



วิทยานิพนธ์

สภาพแวดล้อมในการแพร่กระจายของดินเค็มในแอ่งสกลนคร
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

Environmental Condition of Saline Soils Distributed
in Sakon Nakhon Basin, Northeast Thailand

นายสุริยะ ศิริวัฒน์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2549



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)
ปริญญา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
สาขา
วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม
ภาควิชา

เรื่อง สภาพแวดล้อมในการแพร่กระจายของดินเค็มในแอ่งสกลนคร
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

Environmental Condition of Saline Soils Distributed
in Sakon Nakhon Basin, Northeast Thailand

นามผู้วิจัย นายสุริยะ สิริวัฒน์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ (ศาสตราจารย์เอิบ เขียวรีนรมณ์, Ph.D.)
กรรมการ (รองศาสตราจารย์ไพบุลย์ ประพอดิธรรม, Ph.D.)
กรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประสงค์ สงวนธรรม, วท.ม.)
ประธานสาขาวิชา (ศาสตราจารย์เกษม จันทรแก้ว, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อาจคงหาญ, M.A.)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 28 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2549

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

สภาพแวดล้อมในการแพร่กระจายของดินเค็มในแอ่งสกลนคร
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

Environmental Condition of Saline Soils Distributed
in Sakon Nakhon Basin, Northeast Thailand

โดย

นายสุริยะ ศิริวัฒน์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม)
พ.ศ. 2549

ISBN 974-16-1356-3

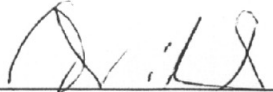
สุริยะ สิริวัฒน 2549: สภาพแวดล้อมในการแพร่กระจายของดินเค็มในแอ่งสกลนคร
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
(วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม
ประธานกรรมการที่ปรึกษา: ศาสตราจารย์เอิบ เขียวรัตน์, Ph.D. 106 หน้า
ISBN 974-16-1356-3

การศึกษาสภาพแวดล้อมในการแพร่กระจายของดินเค็มในแอ่งสกลนคร ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
ของประเทศไทยทำการ ศึกษาโดยใช้ตัวอย่างดิน 26 บริเวณในเขตจังหวัดหนองคาย อุดรธานี สกลนคร
และนครพนม วิธีการศึกษาประกอบด้วย การวิเคราะห์ทางสารสนเทศภูมิศาสตร์ การสำรวจภาคสนาม
แล้วนำตัวอย่างดินมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการทางกายภาพ เคมี และวิเคราะห์ทิศทางการแพร่กระจายดิน
เค็มเหล่านี้กับสภาพแวดล้อมในแอ่งสกลนคร

ผลของการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมของการแพร่กระจายของดินเค็ม พบว่าส่วนใหญ่จะอยู่ใน
ตะกอนน้ำค้ำ และส่วนบนของตะกอนน้ำค้ำ มีสภาพพื้นที่ราบเรียบถึงค่อนข้างราบเรียบ การใช้
ประโยชน์ที่ดิน เป็นพื้นที่นาข้าว และปล่อยให้รกร้างว่างเปล่า มีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย อยู่ใน
ขอบเขตพื้นที่ของชุดดินร้อยเอ็ดที่เป็นดินเค็ม และชุดดินโคราชที่เป็นดินเค็ม มีค่าปฏิกิริยาดินน้อยกว่า
8.5 อัตราส่วนการดูดซับโซเดียมส่วนใหญ่มีค่ามากกว่า 13 และค่าการนำไฟฟ้าสูงเกิน 2 เดซิซีเมนส์ต่อ
เมตร จัดเป็นดินเค็ม-โซดิก

จากการวิเคราะห์ทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยใช้แผนที่การแพร่กระจายดินเค็มแอ่ง
สกลนคร และค่าการนำไฟฟ้าในแต่ละบริเวณ พบว่าการแพร่กระจายดินเค็มมีลักษณะเป็นหย่อม มี
ทิศทางตามแนวของขอบแอ่งทางตะวันตกและตอนใต้ โดยส่วนใหญ่ในด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ของแอ่ง
บริเวณที่ 1, 3, 4, 13, 15 และ 26 ซึ่งมีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในระดับสูงมาก (>16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร) มี
ความสัมพันธ์กับสภาพภูมิประเทศและโครงสร้างทางธรณีวิทยาของโครงสร้างโค้งงอพานที่บริเวณ
ขอบแอ่ง ทำให้แหล่งเกลือเคลื่อนขึ้นมาอยู่ใกล้ผิวดิน สภาพภูมิอากาศที่มีค่าการระเหยที่สูง และ
โครงสร้างของถนนที่ขวางทางน้ำทำให้การแพร่กระจายดินเค็มในด้านนี้รุนแรงมากขึ้น

สุริยะ สิริวัฒน
ลายมือชื่อนิติ


ลายมือชื่อประธานกรรมการ

22 / มี.ค. / 2549

Suriya Siriwat 2006: Environmental Condition of Saline Soils Distributed in Sakon Nakhon Basin, Northeast Thailand. Mater of Science (Environmental Science), Major Field: Environmental Science, College of Environment. Thesis Advisor: Professor Irb Kheoruenromne, Ph.D. 106 pages.
ISBN 974-16-1356-3

A study on environmental condition of saline soils distributed in Sakon Nakhon Basin, Northeast Thailand was carried out on 26 sampling locations in Nong Khai, Udon Thani, Sakon Nakhon and Nakhon Phanom provinces. Methods of study included geographic information system (GIS) analysis, field morphology and laboratory analysis.

Results of field analysis revealed that the soils developed on low terraces and some of them occur on upper part of low terrace with flat to undulating surfaces. Land use is paddy rice and some area are left idle under grasses. Their textures are sandy clay loam. They are classed as Roi-Et saline and Korat saline variants. Their sodium adsorption ratios are more than 13 and their electrical conductivity values are more than 2 dS m^{-1} indicating saline-sodic soil condition.

GIS analysis results based on salt distribution map and EC values indicate that spots of salt distribute in the border of basin from West to South. Pedons 1, 3, 4, 13, 15 and 26 have very high EC ($>16 \text{ dS m}^{-1}$) for surface horizon and the values decrease with depth. These results relate well with physiography and geomorphology of Phuphan folding. As a result, salt moved to near surface soil. High evapotranspiration and infrastructure are the main factors affecting distribution of these saline soils.

Suriya Siriwat

Student's signature

Irb Kheoruenromne 22 / March / 2006

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาจาก ศาสตราจารย์ ดร. เอิบ เพ็ชรรัตน์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำและเดินทางไปช่วยในการเก็บตัวอย่างดินอย่างใกล้ชิด ตลอดจนการแก้ไขวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. ไพฑูรย์ ประพดีธรรม กรรมการวิชาเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสงค์ สงวนธรรม กรรมการวิชาการ และดร. จงรักษ์ วัชรินทร์รัตน์ ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้ให้คำปรึกษา และตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในการวางแผนการวิจัยในวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. อภิศักดิ์ โพธิ์ปิ่น ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำ และอำนวยความสะดวกทางด้านข้อมูล ในการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณสมศักดิ์ สุขจันทร์ กรมพัฒนาที่ดิน ที่กรุณาเอื้อเฟื้อข้อมูลแผนที่การแพร่กระจายดินเค็มแอ่งสกลนคร และขอขอบคุณ คุณศิริวัช แก้วเจริญ คุณนภาพร วงษ์โพธิ์หอม คุณปัญญญา ตระกูลยิ่งเจริญ ที่ช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่างดินภาคสนามอย่างเต็มที่ และคุณสุกัญญา ธนะจิตต์ คุณณัฐพร ประกองเก็บ ที่แนะนำเทคนิคการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการและให้คำปรึกษาที่ดีเสมอมา

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ หลักสูตรวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ที่ให้ความช่วยเหลือ แนะนำ และเป็นแรงผลักดันให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้านและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา

สุริยะ ศิริวัฒน์

กุมภาพันธ์ 2549

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
นิยามและการจำแนกดินเค็ม	3
อิทธิพลของความเค็มที่มีต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช	5
ปัญหาการแพร่กระจายของพื้นที่ดินเค็ม	6
การเกิดดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	8
ลักษณะและการแพร่กระจายของดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย	12
การแบ่งชั้นความเค็มของดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	15
ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการศึกษาการแพร่กระจายดินเค็มในแอ่งสกลนคร	16
สภาพทั่วไปของบริเวณที่ทำการศึกษา	18
อุปกรณ์และวิธีการ	31
อุปกรณ์	31
วิธีการ	32
ผลการศึกษาและวิจารณ์	36
สภาพแวดล้อมทั่วไปในการแพร่กระจายดินเค็มบริเวณพื้นที่ศึกษา	36
ผลจากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ	40
สมบัติทางกายภาพของดินที่ศึกษา	40
สมบัติทางเคมีของดินที่ศึกษา	47
สภาพแวดล้อมการแพร่กระจายดินเค็มในแต่ละระดับความเค็ม	57
อิทธิพลของสภาพแวดล้อมในการแพร่กระจายดินเค็มในแอ่งสกลนคร	67
ทิศทางและความรุนแรงของการแพร่กระจายดินเค็ม ในแอ่งสกลนคร	76

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
สรุปผลการศึกษา	81
ข้อเสนอแนะ	85
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	86
ภาคผนวก	98

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 การจำแนกระดับความเค็มและอิทธิพลของความเค็มต่อการเจริญเติบโตของพืช	4
2 ค่าพิกัดของสมบัติดินที่ใช้ในการจำแนกดินเค็ม ดินเค็ม-โซดิก และดินโซดิก	5
3 ข้อมูลสภาพภูมิอากาศของแอ่งสกลนคร	28
4 พื้นที่การแพร่กระจายดินเค็มแอ่งสกลนคร	37
5 ลักษณะสภาพทั่วไปของดินที่ทำการศึกษา	41
6 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดินที่ทำการศึกษา	44
7 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินที่ทำการศึกษา	48
8 สภาพแวดล้อมที่ส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายดินเค็มในระดับเค็มจัด	60
9 สภาพแวดล้อมที่ส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายดินเค็มในระดับมาก	61
10 สภาพแวดล้อมที่ส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายดินเค็มในระดับปานกลาง	63
11 สภาพแวดล้อมที่ส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายดินเค็มในระดับน้อย	64
12 สภาพแวดล้อมของดินไม่เค็ม	65
ตารางผนวกที่	
1 ข้อมูลภูมิอากาศ (พ.ศ. 2509-2538) ของบริเวณที่ศึกษา	99
2 การแบ่งกลุ่มของเนื้อดิน	100
3 ข้อจำกัดต่างๆ ที่ใช้ในการประเมินระดับสมบัติทางเคมี และการประเมิน ความอุดมสมบูรณ์ของดิน	101
4 เกณฑ์การแบ่งระดับปริมาณความเป็นกรดที่สกัดได้	103
5 เกณฑ์การแบ่งระดับความหนาแน่นรวมของดิน	103
6 ระดับชั้นของค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำของดินอิ่มตัวด้วยน้ำ	104
7 สมบัติของดินทั่วไปเปรียบเทียบกับดินเค็ม ดินโซดิก และดินเค็มโซดิก	104

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ตำแหน่งพื้นที่แอ่งโคราชและแอ่งสกลนครที่พบการแพร่กระจายดินเค็ม	13
2 ขอบเขตพื้นที่ศึกษาดินเค็มแอ่งสกลนคร	19
3 ลักษณะทางธรณีวิทยาของแอ่งสกลนคร	23
4 การแพร่กระจายดินเค็มในแอ่งสกลนคร	38
5 จุดเก็บตัวอย่างดินที่ทำการศึกษาทั้ง 26 บริเวณ	39
6 สภาพแวดล้อมการแพร่กระจายดินเค็มในระดับเค็มจัด	58
7 สภาพแวดล้อมการแพร่กระจายดินเค็มในระดับเค็มมาก	61
8 สภาพแวดล้อมการแพร่กระจายดินเค็มในระดับเค็มปานกลาง	62
9 สภาพแวดล้อมการแพร่กระจายดินเค็มในระดับเค็มน้อย	63
10 สภาพแวดล้อมของดินไม่เค็ม	65
11 ระดับค่าการนำไฟฟ้าในดินชั้นบนกับลักษณะทางธรณีวิทยาของแอ่งสกลนคร	68
12 ระดับค่าการนำไฟฟ้าในดินชั้นล่างกับลักษณะทางธรณีวิทยาของแอ่งสกลนคร	68
13 ระดับค่าการนำไฟฟ้าในดินชั้นบนกับสภาพภูมิประเทศของแอ่งสกลนคร	71
14 ระดับค่าการนำไฟฟ้าในดินชั้นล่างกับสภาพภูมิประเทศของแอ่งสกลนคร	71
15 ระดับค่าการนำไฟฟ้าในดินชั้นบนกับปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีของแอ่งสกลนคร	73
16 ระดับค่าการนำไฟฟ้าในดินชั้นล่างกับปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีของแอ่งสกลนคร	73
17 ระดับค่าการนำไฟฟ้าในดินชั้นบนกับเส้นทางคมนาคมของแอ่งสกลนคร	75
18 ระดับค่าการนำไฟฟ้าในดินชั้นล่างกับเส้นทางคมนาคมของแอ่งสกลนคร	75
19 แผนที่ทิศทางและระดับความรุนแรงของดินเค็มชั้นบนในแอ่งสกลนคร	77
20 แผนที่ทิศทางและระดับความรุนแรงของดินเค็มชั้นล่างในแอ่งสกลนคร	78
 ภาพผนวกที่	
1 ลำดับชั้นหินในแอ่งสกลนคร	105
2 ภาพตัดขวางแสดงแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ธรณีวิทยา และอุทกธรณีวิทยา ในแนวทิศตะวันตก-ตะวันออก แอ่งสกลนคร	106

สภาพแวดล้อมในการแพร่กระจายของดินเค็ม ในแอ่งสกลนคร

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

Environmental Condition of Saline Soils Distributed

in Sakon Nakhon Basin, Northeast Thailand

คำนำ

ดินเค็มในประเทศไทยพบมากทั้งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและบริเวณชายฝั่งทะเล (สมศรี, 2540ก) ปัญหาที่เกิดขึ้นมีทั้งทางด้านการขยายพื้นที่ซึ่งมีความรุนแรงเพิ่มขึ้น และการแพร่กระจายของดินเค็มที่ทำให้เกิดปัญหามากมายในปัจจุบัน ส่วนหนึ่งมีมนุษย์เป็นตัวละครสำคัญ เช่นในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีการตัดไม้ทำลายป่าบนพื้นที่ที่มีศักยภาพในการแจกกระจายดินเค็ม การทำนาเกลือ การสร้างอ่างเก็บน้ำบนพื้นที่ดินเค็ม หรือมีน้ำใต้ดินเค็มอยู่ตื้น การใช้น้ำชลประทาน ผิดวิธี กิจกรรมเหล่านี้ส่งผลต่อระบบนิเวศของภูมิภาคนี้อย่างมาก และนับวันยังทวีความรุนแรงมากขึ้น ทำให้คุณภาพชีวิตของประชากรในภูมิภาคนี้ไม่ดีเท่าที่ควร (อนันต์, 2529)

การเกิดดินเค็มในตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นผลมาจากสภาพทางธรณีวิทยา (สมศรี, 2539) โดยแหล่งเกลือในดินกำเนิดมาจากหินดินดาน และหินทรายที่มีเกลือเป็นองค์ประกอบ ครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 35 ของพื้นที่ภาค (เพิ่มพูน, 2527) ความเค็มของดินเหล่านี้แปรปรวนตามฤดูกาล คือ ในฤดูฝนน้ำฝนจะชะละลายเกลือที่ผิวดินลงไปสู่ดินล่าง จึงไม่พบคราบเกลือ แต่จะพบคราบเกลือตามผิวดินในฤดูแล้ง ซึ่งเป็นฤดูที่พบดินเค็มเป็นบริเวณกว้างขวางกว่าฤดูอื่น (ขงยุทธ, 2524) การแพร่กระจายของดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบทั้งในบริเวณแอ่งโคราชและแอ่งสกลนคร (Arunin, 1984)

แอ่งสกลนคร (Sakon Nakhon Basin) ครอบคลุมพื้นที่ 4 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดสกลนคร นครพนม หนองคาย และอุดรธานี เป็นแอ่งในแผ่นดินตอนบนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ กั้นแยกจากแอ่งตอนล่างหรือแอ่งโคราชโดยทิวเขาภูพาน มีความสูงของแอ่งโดยประมาณอยู่ในระดับเดียวกับแอ่งโคราชที่ระดับความสูง 160 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง (เฉลี่ย, 2540) การกำหนดขอบเขตและพื้นที่ของแอ่งทั้งสองพิจารณาจากลักษณะทางธรณีและอุทกวิทยา โครงสร้างทางธรณีของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ความเค็มที่พบในดินมาจากเกลือในหินดินดานและหินทราย

ในหมวดหินมหาสารคาม (Mahasarakam Formation) เมื่อหินเหล่านี้สลายตัวหรือผุพัง โดยกระบวนการทางเคมีและทางกายภาพ เกลือที่เคยแทรกตัวอยู่ก็จะละลายน้ำออกมา และเข้าสู่วงจรน้ำใต้ดิน เกลือเหล่านี้อาจสะสมอยู่กับที่หรือเคลื่อนตัวไปกับน้ำ แล้วซึมลงสู่ชั้นล่างหรือซึมกลับขึ้นมาบนผิวดินได้โดยการซึมผ่านแรงแคลพิลลารีจากน้ำใต้ดินต้น (ไพบูลย์, 2528) ประกอบกับเกลือที่เกิดจากกิจกรรมการใช้ที่ดิน (Mitsuchi *et al.*, 1989) ได้แก่ การถางป่า การทำนาเกลือ การชลประทาน การสร้างถนน และการสร้างอ่างเก็บน้ำในบริเวณที่ดินมีศักยภาพจะเกิดเป็นดินเค็มสูงมีมากขึ้น (Arunin, 1984) ปัญหาดินเค็มส่งผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์ที่ดินและผลผลิตพืชในพื้นที่เกษตร ทำให้ไม่เพียงพอต่อการดำรงชีพ เกิดการบุกรุกพื้นที่ป่าเพื่อหาพื้นที่ทำกินใหม่เพิ่มขึ้นตลอดเวลา หากไม่รีบหาแนวทางแก้ไขปัญหาดินเค็มจะแพร่กระจายความเค็มไปสู่พื้นที่อื่นเพิ่มขึ้น พื้นที่และผลผลิตทางการเกษตรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะยิ่งลดน้อยลง กรณีเลือกพื้นที่แอ่งสกลนครเป็นพื้นที่ศึกษา เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีปริมาณฝนค่อนข้างสูง อิทธิพลของความเค็มน่าจะมีความรุนแรงน้อยกว่าบริเวณแอ่งโคราชที่แห้งกว่า แต่ยังคงเป็นปัญหาหลักควบคู่กับความอุดมสมบูรณ์ที่ต่ำของดิน น่าจะเป็นกรณีศึกษาที่ให้ผลที่แตกต่างกัน

เนื่องจากข้อมูลศึกษาเกี่ยวกับดินเค็มในพื้นที่แอ่งสกลนครนี้ยังมีอยู่น้อย จึงจำเป็นต้องศึกษา และจัดทำข้อมูลสภาพแวดล้อมที่ส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายดินเค็มในแอ่งสกลนครให้ชัดเจน เพราะการแพร่กระจายดินเค็มนั้นไม่ได้เกิดจากปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งโดยเฉพาะ เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้กับพื้นที่จริง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนพิจารณาปรับปรุงแก้ไขปัญหาด้านเกี่ยวกับปัญหาดินเค็ม รวมทั้งการป้องกันการแพร่กระจายของพื้นที่ดินเค็มเพื่อเป็นการนำไปสู่การจัดการและการฟื้นฟูพื้นที่ดินเค็มอย่างมีระบบและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น รวมทั้งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการวางแผนการใช้ที่ดินได้ในอนาคต

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปัจจัยสภาพแวดล้อมที่ส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายดินเค็มในแอ่งสกลนคร
2. เพื่อศึกษาทิศทางและความรุนแรงของการแพร่กระจายดินเค็ม ในแอ่งสกลนคร
3. เพื่อใช้ข้อมูลที่ได้จากการศึกษา เป็นพื้นฐานในการเสนอแนะการวางแผนการจัดการ และใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่แอ่งสกลนครให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

การตรวจเอกสาร

1. นิยามและการจำแนกดินเค็ม

ดินเค็ม หรือ ดินที่ได้รับอิทธิพลของเกลือ (salt affected soils) หมายถึง ดินที่มีเกลือที่ละลายน้ำได้อยู่มากจนมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช และทำให้ผลผลิตของพืชลดลง (สมศรี, 2539; Richards, 1954; Szabolcs, 1992) การจำแนกดินที่ได้รับอิทธิพลของเกลือ ตามหลักการจำแนกของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกาโดยอาศัยระดับความเค็มและอิทธิพลที่กระทบต่อพืช แสดงไว้ตารางที่ 1 เกลือที่มีอยู่ในดินส่วนใหญ่เกิดจากการรวมตัวกันของธาตุที่เป็นไอออนบวก คือโซเดียม แคลเซียม แมกนีเซียม และธาตุที่เป็นไอออนลบพวก คลอไรด์ ซัลเฟต โบคาร์บอเนต และไนเตรต (อำนาจ, 2525; Richards, 1954; White, 1997)

ดินเค็มที่พบโดยทั่วไป จำแนกตามคุณสมบัติทางเคมีได้ โดยลักษณะของ สภาพการนำไฟฟ้า (electrical conductivity: EC) ของดินที่สกัดจากสารละลายดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ วัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อัตราร้อยละโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable sodium percentage: ESP) อัตราการดูดซับโซเดียม (sodium adsorption ratio: SAR) และค่าปฏิกิริยาดิน (pH) (Brady and Weil, 1999) ได้เป็น 3 ประเภท ดังแสดงในตารางที่ 2

1.1 ดินเค็ม (saline soil) คือ ดินที่มีปริมาณเกลือที่ละลายน้ำได้อยู่ในสารละลายดินมากจนมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช มีสภาพการนำไฟฟ้าสูงกว่า 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร สำหรับพืชโดยทั่วไปค่านี้นำมาใช้เป็นเกณฑ์อย่างกว้างขวาง แต่สำหรับพืชบางชนิดที่ไวต่อความเค็มจะใช้ค่าที่ 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีอัตราร้อยละโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำกว่า 15 หรือมีอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมต่ำกว่า 13 และค่าปฏิกิริยาดินต่ำกว่า 8.5 (Abrol *et al.*, 1988; Ghassemi *et al.*, 1995; Sparks, 1995; Brady and Weil, 1999) เกลือส่วนใหญ่เป็นเกลือคลอไรด์และซัลเฟตของโซเดียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียม ดินมักจะมีคราบเกลือสีขาวบริเวณผิวดินบนที่เรียกว่า white alkali soil หรือ solonchak (จงรัก, 2530; Sys, 1980; Singer and Munns, 1996; Brady and Weil, 1999)

ตารางที่ 1 การจำแนกระดับความเค็มและอิทธิพลของความเค็มต่อการเจริญเติบโตของพืช

Salt condition	Electrical conductivity (dS m ⁻¹)	Total salt content (%)	Crop reaction
Non-saline	< 2	trace	No effect on crops
Very slightly saline	2-4	< 0.15	Salinity effect mostly negligible except for the most sensitive crops
Slightly saline	4-8	0.15-0.35	Restricted yields of many crops
Moderately saline	8-16	0.35-0.65	Only tolerant crops yield satisfactorily
Strongly saline	> 16	> 0.65	Only very tolerant crops yield satisfactorily

ที่มา: U.S. Salinity Laboratory Staff (1954); FAO (1973); Soil Survey Staff (1981)

1.2 ดินโซดิก (sodic soil) คือดินที่มีค่าอัตราร้อยละโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ในปริมาณที่มากจนมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ดินมีค่าร้อยละโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ไม่ต่ำกว่า 15 หรือมีอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมไม่ต่ำกว่า 13 มีสภาพการนำไฟฟ้าต่ำกว่า 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตรและมีค่าปฏิกิริยาดินสูงกว่า 8.5 (Ghassemi *et al.*, 1995; Brady and Weil, 1999) เกือบที่ละลายได้มักจะ เป็นเกลือคาร์บอเนต และเกลือไบคาร์บอเนตของโซเดียม และเนื่องจากดินโซดิกมีปฏิกิริยาดินสูง และปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้มาก บางส่วนของอินทรีย์วัตถุในดิน จะละลายออกมาอยู่ใน สารละลายดิน แล้วขึ้นมากับน้ำใต้ดินและตกตะกอนเคลือบผิวดิน ทำให้หน้าดินมีสีคล้ำหรือมีคราบ สีดำบนดินซึ่งอาจเรียกดินนี้ว่า black alkali soils หรือ solonetz (อำนาจ, 2525; Sys, 1980; สมศรี, 2539; Singer and Munns, 1996)

1.3 ดินเค็มโซดิก (saline-sodic soil) คือดินที่มีลักษณะอยู่ระหว่างดินเค็มและดินโซดิก ดิน มีทั้งเกลือที่ละลายได้ง่าย และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้อ่อนนุ่มจนก่อให้เกิดอันตรายต่อพืช มีสภาพ การนำไฟฟ้ามากกว่า 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีอัตราร้อยละโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ไม่ต่ำกว่า 15 หรือมีค่าอัตราการดูดซับโซเดียมไม่ต่ำกว่า 13 และค่าปฏิกิริยาดินโดยทั่วไปมักต่ำกว่า 8.5 (Brady and Weil, 1999)

ตารางที่ 2 ค่าพิกัดของสมบัติดินที่ใช้ในการจำแนกดินเค็ม ดินเค็ม-โซดิก และดินโซดิก

Soils condition	EC (dS m ⁻¹)	SAR	pH
Saline soils	>4	<15	<8.5
Saline-sodic soils	>4	>15	generally <8.5
Sodic soils	<4	>15	generally <8.5

ที่มา: (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954)

2. อิทธิพลของความเค็มที่มีต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช

ความเค็ม มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชใน 3 ลักษณะ คือ ความดันออสโมติก (osmotic pressure) ความเป็นพิษ (toxicity) ของธาตุโซเดียม และความไม่สมดุลของไอออนเป็นผลให้พืชขาดธาตุอาหาร (เล็ก, 2526)

เกลือต่างๆ ที่อยู่ในสารละลายดิน จะทำให้ค่าความดันออสโมติกของน้ำในดินเพิ่มขึ้น ทำให้ ปริมาณน้ำส่วนที่พืชสามารถจะนำไปใช้ประโยชน์ได้มีน้อยลง โดยปริมาณน้ำที่ลดลง มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเกลือที่มีอยู่ในสารละลายดิน ในดินเค็มที่มีความเข้มข้นของเกลืออยู่สูงมาก ส่งผลให้พืชไม่สามารถดูดน้ำจากดินขึ้นมาใช้ได้และเหี่ยวตายไปในที่สุด (จงรักษ์, 2530) นอกจากนี้ ความเค็มยังมีผลต่อการงอกของเมล็ด การเจริญเติบโตของกล้าอ่อน และกระบวนการเมตาโบลิซึมต่างๆ ในต้นพืชเรื่องการสังเคราะห์แสง การสังเคราะห์เอนไซม์ จำเป็นบางชนิด

สำหรับดินเค็ม-โซดิก และดินโซดิก ซึ่งนอกจากจะได้รับอิทธิพลจากเกลือโดยตรงแล้ว โซเดียมไอออนที่มีอยู่มากเกินไปอาจจะก่อให้เกิดภาวะปฏิปักษ์ (antagonism) ทำให้พืชไม่สามารถ ดึงดูดธาตุประจุบวกซึ่งเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นไปใช้ได้เพียงพอ (เล็ก, 2526) Carter and Myers, (1963) รายงานว่า มะเขือเทศที่ปลูกในดินที่มีโซเดียมมากเกินไป จะเกิดอาการผลเน่าเนื่องจากพืชดูดแคลเซียมไปใช้น้อยกว่าปกติ หรือพืชอาจจะดูดธาตุนี้เข้าไปสะสม จนเป็นอันตรายต่อการ เจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืชเอง โดยจะแสดงอาการใบไหม้ หรือขอบใบแห้งเมื่อได้รับโซเดียมในปริมาณที่มากเกินไป นอกจากนี้โซเดียมที่มีอยู่มากนั้น จะทำให้สมบัติทางกายภาพของดินเลวลง เนื่องจากโซเดียมเข้าไปแทนที่ แมกนีเซียม และแคลเซียมไอออน ในบริเวณ

ที่มีการแลกเปลี่ยนประจุทำให้อนุภาคดินเหนียวอยู่ในสภาพที่ฟุ้งกระจาย และไปอุดตันอยู่ตามช่องว่าง เป็นผลให้การซึมซ่านน้ำลดลง เมื่อดินแห้งจะแน่นทึบ และอาจจะเกิดชั้นดานปิดผิวดิน (soil crust) ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการงอกของเมล็ดพืช (สุนทรี, 2529; กรมพัฒนาที่ดิน, 2531; Rimwanich and Suebsiri, 1984)

3. ปัญหาการแพร่กระจายของพื้นที่ดินเค็ม

ปัญหาดินเค็มมีการแพร่กระจายไปทั่วโลก โดยเฉพาะในบริเวณสภาพภูมิอากาศแบบแห้งแล้งหรือกึ่งแห้งแล้ง (arid or semiarid) ทั้งนี้เนื่องจากมีน้ำไม่เพียงพอที่จะชะละลายเกลือที่ละลายได้ออกจากดิน (เอิบ, 2542ก) จากการสำรวจพื้นที่ทั่วโลก พบว่ามีทรัพยากรดินที่เสื่อมโทรมถึงประมาณ 2 พันล้านเฮกตาร์ และมีประมาณการว่าเขตที่มีภูมิอากาศแห้งแล้ง ได้รับผลกระทบจากดินเค็มประมาณ 600 ล้านเฮกตาร์ กับมีพื้นที่ที่มีศักยภาพในการแพร่กระจายดินเค็มจากระบบชลประทานอีก 45 ล้านเฮกตาร์ (Ranbin, 1996)

พื้นที่ทำการเกษตรทั่วโลกประมาณร้อยละ 10 พบว่ามีปัญหาในเรื่องของดินเค็ม โดยในออสเตรเลียได้รับผลกระทบการแพร่กระจายดินเค็มในพื้นที่ว่างเปล่า และในพื้นที่ชลประทานประมาณ 2 ล้านเฮกตาร์ และพื้นที่ที่ยังไม่ได้สำรวจที่อาจจะมีศักยภาพในการแพร่กระจายดินเค็มอาจมีมากถึง 12 ล้านเฮกตาร์ ในสหรัฐอเมริกาพบปัญหาการแพร่กระจายของดินเค็มทั้งในเขตพื้นที่ชลประทานและนอกพื้นที่ชลประทาน ที่มีภูมิอากาศแห้งแล้ง โดยเฉพาะพื้นที่ทำการเกษตร ที่มีระบบชลประทานได้รับผลกระทบจากการแพร่กระจายของดินเค็มถึงร้อยละ 23 (Gardiner and Miller, 2004) น้ำจากระบบชลประทานอาจเป็นพาหะทำให้เกิดการแพร่กระจายของดินเค็มอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นตัวทำละลายที่ดี และทำให้เกิดการสะสมตัวของเกลือกระจายอยู่ทั่วไป การศึกษาในปี 1995 พบว่าปัญหาดินเค็มมีความรุนแรงเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผลผลิตทางการเกษตรลดลง ร้อยละ 21 โดยเฉพาะในเอเชียปัญหาดินเค็มได้ทวีความรุนแรงมากขึ้น โดยเฉพาะในประเทศจีน อินเดีย และปากีสถาน (Miller, 2002) ส่วนในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ Szabolcs (1985) รายงานว่ามีพื้นที่ดินเค็มรวมกันถึง 19.9 ล้านเฮกตาร์ แพร่กระจายอยู่ในประเทศอินโดนีเซีย เวียดนาม สาธารณรัฐประชาธิปไตยกัมพูชา และประเทศไทย

ประเทศไทยมีดินเค็มแพร่กระจายทั่วไปในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และบริเวณชายฝั่งทะเลรวมพื้นที่ประมาณ 21.7 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 6.77 ของพื้นที่ประเทศ ดินเค็มที่พบสามารถจำแนกตามลักษณะการกำเนิด และสัญญาณภูมิประเทศ ได้เป็น 2 ประเภท คือ ดินเค็มชายฝั่งทะเล (coastal saline soils) และดินเค็มในแผ่นดิน (inland saline soils)(Arunin, 1984)

ดินเค็มชายฝั่งทะเลเป็นดินเค็มที่เกิดจากอิทธิพลของน้ำทะเล ส่วนใหญ่พบอยู่ตามแนวชายฝั่งทะเลซึ่งอาจจะยังคงมีน้ำทะเลท่วมถึง หรือเคยเป็นพื้นที่ที่น้ำทะเลท่วมถึงมาก่อน ปัจจุบันมีพื้นที่ รวมกันประมาณ 3.6 ล้านไร่ หรือร้อยละ 1.13 ของพื้นที่ประเทศ โดยพบมากที่สุดตามแนวชายฝั่งของภาคใต้ (2.3 ล้านไร่) รองลงมาคือภาคกลาง (0.8 ล้านไร่) และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยเฉพาะในขอบเขตแอ่งโคราช (Khorat basin) และแอ่งสกลนคร (Sakon Nakhon basin) มากกว่าบริเวณอื่นๆ ของประเทศ โดยพบว่ามีการแพร่กระจายของดินเค็มอยู่เกือบทุกจังหวัด ตั้งแต่ระดับความเค็มน้อยถึงเค็มมาก คิดเป็นพื้นที่ถึง 17.81 ล้านไร่ และมีพื้นที่ที่มีศักยภาพเป็นดินเค็มอีก 19.4 ล้านไร่ (สมศรี, 2539) โดยการแพร่กระจายของดินเค็มในภาคนี้อยู่ทั้งในบริเวณขอบเขตของแอ่งโคราช และแอ่งสกลนคร จากการศึกษา พบว่าดินเค็มที่เกิดในแอ่งโคราชมีการแพร่กระจายเป็นบริเวณกว้างขวาง และมีความรุนแรงของปัญหาความเค็มมากกว่าแอ่งสกลนคร (พิชัย, 2542) ซึ่งปัญหาดินเค็มส่วนใหญ่มักจะอยู่ในแอ่งที่ลุ่มต่ำหรือตามเชิงเนิน ในสัญญาณภูมิประเทศที่เป็นตะพักลุ่มน้ำต่ำจนถึงตะพักลุ่มน้ำกลาง (จุฬามาศ, 2546) ในแอ่งโคราชจังหวัดนครราชสีมา นับเป็นบริเวณที่ได้รับอิทธิพลของเกลืออย่างรุนแรง และมีการแพร่กระจายของพื้นที่ดินเค็มอยู่มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับจังหวัดอื่นของภูมิภาคนี้ ส่วนแอ่งสกลนครดินเค็มเกิดในลักษณะกระจายเป็นหย่อมเล็กๆ (จุฬามาศ, 2535)

ลักษณะของดินเค็มที่สามารถสังเกตเห็นได้ชัดเจนในสนามคือ ผิวหน้าจะปรากฏคราบเกลือสีขาว ลักษณะดินหยาบ เป็นปุยฟู เป็นพื้นที่ว่างเปล่าเป็นหย่อม ไม่มีพืชขึ้น และมักพบวัชพืชที่ชอบเกลือหรือเป็นพืชที่ทนต่อความเค็มได้ดี เช่น หนามปี หนามพรม หญ้าจ๊กกลาก (ศักดิ์, 2546) องค์ประกอบของเกลือในดินเค็มเกิดจากการรวมตัวกันของธาตุที่มีประจุบวกพวก โซเดียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียม กับธาตุประจุลบ เช่น คลอไรด์ ซัลเฟต คาร์บอเนต ไบคาร์บอเนต โดยจะพบอยู่ในรูปของเกลือโซเดียมคลอไรด์ โซเดียมซัลเฟต โซเดียมไบคาร์บอเนต และบางกรณีจะพบอยู่ในรูปของเกลือ แมกนีเซียมซัลเฟต และแมกนีเซียมคลอไรด์ (สุพรรณิ, 2533; Sys, 1980; Szabolcs, 1985) โดยสัดส่วนของเกลือต่างๆ จะแปรปรวนตามแหล่ง

เกลือในดิน เช่น ดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีองค์ประกอบที่เป็นเกลือส่วนใหญ่ในรูปของโซเดียมคลอไรด์ (เพิ่มพูน, 2527; อรุณี, 2536)

ปัญหาดินเค็ม เกิดจากที่ดินมีเกลือที่ละลายน้ำได้มากเกินไปจนเป็นอันตรายต่อพืช ทำให้พืชเกิดอาการขาดน้ำ และได้รับพิษจากธาตุที่เป็นส่วนประกอบของเกลือที่ละลายน้ำออกมา เช่น โซเดียมและคลอไรด์ ยังทำให้โครงสร้างของดินเลว คือ อนุภาคดินเหนียวฟุ้งกระจายจะแทรกอยู่ตามช่องว่างดิน จึงทำดินแน่นขาดช่องว่างในดินขนาดใหญ่ทำให้น้ำซึมผ่านได้ยาก รากพืชชอนไชได้ยาก (Michael and Donald, 2002) นอกจากนี้ความเค็มยังมีผลทำให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหาร ดินมีธาตุอาหารในรูปที่เป็นประโยชน์น้อยลง ได้แก่ ฟอสฟอรัส เหล็ก สังกะสี โบรอน แมงกานีส และไนโตรเจน (อำนาจ, 2525; สมศรี, 2540; จุฑามาศ, 2546; Ghassemi *et al.*, 1995) โดยทั่วไปพืชที่ไวต่อความเค็มจะแสดงอาการได้รับพิษจากความเค็ม เมื่อค่าสภาพการนำไฟฟ้าตั้งแต่ 2 เดซิซิเมนส์ต่อเมตรขึ้นไป สำหรับพืชทนเค็มจะแสดงอาการ เมื่อค่าสภาพการนำไฟฟ้ามีค่าตั้งแต่ 8 เดซิซิเมนส์ต่อเมตรขึ้นไป (Soil Survey Division Staff, 1993; คณะกรรมการจัดทำปทานุกรมปฐพีวิทยา, 2541)

4. การเกิดดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

การเกิดดินเค็มโดยทั่วไปมีปัจจัยองค์ประกอบที่สำคัญ 3 ส่วนคือ แหล่งเกลือ กระบวนการเคลื่อนย้ายและสะสม และสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการสะสมเกลือในดิน

4.1 แหล่งเกลือ

จากผลการศึกษาถึงการเกิดดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย พบว่ามีความสัมพันธ์อยู่กับน้ำใต้ดินที่เค็ม นเรศและคณะ (2531) ได้ศึกษาและเสนอว่าความเค็มของน้ำใต้ดินเค็มในภูมิภาคนี้ มีความสัมพันธ์กับชั้นเกลือหินที่แทรกตัวอยู่ในชั้นหินตะกอนของหมวดหินมหาสารคาม (Mahasarakham Formation) หรือหมวดหินเกลือ (Salt Formation) ซึ่งเป็นกลุ่มของลำดับหินที่พบมากที่สุดบริเวณที่ราบสูงโคราช ส่วนใหญ่หมวดหินมหาสารคามนี้มักจะไม่นับพบโผล่ขึ้นมาบนผิวดิน แต่จะถูกปิดทับอยู่ด้วยหินตะกอนของหมวดหินภูทอกและ/หรือตะกอนทรายยุคปัจจุบัน Takaya *et al.* (1984) ได้เสนอสมมติฐานที่เกี่ยวกับแหล่งกำเนิดเกลือที่เป็นสาเหตุของดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือว่า อาจมาจากส่วนที่เป็นเกลืออิสระ (free salt) ในหมวดหินสมัย

ไพลโอ-ไพลโตซีน (Plio-Pleistocene Formation) ซึ่งจะพบได้ในบริเวณที่เป็นแอ่งและที่ราบลุ่ม ลักษณะเป็นตะกอนดินเหนียวสีจาง มีจุดประสีเหลือง และมีเกลือแทรกอยู่ โดยปกติตะกอนนี้จะวางตัวอยู่ระหว่างชุดหินตะกอนในหมวดหินมหาสารคามตอนบนกับตะกอนใหม่ที่มาทับถมภายหลัง จากการศึกษา พบว่าน้ำและดินในตะกอนไพลโอ-ไพลโตซีนนี้จะเป็นน้ำเค็มและดินเค็มทั้งสิ้น ขณะที่ตะกอนใหม่ที่ปิดทับอยู่มีคุณสมบัติที่ปลอดจากความเค็ม

Takaya *et al.* (1984) ทำการศึกษาเกี่ยวกับแหล่งเกลือ และได้แบ่งหมวดหินมหาสารคามออกเป็นสองช่วงชั้นย่อย คือ

4.1.1 ชุดเกลือหินในหมวดหินมหาสารคามตอนล่าง (rock salt member) เป็นกลุ่มของชั้นหินที่วางตัวอยู่ตอนล่าง ประกอบด้วยชั้นเกลือหินที่หนา วางตัวสลับอยู่ในระดับความลึกต่างๆ กัน แบ่งย่อยได้เป็น 3 ชั้น ได้แก่ เกลือหินชั้นล่าง (basal salt) เกลือหินชั้นกลาง (middle salt) และเกลือหินชั้นบน (upper salt) ชนิดของเกลือที่พบส่วนใหญ่จะเป็นพวกเฮไลต์ (halite) จากการศึกษาพบว่าเกลือหินชั้นล่างจะเป็นชั้นที่มีความหนา และมีอิทธิพลต่อการเกิดสถานะดินเค็มในภูมิภาคนี้มากที่สุด โดยปกติชั้นเกลือเหล่านี้จะอยู่ในระดับลึกจากผิวดินมากแต่ก็มีโอกาสที่จะพบในระดับตื้นได้หากมีการคดโค้งแบบประทุนคว่ำหรือการเกิดโดมเกลือ (salt dome) (นเรศและคณะ, 2531)

4.1.2 ชุดหินตะกอนในหมวดหินมหาสารคามตอนบน (upper clastic rock) เป็นกลุ่มของหินทรายแป้งสีแดง ซึ่งแต่เดิมเชื่อกันว่า ไม่มีอิทธิพลเกี่ยวข้องกับความเค็มในภูมิภาคนี้ แต่จากการศึกษาของ Takaya *et al.* (1984) และ ขนิษฐศรี (2537) พบว่าหินในชั้นนี้มีเกลือผสมอยู่ (salt bearing) ซึ่งจะมีเกลือแทรกอยู่เป็นชั้นบางๆ หรืออาจจะพบในลักษณะของการแทรกอยู่ตามช่องระหว่างตะกอนอยู่ทั่วไป โดยหินตะกอนในหมวดหินมหาสารคามนี้เป็นแหล่งของเกลือที่สำคัญ ซึ่งจะปรากฏให้เห็นได้ในบริเวณเชิงเนินและที่ราบทั่วไป

นอกจากนี้ ไพนูลย์ (2528) อ้างถึงผลงานวิจัยของ Sinanuwong and Takaya (1974) ว่า ดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เกิดจากหินดินดานและหินทรายที่มีเกลือเป็นองค์ประกอบ และอยู่ไม่ลึกจากผิวดินมากนักในหลายพื้นที่แห่งอาจพบหินหินทรายและหินดินดานประเภทนี้อยู่ลึกเพียง 1-2 เมตร เมื่อหินเหล่านี้สลายตัวทางเคมีลง เกลือที่เคยแทรกตัวอยู่ตามซอก หรือรอยแตกต่างๆ ก็จะละลายน้ำออกมาทำให้เกลือถูกน้ำพัดเข้าสู่วงจรน้ำใต้ดิน และถูกน้ำพัดไปสะสมในที่ลุ่มหรือที่ต่ำกว่า ไหลลงไปซึมออกตามเชิงเนิน น้ำใต้ดินนี้เองเป็นพาหะที่นำเกลือ ไปสะสมใน บริเวณ

ต่างๆ พื้นที่ใดมีสภาพแวดล้อมเอื้ออำนวยให้น้ำที่มีเกลือ ดังกล่าวยิ่งขึ้นสู่ผิวดิน ก็จะทำให้เป็นดินเค็ม และทราบเกลือขึ้นบนผิวดินโดยเฉพาะในฤดูแล้งที่มีอัตราการระเหยที่สูง (ประเทือง, 2528; อรุณี, 2536)

4.2 การเคลื่อนย้ายและสะสมเกลือ

ความเค็มในดินโดยมากมักจะเกิดในเขตที่มีสภาพภูมิอากาศแบบร้อนแห้งแล้ง หรือกึ่งแห้งแล้ง (arid or semiarid) และบริเวณใกล้ฝั่งทะเล โดยเป็นบริเวณที่มีการสะสมเกลือทางธรณี (อำนาจ, 2525; เอิบ, 2542ก) ในบริเวณดังกล่าว มีปริมาณน้ำฝนน้อยไม่เพียงพอที่จะชะเกลือซึ่งสะสมในดิน ให้พ้นไปจากเขตที่รากพืชอยู่

Pramojanee (1982) ได้ให้ข้อสรุปที่สอดคล้องกันว่าน้ำใต้ดินเป็นตัวการสำคัญ ที่ก่อให้เกิดการเคลื่อนย้ายของเกลือจากแหล่งเกลือไปสะสมยังบริเวณต่างๆ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่อยู่ต่ำกว่า ด้วยเหตุที่เกลือเป็นสารที่ละลายน้ำได้ดี เมื่อหินที่มีเกลือเป็นองค์ประกอบเกิดการผุพังสลายตัว โดยกระบวนการทางกายภาพและเคมี เกลือที่ถูกปลดปล่อยออกมาจะละลายและเคลื่อนย้ายไปยังบริเวณต่างๆ โดยมีน้ำเป็นพาหะสำคัญ กระบวนการเคลื่อนย้ายเกลือโดยน้ำใต้ดิน จะถูกควบคุมโดยปัจจัยต่างๆ อาทิ ความลาดชันของภูมิประเทศ ประเภทเนื้อหินและเนื้อดินที่น้ำไหลผ่าน ปริมาณน้ำที่ไหลซึมลงไปได้ผิวดิน โครงสร้างชั้นหินที่รองรับเบื้องล่างและสิ่งก่อสร้างหรือกิจกรรมที่มีอิทธิพลต่อทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน (จุมพล, 2535)

การสะสมเกลือในดินสามารถอธิบายได้ใน 2 ลักษณะ คือ การสะสมที่เกิดขึ้นโดยตรงในบริเวณที่มีหินที่มีเกลือเป็นองค์ประกอบวางตัวอยู่ใกล้กับผิวดิน หรือเป็นลักษณะการสะสมตามเชิงเนินหรือที่ลุ่มต่ำ เนื่องจากการซาบซึมของน้ำเค็มที่ไหลมาจากบริเวณที่สูงกว่า กระบวนการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายและสะสมเกลือในดินประกอบด้วย alkalization, dealkalization, salinization, desalinization, solonization, และ solodization (ขนิษฐศรี, 2537; เอิบ, 2542ก; Buol *et al.*, 1989)

กระบวนการเซลิไนเซชัน (salinization) เป็นกระบวนการสะสมเกลือที่ละลายน้ำได้ เช่น เกลือซัลเฟต และคลอไรด์ของ แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และโพแทสเซียม ในชั้นดินล่าง วินิจัยเซลิค (salic horizon) โดยทั่วไปมักจะเกิดขึ้นในบริเวณแอ่งต่ำ มีระดับน้ำใต้ดินตื้น ดินเนื้อ

ละเอียดย และมีการซาบซึมน้ำเข้า ส่วนกระบวนการอัลคาไลเซชัน (alkalization) หรือ โซโลไนเซชัน (solonization) หมายถึง กระบวนการสะสมโซเดียมไอออนในบริเวณที่มีการแลกเปลี่ยนประจุของดินเหนียว ทำให้ดินเกิดเป็นชั้นดินล่างวินิจัยเนตริก (natric horizon) ขึ้นในหน้าตัดดิน สำหรับกระบวนการดีเซลไไนเซชัน desalinization และ ดีอัลคาไลเซชัน dealkalization เป็นกระบวนการเคลื่อนย้ายของเกลือที่ละลายได้ และโซเดียมไอออน ออกจากชั้นที่เป็นดินหรือออกจากหน้าตัดดินทั้งหมด ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากเกิดเซลไไนเซชัน (salinization) หรือ อัลคาไลเซชัน (alkalization) ขณะที่โซโลไคเซชัน (solodization) เป็นกระบวนการชะล้างอย่างรุนแรง และลดความเป็นด่างของดินโซดิก โดยที่โซเดียมไอออนจะถูกไล่ที่ด้วยไฮโดรเจนไอออน ทำให้อย่างน้อยที่สุดในตอนบนของหน้าตัดดินจะมีปฏิกิริยาเป็นกรด มีชั้นชะล้างปรากฏอยู่ในหน้าตัดดิน และมีชั้นดินล่างวินิจัยเนตริก โดยทั่วไปมักจะเกิดในบริเวณที่มีสภาพภูมิอากาศกึ่งชุ่มชื้นหรือชื้น (มานพ, 2525; ขนิษฐศรี, 2537; Buol et al., 1989)

4.3 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมเกลือในดิน

การแจกกระจายของพื้นที่ดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบมากในที่ลุ่มและตามเชิงเนินในบริเวณที่เป็นพื้นที่ต่อเนื่องระหว่างสภาพภูมิประเทศแบบลูกคลื่น หรือแบบเนินเขากับที่ลุ่มต่ำ ซึ่งมีการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินเค็มอยู่ในระดับตื้น (สมศรี, 2539) ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการสะสมเกลือในดิน ได้แก่ การมีแหล่งเกลือในระดับตื้น น้ำใต้ดินมีเกลือละลายอยู่สูงและเคลื่อนตัวอยู่ใกล้ผิวดิน สภาพภูมิอากาศ ปริมาณและการแพร่กระจายของฝน ความชื้น และอุณหภูมิของอากาศ ลักษณะภูมิประเทศ ความหนาแน่นของพืชพรรณไม้ อัตราการระเหยและการใช้น้ำของพืช รวมถึงกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์

จากการศึกษาลักษณะทางธรณีวิทยาในบริเวณแอ่งที่ลุ่มของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่รองรับด้วยหมวดหินมหาสารคาม ซึ่งเป็นหมวดหินที่มีชั้นเกลือหินวางตัวอยู่ในตอนล่าง ส่วนตอนบนเป็นชั้นหินตะกอนที่มีเกลือแทรกอยู่ เชื่อกันว่าสลายตัวของวัสดุเหล่านี้มีบทบาทอย่างยิ่งต่อความเค็มของน้ำใต้ดินในภูมิภาคนี้ โดยที่ความเค็มของน้ำใต้ดินมีความสัมพันธ์อยู่กับความหนาของหมวดหินภูทอกและตะกอนที่ปิดทับอยู่ตอนบน ซึ่งโดยทั่วไปจะบางในบริเวณขอบแอ่งและมีความหนาเพิ่มขึ้นเมื่อเข้าสู่บริเวณกลางแอ่ง (นเรศ และคณะ, 2540) เนื่องจากสภาพภูมิอากาศของภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่ค่อนข้างแห้งแล้งมีฝนตกน้อย และมีลักษณะการแจกกระจายของฝนที่ไม่สม่ำเสมอ รวมทั้งมีสภาพพื้นที่เป็นแบบลูกคลื่น มีสภาพป่าเหลือน้อย ดินส่วน

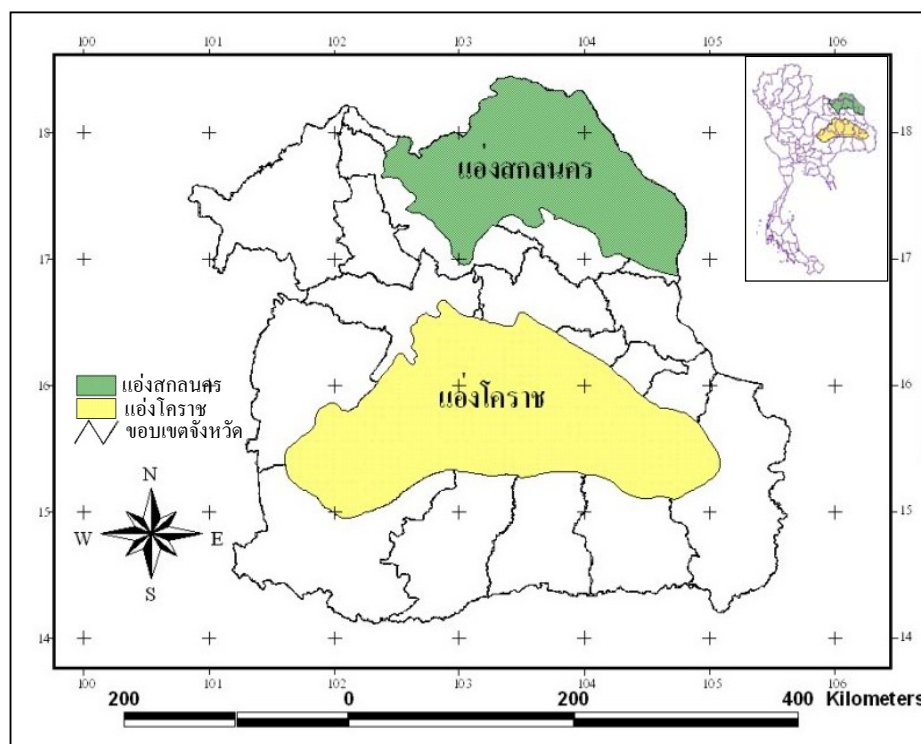
ใหญ่มีเนื้อดินเป็นทรายหรือดินร่วนปนทราย ซึ่งมีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ วางตัวอยู่บน หินดินดาน มีความลึกไม่มากนัก เมื่อฝนตกลงมา น้ำจึงเคลื่อนย้ายลงสู่ชั้นหินตอนล่างอย่างรวดเร็ว ซึ่งไปเร่งการสลายตัวของหิน ทำให้เกลือละลายออกมา และเคลื่อนย้ายพร้อมกับน้ำลงสู่พื้นที่ ตอนล่างเมื่อถึงฤดูแล้ง ปริมาณความชื้นในอากาศมีน้อย อัตราการระเหยน้ำและการใช้น้ำของพืชจะ สูง การเคลื่อนที่ของน้ำในดินจึงเป็นไปอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในบริเวณที่มีน้ำใต้ดินเค็มเคลื่อนที่ อยู่ในระดับตื้น เกลือจะถูกเคลื่อนย้ายขึ้นมาพร้อมกับน้ำและสะสมอยู่ในบริเวณรากพืชและผิวดิน จนมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช (สุพรรณิ, 2533)

5. ลักษณะและการแพร่กระจายของดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่ทั้งหมด 107 ล้านไร่ มีพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากดินเค็ม ในระดับความเค็มที่แตกต่างกันอยู่ 17.8 ล้านไร่ แบ่งเป็นดินเค็มจัด 1.5 ล้านไร่ ดินเค็มปานกลาง 3.7 ล้านไร่และดินเค็มน้อย 12.6 ล้านไร่ และมีพื้นที่ที่มีแนวโน้มจะเกิดดินเค็มอีก 20 ล้านไร่ (สมศรี, 2540ก) ดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นผลมาจากสภาพทาง ธรณีวิทยา (สมศรี, 2539) เนื่องจากอิทธิพลของน้ำทะเลเคยท่วมถึงมาก่อน ทำให้เกิดการสะสมของ เกลือในหินทราย ซึ่งส่งผลให้มีโซเดียมคลอไรด์สูง ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (Ghassemi *et al.*, 1995) โดยแหล่งเกลือในดินกำเนิดมาจากหินดินดานและหินทรายที่มีเกลือเป็นองค์ประกอบนั้น ครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 35 ของพื้นที่ภาค (เพิ่มพูน, 2527) ความเค็มของดินนี้จะแปรปรวนตาม ฤดูกาล คือ ในฤดูฝนน้ำฝนจะชะล้างเกลือที่ผิวดินลงไปสู่ดินล่าง จึงไม่พบคราบเกลือ แต่จะพบ คราบเกลือตามผิวดินในฤดูแล้ง ซึ่งเป็นฤดูที่พบดินเค็ม เป็นบริเวณกว้างกว่าฤดูอื่น (ยงยุทธ, 2524)

การแพร่กระจายของดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือนี้มักพบอยู่ทั้งในขอบเขตของแอ่ง ไโคราช และแอ่งสกลนคร (Arunin, 1984) ดังภาพที่ 1 บริเวณแอ่งโคราชครอบคลุม 11 จังหวัดดังนี้ คือ จังหวัดบุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ นครราชสีมา อุบลราชธานี ยโสธร ร้อยเอ็ด มหาสารคาม ชัยภูมิ ขอนแก่น และกาฬสินธุ์ (สมพงษ์, 2533; Arunin, 1984) จากการศึกษา พบว่าดินเค็มที่เกิดใน แอ่งโคราชจะมีการแพร่กระจายเป็นบริเวณกว้างขวาง และมีความรุนแรงมากกว่าแอ่งสกลนคร (พิชัย, 2542) โดยเฉพาะอย่างยิ่งใจกลางของแอ่งโคราชอยู่ที่จังหวัดมหาสารคาม ร้อยเอ็ด และทาง ตอนเหนือของนครราชสีมา มีสภาพพื้นที่เป็นแบบลูกคลื่นลอนลาดจนถึงราบเรียบ หรือเกือบ ราบเรียบ ส่วนบริเวณแอ่งสกลนคร ครอบคลุม 4 จังหวัด ประกอบด้วยจังหวัดสกลนคร นครพนม อุครธานี และหนองคาย ลักษณะพื้นที่ส่วนใหญ่จะเป็นลูกคลื่นลอนลาดถึงสภาพราบเรียบ มีหิน

เกลือรอรับอยู่ด้านล่าง บริเวณที่เกิดดินเค็ม ดินเค็มส่วนใหญ่ในภูมิภาคนี้จะเกิดอยู่ระหว่างส่วนต่อของขอบบริเวณที่สูงกับบริเวณที่ราบเรียบของแอ่ง โดยจะกระจายอยู่บริเวณขอบแอ่งต่างๆ ไปและไม่เกิดรุนแรงเท่าแอ่งโคราช (พรพรหม, 2544)



ภาพที่ 1 ตำแหน่งพื้นที่แอ่งโคราช และแอ่งสกลนครที่พบการแพร่กระจายดินเค็ม
ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2546)

เกลือในดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 90 อยู่ในรูปของเกลือโซเดียมคลอไรด์เพิ่มเติม (2527) และ Sinanuwong and Takaya (1974) ได้สรุปว่า ส่วนของชั้นเกลือแทรกอยู่ในชั้นหินของหมวดหินมหาสารคาม ทั้งในรูปผลึกหรือเป็นสายแร่ขนาดเล็กในลักษณะที่แทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคในชั้นหิน หรืออาจจะเป็นชั้นของหินเกลือในหมวดหินมหาสารคามซึ่งเกิดพร้อมกับหินตะกอนของหินหมวดนี้ โดยพบเป็นชั้นหนาสลับอยู่ในหมวดหินมหาสารคาม และแทรกเป็นชั้นบางๆ ในช่องว่างระหว่างชั้นตะกอน ชั้นเกลือหินซึ่งอยู่ในส่วนล่างของหมวดหินมหาสารคามถูกนำขึ้นมาใกล้ผิวดินโดยการคดโค้งแบบประทุนคว่ำและโดยการเกิดโดมเกลือ สำหรับหินตะกอนในหมวดหินมหาสารคามตอนบน ซึ่งปรากฏให้เห็นบริเวณที่เป็นเนินและที่ราบทั่วไป เกลือแทรกอยู่จะถูกน้ำฝนละลายลงไปสู่ใต้ดิน ส่วนตะกอนในสมัยไพลโอ-

ไพลสโตซีน ซึ่งพบอยู่บริเวณที่เป็นแอ่งและที่ราบลุ่มวางตัวอยู่ใต้ตะกอนที่เกิดใหม่และวางตัวอยู่เหนือหมวดหินมหาสารคาม พบว่ามีเกลือแทรกอยู่ทั่วไปอาจจะเกิดอยู่ในช่วงที่มีการเกิดตะกอนหรือเข้ามาภายหลัง (ปกรณัม และพิทักษ์, 2525) คาดการณ์ว่าชั้นของหินเกลือในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีอยู่ประมาณ 18 ล้านล้านตัน (พิทักษ์, 2542) แต่ถูกปิดทับอยู่ด้วยหินตะกอนของหมวดหินภูพานหรือตะกอนดินทรายยุคปัจจุบัน (นเรศ และคณะ, 2540)

บริเวณที่เกิดปัญหาดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนใหญ่มักอยู่ในแอ่งที่ลุ่มหรือตามเชิงเนิน ในสัณฐานวิทยาภูมิประเทศที่เป็นตะพักลุ่มน้ำ ตั้งแต่ตะพักลุ่มน้ำต่ำจนถึงตะพักลุ่มน้ำกลาง (สุพรรณิ, 2533; Pramojanee, 1982) ลักษณะดินเป็นดินลึกพัฒนาการของหน้าตัดดินอยู่ในช่วงปานกลางถึงสูง วัตถุต้นกำเนิดดินเป็นดินตะกอนน้ำพาที่มาจากการผุพังอยู่กับที่ของหินทรายในหมวดหินมหาสารคาม (ชนิษฐศรี, 2537) ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีโอกาสจะเกิดการสะสมเกลือเนื่องจากการซาบซึมออกมาของน้ำใต้ดินเค็มที่เคลื่อนตัวอยู่ใกล้กับผิวดินได้มาก (ไพบุลย์, 2528; Sinanuwong and Takaya, 1974) เมื่อประกอบกับสภาพภูมิอากาศที่มีช่วงแห้งแล้งยาวนาน มีอัตราการระเหยของน้ำสูง ทำให้สารละลายเกลือระเหยขึ้นมาสู่ผิวดิน (Murray, 1994) โอกาสที่เกลือจะถูกเคลื่อนย้ายขึ้นมาสะสมอยู่ในเขตรากพืชและผิวดินจนเป็นอันตรายต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยแรงแคพิลลารี (capillary force) จึงเป็นไปได้ง่าย ปัญหาดินเค็มจึงเกิดขึ้นอย่างรุนแรงในฤดูแล้ง (สุพรรณิ, 2533; จุมพล, 2535)

นอกจากนี้การแพร่กระจายของดินเค็ม เป็นผลมาจากหลายสาเหตุหลายประการ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน การดำเนินกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ยังมีบทบาทสำคัญต่อการแพร่กระจายเพิ่มขึ้นของพื้นที่ดินเค็มในภูมิภาคนี้ เช่น การตัดไม้ทำลายป่า โดยในปี 2504 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเคยมีป่าไม้ร้อยละ 53 ของพื้นที่ทั้งประเทศ การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน เช่น การปลูกพืชไร่ มันสำปะหลัง ปอ ทำให้ป่าไม้ถูกบุกรุกทำลายปี 2541 พื้นที่ป่าไม้ภาคตะวันออกเฉียงเหนือคงเหลือเพียงร้อยละ 25.3 ของพื้นที่ทั้งประเทศ (กรมป่าไม้, 2541) ทำให้ความชื้นในพื้นที่ลดลง การทำนาเกลือทั้งวิธีการสูบน้ำเค็มขึ้นมาตาก หรือวิธีการขุดเอาคราบเกลือจากผิวดินมาต้ม อาจจะทำให้พื้นที่ใกล้เคียงเกิดดินเค็มได้ หากว่าไม่มีระบบระบายน้ำที่ดีพอ (พรณิ, 2531) การสร้างอ่างกักเก็บน้ำในพื้นที่ที่มีชั้นหินเกลือหินอยู่ต้น น้ำในอ่างซึมลงไปละลายเกลือ ความดันจากน้ำในอ่างเก็บน้ำทำให้ระดับน้ำใต้ดินสูงขึ้น เกลือที่ละลายในน้ำใต้ดินที่ระดับลึกจะถูกพาขึ้นสู่ผิวดิน (กรมทรัพยากรธรณี, 2547) เป็นผลให้น้ำในอ่างเก็บน้ำนั้นกลายเป็นน้ำเค็มหรืออาจก่อให้เกิดปัญหาดินเค็มบริเวณพื้นที่รอบๆ อ่างได้ (ดวงใจ และทวิศักดิ์, 2531) ดังเช่น

บริเวณท้ายอ่างเก็บน้ำลำเชียงไกร จังหวัดนครราชสีมา เมื่อมีการสร้างอ่างเก็บน้ำมาเป็นเวลา 27 ปี ดินท้ายอ่างเก็บน้ำมีความเค็มสูงขึ้นมาก โดยพบในบริเวณตอนกลางของแนวคันดินสันอ่าง (กรรม และอภิสักดิ์, 2543) นอกจากนี้มีผู้รายงานว่า การถางป่าโดยเฉพาะในบริเวณที่สูงที่เป็นแหล่งเกลือ หรือการปล่อยพื้นที่ที่มีศักยภาพในการแพร่กระจายเกลือให้ว่างเปล่า ยังเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิด ปัญหาดินเค็มในบริเวณเชิงเนิน และพื้นที่ลุ่มที่อยู่ตอนล่าง (อรุณี, 2536) และการสร้างถนนหรือ คลองส่งน้ำขวางทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน พบว่ามีผลต่ออัตราการเร่งของการเกิดดินเค็ม (จุมพล, 2535)

6. การแบ่งชั้นความเค็มของดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

สำหรับดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ความเข้มข้นของเกลือ และอาณาเขตในบริเวณ ดินเค็มจะมีการเปลี่ยนแปลงและไม่สม่ำเสมอในพื้นที่เดียวกัน ความเค็มของดินจะแปรปรวนไป ตามฤดูกาล ทั้งนี้เพราะเกลือมีสมบัติที่จะละลายน้ำได้เร็วและถูกพัดพาโดยน้ำได้ง่าย ความเค็มจะ เปลี่ยนไปสะสมในชั้นดินที่ไม่เท่ากัน ในฤดูฝนเกลือจะถูกชะละลายไปสู่ดินล่าง ส่วนในฤดูแล้ง เกลือจะซึมขึ้นมากับน้ำและสะสมอยู่ที่ดินชั้นบนสลับกัน และเนื้อดินส่วนใหญ่เป็นดินทราย การ ขึ้นลงของเกลือจึงเป็นไปอย่างรวดเร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับดินที่มีลักษณะเป็นดินเหนียว (สุพรรณิ, 2533) ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะใช้คุณสมบัติของดินจุดใดจุดหนึ่งมาเป็นตัวกำหนดชั้นความเค็ม อย่างไรก็ดีตามมีแนวในการจัดทำแผนที่โดยใช้ผลกระทบจากดินเค็มที่มีต่อพืชพรรณธรรมชาติหรือ พืชเศรษฐกิจที่ปลูกในบริเวณนั้น และปริมาณความมากน้อยของคราบเกลือบนผิวดินที่พบในฤดูแล้งและสมบัติอื่นๆ มาเป็นเกณฑ์ในการกำหนดชั้นความเค็ม 6 ชั้น (พิชัย, 2542) คือ

6.1 บริเวณที่มีปัญหาดินเค็มอย่างรุนแรง พบคราบเกลืออยู่ทั่วไปบนผิวดิน และมักพบ มากกว่าร้อยละ 50 ของพื้นที่ สภาพการนำไฟฟ้าของสารละลายดินมีค่ามากกว่า 16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ส่วนใหญ่จะเป็นพื้นที่ว่างเปล่า มีพืชที่เป็นทนเค็มที่เป็นทรงพุ่มมีหนาม เช่น หนามแดง หนามพรม หนามปี เป็นต้น มีระดับน้ำใต้ดินที่มีความเค็มจัดและเคลื่อนที่อยู่ในระดับตื้นมาก

6.2 บริเวณที่มีปัญหาดินเค็มมาก พบคราบเกลือเป็นหย่อมๆ บนผิวดินประมาณร้อยละ 10-50 ของพื้นที่ สภาพการนำไฟฟ้าของสารละลายดินอยู่ในช่วง 8-16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร อาจพบคราบ เกลือเกิดขึ้นเป็นแนวแคบๆ รอบบริเวณชายเนิน ระดับน้ำใต้ดินส่วนใหญ่จะอยู่ลึกมากกว่าบริเวณที่ มีความรุนแรง โดยความรุนแรงของอิทธิพลของเกลือจะน้อยกว่า สามารถใช้ปลูกข้าวได้ แต่ได้

ผลผลิตที่ค่อนข้างต่ำ ต้นข้าวจะมีการเจริญเติบโตไม่สม่ำเสมอ ต้นกระเปาะม่วงอ พืชที่ขึ้นอยู่ได้แก่ ต้นสะแก ตาล และต้นไม้หนึ่กึ่งบางชนิด

6.3 บริเวณที่มีปัญหาความเค็มปานกลาง พบคราบเกลือบนผิวดินประมาณร้อยละ 1-10 ของพื้นที่ สภาพการนำไฟฟ้าของสารละลายดินมีค่าประมาณ 4-8 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ส่วนใหญ่เป็นนาข้าว พืชที่ขึ้นอยู่เป็นพวกไม้ไม่เต็งรัง เหียง กราด สะแบง หรืออาจมีสะแบงปนอยู่บ้าง น้ำได้ดินเป็นน้ำกร่อย และจะอยู่ลึกประมาณ 1-2 เมตร จากผิวดิน

6.4 บริเวณที่มีปัญหาความเค็มน้อย บริเวณนี้มักไม่พบคราบเกลือบนผิวดิน หรืออาจพบได้แต่น้อยมาก แต่อาจพบได้น้อยกว่าร้อยละ 1 ของพื้นที่ สภาพการนำไฟฟ้าของสารละลายดินน้อยกว่า 4 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร โดยทั่วไปเป็นนาข้าว และมีต้นไม้อายุหลายชนิดขึ้นปะปนอยู่ น้ำได้ดินเป็นน้ำกร่อยหรือน้ำเค็ม ที่อยู่ลึกมากกว่า 2 เมตร จากผิวดิน บริเวณนี้มีโอกาสที่จะเป็นดินเค็มได้ ถ้าระดับน้ำใต้ดินยกตัวสูงขึ้น

6.5 บริเวณที่สูงที่รองรับด้วยหินเกลือ เป็นบริเวณเนินที่สูง จะไม่พบคราบเกลือบนผิวดิน ระดับน้ำใต้ดินลึกกว่า 8 เมตรอาจเป็นน้ำจืด น้ำกร่อย หรือน้ำเค็มก็ได้ แต่บริเวณนี้จะมีหมวดหินมหาสารคามรองรับอยู่ข้างล่าง ที่ประกอบด้วยหินเกลือหรือชั้นที่มีเกลือ ซึ่งเป็นเกลือที่ปะปนอยู่ในหินดินดานหรือหินทราย เมื่อเกิดการสลายตัว และมีการตัดไม้ทำลายป่า ทำให้สมดุลของน้ำเสียไป จะเกิดดินเค็มในบริเวณต่ำกว่าได้ บริเวณนี้โดยทั่วไปใช้ในการปลูกพืชไร่ เช่น มันสำปะหลัง ปอ ข้าวโพด เป็นต้น

6.6 บริเวณที่ไม่เค็ม เป็นบริเวณที่ไม่พบคราบเกลือเลย เป็นพื้นที่ที่อยู่นอกเขตของชั้นหินมหาสารคาม ไม่พบคราบเกลือ และน้ำได้ดินเป็นน้ำจืด

7. ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการศึกษาการแพร่กระจายดินเค็มในแอ่งสกลนคร

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System, GIS) จัดเป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งในการแปลงข้อมูลรูปแบบต่างๆ เข้าสู่ระบบฐานข้อมูลคอมพิวเตอร์ โดยเบื้องต้นนี้ได้กำหนดให้จัดทำฐานข้อมูลในรูปแบบของซอฟต์แวร์ PC Arc View มีความสามารถในการจัดเก็บ และจัดการข้อมูลภูมิศาสตร์ รวมทั้งความสามารถในการวิเคราะห์ประมวลผลเพื่อสนับสนุน การทำงาน

การวางแผน และการตัดสินใจ ในการดำเนินกิจกรรมต่างๆ บนพื้นผิวโลก โดยข้อมูลที่จัดเก็บไว้ในระบบฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ นั้นจะประกอบด้วยข้อมูลเชิงพื้นที่ เพื่อให้เป็นข้อมูลสารสนเทศ (Demers, 1997)

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เป็นชุดเครื่องมืออย่างหนึ่งสำหรับ รวบรวม จัดเก็บ เปลี่ยนแปลง และแสดงผลข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีอยู่จริงบนโลก เพื่อจุดประสงค์อย่างใดอย่างหนึ่ง โดยเฉพาะ ทั้งนี้ข้อมูลภูมิศาสตร์จะบรรยายถึงสิ่งต่างๆ ที่มีอยู่จริงบนโลกด้านที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งของวัตถุบนพื้นโลกซึ่งบอกด้วยระบบพิกัด ข้อมูลอธิบายกำกับ (attributes) วัตถุนั้นๆ ซึ่งสัมพันธ์กับตำแหน่ง และความสัมพันธ์กันทางพื้นที่ซึ่งจะบรรยายให้เห็นว่าสิ่งต่างๆ เหล่านี้มีความสัมพันธ์กันอย่างไรและสามารถแสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกันได้อย่างไร (Burrough and McDonnell, 1998) ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ถือว่ามีความหมายมากกว่าการเป็นเครื่องมือ ที่ใช้สำหรับรวบรวม จัดเก็บ ค้นหาของมูลเกี่ยวกับลักษณะต่างๆ บนพื้นโลก ตามความหมายที่แท้จริงนั้นข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ควรถือเป็นข้อมูลที่ใช้แสดงแบบจำลองของโลกที่เป็นจริงเพราะผู้ใช้สามารถเรียก แปรรูป ดำเนินการกับข้อมูลสลับไปมาได้ ระบบนี้เปรียบเสมือนแปลงทดลองสำหรับการศึกษาระบบการทางสิ่งแวดล้อมหรือสำหรับการวิเคราะห์คาดการณ์ผลที่อาจเกิดจากแนวโน้มของปรากฏการณ์ หรือผลที่อาจเกิดจากการตัดสินใจตามแผน ผู้วางแผนหรือผู้ตัดสินใจตามสามารถตรวจสอบสถานการณ์จำลองที่เป็นไปได้ได้อย่างกว้างขวางหลายแบบ (อุทัย, 2547)

ในการดำเนินการสำรวจการแพร่กระจายพื้นที่ดินเค็มในพื้นที่ ข้อมูลพื้นฐานที่ทำการจัดเก็บ ได้แก่ สภาพภูมิประเทศ สภาพธรณีวิทยา ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี และเส้นทางคมนาคม ซึ่งข้อมูลแผนที่เป็นองค์หลักที่สำคัญ และสามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในการจัดเก็บ จัดการข้อมูล และใช้ฟังก์ชัน การสืบค้น ประมวลผล และวิเคราะห์ข้อมูลของระบบสารสนเทศ เพื่อช่วยสนับสนุนการศึกษา การประเมิน และพยากรณ์การแพร่กระจายดินเค็ม รวมไปถึงการสร้างแผนที่เพื่อประกอบการนำเสนอข้อมูลรายละเอียดและผลการศึกษา ได้อย่างสะดวก และเป็นระเบียบ เพื่อสร้างสารสนเทศที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินศึกษา

สภาพทั่วไปของบริเวณที่ทำการศึกษา

ที่ตั้งและอาณาเขต

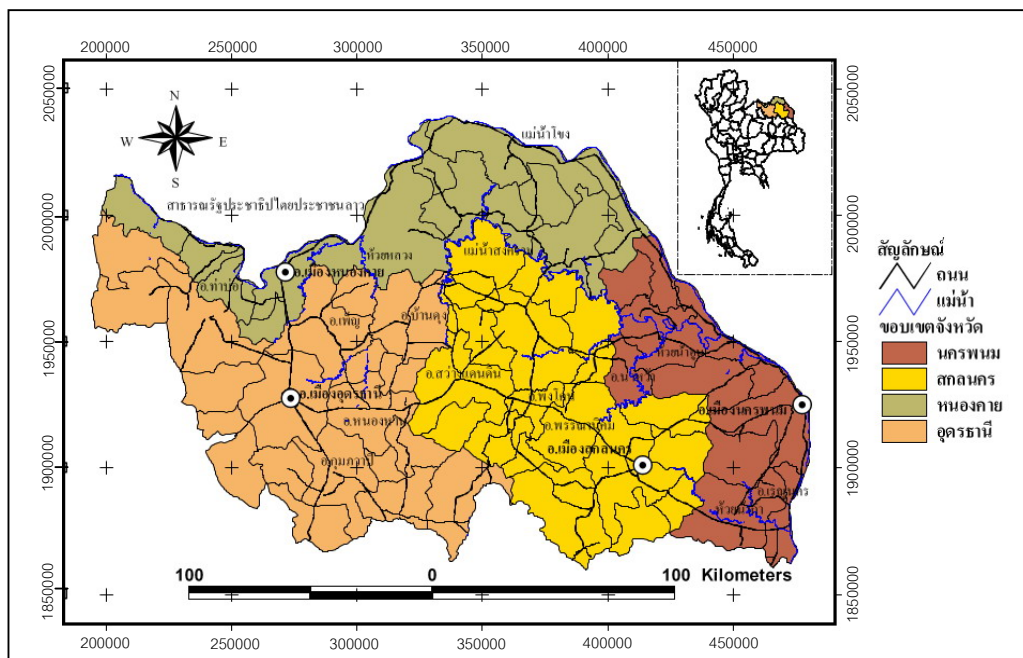
บริเวณพื้นที่แอ่งสกลนคร ตั้งอยู่ตอนบนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และอยู่ทางด้านเหนือ และตะวันออกเฉียงเหนือของเทือกเขาภูพาน มีพื้นที่ประมาณ 43,000 ตารางกิโลเมตร มีพิกัดระบบ UTM ระหว่าง 1854000 – 2040000 m N. และ 182000-480000 m E. แอ่งสกลนครครอบคลุมพื้นที่ 4 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดหนองคาย จังหวัดอุดรธานี จังหวัดสกลนคร และจังหวัดนครพนม ดังแสดงในภาพที่ 2 สภาพพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เนินเป็นลูกคลื่นลอนลาดโดยจะปรากฏอยู่บริเวณรอบๆ ของพื้นที่ และพื้นที่ส่วนใหญ่ของแอ่งจะเป็นที่ลุ่มอยู่ทางตอนกลางของพื้นที่ ลักษณะพื้นที่ทั่วไปของแอ่งสกลนครเอียงเล็กน้อยไปทางทิศเหนือ และทิศตะวันออกเฉียงใต้ แม่น้ำโขงส่วนใหญ่ ตอนใต้ของแอ่งมีเทือกเขาภูพานเป็นสันแบ่งทำให้เกิดแอ่งรับน้ำที่เรียกว่าแอ่งสกลนคร

ทิศเหนือ	จรดกับ ประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว
ทิศใต้	จรดกับ จังหวัดขอนแก่น จังหวัดกาฬสินธุ์ และจังหวัดมุกดาหาร
ทิศตะวันออก	จรดกับ ประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว
ทิศตะวันตก	จรดกับ จังหวัดเลย และจังหวัดหนองบัวลำภู

แอ่งสกลนคร (Sakhon Nakhon basin) เป็นแอ่งแผ่นดินตอนบนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ กั้นแยกจากแอ่งตอนล่างหรือแอ่งโคราชโดยเทือกเขาภูพาน มีความสูงโดยประมาณอยู่ในระดับเดียวกับแอ่งโคราชที่ระดับความสูง 160 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง (เฉลี่ย, 2540) มีลักษณะทางกายภาพโดยทั่วไปดังนี้

1. สภาพภูมิประเทศ

พื้นที่แอ่งสกลนครส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ราบต่ำสลับกับที่ดอนมีลักษณะเป็นลูกคลื่น มีความสูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 150-300 เมตร มีแม่น้ำสายหลักที่สำคัญ คือแม่น้ำสงคราม ห้วยหลวง ลำน้ำก่ำ ลำน้ำอูน แล้วไหลลงสู่แม่น้ำโขง ในบริเวณแอ่งสกลนครมีทะเลสาบน้ำจืดขนาดใหญ่คือ



ภาพที่ 2 ขอบเขตพื้นที่ศึกษาดินเค็มแ่งสกลนคร

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2536)

หนองหานกุมภวาปี ในจังหวัดอุดรธานี และหนองหานในจังหวัดสกลนคร โดยเฉพาะหนองหาน จังหวัดสกลนครมีเนื้อที่ถึงประมาณ 106,250 ไร่ (พรพรหม, 2544) โดยสภาพภูมิประเทศของแ่งสกลนครสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ พื้นที่เนินเป็นลูกคลื่นลอนลาดโดยจะปรากฏอยู่บริเวณรอบๆ ของพื้นที่ในขณะที่บริเวณตอนกลางของพื้นที่จะเป็นที่ราบที่เกิดจากการกระทำของน้ำ ลักษณะของพื้นที่ประกอบด้วยลักษณะสำคัญ 7 ประเภท (มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2547)

1.1 เนินที่สูง ลักษณะที่เด่นชัด จะมีลักษณะภูมิประเทศเป็นเนิน เขาเตี้ย หรือเส้นความสูงประมาณ 10-20 เมตร มีความลาดเอียงประมาณร้อยละ 1-5 ลักษณะการใช้ที่ดิน ส่วนใหญ่จะเป็นการปลูกพืชฤดูแล้ง หรือเป็นป่า และมีการเลี้ยงสัตว์ บางบริเวณจะมีการปลูกข้าว เนื่องจากดินชั้นบนสุดเป็นทรายซึ่งการกักเก็บน้ำจะค่อนข้างเลว ทำการปลูกข้าวบริเวณนี้ไม่ค่อยดีนัก บริเวณนี้ไม่มีดินเค็มปรากฏ

1.2 พื้นที่ที่มีความลาดชันปานกลาง ลักษณะที่เด่นชัด เป็นพื้นที่ลาดเอียงที่อยู่ระหว่างที่ราบกับเนินเขา มีพื้นที่ลาดเอียงน้อยกว่าร้อยละ 1 จะพบหินรองรับเป็นหมวดหินมหาสารคาม

พบที่ความลึกตั้งแต่ 5 เมตรลงไป บางพื้นที่จะมีตะกอนที่เกิดจากน้ำตะกอนอยู่ลึก โดยทั่วๆ ไปจะมีศิลาแลง หรือลูกกรังอยู่ตื้นๆ ลักษณะการใช้ที่ดิน ใช้สำหรับทำนา ตามทุ่งนา จะมีดินไม้ลักษณะเป็นดินเคียว และพวกพืชพุ่มในนาข้าว

1.3 ที่ราบผืนทราย ลักษณะที่เด่นชัด มีลักษณะโค้งนูนถึงพื้นที่ราบ พบกระจายตัวอยู่ระหว่างพื้นที่รองรับน้ำของลำน้ำสาขาของแม่น้ำสงคราม การใช้ที่ดิน ส่วนใหญ่จะใช้เลี้ยงสัตว์ และบางท้องที่จะใช้ปลูกข้าว มีดินไม้กระจายอยู่ทั่วไป

1.4 ที่ราบตะกอนน้ำพาบริเวณลุ่มน้ำย่อย ลักษณะที่เด่นชัด เป็นพื้นที่ราบและพื้นที่น้ำท่วมถึง พื้นที่ส่วนใหญ่จะเป็นพื้นที่รองรับน้ำของแม่น้ำสงคราม การใช้ที่ดิน ส่วนมากจะใช้เพาะปลูกข้าว มีไม้พุ่มเดี่ยวกระจายอยู่

1.5 ที่ราบตะกอนน้ำพาน้ำท่วมถึง ลักษณะที่เด่นชัดเป็นที่ราบของตะกอนแม่น้ำที่ขนานไปกับแม่น้ำใหญ่ เป็นที่ราบเรียบแคบๆ และน้ำท่วมถึง มีขอบเขตตั้งแต่บริเวณพื้นที่รองรับน้ำของแม่น้ำหรือลุ่มน้ำ ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ปลูกข้าว ส่วนบริเวณที่มีน้ำท่วมมาก จะใช้เป็นพื้นที่เลี้ยงสัตว์และปลูกผักบางชนิดในฤดูแล้ง

1.6 ที่ราบตะกอนน้ำพาดินเหนียวสลับชั้นทราย ลักษณะที่เด่นชัด เป็นที่ราบทั้งหมด ลำดับดินประกอบด้วยดินเหนียวและทรายเป็นตะกอนที่เกิดจากน้ำ การใช้ที่ดิน ลักษณะที่เป็นที่ราบใช้สำหรับปลูกข้าว มีน้ำท่วมเกิดจากการไหลเอ่อของแม่น้ำสงคราม และลำห้วย

1.7 ที่ดอนบริเวณหมู่บ้าน ลักษณะที่เด่นชัด ส่วนมากตั้งอยู่บริเวณที่เป็นเนิน บริเวณที่ราบเรียบส่วนมากจะเป็นพื้นที่มีน้ำท่วมโดยจะให้เป็นเนินสูง มีคูรอบบ้านเป็นคูเมือง (มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2547)

2. สภาพธรณีวิทยา

แอ่งสกลนครมีลักษณะทางธรณีวิทยาที่ไม่ซับซ้อน พื้นที่ทั้งหมดประกอบด้วยหินตะกอนที่มีอายุอยู่ในมหายุคมีโซโซอิก (เริ่มตั้งแต่ประมาณ 230 ล้านปีมาแล้ว) และหินตะกอนที่มีอายุอ่อนกว่า จัดอยู่ในกลุ่มหินโคราช ทางทิศใต้และทางทิศตะวันตกมีทิวเขาสูงไม่เกิน 700 เมตร

จากระดับน้ำทะเลปานกลาง กันเป็นอาณาเขต และคาดว่าทิวเขาเหล่านี้ได้ยกตัวขึ้นในตอนปลายของยุคเทอร์เชียรี (63-36 ล้านปี ที่แล้ว) (Bunopas, 1981) ส่วนใหญ่ประกอบด้วยหินในหมวดหินพระวิหาร ซึ่งประกอบด้วยหินทราย โดยมีหินทรายปนกรวด และหินทรายแป้งแทรกอยู่กับหินในหมวดหินภูพาน ซึ่งประกอบด้วยหินทราย หินทรายปนกรวด หินกรวดมน หินทรายแป้ง ทั้งสองนี้มีอายุในยุคจูแรสซิก และครีเทเชียสตามลำดับ ขอบตอนในของทิวเขาดังกล่าวส่วนใหญ่เป็นหินในหมวดหินโคกกรวด ซึ่งประกอบด้วยหินทราย หินทรายแป้ง และหินกรวดมนปนปูน ที่เกิดในยุคครีเทเชียส หมวดหินที่อยู่ชั้นบนสุดที่ปกคลุมพื้นที่ส่วนนี้คือ หมวดหินมหาสารคาม มีอายุอยู่ในยุคยุคครีเทเชียส (135 ล้านปีที่แล้ว) ประกอบด้วยหินตะกอนสีแดง หินทรายแป้ง หินดินดาน หินทรายและเกลือหิน ซึ่งมีบทบาทในการเกิดดินเค็ม

2.1 ธรณีวิทยาโครงสร้าง โครงสร้างบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศหรือที่เรียกกันว่าที่ราบสูงโคราช ซึ่งมีลักษณะภูมิประเทศที่เด่นชัดคือ โดยทั่วไปจะมีลักษณะของที่ราบสูงและเชิงเทินเข้าสู่ศูนย์กลางของภาค เทือกเขาภูพานซึ่งมีทิศทางการวางตัวอยู่ในแนวตะวันตกเฉียงเหนือจะแบ่งหน่วยโครงสร้างนี้ออกเป็น 2 แอ่งด้วยกัน คือ ทางทิศเหนือเป็นแอ่งสกลนคร (Sakon Nakhon Basin) และทางใต้เป็นแอ่งโคราช (Khorat Basin) ทิศทางการวางตัวของแนวคดโค้งในหน่วยโครงสร้างนี้มีอยู่ 3 ทิศทางที่สำคัญด้วยกัน คือ ทิศตะวันตก-ตะวันออก ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งการเคลื่อนไหวของเปลือกโลกมีผลทำให้เกิดการโค้งงอในหน่วยโครงสร้างนี้ จะเกิดขึ้น หลังจากหินชุดโคราชได้เกิดการสะสมตัวและการเป็นหินแล้ว กล่าวคือหลังจากยุคครีเทเชียสไปแล้ว (ช่วงอายุ 140-66.5 ล้านปี) (กรมทรัพยากรธรณี, 2547)

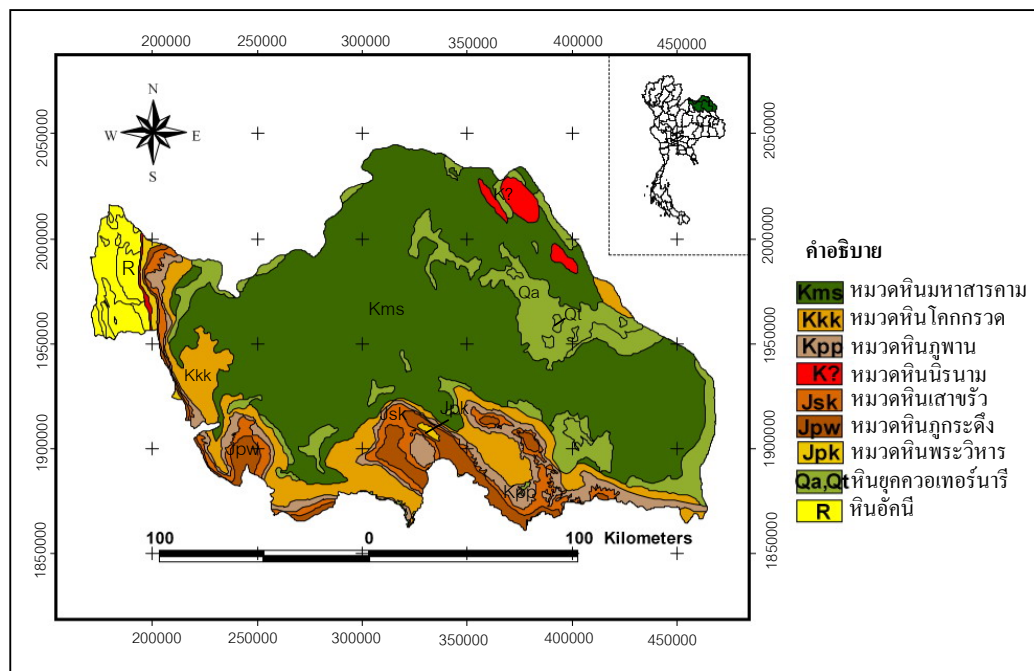
2.2 ธรณีประวัติ บริเวณส่วนใหญ่ของประเทศเริ่มมีการยกตัวขึ้นตั้งแต่ ยุคจูแรสซิก (ช่วงอายุ 210-140 ล้านปี) เป็นต้นมา แอ่งสะสมตัวโคราช (Khorat Basin) เริ่มเกิดขึ้นในส่วนที่เป็นภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ ในลักษณะที่เป็นแอ่งสะสมตะกอนในทวีป (inland basin) อยู่ถัดไปจากเทือกเขาที่มีการยกตัวขึ้นมาก่อน หลังจากนั้นก็จะเริ่มมีการตกตะกอนของหินชุดโคราช ซึ่งเป็นหินที่มีลักษณะของเกิดในสภาพแวดล้อมเป็นแบบน้ำจืด ช่วงเวลานี้เป็นช่วงระยะเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะภูมิประเทศของเปลือกโลก และของประเทศไทยเป็นอย่างมาก กล่าวคือทางตะวันตกของประเทศจะเป็นเทือกเขาเสียเป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่ทางตะวันออกของประเทศจะเป็นแอ่งสะสมตัวของตะกอนในน้ำจืดขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตามในช่วงระหว่างยุคจูแรสซิก ทะเลได้ท่วมพื้นที่เข้ามาบางส่วนของประเทศ ซึ่งจากลักษณะของหินที่พบน่าจะเป็นทะเลที่ไม่ลึกมาก การสะสมตัวของตะกอนในแอ่งสะสมตัวโคราชจะดำเนินต่อเนื่องไปพร้อมๆ กับการจมตัวลงแอ่ง

สะสมตัวโคราชนี้อาจจะมีหนทางติดต่อกับทะเลทางด้านตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งให้ชั้นหินเกลือระเหย เรียกว่าหน่วยหินมหาสารคามในตอนบนของหินชุดโคราช จนกระทั่งถึงช่วงปลาย ยุคครีเทเชียส ต่อ ยุคเทอร์เชียรีจะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงของเปลือกโลกครั้งใหญ่อีกครั้งหนึ่ง กล่าวคือจะมีการหนูน แทรกตัวของหินแกรนิตขึ้นมา ซึ่งเป็นผลทำให้ส่วนที่เป็นแอ่งสะสมตัวโคราชยกตัวขึ้นมา หินที่ทับ ส่วนบนของชุดมหาสารคามเกิดจากการสะสมตะกอนในแอ่งน้ำจืด ต่อมาเกิดการเปลี่ยน สภาพแวดล้อมเป็นชุ่มชื้นมีการผุพังทำลายและกัดกร่อนสูง ทำให้มีการพัดพาเอาตะกอนมาทับถม สะสมตามแอ่ง ลำน้ำ และแม่น้ำต่างๆ กลายเป็นตะกอนยุคปัจจุบัน (กรมทรัพยากรธรณี, 2547)

ลักษณะทางธรณีวิทยาของแอ่งสกลนคร ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจากแผนที่ ธรณีวิทยาโดยสังเขปของประเทศไทย ดังแสดงไว้ในภาพที่ 3 นเรศและคณะ (2540) ได้กล่าวถึง ลักษณะดังต่อไปนี้

1) หมวดหินมหาสารคาม (Mahasarakam Formation, Kms)

ชั้นเกลือหินใต้ดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีอยู่ในแอ่งสกลนครและแอ่งโคราช โดยทั่วไปจะอยู่ลึกไม่เกินกว่า 1,000 เมตร จากระดับผิวดิน ชั้นเกลือหินนี้คือ หมวดหินมหาสารคาม ซึ่งวางตัวบนหมวดหินโคกกรวดและอยู่ใต้หมวดหินภูทอก สิ่งที่มีอิทธิพลต่อลักษณะการวางตัว ของชั้นเกลือหินใต้ดิน คือการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกในระหว่างและภายหลังการสะสมตัวของ ชั้นเกลือ และการเคลื่อนตัวทั้งในแนวระนาบแนวดิ่งของเกลือหินชั้นล่างสุด ลักษณะชั้นเกลือหิน เหล่านี้แบ่งตามรูปร่างได้ คือ พวกที่มีลักษณะเป็นชั้นโดมเกลือหินและชั้นเกลือหินคดโค้งแทรก ดัน



ภาพที่ 3 ลักษณะทางธรณีวิทยาของแอ่งสกลนคร

ที่มา: กรมทรัพยากรธรณี (2546)

หมายเหตุ

Kms = หินมหาสารคาม

Jsk = หินเสาขั่ว

Kkk = หินโคกกรวด

Jpw = หินพระวิหาร

Kpp = หินภูพาน

Jpk = หินภูกระดึง

Qa, Qt = ตะกอนน้ำพา และตะกอนในตะพักลุ่มน้ำยุคควอเตอร์นารี

นอกจากหินมหาสารคามซึ่งพบมากในพื้นที่แอ่งสกลนครแล้วยังพบหินชนิดอื่นๆ อีกเช่น

2) หินโคกกรวด (Khok Kruat Formation, Kkk)

เกิดจากการสะสมตัวในบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำ และภายใต้ท้องน้ำรวมทั้งหนองน้ำ ภายใต้สภาพภูมิอากาศที่แห้งแล้งมากกว่าหินชนิดอื่นๆ ลักษณะเด่นของชั้นหินคือ หินทราย หินโคลน สีน้ำตาลแกมแดงและหินกรวดมนกระเปาะปูนสีน้ำตาลแกมแดง

3) หมวดหินภูพาน (Phu Phan Formation, Kpp)

เกิดการสะสมตัวภายใต้อิทธิพลของแม่น้ำประธานสาย ลักษณะเด่น คือ หินกรวดมน และหินทรายสีขาว เทาอ่อนและน้ำตาลอ่อนแกมเหลือง

4) หมวดหินเสาขัว (Sao Khua Formation, Jsk)

มักพบในบริเวณที่ราบหรือเชิงเขาระหว่างเนินหิน หรือหน้าผาของหมวดหินพระวิหารกับหมวดหินภูพาน ซึ่งมีความคงทนต่อการผุทำลายสูงกว่าหมวดหินเสาขัว เกิดการสะสมตัวในที่ราบลุ่มแม่น้ำและหนองน้ำเล็กๆ ประกอบด้วยหินทรายแป้ง หินโคลน หินทราย และหินกรวดมนกระเปาะปูน นอกจากนี้ในบางบริเวณพบชั้นหินปูนหนาประมาณ 20-100 เซนติเมตร ซึ่งมีซากหอยซึ่งอาศัยอยู่ในบริเวณน้ำกร่อย และพบฟอสซิลสัตว์เลื้อยคลานซึ่งอาศัยอยู่ในทะเล ทำให้มีการคาดว่าในขณะที่ตะกอนสะสมตัวอาจมีน้ำทะเลไหลท่วมพื้นที่มาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือเป็นช่วงเวลาสั้นๆ ซึ่งก็อาจจะคล้ายคลึงกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในยุคสมัยของหมวดหินภูกระดึง คือ น้ำทะเลจะท่วมเฉพาะในบริเวณตอนกลางของแอ่งเท่านั้น

5) หมวดหินพระวิหาร (Phra Wihan Formation, Jpw)

ลักษณะเด่นของหมวดหิน มีหินดินดานสีน้ำตาลแกมแดงสีเทาและหินกรวดมน สลับบ้างเล็กน้อย หินทรายในลำดับชั้นบนสุดจะมีเม็ดกรวดปน ประกอบด้วยควอร์ตซ์และเชิร์ตเม็ดขนาดประมาณ 5 มม. โดยเฉลี่ยเม็ดจะเรียงตัวเป็นแนวตามระนาบชั้นหิน ลักษณะของชั้นหินของหมวดหินนี้ แสดงถึงการสะสมตัวของตะกอนแม่น้ำประธานสาย หมวดหินพระวิหารมีความพรุนดีที่สุดใน

6) หมวดหินภูกระดึง (Phu Kadung Formation, Jpk)

ส่วนใหญ่ประกอบด้วยหินโคลนและหินทรายแป้ง จำนวนชั้นของหินทรายมีมากขึ้น และมีความหนามากขึ้นในลำดับชั้นข้างบนรวมทั้งจะมีชั้นหินสีเทามากขึ้น จากลักษณะของเนื้อหินและชั้นหินแสดงถึงการสะสมตัวในที่ราบลุ่มแม่น้ำภายใต้ท้องน้ำ (นเรศ และคณะ, 2540)

3. อุทกวิทยา

3.1 แหล่งน้ำผิวดิน

แม่น้ำจำนวนหนึ่งในแอ่งน้ำไหลลงสู่หนองหานซึ่งเป็นหลุมภูมิประเทศ (depression) ที่กลายเป็นทะเลสาบน้ำจืดตามธรรมชาติที่ใหญ่ที่สุดของภาคนี้ โดยมีพื้นที่ประมาณ 170 ตารางกิโลเมตร (พรพรม, 2544) ส่วนแม่น้ำสายสำคัญได้แก่ แม่น้ำสงคราม ลำน้ำอูน และ ห้วยหลวงซึ่งไหลไปบรรจบกับแม่น้ำสงครามในเขตจังหวัดนครพนม และไหลลงไปสู่แม่น้ำโขง (เจลีชว, 2540)

3.1.1 แม่น้ำโขง อยู่ทางเหนือและโอบล้อมมาทางด้านตะวันออกของแอ่ง สกลนคร เป็นแม่น้ำที่กั้นพรมแดนระหว่างประเทศไทยกับ ประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว มีแหล่งกำเนิดจากประเทศจีน เป็นแม่น้ำขนาดใหญ่และยาวมาก ซึ่งมีปริมาณน้ำไหลมากตลอดปี และออกสู่ทะเล ที่ประเทศสาธารณรัฐสังคมนิยมเวียดนาม

3.1.2 แม่น้ำสงคราม มีต้นกำเนิดจากเทือกเขาภูพานในท้องที่อำเภอหนองหาน จังหวัดอุดรธานี โดยไหลจากใต้ไปทางเหนือ จากนั้นไหลลงลงมาทางตะวันออกเฉียงใต้ผ่านทางเหนือของจังหวัดนครพนม เป็นระยะทางประมาณ 90 กิโลเมตร แม่น้ำสายนี้ จะไหลวกไปเวียนมา ทำให้น้ำในแม่น้ำไหลช้า และเกิดน้ำท่วมตามฤดูกาล ลำน้ำนี้จะไหลลงสู่แม่น้ำโขง ทางตอนเหนือของอำเภอท่าอุเทน

3.1.3 ห้วยหลวง มีต้นกำเนิดจากเทือกเขาภูพาน ในเขตจังหวัดอุดรธานี ไหลจากทางใต้ไปทางเหนือลงสู่แม่น้ำโขง ในบริเวณอำเภอโพนพิสัย

3.1.4 ลำน้ำก่ำ มีต้นกำเนิดอยู่ในท้องที่อำเภอหนองหาน จังหวัดสกลนคร ไหลไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ ผ่านเข้าจังหวัดนครพนม เป็นระยะทางยาวประมาณ 60 กิโลเมตร แล้วไหลลงสู่แม่น้ำโขงทางตอนใต้ของตัวอำเภอนาหว้า

3.1.5 ลำน้ำอูน ต้นน้ำเกิดในท้องที่จังหวัดสกลนคร ไหลไปทางทิศเหนือผ่านเข้าสู่จังหวัดนครพนมบริเวณอำเภอนาหว้า แล้วไหลลงสู่แม่น้ำสงครามที่อำเภอศรีสงคราม

นอกจากนี้ ทางตอนเหนือและตอนใต้ของจังหวัด ยังมีลำห้วย หนอง และบึงต่างๆ ที่สำคัญ ที่สามารถพัฒนา แหล่งน้ำเหล่านี้มาใช้ประโยชน์ได้ คือ ห้วยน้ำยาม ห้วยลังกา ห้วยทวย ห้วยบ่อ ห้วยหนองเขา ห้วยกระเบา ห้วยบางฮวก หนองญาติ หนองไขววน หนองสาหร่าย ลำน้ำเมา ลำน้ำบึง ห้วยเซกาใหญ่ เป็นต้น

3.2 แหล่งน้ำใต้ดิน

แหล่งน้ำบาดาล จากการรวบรวมหลุมเจาะบ่อบาดาลของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล รวมทั้งข้อมูลการเจาะสำรวจแร่โพแทส โดยแต่ละบริเวณจะมีคุณภาพของน้ำที่แตกต่างกัน ผันแปร ไปตามสภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำนั้น โดยระบบการไหลของน้ำบาดาลในแอ่งสกลนคร ประกอบด้วยระบบการไหลแบบไพศาลและแบบท้องถิ่น โดยระบบการไหลแบบไพศาล น้ำบาดาล จะไหลจากทิศใต้ขึ้นเหนือตามความลาดเอียงของแอ่ง สำหรับการไหลแบบท้องถิ่นจะมีระบบการ ไหลที่มีระยะทางสั้น โดยพื้นที่ที่จ่ายน้ำจะเป็นเนินสูง และพื้นที่รับน้ำจะเป็นที่ลุ่มต่ำ (กรมทรัพยากรธรณี, 2547)

น้ำบาดาลในหินชุดโคราชตอนบน (Upper Khorat aquifer) ในหมวดหินมหาสารคาม ส่วนใหญ่ปรากฏอยู่ตามขอบด้านทิศใต้และทิศตะวันตก ของแอ่ง โดยหินอุ้มน้ำ ซึ่งประกอบด้วย หินดินดาน หินทรายแป้ง หินทราย หินโคลน บ่อน้ำบาดาลที่มีคุณภาพดี มักจะเป็นบ่อที่เจาะในบริเวณที่เนิน ความลึกประมาณ 60 เมตร ส่วนใหญ่ได้น้ำเกลือ อยู่ในเกณฑ์ 5-10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง บ่อน้ำบาดาลที่มีคุณภาพกร่อยและเค็ม มักจะเป็นบ่อที่เจาะในที่ลุ่มแหล่งน้ำบาดาลจากชั้นหินทรายและหินดินดาน ทางด้านทิศตะวันตกของจังหวัด อำเภอกุมภวาปี ตอนเหนือของอำเภวาริชภูมิ น้ำในหินดินดานและหินทราย ซึ่งพบว่าประมาณร้อยละ 50 เป็นน้ำเค็ม ร้อยละ 20 เป็นน้ำกร่อย และร้อยละ 30 เป็นน้ำจืด จังหวัดสกลนคร น้ำในแหล่งนี้มีคุณภาพดีแต่มีปริมาณไม่มากนัก โดยเฉลี่ยได้น้ำประมาณ 7 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และมีน้ำเค็มทางด้านทิศใต้ของจังหวัด ในอำเภอมือง และทางตอนเหนือของอำเภวาริชภูมิ ในจังหวัดหนองคายและจังหวัดนครพนม พื้นที่ส่วนใหญ่ได้น้ำจากแหล่งหินดินดาน ซึ่งประมาณร้อยละ 80 ได้น้ำจืด และร้อยละ 20 เป็นน้ำเค็ม ปริมาณน้ำในหินชุดนี้เฉลี่ยได้ประมาณ 5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (สมชัย และเจตต์, 2540)

4 ภูมิอากาศ

ภูมิอากาศของแอ่งสกลนครจัดอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบทุ่งหญ้าเขตร้อน (tropical savanna climate, Aw) ตามระบบการจำแนกของเคิปปิน (Köppen, 1931) คือ เป็นภูมิอากาศแบบฝนตกเฉพาะฤดู ปริมาณน้ำฝนรวมตลอดปีเฉลี่ย 1,707.1 มิลลิเมตร ส่วนใหญ่ร้อยละ 70 ของปริมาณฝนเกิดจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ โดยมีบางส่วนที่ได้จากพายุดีเปรสชัน จึงทำให้แตกต่างกับในบริเวณแอ่งโคราช ที่ส่วนใหญ่ของปริมาณน้ำฝนได้มาจากพายุดีเปรสชันและมีปริมาณน้ำฝนรวมตลอดปีน้อยกว่า คือ เฉลี่ยประมาณ 1,326 มิลลิเมตร ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้เริ่มพัดผ่านในเดือนมิถุนายน และสิ้นสุดในเดือนกันยายน ในช่วงฤดูแล้งเกือบทุกเดือนของแอ่งสกลนครมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยน้อยกว่า 100 มิลลิเมตร ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีของแอ่งสกลนครประมาณ 26 องศาเซลเซียส อัตราการระเหยทั้งปี 1521.3 มิลลิเมตร (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2539) ดังตารางที่ 3

4.1 ปริมาณและการกระจายของฝน

แอ่งสกลนครมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยตลอดปีเท่ากับ 1,707.1 มิลลิเมตร โดยมีปริมาณสูงสุดเฉลี่ยในเดือนสิงหาคมเท่ากับ 397.3 มิลลิเมตร ส่วนเดือนธันวาคม พบว่าเป็นเดือนที่มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยน้อยที่สุด (5.4 มิลลิเมตร) สำหรับการกระจายของน้ำฝนพบว่าจำนวนวันที่ฝนตกในรอบปีเท่ากับ 125.6 วัน โดยเดือนสิงหาคมจะมีจำนวนวันฝนตกสูงสุด (เฉลี่ย 23 วัน) ส่วนเดือนที่มีฝนตกน้อยที่สุดคือเดือนธันวาคม (0.8 วัน)

4.2 อุณหภูมิ

ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีของพื้นที่แอ่งสกลนครเท่ากับ 26.1 องศาเซลเซียส โดยมีค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดเฉลี่ยเท่ากับ 29.2 และ 21.9 องศาเซลเซียสตามลำดับ ค่าอุณหภูมิในแต่ละเดือนของรอบปี มีค่าแตกต่างกันมาก กล่าวคือ เดือนเมษายน ซึ่งเป็นเดือนที่มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดแตกต่างจากเดือนที่มีอุณหภูมิต่ำที่สุด คือ เดือนธันวาคมประมาณ 7.3 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 3 ข้อมูลสภาพภูมิอากาศของแอ่งสกลนคร

พื้นที่ศึกษา	จังหวัด				เฉลี่ย
	อุดรธานี	สกลนคร	หนองคาย	นครพนม	
ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย (มม./ปี)	1,410.5	1,577.6	1,575.6	2,266.5	1,707.1
ปริมาณการระเหยน้ำเฉลี่ย (มม./ปี)	1,761.0	1383.4	1,507.7	1,433.2	1,521.3
ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%)	71	72	74	75	73
อุณหภูมิเฉลี่ย (°c)	26.5	26.1	26.3	25.9	26.1

ที่มา: จากกรมอุตุนิยมวิทยา (2539)

4.3 ความชื้นสัมพัทธ์

ค่าปริมาณความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดปีของพื้นที่แอ่งสกลนครเท่ากับร้อยละ 73 โดยเดือนสิงหาคมเป็นเดือนที่มีค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดร้อยละ 84.5 และเดือนมีนาคมเป็นเดือนที่มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำที่สุด ร้อยละ 62

4.4 ปริมาณการคายระเหยน้ำ

ค่าปริมาณการคายระเหยน้ำเฉลี่ยตลอดปีเท่ากับ 1,521.3 มิลลิเมตร โดยเดือนเมษายนเป็นเดือนที่มีค่าปริมาณการคายระเหยน้ำเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 186.4 มิลลิเมตร และเดือนสิงหาคมเป็นเดือนที่มีค่าปริมาณการคายระเหยน้ำเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 115.0 มิลลิเมตร

ลักษณะฝนและสภาพภูมิอากาศของแอ่งสกลนครประกอบด้วย 3 ฤดูกาล ได้แก่ ฤดูร้อน ฤดูฝน ฤดูหนาว

ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่ กลางเดือนกุมภาพันธ์จนถึงกลางเดือนพฤษภาคม อุณหภูมิเฉลี่ย 27.83 ° เซลเซียส ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 419.67 มิลลิเมตร ปริมาณการระเหยเฉลี่ย 429.10 มิลลิเมตร. ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยร้อยละ 69.39

ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่ กลางเดือนพฤษภาคมจนถึงกลางเดือนตุลาคม อุณหภูมิเฉลี่ย 27.59 ° เซลเซียส ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1331.77 มิลลิเมตร. ปริมาณการระเหยเฉลี่ย 429.10 มิลลิเมตร ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยร้อยละ 83.62

ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่ กลางเดือนกุมภาพันธ์จนถึงกลางเดือนพฤษภาคม อุณหภูมิเฉลี่ย 24.36 ° เซลเซียส ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 87.77 มิลลิเมตร ปริมาณการระเหยเฉลี่ย 355.79 มิลลิเมตร ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยร้อยละ 70.56 (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2539)

5. ดินเค็ม

ดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีระดับความเค็มไม่สม่ำเสมอกันตลอดทั้งพื้นที่ เกือบจะสะสมอยู่เป็นหย่อมๆ และชั้นที่สะสมเกลือจะเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลด้วย เนื่องจากดินเค็มในภาคนี้มีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย ทำให้ระดับความเค็มเปลี่ยนแปลงได้ง่าย ส่วนคุณสมบัติอื่น เช่น ปริมาณความมากน้อยของกราบเกลือบนผิวดิน ขึ้นกับระดับความตื้นลึกของน้ำใต้ดินและชั้นของหินเกลือที่อยู่ด้านล่าง (เพิ่มพูน, 2527)

ดินที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือบริเวณแอ่งสกลนครในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ของประเทศไทย ส่วนมากจัดอยู่ในกลุ่มดินใหญ่ Natraqualfs และ Plinthaqualfs ตามอนุกรมวิธานดิน อยู่ในบริเวณตะพักลุ่มน้ำต่ำ เป็นดินสีเทา วัตถุต้นกำเนิดส่วนใหญ่เป็นตะกอนน้ำพาที่องุ่นบนตะกอนตลิ่งที่สลายตัวมาจากหินทรายแป้ง และตะกอนน้ำพาเก่า (พรพรหม, 2544)

ณรงค์ และคณะ (2539) รายงานว่า ชนิดดินที่พบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือบริเวณแอ่งสกลนคร จากการสำรวจและจำแนกดินในจังหวัดต่างๆ ชุดดินที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือในพื้นที่ศึกษา มีดังนี้

1) กลุ่มดิน Paleaquults จัดอยู่ในดินคล้ายชุดร้อยเอ็ดที่เป็นดินเค็ม เป็นดินที่มีลักษณะคล้ายกับดินชุดร้อยเอ็ดโดยทั่วไป แต่แตกต่างกันที่ชุดดินนี้มีเกลือสะสมอยู่สูง ดินบนมีปฏิกิริยาเป็นกรดปานกลางถึงกลาง ดินล่างมีปฏิกิริยาเป็นกรดเล็กน้อยถึงด่างอ่อน สำหรับความสมบูรณ์ตามธรรมชาติ ตลอดจนการใช้ประโยชน์ที่ดินก็เช่นเดียวกับชุดดินร้อยเอ็ดทั่วไป คือมีความเหมาะสมปานกลางทั้งในการปลูกข้าวและพืชไร่ มีการระบายน้ำเร็ว ปริมาณอินทรีย์วัตถุ

ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม รวมถึงค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนต่ำ มีอัตราร้อยละความอิ่มตัว เบสสูง เนื่องจากมีเกลือโซเดียมสูง เว้นแต่จะมีน้ำมากพอที่จะลดความเข้มข้นของเกลือลง

2) กลุ่มดิน Endoquents เกิดจากตะกอนน้ำพาที่บวมอยู่บนตะกอนน้ำเก่า เป็นดินลึก ลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย มีสีน้ำตาลหรือน้ำตาลปนเทา การระบายน้ำเร็ว พบจุดประสีน้ำตาลหรือเหลืองตลอดชั้น มีการสะสมของเกลืออยู่จำนวนมาก ในหน้าแล้งจะพบคราบเกลือบนผิวหน้าดิน และโดยส่วนใหญ่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เนื่องจากปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์และมีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนต่ำ ปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงด่างปานกลาง (pH 6.5-8.0) การใช้ประโยชน์ที่ดินมักจะใช้ทำนาและเป็นแหล่งทำเกลือ (ณรงค์ และคณะ, 2539)

6. การใช้ที่ดินและพืชพรรณ

ศักยภาพของดินทางการเกษตรของแอ่งสกลนครอยู่ในระดับต่ำ แต่มีการใช้ประโยชน์พื้นที่ในการเพาะปลูกอย่างกว้างขวาง พื้นที่ลุ่มที่ค่อนข้างต่ำทั้งหมดที่มีน้ำขังหรือสามารถขังน้ำได้ในระหว่างฤดูฝนใช้เป็นพื้นที่ปลูกข้าว สำหรับพื้นที่ราบที่เกิดจากการกร่อน (planation surface) ที่ดินบนหนาพอสมควรหรือมีกรวดศิลาแลงอยู่ในระดับลึก ส่วนใหญ่ใช้สำหรับปลูกพืชไร่ เช่น อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด แต่ข้อจำกัดทางกายภาพ และเคมีรวมถึงการจัดการดินที่ปฏิบัติกันมาทำให้ผลผลิตเหล่านี้นลดลงทุกปี ในที่สุดมีการทิ้งพื้นที่ให้ว่างเปล่า ส่วนพื้นที่ที่มีศักยภาพทางการเกษตรปานกลางถึงสูง จะปรากฏเป็นแถบแคบๆ และจำกัดอยู่เฉพาะตามแนวแม่น้ำโขงและแม่น้ำสงคราม โดยส่วนที่สูงกว่าบริเวณนี้จะใช้ปลูกพืชไร่ เช่น มันสำปะหลัง ยาสูบ ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วลิสง ฝ้าย มะเขือเทศ พืชไร่อื่นๆ ส่วนที่ต่ำกว่าจะใช้ปลูกข้าว สำหรับพืชใหม่ที่เริ่มมีบทบาทมากในแอ่งสกลนครในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา คือ ข้าวฟ่าง มะม่วงหิมพานต์ ยูคาลิปตัส และยางพารา (กรมพัฒนาที่ดิน, 2536)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ในการศึกษาภาคสนาม

1.1 แผนที่สภาพภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000 ระวังจังหวัดสกลนคร อุครธานี นครพนม และหนองคาย ของกรมแผนที่ทหาร

1.2 แผนที่ดินเค็มมาตราส่วน 1:100,000 บริเวณจังหวัดสกลนคร อุครธานี นครพนม และหนองคาย ของกรมพัฒนาที่ดิน

1.3 แผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทย มาตราส่วน 1:1,000,000 ของกรมทรัพยากรธรณี

1.4 ข้อมูลปริมาณน้ำฝน ของจังหวัดสกลนคร อุครธานี นครพนม และหนองคาย ของกรมอุตุนิยมวิทยา

1.5 เครื่องมือมาตรฐานในการสำรวจดิน ตรวจสอบดินและเก็บตัวอย่างดินภาคสนาม (เอิบ, 2542ข)

2. อุปกรณ์การวิเคราะห์

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่จำเป็นในการวิเคราะห์หาสมบัติทางด้านกายภาพ ทางเคมีของ ตัวอย่างดิน เช่น atomic absorption spectrophotometer (AAS), pH meter, electrical conductivity bridge พร้อมทั้งสารเคมีและเครื่องแก้วที่จำเป็นในการวิเคราะห์

เครื่องมือและอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ พร้อมโปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ GIS สำเร็จรูป ARC VIEW GIS 3.2

วิธีการ

การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นก่อนศึกษาดินในสนาม

1. วางแผนการกำหนดจุดเก็บตัวอย่างดินที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือใน 3 ระดับ คือบริเวณที่มีผลกระทบจากเกลือระดับมากที่สุด มากกว่าร้อยละ 50 บริเวณที่มีผลกระทบจากเกลือระดับมาก ร้อยละ 10-50 และบริเวณที่มีผลกระทบจากเกลือร้อยละ 1-10 แผนที่การแพร่กระจายของดิน มาตรฐาน 1:100,000 ในบริเวณขอบเขตพื้นที่แอ่งสกลนคร ประกอบด้วย 4 จังหวัด คือ จุดเก็บตัวอย่าง จังหวัดอุดรธานี จังหวัดสกลนคร จังหวัดหนองคาย และจังหวัดนครพนม

2. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลด้านสภาพภูมิประเทศ ธรณีวิทยา สภาพภูมิอากาศ ทรัพยากร แหล่งน้ำ เส้นทางคมนาคม ของบริเวณที่ศึกษาเพื่อนำมาใช้ในการศึกษาวิจัย

การจัดการและวิเคราะห์ข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์

1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น สำหรับสร้างฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์กำหนดขอบเขตพื้นที่ เพื่อศึกษาระดับความรุนแรงของพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือ และทิศทางการแพร่กระจายของดินเค็มขอบเขตของพื้นที่แอ่งสกลนคร ตามแผนที่การแพร่กระจายดินเค็ม และรวบรวมข้อมูลพื้นฐานของบริเวณพื้นที่ศึกษา

2. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างดินที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือ กับลักษณะภูมิประเทศ ธรณีวิทยา ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี และเส้นทางคมนาคม โดยใช้เทคนิคการซ้อนทับ (overlaying) เพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของการแพร่กระจายดินเค็มแอ่งสกลนคร กับปัจจัยสภาพแวดล้อมอื่น

การปฏิบัติงานในภาคสนาม

1. ออกศึกษาภาคสนามโดยใช้แผนที่สภาพภูมิประเทศมาตรฐาน 1:50,000 แผนที่การแพร่กระจายของดินเค็ม เป็นแผนที่พื้นฐาน (base maps) และเก็บตัวอย่างดินเค็ม ภายในขอบเขตแอ่งสกลนคร

2. เก็บตัวอย่างดินใน 2 ระดับ คือในระดับดินชั้น A และดินชั้น B ที่ระดับความลึกไม่เกิน 60 เซนติเมตร แต่ละชั้นใส่ถุงพลาสติก ตัวอย่างละประมาณ 2 กิโลกรัม เพื่อนำไปศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมี

3. เก็บตัวอย่างดินในสภาพธรรมชาติ (undisturbed soil sample) โดยใช้กระบอกลอยดินเพื่อนำไปวิเคราะห์การนำน้ำ (hydraulic conductivity) ของดิน (เอิบ, 2542ข)

การวิเคราะห์ตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการ

เตรียมตัวอย่างดินก่อนทำการวิเคราะห์ดินที่ถูกรบกวน โดยนำตัวอย่างดินที่เก็บใส่ถุงพลาสติกจากภาคสนามมาผึ่งให้แห้งในร่ม (air dried) นำไปบดด้วยโม่บดดิน ร่อนตัวอย่างดินด้วยตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร เพื่อนำตัวอย่างดินดังกล่าวไปวิเคราะห์สมบัติของดินด้านกายภาพและเคมีต่อไป

1. การวิเคราะห์ดินทางกายภาพ

1.1 วิเคราะห์การกระจายของอนุภาคดิน (particle size analysis) โดยวิธีไปเปต (pipette method) (National Soil Survey Center, 1996) นำผลที่ได้มาแจกแจงชนิดเนื้อดิน โดยเปรียบเทียบกับชั้นเนื้อดินของกระทรวงเกษตรสหรัฐ (USDA textural class) (Soil Survey Staff, 1999)

1.2 วิเคราะห์ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) โดยวิธี clod method (Blake and Hartge, 1986)

1.3 วิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์การนำน้ำของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated hydraulic conductivity) โดยใช้วิธีขั้วน้ำผันแปร (variable head method) (Klute, 1965)

2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

2.1 ปฏิกริยาดิน (soil reaction, pH) โดยใช้เครื่องมือวัดปฏิกริยาดิน (pH meter) ใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำ และดินต่อสารละลาย 1 N KCl เท่ากับ 1:1 (National Soil Survey Center, 1996)

2.2 วิเคราะห์หาค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) โดยวัดสภาพการนำไฟฟ้าของสารละลายดินที่สกัดจากดินซึ่งอิ่มตัวด้วยน้ำ (saturation extract) วัดที่อุณหภูมิ 25 ° เซลเซียส ด้วยเครื่อง electrical conductivity bridge (Richards, 1954)

2.3 ปริมาณความเป็นกรดที่สกัดได้ (extractable acidity) โดยวิธี barium chloride triethanolamine pH 8.2 (Peech, 1965)

2.4 ปริมาณเบสรวมที่สกัดได้ (extractable bases) ซึ่งประกอบด้วย โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม โดยสกัดด้วยสารละลายละลาย 1N NH_4OAc เป็นกลาง (pH 7.0) (Peech, 1945) และวัดหาปริมาณด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer

2.5 อัตราร้อยละความอิ่มตัวด้วยเบส (base saturation percentage, B.S) โดยคำนวณจากค่าของปริมาณเบสที่สกัดได้ และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ($\text{CEC} = \text{extractable bases} + \text{extractable acidity}$) จากสูตร (National Soil Survey Center, 1996)

$$\% \text{ B.S.} = \frac{\text{Extractable bases}}{\text{Extractable bases} + \text{Extractable acidity}} \times 100$$

2.6 วิเคราะห์หาค่าอัตราการดูดซับโซเดียม (sodium adsorption ratio, SAR) โดยหาปริมาณโซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียม จากสารละลายในดินที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ โดยใช้เครื่อง atomic absorption spectrophotometer แล้วนำมาคำนวณโดยใช้สูตรส่วนค่าอัตราส่วนของโซเดียมที่ถูกดูดซับ สามารถคำนวณโดยใช้สูตร (Richards, 1954)

$$\text{SAR} = \frac{(\text{Na}^+)}{\sqrt{\frac{(\text{Ca}^{++}) + (\text{Mg}^{++})}{2}}}$$

2.7 ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity:CEC) โดยการชะละลายไอออนบวกด้วยสารละลาย 1N NH_4OAc ที่เป็นกลาง (pH 7.0) และแทนที่แอมโมเนียมไอออนด้วย 10% NaCl ในสภาพกรด กลั่นหาแอมโมเนียมไอออน แล้วคำนวณหาความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน (Chapman, 1965)

2.8 ค่าอัตราร้อยละของโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable sodium percentage : ESP) โดยคำนวณตามสูตร (Peech *et al.*, 1974)

$$\text{ESP} = \frac{\text{ES} \times 100}{\text{CEC}} \quad \%$$

เมื่อ ES = exchangeable sodium (cmol kg^{-1})
CEC = cation exchange capacity (cmol kg^{-1})

สถานที่ศึกษา

1. ศึกษาภาคสนาม เก็บตัวอย่างดินในขอบเขตบริเวณแอ่งสกลนคร ประกอบด้วย 4 จังหวัด คือ จังหวัดสกลนคร จังหวัดอุดรธานี จังหวัดหนองคาย และจังหวัดนครพนม
2. ทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ทางเคมีของดินในห้องปฏิบัติการภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลการศึกษาสภาพแวดล้อมในการแพร่กระจายของดินเค็มในแอ่งสกลนคร ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยทำการเก็บตัวอย่างดินเค็มในบริเวณพื้นที่ที่พบคราบเกลือ ในแอ่งสกลนคร ดังภาพที่ 4 ได้กำหนดบริเวณที่ศึกษาดินเป็นตัวแทน 26 บริเวณ ดังแสดงในภาพที่ 5 ผลการศึกษาในภาคสนามและห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย สภาพแวดล้อมทั่วไปของการแพร่กระจายดินเค็มบริเวณพื้นที่ศึกษา การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี และใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อประเมินทิศทางและความรุนแรงของการแพร่กระจายดินเค็ม

1. สภาพแวดล้อมทั่วไปในการแพร่กระจายดินเค็มบริเวณพื้นที่ศึกษา

ดินที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือบริเวณขอบเขตพื้นที่แอ่งสกลนคร มีการแพร่กระจายคิดเป็นพื้นที่ 5,290,574 ไร่ โดยพิจารณาจากการปรากฏของคราบเกลือบนผิวดินและแบ่งเป็นดินที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือระดับมากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และไม่ได้รับผลกระทบจากอิทธิพลของเกลือ คิดเป็นร้อยละ 0.07, 0.15, 1.42, 21.97 และ 76.39 ดังตารางที่ 4 ของพื้นที่ตามลำดับการแพร่กระจายของดินเค็มส่วนใหญ่อยู่ทางด้านทิศตะวันตกและทิศใต้ของขอบเขตพื้นที่แอ่งสกลนคร ในจังหวัดหนองคาย พบการแพร่กระจายดินเค็มในบริเวณพื้นที่อำเภอท่าบ่อ จังหวัดอุดรธานี พบในพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานี อำเภอกุมภวาปี และอำเภอหนองหาน จังหวัดสกลนคร พบในพื้นที่ อำเภอสว่างแดนดิน อำเภอพังโคน อำเภอพรรณานิคม และอำเภอเมืองสกลนคร สภาพแวดล้อมของ การแพร่กระจายของดินเค็ม ส่วนใหญ่พบอยู่ในส่วนต่ำของระบบ สอดคล้องกับลักษณะของพื้นที่แอ่งสกลนครเป็นพื้นที่สูงทางด้านทิศตะวันตกและทางทิศใต้แล้วค่อยๆ ลาดเทลงมาทางทิศเหนือ และทิศตะวันออกตามลำน้ำในท้องที่ ทั้งนี้บริเวณดังกล่าว น้ำบาดาลส่วนใหญ่จะมีคุณภาพไม่ดี มักเป็นน้ำกร่อยหรือน้ำเค็ม เป็นน้ำบาดาลที่อยู่ในชั้นทับถมของ หินดินดาน หินทราย ทรายแป้ง และ หินโคลน ที่วางตัวอยู่บนชั้นหินเกลือ (สมชัย และเจตต์, 2540)

จากการวิเคราะห์ทางสารสนเทศภูมิศาสตร์โดยใช้เทคนิคการซ้อนทับข้อมูลเพื่อประเมินการแพร่กระจายของดินเค็ม โดยใช้พื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือในระดับมากที่สุด พบคราบเกลือ มากกว่าร้อยละ 50 ของพื้นที่ ระดับมาก พบคราบเกลือในพื้นที่ร้อยละ 10-50 ของพื้นที่ และระดับ ปานกลาง พบคราบเกลือในพื้นที่ร้อยละ 1-10 (พิชัย, 2542) เนื่องจากมีคราบเกลือปรากฏ ที่ผิว

ดินสังเกตได้ง่าย สามารถนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการศึกษาการแพร่กระจายดินเค็มในพื้นที่แอ่งสกลนคร

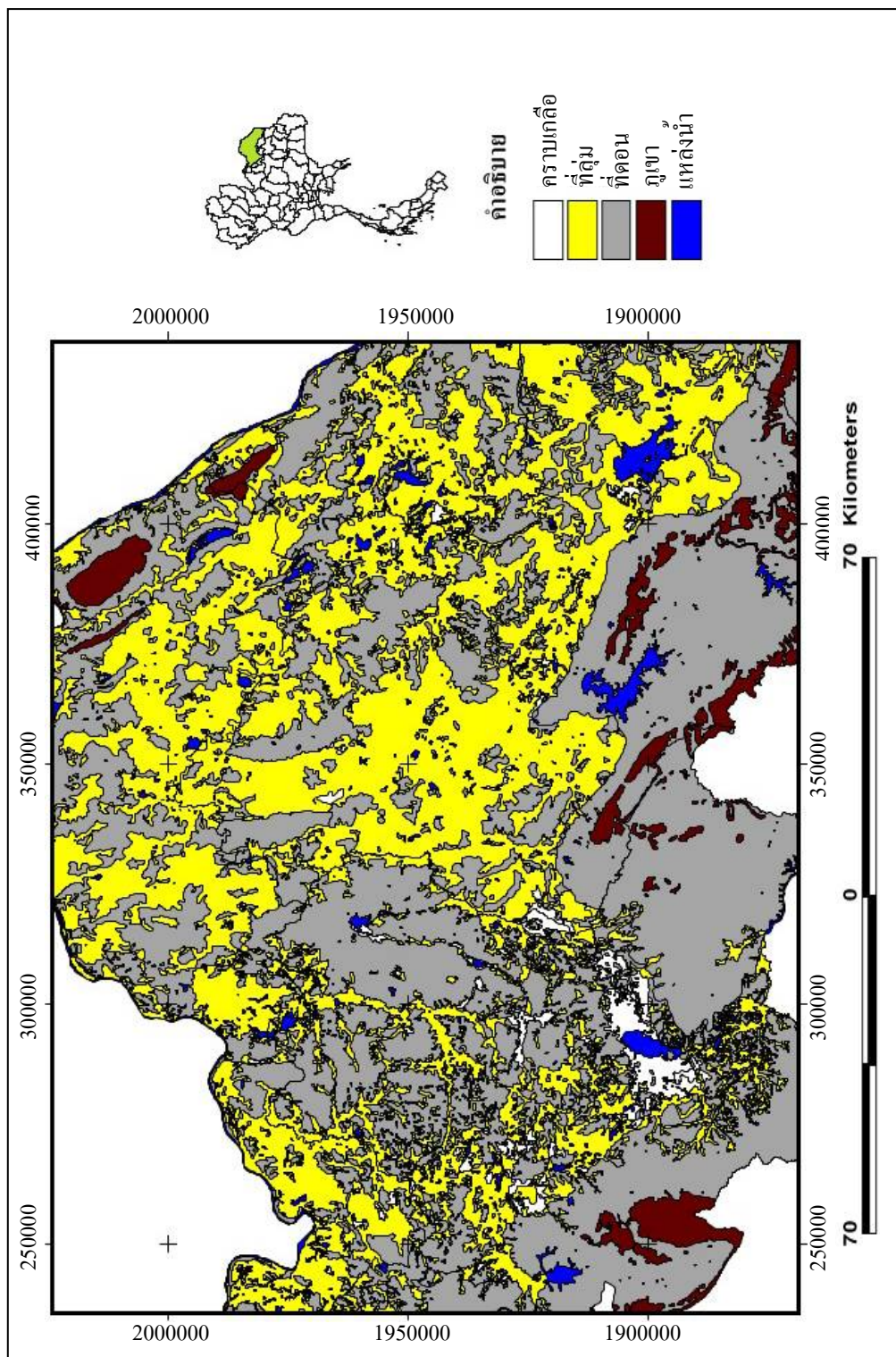
ตารางที่ 4 พื้นที่การแพร่กระจายดินเค็มแอ่งสกลนคร

กลุ่มผลกระทบโดยใช้คราบเกลือเป็นเกณฑ์	เนื้อที่	
	(ไร่)	%
บริเวณที่มีผลกระทบมากที่สุด (คราบเกลือบนผิวดิน >50% ของพื้นที่)	19,122	0.07
บริเวณที่มีผลกระทบมาก (คราบเกลือบนผิวดิน 10-50% ของพื้นที่)	45,490	0.15
บริเวณที่มีผลกระทบปานกลาง (คราบเกลือบนผิวดิน 1-10% ของพื้นที่)	456,444	1.42
บริเวณที่มีผลกระทบเล็กน้อย (คราบเกลือบนผิวดิน <1% ของพื้นที่)	4,769,518	21.97
บริเวณที่สูงที่มีชั้นหินเกลือรองรับอยู่ด้านล่าง	9,304,315	37.73
บริเวณที่ไม่มีผลกระทบจากคราบเกลือ	7,470,768	31.40
พื้นที่ภูเขา	1,363,081	5.73
แหล่งน้ำ	3,64,969	1.53
รวมพื้นที่ทั้งหมด	23,793,707	100.00

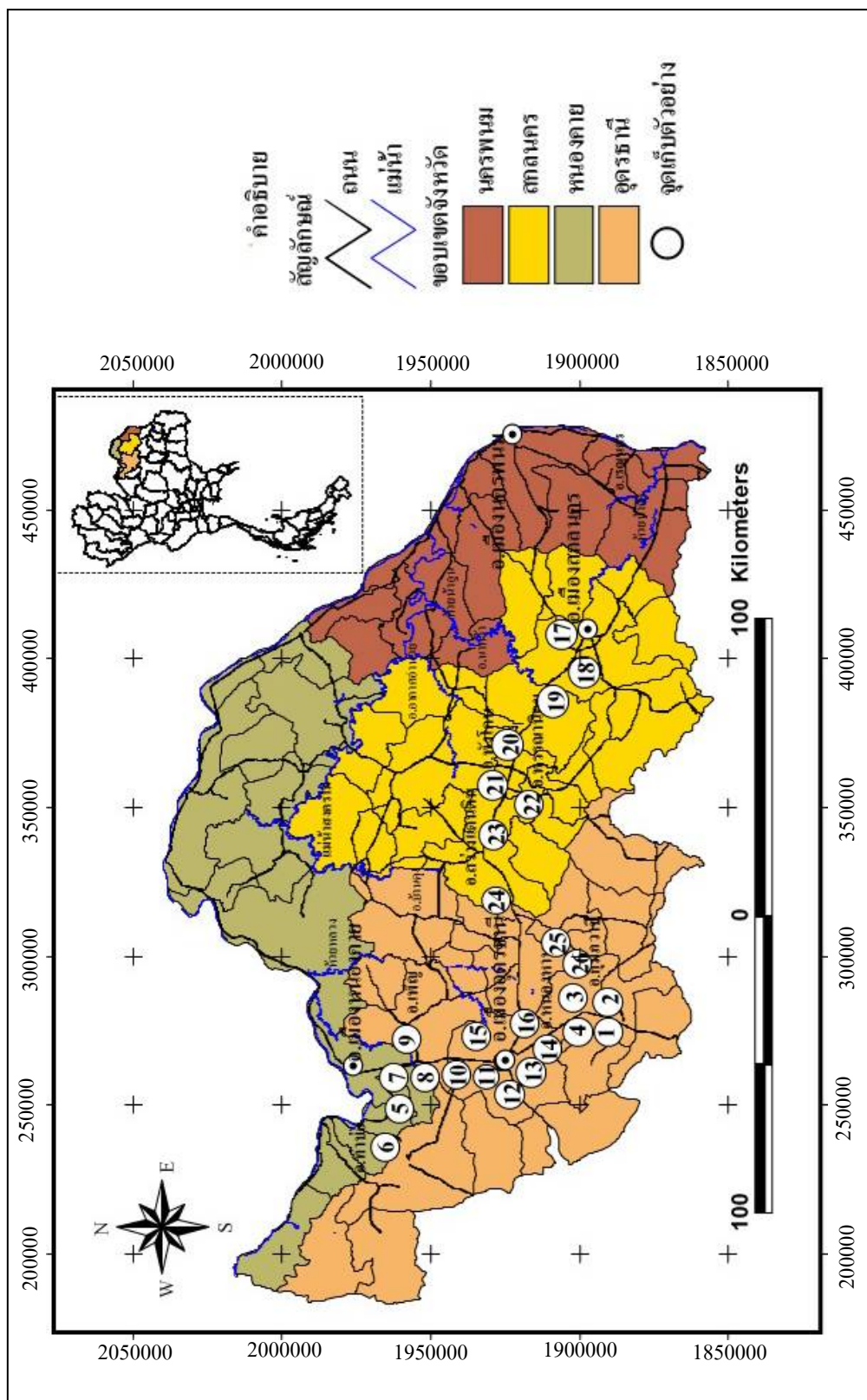
ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2546)

ลักษณะสภาพแวดล้อมทั่วไปของดินเค็มที่ทำการศึกษา ลักษณะทั่วไปของดินในภาคสนาม ที่ทำการศึกษากันทั้ง 26 บริเวณ แสดงไว้ในตารางที่ 5

ดินที่ศึกษาในภาคสนาม พบว่าพื้นที่ศึกษาสังเกตได้ง่ายจะเห็นคราบเกลือสีขาว เป็นขุย ขึ้นอยู่บนผิวดินลักษณะเป็นหย่อมๆ กระจายอยู่อย่างไม่สม่ำเสมอในพื้นที่เดียวกัน แม้บางจุดไม่พบคราบเกลือแต่สังเกตพบจากการตายของพืชเป็นหย่อมๆ ของพื้นที่ปลูก และบางพื้นที่จะพบพืชที่ชอบเกลือ เช่น หนามพรม หนามพุงคอก สะแก ซึ่งจัดว่าเป็นพืชที่บ่งชี้ (index plant) ถึงพื้นที่ที่มีสภาพดินเค็ม โดยทั่วไปสภาพพื้นที่มีความลาดชันของผิวน้ำอยู่ในช่วงต่ำประมาณร้อยละ 1-3 และมีสภาพภูมิประเทศเป็นที่ราบถึงชันเล็กน้อย (flat to gently sloping) ลักษณะลักษณะภูมิประเทศของบริเวณต่างๆ ที่ทำการศึกษารวมจะอยู่ในบริเวณที่เป็นตะพักลุ่มน้ำต่ำ (low terrace) มีสภาพพื้นที่ราบเรียบถึงค่อนข้างราบเรียบ ส่วนบนของตะพักลุ่มน้ำต่ำ (upper part of low terrace) และลักษณะแบบขอบพื้นที่ลุ่มบนตะพักลุ่มน้ำต่ำ (depression fringe on low terrace) สูงจากระดับ



ภาพที่ 4 การแพร่กระจายดินเค็มแ่งสกลนคร
ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน (2546)



ภาพที่ ๕ จุดเก็บตัวอย่างดินที่ทำการศึกษาทั้ง 26 บริเวณ

น้ำทะเลปานกลางประมาณ 158-219 เมตร การใช้ประโยชน์ที่ดินส่วนมากเป็นพื้นที่นาข้าว และบางพื้นที่เคยทำนามาก่อนถูกปล่อยให้รกร้างว่างเปล่า ให้เป็นทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ พบพืชทนเค็มจำพวก หนามพุงคอก หญ้าขนตาช้าง สะแก ตาล ความหนาของชั้นดินบนมีประมาณ 9-30 เซนติเมตร ส่วนมากมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ สภาพการระบายน้ำเร็ว ส่วนมากเป็นชุดดิน ร้อยเอ็ด (Roi-Et series) ดินคล้ายชุดดินร้อยเอ็ดที่เป็นดินเค็ม (Roi-Et saline variant) และดินคล้ายชุดดินโคราชที่เป็นดินเค็ม (Khorat saline variant)

ลักษณะสภาพแวดล้อมทั่วไปของดินเค็มที่ทำการศึกษา ลักษณะทั่วไปของดินในภาคสนาม ที่ทำการศึกษากว่า 26 บริเวณ แสดงไว้ในตารางที่ 5

2. ผลการศึกษาจากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

2.1 สมบัติทางกายภาพของดินที่ศึกษา

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดินที่ทำการศึกษากว่า 26 พืดอน ประกอบด้วย การกระจายของอนุภาคและชั้นเนื้อดิน ความหนาแน่นรวมของดิน และค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวด้วยน้ำ ซึ่งผลวิเคราะห์ตามตารางที่ 6 และใช้เกณฑ์แบ่งระดับค่าวิเคราะห์ตามตารางภาคผนวกที่ 5 และ 6

2.1.1 การกระจายของอนุภาคและชั้นเนื้อดิน

ผลการวิเคราะห์แจกกระจายของอนุภาคขนาดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวของดินบริเวณที่ศึกษากว่า 26 พืดอน สรุปได้ดังนี้คือ

อนุภาคขนาดทราย ดินที่ทำการศึกษาพบว่ามีปริมาณอนุภาคขนาดทรายเด่นชัดที่สุด โดยมีอนุภาคทรายเป็นองค์ประกอบอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำถึงสูง มีค่าอยู่ในพิสัย 130-825 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนดินชั้นล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 60-802 กรัมต่อกิโลกรัม และมีลักษณะการกระจาย

ตารางที่ 5 ลักษณะสภาพทั่วไปของดินที่ทำการศึกษา

Location	Landform	Slope (%)	MSL (m)	Soil series	Land use	Halophytes	Other plants	Other environment
Upland-lowland								
1	transition	1	175	Khorat (Saline)	Left idle under grasses	หนามพุงค้อ, ผักเบี้ย	มะพร้าว กระถิน	ใกล้หนองน้ำ
2	Low terrace	1	167	Roi-Et Saline	Paddy rice	หญ้าขนตาช้าง	ตาล ไม้	ริมถนนหมายเลข 205
3	Low terrace	1	169	Roi-Et Saline	Paddy rice	หนามพุงค้อ, ผักเบี้ย	ยูคาลิปตัส ตาล	ริมถนนหมายเลข 2
4	Low terrace	1	166	Roi-Et Saline	Paddy rice	หญ้าขนยักษ์	ตาล จำปา	ริมถนนหมายเลข 2
5	Upper low terrace	2	178	Roi-Et	Paddy rice	หญ้าขนตาช้าง	มะขาม	คันนาถ้ำ
6	Low terrace	2	158	Alluvial Complex	Paddy rice	หญ้าขนตาช้าง	กก	คลองชลประทาน
7	Low terrace	1	170	Roi-Et	Left idle under grasses	หนามพุงค้อ	ตาล ไม้	ริมถนนหมายเลข 211
8	Low terrace	1.5	162	Roi-Et loamy Saline	Left idle under grasses	หนามพุงค้อ, สะแกนา	กระถินณรงค์	ริมทางรถไฟ
9	Low terrace	1	167	Roi-Et	Paddy rice	สะแก	มะขาม, มะพร้าว	ริมถนนหมายเลข 202
10	Low terrace	1.5	179	Roi-Et	Left idle under paddy rice	หนามพุงค้อ, สะแก	ตาล ไม้	ริมถนนหมายเลข 201
11	Low terrace	1	195	Roi-Et	Paddy rice	หญ้าขนตาช้าง	มะขามเทศ	ใกล้หนองน้ำ
12	Low terrace	2	180	Roi-Et, Udon	Left idle under grasses	หนามพุงค้อ	ตาล ยูคาลิปตัส	ใกล้หมู่บ้าน
13	Middle terrace	1	214	Roi-Et	Paddy rice	สะแก หนามพุงค้อ	ไม้	ใกล้สี่แยก

ตารางที่ 5 (ต่อ)

Location	Landform	Slope (%)	MSL (m)	Soil series	Land use	Halophytes	Other plants	Other environment
14	Depression on low terrace	2	214	Roi-Et	Left idle under grasses	หนามพุงดอ	ไผ่	ใกล้หนองน้ำ
15	Lower part of middle	1	203	Khorat (Saline)	Paddy rice	หญ้าขนดาช้าง	ตาล, ยูคาลิปตัส	ใกล้หมู่บ้าน
16	Low terrace	1	204	Roi-Et	Paddy rice	หญ้าขนดาช้าง	ตาล, มะพร้าว, ไผ่	ใกล้คลองชลประทาน
17	Low terrace	1	178	Roi-Et	Paddy rice	หญ้าขนดาช้าง	ตาล, ยูคาลิปตัส	ใกล้คลองชลประทาน
18	Low terrace	1	183	Roi-Et	Paddy rice	หนามพุงดอ	ไผ่	ริมถนนหมายเลข 22
19	Upper part of low terrace	3	178	Roi-Et Saline	Paddy rice	หญ้าขนดาช้าง	มะขาม, ยูคาลิปตัส	ดินถูกชะล้างพังทลาย
20	Upper part of low terrace	1	181	Roi-Et Saline	Left idle under grasses	หนามพุงดอ	กระถินณรงค์, ตาล	ริมถนนหมายเลข 22
21	Low terrace	1	180	Roi-Et Saline	Left idle under grasses	หญ้าขนดาช้าง สะแก	กระถินณรงค์	ริมถนนหมายเลข 22
22	Low terrace	2	191	Roi-Et	Paddy rice	สะแก	มะขามป้อม, ไผ่	ใกล้คลองชลประทาน
23	Low terrace	3	190	Roi-Et	Left idle under paddy rice	สะแก หญ้าขนดาช้าง	มะขามป้อม	ริมถนนหมายเลข 22
24	Low terrace	1	169	Roi-Et Saline	Left idle under paddy rice	สะแก หญ้าขนดาช้าง	รูปถ่าย	ใกล้คลองชลประทาน
25	Low terrace	1	219	Roi-Et	Paddy rice	หญ้าขนนก	ไผ่	นาดำ
26	Upper part of low terrace	2	221	Roi-Et Saline	Paddy rice	หนามพุงดอ	ตาล	ถนนหมายเลข 2350

ตามความลึกที่แตกต่างกันไปแต่ละบริเวณ โดยบริเวณพื้นที่ศึกษา มีปริมาณของอนุภาคนาตรายมากที่สุดโดยเฉพาะในดินบนและมีแนวโน้มที่ลดลงในดินล่าง

อนุภาคนาตรายแป้ง ปริมาณของอนุภาคนาตรายแป้งในดิน มีค่าอยู่ในพิสัย 105-479 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าค่อนข้างคงที่และแนวโน้มปริมาณอนุภาคนาตรายแป้งเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในดินชั้นล่างและมีลักษณะการกระจายที่แตกต่างกันไปแต่ละบริเวณ

อนุภาคนาตรายดินเหนียว ปริมาณของอนุภาคนาตรายดินเหนียว ในดินมีค่าอยู่ในพิสัย 67-476 กรัมต่อกิโลกรัม และแสดงแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นของอนุภาคนาตรายดินเหนียวอย่างชัดเจนทุกพืดอนในดินชั้นล่าง ซึ่งมีความสัมพันธ์ตรงข้ามกับการกระจายของอนุภาคนาตราย

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์การกระจายของอนุภาคนาตรายต่างๆ ของดินที่ทำการศึกษาทั้ง 26 พืดอนเปรียบเทียบกับเกณฑ์ชั้นเนื้อดิน (เอิบ, 2542ข; Soil Survey Staff, 1992) พบว่าดินที่ทำการศึกษามีส่วนใหญ่มีลักษณะของเนื้อดินอยู่ในกลุ่มดินร่วนปนทราย (sandy loam) และมีเนื้อดินบนหยาบกว่าดินล่าง ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของวัตถุต้นกำเนิดที่เป็นตะกอนน้ำพาของหินตะกอนเนื้อค่อนข้างหยาบ ที่เมื่อผุพังสลายตัวก็จะให้อนุภาคนาตรายที่เป็น ควอร์ตซ์ ซึ่งมีความทนทานต่อการสลายตัวสูง (สุพรรณิ, 2533; เอิบ, 2533; Buol *et al.*, 1989) ประกอบกับมีการเคลื่อนย้ายของอนุภาคนาตรายบางส่วนจากดินบนสู่ดินล่าง ทำให้คงเหลืออนุภาคนาตรายใหญ่มากกว่า สำหรับดินล่างที่มีการกระจายอนุภาคนาตรายละเอียดมากกว่า เป็นผลจากกระบวนการเคลื่อนย้ายมาสะสมในดินล่าง ซึ่งกระบวนการดังกล่าวส่งผลให้อนุภาคนาตรายดินเหนียวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในดินชั้นล่าง (Churchman, 2000)

2.1.2 ความหนาแน่นรวมของดิน

จากผลวิเคราะห์ความหนาแน่นรวมของดินโดยวิธี clod method (Blake and Hartge, 1986) และการใช้เกณฑ์แบ่งระดับความหนาแน่นรวมของดิน (นงคราญ, 2529) พบว่าดินที่ทำการศึกษาในดินชั้นบนมีความหนาแน่นรวมอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง ส่วนดินชั้นล่างนั้นอยู่ในระดับปานกลางถึงสูงมากมีค่าอยู่ในพิสัย 1.43-1.97 และ 1.52-2.18 เมกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตรตามลำดับ

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดินที่ทำการศึกษา

Sample	Horizon	Depth (cm)	Particle size distribution			Textural class	Bulk density (Mg m ⁻³)	Hydraulic conductivity (cm hr ⁻¹)
			Sand	Silt (g kg ⁻¹)	Clay			
1	Apng	0-30	768	106	127	SL	1.97	1.20
	Btng	30-60+	640	182	177	SL	1.92	1.5x10 ⁻²
2	Apng	0-18	419	408	173	L	1.75	8.86 x10 ⁻²
	Btng	18-60+	200	479	321	SiCL	1.70	2.96 x10 ⁻²
3	Apng	0-20	661	221	118	SL	1.61	2.42 x10 ⁻¹
	Btng	20-60+	538	310	152	SL	1.63	2.16x10 ⁻¹
4	Apng	0-17	725	191	84	SL	1.48	8.52x10 ⁻¹
	Btng	17-60+	682	200	118	SL	1.52	9.37x10 ⁻²
5	Apng	0-16	664	205	131	SL	1.55	1.24
	Btcng	16-60+	600	172	228	SCL	2.18	5.75
6	Apng	0-18	170	382	447	C	1.79	4.86
	Btng	18-60+	61	365	574	C	1.70	1.69x10 ⁻²
7	Apg	0-22	697	202	101	SL	1.56	3.33x10 ⁻¹
	Btng	22-60+	517	365	118	L	1.76	2.39x10 ⁻¹
8	Apng	0-19	517	335	148	L	1.70	8.72x10 ⁻¹
	Btng	19-60+	340	441	219	L	1.55	1.18
9	Apng	0-21	481	401	118	L	1.54	8.69x10 ⁻¹
	Btng	21-60+	486	307	207	L	1.71	4.01x10 ⁻¹
10	Apng	0-27	716	212	72	SL	1.56	1.37
	Btng	27-60+	479	344	177	L	1.80	6.88X10 ⁻¹
11	Apng	0-23	757	138	105	SL	1.46	9.86x10 ⁻¹
	Btng	23-60+	692	165	143	SL	1.79	1.09
12	Apng	0-21	709	190	101	SL	1.64	1.10
	Bng	21-60+	649	233	118	SL	1.69	1.54
13	Apng	0-26	683	228	89	SL	1.85	4.26x10 ⁻¹
	Btng	26-60+	637	207	156	SL	1.63	1.58x10 ⁻¹

ตารางที่ 6 (ต่อ)

Sample	Horizon	Depth	Particle size distribution			Textural class	Bulk density (Mg m ⁻³)	Hydraulic conductivity (cm hr ⁻¹)
			Sand	Silt	Clay			
			————	(g kg ⁻¹)	————			
14	Ang	0-24	675	245	80	SL	1.83	3.73x10 ⁻¹
	Btng	24-60+	663	194	143	SL	1.76	1.35
15	Apng	0-22/24	783	132	84	SL	1.54	5.79
	Btng	22/24-60+	712	212	76	SL	1.72	4.90
16	Apng	0-17	620	245	135	SL	1.51	5.33x10 ⁻¹
	Btng	17-60+	473	307	219	L	1.72	2.99x10 ⁻¹
17	Apng	0-19	825	107	68	LS	1.50	2.08
	Btng	19-60+	803	126	72	LS	1.71	1.06
18	Apng	0-17	731	181	89	SL	1.57	2.55
	Btng	17-60+	750	182	68	SL	1.57	1.59
19	Apng	0-14	677	252	72	SL	1.64	1.21
	Btng	14-60+	549	304	148	SL	1.77	2.92
20	Apng	0-24	598	318	84	SL	1.45	6.22x10 ⁻¹
	Btng	24-60+	587	215	198	SL	1.77	1.67
21	An	0-9	512	265	224	SL	1.73	8.69x10 ⁻¹
	Crn	9-60+	422	337	241	L	1.92	1.89x10 ⁻¹
22	Apng	0-19	130	393	477	C	1.76	8.45x10 ⁻²
	Btng	19-60+	186	380	435	C	1.83	4.64x10 ⁻²
23	Ang	0-17	715	141	143	SL	1.74	3.09x10 ⁻¹
	Btng	17-60+	546	188	266	SCL	1.70	7.93x10 ⁻¹
24	Apng	0-19	164	659	177	SiL	1.53	6.06x10 ⁻²
	Btng	19-60+	337	460	203	L	1.61	1.41x10 ⁻¹
25	Apng	0-24	553	337	110	SL	1.47	2.32
	Btng	24-60+	335	399	266	L	1.70	9.30x10 ⁻¹
26	Apng	0-26	588	319	93	SL	1.43	7.28x10 ⁻¹
	Btng	26-60+	429	432	139	L	1.70	6.36x10 ⁻¹

หมายเหตุ

L = loam

C = clay

SCL = sandy clay loam

LS = loamy sand

SL = sandy loam

SiL = silty loam

SiCL = silty clay loam

โดยทั่วไป ดินที่มีเนื้อเป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) จะมีค่าความหนาแน่นของดินรวมอยู่ในช่วงประมาณ 1.2-1.8 เมกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Brady and Weil, 1999) และดินที่มีความเหมาะสมต่อการใช้ทำการเกษตรมีความหนาแน่นรวมประมาณ 1.3 เมกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Forth, 1990) ดังนั้นจึงเห็นได้ว่า ดินที่ทำการศึกษามีค่าความหนาแน่นรวมของดินอยู่ในระดับสูง ทั้งนี้ น่าจะเป็นผลมาจากมีการใช้ประโยชน์ พื้นที่มาเป็นระยะเวลานาน มีการสูญเสียอินทรีย์วัตถุไปจากดินมากขึ้น ประกอบกับการใช้เครื่องทุ่นแรงที่มีน้ำหนักมากมาใช้ในการเกษตร และได้รับอิทธิพลของโซเดียมไอออนที่สะสมอยู่ในดินทำให้เกิดการอัดตัวแน่น ค่าความหนาแน่นรวมของดินจึงมีค่าสูงกว่าที่ควรจะเป็น (Brady and Weil, 1999)

2.1.3 ค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำของดินที่อัดตัวด้วยน้ำ

ค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำของดินที่ศึกษาส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในระดับต่ำปานกลางถึงต่ำมาก ค่าวิเคราะห์ให้ได้อาจอยู่ในพิสัย 0.09-5.75 เซนติเมตรต่อชั่วโมง (O' Neal, 1952) ค่าสัมประสิทธิ์ การนำน้ำของดินชั้นดินบนเร็วกว่าดินชั้นล่าง ดินที่ศึกษาส่วนใหญ่มีสัมประสิทธิ์การนำน้ำอยู่ในระดับต่ำปานกลางถึงต่ำมาก สอดคล้องกับความหนาแน่นรวมของดินที่มีค่าปานกลางถึงสูง ทั้งที่มีการกระจายของอนุภาคและชั้นเนื้อดินอยู่ในกลุ่มที่มีเนื้อดินค่อนข้างหยาบ แสดงถึงอิทธิพลที่เด่นชัดของโซเดียมไอออนที่สะสมอยู่ในดิน แล้วส่งผลให้เกิดการฟุ้งกระจายของอนุภาคดิน โดยเฉพาะอนุภาคดินเหนียว ซึ่งสถานะเช่นนี้ทำให้ช่องว่างขนาดใหญ่มีปริมาณลดลง ยังผลให้การซึมผ่านของน้ำในดินเป็นไปได้ยาก (Marshall and Holmes, 1979)

สมบัติทางกายภาพของดินที่ศึกษา ส่วนใหญ่มีลักษณะของเนื้อดินอยู่ในกลุ่มดินร่วนปนทราย (sandy loam) และดินชั้นบนมีเนื้อดินหยาบกว่าดินชั้นล่าง แสดงว่าหน้าตัดดินมีการสะสมอนุภาคดินเหนียวในดินล่างอย่างชัดเจน ค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำของดินขณะอัดตัวด้วยน้ำอยู่ในระดับต่ำถึงต่ำมาก ความหนาแน่นรวมของดินมีค่าปานกลางถึงสูง ซึ่งน่าจะเกิดจากอิทธิพลของโซเดียมไอออน เนื้อดินชั้นล่างมีแนวโน้มสะสมดินเหนียวมากกว่าดินบน ทำให้ช่องว่างขนาดใหญ่ของดินลดลงอาจเกิดจากการใช้ประโยชน์ที่ดินซึ่งใช้ปลูกข้าว แล้วมีการไถพรวนทำให้ช่องว่างขนาดใหญ่ในดินลดลง มีการอัดตัวแน่น (Forth, 1990)

2.2 สมบัติทางเคมีของดินที่ศึกษา

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินที่ทำการศึกษา ปรากฏผลตามตารางที่ 7 และใช้เกณฑ์การแบ่งระดับค่าวิเคราะห์ ตามตารางภาคผนวกที่ 3, 4 และ 7 (นงคราญ, 2529; Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973) ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางเคมีมีดังนี้

2.2.1 ปฏิกริยาดิน

ผลการวิเคราะห์โดยใช้ดินต่อน้ำและดินต่อ 1N KCl ในอัตราส่วน 1:1 พบว่าดินที่ทำการศึกษามีค่าปฏิกริยาดินอยู่ในช่วงเป็นกรดรุนแรงมากถึงด่างอ่อน (pH 3.8-7.5) และกรดจัดมากถึงเป็นกลาง (pH 3.5-7.2) ตามลำดับ (Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973) โดยที่ส่วนใหญ่จะมีค่าปฏิกริยาดินชั้นบนจะต่ำกว่าดินชั้นล่าง และค่าปฏิกริยาดินส่วนใหญ่อยู่ในช่วงกรดจัดถึงเป็นกรดปานกลาง (pH 3.5-5.6) ซึ่งค่าปฏิกริยาดินในช่วงดังกล่าวนี้ ไม่เหมาะสมต่อการปลูกพืช เนื่องจากเมื่อปฏิกริยาดินมีค่าต่ำกว่า 5.5 ธาตุฟอสฟอรัสจะรวมตัวเป็นสารประกอบกับเหล็กและอะลูมิเนียม ซึ่งเป็นรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชและอะลูมิเนียมจะละลายออกมามาก จนอาจเป็นผลให้เกิดอะลูมิเนียมเป็นพิษต่อพืชได้ (Landon, 1991) ค่าปฏิกริยาดินที่วัดได้จากน้ำจะมีค่าสูงกว่าค่าที่วัดได้จากสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ ในอัตราส่วนเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าผลรวมประจุสุทธิของดินมีผลลัพท์ของประจุในดินรวมเป็นลบ และบ่งชี้ว่าธรรมชาติของระบบดินควบคุมโดยอิทธิพลของแร่ดินเหนียวซิลิเกต (Sanchez, 1976)

2.2.2 ปริมาณเบสที่สกัดได้

ปริมาณเบสที่สกัดได้ ที่ทำการศึกษาและวิเคราะห์ คือ แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และโซเดียม ซึ่งผลการศึกษาครั้งนี้

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินที่ทำการศึกษา

Sample	Horizon	Depth (cm)	pH 1:1		Extractable base				Sum	Extra.	CEC		%BS	EC	SAR	ESP
			H ₂ O	KCl	Ca	Mg	K	Na	Bases	acidity	By sum	NH ₄ OAc	by sum	(sat)		
			(- -----cmol kg ⁻¹ -----)													(%)
1	Apng	0-30	6.5	6.4	4.68	1.22	0.20	6.67	12.77	1.2	14.0	3.5	91.4	44.2	14.3	193.4
	Btng	30-60+	7.5	7.2	2.49	0.60	0.14	3.85	7.08	1.2	8.3	4.6	85.5	12.8	18.3	82.9
2	Apng	0-18	5.2	4.5	1.35	0.26	0.17	1.56	3.34	4.2	7.5	3.6	44.3	4.7	10.5	42.7
	Btng	18-60+	4.5	3.4	1.87	0.41	0.40	3.58	6.26	6.6	12.9	7.7	48.7	6.4	15.0	46.9
3	Apng	0-20	4.5	4.3	1.02	0.19	0.09	18.83	20.14	3.0	23.1	1.8	87.0	25.9	15.0	1076.0
	Btng	20-60+	4.9	4.0	0.75	0.19	0.09	19.51	20.54	3.6	24.1	2.3	85.1	11.5	9.6	831.0
4	Apng	0-17	4.7	4.5	1.56	0.47	0.44	6.58	9.06	3.0	12.1	1.9	75.1	44.9	9.6	337.6
	Btng	17-60+	4.8	4.0	0.47	0.12	0.11	1.04	1.74	2.4	4.1	0.7	42.1	5.8	13.3	159.9
5	Apng	0-16	4.6	3.6	1.04	0.25	0.47	0.63	2.38	4.8	7.2	4.6	33.1	0.4	0.6	13.5
	Btcng	16-60+	5.5	4.0	5.27	1.45	0.11	4.58	11.41	7.8	19.2	10.2	59.4	0.1	0.4	45.2
6	Apg	0-18	4.7	3.5	3.50	0.70	0.40	0.85	5.45	10.8	16.3	11.1	33.5	1.8	0.1	7.6
	Btg	18-60+	4.5	3.5	3.94	0.63	0.29	1.82	6.68	14.4	21.1	19.6	31.7	2.2	4.5	9.3
7	Apg	0-22	4.6	4.4	0.82	0.38	0.20	4.37	5.76	1.2	7.0	1.2	82.8	19.9	13.4	349.7
	Btng	22-60+	6.6	5.5	0.94	0.33	0.22	2.07	3.56	1.8	5.4	2.5	66.4	5.7	7.0	84.5
8	Apng	0-19	4.3	4.5	5.43	5.48	3.38	13.51	27.80	4.2	32.0	3.1	86.9	98.1	11.8	429.2
	Btng	19-60+	4.5	4.0	1.87	1.55	0.40	4.48	8.31	4.8	13.1	5.7	63.4	15.5	10.2	77.9
9	Apg	0-21	4.7	3.9	0.77	0.15	0.15	0.16	1.23	5.4	6.6	2.1	18.5	0.5	1.4	7.3
	Btg	21-60+	5.7	4.5	2.52	0.54	0.15	0.10	3.32	4.8	8.1	4.0	40.9	0.4	1.2	2.6

ตารางที่ 7 (ต่อ)

Sample	Horizon	Depth (cm)	pH 1:1		Extractable base				Sum	Extra.	CEC		%BS	EC	SAR	ESP
			H ₂ O	KCl	Ca	Mg	K	Na	Bases	acidity	By sum	NH ₄ OAc	by sum	(sat)		
			(- - - - - cmol kg ⁻¹ - - - - -)													(%)
10	Apng	0-27	4.4	4.1	0.79	0.16	0.11	0.85	1.91	2.4	4.3	1.1	44.4	7.4	5.2	74.2
	Btng	27-60+	6.0	5.3	2.23	0.55	0.08	1.82	4.67	3.6	8.3	4.2	56.5	6.4	6.2	42.8
11	Apng	0-23	4.6	4.8	1.87	0.54	0.16	9.36	11.93	4.2	16.1	2.7	74.0	54.0	14.9	340.5
	Btng	23-60+	5.3	4.5	0.81	0.28	0.11	4.78	5.98	4.2	10.2	3.3	58.7	14.7	31.9	147.0
12	Apng	0-21	4.5	4.6	1.15	0.46	0.16	7.76	9.53	4.2	13.7	2.1	69.4	47.6	19.9	361.1
	Bng	21-60+	5.0	4.1	0.38	0.16	0.08	1.24	1.86	3.0	4.9	2.0	38.3	5.8	6.9	63.4
13	Apng	0-26	5.2	4.9	1.35	0.24	0.13	9.00	10.73	3.6	14.3	1.0	74.9	62.9	19.5	947.8
	Btng	26-60+	5.4	4.5	0.56	0.12	0.10	5.93	6.72	3.0	9.7	3.4	69.1	18.9	39.7	177.1
14	Ang	0-24	4.5	4.0	0.41	0.31	0.45	2.19	3.36	1.8	5.2	0.8	65.1	3.6	4.3	292.3
	Btng	24-60+	5.0	3.5	0.75	0.60	0.10	0.47	1.92	0.6	2.5	2.8	76.2	2.4	5.6	16.6
15	Apng	0-22/24	5.0	4.8	1.25	0.60	0.29	2.68	4.83	4.2	9.0	1.2	53.5	17.7	6.0	214.8
	Btng	22/24-60+	5.9	5.5	0.87	0.47	0.36	2.36	4.06	0.6	4.7	1.0	87.1	18.7	13.6	224.6
16	Apng	0-17	4.7	3.9	1.54	0.39	0.35	0.60	2.89	3.6	6.5	3.1	44.5	5.8	1.5	19.2
	Btg	17-60+	5.5	4.3	3.26	0.56	0.10	0.43	4.36	3.6	8.0	5.9	54.8	0.9	3.6	7.2
17	Apng	0-19	4.6	4.0	0.20	0.05	0.06	0.43	0.75	3.0	3.7	1.5	19.9	2.3	9.5	29.7
	Btng	19-60+	4.0	4.0	0.17	0.05	0.11	0.86	1.20	1.8	3.0	0.5	40.0	9.3	4.5	155.9
18	Apng	0-17	3.8	3.6	0.47	0.07	0.10	3.91	4.55	4.7	9.2	2.6	49.3	19.5	11.6	147.5
	Btng	17-60+	3.8	3.6	0.14	0.06	0.53	2.34	3.07	3.5	6.5	1.5	46.9	10.6	21.4	161.4

ตารางที่ 7 (ต่อ)

Sample	Horizon	Depth (cm)	pH 1:1		Extractable base				Sum	Extra.	CEC		%BS	EC	SAR	ESP
			H ₂ O	KCl	Ca	Mg	K	Na	Bases	acidity	By sum	NH ₄ OAc	by sum	(sat)		
			(- - - - - cmol kg ⁻¹ - - - - -)													(%)
19	Apng	0-14	4.8	4.0	0.08	0.03	0.19	1.00	1.30	1.1	2.4	0.9	54.6	9.8	17.0	117.7
	Btng	14-60+	4.5	3.5	0.16	0.05	0.09	0.47	0.76	2.9	3.6	2.6	21.0	2.8	7.1	17.9
20	Apng	0-24	3.9	3.8	0.16	0.18	0.31	8.44	9.10	3.5	12.6	1.5	72.3	48.9	42.9	544.9
	Btng	24-60+	4.5	3.4	0.44	0.40	0.08	4.25	5.17	4.7	9.8	4.8	52.5	10.1	19.1	89.5
21	An	0-9	5.6	4.5	1.97	0.56	0.23	3.97	6.72	4.1	10.8	7.1	62.2	12.1	13.0	55.6
	Crn	9-60+	5.9	4.8	1.59	0.44	0.19	7.90	10.12	2.3	12.4	7.2	81.6	10.8	28.2	109.1
22	Apg	0-19	4.5	3.5	7.72	2.40	0.38	1.12	11.63	10.7	22.3	17.7	52.1	1.4	2.2	6.3
	Btg	19-60+	5.0	3.5	6.55	1.85	0.43	1.94	10.78	10.7	21.5	17.6	50.2	1.4	3.8	11.0
23	Ang	0-17	5.6	5.0	1.50	0.59	0.12	9.92	12.13	1.7	13.8	8.5	87.8	44.1	18.8	116.1
	Btng	17-60+	5.7	5.0	1.88	0.64	0.21	7.94	10.68	2.9	13.6	7.4	78.8	11.8	18.4	106.7
24	Apng	0-19	4.5	4.0	1.98	0.45	0.40	7.95	10.77	2.3	13.1	4.3	82.5	27.2	16.5	187.1
	Btng	19-60+	4.7	3.5	1.60	0.36	0.21	5.64	7.80	4.7	12.5	6.2	62.5	10.2	14.5	91.7
25	Apng	0-24	4.5	3.9	0.76	0.27	0.14	0.42	1.60	2.3	3.9	2.2	41.2	2.5	0.2	18.6
	Btng	24-60+	6.0	4.9	4.13	1.08	0.47	1.36	7.03	2.3	9.3	5.8	75.5	1.5	1.7	23.2
26	Apng	0-26	4.5	4.2	0.81	0.33	0.15	5.73	7.03	1.7	8.7	2.5	80.7	29.2	23.2	233.8
	Btng	26-60+	5.0	4.8	1.13	0.41	0.23	5.75	7.52	2.3	9.8	3.7	76.7	19.5	34.5	157.7

1) แคลเซียมที่สกัดได้ ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินที่ทำการศึกษาทั้ง 26 พืชอณมีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงปานกลางค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 0.08-7.72 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ส่วนใหญ่ดินที่ศึกษาปริมาณแคลเซียมของดินบนและดินล่างมีความแปรปรวน ทำให้มีแนวโน้มไม่แน่นอน

2) แมกนีเซียมที่สกัดได้ ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินที่ทำการศึกษาทั้ง 26 พืชอณ มีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงสูง ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 0.03-5.48 เซนติโมลต่อกิโลกรัม เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้กับความลึก พบว่าส่วนใหญ่ดินที่ศึกษาปริมาณแมกนีเซียมของดินชั้นบนและดินชั้นล่างมีค่าค่อนข้างสม่ำเสมอ

3) โพแทสเซียมที่สกัดได้ โพแทสเซียมที่สกัดได้ ในดินที่ทำการศึกษาทั้ง 26 พืชอณส่วนมากมีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงปานกลาง ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 0.08-0.53 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ส่วนพืชอณที่ 8 ดินชั้นบนพบว่ามีความอยู่ในระดับสูงมาก โดยส่วนมากเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้กับความลึก ส่วนใหญ่ดินที่ศึกษาปริมาณโพแทสเซียมของดินชั้นบนและดินชั้นล่างมีความแปรปรวนทำให้มีแนวโน้มไม่แน่นอน

ดินที่ทำการศึกษาทั้ง 26 พืชอณ มีปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียมที่สกัดได้อยู่ในระดับต่ำ อาจเนื่องมาจากส่วนใหญ่ดินมีเนื้อหยาบและส่วนหนึ่งจะถูกชะละลายออกไปจากหน้าตัดดินได้ง่าย มีเพียงบางส่วนเท่านั้นที่ถูกตรึงไว้โดยแร่ดินเหนียวชนิดต่างๆ เช่น แร่ฮิลไลต์ และเคโอลิไนต์ (Brady and Weil, 1999)

4) โซเดียมที่สกัดได้ โซเดียมที่สกัดได้ในดินที่การศึกษามีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงสูงมาก ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 0.10-13.51 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ส่วนใหญ่ดินที่ศึกษาปริมาณโซเดียมมีค่าสูงมากในบริเวณดินชั้นบนและมีแนวโน้มลดลงในดินชั้นล่าง

การที่ดินที่ศึกษาส่วนใหญ่มีค่าโซเดียมที่สกัดได้อยู่ระดับสูงมาก เนื่องจากปริมาณค่าอัตราส่วนโซเดียมที่ถูกดูดซับและค่าร้อยละโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้นั้นมีค่าสูงเกินกว่า 13 และ 15 ตามลำดับ ทำให้อัตราผลของโซเดียมสูงกว่าแคตไอออนชนิดอื่นอย่างเห็นได้ชัด

สอดคล้องกับการศึกษาของเพ็ญพูน (2527) ที่พบว่าดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีเกลือโซเดียมที่เป็นองค์ประกอบหลักมากกว่าร้อยละ 90

2.2.3 ปริมาณเบสรวมที่สกัดได้

ปริมาณเบสรวมที่สกัดได้ในที่นี้คือ ผลรวมของธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และโซเดียมที่สกัดได้ ผลจากการศึกษาดินทั้ง 26 พืดอน พบว่าปริมาณเบสรวมมีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงสูง มีพิสัยอยู่ในช่วง 0.75-27.80 เซนติโมลต่อกิโกรัม มีค่าปริมาณเบสรวมที่สกัดได้ของดินชั้นบนและดินชั้นล่างมีความแปรปรวนทำให้มีแนวโน้มไม่แน่นอน ซึ่งจากการเปรียบเทียบปริมาณเบสรวมที่สกัดได้พบว่า ชนิดของแคตไอออนที่มีปริมาณมากที่สุด คือ โซเดียม รองลงมา คือ แคลเซียม

ปริมาณเบสรวมที่สกัดได้ในดินชั้นบนสูงกว่าดินชั้นล่าง เนื่องจากดินบนมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงกว่าจึงมีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงกว่า เป็นผลให้ดินเหล่านี้มีปริมาณเบสรวมที่สกัดได้สูงกว่าดินล่าง และบางบริเวณที่ศึกษาที่พบว่ามีค่าเบสรวมที่สกัดได้สูงในดินชั้นล่าง ซึ่งอาจมาจากการเคลื่อนย้ายหรือชะละลายแคตไอออนลงมาสะสมในดินล่าง (Thomson and Troeh, 1978) การที่ดินที่ศึกษาส่วนใหญ่มีค่าปริมาณเบสทุกตัวที่สกัดได้ต่ำหมดยกเว้นโซเดียมเท่านั้นที่สูง แสดงว่าดินผ่านการชะละลายและมีพัฒนาการสูง เป็นผลมาจากการสะสมโซเดียมไอออน ซึ่งเป็นการสะสมเกลือหลังจากดินมีพัฒนาการแล้ว (Miura *et al.*, 1992) หรือน่าจะเกิดจากอิทธิพลของวัตถุต้นกำเนิด ซึ่งเป็นวัสดุตกค้างของหินทรายแป้งที่มีปฏิกิริยาที่เป็นด่าง และคาดว่าเกลือเป็นองค์ประกอบอยู่มากสอดคล้องกับผลการศึกษาทางธรณีวิทยาในบริเวณนี้ (นเรศ และคณะ, 2531) ที่พบว่ามีชั้นของเกลือหรือความเค็มแทรกอยู่ในหินดินดาน

2.2.4 ปริมาณความเป็นกรดที่สกัดได้

ปริมาณกรดที่สกัดได้ในหน้าตัดดินที่ทำการศึกษา พบว่าปริมาณความเป็นกรดที่สกัดได้มีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงสูง มีพิสัยอยู่ในช่วง 0.6-14.4 เซนติโมลต่อกิโกรัม โดยส่วนมากพบว่าส่วนใหญ่ดินที่ศึกษาปริมาณกรดที่สกัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในดินชั้นล่าง

ปริมาณกรดที่สกัดได้ของดินที่ทำการศึกษา มีความสัมพันธ์ในทางตรงกับกระบวนการชะละลายภายในหน้าตัดดิน คือดินที่ทำการศึกษา พบว่าปริมาณกรดที่สกัดได้ส่วนใหญ่อยู่ในระดับปานกลางถึงสูง แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการชะละลายแคตไอออนที่เป็นค่าออกไปจากดิน และการแทนที่ของไฮโดรเจนไอออนในดิน และบ่งชี้ว่าดินมีพัฒนาการอยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง (Sanchez, 1976; Buol *et al.*, 1989; Brady and Weil, 1999)

2.2.5 ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน

ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนโดยวิธีชะละลายด้วยสาร $1N \text{ NH}_4\text{OAc}$ ที่เป็นกลาง (pH7.0) (Chapman, 1965) ในดินที่ทำการศึกษาทั้ง 26 พืดอน มีค่าตั้งแต่ระดับต่ำมากถึงระดับสูง 0.6-19.6 เซนติโมลต่อกิโลกรัม โดยดินชั้นล่างมีแนวโน้มความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงกว่าดินชั้นบน

ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินที่ทำการศึกษามีค่าส่วนใหญ่อยู่ระดับต่ำถึงค่อนข้างต่ำ อาจเป็นผลมาจากปริมาณอินทรียวัตถุ ชนิด ปริมาณของแร่ดินเหนียวและปริมาณของโซเดียมไอออนที่พบ (จุมพล, 2535; Sanchez, 1976) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนที่แตกต่างกันนั้น เป็นผลมาจากชนิดและปริมาณของแร่ดินเหนียวที่แตกต่างกันด้วย ซึ่งแร่เวอร์มิคิวไลต์และแร่มอนต์มอริลโลไนต์มีความสามารถดูดซับไอออนบวกได้มากที่สุด รองลงมาคือ อิลไลต์และเคโอลิไนต์ตามลำดับ (ไพบูลย์, 2528; Brady, 1984) ส่วนอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ดินมีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนปานกลางถึงสูงต่างๆ ที่ดินมีการพัฒนาการมานานมาแล้วนั้น น่าจะเกิดจากอิทธิพลของโซเดียมไอออนที่สะสมอยู่เป็นปริมาณมากในดินเหล่านี้ (จุมพล, 2535; Sanchez, 1976)

2.2.6 ค่าอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส

ค่าอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบสในดินที่ทำการศึกษา อยู่ในระดับต่ำถึงสูง (ร้อยละ 19.9-91.4) ซึ่งส่วนใหญ่ดินที่ทำการศึกษามีค่าปานกลางถึงสูง และส่วนใหญ่ดินชั้นบนและดินชั้นล่างมีความแปรปรวนทำให้มีแนวโน้มไม่แน่นอน

ค่าอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบสในดินที่ทำการศึกษา ส่วนใหญ่ดินที่ทำการศึกษามีค่าปานกลางถึงสูง เป็นผลมาจากอิทธิพลของวัตถุต้นกำเนิดดินที่มีแคลไออนอยู่ในระบบดินสูง ซึ่งอาจมีเกลือเป็นองค์ประกอบอยู่ร่วมกัน ประกอบกับการมีแคลไออนเพิ่มเข้ามาในหน้าตัดดินจาก การกร่อนมาจากพื้นที่สูงกว่า หรืออาจสะสมแคลไออนได้โดยน้ำใต้ดินเป็นพาหะ (Buol *et al.*, 1989; Sanchez, 1976; Brady and Weil, 1999)

2.2.7 ค่าการนำไฟฟ้า

ดินที่ทำการศึกษา ส่วนใหญ่มีค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย ที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำมากกว่า 2 เดซิซิเมนส์ต่อเมตร ยกเว้นดินบริเวณที่ 5 , 9 และ 22 จากการศึกษพบว่าดินบนมีค่าอยู่ในพิสัย 1.8-98.1 เดซิซิเมนส์ต่อเมตร และดินล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 0.9-19.4 เดซิซิเมนส์ต่อเมตร ดินส่วนใหญ่มีค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดินที่สูงในดินชั้นบนและลดลงในดินชั้นล่าง แสดงว่า ปริมาณเกลือที่สะสมในดินบนมีอยู่มากกว่า อาจเป็นผลมาจากกระบวนการเคลื่อนย้ายเกลือจากน้ำใต้ดินเค็มที่เคลื่อนที่อยู่ในระดับตื้นขึ้นมาสะสมในบริเวณผิวหน้าดิน หรือเขตรากพืชในช่วงที่สภาพภูมิอากาศแห้งแล้งและมีอัตราการระเหยสูง (Sharma, 1980) นอกจากนี้ค่าการนำไฟฟ้าส่วนใหญ่มักจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณโซเดียมที่สกัดได้ด้วย

2.2.8 ค่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียม

ผลวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียม ของดินทั้ง 26 บริเวณ พบว่าบริเวณที่ 20 ในดินชั้นบนมีอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมสูงที่สุดที่ 42 ค่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของดินที่ทำการศึกษามีค่าสูงกว่า 13 และมีค่าอยู่ในพิสัย 0.2-42 อัตราส่วนการดูดซับโซเดียมจากการศึกษาในดินชั้นบนและดินชั้นล่างมีแนวโน้มที่ไม่แน่นอนตามความลึก

เนื่องจากอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของดินที่ศึกษาส่วนใหญ่มีค่าสูง แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลที่เด่นชัดของโซเดียมไออนในระบบดิน จากอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของดิน มีความสัมพันธ์กับสัดส่วนของประจุบวกชนิดต่างๆ ในระบบดินโดยเฉพาะโซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ดังนั้นการที่ดินส่วนใหญ่มีค่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมที่สูง แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลที่เด่นชัดของโซเดียมไออนในระบบดิน ซึ่งเป็นผลจากความเค็ม (ไพบูลย์, 2528; Buol *et al.*, 1989)

2.2.9 ค่าอัตราร้อยละโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้

ค่าอัตราร้อยละโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ มีความสอดคล้องกับค่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมในทุกๆ บริเวณที่ทำการศึกษา และดินที่ทำการศึกษาล้วนมีค่าอัตราร้อยละโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ โดยเฉลี่ยแล้วสูงเกินกว่าร้อยละ 15 และส่วนใหญ่ค่าวิเคราะห์ที่ได้ในดินชั้นบนและดินชั้นล่างมีความแปรปรวนทำให้มีแนวโน้มไม่แน่นอน

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ไอออนบวกที่มีอิทธิพลเด่นในดินส่วนใหญ่ คือ โซเดียมไอออน เมื่อพิจารณาจากค่าการนำไฟฟ้า ค่าอัตราร้อยละโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ และค่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของดินและค่าปฏิกิริยาดิน พบว่าดินที่ทำการศึกษาล้วนจัดอยู่ประเภทดินเค็ม-โซดิก (Brady and Weil, 1999)

จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าดินที่ทำการศึกษา พบว่าดินส่วนใหญ่มีค่าการนำไฟฟ้ามากกว่า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ค่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมมากกว่า 13 และค่าปฏิกิริยาดินต่ำกว่า 8.5 จากผลการศึกษา พบว่าส่วนใหญ่ดินชั้นบนมีความเค็มอยู่ในระดับเค็มจัด (> 16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร) ส่วนดินชั้นล่างพบที่มีความแปรปรวน โดยมีความเค็มตั้งแต่ระดับไม่เค็ม-ระดับเค็มจัด ซึ่งระดับความเค็มที่ต่างกันในแต่ละพื้นที่ มีความแตกต่างกันตามสภาพแวดล้อมเชิงพื้นที่ของแต่ละบริเวณที่ โดยความเค็มในระดับเค็มจัด พบในชุดดินร้อยเอ็ดที่เป็นดินเค็ม และชุดดินโคราชที่เป็นดินเค็ม ใช้ทำนาและเป็นนาไร่ที่ปล่อยให้เป็นที่รกร้างว่างเปล่า ในสัณฐานภูมิประเทศตะพักลุ่มน้ำต่ำ โดยเฉพาะบริเวณที่ 8 พบว่ามีค่าการนำไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 98.1 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และบริเวณที่ 5, 9 และ 22 ซึ่งจากการวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า พบว่ามีค่าน้อยกว่า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ทั้งดินชั้นบนและดินชั้นล่าง ซึ่งจัดว่าเป็นดินไม่เค็ม

เมื่อพิจารณาจากค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดินซึ่งสกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (ECe) อัตราส่วนการดูดซับโซเดียม (SAR) อัตราร้อยละของโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (ESP) และค่าปฏิกิริยาดิน (pH) ของดินที่ทำการศึกษาทั้ง 26 บริเวณ ตามเกณฑ์การจำแนกประเภทดินเค็มของกระทรวงเกษตร สหรัฐอเมริกา (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954) พบว่าดินบริเวณแอ่งสกลนคร ส่วนใหญ่มี ลักษณะที่เข้าเกณฑ์การเป็นดินเค็ม-โซดิก (saline-sodic soils) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงชั้นดินบน มีค่าการนำไฟฟ้า สูงเกินกว่า 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร อัตราการดูดซับโซเดียม

มากกว่า 13 มีร้อยละของโซเดียมที่แลกเปลี่ยน ได้สูงเกินกว่า 15 และค่าปฏิกิริยาอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่า 8.5 และมีแนวโน้มในดินชั้นล่าง ส่วนดินบริเวณที่ 5, 9 และ 22 เนื่องจากมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำกว่า 2 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ทั้งดินชั้นบนและดินชั้นล่าง จึงจำแนกเป็นดินที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากเกลือ

โดยทั่วไปดินที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชควรจะมีค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดินอยู่ในช่วงต่ำกว่า 2 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร เนื่องจากอิทธิพลของเกลือที่สะสมอยู่ในดินระดับนี้มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืชที่ปลูกน้อยมาก (ยงยุทธ, 2524) ดินส่วนใหญ่ที่ทำให้การทดลองมีค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดินที่สูงในดินชั้นบนและลดลงในดินชั้นล่าง เป็นผลมาจากการเคลื่อนย้ายเกลือจากน้ำใต้ดินเค็มที่อยู่ในระดับตื้นขึ้นมาสะสมในบริเวณผิวหน้าดินช่วงที่สภาพภูมิอากาศแห้งแล้ง และมีอัตราการคายระเหยที่สูง (Sharma, 1980) ส่วนผลการวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมและค่าอัตราร้อยละโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินที่ทำการศึกษ พบว่าส่วนใหญ่มีค่าเกินกว่า 13 และ 15 ตามลำดับ เนื่องจากค่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมสูงแสดงถึงอิทธิพลของโซเดียมไอออนที่เด่นชัดในระบบดิน (ไพบูลย์, 2528; Buol *et al.*, 1989) และจากแคตไอออนส่วนใหญ่ที่เป็นโซเดียมนี้เอง ถ้าพิจารณาจากค่าการนำไฟฟ้า ค่าอัตราร้อยละของโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้และค่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของดิน ก็พบว่าดินที่ศึกษาส่วนใหญ่จัดอยู่ในประเภทดินเค็ม-โซดิก

ด้วยเหตุที่อิทธิพลของเกลือในบริเวณที่เป็นดินเค็มโซดิก น่าจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อการปลูกพืชในระดับที่รุนแรง ทั้งนี้เนื่องจากใน ดินเค็มโซดิก นอกเหนือไปจากผลกระทบจากปริมาณเกลือที่สูง ซึ่งจะทำให้ความเป็นประโยชน์ ของน้ำในดินลดต่ำลง และเกิดสภาวะปฏิปักษ์ (antagonism) ของธาตุอาหารต่างๆ ในระบบดินแล้ว อิทธิพลของโซเดียมไอออนที่มีอยู่มาก อาจเกิดความเป็นพิษ ของธาตุโซเดียมเนื่องจากพืชจะ ดูดธาตุ นี้เข้าไปสะสมจะเป็นอันตรายต่อการเจริญเติบโตของพืชเอง ทำให้เกิดอาการไหม้หรือขอบใบแห้ง และตายไปในที่สุด นอกจากนี้โซเดียมที่มีอยู่มากนั้นจะส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพของดิน ในลักษณะ ที่จะทำให้ดินแน่นทึบ มีอัตราการซาดซึม น้ำลดลง โครงสร้างของดินเสีย และเกิดชั้นดานที่ผิวได้ง่าย ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการงอก การเจริญเติบโต และให้ผลผลิตของพืช (เล็ก, 2526 ; ไพบูลย์, 2528; กรมพัฒนาที่ดิน, 2531; Rimwanich and Suebsiri, 1984)

3.สภาพแวดล้อมการแพร่กระจายดินเค็มในแต่ละระดับความเค็ม

จากการศึกษาสภาพแวดล้อมการแพร่กระจายดินเค็มในแอ่งสกลนคร ได้แบ่งระดับความเค็มของดิน โดยพิจารณาจากค่าการนำไฟฟ้าได้เป็น 4 ระดับ ประกอบด้วย ระดับเค็มจัด ระดับเค็มมาก ระดับเค็มปานกลาง ระดับเค็มเล็กน้อย และระดับไม่เค็ม โดยนำผลของค่าการนำไฟฟ้า วิเคราะห์ร่วมกับสภาพแวดล้อมของการแพร่กระจายดินเค็มในพื้นที่ทำการศึกษา

3.1 สภาพแวดล้อมการแพร่กระจายดินเค็มในระดับเค็มจัด (ค่าการนำไฟฟ้า $> 16 \text{ dSm}^{-1}$)

พื้นที่ดินเค็มในระดับเค็มจัดส่วนใหญ่จะพบการเกลือมากกว่าร้อยละ 50 ของพื้นที่ โดยพบการเกลือสีขาว เป็นขุยขึ้นอยู่บนผิวดินลักษณะเป็นหย่อมๆ กระจายอยู่อย่างไม่สม่ำเสมอในพื้นที่เดียวกัน ในลักษณะสัณฐานภูมิประเทศที่เป็นตะพักลุ่มน้ำต่ำ (low terrace) มีสภาพพื้นที่ราบเรียบ ส่วนบนของตะพักลุ่มน้ำต่ำ (upper part of low terrace) และตะพักลุ่มน้ำกลาง middle terrace) การใช้ประโยชน์ที่ดินส่วนใหญ่เป็นพื้นที่รกร้างว่างเปล่า ให้เป็นทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ และนาข้าว พบพืชทนเค็มจำพวก หนามพุทธรักษา หญ้าขนตาช้าง สะแก บริเวณรอบๆ พื้นที่ ดังภาพที่ 6

จากการศึกษาพบว่าพื้นที่การแพร่กระจายดินเค็มในระดับเค็มจัด อยู่บนหมวดหินมหาสารคาม ซึ่งเป็นหินที่มีแร่เกลือเป็นองค์ประกอบเมื่อเกิดการผุพังสลายตัวก็จะละลายน้ำออกมา ทำให้เกลือถูกน้ำพัดเข้าสู่ร่องน้ำได้ดิน และถูกน้ำพัดไปสะสมในที่ลุ่มหรือที่ต่ำกว่า ไหลลงไปซึมออกตามเชิงเนิน ซึ่งพบในที่ราบลุ่มในสัณฐานภูมิประเทศที่เป็นตะพักลุ่มน้ำต่ำ ส่วนบนของตะพักลุ่มน้ำต่ำ และตะพักลุ่มน้ำกลาง โดยพบการเกลือขึ้นบนผิวดินในฤดูแล้งที่มีอัตราการระเหยที่สูง ในบริเวณที่มี ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1200-1600 มิลลิเมตรต่อปี ประกอบกับสิ่งก่อสร้าง คลองชลประทาน เส้นทางคมนาคม โดยเฉพาะบนทางหลวงหมายเลข 2 (ถนนมิตรภาพ) ที่มีอิทธิพลต่อทิศทางการไหลของน้ำได้ดินนาทำให้พบการแพร่กระจายดินเค็มในระดับเค็มจัดอยู่บริเวณริมถนนนี้อย่างมาก โดยเฉพาะบริเวณที่ 8 ที่เป็นจุดตัดระหว่างถนนกับเส้นทางรถไฟ พบว่ามีค่าการนำไฟฟ้าในดินชั้นบนสูงถึง 98.1 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ดังตารางที่ 8



บริเวณที่ 1 (UTM 280878 E, 1890680 N)



บริเวณที่ 3 (UTM 282145 E, 1895941 N)



บริเวณที่ 4 (UTM 282308 E, 1897228 N)



บริเวณที่ 7 (UTM 261332 E, 1965699 N)



บริเวณที่ 8 (UTM 263402 E, 1956425 N)



บริเวณที่ 11 (UTM 263915 E, 1932355 N)



บริเวณที่ 12 (UTM 263487 E, 1927717 N)



บริเวณที่ 13 (UTM 261631 E, 1923039 N)

ภาพที่ 6 สภาพแวดล้อมการแพร่กระจายดินเค็มในระดับเก็บจัด



บริเวณที่ 15 (UTM 269732 E, 1928461 N)



บริเวณที่ 18 (UTM 395218 E, 1907488 N)



บริเวณที่ 20 (UTM 369801 E, 1921548 N)



บริเวณที่ 23 (UTM 349531 E, 1928423 N)



บริเวณที่ 24 (UTM 320701 E, 1922345)



บริเวณที่ 26 (UTM 299175 E, 1900400 N)

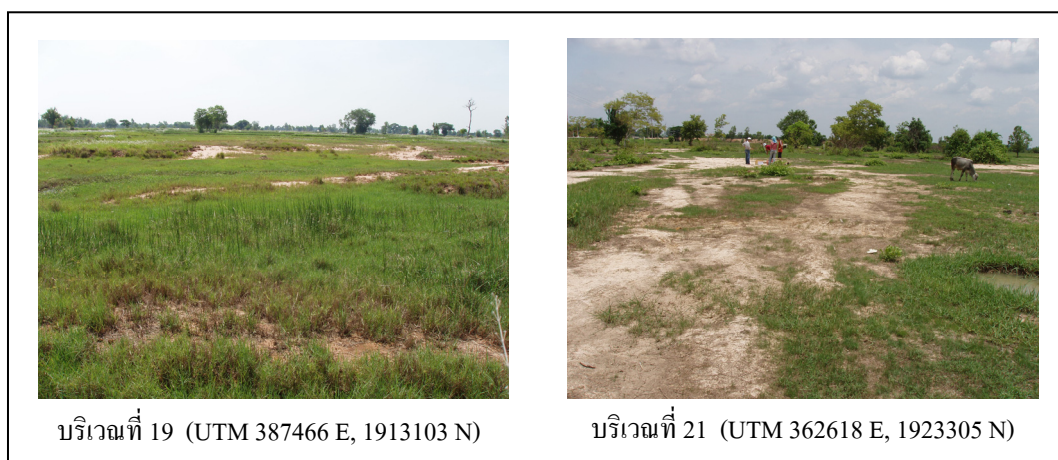
ภาพที่ 6 (ต่อ)

ตารางที่ 8 สภาพแวดล้อมที่ส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายดินเค็มในระดับเค็มจัด

Location	EC (dSm ⁻¹) ดินบน	Environmental condition			
		Rock formation	Landform	Annual rainfall	Infrastructure
1	44.15	Maharakham	Upland-lowland transition	1200	ถนนหมายเลข 2
3	25.90	Maharakham	Low terrace	1200	ถนนหมายเลข 2
4	44.90	Maharakham	Low terrace	1200	ถนนหมายเลข 2
7	19.86	Maharakham	Low terrace	1600	ถนนหมายเลข 2
8	98.10	Maharakham	Low terrace	1600	ทางรถไฟ
11	54.00	Maharakham	Low terrace	1400	ถนนหมายเลข 2
12	47.55	Maharakham	Low terrace	1400	ถนนหมายเลข 2
13	62.85	Maharakham	Middle terrace	1400	สี่แยก
15	17.71	Maharakham	Lower part of middle terrace	1400	ถนนหมายเลข 2
18	19.51	Maharakham	Low terrace	1600	ถนน 22
20	48.85	Maharakham	Upper part of low terrace	1600	ถนน 22
23	44.10	Maharakham	Low terrace	1600	ถนน 22
24	27.15	Maharakham	Low terrace	1400	ถนน 22
26	29.20	Maharakham	Upper part of low terrace	1400	ถนน 2350

3.2 สภาพแวดล้อมการแพร่กระจายดินเค็มในระดับเค็มมาก (ค่าการนำไฟฟ้า 8-16 dSm⁻¹)

พื้นที่การแพร่กระจายดินเค็มในระดับเค็มมาก พบคราบเกลือสีขาวร้อยละ 10-50 ของพื้นที่ เป็นขุยขึ้นอยู่บนผิวดินลักษณะเป็นหย่อมๆ กระจายอยู่อย่างไม่สม่ำเสมอในพื้นที่เดียวกัน ในบริเวณที่ 19 พบในส่วนบนของตะพักลุ่มน้ำต่ำ (upper part of low terrace) เป็นพื้นที่นาข้าว ในบริเวณที่มีปริมาณ น้ำฝนเฉลี่ย 1600 มิลลิเมตรต่อปี สภาพโดยรอบมีคลองชลประทาน ไหลผ่าน และในบริเวณที่ 21 พบในลักษณะฐานภูมิประเทศที่เป็นตะพักลุ่มน้ำต่ำ (low terrace) มีสภาพพื้นที่ราบเรียบ มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1400 มิลลิเมตรต่อปี เป็นพื้นที่กว้างว่างเปล่า ปล่อยให้แห้งเหี่ยว เลี้ยงสัตว์ ดังภาพที่ 7 ประกอบกับถนนหลวงหมายเลข 22 ที่มีอิทธิพลต่อทิศทางการไหลของน้ำ ทำให้พบการแพร่กระจายดินเค็มในบริเวณนี้รุนแรงมากขึ้น



ภาพที่ 7 สภาพแวดล้อมการแพร่กระจายดินเค็มในระดับเค็มมาก

จากการศึกษาพบว่าพื้นที่การแพร่กระจายดินเค็มในระดับเค็มมาก อยู่บนหมวดหินมหาสารคาม ซึ่งเป็นหินที่มีแร่เกลือเป็นองค์ประกอบเกิดการผุพังสลายตัวก็จะละลายน้ำออกมาทำให้เกลือถูกน้ำพัดเข้าสู่วงจนน้ำใต้ดิน และถูกน้ำพัดไปสะสมในที่ลุ่ม หรือที่ต่ำกว่า ไหลลงไปซึมออกตามเชิงเนิน ซึ่งพบในที่ราบลุ่มในสัณฐานภูมิประเทศที่เป็นตะพักลุ่มน้ำต่ำ ส่วนบนของตะพักลุ่มน้ำต่ำ โดยพบการเกลือขึ้นบนผิวดินในฤดูแล้งที่มีอัตราการระเหยที่สูง ในบริเวณที่มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1400-1600 มิลลิเมตรต่อปี ประกอบกับ สิ่งก่อสร้าง คลองชลประทาน เส้นทางคมนาคม โดยเฉพาะบนทางหลวงหมายเลข 22 ที่มีอิทธิพลต่อทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินทำให้พบการแพร่กระจาย ดินเค็มในระดับเค็มมากบริเวณ เส้นทางนี้อย่างมาก ดังตารางที่ 9

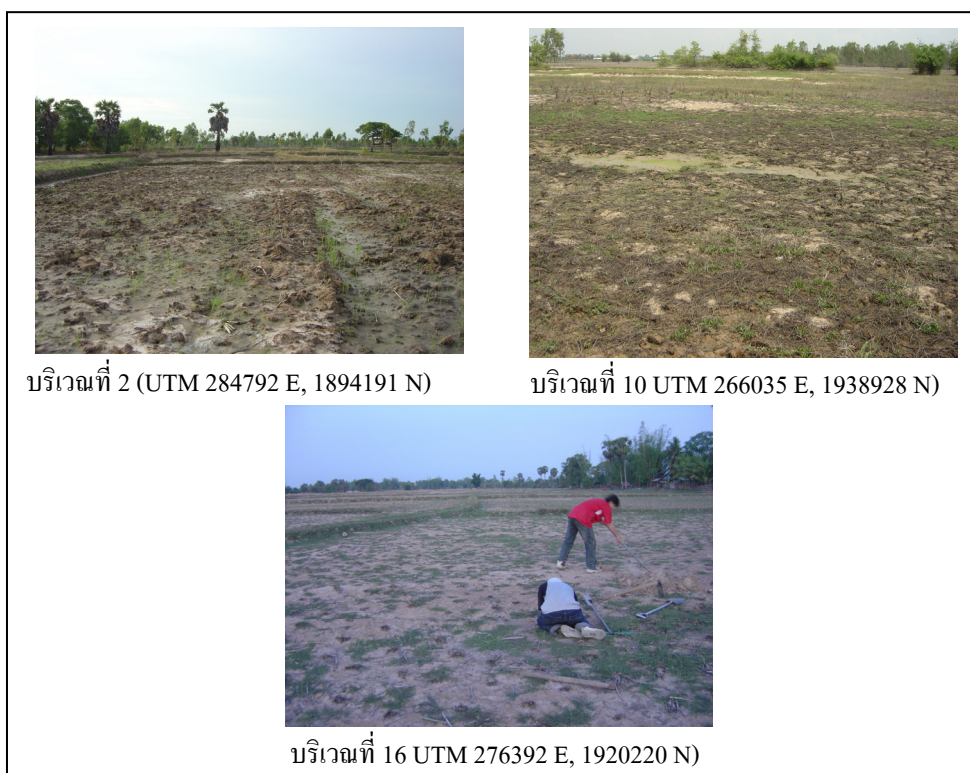
ตารางที่ 9 สภาพแวดล้อมที่ส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายดินเค็มในระดับเค็มมาก

Location	EC (dSm ⁻¹) ดินบน	Environmental condition			
		Rock formation	Landform	Annual rainfall	Infrastructure
19	9.78	Mahasarakham	Upper part of low terrace	1600	คลองชลประทาน
21	12.14	Mahasarakham	Low terrace	1400	ถนนหมายเลข 22

3.3 สภาพแวดล้อมการแพร่กระจายดินเค็มในระดับเค็มปานกลาง (ค่าการนำไฟฟ้า 4-8 dSm⁻¹)

พื้นที่การแพร่กระจายดินเค็มในระดับเค็มปานกลางจะพบการเกลือสีขาว เป็นขุย ขึ้นอยู่บนผิวดินลักษณะเป็นหย่อมๆ กระจายอยู่อย่างไม่สม่ำเสมอในพื้นที่เดียวกันในสัณฐานภูมิประเทศที่เป็นตะพักลุ่มน้ำต่ำ มีสภาพพื้นที่ราบเรียบ ในบริเวณที่ 2 มีปริมาณน้ำฝน เฉลี่ย 1200

มิลลิเมตรต่อปีซึ่งมีอัตราการระเหยที่สูง เป็นพื้นที่นาข้าว ประกอบกับถนนหลวง หมายเลข 2 ที่มีอิทธิพลต่อทิศทางการไหลของน้ำ บริเวณที่ 10 และ 16 มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1400 มิลลิเมตรต่อปี เป็นพื้นที่ทำนา และนาร้าง ดังภาพที่ 8 ถูกปัจจัยของถนนหลวงหมายเลข 2022 มีอิทธิพลต่อทิศทางการไหลของน้ำ ทำให้พบการแพร่กระจาย ดินเค็มในบริเวณดังกล่าว



ภาพที่ 8 สภาพแวดล้อมการแพร่กระจายดินเค็มในระดับเค็มปานกลาง

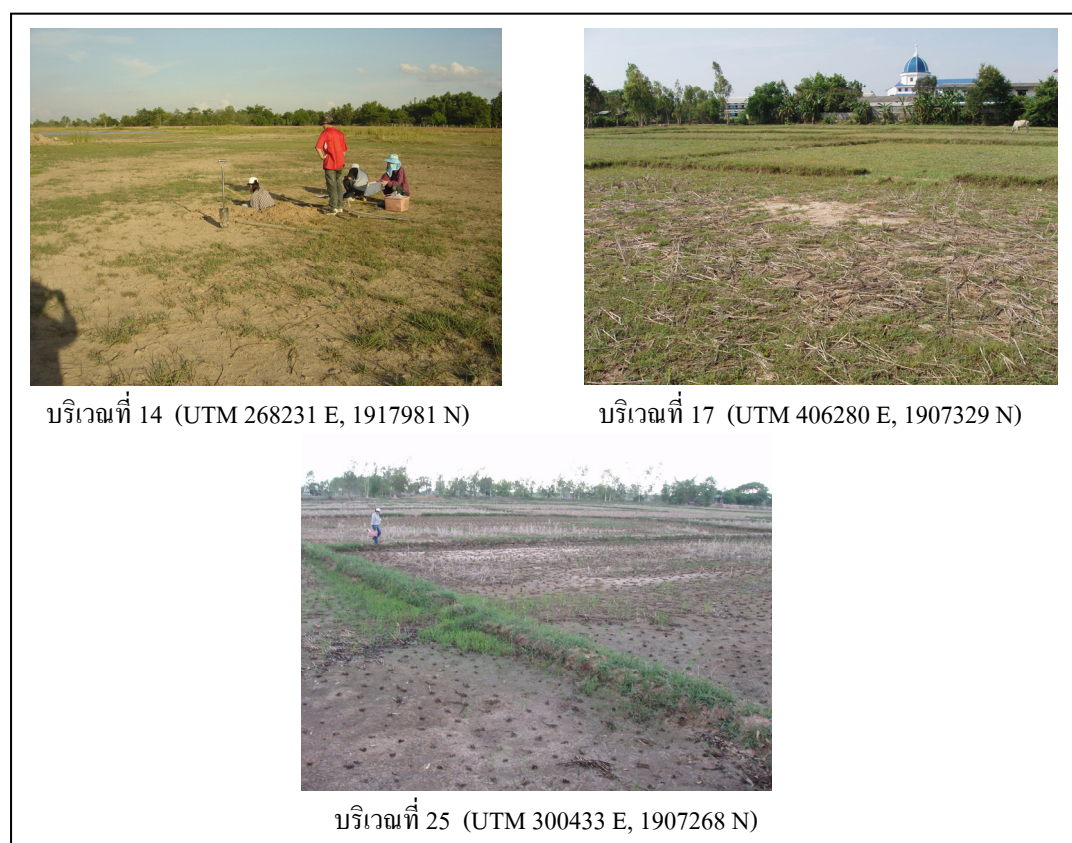
จากการศึกษาพบว่าพื้นที่การแพร่กระจายดินเค็มในระดับเค็มปานกลาง อยู่บนหมวดหิน มหาสารคาม ซึ่งเป็นหินแร่ที่มีเกลือเป็นองค์ประกอบเกิดการผุพังสลายตัวก็จะละลายน้ำออกมาทำให้เกลือถูกน้ำพัดเข้าสู่จนน้ำใต้ดิน และถูกน้ำพัดไปสะสมในที่ลุ่ม หรือที่ต่ำกว่า ไหลลงไปซึมออกตามเชิงเนิน ซึ่งพบในที่ราบลุ่มในฐานภูมิประเทศที่เป็นตะพักลุ่มน้ำต่ำ (low terrace) ส่วนบนของตะพักลุ่มน้ำขึ้นต่ำ (upper part of low terrace) โดยพบคราบเกลือขึ้นบนผิวดิน ในฤดูแล้งที่มีอัตราการระเหยที่สูง ในบริเวณที่มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1200-1400 มิลลิเมตรต่อปี ประกอบกับสิ่งก่อสร้าง คลองชลประทาน เส้นทางคมนาคมโดยเฉพาะบนทางหลวงหมายเลข 2 และ 2022 ดังตารางที่ 10 ที่มีอิทธิพลต่อทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินทำให้เกิดการแพร่กระจายดินเค็มในพื้นที่

ตารางที่ 10 สภาพแวดล้อมที่ส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายดินเค็มในระดับลุ่มปานกลาง

Location	EC (dSm ⁻¹) ดินบน	Environmental condition			
		Rock formation	Landform	Annual rainfall	Infrastructure
2	4.68	Mahasarakham	Low terrace	1200	ถนนหมายเลข 2
10	7.44	Mahasarakham	Low terrace	1400	ถนนหมายเลข 2022
16	5.8	Mahasarakham	Low terrace	1400	คลองชลประทาน

3.4 สภาพแวดล้อมการแพร่กระจายดินเค็มในระดับลุ่มน้อย (ค่าการนำไฟฟ้า 2-4 dSm⁻¹)

พื้นที่การแพร่กระจายดินเค็มในระดับน้อยพบคราบเกลือสีขาว เป็นขุยขึ้นอยู่บนผิวดินลักษณะเป็นหย่อมๆ กระจายอยู่อย่างไม่สม่ำเสมอในพื้นที่เดียวกัน ส่วนใหญ่พบในลักษณะตื้นฐานภูมิประเทศที่เป็นตะพักกลุ่มน้ำต่ำ มีสภาพพื้นที่ราบเรียบ เป็นพื้นที่นาข้าว มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1400-1600 มิลลิเมตรต่อปี ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 สภาพแวดล้อมการแพร่กระจายดินเค็มในระดับลุ่มน้อย

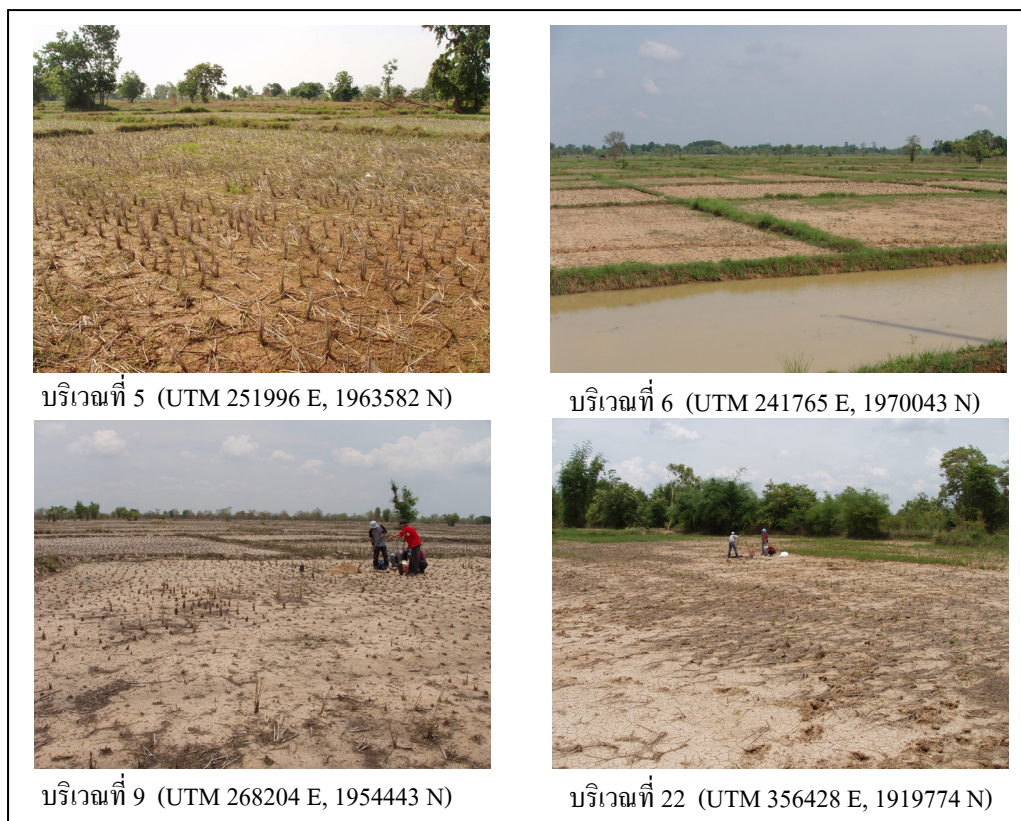
จากการศึกษาพบว่าพื้นที่การแพร่กระจายดินเค็มในระดับเล็กน้อย อยู่บนหมวดหินมหาสารคาม ซึ่งเป็นหินที่มีแร่เกลือเป็นองค์ประกอบเกิดการผุพังสลายตัวก็จะละลายน้ำออกมาทำให้เกิดเกลือถูกน้ำพัดเข้าสู่ช่วงจนน้ำได้ดิน และถูกน้ำพัดไปสะสมในที่ลุ่ม หรือที่ต่ำกว่า ไหลลงไปซึมออกตามเชิงเนิน ซึ่งพบในที่ราบลุ่มในสัณฐานภูมิประเทศที่เป็นตะพักลุ่มน้ำต่ำ โดยพบคราบเกลือขึ้นบนผิวดินในฤดูแล้งที่มีอัตราการระเหยที่สูง ในบริเวณที่มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1400-1600 มิลลิเมตรต่อปี ประกอบกับสิ่งก่อสร้าง คลองชลประทาน ถนนหลวงหมายเลข 2350 และ ถนนภายในหมู่บ้าน ที่มีอิทธิพลต่อทิศทางการไหลของน้ำได้ดินทำให้พบการแพร่กระจายดินเค็มในระดับเล็กน้อย ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 สภาพแวดล้อมที่ส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายดินเค็มในระดับเล็กน้อย

Location	EC (dSm ⁻¹) ดินบน	Environmental condition			
		Rock formation	Landform	Annual rainfall	Infrastructure
14	3.6	Mahasarakham	Depression on low terrace	1400	ถนนหมู่บ้าน
17	2.31	Mahasarakham	Low terrace	1600	คลองชลประทาน
25	2.53	Mahasarakham	Low terrace	1400	ถนนหมายเลข 2350

3.5 สภาพแวดล้อมการแพร่กระจายดินไม่เค็ม (ค่าการนำไฟฟ้า <2 dSm⁻¹)

พื้นที่การแพร่กระจายดินไม่เค็ม พบคราบเกลือเล็กน้อย แม้บางจุดไม่พบคราบเกลือ แต่สังเกตพบจากการตายของพืชเป็นหย่อมๆ ของพื้นที่ปลูก และบางพื้นที่จะพบพืชที่ชอบเกลือ เช่น หนามพุงคอก หญ้าขนตาช้าง บริเวณรอบๆ พื้นที่ส่วนใหญ่พบในลักษณะสัณฐานภูมิประเทศที่เป็นตะพักลุ่มน้ำต่ำ มีสภาพพื้นที่ราบเรียบ และส่วนบนของตะพักลุ่มน้ำต่ำ บริเวณที่ 5 และ 9 มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1600 มิลลิเมตรต่อปี เป็นพื้นที่นาข้าว และ บนถนนหลวงหมายเลข 211 และ 2022 บริเวณที่ 22 พบริมถนนหมู่บ้านผ้าขาว ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 สภาพแวดล้อมของดินที่ระดับไม่เต็ม

จากการศึกษาพบว่าพื้นที่ที่ไม่ได้รับอิทธิพลของการแพร่กระจายดินเต็มอยู่บนหมวดหินมหาสารคาม ซึ่งเป็นหินที่มีแร่เกลือเป็นองค์ประกอบ เช่นเดียวกับดินที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือ ในบริเวณศึกษาอื่น แต่ บริเวณที่ 5, 6, 9 และ 22 มีอิทธิพลของน้ำฝนจะเข้ามามีบทบาทมากในบริเวณ ที่มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยประมาณ 1600 มิลลิเมตรต่อปี ทำให้มีการชะละลายเกลือออกไปรุนแรงกว่า ทำให้ดินไม่เต็ม ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 สภาพแวดล้อมของดินไม่เต็ม

Location	EC (dSm ⁻¹) ดินบน	Environmental condition			
		Rock formation	Landform	Annual rainfall	Infrastructure
5	0.38	Maharakham	Upper-low terrace	1600	ถนนหมายเลข 211
6	1.8	Maharakham	Low terrace	1600	คลองชลประทาน
9	0.51	Maharakham	Low terrace	1600	ถนนหมายเลข 2022
22	1.36	Maharakham	Low terrace	1400	ถนนหมู่บ้าน

การแพร่กระจายดินเค็มในระดับเค็มจัด (ค่าการนำไฟฟ้า $> 16 \text{ dSm}^{-1}$) ไปจนถึงระดับไม่เค็ม (ค่าการนำไฟฟ้า $< 2 \text{ dSm}^{-1}$) พบว่ามีสภาพแวดล้อมการแพร่กระจายดินเค็ม ที่มีลักษณะที่คล้ายกันโดยส่วนใหญ่พบว่า โดยพบการเกลือสีขาว เป็นขุยขึ้นอยู่บนผิวดินลักษณะเป็นหย่อมๆ กระจายอยู่อย่างไม่สม่ำเสมอในพื้นที่เดียวกัน แม้บางจุดไม่พบการเกลือแต่สังเกตพบจากการตายของพืชเป็นหย่อมๆ ของพื้นที่ปลูก และบางพื้นที่จะพบพืชที่ชอบเกลือ เช่น หนามพุดคอ หนุ่ยขนตาช้าง บริเวณรอบๆ พื้นที่

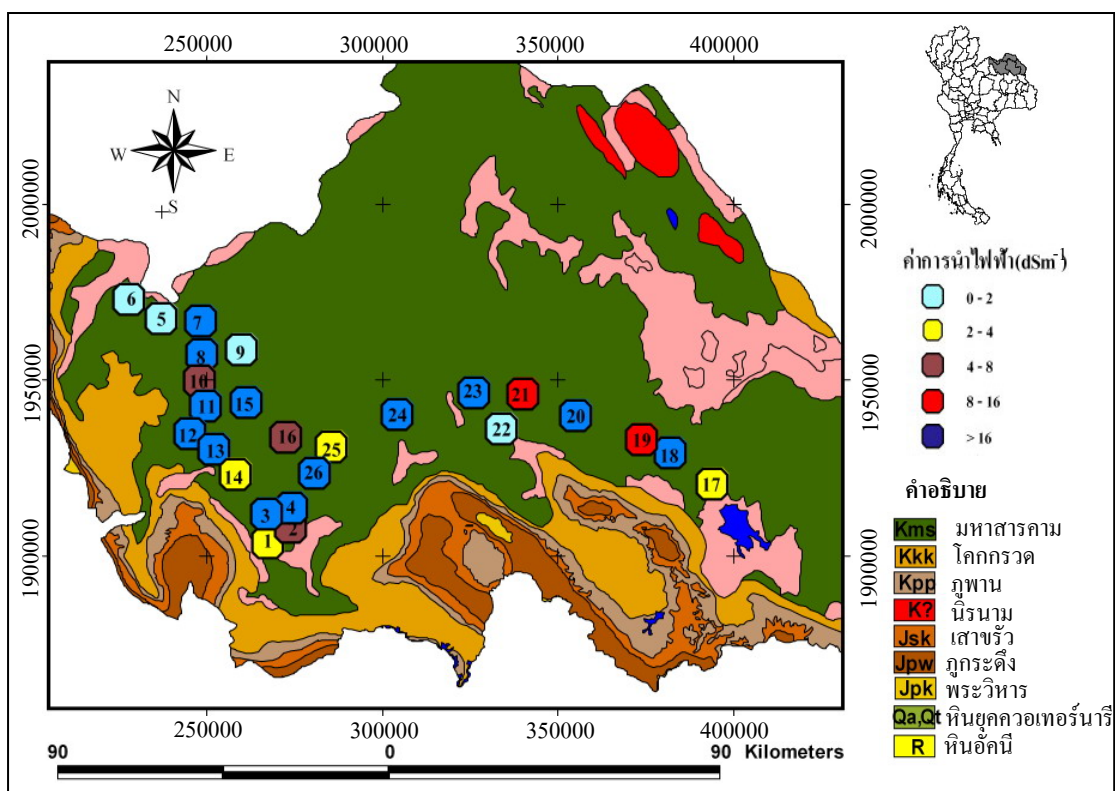
การแพร่กระจายดินเค็มในระดับเค็มจัด จนถึงระดับไม่เค็ม อยู่บนหมวดหินมหาสารคาม ซึ่งเป็นหินแร่ที่มีเกลือเป็นองค์ประกอบเกิดการผุพังสลายตัว ก็จะละลายน้ำออกมาทำให้เกลือถูกน้ำพัดเข้าสู่ช่วงจนน้ำใต้ดิน และถูกน้ำพัดไปสะสมในที่ลุ่ม หรือที่ต่ำกว่า ไหลลงไปซึมออกตามเชิงเนินซึ่งพบในที่ราบลุ่ม หรือใกล้แหล่งน้ำ พื้นที่ส่วนใหญ่พบในลักษณะฐานภูมิประเทศที่เป็นตะพักลุ่มน้ำต่ำ ส่วนบนของตะพักลุ่มน้ำต่ำ และตะพักลุ่มน้ำกลาง การใช้ประโยชน์ที่ดินส่วนใหญ่เป็นพื้นที่รกร้างว่างเปล่า ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ และนาข้าว โดยพบการเกลือขึ้นบนผิวดินในฤดูแล้งที่มีอัตราการระเหยที่สูง ในบริเวณที่มี ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1200-1600 มิลลิเมตรต่อปี ประกอบกับสิ่งก่อสร้าง คลองชลประทาน การก่อสร้างโดยเฉพาะบนทางหลวงหมายเลข 2 (ถนนมิตรภาพ) ที่มีอิทธิพลต่อทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน ทำให้พบการแพร่กระจายดินเค็ม ในระดับเค็มจัดอยู่บริเวณริมถนนนี้อย่างมาก และในบริเวณที่มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1600 มิลลิเมตร จะพบว่าปริมาณน้ำฝนมีผลให้ระดับความรุนแรงของดินเค็มน้อยลงโดยพื้นที่การแพร่กระจายดินเค็มที่อยู่ริมถนนสายรองหรือถนนภายในหมู่บ้าน ซึ่งพบว่ามีความรุนแรงน้อยกว่าโครงสร้างของ ถนนหลวงหมายเลข 2 ที่เป็นถนนสายหลัก

4. อิทธิพลของสภาพแวดล้อมในการแพร่กระจายดินเค็มในแอ่งสกลนคร

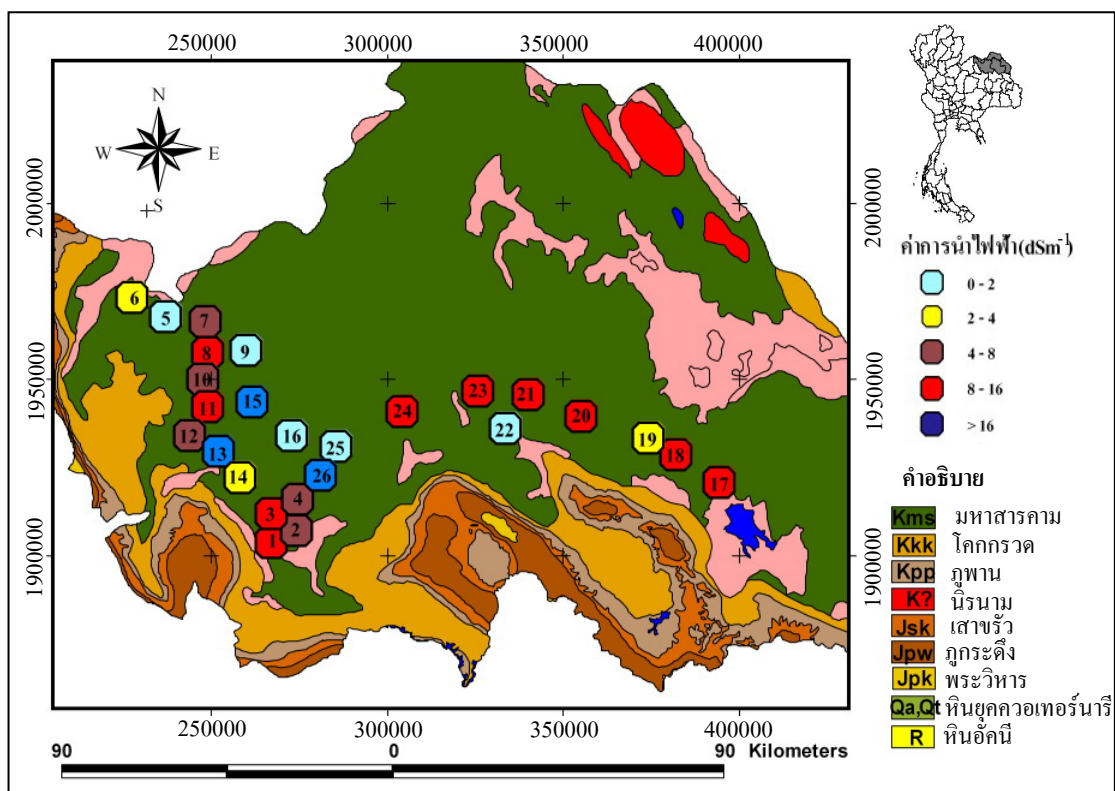
4.1 ลักษณะทางธรณีวิทยาต่อการแพร่กระจายดินเค็มในแอ่งสกลนคร

ระดับความรุนแรง ของดินเค็มพิจารณาจากค่าการนำไฟฟ้าของดินพิจารณาร่วมกับแผนที่ลักษณะทางธรณี พบว่าทิศทางการแพร่กระจายดินเค็มเป็นลักษณะเป็นหย่อมๆ และมีความต่อเนื่องเป็นแนว โดยมีทิศทางตามแนวของขอบแอ่งทางตะวันตกและตอนใต้ ซึ่งจากการศึกษาค่าการนำไฟฟ้าของดินเค็มทั้ง 26 บริเวณ พบว่าส่วนใหญ่เป็นดินเค็มโซดิก ยกเว้นบริเวณที่ 5, 9 และ 22 ที่จัดว่าไม่เค็ม โดยเฉพาะดินทั้ง 23 บริเวณที่จัดว่าเป็นดินเค็มพบในทิศตะวันตกของแอ่ง บริเวณที่ 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15 และ 16 ซึ่งดินชั้นบนมีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในพิสัย 3.58-98.10 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ในดินชั้นล่างอยู่ในพิสัย 0.90-44.15 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และทางด้านทิศใต้ของแอ่งบริเวณที่ 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25 และ 26 ในดินชั้นบนมีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในพิสัย 2.31-29.2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ในดินชั้นล่างอยู่ในพิสัย 1.48-19.47 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ซึ่งจัดอยู่ในระดับเค็มน้อยถึงระดับเค็มจัด โดยเฉพาะบริเวณที่ 1, 3, 4, 12 และ 15 พบว่าเป็นดินเค็มโซดิก ซึ่งอยู่ทางด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ของแอ่ง พบว่าที่มีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในระดับที่ดินเค็มจัด (>16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร) ทั้งดินชั้นบนและดินชั้นล่าง ดังภาพที่ 11 และภาพที่ 12

ทิศทางการแพร่กระจายของดินเค็มพบตามแนวของขอบแอ่งทางด้านตะวันตกและตอนใต้ ดินเค็มที่พบอยู่ในหมวดหินมหาสารคาม จะเห็นได้ชัดว่ามีลักษณะทิศทางแนวทางทอดตัวเป็นแนว ตามแนวการคดโค้งของหินโลกกรวด บริเวณขอบแอ่งหรือขอบโครงสร้างโค้งงอภูเขา ซึ่งทอดตัวอยู่ทางตอนล่างของพื้นที่แอ่งสกลนคร พบว่าบริเวณที่ชั้นเกลือหินปุ่ดขึ้นระดับดิน มักจะมีการกระจายตัวของดินเค็ม โดยที่ความเค็มของน้ำใต้ดินมีความสัมพันธ์อยู่กับชั้นเกลือหินที่แทรกตัวอยู่ในชั้นหินตะกอนของหมวดหินมหาสารคาม และความหนาของหมวดหินภูทอกและตะกอนที่



ภาพที่ 11 ระดับค่าการนำไฟฟ้าในดินชั้นบนกับลักษณะทางธรณีวิทยาของแอ่งสกลนคร



ภาพที่ 12 ระดับค่าการนำไฟฟ้าในดินชั้นล่างกับลักษณะทางธรณีวิทยาของแอ่งสกลนคร

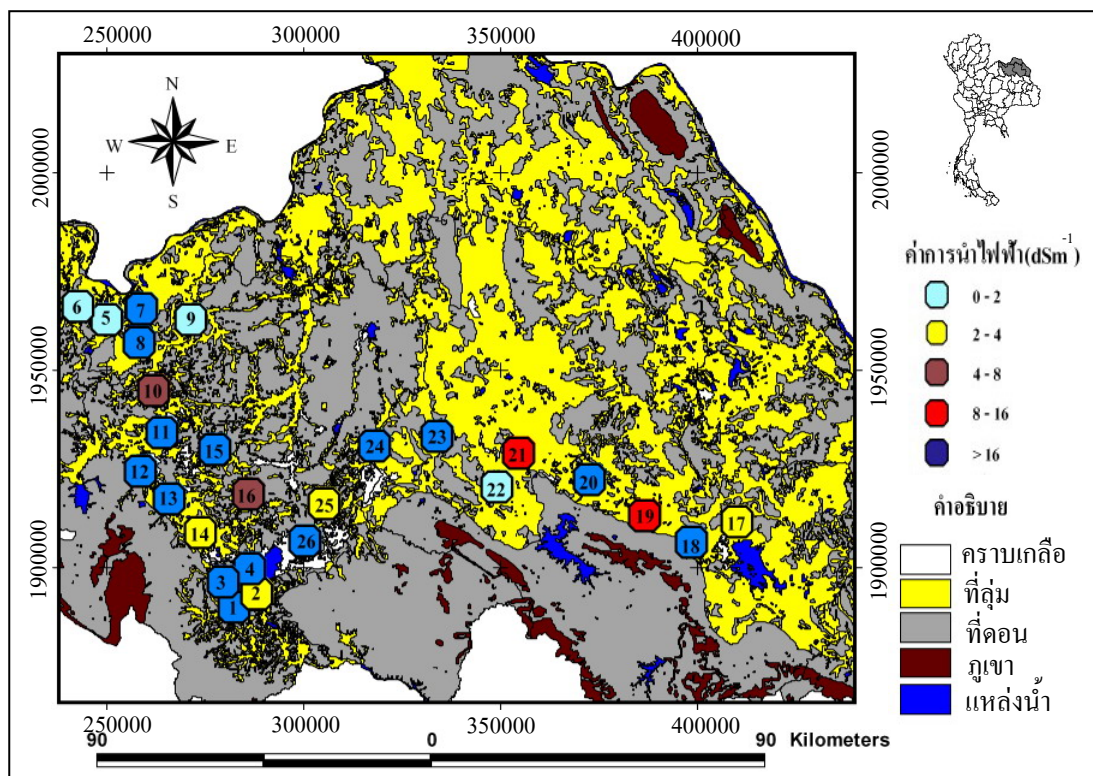
ถูกปิดทับอยู่ตอนบน ซึ่งโดยทั่วไปจะบางในบริเวณขอบแอ่ง และมีความหนาเพิ่มขึ้นมากขึ้นเมื่อเข้าสู่กลางแอ่ง โดยปกติชั้นเกลือเหล่านี้จะอยู่ในระดับลึกจากผิวดินมาก แต่ก็มีโอกาสที่จะพบในระดับตื้นได้หากมีการคดโค้งแบบประทุนคว่ำหรือการเกิดโดมเกลือ (นเรศและคณะ, 2531) โครงสร้างโดมเกลือจะทำให้แหล่งเกลือเคลื่อนขึ้นมาอยู่ใกล้ผิวดิน และถูกน้ำใต้ดินพาเกลือขึ้นมาสู่ผิวดิน ก่อให้เกิดดินเค็มได้ง่ายและรวดเร็วกว่าปกติ ทำให้พบการแพร่กระจายของดินเค็มได้มาก

จากการศึกษาลักษณะทางธรณีวิทยาของแอ่งสกลนคร พบว่าบริเวณกลางแอ่งแสดงลักษณะโครงสร้างพื้นผิวแบบวงแหวน (annular patterns) ขนาดใหญ่ ขณะที่ขอบแอ่งมีรายละเอียดโครงสร้างโค้งงอมากขึ้น แสดงแนวโครงสร้างในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ – ตะวันออกเฉียงใต้ สัมพันธ์กับโครงสร้างโค้งงอหลักเทือกเขาภูพาน (กรมทรัพยากรธรณี, 2547) แนวโครงสร้างบริเวณขอบแอ่ง ได้แก่ เทือกเขาภูพานโดยข้อมูลหลุมเจาะสำรวจแร่โพแทช หลุมเจาะสำรวจธรณีวิทยาและน้ำบาดาล พบว่าส่วนใหญ่โครงสร้างและการลำดับหน่วยหินของหมวดหินมหาสารคามมีการปูดสูงขึ้นมาอยู่ระดับตื้นตามโครงสร้างโค้งงอภูพาน ทำให้ชั้นเกลือหินยกตัวขึ้นสูงตามขอบโครงสร้างดังกล่าว โดยที่บริเวณขอบแอ่งหรือขอบโครงสร้างโค้งงอภูพาน ชั้นหินปูดขึ้นอยู่ในระดับตื้น แล้วตกลงระดับลึกบริเวณกลางแอ่ง ไปจนถึงแม่น้ำสงคราม (ลัดดา และคณะ, 2546) ธรณีวิทยาโครงสร้างของแอ่งสกลนคร ชั้นหินมีการเอียงเทจากขอบแอ่งบริเวณโครงสร้างโค้งงอภูพาน เข้าสู่กลางแอ่งในทิศทางตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้ขอบแอ่งด้านเทือกเขาภูพานมีชั้นหินและชั้นเกลือหินอยู่ในระดับตื้น และบริเวณกลางแอ่งมีชั้นหินปิดทับชั้นบนหมวดหินมหาสารคามค่อนข้างหนา ทำให้ชั้นเกลือหินปรากฏที่ระดับลึกและสม่ำเสมอโดยรวมแล้วบริเวณกลางแอ่งโครงสร้างการลำดับชั้นหินค่อนข้างราบเรียบปกติ และชั้นเกลือหินอยู่ระดับลึกกว่าบริเวณขอบแอ่ง

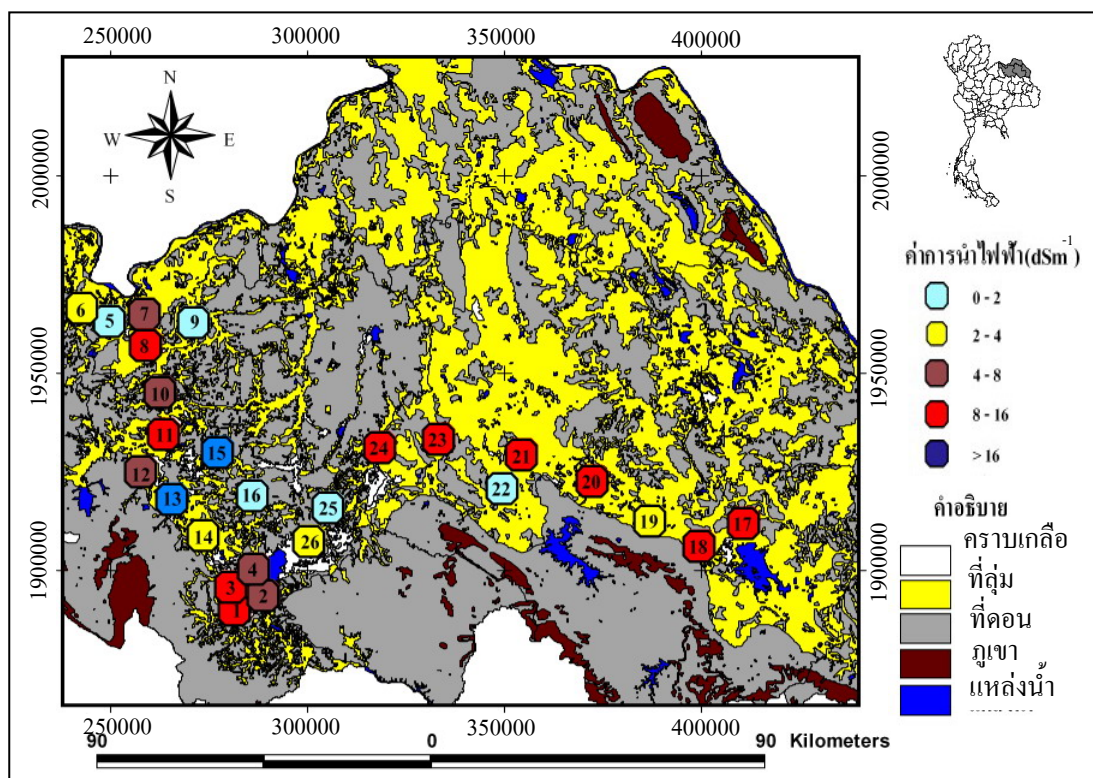
4.2 สภาพภูมิประเทศต่อการแพร่กระจายดินเค็มในแอ่งสกลนคร

ระดับความรุนแรง ของดินเค็มพิจารณาจากค่าการนำไฟฟ้าของดินร่วมกับแผนที่สภาพภูมิประเทศ พบว่าส่วนใหญ่เป็นดินเค็มโซดิก ยกเว้นบริเวณที่ 5, 9 และ 22 ที่ดินไม่เค็ม และทุกบริเวณที่จัดว่าเป็นดินเค็ม พบว่าพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือส่วนใหญ่พบอยู่ในส่วนต่ำของระบบ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นที่ลุ่มในสัณฐานภูมิประเทศ ตะพักลุ่มน้ำต่ำ และเป็นจุดเปลี่ยนแปลงของตะพักลุ่มน้ำต่ำและตะพักลุ่มน้ำกลาง มีความลาดชันค่าร้อยละความลาดชันของพื้นที่อยู่ในพิสัย 1-3 และมีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 158-221 เมตร โดยเฉพาะส่วนต่ำของพื้นที่บริเวณที่มีการแพร่กระจายของดินเค็มอย่างกว้างขวางโดยเฉพาะในบริเวณที่ 1, 2, 3 และ 4 ซึ่งอยู่ทางทิศใต้ของแอ่ง ในอำเภอกุมภวาปี มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 166-175 เมตร ใกล้หนองหานกุมภวาปี พบว่าทั้ง 4 จุดเป็นดินเค็มที่ดินชั้นบนมีค่าการนำไฟฟ้าในพิสัย 4.68-44.90 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีความรุนแรงอยู่ในระดับเค็มปานกลางถึงเค็มจัด และดินชั้นล่างมีการค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในพิสัย 5.84-12.84 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ซึ่งอยู่ในระดับความเค็มปานกลางถึงเค็มมาก อยู่ในตะพักลุ่มน้ำต่ำและจุดเปลี่ยนแปลงระหว่างตะพักลุ่มน้ำต่ำกับตะพักลุ่มน้ำกลาง ดังภาพที่ 13 และภาพที่ 14

สภาพการแพร่กระจายของดินเค็มสอดคล้องกับลักษณะสภาพพื้นที่แอ่งสกลนคร ซึ่งบริเวณขอบของแอ่งสกลนครทางด้านทิศตะวันตกและทางทิศใต้เป็นพื้นที่สูงและค่อยๆ เทลาดลงมาทางด้านทิศตะวันออก โดยโครงสร้างทางสัณฐานภูมิประเทศจะควบคุมการระบายน้ำทั้งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน การแพร่กระจายของดินเค็มพบมากในเขตเชิงเนินที่น้ำใต้ดินระดับตื้นเค็ม ซึมซาบออกมา (seepage) โดยบริเวณที่ราบลุ่มตะพักลุ่มน้ำต่ำ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีโอกาสจะเกิดการสะสมเกลือมากเนื่องจากน้ำที่มีเกลือละลายอยู่ ปัญหาดินเค็มส่วนใหญ่มักจะอยู่ในแอ่งที่ลุ่มต่ำหรือตามเชิงเนิน ในสัณฐานภูมิประเทศที่เป็นลุ่มน้ำระดับต่ำจนถึงระดับกลาง (จุฑามาศ, 2546) จากการศึกษา พบว่า การแพร่กระจายดินเค็มในแอ่งสกลนครมีแนวโน้ม และทิศทางมีโอกาสที่ดินมีปัญหาการแพร่กระจายของดินเค็มที่เพิ่มขึ้นในพื้นที่ตะพักลุ่มน้ำต่ำ โดยเฉพาะทางด้านขอบแอ่งทางด้านทิศตะวันตกและทางทิศใต้ของแอ่ง



ภาพที่ 13 ระดับค่าการนำไฟฟ้าในดินชั้นบนกับสภาพภูมิประเทศของแอ่งสกลนคร



ภาพที่ 14 ระดับค่าการนำไฟฟ้าในดินชั้นล่างกับสภาพภูมิประเทศของแอ่งสกลนคร

4.3 ปริมาณและการกระจายของฝนเฉลี่ยรายปี ต่อการแพร่กระจายดินเค็มในแอ่งสกลนคร

ระดับความรุนแรงของดินนาเค็มจากค่าการนำไฟฟ้าของดิน พิจารณาร่วมกับแผนที่ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี พบว่าการแพร่กระจายดินเค็มส่วนใหญ่อยู่ทางด้านทิศตะวันตก และทางทิศใต้ของแอ่ง ซึ่งมีการแพร่กระจายของดินเค็มอยู่กว้างขวางกว่าบริเวณอื่นของแอ่ง จากผลค่าการนำไฟฟ้า พบว่าพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานี บริเวณที่ 10, 11, 12, 13, 14 และ 15 อำเภอกุมภวาปี บริเวณที่ 1, 2, 3 และ 4 พบว่าดินชั้นบนมีค่าการนำไฟฟ้าในพิสัย 3.58–54.00 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และดินชั้นล่างอยู่ในพิสัย 2.39–44.15 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ซึ่งจัดอยู่ในระดับเค็มน้อยถึงระดับเค็มจัด โดยเฉพาะบริเวณที่ 1, 3, 4, 12 และ 15 พบว่าเป็นดินเค็มโซดิกที่มีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในระดับที่ดินเค็มจัด ทั้งดินชั้นบนและดินชั้นล่าง ดังภาพที่ 15 และภาพที่ 16

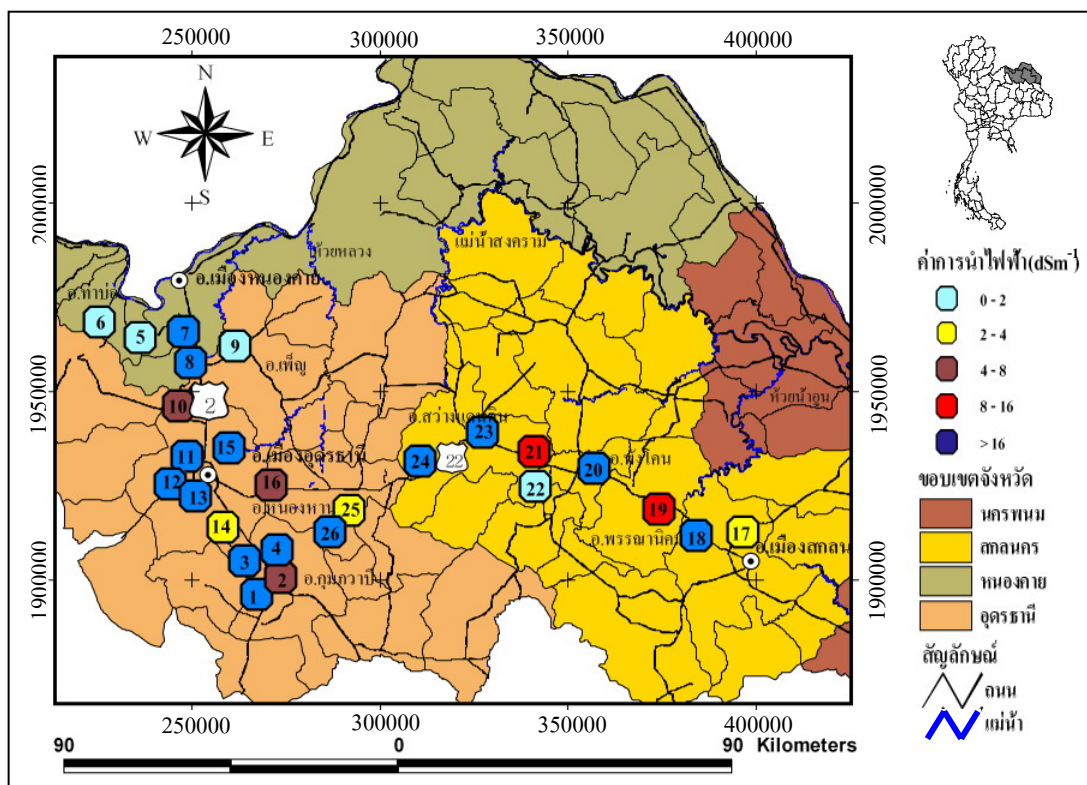
สภาพการแพร่กระจายของดินเค็มสอดคล้องกับสภาพภูมิอากาศของแอ่งสกลนครซึ่งบริเวณด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ของแอ่งมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีที่ 1200 มิลลิเมตรต่อปี ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาน้อยกว่าอัตราการระเหย ทำให้สภาพดินมีความชื้นที่น้อย และมีแนวโน้มของปริมาณน้ำฝนรายปีเพิ่มขึ้นในทางด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือ โดยพบว่ามีปริมาณน้ำฝนรายปี 1800–2600 มิลลิเมตรต่อปี ซึ่งมีการพบว่า มีปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่มากกว่าอัตราของการระเหยทำให้ดินในพื้นที่ มีความชื้นที่สูง มีการแพร่กระจายของดินเค็มน้อย จนถึงไม่ปรากฏดินเค็มในแถบนี้มากนัก ส่วนใหญ่พบในบริเวณขอบ แอ่งทางด้านทิศตะวันตกและทางทิศใต้ การแพร่กระจายดินเค็มพบเป็นบริเวณกว้างในพื้นที่จังหวัดอุดรธานี โดยเฉพาะตอนล่างของจังหวัดที่อำเภอเมืองอุดรธานี อำเภอกุมภวาปี อำเภอหนองหาน พบการแจกกระจายดินเค็มอยู่เป็นบริเวณกว้าง จากข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปีพบว่าปริมาณน้ำระเหยมากกว่าปริมาณฝนตก ซึ่งแสดงว่าสภาพพื้นดินที่มีความชุ่มชื้นน้อย ปริมาณความชื้นในอากาศมีน้อย อัตราการระเหยและการใช้น้ำของพืชมีสูง การเคลื่อนที่ของน้ำในดินจึงเป็นไปอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในบริเวณที่มีน้ำใต้ดินเค็มเคลื่อนที่อยู่ในระดับตื้นเกลือจะถูกเคลื่อนย้ายขึ้นมาพร้อมกับน้ำและสะสมอยู่ในบริเวณรากพืชและผิวดินได้มาก และบริเวณดังกล่าวมีปริมาณน้ำฝนน้อยไม่เพียงพอที่จะชะเกลือ ซึ่งสะสมในดินให้พ้นไปจากเขตที่รากพืช (สุพรรณิ, 2533) ส่งผลให้ฤดูร้อนทำให้ปรากฏกราบเกลือได้อย่างกว้างขวางในแถบขอบแอ่งด้านตะวันตกและทางด้านใต้ของแอ่งนี้

4.4 เส้นทางคมนาคมต่อการแพร่กระจายดินเค็มในแอ่งสกลนคร

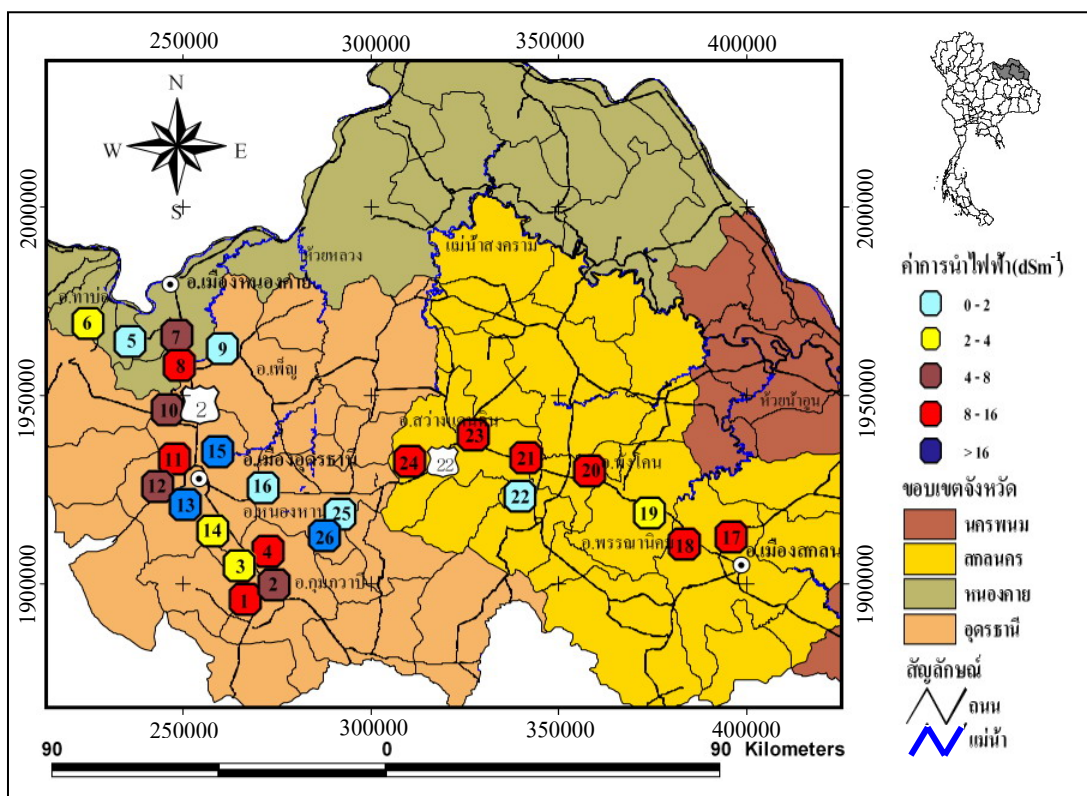
ระดับความรุนแรง ของดินเค็มจากค่าการนำไฟฟ้า เมื่อพิจารณาพร้อมกับแผนที่เส้นทางคมนาคม พบว่าพื้นที่ดินเค็มนี้มีแนวทิศทางทอดตัวจากทางตอนเหนือที่ อำเภอนาทม จังหวัดหนองคาย ทอดตัวลงมาทางตอนใต้ขอบของแอ่งทางด้านทิศตะวันตก ตามเส้นทางคมนาคมถนนหลวงหมายเลข 2 จังหวัดอุดรธานี-จังหวัดหนองคาย ซึ่งส่วนมากพบการแพร่กระจายของดินเค็มเป็นบริเวณกว้าง อย่างไม่สม่ำเสมอ ทางด้านทิศตะวันตก มากกว่าทางด้านตะวันออกของแอ่ง

ด้านทิศตะวันตกของแอ่งพบการแพร่กระจายของดินเค็มด้านตะวันตกมากกว่าด้านตะวันออกของถนนหลวงหมายเลข 2 ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าถนนมีบทบาทมากในการขวางทางน้ำ ซึ่งอาจมีแหล่งเกลือทางด้านทิศตะวันตก ทำให้ปรากฏการเกลือบริเวณนี้อย่างมาก และพบมีค่าการนำไฟฟ้าและค่าอัตราการดูดซับไฮเดียมที่สูงกว่าอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะบริเวณที่เป็นจุดตัดระหว่างเส้นทางคมนาคม เช่น บริเวณที่ 8 ซึ่งเป็นจุดตัดระหว่างถนนทางรถไฟ ผลวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าในดินชั้นบน พบว่ามีค่าว่ามีค่าสูงถึง 98.10 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และบริเวณที่ 13 ซึ่งอยู่บริเวณสี่แยก พบค่าการนำไฟฟ้าในดินชั้นบนที่สูงเช่นกัน มีค่าเท่ากับ 62.85 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ส่วนถนนหลวงสาย 22 ทางด้านทิศใต้พบการแพร่กระจายอยู่ทั้งสองฝั่งถนนทั้งด้านทิศเหนือและทางด้านทิศใต้ อย่างไม่สม่ำเสมอ และมีค่าการนำไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกันทั้งสองฝั่ง โดยสภาพภูมิประเทศอาจมีบทบาทในการแพร่กระจายดินเค็มมากกว่าโครงสร้างถนนทางด้านนี้ ดังภาพที่ 17 และภาพที่ 18

สภาพการแพร่กระจายของดินเค็มสอดคล้องกับบริเวณด้านตะวันตกและทางด้านใต้ของขอบแอ่งที่เป็นเส้นทางคมนาคม ถนนเส้นหลักหมายเลข 2 จากจังหวัด อุดรธานีไปจังหวัดหนองคาย และถนนหมายเลข 22 เส้นทางจากจังหวัดอุดรธานีไปจังหวัดสกลนคร ซึ่งอยู่ทางด้านทิศใต้ของแอ่งพบว่า จะพบการคดโค้งแบบประทุนคว่ำหรือการเกิดโดมเกลือ (salt dome) นเรศและคณะ (2531) โครงสร้างโดมเกลือจะทำให้แหล่งเกลือเคลื่อนขึ้นมาอยู่ใกล้ผิวดิน และถูกน้ำใต้ดินพาเกลือขึ้นมาสู่ผิวดิน ประกอบกับการก่อสร้าง ถนน เส้นทางรถไฟ และคลองชลประทาน ซึ่งขวางทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินที่เค็ม ซึ่งพบมากทางด้านทิศตะวันตกและด้านทิศใต้ของแอ่งสกลนคร ทำให้น้ำใต้ดินเปลี่ยนทิศทางการไหลและมีโอกาส



ภาพที่ 17 ระดับค่าการนำไฟฟ้าในดินชั้นบนกับเส้นทางคมนาคมของแอ่งสกลนคร



ภาพที่ 18 ระดับค่าการนำไฟฟ้าในดินชั้นล่างกับเส้นทางคมนาคมของแอ่งสกลนคร

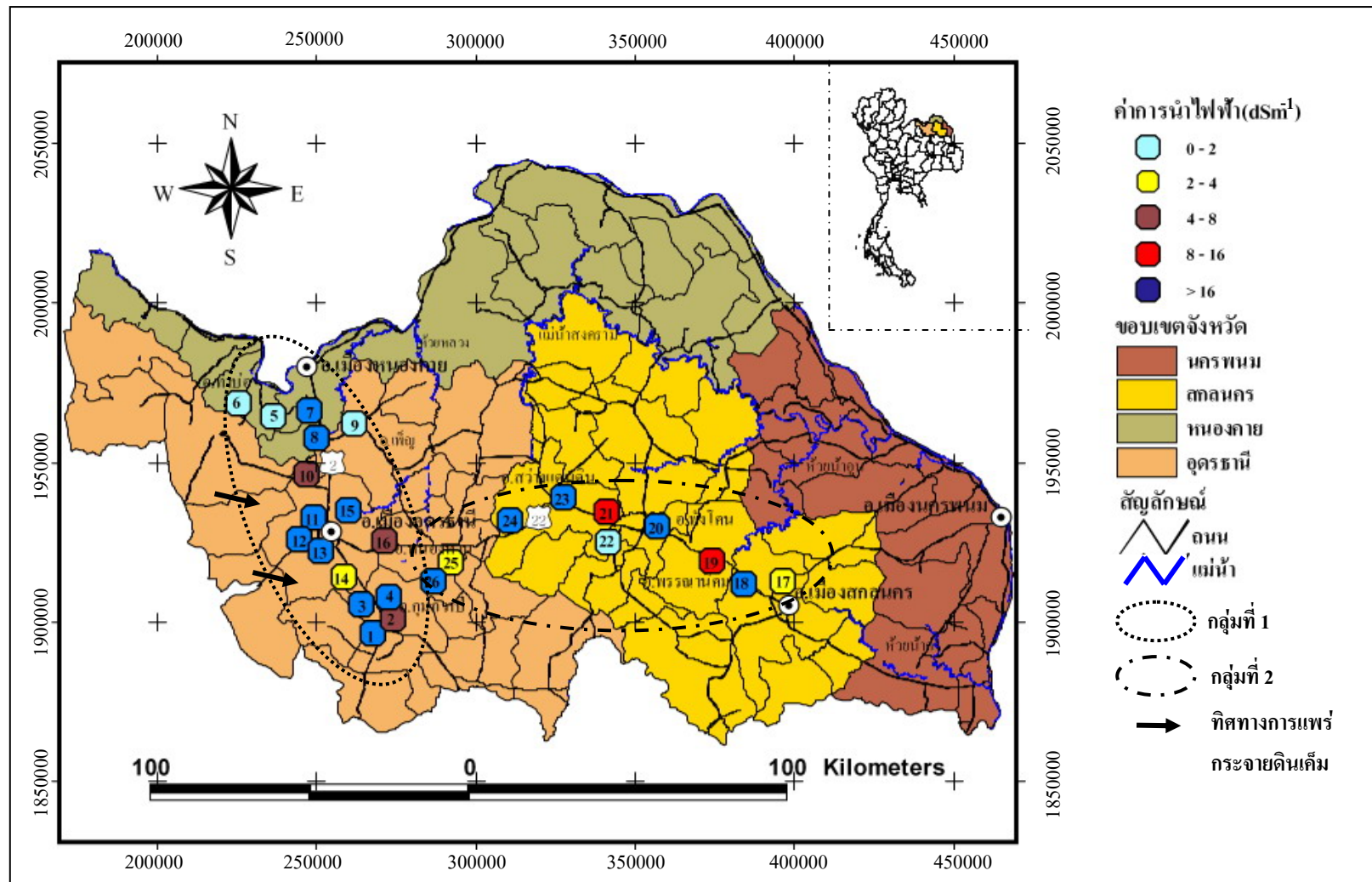
เกลือที่ขึ้นมาสู่ผิวดินมากขึ้น (บันทึก, 2529) ทำให้มีแนวโน้มการแพร่กระจายของดินเค็มและการปรากฏرابเกลือตามแนวของเส้นทางคมนาคมบริเวณนี้เพิ่มขึ้น

5. ทิศทาง และความรุนแรงของการแพร่กระจายดินเค็มในแอ่งสกลนคร

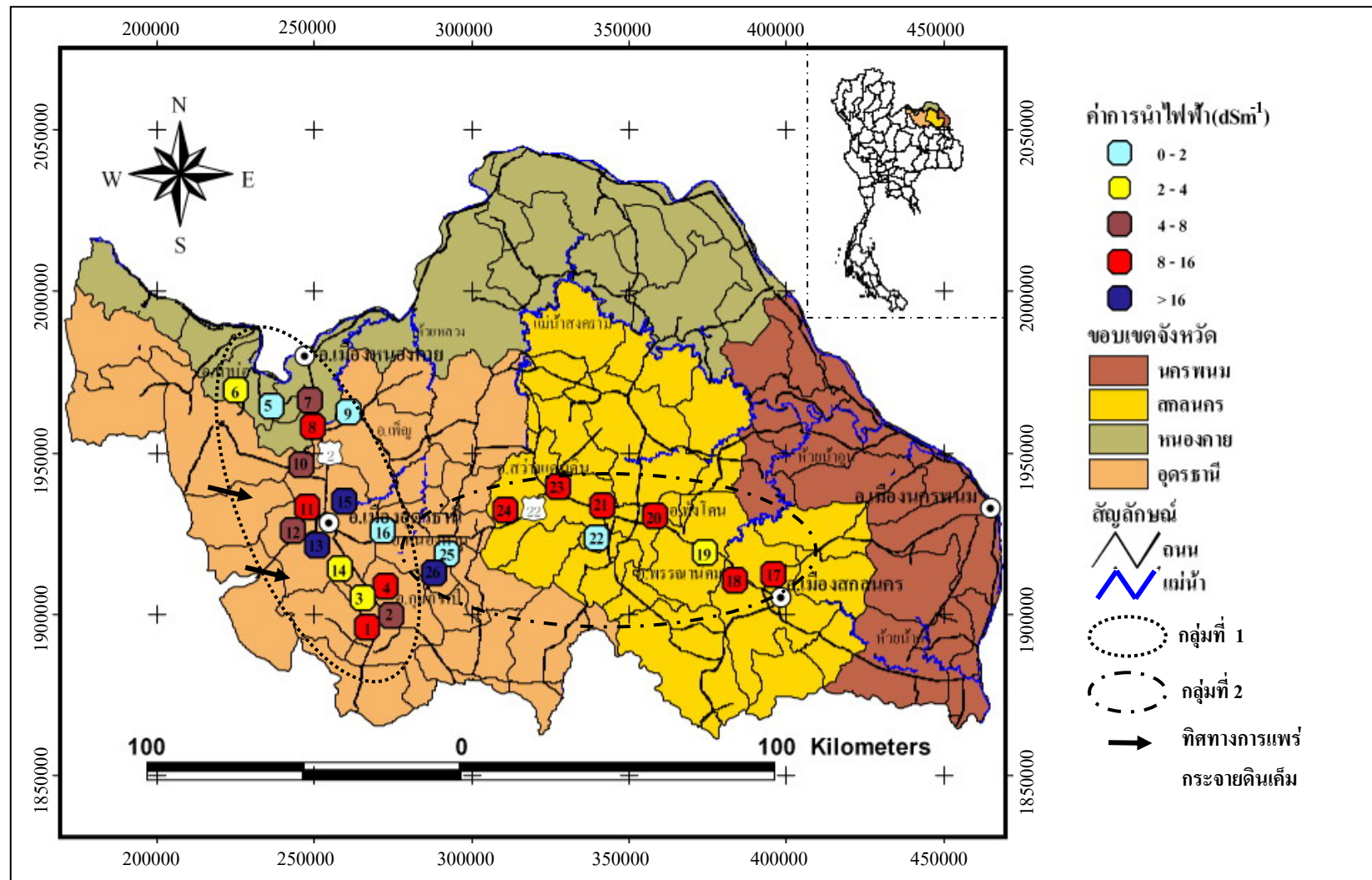
การศึกษาหาทิศทางและความรุนแรงของการแพร่กระจายดินเค็มในแอ่งสกลนคร ใช้การวิเคราะห์ทางสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อประเมินการแพร่กระจายของดินเค็มบริเวณพื้นที่แอ่งสกลนคร โดยใช้พื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลของเกลือ ในระดับมากที่สุด มาก ปานกลาง วิเคราะห์ร่วมกับสภาพภูมิประเทศ ลักษณะทางธรณีวิทยา ปริมาณและการกระจายของฝนเฉลี่ยรายปี เส้นทางคมนาคม ร่วมกับการแพร่กระจายของพื้นที่ดินเค็ม เพื่อประเมินหาทิศทางและความรุนแรงของการแพร่กระจายดินเค็ม ในขอบเขตพื้นที่แอ่งสกลนคร

จากการวิเคราะห์ทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จากแผนที่การแพร่กระจายดินเค็มในพื้นที่แอ่งสกลนคร พบว่าบริเวณพื้นที่ดินเค็มนั้นมีแนวทิศทางของการแพร่กระจายจากทางตอนเหนือของแอ่งที่ อำเภอบ้านดุง จังหวัดหนองคาย ทอดตัวลงมาทางทิศใต้ขอบแอ่งทางด้านทิศตะวันตก และมีแนวโน้มทอดยาวไปทางด้านทิศตะวันออกของแอ่งซึ่งอยู่ทางตอนล่างของแอ่ง เป็นลักษณะของการแพร่กระจายอย่างไม่สม่ำเสมอ การแพร่กระจายของดินเค็มจะพบคราบเกลืออยู่ทั่วไป ส่วนมากเป็นพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือ โดยพบคราบเกลืออยู่ทั่วไปบนผิวดินมากกว่าร้อยละ 50 ของพื้นที่ มีการแพร่กระจายเป็นบริเวณกว้างในตอนล่างของแอ่งบริเวณอำเภอมะนัง อำเภอกุมภวาปี อำเภอหนองหาน และพบการแพร่กระจายของดินเค็มตลอดเส้นทางหลวงหมายเลข 22 เส้นทางจาก จังหวัดอุดรธานี ไปยังจังหวัดสกลนคร

การวิเคราะห์ทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์โดยใช้การวิเคราะห์การนำไฟฟ้าของดินที่ทำการศึกษทำการซ้อนทับกับแผนที่จังหวัดในแอ่งสกลนคร ที่ประกอบด้วย จังหวัดอุดรธานี จังหวัดหนองคาย จังหวัดสกลนคร และจังหวัดนครพนม พบว่า ดินที่ทำการศึกษาทั้ง 26 บริเวณทั้งในดินชั้นบนและดินชั้นล่าง ผลการวิเคราะห์หาระดับ ความรุนแรง ของดินเค็มจากค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่างดินในแอ่งสกลนครปรากฏในภาพที่ 19 และภาพที่ 20



ภาพที่ 19 แผนที่แสดงทิศทางและระดับความรุนแรงของดินเค็มชั้นบนในแอ่งสกลนคร



ภาพที่ 20 แผนที่แสดงทิศทางและระดับความรุนแรงของดินเค็มชั้นล่างในแอ่งสกลนคร

ทิศทางและระดับความรุนแรงของดินเค็มของดินชั้นบนบริเวณพื้นที่ศึกษาแอ่งสกลนคร จากผลการศึกษาดินทั้ง 26 บริเวณ ได้จำแนกระดับความเค็มจากค่าการนำไฟฟ้าในดินชั้นบน พบว่าเป็นดินเค็มจัด 14 บริเวณ ดินเค็มมาก 2 บริเวณ ดินเค็มปานกลาง 3 บริเวณ ดินเค็มน้อย 3 บริเวณ และไม่เค็ม 3 บริเวณ จากผลการศึกษา พบว่าดินชั้นบนในบริเวณพื้นที่ศึกษาแอ่งสกลนคร ส่วนใหญ่อยู่ระดับเค็มจัด โดยเฉพาะในบริเวณที่ 1, 3 และ 4 ในอำเภอกุมภวาปี และบริเวณที่ 11, 12, 13 และ 15 ในอำเภอเมืองอุดรธานี โดยมีการแพร่กระจายอยู่อย่างกว้างขวางในบริเวณนี้ และ บริเวณเส้นทางหมายเลข 22 ในบริเวณที่ 18, 20, 23 และ 24 ซึ่งจัดอยู่ในระดับที่เค็มจัด

ในดินชั้นล่าง พบว่าเป็นดินเค็มจัด 3 บริเวณ ดินเค็มมาก 10 บริเวณ ดินเค็มปานกลาง 5 บริเวณ ดินเค็มน้อย 3 บริเวณ และไม่เค็ม 5 บริเวณ จากผลการศึกษาพบว่าดินชั้นล่าง ในบริเวณพื้นที่ศึกษาแอ่งสกลนคร มีระดับความรุนแรงน้อยกว่าดินชั้นบน ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในระดับเค็มมาก และมีบางบริเวณที่พบดินเค็ม ในระดับเค็มจัดในบริเวณที่ 13 และ 15 ในอำเภอเมืองอุดรธานี และบริเวณที่ 26 ในอำเภอหนองหาน อยู่ในระดับที่เค็มจัด มีการแพร่กระจายอยู่อย่างกว้างขวางในบริเวณนี้ และส่วนใหญ่จัดอยู่ในระดับที่เค็มจัด

ผลการศึกษาดินทั้ง 26 บริเวณ พบว่ามีค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดินที่สูงในดินชั้นบน และลดลงในดินชั้นล่าง แสดงว่าปริมาณเกลือที่สะสมในดินบนมีอยู่มากกว่า เป็นผลมาจากกระบวนการเคลื่อนย้ายเกลือจากน้ำใต้ดินเค็มที่เคลื่อนที่อยู่ในระดับตื้นขึ้นมาสะสมในบริเวณผิวน้ำดิน หรือเขตรากพืชในช่วงที่สภาพภูมิอากาศแห้งแล้งและมีอัตราการระเหยสูง นอกจากนี้ค่าการนำไฟฟ้าส่วนใหญ่มักจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณโซเดียมที่สกัดได้

จากการศึกษาได้วิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าร่วมกับปัจจัยสภาพแวดล้อมต่างๆในแอ่งสกลนคร ได้แบ่งเป็นอิทธิพลที่ส่งต่อการแพร่กระจายดินเค็มออกเป็น 2 ส่วน กล่าวคือส่วนแรกอิทธิพลของโครงสร้างถนนหลวงหมายเลข 2 (ถนนมิตรภาพ) ส่วนใหญ่อยู่ระดับเค็มจัด โดยเฉพาะใน บริเวณที่ 1, 3, 4, 7, 8, 11, 12, 13 และ 15 ทางด้านทิศตะวันตกของแอ่งริมถนนหลวงหมายเลข 2 โดยโครงสร้างของถนนที่มีอิทธิพลต่อทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินทำให้มีการแพร่กระจาย ดินเค็มในระดับเค็มจัดอยู่ในบริเวณริมถนนนี้อย่างมาก โดยเฉพาะบริเวณบริเวณที่ 8 ที่เป็นจุดตัด ระหว่างถนนกับเส้นทางรถไฟ พบว่ามีค่าการนำไฟฟ้าในดินชั้นบนสูงถึง 98.1 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร

ส่วนที่สองพบการแพร่กระจายอยู่อย่างกว้างขวางอยู่บริเวณทางด้านทิศใต้ของแอ่ง บริเวณริมถนนหลวงทางหมายเลข 22 พบการแพร่กระจายดินเค็มทั้งสองฝั่งของถนนในบริเวณที่ 18, 20, 23 และ 24 ซึ่งจัดอยู่ในระดับที่เค็มจัดโดยความรุนแรงทางด้านนี้ไม่ได้เกิดจากปัจจัยของ โครงถนนเพียงอย่างเดียว เพราะพบการแพร่กระจายดินเค็มทั้งสองฝั่งถนน อิทธิพลของภูมิประเทศ มีส่วนเกี่ยวข้องกับระดับความรุนแรงที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาร่วมกับสภาพภูมิประเทศ พบว่าทางด้าน ทิศตะวันตกของแอ่งมีความสูงมากกว่าในบริเวณที่ 26 มีความสูงประมาณ 221 เมตร และค่อยๆ มีความลาดเทลงมาทางด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ของแอ่งซึ่งทางด้านทิศตะวันออกจะเป็นพื้นที่ต่ำกว่า โดยในบริเวณที่ 17 บริเวณริมหนองหานสกลนครมีความสูง 178 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง โดยที่ ระดับความรุนแรงของควมเค็มด้านนี้อาจไม่รุนแรงเท่าฝั่งตะวันตกเนื่องจากมีปัจจัยของ ปริมาณ น้ำฝนที่มากกว่า และในบริเวณที่มีการแพร่กระจายดินเค็มในระดับเค็มน้อยและระดับไม่ เค็ม จะพบ ในบริเวณถนนสายรองถนนหมู่บ้านประกอบกับอยู่ในเขตปัจจัยน้ำฝนมาเกี่ยวข้อง ที่มี ปริมาณ น้ำฝนในระดับ 1600 มิลลิเมตรต่อปี

สรุปผลการศึกษา

การศึกษาสภาพแวดล้อมในการแพร่กระจายของดินเค็ม ในแอ่งสกลนคร ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ประกอบด้วยลักษณะสภาพแวดล้อมทั่วไปของพื้นที่ที่มีการแพร่กระจายของดินเค็มในสนามของดินบริเวณที่ศึกษา 26 บริเวณ พร้อมการศึกษาสภาพแวดล้อมของดินเค็มทางสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อประเมินทิศทางและความรุนแรงของการแพร่กระจายดินเค็ม รวมทั้งการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมี ผลการศึกษารวมสรุปได้ดังนี้

บริเวณที่ทำการศึกษการแพร่กระจายดินเค็มแอ่งสกลนคร ในภาคสนามพบคราบเกลือสีขาว เป็นขุยขึ้นอยู่บนผิวดินลักษณะเป็นหย่อมๆ กระจายอยู่อย่างไม่สม่ำเสมอในพื้นที่เดียวกัน แม้บางบริเวณไม่พบคราบเกลือ แต่สังเกตพบการตายของพืชเป็นหย่อมๆ ของพื้นที่ปลูก และบางพื้นที่จะพบพืชทนเค็ม เช่น หนามพุงค้อ สะแก ซึ่งจัดว่าเป็นวัชพืชที่บ่งชี้ (index plant) ถึงพื้นที่ที่มีสภาพดินเค็ม การแพร่กระจายดินเค็มในพื้นที่ศึกษาพบในสภาพแวดล้อมเชิงพื้นที่ลุ่มในลุ่มน้ำในลุ่มน้ำภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง มีค่าร้อยละความลาดชันของพื้นที่อยู่ในพิสัย 1-3 มีสภาพภูมิประเทศเป็นที่ราบถึงขั้นเล็กน้อยสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 158-219 เมตร การใช้ประโยชน์ที่ดิน ส่วนมากเป็นพื้นที่นาข้าว และบางพื้นที่เคยทำนามาก่อนถูกปล่อยให้รกร้างว่างเปล่า เป็นทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ พบพืชทนเค็มจำพวก หนามพุงค้อ หญ้าขนตาช้าง สะแก ตาล ความหนาของดินชั้นบนประมาณ 9-30 เซนติเมตร ส่วนมากเป็นดินร่วนปนทราย ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ สภาพการระบายน้ำเร็ว อยู่ในขอบเขตพื้นที่ของชุดดินร่อยเอ็ด ดินคล้ายชุดดินร่อยเอ็ดที่เป็นดินเค็ม และดินคล้ายชุดดินโคราชที่เป็นดินเค็ม

สมบัติทางกายภาพของดินพบว่า ดินส่วนใหญ่เป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) อนุภาคทรายเด่นชัดกว่าอนุภาคในกลุ่มขนาดอื่นๆ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์กับลักษณะวัตถุต้นกำเนิด ความหนาแน่นรวมของดิน พบว่าดินบนมีความหนาแน่นรวมอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง ส่วนดินชั้นล่างนั้นอยู่ในระดับปานกลางถึงสูงมากมีค่าอยู่ในพิสัย 1.43-1.97 และ 1.52-2.18 เมกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำของดินที่ศึกษา ส่วนมากอยู่ในระดับต่ำปานกลางถึงต่ำมากโดยที่ 0.093-5.75 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำของดินชั้นดินบนเร็วกว่าดินชั้นล่าง ค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำของดินอยู่ในระดับต่ำปานกลางถึงต่ำมาก สอดคล้องกับความหนาแน่นรวมของดินที่มีค่าปานกลางถึงสูง ทั้งที่มีการกระจายของอนุภาค และชั้นเนื้อดินอยู่ในกลุ่มที่มีเนื้อดินค่อนข้างหยาบ แสดงถึงอิทธิพลที่เด่นชัดของโซเดียมไอออนที่สะสมอยู่ในดิน แล้วส่งผล

ให้เกิดการฟุ้งกระจายของอนุภาคดินโดยเฉพาะอนุภาคดินเหนียว ซึ่งสถานะเช่นนี้ทำให้ช่องว่างขนาดใหญ่มีปริมาณลดลง ยังผลให้การซึมผ่านของน้ำในดินเป็นไปได้ยาก

ผลวิเคราะห์ทางเคมี พบว่าค่าปฏิกิริยาดินในเขตรากพืชของดินที่ทำการศึกษามีค่าอยู่ในช่วงกรดจัดถึงเป็นกรดปานกลาง (pH 3.5-5.6) ซึ่งค่าปฏิกิริยาดินในช่วงดังกล่าวนี้ ไม่เหมาะสมต่อการปลูกพืช แคดเซียมที่สกัดได้ มีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงปานกลางค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 0.08-7.72 เซนติโมลต่อกิโลกรัม แมกนีเซียมที่สกัดได้ มีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงสูง 0.03-5.48 เซนติโมลต่อกิโลกรัม โพแทสเซียมที่สกัดได้ ส่วนมากมีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงปานกลาง ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 0.08-0.53 เซนติโมลต่อกิโลกรัม โซเดียมที่สกัดได้ มีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงสูงมาก ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 0.10-13.51 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ส่วนใหญ่ดินที่ทำการศึกษามีค่าปริมาณโซเดียมสูงมากในบริเวณดินชั้นบน และมีแนวโน้มของค่าจะลดลงในดินชั้นล่าง ปริมาณความเป็นกรดที่สกัดได้ มีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงสูง มีพิสัยอยู่ในช่วง 0.6-14.4 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน มีค่าตั้งแต่ระดับต่ำมากถึงระดับสูง 0.6-19.6 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ค่าร้อยละความอิ่มตัวเบสในดินที่ทำการศึกษาอยู่ในระดับต่ำถึงสูง (ร้อยละ 19.9-91.4) และส่วนใหญ่มีค่าปานกลางถึงสูง

เมื่อพิจารณาจากค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดิน พบว่าดินชั้นบนมีค่าอยู่ในพิสัย 0.38-98.10 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ส่วนดินชั้นล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 0.14-19.47 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร โดยค่าการนำไฟฟ้าจะแสดงค่าสูงสุดในดินชั้นบนและจะมีค่าลดลงในดินชั้นล่าง ค่าอัตราการดูดซับโซเดียมส่วนใหญ่มีค่ามากกว่า 13 ค่าอัตราร้อยละโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ พบว่ามีค่ามากกว่า 15 ส่วนใหญ่ดินชั้นบนและดินชั้นล่างมีความแปรปรวนทำให้มีแนวโน้มไม่แน่นอน จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ไอออนบวกที่มีอิทธิพลเด่นในดินส่วนใหญ่ คือโซเดียมไอออน เมื่อพิจารณาจากค่าการนำไฟฟ้า ค่าอัตราร้อยละโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ และค่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของดิน และค่าปฏิกิริยาดิน พบว่าดินที่ทำการศึกษามีค่าอยู่ประเภท ดินเค็ม-โซดิก

จากการศึกษาได้วิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าร่วมกับปัจจัยสภาพแวดล้อมต่างๆในแอ่งสกลนคร ได้แบ่งเป็นอิทธิพลที่ส่งต่อการแพร่กระจายดินเค็มออกเป็น 2 ส่วน กล่าวคือส่วนแรกอิทธิพลของโครงสร้างถนนหลวงหมายเลข 2 (ถนนมิตรภาพ) ส่วนใหญ่อยู่ระดับเค็มจัด (มีค่าการนำไฟฟ้ามากกว่า 16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร) โดยเฉพาะในบริเวณที่ 1, 3, 4, 7, 8, 11, 12, 13 และ 15 ทางด้านทิศตะวันตกของแอ่งริมถนนหลวงหมายเลข 2 โดยโครงสร้างของถนนที่มีอิทธิพลต่อทิศทางการ

ไหลของน้ำใต้ดินทำให้มีการแพร่กระจาย ดินเค็มในระดับเค็มจัดอยู่ในบริเวณริมถนนเป็นอย่างมาก ส่วนที่สองพบการแพร่กระจายอยู่อย่างกว้างขวางอยู่บริเวณทางด้านทิศใต้ของแอ่ง บริเวณริมถนน ทางหลวงหมายเลข 22 พบการแพร่กระจายดินเค็มทั้งสองฝั่งของถนนในบริเวณที่ 18, 20, 23 และ 24 ซึ่งจัดอยู่ในระดับที่เค็มจัด โดยการแพร่กระจายดินเค็มบริเวณนี้เกิดจากอิทธิพล ของเส้นทางคมนาคมหมายเลข 2 ประกอบกับปัจจัยสภาพภูมิประเทศ ซึ่งการแพร่กระจายดินเค็ม ทางด้านขอบแอ่ง ทั้งทางด้านตะวันตกและทางด้านทิศใต้ ส่วนใหญ่พบความเค็มในระดับเค็มจัดทั้ง 2 กลุ่ม ได้รับปัจจัย สภาพภูมิอากาศในฤดูแล้งที่มีการระเหยที่สูง

การศึกษาทิศทางการแพร่กระจายของเค็มแอ่งสกลนคร ทางสารสนเทศภูมิศาสตร์โดยใช้เทคนิคการซ้อนทับข้อมูลเพื่อประเมิน พบว่าการแพร่กระจายดินเค็มส่วนใหญ่มีทิศทางอยู่บริเวณขอบแอ่งทางด้านทิศตะวันตก และทางทิศใต้ใกล้ขอบแอ่ง ซึ่งสอดคล้องกับสภาพภูมิประเทศของแอ่งสกลนคร ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เนินเป็นลูกคลื่นลอนลาด และพื้นที่ราบ บริเวณขอบแอ่งสกลนคร บริเวณด้านทิศตะวันตก และทิศใต้เป็นพื้นที่สูงของภูเขาแล้วค่อยๆ ลาดเทมาทางทิศตะวันตกลงสู่ลำน้ำโขง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นที่ลุ่มในสัณฐานภูมิประเทศตะพักลุ่มน้ำต่ำ และเป็นจุดเปลี่ยนแปลงของตะพักลุ่มน้ำต่ำ และตะพักลุ่มน้ำกลาง และลักษณะทางธรณีวิทยาในบริเวณแอ่งที่ลุ่มของแอ่งสกลนคร พบว่าพื้นที่ดินเค็มรองรับด้วยหมวดหินมหาสารคาม ซึ่งเป็นหมวดหินที่มีชั้นเกลือหินวางตัวอยู่ในตอนล่าง ส่วนตอนบนเป็นชั้นหินตะกอนที่มีเกลือแทรกอยู่ (นเรศและคณะ, 2540) ส่วนใหญ่โครงสร้าง และการลำดับหน่วยหินของหมวดหินมหาสารคามมีการปูดสูงขึ้นมาอยู่ระดับต้นตามโครงสร้างโค้งงอพาน ทำให้ชั้นเกลือหินยกตัวขึ้นสูงตามขอบโครงสร้างดังกล่าว ทำให้ขอบแอ่งด้านเทือกเขาภูพานมีชั้นหินและชั้นเกลือหินอยู่ในระดับต้น การสลายตัวของวัสดุเหล่านี้มีบทบาทอย่างยิ่งต่อความเค็มของน้ำใต้ดินในภูมิภาคนี้ โดยที่ความเค็มของน้ำใต้ดินมีความสัมพันธ์อยู่กับความหนาของหมวดหินภูทอกและตะกอนที่ปิดทับอยู่ตอนบน โดยทั่วไปจะบางในบริเวณขอบแอ่งทางด้านทิศตะวันตกและทางทิศใต้และมีความหนาเพิ่มขึ้นเมื่อเข้าสู่บริเวณกลางแอ่ง และเนื่องด้วยสภาพภูมิอากาศของแอ่งทางด้านตะวันตกและทางด้านใต้ค่อนข้างแห้งแล้ง มีปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีน้อยกว่าอัตราการระเหย ทำให้สภาพพื้นดินมีความชุ่มชื้นน้อย ปริมาณความชื้นในอากาศมีน้อย อัตราการระเหยมีสูง การเคลื่อนที่ของน้ำในดินจึงเป็นไปอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในบริเวณที่มีน้ำใต้ดินเค็มเคลื่อนที่อยู่ในระดับต้น ประกอบกับเนื้อดินร่วนปนทราย ซึ่งมีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ วางตัวอยู่บนหินดินดานที่มีความลึกไม่มากนัก เมื่อฝนตกลงมา น้ำจึงเคลื่อนย้ายลงสู่ชั้นหินตอนล่างอย่างรวดเร็ว ซึ่งไปเร่งการสลายตัวของหิน ทำให้เกลือละลายออกมา และเคลื่อนย้ายพร้อมกับน้ำลงสู่พื้นที่ราบตอนล่าง เกลือจะถูกเคลื่อนย้ายขึ้นมาพร้อมกับน้ำ และสะสมอยู่ในบริเวณ

รากพืชและผิวดินทำให้ปรากฏคราบเกลือ กระจายอยู่เป็นบริเวณกว้างในภูมิภาคนี้ ประกอบกับการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐาน ถนน เส้นทางรถไฟ ที่มักจะวางขวางทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินที่เค็ม ซึ่งพบมากทางด้านทิศตะวันตกและด้านทิศใต้ของแอ่งสกลนคร ทำให้น้ำใต้ดินเปลี่ยนทิศทางการไหล และมีโอกาสเคลื่อนที่ขึ้นมาสู่ผิวดินมากขึ้น (บัณฑิต, 2529) ทำให้มีทิศทางการแพร่กระจายดินเค็มในแอ่งสกลนครมีลักษณะอยู่ขอบแอ่งทางด้านตะวันตกและทางด้านทิศใต้ โดยมีทิศทางการตามแนวของเส้นทางคมนาคม มีพบการแพร่กระจายและความรุนแรงมากขึ้นตามจุดตัดของถนน และเส้นทางรถไฟ

ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาการแพร่กระจายดินเค็มในแอ่งสกนกร ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมทางด้านสมบัติต่างๆ อีกหนึ่งครั้งในช่วงปีเดียวกัน เพื่อผลวิเคราะห์ว่าดินเค็มมีความรุนแรงมากเท่าใดในแต่ละฤดู และสามารถนำไปปรับใช้ในการจัดการดินและพืช การกำเนิดและการแพร่กระจายของดินเค็มในบริเวณพื้นที่ทำการศึกษา มีความเกี่ยวข้องกับน้ำซึ่งเป็นตัวทำลายในสภาพธรรมชาติ โดยเฉพาะน้ำใต้ดิน และน้ำใกล้ผิวดินอย่างค่อนข้างชัดเจน ดังนั้นข้อมูลเกี่ยวกับน้ำใต้ดิน ควรได้รับการศึกษาอย่างละเอียดทั้งรูปแบบการไหล ปริมาณและคุณภาพของน้ำเพื่อจะนำมาใช้อธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ได้ดีขึ้นและหาแนวทางแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้อย่างถูกต้อง

การชลประทาน และรูปแบบการก่อสร้างถนนในเขตที่มีดินเค็มปรากฏอยู่ ควรมีการพิจารณารูปแบบการแพร่กระจายดินเค็ม โดยในระบบชลประทานควรพิจารณารูปแบบการให้น้ำ และการกักเก็บน้ำอย่างละเอียดเพราะว่าในบางลักษณะการชลประทานจะชักนำให้น้ำใต้ดินที่มีความเค็มสูงขึ้นมาสู่ผิวดินได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น และการก่อสร้างถนนที่ปิดกั้นทางเดินน้ำ โดยเฉพาะน้ำใต้ดินทำให้เกิดการแพร่กระจาย ดินเค็มบริเวณนั้นเพิ่มมากขึ้น

ในภูมิภาคนี้ควรมีการส่งเสริมให้มีการปลูกป่าด้วยไม้ยืนต้นทนเค็มในบริเวณที่เหมาะสม เพื่อให้รากต้นไม้ดูดซึมน้ำส่วนเกินเอาไว้ ไม่ให้ละลายเกลือออกมา และลดระดับน้ำใต้ดินเค็มไม่ให้เกิดการแพร่กระจาย การปลูกป่าเพื่อป้องกันการแพร่กระจายดินเค็ม เป็นวิธีที่เป็นไปได้และไม่ต้องลงทุนสูงแต่จำเป็นต้องทราบสภาพแวดล้อมของระบบ เช่นระบบอุทกวิทยา ธรณีสัณฐาน ปริมาณและการกระจายตัวของฝน ตลอดจนแหล่งเกลือ ปริมาณ คุณภาพและทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินเพื่อหาทิศทางการแพร่กระจายดินเค็ม และใช้เป็นแนวทางในการกำหนดพื้นที่ปลูกป่าเพื่อป้องกันการแพร่กระจายดินเค็มได้ โดยพืชทนเค็มที่ปลูกนั้นควรเป็นพืชโภชนาการท้องถิ่น เช่น กระถินณรงค์ สะเดา แคบ้าน จีเหือก และมะขาม เป็นต้น

ปัจจุบันพื้นที่ดินเค็มมีการแพร่กระจายเพิ่มสูงขึ้น ส่วนใหญ่เนื่องมาจากการใช้ที่ดิน เช่น การสร้างเขื่อน ถนน โดยขาดการวางแผนที่ดี เป็นต้น ดังนั้นในการใช้พื้นที่โดยเฉพาะพื้นที่ที่ไม่เป็นดินเค็มแต่มีชั้นหินเกลือรองรับอยู่ด้านล่าง ควรพิจารณาอย่างรอบคอบและมีความระมัดระวังในการใช้พื้นที่ มิเช่นนั้นแล้วพื้นที่ดังกล่าวอาจจะเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากความเค็มได้ และมีโอกาสจะเป็นแหล่งสะสมเกลือของพื้นที่ที่อยู่ต่ำกว่าได้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. 2531. คู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐ: ความรู้เรื่องดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประจำปี 2525-2529. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- _____. 2536. แผนที่การใช้ที่ดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- _____. 2546. แผนที่การแจกกระจายคราบเกลือบนผิวดินจังหวัดอุดรธานี, จังหวัดหนองคาย, จังหวัดหนองคาย, จังหวัดนครพนม. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กรมทรัพยากรธรณี. 2546. แผนที่ธรณีวิทยา จังหวัดอุดรธานี, จังหวัดหนองคาย, จังหวัดหนองคาย, จังหวัดนครพนม. กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.
- _____. 2547. โครงการศึกษาปัจจัยทางธรณีวิทยาที่ทำให้เกิดดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.
- กรมป่าไม้. 2541. สถิติป่าไม้ในประเทศไทย. ศูนย์ข้อมูล กรมป่าไม้. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กรมอุตุนิยมวิทยา. 2539. สถิติภูมิอากาศของประเทศไทยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2509-2538). กระทรวงคมนาคม, กรุงเทพฯ.
- กรรม จินดาประเสริฐ และอภิศักดิ์ โพธิ์ปิ่น. 2543. ผลกระทบของอ่างเก็บน้ำต่อลักษณะ และการแจกกระจายของดินเค็มบริเวณท้ายอ่างเก็บน้ำ : ศึกษากรณีอ่างเก็บน้ำลำเชียงไกร อำเภอนโนนไทย จังหวัดนครราชสีมา. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 18 (1): 13 – 23.

ขนิษฐศรี ส่งสวัสดิ์. 2537. สมบัติและระดับความรุนแรงของอิทธิพลเกลือของดินคล้ายชุดดิน ร้อยเอ็ดที่เป็นดินเค็มในจังหวัดนครราชสีมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

คณะกรรมการจัดทำปทานุกรมปฐพีวิทยา. 2541. ปทานุกรมปฐพีวิทยา. สำนักพิมพ์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จรงค์ จันทรเจริญสุข. 2530. เเค็มของดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัย

เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จุฑามาศ แก้วมโน. 2546. ความสัมพันธ์ระหว่างดินที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือกับสัณฐานภูมิ

ประเทศบริเวณตะวันตกเฉียงเหนือของจังหวัดนครราชสีมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จุมพล วิเชียรศิลป์. 2535. การวิเคราะห์สมบัติและศักยภาพของดินเค็มในแอ่งโคราช. วิทยานิพนธ์

ปริญญาเอก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เจลิยว แจ้งไพร. 2540. ศักยภาพของทรัพยากรดินและลู่ทางในการพัฒนาของภาค

ตะวันออกเฉียงเหนือ, ใน เอกสารคู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐ เรื่อง ดินเค็ม. กลุ่มปรับปรุงดินเค็ม
กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ณรงค์ ตรีสุวรรณ, สุรพล เจริญพงศ์ และพิชัย วิชัยดิษฐ์. 2539. คุณสมบัติของชุดดินที่จัดตั้งในภาค

ตะวันออกเฉียงเหนือและความเหมาะสมในการใช้ประโยชน์ที่ดิน ฉบับที่ 381. กรมพัฒนา
ที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ดวงใจ นานา และทวีศักดิ์ ลีศรีวิไล. 2531. อ่างเก็บน้ำกับการแพร่กระจายดินเค็ม. เอกสารคู่มือ

เจ้าหน้าที่ของรัฐ : ความรู้เรื่องดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. กรมพัฒนาที่ดิน

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

นงคราญ กาญจนประเสริฐ. 2529. การศึกษาลักษณะวินิจฉัยที่สำคัญในการพัฒนาการของดินและ
ศักยภาพของดินอันดับอัลฟิซอลส์และอินเซปติซอลส์บริเวณลุ่มน้ำแม่กลอง. วิทยานิพนธ์
ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นเรศ สัตยารักษ์, สมเกียรติ จันทรมหา, เจตต์ จุลวงศ์, ปกรณ์ สุวานิชและธวัช จาปะเกษตร์. 2531.
อิทธิพลของชั้นเกลือหินที่มีต่อน้ำใต้ดินในภาคอีสาน ใน สมศรี อรุณินท์ (ผู้รวบรวม) ดิน
เค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

_____. 2540. อิทธิพลของชั้นเกลือหินที่มีต่อน้ำใต้ดินในภาคอีสาน ใน สมศรี อรุณินท์ (ผู้
รวบรวม) เอกสารคู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐ เรื่อง ดินเค็ม. กลุ่มปรับปรุงดินเค็ม กรมพัฒนา
ที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

บัณฑิต อนุรักษ. 2529. การศึกษาดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจากข้อมูลดาวเทียมและ
คอมพิวเตอร์. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ปกรณ์ สุวานิช และ พัทธ์ รตนจารุรักษ์. 2525. การลำดับตัวของชั้นเกลือและโพแทสในประเทศไทย.
กองเศรษฐกิจธรณี กรมทรัพยากรธรณี, กรุงเทพฯ.

ประเทือง จินตสกุล. 2528. ภูมิศาสตร์กายภาพภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. ภาควิชาภูมิศาสตร์.
คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ วิทยาลัยครูนครราชสีมา, นครราชสีมา.

มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2547. รายงานกรอบงานวิจัยเบื้องต้น โครงการศึกษาปัจจัยทางธรณีวิทยา
ที่ทำให้เกิดดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พ.ศ. 2547 เสนอต่อ กรมทรัพยากรธรณี
กระทรวงทรัพยากร ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

พรพรม พรหมเดชะ. 2544. แร่วิทยาและเคมีของดินที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือบริเวณแอ่ง
สกลนครในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พรณี รุ่งแสงจันทร์. 2531. ความรู้เรื่องดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ใน เอกสารคู่มือ

เจ้าหน้าที่ของรัฐโครงการพัฒนาพื้นที่ดินเค็ม. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและ
สหกรณ์, กรุงเทพฯ.

พิชัย วิชัยดิษฐ์. 2542. การอ่านและการใช้แผนที่ดินเค็ม ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ใน เอกสารคู่มือ

เจ้าหน้าที่ของรัฐ : เรื่องดินเค็ม. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

พิทักษ์ รัตนจารุรักษ์. 2542. แหล่งแร่เกลือหินในประเทศไทย. วารสารเศรษฐธรณีวิทยา ปีที่ 1
ฉบับที่ 10.

เพิ่มพูน กิรติกลีกร. 2527. ดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. โครงการผลิตสิ่งตีพิมพ์
ทางการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยความช่วยเหลือจากสถานทูต
แคนาดาประจำประเทศไทย. เอกสารเล่มที่ 1. พันนี้ พับบลิชซิ่ง, กรุงเทพฯ.

ไพบุลย์ ประพฤติธรรม. 2528. เหมืองของดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

มานพ ตันตเทมีย์. 2525. ดินที่มีปัญหาทางการเกษตรและการปรับปรุง ใน คู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐ:
การพัฒนาดินเค็มดินเปรี้ยวภาคใต้. ฝ่ายเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ กรมพัฒนาที่ดิน
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ยงยุทธ โอสดสภา. 2524. ดินเค็มและดินโซดิก. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ลัดดา วรรณขาว, พัทธรัฐ วรรณขาว, นุศรา สุระโคตร, วิรัตน์ สุคันธี, กวี จรุงทวีเวทย์ และพรอุษา
อุดมศิลป์. 2546. การวิเคราะห์สภาพทางธรณีและธรณีเทคนิคของเกลือ ในระดับพื้นผิว
และใต้ดินของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รายงานวิจัยประจำปี 2545 ภาควิชาเทคโนโลยี
ธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น,ขอนแก่น.

- เล็ก มอญเจริญ. 2526. ความเค็มกับการเจริญเติบโตของพืช. กองสำรวจดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- ศักดิ์ ขุนดี. 2546. การเกิดดินเค็มและหลุมยุบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. การประชุมเสนอผลงานทางวิชาการ ประจำปี 2546 สำนักธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.
- สมชัย วงศ์สวัสดิ์ และเจตต์ จุลวงษ์. 2540. อุทกธรณีวิทยาภาคอีสานใน สมศรี อรุณินท์ (ผู้รวบรวม) เอกสารคู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐ เรื่อง ดินเค็ม. กลุ่มปรับปรุงดินเค็ม กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- สมพงษ์ ถีรวงศ์. 2533. การวิจัยและพัฒนาของกรมพัฒนาที่ดิน. เอกสารประกอบคำบรรยาย วิชาปฐพีวิทยา. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์การเกษตร, กรุงเทพฯ.
- สมศรี อรุณินท์. 2539. ดินเค็มในประเทศไทย. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์การเกษตร, กรุงเทพฯ.
- _____. 2540 ก. แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (2540-2544) กับโครงการพัฒนาพื้นที่ดินเค็ม ใน เอกสารคู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐ เรื่อง ดินเค็ม . กลุ่มปรับปรุงดินเค็ม กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- _____. 2540 ข. การปรับปรุงดินเค็มและดินโซดิก ใน เอกสารคู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐ เรื่อง ดินเค็ม . กลุ่มปรับปรุงดินเค็ม กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- สุนทรี อัครชนกุล. 2529. หลักการปฐพีฟิสิกส์. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สุพรรณิ โรจนาเปรมสุข. 2533. ลักษณะดินที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือ ปัญหาและแนวทางแก้ไข ปัญหาดินเค็มในเขตโครงการชลประทานน้ำพองระยะที่ 2. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อนันต์ ชัมภรัตน์. 2529. สมดุลของน้ำและเกลือในระบบนิเวศน์ดินเค็ม บริเวณอำเภอยางชุมน้อย จังหวัดนครราชสีมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อรุณี ชูระนิคม. 2536. ดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. ใน เอกสารคู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐ: เรื่อง ดินเค็ม. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์การเกษตร, กรุงเทพฯ.

อุทัย สุขสิงห์. 2547. การจัดการระบบฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS). สำนักพิมพ์ ศ.ส.ท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ.

อำนาจ สุวรรณฤทธิ์. 2525. ความสัมพันธ์ระหว่างดินกับพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เอิบ เขียวรินทร์. 2533. ดินของประเทศไทย: ลักษณะ การแจกกระจายและการใช้. ภาควิชา ปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2542 ก. การสำรวจดิน: มโนทัศน์ หลักการและแนวคิด. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2542 ข. คู่มือปฏิบัติการ การสำรวจดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อำนาจ สุวรรณฤทธิ์. 2525. ความสัมพันธ์ระหว่างดินกับพืช. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

- Abrol, I.P., J.S.P. Yadav and F.I. Massound. 1988. **Salt Affected Soil and Their Management**. Rome, FAO.
- Arunin, S. 1984. Characteristics and management of salt-affected soils in the Northeast of Thailand, *In Ecology and Management of Problem Soils in Asia*. FFTC Book Series No.27.
- Blake, G.R. and K.H. Hartge. 1986. Bulk density. *In* A. Klute(ed.). Methods of Soil Analysis. Part I. 2d ed., **American Society of Agronomy**. Inc., Medison, Wisconsin, USA.
- Brady, N.C. 1984. **The Nature and Properties of soils**. 2nd ed. Macmillan Publishing Company, New York.
- Brady, N.C. and R.R. Weil. 1999. **The Nature and Properties of Soils**. 12 th ed. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey.
- Bunopas, S. 1981. **Paleogeographic History of Western Thailand and Adjacent Part of South-East Asia ; A PlateTectonics Interpretation**. Dept. of Mineral Resources, Bangkok.
- Buol, S.W., F.D. Hole and R.J. McCracken. 1989. **Soil Genesis and Classification**. 3rd ed. Iowa State Univ. Press, Ames.
- Burrough, P.A. and R.A. McDonnell. 1998. **Principles of Geographical Information Systems**. Oxford Univ. Press, New York.
- Carter, D.L. and V.J. Myers. 1963. Light Reflectance and Chlorophyll and Carotene Contents of Grapefruit Leaves as affected by Na₂SO₄, NaCl and CaCl₂. *Proc. Amer. Soc. Hort Sci.* **82**:217-221.

Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity. *In* C.A. Black (ed.). *Methods of Soil Analysis*. Chemical and Microbiological Properties. Agronomy No 9. **Amer. Soc. of Agron. Inc.**, Madison, Wisconsin, USA.

Churchman, G.J. 2000. The Alteration and formation of soil minerals by weathering, pp. F3-F76. *In* M.E. Sumner, ed. **Handbook of Soil Science**. CRC Press LLC.

Demers, M.N. 1997. **Fundamentals of Geographic Information System**. John Wiley and Sons, Inc. USA.

FAO Project Staff and Classification Division. 1973. **Soil Interpretation Handbook for Thailand**. Land Classification Division. Department of Land Development, Bangkok.

Forth, H.D. 1990. **Fundamentals of Soil Science**. 8th ed. John Wiley and Sons, Inc., New York.

Gardiner, D. and R.W.Miller. 2004. **Soil In Our Environment**. Pearson Education. Inc., Upper Saddle River, New Jersey.

Ghassemi, F., A.J.Jakeman and H.A.Nix. 1995. **Salinisation of Land and Water Resources: Human Cases, Extent, Management and Case Studies**. Centre for Resource and Environment Studies, Australia National University, Canberra, Australia.

Klute, A. 1965. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soil, *In* C.A. Black(ed.). **Methods of Soil Analysis**. Part I. Agronomy, No.9. American Society of Agronomy. Inc., Madison, Wisconsin.

Köppen, W. 1931. **Grundriss der Klimakunde**. Walter de Gruyter, Berlin.

Land Classification Division and FAO Project Staff. 1973. **Soil Interpretation Handbook for Thailand**. Dept. of Land Development, Ministry of Agriculture and Cooper., Bangkok.

- Landon, J.R. 1991. **Booker Tropical Soil Manual** : A Handbook for Soil Survey and Agricultural Land Evaluation in the Tropics and Subtropics. Paperback Edition. Booker Agricultural International Ltd., New York.
- Marshall, T.J. and J.W. Holmes. 1979. **Soil Physics**. Cambridge Unvi. Press, London.
- Michael, J.S. and D.N.Munns. 2002. **Soil an Introduction**. Upper Saddle River, New Jersey, USA.
- Miller, G.T. 2002. **Live in the Environment**. Thomson Learning, Inc.All Reserved, USA.
- Mitsuchi, M., P. Wichaidit and S. Jeunijnirund. 1989. **Soil of the Northeast Plateau Thailand**. Tech. Bull. Trop. Agr. Res. Center.
- Miura , K., T. Tulaphitak and K. Kyuma. 1992. Pedogenetic studies on some selected soils in northeast Thailand. **Soil Science and Plant Nutrition 38**.
- Murray, B.M. 1994. **Environmental Chemistry of Soils**. Oxford University Press. Inc
- National Soil Survey Center. 1996. **Soil Survey Laboratory Methods Manual**. Soil Survey Investigations Report No. 42., Version 3. Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture, Washington D.C.
- O'Neal, A.M. 1952. **Pedology** (translation from French). George Allen Unwin Ltd., London.
- Peech, M. 1945. Determinations of exchangeable cation and exchange capacity of soils rapid micromethods utilizing centrifuge and spectrophotometer.**Soil Sci. 59**:25-28.
- _____. 1965. Exchang acidity, pp. In C.A. Black (ed.). **Methods of Soil Analysis**. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Agronomy No 9. Amer. Soc. of Agron. Inc., Madison, Wisconsin, USA.

Peech, M., L.T. Alexander, L.A. Dean and J.F. Reed. 1974. **Methods of Soil Analysis for Fertility Investigation**. U.S. Dept. Agric. Cric, Madison, Wisconsin, USA.

Pramojanee, P. 1982. **A Study of the Relationship between Salt Affected Soil and Landforms in Amphoe Kham Sakae Sang Area, Nakhon Ratchssima Province, Thailand**. ITC, Enchede, The Natherland.

Ranbin, C. 1996. **Soil Salinity and Water Quality**. A.A. Balkema Publishers. Old. Post Road, Brookfield, USA.

Richard, L.A 1954. **Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soil**. US Salinity Laboratory, US Dept. Agr. Hbk. 60.

Rimwanich.S. and B.Suebsiri. 1984. Nature and Management of Problem Soils in Thailand *In Ecology and Management of Problem Soils in Asia*. FFTC. Book series No27.

Sanchez, P.A. 1976. **Properties and Management of Soils in the Tropics**. John Wiley and Sons, Inc., New York.

Sharma, A.K. 1980. **Salt-balance studies in Lam Pao irrigation project area, Northeast Thailand**. M.S. Thesis, AIT, Pathumthani, Thailand.

Sinanuwong ,S. and Y. Takaya. 1974. **Saline soil in Northeast of Thailand**. Southeast Asia Study 12 .

Singer, M.J. and D.N. Munns. 1996. **Soils: An Introduction**. 3rd ed. Prentice-Hall, Inc., New Jersey.

Soil Survey Division Staff. 1993. **Soil Survey Manual**. Handbook No. 18. United State Dept. of Agr. United State Government Printing Office, Washington D.C.

Soil Survey Staff. 1981. **Soil Survey Manual**. Conservation Service. United State Dept. of Agr. Washington D.C.

_____. 1992. **Key to Soil Taxonomy**. SMSS Technological Monograph No.19 Blackburg, Verginia.

_____. 1999. **Soil Taxonomy**: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. 2nd ed Natural Resources Conservation Science, US Dept. Arg., US Government Printing Office, Washington D.C.

Sparks, D.L. 1995. **Environment Soil Chemistry**. Academic Press, Inc. USA.

Sys, C.I. 1980. **Tropical Soil 2**. State University of Ghent. Ghent, Belgium.

Szabolcs, I. 1985. Salt affected soils as world problem,. *In Proceeding of International Symposium on Salt Affected Soils*. Bejing Agricultural University and Chinese Acadamy of Agricultural Science, Jinan, China.

_____. 1992. An overview of the salt affected lands in the world ,. *In Proceeding of International Symposium on Strategies for Utilizing Salt Affected Land*. Dept. of Land Development, Ministry of Agr. And Coop, Bangkok.

Takaya, Y., T. Hattori and P. Wichaidit. 1984. **Soil Salinzation in the Khorat Plateau**. Final Report submitted to Mekong's Secretariat. Department of Land Development, Bangkok.

Thomson, L.M. and F.R.Troeh . 1978. **Soil and Soil Fertility**. 4th ed. McGraw-Hill Inc., New York.

U.S. Salinity Laboratory Staff. 1954. **Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soil.**

Agric. Handbook. 60. U.S. Dept. Agric., Washington, D.C.

White, R.E. 1997. **Principles and Practice of Soil Science:** The Soils as a Natural Resource.

3rd ed, Black Well Science, Victoria.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ข้อมูลภูมิอากาศ (พ.ศ. 2509-2538) ของบริเวณที่ศึกษา (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2539)

	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ตลอดปี
หนองคาย													
ปริมาณน้ำฝน(มม.)	8.2	11.9	33.4	79.8	233.8	275.6	256.0	330.7	258.6	71.8	10.6	5.2	1575.6
จำนวนวันฝนตก(วัน)	1.7	2.7	5.1	7.9	16.8	19.0	20.1	22.2	18.0	8.5	1.7	0.9	124.6
ปริมาณการระเหยน้ำ(มม.)	109	116.8	152.1	178.4	151.0	118.9	115.8	102.8	114.2	121.4	118.0	109.3	1507.7
ความชื้นสัมพัทธ์(%)	68	65	63	66	78	83	84	86	83	78	71	68	74
นครพนม													
ปริมาณน้ำฝน(มม.)	3.8	26.8	46.3	99.9	241.0	423.0	476.0	610.9	257.2	69.7	7.2	4.7	2266.5
จำนวนวันฝนตก(วัน)	1.0	3.5	5.1	9.0	18.2	23.4	24.2	26.1	17.3	8.1	1.6	0.7	138.2
ปริมาณการระเหยน้ำ(มม.)	116.0	114.8	146.1	159.9	142.8	103.4	105.8	96.9	108.6	116.4	115.2	107.3	1433.2
ความชื้นสัมพัทธ์(%)	66	66	65	67	78	85	86	88	83	75	69	68	75
สกลนคร													
ปริมาณน้ำฝน(มม.)	4.1	25.7	45.9	97.6	224	269.9	267.8	367.7	211.3	73.2	6.4	6.3	1599.9
จำนวนวันฝนตก(วัน)	1.1	3.2	5	9.7	17.4	20.1	20.8	23.1	17	8.3	2	0.7	128.4
ปริมาณการระเหยน้ำ(มม.)	99.2	106.4	136.4	141	133.3	117	117.8	111.6	111	114.7	102	93.0	1383.4
ความชื้นสัมพัทธ์(%)	66	64	62	66	77	80	81	84	82	76	70	68	73
อุดรธานี													
ปริมาณน้ำฝน(มม.)	7.5	15.5	42.0	76.0	207.9	231.4	216.4	282.0	245.8	75.1	5.9	5.0	1410.5
จำนวนวันฝนตก(วัน)	1.3	2.7	4.3	7.2	16.3	17.7	18.6	20.9	17.0	8.1	1.5	0.9	116.5
ปริมาณการระเหยน้ำ(มม.)	130.4	140.3	182.2	198.7	178.6	149.0	140.2	130.8	125.5	131.6	128.7	125.0	1761.0
ความชื้นสัมพัทธ์(%)	65	62	59	63	74	78	78	81	81	75	68	66	71

ตารางผนวกที่ 2 การแบ่งกลุ่มของเนื้อดิน

คำเรียกทั่วไป		ชื่อชั้นของเนื้อดินหลัก
ดินทราย (Sandy)	เนื้อหยาบ	ได้แก่ ทรายชนิดต่างๆ ตั้งแต่ทรายหยาบมากถึง ทรายละเอียดมาก และทรายปนดินร่วนถึงทรายละเอียดมากปนดินร่วน
	เนื้อหยาบปานกลาง	ได้แก่ ดินร่วนปนทรายชนิดต่างๆ ตั้งแต่ ดินร่วนปนทรายหยาบถึงดินร่วนปนทรายละเอียด
ดินร่วน (loamy)	เนื้อปานกลาง	ได้แก่ ดินร่วนปนทรายละเอียดมาก ดินร่วน ดินร่วนปนทรายแป้ง และทรายแป้ง
	เนื้อละเอียดปานกลาง	ได้แก่ ดินร่วนเหนียว ดินร่วนเหนียวปนทราย ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง
ดินเหนียว (clayey)	เนื้อดินละเอียด	ได้แก่ ดินเหนียวปนทราย ดินเหนียวปนทรายแป้ง และดินเหนียว

ที่มา: (เอิบ, 2542ก; Soil Survey Division Staff (1993))

ตารางผนวกที่ 3 ข้อจำกัดต่างๆ ที่ใช้ในการประเมินระดับสมบัติทางเคมี และการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973; Division Staff, 1993; เอ็ม, 2542ก)

1. ปฏิกริยาของดิน (soil reaction), pH (ดิน : น้ำ = 1:1)

ระดับ (rating)	พิสัย (range)
เป็นกรดรุนแรงมากที่สุด (ultra acid)	<3.5
เป็นกรดรุนแรงมาก (extremely acid)	3.5-4.5
เป็นกรดจัดมาก (very strongly acid)	4.5-5.0
เป็นกรดจัด (strongly acid)	5.1-5.5
เป็นกรดปานกลาง (moderately acid)	5.6-6.0
เป็นกรดเล็กน้อย (slightly acid)	6.1-6.5
เป็นกลาง (neutral)	6.6-7.3
เป็นด่างเล็กน้อย (slightly alkaline)	7.4-7.8
เป็นด่างปานกลาง (moderately alkaline)	7.9-8.4
เป็นด่างจัด (strongly alkaline)	8.5-9.0
เป็นด่างจัดมาก (very strongly alkaline)	>9.0

2. อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส (bases saturation)

ระดับ (rating)	พิสัย (%)
ต่ำ (L)	<35
ปานกลาง (M)	35-75
สูง (H)	>75

3. ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC)

ระดับ (rating)	พิสัย (cmol kg ⁻¹)
ต่ำมาก (VL)	<3
ต่ำ (L)	3-5
ค่อนข้างต่ำ (ML)	5-10
ปานกลาง (M)	10-15
ค่อนข้างสูง (MH)	15-20
สูง (H)	20-25
สูงมาก (VH)	>30

4. ปริมาณเบสรวมที่สกัดได้ (extractable bases) (NH₄OAc)

ระดับ (rating)	พิสัย (cmol kg ⁻¹)				
	extr. Ca	extr. Mg	extr. K	extr. Na	extr. Bases
ต่ำมาก (VL)	<2.0	<3.0	<0.2	<0.1	<2.6
ต่ำ (L)	2-5	0.3-1.0	0.2-0.3	0.1-0.3	2.6-6.6
ปานกลาง (M)	5-10	1.0-3.0	0.3-0.6	0.3-0.7	6.6-14.3
สูง (H)	10-20	3.0-8.0	0.6-1.2	0.7-2.0	14.3-31.2
สูงมาก (VH)	>20	>8.0	>1.2	>2.0	>31.2

<u>หมายเหตุ</u>	VL	=	ต่ำมาก (Very Low)
	L	=	ต่ำ (Low)
	ML	=	ค่อนข้างต่ำ (Moderately Low)
	M	=	ปานกลาง (Medium)
	MH	=	ค่อนข้างสูง (Moderately High)
	H	=	สูง (High)
	VH	=	สูงมาก (Very High)

ตารางผนวกที่ 4 เกณฑ์การแบ่งระดับปริมาณความเป็นกรดที่สกัดได้

ระดับ (rating)	ปริมาณความเป็นกรดที่สกัดได้ (cmol kg ⁻¹)
ต่ำมาก	<1.2
ต่ำ	1.0-2.0
ปานกลาง	2.0-5.0
ค่อนข้างสูง	5.0-10.0
สูง	10.0-20.0
สูงมาก	>20.0

ที่มา: นงคราญ (2529)

ตารางผนวกที่ 5 เกณฑ์การแบ่งระดับความหนาแน่นรวมของดิน

ระดับ (rating)	ความหนาแน่น (Mg m ⁻³)
ต่ำ	<1.2
ค่อนข้างต่ำ	1.2-1.4
ปานกลาง	1.4-1.6
ค่อนข้างสูง	1.6-1.8
สูง	1.8-2.0
สูงมาก	>2.0

ที่มา: นงคราญ (2529)

ตารางผนวกที่ 6 ระดับชั้นของค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำของดินอิ่มตัวด้วยน้ำ

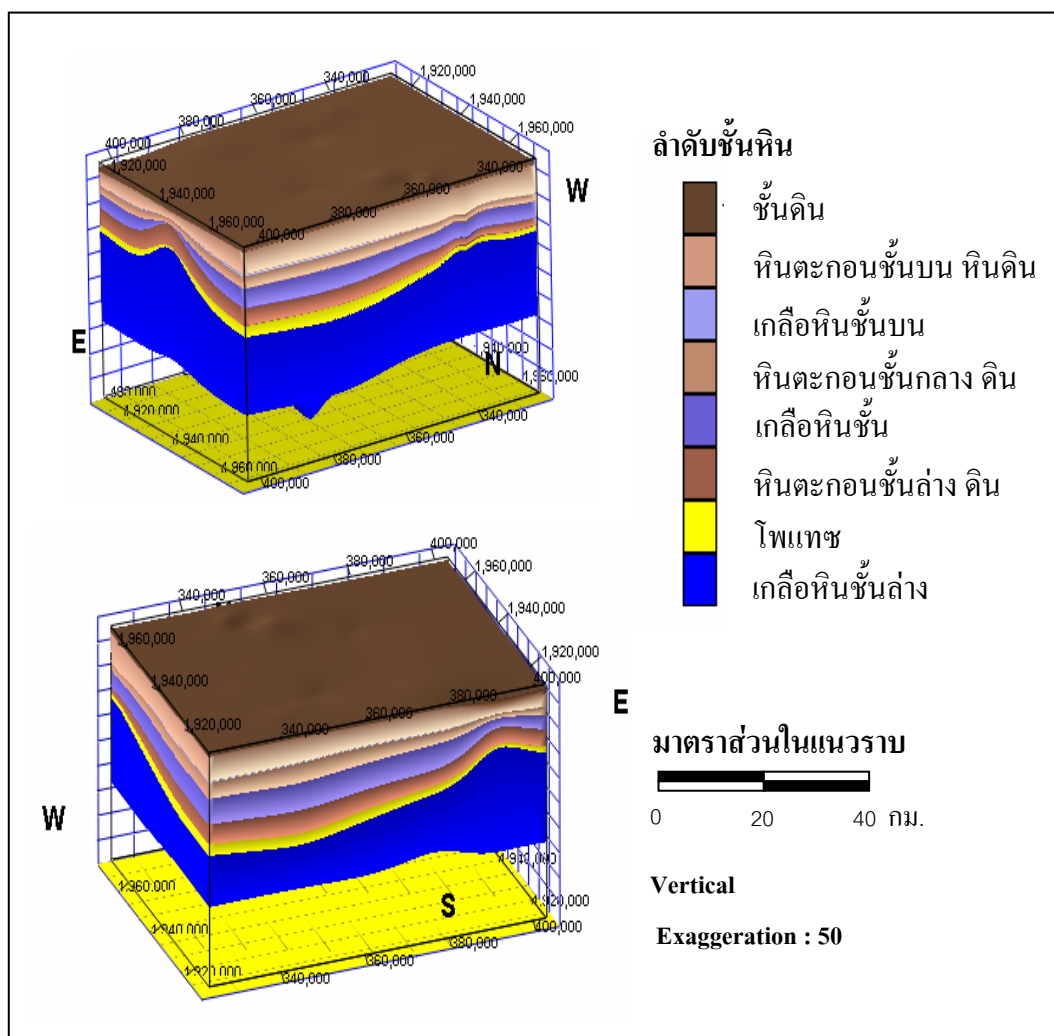
ระดับชั้น	ค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำ ของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (cm hr^{-1})
ช้ามาก (very slow)	<0.125
ช้า (slow)	0.125-0.50
ช้าปานกลาง (Moderately slow)	0.50-2.00
ปานกลาง (Moderately)	2.00-6.25
เร็วปานกลาง (Moderately rapid)	6.25-12.50
เร็ว (rapid)	12.50-25.00
เร็วมาก (very rapid)	>25.00

ที่มา : O'Neal (1952)

ตารางผนวกที่ 7 สมบัติของดินทั่วไปเปรียบเทียบกับดินเค็ม ดิน โซดิก และดินเค็มโซดิก

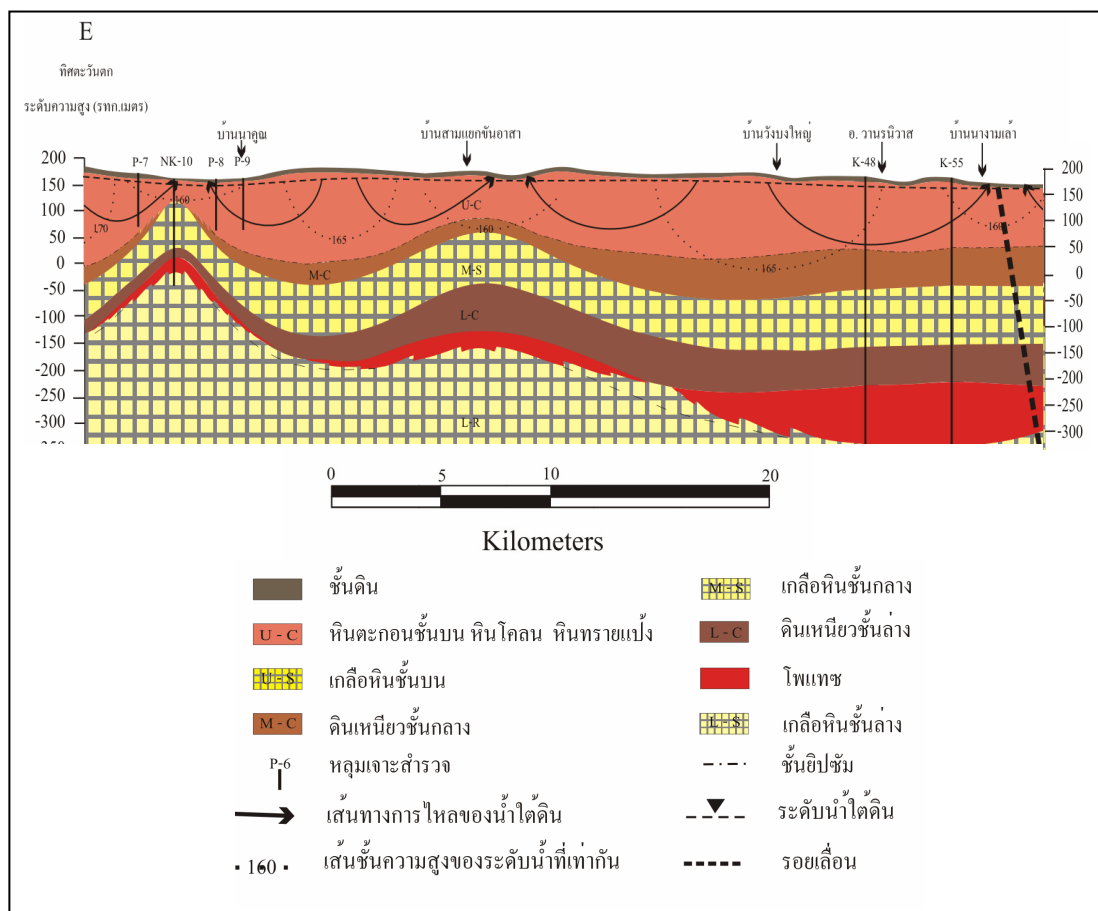
Soil	pH	Electrical Conductivity EC(dSm^{-1})	Sodium Absorption Ration (SAR)
Normal	6.7-7.2	<4	<13-15
Saline	<8.5	>4	<13-15
Sodic	>8.5	<4	>13-15
Saline-Sodic	<8.5	>4	>13-15

ที่มา: Brady and Weil, (1999)



ภาพผนวกที่ 1 ลำดับชั้นหินในแอ่งสกลนคร

ที่มา : กรมทรัพยากรธรณี (2547)



ภาพผนวกที่ 2 ภาพตัดขวางแสดงแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ธรณีวิทยา และอุทกธรณีวิทยา
ในแนวทิศตะวันตก-ตะวันออก ของแอ่งสกลนคร

ที่มา : กรมทรัพยากรธรณี (2547)