การใช้ประโยชน์กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังเป็นวัสดุผสมในอิฐมอญ

THE USE OF WASTEWATER SLUDGE FROM A CASSAVA STARCH PLANT AS BRICK MATERIAL

***ปิยะวดี ศรีวิชัย*[1]*, *เสกสรรค์ ทองติ๊บ*[2]

***Piyavadee Srivichai*[1]*, *Sakesun Thongtip*[2]

[1]*สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา*

[1]*Program in Environmental Health, Faculty of Medicine, University of Phayao.*

[2]*สาขาวิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา*

[2]*Program in Occupational Health and Safety, Faculty of Medicine, University of Phayao.*

**Corresponding author, e-mail: u4108047@hotmail.com*

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนยูเอเอสบี (Up-flow anaerobic sludge blanket, UASB) ของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังดัดแปรเพื่อใช้เป็นวัสดุผสมในการผลิตอิฐมอญ ซึ่งเบื้องต้นทำการศึกษาลักษณะสมบัติของกากตะกอนเทียบกับมาตรฐานปริมาณสารเคมีอันตรายในของเสียที่ไม่ใช้แล้ว (Total Threshold Limit Concentration, TTLC) ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 พบว่ามีค่าต่ำกว่ามาตรฐานกำหนด ดังนั้นกากตะกอนที่นำมาใช้จึงไม่ใช่ของเสียอันตรายสามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐมอญได้ และพบว่าการใช้อัตราส่วนกากตะกอน 10% โดยน้ำหนักแห้งมีความเหมาะสม ซึ่งอิฐมอญที่ผลิตได้มีอัตราการซึมน้ำต่ำเท่ากับ 22.6±1.5% และมีความสามารถในการต้านแรงอัดสูงเท่ากับ 9.6±1.6 เมกะปาสกาล ผ่านตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.77-2545 ในขณะที่การเพิ่มอัตราส่วนกากตะกอนเพิ่มขึ้นส่งผลให้อิฐมีความแข็งแรงลดลง โดยมีอัตราการซึมน้ำมากขึ้น และความสามารถในการต้านแรงอัดลดลง จากผลการวิจัยจึงแสดงให้เห็นว่ากากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบีสามารถใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐมอญได้ โดยการนำมาใช้เป็นการเพิ่มมูลค่าของกากตะกอนและช่วยลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการจัดการกากตะกอนที่ไม่มีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: อิฐมอญ แป้งมันสำปะหลังดัดแปร ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนยูเอเอสบี กากตะกอน

Abstract

The aim of this research was to determine the optimum mixing ratio of UASB (Up-flow anaerobic sludge blanket, UASB) sludge from a modified cassava starch plant as a material in the fried clay brick production. The amounts of hazardous chemicals were initial studied that their level were lower than The Total Threshold Limit Concentration (TTLC) (The Notification of The Ministry of Industry on Disposal of Wastes or Unusable Materials B.E. 2548 (2005). Therefore, the UASB sludge is not hazardous waste that it can be used as material to produce brick. And it was found that at the sludge content of 10% by dry weight basis were appropriate. It had the low water adsorption rate and high compressive strength at 22.6±1.5% and 9.6±1.6 MPa, respectively, which according to Thailand Industrial Standard (TIS 77 -2545). When the increase in the percentage of sludge added, that resulted in the decreased strength of the produced brick with the higher water adsorption rates and the less compressive strength. The results indicated that the UASB sludge was suitable to use as a material in the brick production. Moreover, it is a method to adding value of sludge and reducing the environmental impacts from ineffective disposal management.

Keywords: Fried Clay Brick, Modified Cassava Starch, Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket, Sludge

บทนำ

อุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลังถือเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของไทย ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตแป้งมันสำปะหลังเป็นอันดับ 3 ของโลก [1] โดยมีผลผลิตสูงถึง 29.84 ล้านตันในปี 2558 [2] การผลิตแป้งมันสำปะหลังสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ แป้งมันสำปะหลังดิบ (Native cassava starch) และแป้งมันสำปะหลังดัดแปร (Modified cassava starch) ในปัจจุบันประเทศไทยมีโรงงานที่ผลิตแป้งมันสำปะหลังทั้งหมด 90 โรงงาน แบ่งเป็นโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังดิบ 75 โรงงาน โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังดัดแปร 27 โรงงาน โดยแป้งดัดแปรถูกส่งออกสูงถึง 905,028 ตันต่อปี สามารถนำรายได้เข้าประเทศประมาณ 21,447 ล้านบาทต่อปี [3] มีของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตที่สำคัญคือ กากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังดัดแปร ซึ่งในปัจจุบันหลายโรงงานต้องจ้างบริษัทรับกำจัดของเสียขนไปทิ้ง ซึ่งการกำจัดส่วนใหญ่พบว่านำไปกองทิ้งตามสวนผลไม้หรือพื้นที่ว่างเปล่าต่าง ๆ โดยไม่ได้มีการจัดการให้เหมาะสมตามหลักสุขาภิบาลทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา เช่น กลิ่นเหม็นจากกากตะกอน แหล่งเพาะพันธุ์ของพาหะนำโรค ไหลลงแหล่งน้ำสาธารณะก่อปัญหามลพิษทางน้ำส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำต่าง ๆ เป็นต้น อีกทั้งค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนน้ำเสียที่สูง ขึ้นอยู่กับระยะทางในการขนส่งไปกำจัด

จากปัญหาการจัดการกากตะกอนจากระบบยูเอเอสบีข้างต้น และความเป็นไปได้ในการการนำกากตะกอนมาเป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐมอญ โดยการทบทวนวรรณกรรมของ Kadir และ Rahim [4] พบว่ากากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา และระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนสามารถจะนำมาใช้มาเป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐมอญ ขณะที่การนำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมมาผลิตอิฐมอญมีค่อนข้างน้อย เช่น Weng และคณะ [5] พบว่าอัตราส่วนของกากตะกอนโรงบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมส่วนกลางที่ 10% ทำให้อิฐมีความสามารถในการต้านแรงอัดได้สูดสุด หรือ Shrutakirti และ M [6] ทำการศึกษากากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมรถยนต์มาผลิตอิฐซีเมนต์ซึ่งไม่ใช่อิฐมอญ พบว่าอิฐที่ผลิตได้มีความสามารถในการต้านแรงอัดที่ดี ซึ่งอาจเนื่องมาจากกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมมีข้อจำกัด เรื่องของอันตรายจากสารเคมี หรือ

โลหะหนักต่าง ๆ แต่กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังดัดแปรค่อนข้างมีความเหมาะสม และปลอดภัยในการนำมาใช้เมื่อพิจารณาจากวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต หรือระบบบำบัดน้ำเสียยูเอเอสบีที่ใช้ ไม่มีการเติมสารเคมีอันตราย และพบว่าขาดข้อมูลการนำกากตะกอนน้ำเสียจากระบบยูเอเอสบีมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐมอญ ซึ่งระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัดที่นิยมใช้มากในอุตสาหกรรมแป้ง เนื่องจากเหมาะกับน้ำเสียมีปริมาณสารอินทรีย์สูงสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ [7] ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาถึงการใช้ประโยชน์จากกากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียยูเอเอสบีของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังดัดแปรซึ่งมีปริมาณกากตะกอนที่เกิดขึ้นในแต่ละวันจำนวนมากนั้นมาใช้ในการผลิตอิฐมอญ เพื่อเป็นแนวทางการจัดการของเสีย ลดการขุดทำลายหน้าดิน และการพัฒนาเพิ่มมูลค่าของกากตะกอนต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนยูเอเอสบี (Up-flow anaerobic sludge blanket, UASB) ของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังดัดแปร เพื่อใช้เป็นวัสดุผสมในการผลิตอิฐมอญ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วิเคราะห์ลักษณะสมบัติของกากตะกอนน้ำเสีย ทางกายภาพและเคมี โดยทำการเปรียบเทียบกับมาตรฐาน TTLC [8] โดยมีวิธีวิเคราะห์แต่ละพารามิเตอร์ ตามตารางที่ 2

2. การเตรียมกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนแบบยูเอเอสบีของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังดัดแปรตามอัตราส่วนต่าง ๆ

2.1 กากตะกอนที่นำมาใช้เป็นกากตะกอนจากบ่อตากตะกอนซึ่งรองรับตะกอนที่สูบมาจากก้นถังยูเอเอสบี ลักษณะกากตะกอน แสดงตามภาพที่ 1

ภาพที่ 1 กากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสีย UASB

2.2 นำกากที่เก็บมาจากโรงงานมาตากแดดให้แห้งเป็นเวลา 1 สัปดาห์

2.3 นำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 100±5 องศาเซลเซียส ไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดให้ละเอียด และร่อนผ่านตระแกรงขนาดช่องเปิด 9.5 มิลลิเมตร (3/8 นิ้ว) นำดินเหนียวปกติที่ใช้ในการผลิตอิฐมอญมาทำเช่นเดียวกับกากตะกอนน้ำเสีย

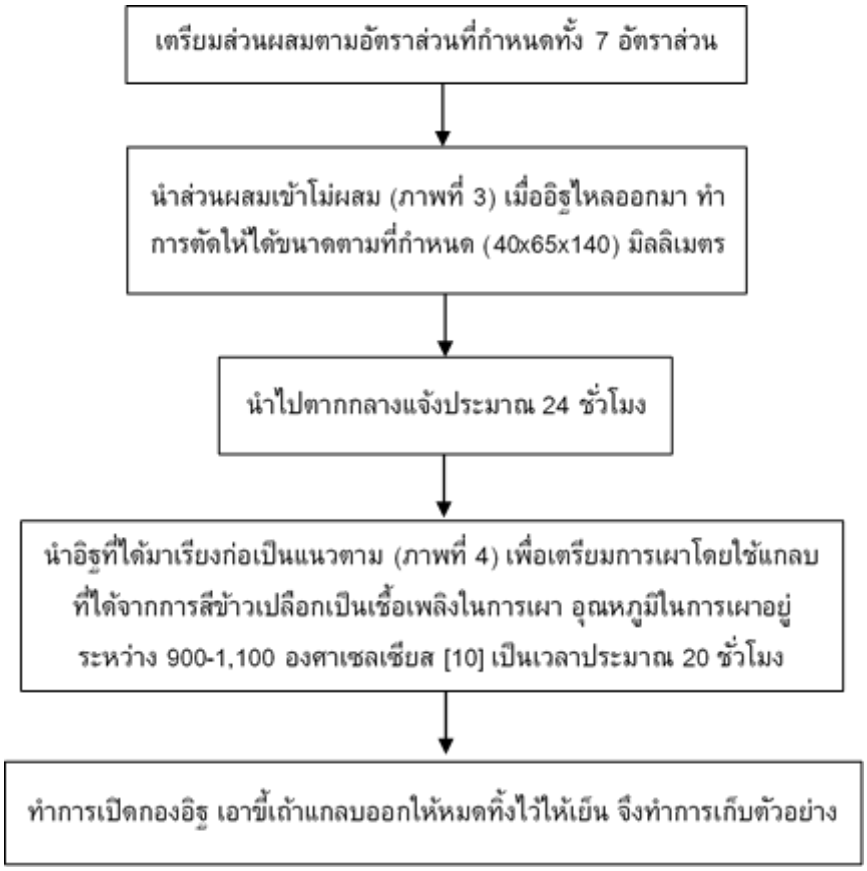
2.4 นำตัวอย่างกากตะกอนมาผสมกับดินเหนียว และน้ำตามอัตราส่วนที่กำหนด ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนของกากตะกอนและดินเหนียวในการผลิตอิฐมอญ

ลำดับที่	อัตราส่วนกากตะกอน (% โดยน้ำหนักแห้ง)	วัสดุ (กิโลกรัม)		น้ำ (กิโลกรัม)
		ดินเหนียว	กากตะกอน	
1	100	0	100	
2	90	10	90	
3	70	30	70	
4	50	50	50	20 [9]
5	30	70	30	
6	10	90	10	
7	0 (ชุดควบคุม)	100	0	

2.5 ทำการหมักส่วนผสมให้เข้ากันโดยตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จากนั้นนำส่วนผสมที่เตรียมได้เข้าสู่กระบวนการผลิตอิฐมอญ

3. ขั้นตอนการผลิตอิฐมอญแสดง ตามภาพที่ 2



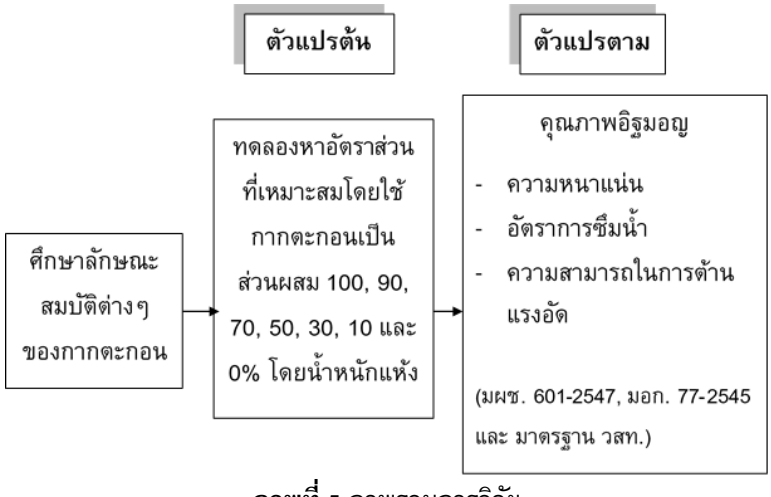
ภาพที่ 2 ขั้นตอนการผลิตอิฐมอญ

ภาพที่ 3 เครื่องโม่ผสม

ภาพที่ 4 ขั้นตอนการเผาอิฐมอญ และอิฐที่ผลิตได้

4. ศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของกากตะกอนที่ใช้ในการทดลองใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐมอญ โดยใช้อัตราส่วนดังต่อไปนี้ 100, 90, 70, 50, 30, 10 และ 0% โดยน้ำหนักแห้งของส่วนผสมทั้งหมด เก็บตัวอย่างอิฐที่ผลิตได้อัตราส่วนละ 10 ตัวอย่าง ใช้วิธีทดสอบตาม มอก. 77-2545 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสำหรับอิฐก่อสร้างสามัญประเภทที่ 1 ขนาดอิฐ 40x65x140 (หนาxกว้างxยาว) มิลลิเมตร เพื่อหาค่าความหนาแน่น อัตราการซึมน้ำและความสามารถในการต้านแรงอัดของอิฐมอญ

จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติเชิงพรรณนา คำนวณค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความหนาแน่น อัตราการซึมน้ำและความสามารถในการต้านแรงอัดของอิฐมอญ โดยทำการเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง (มาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม) และอิฐมอญปกติที่ไม่มีการเติมกากตะกอน (ชุดควบคุม) สรุปรายละเอียด ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ภาพรวมการวิจัย

ผลการวิจัย

1. ลักษณะสมบัติของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียยูเอเอสบี

การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียยูเอเอสบี พบว่าความเข้มข้นของสารเคมีอันตรายต่าง ๆ ที่ตรวจพบในกากตะกอนค่อนข้างต่ำ ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ลักษณะสมบัติของกากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบีของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังดัดแปร

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์	หน่วย	ผลการวิเคราะห์	มาตรฐาน TTLC[3]	ดินเหนียวปกติ [11]
1. ลักษณะ			สีดำ นิ่ม ไม่มีกลิ่น	-	-
2. พีเอช (pH)	ELECTROMETRIC METHOD (U.S. EPA[1] 2004:9045 D)		7.0	-	5.4
3. ความชื้น (Moisture)	DRIED AT 103-105 ^{o}C	%	82.1	-	10
4. สารหนู (Arsenic)	ACID DIGESTION AND HYDRIDE GENERATION AAS METHOD (U.S.EPA[1] 1996:3050 B AND1992:7061 A)	mg/kg	ND[4]	500	1.2
5. แคดเมียม (Cadmium)	ACID DIGESTION AND DIRECT AIR ACETYLENE FLAME METHOD (U.S.EPA[1] 1996:3050 B AND 2007:7000 B)	mg/kg	ND[4]	100	0.002
6. ทองแดง (Copper)	ACID DIGESTION AND DIRECT AIR ACETYLENE FLAME METHOD (U.S.EPA[1] 1996:3050 B AND 2007:7000 B)	mg/kg	26.31	2,500	4.7
7. ตะกั่ว (Lead)	ACID DIGESTION AND DIRECT AIR ACETYLENE FLAME METHOD (U.S.EPA[1] 1996:3050 B AND 2007:7000 B)	mg/kg	ND[4]	1,000	5.8
8. ปรอท (Mercury)	ACID DIGESTION AND COLD VAPOUR AAS METHOD (U.S.EPA2007:7471 B)	mg/kg	ND[4]	20	-
9. เหล็ก (Iron)	ACID DIGESTION AND DIRECT AIR ACETYLENE FLAME METHOD (U.S.EPA[1] 1996:3050 B AND 2007:7000 B)	mg/kg	1,037	-	11,250
10. แมงกานีส (Manganese)	ACID DIGESTION AND DIRECT AIR ACETYLENE FLAME METHOD (U.S.EPA[1] 1996:3050 B AND 2007:7000 B)	mg/kg	409	-	198
11. สังกะสี (Zinc)	ACID DIGESTION AND DIRECT AIR ACETYLENE FLAME METHOD (U.S.EPA[1] 1996:3050 B AND 2007:7000 B)	mg/kg	192	-	30
12. โพแทสเซียม (Potassium)	AOAC[2] OFFICIAL METHOD 955.06 (2005)	mg/kg	1,403	-	20.3
13. ไนโตรเจน (Nitrogen)	AOAC[2] OFFICIAL METHOD 955.04 (2005)	mg/kg	7,446	-	0.26
14. ฟอสฟอรัส (Phosphorus)	AOAC[2] 2000,958.01	mg/kg	917	-	2.7

หมายเหตุ: 1. U.S. EPA ย่อมาจาก United States Environmental Protection Agency

2. AOAC ย่อมาจาก Association of Official Analytical Chemists

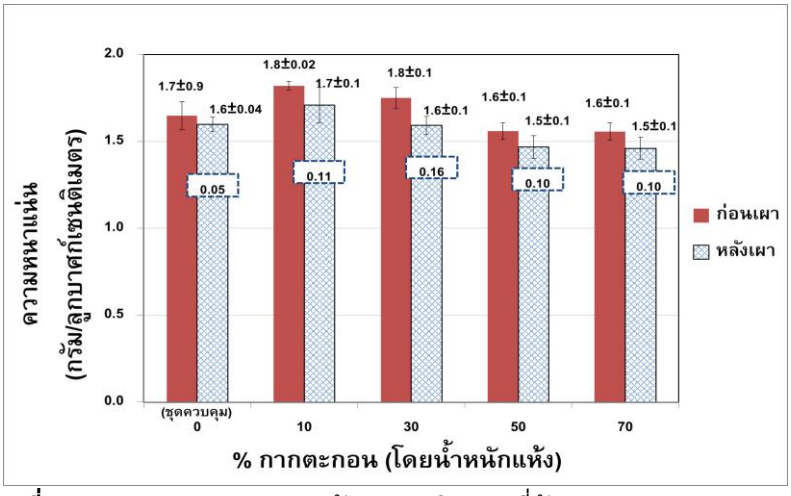
3. มาตรฐาน Total Threshold Limit Concentration (TTLC) ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 คือองค์ประกอบของสารอนินทรีย์อันตราย และสารอินทรีย์อันตรายในหน่วยมิลลิกรัมของสารต่อหนึ่งกิโลกรัมของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว

4. ND คือ Non Detectable หมายถึง ผลการตรวจวัดที่ได้ต่ำค่าที่สามารถตรวจวัดได้ หรือต่ำกว่า Detection limit ของการวิเคราะห์

โดยสารเคมีที่มีความเข้มข้นสูงสุดคือ เหล็ก รองลงมาเป็น แมงกานีส และสังกะสี ตามลำดับ และเมื่อเทียบกับมาตรฐาน TTLC ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 พบสารทุกตัวมีความเข้มข้นต่ำกว่ามาตรฐาน ดังนั้น กากตะกอนน้ำเสียที่นำมาใช้จึงไม่ใช่ของเสียอันตราย สามารถนำมาใช้ในการผลิตอิฐมอญได้ สอดคล้องจากการสอบถามพบว่าแป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่โรงงานผลิตส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร และในขั้นตอนการผลิตไม่มีการใช้สารเคมีที่เป็นอันตราย ซึ่งในปัจจุบันทางโรงงานก็ได้ทำการขุดลอกบ่อและนำไปกองทิ้งในพื้นที่ว่างเปล่า เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนส่วนใหญ่มีปริมาณน้อยดินเหนียวปกติ ยกเว้น ทองแดง แมงกานีส และสังกะสีที่พบปริมาณสูงกว่า เนื่องมาจากเป็นแร่ธาตุที่พบมากในแป้งมันสำปะหลัง ในขณะที่ปริมาณสารอาหารที่ตรวจพบในกากตะกอนคือ มีปริมาณไนโตรเจน โพแทสเซียม และฟอสฟอรัส เท่ากับ 7,446 1,403 และ 917 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักเปียก (0.75, 0.14 และ 0.09% โดยน้ำหนัก) ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าดินเหนียวปกติและเมื่อเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร 2551 กำหนดปริมาณธาตุอาหารหลัก ไนโตรเจน โพแทสเซียม และฟอสฟอรัส ไว้ไม่น้อยกว่า 10,000 5,000 และ 5,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (ไม่น้อยกว่า 1, 0.5 และ 0.5% โดยน้ำหนัก) ตามลำดับ พบว่าสารอาหารทุกตัวมีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

2. ความหนาแน่นของอิฐมอญ

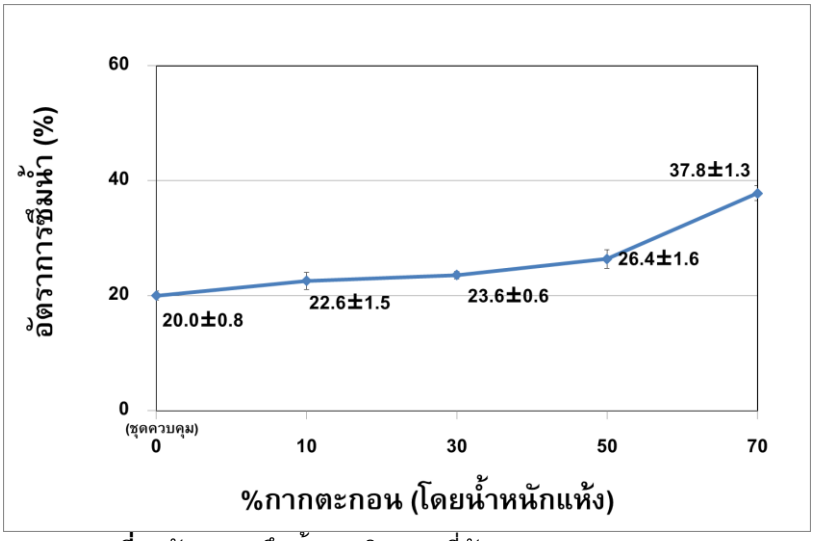
การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของอิฐมอญที่อัตราส่วนต่าง ๆ พบว่าความหนาแน่นของอิฐก่อนเผา และหลังเผามีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อย เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของกากตะกอนระหว่าง 10-70% และความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างอิฐมอญก่อนเผาและหลังเผา มีช่วงของความแตกต่างกันใกล้เคียงกัน โดยที่อัตราส่วน 0% (อิฐมอญปกติไม่มีการเติมกากตะกอน), 10, 30, 50 และ 70% มีค่าเท่ากับ 0.05, 0.11, 0.16, 0.10 และ 0.10 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ แสดงตามภาพที่ 6 อาจเนื่องมาจากลักษณะของกากตะกอนที่นำมาใช้มีลักษณะค่อนข้างใกล้เคียงกับดินเหนียวปกติที่ใช้ในการผลิตอิฐ เมื่อหลังจากเผาจะมีการลดลงของความหนาแน่นค่อนข้างใกล้เคียงกับดินเหนียวปกติ ในขณะที่อัตราส่วนที่ผสมกากตะกอน 90 และ 100% ไม่สามารถขึ้นรูปอิฐได้ เนื่องจากการผสมกากตะกอนมีความสามารถในการจับตัวน้อยกว่าดินเหนียวปกติ เมื่อใช้ในอัตราส่วนที่มากทำให้อิฐมีเหลวไม่เกาะตัว โดยอิฐที่ไหลออกจากแม่พิมพ์มีลักษณะแผ่ออกด้านข้าง อาจเนื่องมาจากลักษณะของกากตะกอนที่มีความเหนียวต่ำ ไม่ค่อยจับตัวกับส่วนผสมอื่น และค่อนข้างที่จะร่วนแยกออกเป็นก้อน ๆ



ภาพที่ 6 ความหนาแน่นก่อนและหลังเผาของอิฐมอญที่อัตราส่วนกากตะกอนต่าง ๆ

3. อัตราการซึมน้ำของอิฐมอญ

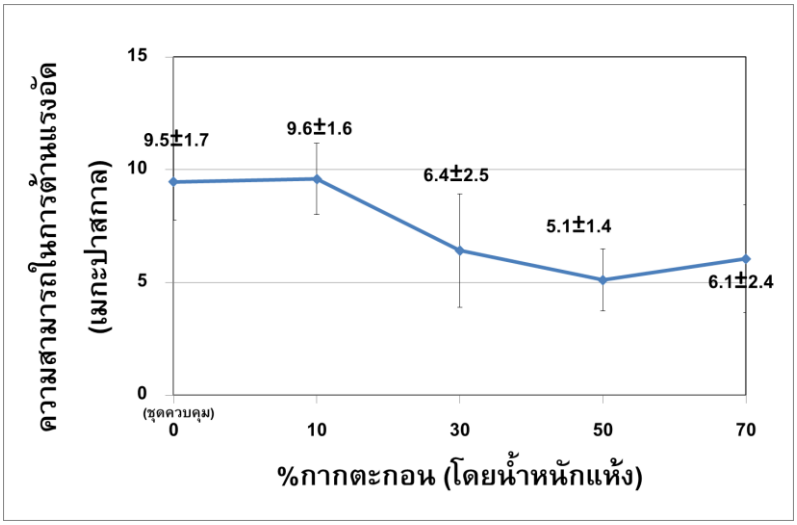
การเปรียบเทียบอัตราการซึมน้ำของอิฐมอญที่ผสมกากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบีที่อัตราส่วนต่าง ๆ พบว่าอัตราการซึมน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอัตราส่วนกากตะกอนที่มากขึ้น แสดงตาม (ภาพที่ 7) เมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) สำหรับอิฐมอญ (กำหนดขนาดอิฐ 50x90x200 มิลลิเมตร) [12] กำหนดอัตราการซึมน้ำไว้ที่ไม่เกิน 30% ส่วนมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน พ.ศ. 2547 (มผช. 601-2547) [13] และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 77-2545 (อิฐก่อสร้างสามัญชั้นคุณภาพ ข) [14] นั้นกำหนดไว้ไม่เกิน 25% ซึ่งเห็นได้ว่าอิฐที่อัตราส่วนกากตะกอนเท่ากับ 10 และ 30% โดยน้ำหนักแห้ง มีค่าไม่เกินมาตรฐานและไม่แตกต่างจากอิฐปกติทั่วไปที่ใช้ดินเหนียวเป็นส่วนผสม (อัตราส่วนกากตะกอน 0%) โดยสามารถใช้ในการก่อสร้างได้ แต่พบว่าที่อัตราส่วนตั้งแต่ 50% ขึ้นไป อัตราการซึมน้ำผ่านตามมาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย แต่ไม่ผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน พ.ศ. 2547 และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 77-2545 ดังนั้นอัตราส่วนของกากตะกอนที่ทำให้อิฐที่ได้มีอัตราการซึมน้ำที่เหมาะสมคือ น้อยกว่า 30%



ภาพที่ 7 อัตราการซึมน้ำของอิฐมอญที่อัตราส่วนกากตะกอนต่าง ๆ

4. ความสามารถในการต้านแรงอัดของอิฐมอญ

การเปรียบเทียบความสามารถในการต้านแรงอัดของอิฐมอญที่ผสมกากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบีที่อัตราส่วนต่าง ๆ (ภาพที่ 8) พบว่าความสามารถในการต้านแรงอัดมีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มอัตราส่วนของกากตะกอน เมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยสำหรับอิฐมอญ (กำหนดขนาดอิฐ 50x90x200 มิลลิเมตร) มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน พ.ศ. 2547 และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.77-2545 (อิฐก่อสร้างสามัญชั้นคุณภาพ ค) กำหนดไว้ที่ไม่น้อยกว่า 2, 7 และ 9 เมกะปาสกาล ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ว่าอิฐที่ได้ในทุกอัตราส่วนที่ 10% มีความสามารถในการรับแรงอัดผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานทั้งสามอย่าง แต่อัตราส่วนที่ 30, 50 และ 70% ผ่านเพียงเกณฑ์มาตรฐานเดียวคือ เกณฑ์มาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยเท่านั้น



ภาพที่ 8 ความสามารถในการต้านแรงอัดของอิฐมอญที่อัตราส่วนกากตะกอนต่าง ๆ

สรุปและอภิปรายผล

1. การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียยูเอเอสบี พบว่ากากตะกอนไม่ใช่ของเสียอันตรายสามารถนำมาใช้ในการผลิตอิฐมอญได้ และเมื่อพิจารณาปริมาณสารอาหารในกากตะกอนทุกตัวมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนด ดังนั้นการพัฒนากากตะกอนจากระบบยูเอเอสบีเป็นปุ๋ยอินทรีย์อาจต้องมีการศึกษาและเติมธาตุอาหารเพิ่มให้มีปริมาณที่เหมาะสมก่อนการนำไปใช้ แต่อาจใช้เป็นสารปรับปรุงดินในการเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนได้ เนื่องจากมีปริมาณสูง ซึ่งใกล้เคียงกับการศึกษาของ Anju และคณะ [15] พบว่ากากตะกอนจากระบบยูเอเอสบีของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเมืองฟารีดาบัดประเทศอินเดียมีปริมาณสารไนโตรเจนสูงเช่นกันเท่ากับ 8,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (0.8%) เหมาะที่จะนำมาใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ยในการเพาะปลูกพืชแต่ควรคำนึงถึงความเหมาะสมในการนำไปใช้ในระยะยาวเรื่องของการอันตรายสะสมโลหะหนัก

2. การวิเคราะห์ความหนาแน่นของอิฐก่อนเผาและหลังเผามีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของกากตะกอนระหว่าง 10-70% รวมถึงความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างอิฐมอญก่อนเผาและหลังเผามีช่วงของความแตกต่างกันใกล้เคียงกับอิฐปกติที่ไม่เติมกากตะกอน ดังนั้นการใช้กากตะกอนเป็นส่วนผสมอิฐมอญไม่มีผลต่อความแน่นของอิฐมอญ

3. การทดสอบอัตราการซึมน้ำของอิฐมอญพบว่าอัตราส่วนของกากตะกอนที่เหมาะสมไม่ควรเกิน 30% อิฐมอญที่ผลิตได้ผ่านตามเกณฑ์ทั้งสามมาตรฐาน ขณะที่เมื่ออัตราส่วนกากตะกอนที่มากกว่า 30% จะส่งผลให้อิฐที่ได้มีอัตราซึมน้ำค่อนข้างสูงไม่มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในงานก่อสร้าง ซึ่งถ้านำอิฐไปใช้ในการก่อสร้างโดยไม่มีการแช่น้ำให้อิ่มตัวก่อนอาจส่งผลให้เมื่อนำไปใช้อิฐจะดูดน้ำจากปูนมากกว่าปกติทำให้น้ำที่เหลือสำหรับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นในการก่อตัวของปูนน้อยลงเมื่อเทียบกับอิฐที่ใช้อัตราส่วนกากตะกอนน้อยกว่า 30% [16-17] และอิฐที่มีอัตราการซึมน้ำมากแสดงว่าภายในอิฐมีความพรุนสูง โดยอิฐที่มีความพรุนสูงจะมีความเปราะและหักง่าย [18]

4. การทดสอบความสามารถในการต้านแรงอัดของอิฐมอญพบว่าผ่านเกณฑ์ทั้งสามมาตรฐานเมื่อใช้อัตราส่วนกากตะกอน 10% และเมื่อใช้อัตราส่วนกากตะกอนระหว่าง 30-70% ผ่านเพียงเกณฑ์มาตรฐานเดียวคือเกณฑ์มาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยเท่านั้น ซึ่งใกล้เคียงกับการศึกษาของ Weng และคณะ [5] พบว่าอัตราส่วนของกากตะกอนโรงบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมส่วนกลางที่ 10% ทำให้อิฐมีความสามารถในการรับแรงอัด

ได้สูดสุด ขณะที่ Begum และคณะ [19] พบว่าอัตราส่วนของกากตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอที่ไม่เกิน 15% มีความสามารถในการต้านแรงอัดได้ดีที่สุด เนื่องจากเมื่อผสมกากตะกอนน้ำเสียมากกว่า 15% พบว่าอัตราการซึมน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และความสามารถในการต้านแรงอัดลดลงเป็นอย่างมาก จากผลการทบทวนวรรณกรรมข้างต้นอัตราส่วนของตะกอนที่เหมาะสมส่วนใหญ่มีค่าไม่สูงมากขึ้นอยู่กับชนิดของตะกอนที่ใช้ และในการผลิตอิฐยังคงต้องใช้ดินเหนียวเป็นส่วนผสมหลักอยู่

จากผลการวิจัยสรุปได้ว่าอัตราส่วนของกากตะกอนยูเอเอสบีเท่ากับ 10% มีความเหมาะสม อิฐที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้ในการก่อสร้าง โดยผลการทดสอบอัตราการซึมน้ำและความสามารถในการต้านแรงอัดผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของกากตะกอนที่เติมมากขึ้นส่งผลให้อิฐมีความแข็งแรงน้อยลงโดยมีอัตราการซึมน้ำมากขึ้น และความสามารถในการต้านแรงอัดลดลง ซึ่งในการนำอิฐที่ผลิตได้จากอัตราส่วนที่ผสมกากตะกอนมากขึ้น อาจนำไปใช้ประโยชน์งานอื่น ๆ แทนที่ต้องการความแข็งแรงและความสามารถในการต้านแรงอัดต่ำกว่า

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องมาจากได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยพะเยา คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง รวมถึงคณะแพทยศาสตร์ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Sawadee, Deeprasert; Supachai, Bunnamma; Witthaya, Butthongmoon; Buppa, ChinCherdwong; and Veera, Metal. (2012). The Utilization of Cassava Waste to Produce Sugar. *Thaksin University Journal.* 15(3): 39-46.

[2] National Food Institute, Thailand. (2016). *Food industry monthly situation May 2016*. Retrieved December 25, 2019 from http://fic.nfi.or.th/foodindustry_monthlySituation_detail.php?smid=1328

[3] Thai Tapioca Starch Association (TTSA). (2016). *Export Tapioca Products*. Retrieved December 25, 2019 from http://www.thaitapiocastarch.org/th/information/statistics/export_tapioca_products

[4] Kadir, Aeslina Binti Abdul; and Rahim, Ahmad Shayuti Bin Abdul. (2014). An Overview of sludge utilization into fired clay brick. *International Journal of Environmental and Ecological Engineering*, 8(8): 567-671.

[5] Weng, Chih-Huang; Lin, Deng-Fong; and Chiang, Pen-Chi. (2003). Utilization of sludge as brick materials. *Advances in Environmental Research*. 7(3): 679–685.

[6] Shrutakirti, A. Mahajan; and M, Husain. (2016). Utilization of waste sludge in brick making. In *International Conference on Global Trends in Engineering, Technology and Management (ICGTETM-2016)*, pp. 274-278. Jalgaon, India: North Maharashtra University.

[7] Withawut, Thumsaen; and Chatchawan, Aiyathiti. (2009). Performance of Anaerobic Wastewater Treatment System for Treating Waste Water from Tapioca Starch Factories. In *The 12th National Graduate Research Conference*, pp. 1394-1401. Khon Kaen, Thailand: Khon Kaen University.

[8] Ministry of Industry. (2005). *Announcement of the Ministry of Industry: Subject: Disposal of Waste and Unusable Materials B.E.2548.* pp. 14-58.

[9] Peter, A. Claisse. (2016). *Civil engineering materials*. Elesevier. ISBN: 978-0-08-100275-9.

[10] S. K, Duggal. (2007). *Building materials*. Taylor & Francis. ISBN: 90-5410-764-2.

[11] Tawatchai, Inboonchuay; Anchalee, Suddhiprakarn; Irb, Kheoruenromne; Somchai, Anusontpornperm; and Robert, J. Gilkes. (2015). Distribution and Concentration of Major and Trace Elements in Paddy Soils and Rice Plant of Khorat Basin, Northeast Thailand. *Thai Journal of Agricultural Science*. 48(3): 147-156.

[12] Engineering Institute of Thailand under H.M. The King's patronage. *Standard requirements of the Engineering Institute of Thailand for fried clay bricks*. Bangkok: Engineering Institute of Thailand under H.M. The King's patronage.

[13] Thai Industrial Standards Institute. (2004). *Thai Community Product Standards: Mor Phor Chor. 601-2547.* pp. 1-3. Bangkok: Ministry of industry.

[14] Ministry of Industry. (2003). Announcement of the Ministry of Industry No. 3160. *Industrial Product Standards Ordinary Construction Bricks TIS. 77-2545.* pp. 9-10. Bangkok: Ministry of Industry.

[15] Anju, Arora; Sudhir, Saxena; Alok, Pandey; Lata; and P.K, Singh. (2007). Characterization of Sludge from Upflow Anaerobic Sludge Blanket Sewage Treatment Plant for its Suitability as Crop Manure. In *International Conference on 21st Century "Challenges to Sustainable Agri-food Systems*, pp. 219-223. Bangalore, India: I.K. International Publishing House Pvt. Ltd.

[16] Chai, Chaturaphitakkun. (2009). Good concrete must be cured. *Concrete Journal, Thailand Concrete Association.* 7(1): 1-10.

[17] Paradorn, Chuchaaisong. (2009). *The Property Study of Clay Brick Manufactured in Chon Buri Province*. Dissertation, A Bachelor's Degree, (Department of Civil engineering, Faculty of Engineering). Chon Buri: Burapha University.

[18] Groot, C.J.W.P. (1997). The characterization of brick and motar considering motar/brick bond. *11th Internationnal brick/block mansonary conference*, pp. 50-58. Shanghai, China.

[19] Begum, B Shathika, Sulthana; Gandhimathi, R; Ramesh, S. T; and Nidheesh, P. V. (2013). Utilization of textile effluent wastewater treatment plant sludge as brick material. *Journal of Material Cycles and Waste Managemen*t. 15(4): 564-570.