

ผลของโซเดียมเบนทอนไนด์ต่อสมบัติทางเคมีของดินตามแนววางท่อส่งก๊าซธรรมชาติ

Effects of Na-bentonite on Soil Chemical Properties in Natural Gas Pipeline Rights of Way

ธมลวรรณ คงไชย¹ ณัฐพล จิตมัตย์^{1*} เสาวนุช ทาวรพฤกษ์¹ ดาวจรัส เกตุโรจน์¹

สุรเชษฐ์ อร่ามรักษ์¹ และ กิตติพงษ์ ทรงรักษ์เกียรติ²

Thamonwan Khongchai¹, Natthapol Chittamart^{1*}, Saowanuch Tawornpruek¹, Daojarus Ketrot¹,
Surachet Aramrak¹ and Kittiphong Songrukkiat²

¹ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

¹Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

²ฝ่ายสนับสนุนโครงการและการจัดการสิ่งแวดล้อม บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) กรุงเทพฯ 10900

²Project Environmental Management Department, PTT Public Company Limited, Bangkok 10900, Thailand

*Corresponding author: Email: fagmpc@ku.ac.th

(Received: 18 October 2019; Accepted: 10 March 2020)

Abstract: Sodium bentonite (NaB) is a lubricant used in the horizontal directional drilling (HDD) to penetrate through obstacles for constructing natural gas pipelines which cause bentonite contaminated in natural soils in the construction site. This contaminant may affect the change in soil chemical properties. Therefore, the studies on the effects of NaB on soil chemical properties in natural gas pipeline rights of way was carried out to evaluate its effect on agricultural soil properties. The experiment was studied in three acid sulfate soils and three normal soils collected from the natural gas pipeline from Rayong to Nonthaburi. The acid sulfate soils with the presence of sulfuric horizons were Sena series (Se) and Ongkharuk series (Ok). The acid sulfate soils containing the sulfidic horizons was locally named as Bang Nam Priao series (Bp), whereas the normal soils were Sattahip (Sh), Satuk (Suk) and Huai Pong (Hp). The soil samples were artificially contaminated with NaB and incubated with the ratios (NaB:soil) of 1:10, 2:10, 3:10, 4:10, 5:10, 6:10, 7:10, 8:10, 9:10 and 10:10, respectively. After incubation for two weeks, the soils were analyzed for their pH, effective electrical conductivity (EC_e), exchangeable sodium percentage (ESP), sodium adsorption ratio (SAR), cation exchange capacity (CEC) and exchangeable sodium (exch. Na). The results showed that increasing NaB significantly increased with pH, CEC, ESP and SAR of acid sulfate soils, as well as significantly raised EC_e , CEC, ESP and SAR of normal soils. Furthermore, NaB rates had and exponentially correlated with soil chemical properties especially pH ESP and SAR for acid sulfate and normal soils. Our results imply that the NaB can alter agricultural soil properties, especially ESP and SAR. These soil parameters need further management to yield the normal range when the contamination ratio of NaB to soil of 1:10 occurs.

Keywords: Soil chemical properties, acid sulfate soil, Na-bentonite, soil in natural gas pipeline rights of way

บทคัดย่อ: โซเดียมเบนโทไนต์เป็นวัสดุหล่อลื่นหัวเจาะลดสิ่งกีดขวางสำหรับการวางท่อส่งก๊าซธรรมชาติ ซึ่งทำให้โซเดียมเบนโทไนต์ปะปนอยู่ในดินธรรมชาติซึ่งอาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดิน จึงทำการศึกษาผลของโซเดียมเบนโทไนต์ต่อสมบัติทางเคมีของดินตามแนววางท่อส่งก๊าซธรรมชาติเพื่อประเมินผลต่อสมบัติของดินทางการเกษตร โดยเลือกตัวแทนชุดดินจากสองกลุ่มดินคือดินเปรี้ยวจัดและดินทั่วไปตามแนวท่อก๊าซธรรมชาติจากจังหวัดระยองถึงนนทบุรี โดยมีดินเปรี้ยวจัดจำนวน 3 ชุดดิน ได้แก่ ชุดดินเสนา (Se) ชุดดินองครักษ์ (Ok) และชุดดินบางน้ำเปรี้ยว (Bp) และมีกลุ่มดินปกติจำนวน 3 ชุดดิน ได้แก่ ชุดดินสติก (Suk) ชุดดินห้วยโป่ง (Hp) และชุดดินสัดหีบ (Sh) ทำการจำลองการปนเปื้อนโซเดียมเบนโทไนต์โดยการบ่มดินในสัดส่วนโซเดียมเบนโทไนต์ต่อดินเท่ากับ 1:10, 2:10, 3:10, 4:10, 5:10, 6:10, 7:10, 8:10, 9:10, 10:10 เป็นเวลา 2 สัปดาห์ แล้วทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน ได้แก่ ค่า pH, ค่าการนำไฟฟ้าขณะดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (EC_e), ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC), อัตราร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ (ESP), อัตราส่วนการดูดซับโซเดียม (SAR), และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exch. Na) วิเคราะห์สหสัมพันธ์ของข้อมูล ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มสัดส่วนโซเดียมเบนโทไนต์ทำให้ค่า pH, CEC, ESP และ SAR ในดินเปรี้ยวจัดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และทำให้ค่า EC_e , CEC, ESP และ SAR ในกลุ่มดินปกติ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ อัตราโซเดียมเบนโทไนต์มีสหสัมพันธ์เชิงบวกแบบเอกโพเนนเชียลกับ pH ESP และ SAR ในกลุ่มดินเปรี้ยวและดินปกติ ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าโซเดียมเบนโทไนต์ทำให้สมบัติดินทั้งในดินเปรี้ยวจัดและดินปกติเปลี่ยนแปลงเข้าใกล้สมบัติของเบนโทไนต์โดยเฉพาะ ESP และ SAR ซึ่งจำเป็นต้องมีการจัดการหากมีการปนเปื้อนเบนโทไนต์ในพื้นที่ในสัดส่วนโซเดียมเบนโทไนต์ต่อดินตั้งแต่ 1:10 ขึ้นไป

คำสำคัญ: ดินเปรี้ยวจัด โซเดียมเบนโทไนต์ สมบัติทางเคมีของดิน ดินตามแนววางท่อก๊าซธรรมชาติ

คำนำ

โซเดียมเบนโทไนต์เป็นวัสดุที่ใช้สำหรับการวางท่อส่งก๊าซธรรมชาติในขั้นตอนการเจาะลด (horizontal directional drilling: HDD) ซึ่งเป็นวิธีที่จะต้องใช้เครื่องชุดเจาะขนาดใหญ่ในการเจาะลดสิ่งกีดขวางเช่น แม่น้ำหรือถนน โดยโซเดียมเบนโทไนต์เป็นวัสดุสำหรับหล่อลื่นหัวเจาะและเคลือบผนังท่อที่ชุดเจาะ รวมทั้งเคลือบช่องดินที่เจาะไม่ให้ทรุดตัวภายหลังดึงท่อก๊าซธรรมชาติผ่านช่องเจาะ (Chunlapan, 2001) สารโซเดียมเบนโทไนต์ที่ใช้จะอยู่ในรูปของไหล (fluid) ซึ่งเตรียมโดยใช้ผงโซเดียมเบนโทไนต์ผสมกับน้ำในอัตราที่กำหนด จะได้โซเดียมเบนโทไนต์ที่สามารถพองตัวและมีลักษณะคล้ายดินโคลน (Uresk and Yamamoto, 1986)

โซเดียมเบนโทไนต์มีรูปผลึกแบบโมโนคลินิก ลักษณะเนื้อเหมือนดินหรือเป็นฝุ่น ละเอียดคล้ายดิน มีสีขาวเทาออกเหลือง ความวาวแบบดิน ความแข็ง 1-2 ซึ่งจัดว่าอ่อนมาก น้ำหนักเบา ทึบแสงเพราะอนุภาคเล็กมาก

(Department of Mineral Resources, 2007.) มีแร่ดินเหนียวประเภท 2:1 กลุ่มสเมกไทต์ (smectite group) อยู่ในปริมาณมากและมีสมบัติในยึด-หดตัวสูง สามารถพองตัวด้วยน้ำได้ (shrink-swelling property) ทำให้ใช้เป็นสารหล่อลื่นได้เป็นอย่างดี และยังมีสมบัติแบบซีโอไลต์ (zeolitic property) คือ สามารถแลกเปลี่ยนและดูดซับไอออนหรือโมเลกุลต่าง ๆ ได้ (Meesuk *et al.*, 2000) เนื่องจากความสามารถในการแทนที่ของอะตอมประจุไฟฟ้าบวกด้วยธาตุที่มีวาเลนซ์ต่ำกว่า เช่น การแทนที่ของ Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} หรือ H^+ ใน Si^{4+} และ Al^{3+} รวมทั้งการมีพื้นผิวสัมผัสต่อปฏิกิริยาทางเคมีมาก มีความสามารถสูงในการแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้าบวก ความสามารถในการดึงดูดน้ำเข้ามาเป็นส่วนประกอบหนึ่งของโมเลกุลทำให้น้ำคงอยู่ในดินได้เป็นระยะเวลานาน และความสามารถในการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมกการไหลของของเหลว ทำให้โซเดียมเบนโทไนต์มีประสิทธิภาพในการช่วยเพิ่มความหนืดและเกิดการพองตัวกลายเป็นเจล (Inglethorpe *et al.*, 1993)

ปี พ.ศ. 2558 คณะกรรมการพลังงานแห่งชาติ (กพช.) มีมติเห็นชอบให้วางระบบท่อส่งก๊าซธรรมชาติเพื่อรองรับความต้องการที่สูงขึ้นอย่างยั่งยืน โดยมีบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) เป็นผู้ดำเนินการ การขุดเจาะเพื่อวางท่อส่งก๊าซธรรมชาติบนบกเส้นที่ 5 ระยะทาง 415 กิโลเมตร มีวัตถุประสงค์เพื่อเสริมสร้างความมั่นคงของระบบโครงข่ายก๊าซธรรมชาติ ระบบท่อส่งก๊าซในปัจจุบันและเพิ่มกำลังการส่งก๊าซธรรมชาติจากฝั่งตะวันออกไปยังโครงข่ายระบบท่อส่งก๊าซธรรมชาติฝั่งตะวันตก จัดส่งก๊าซธรรมชาติ ให้แก่ โรงไฟฟ้าบางปะกง โรงไฟฟ้าวังน้อย โรงไฟฟ้าพระนครเหนือ และโรงไฟฟ้าพระนครใต้ และเพื่อเชื่อมโยงระบบกับโครงข่ายระบบท่อส่งก๊าซธรรมชาติที่มีอยู่เดิม โดยพาดผ่านพื้นที่ทั้งหมด 8 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดระยอง ชลบุรี ฉะเชิงเทรา ปราจีนบุรี กรุงเทพมหานคร ปทุมธานี พระนครศรีอยุธยา และนนทบุรี โดยเส้นทางดังกล่าวมีดินหลากหลายชนิด หนึ่งในนั้นคือ ดินเปรี้ยวจัด ซึ่งจัดเป็นดินที่มีปัญหาเนื่องจากเมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแร่ไพไรต์จะทำให้เกิดกรดกำมะถัน ดินมีความเป็นกรดรุนแรง สภาพกรดจัดส่งผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช การเจริญเติบโตของพืช ความเป็นพิษของธาตุโลหะ (Attanandana, 2007; Ljung *et al.*, 2009) ซึ่งการวางท่อก๊าซผ่านพื้นที่ดังกล่าวอาจส่งผลต่อการทำการเกษตรในปัจจุบันได้ นอกจากนี้เบนโทไนด์ที่มีโซเดียมไฮดรอกไซด์และมีความเป็นด่างสูงหากตกค้างในดินมากเกินไป อาจทำให้ดินมีลักษณะคล้ายดินที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือที่มีปริมาณโซเดียมแลกเปลี่ยนได้สูง (Voorhees, 1986) และเมื่อดินเปียกจะมีลักษณะคล้ายดินเหนียวสามารถดูดซับน้ำและอุ้มน้ำได้มาก ซึ่งอาจเกิดความจำเป็นของพืชในการใช้ประโยชน์ แต่เมื่อดินแห้งจะทำให้ดินหดตัวเป็นผลทำให้เกิดแผ่นแข็งที่ผิวดิน (surface crusting) และทำให้ความสามารถในการขนไซหาอาหารของรากพืชลดลง (Schuman *et al.*, 1994) นอกจากนี้พืชอาจได้รับผลกระทบจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ละลายออกมา (Dollhopf and Bauman, 1981) หากมีการปนในดินธรรมชาติ จึงจำเป็นต้องหาแนวทางป้องกันผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น และหาแนวทางปรับปรุงดินปนเปื้อนโซเดียมเบนโทไนด์ที่เหลือจากการขุดเจาะ ดังนั้นการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของโซเดียมเบนโทไนด์ต่อการ

เปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดิน ตามแนวท่อส่งก๊าซธรรมชาติบนบกเส้นที่ 5 ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษานี้จะเป็นต้นแบบในการแก้ไขปัญหาและนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อวางแผนลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้ประโยชน์โซเดียมเบนโทไนด์ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์และเคมี

ดินที่ใช้ศึกษาเป็นตัวแทนชุดดินที่อยู่ตามแนวท่อส่งก๊าซธรรมชาติ จำนวน 6 ชุดดิน โดยเป็นตัวแทนของดินที่มีลักษณะดินครอบคลุมตลอดทั้งแนวท่อก๊าซ เนื่องจากดินมีลักษณะแตกต่างกันทั้งทางกายภาพและทางเคมี จึงแบ่งลักษณะดินออกเป็น 2 กลุ่มคือ 1) กลุ่มดินเปรี้ยวจัดจำนวน 3 ชุดดิน ได้แก่ ชุดดินเสนา (Se) ชุดดินองครักษ์ (Ok) และชุดดินบางน้ำเปรี้ยว (Bp) และ 2) กลุ่มดินปกติจำนวน 3 ชุดดิน ได้แก่ ชุดดินสติก (Suk) ชุดดินห้วยโป่ง (Hp) และชุดดินสัดหีบ (Sh) โดยสถานที่เก็บตัวอย่างดินแสดงรายละเอียดใน Table 1 เก็บตัวอย่างโดยใช้สวิงเจาะดินลึก 2 เมตร ตามชั้นกำเนิดดิน และทำการแบ่งตัวอย่างชั้นดินออกเป็นดินบน (0-100 เซนติเมตร, topsoil) และดินล่าง (100-200 เซนติเมตร, subsoil) ซึ่งแบ่งตามระดับความลึกที่ขุดวางท่อก๊าซ นำตัวอย่างดินที่ได้ไปผึ่งแห้งในที่ร่ม หลังจากนั้นนำไปบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร ทำการวิเคราะห์สมบัติดินทางฟิสิกส์และเคมีตามวิธีมาตรฐาน (National Soil Survey Center, 1996) ประกอบด้วย การแจกกระจายขนาดอนุภาคดิน โดยวิธี pipette method พีเอชดิน (soil pH) โดยใช้ pH meter อัตราส่วนดินต่อน้ำเท่ากับ 1:1 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (organic matter) โดยวิธี Wet digestion and titration และวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้าจากสารละลายที่สกัดจากดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (electrical conductivity at saturation extract, EC_s) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสด้วยเครื่อง EC meter ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity, CEC) โดยวิธี 1M NH₄OAc pH 7.0 และปริมาณเบสที่สกัดได้โดยวิธี 1M NH₄OAc pH 7.0 และวัดปริมาณด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (AAS) อัตราส่วนการดูดซับโซเดียม

Table 1. Soil sampling sites

Soil series	Elevation and coordinates	Location	Land use
Acid sulfate soils			
Sena (Se)	22 m. AMSL, 47P 0669874E, 1531555N	Wang Noi district, Phra Nakhon Si Ayutthaya province	Paddy rice cultivation
Ongkharak (Ok)	-7 m. AMSL, 47P 0697268E, 1571995N	Bueng Ka Sam subdistrict, Nong Suea district, Pathum Thani province	Paddy rice cultivation
Bang Nam Priao (Bp)	12 m. AMSL, 47P 0703210E, 1543494N	Lam Sai subdistrict, Lam Luk Ka district, Pathum Thani province	Paddy rice cultivation
Normal soils			
Satuk (Suk)	54 m. AMSL, 47P 0753762E, 1475160N	Tha Bun Mi subdistrict, Ko Chan district, Chon Buri province	Cassava planting
Huai Pong (Hp)	47 m. AMSL, 47P 0738261E, 1413869N	Map Kha subdistrict, Nikhom Phatthana district, Rayong province	Cassava planting
Sattahip (Sh)	14 m. AMSL, 47P 0736119E, 1404079N	Noen Phra subdistrict, Mueang Rayong district, Rayong province	Sugarcane planting

(sodium adsorption ratio, SAR) ได้จากการนำสารละลายดินที่สกัดจากดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated extract) ไปหาปริมาณโซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียมแลกเปลี่ยนได้ ด้วยเครื่อง AAS แล้วนำค่าดังกล่าวมาคำนวณตามสูตร (ก) ปริมาณร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable sodium percentage, %ESP) โดยการนำค่าโซเดียมแลกเปลี่ยนได้และค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนมาคำนวณตามสูตร (ข)

(ก) อัตราส่วนการดูดซับโซเดียม (sodium adsorption ratio, SAR)

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

ข) ปริมาณร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable sodium percentage, %ESP)

$$ESP(\%) = \frac{\text{exchangeable Na (cmolc kg}^{-1}\text{)}}{\text{cation exchange capacity (cmolc kg}^{-1}\text{)}} \times 100$$

การวิเคราะห์ผลของโซเดียมเบนทอไนต์ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดิน

การศึกษาค้นคว้าของโซเดียมเบนทอไนต์ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดิน โดยนำตัวอย่างดินทั้ง 6 ชุดดิน มาบ่มกับโซเดียมเบนทอไนต์ ในอัตราส่วนโซเดียมเบนทอไนต์ต่อดินเท่ากับ 1:10, 2:10, 3:10, 4:10, 5:10, 6:10, 7:10, 8:10, 9:10, 10:10 ซึ่งเป็นอัตราจำลองการปนเปื้อนของเบนทอไนต์ในดินจากน้อยไปหามาก ผสมให้เข้ากันและบ่มไว้ที่ความชื้นสนาม เป็นเวลา 2 สัปดาห์ หลังจากบ่มดินแล้ว อบให้แห้ง (อุณหภูมิ 60

องศาเซลเซียส) (Chittamart *et al.*, 2018) เพื่อวิเคราะห์ค่า pH, EC_e , CEC, SAR, ESP และ exchangeable Na เพื่อนำมาสร้างกราฟหาสหสัมพันธ์ด้วย linear equation และ exponential function

โซเดียมเบนทอนไนด์ (Table 2) ที่ใช้ในการศึกษามีค่าพีเอชเป็นด่างรุนแรงมาก มีค่าการนำไฟฟ้า (EC_e) ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) สูงมาก มีปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียมและโพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable Ca, Mg, Na และ K) มีค่า 31.13, 7.73, 53.94 และ 0.72 เซนติโมลต่อกิโลกรัมตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง ค่าสัดส่วนการดูดซับโซเดียม (SAR) สูงมาก และร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ (ESP) ในระดับสูงมาก

ผลการทดลอง

สมบัติทางฟิสิกส์ของดิน

ดินที่ทำการศึกษามีสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของดินทั้งสองกลุ่มผันแปรไปตามวัตถุดิบกำเนิดดิน โดยดินเปรี้ยวจัดเป็นกลุ่มดินที่มีลักษณะเนื้อดินอยู่ในกลุ่มดินเนื้อละเอียดในชั้นดินบน และกลุ่มดินเนื้อละเอียดปานกลางถึงละเอียดในชั้นดินล่าง ส่วนกลุ่มดินปกติมีลักษณะเนื้อดินอยู่ในกลุ่มดินเนื้อหยาบถึงละเอียดในชั้นดินบน และกลุ่มดินเนื้อหยาบปานกลางถึงเนื้อละเอียดในชั้นดินล่าง เพื่อให้ครอบคลุมทุกกลุ่มเนื้อดินตลอดแนวทอสงภัทธรรมชาติ ซึ่งผลจากการวิเคราะห์การแจกกระจายขนาดอนุภาคดิน (Table 3) พบว่า ชุดดินเสนา (Se) ชุดดิน

องครักษ์ (Ok) และชุดดินบางน้ำเปรี้ยว (Bp) มีเนื้อดินเป็นดินเหนียวถึงเหนียวปนทรายแป้งในชั้นดินบน และมีเนื้อดินเหนียวถึงร่วนเหนียวในชั้นดินล่าง ซึ่งจากสภาพพื้นที่ของดินที่ทำการศึกษาเป็นที่ลุ่มต่ำในบริเวณที่ราบน้ำทะเลเคยท่วมถึง มีวัตถุดิบกำเนิดดินเป็นตะกอนน้ำกร่อยและตะกอนน้ำทะเล การที่มีชั้นดินเป็นดินเนื้อละเอียด ทำให้ดินมีความพรุนน้อย มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง มีตะกอนชนิดใหม่มาทับถมบนตะกอนเดิมโดยกระบวนการสะสมบนผิวหน้า (cumulization) แสดงถึงการทับถมของวัตถุดิบกำเนิดดินที่มีพัฒนาการทางโครงสร้างและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีน้อย (Buol *et al.*, 2011; Kheoruenromne, 2007) ส่วนชุดดินสติก (Suk) ชุดดินห้วยโป่ง (Hp) และชุดดินสัดหีบ (Sh) มีเนื้อดินเป็นดินทรายปนร่วน ดินเหนียวปนทราย และดินร่วนปนทรายตามลำดับ ในชั้นดินบน และมีเนื้อดินร่วนเหนียวปนทรายดินเหนียว และดินร่วนปนทราย ตามลำดับ ในชั้นดินล่าง เนื่องมาจากการที่ดินมีวัตถุดิบกำเนิดดินเป็นวัสดุตกค้าง (residuum) ของหินแกรนิตและหินตะกอนเนื้อหยาบ ทำให้สลายตัวเกิดเป็นดินที่มีเนื้อดินค่อนข้างหยาบในชั้นดินบนเป็นส่วนใหญ่ (Kheoruenromne, 2005)

สมบัติทางเคมีของดิน

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน (Table 3) พบว่า ชุดดินเสนา (Se) และชุดดินองครักษ์ (Ok) มีค่าพีเอชเป็นกรดรุนแรงมากในดินชั้นบน (pH 3.6-3.9) และเป็นกรดรุนแรงมากที่สุดที่ดินชั้นล่าง (pH 2.68-2.98) ซึ่งเป็นลักษณะของดินเปรี้ยวจัดที่มีกรดกำมะถันปริมาณมาก โดยเฉพาะในชั้นวัตถุดิบกำเนิดดินมีค่าพีเอชต่ำกว่า 3.0

Table 2. Composition of the Na-bentonite used in the experiment

Properties	Values
pH (Na-Bentonite:H ₂ O=1:10)	9.54
EC_e (dS m ⁻¹)	0.82
CEC (cmol kg ⁻¹)	71.2
Exchangeable Na (cmol _c kg ⁻¹)	53.9
Exchangeable Ca (cmol _c kg ⁻¹)	31.1
Exchangeable Mg (cmol _c kg ⁻¹)	7.73
Exchangeable K (cmol _c kg ⁻¹)	0.72
SAR	29.9
ESP (%)	75.9

Table 3. Physicochemical properties of the studied soils

Soil series	Soil horizon	pH 1:1 (Soil:H ₂ O)	EC _e dS m ⁻¹	OM (g kg ⁻¹)	SAR	ESP (%)	CEC (---cmol _c kg ⁻¹ ---)	Exch.Na (-----g kg ⁻¹ -----)	Sand	Silt	Clay	Texture
Acid sulfate soils												
Se	topsoil	3.60	3.01	16.0	3.54	7.57	28.4	2.21	57	361	582	Clay
	subsoil	2.98	6.97	47.1	1.71	3.54	31.7	1.10	139	411	450	Silty clay
Ok	topsoil	3.90	2.11	43.9	1.44	2.71	28.5	0.77	31	439	530	Silty clay
	subsoil	2.68	9.81	80.2	0.55	0.99	36.1	0.36	227	441	332	Clay loam
Bp	topsoil	5.10	2.02	15.9	4.59	9.82	31.3	3.07	48	371	581	Clay
	subsoil	6.75	2.75	7.9	10.56	15.49	29.6	4.59	49	315	636	Clay
Normal soils												
Suk	topsoil	4.94	0.70	2.6	1.89	16.5	1.33	0.16	807	114	79	Loamy sand
	subsoil	5.47	0.19	1.6	1.05	21.0	4.25	0.30	657	139	204	Sandy clay loam
Hp	topsoil	4.44	0.09	10.7	0.62	18.0	1.50	0.28	561	78	361	Sandy clay
	subsoil	4.81	0.21	3.5	1.50	8.1	4.50	0.37	420	145	436	Clay
Sh	topsoil	7.32	0.70	5.2	2.90	12.9	5.37	0.35	755	130	115	Sandy loam
	subsoil	4.63	0.62	1.0	4.27	25.9	3.75	0.51	7762	134	104	Sandy loam

ส่วนชุดดินบางน้ำเปรี้ยว (Bp) มีค่าพีเอชดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกลาง (pH 5.1-6.75) เนื่องจากเป็นชุดดินที่ยังอยู่ในสภาพที่มีน้ำขัง มีวัสดุซัลไฟด์ที่ยังไม่ได้ถูกออกซิไดส์และยังไม่เกิดกรดกำมะถัน จัดเป็นดินที่มีศักยภาพที่จะเป็นดินเปรี้ยวจัด ค่าการนำไฟฟ้าในขณะที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (EC_e) มีค่าค่อนข้างสูงในชั้นดินบนของทุกชุดดิน (2.02-3.01 เดซิซีเมนต่อเมตร) ซึ่งอยู่ในระดับความเค็มน้อย และอาจมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชไม่ทนเค็ม (FAO, 1976) และสูงมากในชั้นดินล่างของชุดดินเสนาและชุดดินองครักษ์ (6.97-9.81 เดซิซีเมนต่อเมตร) เนื่องจากตะกอนดินตอนล่างเป็นตะกอนทะเลเก่า ซึ่งมีไอออนที่นำไฟฟ้าได้ดีสะสมในปริมาณสูง โดยเฉพาะในสภาวะที่เป็นกรดจัด ปริมาณอินทรีย์วัตถุมีค่าอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง (15.9-43.9 กรัมต่อกิโลกรัม) ในชั้นดินบนและมีค่าสูงมากในชั้นดินล่างของชุดดินชุดดินเสนาและชุดดินองครักษ์ (47.1-80.2 กรัมต่อกิโลกรัม) เนื่องจากเป็นชั้นวัตถุต้นกำเนิดดิน มีลักษณะเป็นชั้นดินเลนที่มีการสะสมเศษซากพืชจากตะกอนทะเลเก่า ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) มีค่าอยู่ในระดับสูงถึงสูงมาก (28.4-36.1 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) สอดคล้องกับลักษณะของเนื้อดินที่มีเนื้อดินละเอียด มีแร่องค์ประกอบ

เป็นแร่ดินเหนียวประเภท 2:1 และมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในระดับปานกลางถึงสูงมาก

กลุ่มดินปกติมีค่าพีเอชอยู่ในพิสัย 4.44-7.32 คืออยู่ในระดับที่เป็นกรดจัดถึงเป็นกลาง การที่ดินส่วนใหญ่มีค่าพีเอชอยู่ในระดับที่เป็นกรด เกิดจากดินมีวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นวัสดุตกค้าง (residuum) ของหินแกรนิต เมื่อสลายตัวจะให้ดินที่มีค่าพีเอชเป็นกรด โดยทั่วไปความอุดมสมบูรณ์ของดินค่อนข้างต่ำ ค่าการนำไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ คืออยู่ในพิสัย 0.09-0.70 เดซิซีเมนต่อเมตร ปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในพิสัย 1.0-10.7 กรัมต่อกิโลกรัม คืออยู่ในระดับต่ำถึงต่ำมาก ซึ่งเป็นลักษณะของดินที่ไม่ได้รับอินทรีย์วัตถุเพิ่มเติมมากพอ ประกอบกับอัตราการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดินบนของภูมิอากาศในเขตร้อนเป็นไปอย่างรวดเร็ว การชะละลายลงไประสมในชั้นดินล่างจึงน้อย (Sanchez, 2019) ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับต่ำถึงต่ำมาก (1.33-5.37 เซนติโมลต่อกิโลกรัม)

ค่าสัดส่วนการดูดซับโซเดียม (SAR) ของทั้งสองกลุ่มดินมีค่าอยู่ในพิสัย 0.55-10.56 ซึ่งไม่จัดว่าเป็นดินที่ได้รับอิทธิพลจากโซเดียม และมีค่าร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ (ESP) อยู่ในร้อยละพิสัยเท่ากับ 0.99-25.9

ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูงในชุดดินบางน้ำเปรี้ยว (Bp) ชุดดิน สดัก (Suk) ชุดดินห้วยโป่ง (Hp) และชุดดินสัดหีบ (Sh) แสดงถึงค่าก่อกวนที่อาจทำให้เกิดดินโซดิกในระดับที่ อันตรายเล็กน้อยถึงปานกลาง เนื่องมาจากชุดดินดังกล่าว อยู่ในบริเวณที่ราบลุ่มน้ำทะเลท่วมถึง มีน้ำขังหรือระดับ น้ำอยู่ใกล้ผิวดินตลอดทั้งปี ดังนั้นในชั้นดินตอนล่างหรือ ชั้นวัตถุต้นกำเนิดดินจึงได้รับอิทธิพลของน้ำทะเลซึ่งมีการ สะสมเกลือโซเดียมมาก ปริมาณโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ สอดคล้องกับค่า SAR และ ESP คือมีค่าอยู่ในพิสัย 0.11- 4.59 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และมีปริมาณสูงมากในชุดดิน บางน้ำเปรี้ยว (Bp)

ผลของโซเดียมเบนโทไนต์ต่อการเปลี่ยนแปลง สมบัติทางเคมีของดิน

เมื่อทำการบ่มดินที่ทำการศึกษาทองกลุ่มดิน ด้วยโซเดียมเบนโทไนต์ในอัตราส่วนโซเดียมเบนโทไนต์ ต่อดินเท่ากับ 1:10, 2:10, 3:10, 4:10, 5:10, 6:10, 7:10, 8:10, 9:10 และ 10:10 ผลการศึกษาพบว่า ในกลุ่มดิน เปี้ยวจัด ค่าพีเอชของดินมีความสัมพันธ์ของข้อมูลใน ลักษณะ exponential function คือมีการเพิ่มขึ้นของค่าพี เอชตามอัตราโซเดียมเบนโทไนต์และมีแนวโน้มคงที่จนถึง อัตราสุดท้าย (1:1) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการ ตัดสินใจ (coefficient of determination, R^2) อยู่ในพิสัย 0.99-1 ยกเว้นในชั้นดินล่างของชุดดินองครักษ์ (Ok)

($R^2=0.92$) และชุดดินเสนา (Se) ($R^2=0.98$) (Figure 1a) ที่ มีความสัมพันธ์ของข้อมูลในลักษณะเส้นตรง เนื่องจากดิน มีความเป็นกรดรุนแรงมากที่สุด และมีค่าความต้านทาน การเปลี่ยนแปลงพีเอชสูง (pH buffering capacity) ทำให้ การเพิ่มขึ้นของค่าพีเอชเป็นไปได้ยาก โดยการเพิ่มขึ้นของ ค่าพีเอช เป็นผลมาจาก Na^+ ของโซเดียมเบนโทไนต์ที่ดูด ชั้บอยู่ที่ผิวคอลลอยด์ดินทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับน้ำ เกิดเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ซึ่งมีฤทธิ์เป็นด่างแก่ จึงทำให้ดินมีปฏิกิริยาเป็นด่าง (Bloom and Skyllberg, 2012) และมีพีเอชสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าโซเดียมเบนทอ ไนต์สามารถยกระดับค่าพีเอชของดิน และลดความเป็น กรดของดินได้ จากความเป็นกรดรุนแรงมากถึงกรด เล็กน้อย (4.11-6.18 (pH 1:5)) ของดินกลุ่มนี้ ทำให้ความ เป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชหลายชนิดลดลง เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และยังมีข้อจำกัดเรื่องความเป็นพิษ ของ เหล็ก อะลูมิเนียม และแมงกานีส ส่งผลต่อการ เจริญเติบโตและผลผลิตของพืชที่ปลูก ดังนั้นการยกระดับ พีเอชของดินด้วยโซเดียมเบนโทไนต์ที่สัดส่วนโซเดียมเบน ทอไนต์ 30 กรัมต่อดิน 100 กรัม ของชุดดินเสนาและ องครักษ์ ทำให้ดินมีพีเอชในช่วงกรดเล็กน้อยถึงเป็นกลาง (6.0-7.0) ส่งผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร ต่าง ๆ ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของ พืช (Lesturgez et al., 2006) ต่างจากชุดดินบางน้ำเปรี้ยว ที่มีพีเอชเป็นกรดเล็กน้อย (6.18) เมื่อยกระดับพีเอชด้วย

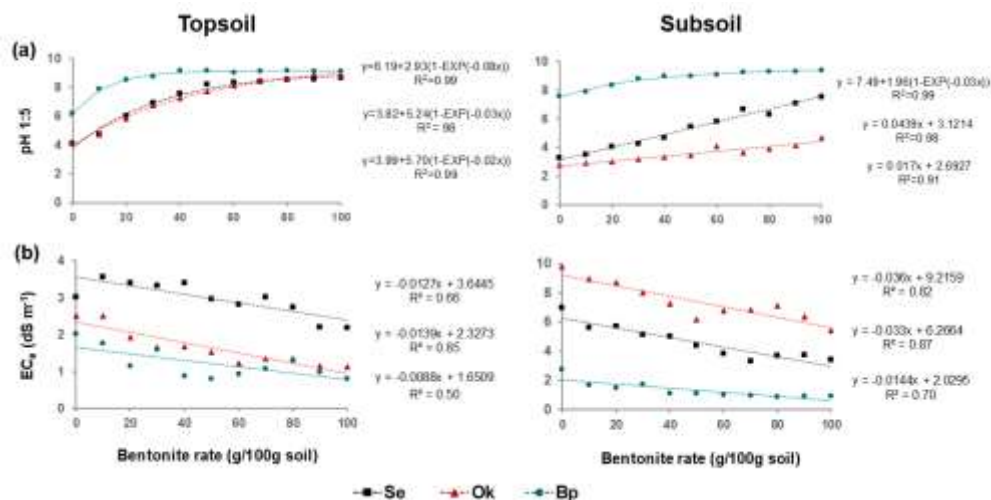


Figure 1. Relationships between bentonite rate with a) pH (1:5) and b) EC_e of acid sulfate soil

*, ** Significant at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$, respectively

โซเดียมเบนทอนไนต์ในสัดส่วนโซเดียมเบนทอนไนต์ 10 กรัม ต่อดิน 100 กรัม ขึ้นไป ทำให้ระดับพีเอชสูงกว่า 7.0 จุล ธาตุพวกเหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง ที่อยู่ในรูป ที่เป็นประโยชน์แก่พืชลดลง (Troeh and Thompson, 2005) เกิดความเป็นพิษของโซเดียม โบรอน และโม ลิบดีนัม (Weil and Brady, 2017) ค่าการนำไฟฟ้าของดิน ขณะดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (EC_e) มีค่าลดลงเมื่ออัตราโซเดียม เบนทอนไนต์เพิ่มขึ้น เนื่องจากโซเดียมเบนทอนไนต์มี ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงและดูดซับ ไอออนต่าง ๆ ในสภาวะที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำได้ดี จึงมี ปริมาณไอออนของเกลือละลายออกมาน้อยลง โดยมีค่า R^2 ของสมการ linear equation อยู่ในพิสัย 0.50-0.87 ซึ่งมีค่าสูงที่สุดในดินชั้นบนของชุดดินองครักษ์ (OK) ($R^2=0.85$) และดินชั้นล่างของชุดดินเสนา (Se) ($R^2=0.87$) (Figure 1b) ดินในกลุ่มนี้มีตะกอนดินตอนล่างเป็นตะกอน ทะเลเก่า ซึ่งมีไอออนที่นำไฟฟ้าได้ดีสะสมในปริมาณสูง โดยเฉพาะในสภาวะที่เป็นกรดจัด เมื่อปมด้วยโซเดียมเบน ทอนไนต์ที่อัตราต่าง ๆ สามารถทำให้ค่าการนำไฟฟ้าขณะ ดินอิ่มตัวด้วยน้ำลดลงจากระดับที่เค็มน้อยในดินชั้นบน (2.02-3.01 เดซิซีเมนต่อเมตร) ให้อยู่ในระดับที่ไม่เค็ม และ เค็มปานกลางถึงเค็มมากในดินชั้นล่าง (6.97-9.81 เดซิซี เมนต่อเมตร) ให้อยู่ในระดับที่ไม่เค็มถึงเค็มปานกลาง ใน อัตราที่มีปริมาณโซเดียมเบนทอนไนต์สูงที่สุด (1:1)

สำหรับกลุ่มดินปกติ ผลการศึกษาพบว่า พีเอช ของดินมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตราที่ 10 กรัมต่อดิน 100 กรัม และมีแนวโน้มคงที่จนถึงอัตราโซเดียมเบนทอนไนต์ที่ 100 กรัมต่อดิน 100 กรัม (1:1) ทั้งในชั้นดินบนและชั้นดินล่าง และมีการกระจายของข้อมูลในลักษณะ exponential function (Figure 2a) เช่นเดียวกับกลุ่มดินเปรี้ยวจัด และ เนื่องจากดินกลุ่มนี้มีพีเอชอยู่ในระดับที่เป็นกรดจัดถึงเป็น กลาง และมีความต้านทานการเปลี่ยนแปลงพีเอชต่ำกว่า กลุ่มดินเปรี้ยวจัด ทำให้ค่าพีเอชของดินเปลี่ยนแปลงตาม ค่าพีเอชของโซเดียมเบนทอนไนต์ (9.54) ได้ง่ายตั้งแต่อัตรา แรก และการเพิ่มขึ้นของค่าพีเอชของดินกลุ่มนี้อาจส่งผล ให้ดินกลายเป็นดินโซดิก (sodic soil) เพราะมีค่าพี เอชสูงกว่า 8.5 ในทุกอัตรา ค่าการนำไฟฟ้าของดินขณะ ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (EC_e) มีการเพิ่มขึ้นทั้งในลักษณะ เส้นตรงและ exponential function โดยมีค่า R^2 อยู่ใน พิสัย 0.80-0.98 (Figure 2b) ซึ่งการกระจายตัวของข้อมูล ต่างจากกลุ่มดินเปรี้ยวจัดเนื่องจากกลุ่มดินทั่วไปมี ปริมาณเกลือไอออนต่ำ ทำให้มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำกว่า 4 เดซิซีเมนต่อเมตร คืออยู่ในพิสัย 0.09-0.70 เดซิซีเมนต่อ เมตร มีค่าความเค็มในระดับไม่เค็ม เมื่อเพิ่มเติมโซเดียม เบนทอนไนต์ที่มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ (0.82 เดซิซีเมนต่อ เมตร) ลงไป ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของดินมีการ เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย (1.22-1.63 เดซิซีเมนต่อเมตร) และ ไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช

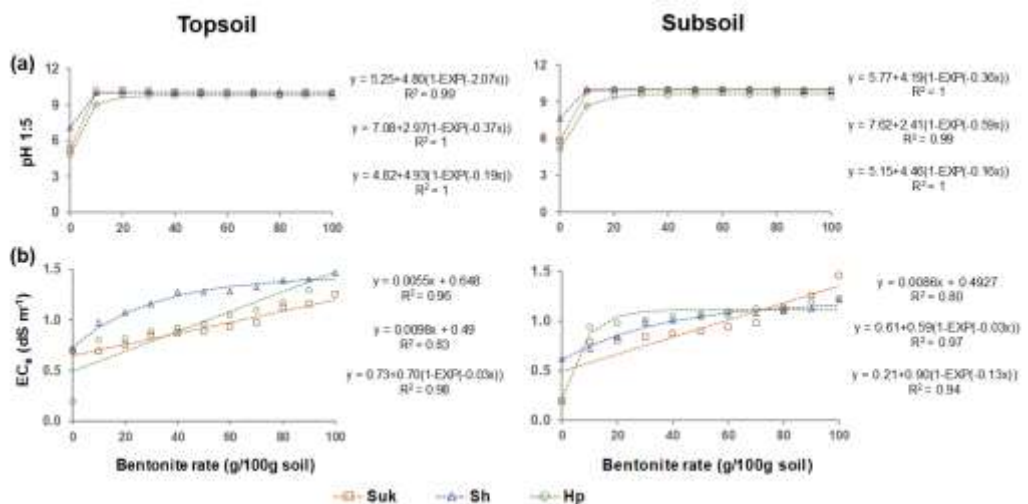


Figure 2. Relationships between bentonite rate with a) pH (1:5) and b) EC_e of Normal soil

*, ** Significant at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$, respectively

ผลการศึกษาค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) และค่าโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ (exch. Na) มีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราโซเดียมเบนทอนไนต์ที่เพิ่มขึ้นในลักษณะเส้นตรง ค่าสัดส่วนการดูดซับโซเดียม (SAR) และค่าร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ (ESP) มีความสัมพันธ์ของข้อมูลในลักษณะ exponential function ทั้งสองกลุ่มดิน ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) ของกลุ่มดินเหนียวจัดมีค่า R^2 ของสมการ linear equation อยู่ในพิสัย 0.80-0.98 (Figure 3a) โดยธรรมชาติของดินในกลุ่มนี้มีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูง จึงมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่ากลุ่มดินปกติ คือมีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 30-50 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ค่าสัดส่วนการดูดซับโซเดียม (SAR) มีค่า R^2 อยู่ในพิสัย 0.93-0.99 (Figure 3b) โดยทุกชุดดิน

มีค่า SAR มากกว่า 13 ในอัตราโซเดียมเบนทอนไนต์ 20 กรัมต่อดิน 100 กรัม (2:10) จนถึงอัตราโซเดียมเบนทอนไนต์ 100 กรัมต่อดิน 100 กรัม (1:1) ค่าร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ (ESP) มีค่า R^2 อยู่ในพิสัย 0.97-0.98 (Figure 3c) โดยทุกชุดดินมีค่า ESP มากกว่า 15 ในอัตราโซเดียมเบนทอนไนต์ 10 กรัมต่อดิน 100 กรัม (1:10) จนถึงอัตราโซเดียมเบนทอนไนต์ 100 กรัมต่อดิน 100 กรัม (1:1) ซึ่งทั้งค่า SAR และ ESP เป็นเกณฑ์ที่ใช้ในการจำแนกกลุ่มของดินที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือ คือหากมีปริมาณโซเดียมเบนทอนไนต์มากเกินไปดังกล่าว อาจมีผลทำให้ดินมีสภาพคล้ายกลุ่มดินโซดิก (sodic soil) ค่าโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ (exch. Na) มีค่า R^2 อยู่ในพิสัย 0.93-0.98 (Figure 3d) โดยปริมาณโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ของดินที่

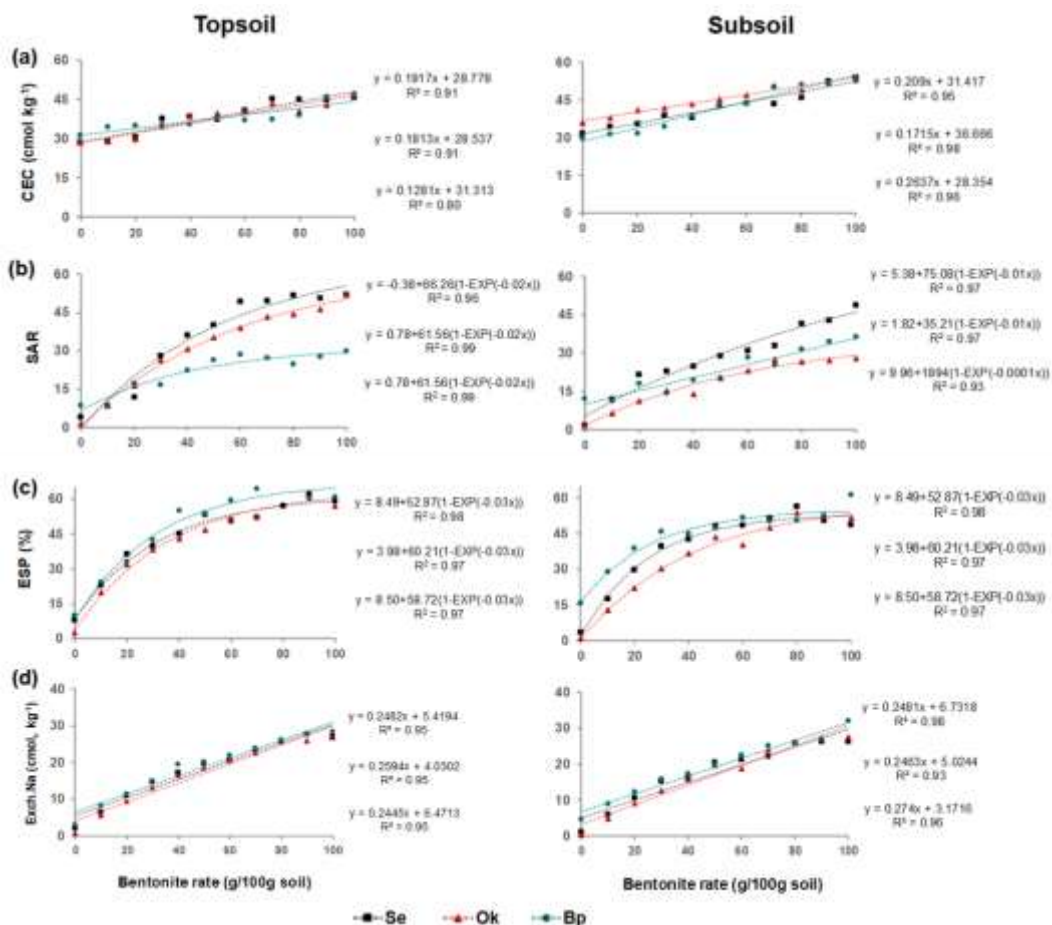


Figure 3. Relationships between bentonite rate with ion exchange soil properties i.e. CEC (a), SAR (b), ESP (c) and exch. Na (d) of acid sulfate soil.

*, ** Significant at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$, respectively

ปมด้วยโซเดียมเบนทอไนต์สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ของเบนทอไนต์ (53.94 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) ปริมาณโซเดียมที่มีอยู่มากส่งผลให้โครงสร้างดินไม่แข็งแรง ถูกทำลายได้ง่าย ดินแน่นทึบ มีข้อจำกัดในการซึมน้ำ การระบายน้ำระคายอากาศ ส่งผลต่อการชอนไชของรากพืช (Chhabra, 2005) และอาจส่งเสริมให้พืชดูดใช้คลอไรด์และโซเดียมมากเกินไป

สำหรับผลการศึกษาค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) ค่าสัดส่วนการดูดซับโซเดียม (SAR) ค่าร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ (ESP) และค่าโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ (exch. Na) ของกลุ่มดินปกติ พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเดียวกันกับกลุ่มดินเปรี้ยวจัด ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) มีค่า R^2 ของสมการ linear equation อยู่ในพิสัย 0.89-0.96 (Figure 4a) กลุ่ม

ดินนี้มีปริมาณความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนต่ำ ทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนมากกว่ากลุ่มดินเปรี้ยวจัด คือมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วง 10-35 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ช่วยเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน ค่าสัดส่วนการดูดซับโซเดียม (SAR) มีค่า R^2 อยู่ในพิสัย 0.67-0.93 (Figure 4b) ซึ่งค่า SAR จะเพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มคงที่ทุกชุดดินทั้งในชั้นดินบนและล่าง โดยทุกชุดดินมีค่า SAR มากกว่า 13 ในอัตราโซเดียมเบนทอไนต์ 10 กรัมต่อดิน 100 กรัม (1:10) จนถึงอัตราโซเดียมเบนทอไนต์ 100 กรัมต่อดิน 100 กรัม (1:1) ค่าร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ (ESP) มีค่า R^2 อยู่ในพิสัย 0.84-0.98 (Figure 4c) ซึ่งค่า ESP จะเพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มคงที่ในชุดดินสีกและสัดหีบของชั้นดินบนและทุกชุดดินของชั้นดินล่าง โดยทุกชุดดินมีค่า ESP มากกว่า 15 ในอัตรา

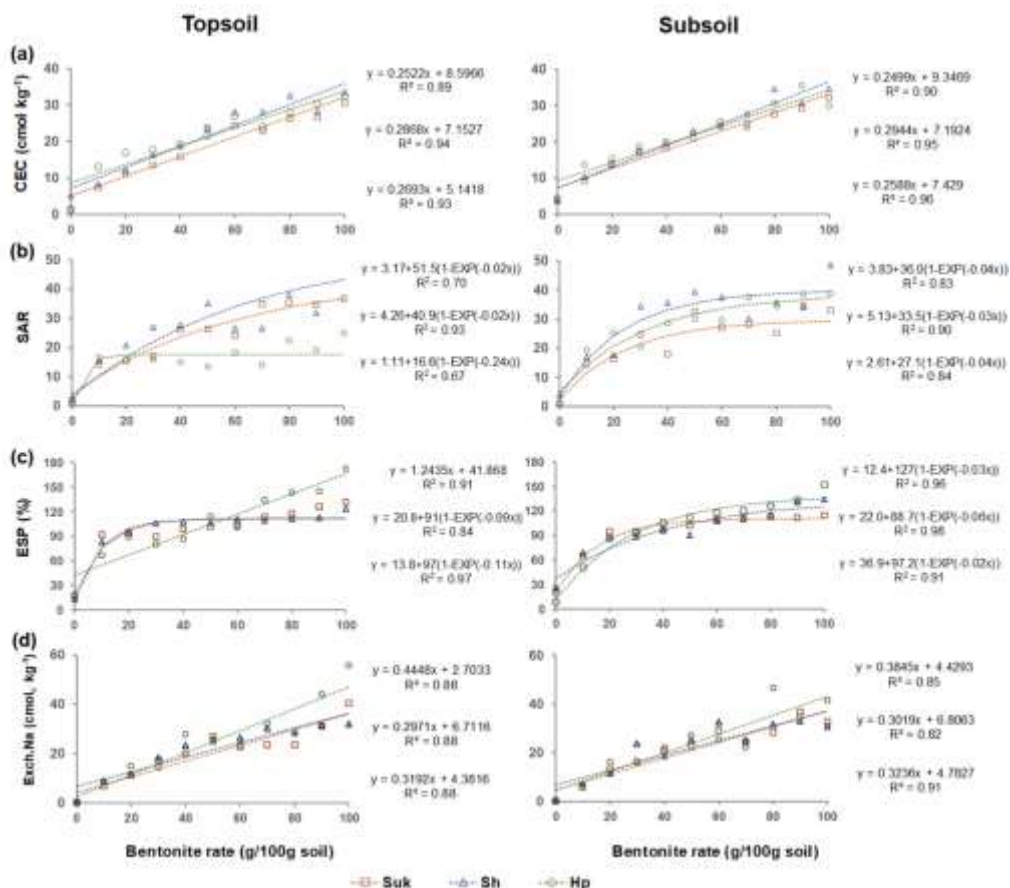


Figure 4. Relationships between Na-bentonite rates with ion exchange properties of soils i.e. CEC (a), SAR (b), ESP (c) and exch. Na (d) of Normal soil.

*, ** Significant at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$, respectively

โซเดียมเบนโทไนต์ 10 กรัมต่อดิน 100 กรัม (1:10) จนถึงอัตราโซเดียมเบนโทไนต์ 100 กรัมต่อดิน 100 กรัม (1:1) ซึ่งทั้งค่า SAR และ ESP เป็นเกณฑ์ที่ใช้ในการจำแนกกลุ่มของดินที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือในกลุ่มดินโซดิก เช่นเดียวกับดินเปรี้ยวจัด ค่าโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ (exch. Na) มีค่า R^2 ของสมการ linear equation อยู่ในพิสัย 0.82-0.91 (Figure 4d) ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าโซเดียมเบนโทไนต์มีบทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดิน เนื่องจากโซเดียมเบนโทไนต์ที่ใช้ในการศึกษามีปริมาณโซเดียมแลกเปลี่ยนได้สูงเท่ากับ 53.94 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ดังนั้นเมื่อมีการใส่โซเดียมเบนโทไนต์ลงไปผสมในดิน ทำให้ดินมีปริมาณโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ที่มีความสัมพันธ์กับการใส่โซเดียมเบนโทไนต์ในอัตราที่มากขึ้น (Sangkum, 2009) จึงส่งผลให้มีค่าร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ (ESP) ที่ได้จากการคำนวณมีค่ามากขึ้นด้วย ส่วนค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) เป็นค่าที่บอถึงความสามารถของดินในการดูดซับแคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ทั้งหมด โดยส่วนใหญ่เป็นประจุบวกของ Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ และ Na^+ ซึ่งจากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการของโซเดียมเบนโทไนต์ พบว่า มีปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และ โซเดียมแลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 31.13, 7.73, 0.72 และ 53.94 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และมีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน เท่ากับ 71.2 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในระดับสูงมาก ดังนั้นเมื่อมีการใส่โซเดียมเบนโทไนต์ในดินอัตราที่มากขึ้นทำให้ดินมีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงขึ้นด้วย (Crocker *et al.*, 2004)

สรุป

การศึกษาผลของโซเดียมเบนโทไนต์ในดินต่อสมบัติทางเคมีของดินตามแนวท่อส่งก๊าซธรรมชาติ แสดงให้เห็นว่า โซเดียมเบนโทไนต์ส่งผลทำให้สมบัติทางเคมีของดินเปลี่ยนแปลงตามปริมาณของโซเดียมเบนโทไนต์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งโซเดียมเบนโทไนต์นั้นทำให้ดินทั้งที่เป็นดินเปรี้ยวจัดและดินปกติตามแนวท่อก๊าซมีพีเอช ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) ค่าสัดส่วนการดูดซับโซเดียม (SAR) ค่าร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ (ESP)

และค่าโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ (exch. Na) สูงขึ้น ยกเว้นค่าการนำไฟฟ้าขณะดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (EC_e) ที่มีค่าเพิ่มขึ้นในกลุ่มดินปกติ แต่ลดลงในกลุ่มดินเปรี้ยวจัด โดยสมบัติของดินปนเบนโทไนต์จะเปลี่ยนแปลงจนเข้าใกล้สมบัติธรรมชาติของเบนโทไนต์ที่ใช้ในการศึกษา ซึ่งเห็นได้ชัดเจนในค่าพีเอช ค่า ESP และ SAR ทั้งนี้อัตราเร็วในการเปลี่ยนแปลงสมบัติดินขึ้นกับสมบัติของดินตั้งต้น อย่างไรก็ตามผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า โซเดียมเบนโทไนต์ส่งผลเชิงบวกสำหรับดินเปรี้ยวจัดมากกว่ากลุ่มดินปกติ โดยทำให้พีเอชของดินเปรี้ยวจัดซึ่งเป็นกรดรุนแรงมากมีค่าเพิ่มสูงขึ้นถึงระดับที่ไม่เป็นพิษกับพืชโดยทั่วไปตั้งแต่อัตราเบนโทไนต์ 10 กรัมต่อดิน 100 กรัม ดังนั้นการปนเปื้อนโซเดียมเบนโทไนต์ในดินเปรี้ยวไม่ควรเกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก และต้องคำนึงถึงค่า SAR และค่า ESP ที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณโซเดียมในดินไม่ควรเกินค่ามาตรฐาน เช่นเดียวกับกลุ่มดินปกติ โซเดียมเบนโทไนต์มีผลทำให้ค่าพีเอช ค่า SAR และ ESP เพิ่มขึ้นรวดเร็ว ดังนั้นการปนเปื้อนโซเดียมเบนโทไนต์ในกลุ่มดินไม่ควรเกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้หากการปนเปื้อนในอัตราที่สูงกว่านี้อาจจะส่งผลต่อการใช้พื้นที่เพื่อการทำเกษตรกรรม อย่างไรก็ตามเนื่องจากโซเดียมเบนโทไนต์มีเนื้อเป็นดินเหนียวและส่งเสริมความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินโดยเฉพาะดินเนื้อหยาบซึ่งจะทำให้ดินมีสมบัติด้านการแลกเปลี่ยนของดินดีขึ้น และหากมีการปนเปื้อนเบนโทไนต์มากเกินไปเกินค่ามาตรฐานควรศึกษาปรับปรุงสมบัติดินปนเปื้อนเบนโทไนต์โดยการใช้อยิปซัมให้อยู่ในระดับที่ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) สำหรับทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

Attanandana, T. 2007. Paddy Soil. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok. 393 p. (in Thai)

- Bloom, P.R. and U. Skjellberg. 2012. Soil pH and pH buffering. pp. 19-1 to 19-14. *In*: P.M. Huang, Y. Li and M.E. Sumner (eds.). Handbook of Soil Sciences: Properties and processes. 2nd ed. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Buol, S.W., R.J. Southard., R.C. Graham and P.A. McDaniel. 2011. Soil Genesis and Classification. 6th ed. Wiley-Blackwell, Ames, Iowa. 543 p.
- Chhabra, R. 2005. Soil Salinity and Water Quality. A.A. Balkema Publishers, Brookfield.
- Chittamart, N., S. Tawornpruek, D. Ketrot, S. Aramrak, K. Chittanukul and R. Sattapun. 2018. Utilization of Na-bentonite to improve pH-buffering capacity of acid sulfate soils in natural gas transmission pipeline rights-of-way, Thailand. Journal of IOP Science (IOP Conference Series: Earth and Environmental Science) 151(2018) 012023, doi: 10.1088/1755-1315/151/1/ 012023.
- Chunlapan, P. 2001. Solid waste leachate treatment by coagulation process with bentonite. M.S. Thesis. Kasetsart University, Bangkok. 163 p. (in Thai)
- Crocker, J., R. Poss, C. Hartmann and S. Bhuthorndharaj. 2004. Effects of recycled bentonite addition on soil properties, plant growth and nutrient uptake in a tropical sandy soil. Plant and Soil 267(1-2): 155-163.
- Department of Mineral Resources. 2007. Mineral and rock used in the industry. (Online). Available: http://www.dmr.go.th/ewt_news.php?nid=1033&filename=m (September 24, 2007). (in Thai)
- Dollhopf, D.J. and B.J. Bauman. 1981. Bentonite mine land reclamation in the northern great plains. Montana Agricultural Experiment Station Research Report 179, Montana State University, Bozeman. 41 p.
- FAO. 1976. Prognosis of salinity and alkalinity. FAO Soil Bulletin 31. FAO, Rome.
- Inglethorpe, S.D. J., D.J. Morgan, D.E. Highley and A.J. Bloodworth. 1993. Industrial Minerals Laboratory Manual: Bentonite. Technical Report WG/93/20: Mineralogy and Petrology Series. British Geological Survey, Keyworth, Nottingham. 116 p.
- Kheoruenromne, I. 2005. Soil Survey. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Kheoruenromne, I. 2007. Acid Sulfate Soil in Thailand. Text and Journals Publishing, Bangkok. (in Thai)
- Lesturgez, G., R. Poss, C. Hartmann, E. Bourdon, A. Noble and S. Ratana-Anupap. 2004. Roots of *Stylosanthes hamata* create macropores in the compact layer of a sandy soil. Plant and Soil. 260: 101-109.
- Ljung, K., F. Maley, A. Cook and P. Weinstein. 2009. Acid sulfate soils and human health - A millennium ecosystem assessment. Environment International 35(8): 1234-1242.
- Meesuk, L., M. Ruaysap and P. Wathanakul. 2000. Potentiality of Thai bentonite for soybean oil decolourisation. pp. 242-247. *In*: Proceedings of the 40th Kasetsart University Annual Conference: Science. Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- National Soil Survey Center. 1996. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Invest. Report. No 42, Version 3.0. USDA, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- Sangkum, P. 2009. Effects of Na-bentonite on soil properties and growth of Rayong 5 cassava

- variety. M.S. Thesis. Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom. (in Thai)
- Schuman, G.E., E.J. Depuit and K.M. Roadifer. 1994. Plant responses to gypsum amendment of sodic bentonite mine spoil. *Journal of Range Management* 47(3): 206-209.
- Sanchez, P.A. 2019. *Properties and Management of Soils in the Tropics*. 2nd ed. Cambridge University Press, Cambridge. 666 p.
- Troeh, F.R. and L.M. Thompson. 2005. *Soils and Soil Fertility*. 6th ed. Blackwell Publishing, Oxford.
- Uresk, D.W. and T. Yamamoto. 1986. Growth of forbs, shrubs, and trees on bentonite mine spoil under greenhouse conditions. *Journal of Range Management* 39(2): 113-117.
- Voorhees, M.E. 1986. Infiltration rate of bentonite mine spoil as affected by amendments of gypsum, sawdust and inorganic fertilizer. *Reclamation and Revegetation Research* 5: 483-490.
- Weil, R.R. and N.C. Brady. 2017. *The Nature and Properties of Soil*. 15th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
-