ส่วนผสมของแกลบและทรายกับดินชุดสระบุรีที่เหมาะสมต่อการผลิตก้อนอิฐดินดิบเพื่อใช้ก่อสร้างบ้านดิน

The appropriate mixing of rice husk and sand with Saraburi series to make adobe brick for earth construction

ภูมินทร์ ยิ้มมิ่ง[1], ปุญญิศา ตระกูลยิ่งเจริญ[1*], กุมุท สังขศิลา[1], ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย[1] และ สิรินภา ช่วงโอภาส[1]

Pumin Yimming[1], Punyisa Trakoonyingcharoen[1*], Kumut Sangkhasila[1], Thawatchai Inboonchuay[1] and Sirinapa Chungopast[1]

บทคัดย่อ: การศึกษานี้เพื่อต้องการทราบส่วนผสมที่เหมาะสมเพื่อการทำก้อนอิฐดินดิบโดยใช้ดินชุดสระบุรี (Very-fine, mixed, active, nonacid, isohyperthermic Vertic (Aeric) Endoaquepts) ซึ่งมีแร่สเมกไทต์เป็นแร่หลัก เมื่อทำเป็นก้อนอิฐแล้วจะมีโอกาสแตกร้าวสูง ทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ 10 ซ้ำ 5 ตำรับทดลอง โดย T1 ตำรับควบคุมเป็นก้อนอิฐดินดิบที่มีดินอย่างเดียว ส่วนตำรับ T2, T3, T4 และ T5 เป็นก้อนอิฐดินดิบที่ใช้ส่วนผสมของแกลบและทรายแทนที่ดินในอัตราร้อยละ 10, 14, 16 และ 20 ตามลำดับ ใช้สมบัติของก้อนอิฐดินดิบ ได้แก่ รอยแตกร้าว การหดตัวเชิงปริมาตร กำลังรับแรงอัด และระดับความชื้นโดยมวลเป็นตัวชี้วัดส่วนผสมที่เหมาะสม ผลศึกษาพบว่า ตำรับที่มีแกลบและทรายเป็นส่วนผสมที่เพิ่มมากขึ้นสามารถเพิ่มความสามารถของก้อนอิฐดินดิบในการรับแรงอัด ลดรอยแตกร้าว ลดการหดตัว และเพิ่มระดับความชื้นของอิฐได้ ผลการทดลองนี้แสดงว่าส่วนผสมของแกลบและทรายที่เหมาะสมเมื่อใช้ร่วมกับดินชุดสระบุรีในการทำก้อนอิฐดินดิบ คือ แกลบและทรายร้อยละ 20 ซึ่งทำให้ก้อนอิฐดินดิบไม่มีรอยแตก มีค่าความสามารถรับแรงอัดเท่ากับ 41.81 กก./ ตร.ซม. ก้อนอิฐหดตัวน้อยเพียงร้อยละ 3.96 และมีระดับความชื้นเป็น 0.31

คำสำคัญ: ส่วนผสมของแกลบและทราย, ดินชุดสระบุรี, สมบัติก้อนอิฐดินดิบ, บ้านดิน

ABSTRACT: This study aimed at finding the appropriate ratio of rice husk and sand to mix with Saraburi series (Very-fine, mixed, active, nonacid, isohyperthermic Vertic (Aeric) Endoaquepts) in order to make adobe brick. This soil series comprises of high content of smectite which would make the brick easily be cracked under dry condition. The experiment design was CRD (Completely Randomized Design) with 5 treatments and 10 replications. Treatments were control treatment, T1 (soil 100% by weight), and T2, T3, T4 and T5 were soils mixed with rice husk and sand at rates of 10, 14, 16 and 20% by weight, respectively. Adobe bricks were analyzed for their stable properties such as number of cracks, degree of volumetric shrinkage, compressive strength and mass water content. These properties were used as indices to identify the most appropriate mixing ratio. Results showed that increasing contents of rice husk and sand increased brick's compressive strength and water content, but decreased number of brick's cracking and degree of volumetric shrinkage. Thus, contents of rice husk and sand mixers at the rate of 20% by weight (T5) was the most appropriate ratio in order to make adobe brick. With the aforementioned mixture, the brick product has no crack, 41.81 kg/cm^2 compressive strength, 0.31 θ_m and 3.96% volumetric shrinkage.

Keywords: rice husk and sand mixing, Saraburi series, adobe brick properties**,** earth construction

[1] ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน ม.เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140
Soil Science Department, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus Nakhonpathom, 73140

* Corresponding author: agrpyst@ku.ac.th

บทนำ

ดินเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่เป็นพื้นฐานของปัจจัยสี่ซึ่งมีความจำเป็นในการดำรงชีวิตของมนุษย์ การใช้ประโยชน์จากดินส่วนมาก ผู้คนมักนึกถึงการใช้ประโยชน์ในด้านการเกษตรเท่านั้น อันที่จริงแล้วทรัพยากรดินสามารถใช้ประโยชน์ได้มากมายนอกเหนือจากการทำการเกษตร เช่น ทางการแพทย์ วิศวกรรม โภชนาการ สิ่งแวดล้อม เป็นต้น

ปัจจุบันผู้คนพยายามบริโภคจากสิ่งที่เป็นธรรมชาติมากขึ้น รวมทั้งการสร้างบ้านอยู่อาศัย มีคนจำนวนมากต้องการอาศัยบ้านที่ทำจากดิน ดังนั้นการสร้างบ้านดินจึงเป็นที่นิยมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉพาะการสร้างบ้านด้วยการก่อด้วยอิฐดินดิบ (จตุพร, 2550) จะเห็นได้จากมีการพิมพ์หนังสือ เอกสารอย่างแพร่หลาย รวมถึงมีการจัดอบรมการสร้างบ้านดินมากมาย โดยจากการฝึกอบรมของโครงการบ้านดินอาศรมวงศ์สนิท ที่ผ่านมามีผู้สนใจเข้าฝึกอบรมมากขึ้น (ธนา, 2548) อย่างไรก็ตามยังไม่มีการนำเสนออัตราส่วนผสมที่เหมาะสมกับดินชนิดต่างๆ อย่างชัดเจน ข้อแนะนำที่ปรากฏทั่วไปมักไม่มีความเป็นวิชาการมาก ส่วนใหญ่จะประมาณส่วนผสมด้วยการพิจารณาจากเนื้อดิน โดยนำดินที่ต้องการทดสอบปั้นเป็นก้อนแบนๆ ตากแดดให้แห้งแล้วทดลองหักเพื่อทดสอบความแข็ง ถ้าหักง่ายแสดงว่ามีส่วนผสมของทรายมากเกินไป ถ้าหักยากแสดงว่ามีดินเหนียวมาก เวลาแห้งจะแข็งและมีการแตกร้าว (ธนา, 2548; โจน, 2551) เมื่อก่อสร้างบ้านตามคำแนะนำดังกล่าวแล้วมักมีปัญหาก้อนอิฐดินดิบแตกร้าว ก้อนอิฐดินดิบละลายง่าย ไม่มีความทนทาน ทำให้เสียเงิน เสียเวลากับผู้ต้องการสร้างบ้านดินมาก

จากสาเหตุปัญหาข้างต้นคณะผู้วิจัยจึงเห็นว่าถ้าปริมาณส่วนผสมที่เหมาะสมกับดินเฉพาะอย่างจะช่วยลดปัญหาเหล่านี้ได้ จึงเลือกใช้ดินที่พบได้มากในภาคกลาง คือดินชุดสระบุรี (สำนักสำรวจดินและการวางแผนการใช้ที่ดิน, 2548) ซึ่งเป็นดินที่ลุ่ม มีเนื้อดินเหนียว ขึ้นรูปง่าย และมีแร่ประเภท 2:1 ปริมาณมากโดยเฉพาะแร่ในกลุ่มสเมกไทต์ (smectite) ซึ่งมีสมบัติเด่นในการยืดหดตัวสูงเมื่ออยู่ในสภาพความชื้นแตกต่างกัน กล่าวคือแร่จะขยายตัวได้มากเมื่อมีความชื้นสูงและหดตัวในสภาพแห้ง (อัญชลี, 2553) ดังนั้นดินที่มีแร่ดินเหนียวประเภทนี้มากเมื่อถูกทำให้แห้งในการขึ้นรูปก้อนอิฐจึงมีโอกาสหดตัวจนแตกร้าวได้ง่าย และดินที่มีแร่ประเภทนี้น้อยหรือไม่มี จะทำให้ก้อนดินรั่วซึมได้ง่ายเนื่องจากไม่สามารถกักความชื้นได้ เมื่อมีความชื้นสูง การผสมวัสดุหาง่ายในท้องถิ่นและมีราคาถูก เช่นแกลบหรือทราย จึงมักถูกแนะนำเป็นวัสดุผสมในดินเนื้อเหนียวจัด (ธนา, 2548; จตุพร, 2550) โดยทรายมีอนุภาคขนาดใหญ่กว่าอนุภาคขนาดดินเหนียวมากกว่า 1,000 เท่า (Soil Survey Division Staff, 1993) จึงช่วยเพิ่มปริมาณช่องในดินได้ ขณะที่แกลบมีความสามารถเก็บความชื้นได้สูง โดยปริมาณแกลบสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณความจุความชื้น (Saniso et al., 2008)

วิธีการศึกษา

1. การเก็บตัวอย่างดิน

เมื่อตรวจสอบลักษณะดินและสภาพแวดล้อมตรงกับชุดดินที่ต้องการตามวิธีการทำคำอธิบายหน้าตัดดิน (เอิบ, 2548) จึงทำการเก็บตัวอย่างดิน ที่ระดับความลึกตั้งแต่ 0-30 เซนติเมตร มาทำการวิเคราะห์สมบัติและองค์ประกอบดินที่สำคัญ ได้แก่ สีดินวัดโดยใช้ Munsell colour chart พีเอช (pH) เครื่องวัดพีเอชที่อัตราส่วนดินต่อน้ำ 1:1 ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) วิเคราะห์ด้วยวิธี wet digestion (Walkely and Black, 1934) สำหรับการกระจายขนาดอนุภาค (Particle size distribution) วิเคราะห์โดย sieving and pipette method (Gee and Bauder, 1986)

2. การเตรียมก้อนอิฐดินดิบ

เติมน้ำในกระบะก่อนแล้วจึงใส่ดินเหนียว เพราะโดยทั่วไปแล้วดินที่มีปริมาณดินเหนียวมากดินจะมีความหนาแน่นมาก ถ้าใส่ดินลงไปก่อนจะทำให้น้ำซึมเข้าไปได้ยาก ย่ำให้ดินที่เป็นก้อนแตกออก ทยอยใส่

ทรายและแกลบตามสัดส่วนที่กำหนดใน Table 1 ใส่ให้ทั่วสลับกับการย่ำให้ดินกับทรายและแกลบผสมกันดี เมื่อก้อนดินแตกหมดและผสมกับส่วนผสมดีแล้วนำดินเทใส่ไม้แบบ แล้วใช้มือกดดินบริเวณตามมุมและขอบลงไปให้แน่น ปาดหน้าให้เรียบพอประมาณ ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จึงนำออกจากแม่พิมพ์ขนาด 10x10 x10 ซม. ตากแดดจนก้อนอิฐดินดิบมีน้ำหนักคงที่ นำมาทดสอบรอยแตกร้าวจากการหดตัว ร้อยละการหดตัว ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนอิฐดินดิบ และความชื้นโดยมวลเพื่อประเมินความสามารถการดูดซับน้ำ

Table 1 Rice husk and sand mixer ratio to make adobe bricks with Saraburi Series (% by weight)

Treatment	Rice husk	Sand	Soil
T1	0	0	100
T2	5	5	90
T3	7	7	86
T4	8	8	84
T5	10	10	80

3. การวิเคราะห์สมบัติก้อนอิฐดินดิบ

รอยแตกร้าวจากการหดตัว (Shrinkage crack) ใช้วิธีของ Chrysler and Escobar (1997) โดยในก้อนอิฐดินดิบต้องไม่มีรอยร้าวจากการหดตัวมากกว่า 3 รอย และความยาวรอยร้าวไม่เกิน 76 มิลลิเมตร หรือความกว้างรอยร้าวไม่เกิน 3.2 มิลลิเมตร จะจัดอยู่ในค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ สำหรับค่ากำลังรับแรงอัด (Compressive strength) ใช้มาตรฐานของ British Standard Institute, 1997) โดยใช้เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compression test) การทดสอบการหดตัวเชิงปริมาตร (Volumetric shrinkage) วิเคราะห์ตามวิธีของ จตุพร (2550) โดยวัดขนาดของก้อนอิฐดิบขณะเปียก เพื่อหาปริมาตรก้อนอิฐดินดิบแต่ละก้อน ซึ่งจะได้ค่าปริมาตร (V_1) นำก้อนอิฐดินดิบที่ผ่านการตากแดดเป็นเวลา 7 วัน มาวัดปริมาตร ซึ่งจะได้ค่าของปริมาตรขณะแห้ง (V_2) นำค่าที่วัดได้ทั้ง 2 มาคำนวณค่าร้อยละการหดตัวเชิงปริมาตร (จตุพร, 2550) โดยใช้สูตรร้อยละการหดตัวเชิงปริมาตร

$$\text{ร้อยละการหดตัวเชิงปริมาตร} = \frac{V_1 - V_2}{V_1} \times 100$$

ระดับความชื้นโดยมวล (Mass water content ;θ_m) ของก้อนอิฐดินดิบ วิเคราะห์ตามวิธี Gravimetric method (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2551) เพื่อใช้ประเมินความสามารถการดูดซับของก้อนอิฐดินดิบ โดย m_s คือมวลดินแห้ง และ m_w คือ มวลความชื้น ดังสมการต่อไปนี้

$$\theta_m = \frac{(m_s - m_w) - m_s}{m_s}$$

4. การวิเคราะห์และแปลผลข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) ของข้อมูลแต่ละลักษณะตามแผนการทดลอง CRD (Completely randomized design) ซึ่งประกอบด้วย 5 ตำรับการทดลอง ตำรับละ 10 ซ้ำ และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าตำรับการทดลองโดยใช้วิธี Duncan Multiple Range Test (DMRT)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. สมบัติและองค์ประกอบบางประการของตัวอย่างดิน

จากการตรวจสอบลักษณะและสภาพแวดล้อมการเกิดดิน พบว่าดินชุดสระบุรีเป็นดินที่ลุ่ม เป็นดินลึกมาก ดินบนมีสีน้ำตาลปนเทาเข้ม ไม่พบสีจุดประ เนื้อดินเป็นดินเหนียว ค่าพีเอชเท่ากับ 7.3 ปฏิกิริยาดินเป็นกลาง ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) อยู่ในระดับสูงมีปริมาณเท่ากับ 33.3 ก./กก. ข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดิน

รายงานว่า ดินชุดสระบุรีมีแร่ดินเหนียวผสมหลายประเภท แต่มีแร่สเมคไทต์เป็นแร่เด่น (สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน, 2548)

2. สมบัติความคงทนของก้อนอิฐดินดิบ

2.1 รอยแตกร้าวจากการหดตัว (Shrinkage crack)

ผลการทดสอบรอยแตกร้าวจากการหดตัวของก้อนอิฐดินดิบทุกตำรับการทดลอง ที่ผ่านการตากแดดจนน้ำหนักคงที่ พบว่าตำรับการทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นตำรับการทดลองควบคุม มีดินเป็นองค์ประกอบเพียงอย่างเดียว มีรอยแตกร้าวชัดเจนและเกินค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ (เกณฑ์มาตรฐานปรากฏในวิธีการข้อ 3) ตำรับการทดลองที่ 2 มีรอยแตกร้าวจากการหดตัวเป็นจำนวนมากแต่มีขนาดเล็กมากจนไม่สามารถวัดได้จึงไม่เข้านิยามรอยแตกร้าว และอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ตำรับการทดลองที่ 3, 4 และ 5 ไม่พบรอยแตกร้าวจากการหดตัว ดังแสดงใน **Table 2** เนื่องจากอิทธิพลของสมบัติแร่ดินเหนียวประเภท 2:1 ที่มีมากในดินประเภทนี้ จึงทำให้ตำรับการทดลองที่ 1 มีรอยแตกร้าวชัดเจนกว่าตำรับการทดลองอื่นๆ การเพิ่มอัตราส่วนผสมโดยเฉพาะแกลบ สอดคล้องกับการลดรอยแตกร้าว เนื่องจากแกลบมีความสามารถเก็บความชื้นได้สูง (Saniso et al., 2008) สอดคล้องกับผลวิเคราะห์ความชื้นโดยมวลใน **Table 3** ตำรับการทดลองที่มีแกลบผสมในสัดส่วนที่สูงจึงไม่พบรอยแตกร้าว

Table 2 Mean of number of brick's cracking (n = 10)

Treatment ; % of rice husk, sand and soil	Cracking	Length (mm)	Width (mm)
T1 ; 100% soil	>3	>76	<3.2
T2; 5, 5, 90%	>3	ND	ND
T3; 7, 7, 86%	0	0	0
T4; 8, 8, 84%	0	0	0
T5; 10, 10, 80%	0	0	0

ND = non detectable

2.2 ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนอิฐดินดิบ (Compressive strength)

ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนอิฐดินดิบมีความสัมพันธ์กับปริมาณส่วนผสมที่เพิ่มมากขึ้น โดยตำรับการทดลองที่ 3, 4 และ 5 มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าตำรับการทดลองที่ 1 และ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และตำรับการทดลองที่ 5 ซึ่งมีส่วนผสมของแกลบและทรายมากที่สุด มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด เท่ากับ 41.81 กก./ตร.ซม. เนื่องจากอิทธิพลของทรายเป็นอนุภาคที่แข็งแรงสามารถรับกำลังอัดได้สูง เมื่อมีทรายผสมในสัดส่วนสูงขึ้นจึงทำให้รับแรงอัดได้สูงกว่าตำรับการทดลองที่ 1 ซึ่งไม่มีส่วนผสมมากกว่า 3 เท่า ดังแสดงใน **Table 3**

2.3 การหดตัวเชิงปริมาตรของก้อนอิฐดินดิบ (Volumetric shrinkage)

พบว่าการหดตัวของก้อนอิฐดินดิบลดลงเมื่อมีส่วนผสมของแกลบและทรายปริมาณเพิ่มขึ้น โดยตำรับการทดลองที่ 1 นั้นเมื่อผ่านการตากแดดได้ 1 สัปดาห์ ก้อนดินจะเกิดการหดตัวที่ชัดเจนมากแตกต่างกันทางสถิติเนื่องจากดินชุดสระบุรีนั้นมีแร่ดินเหนียวประเภท 2:1 มีกลุ่มแร่สเมกไทต์ เป็นแร่เด่นซึ่งเป็นแร่ที่มีความสามารถในการหดตัวสูงมาก เมื่ออยู่ในสภาพแห้ง (อัญชลี, 2553) จึงทำให้ก้อนอิฐดินดิบตำรับที่ไม่มีวัสดุอื่นผสมเกิดการหดตัวมากที่สุด ถึงร้อยละ 22.8 สำหรับตำรับการทดลองที่ 5 มีการหดตัวเชิงปริมาตรต่ำสุด ร้อยละ 3.96 ซึ่งหดตัวน้อยกว่าตำรับ

การทดลองที่ 1 ประมาณ 7 เท่า จะเห็นได้ว่า ส่วนผสมที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์เชิงลบกับการหดตัวของก้อนอิฐดินดิบ ดังแสดงใน Table 3

2.4 ระดับความชื้นโดยมวลของก้อนอิฐดินดิบ (Mass water content)

ผลการทดสอบระดับความชื้นโดยมวลใน Table 3 พบว่า ตำรับการทดลองที่ 2 มีระดับความชื้นโดยมวลต่ำที่สุดอยู่ที่ 0.27 โดยมวล และเพิ่มขึ้นตามปริมาณส่วนผสมอย่างมีนัยสำคัญ โดยตำรับการทดลองที่ 5 มีระดับความชื้นโดยมวลสูงสุดที่ 0.31 ตำรับการทดลองที่ 1 นั้น เมื่อผ่านการแช่น้ำ 5 นาที ปรากฏว่า ก้อนอิฐไม่สามารถคงรูปเดิมได้ ทำให้ไม่สามารถนำมาคำนวณระดับความชื้นโดยมวลของก้อนอิฐได้ การที่ก้อนอิฐของตำรับการทดลองที่ 1 ละลายเมื่อแช่น้ำเนื่องจากชุดดินสระบุรีนั้นมีแร่ดินเหนียวประเภท 2:1 เมื่อแช่น้ำจะมีการดูดซึมน้ำและจะขยายตัวสูงมาก สูงกว่าตำรับการทดลองที่มีส่วนผสมอัตราต่ำสุด (ตำรับการทดลองที่ 2) ประมาณ 27 % ดังแสดงใน Table 3 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มส่วนผสมของแกลบและทราย ทำให้การดูดซับน้ำมากขึ้น อาจเป็นเพราะว่าแกลบและทรายซึ่งมีอนุภาคใหญ่กว่าอนุภาคดินเหนียวในดินมาก จึงเพิ่มช่องว่างในก้อนอิฐดินดิบให้มีปริมาณมากและขนาดช่องใหญ่ขึ้นทำให้เมื่อความชื้นอากาศสูงขึ้น ก้อนอิฐสามารถดูดซับน้ำได้มากขึ้น แตกต่างกันทางสถิติระหว่างตำรับการทดลอง โดยยังคงรูปอยู่ได้

Table 3 Compressive strength the contracted volume and mass water content of adobe brick

Treatment ; % of rice husk, sand and soil	Compressive strength (kg / cm^2)	Average volumetric shrinkage (%)	θ_m
T1 ; 100% soil	13.54[a]	22.83[c]	ND
T2; 5, 5, 90%	17.80[a]	13.97[b]	0.27[a]
T3; 7, 7, 86%	26.01[b]	5.96[a]	0.28[a]
T4; 8, 8, 84%	29.26[b]	5.69[a]	0.28[a]
T5; 10, 10, 80%	41.81[c]	3.96[a]	0.31[b]
P-value	<0.01	<0.01	<0.01

ND = non detectable

สรุป

ดินชุดสระบุรีซึ่งมีแร่ดินเหนียวประเภท 2:1 เป็นแร่ส่วนใหญ่ ทำให้ดินมีปัญหาต่อความคงทนของก้อนอิฐดินดิบ โดยมีรอยร้าวขนาดใหญ่เมื่ออยู่ในสภาพแห้งและมีโอกาสแตกหักง่ายเนื่องจากรับแรงอัดได้ต่ำ การใช้ส่วนผสมที่เหมาะสมจะช่วยแก้ปัญหาได้ โดยการเพิ่มวนผสมของแกลบและทรายในอัตราส่วนร้อยละ 20 ทำให้ก้อนอิฐดินดิบที่ทำจากดินชุดสระบุรี ไม่พบรอยแตกร้าวและการหดตัวน้อยที่สุด รวมทั้งความสามารถในการดูดซับน้ำและสามารถรับกำลังแรงอัดสูงมากกว่าก้อนอิฐดินดิบที่ไม่มีส่วนผสมของแกลบและทราย

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ช่วยสนับสนุนเงินทุนและเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน และ คุณจิรวัฒน์ พุ่มเพชร ในการช่วยอำนวยความสะดวกด้านอุปกรณ์และเครื่องมือ

เอกสารอ้างอิง

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2551. คู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์ดินทางฟิสิกส์. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จตุพร ตั้งศิริสกุล. 2550. การประยุกต์ใช้วัตถุดิบทางธรรมชาติในการเพิ่มประสิทธิภาพของก้อนดินดิบเพื่อใช้ในการก่อสร้างบ้านดิน. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

โจน จันได. 2551. บ้านดินวิธีง่ายๆ ของคนอยากมีบ้าน. สำนักพิมพ์เกษตรกรรมธรรมชาติ, กรุงเทพฯ.

ธนา อุทัยภัตรากูร. 2548. จากดินสู่บ้าน..สร้างบ้านด้วยดิน. พิมพ์ครั้งที่ 6. ห้างหุ้นส่วนจำกัดสามลดา, กรุงเทพฯ.

สำนักสำรวจดินและการวางแผนการใช้ที่ดิน. 2548. ลักษณะและสมบัติของชุดดินในภาคกลางของประเทศไทย. กรมพัฒนาที่ดิน.

เอิบ เขียวรื่นรมย์. 2548. การสำรวจดิน. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 733 หน้า.

อัญชลี สุทธิประการ. 2553. แร่ในอนุภาคขนาดดินเหนียวของดินเขตร้อน. บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น. 280 หน้า.

British Standard Institute. 1997. Method of Testing Concrete for Strength, London.

Chrysler, J., and T. Escobar. 1997. Uniform building code standard 21-9 Masonry Codes and Specifications pp. 125. A Co-Publication of the Masonry Institute of America and CRC Press.

Gee, G.W., and J.W. Bauder. 1986. Particle-size Analysis. A. Klute (ed.), Soil Science Society of America Book Series 5, Madison, Wisconsin, USA.

Saniso E, Y. Tirawanichakul, and S. Tirawanichakul. 2008. The study of some physical properties of desiccant for paddy drying using adsorption technique. KKU. Res. J. 13(5): 575-585.

Soil Survey Division Staff. 1993. Soil survey manual. United States Department of Agriculture. pp. 63–65.

Thomas, G.W. 1996. Soil pH and Soil Acidity. In: D.L. Sparks et al. eds. Methods of Soil Analysis, Part 3. Chemical Methods. Agronomy No. 5. SSSA Book Series., Madison, WI.

Walkley, A., and C.A. Black. 1934. An examination of degtjureff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chroma acid titration method. Soil Sci. 37: 29–35.