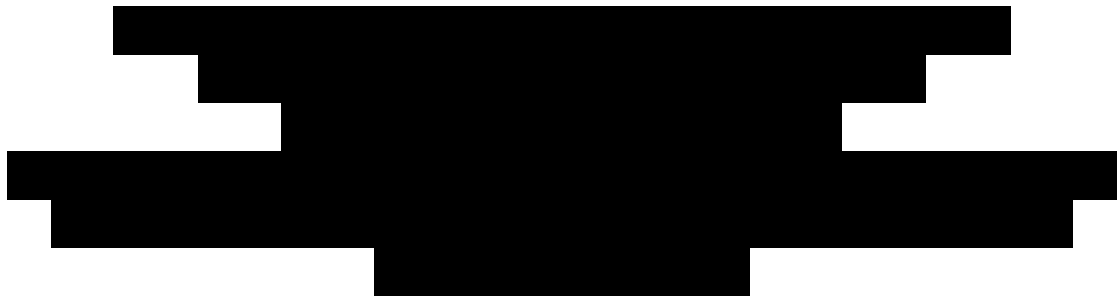


## โครงการศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเพื่อปรับปรุงดินบริเวณลาดเอียง : พื้นที่ภาคกลาง

### The Study of Soil Engineering Properties for Slope Improving : Central Area



#### บทคัดย่อ

การศึกษานี้ต้องการศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินและปริมาณการกัดเซาะหน้าดินของดินกระจายตัวของบริเวณลาดเอียงในพื้นที่ภาคกลางที่ระดับความลาดเอียงต่าง ๆ ในงานชลประทาน ที่เปลี่ยนแปลงไปจากการใช้ปุ๋ยหรือสารส้มน้ำปรับปรุงสมบัติการกระจายตัวของดิน โดยเริ่มจากการสำรวจและคัดเลือกตัวอย่างดินกระจายตัวในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดลพบุรี แล้วจึงทดลองหาอัตราส่วนผสมของวัสดุปรับปรุงดิน ได้แก่ ปุ๋ย และ สารส้มน้ำ ที่ทำให้ระดับการกระจายตัวของดินลดลงเหลือ 15 และ 33 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นจึงศึกษาสมบัติทางวิศวกรรมและการกระจายตัวของตัวอย่างดินหลังจากการเตรียมตัวอย่าง รวมถึงศึกษาการกัดเซาะหน้าดินโดยน้ำฝนที่ลาดเอียง 1: 1.5 และ 1: 2 พบว่าปุ๋ยสามารถลดการกัดเซาะได้มีประสิทธิภาพมากกว่าสารส้มน้ำ แต่ส่งผลให้สมบัติทางวิศวกรรมของดินเปลี่ยนแปลง ค่าดัชนีความเหนียวและค่าความแน่นแห้งสูงสุดลดลง แปรผกผันกับค่าความชื้นของน้ำผ่านมวลดินและกำลังรับแรงเฉือนของดินเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะค่ามุมเสียดทานภายในซึ่งแตกต่างจากการปรับปรุงดินด้วยสารส้มน้ำ ที่เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางวิศวกรรมเล็กน้อย แต่สามารถทนต่อการกัดเซาะได้อย่างมีประสิทธิภาพ

**คำสำคัญ :** คุณสมบัติทางวิศวกรรม , ดินกระจายตัว , ลาดเอียง , ปุ๋ย , สารส้มน้ำ

## **Abstract**

The objective is to study the changing of soil engineering properties and top soil erosion rate of dispersive clay on slopes in the central region at various slope levels in irrigation work due to utilize lime treatment and alum treatment for improving dispersive soil condition. Initially the study carries out the survey and selecting the sample of dispersive soil in the Royal Initiative Project, Pa Sak Jolasid Operation and Maintenance Project in Lopburi. The study is ongoing to determine the appropriate mixing ratio of soil amendment materials such hydrated lime and alum solution that contribute the degree of dispersive soil decrease to 15% and 33%. Soil samples after treatment are examined soil engineering properties and the degree of dispersive soil including study soil erosion by rain on sloping 1:1.5 and 1:2. The result indicates that soil erosion can be treated by lime treatment that has more efficient than alum treatment unless lime treatment brings about soil engineering properties changed. The experiment explains that volume of soil particle smaller than 0.075 mm. is decreased due to the pozzolanic reaction that forms a strong cementation matrix in the clay particle. Moreover, other property index after lime treatment such Plasticity Index and Maximum Dry Density also decrease that show inverse value to Soil Permeability as well as Soil Shear Strength raises up especially Angle of Internal Friction. When classifying soil group with the USCS, the soil group transform from CL to SM. However, alum treatment still contributes soil erosion endurance efficiently whereas soil engineering properties have slightly changed.

**Keywords :** Soil engineering properties, Dispersive soil, Slope, Lime treatment, Alum treatment

## 1. บทนำ

ลาดดินพังทลายเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่สามารถพบเห็นได้ทั่วไปโดยเฉพาะในระบบชลประทาน เนื่องจากปัจจุบันยังคงใช้ระบบคลองส่งน้ำที่วางอยู่บนดินซึ่งมักพบการชำรุดบริเวณลาดคลองจากการถูกกัดเซาะด้วยน้ำหรือฝน หากเกิดขึ้นในบริเวณที่เป็นคลองดินจะทำให้เกิดรูโพรงทะลุผ่านคันดินทั้งด้านในและด้านนอกของคลองส่งน้ำ หากเกิดขึ้นในบริเวณคลองตาดคอนกรีตน้ำจะซึมผ่านรอยต่อระหว่างดินกับแผ่นคอนกรีตบริเวณด้านบนคันคลอง กัดเซาะดินเป็นแนวลอดใต้คอนกรีตตาดคลองจนล้นออกมาบริเวณรอยต่อที่ท้องคลอง ทำให้เกิดการแตกร้าวของแผ่นคอนกรีตตาดคลอง ทำให้ประสิทธิภาพการส่งน้ำลดลง

อีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้คลองส่งน้ำเกิดความเสียหายคือการนำดินกระจายตัวมาก่อสร้าง เนื่องจากดินกระจายตัวเป็นดินที่ถูกกัดเซาะได้ง่ายเมื่อมีน้ำสะอาดหรือน้ำฝนไหลผ่าน จึงสามารถเกิดการกัดเซาะทุกรูปแบบ ส่งผลให้ระบบชลประทานเสียหาย ด้วยเหตุนี้สำนักวิจัยและพัฒนาจึงพัฒนาวิธีการปรับปรุงดินกระจายตัวตามมาตรฐานกรมชลประทาน 2 วิธี คือ การปรับปรุง ดินกระจายตัวด้วยปูนขาว (Lime Treatment) และ การปรับปรุงดินกระจายตัวด้วยสารส้มน้ำ (Alum Treatment) ซึ่งมีการลดระดับการกระจายตัวลงจนถึงจุดปลอดภัย (ประมาณ 15%) ก่อนนำดินที่ผ่านการปรับปรุงไปก่อสร้างตามกระบวนการปกติ

การศึกษาในครั้งนี้ต้องการศึกษาการดำเนินการด้านการกัดเซาะของดินกระจายตัวที่ถูกปรับปรุงด้วย ปูนขาวหรือ สารส้มน้ำ และอิทธิพลของวัสดุปรับปรุงที่ส่งผลต่อสมบัติด้านวิศวกรรม เพื่อใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนงานปรับปรุงคุณภาพดินกระจายตัวของกรมชลประทานให้มีความปลอดภัย คงทนถาวร โดยใช้ตัวอย่างดินกระจายตัวจากพื้นที่ภาคกลาง ในเขตพื้นที่ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดลพบุรี

## 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1. การเกิดดินกระจายตัว

ดินกระจายตัวในประเทศไทยเกิดจากการสลายตัวของแร่ในหินแกรนิตและหินไนส์ด้วยปฏิกิริยาเคมีเมื่อฝนตกก็จะถูกชะล้างลงสู่ที่ต่ำ จึงสามารถพบเห็นดินกระจายตัว ในบริเวณที่มีการสะสมของตะกอนดินหลังน้ำท่วมและพื้นที่ที่เป็นแอ่งรองรับตะกอนดิน เช่น จังหวัดนครราชสีมา จังหวัดบุรีรัมย์ และ จังหวัดสุรินทร์ ส่วนภาคตะวันออกเฉียงเหนือสามารถพบดินกระจายตัวรุนแรงมากที่อำเภอตาพระยา จังหวัดสระแก้ว ซึ่งการกระจายตัวของดิน เกิดจากสาเหตุหลัก 2 ประการ ได้แก่

2.1.1. การมีโซเดียมซึ่งละลายในน้ำจำนวนมากเมื่อเทียบกับปริมาณของไอออนบวกทั้งหมด

โซเดียมเหล่านี้จะเพิ่มความหนาแน่นของน้ำที่ล้อมรอบอนุภาคดินเหนียว ทำให้แรงดึงดูดระหว่างอนุภาคของดินลดลง เป็นผลให้อนุภาคเหล่านี้แยกตัวออกจากเนื้อดินได้ง่าย และเกิดสภาพแวนลอยอยู่ในน้ำ ต่างจากดินไม่กระจายตัวที่เมื่อเปียกน้ำตะกอนจะจับกลุ่มและไม่กระจายตัวออกไป (อร่ามศรี, 2530) โดยปกติเกลือละลายในดินจะประกอบด้วยเกลือของโซเดียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียมเป็นหลักในสัดส่วนที่แตกต่างกันไป แต่ถ้าดินนั้นประกอบด้วยเกลือละลายโซเดียมมากกว่า 60% ขึ้นไปพบว่าส่วนใหญ่จะเป็นดินกระจายตัว

### 2.1.2. จากโครงสร้างของดินเหนียว

เนื่องจากดินกระจายตัวนั้นเกิดขึ้นในส่วนที่เป็นดินเหนียว ชนิดและโครงสร้างของดินเหนียวจึงเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดดินกระจายตัว ซึ่งสามารถแบ่งตามโครงสร้างของผลึกออกเป็น 3 กลุ่ม ดังต่อไปนี้

1) กลุ่มแร่เคโอลิไนต์ (Kaolinite) แร่ดินเหนียวในกลุ่มนี้ ประกอบด้วยแผ่นซิลิกาและแผ่นอะลูมินาประกบกันอย่างละ 1 แผ่น (1: 1 Type- Clay) เกิดพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bond) ทำให้เกาะกัน

อย่างเหนียวแน่น จึงทำให้ไม่สามารถเกิดขยายหรือหดตัวเมื่อความชื้นเปลี่ยนแปลง จึงถูกจัดเป็นพวกดินไม่กระจายตัว (Non-Dispersive Clay)

2) กลุ่มแร่สเม็กไทต์ (Smectite) แร่ดินเหนียวในกลุ่มนี้มีหลายชนิด แต่ที่สามารถพบเห็นมากที่สุดคือแร่มอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite) ประกอบด้วย แผ่นซิลิกาและแผ่นอะลูมินาประกบกันอย่างละ 1 แผ่น (1: 1 Type- Clay) แต่ไม่ได้เกิดพันธะไฮโดรเจน เกิดเพียงแรงเกาะกันเบาบาง (Oxygen-Oxygen Linkage) ซึ่งโมเลกุลของน้ำและแคตไอออน (Cation) สามารถซึมดูดซับเข้าไปได้ง่าย จึงทำให้เกิดการพองตัวและหดตัวเป็นร่อง โครงสร้างผลึกไม่แข็งแรง ถูกชะล้างได้ง่าย จัดเป็นดินกระจายตัว (Dispersive Clay)

3) กลุ่มแร่อิลไลต์ (Illite) โครงสร้างมีลักษณะคล้ายกลุ่มแร่สเม็กไทต์ แต่เนื่องจากมีโพแทสเซียม (K) แทรกอยู่ในโครงสร้าง ทำให้ไม่สามารถขยายหรือหดตัวเมื่อความชื้นเปลี่ยนแปลง จึงมีสมบัติอยู่ระหว่างแร่เคโอลินไนต์ (Kaolinite) และ แร่สเม็กไทต์ (Smectite) ดินเหนียวชนิดนี้ ยังจัดอยู่ในพวกดินกระจายตัว (Dispersive Clay)

## 2.2. การปรับปรุงดินกระจายตัว

วิธีการตามมาตรฐานของสำนักวิจัยและพัฒนากรมชลประทาน ได้เสนอวิธีการทางเลือกไว้ 2 วิธี โดยใช้สารปรับปรุงระดับการกระจายตัว (Degree of Dispersion) ให้ลดลงจนถึงจุดปลอดภัย โดยใช้ปูนขาวหรือสารส้มน้ำ

### 2.2.1. การปรับปรุงดินกระจายตัวด้วยปูนขาว (Lime Treatment)

เป็นการปรับปรุงโดยใช้สารเพิ่มเสถียรภาพและลดการกระจายตัวของดิน ในกรณีการใช้ปูนสุก (Quicklime) ซึ่งมีแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นส่วนประกอบหลัก และมีแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) เป็นส่วนประกอบรอง เมื่อปูนสุก (Quicklime) ผสมกับน้ำจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) เกิดปูนขาว (Hydrated Lime) และเกิดความร้อน มีผลให้ปริมาตร

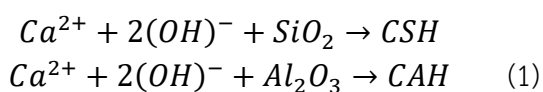
เพิ่มขึ้น กรณีการใช้ปูนขาว (Hydrated Lime) มีข้อดีคือ ความร้อนเมื่อทำปฏิกิริยาน้อยกว่า มีฤทธิ์กัดกร่อนเครื่องจักรน้อยกว่า และเป็นอันตรายต่อผู้ใช้น้อยกว่า แต่ใช้ปริมาณมากกว่าปูนสุก (Quicklime) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณในงานเดียวกัน (Hausmann, 1990) การปรับปรุงดินโดยใช้ปูนขาว ถูกใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อแก้ไขปัญหาดินกระจายตัวในงานวิศวกรรมเขื่อนดิน ซึ่งสามารถลดการกระจายตัวของดินได้ดี เมื่อผสมด้วยสัดส่วนที่เหมาะสม ทำให้ดินยังคงมีความยืดหยุ่นระหว่างบดอัดลงบนลาดดินตัวเขื่อน ซึ่งเกิดปฏิกิริยาเคมี 4 ลักษณะ ได้แก่

การแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้า (Cation Exchange) เป็นการแทนที่หรือแลกเปลี่ยนของไอออนบวก (Cation) ของดินกับปูนขาว ซึ่งการเพิ่มปูนขาวลงในดิน จะเกิด  $Ca^{2+}$  จำนวนมากจับตัวที่ผิวของเม็ดดิน โดยเชื่อมประสานโยงใยกันจนปกคลุมเม็ดดิน ทำให้วงน้ำ (Double Layer) แคบลง ส่งผลให้เม็ดดินเคลื่อนที่เข้าใกล้กันมากขึ้น โดยเมื่อนำปูนขาวมาผสมกับดินเหนียวที่มีความชื้น จะทำให้ดินเหนียวนั้นร่วนขึ้นสามารถแยกเป็นเม็ดได้ง่าย

การจับตัวเป็นก้อน (Flocculation) คือการที่โครงสร้างของดินวางตัวกันอย่างระเกะระกะทำให้เกิดเป็นมูมหรือเหลี่ยมซึ่งเป็นผลดีต่อการต้านทานแรงกระทำ เกิดจากปริมาณ  $Ca^{2+}$  ในน้ำที่อยู่ในช่องว่างของมวลดินมีความเข้มข้นสูงขึ้นจากการเติมปูนขาว จนเกิดการแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้าระหว่างแร่ดินเหนียวกับปูนขาว ซึ่งจะทำให้วงน้ำ (Double Layer) หดตัวแคบเข้าจนเกิดแรงดึงดูดเป็นโครงสร้างแบบระเกะระกะ ทำให้ขนาดของเม็ดดินโตขึ้น (Ruenkrairergsa, 1982) ส่งผลให้ค่าขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit) ลดลง ค่าขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit) เพิ่มขึ้น ค่าดัชนีความเหนียว (Plasticity Index) จึงลดลง แต่ไม่ได้ทำให้กำลังของดินเหนียวผสมปูนขาวพัฒนาขึ้นมากนัก เนื่องจากปฏิกิริยานี้จะทำให้ดินร่วน จึงเหมาะสำหรับการปรับปรุงดินเหนียวให้บดอัดง่ายขึ้น

การเกิดสารประกอบคาร์บอเนต (Lime Carbonation) เกิดจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) ในปูนขาว ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ในอากาศ แล้วเกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) กับน้ำ แคลเซียมคาร์บอเนตที่เกิดขึ้นทำให้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic Reaction) ลดลง ส่งผลให้การพัฒนากำลังรับแรงอัดของดินเหนียวผสมปูนขาวช้าลง ดังนั้นจึงต้องเก็บปูนขาวอย่างมิดชิดป้องกันไม่ให้สัมผัสกับอากาศและความชื้น ทั้งในขั้นตอนการเก็บรักษาและระหว่างการบ่มดินที่ปรับปรุงด้วยปูนขาว

ปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic Reaction) เป็นปฏิกิริยาระหว่างปูนขาวกับแร่ซิลิกา (Soil Silica) หรือ แร่อะลูมินา (Alumina) ในมวลดินซึ่งก่อให้เกิดสารเชื่อมประสาน ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญในการพัฒนากำลังของดินเหนียวที่ปรับปรุงด้วยปูนขาว แต่ค่าความเป็นกรดต่างก็จะสูงขึ้นด้วย ซึ่งจะช่วยให้การละลาย (Solubility) ของแร่ซิลิกาและอะลูมินาในดินออกจากโครงสร้างของอนุภาคดินเหนียวมาทำปฏิกิริยากับ  $\text{Ca}^{2+}$  เกิดเป็นสารประกอบใหม่ได้แก่ Calcium Silicate Hydrate (CSH) และ Calcium Aluminate Hydrate (CAH) ซึ่งเป็นสารที่จะแข็งตัวตามเวลาและจะเชื่อมประสานเม็ดดินเข้าด้วยกันส่งผลให้ดินมีกำลังสูงขึ้น ดังสมการที่ 1



ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น ทำให้สมบัติทางวิศวกรรมของดินดีขึ้น เช่น เพิ่มกำลังของดินลดการยุบตัว ปรับปรุงสมบัติด้านความเหนียว ลดการบวมตัวและหดตัว เพิ่มสมบัติการซึมผ่านของน้ำ ซึ่งทำให้ลดการเกิดความดันน้ำส่วนเกิน (Excess Pore Pressure) จากแรงกระทำ

โดยทั่วไปปูนขาวที่จะนำมาใช้ผสมดินจะต้องเป็นปูนขาว (Hydrated Lime) ชนิดผงละเอียด มีสมบัติและส่วนประกอบทางเคมีตามมาตรฐาน

ผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรม มอก.241-2550 หรือ ASTM C25 ซึ่งจะต้องมี  $\text{CaO}$  ไม่น้อยกว่าร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก ต้องมีเอกสารรายงานผลการทดสอบปูนขาวของโรงงานผลิตและใบรับรองของโรงงานผู้ผลิตแนบไปกับปูนขาวทุกครั้งที่ส่งไปใช้งาน ต้องระบุ วัน เดือน ปี และเลขหมายการผลิตหรือถังเก็บด้วย คุณภาพของดินที่จะนำไปผสมปูนขาว จะต้องเป็นดินจากบ่อยืมที่ได้ตรวจสอบแล้วว่าเป็นดินที่มีสมบัติกระจายตัวได้ในน้ำ และต้องเป็นดินประเภท กรวดปนดินเหนียว (GC) ทรายปนดินเหนียว (SC) หรือ ดินเหนียวที่มีความเหนียวต่ำ (CL) (เมื่อจำแนกชนิดดินด้วยระบบดินเอกภาพ, Unified Soil Classification System, USCS) ต้องมีปริมาณดินเหนียว (ขนาดเล็กกว่า 0.005 มิลลิเมตร) ไม่น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ มีค่าพิกิตเหลว (Liquid Limit) ไม่เกิน 40 เปอร์เซ็นต์ มีค่าดัชนีความเหนียว (Plasticity Index) ไม่ต่ำกว่า 10 แต่ต้องไม่เกิน 20

Davidson *et. al.*, (1961) กล่าวว่า การผสมปูนขาวให้เข้ากับดินสามารถทำให้ความแข็งแรงของดินผสมปูนขาวเพิ่มขึ้นได้ ถ้ามีการผสมที่ถูกต้อง ซึ่งการผสมที่ใช้อย่างแพร่หลาย มี 2 แบบ ได้แก่

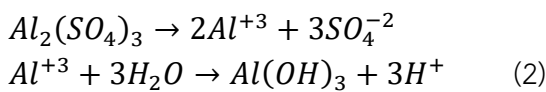
Slurry Mixture คือ การผสมปูนขาวกับดิน โดยการละลายปูนขาวกับน้ำให้เป็นน้ำขุ่น แล้วฉีดพ่นสารละลายลงบนดิน สารละลายนี้เมื่อฉีดพ่นแล้วควรมีปริมาณน้ำเท่ากับปริมาณความชื้นที่เหมาะสมของดินนั้น

Powder Mixture คือ การผสมปูนขาวกับดิน โดยผสมดินที่แห้งด้วยอากาศ (Air - Dried Soil) กับปูนขาว เป็นการผสมแบบแห้ง เมื่อผสมเข้ากันแล้ว จึงเพิ่มน้ำเท่ากับปริมาณความชื้นที่เหมาะสม

2.2.2. การปรับปรุงดินกระจายตัวด้วยสารส้ม (Alum Treatment)

โดยทั่วไปสารส้ม (Alum) สามารถจำแนกได้ 2 ประเภท คือ สารส้มที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และสารส้มที่ผลิตขึ้นโดยการทำปฏิกิริยาของสารเคมี โดยสารส้มที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ มักพบใน

บริเวณที่เคยเป็นภูเขาไฟหรือผลิตจากแร่ส้มหิน โดยนำไปเผาจนละลายแล้วนำไปตกตะกอน สำหรับในประเทศไทย ชาวบ้านเรียกว่าดินส้ม พบมากในจังหวัดเลย ส่วนสารส้มที่ผลิตจากการทำปฏิกิริยาของสารเคมีนั้น เป็นเกลือเชิงซ้อนของสารประกอบที่มีธาตุอลูมิเนียมและซัลเฟตเป็นส่วนประกอบหลัก ส่วนสารส้มน้ำ (Alum Solution) หมายถึง สารละลายของสารส้ม (Alum) กับน้ำในอัตราส่วนที่เท่ากันโดยน้ำหนัก มีมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.165-2542 ส่วนใหญ่ใช้ในการผลิตน้ำประปา ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น มี 2 ลักษณะ ได้แก่ การแลกเปลี่ยน ประจุไฟฟ้า (Cation Exchange) และ การจับตัวกันเป็นก้อน (Flocculation) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นต่อเนื่องกัน โดยเมื่อมีการผสมสารส้มกับน้ำในอัตราส่วนที่เท่ากัน  $Al_2(SO_4)_3$  จะแตกตัวให้อิออนบวกและลบ ดังปฏิกิริยาในสมการที่ 2



เมื่อเติมสารส้มน้ำลงในดินกระจายตัว เกิดการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน โดย  $Al^{+3}$  ไปแทนที่  $Na^+$  หรือเกิดการแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้า (คณะอาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) มีผลให้ลดการผลึกกันระหว่างอนุภาคดินซึ่ง  $Al(OH)_3$  จะทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ ทำให้คอลลอยด์ทั้งหมดเสถียรภาพ เคลื่อนที่มาเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน (Flocculation) ดังนั้นการเติมสารส้มน้ำลงในดินกระจายตัวก็สามารถจะลดการกระจายตัวของดินลงได้ด้วยกระบวนการจับตัวของเม็ดดิน

โดยทั่วไปสารส้มน้ำขั้นตอนการปฏิบัติงานปรับปรุงดินด้วยสารส้มน้ำง่ายกว่าการปรับปรุงด้วยปูนขาว โดยใช้สารส้มน้ำเจือจางตามอัตราส่วนผสมที่ทดลองได้จากห้องปฏิบัติการ ฉีดบ่มดินในแปลงตามเวลา แล้วนำไปดำเนินการบดอัดดินตามกระบวนการก่อสร้างปกติ แต่มีข้อด้อย คือ ไม่เกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolan Reaction) จึงไม่มีปฏิกิริยาการเกิดสารเชื่อมประสาน และไม่มีปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration)

ในการดูความชื้นทำให้ดินมีสภาพความเหลวเท่าเดิม ดังนั้นจึงไม่เหมาะกับพื้นที่ที่มีความลาดชันมาก ดินผสมสารส้มน้ำจึงเหมาะกับงานซ่อมแซมการพังเสียหายหรือเป็นรูโพรงในพื้นที่จำกัด หรืองานป้องกันดินกระจายตัวสำหรับงานคลองส่งน้ำซึ่งมีความสูงไม่มาก ซึ่งจะทำให้การทำงานสะดวก ประหยัดเวลาและแรงงานได้มาก

### 2.3. พื้นที่ศึกษา

โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดลพบุรี ตั้งอยู่ ณ บ้านหนองบัว อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี และ ตำบลคำพราน อำเภอวังม่วง จังหวัดสระบุรี มีพื้นที่โครงการ 288,619 ไร่ มีพื้นที่ชลประทาน 144,500 ไร่ อยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก ซึ่งบริเวณที่ตั้งของโครงการฯ เป็นที่ราบน้ำท่วมถึง (Flood Plain) มีภูมิประเทศราบเรียบ มีความลาดเทน้อยมาก เกิดจากการทับถมของตะกอนจากแม่น้ำเจ้าพระยาและแม่น้ำลพบุรี ทำให้เกิดที่ราบลุ่มกว้างใหญ่ และมีพื้นที่ผิวถูกกัดกร่อนและเนินเขา (Dissected Erosion Surface and Hills) จากการสอบถามข้อมูลเจ้าหน้าที่ในพื้นที่ พบว่ามีจุดที่เกิดความเสียหายทั้งรูปแบบการเกิดหลุมยุบ (Jugged Hole) ด้านบนคันคลอง และพฤติกรรมการกัดเซาะแนวลึก (Gully) บริเวณลาดชันด้านนอกของคลอง ตามแนวคลองสายใหญ่ (MC1) ดังภาพที่ 1 และ 2 จึงมีความเหมาะสมในการเป็นตัวแทนของแหล่งดินกระจายตัวภาคกลาง



ภาพที่ 1 การเกิดหลุมยุบ (Jugged Hole)



ภาพที่ 2 การกัดเซาะแนวลึก (Gully)

### 3. วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1. สํารวจและเก็บตัวอย่างดินกระจายตัว

ดำเนินการสำรวจและคัดเลือกตัวอย่างดินเพื่อการวิจัยในเขตรับผิดชอบของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดลพบุรี โดยมีจุดที่ทำการสำรวจ 5 จุดของคลองสายใหญ่ (MC1) ที่ กม.4+250 กม.9+524 กม.11+500 กม.12+000 และ กม.16+500 ดังภาพที่ 3

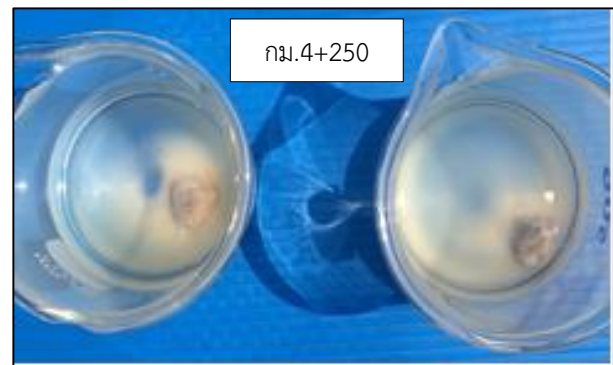
ทำการเก็บตัวอย่างด้วยการขุดเปิดผิวดินลึกไม่ต่ำกว่า 30 เซนติเมตร จากนั้นจึงเก็บตัวอย่างดินมาทดสอบการกระจายตัวเบื้องต้นในสนามทั้ง 5 จุด สํารวจด้วยวิธี Crumb Test เพื่อคัดกรองจุดเก็บดินกระจายตัวเบื้องต้น ดังภาพที่ 4 จากนั้นจึงขุดเก็บตัวอย่างดินที่มีสมบัติการกระจายตัวชั้นรุนแรงมาทดสอบสมบัติการกระจายตัว 5 วิธี และสมบัติทางวิศวกรรมเบื้องต้นของดินในห้องปฏิบัติการ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติทางวิศวกรรมและการกระจายตัวของตัวอย่างดิน 5 ตัวอย่าง

Number of Sample	1	2	3	4	5
Station	4+250	9+524	11+500	12+000	16+500
Soil Group (USCS)	CL	CL	CL	CL	CL
LL (%)	29.20	39.50	25.70	28.85	24.10
PI	14.04	18.66	10.60	13.58	8.84
%Clay (< 0.005 mm.) (%)	39.50	41.00	44.50	39.50	26.00
Degree of Dispersion (%)	77	76	66	71	71



ภาพที่ 3 ขอบเขตของโครงการเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ฯ และจุดสำรวจดินกระจายตัว



ภาพที่ 4 ตัวอย่างการทดสอบ Crumb Test

ผลการทดสอบพบว่า จุดที่ 2 กม.9+524 มีสมบัติการกระจายตัวระดับรุนแรง และมีสมบัติทางวิศวกรรมที่เหมาะสมสำหรับปรับปรุงด้วยปูนขาวหรือสารส้มน้ำ จึงถือว่าเป็นดินตัวแทนของพื้นที่กรณีศึกษา

### 3.2. ทดลองหาอัตราส่วนผสมปูนขาวหรือสารส้มน้ำ

จากการทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมเบื้องต้นและการทดสอบบดอัดดินในห้องปฏิบัติการด้วยพลังงานแบบมาตรฐาน (ASTM D698) พบว่าดินตัวอย่าง เป็นดินเหนียวที่มีความเหนียวต่ำ (Lean Clay ,CL) ที่มีความแน่นแห้งสูงสุด ( $\gamma_{d,max}$ ) 1.993 ตัน/ลบ.ม. มีปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (O.M.C.) 10.50% จากนั้นจึงทดสอบหาปริมาณแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ในปูนขาวพบว่ามีปริมาณ 63.00 % และทดสอบหาปริมาณอลูมินัมออกไซด์ ( $Al_2O_3$ ) ในสารส้มน้ำพบว่ามีปริมาณ 8.32 % ผ่านเกณฑ์ข้อกำหนดของสารปรับปรุง โดยสามารถสรุปปริมาณสารปรับปรุงได้ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปปริมาณสารปรับปรุงดินกระจายตัว

ระดับการกระจายตัว (%)	ปริมาณสารปรับปรุงต่อดิน 1 ลบ.ม.	
	ปูนขาว (กก.)	สารส้มน้ำเข้มข้น (ลิตร)
15	25.9	6.29
33	13.7	3.30

### 3.3. สมบัติของดินตัวอย่างหลังเตรียมตัวอย่าง

ทดสอบบดอัดดินในกระบะทดลองขนาด 100x200x50 ซม. ด้วยล้อยกด 20 รอบ โดยควบคุม

ความหนาของดินแต่ละชั้นหลังจากบดอัดที่ 10 ซม. รวมความสูงทั้งหมด 30 ซม.

จากนั้นจึงทดสอบหาความแน่นของดินในสนามด้วยกรวยทราย (ASTM D1556) พบว่ามีร้อยละการบดอัดที่ 98.21% จากนั้นจึงปรับปรุงดินตามอัตราส่วนผสมที่กำหนด โดยตัวอย่างดินที่ปรับปรุงด้วยปูนขาว จะทำการผสมดินเข้ากับปูนขาวให้เข้ากันก่อนผสมน้ำให้ได้ความชื้นที่เหมาะสม (Powder Mixture) แล้วบ่ม 4 วัน ส่วนตัวอย่างที่ปรับปรุงด้วยสารส้มน้ำสามารถทำละลายสารส้มน้ำด้วยน้ำตามอัตราส่วนที่กำหนด แล้วจึงผสมกับดิน แล้วบ่ม 2 วัน ดังภาพที่ 5 จากนั้นจึงทดสอบสมบัติการกระจายตัวและสมบัติทางวิศวกรรมดังตารางที่ 3



ภาพที่ 5 การบ่มตัวอย่างในกระบะทดลอง

ตารางที่ 3 สมบัติของดินกระจายตัวเมื่อปรับปรุงด้วยปูนขาวหรือสารส้มน้ำที่ระดับการกระจายตัวควบคุมที่กำหนด

Sample	Control	Lime 1	Lime 2	Alum1	Alum2
Degree of Dispersion (%)	76	33	15	33	15
Treatment Method	-	Lime	Lime	Alum	Alum
Soil Group (USCS)	CL	CL	SM	CL	CL
Liquid Limit (%)	41.50	42.40	40.30	42.50	42.00
Plastic Limit (%)	20.84	25.90	28.52	20.49	20.76
Plastic Index	20.66	16.50	11.78	22.01	21.24
Specific Gravity	2.600	2.660	2.610	2.640	2.620
Particle Size					
> 4.75 mm. (%)	2.07	2.65	7.94	2.21	1.77
4.75 - 0.075 mm. (%)	10.39	39.95	58.93	10.00	10.20
< 0.075 mm. (%)	87.54	57.41	33.13	87.79	88.03
$\gamma_{d,max}$ (t/m <sup>3</sup> )	1.993	1.677	1.643	1.865	1.814
O.M.C. (%)	10.50	19.62	21.64	15.32	16.29

### 3.4. การทดสอบการกัดเซาะ

นำกระบะดินที่ปมครบกําหนดแล้วติดตั้งบนชุดอุปกรณ์จำลองความลาดเอียง และชุดอุปกรณ์จำลองน้ำฝน ดังภาพที่ 6 โดยทำการทดสอบที่ความลาดเอียงที่ 1: 1.5 และ 1: 2 ซึ่งเลือกใช้ความเข้มฝนที่ 200 มม./ชม. เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ตามสถิติปริมาณฝน ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาทั่วประเทศ ระหว่างปี พ.ศ.2546 - 2558 (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2561) แล้วเก็บตัวอย่างน้ำที่ชะหน้าดินมาทดสอบหาปริมาณตะกอนทุก 1 ชั่วโมง

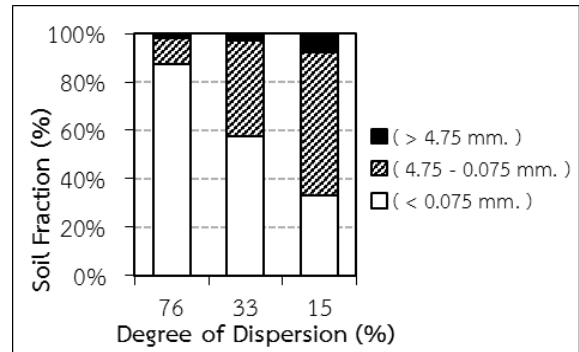


ภาพที่ 6 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทำการทดสอบ

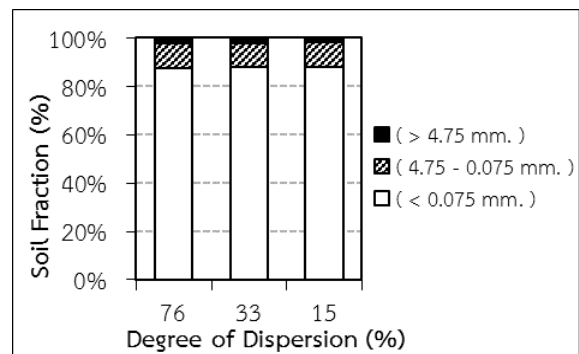
## 4. ผลการทดสอบ

### 4.1. สมบัติด้านวิศวกรรมของดินหลังปรับปรุง

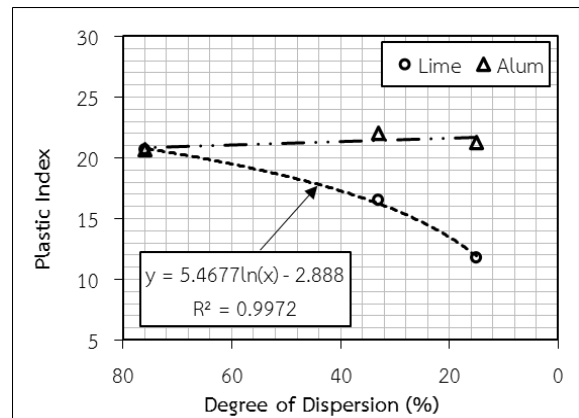
จากผลการทดสอบขนาดผลของมวลดิน (ASTM D422) และการทดสอบขีดจำกัดอัตราเตอร์เบิร์ก (ASTM D4318) พบว่าดินกระจายตัวที่ปรับปรุงด้วยปูนขาว ในปริมาณที่ระดับการกระจายตัวลงเหลือ 15% ทำให้ปริมาณดินมีตะกอนเปลี่ยนแปลง โดยจับตัวกันมีอนุภาคใหญ่ขึ้น ดังภาพที่ 7 ส่วนดินกระจายตัวที่ปรับปรุงด้วยสารส้ม น้ำ ไม่พบการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและปริมาณของดินมากนัก ดังภาพที่ 8 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงปริมาณของเม็ดดินส่งผลต่อดัชนีความเหนียว ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 7 ปริมาณของอนุภาคดินเมื่อปรับปรุงด้วยปูนขาว

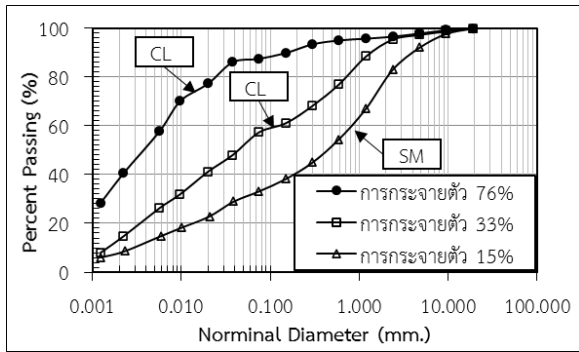


ภาพที่ 8 ปริมาณของอนุภาคดินเมื่อปรับปรุงด้วยสารส้ม น้ำ

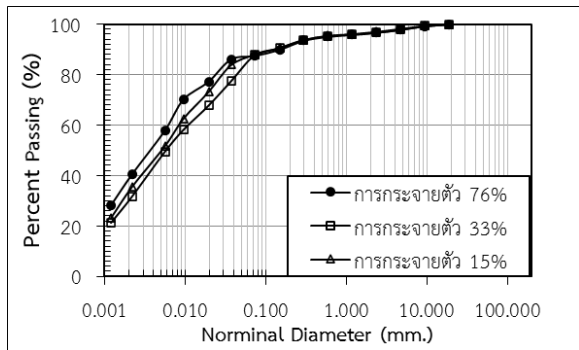


ภาพที่ 9 ค่าดัชนีความเหนียวหลังจากการปรับปรุงด้วยปูนขาวหรือสารส้ม น้ำ

เมื่อจำแนกกลุ่มดินด้วยระบบดินเอกภาพ (USCS) พบว่าดินที่ปรับปรุงด้วยปูนขาวมีการเปลี่ยนแปลงกลุ่มดิน จากดินเหนียวที่มีความเหนียวต่ำ (Lean Clay, CL) เป็นดินตะกอนปนทราย (Silty Sand, SM) เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดอนุภาค ปริมาณ และความเหนียว ส่วนดินที่ปรับปรุงด้วยสารส้ม น้ำ ไม่พบการเปลี่ยนแปลงกลุ่มดิน ดังภาพที่ 10 และ 11

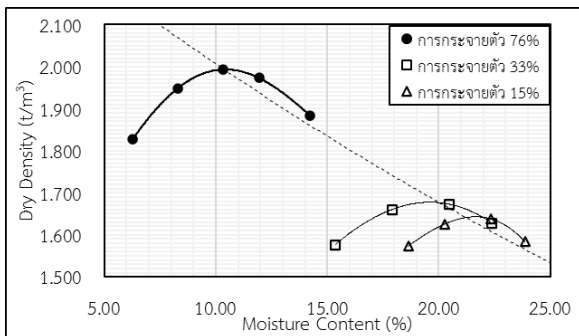


ภาพที่ 10 สัดส่วนขนาดคละของดินที่ถูกปรับปรุงด้วย  
ปุ๋นขาว

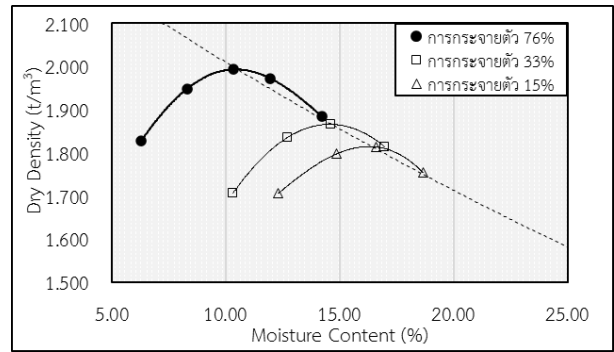


ภาพที่ 11 สัดส่วนขนาดคละของดินที่ถูกปรับปรุงด้วย  
สารส้มน้ำ

จากผลการทดสอบความแน่นของดิน หลังจากการทดสอบพบว่า ดินที่ปรับปรุงด้วยปุ๋นขาว และสารส้มน้ำ มีค่าความแน่นแห้งสูงสุด ( $\gamma_{d,max}$ ) ลดลง และมีค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (O.M.C.) เพิ่มขึ้น ตามปริมาณสารปรับปรุงที่เพิ่มขึ้น แต่ดินที่ปรับปรุงด้วยสารส้มน้ำมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าดินที่ปรับปรุงด้วยปุ๋นขาว ดังภาพที่ 12 และ 13



ภาพที่ 12 เส้นโค้งการบดอัดของตัวอย่างดินที่ปรับปรุง  
ด้วยปุ๋นขาว



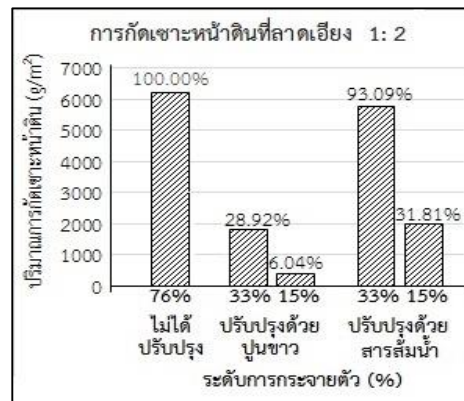
ภาพที่ 13 เส้นโค้งการบดอัดของตัวอย่างดินที่ปรับปรุง  
ด้วยสารส้มน้ำ

#### 4.2. การกัดเซาะหน้าดินของดินหลังปรับปรุง

การปรับปรุงด้วยปุ๋นขาว สามารถลดการกัดเซาะหน้าดินจากฝนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด ส่วนการปรับปรุงด้วยสารส้มน้ำ จำเป็นต้องผสมในปริมาณที่สามารถลดระดับการกระจายตัวลงเหลือ 15% จึงสามารถลดการกัดเซาะหน้าดินจากฝนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังภาพที่ 14 และ 15



ภาพที่ 14 การกัดเซาะหน้าดินที่ระดับลาดเอียง 1: 1.5



ภาพที่ 15 การกัดเซาะหน้าดินที่ระดับลาดเอียง 1: 2

## 5. บทสรุป

ดินตัวอย่างภาคกลางสำหรับการศึกษาในครั้งนี้เป็นดินเหนียวที่มีความเหนียวต่ำ (Lean Clay, CL) ซึ่งการปรับปรุงด้วยปูนขาว สามารถลดการกักตุนน้ำในดินได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด แต่จำเป็นต้องเพิ่มกระบวนการผสมแห้งระหว่างปูนขาวและมวลดิน (Powder Mixture) และส่งผลให้ดินมีสมบัติทางวิศวกรรมเปลี่ยนแปลง จากปฏิกิริยาเคมีทำให้ดินเม็ดละเอียดจับตัวกันมีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น ค่าดัชนีความเหนียว (Plastic Index) ลดลง ส่งผลให้ดินเปลี่ยนกลุ่มจากการจำแนกกลุ่มดินเอกภาพ (USCS) รวมถึงค่าความแน่นแห้งสูงสุดของดิน ( $\gamma_{d,max}$ ) ลดลงประมาณ 20% ส่วนการปรับปรุงดินด้วยสารส้ม น้ำนั้น จำเป็นต้องผสมในปริมาณที่สามารถลดระดับการกระจายตัวของดินเหลือ 15% จึงจะสามารถลดการกักตุนน้ำในดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งส่งผลเพียงเล็กน้อยต่อค่าดัชนีความเหนียว ปริมาณเม็ดดินแต่ละขนาด และการจำแนกกลุ่มดิน ส่วนความแน่นแห้งสูงสุดลดลงประมาณ 10%

## 6. เอกสารอ้างอิง

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. (2548). *ปฐพีวิทยาเบื้องต้น* (พิมพ์ครั้งที่ 10). สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2561). *สถิติปริมาณฝน ณ สถานีอุตุวิทยามหาวิทยาลัย พ.ศ. 2546 - 2558*. สำนักงานสถิติแห่งชาติ. สืบค้น 30 พฤศจิกายน 2561, จาก <http://service.nso.go.th/nso/web/statseries/-statseries27.html>.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (มอก.165-2554). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสารส้ม.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (มอก.165-2543). ปูนขาวสำหรับงานก่อสร้าง.

อร่ามศรี พัฒนโสภณ. (2530). *เอกสารทางวิชาการประกอบการบรรยาย เรื่อง ดินกระจายตัว*

(Dispersive Soil). ฝ่ายดินด้านเกษตร กองวิจัยและทดลอง กรมชลประทาน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (อัสสำเนา).

American Society for Testing and Materials. (2004). *Standard Test Methods for Chemical Analysis of Limestone, Quicklime, and Hydrated Lime*. ASTM C25. Annual Book of ASTM Standard.

American Society for Testing and Materials. (2004). *Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils*. ASTM D422. Annual Book of ASTM Standard.

American Society for Testing and Materials. (2004). *Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12 400 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (600 kN-m/m<sup>3</sup>))*. ASTM D698. Annual Book of ASTM Standard.

American Society for Testing and Materials. (2004). *Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by Sand-Cone Method*. ASTM D1556. Annual Book of ASTM Standard.

American Society for Testing and Materials. (2004). *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*. ASTM D4318. Annual Book of ASTM Standard.

Davidson, D.T., G. Noguera and J.B. Sheeler. (1961). *Powder vs Slurry Application of Lime for Soil Stabilization*, Iowa State University, Ames, Iowa, U.S.A.

Hausmann, M.R. (1990). *Engineering Principles of Ground Modification*. McGraw-Hill Publ. Co.

Ruenkraiengsa, T. (1982). *Principle of Soil Stabilization*. Bangkok. Highways Department 17-27