การผลิตเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาจากดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลัง

Production of Lightweight Expended Clay Aggregate from Water Treatment Sludge and Cassava Sludge

กรรณิการ์ วงศ์มุกดา[1], สุพิญญญา เมาะราษี[1], ปานใจ สื่อประเสริฐสิทธิ์[2*]
Kannika Wongmukda[1], Supinya Mullasir[1], Panjai Saueprasearsit[2*]

Received: 28 April 2020 ; Revised: 15 May 2020 ; Accepted: 26 May 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาการผลิตเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาจากดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลังด้วยวิธีการ เผาให้ความร้อน ปัจจัยที่สำคัญ ประกอบด้วย อัตราส่วนระหว่างดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลัง (100:0, 90:10 และ 80:20 โดยน้ำหนัก) อุณหภูมิการเผา (800, 900 และ 1,000 องศาเซลเซียส) และระยะเวลาการเผา (30, 60 และ 120 นาที) โดยคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเม็ดดินเผาที่ผลิตได้จะถูกทำการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม ผลจากการศึกษา พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเม็ดดินเผาน้ำหนักเบา คือ ที่อัตราส่วนระหว่างดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลัง 80:20 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิการเผา 800 องศาเซลเซียส และระยะเวลาการเผา 60 นาที โดยเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาที่ผลิตได้ในสภาวะดังกล่าว มีค่าความหนาแน่นรวมเท่ากับ 0.75 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความพรุนตัวปรากฏร้อยละ 64.44 การดูดซึมน้ำร้อยละ 64.82 ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.77 และค่าการนำไฟฟ้า 176.63 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร จากผลการศึกษาทั้งหมดสรุปได้ว่า เม็ดดินเผาน้ำหนักเบาที่ผลิตได้สามารถประยุกต์ใช้เป็นวัสดุดูดความชื้นในกิจกรรมด้านการเกษตรได้ นอกจากนี้ การใช้ดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลังนั้นจัดว่าเป็นการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งและการจัดการวัสดุเหลือทิ้ง อันเป็นแนวทางที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอีกแนวทางหนึ่ง

คำสำคัญ: เม็ดดินเผา ดินตะกอนประปา กากมันสำปะหลัง

Abstract

This research aimed to study the production of lightweight expanded clay aggregate (LECA) from water treatment sludge and cassava sludge using thermal process. Significant factors were the ratio of water treatment sludge and cassava sludge (100:0, 90:10, and 80:20 by weight), burning temperature (800, 900, and 1,000 °C), and burning time (30, 60, and 120 min). Various physical and chemical properties of LECA were investigated to determine the optimal conditions. The results indicated that the most suitable conditions were a ratio of 80:20, burning temperature 800°C, and burning time 60min. Under these conditions, the properties of lightweight expanded clay aggregate were bulk density 0.75 g/cm^3, apparent porosity 64.44%, water absorption 64.82%, pH 6.77, and conductivity 176.63 µS/cm. It is concluded that lightweight expanded clay aggregate can applied as a moisture absorber in agricultural activities. Furthermore, this treatment of water treatment sludge and cassava sludge provides a user-friendly approach to waste utilization and a waste management.

Keywords: Expanded Clay, Water Treatment Sludge, Cassava Sludge

[1] นิสิตระดับปริญญาตรี, คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
[2*] ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
[1] Bachelor Degree Student, Faculty of Environment and Resource Studies, Mahasarakham University, Kantarawichai District, MahaSarakham 44150, Thailand.
[2*] Asst. Prof., Faculty of Environment and Resource Studies, Mahasarakham University, Kantarawichai District, MahaSarakham 44150, Thailand. Email: panjai.s@hotmail.com

บทนำ

ในกระบวนการผลิตน้ำประปาโดยทั่วไป จะเริ่มต้นจากการสูบน้ำดิบจากแหล่งน้ำผิวดินเข้าสู่ระบบ จากนั้น น้ำดิบจะถูกเติมสารส้มและปูนขาวลงไปเพื่อทำการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างและช่วยในการตกตะกอนอนุภาคแขวนลอยต่างๆ และถูกส่งเข้าสู่ถังตกตะกอน ถังกรอง ระบบการเติมคลอรีนและการตรวจคุณภาพน้ำ ก่อนจะถูกส่งไปกักเก็บในถังสูงเพื่อรอการสูบจ่ายต่อไป[1] ซึ่งจากกระบวนการดังกล่าวในแต่ละปีประเทศไทยจะมี ดินตะกอนประปาจากถังตกตะกอนและถังกรองในกระบวนการผลิตน้ำประปาเป็นจำนวนมาก ซึ่งหากมีการจัดการที่ไม่ถูกวิธีอาจทำให้ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมได้ เช่น หากดินตะกอนประปาไปฝังกลบ เนื่องจากดินตะกอนประปามีองค์ประกอบของอะลูมิเนียมเป็นจำนวนมาก (ดังแสดงใน Table 1) ทำให้อาจส่งผลยับยั้งการเจริญเติบโตของรากพืช ทำให้การดูดกินธาตุอาหารและน้ำของพืชถูกจำกัด ในบริเวณที่มีการฝังกลบได้ เป็นต้น[2] และจากการที่ดินตะกอนประปามีคุณสมบัติคล้ายดินเหนียว ทนไฟสูง ลักษณะ เนื้อดินมี ความสม่ำเสมอ สามารถมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเซรามิกส์และเครื่องปั้นดินเผา[3] และใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตบล็อกประสาน[4] ผู้วิจัยจึงได้สนใจที่จะนำดินตะกอนประปามาใช้ในการผลิตเม็ดดินเผาน้ำหนักเบา (Lightweight Expanded Clay Aggregate: LECA) ซึ่งจัดว่าเป็นวัสดุปลูกที่กำลังได้รับความนิยมในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถช่วยรักษาความชื้นให้กับดิน และเป็นวัสดุคลุมหน้าดินเพื่อความสวยงามและป้องกันการสูญเสียหน้าดินจากการรดน้ำ รวมถึงสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุปลูกผักไฮโดรโปนิกส์[5] โดยนำดินตะกอนประปามาใช้แทนดินเหนียวซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาและจะมีการใช้กากมันสำปะหลังซึ่งเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการเกษตร (Agro Industrial By-Products) ที่ได้จากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังจัดได้ว่าเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่เป็นของแข็งที่มีปริมาณมากที่สุดจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังมาเป็นวัสดุผสม ซึ่งกากมันสำปะหลังนั้นมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการปฏิกิริยาการเผาไหม้ทำให้เกิดการเปลี่ยนเฟสของสารก่อให้เกิดรูพรุนภายในเม็ดดินเผามากขึ้นทำให้เพิ่มคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำให้แก่เม็ดดินเผาน้ำหนักเบา[6] โดยในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยสนใจที่จะทำการศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาโดยพิจารณาจากคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาที่ผลิตได้ โดยประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัยนี้นอกเหนือจากการผลิตเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้แล้ว ยังช่วยลดปริมาณวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำประปาและอุตสาหกรรมการเกษตร คือ ดินตะกอนประปา และกากมันสำปะหลัง ไม่ให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่ง

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

การเตรียมวัตถุดิบ

ดินตะกอนประปาที่ใช้ในการศึกษาได้มาจากโรงผลิตน้ำประปาจังหวัดมหาสารคาม ทำการแยกสิ่งสกปรกออก ตากให้แห้งจากนั้นบดด้วยเครื่องบดดินร่อนด้วยตะแกรงร่อน เบอร์ 4 อบที่ตู้อบความร้อน (Hot Air Oven) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

สำหรับกากมันสำปะหลังได้จากบริษัท บางนาแป้งมัน จำกัด จังหวัดกาฬสินธุ์ ถูกนำมาตากให้แห้งจากนั้นบดด้วยเครื่องบดพืช ร่อนด้วยตะแกรงร่อนเบอร์ 16 อบที่ตู้อบความร้อน (Hot Air Oven) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งลักษณะของดินตะกอนประปาและคุณสมบัติของดินตะกอนประปาจากงานวิจัยที่ผ่านมาเป็นดัง Figure 1, Table 1 และ Figure 2

Figure 1 Water Treatment Sludge

Table 1 Chemical Composition of Water Treatment Sludge[7]

Substance	Composition (%)
SiO_2	56.76
Al_2O_3	20.33
CaO	6.03
Fe_2O_3	0.70
Na_2O	4.63
K_2O	1.51
MgO	-
SO_3	0.47
LOI	6.95

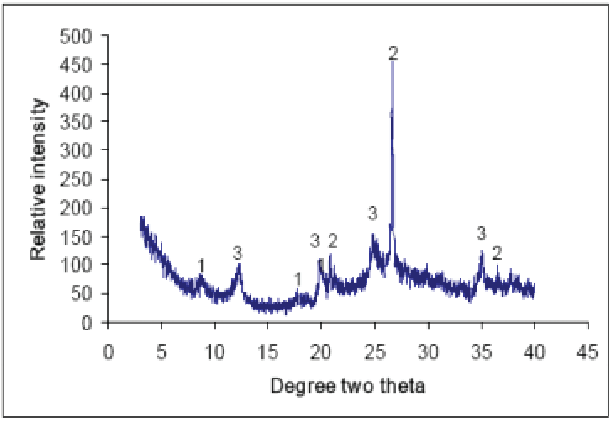


Figure 2 Structure of Water Treatment Sludge[7]

การเตรียมเม็ดดินเผาน้ำหนักเบา

ทำการเตรียมโดยนำวัสดุผสม (ดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลัง) ในแต่ละอัตราส่วน (100:0, 90:10 และ 80:20 โดยน้ำหนัก) มาทำผสมและขึ้นรูปเป็น ทรงกลมโดยใช้แม่พิมพ์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร จากนั้นเม็ดดินที่ขึ้นรูปเสร็จแล้วนำไปตากแดดให้แห้งนำเม็ดดินใส่ลงในถ้วยกระเบื้องและไปเผาที่อุณหภูมิการเผา 800, 900 และ 1,000 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการเผา 30 นาที, 60 นาที และ 120 นาที โดยในแต่ละสภาวะจะทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง สำหรับขั้นตอนการเตรียมเป็นดัง Figure 3

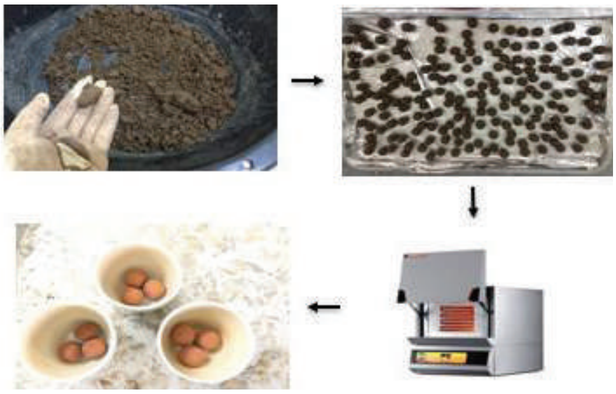


Figure 3 *Preparation of LECA*

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสม

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมทำได้โดยการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาที่ผลิตได้ ประกอบด้วย ความหนาแน่นรวม ความพรุนตัวปรากฏ การดูดซับน้ำของเม็ดดินเผา ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และการวัดค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC) ซึ่งวิธีการศึกษา มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การศึกษาความหนาแน่นรวม (Bulk Density)

ความหนาแน่นรวมเป็นสมบัติเฉพาะตัวของวัตถุแต่ละชนิด โดยเป็นค่าที่บอกมวลของวัตถุนั้นในปริมาตร 1 หน่วย วัตถุที่มีความหนาแน่นรวมมากจะมีมวลมากกว่าวัตถุที่มีความหนาแน่นน้อยในปริมาตรที่เท่ากัน ความหนาแน่นรวมสามารถวัดได้โดยการวัด เส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาด้วย เวอร์เนียคาลิปเปอร์ตามมาตรฐาน ASTM C373-88 (2006)[8] จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักของเม็ดดินเผา น้ำหนักเบา และคำนวณค่าความหนาแน่นดังสมการ (1)

$$\textit{Bulk density}=\frac{M}{V}=\frac{M}{¾*\pi*r^3} \qquad (1)$$

โดยที่

Bulk density คือ ความหนาแน่นรวมของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบา *(กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)*

M คือ มวลของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบา (กรัม)

V คือ ปริมาตรของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบา (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

r คือ รัศมีของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบา (เซนติเมตร)

การศึกษาความพรุนตัวปรากฏ (Apparent Porosity)

ค่าความพรุนตัวปรากฏของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาสามารถวัดได้โดยตรงโดยการชั่งน้ำหนักของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาตามมาตรฐาน ASTM C373-88 (2006)[8] โดยนำเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงทิ้งไว้ให้เย็นใน Desiccators แล้วนำเม็ดดินเผาน้ำหนักเบามาต้มในน้ำเดือดประมาณ 150 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง แล้วแช่ทิ้งไว้ให้เย็นในน้ำต่อไปเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง โดยจะต้องให้น้ำท่วมเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาตลอดเวลา หลังจากครบเวลาจึงทำการชั่งน้ำหนักเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาในน้ำด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง แล้วจึงใช้ผ้าหมาดซับน้ำที่ติดบนผิวเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาออก แล้วนำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้งด้วย เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง จากนั้นจึงคำนวณค่าความพรุนตัวปรากฏของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบา จากสมการ (2)

$$AP = \frac{W_{sat}-W_{dry}}{W_{sat}-W_{sus}} \times 100 \qquad (2)$$

โดยที่

AP คือ พรุนตัวปรากฏของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบา (ร้อยละ)

W_{sat} คือ น้ำหนักของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาที่อิ่มตัวด้วยน้ำและซับน้ำที่ผิวออกแล้ว (กรัม)

W_{dry} คือ น้ำหนักของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาที่อบแห้ง 110 องศาเซลเซียส ชั่งในอากาศ (กรัม)

W_{sus} คือ น้ำหนักของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาที่ทำการชั่งแบบแขวนลอยในน้ำ (กรัม)

การศึกษาการดูดซึมน้ำ

ค่าการดูดซึมน้ำของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาสามารถวัดได้โดยใช้วิธีการชั่งน้ำหนักของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาตามมาตรฐาน ASTM C373-88 (2006)[8] โดยชั่งน้ำหนักเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาหลังอบอุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงหลังจากนั้นจึงทิ้งไว้ให้เย็นใน Desiccators และทำการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง แล้วนำเม็ดดินเผาน้ำหนักเบามาต้มในน้ำเดือดประมาณ 150 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5ชั่วโมง แล้วแช่ทิ้งไว้ให้เย็นในน้ำต่อไปเป็นระยะเวลา 24ชั่วโมง จากนั้นเช็ดผิวเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาซับน้ำออก และชั่งน้ำหนักแทนค่าน้ำหนักหลังต้ม นำค่าจากการทดลองมาคำนวณตามสูตรร้อยละการดูดซึมน้ำจากสมการ (3)

$$\text{Water Absorption} = \frac{W_{sat} - W_{dry}}{W_{dry}} \times 100 \quad (3)$$

การศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่าง[9]

ค่าความเป็นกรด (Acidity) หรือความเป็นด่าง *(Alkalinity)* ของดินเป็นสมบัติที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อขบวนการทางเคมีและชีวภาพในที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของพืช[3] ขั้นตอนการศึกษาทำได้โดยการบดเม็ดดินเผาน้ำหนักเบา และทำการผสมดินที่ได้จากการบดกับน้ำด้วยอัตราส่วน ดิน: น้ำ=1:1 (W/W) โดยใช้ดินจากการบดเม็ดดินเผา น้ำหนักเบา 20 กรัม ใส่ใน บีกเกอร์เติมน้ำกลั่น *20* กรัม (ประมาณ 20 มิลลิลิตร) คนให้เข้ากันด้วยแท่งแก้วเป็นระยะๆ ให้ บ่อยครั้งในระยะ 30 นาทีแรก หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้อีก 30 นาที จึงวัด pH ของดินในส่วนที่เป็นน้ำใสด้วย pH Meter หรือใช้ช้อนตวงตักดินและตวงน้ำแทนการชั่งดิน เพื่อวัด pH (1:1, V/V)

การทดสอบค่าการนำไฟฟ้า[9]

ค่าการนำไฟฟ้าของตัวเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาสามารถวัดได้โดยใช้เครื่อง Electrical Conductivity Meter โดยการบดเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาและชั่งดิน 4 กรัม ใส่ในหลอดทดลองขนาด 40 มิลลิลิตร ใส่น้ำ 20 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันด้วยแท่งแก้วเป็นระยะๆ นาน 30 นาที หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ 30 นาที แล้วจึงนำไปอ่านค่า EC *โดยเครื่อง* Electrical Conductivity Meter โดยใช้สารละลายมาตรฐาน KCl 0.01 M หรือ 0.1 N ปรับค่าคงที่ *(*Cell Constant) ของเครื่อง Electrical Conductivity Meter ที่ 25 องศาเซลเซียส การวัดค่าการนำไฟฟ้าของตัวดินเผาจึงเป็นการประเมินปริมาณเกลือที่ละลายได้ของตัวเม็ดดินเผาน้ำหนักเบา และค่าที่ได้ยังใช้เป็นตัวกำหนดระดับความเค็มของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาด้วย การคำนวณค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายสูงขึ้นประมาณ 2% เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส เครื่องมือวัดที่ไม่สามารถคำนวณแปลงค่าที่วัดได้เป็นค่าที่อุณหภูมิควรวัดอุณหภูมิสารละลายแล้วคำนวณเป็นค่าการนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส[3] ตามสมการที่ (6)

$$\text{ค่าการนำไฟฟ้า } EC_{25} = EC_t / [1 + 0.02(t\text{-}25)] \quad (6)$$

โดยที่

EC_{25} คือ ค่าการนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

EC_t คือ ค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้ที่อุณหภูมิ t (องศาเซลเซียส)

T คือ อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส*)*

ผลการศึกษา

การศึกษาความหนาแน่นรวม *(*Bulk Density)

ผลการศึกษาความหนาแน่นรวมของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาที่มีอัตราส่วนระหว่างดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลัง อุณหภูมิการเผา และระยะเวลาการเผา ที่แตกต่างกัน เป็นดังแสดงใน Figure 4

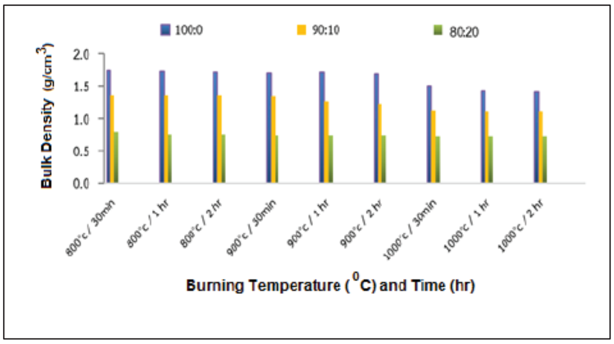


Figure 4 Bulk Density of Lightweight Expended Clay Aggregate

จาก Figure 4 พบว่า ค่าความหนาแน่นรวมของตัวเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาที่ผลิตได้ มีแนวโน้มที่ลดลงตามอัตราส่วนระหว่างดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลัง อุณหภูมิการเผา และระยะเวลาการเผาที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อเม็ดดิน *(วัสดุผสมระหว่างดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลัง)* ที่มีสารอินทรีย์ได้รับความร้อน โมเลกุลของน้ำจากความชื้นในเม็ดดินเผาและสารอินทรีย์จะเริ่มแยกออกมาและถูกเผาไล่ให้ระเหยไป ทำให้เนื้อดินมีรูพรุนเกิดขึ้น[10] ซึ่งจากกระบวนการดังกล่าวหากปริมาณของสารอินทรีย์ *(ส่วนใหญ่อยู่ในกากมันสำปะหลัง)* สูงขึ้น โอกาสที่จะเกิดรูพรุนก็ย่อมจะมากขึ้น นอกจากนี้จากหลักการเผาไหม้หากว่ามีอุณหภูมิและเวลาการเผาสูงย่อมจะเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ได้มาก รูพรุนที่เกิดขึ้นย่อมจะเกิดได้มากขึ้นตามไปด้วย ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นรวมมีค่าลดลง โดยทั่วไปในการผลิตเม็ดดินเผาน้ำหนักเบานั้น ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการจะต้องมีความหนาแน่นรวมต่ำหรือมีน้ำหนักเบา อย่างไรก็ตามก็ควรจะมากพอที่เมื่อนำไปใช้งานจะไม่ทำให้ต้นพืชล้มง่าย

การศึกษาความพรุนตัวปรากฏ (Apparent Porosity)

ผลการศึกษาความพรุนตัวปรากฏของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาที่มีอัตราส่วนระหว่างดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลัง อุณหภูมิการเผา และระยะเวลาการเผา ที่แตกต่างกัน เป็นดังแสดงใน Figure 5

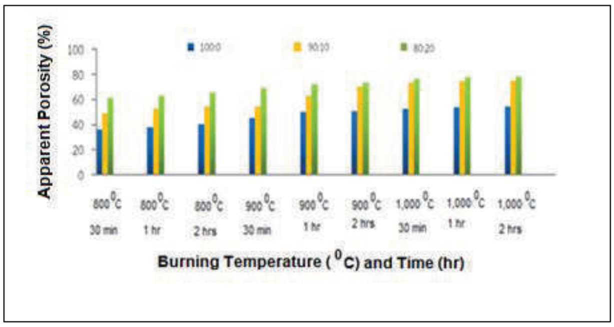


Figure 5 Apparent Porosity of Lightweight Expended Clay Aggregate

จาก Figure 5 พบว่า ค่าความพรุนตัวปรากฏของเม็ด ดินเผาน้ำหนักเบามีแนวโน้มสูงขึ้นตามอัตราส่วนระหว่างดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลัง อุณหภูมิการเผา และระยะเวลาการเผาที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นผลจากการเกิด รูพรุนมากขึ้นดังที่กล่าวไว้ในการทดสอบความหนาแน่น เมื่อรูพรุนมากขึ้น ย่อมเป็นผลให้ค่าความพรุนตัวปรากฏของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบามีค่าสูงขึ้น

การศึกษาการดูดซึมน้ำ (Water Absorption)

ผลการศึกษาการดูดซึมน้ำของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาที่มีอัตราส่วนระหว่างดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลัง อุณหภูมิการเผา และระยะเวลาการเผา ที่แตกต่างกัน เป็นดังแสดงใน Figure 6

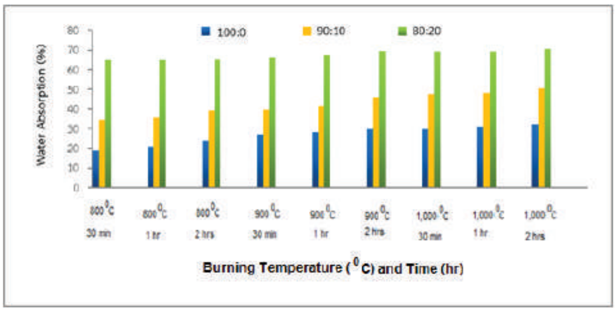


Figure 6 Water Absorption of Lightweight Expended Clay Aggregate

จาก Figure 6 พบว่าค่าการดูดซึมน้ำของตัวเม็ดดินเผาน้ำหนักเบามีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อสัดส่วนของกากมันสำปะหลัง อุณหภูมิและระยะเวลาเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากในสภาวะดังกล่าวปริมาณรูพรุนจะเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากทำให้น้ำสามารถเข้าไปแทนที่และยึดเกาะภายในรูพรุน[10] ทำให้ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าสูงขึ้น

การทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง (Acidity-Alkalinity)

จากผลการทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง *(pH)* ของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาที่มีอัตราส่วนระหว่างดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลัง อุณหภูมิการเผา และระยะเวลาการเผาที่แตกต่างกัน เป็นดังแสดงใน Figure *7*

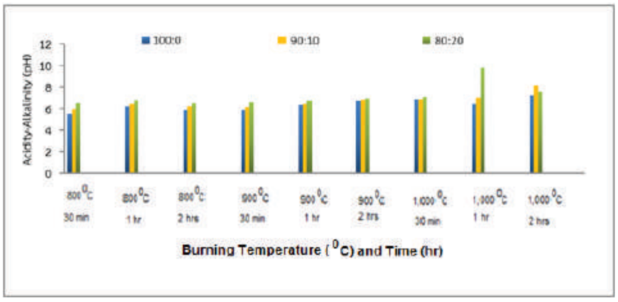


Figure 7 Acidity-Alkalinity (pH) of Lightweight Expended Clay Aggregate

จาก Figure 7 พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวเม็ดดินเผาน้ำหนักเบามีแนวโน้มสูงขึ้นตามอัตราส่วนระหว่างดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลัง อุณหภูมิการเผา และระยะเวลาการเผาที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากองค์ประกอบของดินตะกอนประปา (Table 1) ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีองค์ประกอบที่มีความเป็นด่างสูง เช่น CaO, Al_2O_3 เป็นต้น ทำให้เมื่อเพิ่มอัตราส่วนดินตะกอนประปา ค่าความเป็นกรด-ด่างของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาที่ผลิตได้จึงสูงขึ้น นอกจากนี้ ในกระบวนการเผา เมื่ออุณหภูมิการเผาและระยะเวลาการเผาเพิ่มขึ้น องค์ประกอบที่เป็นสารอินทรีย์ของดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลังจะถูกเผาไหม้สลายไปมากขึ้น ส่งผลให้องค์ประกอบอนินทรีย์ที่กล่าวถึงข้างต้นคงอยู่และมีบทบาทมากขึ้นต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาที่ผลิตได้ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของเม็ดดินเผา น้ำหนักเบาสูงขึ้น[10]

การทดสอบค่าการนำไฟฟ้า

จากผลการทดสอบการทดสอบค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาที่มีอัตราส่วนระหว่างดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลัง อุณหภูมิการเผา และระยะเวลาการเผา ที่แตกต่างกัน เป็นดังแสดงใน Figure 8

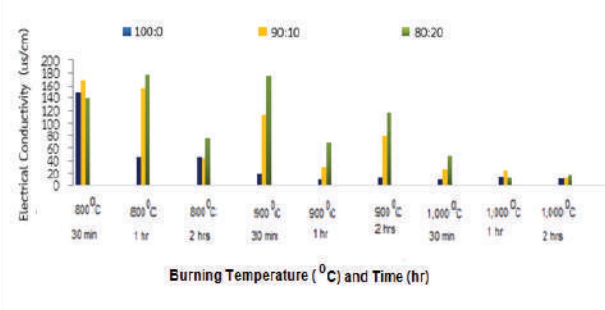


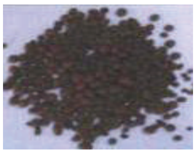
Figure 8 Electrical Conductivity of Lightweight Expended Clay Aggregate

จาก Figure 8 พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของตัวเม็ดดินเผาทั้ง 3 อัตราส่วน มีค่าแนวโน้มลดลงตามอุณหภูมิการเผาและระยะเวลาการเผาที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอุณหภูมิการเผาและระยะเวลาการเผาที่มากขึ้นนั้นทำให้องค์ประกอบบางส่วนที่สามารถให้ไอออนที่อยู่ในเม็ดดินเผานั้นเกิดการสลายตัวไปทำให้ค่าการนำไฟฟ้ามีแนวโน้มลดลง[11]

การพิจารณาสภาวะที่เหมาะสม

การพิจารณาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาจะพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลัง อุณหภูมิการเผา และระยะเวลาการเผา ที่ทำให้เม็ดดินเผาสามารถคงรูปได้หลังการเผา มีโครงสร้างคงทน แข็งแรง ให้ค่าความหนาแน่นรวม การดูดซึมน้ำ ความพรุนตัวปรากฏ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) ใกล้เคียงกับค่าสมบัติของวัสดุปลูกมากที่สุด จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาที่ผลิตได้ สามารถสรุปได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาจากดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลัง คือ อัตราส่วนระหว่างดินตะกอนประปา 80:20 อุณหภูมิการเผา 800 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการเผา 60 นาที ซึ่งเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาที่ผลิตได้ ณ สภาวะดังกล่าวจะมีค่าความหนาแน่นรวมเท่ากับ 0.75 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรสามารถลอยน้ำได้เนื่องจากมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ ความพรุนตัวปรากฏร้อยละ 64.44 และการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 64.82 ทำให้สามารถดูดซึมน้ำได้ดี เหมาะที่จะใช้เป็นตัวดูดซึมน้ำ (Absorber) มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.77 ใกล้เคียงกับค่า pH ของเม็ดดินเผาที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช และค่าการนำไฟฟ้า 176.63 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ซึ่งค่าดังกล่าวสามารถสะท้อนถึงทั้งปริมาณของธาตุอาหารและค่าความเค็ม อย่างไรก็ตามเนื่องจากค่าดังกล่าวมีค่าต่ำมาก ดังนั้นในการนำไปใช้จึงควรพิจารณาการปรับปรุงคุณสมบัติให้เหมาะสมกับลักษณะของการนำไปใช้ประโยชน์ด้วย นอกจากคุณสมบัติที่ใกล้เคียงและสอดคล้องทั้งกับงานวิจัยที่ผ่านมา เม็ดดินเผาน้ำหนักเบาที่มีจำหน่ายโดยทั่วไปและเม็ดดินเผาที่ใช้เป็นวัสดุปลูกแล้ว หากพิจารณาถึงต้นทุนการผลิตโดยพิจารณาเฉพาะในส่วนของวัตถุดิบและอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาจะเห็นได้ว่าการใช้ดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลังจะมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำมากเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายเพียงกาก มันสำปะหลังแบบกากขาว ซึ่งมีราคาอยู่ที่ประมาณ 0.25 บาทต่อกิโลกรัม และอุณหภูมิการที่เหมาะสมในการเผาที่ได้ยังมีต่ำกว่าที่ใช้ในกระบวนการผลิตเม็ดดินเผาสำหรับวัสดุปลูกโดยทั่วไป ทำให้ช่วยลดการใช้พลังงาน ซึ่งเป็นการลดต้นทุนในการผลิต อีกทั้งยังส่งผลดีต่อสภาพแวดล้อม นอกจากนี้ ยังส่งผลดีในแง่ของการจัดการวัสดุเหลือทิ้ง คือ ดินตะกอนประปา ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดดินตะกอนประปาให้แก่หน่วยงานที่เป็นแหล่งกำเนิดได้เป็นอย่างดี

Table 2 Characteristics and Properties of Lightweight Expended Clay Aggregate[5,6]

Characteristics	Lightweight Expended Clay Aggregate (LECA)			
	Water Treatment Sludge: Cassava Sludge (80: 20)	**Clay: Rice Husk (1:1)**	**Commercial Lightweight Expended Clay Aggregate**	**Expanded Clay for Plant Growing**
Morphology				-
Burning Temperature (^{0}C)	800	1,000	-	1,100
Bulk Density (g/cm^3)	0.72	0.6418	0.6514	0.3-0.7
Water Absorption (%)	64.82	100.21	80.34	14.7-16.5
Porosity (%)	64.44	71.68	58.90	50-80
pH	6.77	8.79	pH 10.12	pH 6.2-6.8
Electrical Conductivity (EC) (μS/cm)	176.63	547	1,137	700-1500

สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการผลิตเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาจากดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลัง โดยการนำดินตะกอนประปาซึ่งจะช่วยลดของเสียในกระบวนการผลิตน้ำประปามาผสมกับกากมันสำปะหลังในอัตราส่วนต่างๆ จากนั้นทำการปั้นขึ้นรูปและนำไปเผาที่อุณหภูมิและระยะเวลาที่ต่างกัน ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเม็ดดินเผาโดยเลือกเม็ดดินเผาที่มีสภาวะเหมาะสมในการผลิตจากผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเม็ดดินเผา คือ ที่อัตราส่วน 80:20 ใช้อุณหภูมิในการเผาที่ 800 องศาเซลเซียส ระยะเวลาที่ 60 นาที ลักษณะภายนอกค่อนข้างแข็งแรง เนื้อภายในมีสีน้ำตาลใกล้เคียงกับผิวภายนอก มีความหนาแน่นรวมต่ำ ความพรุนตัวและการดูดซึมน้ำสูง ค่า pH อยู่ในระดับปานกลาง และค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในระดับต่ำ จากข้อมูลทั้งหมดแสดงให้เห็นว่า มีความเป็นไปได้ในการที่จะผลิตเม็ดดินเผาจากเพื่อนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

1. การประปาส่วนภูมิภาค. ขั้นตอนการผลิตน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค.ได้จาก*:* URL: https://www.pwa.co.th/contents/service/treatment Accessed: April 3, 2019.
2. ดวงกมล สุริยฉัตร, ภาสันต์ วิชิตอมรพันธ์, วรรธนะ เรืองสำเร็จ. การประยุกต์ใช้ตะกอนดินจากน้ำประปา. กรุงเทพฯ: กลุ่มเทคโนโลยีโลหวิทยา สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่; 2547. 43 หน้า
3. ภาสันต์ ศารทูลทัล และธีร์ หะวานนท์. การเจริญเติบโตของทานตะวันกระถางที่ปลูกในวัสดุผสมตะกอนดินน้ำประปา. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 2555; 43(2):329-332.
4. ณิชาดา ฉัตรสถาปัตยกุล. มณฑล วังเวียง, ภัทรา เพ่งธรรมกีรติ. ความเป็นไปได้ของการใช้กากตะกอนเคมีจากการผลิตน้ำประปาร่วมกับปูนซีเมนต์ในซีเมนต์มอร์ต้าและอิฐบล็อกประสาน. Rajabhat Journal of Sciences, Hunanities & Social Sciences 2555; 13(1):48-54.
5. มนทิรา ไชยตะญากูร. การศึกษาการผลิตเม็ดดินเผาเป็นวัสดุปลูกผักไฮโดรโปรนิกส์. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 2551;39(3):400-403.
6. จิรประภา ขจรบุญ. การเตรียมเม็ดดินเผาสำหรับใช้ เป็นวัสดุปลูก. ได้จาก: URL: http://library.dip.go.th/multim6/ebook/2559/DIP%20กสอ5%20จ571.pdf Accessed: April 3, 2019.
7. รัฐพล สมนา, เกียรติสุดา สมนา. วัสดุประสานที่ได้จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์และตะกอนประปา. ใน*:* เอกสารงานประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 10, เชียงราย; 2557. *หน้า* ENV-33-ENV-38.
8. ASTM C 373 -88 (Reapproved 2006), Standard Test Method for Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity, and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products1, United; ASTM, 2009.

9. กรมพัฒนาที่ดิน. คู่มือการปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี. ได้จาก: URL: http://www.ldd.go.th/PMQA/*2553/*Manual/OSD-*03.*pdf Accessed: April 3, 2019.
10. Salomao R, Villas B, Mariana OC, Pandolfelli VC. Porous Alumina-Spinel Ceramics for High Temperature Application. Ceramic International 2001; *3*7(4):1393-1399.
11. คชินท์ สายอินทวงศ์. ออกซิเจน องค์ประกอบที่สำคัญสำหรับการเผา. ได้จาก *URL:* http://www.thaiceramic-society.com/pc_burn_oxygen.php. [3 มกราคม 2562]