

# ความเป็นไปได้ในการใช้ของเสีย จากการก่อสร้างและรื้อถอนในการบำบัดดิน

ดร.ศีลาวุธ คำรังศิริ

ของเสียที่เกิดจากการก่อสร้างและรื้อถอน (Demolition waste) (รูปที่ 1) เป็นของเสียกลุ่มหนึ่งที่มีเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตามการพัฒนาของเมือง ซึ่งขยะกลุ่มนี้มักไม่ถูกนำไปใช้ประโยชน์อื่นใด นอกจากนำไปใช้ในการถมที่ จึงเกิดแนวคิดที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในลักษณะของการบำบัดดินที่ปนเปื้อนด้วยโลหะหนัก โดยเป็นการเติมวัสดุปรับปรุงดิน (Soil amendment) ลงไปผสมในดินที่ปนเปื้อนเพื่อดูดซับหรือปลดปล่อยสารบางอย่าง ซึ่งมีผลทำให้โลหะหนักที่เป็นพิษอยู่ในรูปที่เสถียร และไม่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตโดยแนวทางการบำบัดนี้เป็นวิธีการหนึ่งที่มีค่าดำเนินการต่ำกว่าวิธีอื่นๆ มาก และไม่ทำลายโครงสร้างของดินตามธรรมชาติมากนัก และเหมาะสมต่อสภาพพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนต่ำแต่มีพื้นที่มาก



รูปที่ 1 ภาพตัวอย่างของเสียจากการก่อสร้างและรื้อถอน

โดยรวมแล้ว ตัวแปรที่สำคัญที่พบว่าส่งผลให้เกิดการลดการเคลื่อนตัวของโลหะหนัก ได้แก่ มีค่า pH เป็นค่าที่มีความสามารถในการสะเทินกรดสูง (acid buffering capacity) มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกสูง มีพื้นที่ผิวมาก มีหมู่ฟังก์ชันที่ก่อให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะหนักได้ดี และมีสารอินทรีย์ละลายน้ำต่ำ ซึ่งตัวแปรเหล่านี้จะส่งผลร่วมกันทั้งหมดโดยสามารถชี้วัดความสามารถในการดูดซับโลหะหนักได้โดยการใส่ค่าคงที่ในการกระจายตัวของโลหะหนักระหว่างตัวดูดซับกับน้ำ (Solid-liquid distribution coefficient,  $K_d$ ) ซึ่งหากเป็นการนำไปประยุกต์ใช้ในดินนั้น วัสดุนั้นควรมีค่า  $K_d$  สูงกว่า  $K_d$  ของดินเดิม 10 ถึง 100 เท่า เนื่องจากสามารถเติมลงดินในปริมาณที่จำกัด (Venegas et al., 2015) และนอกจากนี้ ความคงตัวของตัวดูดซับก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญเพราะหากตัวดูดซับสลายตัวได้ง่าย โลหะหนักที่ดูดซับไปแล้วก็จะถูกปลดปล่อยออกมาอีกครั้ง (Akkajit et al., 2013)

ตามที่ได้บรรยายไว้ข้างต้น เศษวัสดุก่อสร้างและรีดถอน จึงถูกพิจารณาว่ามีแนวโน้มที่เหมาะสมต่อการใช้เป็นวัสดุบำบัดดินได้เนื่องจากมีพื้นผิวที่เป็นลบ มีความพรุน และทำให้พีเอชสูงขึ้น และยังเป็นวัสดุที่มีอายุยืนยาว ซึ่งล้วนแต่เป็นลักษณะที่เหมาะสมที่จะช่วยทำให้โลหะหนักในดินลดการเคลื่อนที่ จึงนับเป็นวัสดุที่น่าสนใจศึกษาเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการบำบัดดิน โดยการศึกษานี้จะเจาะจงไปที่วัสดุหลักที่น่าจะมีความสามารถในการดูดซับที่สูง คือ ซีเมนต์เพสต์อิฐมวลเบา และ อิฐมวลเบา โดยศึกษาในด้านความเหมาะสมของวัสดุโดยพิจารณาจากผลของลักษณะสมบัติต่างๆ ของวัสดุที่ส่งผลต่อการดูดซับอย่างครบถ้วน และใช้แคลเซียมเป็นตัวแทนของโลหะหนักที่ปนเปื้อน โดยศึกษาค่าคงที่ของการดูดซับ ( $K_d$ ) อันเป็นผลลัพธ์จากลักษณะสมบัติต่างๆ ของตัววัสดุ ซึ่งจะเป็ข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในการพิจารณาความเป็นไปได้ในการใช้ตัวดูดซับกลุ่มนี้ในการบำบัดดิน

### การศึกษาความเป็นไปได้

วัสดุที่ใช้ศึกษา ประกอบด้วยซีเมนต์เพสต์ซึ่งเตรียมโดยการนำปูนซีเมนต์สำหรับงานก่อสร้างทั่วไป มาผสมกับน้ำ และทิ้งให้แข็งตัวและบ่มต่อเป็นเวลา 1 สัปดาห์ อิฐมวลเบา และ อิฐมวลเบาขนาดเล็กที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป (รูปที่ 2) โดยวัสดุแต่ละชนิดจะถูกนำมาบดย่อยให้เล็กกว่า 2 มิลลิเมตรและเนื่องจากพบว่า ซีเมนต์เพสต์และอิฐมวลเบา มี pH เป็นค่าต่าง จนทำการทดลองการดูดซับเพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกันระหว่างวัสดุได้ยากเนื่องจากทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาทางเคมีอย่างมาก จึงจำเป็นต้องทำการล้างด้วยกรดเจือจาง เพื่อให้วัสดุทั้งสองเป็นกลาง ทั้งนี้ การล้างจนเป็นกลางนับเป็นการจำลองสภาพที่เกิดขึ้นในอนาคตที่ตัววัสดุถูกชะล้างจากฝนจนมีสภาพเป็นกลาง ในที่นี้จะเรียกวัสดุที่ล้างแล้วทั้งสองว่า ซีเมนต์เพสต์ (ล้าง) และ อิฐมวลเบา (ล้าง) ต่อไปเป็นขั้นตอนโดยย่อของการศึกษา

1) ตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และความสามารถในการสะเทินกรด (Acid neutralization capacity, ACN) ของวัสดุศึกษาทั้ง 3 ชนิด

2) ศึกษาดัชนีต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ โครงสร้างผลึกของวัสดุ ด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction (XRD) ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (TC) ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (OC) และปริมาณคาร์บอนอนินทรีย์ (IC) สัมฐานของวัสดุ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM); พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดรูพรุน และปริมาตรรูพรุน วิเคราะห์โดยเครื่อง Surface area analyzer และความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (Cation exchange capacity, CEC) โดยวิธี ammonium saturation and distillation

3) ศึกษาค่าคงที่ของการดูดซับ ( $K_d$ ) และ Adsorption isotherm ทำโดยเริ่มจากการนำตัววัสดุไปเตรียมพื้นผิวด้วยการแช่ในสารละลาย 0.01 M CaCl เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วเอาไปอบแห้งก่อนนำมาใช้ จากนั้นจึงนำตัวอย่างวัสดุจำนวนหนึ่งผสมกับสารละลายแคลเซียมที่สัดส่วน 1 กรัมต่อ 40 มิลลิลิตร และเขย่าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงกรองแยกสารละลายออกไปเพื่อตรวจวัดความเข้มข้นของแคลเซียมที่เหลือ ด้วยเครื่อง Atomic adsorption spectrometer (AAS) จากนั้นจึงนำผลที่ได้มาสร้างกราฟระหว่างความเข้มข้นของแคลเซียมบนตัวดูดซับ ( $q_e$ ) กับ แคลเซียมที่ละลายอยู่ในน้ำ ( $C_e$ )

## ผลการศึกษาลักษณะสมบัติของวัสดุศึกษา

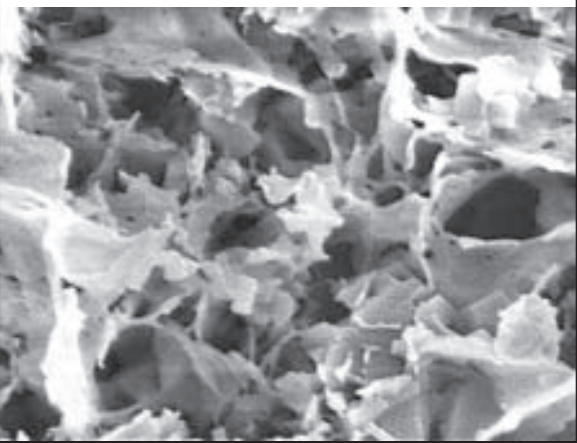
(1) องค์ประกอบของวัสดุการวิเคราะห์ด้วย XRD พบว่าองค์ประกอบของซีเมนต์เพส ประกอบด้วย Calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) Calcium hydroxide ( $\text{CaOH}$ ) Aluminium silicate hydrate และ Calcium silicate hydrate เล็กน้อย สำหรับ อิฐมวลเบา พบว่ามีองค์ประกอบหลักเป็น Calcium silicate hydrate (Tobermorite) และ Quartz โดยพบ Calcite เล็กน้อย โดยเมื่อ ซีเมนต์เพส และอิฐมวลเบา ผ่านการล้างจนมีพีเอชเป็นกลางแล้วจะเหลือเพียง Quartz เป็นองค์ประกอบหลัก ส่วน อิฐมอญ มีองค์ประกอบหลักเป็น Quartz และกลุ่มแร่ดินเหนียว (Aluminium silicate: Halloysite และ Phengite) ซึ่งเป็นองค์ประกอบทั่วไปของดิน

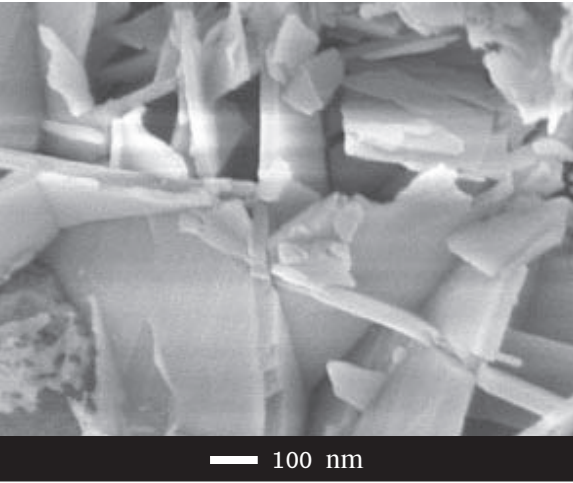
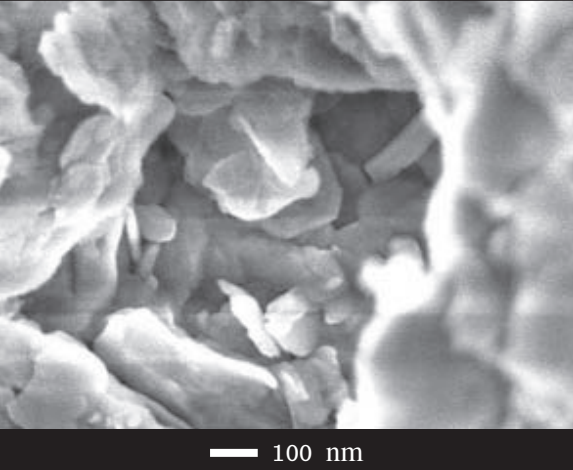
(2) ปริมาณคาร์บอนคาร์บอนส่วนใหญ่ในซีเมนต์เพส ( $\text{OC} = 1.26\%$ ,  $\text{IC} = 4.77\%$ ) และอิฐมวลเบา ( $\text{OC} = 0.16\%$ ,  $\text{IC} = 0.76\%$ ) อยู่ในรูปของคาร์บอนอนินทรีย์ และถูกชะล้างออกมาโดยสารละลายกรดเจือจางจนหมดได้ ( $\text{IC} = 0$ ) ส่วนคาร์บอนในอิฐมอญมีค่าน้อยและไม่พบอยู่ในรูปคาร์บอนอนินทรีย์ ( $\text{OC} = 0.08\%$ ,  $\text{IC} = 0\%$ )

(3) ค่า pH วัสดุศึกษาทั้ง 3 ชนิด มีค่า pH เป็นต่างทั้งหมด โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจากอิฐมอญ (8.4) อิฐมวลเบา (10.3) และซีเมนต์เพส (12.2) ตามลำดับ สำหรับซีเมนต์เพสน่าจะเป็นผลของการละลายของ  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักหนึ่งของซีเมนต์ (Scrivener et al., 2004) ลำดับของพีเอชสอดคล้องกับกับปริมาณ Ca ในซีเมนต์เพส อิฐมวลเบา และอิฐมอญ ซึ่งมีค่าประมาณร้อยละ 65 28 และ 0.8 ในรูป  $\text{CaO}$  ตามลำดับ (Chindaprasit et al., 2007; Damla et al., 2009; สุทัศน์ จันบัวลา, 2555)

(4) ค่า ANCANC ของซีเมนต์เพส ( $14,000 \text{ meq kg}^{-1}$ ) มีค่าสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ อิฐมวลเบา ( $7,600 \text{ meq kg}^{-1}$ ) ส่วนอิฐมอญมีค่า ANC ( $60 \text{ meq kg}^{-1}$ ) ต่ำกว่าซีเมนต์เพสและอิฐมวลเบามาก และเมื่อเปรียบเทียบกับ ANC ของวัสดุอินทรีย์และปุ๋ยหมักหลายชนิดซึ่งมีค่าระหว่าง  $189-7,100 \text{ meq kg}^{-1}$  และ ANC ของถ่านชีวภาพซึ่งมีค่าระหว่าง  $421-725 \text{ meq kg}^{-1}$  (Venegas et al., 2015) จะเห็นได้ชัดว่าอิฐมวลเบาและซีเมนต์เพสมี ANC สูงกว่ามาก นับเป็นจุดเด่นจุดหนึ่งของวัสดุนี้ ซึ่งค่า ANC ที่สูงนี้น่าจะเป็นผลของสารประกอบคาร์บอนในตัวของวัสดุ

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน และเครื่อง Surface area analyzer

ซีเมนต์เพส	
	<b>ค่าเริ่มต้น</b> พื้นที่ผิวจำเพาะ $22.1 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ปริมาตรรูพรุนทั้งหมด $0.076 \text{ mL g}^{-1}$ ขนาดรูพรุนเฉลี่ย $138.0 \text{ \AA}$ CEC $47.6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ $21.6 \text{ \mu mol}_c \text{ m}^{-2}$
	<b>หลังล้างด้วยกรดเจือจาง</b> พื้นที่ผิวจำเพาะ $371.2 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ปริมาตรรูพรุนทั้งหมด $0.451 \text{ mL g}^{-1}$ ขนาดรูพรุนเฉลี่ย $48.6 \text{ \AA}$ CEC $59.3 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ $1.6 \text{ \mu mol}_c \text{ m}^{-2}$
อิฐมวลเบา	

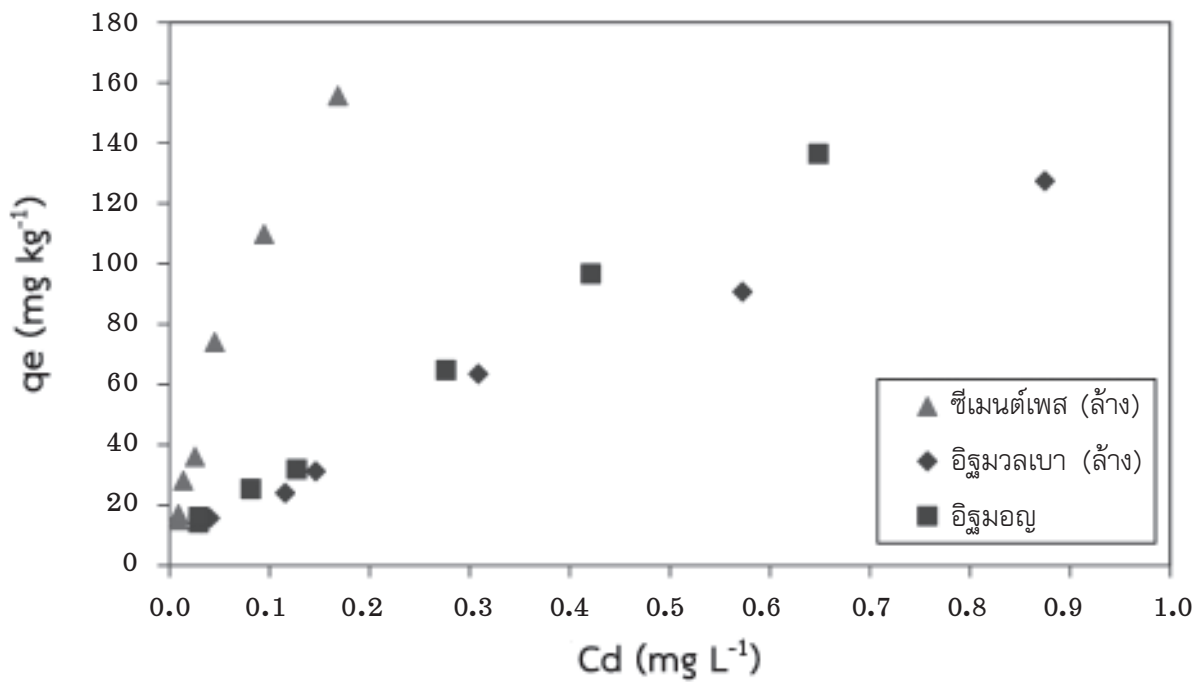
อิฐมวลเบา	
	<p>ค่าเริ่มต้น</p> <p>พื้นที่ผิวจำเพาะ <math>12.8 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}</math></p> <p>ปริมาตรรูพรุนทั้งหมด <math>0.063 \text{ mL g}^{-1}</math></p> <p>ขนาดรูพรุนเฉลี่ย <math>195.4 \text{ \AA}</math></p> <p>CEC <math>28.6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}</math> <math>22.3 \text{ }\mu\text{mol}_c \text{ m}^{-2}</math></p> <p>หลังล้างด้วยกรดเจือจาง</p> <p>พื้นที่ผิวจำเพาะ <math>47.0 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}</math></p> <p>ปริมาตรรูพรุนทั้งหมด <math>0.102 \text{ mL g}^{-1}</math></p> <p>ขนาดรูพรุนเฉลี่ย <math>86.9 \text{ \AA}</math></p> <p>CEC <math>9.2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}</math> <math>2.0 \text{ }\mu\text{mol}_c \text{ m}^{-2}</math></p>
อิฐมวลฉู	
	<p>ค่าเริ่มต้น</p> <p>พื้นที่ผิวจำเพาะ <math>20.7 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}</math></p> <p>ปริมาตรรูพรุนทั้งหมด <math>0.057 \text{ mL g}^{-1}</math></p> <p>ขนาดรูพรุนเฉลี่ย <math>110.7 \text{ \AA}</math></p> <p>CEC <math>9.6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}</math> <math>4.6 \text{ }\mu\text{mol}_c \text{ m}^{-2}</math></p>

(5) พื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรและขนาดรูพรุน ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน และผลการตรวจสอบพื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนเฉลี่ย แสดงไว้ในตารางที่ 1 พื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนเฉลี่ย ของวัสดุทั้งสามมีค่าไม่ต่างกันมากนัก โดยอิฐมวลฉูมีขนาดรูพรุนเฉลี่ยเล็กที่สุด มีปริมาตรรูพรุนน้อยที่สุดในขณะที่ซีเมนต์เพสต์มีพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนมากที่สุด แต่เมื่อซีเมนต์เพสต์และอิฐมวลเบาถูกล้างด้วยสารละลายกรดเจือจางจะพบว่า ทั้งซีเมนต์เพสต์ (ล้าง) และอิฐมวลเบา (ล้าง) มีขนาดรูพรุนเฉพาะเล็กลงมากจนมีค่าเล็กกว่ารูพรุนเฉลี่ยของอิฐมวลฉู และมีปริมาตรรูพรุนและพื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มขึ้นอย่างมากด้วยเช่นกัน ซึ่งเมื่อพิจารณาพร้อมกับผล XRD คาดว่าน่าจะเป็นผลของการละลายของสารประกอบแคลเซียมในโครงสร้าง โดยการเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นมากในซีเมนต์เพสต์ แสดงให้เห็นว่าหากนำวัสดุนี้ไปใช้ประสิทธิภาพในการดูดซับอาจดีขึ้นเมื่อถูกน้ำฝนชะล้างไป ทั้งนี้ ขนาดรูพรุนทั้งหมดนี้อยู่ในช่วงขนาดปานกลาง 20–500 nm (Gregg และ Sing, 1982) ทั้งนี้ เมื่อนำลักษณะสมบัติของวัสดุทั้ง 3 เปรียบเทียบกับลักษณะสมบัติของถ่านกัมมันต์ ได้แก่ พื้นที่ผิวจำเพาะซึ่งมีค่าตั้งแต่หลักร้อยจนถึงเกือบ  $2,000 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  และขนาดรูพรุนเฉลี่ย 8–340 Å โดยส่วนมากมีขนาดประมาณ 20–30 Å (รวบรวมโดย Jainet al., 2016; Yahyaet al., 2015) พบว่าโดยรวมแล้ววัสดุทั้งสาม จากของเสียจากสิ่งก่อสร้างและการรีไซเคิลมีพื้นที่ผิวน้อยกว่ามาก และมีขนาดรูพรุนใหญ่กว่า

(6) ค่า CEC ค่า CEC ของวัสดุทั้งสามดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 พบว่า CEC ของซีเมนต์เพสต์มีค่าสูงที่สุด เมื่อพิจารณา CEC นี้ กับ CEC ของคอนกรีต ที่มีค่าประมาณ  $30 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  (ทศพร, 2545) ซึ่งเป็นส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์ หิน และทรายทำให้เชื่อได้ว่า CEC ของคอนกรีตมีที่มาจากซีเมนต์เพสต์ ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาค่า CEC ในหน่วย  $\mu\text{mol}_c \text{ m}^{-2}$  พบว่า CEC ของซีเมนต์เพสต์และอิฐมวลเบามีค่าใกล้เคียงกัน โดยเมื่อล้างด้วยกรดแล้วจะทำให้ CEC ลดลงอย่างมาก อย่างไรก็ตาม CEC ในหน่วยน้ำหนักของซีเมนต์เพสต์ที่ล้างด้วยกรดแล้วกลับมีค่าเพิ่มขึ้น คาดว่าเป็นผลจากการเพิ่มขึ้นอย่างมากของพื้นที่ผิวของซีเมนต์เพสต์ที่ถูกล้างด้วยกรดเจือจาง เมื่อเปรียบเทียบกับ CEC ของวัสดุต่างๆ พบว่า CEC ของวัสดุจากการก่อสร้างและรื้อถอนเหล่านี้ โดยรวมแล้ว มีค่าน้อยกว่า CEC ของวัสดุอินทรีย์ต่างๆ ( $70\text{--}200 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , Venegas et al., 2015) และมีค่า CEC อยู่ในช่วงเดียวกับถ่านชีวภาพจากวัสดุการเกษตรหลายชนิด ( $3\text{--}50 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , Lee et al., 2010; Jien และ Wang, 2103; Venegas et al., 2015; Jiang et al., 2016)



รูปที่ 2 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา ซีเมนต์เพสต์ อิฐมวลเบา และ อิฐมอญ



รูปที่ 3 ผลการดูดซับแคดเมียมด้วยซีเมนต์เฟส อิฐมวลเบา และ อิฐมอญ

ตารางที่ 3 ค่าคงที่ดูดซับของแคดเมียมบนวัสดุ โดยสมการเส้นตรง

วัสดุ	$K_{d \text{ min}}$ (L kg <sup>-1</sup> )	$K_{d \text{ max}}$ (L kg <sup>-1</sup> )	$K_d$ (L kg <sup>-1</sup> )	$r^2$
ซีเมนต์เฟส (ล้าง)	925	2,058	1,031	0.906
อิฐมวลเบา (ล้าง)	145	447	156	0.947
อิฐแดง	210	555	220	0.977

### สรุปผลการศึกษา

การศึกษาด้านความเหมาะสมของวัสดุในการดูดซับโลหะหนักโดยการใช้ค่าคงที่ในการกระจายตัวของโลหะหนักระหว่างตัวดูดซับกับน้ำ หรือ  $K_d$  เพื่อเป็นการนำไปประยุกต์ใช้ในดินนั้น จำเป็นต้องเปรียบเทียบค่า  $K_d$  ของตัววัสดุ กับดิน โดยวัสดุนั้นควรมีค่า  $K_d$  สูงกว่าดินเดิม 10 ถึง 100 เท่า โดยพื้นฐานแล้วดินเป็นตัวดูดซับที่ดีตามธรรมชาติอยู่แล้วโดยค่า  $K_d$  ของดินมีค่าประมาณ 500–750 L kg<sup>-1</sup> (Bradl, 2004; Venegaset al, 2015) ซึ่งเมื่อเทียบกับค่า  $K_d$  ของวัสดุทั้งสาม แล้ว พบว่า ซีเมนต์เฟส (ล้าง) มีค่า  $K_d$  สูงกว่าไม่มากนัก (ตารางที่ 3) ซึ่งไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้เป็นตัวดูดซับแคดเมียมจากดิน

อย่างไรก็ตาม ซีเมนต์เฟส และอิฐมวลเบา มีความเป็นต่างมากกว่าวัสดุอื่นๆ จะส่งผลดีต่อการลดการเคลื่อนตัวของโลหะหนักมาก โดยเมื่อ pH เพิ่มขึ้น 1 หน่วย ความสามารถในการดูดซับแคดเมียมของดินเพิ่มขึ้นราว 3 เท่า และยังช่วยในการตกตะกอนของแคดเมียมอีกด้วย (Street et al., 1978) ค่า ANC ของซีเมนต์เฟส และอิฐมวลเบา มีค่าสูงกว่าวัสดุอื่นๆ อยู่มาก (เช่น วัสดุอินทรีย์ต่างๆ และถ่านชีวภาพ, Venegaset al, 2015) จากการศึกษาของ Giampaolo et al. (2002) กับวัสดุที่ใช้ในซึ่งเป็นส่วนผสมของซีเมนต์เฟส บ่งชี้ว่า ANC เปลี่ยนแปลงตามปริมาณแคลเซียม

ในส่วนผสม ซึ่งน่าจะอยู่ในรูปของ  $\text{CaCO}_3$  ในองค์ประกอบซึ่งเพิ่มความสามารถในความเป็นบัฟเฟอร์ ซึ่งเมื่อพิจารณาผลการศึกษา ANC ร่วมกับผลการวิเคราะห์ด้วย XRD และปริมาณคาร์บอนแล้ว ทำให้สรุปได้ว่า ANC ในวัสดุก่อสร้างนี้เป็นผลจากการบอนด์ในโครงสร้าง ทั้งนี้ ANC ของซีเมนต์เพส และอิฐมวลเบา ในการศึกษาที่สูงกว่า ANC ของดินที่สำรวจพบในการศึกษาอื่นอยู่มาก (ไม่เกิน  $2,000 \text{ meq kg}^{-1}$ , Cappuyns et al., 2004) ดังนั้น เมื่อเติมวัสดุเหล่านี้ลงในดิน ย่อมทำให้ ANC ของดินสูงขึ้น ซึ่ง ANC ที่สูงจะเป็นผลดีในการช่วยให้ดินสามารถรองรับภาระกรดจากธรรมชาติได้มากขึ้น และไม่เกิดการชะละลายของโลหะหนักออกมาเมื่อถูกภาวะฝนกรด ส่วนอิฐแดง จะไม่ส่งผลต่อ pH และความสามารถในการสะเทินกรดของดินมากนักนอกจากนี้ ในกรณีที่ดินมี CEC ต่ำและมีอินทรีย์วัตถุน้อย และมี pH มากกว่า 7 คาร์บอเนตจะส่งผลให้แคดเมียมเกิดการตกตะกอนในรูป  $\text{CdCO}_3$  (McBride, 1980) ได้อีกด้วย

การศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่า เศษซีเมนต์เพส และอิฐมวลเบา แม้ไม่มีความสามารถในการดูดซับมากเพียงพอ แต่ค่า pH และ ANC ที่สูงกว่าวัสดุอื่นๆ มากอาจเป็นประโยชน์เมื่อใช้ร่วมกับวัสดุอื่นๆ ในการบำบัดดินที่ปนเปื้อนด้วยโลหะหนัก ในแง่ของการเพิ่ม pH และ ANC ให้กับดินและอาจเป็นประโยชน์ในการจัดการกับปัญหา acid mine drainage ซึ่งต้องทำการศึกษาต่อไป

### กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนวิจัยและพัฒนายุทธศาสตร์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ประจำปีงบประมาณ 2558 เลขรหัส GDNS 58-039-54-002

### เอกสารอ้างอิง

ทศพร ภู่อะหงษ์. ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักบางชนิดในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมแผงวงจรพิมพ์ด้วยตัวกลางเศษคอนกรีต. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

สุทัศน์ จันบัวลา. การพัฒนาส่วนผสมผลิตภัณฑ์อิฐดินเผาจังหวัดพระนครศรีอยุธยา และอ่างทอง. วารสารวิจัย มสค สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 5 (1) 2555: 13-21.

Akkajit, P., DeSutter, T., and Tongcumpou, C. Fractionation of Cd and Zn in Cd-contaminated soils amended by sugarcane waste products from an ethanol production plant. *Journal of Soils and Sediments*, 13 (2013): 1057-1068.

Cappuyns, V., Swennen, R., Verhulst, J. Assessment of acid neutralizing capacity and potential mobilisation of trace metals from land-disposed dredged sediments. *Science of the Total Environment*, 333 (2004): 233-247.

Chindaprasirt, P., Jaturapitakkul, C., Sinsiri, T. Effect of fly ash fineness on microstructure of blended cement paste. *Construction and Building Materials*, 21 (2007): 1534-1541.

Damla, N., Cevik, U., Kobya, A.I., Celik, A., Grieken, R.V., and Kobya, Y. Characterization of gas concrete materials used in buildings of Turkey. *Journal of Hazardous Materials*, 168 (2009): 681-687.

Giampaolo, C., Mastro, S.L., Poletini, A., Pomi, R., Sirini, P. Acid neutralisation capacity and hydration behaviour of incineration bottom ash-Portland cement mixtures. *Cement and Concrete Research*, 32 (2002): 769-775.

- Gregg, S.J. and Sing, K.S.W. Adsorption, surface area and porosity. 2nd ed. New York : Academic press, 1982.
- Jain, A., Balasubramanian, R., Srinivasan, B. Hydrothermal conversion of biomass waste to activated carbon with high porosity: A review. *Chemical Engineering Journal*, 283 1 (2016): 789–805.
- Jiang, S., Huang, L., Nguyen, T.A.H., Ok, Y.S., Rudolph, V., Yang, H., Zhang, D. Copper and zinc adsorption by softwood and hardwood biochars under elevated sulphate-induced salinity and acidic pH conditions. *Chemosphere*, 142 (2016): 64–71.
- Jien, S.H. and Wang, C.S. Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil. *Catena*, 110 (2013): 225–233.
- Lee, K.W., Kidder, M., Evans, B.R., Paik, S., Buchanan III, A.C., Garten, C.T., Brown, R.C. Characterization of Biochars Produced from Cornstovers for Soil Amendment. *Environmental Science & Technology*, 44 (2010): 7970–7974.
- McBride, M.B. Chemisorption of Cd<sup>2+</sup> on calcite surface. *Soil Science Society of America Journal*, 44 (1980): 26–28.
- Scrivener, K.L., Fullmann, T., Gallucci, E., Walenta, G., Bermejo, E. Quantitative study of Portland cement hydration by X-ray diffraction/Rietveld analysis and independent methods. *Cement and Concrete Research*, 34 (2004): 1541–1547.
- Street, J.J., Sabey, B.R., Lindsay, W.L. Influence of pH, Phosphorus, Cadmium, Sewage Sludge, and Incubation Time on the Solubility and Plant Uptake of Cadmium *Journal of Environmental Quality*, 7 2 (1978) 286–290.
- Venegas, A., Rigol, A., Vidal, M. Viability of organic wastes and biochars as amendments for the remediation of heavy metal-contaminated soils. *Chemosphere*, 119 (2015): 190–198.
- Yahya, M.A. Al-Qodah, Z., Zanariah Ngah, C.W. Agricultural bio-waste materials as potential sustainable precursors used for activated carbon production: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 46 (2015): 218–235.

