

สมบัติทางเคมีไฟฟ้าของดินในเขตร้อนและชุ่มชื้น

Electrochemical Properties of Humid Tropical Soils

กระสินธุ์ สุทธิธรรมโม¹

Krasinth Sutthithammoh

ABSTRACT

Soil colloids of the humid tropics exhibit electrochemical properties which are characterized by colloids of constant surface potential type, whereas soils of temperate regions are characterized by colloids bearing a permanent surface charge model. Electrochemical charges of humid tropical soils, naturally, are controlled by the pH, types of clay mineral, organic matter, and oxides of Fe and Al. So far, some of Thailand's soils have been found to be of constant surface potential type. In general, the field soil pH values are higher than the pH at P.Z.C (the point of zero charge or $pH_{p.z.c}$, and the $pH_{p.z.c}$ values of top-soils are lower than the $pH_{p.z.c}$ values of the same sub-soils.

C.E.C. (cation exchange capacity) evaluation for soils, of which colloids are of constant surface potential type, as determined by ammonium acetate at pH 7 or barium saturation method at pH 8.2 gives an arbitrary value of C.E.C and should be over estimated values.

บทคัดย่อ

คอลลอยด์ของดินในเขตร้อนและชุ่มชื้นแสดงคุณสมบัติทางเคมีไฟฟ้าเป็นแบบศักย์ภาพพื้นผิวคงที่ (constant surface potential) ในขณะที่ดินแถบหนาวและอบอุ่นเป็นประจุพื้นผิวถาวร (permanent surface charge) ประจุเคมีไฟฟ้าของดินแถบร้อนและชุ่มชื้นถูกควบคุมโดย pH อินทรีย์สาร ชนิดของแร่ดินเหนียว และออกไซด์ของ Fe+Al เป็นสำคัญ ดินในประเทศไทยเท่าที่พบได้แสดงให้เห็นคุณสมบัติของคอลลอยด์ประเภทศักย์ภาพพื้นผิวคงที่อย่างเด่นชัด โดยทั่วไปแล้ว ที่ pH ธรรมชาติของดินจะมีค่ามากกว่า pH ที่จุด P.Z.C (จุดประจุศูนย์หรือ $pH_{p.z.c}$) และ $pH_{p.z.c}$ ของดินชั้นบนมักจะต่ำกว่า $pH_{p.z.c}$ ของดินชั้นล่าง

การประเมินค่า C.E.C (ความจุในการแลกเปลี่ยน

เปลี่ยนไอออนบวก) ของดินที่มีคอลลอยด์ประเภทศักย์ภาพพื้นผิวคงที่ โดยวิธีแอมโมเนียมอะซิเตต (ammonium acetate) ที่ pH 7 หรือวิธีแบเรียม (barium saturation) ที่ pH 8.2 นั้น ค่าที่ได้ย่อมจะเกินจากความเป็นจริง

คำนำ

ดินประกอบด้วยอนุภาคต่าง ๆ ทั้งที่เป็นอินทรีย์สารขนาดแตกต่างกันไป จนกระทั่งเล็กที่สุดไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าที่เรียกว่า “คอลลอยด์” (colloidal fraction) เช่น อนุภาคของดินเหนียวและออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียม เป็นต้น อนุภาคคอลลอยด์เหล่านี้จะทำหน้าที่ควบคุมพฤติกรรมต่างๆ ทางสมบัติเคมีไฟฟ้าของดิน ตลอดจนการดูดซับและการแลกเปลี่ยนไอออนในดิน (ion adsorption and exchange) ที่แสดงถึงความสามารถของดินที่จะ

¹ ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

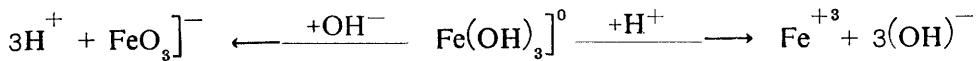
เก็บสวบนธาตุอาหารต่างๆ สำหรับการเจริญเติบโตของพืช

อนุภาคคอลลอยด์ในดิน โดยทั่วไปแล้วจะมีประจุไฟฟ้าลบ (electronegatively charged) อันเนื่องจากการไม่สมดุลย์กันของประจุที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างของอะตอมของมัน แต่บางครั้งเราจะพบว่า อนุภาคของดินเหล่านี้มีสมบัติเป็นแบบแอมโฟเทอริก (amphoteric character) ดังจะสังเกตได้จากการที่ดินสามารถดูดซับได้ทั้งแอนไอออนและแคทไอออน (anions and cations) ให้เข้ามาอยู่รอบๆ ตัวของมัน นั้นย่อมแสดงว่าพื้นผิวของคอลลอยด์ (colloidal surface) อาจจะแสดงลักษณะของประจุเป็นแบบบวกหรือลบก็ได้ ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้ไม่ว่ากรณีใดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างชั้นของของแข็ง (solid phase) และชั้นของของเหลว (liquid phase) จะดำเนินไปด้วยแรงที่ตรงข้ามเสมอคือแรงดึงดูด (attraction force) หรือที่เรียกว่าการดูดซับ และแรงแพร่ซึม (diffusion force) หรือที่เรียกว่าการปล่อยออก (desorption) นอกจากนี้แล้วการดูดซับของไอออนต่างๆ ที่เกิดขึ้นดำเนินไปภายใต้ปฏิกิริยาเคมี 2 แบบ กล่าวคือการดูดซับแบบตรึงกันไว้ (retention adsorption) กับ การดูดซับแบบไฟฟ้าสถิต (electrostatic adsorption) การดูดซับแบบหลังนี้เป็นปฏิกิริยาโคลอมบิก (Coulombic) ซึ่งเกี่ยวข้องกับชั้นไฟฟ้าคู่ (electric double layer) ของคอลลอยด์ที่ชั้นของของแข็งกับไอออนประกบ (counter ion) ที่ชั้นของของเหลวในสารละลายของดิน ตามทฤษฎีของ Helmholtz (1897) และ Gouy (1910) ต่อมา Stern ได้อธิบายเพิ่มเติมโดยรวมเอาสองทฤษฎีเข้าด้วยกันว่า ไอออนประกบเหล่านี้จะก่อตัว (form) เป็นกลุ่มไอออน (ion swarm) หรือเรารู้จักกันโดยทั่วไปว่าชั้นไฟฟ้าคู่ ดังนั้นจะเห็นว่าพฤติกรรมชั้นไฟฟ้าคู่ที่ผิวของคอลลอยด์มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับประจุพื้นผิว (surface charge) ของคอลลอยด์อันเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติ

ทางเคมีไฟฟ้าของดินที่กำลังจะกล่าวต่อไป

ได้เคยมีผู้ทำการศึกษาประจุพื้นผิวของดินกันอย่างกว้างขวางเกี่ยวกับดินในเขตหนาว (temperate soils) ทั้งนี้จะเป็นเพราะว่าความเจริญก้าวหน้าทางวิชาการตลอดจนการส่งเสริมกันกว้างขวาง ซึ่งมักจะเอื้ออำนวยให้กับประเทศในแถบนั้น ตรงข้ามกับดินทางเขตร้อนและชื้นชื้น (humid and tropical) ข้อมูลและเนื้อหาสาระสำคัญเกี่ยวกับเคมีพื้นผิว (surface chemistry) ของดินมีน้อยมากทั้งนี้ที่ผู้อยู่ในเขตร้อนได้เคยไปทำการศึกษาอบรมมาจากประเทศในเขตหนาวมากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกี่ยวกับประเทศไทยด้วยแล้ว การศึกษาเกี่ยวกับเคมีพื้นผิวของดินก่อนปี พ.ศ. 2521 นั้นไม่มีเลย เพิ่งจะเริ่มขึ้นเมื่อปลายปี พ.ศ. 2522 โดยมีการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องของดินบางท้องถิ่นในภาคใต้ของประเทศไทย จะอย่างไรก็ตามในรอบสิบปีที่ผ่านมา นักวิทยาศาสตร์ทางดินให้ความสนใจเกี่ยวกับเคมีพื้นผิวของดินในเขตร้อนมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้เพราะว่าดินในเขตร้อนได้แสดงสมบัติที่แปลกของแอมโฟเทอริก กล่าวคือมีสมบัติเคมีไฟฟ้าของสารคอลลอยด์ในดินเป็นแบบอิเล็กโทรดผันกลับได้ (reversible electrode) และเราเรียกสมบัติดังกล่าวนี้ว่า “ศักย์ภาพพื้นผิวคงที่” (constant surface potential) ซึ่งผิดกับสมบัติของดินในเขตอบอุ่นหรือเขตหนาวซึ่งจะเป็น “ประจุพื้นผิวถาวร” (permanent surface charge) และดินในบางท้องถิ่นทางภาคใต้ของประเทศไทยก็ได้แสดงสมบัติของดินแถบเขตร้อนและชื้นชื้นไปในลักษณะเดียวกันดังกล่าวน้อย่างเด่นชัด (Van Raij and Peech, 1972; Mekaru and Uehara, 1972; El-Swaify and Sayegh, 1975; Gillman and Bell, 1976; Laverdiere and Weaver, 1977; Balasubramanian and Kanehiro, 1978; และ Sutthithammoh, 1979) และการที่ดินแถบร้อนแสดงสมบัติแอมโฟเทอริกนี้ทำให้ดูประหนึ่งว่าตัวมันเองมีสมบัติทางประจุพื้นผิว เช่นเดียวกับพวก

ออกไซด์ของคอลลอยด์บริสุทธิ์ (pure oxide colloids) บางชนิดโดยเฉพาะพวกแร่เหล็กแดง (haematite) เกอไทต์ (goethite) และแร่จิบไซต์ (gibbsite) (Parks and de Bruyn, 1962; และ Bérubé and de Bruyn; 1968) ออกไซด์ต่างๆ เหล่านี้จะพบเสมอในดิน และมีปริมาณค่อนข้างสูงในดินแถบร้อนและชื้นชื้น โดยที่ประจุพื้นผิวของมันจะถูกควบคุมโดย pH ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) และวาลีนซ์ของไอออนประกอบในระบบนั้นๆ แต่สารละลายในดินเกิดกับสารละลายของออกไซด์



ส่วนการดูดซับของไอออนอีกประเภทหนึ่ง ที่ควรกล่าวถึงก็คือการดูดซับเฉพาะ (specific adsorption หรือ chemisorption) โดยที่ไอออนจะเข้าทำปฏิกิริยาโดยตรงกับชั้นของของแข็งที่คอลลอยด์โดยผ่านผิวหน้าระหว่างชั้นของของแข็งและของของเหลว (solid-liquid interface) เข้าไป แล้วจะมีผลทำให้คอลลอยด์มีประจุไฟฟ้าเคมีเปลี่ยนแปลงไป การดูดซับแบบนี้มีบทบาทสำคัญยิ่งในแง่ของการพิจารณาในการใช้ประโยชน์วิทยาศาสตร์ตามสัดส่วนที่เหมาะสมเพื่อให้ผลตอบสนองสูงสุด

ชั้นไฟฟ้าคู่และประจุไฟฟ้าของสารคอลลอยด์ในดิน (Electric Double Layer และ Electric Charges)

ในด้านแนวความคิดเกี่ยวกับไฟฟ้าของคอลลอยด์ในดินเดิมที่ Helmholtz ได้ชี้ให้เห็นว่าผิวของคอลลอยด์ทำหน้าที่เสมือนแหล่งอาศัยของไฟฟ้า (electric condensor) โดยที่ผิวชั้นในเป็นชั้นที่แสดงคุณสมบัติเป็น - และที่ผิวชั้นนอกเป็น + ต่อมา Gouy ได้ชี้ให้เห็นว่าตามทฤษฎีของ Helmholtz นั้นประจุหรือคุณสมบัติดังกล่าวที่ผิวของคอลลอยด์จะอยู่ภายใต้อิทธิพลของไอออนต่างๆ ที่อยู่รอบนอก (คือไอออนในสารละลาย) และจะลดลงเป็นสัดส่วนกับระยะทาง (d) จากผิวของคอลลอยด์ นั่นก็หมายความว่า

บริสุทธิ์เพราะประจุของมันยังถูกควบคุมโดยสารต่างๆ อีกมากมายที่สำคัญ เช่น อินทรีย์สาร (ได้แก่ $-\text{NH}_2$, $-\text{OH}$ และ $-\text{COOH}$ เป็นต้น) พวกอนุภาคที่ทำหน้าที่เหมือนเบส (base) โดยรับเอาโปรตรอน เช่นที่ขอบนอกของโครงสร้างผลึก (exposed octahedral groups) หรือพวกประจุที่เกิดขึ้นเนื่องจากการแทนที่แบบไอโซมอร์ฟิก (isomorphic substitution) นอกจากนี้แล้วก็ยังมีพวกไฮดรอกไซด์ (hydrous oxides) ของเหล็ก อะลูมิเนียมและแมงกานีส ยกตัวอย่างเช่น

ความว่า ไอออนประกอบจะมารวมตัวกันเป็นกลุ่มไอออนหนาแน่นที่สุดตรงบริเวณใกล้ๆ กับผิวของคอลลอยด์ ดังนั้น Stern จึงได้อธิบายให้เห็นสมบัติที่แท้จริงของไฟฟ้าชั้นคู่โดยพิจารณาถึงขนาดและปริมาตรของไอออนที่มาประกอบกันเป็นชั้นไฟฟ้าคู่ที่ผิวของคอลลอยด์ กล่าวคือแหล่งอาศัยไฟฟ้า (ตาม Helmholtz) นั้นจะประกอบด้วยความหนา (thickness) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปริมาตรของไอออนที่ถูกดูดซับอยู่ที่ผิวชั้นนอก (outer layer) และกลุ่มของไอออนซึ่งทำหน้าที่คล้ายๆ กับเป็นชั้นแพร่ซึม (diffuse layer) ตามทฤษฎีของ Gouy ดังนั้นเราจะเห็นว่าจำนวนสุทธิของประจุพื้นผิวของอนุภาคของดิน (net surface charge, σ) จึงเท่ากับผลบวกของประจุที่อยู่ผิวชั้นใน (inner layer, σ_1) กับประจุที่อยู่ผิวชั้นนอก (σ_2)

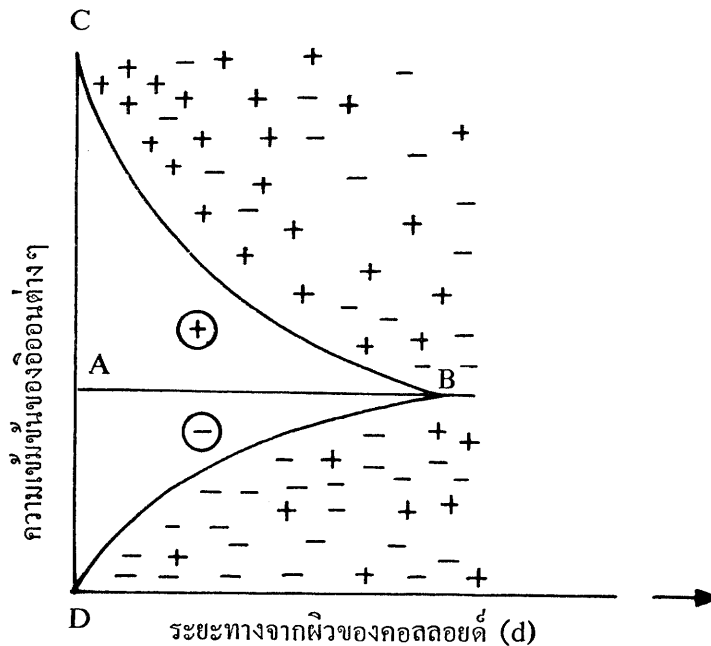
$$\text{หรือ } \sigma = \sigma_1 + \sigma_2$$

เพื่อความเข้าใจเกี่ยวกับเรื่องนี้ ภาพที่ 1 แสดงให้เห็นธรรมชาติของไอออนต่างๆ ของสารละลายในดินว่าทั้งแอนไอออนและแคตไอออนที่อยู่ในสารละลายซึ่งมารวมกลุ่มกันอยู่ตรงบริเวณผิวของคอลลอยด์นั้นจะมีความเข้มข้นที่ขอบเขตจำกัด (ตามเส้น AB) ตามชนิดของคอลลอยด์ พื้นที่ CAB แทนไอออนประกอบทั้งหมด ซึ่งมีประจุตรงข้ามกับประจุที่ผิวของคอลลอยด์กับ

ไอออนที่มีประจุเหมือนกันกับคอลลอยด์ในพื้นที่ ABD ฉะนั้น เราอาจพิจารณาได้ว่าไอออนต่างๆ ในพื้นที่ BCD ทำหน้าที่เป็นเสมือนผลลัพธ์ของประจุไฟฟ้าทั้งหมดที่มีอยู่ในชั้นไฟฟ้าคู่ ซึ่งก็จะมีค่าเท่ากับประจุพื้นผิวรวมของอนุภาคของดิน

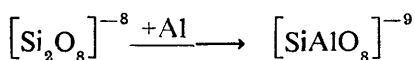
นั่นคือ $CAB + ABD = BCD = \sigma$ นั่นเอง
อนึ่ง ความมากมายของไอออน ณ จุดต่างๆ

(แกนตั้งตามภาพที่ 1) จะก่อให้เกิดศักย์ภาพไฟฟ้า (electric potential) แตกต่างกันไปตามปริมาณความเข้มข้นของไอออนศักย์ภาพ (potential) และจะมีค่าสูงสุดที่ผิวของคอลลอยด์ (คือเมื่อ $d=0$) แล้วศักย์ภาพของคอลลอยด์จะลดลงเรื่อยๆ ในแบบ exponential ตามระยะทางจากผิวของคอลลอยด์จนไม่มีศักย์ภาพเลย คือเป็นศูนย์ที่จุดๆ หนึ่ง และที่จุดนั้นคอลลอยด์จะมีประ-



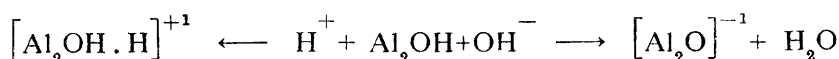
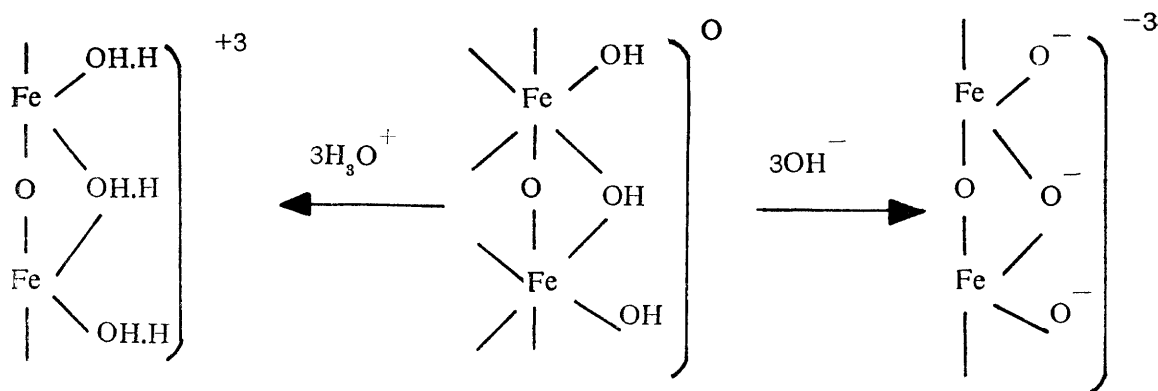
ภาพที่ 1 แสดงความมากมายของไอออนต่างๆ รอบๆ ผิวของคอลลอยด์ที่มีประจุไฟฟ้าเป็นลบและระยะทาง (d) ระหว่างชั้นของของแข็งกับชั้นของของเหลว

จุเป็นศูนย์ ดังนั้นเราจะเห็นว่าประจุของอนุภาคต่างๆ ที่เกิดขึ้นนั้นจะต้องมีกระบวนการโยกย้ายและเปลี่ยนแปลงประจุไฟฟ้าภายในชั้นไฟฟ้าคู่ด้วยเหตุนี้เองแนวความคิดเกี่ยวกับชั้นไฟฟ้าคู่ของสารคอลลอยด์ จึงเป็นสาระสำคัญที่จะต้องทำความเข้าใจเพื่อจะศึกษาเกี่ยวกับประจุไฟฟ้าเคมีของดินอันทำให้สามารถแบ่งคอลลอยด์ได้เป็น 2 แบบ ดังได้กล่าวแล้วยกตัวอย่างเช่น

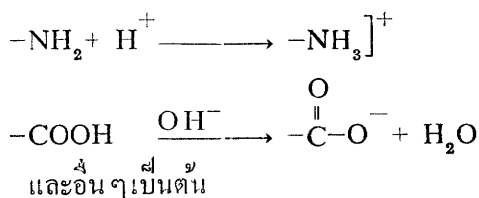


จากตัวอย่างจะเป็นแบบฉบับของคอลลอยด์ประเภทประจุพื้นผิวถาวร อันเป็นผลจากปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การแทนที่แบบไอโซมอร์ฟิก ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของประจุพื้นผิว ส่วนมากแล้วจะเป็นแร่ดินเหนียวประเภท 2 : 1 (เช่น montmorillonite) ซึ่งจะพบมากในดินแถบหนาวหรืออบอุ่น

สำหรับดินในเขตร้อนและชุ่มชื้นนั้นมักจะประกอบด้วยแร่ดินเหนียวประเภท 1 : 1 (เช่น kaolinite) เป็นส่วนมากร่วมกับไฮดรอกไซด์ของเหล็ก อะลูมิเนียม ฯลฯ เช่น



จากตัวอย่าง ข้างบน นี้ จะเห็นว่าสำหรับ คอลลอยด์ประเภท 1 : 1 หรือที่เรียกว่าศักย์ภาพ พันผิวคงที่นั้นแสดงคุณสมบัติผันกลับได้ (reversible surface) กล่าวคือเมื่อระบบของ สารละลาย ในดินเป็นกรดจะทำให้พันธะของ คอลลอยด์เบนบวก และจะเป็นลบเมื่อระบบของ สารละลายเป็นด่าง ด้วยเหตุนี้เองบางทีเราจึง เรียกว่าเป็นแอมโฟเตอร์ริก หรือถ้าจะพูดให้มีความ หมายรัดกุม และสอดคล้องกับ ทางเคมีแล้วเรา อาจจะเรียกดินที่ประกอบด้วยคอลลอยด์ประเภท นี้ว่า pH dependent นอกจากตัวอย่างดังกล่าว แล้วยังมีสารคอลลอยด์ในดินพวกอินทรีย์สารก็ แสดงอิทธิพลต่อคุณสมบัติอันนี้ของดินมิใช่น้อย เช่น หมู่ของ



ไอออนที่กำหนดศักย์ภาพและศักย์ภาพพื้นผิว (Potential Determining Ions and Surface potential)

เมื่อชั้นของของแข็งและชั้นของของเหลว ใน สารละลาย ของ ดิน ถูก ทำให้มีความเข้มข้น เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เช่น เมื่อเราเพิ่มอิเล็ก-

โตรไลต์ (electrolyte) ลงไปในระบบ จะทำให้ ประจุต่าง ๆ ที่ เป็นอยู่เดิม เกิดกระบวนการจัดรูป แบบของมันขึ้นมาใหม่ (charge redistribution processes) อีกครั้งหนึ่ง โดยการไอออนไนซ์ (ionization) ในระบบของมัน เช่น เกิดการดูด ชั้บไอออน และการแตกตัวละลายของไอออน เป็น ต้น ด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้บริเวณระหว่างผิวหน้า (interface boundary) ที่ชั้นไฟฟ้าคู่พลอย เปลี่ยนแปลงตามไปด้วยเพื่อจะเข้าสู่สภาพสมดุล (equilibrium state) ดังได้ชี้ให้เห็นแล้วว่า คอลลอยด์ประเภทศักย์ภาพคงที่กับประจุลว รณต่างกัน นั้น เพราะพวกศักย์ภาพพื้นผิวคงที่ นั้นประจุเปลี่ยนแปลงได้ด้วยอิทธิพลของไอออน จากชั้นของของเหลวไปยังชั้นของของแข็งตาม กระบวนการเปลี่ยนแปลงโยกย้าย (transfer processes) ที่เกิดขึ้นในระบบนั้น ๆ ด้วยเหตุนี้เองศักย์ภาพไฟฟ้าพื้นผิว (electric surface potential) ที่เกิดขึ้นนั้นเราจึงเรียกว่า ไอออนที่ กำหนดศักย์ภาพหรือเขียนย่อว่า PDI ดังนั้น เราจะเห็นว่าถ้าหากชั้นคู่ (double layer) ที่เกิด ขึ้นนั้นเป็นผลมาจากการดูดซับของ PDI แล้ว อนุภาคหรือคอลลอยด์นั้นจะกำหนดทิศทางต่าง ๆ กับ ว่าตัวมันเองเป็นอิเล็กโตรดที่ผันกลับได้ (reversible electrode) ที่มีผลตอบสนองต่อไอออนใน สารละลายเหล่านั้น นั่นคือศักย์ภาพพื้นผิว (ϕ_0)

จะต้องขึ้นอยู่กับไอออนต่างๆ ในสารละลายนั้นๆ นั่นเอง

ส่วนการจัดรูปแบบของไอออนต่างๆ ที่อยู่รอบๆ อนุภาคของคอลลอยด์นั้นจะดำเนินไปตามกฎของบอิลซ์แมน (Boltzmann distribution law) ดังนี้

$$C_p = C[e]^{-\frac{V \cdot e \cdot \phi_0}{k \cdot T}}$$

ในเมื่อ C_p = ความเข้มข้นของไอออนที่จุดใดจุดหนึ่งในชั้นแพร่ซึมที่มี ศักยภาพเป็น ϕ_0 ที่จุดนั้น
 C = ความเข้มข้นของไอออนที่ชั้นของของเหลว (สารละลาย)
 e = ประจุอิเล็กตรอน (electronic charge)
 V = วาเลนซ์ของไอออน
 k = ค่าของบอิลซ์แมน (Boltzmann constant)
 T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ (absolute temperature)

จากกฎของบอิลซ์แมนข้างบนนี้จะช่วยให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างชั้นของของแข็งกับชั้นของของเหลวที่เป็นส่วนสำคัญอยู่ 3 ประการ คือ C_p เป็นไอออนที่ถูกดูดซับ (adsorbed ions) ในชั้นของของแข็งชั้นไฟฟ้าคู่ C คือจำนวนของไอออนที่อยู่ในสารละลายและไอออนเหล่านี้จะไม่อยู่ภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้า (electrical field) และอันสุดท้ายคือประจุอิเล็กตรอน นอกจากนี้แล้วค่าของ e ยังทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่าง C_p กับ ϕ_0 ที่จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ชั้นไฟฟ้าคู่ สำหรับค่าของ e , k , V และ T นั้นจะเป็นค่าคงที่เสมอในระบบใดระบบหนึ่งที่เรากำหนดให้ ฉะนั้นถ้าหากว่าเราไม่คำนึงถึงค่าเหล่านี้แล้วเราจะพบว่าค่าของ ϕ_0 ของคอลลอยด์จะขึ้นอยู่กับค่าความเข้มข้นของไอออนในผิวหน้าระหว่างชั้นของของแข็งและของของเหลว กับสารละลายในชั้นของของเหลว ดัง

จะเห็นได้จากความสัมพันธ์ตามที่เนิร์นสท์ (Nernst type relationship) ได้ให้ไว้ดังนี้

$$\phi_0 = \frac{kT}{Ve} \cdot \log \frac{C}{C_{p.z.c}}$$

ในเมื่อ ϕ_0 เป็นค่าศักย์ภาพพื้นผิว และ $C_{p.z.c}$ เป็นปริมาณความเข้มข้นของไอออนที่จุด P.Z.C. (point of zero charge) หรือจุดที่คอลลอยด์มีประจุไฟฟ้าเป็นศูนย์ นอกเหนือนี้ความหมายตามปกติ ดังนั้นเราจะเห็นว่าค่าของ V ในที่นี้ก็คือค่าวาเลนซ์ของ PDI นั้นเอง

การทำความเข้าใจเกี่ยวกับไอออนที่กำหนด ศักยภาพของดินจึงเป็นสิ่งจำเป็นยิ่งเพราะเป็นแนวความคิดขั้นมูลฐานเกี่ยวกับการศึกษา hydrous oxide interface อย่างเช่น สารประกอบ AgI เมื่อปล่อยให้สัมผัสกับสารละลายที่เจือจางของอิเล็กโทรไลต์ที่ต้มตัวไปด้วย AgI ก็จะทำให้เกิดการดูดซับของไอออนขึ้นเป็นผลให้มีการเกาะกลุ่มของไอออนกับ AgI ดังที่เราเห็นเป็นตะกอน ในกรณีเช่นนี้เราถือว่า Ag^+ และ I^- เป็นไอออนที่กำหนดศักย์ภาพ (PDI) ของ AgI สำหรับพื้นผิวออกไซด์ของ Al และ Fe ก็เช่นเดียวกันเราอาจจะกระทำได้ดีถ้าให้ปริมาณความเข้มข้น (concentration) ของ H^+ (หรือ/และ OH^-) ที่มีอยู่ในสารละลาย (aqueous solution) ทำหน้าที่เป็น PDI ในสารละลายดินที่เราจะทำการศึกษาศักย์ภาพพื้นผิว (ϕ_0) ของดินนั้น

อิทธิพลของอิเล็กโทรไลต์ที่มีต่อศักย์ภาพพื้นผิวและพื้นผิวประจุของสารคอลลอยด์ในดิน

ถึงแม้ว่าชั้นไฟฟ้าคู่ของคอลลอยด์จะบางมาก แต่โดยหลักการแล้วเราสามารถวัดความหนา (เรียก thickness หรือค่าของ "d") ของมันได้ และค่า d นี้จะอยู่ภายใต้อิทธิพลของ ionic strength หรือค่าของ "i" ที่เกิดจากอิเล็กโทรไลต์ที่ใส่เข้าไป หรือมีอยู่ในสารละลายคอลลอยด์นั้นๆ และสำหรับพวกสารละลายของ

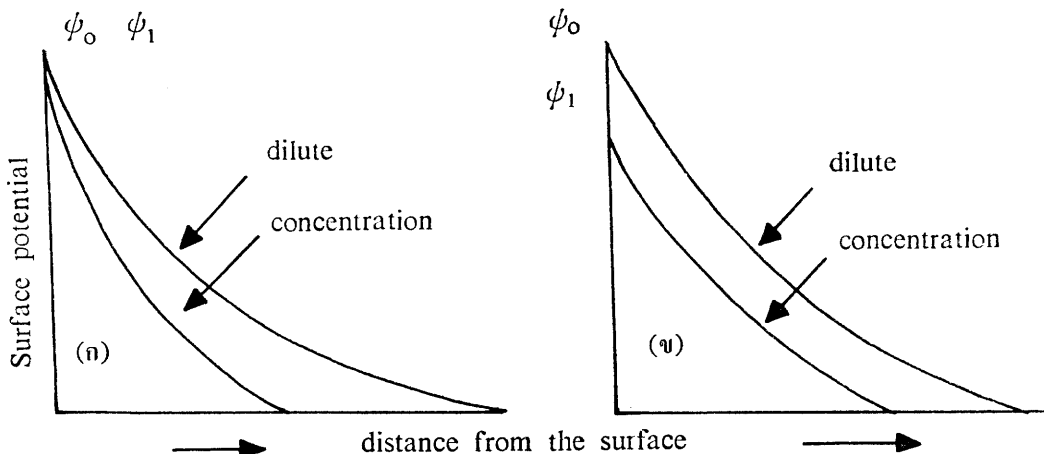
ของแข็ง (hydrosols) โดยทั่วไปที่อุณหภูมิ 25°C ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก D (dielectric constant) อุณหภูมิสมบูรณ์ T ค่าคงที่ก๊าซ R (gas constant) จำนวนอาโวกาโด N (Avogadro number) และค่าประจุอิเล็กตรอน e จะเป็นค่าคงที่เสมอหรือที่เรานิยมให้เป็นค่า “k” และ Gouy ได้ให้ความสัมพันธ์สำหรับค่า d ของสารละลายในระบบไว้ดังนี้

$$d = \sqrt{\frac{100DTR}{877e^2N^2i}} \quad \text{in } \text{\AA} \dots\dots(1)$$

จากความสัมพันธ์ข้างบนนี้ก็พอสรุปได้ว่าเมื่ออิเล็กโตรไลต์ถูกเพิ่มเข้าไปในสารละลายคอลลอยด์จะมีผลทำให้ศักย์ภาพพื้นผิว (ψ_0) ของอนุภาคเปลี่ยนแปลงไป ในทางเพิ่มขึ้น ลดลง หรือไม่เปลี่ยนแปลงเลยก็ได้ เพราะผลจากการเปลี่ยนแปลงค่าของ d หรืออีกนัยหนึ่งก็คือว่า ศักย์ภาพไฟฟ้าพื้นผิว (ψ_0) หรือศักย์ภาพซีตา (Zeta potential, ζ) และประจุพื้นผิวของอนุภาค (σ) นั้น ย่อมมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลง (magnitude and tendency) ที่ขึ้นอยู่กับอิเล็กโตรไลต์ หรือถ้าจะพูดให้ถูกต้องตามศัพท์เทคนิคว่าเป็น “electrolyte dependent” นั่นเอง การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของชั้นไฟฟ้าคู่อันเป็นผลสืบเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงอิเล็กโตรไลต์นั้น นับว่าเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นที่จะทำให้เข้าใจปรากฏการณ์และสถานะภาพของ

คอลลอยด์หรืออนุภาคในสารละลายต่างๆ ได้ทั้งทางเคมีและฟิสิก ในที่นี้เราอาจจะพิจารณาคุณสมบัติของ σ กับ ψ_0 ที่แตกต่างกันของคอลลอยด์สองระบบ (Van Olphen, 1966) ว่าประจุพื้นผิวของอนุภาคจะเพิ่มขึ้นเมื่อ indifferent electrolyte concentration ถูกเปลี่ยนแปลงไปในทางเพิ่มขึ้นในขณะที่ศักย์ภาพพื้นผิวยังอยู่ในลักษณะที่คงที่ คุณสมบัติดังกล่าวนี้ของคอลลอยด์ประเภทศักย์ภาพพื้นผิวคงที่ (ภาพที่ 2. ก) จะมีความแตกต่างอย่างเด่นชัดกับพวกคอลลอยด์ประเภทประจุพื้นผิวถาวรดังแสดงในภาพที่ 2 (ข) นั้น จะมีคุณสมบัติที่กลับตรงข้ามโดยสิ้นเชิง กล่าวคือ ประจุพื้นผิวของพวกหลังจะไม่เปลี่ยนแปลงแต่ศักย์ภาพพื้นผิวของคอลลอยด์จะลดลงจาก ψ_0 เป็น ψ_i ตามภาพ

ดังนั้นเราจะเห็นว่าไม่ว่ากรณีใดในสองกรณีดังกล่าวข้างต้น เมื่อความเข้มข้นของอินดิฟเฟอเรนซ์อิเล็กโตรไลต์ ในระบบถูกเพิ่มขึ้นแล้วความหนา (ค่าของ d) ของชั้นไฟฟ้าคู่จะถูกบีบ (compress) ทำให้ d มีค่าน้อยลง ซึ่งเป็นผลให้ค่าของศักย์ภาพ (ψ_0) ลดลงจากเดิมแต่ประจุที่ชั้นคู่ไม่เปลี่ยนแปลงอันสืบเนื่องมาจากคุณสมบัติของพื้นผิวอนุภาคนั้นขึ้นอยู่กับความไม่สมดุลย์ของโครงสร้างอะตอมภายใน (interior lattice imperfection) ของมันตามภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แสดงการจัดรูปแบบของศักย์ภาพไฟฟ้าในชั้นแพร่ซึมกู่ (diffuse double layer) ของคอลลอยด์

(ข) ส่วนอีกครึ่งหนึ่ง (ภาพ ก) นั้น การเพิ่มอิเล็กโทรไลต์ดังกล่าวข้างต้นจะทำให้ชั้นคู่มมีความสามารถ (capacitance หรือค่าของ C) เพิ่มขึ้น จึงเป็นสาเหตุให้ชั้นไฟฟ้ามีประจุเพิ่มขึ้น แต่ ψ_0 ยังคงเดิม เพราะฉะนั้นจะเห็นได้ว่ารอบๆบริเวณ

พื้นผิวของคอลลอยด์นั้นปรากฏการณ์ของประจุพื้นผิว (σ) ศักยภาพพื้นผิว (ψ_0) และอิเล็กโทรไลต์ ในระบบของคอลลอยด์ ย่อมมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันอย่างใกล้ชิดดังจะเห็นได้จากสมการ Gouy-Chapman ดังนี้

$$\sigma = (8N\epsilon_n\epsilon_0kT) \sin.h \frac{Ze\psi_0}{2 kT} \dots\dots\dots(2)$$

ในเมื่อ

N = จำนวนของไอออนต่อหน่วยปริมาตร

ϵ_n และ ϵ_0 เป็น permittivities ของ medium และ vacuum ตามลำดับ

Z = วาเล้นซ์ของไอออน

e = ประจุของอิเล็กตรอน

k = เป็นสัดส่วนกลับค่าความหนาสมมูลย์ของชั้นคู่ (reciprocal of effective thickneas of double layer)

ความสัมพันธ์ข้างบนนี้ (สมการที่ 2) เสนอแนะให้เห็นว่า interface ของคอลลอยด์ประเภทพื้นผิวผันกลับไม่ได้ (non-reversible) อย่างเช่น กรณีของเรดินเหนียวชนิด 2 : 1 นั้นศักย์ภาพพื้นผิวอาจเปลี่ยนแปลงได้โดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ และในทางกลับกันถ้าศักย์ภาพพื้นผิว คงที่การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ที่จะมีผลให้ประจุพื้นผิวของคอลลอยด์ เปลี่ยนแปลงดังเช่นที่เกิด

ขึ้นกับเรดินเหนียวชนิด 1:1 และสารพวกออกไซด์ต่างๆ(Bérubé and de Bruyn, 1968; Van Raij and Peech, 1972) จะอย่างไรก็ตาม สำหรับพื้นผิวคอลลอยด์ในระบบของสารละลายดินโดยเฉพาะอย่างยิ่งพวกที่เป็นศักย์ภาพผันกลับได้ (reversible potential) นั้น เราสามารถนำแนวความคิดตามที่ Nernst ได้ให้ไว้มาใช้เพื่อประโยชน์ในการศึกษาเกี่ยวกับศักย์ภาพพื้นผิว (ψ_0) ของคอลลอยด์ในดินได้ดังนี้

$$\psi_0 = \frac{RT}{F} \ln \frac{A_{H^+}}{A_{H_0^+}} \dots\dots\dots(3)$$

ในเมื่อ

A_{H^+} = กิจกรรมของไฮโดรเจน (hydrogen activity) ในชั้นของของเหลว

$A_{H_0^+}$ = กิจกรรมของไฮโดรเจนที่ซึ่งมี ψ_0 เป็นศูนย์

จุดประจุนัยหรือที่เรียกว่า P.Z.C ของดิน (The Point of Zero Charge)

โดยเหตุที่อิเล็กโทรไลต์มีอิทธิพลต่อพื้นผิว ศักยภาพและประจุพื้นผิวของคอลลอยด์ดังได้กล่าวแล้ว ฉะนั้นเราจึงเรียกอิเล็กโทรไลต์ที่เข้ามามีเกี่ยวข้องในระบบนี้ว่า อิเล็กโทรไลต์ค้ำจุน (supporting electrolyte) ซึ่งย่อมจะมีความ

สัมพันธ์เกี่ยวกับการดูดซับและการปลดปล่อยไอออนต่างๆ ระหว่างชั้นของของแข็งกับชั้นของของเหลวในสารละลายโดยเฉพาะอย่างยิ่งไฮโดรเจนไอออน หรือไฮดรอกซิลไอออนดังจะเห็นได้จากสมการที่ 3 ว่าอนุภาคของดินประเภทศักย์ภาพพื้นผิวคงที่นั้น ศักย์ภาพพื้นผิวของมันเปลี่ยนแปลงไปตามกิจกรรมของไฮโดรเจนไอออน

(หรือไฮดรอกซิลไอออน) เมื่อเป็นเช่นนั้นเท่ากับว่า ถ้าเราทราบค่ากิจกรรมของไฮโดรเจนไอออนที่เมื่อมีศักยภาพเป็นศูนย์ (ซึ่งที่จุดนั้นคอลลอยด์จะไม่อยู่ภายใต้อำนาจสนามไฟฟ้า) นั่นคือที่จุดประจุศูนย์หรือ P.Z.C นั่นเอง แล้วเราก็สามารถทำการศึกษาพื้นผิวศักย์ภาพ (ψ_0) ของสารคอลลอยด์ในดินที่ pH ใดๆก็ย่อมจะทำได้ในเมื่อ

$$\psi_0 = 2.303 \frac{RT}{F} (pH - pH_{P.Z.C}) \quad \text{.....(4)}$$

ที่ (25°C)

ในเมื่อ $pH_{P.Z.C} = pH$ ที่ซึ่งประจุพื้นผิวเป็นศูนย์

ธาตุอาหารต่างๆ ที่มีอยู่ในดินเป็นสิ่งที่มีทั้งถึง ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ดินพวกเฟอร์รัลไลติก (Ferrallitic soils) นั้น แคทไอออน (cations) หรือแอนไอออน (anions) ที่มีอยู่ในดินอาจถูกกระทบกระเทือนหรือเปลี่ยนสถานะภาพได้ตาม บั๊จจี้และองค์ประกอบที่ควบคุมอยู่ อาทิเช่น ชนิดของแร่ดินเหนียวซิลิเกต (silicate clay minerals) แซสควิโอไซด์ (sesquioxides) และอินทรีย์สารเหล่านี้ เป็นต้น และโดยเหตุที่ คอลลอยด์ของดินในเขตร้อนและชุ่มชื้นมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแร่ดินเหนียวชนิด 1 : 1 และออกไซด์ของธาตุ Fe และ Al สูง ฉะนั้น โดยทั่วไปแล้วจึงคาดหวังไว้ว่าสมบัติประจุของ คอลลอยด์จะต้องขึ้นอยู่กับ pH (หรือเรียก pH dependent) และดำเนินไปตามแบบฉบับ (model) ของดินประเภทศักย์ภาพพื้นผิวคงที่ นั่นก็คือ ประจุพื้นผิวของคอลลอยด์สามารถเปลี่ยนแปลงจากประจุบวก (positive) เมื่อดินมี pH ต่ำ และเรื่อยไปจนไม่มีประจุเลยและหลังจากนั้นประจุลบ (negative) ก็จะปรากฏให้เห็นและเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อ pH ของดินเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเป็นเช่นนั้นก็แสดงให้เห็นว่าในระหว่างการเปลี่ยนแปลงประจุของคอลลอยด์จากบวก เป็นลบหรือจากลบเป็นบวกในระบบของมันนั้น จะต้องมียุติจุดใดจุดหนึ่งในระบบที่คอลลอยด์ไม่มีประจุเลย นั่นคือคอลลอยด์มีประจุเป็นศูนย์ที่

H^+ และ/หรือ OH^- ทำหน้าที่เป็นตัวประจุพื้นผิว (σ) ของคอลลอยด์นั้นภายใต้ระบบของอิเล็กโทรไลต์ที่ค่าหนึ่งที่กำหนดโดยมีข้อแม้ว่าจุด P.Z.C ในระบบที่ถูกกำหนดขึ้นนั้นได้ทราบค่ามาก่อน โดยอาศัยความสัมพันธ์ดังนี้ (Parks and de Bruyn, 1962; Van Raij and Peech, 1972; Arnold, 1977)

pH ใด pH หนึ่งโดยเฉพาะ ที่จุดดังกล่าวนี้เราถือเป็นจุดอ้างอิง (referent point) ซึ่งเราเรียกว่าจุดประจุศูนย์หรือจุด P.Z.C ของดิน

โดยทั่วไปแล้วในดินเขตร้อนและชุ่มชื้น มีประจุที่อนุภาคของคอลลอยด์เป็นลบที่ pH ธรรมชาติ (field pH) และที่ pH ธรรมชาติจะอยู่เหนือ pH ที่จุด P.Z.C เสมอ สำหรับดินทางภาคใต้ของประเทศไทย เท่าที่ได้เคยทำการศึกษาในบางท้องที่ (Sutthithammoh, 1979) ก็ได้แสดงให้เห็นคุณสมบัติของคอลลอยด์ชนิดเดียวกันกับที่กล่าวแล้วอย่างเห็นได้ชัด ฉะนั้นการศึกษาจุด P.Z.C ของดินจึงมีประโยชน์ในทางปฏิบัติการทางดิน โดยทั่วไปเป็นอย่างมาก เพราะทำให้เราสามารถทราบแนวโน้มการดูดซับ ธาตุอาหารของดินว่ามีมากน้อยเพียงไรโดยการยึดเอาจุด P.Z.C เป็นหลักในการพิจารณาสำหรับดินชุดนั้นๆ และสำหรับดินแต่ละชุด (soil series) จะมีจุด P.Z.C แตกต่างกันไปตามชนิดของดินซึ่งไม่เหมือนกัน ดังจะเห็นได้จากภาพที่ 3 แสดงเส้นไตเตรชัน (titration curves) การหาจุด P.Z.C แบบธรรมชาติและง่ายที่สุดที่เรียกว่าเดลต้า pH (Delta pH) จากดินชุดคองหงส์ (หรือเรียกย่อๆว่า Kh series) ตามภาพจะพบว่าที่ pH ธรรมชาติดินชนิดนี้มี pH เป็น 4.9 ที่ดินชั้นบน (Ap) และ 4.5 ที่ดินชั้นล่าง (B_{22t}) แต่ค่าของ pH ที่จุด P.Z.C = 3.8 ที่ดิน

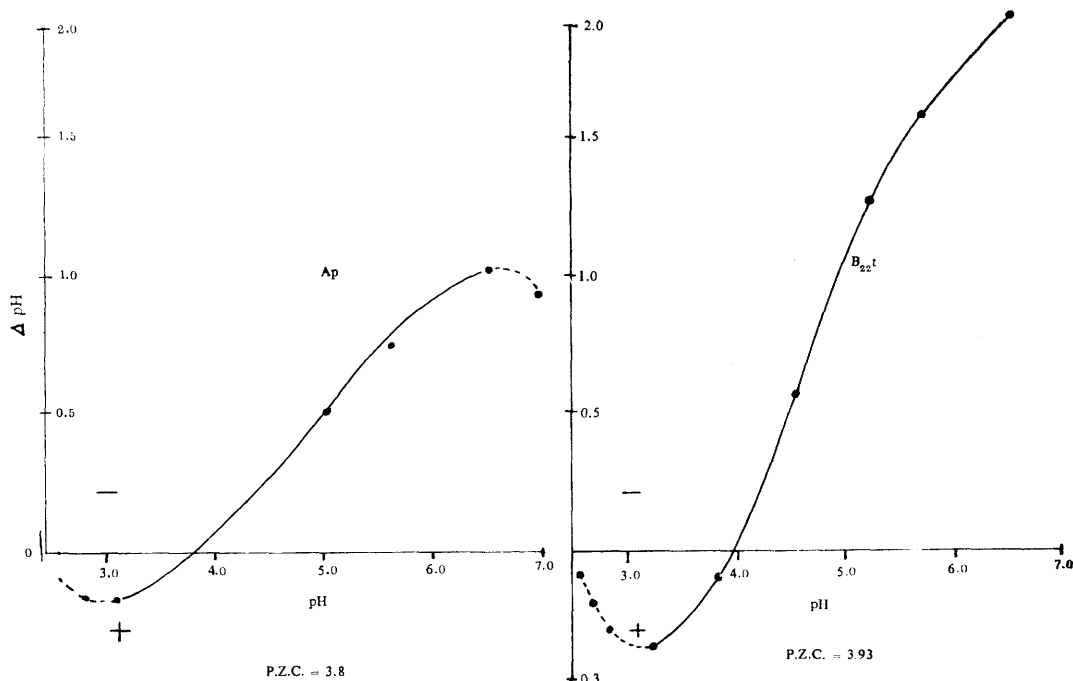


Figure 3 The P.Z.C. of Kh series as determined by Delta pH Method

ชั้นบน และ = 3.93 ที่ดินชั้นล่างตามลำดับ จากเส้นไตเตรชันจะเห็นว่าสถานะภาพของคอลลอยด์มีประจุพื้นผิวเปลี่ยนแปลงไปตาม pH คือเป็น pH dependent โดยสิ้นเชิงกล่าวคืออาจเป็นบวกหรือลบมากหรือน้อย หรือแม้แต่ให้เป็นศูนย์อย่างใดก็ได้ ถ้าเรายังคงให้ pH เปลี่ยนแปลงไปตามที่เราต้องการ และแน่นอนที่สุดผลตามมาก็คือว่าย่อมส่งผลสะท้อนต่อการดูดซับ และการปล่อยออกของแคทไอออนและแอนไอออนในดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การประเมินค่าของความสามารถการแลกเปลี่ยนแคทไอออนหรือที่เรียกว่า C.E.C (cation exchange capacity) ของดิน

ประจุพื้นผิวของดินประเทศไทยบางท้องถิ่นและบทสรุป

ดินในแถบเขตร้อนและเขตอบอุ่นตามส่วนต่างๆ ของโลกหลายชนิด เช่น Oxisols, Inceptisols (ดินภูเขาไฟที่สลาย), Andepts (จากประเทศชิลี), Spodosols และอื่นๆ ได้มีผู้นำมาศึกษาจนในปัจจุบันนี้เกือบไม่มีข้อสงสัยว่าดินประเภท

นี้ส่วนใหญ่คุณสมบัติของคอลลอยด์เป็นแบบศักย์ภาพพื้นผิวคงที่ และแสดงคุณสมบัติทางเคมีไฟฟ้าเช่นเดียวกับดินบางท้องถิ่นทางภาคใต้ของประเทศไทย ภาพที่ 4 ก็เป็นตัวอย่างอีกตัวอย่างหนึ่งของดินประเทศไทยที่ได้จากดินชุดแกลง (หรือเรียกย่อๆ ว่า KI series) ภาพนี้แสดงเส้นไตเตรชันโดยวิธีกรดและด่าง (Acid-Base Titration) ในระบบสมดุลที่มอดิฟิไเออร์เร็นโอเลโทไรท์ค่าจุณ โดยวิธีการนี้ H^+ หรือ OH^- อีออนก็จะทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดศักย์ภาพพื้นผิวของคอลลอยด์ และจะได้ประจุพื้นผิวรวมทั้งหมดที่ pH ต่างๆ กัน (net surface charge densities) ดังนั้นในระบบสารละลายดินที่มีความเข้มข้นของโอเลโทไรท์ค่าจุณต่างกันย่อมจะให้เส้นไตเตรชันที่ต่างกันดังภาพเส้นไตเตรชันแต่ละเส้นจะมีประจุพื้นผิวรวม (σ) มากน้อยแค่ไหนก็ขึ้นอยู่กับความมากน้อยของ H^+ หรือ OH^- อีออนที่ถูกดูดซับได้ที่ผิวของคอลลอยด์ (คือส่วนที่พื้นผิวของชั้นไฟฟ้าคู่) ซึ่งเราอาจเขียนได้ว่า

$$\sigma = H^+ - OH^-$$

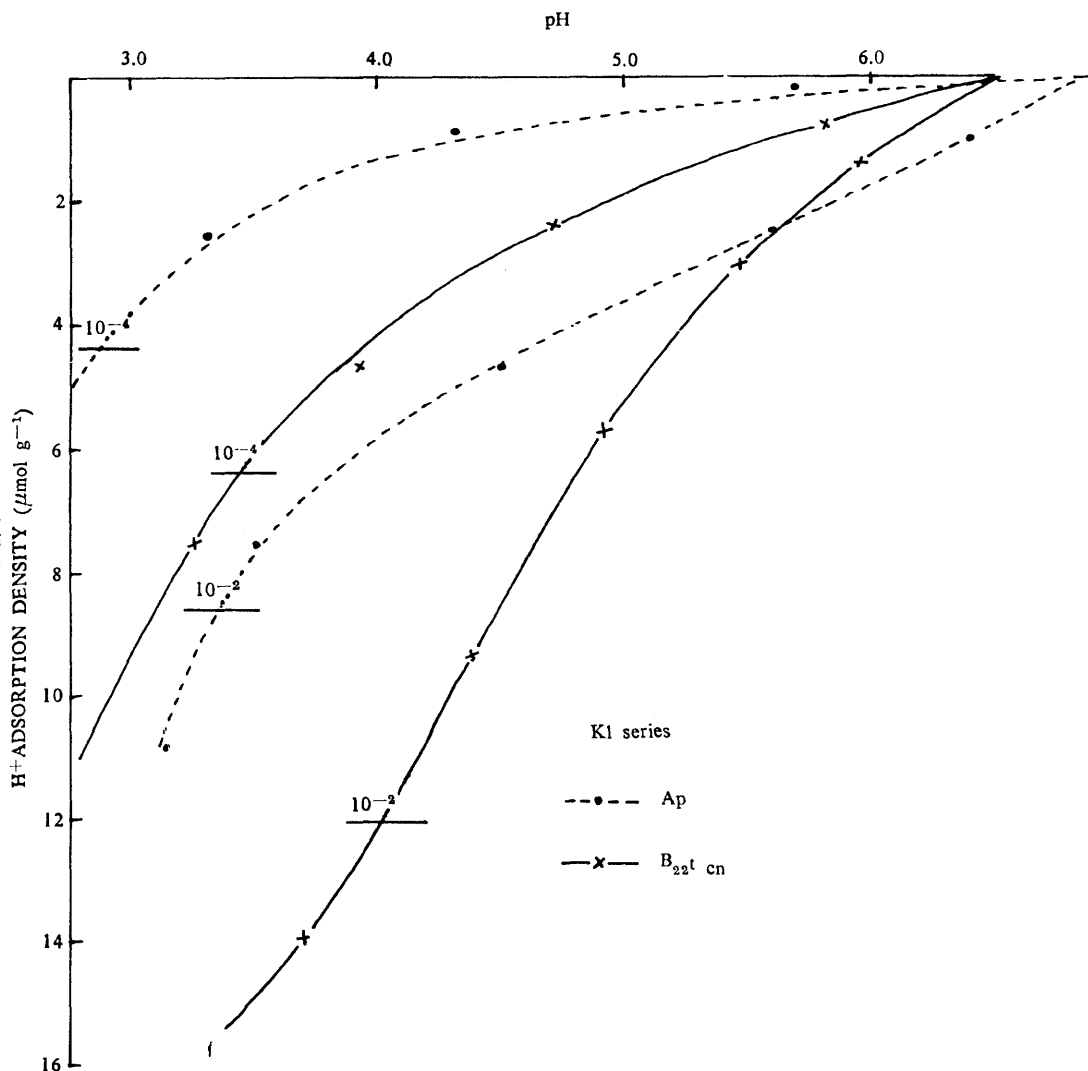


Figure 4 The H^+ adsorption isotherms of the K1 soil as a function of pH (horizontal solid lines indicating the reference points).

นั่นก็หมายความว่าประจุบวกที่ผิวของคอลลอยด์เป็นผลสืบเนื่องจาก H^+ อีออนที่ถูกดูดซับไว้มีมากเกินไป และในทำนองเดียวกันประจุลบที่เกิดขึ้นที่ผิวของคอลลอยด์ก็เนื่องมาจากการที่มันดูดซับเอา OH^- อีออนเข้าไว้เป็นส่วนที่เกินไปเช่นกันเมื่อคำนึงถึงจุด P.Z.C ของมัน ดังนั้นที่จุด P.Z.C ณ pH ใด pH หนึ่งของสารละลายดินนั้นจะมีประจุพื้นผิวรวมเป็นศูนย์ (σ_0) หรืออาจเขียนได้ว่า

$$H^+ - OH^- = 0 = \sigma_0 \text{ หรือ } \sigma_0 = P.Z.C$$

จากภาพที่ 4 จะเห็นว่าความมากมายของ H^+ อีออนที่ถูกดูดซับ (H^+ adsorption density) ต่อการเปลี่ยนแปลง pH ไม่ว่าจะเปลี่ยนดินชั้นบน (Ap) หรือดินชั้นล่าง (B_{22tcn}) ต่างก็แสดงลักษณะของเส้นไตเตรชันไปในแนวเดียวกัน ดังได้กล่าวไว้ในระบบสารละลายดินเดียวกัน ที่มีความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ค่าจุนต่างกัน จะมีผลให้เส้นไตเตรชันต่างกัน (เช่นจาก 10^{-4} mole dm^{-3} ไปเป็น 10^{-2} mole dm^{-3} NaI) แต่จะมีอยู่จุดหนึ่งที่จะต้อง pH เท่ากันไม่ว่า

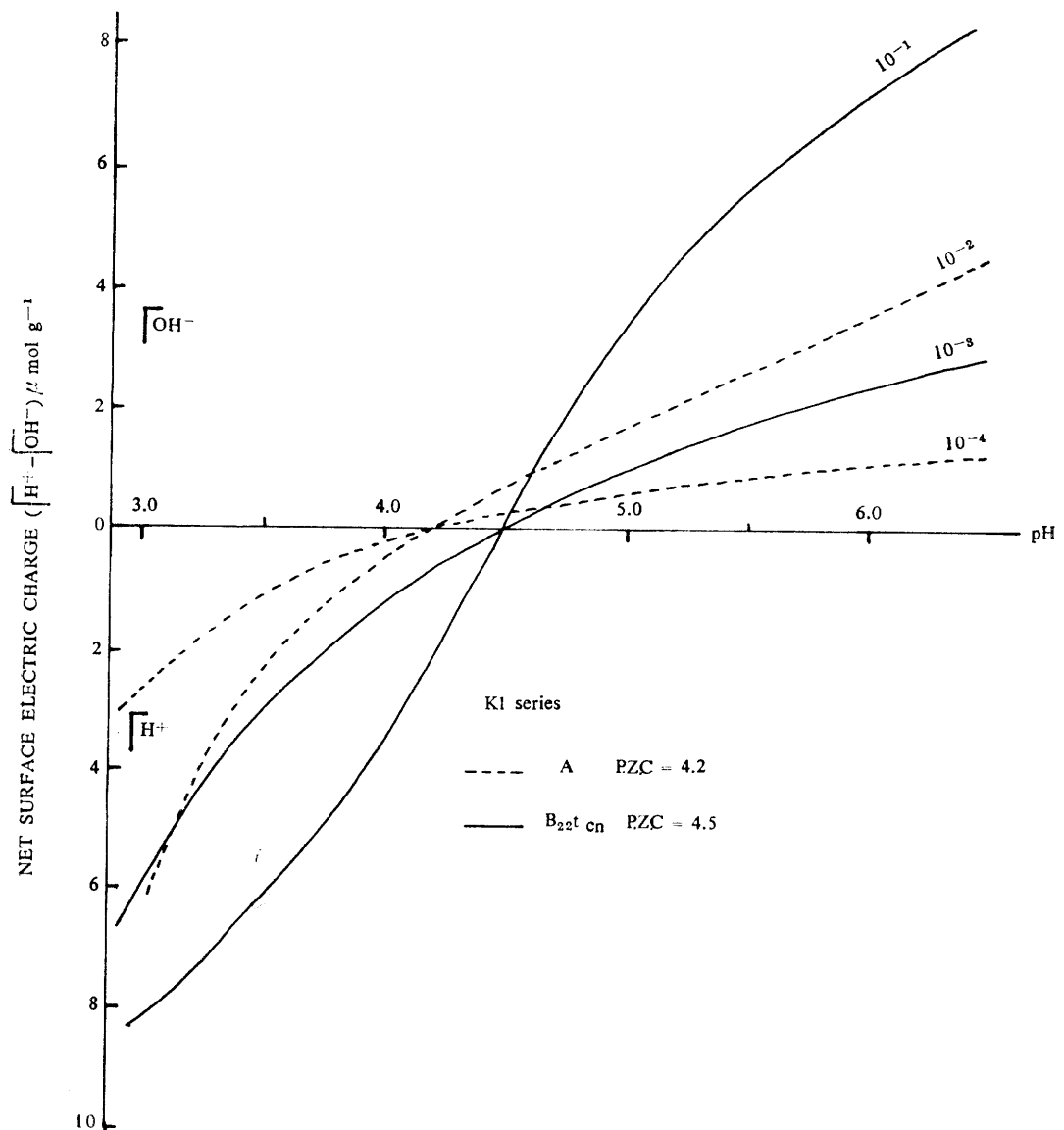


Figure 5 Surface charge behaviour and the point of sero charge (P.Z.C.) of K1 soil (Low Humic Gley).

สารละลายดินนั้นจะมีความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ต่างกันเพียงไรก็ตามจุดนั้นคือจุด P.Z.C. นั้นย่อมหมายความว่าบนเส้นไตเตรชันสองเส้นจะต้องทับกันสนิทและพอดีที่ pH หนึ่ง และที่ pH นั้นก็คือ pH ของ P.Z.C. นั้นเอง ดังแสดงให้เห็นในภาพที่ 5 เป็นผลจากการวางแนวเส้นสองเส้นให้ทับกัน (aligning curves) ซึ่งก็จะตัดกันที่จุด P.Z.C. ทั้งดินชั้นบนและดินชั้นล่างจะมี P.Z.C. ที่ต่างกันดังภาพ นอกจากนั้น

แล้วภาพที่ 5 ยังให้ข้อมูลที่ประโยชน์ยิ่ง (เมื่อเทียบกับภาพที่ 3 และ 4) กล่าวคือทำให้เราทราบว่าที่ pH ธรรมชาติดินชั้นนั้นจะมีประจุไฟฟ้าพื้นผิวรวม (net electric surface charge) เป็นอย่างไรและเป็นบวกหรือลบ ยิ่งไปกว่านั้นถ้าเราเพิ่มหรือลด pH ของดินนั้นไปจากเดิมแล้วดินจะแสดงคุณสมบัติของประจุไปทางใด มากหรือน้อยเท่าใด (magnitude of charge) ดังจะเห็นได้จากเส้นไตเตรชันว่าที่จุด pH ต่างกัน

จะมีชนิดของประจุตลอดจนความมากน้อยของประจุก็แตกต่างกันไป อันแสดงให้เห็นคุณสมบัติทางเคมีไฟฟ้าที่เด่นชัดของดินแบบสัณยภาพพื้นผิวของดินในเขตร้อนและชุ่มชื้น ดินในประเทศไทยเท่าที่พบปรากฏว่าโดยทั่วไปแล้ว P.Z.C ของดินชั้นบนมีค่าน้อยกว่าดินชั้นล่างของดินชุดเดียวกัน

ด้วยเหตุผลดังกล่าวแล้วแต่ต้น เมื่อนำมาพิจารณาค่าของ C.E.C ของดินตามที่เราได้ปฏิบัติทำกันในห้องทดลองไม่ว่าจะเป็นวิธีแอมโมเนียมอะซิเตท (ammonium acetate) ที่ pH 7 หรือวิธีแบเรียม (barium saturation) ที่ pH 8.2 ซึ่งได้นำมาใช้และเห็นว่าดีที่สุดทั้งที่จะกระทำได้ในขณะนั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งถือเป็นธรรมเนียมในการปฏิบัติโดยหลักสากลไม่คำนึงถึงแบบฉบับของดินนั้นว่าเป็นพวกที่มีประจุพื้นผิวผันกลับได้หรือผันกลับไม่ได้ (reversible หรือ non-reversible type) ดังนั้นสำหรับดินที่มีคอลลอยด์ผันกลับได้ (reversible colloids) นั้น การประเมินค่า C.E.C ไม่ว่าจะเป็นวิธีใดในสองวิธีดังกล่าวข้างต้นค่าของ C.E.C ที่ได้รับย่อมจะเป็นค่าที่เกินจากความเป็นจริงอย่างไม่ต้องสงสัย และสมควรที่นักวิทยาศาสตร์ทางดินจะได้ทบทวนเรื่องนี้เสียใหม่อย่างจริงจังเพื่อความถูกต้องตามควรแก่กรณี

เอกสารอ้างอิง

- Arnold, P.W. 1977. Science and the search for unifying concepts. Jour. Soil Sci. 29 (3) : 393-402.
- Bérubé, Y.G. and P.L. de Bruyn. 1968. Adsorption at the rutile solution interface. I. Thermodynamic and experimental study. Jour. Colloids and Interface Sci. 27 : 305-319.
- Balasubramanian, V. and Y. Kanehiro. 1978. Surface chemistry of the
- hydrandeps and its relation to nitrate adsorption as affected by profile depths and hydration. Jour. Soil. Sci 103 : 47-57.
- El-Swaify, S.A. and A.H. Sayegh. 1975. Charge characteristics of an Oxisol and an Inceptisol from Hawaii. Soil Sci. 129 (1) : 49-58.
- Gillman, G.P. and D.C. Bell. 1976. Surface charge characteristics of six weathered soils from tropical north Queensland. Aust. Jour. Soil Res. 14 : 351-360.
- Laverdière, N.R. and R.M. Weaver. 1977. Charge characteristics of spodic horizons. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 41 : 505-510.
- Mekaru, T. and G. Uehara. 1972. Anion adsorption in ferruginous tropical soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 36 : 296-300.
- Parks, G.A. and P.L. de Bruyn. 1962. The zero point of charge of oxides. Jour. Phys. Chem. 66 : 967-973.
- Sutthithammoh, K. 1979. The behaviour of phosphorus and potassium in soils of the Krabi province of Thailand. Ph.D. Thesis, Newcastle-University.
- Van Olphen, H. 1966. Clay colloid chemistry. Interscience Publishers. A Division of John Willey and Sons. New York.
- Van Raij, B. and M. Peech. 1972. Electrochemical properties of some Oxisols and Alfisols of the tropics. Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 36 : 587-593.