ระดับความลึก (เมตร)	ชนิดของแบบจำลอง	ค่าความแปรปรวนนักเกิด	ค่าความแปรปรวนคงที่	ค่าระยะอิทธิพล (เมตร)	จำนวนข้อมูลข้างเคียงที่ใช้ในการประมาณค่า (จุด)
0-7.5	สเฟียร์คัล	750	2,800	4,300	12
0-15	สเฟียร์คัล	700	2,300	4,600	16
0-30	สเฟียร์คัล	700	2,200	5,100	12

5.5.2.1 ลักษณะการกระจายตัวของระดับความรุนแรงของความเค็มของดิน จากข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บ 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร

แผนที่แสดงระดับความรุนแรงของความเค็มของดิน ในภาพที่ 38 แสดงให้เห็นว่าที่ระดับความลึก 0-7.5 เมตร พื้นที่ส่วนใหญ่มีระดับความเค็มน้อยรองลงมาได้แก่ไม่เค็ม เค็มปานกลาง เค็มมากและเค็มจัด ตามลำดับ โดยลักษณะการกระจายตัวของระดับความเค็มมีความสัมพันธ์กับระดับความสูงของพื้นที่ศึกษา สังเกตได้จากเมื่อนำไปซ้อนทับกับแผนที่เส้นชั้นความสูงพบว่าบริเวณที่มีความเค็มมากถึงเค็มจัดจะปรากฏอยู่ในบริเวณที่มีพื้นที่ต่ำที่สุดในพื้นที่ศึกษา มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 151-160 เมตร ขณะที่บริเวณรอบนอกด้านทิศตะวันออกและทิศใต้ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความสูงที่สุดในพื้นที่ศึกษาคือ 171-190 เมตร จะเป็นบริเวณที่มีระดับความเค็มน้อยถึงน้อยมาก

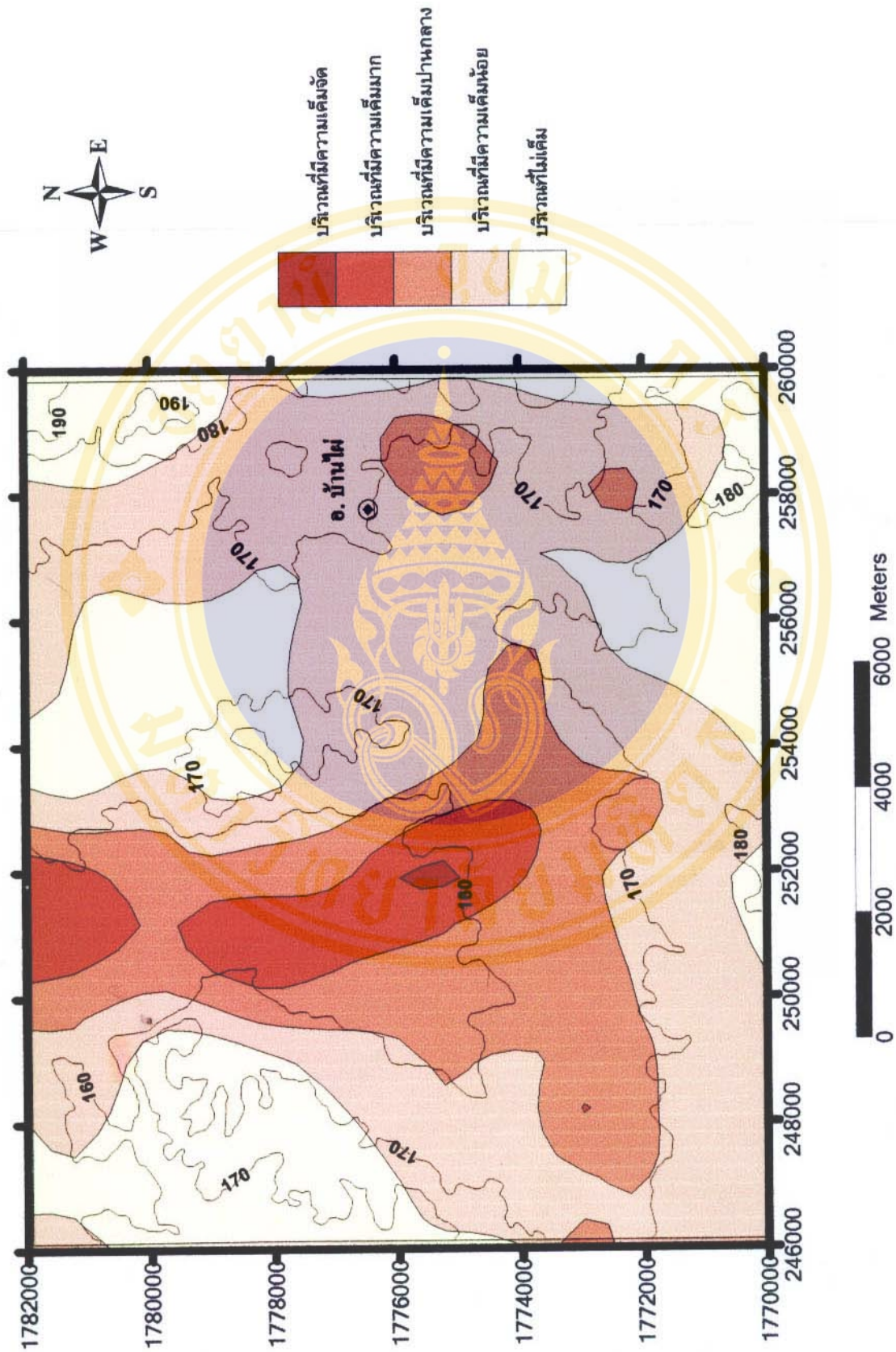
5.5.2.2 ลักษณะการกระจายตัวของระดับความรุนแรงของความเค็มของดิน จากข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บ 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร

แผนที่แสดงระดับความรุนแรงของความเค็มของดิน ภาพที่ 39 แสดงให้เห็นว่าที่ระดับความลึก 0-15 เมตร พื้นที่ส่วนใหญ่มีระดับความเค็มน้อยรองลงมาได้แก่เค็มปานกลาง ไม่เค็ม เค็มมาก และเค็มจัด ตามลำดับ ลักษณะการกระจายตัวของระดับความเค็มมีความสัมพันธ์กับระดับความสูงของพื้นที่ศึกษาเช่นเดียวกับที่ระดับความลึก 0-7.5 เมตร เพราะเมื่อนำไปซ้อนทับกับแผนที่เส้นชั้นความสูงจะพบว่าบริเวณที่มีความเค็มมากถึงเค็มจัดจะปรากฏอยู่ในบริเวณที่มีพื้นที่ต่ำที่สุดในพื้นที่ศึกษา มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 151-160 เมตร ขณะที่บริเวณรอบนอกด้านทิศตะวันออกและทิศใต้ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความสูงที่สุดในพื้นที่ศึกษาคือ 181-190 เมตร จะเป็นบริเวณที่มีระดับความเค็มน้อยถึงน้อยมาก

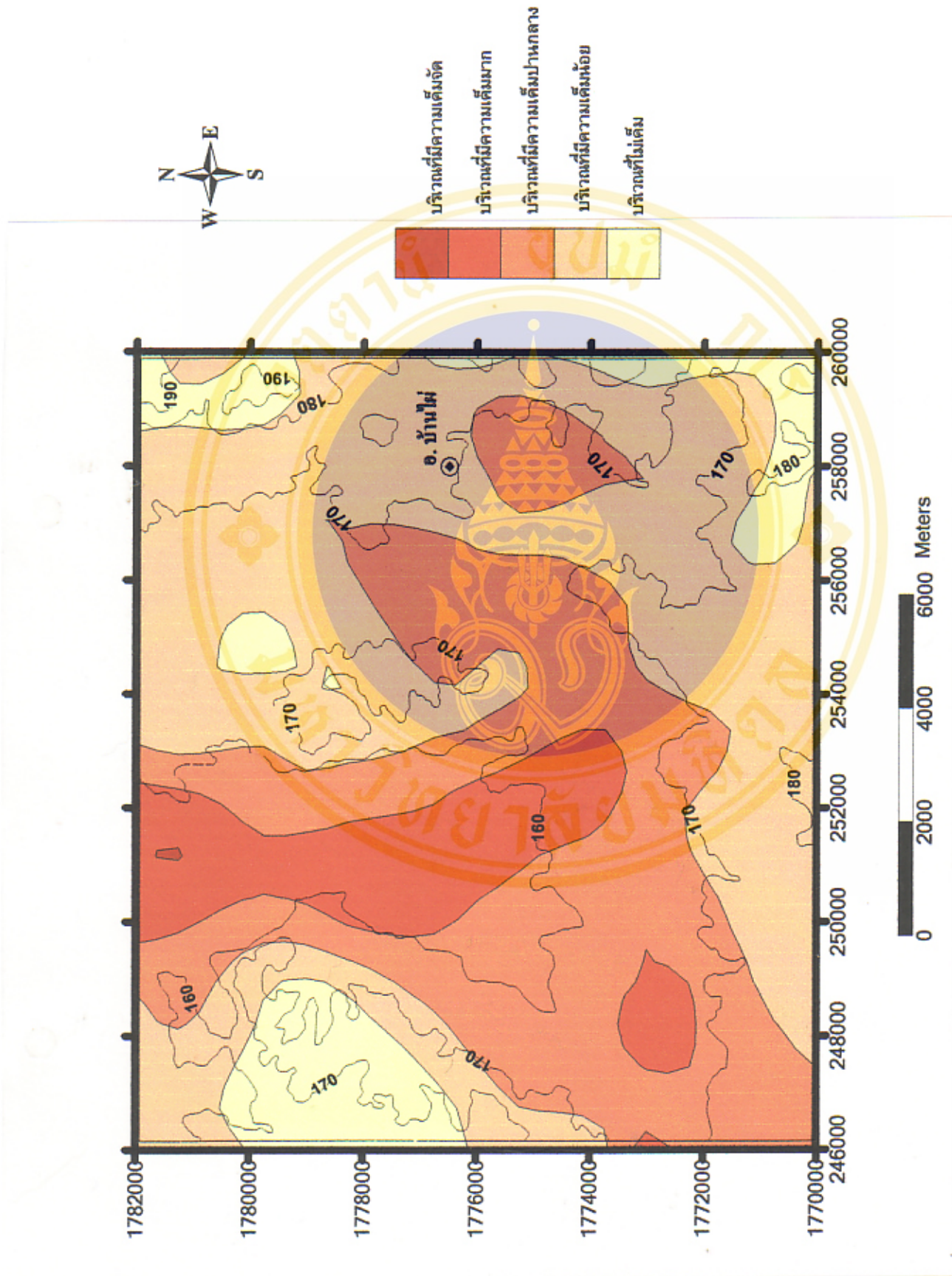
5.5.2.3 ลักษณะการกระจายตัวของระดับความรุนแรงของความเค็มของดิน จากข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บ 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-30 เมตร

แผนที่แสดงระดับความรุนแรงของความเค็มของดิน ในภาพที่ 40 แสดงให้เห็นว่าที่ระดับความลึก 0-30 เมตร พื้นที่ส่วนใหญ่มีระดับความเค็มน้อยรองลงมาได้แก่เค็มปานกลาง ไม่เค็ม และเค็มมาก ตามลำดับ ลักษณะการกระจายตัวของระดับความเค็มมีความสัมพันธ์กับระดับความสูงของพื้นที่ศึกษาเช่นเดียวกับที่ระดับความลึก 0-7.5 และ 0-15 เมตร โดยเมื่อนำไปซ้อนทับกับแผนที่เส้นชั้นความสูงจะพบว่าบริเวณที่มีความเค็มมากถึงเค็มจัดจะปรากฏอยู่ในบริเวณที่มีพื้นที่ต่ำที่สุดในพื้นที่ศึกษา โดยมีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 151-160 เมตร ขณะที่บริเวณรอบนอกด้านทิศตะวันออกและทิศใต้ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความสูงที่สุดในพื้นที่ศึกษาคือ 181-190 เมตร จะเป็นบริเวณที่มีระดับความเค็มน้อยถึงน้อยมาก

จากลักษณะการกระจายตัวของระดับความรุนแรงของความเค็มของดิน ทั้ง 3 ระดับความลึก แสดงให้เห็นว่าระดับความสูงของพื้นที่มีความสัมพันธ์กับระดับความเค็มของชั้นดิน โดยพื้นที่ที่มีความเค็มมากถึงเค็มจัดจะปรากฏอยู่ในบริเวณที่ต่ำ ขณะที่พื้นที่ที่มีความเค็มน้อยถึงน้อยมากจะปรากฏในบริเวณที่สูง นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบความเค็มของชั้นดินในทั้ง 3 ระดับความลึกแล้ว พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ค่าความเค็มของดินจะเพิ่มขึ้นตามระดับความลึก มีเพียงบริเวณประมาณตอนกลางของพื้นที่ศึกษาที่ค่าความเค็มของดินลดลงตามระดับความลึก



ภาพท่ี 38 แผนท่ีแสดงระดับความรूंแรงของควมค้มของจ้ดในพ้ท่ีศีกษาท่ีระดับความลึก 0-7.5 เมตร



ภาพที่ 39 แผนที่แสดงระดับความรุนแรงของความเต็มของดินในพื้นที่ศึกษาที่ระดับความลึก 0-15 เมตร

5.6 ลักษณะการกระจายตัวของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้ง

นอกจากวิธีการประมาณค่าแบบคริกกิ้งจะให้ค่าประเมินที่มีความแม่นยำแล้วสิ่งที่สำคัญอีกประการหนึ่งก็คือ ในแต่ละจุดที่ทำการประมาณค่าจะมีค่าความแปรปรวนคริกกิ้ง (Kriging variance) ที่เกิดจากการคำนวณค่าในสมการคริกกิ้ง และสามารถนำมาหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้ง ซึ่งแสดงให้เห็นระดับความน่าเชื่อถือของค่าที่ประมาณได้ เมื่อนำค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้ง มาสร้างแผนที่ก็จะสามารถบ่งบอกถึงบริเวณพื้นที่ที่มีค่าประมาณที่น่าเชื่อถือมากน้อยต่างกัน โดยบริเวณที่มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้งต่ำจะเป็นบริเวณที่ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือสูง ในขณะที่บริเวณที่มีความส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้งสูงจะเป็นบริเวณที่ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือต่ำกว่า ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้ในการวางแผนการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมในจุดที่ข้อมูลมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสูง

5.6.1 ลักษณะการกระจายตัวของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้งของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 80 x 80 เมตร

5.6.1.1 ลักษณะการกระจายตัวของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้งของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร

แผนที่เส้นชั้นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้งของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร แสดงให้เห็นในภาพที่ 41 พบว่าตลอดทั้งพื้นที่ที่มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้ง ไม่แตกต่างกันนักโดยอยู่ช่วง 22-25 ลักษณะของแผนที่ปรากฏให้เห็นถึงพื้นที่สีเหลืองสลับอยู่ในพื้นที่ ลักษณะเช่นนี้เกิดจากการเก็บข้อมูลแบบตารางช่องกริดซึ่งมีความสม่ำเสมอของข้อมูล ทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้งไม่แตกต่างกัน

5.6.1.2 ลักษณะการกระจายตัวของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้งของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร

แผนที่เส้นชั้นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้งของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร แสดงให้เห็นในภาพที่ 42 พบว่าตลอดทั้งพื้นที่ที่มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้ง ไม่แตกต่างกันนักโดยอยู่ช่วง 15-18 ลักษณะของแผนที่ปรากฏให้เห็นถึงพื้นที่สีเหลืองสลับอยู่ในพื้นที่ ลักษณะเช่นนี้เกิดจากการเก็บข้อมูลแบบ

ตารางช่องกริดซึ่งมีความสม่ำเสมอของข้อมูล ทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ่งไม่แตกต่างกัน

5.6.1.3 ลักษณะการกระจายตัวของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ่งของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-30 เมตร

แผนที่เส้นชั้นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ่งของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 80 x 80 เมตร ในระดับความลึก 0-30 เมตร แสดงให้เห็นในภาพที่ 43 พบว่าตลอดทั้งพื้นที่มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ่ง ไม่แตกต่างกันนักโดยอยู่ช่วง 13-15 ลักษณะของแผนที่ปรากฏให้เห็นถึงพื้นที่ที่สีเหลืองสลับอยู่ในพื้นที่ ลักษณะเช่นนี้เกิดจากการเก็บข้อมูลแบบตารางช่องกริดซึ่งมีความสม่ำเสมอของข้อมูล ทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ่งไม่แตกต่างกัน

แผนที่เส้นชั้นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ่งของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 80 x 80 เมตร ในทั้ง 3 ระดับความลึก มีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งเกิดจากรูปแบบการเก็บข้อมูลในแบบตารางกริดที่ทำให้ข้อมูลมีความสม่ำเสมอ ความแตกต่างระหว่างค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ่งภายในระดับความลึกนั้นๆ จึงไม่แตกต่างกันนัก อย่างไรก็ตามจากแผนที่ที่ 41 ถึง 43 ได้แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ่ง ในแต่ละระดับความลึก โดย ที่ระดับความลึก 0-7.5 , 0-15 และ 0-30 เมตร ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ่งจะมีค่าอยู่ในช่วง 22-25 , 15-18 และ 13-15 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ่งลดลงตามระดับความลึก สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเมื่อพิจารณาถึงสมการค่าความแปรปรวนคริกกิ่ง ในสมการที่ 16 ดังนี้

$$\sigma_k^2 = \sum_{\alpha=1} \lambda_{\alpha} \gamma(v_{\alpha}, V) + \mu - \gamma(V, V)$$

จะเห็นได้ว่าค่าความแปรปรวนคริกกิ่งจะขึ้นอยู่กับ ค่าแวลูโอแกรมของระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่างกับจุดที่ต้องการประมาณค่า ที่อยู่ในพจน์ $\gamma(v_{\alpha}, V)$ และค่าแวลูโอแกรมของระยะห่างระหว่างจุดที่ต้องการประมาณค่า ที่อยู่ในพจน์ $\gamma(V, V)$ เนื่องจากการประมาณค่าในครั้งนี้เป็นแบบจุดในทั้ง 3 ระดับความลึก ดังนั้นในพจน์ $\gamma(V, V)$ จึงไม่มีผลต่อค่าความแปรปรวนคริกกิ่งคงเหลือแต่ค่าแวลูโอแกรมของระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่างกับจุดที่ต้องการประมาณค่าเท่านั้น ซึ่งมีผลแปรผันตรงกับค่าความแปรปรวนคริกกิ่ง

เมื่อพิจารณาถึงขนาดของตัวอย่างจะพบว่า ที่ระดับความลึก 0-30 เมตร จะมีขนาดตัวอย่างใหญ่ที่สุด รองลงมาได้แก่ ที่ระดับความลึก 0-15 เมตร และเล็กที่สุด ที่ระดับความลึก 0-7.5 เมตร ขนาดตัวอย่างที่ใหญ่กว่าจะมีความแปรปรวนน้อยกว่าตัวอย่างขนาดเล็กกว่า ส่งผลทำให้ค่าความแปรปรวนคริกกิ้งซึ่งแปรผันโดยตรงกับค่าแวลูโอแกรมของระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่างกับจุดที่ต้องการประมาณค่าของตัวอย่างขนาดใหญ่ จึงมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างขนาดเล็ก ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้งที่ระดับความลึก 0-30 เมตรจึงมีค่าน้อยที่สุด รองลงมาได้แก่ระดับความลึก 0-15 เมตร และ มากที่สุดที่ระดับความลึก 0-7.5 เมตร

5.6.2 ลักษณะการกระจายตัวของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้งของค่า นำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 1,000 x 1,000 เมตร

5.6.2.1 ลักษณะการกระจายตัวของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้งของค่า นำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร

แผนที่เส้นชั้นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้งของค่า นำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร แสดงให้เห็นในภาพที่ 44 พบว่าในบริเวณที่มีระดับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้ง 35-36 กระจายสลับอยู่กับค่าที่ระดับ 36-37 ลักษณะเช่นนี้เกิดจากการเก็บข้อมูลแบบตารางกริด ถ้าจุดที่ต้องการประมาณอยู่บริเวณกลางของตารางกริด ระยะห่างของข้อมูลที่ใช้ในการประมาณค่าจะอยู่ห่างกว่าระยะห่างของข้อมูลที่ประมาณค่าอยู่ใกล้ตารางกริดส่งผลให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้งในบริเวณนั้นจะมีค่าสูงกว่า ส่วนบริเวณที่มีค่ามากที่สุดคือ 38-40 ทางด้านบนของพื้นที่ เกิดจากการขาดข้อมูลในพิกัดที่ 251000 N 1782000E ทำให้การประมาณค่าในจุดที่ใกล้เคียงจากจุดดังกล่าวจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลที่อยู่ไกลออกไป ประกอบกับบริเวณดังกล่าวเป็นบริเวณขอบของพื้นที่ จึงส่งผลทำให้มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้งสูงขึ้นแตกต่างจากบริเวณอื่นๆ

5.6.2.2 ลักษณะการกระจายตัวของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้งของค่า นำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร

แผนที่เส้นชั้นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้งของค่า นำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร แสดงอยู่ในภาพที่

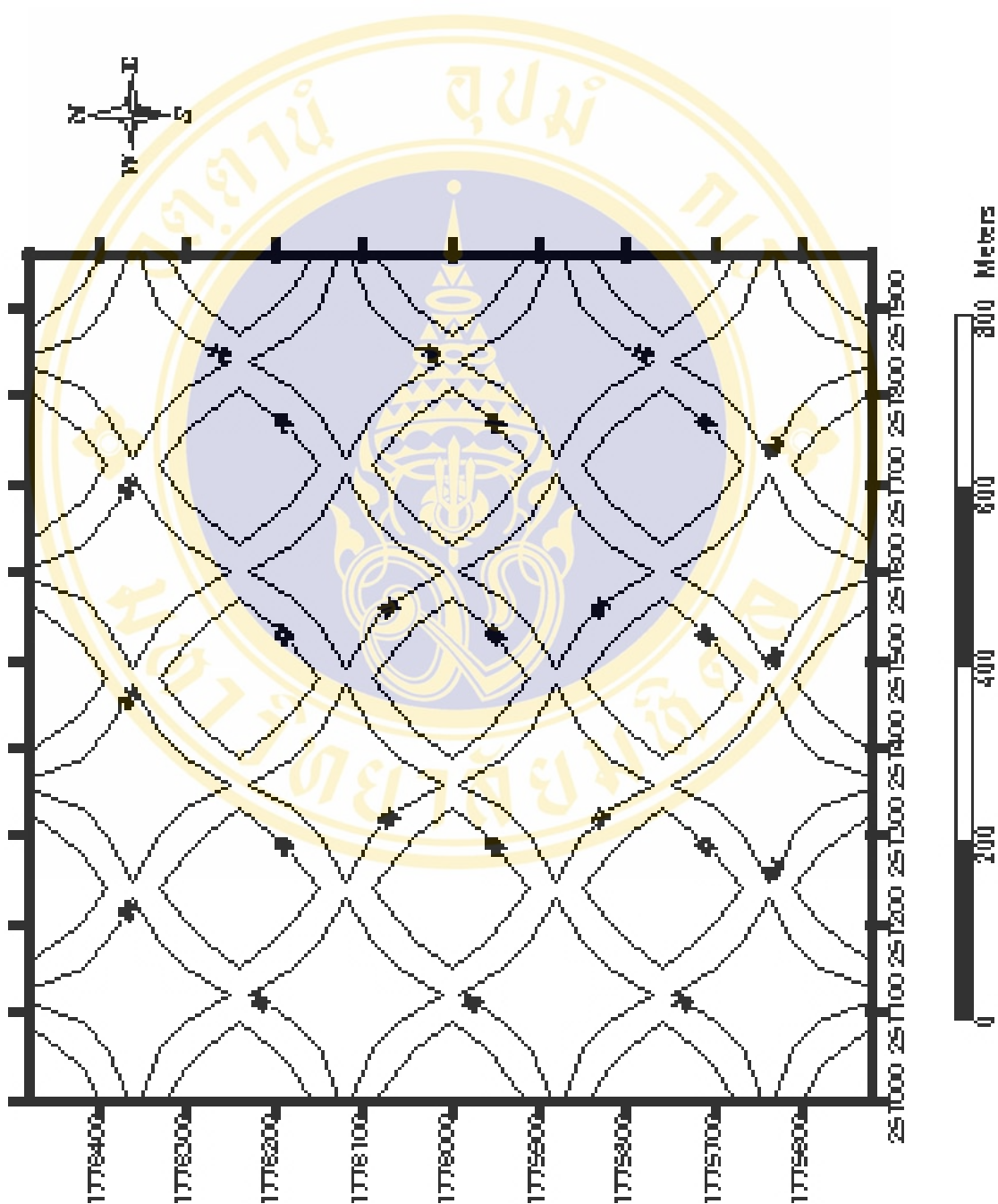
45 พบว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้งมีค่าในระดับที่ไม่แตกต่างกัน พื้นที่ส่วนใหญ่มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้งอยู่ในช่วง 33- 34 ที่เป็นเช่นนี้เกิดจากลักษณะของการเก็บข้อมูลแบบตารางช่องกริดซึ่งมีความสม่ำเสมอของข้อมูลจึงส่งผลให้ความแตกต่างระหว่างค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้งมีน้อย บริเวณพื้นที่ที่มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้งมากจะปรากฏอยู่บริเวณขอบของพื้นที่ เกิดขึ้นเนื่องจากการประมาณค่าของข้อมูลบริเวณขอบพื้นที่จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลที่อยู่ห่างออกไปไกลกว่าการประมาณค่าข้อมูลบริเวณด้านในของพื้นที่ซึ่งสามารถใช้ข้อมูลในการประมาณค่าจากบริเวณข้างเคียงที่อยู่ล้อมรอบได้ ทำให้บริเวณขอบทั้ง 4 ด้านของพื้นที่จึงมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้งสูงกว่าบริเวณพื้นที่ด้านใน ส่วนบริเวณที่มีค่ามากที่สุดคือ 36-37 ทางด้านบนของพื้นที่ เกิดจากการขาดข้อมูลในพิกัดที่ 251000 N 1782000E ทำให้การประมาณค่าในจุดที่ใกล้เคียงจากจุดดังกล่าวจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลที่อยู่ไกลออกไป ประกอบกับบริเวณดังกล่าวเป็นบริเวณขอบของพื้นที่ จึงส่งผลทำให้มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้งสูงขึ้นแตกต่างจากบริเวณอื่นๆ

5.6.2.3 ลักษณะการกระจายตัวของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้งของค่าน้ำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-30 เมตร

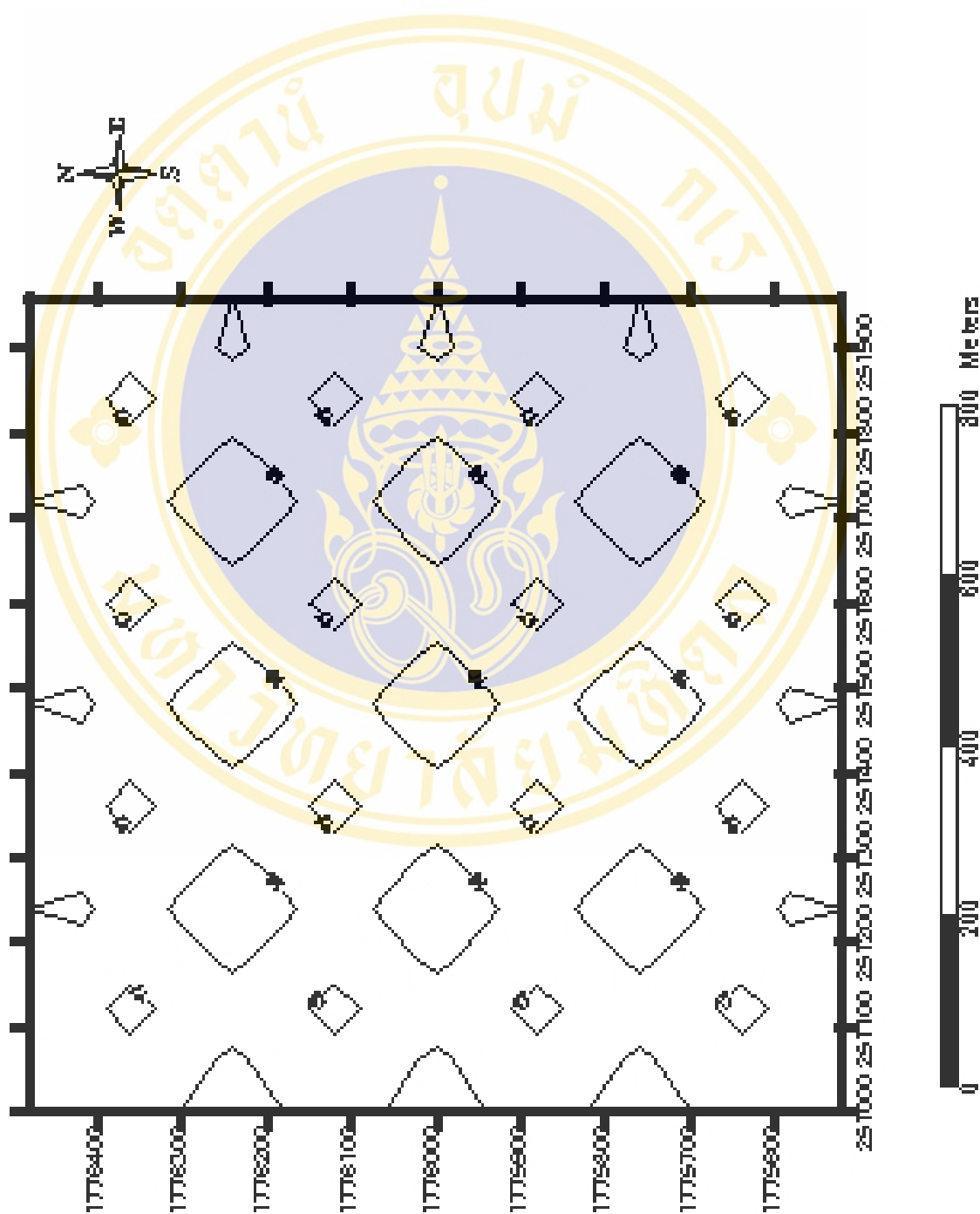
แผนที่เส้นชั้นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้งของค่าน้ำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-30 เมตร แสดงอยู่ในภาพที่ 46 พบว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้งมีค่าในระดับที่ไม่แตกต่างกัน พื้นที่ส่วนใหญ่มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้งอยู่ในช่วง 32-33 ที่เป็นเช่นนี้เกิดจากลักษณะของการเก็บข้อมูลแบบตารางช่องกริดซึ่งมีความสม่ำเสมอของข้อมูลส่งผลให้ความแตกต่างระหว่างค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้งมีน้อย บริเวณพื้นที่ที่มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้งมากจะปรากฏอยู่บริเวณขอบของพื้นที่ เกิดขึ้นเนื่องจากการประมาณค่าของข้อมูลบริเวณขอบพื้นที่จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลที่อยู่ห่างออกไปไกลกว่าการประมาณค่าข้อมูลบริเวณด้านในของพื้นที่ซึ่งสามารถใช้ข้อมูลในการประมาณค่าจากบริเวณข้างเคียงที่อยู่ล้อมรอบได้ ทำให้บริเวณขอบทั้ง 4 ด้านของพื้นที่จึงมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้งสูงกว่าบริเวณพื้นที่ด้านใน ส่วนบริเวณที่มีค่ามากที่สุดคือ 36-37 ทางด้านบนของพื้นที่ เกิดจากการขาดข้อมูลในพิกัดที่ 251000 N 1782000E ทำให้การประมาณค่าในจุดที่ใกล้เคียงจากจุดดังกล่าวจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลที่อยู่ห่างออกไป ประกอบกับบริเวณดังกล่าวเป็นบริเวณขอบของพื้นที่ จึงส่งผลทำให้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้งมีค่าสูงขึ้นแตกต่างจากบริเวณอื่นๆ

แผนที่เส้นชั้นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ่งของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 1,000 x 1,000 เมตร ในทั้ง 3 ระดับความลึก มีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งเกิดจากรูปแบบการเก็บข้อมูลในแบบตารางกริดที่ทำให้ข้อมูลมีความสม่ำเสมอ ความแตกต่างระหว่างค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ่งภายในระดับความลึกนั้นๆ จึงไม่แตกต่างกันนัก อย่างไรก็ตามจากแผนที่ที่ 44 - 46 ได้แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ่ง ในแต่ละระดับความลึก โดย ที่ระดับความลึก 0-7.5 ,0-15 และ 0-30 เมตร ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ่งจะมีค่าอยู่ในช่วง 35-36 , 33-34 และ 32-33 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ่งลดลงตามระดับความลึก เช่นเดียวกับชุดของข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บ 80 x 80 เมตร ซึ่งเกิดจากขนาดตัวอย่างที่ระดับความลึก 0-30 เมตร มีขนาดใหญ่ที่สุด ส่งผลให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ่งจึงมีค่าต่ำกว่า ในระดับความลึก 0-15 เมตรและ 0-7.5 เมตร ตามลำดับ

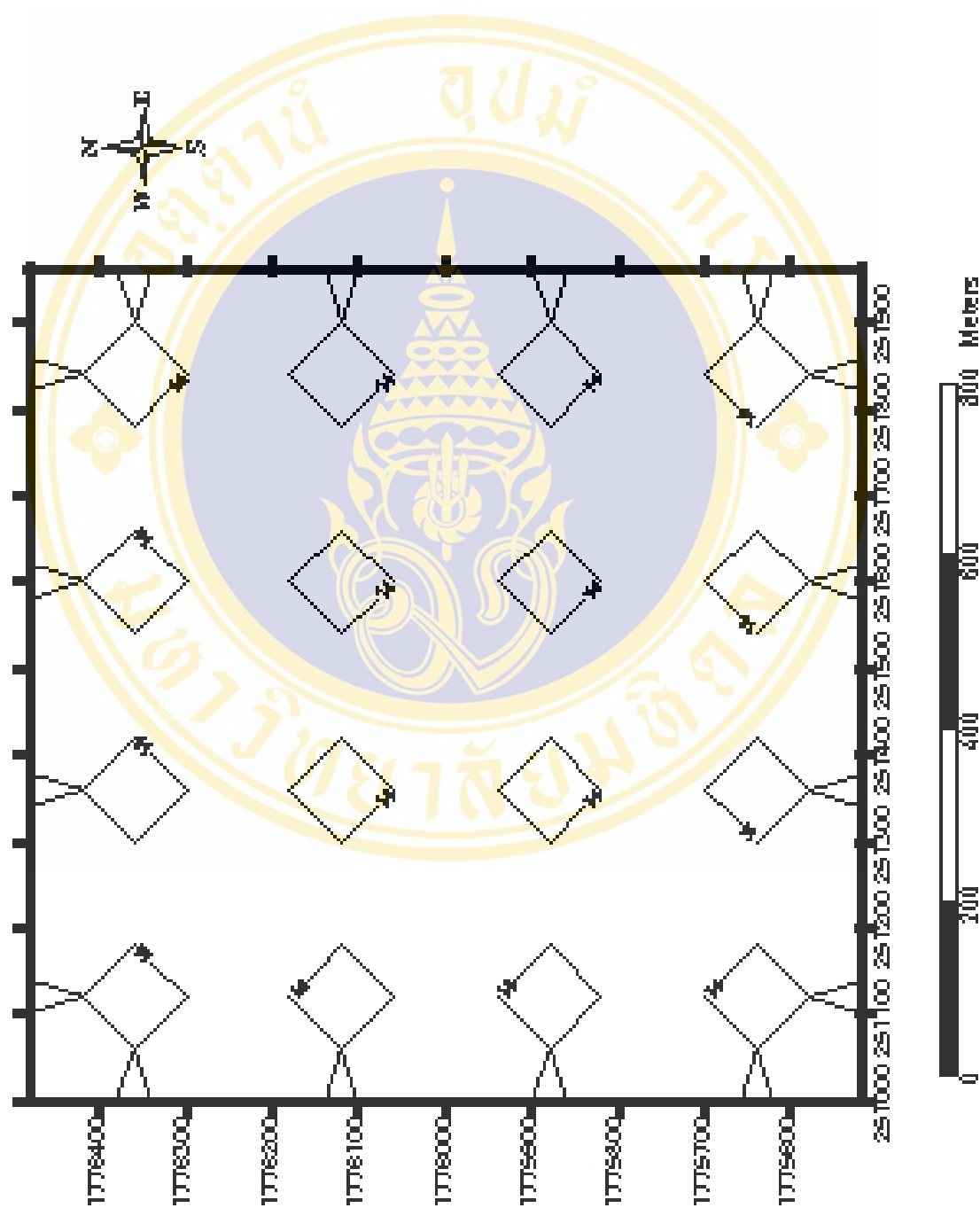
เมื่อเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ่งของข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1,000 x 1,000 เมตร กับข้อมูลชุด 80 x 80 เมตร พบว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ่งของข้อมูลชุด 1,000 x 1,000 เมตร มีค่ามากกว่าข้อมูลชุด 80 x 80 เมตร ในทุกระดับความลึก ผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากข้อมูลที่มีระยะห่าง 1,000 เมตร มีระยะห่างมากกว่า ส่งผลให้ข้อมูลมีความแตกต่างกันมากกว่า ค่าแวลูโอแกรมระหว่างจุดเก็บตัวอย่างและจุดที่ต้องการประมาณค่าจึงมีค่าสูง ทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ่งซึ่งแปรผันโดยตรงกับค่าแวลูโอแกรมดังกล่าว มีค่าสูงกว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ่งของข้อมูลในชุด 80x 80 เมตร



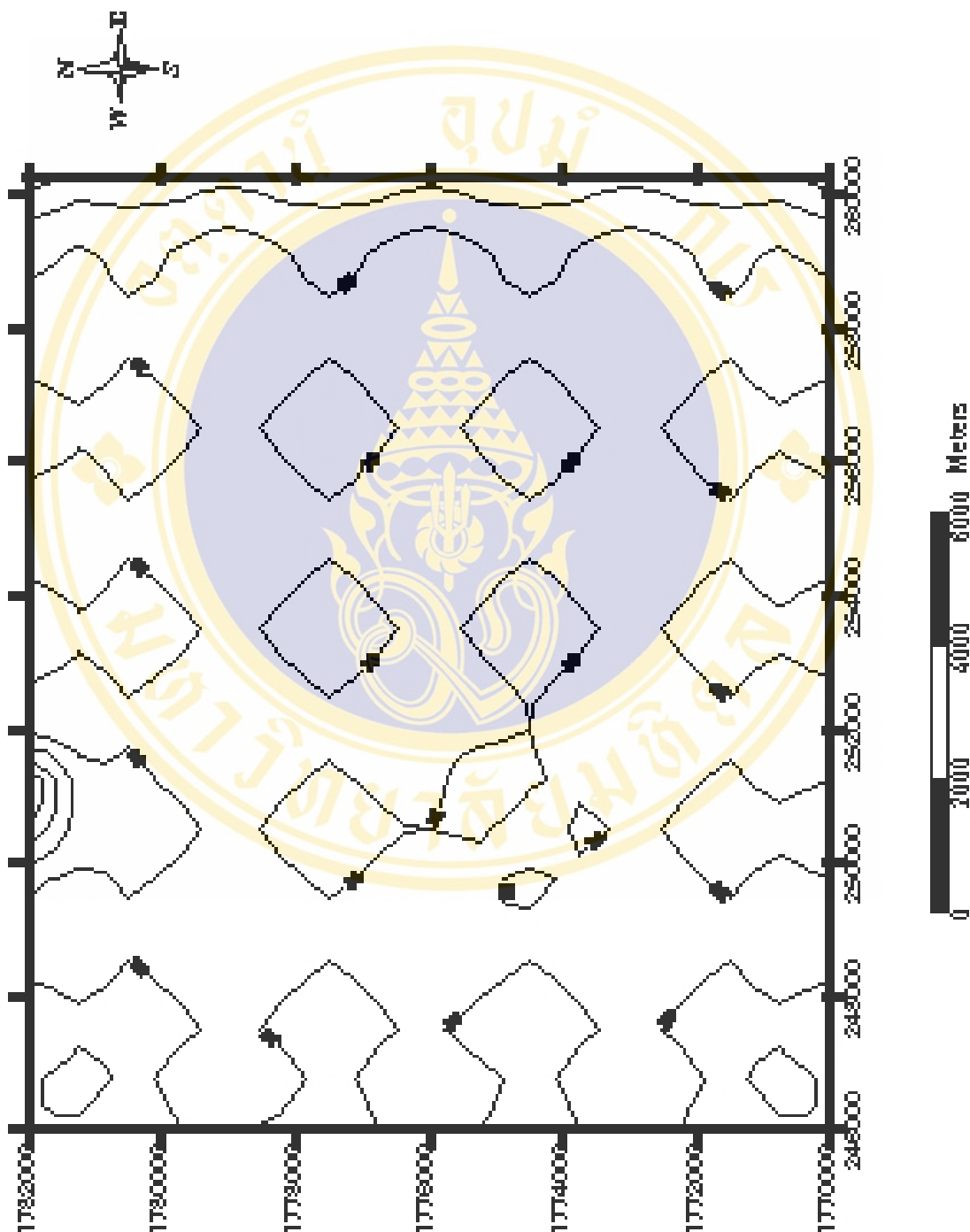
ภาพที่ 41 แผนผังพื้นที่ปลูกต้นกล้วยในแปลงทดลองขนาด 30 x 30 เมตร ในระดั้มากาบเล็ก 0-1.5 เมตร



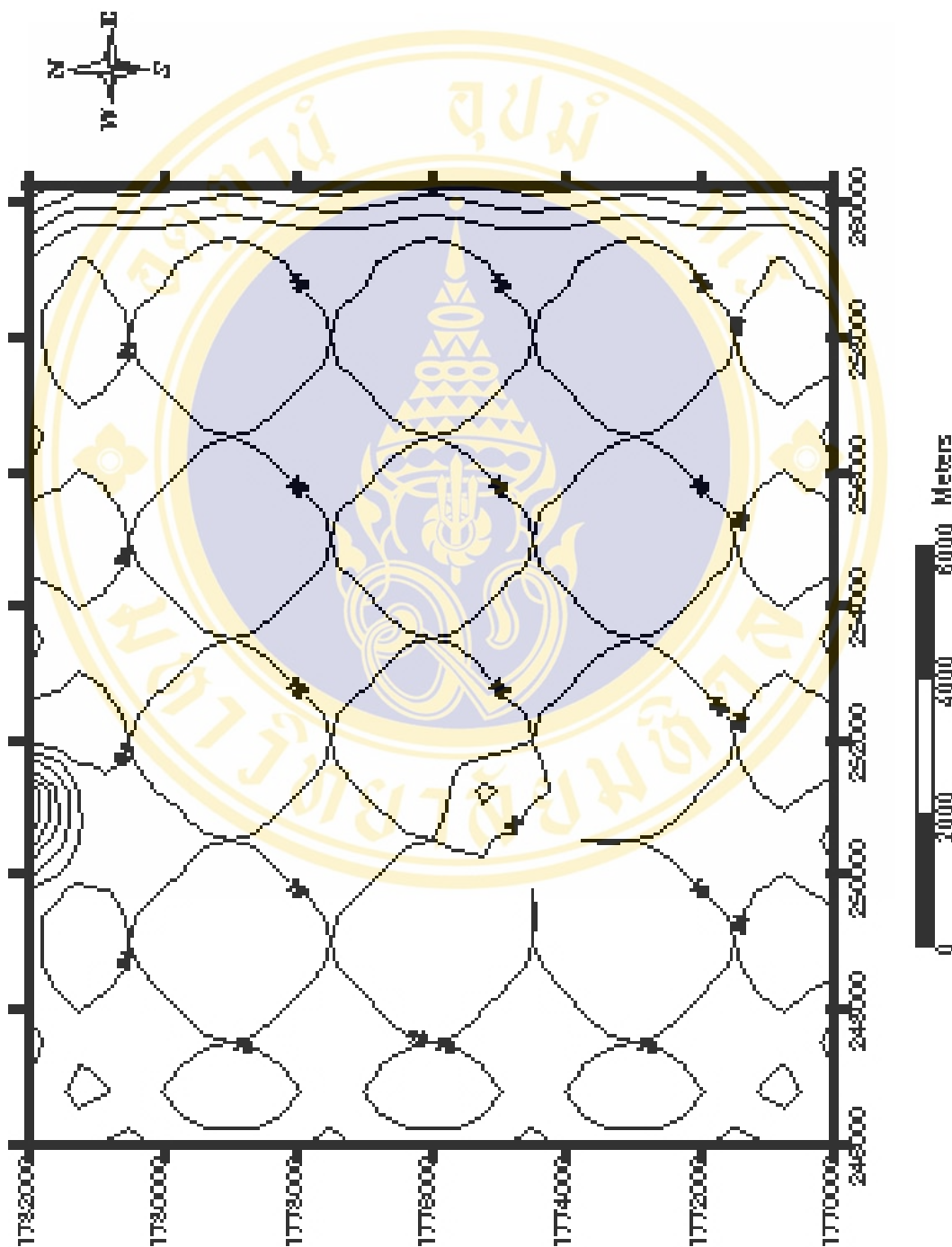
ภาพที่ 42 แผนผังพื้นที่ส่วนหนึ่งของแผนผังอาคารที่ 42 ซึ่งมีระยะห่างระหว่างจุด 80 x 80 เมตร ในระดับความสูง 0-15 เมตร



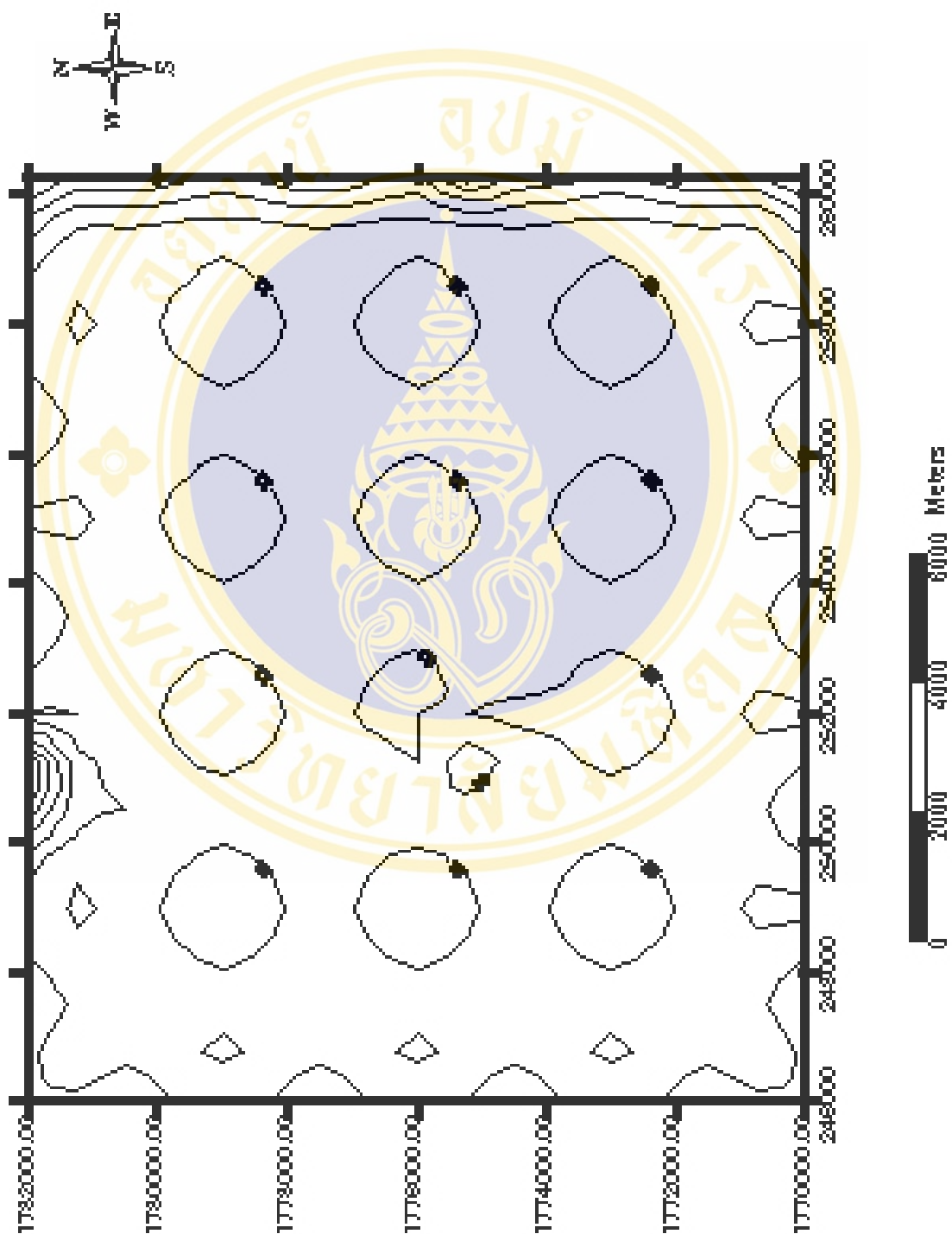
ภาพที่ 45 แผนผังพื้นที่แปลงปลูกข้าว 45 ไร่ ขนาดพื้นที่รวม 80 x 80 เมตร ในระดับความสูง 0-50 เมตร



ภาพที่ 44 แผนที่เส้นชั้นค่าส่วนสูงของมาตุภูมิของพื้นที่ศึกษาที่มีระยะห่างจุด 1,000 ± 1,000 เมตร ในระดับความสูง 0-7.5 เมตร



ภาพที่ 43 แผนที่เส้นชั้นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่คิดถึงของค่า $\ln C_v$ ที่ใช้ระยะเวลาทำประมาณ 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-13 เมตร



ภาพที่ ๔๘ แผนที่ฐานแผนที่ภูมิประเทศของท่า อ.๘๖ ที่มีระยะห่างระหว่างจุด 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความสูง 0-50 เมตร

5.7 อภิปรายผลการศึกษา

5.7.1 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ในพื้นที่ศึกษา

5.7.1.1 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่ระดับความลึก 0-7.5 เมตร

ข้อมูลจากเวรีโอแกรมแสดงให้เห็นว่าค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่ระดับความลึก 0-7.5 เมตร มีการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ในแต่ละระยะทางและทิศทางแตกต่างกันออกไป โดยเวรีโอแกรมทั้ง 2 ชุดอันได้แก่ข้อมูลที่มีจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 เมตร และข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่าง 1,000 x 1,000 เมตร ต่างแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ที่มีต่อระยะทาง โดยเวรีโอแกรมจากจุดเก็บตัวอย่างที่มีระยะห่างระหว่างจุด 80 x 80 เมตร สามารถเข้าได้กับแบบจำลองเอ็กซ์โพเนนเชียลและแสดงให้เห็นถึงระยะอิทธิพล ที่ประมาณ 450-750 เมตร ขณะเดียวกันเวรีโอแกรมของข้อมูลที่มีระยะห่าง 1,000 x 1,000 เมตร เข้าได้ดีกับแบบจำลองสเฟียร์คัลได้ปรากฏค่าระยะอิทธิพลที่ระยะ 4,300 เมตร และค่าความแปรปรวนนักเกิดที่ปรากฏอยู่ในเวรีโอแกรม ชุด 1,000 x 1,000 เมตร มีสาเหตุส่วนหนึ่งมาจากการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของข้อมูลในระยะที่ต่ำกว่า 1,000 เมตร ซึ่งได้แสดงออกมาเป็นค่าระยะอิทธิพลของข้อมูลชุด 80 x 80 เมตร

5.7.1.2 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่ระดับความลึก 0-15 เมตร

ข้อมูลจากเวรีโอแกรมแสดงให้เห็นว่าค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่ระดับความลึก 0-15 เมตร มีการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ในแต่ละระยะทางและทิศทางแตกต่างกันออกไป โดยเวรีโอแกรมทั้ง 2 ชุดอันได้แก่ข้อมูลที่มีจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 เมตร และข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่าง 1,000 x 1,000 เมตร ต่างแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ที่มีต่อระยะทาง โดยเวรีโอแกรมจากจุดเก็บตัวอย่างที่มีระยะห่างระหว่างจุด 80 x 80 เมตร แสดงให้เห็นถึงระยะอิทธิพล ที่ประมาณ 400-600 เมตร ขณะเดียวกันเวรีโอแกรมของข้อมูลที่มีระยะห่าง 1,000 x 1,000 เมตร ได้ปรากฏค่าระยะอิทธิพลที่ระยะ 4,600 เมตร และค่าความแปรปรวนนักเกิดที่ปรากฏอยู่ในเวรีโอแกรม ชุด 1,000 x 1,000 เมตร มีสาเหตุส่วนหนึ่งมาจากการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของข้อมูลในระยะที่ต่ำกว่า 1,000 เมตร ซึ่งได้แสดงออกมาเป็นค่าระยะอิทธิพลของข้อมูลชุด 80 x 80 เมตร

5.7.1.3 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของค่านาไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่ระดับความลึก 0-30 เมตร

ข้อมูลจากแวนไอแกรมแสดงให้เห็นว่าค่านาไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่ระดับความลึก 0-30 เมตร มีการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ในแต่ละระยะทางและทิศทางแตกต่างกันออกไป โดยแวนไอแกรมทั้ง 2 ชุดอันได้แก่ข้อมูลที่มีจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 เมตร และข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่างเมตร 1,000 x 1,000 เมตร ต่างแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ที่มีต่อระยะทาง โดยแวนไอแกรมจากจุดเก็บตัวอย่างที่มีระยะห่างระหว่างจุด 80 x 80 เมตร แสดงให้เห็นถึงระยะอิทธิพล ที่ประมาณ 400 - 600 เมตร ขณะที่แบบจำลองแวนไอแกรมของข้อมูลชุด 1,000 x 1,000 เมตร แสดงให้เห็นค่าระยะอิทธิพลที่ระยะ 5,100 เมตร นอกจากนี้ค่าความแปรปรวนนักเกิดที่ปรากฏอยู่ในแวนไอแกรมนี้น่าจะมีสาเหตุส่วนหนึ่งมาจากการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของข้อมูลในระยะที่ต่ำกว่า 1,000 เมตร เมตร ซึ่งได้แสดงออกมาเป็นค่าระยะอิทธิพลของข้อมูลชุด 80 x 80 เมตร

การที่แวนไอแกรมค่านาไฟฟ้าของชั้นดินในสนามในทั้ง 3 ระดับความลึกได้แสดงให้เห็นถึงลักษณะความเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ซึ่งปรากฏอยู่ในทั้งสองระดับ (Scale) ลักษณะเช่นนี้เป็นไปตามหลักการทางธรณีสถิติที่ความแตกต่างระหว่างค่าตัวแปรใดๆอาจเกิดจากหลายสาเหตุหรือหลายโครงสร้าง แวนไอแกรมจะแสดงให้เห็นในลักษณะของโครงสร้างที่ทับซ้อนกัน (Nested structure) (Journel และ Huijbregts, 1978) แต่ในงานวิจัยทางด้านดินเค็มที่ผ่านมาในลักษณะโครงสร้างทับซ้อนดังกล่าวจะถูกพบในรูปของค่าความแปรปรวนนักเกิด (Soderstrom, 1992) ซึ่งอาจเกิดจากลักษณะของโครงสร้างทับซ้อนหรืออาจเกิดจากความผิดพลาดในการเก็บตัวอย่างข้อมูลก็ได้ ผลจากการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นอย่างเด่นชัดว่าเกิดลักษณะของโครงสร้างทับซ้อนโดยพิจารณาจากการที่แวนไอแกรมทั้ง 2 ระดับ มีโครงสร้างที่ชัดเจน เช่นเดียวกับงานวิจัยในหลายสาขาที่นำธรณีสถิติเข้าไปใช้ ได้แสดงให้เห็นถึงลักษณะเหล่านี้อย่างเด่นชัด โดย A. Marechal และ P. Roullier (1975) ได้ทำการศึกษาการสะสมตัวของ bauxite ในประเทศฝรั่งเศส เก็บตัวอย่างใน 2 ระดับ คือที่ระยะห่าง 100 x 100 เมตร และเก็บในพื้นที่ย่อยที่ระยะห่าง 2 และ 10 เมตร พบว่าแบบจำลองแวนไอแกรมของข้อมูลที่มีระยะห่าง 100 เมตร ปรากฏค่าระยะอิทธิพลที่ระยะ 250 เมตร ขณะที่แบบจำลองแวนไอแกรมในพื้นที่ย่อยแสดงให้เห็นถึงระยะอิทธิพลในระยะ 20 เมตร แสดงให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ในระดับ ที่แตกต่างกัน เช่นเดียวกัน P. Goovarts และ R. Webster (1994) ทำการศึกษาการกระจายตัวของโคบอลต์ ในประเทศ สก๊อตแลนด์ พบว่าแวนไอแกรมที่ได้มีลักษณะของแบบจำลองสเฟียริคัล 2 อันซ้อนทับกัน โดยในโครงสร้างแรกมีระยะอิทธิพล 1.5 กิโลเมตร และในโครงสร้างที่ 2 มีระยะอิทธิพลเท่ากับ 20 กิโลเมตร ระยะอิทธิพลในโครงสร้างแรก

เกิดจากความแตกต่างกันของรูปแบบการจัดการฟาร์มที่อยู่ภายในพื้นที่ศึกษา ขณะที่ระยะอิทธิพลที่ 20 กิโลเมตรเกิดจากความแตกต่างของลักษณะทางธรณีวิทยาซึ่งส่งผลต่อวัตุดินกำเนิดดิน

นอกจากนี้ลักษณะความเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ในทั้ง 3 ระดับความลึก ยังได้แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างกันไปในแต่ละทิศทาง แบบจำลองเวรีโอแกรมที่ได้จากข้อมูลที่มีระยะห่าง 1,000 x 1,000 เมตร มีค่าความแปรปรวนคงที่มากที่สุดในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ ขณะที่ในทิศตะวันออก-ตะวันตกและตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ มีค่าความแปรปรวนคงที่เท่ากัน และในทิศเหนือ-ใต้ เป็นทิศที่มีค่าความแปรปรวนคงที่ต่ำสุด ความแตกต่างของค่าความแปรปรวนคงที่ในแต่ละทิศทางแสดงให้เห็นว่าค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ในพื้นที่ศึกษามีลักษณะของ Zonal anisotropy เมื่อพิจารณาจากข้อมูลลักษณะทางกายภาพในพื้นที่ พบว่าลักษณะเนื้อดินที่เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก เป็นดินร่วนปนทรายเกือบทั้งพื้นที่ศึกษา เช่นเดียวกับลักษณะทางธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษาซึ่งถูกปกคลุมด้วยหินทรายในหมวดมหาสารคาม โดยมีตะกอนยุคควอเตอร์นารีอยู่ด้านบนและชั้นหินเกลือปรากฏอยู่ด้านล่างเหมือนกันตลอดทั้งพื้นที่ จากการศึกษาของ Dissatapon และคณะ (2002) ทำการประเมินพื้นที่ที่เกิดดินเค็มบริเวณจังหวัดนครราชสีมาที่ ด้วยเครื่อง EM 34 เช่นเดียวกัน พบว่าในพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยหินทรายในหมวดมหาสารคาม ค่า นำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม จะเปลี่ยนแปลงตามเส้นชั้นความสูงของพื้นที่ โดยในบริเวณพื้นที่ต่ำจะมีค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม สูงและค่อยๆลดลงเมื่อระดับพื้นที่สูงขึ้น และเมื่อพิจารณาแผนที่เส้นชั้นความสูงของพื้นที่ศึกษา พบว่า การเปลี่ยนแปลงของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ในทิศทางต่างๆ มีความสอดคล้องกับ การเปลี่ยนแปลงของระดับความสูงภายในพื้นที่ศึกษา โดยในทิศทางที่มีค่าความแปรปรวนคงที่มากที่สุด จะเป็นทิศที่มีระดับการเปลี่ยนแปลงของระดับความสูงมากที่สุด ซึ่งก็คือ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ ขณะที่ทิศที่มีค่าความแปรปรวนคงที่น้อยที่สุดจะมีการเปลี่ยนแปลงของระดับความสูงน้อยที่สุดได้แก่ ทิศเหนือ-ใต้ สาเหตุเนื่องจากอิทธิพลของปริมาณเกลือในพื้นที่ศึกษา ซึ่งบริเวณชั้นหินด้านล่างของพื้นที่ศึกษามีโดมเกลือปรากฏอยู่ (58) เมื่อฝนตกน้ำฝนจะไหลเข้าไปละลายเกลือที่อยู่ด้านล่างและแทรกซึมขึ้นมาตามรอยแยก และสะสมตัวอยู่ในบริเวณพื้นที่ต่ำ จึงส่งผลให้ระดับค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม บริเวณที่ระดับความสูงแตกต่างกันมีค่าแตกต่างกัน

5.7.2 การประยุกต์วิธีธรณีสถิติมาใช้กับงานด้านดินเค็ม

การประมาณค่าแบบคริกกิงเป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับว่ามีผลการประมาณค่าที่มีอคติน้อยที่สุด สิ่งสำคัญที่ส่งผลต่อความแม่นยำในการประมาณค่าแบบคริกกิงก็คือแบบจำลองเวรีโอแกรมที่ได้มาจากลักษณะการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของข้อมูลนั้นๆ จะพบว่าข้อมูลบางชุดไม่สามารถนำมาใช้กับการประมาณค่าแบบคริกกิงได้เนื่องจากข้อมูลไม่มีความสัมพันธ์กันในเชิงพื้นที่ โดยเวรีโอแกรมที่ได้จะมีลักษณะกระจายไม่เป็นรูปร่าง หรือที่เรียกว่าแบบจำลองแบบสุ่ม (pure nugget effect) ซึ่งอาจเกิดจาก ระยะที่เก็บตัวอย่างอยู่ห่างกันจนเกินระยะที่ข้อมูลมีความสัมพันธ์กัน หรืออาจเกิดจากจำนวนข้อมูลที่มีน้อยเกินไป ซึ่งงานวิจัยในอดีตเกี่ยวกับงานด้านดินเค็มก็ปรากฏลักษณะดังกล่าว เช่น T. J. Keck และคณะ (1993) ได้ศึกษาลักษณะการกระจายตัวของค่าน้ำไฟฟ้าของสารละลายดินที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (EC_e) ในดินที่ผ่านการทำให้แห้ง ด้วยวิธีทางธรณีสถิติ เพื่อสร้างแผนที่การกระจายตัวของค่าน้ำไฟฟ้าของสารละลายดินที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ พบว่าค่าเวรีโอแกรมที่ได้มีการกระจาย เป็นลักษณะของแบบจำลองแบบสุ่ม แสดงให้เห็นว่าข้อมูลที่ได้ไม่มีความสัมพันธ์กัน และไม่สามารถนำมาใช้ประมาณค่าด้วยวิธีคริกกิง ผลที่ได้นี้น่าจะเกิดจาก จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนั้นมีเพียง 55 ตัวอย่าง ซึ่งอาจจะน้อยเกินไป ทำให้เวรีโอแกรมที่ได้ไม่แสดงรูปแบบที่ชัดเจน และในการศึกษานี้ก็ประกอบด้วยข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่างจุด 1,000 x 1,000 เมตร ซึ่งนับได้ว่าเป็นข้อมูลที่มีระยะห่างมาก อาจส่งผลทำให้ข้อมูลที่เก็บมาไม่มีความสัมพันธ์ในเชิงพื้นที่ อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาแสดงให้เห็นอย่างเด่นชัดว่า ค่าน้ำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ในพื้นที่ศึกษามีความสัมพันธ์กันในระยะ 4,300 4,600 และ 5,100 เมตร ที่ระดับความลึก 0-7.5 ,0-15 และ 0-30 เมตร ตามลำดับ ดังนั้นการนำวิธีธรณีสถิติและคริกกิงมาใช้ประมาณค่าน้ำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม จึงให้ผลที่ดีกว่าการประมาณค่าแบบอื่นที่ไม่ได้คำนึงถึงลักษณะความสัมพันธ์ที่ข้อมูลในแต่ละจุดมีต่อกัน และระยะห่างในการเก็บข้อมูลค่า

นอกจากค่าประมาณที่แม่นยำที่ได้จากการประมาณค่าด้วยวิธีคริกกิงแล้ว สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งที่ได้จากวิธีทางธรณีสถิติ ได้แก่ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิง ซึ่งเป็นค่าที่สามารถนำมากำหนดระดับความเชื่อมั่นของค่าที่ประเมินได้ และยังมีประโยชน์ในการใช้กำหนดจุดเก็บข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น โดยในบริเวณที่มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมากกว่าบริเวณอื่นจะเป็นบริเวณที่แสดงให้เห็นว่าค่าประมาณตรงนั้นมีความน่าเชื่อถือน้อยกว่าจุดอื่น ผลการศึกษานี้พบว่าแผนที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิงของทั้งข้อมูลชุด 80 x 80 เมตร และ

1,000 x 1,000 เมตร ในทั้ง 3 ระดับความลึก มีลักษณะเหมือนกัน คือ ค่าที่ได้ภายในแผ่นที่ไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งเป็นผลมาจากการเก็บข้อมูลแบบตารางกริด ทำให้ข้อมูลที่ได้มีความสม่ำเสมอ ส่งผลให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้งมีค่าไม่แตกต่างกันตลอดทั้งพื้นที่ อย่างไรก็ตามจากการที่ข้อมูลชุด 1,000 x 1,000 เมตร ขาดข้อมูลในพิกัดที่ 251000 N 1782000E ส่งผลให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้งในบริเวณนั้นมีค่ามากกว่าบริเวณอื่นอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นถ้ากรณีที่มีการเก็บข้อมูลมีลักษณะเป็นแบบสุ่ม ที่ข้อมูลไม่สม่ำเสมอ แผ่นที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้งจะเป็นสิ่งที่ช่วยกำหนดจุดที่ควรทำการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมได้เป็นอย่างดี

5.7.3 อิทธิพลของขนาดตัวอย่าง

5.7.3.1 อิทธิพลของขนาดตัวอย่างต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 เมตร และ 1,000 x 1,000 เมตร ลดลงตามระดับความลึก ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของขนาดตัวอย่าง เนื่องจากหลักการทำงานของเครื่อง EM 34 ที่ใช้หลักการเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยการวางห้วงรับ-ส่งสัญญาณในระยะทางที่แตกต่างกัน ทำให้ขนาดตัวอย่างที่ได้มีขนาดที่แตกต่างกัน ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร จะมีระยะห่างในการวางห้วงรับ-ส่งสัญญาณเท่ากับ 10 เมตร และที่ระดับความลึก 0-15 และ 0-30 เมตร ระยะห่างของห้วงจะเท่ากับ 20 และ 40 เมตร ตามลำดับ ดังนั้นขนาดตัวอย่างจึงมีขนาดเท่ากับ 7.5 x 10 เมตร 15 x 20 เมตร และ 30 x 40 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 ,0-15 และ 0-30 เมตร ตามลำดับ ขนาดตัวอย่างที่ใหญ่กว่าจะส่งผลทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าน้อยกว่า ดังนั้นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลทั้งในชุด 80 x 80 เมตร และ 1,000 x 1,000 เมตร มีค่าลดลงตามระดับความลึก

5.7.3.2 อิทธิพลของขนาดตัวอย่างต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้ง

จากผลการศึกษาพบว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้งของข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 เมตร และ 1,000 x 1,000 เมตร มีค่าลดลงตามระดับความลึก ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของขนาดตัวอย่างที่มีต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้ง เมื่อพิจารณาสมการความแปรปรวนคริกกิ้ง ในสมการที่ 16 จะพบว่าค่าของความแปรปรวนคริกกิ้งจะแปรผันตรงกับค่าแวนไอแกรมของระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่างกับจุดที่ต้องการประมาณค่า และแปรผกผันกับค่าแวนไอแกรมของระยะห่างภายในจุดที่ต้องการประมาณค่า

แต่เนื่องจากการประมาณค่าคริกกิ้งในครั้งนี้เป็นการประมาณค่าในแบบจุดในทุกระดับความลึก ดังนั้นค่าแวลูโอแกรมของระยะห่างภายในจุดที่ต้องการประมาณค่าจึงไม่มีผลต่อค่าความแปรปรวนคริกกิ้ง คงเหลือแต่ค่าแวลูโอแกรมของระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่างกับจุดที่ต้องการประมาณค่า เมื่อพิจารณาถึงขนาดของตัวอย่างจะพบว่า ที่ระดับความลึก 0-30 เมตร จะมีขนาดตัวอย่างใหญ่ที่สุด รองลงมาได้แก่ ที่ระดับความลึก 0-15 เมตร และเล็กที่สุด ที่ระดับความลึก 0-7.5 เมตร ขนาดตัวอย่างที่ใหญ่กว่าจะมีความแปรปรวนน้อยกว่าตัวอย่างขนาดเล็กกว่า ส่งผลทำให้ค่าความแปรปรวนคริกกิ้งซึ่งแปรผันโดยตรงกับค่าแวลูโอแกรมของระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่างกับจุดที่ต้องการประมาณค่าของตัวอย่างขนาดใหญ่ จึงมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างขนาดเล็ก ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้งที่ระดับความลึก 0-30 เมตรจึงมีค่าน้อยที่สุด รองลงมาได้แก่ระดับความลึก 0-15 เมตร และ มากที่สุดที่ระดับความลึก 0-7.5 เมตร ดังนั้นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคริกกิ้งของข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ชุด 80 x 80 และ 1,000 x 1,000 เมตร จึงลดลงตามระดับความลึก

บทที่ 6

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษาการประยุกต์ใช้วิธีธรณีสถิติในการศึกษาคำนำไฟฟ้าชั้นดินในสนามบริเวณ อำเภอบ้านไผ่ จังหวัดขอนแก่น สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

6.1.1 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของคำนำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม

คำนำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 เมตร และ 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5, 0-15 และ 0-30 เมตร มีการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ต่อระยะทางและทิศทาง (Anisotropy) แวรีโอแกรมในทั้ง 2 ระดับ (Scale) แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างทับซ้อน (Nest structure) โดยแวรีโอแกรมข้อมูลคำนำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามชุด 80 x 80 เมตร ทั้ง 3 ระดับความลึก เข้าได้ดีกับแบบจำลองเอ็กซ์โปเนนเชียล มีค่าความแปรปรวนคงที่และค่าระยะอิทธิพล ในทิศทางต่างๆแตกต่างกันไป เช่นเดียวกับแวรีโอแกรมของข้อมูลชุด 1,000 x 1,000 เมตร ทั้ง 3 ระดับความลึก สามารถเข้าได้ดีกับแบบจำลองสเฟียริคัล และมีค่าความแปรปรวนคงที่แตกต่างกันไปในแต่ละทิศทาง ซึ่งสอดคล้องกับทิศทางการเปลี่ยนแปลงของระดับความสูงภายในพื้นที่ศึกษา โดยค่าความแปรปรวนคงที่มีค่ามากที่สุด ในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ เช่นเดียวกับระดับความสูงในพื้นที่ศึกษาซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงค่อยๆลาดจากทิศตะวันออกเฉียงใต้ลงสู่ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ขณะที่ในทิศเหนือ-ใต้ ซึ่งเป็นทิศที่มีค่าความแปรปรวนคงที่น้อยที่สุดนั้นก็เป็นที่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับความสูงในพื้นที่น้อยที่สุดเช่นกัน ลักษณะเช่นนี้เกิดจากอิทธิพลของปริมาณเกลือในพื้นที่ศึกษา ซึ่งบริเวณชั้นหินด้านล่างของพื้นที่ศึกษามีโดมเกลือปรากฏอยู่ เมื่อฝนตกน้ำฝนจะไหลเข้าไปละลายเกลือที่อยู่ด้านล่างและแทรกซึมขึ้นมาตามรอยแยก และสะสมตัวอยู่ในบริเวณพื้นที่ต่ำ จึงส่งผลให้ระดับคำนำไฟฟ้าของชั้นดิน

ในสนาม บริเวณที่ระดับความสูงแตกต่างกันมีค่าแตกต่างกัน ทำให้การเปลี่ยนแปลงค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามมีความสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงภายในพื้นที่

6.1.2 การประยุกต์ใช้วิธีธรณีสถิติและการประมาณค่าแบบคริกกิงกับค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ทั้งจากข้อมูลที่มีระยะห่าง 80 x 80 เมตร และ 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5, 0-15 และ 0-30 เมตร ที่ได้จากเครื่อง EM 34 สามารถนำมาใช้กับวิธีธรณีสถิติและการประมาณค่าแบบคริกกิงได้เป็นอย่างดี ค่าระยะอิทธิพลของแบบจำลองเวรีโอแกรมค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามแสดงให้เห็นว่า ข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่างที่มีระยะห่างระหว่างจุด 80 x 80 เมตร มีความสัมพันธ์กันถึงระยะประมาณ 400 ถึง 750 เมตร และข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่างที่มีระยะห่างระหว่างจุด 1,000 x 1,000 เมตร มีความสัมพันธ์กันจนถึงระยะประมาณ 4,300 ถึง 5,100 เมตร แสดงว่าข้อมูลทั้ง 2 ชุด มีความสัมพันธ์ในเชิงพื้นที่ ดังนั้นการวางแผนการเก็บตัวอย่างค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม แบบตารางกริด ทั้งในระยะห่าง 80 เมตร และ 1,000 เมตร ในพื้นที่ศึกษา จึงมีความเหมาะสมสามารถใช้ได้ดีกับวิธีการธรณีสถิติและการประมาณค่าแบบคริกกิง การวางแผนการเก็บตัวอย่างค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามจึงควรขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการวิจัยในแต่ละงาน

6.1.3 ลักษณะการกระจายตัวของระดับความรุนแรงของความเค็มของดิน ในพื้นที่ศึกษา

6.1.3.1 ลักษณะการกระจายตัวของระดับความรุนแรงของความเค็มของดิน จากข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บ 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-7.5 เมตร

แผนที่แสดงระดับความรุนแรงของความเค็มของดิน ที่ระดับความลึก 0-7.5 เมตร แสดงให้เห็นว่า พื้นที่ส่วนใหญ่มีระดับความเค็มน้อยรองลงมาได้แก่ไม่เค็ม เค็มปานกลาง เค็มมาก และเค็มจัด ตามลำดับ โดยลักษณะการกระจายตัวของระดับความเค็มมีความสัมพันธ์กับระดับความสูงของพื้นที่ศึกษา สังเกตได้จากเมื่อนำไปซ้อนทับกับแผนที่เส้นชั้นความสูงพบว่าบริเวณที่มีความเค็มมากถึงเค็มจัดจะปรากฏอยู่ในบริเวณที่มีพื้นที่ต่ำที่สุดในพื้นที่ศึกษา มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 151-160 เมตร ขณะที่บริเวณรอบนอกด้านทิศตะวันออกและทิศใต้ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความสูงที่สุดในพื้นที่ศึกษาคือ 171-190 เมตร จะเป็นบริเวณที่มีระดับความเค็มน้อยถึงน้อยมาก

6.1.3.2 ลักษณะการกระจายตัวของระดับความรุนแรงของความเค็มของดิน จากข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บ 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-15 เมตร

แผนที่แสดงระดับความรุนแรงของความเค็มของดินที่ระดับความลึก 0-15 เมตร แสดงให้เห็นว่า พื้นที่ส่วนใหญ่มีระดับความเค็มน้อยรองลงมาได้แก่เค็มปานกลาง ไม่เค็ม เค็มมาก และเค็มจัด ตามลำดับ ลักษณะการกระจายตัวของระดับความเค็มมีความสัมพันธ์กับระดับความสูงของพื้นที่ศึกษาเช่นเดียวกับที่ระดับความลึก 0-7.5 เมตร เพราะเมื่อนำไปซ้อนทับกับแผนที่เส้นชั้นความสูงจะพบว่าบริเวณที่มีความเค็มมากถึงเค็มจัดจะปรากฏอยู่ในบริเวณที่มีพื้นที่ต่ำที่สุดในพื้นที่ศึกษา มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 151-160 เมตร ขณะที่บริเวณรอบนอกด้านทิศตะวันออกและทิศใต้ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความสูงที่สุดในพื้นที่ศึกษาคือ 181-190 เมตร จะเป็นบริเวณที่มีระดับความเค็มน้อยถึงน้อยมาก

6.1.3.3 ลักษณะการกระจายตัวของระดับความรุนแรงของความเค็มของดิน จากข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บ 1,000 x 1,000 เมตร ในระดับความลึก 0-30 เมตร

แผนที่แสดงระดับความรุนแรงของความเค็มของดินที่ระดับความลึก 0-30 เมตร แสดงให้เห็นว่า พื้นที่ส่วนใหญ่มีระดับความเค็มน้อยรองลงมาได้แก่เค็มปานกลาง ไม่เค็ม และเค็มมาก ตามลำดับ ลักษณะการกระจายตัวของระดับความเค็มมีความสัมพันธ์กับระดับความสูงของพื้นที่ศึกษาเช่นเดียวกับที่ระดับความลึก 0-7.5 และ 0-15 เมตร โดยเมื่อนำไปซ้อนทับกับแผนที่เส้นชั้นความสูงพบว่าบริเวณที่มีความเค็มมากถึงเค็มจัดจะปรากฏอยู่ในบริเวณที่มีพื้นที่ต่ำที่สุดในพื้นที่ศึกษา โดยมีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 151-160 เมตร ขณะที่บริเวณรอบนอกด้านทิศตะวันออกและทิศใต้ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความสูงที่สุดในพื้นที่ศึกษาคือ 181-190 เมตร จะเป็นบริเวณที่มีระดับความเค็มน้อยถึงน้อยมาก

จากลักษณะการกระจายตัวของระดับความรุนแรงของความเค็มของดิน ทั้ง 3 ระดับความลึก แสดงให้เห็นว่าระดับความสูงของพื้นที่มีความสัมพันธ์กับระดับความเค็มของชั้นดิน โดยพื้นที่ที่มีความเค็มมากถึงเค็มจัดจะปรากฏอยู่ในบริเวณที่ต่ำ ขณะที่พื้นที่ที่มีความเค็มน้อยถึงน้อยมากจะปรากฏในบริเวณที่สูง นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบความเค็มของชั้นดินในทั้ง 3 ระดับความลึกแล้ว พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ระดับความรุนแรงของความเค็มของดินจะเพิ่มขึ้นตามระดับความลึก มีเพียงบริเวณประมาณตอนกลางของพื้นที่ศึกษาที่ค่าความเค็มของดินลดลงตามระดับความลึก

6.2 ข้อเสนอแนะ

1) ควรมีการศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามกับพื้นที่ที่มีลักษณะภูมิประเทศในแบบอื่นๆ

2) เนื่องจากขนาดของพื้นที่ที่ใช้ศึกษาในครั้งนี้เป็นพื้นที่ที่มีขนาดค่อนข้างเล็ก (168 ตารางกิโลเมตร) จึงทำให้ลักษณะทางภูมิประเทศ ธรณีวิทยา อุทกธรณีวิทยา มีความแตกต่างกันไม่มาก ดังนั้นควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในพื้นที่ขนาดใหญ่ เพื่อจะสามารถเห็นถึงอิทธิพลของปัจจัยทางกายภาพดังกล่าวที่มีต่อค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น



บรรณานุกรม

- กรมทรัพยากรธรณี. (2522). แผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทยระหว่าง ND 48-1 มาตรฐาน 1 : 250,000.กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม กรุงเทพฯ.
- _____. (2531). แผนที่อุทกธรณีวิทยา จังหวัดขอนแก่น มาตรฐาน 1 : 100,000. กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม กรุงเทพฯ.
- กรมแผนที่ทหาร. (2522). แผนที่ภูมิประเทศ อำเภอบ้านหินตั้ง ลำดับชุด L 7017 ระหว่าง 5541 II มาตรฐาน 1 : 50,000. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร.
- _____. (2522). แผนที่ภูมิประเทศ อำเภอบ้านไผ่ ลำดับชุด L 7017 ระหว่าง 5541 III มาตรฐาน 1 : 50,000. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร.
- กรมพัฒนาที่ดิน. (2516). แผนที่ดินจังหวัดขอนแก่น มาตรฐาน 1 : 100,000. กองสำรวจและจำแนกดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ.
- _____. (2526). รายงานการสำรวจดินจังหวัดขอนแก่น. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ.
- กิตติชัย วัฒนานิก. (2526). การสำรวจธรณีฟิสิกส์สำหรับนักธรณีวิทยาและวิศวกร. ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ชัยนาม ดิสถาพร. (2542). การปลูกป่าเพื่อป้องกันการแพร่กระจายดินเค็ม. เอกสารคู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐเรื่องดินเค็ม พิมพ์ครั้งที่ 7. กลุ่มปรับปรุงดินเค็ม กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- ทวีศักดิ์ ระมิงค้วงศ์ และชาญ ตันติสุกฤต. (2526). ธรณีวิทยาสำหรับวิศวกร. ภาควิชาธรณีวิทยา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. พิมพ์ครั้งที่ 3.
- ปกรณ์ สุวานิช. (2532). อิทธิพลของซอสท์เทค โทนิคต่อแหล่งแร่โปแตสในบริเวณที่ราบสูงโคราช. การประชุมวิชาการ กรมทรัพยากรธรณี กรุงเทพฯ.
- ปราโมทย์ เข้มคลี. (2542). วิธีการป้องกันและควบคุมปัญหาดินเค็ม. เอกสารคู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐเรื่องดินเค็ม พิมพ์ครั้งที่ 7. กลุ่มปรับปรุงดินเค็ม กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

- ปราโมทย์ แยมคลี่ และคณะ. (2539). การคาดคะเนความเค็มของน้ำใต้ดินโดยเครื่องสำรวจธรณีฟิสิกส์(EM34). เอกสารเผยแพร่วิชาการหมายเลข3 กลุ่มปรับปรุงดินเค็ม กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน.
- พันธุ์ลพ หัตถโกศล. (2540). ธรณีสถิติ.คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- พิชัย วิชัยดิษฐ์. (2542). การอ่านและการใช้แผนที่ดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. เอกสารคู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐเรื่องดินเค็ม พิมพ์ครั้งที่ 7. กลุ่มปรับปรุงดินเค็ม กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- พิทักษ์ รัตนจารักษ์. (2533). อิทธิพลของชั้นเกลือหินต่อสภาพดินเค็มในภาคอีสาน. เอกสารการประชุม วิชาการ กรมทรัพยากรธรณี กรุงเทพฯ.
- ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา. (2528). ศัพท์วิชาการชาวบ้าน. โรงพิมพ์รุ่งเรืองธรรม.
- สมชัย วงสวัสดิ์ และ สุนทร ปัญญาสุธารส. (2533). ศักยภาพและกลยุทธ์การพัฒนาแอ่งโคราช. เอกสารการประชุมวิชาการ กรมทรัพยากรธรณี กรุงเทพฯ.
- สมศรี อรุณินท์. (2539). ดินเค็มในประเทศไทย.กรมพัฒนาที่ดิน.
- _____. (2542). การปรับปรุงดินเค็มและดิน โซดิก. เอกสารคู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐเรื่องดินเค็ม พิมพ์ครั้งที่ 7. กลุ่มปรับปรุงดินเค็ม กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- सनान रिमवनिख. (2536).แผ่นดินเกลือ. วารสารกรมพัฒนาที่ดิน, 20(217): 3-11.
- สุนทร ทวีถาวรสวัสดิ์. (2543). การลดลงของพื้นที่ป่าไม้กับการแพร่กระจายของเกลือบนผิวดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ : กรณีศึกษา อำเภอยะยี่น จังหวัดขอนแก่น. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาเทคโนโลยีวางแผนสิ่งแวดล้อมเพื่อพัฒนาชนบท] กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.
- อนุวัชร โพธินาม. (2535). การแจกกระจายของค่าน้ำไฟฟ้าของสารละลายดินซดค่าแพงแสน. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเกษตรศาสตร์]. กรุงเทพมหานคร : บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อรุณี ยูวะนิชม. (2542). การแก้ไขดินเค็มโดยการล้างดิน. เอกสารคู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐเรื่องดินเค็ม พิมพ์ครั้งที่ 7. กลุ่มปรับปรุงดินเค็ม กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- _____. (2542). ดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. เอกสารคู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐเรื่องดินเค็ม พิมพ์ครั้งที่ 7. กลุ่มปรับปรุงดินเค็ม กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- Acworth RI, Beasley R. (1989). Investigation of EM 31 Anomalies at Yarramanbah/pump Station Creek on the Liverpool Plains of New South Wales. WRL research report No.195.

- Acworth RI. (1999). Investigation of Dryland Salinity Using The Electrical Image Method. Aust J Soil Res ,37 , 623-36.
- Arunin S. (1984). Characteristics and Management of Salt Affected Soil in the Northeast of Thailand. In Ecology and Management of Problem Soils in Asia. Food and Fertilizer Technolory Center for The Asian and Pacific Region. Taipei Rep of Chaina, 336-51.
- Canon ME, Mckenzie RC, Lachapelle G. (1994). Soil Salinity Mapping with Electromagnetic Induction and Satellite-Based Navigation Methods. Can J Soil Sci ,24 , 335-43.
- Chang C,T,G. (1988). Sommerfeldt and T. Entz. Soil Salinity and Sand Content Variabilty Determined by Two Statistical Methods in an Irrigated Saline Soil. Can. J. Soil Sci,69, 209-21
- Clake I. (1982). Pratical Geostatistics. London : Applied Science Publishers.
- Dissataporn C, Narioka H, Yamcee P and S. Arunin. (2002). Application of Electromagnetic Induction Terrian Conductivity Meter to Salinity Assessment in Salt Affected Soils– Regional Salt-Affected Soils Map in Northeastern Thailand. DOJO-NO-BUTSURISEI ,89,43-53.
- Englund, E. (1991). GEO-EAS 1.2.1 User’s Guide. Las Vegas. Nevada : Geostatistical Enviromental Assessment Software User’s Guide.
- Gallichand J, G.D. Guckland and etal. (1992). Spatial interpolation of Soil Salinity and Sodidity for a Saline Soil in Southern Alberta. Can. J. Soil Sci,72 , 503-16.
- Gascuel-Odoux, Boivin P. (1994). Variability of Variograms and Spatial Estimates due to Soil Sampling : a Case Study. Geoderma ,62 , 165-182.
- Geonic Limited.(1991). EM34-3 & EM34-3 XL Operating Instructions. Cannada.
- Goovaert P and Webster R. (1994). Scale-dependent Correlation between Topsoil Copper and Cobalt Concentrations in Scotland. J of Soil Sci ,45,79-95.
- Gotway CA and Hergert GW. (1997). Incorporating Spatial Trends and Anisotropy in Geostatistical Mapping of Soil properties. Soil Sci Soc of Am J ,61,298-309.
- Hattori T.,Takaya Y and Wichaidit P. (1978). Soil Salinigation and Improvement. Wageningen the Netherland , 321.

- Hendrickx JMH, Berends B, et al. (1992). Soil Salinity Assessment by Electromagnetic Induction of Irrigated Land. *Soil Sci Soc Am J*, 56, 1933-41.
- Isaaks EH, Srivastava RM. (1989). Applied Geostatistics. New York : Oxford University Press.
- Journel AG, Huijbregts C.J. (1978). Mining Geostatistics. London : Academic Press.
- Keck T.J, W.F. Quimby and G.A. Nielsen. (1993). Spatial Distribution of Soil Attributes on Reconstructed Minsoils. *Soil Sci Soc. Am. J*, 57, 782-6.
- Keller GV and Frischknecht FC. (1970). Electrical Methods in Geophysical Prospecting. Pergamon Press.
- Marechal A. (1975). Selecting Mineable Blocks : Experimental Results Observed on a Simulated Orebody , in “Geostat 75”, 137-161.
- Mcneill JD. (1980). Electrical Conductivity of Soils and Rocks. Technical note TN-5, Geonics Limited Ontario Canada..
- _____. (1980). Electromagnetic Terrian Conductivity Measurement at Low Induction Numbers. Technical note TN-6, Geonics Limited Ontario Canada.
- Mitsuchi, Wichaidit P, Jeungrirund S. (1986). Outline of the Northeast Plateau Thailand Technical paper No.1 Agricultural Development Research Center in Northeast, Khonkean Province Thailand.
- Ratanaharusak P. (1990) Formation of the Potash Deposits, Khorat Plateau Thailand. Uppub m.sc. Thesis, New south Wales University, Australia.
- Rhoades JD, Manteg NA, et al. (1989). Soil Electrical Conductivity and Soil Salinity : New Formations and Calibrations. *Soil Sci Soc of Am J*, 53, 433-9.
- Satarugsa P and K. Srisuk. (2000). Applied Geophysics in Solving the Hydrogeological Problems in the Northeast , Thailand. *J of the Geo Soc Thailand*, 1, 19-26.
- Sattayarak N. (1985). Review on Geology of Khorat Plateau Proc. Geol. and Mineral res. Development of The Northeast Thailand. Khonkaen University.
- Sharma A.K. (1980). Salt-Balance Studies in Lam Pao Irrigation Project Area, Northeast Thailand. Bangkok: M.S. Thesis. Asian institute of technology.
- Simon WH. (1994). 3D Geoscience Modeling Computer Techniques for Geological Characterization. Springer-Verlag.

- Soderstrom M. (1992). Geostatistical Modeling of Salinity as a Basis for Irrigation Management and Crop Selection-A case Study in Central Tunisia. *Environ Geol Water Sci* , 20(2) ,85-92.
- Webster R, Oliver MA. (1990). Statistical Methods in Soil and Land Resource Survey. Oxford University press.
- _____. (1992). Sample Adequately to Estimate Variogram of Soil Properties. *J of soil sci* ,43, 177-192.
- Williams BG, Baker GC. (1982). An Electromagnetic Induction Technique for Reconnaissance Surveys of Soil Salinity Hazards. *Aust J Soil Res* ,20, 107-18.
- Wood RC. (1985). Uses of The EM31 Terrian Conductivity Meter for Mapping Surficial Geology and Groundwater Features in Dryland Salinity Investigations. Internal Rap. Prairie Farm Rehabilitation Administration, Lethbridge. Alberta.



ภาคผนวก ก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม ที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 1,000 x 1,000 เมตร

NO.	EASTING	NORTHING	ECa (mS/m)		
			Depth 0-7.5 m.	Depth 0-15 m	Depth 0-30 m
1	๒๔๖๐๐๐	๑๗๗๑๐๐๐	๘๐	๑๑๐	๑๒๐
2	๒๔๖๐๐๐	๑๗๗๒๐๐๐	๗๖	๑๒๐	๑๒๐
3	๒๔๖๐๐๐	๑๗๗๓๐๐๐	๑๕๐	๑๘๐	๒๐๐
4	๒๔๖๐๐๐	๑๗๗๔๐๐๐	๗๒	๗๘	๖๘
5	๒๔๖๐๐๐	๑๗๗๕๐๐๐	๕๐	๕๐	๔๘
6	๒๔๖๐๐๐	๑๗๗๖๐๐๐	๗๐	๘๒	๗๐
7	๒๔๖๐๐๐	๑๗๗๗๐๐๐	๖๘	๗๔	๖๘
8	๒๔๖๐๐๐	๑๗๗๘๐๐๐	๕๒	๖๒	๖๐
9	๒๔๖๐๐๐	๑๗๗๙๐๐๐	๗๐	๖๘	๕๘
10	๒๔๖๐๐๐	๑๗๘๐๐๐๐	๖๘	๗๗	๖๘
11	๒๔๖๐๐๐	๑๗๘๑๐๐๐	๑๐๐	๑๒๕	๑๒๐
12	๒๔๖๐๐๐	๑๗๘๒๐๐๐	๙๘	๑๒๐	๑๕๐
13	๒๔๖๐๐๐	๑๗๗๐๐๐๐	๙๕	๑๒๕	๑๓๕
14	๒๔๗๐๐๐	๑๗๗๑๐๐๐	๙๖	๑๒๕	๑๓๐
15	๒๔๗๐๐๐	๑๗๗๒๐๐๐	๑๕๐	๑๗๐	๑๕๐
16	๒๔๗๐๐๐	๑๗๗๓๐๐๐	๗๒	๑๒๐	๑๓๐
17	๒๔๗๐๐๐	๑๗๗๔๐๐๐	๗๒	๑๒๐	๑๔๐
18	๒๔๗๐๐๐	๑๗๗๕๐๐๐	๑๕๐	๒๐๐	๒๒๐
19	๒๔๗๐๐๐	๑๗๗๖๐๐๐	๖๒	๗๔	๖๘
20	๒๔๗๐๐๐	๑๗๗๗๐๐๐	๓๒	๔๒	๔๒
21	๒๔๗๐๐๐	๑๗๗๘๐๐๐	๖๒	๕๖	๕๐
22	๒๔๗๐๐๐	๑๗๗๙๐๐๐	๓๔	๔๑	๔๓
23	๒๔๗๐๐๐	๑๗๘๐๐๐๐	๓๘	๔๘	๕๐
24	๒๔๗๐๐๐	๑๗๘๑๐๐๐	๗๒	๖๙	๖๒
25	๒๔๗๐๐๐	๑๗๘๒๐๐๐	๖๐	๗๘	๗๒
26	๒๔๗๐๐๐	๑๗๗๐๐๐๐	๑๑๐	๑๓๐	๑๓๐
27	๒๔๘๐๐๐	๑๗๗๑๐๐๐	๘๔	๑๓๐	๑๒๐

NO.	EASTING	NORTHING	ECa (mS/m)		
			Depth 0-7.5 m.	Depth 0-15 m	Depth 0-30 m
28	๒๔๘๐๐๐	๑๗๗๒๐๐๐	๑๑๐	๑๔๐	๑๓๐
29	๒๔๘๐๐๐	๑๗๗๓๐๐๐	๒๕๐	๒๖๐	๒๑๐
30	๒๔๘๐๐๐	๑๗๗๔๐๐๐	๘๔	๑๐๐	๑๐๐
31	๒๔๘๐๐๐	๑๗๗๕๐๐๐	๑๓๐	๑๖๐	๑๗๐
32	๒๔๘๐๐๐	๑๗๗๖๐๐๐	๑๑๐	๑๖๐	๑๗๐
33	๒๔๘๐๐๐	๑๗๗๗๐๐๐	๗๒	๘๐	๗๒
34	๒๔๘๐๐๐	๑๗๗๘๐๐๐	๔๐	๖๔	๖๒
35	๒๔๘๐๐๐	๑๗๗๙๐๐๐	๕๐	๖๒	๕๖
36	๒๔๘๐๐๐	๑๗๘๐๐๐๐	๔๔	๗๒	๘๐
37	๒๔๘๐๐๐	๑๗๘๑๐๐๐	๑๑๐	๑๖๐	๑๗๐
38	๒๔๘๐๐๐	๑๗๘๒๐๐๐	๗๒	๑๐๐	๑๐๓
39	๒๔๘๐๐๐	๑๗๘๓๐๐๐	๑๐๐	๑๑๐	๑๐๕
40	๒๔๘๐๐๐	๑๗๘๔๐๐๐	๘๔	๙๘	๙๒
41	๒๔๘๐๐๐	๑๗๘๕๐๐๐	๑๔๐	๑๗๐	๑๕๐
42	๒๔๘๐๐๐	๑๗๘๖๐๐๐	๑๒๐	๑๖๐	๑๕๐
43	๒๔๘๐๐๐	๑๗๘๗๐๐๐	๘๐	๑๒๐	๑๒๐
44	๒๔๘๐๐๐	๑๗๘๘๐๐๐	๑๓๐	๑๖๐	๑๗๐
45	๒๔๘๐๐๐	๑๗๘๙๐๐๐	๑๐๐	๑๔๐	๑๔๐
46	๒๔๘๐๐๐	๑๗๙๐๐๐๐	๑๑๕	๑๖๘	๑๕๐
47	๒๔๘๐๐๐	๑๗๙๑๐๐๐	๓๐	๖๐	๙๖
48	๒๔๘๐๐๐	๑๗๙๒๐๐๐	๒๐	๕๐	๗๒
49	๒๔๘๐๐๐	๑๗๙๓๐๐๐	๒๒	๖๘	๑๐๐
50	๒๔๘๐๐๐	๑๗๙๔๐๐๐	๑๕๐	๑๖๓	๑๖๐
51	๒๔๘๐๐๐	๑๗๙๕๐๐๐	๖๒	๙๘	๑๒๐
52	๒๔๘๐๐๐	๑๗๙๖๐๐๐	๙๒	๑๐๕	๑๐๐
53	๒๕๐๐๐๐	๑๗๙๗๐๐๐	๑๐๐	๑๑๐	๑๐๐
54	๒๕๐๐๐๐	๑๗๙๘๐๐๐	๑๑๐	๑๒๐	๑๒๐
55	๒๕๐๐๐๐	๑๗๙๙๐๐๐	๑๕๐	๑๘๐	๑๗๐
56	๒๕๐๐๐๐	๑๘๐๐๐๐๐	๑๕๐	๑๕๐	๑๕๘
57	๒๕๐๐๐๐	๑๘๐๑๐๐๐	๑๗๘	๑๘๒	๑๗๐
58	๒๕๐๐๐๐	๑๘๐๒๐๐๐	๑๓๐	๑๓๘	๑๔๐
59	๒๕๐๐๐๐	๑๘๐๓๐๐๐	๑๒๕	๑๖๐	๑๖๕

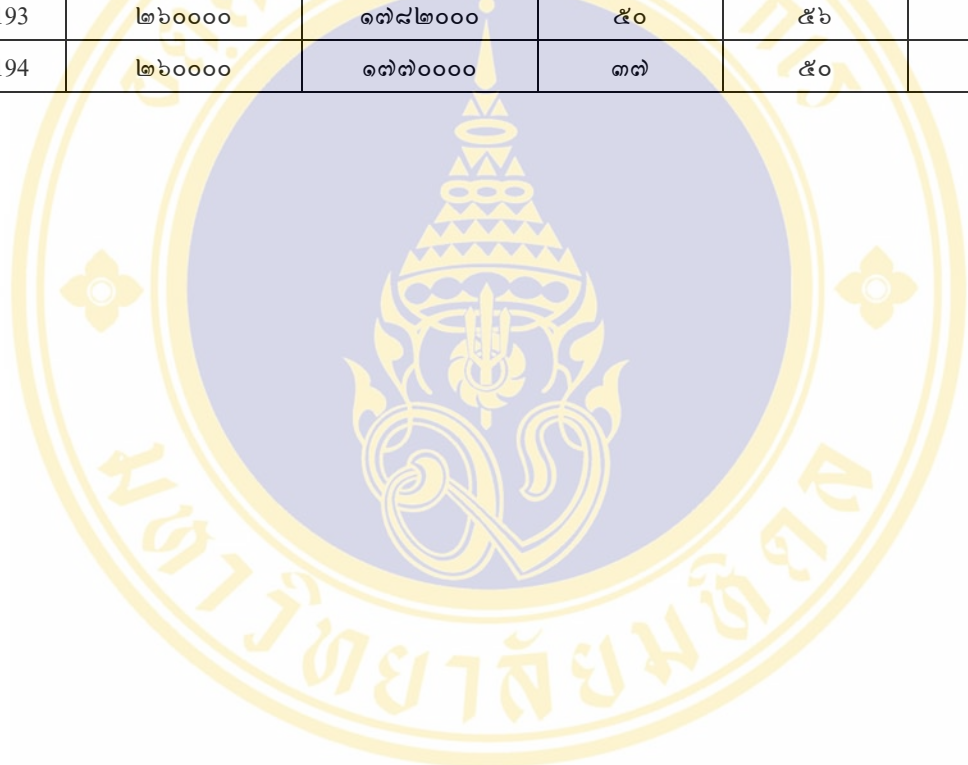
NO.	EASTING	NORTHING	ECa (mS/m)		
			Depth 0-7.5 m.	Depth 0-15 m	Depth 0-30 m
60	๒๕๐๐๐๐	๑๗๗๘๐๐๐	๒๑๕	๒๓๐	๒๒๐
61	๒๕๐๐๐๐	๑๗๗๘๕๐๐	๑๔๐	๑๕๐	๑๕๐
62	๒๕๐๐๐๐	๑๗๗๙๐๐๐	๑๐๐	๑๓๕	๑๓๐
63	๒๕๐๐๐๐	๑๗๗๙๕๐๐	๑๑๐	๑๕๐	๑๗๐
64	๒๕๐๐๐๐	๑๗๘๐๐๐๐	๑๖๐	๒๓๐	๒๓๐
65	๒๕๐๐๐๐	๑๗๘๐๕๐๐	๘๒	๕๒	๕๐
66	๒๕๐๐๘๐๐	๑๗๗๙๘๘๐๐	๘๐	๑๐๐	๑๑๐
67	๒๕๐๑๐๐๐	๑๗๗๙๙๐๐๐	๑๐๐	๑๑๐	๕๗
68	๒๕๐๑๐๐๐	๑๗๗๙๙๕๐๐๐	๑๐๐	๑๐๐	๕๐
69	๒๕๐๑๐๐๐	๑๗๘๐๐๐๐๐๐	๑๕๐	๑๗๕	๑๘๐
70	๒๕๐๑๐๐๐	๑๗๘๐๐๕๐๐๐	๑๑๐	๑๓๐	๑๓๐
71	๒๕๐๑๐๐๐	๑๗๘๐๑๐๐๐๐	๑๖๐	๑๗๐	๑๗๐
72	๒๕๐๑๐๐๐	๑๗๘๐๑๕๐๐๐	๒๓๐	๒๑๐	๒๓๐
73	๒๕๐๑๐๐๐	๑๗๘๐๒๐๐๐๐	๑๖๕	๑๖๐	๑๕๐
74	๒๕๐๑๐๐๐	๑๗๘๐๒๕๐๐๐	๒๒๒๕	๒๑๐	๒๓๐
75	๒๕๐๑๐๐๐	๑๗๘๐๓๐๐๐๐	๑๕๐	๑๘๐	๑๕๐
76	๒๕๐๑๐๐๐	๑๗๘๐๓๕๐๐๐	๒๓๐	๒๓๐	๒๑๐
77	๒๕๐๑๐๐๐	๑๗๘๐๔๐๐๐๐	๖๔	๘๔	๘๑
78	๒๕๐๑๒๐๐๐	๑๗๘๐๔๕๐๐๐	๗๘	๘๗	๘๖
79	๒๕๐๑๒๐๐๐	๑๗๘๐๕๐๐๐๐	๘๔	๘๘	๕๐
80	๒๕๐๑๒๐๐๐	๑๗๘๐๕๕๐๐๐	๑๒๕	๑๓๕	๑๔๐
81	๒๕๐๑๒๐๐๐	๑๗๘๐๖๐๐๐๐	๑๖๕	๑๗๐	๑๗๐
82	๒๕๐๑๒๐๐๐	๑๗๘๐๖๕๐๐๐	๒๒๕	๒๔๐	๒๒๐
83	๒๕๐๑๒๐๐๐	๑๗๘๐๗๐๐๐๐	๒๔๕	๒๓๐	๒๓๐
84	๒๕๐๑๒๐๐๐	๑๗๘๐๗๕๐๐๐	๑๓๐	๑๔๐	๑๔๕
85	๒๕๐๑๒๐๐๐	๑๗๘๐๘๐๐๐๐	๑๖๐	๑๗๕	๑๗๕
86	๒๕๐๑๒๐๐๐	๑๗๘๐๘๕๐๐๐	๑๓๐	๑๓๐	๑๒๕
87	๒๕๐๑๒๐๐๐	๑๗๘๐๙๐๐๐๐	๕๒	๑๑๐	๑๓๐
88	๒๕๐๑๒๐๐๐	๑๗๘๐๙๕๐๐๐	๒๓๐	๒๑๐	๒๓๐
89	๒๕๐๑๒๐๐๐	๑๗๘๑๐๐๐๐๐	๒๒๕	๒๒๐	๒๑๐
90	๒๕๐๑๒๐๐๐	๑๗๘๑๐๕๐๐๐	๖๒	๗๘	๘๒
91	๒๕๐๑๒๐๐๐	๑๗๘๑๑๐๐๐๐	๑๐๕	๑๑๐	๕๐

NO.	EASTING	NORTHING	ECa (mS/m)		
			Depth 0-7.5 m.	Depth 0-15 m	Depth 0-30 m
92	๒๕๓๐๐๐	๑๗๗๒๐๐๐	๑๘๐	๑๗๐	๑๖๐
93	๒๕๓๐๐๐	๑๗๗๓๐๐๐	๑๑๐	๑๓๐	๑๓๕
94	๒๕๓๐๐๐	๑๗๗๔๐๐๐	๒๑๐	๒๔๐	๒๕๐
95	๒๕๓๐๐๐	๑๗๗๕๐๐๐	๑๔๐	๑๓๕	๑๓๐
96	๒๕๓๐๐๐	๑๗๗๖๐๐๐	๑๐๕	๑๐๐	๑๑๐
97	๒๕๓๐๐๐	๑๗๗๗๐๐๐	๕๒	๑๑๐	๑๑๐
98	๒๕๓๐๐๐	๑๗๗๘๐๐๐	๑๐๐	๑๒๐	๑๒๐
99	๒๕๓๐๐๐	๑๗๗๙๐๐๐	๕๐	๘๕	๑๐๕
100	๒๕๓๐๐๐	๑๗๘๐๐๐๐	๑๕๐	๑๘๕	๑๖๕
101	๒๕๓๐๐๐	๑๗๘๑๐๐๐	๔๐	๗๒	๑๐๕
102	๒๕๓๐๐๐	๑๗๘๒๐๐๐	๘๒	๑๑๐	๑๓๐
103	๒๕๓๐๐๐	๑๗๘๓๐๐๐	๑๐๐	๑๑๐	๑๐๐
104	๒๕๔๐๐๐	๑๗๗๑๐๐๐	๑๐๕	๑๑๐	๑๑๐
105	๒๕๔๐๐๐	๑๗๗๒๐๐๐	๘๘	๑๐๐	๑๐๕
106	๒๕๔๐๐๐	๑๗๗๓๐๐๐	๑๑๐	๑๑๕	๑๑๐
107	๒๕๔๐๐๐	๑๗๗๔๐๐๐	๑๓๐	๑๓๐	๑๔๕
108	๒๕๔๐๐๐	๑๗๗๕๐๐๐	๕๒	๑๐๐	๑๐๐
109	๒๕๔๐๐๐	๑๗๗๖๐๐๐	๑๐๐	๑๒๐	๑๓๕
110	๒๕๔๐๐๐	๑๗๗๗๐๐๐	๑๐๐	๑๒๐	๑๒๐
111	๒๕๔๐๐๐	๑๗๗๘๐๐๐	๓๐	๕๒	๖๖
112	๒๕๔๐๐๐	๑๗๗๙๐๐๐	๕๐	๗๘	๘๖
113	๒๕๔๐๐๐	๑๗๘๐๐๐๐	๔๖	๗๘	๘๘
114	๒๕๔๐๐๐	๑๗๘๑๐๐๐	๓๘	๖๔	๗๒
115	๒๕๔๐๐๐	๑๗๘๒๐๐๐	๔๐	๗๐	๕๐
116	๒๕๔๐๐๐	๑๗๘๓๐๐๐	๕๖	๘๕	๘๗
117	๒๕๕๐๐๐	๑๗๗๑๐๐๐	๕๘	๘๒	๑๐๐
118	๒๕๕๐๐๐	๑๗๗๒๐๐๐	๑๒๐	๑๔๐	๑๓๐
119	๒๕๕๐๐๐	๑๗๗๓๐๐๐	๕๖	๘๐	๑๐๐
120	๒๕๕๐๐๐	๑๗๗๔๐๐๐	๑๗๐	๑๗๐	๑๕๐
121	๒๕๕๐๐๐	๑๗๗๕๐๐๐	๑๐๐	๑๒๐	๑๒๐
122	๒๕๕๐๐๐	๑๗๗๖๐๐๐	๑๐๐	๑๑๐	๑๒๐
123	๒๕๕๐๐๐	๑๗๗๗๐๐๐	๑๖๕	๑๘๐	๑๖๐

NO.	EASTING	NORTHING	ECa (mS/m)		
			Depth 0-7.5 m.	Depth 0-15 m	Depth 0-30 m
124	๒๕๕๐๐๐	๑๗๗๘๐๐๐	๔๖	๖๔	๗๔
125	๒๕๕๐๐๐	๑๗๗๙๐๐๐	๑๐๐	๑๐๐	๑๑๑
126	๒๕๕๐๐๐	๑๗๘๐๐๐๐	๔๒	๕๐	๖๔
127	๒๕๕๐๐๐	๑๗๘๑๐๐๐	๗๔	๑๐๐	๑๐๐
128	๒๕๕๐๐๐	๑๗๘๒๐๐๐	๑๔๐	๑๔๐	๑๗๐
129	๒๕๕๐๐๐	๑๗๘๓๐๐๐	๖๗	๑๑๐	๑๑๕
130	๒๕๖๐๐๐	๑๗๗๙๐๐๐	๖๒	๑๖๖	๑๖๖
131	๒๕๖๐๐๐	๑๗๗๙๕๐๐	๑๔	๗๐	๗๐
132	๒๕๖๐๐๐	๑๗๗๙๘๐๐	๑๑๐	๑๒๐	๑๒๐
133	๒๕๖๐๐๐	๑๗๗๙๘๐๐	๑๔๐	๑๔๐	๑๔๐
134	๒๕๖๐๐๐	๑๗๗๙๘๐๐	๙๒	๑๗๕	๑๗๕
135	๒๕๖๐๐๐	๑๗๗๙๘๐๐	๕๖	๑๒๐	๑๒๐
136	๒๕๖๐๐๐	๑๗๗๙๘๐๐	๑๑๐	๑๕๐	๑๕๐
137	๒๕๖๐๐๐	๑๗๗๙๘๐๐	๔๐	๑๕๐	๑๕๐
138	๒๕๖๐๐๐	๑๗๗๙๘๐๐	๖๐	๗๖	๗๖
139	๒๕๖๐๐๐	๑๗๗๙๘๐๐	๖๖	๑๔๔	๑๔๔
140	๒๕๖๐๐๐	๑๗๗๙๘๐๐	๖๔	๑๔๔	๑๔๔
141	๒๕๖๐๐๐	๑๗๗๙๘๐๐	๑๐	๙๒	๙๒
142	๒๕๖๐๐๐	๑๗๗๙๘๐๐	๗๖	๑๑๙	๗๑
143	๒๕๗๐๐๐	๑๗๗๙๘๐๐	๔๐	๔๐	๔๐
144	๒๕๗๐๐๐	๑๗๗๙๘๐๐	๑๑๑	๙๔	๙๔
145	๒๕๗๐๐๐	๑๗๗๙๘๐๐	๔๑	๙๔	๙๔
146	๒๕๗๐๐๐	๑๗๗๙๘๐๐	๕๒	๖๑	๖๑
147	๒๕๗๐๐๐	๑๗๗๙๘๐๐	๑๖๖	๑๑๐	๑๑๐
148	๒๕๗๐๐๐	๑๗๗๙๘๐๐	๑๒๒	๑๑๐	๑๑๐
149	๒๕๗๐๐๐	๑๗๗๙๘๐๐	๑๐๐	๑๒๐	๑๒๐
150	๒๕๗๐๐๐	๑๗๗๙๘๐๐	๖๖	๑๑๕	๑๑๕
151	๒๕๗๐๐๐	๑๗๗๙๘๐๐	๑๗๐	๑๗๕	๑๗๕
152	๒๕๗๐๐๐	๑๗๗๙๘๐๐	๑๐๐	๑๑๐	๑๑๐
153	๒๕๗๐๐๐	๑๗๗๙๘๐๐	๑๑๔	๑๑๐	๑๑๐
154	๒๕๗๐๐๐	๑๗๗๙๘๐๐	๑๒๐	๑๔๐	๑๔๐
155	๒๕๗๐๐๐	๑๗๗๙๘๐๐	๑๑๑	๙๑	๑๑๕

NO.	EASTING	NORTHING	ECa (mS/m)		
			Depth 0-7.5 m.	Depth 0-15 m	Depth 0-30 m
156	๒๕๘๐๐๐	๑๗๗๑๐๐๐	๓๖	๕๐	๕๐
157	๒๕๘๐๐๐	๑๗๗๒๐๐๐	๑๕๐	๑๖๐	๑๖๐
158	๒๕๘๐๐๐	๑๗๗๓๐๐๐	๑๔๐	๑๓๕	๑๓๕
159	๒๕๘๐๐๐	๑๗๗๔๐๐๐	๑๐๐	๑๕๐	๑๓๐
160	๒๕๘๐๐๐	๑๗๗๕๐๐๐	๑๗๐	๑๖๐	๑๖๐
161	๒๕๘๐๐๐	๑๗๗๖๐๐๐	๑๐๐	๑๐๐	๑๐๐
162	๒๕๘๐๐๐	๑๗๗๗๐๐๐	๗๔	๘๔	๘๔
163	๒๕๘๐๐๐	๑๗๗๘๐๐๐	๗๘	๑๑๕	๑๑๕
164	๒๕๘๐๐๐	๑๗๗๙๐๐๐	๑๔๕	๑๒๐	๑๒๐
165	๒๕๘๐๐๐	๑๗๘๐๐๐๐	๑๐๐	๑๐๐	๑๐๐
166	๒๕๘๐๐๐	๑๗๘๑๐๐๐	๘๒	๑๐๕	๑๐๕
167	๒๕๘๐๐๐	๑๗๘๒๐๐๐	๑๐๕	๑๑๐	๑๑๐
168	๒๕๘๐๐๐	๑๗๗๓๐๐๐	๕๐	๕๕	๘๐
169	๒๕๕๐๐๐	๑๗๗๔๐๐๐	๑๒๐	๕๖	๕๖
170	๒๕๕๐๐๐	๑๗๗๕๐๐๐	๘๐	๑๑๐	๑๑๐
171	๒๕๕๐๐๐	๑๗๗๖๐๐๐	๑๑๐	๗๘	๗๘
172	๒๕๕๐๐๐	๑๗๗๗๐๐๐	๑๐๐	๑๑๐	๑๑๐
173	๒๕๕๐๐๐	๑๗๗๘๐๐๐	๑๕๐	๑๖๐	๑๖๐
174	๒๕๕๐๐๐	๑๗๗๙๐๐๐	๑๕๐	๑๗๕	๑๗๕
175	๒๕๕๐๐๐	๑๗๗๓๐๐๐	๘๒	๗๐	๗๐
176	๒๕๕๐๐๐	๑๗๗๔๐๐๐	๕๒	๖๔	๖๔
177	๒๕๕๐๐๐	๑๗๗๕๐๐๐	๗๗	๘๒	๘๒
178	๒๕๕๐๐๐	๑๗๗๖๐๐๐	๓๘	๔๖	๔๖
179	๒๕๕๐๐๐	๑๗๗๗๐๐๐	๕๖	๕๖	๕๖
180	๒๕๕๐๐๐	๑๗๗๘๐๐๐	๓๔	๔๐	๔๐
181	๒๕๕๐๐๐	๑๗๗๙๐๐๐	๕๕	๕๔	๖๗
182	๒๖๐๐๐๐	๑๗๗๓๐๐๐	๗๒	๘๕	๘๔
183	๒๖๐๐๐๐	๑๗๗๔๐๐๐	๓๕	๔๘	๕๘
184	๒๖๐๐๐๐	๑๗๗๕๐๐๐	๕๒	๕๖	๖๐
185	๒๖๐๐๐๐	๑๗๗๖๐๐๐	๖๒	๕๖	๕๐
186	๒๖๐๐๐๐	๑๗๗๗๐๐๐	๕๐	๕๖	๕๐

NO.	EASTING	NORTHING	ECa (mS/m)		
			Depth 0-7.5 m.	Depth 0-15 m	Depth 0-30 m
187	๒๖๐๐๐๐	๑๗๗๖๐๐๐	๔๔	๕๖	๖๖
188	๒๖๐๐๐๐	๑๗๗๗๐๐๐	๔๒	๕๖	๖๖
189	๒๖๐๐๐๐	๑๗๗๘๐๐๐	๑๐๕	๑๓๕	๑๓๕
190	๒๖๐๐๐๐	๑๗๗๙๐๐๐	๗๔	๘๔	๑๐๐
191	๒๖๐๐๐๐	๑๗๘๐๐๐๐	๗๒	๕๒	๗๔
192	๒๖๐๐๐๐	๑๗๘๑๐๐๐	๑๒๕	๑๖๐	๑๖๐
193	๒๖๐๐๐๐	๑๗๘๒๐๐๐	๕๐	๕๖	๖๒
194	๒๖๐๐๐๐	๑๗๗๖๐๐๐	๗๗	๕๐	๕๕





ภาคผนวก ข

ข้อมูลค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนามที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง 80 x 80 เมตร

NO.	EASTING	NORTHING	ECa (mS/m)		
			Depth 0-7.5 m.	Depth 0-15 m.	Depth 0-30m.
1	251000	1775520	260	210	210
2	251080	1775520	280	220	200
3	251160	1775520	160	165	180
4	251240	1775520	180	165	175
5	251320	1775520	190	185	180
6	251400	1775520	160	185	180
7	251480	1775520	140	165	160
8	251560	1775520	160	160	160
9	251640	1775520	260	220	200
10	251720	1775520	250	245	230
11	251800	1775520	300	250	225
12	251880	1775520	270	270	275
13	251960	1775520	220	225	240
14	251000	1775600	285	205	230
15	251080	1775600	240	240	250
16	251160	1775600	195	215	220
17	251240	1775600	210	200	200
18	251320	1775600	180	165	170
19	251400	1775600	200	180	180
20	251480	1775600	100	145	170
21	251560	1775600	130	150	165
22	251640	1775600	240	235	220
23	251720	1775600	300	270	250
24	251800	1775600	290	265	250
25	251880	1775600	255	245	235
26	251960	1775600	240	230	230
27	251000	1775680	300	245	230

NO.	EASTING	NORTHING	ECa (mS/m)		
			Depth 0-7.5 m.	Depth 0-15 m.	Depth 0-30m.
28	251080	1775680	185	190	210
29	251160	1775680	200	220	225
30	251240	1775680	220	200	210
31	251320	1775680	220	230	230
32	251400	1775680	185	200	210
33	251480	1775680	90	140	190
34	251560	1775680	180	205	200
35	251640	1775680	150	170	195
36	251720	1775680	285	270	265
37	251800	1775680	265	280	290
38	251880	1775680	250	265	230
39	251960	1775680	260	250	225
40	251000	1775760	285	250	225
41	251080	1775760	220	200	210
42	251160	1775760	180	200	225
43	251240	1775760	210	200	230
44	251320	1775760	220	210	240
45	251400	1775760	235	230	235
46	251480	1775760	220	205	220
47	251560	1775760	270	250	250
48	251640	1775760	220	230	240
49	251720	1775760	300	280	245
50	251800	1775760	250	260	250
51	251880	1775760	220	210	210
52	251960	1775760	270	235	210
53	251000	1775840	300	290	270
54	251080	1775840	240	240	230
55	251160	1775840	150	175	215
56	251240	1775840	180	200	205
57	251320	1775840	240	240	235
58	251400	1775840	180	190	205
59	251480	1775840	180	195	235

NO.	EASTING	NORTHING	ECa (mS/m)		
			Depth 0-7.5 m.	Depth 0-15 m.	Depth 0-30m.
60	251560	1775840	210	220	230
61	251640	1775840	185	205	235
62	251720	1775840	195	205	225
63	251800	1775840	215	205	220
64	251880	1775840	255	230	235
65	251960	1775840	220	220	200
66	251000	1775920	300	270	235
67	251080	1775920	220	220	240
68	251160	1775920	190	195	205
69	251240	1775920	195	200	215
70	251320	1775920	210	220	230
71	251400	1775920	240	220	225
72	251480	1775920	230	220	220
73	251560	1775920	220	220	245
74	251640	1775920	225	225	235
75	251720	1775920	170	170	205
76	251800	1775920	220	220	225
77	251880	1775920	250	230	230
78	251960	1775920	260	260	245
79	251000	1776000	300	255	220
80	251080	1776000	185	195	210
81	251160	1776000	280	230	230
82	251240	1776000	235	220	220
83	251320	1776000	190	210	215
84	251400	1776000	250	240	260
85	251480	1776000	225	235	250
86	251560	1776000	205	230	260
87	251640	1776000	175	180	215
88	251720	1776000	185	200	230
89	251800	1776000	175	195	205
90	251880	1776000	210	215	225
91	251960	1776000	240	240	235

NO.	EASTING	NORTHING	ECa (mS/m)		
			Depth 0-7.5 m.	Depth 0-15 m.	Depth 0-30m.
92	251000	1776080	250	200	200
93	251080	1776080	180	190	185
94	251160	1776080	250	215	220
95	251240	1776080	165	190	210
96	251320	1776080	200	210	220
97	251400	1776080	170	190	220
98	251480	1776080	210	235	240
99	251560	1776080	210	230	235
100	251640	1776080	230	230	240
101	251720	1776080	220	215	240
102	251800	1776080	210	225	235
103	251880	1776080	210	225	230
104	251960	1776080	275	235	240
105	251000	1776160	150	175	200
106	251080	1776160	165	180	190
107	251160	1776160	240	220	215
108	251240	1776160	210	215	220
109	251320	1776160	180	200	240
110	251400	1776160	170	210	210
111	251480	1776160	220	235	220
112	251560	1776160	190	210	225
113	251640	1776160	185	215	220
114	251720	1776160	220	250	250
115	251800	1776160	200	210	250
116	251880	1776160	195	210	240
117	251960	1776160	220	225	245
118	251000	1776240	260	210	200
119	251080	1776240	165	170	200
120	251160	1776240	250	220	210
121	251240	1776240	180	210	215
122	251320	1776240	190	215	210
123	251400	1776240	195	220	215

NO.	EASTING	NORTHING	ECa (mS/m)		
			Depth 0-7.5 m.	Depth 0-15 m.	Depth 0-30m.
124	251480	1776240	215	220	220
125	251560	1776240	180	185	190
126	251640	1776240	165	175	180
127	251720	1776240	180	190	195
128	251800	1776240	180	175	190
129	251880	1776240	210	210	220
130	251960	1776240	235	240	240
131	251000	1776320	230	180	175
132	251080	1776320	160	170	200
133	251160	1776320	225	210	205
134	251240	1776320	170	170	175
135	251320	1776320	195	205	210
136	251400	1776320	190	210	215
137	251480	1776320	200	195	190
138	251560	1776320	200	205	200
139	251640	1776320	180	185	195
140	251720	1776320	170	185	190
141	251800	1776320	150	175	185
142	251880	1776320	180	195	195
143	251960	1776320	270	260	240
144	251000	1776400	145	170	195
145	251080	1776400	130	160	200
146	251160	1776400	195	190	215
147	251240	1776400	145	140	150
148	251320	1776400	125	140	165
149	251400	1776400	170	190	190
150	251480	1776400	155	190	200
151	251560	1776400	160	170	190
152	251640	1776400	170	180	185
153	251720	1776400	180	175	190
154	251800	1776400	190	195	205
155	251880	1776400	225	210	210

NO.	EASTING	NORTHING	ECa (mS/m)		
			Depth 0-7.5 m.	Depth 0-15 m.	Depth 0-30m.
156	251960	1776400	250	240	235
157	251000	1776480	200	200	220
158	251080	1776480	180	175	205
159	251160	1776480	185	180	180
160	251240	1776480	150	170	170
161	251320	1776480	160	175	185
162	251400	1776480	190	190	195
163	251480	1776480	185	220	220
164	251560	1776480	170	185	200
165	251640	1776480	200	200	200
166	251720	1776480	180	190	190
167	251800	1776480	200	200	220
168	251880	1776480	230	215	225
169	251960	1776480	225	230	220

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นาย วุฒิปันธุ์ วงษ์มงคล
วัน เดือน ปีเกิด	24 มกราคม พ.ศ. 2516
สถานที่เกิด	จังหวัดกรุงเทพมหานครฯ
ประวัติการศึกษา	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร พ.ศ. 2535 – 2538 วิทยาศาสตรบัณฑิต (ภูมิศาสตร์) มหาวิทยาลัยมหิดล พ.ศ. 2541-2546 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากรและ สิ่งแวดล้อม)
ที่อยู่ปัจจุบัน	1349/5 ถ.ริมทางรถไฟ แขวง ตลาดพลู เขต ธนบุรี กรุงเทพฯ 10600 โทร 02-8913023

Executive Summary

1. Introduction

Salt-affected soil is a critical problem in northeastern Thailand. The affected area is estimated to be 17 % of the region or 2.85 million hectares. The land development department is a government organization which plans land management in Thailand. It studies ways to reduce salt-affected soil distribution in northeastern Thailand. One appropriate method is reforestation. The important step for reforestation is to determine the discharge and recharge area. The EM 34, an equipment for measuring apparent electrical conductivity (EC_a) has been used for this purpose as it is easy to use and requires less time and manpower. The EC_a data is then used to calculate EM-slope for determining discharge and recharge area.

Geostatistic method originates from mining industries. Nowadays, it is used widely among environmental research, geology and soil science. By using geostatistic method, the spatial variability can be expressed in the form of quantitative data through the calculation of variogram. Variogram can be used also to estimate linear estimator with the Kriging method, known as the best linear unbiased estimator. This method allows us to save cost and manpower as it gives precise estimation for the values from non-investigated areas.

The site of this study is in Ban Pai district, KhonKean province. It is one of the areas chosen from the department of land development for sampling the apparent electrical conductivity, EC_a , using EM34. Sampling method was done by grid at the depths of 0-7.5, 0-15 and 0-30 m, with the distance of 1000 x 1000 m between each sampling site. Geostatistic method was used to study spatial variability of EC_a with the variogram and then was estimated with the kriging method. For better result, additional samplings were collected with the distance of 80 x 80 m between each sampling site in the total area of one square kilometer. This helps to investigate spatial variability of the apparent electrical conductivity within the distance that less than 1,000 m. Both. EC_a data set can be further analyzed with Kriging method to create a salt-affected soil map of the study area and can be used as a guidance for other EC_a samplings with EM34 in the future.

2. Objective

1. To study spatial variability of the apparent electrical conductivity (EC_a) data obtained from a 80 x 80 and a 1,000 x 1,000 m. grid at the depths of 0-7.5, 0-15 and 0-30 m.
2. To apply geostatistic method and kriging estimator for EC_a estimation from a 80 x 80 and a 1,000 x 1,000 m. grid data at the depths of 0-7.5, 0-15 and 0-30 m.

3. Study area

Study area is located in Banphai district, KhonKean province and surrounded by 4 grid points (GP 1770N-246E, GP 1782N-246E, GP 1770N-260E and GP 1782N-260E) in the 1 : 50,000 topography map of AMPHOE BANPHAI (5541III) and BAN HIN TANG (5541II). It cover 168 squarekilometer (12 km x 14 km). The topography of this area is a terrace with elevations varying from 150-200 meters. Most geology is Mahasarakam formation that is believed to be the source of salt for salinization process. Among soil texture categories, sandy loam is the dominant soil texture (90.31 %), followed by sand (4.53%) and clay (1.04%).

4. Materials and methods

4.1 Instruments

We used the EM34 which is an inductive electromagnetic soil conductivity meter. The instrument consists of a transmitter coil and a receiver coil. An alternating current in the transmitter coil induces a primary magnetic field that induces small current in the conductive components of the soil. This current induces a secondary magnetic field, the strength of which is related to electrical conductivity of the soil. The strength of the secondary magnetic field and the primary magnetic field is measured by the receiver coil. The instrument is designed so that the electrical conductivity in a linear function of the ratio of the secondary to the primary magnetic field and can directly be read from the instrument. EM34 measure the apparent electrical conductivity which reflects the cumulative of the bulk soil electrical conductivity of various layers above a certain depth. The depth depends on the distance between the coils and the position of the coil. In this study, the EM34 was operated in horizontal dipole mode (The coils was placed vertically to the surface) with the separation of 10, 20 and 40 meters provided at the depths of 0-7.5, 0-15 and 0-30 meters respectively.

4.2 EC_a data

Two sampling configurations were used for this research.

1) A square grid with the sampling point of 1,000 meters apart. This is the secondary data from the department of land development, carried out on April 1993 for a total of 196 sites cover all study area (168 Km²). The EC_a data was measured in horizontal mode at the depths of 0-7.5, 0-15 and 0-30 meters.

2) A square grid with the sampling point of 80 meters apart. This one is the primary data collected during 18-22 April 2001 for a total of 169 sites cover 0.98 m² inside the study area. The EC_a data was measured in horizontal mode at the depths of 0-7.5, 0-15 and 0-30 meters.

4.3 Geostatistic method

Both EC_a data sets were conducted by geostatistic method as following and shown in figure 1.

1) Calculation of descriptive statistic such as Mean, Standard deviation, Coefficient variation, skew and frequency histogram creation in order to test the normal distribution.

2) Variogram calculator, calculate in omni direction and then separate into four directions i.e. North-South East-West Northeastern-Southwestern and Northwestern-Southeastern.

3) Variogram modeling.

4) Cross validation.

5) Kriging.

6) Mapping.

The softwares used in this study are GEO-EAS for process no 1 and 4 , variowin2D for processes no 2 and 3 , and Surfer32 for the process no 5 and 6.

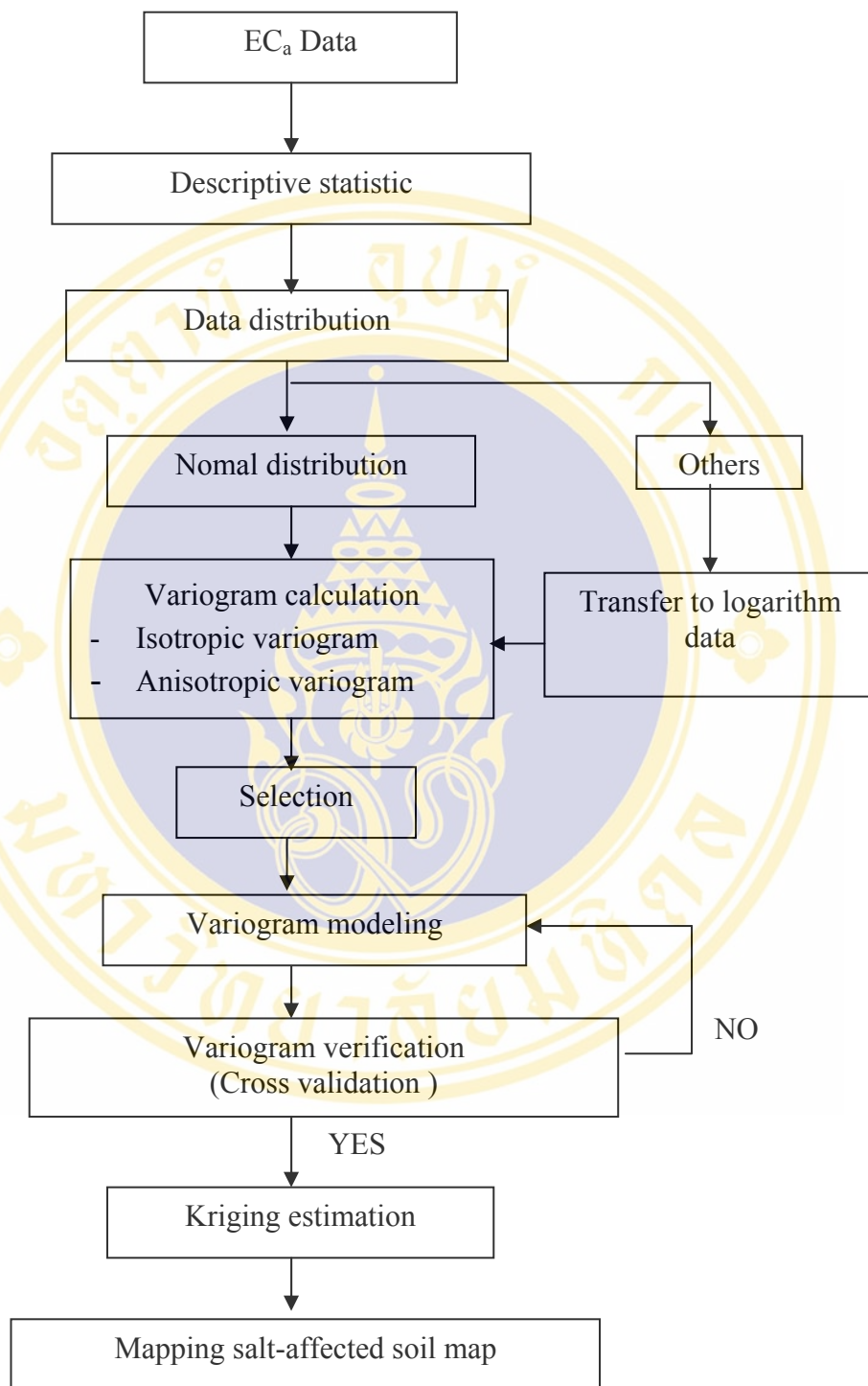


Figure 1 Flowchart of geostatistical analysis steps

5. The result

The study of geostatistic method application to study the apparent electrical conductivity (EC_a) in Banphai district, Khonkean province can be summarized as follow.

5.1 Spatial variability of the apparent electrical conductivity.

Variogram model of the apparent electrical conductivity from data set having 80x80 m and 1000x1000 m distance between each sampling site at the depths of 0-7.5,0-15 and 0-30 meters are summarized in table 1.

Table 1 Summary of EC_a variogram model.

EC_a	Direction	Model	Nugget variance	Sill	range (meter)		
Grid 80 meter	Depth 0-7.5 meter	Omni direction	Exponential	150	2,050	550	
		N-S	Exponential	150	2,050	450	
		E-W	Exponential	150	2,050	750	
	Depth 0-15 meter	Omni direction	Exponential	100	950	500	
		N-S	Exponential	100	950	400	
		E-W	Exponential	100	950	600	
	Depth 0-30 meter	Omni direction	Exponential	60	660	600	
		N-S	Exponential	60	520	380	
		E-W	Exponential	60	730	600	
	Grid 1,000 meter	Depth 0-7.5 meter	Omni direction	Spherical	750	2,800	4,300
			E-W	Spherical	750	2,800	4,300
			NE-SW	Spherical	750	2,800	4,300
			N-S	Spherical	750	2,400	4,300
			NW-SE	Spherical	750	3,100	4,300
		Depth 0-15 meter	Omni direction	Spherical	700	2,300	4,600
E-W			Spherical	700	2,300	4,600	
NE-SW			Spherical	700	2,300	4,600	
N-S			Spherical	700	2,000	4,600	
NW-SE			Spherical	700	2,650	4,600	
Depth 0-30 meter		Omni direction	Spherical	700	2,200	5,100	
		E-W	Spherical	700	2,200	5,100	
		NE-SW	Spherical	700	2,200	5,100	
		N-S	Spherical	700	1,950	5,100	
		NW-SE	Spherical	700	2,550	5,100	

The information in table 1 indicates that, the apparent electrical conductivity (EC_a) from the data of 80x80 meter and 1000x1000 meter distance between each sampling site at the depths of 0-7.5, 0-15 and 0-30 meters has anisotropic character for the spatial variability. The variogram of EC_a from all three depths of the 80 x 80 meter sampling site fits well into exponential model and give different values of sill and range in any direction. The variogram of EC_a from 1,000 x 1,000 meter data set from all three depths fits well into spherical model with different value of sill in any direction. This corresponds to the land surface change of altitude in study area. Maximum sill value is found at the northwestern – southeastern direction. It conforms with the pattern of elevation change that inclines from southeastern to northwestern direction. The minimum sill value is found in the north-south direction, the direction of less elevation change. This is the result of the salt rock layer in the soil profile of study area. Rainfall dissolves the underneath salts, and the salty water moves upwards and deposits in the low area. This results in the difference of EC_a values at different land surface altitudes and the change in EC_a corresponds to the change of elevation in the area.

5.2 The application of geostatitics method and kriging estimation on the apparent electrical conductivity.

The result shows that EC_a data measured by EM34 from both sampling site distances (80 x 80 meter and 1,000 x 1,000 meter) at the depth of 0-7.5, 0-15 and 0-30 meters from EM 34 can be processed by geostatistical method and kriging estimation. The range of variogram model of EC_a shows that data from sampling site distance at 80 X 80 meter has spatial dependency until the distance of 400-750 meters. Data from sampling site distance at 1000 X 1000 meter has spatial dependency until the distance of 4,300 to 5,100 meter, approximately. In conclusion, the sampling collection for EC_a in this study using grid at the distance between sampling site 80 m or 1000 m is suitable for geostatistical method and kriging estimation.

5.3 Distribution pattern of salt-effected soil in the study area.

5.3.1 Distribution pattern of salt-effected soil within the study area from data set with distance between sampling site 1,000 x 1,000 m at 0-7.5 m depth.

The salt – effected soil map at the depth 0-7.5 m shows that most of the area is slightly salt-effected area (EC_a 40-80 mS/m), and then non salt-effected area (EC_a 0-80 mS/m), moderately salt-effected area (EC_a 120-160 mS/m), strongly salt-effected area (EC_a 160-200 mS/m) and very strongly salt-effected area ($EC_a > 200$ mS/m), respectively. An overlay of elevation contours show the distribution of salt-effected area corresponds to the area altitude. The area of strongly and very strongly salt-affected soils are in the lowest area in the study area with elevation 151- 160 m whereas the outer area in the east and south which is the highest area in this study (171-190 m) is the area having slightly –very slightly salt- effect soil.

5.3.2 Distribution pattern of salt-affected soil within the study area from data set with distance between sampling site 1,000 x 1,000 m at 0-15 m depth.

The map of salt-affected soil at the depth 0-15 m shows that most of the area has slightly salt-affected soil (EC_a 80-120 mS/m), the rest are moderately salt-affected (EC_a 120-160 mS/m), non salt-affected (EC_a 0-80 mS/m), strongly salt-affected (EC_a 160-200 mS/m) and very strongly salt-affected soil ($EC_a > 200$ mS/m), respectively. An overlay of elevation contours show the distribution of salt-affected rank associates with pattern of elevation, The area of strongly and very strongly salt-affected soils are in the lowest area of our study area with elevation 151- 160 m whereas the outer area in the east and south which is the highest area in this study (181-190 m) is the area having slightly –very slightly salt- affected soil.

5.3.3 Distribution pattern of salt-affected soil within the study area from data set with distance between sampling site 1,000 x 1,000 m at 0-30 m depth.

The map of salt-affected soil at the depth 0-30 m shows that most of the area receive slightly salt-affected (EC_a 80-120 mS/m), the rest receive moderate salt-affected (EC_a 120-160 mS/m), non salt-affected (EC_a 0-80 mS/m) and strongly – affected (EC_a 160-200 mS/m), respectively. An overlay of elevation contours show the distribution of salt-affected rank associates with pattern of elevation. The area of very strongly and strongly salt-affected soils are in the lowest area of our study area with elevation 151- 160 m whereas the outer area in the east and south which is the highest elevation in this study (181-190 m) is the area having slightly –very slightly salt- effect soil.

6. Suggestion

As the size of the study area is rather small (168 km²), thus, little differences among geographical, geological and hydrographic characters can be observed. Additional study should be conducted in a larger scale so that we could see more clear on the effect of EC_a on these physical factors.