



การผลิตตุ๊กตาดินเผาจากกากตะกอนน้ำประปา

The Manufacture of Clay Doll from Water Supply Sludge

เกียรติกุล แกล้วกล้า¹, เบญจมาศ นิลศิริ¹, พัชรรัตน์ โคตรโสภะ¹, เพ็ญนภา คำมัจฉา¹,
รจฤดี โชติกาวิรินทร์², ธรรมวัฒน์ อุปวงษาพัฒน์³ และประยูรต์ เดชสุทธิกร^{4*}
Kietkul Klawkra¹, Benjamas Nilsiri¹, Patcharat Kotesopha¹, Pennapha Kummutchai¹,
Rotruedee Chotigawin², Dhammawat Ouppawongsapat³ and Prayook Detsuttikorn^{4*}

¹ นักศึกษาระดับปริญญาตรี, สาขาวิชานามัยสิ่งแวดล้อม, คณะสาธารณสุขศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา

¹ Undergraduate student, Department of Environmental Health, Faculty of Public Health, Burapha University

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร., สาขาวิชานามัยสิ่งแวดล้อม, คณะสาธารณสุขศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา

² Assistant Professor, Ph.D., Department of Environmental Health, Faculty of Public Health, Burapha University

³ อาจารย์ ดร., สาขาวิชาสุขศึกษา, คณะสาธารณสุขศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา

³ Lecturer, Ph.D., Department of Health Education, Faculty of Public Health, Burapha University.

⁴ อาจารย์, สาขาวิชานามัยสิ่งแวดล้อม, คณะสาธารณสุขศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา

⁴ Lecturer, M.Eng., Department of Environmental Health, Faculty of Public Health, Burapha University.

*Corresponding author, E-mail: prayook@go.buu.ac.th

บทคัดย่อ

ปัจจุบันกากตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปามีปริมาณมาก ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายในการกำจัด และหากมีการปล่อยทิ้งสู่สิ่งแวดล้อมอาจก่อให้เกิดเป็นปัญหามลพิษ ดังนั้นการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ โดยการนำมาเป็นส่วนผสมในการผลิตเป็นตุ๊กตาดินเผา จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดปริมาณกากตะกอน ลดค่าใช้จ่ายในการกำจัด และเป็นแนวทางป้องกันมลพิษที่เกิดขึ้นจากการทิ้งกากตะกอนสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการนำกากตะกอนน้ำประปามาใช้ใหม่ โดยการนำมาเป็นวัตถุดิบ ในการผลิตตุ๊กตาดินเผา โดยได้นำกากตะกอนจากสถานีผลิตน้ำประปา จังหวัดชลบุรี และดินจากพื้นที่ ตำบลด่านเกวียน อำเภอโคกชัย จังหวัดนครราชสีมา ผลการวิจัยพบว่า ดินและกากตะกอน มีค่าความชื้น ร้อยละ 25.96 ± 0.28 และ 12.81 ± 0.14 ตามลำดับ อัตราส่วนดินต่อกากตะกอนน้ำประปา 50:50, 70:30, 90:10 และ 100:0 มีค่าความหนาแน่นรวม 1.79 ± 0.098 , 1.86 ± 0.043 , 1.98 ± 0.064 และ 2.12 ± 0.077 g/cm³ ตามลำดับ การหดตัวรวมเชิงเส้นของดินต่อกากตะกอนน้ำประปาที่อัตราส่วน 50:50, 70:30 และ 90:10 พบว่า มีค่าร้อยละ 10.33 ± 0.74 , 10.33 ± 0.56 และ 11.67 ± 0.32 ตามลำดับ ความแข็งแรงต่อการ กระแทกของดินต่อกากตะกอนน้ำประปาที่อัตราส่วน 50:50, 70:30, 90:10 และ 100:0 พบว่า มีค่า

37±2.33, 46±1.15, 83±4.14 และ 109±8.32 N-m ตามลำดับ อัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการนำมาผลิตตุ๊กตาดินเผา คือ อัตราส่วนดินต่อกากตะกอนน้ำประปา 90:10 เนื่องจากมีค่าความหนาแน่นและความแข็งแรงต่อการกระแทกที่มากที่สุด เมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่นๆที่มีการผสมกากตะกอนน้ำประปา คือ อัตราส่วน 50:50 และ 70:30 และมีค่าการหดตัวรวมเชิงเส้นของทั้งสามอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกัน และเมื่อนำอัตราส่วนดังกล่าวมาผลิตตุ๊กตาดินเผา พบว่า มีความแข็งแรง พื้นผิวมีความเรียบเนียน และไม่มีรอยแตกร้าว

คำสำคัญ: ตุ๊กตาดินเผา กากตะกอนน้ำประปา

Abstract

At present, the water supply process has a large amount of water supply sludge. Water supply sludge has a high disposal cost and cause environmental problems. Water supply sludge is reused. It was made into clay dolls. Recycling reduces costs and protects the environment. The objectives of this research were to study the reuse of water supply sludge by using it as a raw material for the production of clay dolls. The research took water supply sludge from the water supply station, Chonburi Province and soil from Dan Kwian Subdistrict, ChockChai District Nakhon Ratchasima Province. The results showed that The soil moisture is 25.96%±0.28 and water supply sludge moisture is 12.81%±0.14. The ratio of soil to water supply sludge is 50:50, 70:30, 90:10, and 100:0 had bulk density is 1.79±0.098, 1.86±0.043, 1.98±0.064, and 2.12±0.077 g/cm³, respectively. The ratio of soil to water supply sludge is 50:50, 70:30, 90:10, and 100:0 had total linear shrinkage is 10.33%±0.74, 10.33%±0.56, and 11.67%±0.32, respectively. The ratio of soil to water supply sludge is 50:50, 70:30, 90:10, and 100:0 had impact strength is 37±2.33, 46±1.15, 83±4.14, and 109±8.32 N-m, respectively. The optimum ratio for the production of clay dolls is the ratio of soil to water supply sludge is 90:10. It has the highest bulk density and impact strength compared to other ratios. And has a similar linear shrinkage. Clay dolls at this ratio were found to be strong; the surface is smooth, and no cracks.

Keywords: Clay Doll, Water Supply Sludge

บทนำ

ประเทศไทยเป็นแหล่งอารยธรรมที่มีมาช้านาน นักท่องเที่ยวทั้งภายในและต่างประเทศจึงนิยมในการเลือกซื้อสินค้าที่ผลิตขึ้นจากภูมิปัญญาชาวบ้าน หนึ่งในสินค้าที่สร้างชื่อเสียงให้กับประเทศคือเครื่องปั้นดินเผา ในการผลิตมีการขุดดินที่มีอยู่ตามธรรมชาติมาใช้ที่เป็นวัตถุดิบหลัก จากนั้นนำดินมาปั้นขึ้นรูปและนำไปเผาไหม้ด้วยความร้อนในเตาเผา เช่น เครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียน ตำบลด่านเกวียน อำเภอโชคชัย จังหวัดนครราชสีมา ที่มีลักษณะเด่น คือ มีความแข็งแรง ทนทาน พื้นผิวมันวาวสวยงาม (MGR Online, 2549) ดังนั้นการผลิตเครื่องปั้นดินเผาจึงเป็นส่วนหนึ่งของการใช้ทรัพยากรดินที่มีอยู่อย่างจำกัดให้หมดไป อีกทั้งเป็นการลดพื้นที่ดินที่จะนำไปใช้ในการเพาะปลูกทางการเกษตร ในการผลิตเครื่องปั้นดินเผาหากมีการใช้วัสดุชนิดอื่น เช่น กากตะกอนน้ำประปา มาใช้ทดแทนดินจึงนับเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยในการลดการขุดดินและเป็นการอนุรักษ์ทรัพยากรดินอันมีค่า

การอุปโภคบริโภคน้ำประปาในพื้นที่จังหวัดชลบุรีนับวันยังมีปริมาณมากขึ้น การผลิตน้ำประปาโดยส่วนใหญ่เพื่อการนำไปใช้ในด้านเกษตร อุตสาหกรรม และชุมชน ตลอดจนการท่องเที่ยว เมื่อพิจารณารายจังหวัด พบว่า จังหวัดชลบุรีมีกำลังการผลิตน้ำประปาสูงที่สุดเมื่อเทียบกับจังหวัดอื่น ๆ ในพื้นที่ภูมิภาค โดยมีปริมาณ 555,690 ลบ.ม./วัน (การประปาส่วนภูมิภาค, 2565) การผลิตน้ำประปาในปริมาณที่มากดังกล่าว ย่อมส่งผลให้เกิดกากตะกอนน้ำประปาในปริมาณที่มากเช่นเดียวกัน โดยการผลิตน้ำประปาปริมาตร 1 ลบ.ม จะเกิดเป็นกากตะกอนน้ำหนัก 0.025-0.035 กิโลกรัม (ชัยวัฒน์ วรพิบูลพงศ, ม.ป.ป.) ดังนั้นสามารถคำนวณปริมาณกากตะกอนที่เกิดขึ้นในจังหวัดชลบุรี โดยมีปริมาณ 13.9 – 19.4 ตัน/วัน องค์ประกอบของกากตะกอน ส่วนใหญ่เป็นสารอนินทรีย์ และอะลูมิเนียม ที่เกิดจากการเติมสารส้มเพื่อช่วยในการก่ตะกอน และมีน้ำหนักเบาเมื่อเทียบกับดินทั่วไป ในปัจจุบันกากตะกอนได้ถูกนำไปกำจัดโดยการนำไปถมที่ดิน การฝังกลบบนพื้นดิน หรือมีการนำกลับมาใช้ใหม่ โดยการนำไปเป็นส่วนผสมในการผลิตปูนซีเมนต์ หรือนำไปผลิตปุ๋ยหมักเพื่อใช้เป็นสารปรับปรุงคุณภาพดินในการเพาะปลูกพืช

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการนำกากตะกอนน้ำประปาไปใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตตุ๊กตาดินเผา จึงเป็นการนำกากตะกอนซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากการผลิตมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์ อีกทั้งเป็นการลดปริมาณการขุดดินธรรมชาติเพื่อนำมาใช้ในการผลิตตุ๊กตาดินเผา และลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนที่เกิดขึ้นจากการผลิตน้ำประปา

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาการนำกากตะกอนน้ำประปามาใช้ใหม่ โดยการนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตตุ๊กตาดินเผา

แนวคิด ทฤษฎี กรอบแนวคิด

น้ำประปานั้นเป็นส่วนหนึ่งของปัจจัย 4 ที่มนุษย์ต้องมีการอุปโภคและบริโภคเพื่อการดำรงชีพ ภาครัฐจึงมีการจัดสรรงบประมาณในการจัดหา น้ำประปาให้มีความสะอาด และเพียงพอต่อความต้องการของประชาชน กระบวนการผลิตน้ำประปาจึงเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่มีการจัดสร้างขึ้นโดยมีกระบวนการผลิตดังต่อไปนี้

1. การปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ
2. การเติมอากาศและการเติมสารเคมี
3. การตกตะกอน
4. การกรอง
5. การฆ่าเชื้อโรค
6. การปรับปรุงคุณภาพน้ำประปา
7. การสูบน้ำจ่ายน้ำประปา

ในกระบวนการการตกตะกอนและการกรอง นับเป็นกระบวนการที่ก่อให้เกิดกากตะกอนน้ำประปาจำนวนมากในแต่ละวัน จึงต้องมีการกำจัดกากตะกอนดังกล่าวออกจากกระบวนการผลิตน้ำประปา ในปัจจุบันมีการนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ เช่น การนำไปเป็นส่วนผสมในการผลิตปูนซีเมนต์ หรือเป็นสารปรับปรุงคุณภาพดินที่ใช้ในการเพาะปลูกพืช

เครื่องปั้นดินเผาของไทยเป็นแหล่งอารยธรรมโบราณที่มีมาช้านาน เช่น เครื่องปั้นดินเผาบ้านเชียงที่ตำบลบ้านเชียง อำเภอนหนองหาน จังหวัดอุดรธานี ที่มีอายุมากกว่า 3,500 ปี และอีกหนึ่งสถานที่ผลิตเครื่องปั้นดินเผาที่เป็นที่นิยมของชาวไทยและชาวต่างชาติ คือ เครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียน ตำบลด่านเกวียน อำเภอโชคชัย จังหวัดนครราชสีมา เนื่องจากเป็นเครื่องปั้นดินเผาที่มีความเอกลักษณ์ และสวยงาม ผลิตด้วยมือโดยอาศัยทักษะและความชำนาญของชาวบ้านในพื้นที่ โดยมีขั้นตอนการผลิตดังนี้

1. การเตรียมดิน
2. การปั้น
3. การตกแต่ง
4. การเผา
5. การบรรจุหีบห่อ

เครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียน มีลักษณะเด่นที่มีความแข็งแรง ทนทาน และสวยงาม พื้นผิวมีความเรียบเนียนและมีสีแดง เพราะมีการใช้ดินจากลำน้ำมูล ซึ่งดินมีเม็ดเล็ก และเนื้อละเอียด เมื่อนำมาเผาดินจะเปลี่ยนเป็นสีแดง เนื่องจากดินประกอบไปด้วยแร่เหล็กจำนวนมาก

การวิจัยนี้มีกรอบแนวความคิดและทฤษฎีในการนำกากตะกอนน้ำประปา ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากการผลิตของสถานีผลิตน้ำประปาแห่งหนึ่งในจังหวัดชลบุรี โดยใช้หลักการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) ของกากตะกอนมาเป็นส่วนผสมในการผลิตตุ๊กตาดินเผา ซึ่งนำมาใช้ในการตกแต่งอาคารสถานที่ เพื่อให้เกิดความสวยงาม ดังนั้นการนำกากตะกอนน้ำประปามาใช้ประโยชน์จึงเป็นการลดการใช้ดินธรรมชาติที่จะถูกนำมาใช้ในการผลิตตุ๊กตาดินเผา และเป็นการอนุรักษ์ทรัพยากรดินให้คงสภาพเดิมตามธรรมชาติโดยไม่ถูกรบกวนจากการขุดดินเพื่อนำมาใช้ในการผลิต อีกทั้งเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนน้ำประปาของสถานีผลิตน้ำประปา และลดปัญหามลพิษจากการปล่อยทิ้งกากตะกอนสู่สิ่งแวดล้อม

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ติดต่อประสานงานและชี้แจงวัตถุประสงค์ในการทำวิจัยกับสถานีผลิตน้ำประปาบางพระ ตำบลบางพระ อำเภอสรีราชา จังหวัดชลบุรี จากนั้นจึงขอความอนุเคราะห์กากตะกอนน้ำประปาเพื่อนำมาใช้ในการวิจัย และสถานที่ในการผลิตตุ๊กตาดินเผา ตำบลด่านเกวียน อำเภอโชคชัย จังหวัดนครราชสีมา เพื่อศึกษาขั้นตอนในการผลิตตุ๊กตาดินเผา

2. การเตรียมกากตะกอนน้ำประปา โดยการบดกากตะกอนให้มีขนาดเล็ก และร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานที่มีช่องเปิดขนาด 500 ไมโครเมตร (เบอร์ 35) และทำการวิเคราะห์ความชื้น จากนั้นนำดินจากพื้นที่ตำบลด่านเกวียน อำเภอโชคชัย จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งดินมีลักษณะเป็นดินเหนียวเนื้อละเอียด จากนั้นนำมาผสมกับน้ำจนมีลักษณะชื้นเหลวเป็นเนื้อเดียวกัน หรือเรียกว่า เนื้อดิน และทำการวิเคราะห์ความชื้น นำกากตะกอนน้ำประปามาผสมกับดินด่านเกวียน โดยมีอัตราส่วนดินต่อกากตะกอน 50:50, 70:30, 90:10 และ 100:0

3. การวิเคราะห์คุณสมบัติของส่วนผสมดินกับกากตะกอนน้ำประปา

3.1 ความหนาแน่นรวม (Bulk Density)

นำดินที่ผสมกับกากตะกอนน้ำประปาที่อัตราส่วน 50:50, 70:30, 90:10 และ 100:0 โดยแต่ละอัตราส่วนนำมาปั้นเป็นก้อนทรงสี่เหลี่ยมมุมฉาก ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร โดยมีปริมาตร 1,000 ลบ.ซม. จากนั้นนำมาคำนวณความหนาแน่นรวม ดังแสดงในสมการที่ 1

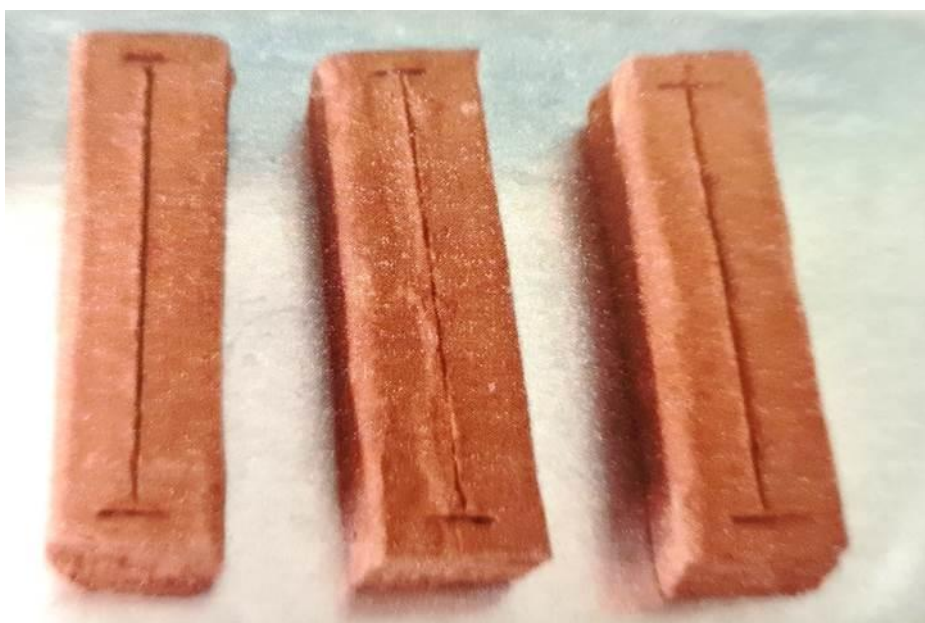
$$\text{ความหนาแน่นรวม (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{น้ำหนักดินผสมกากตะกอนน้ำประปา (g)}}{\text{ปริมาตรดินผสมกากตะกอนน้ำประปา (cm}^3\text{)}} \quad (1)$$

3.2 การหดตัวรวมเชิงเส้น (Total Linear Shrinkage)

นำดินที่ผสมกับกากตะกอนน้ำประปาที่อัตราส่วน 50:50, 70:30, 90:10 และ 100:0 โดยแต่ละอัตราส่วนนำมาปั้นเป็นแท่งทดสอบ ทรงสี่เหลี่ยมมุมฉาก ขนาด 2.5x2.5x11.5 เซนติเมตร จำนวนอัตราส่วนละ 3 แท่ง ตามลำดับ จากนั้นทำเครื่องหมายบอกความยาวหลังการขึ้นรูป (Plastic Length, Lp)

บนแท่งทดสอบยาว 10 เซนติเมตร ผึ่งแท่งทดสอบให้แห้ง โดยวางในที่ร่มนาน 2-3 วัน และนำไปเผาในเตาเผาโดยควบคุมอุณหภูมิให้สูงขึ้นเป็นลำดับ จนถึงอุณหภูมิประมาณ 800 - 900 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานาน 24 ชั่วโมง หลังการเผาสีของแท่งทดสอบเปลี่ยนเป็นสีแดง ดังแสดงในภาพประกอบที่ 1 วัดความยาวหลังเผา (Fire Length, Lf) จากนั้นคำนวณการหดตัวรวมเชิงเส้น (Total Linear Shrinkage) (ดวงกมล สุริยฉัตร, ภาสกร วิชิตอมรพันธ์, และวรรณะ เรืองสำเร็จ, 2547) ดังแสดงในสมการที่ 2

$$\text{ร้อยละการหดตัวรวมเชิงเส้น} = \frac{(L_p - L_f)}{L_p} \times 100 \quad (2)$$



ภาพประกอบที่ 1 แท่งทดสอบหลังการเผา

3.3 ความแข็งแรงต่อการกระแทก (Impact Strength)

นำแท่งทดสอบ ทรงสี่เหลี่ยมมุมฉาก ขนาด 2.5x2.5x11.5 เซนติเมตร ที่อัตราส่วนดินต่อกากตะกอนน้ำประปา 50:50, 70:30, 90:10 และ 100:0 โดยผ่านการผึ่งแห้งและการเผาในเตาเผา อัตราส่วนละ 3 แท่ง ตามลำดับ ดังกล่าวในข้อ 3.2 นำแท่งทดสอบมาทำการทดสอบความแข็งแรงต่อการกระแทก (Impact Strength) ด้วยเครื่องทดสอบแบบค้อนเหวี่ยงกระแทก (Pendulum Impact Testing Machine) (สุวันชัย สิ้นโพธิ์, ดวงจันทร์ สิ้นโพธิ์, สุวินัย โสดาเจริญ, นิรันดร์ พรหมเกษา, และวิษณุ แฝงเมือง, 2556) จากนั้นบันทึกค่าความแข็งแรงต่อการกระแทก (Impact Strength) ในแต่ละอัตราส่วน

3.4 การผลิตตุ๊กตาดินเผา

นำดินที่ผสมกับกากตะกอนน้ำประปา มาปั้นเป็นตุ๊กตา ขนาด 6x7x15 เซนติเมตร (กว้าง x ยาว x สูง) ปรับแต่งพื้นผิวให้เรียบเนียน พร้อมระบายสีลงบนตุ๊กตา จากนั้นผึ่งตุ๊กตาให้แห้ง โดยวางในที่ร่มนาน 2-3 วัน และนำไปเผาในเตาเผาโดยควบคุมอุณหภูมิให้สูงขึ้นเป็นลำดับ จนถึงอุณหภูมิประมาณ 800 - 900 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง. หลังการเผาสีพื้นของตุ๊กตาเปลี่ยนเป็นสีแดง

ผลการวิจัย

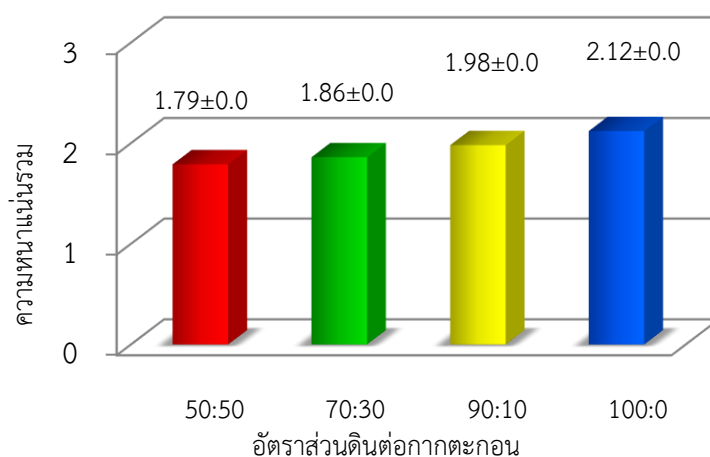
ดินและกากตะกอนน้ำประปา ก่อนการผสมเข้าด้วยกันได้ทำการวิเคราะห์ความชื้น ในแต่ละชนิดวัสดุโดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง จากนั้นนำมาคำนวณค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และอัตราส่วนดินต่อกากตะกอนน้ำประปา 50:50, 70:30, 90:10 และ 100:0 ได้ทำการวิเคราะห์ตัวแปร ได้แก่ ความหนาแน่น การหดตัวรวมเชิงเส้น และความแข็งแรงต่อการกระแทก โดยแต่ละอัตราส่วนมีการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง จากนั้นนำมาคำนวณค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ดังแสดงผลการวิจัยในข้อต่อไปนี้

1. ความชื้น (Moisture Content)

ความชื้นของดินต่อกากตะกอนน้ำประปา พบว่า มีค่าร้อยละ 25.96 ± 0.28 และ 12.81 ± 0.14 ตามลำดับ

2. ความหนาแน่นรวม (Bulk Density)

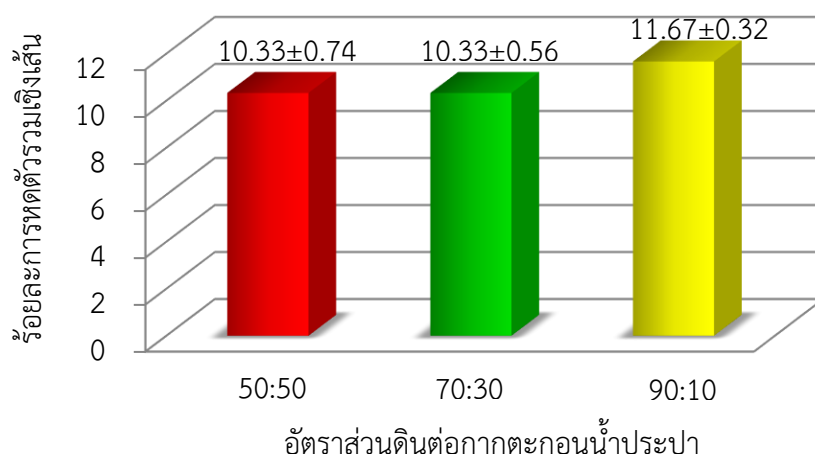
ความหนาแน่นรวมของดินต่อกากตะกอนน้ำประปาที่อัตราส่วน 50:50, 70:30, 90:10 และ 100:0 พบว่า มีค่า 1.79 ± 0.098 , 1.86 ± 0.043 , 1.98 ± 0.064 และ 2.12 ± 0.077 g/cm³ ตามลำดับ โดยอัตราส่วนที่มีความหนาแน่นรวมมากที่สุด คือ 100:0 รองลงมา คือ 90:10, 70:30 และ 50:50 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2



ภาพประกอบที่ 2 ความหนาแน่นรวมของดินต่อกากตะกอนน้ำประปาในแต่ละอัตราส่วน

3. การหดตัวรวมเชิงเส้น (Total Linear Shrinkage)

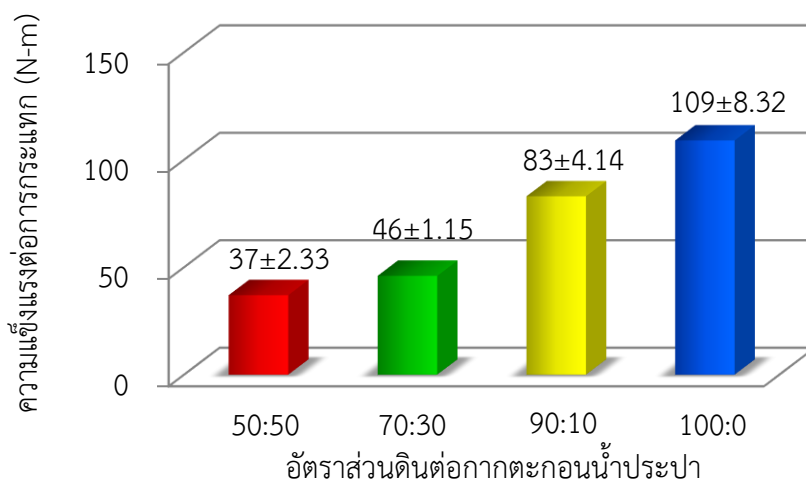
การหดตัวรวมเชิงเส้นของดินตอกากตะกอนน้ำประปาที่อัตราส่วน 50:50, 70:30 และ 90:10 พบว่า มีค่าร้อยละ 10.33 ± 0.74 , 10.33 ± 0.56 และ 11.67 ± 0.32 ตามลำดับ ทุกอัตราส่วนมีค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยอัตราส่วนที่มีการหดตัวรวมเชิงเส้นมากที่สุด คือ 90:10 รองลงมา คือ 70:30 และ 50:50 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3



ภาพประกอบที่ 3 การหดตัวรวมเชิงเส้นของดินตอกากตะกอนน้ำประปาในแต่ละอัตราส่วน

4. ความแข็งแรงต่อการกระแทก (Impact Strength)

ความแข็งแรงต่อการกระแทกของดินตอกากตะกอนน้ำประปาที่อัตราส่วน 50:50, 70:30, 90:10 และ 100:0 พบว่า มีค่า 37 ± 2.33 , 46 ± 1.15 , 83 ± 4.14 และ 109 ± 8.32 N-m ตามลำดับ โดยอัตราส่วนที่มีความหนาแน่นมากที่สุด คือ 100:0 รองลงมา คือ 90:10, 70:30 และ 50:50 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4



ภาพประกอบที่ 4 ความแข็งแรงต่อการกระแทกของดินตอกากตะกอนน้ำประปาในแต่ละอัตราส่วน

5. การผลิตตุ๊กตาดินเผา

จากผลการวิจัย พบว่า อัตราส่วนดินต่อกากตะกอนน้ำประปา 90:10 มีค่าความหนาแน่นและความแข็งแรงต่อการกระแทกที่มากที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่นๆ ที่มีการผสมกากตะกอนน้ำประปา คืออัตราส่วน 50:50 และ 70:30 จึงได้นำอัตราส่วนดังกล่าวมาผลิตตุ๊กตาดินเผา เมื่อพิจารณาตุ๊กตาดินเผาที่ผลิตได้ พบว่า สามารถปั้นขึ้นรูปเป็นตุ๊กตาได้ดี เมื่อผ่านการเผาในเตาเผา ตุ๊กตามีลักษณะพื้นผิวเรียบมัน มีสีแดงสวยงาม และมีความแข็งแรงทนทาน มีความเหมาะสมในการนำมาผลิตเพื่อการจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ต่อไป

สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษาการผลิตตุ๊กตาดินเผาจากกากตะกอนน้ำประปา สามารถสรุปและอภิปรายผลการวิจัยได้ดังนี้

1. ความชื้น (Moisture Content)

ความชื้นของดินและกากตะกอนน้ำประปา พบว่า มีค่าร้อยละ 25.96 ± 0.28 และ 12.81 ± 0.14 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณความชื้น พบว่า ความชื้นของดินมีค่ามากกว่ากากตะกอนน้ำประปา

ความชื้นในกากตะกอนน้ำประปาที่มีค่าน้อยกว่าดิน เนื่องจากกากตะกอนที่ใช้ในการวิจัยได้มีการถูกรีดน้ำ (Dewatering) เพื่อลดความชื้นจากกระบวนการผลิตในสถานีผลิตน้ำประปา โดยมีค่าร้อยละ 12.81 ± 0.14 ซึ่งสอดคล้องกับความชื้นของตะกอนจากสารสร้างตะกอน (Coagulation Sludge) ในระบบผลิตน้ำประปาที่มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 10-15 (การประปาส่วนภูมิภาค, 2561) กากตะกอนจึงมีปริมาณน้ำในกากตะกอนที่น้อยมาก ส่งผลให้ความชื้นในกากตะกอนจึงมีค่าน้อยกว่าดิน ที่เก็บตัวอย่างมาจากพื้นดินธรรมชาติ ซึ่งมีน้ำแทรกตัวอยู่ในอนุภาคดิน

2. ความหนาแน่นรวม (Bulk Density)

ความหนาแน่นรวมในทุกอัตราส่วนดินต่อกากตะกอนน้ำประปา พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 1.79 ± 0.098 ถึง $2.12 \pm 0.077 \text{ g/cm}^3$ โดยอัตราส่วนดินต่อกากตะกอนน้ำประปา 100:0 มีค่าความหนาแน่นรวมมากที่สุด เมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่น ๆ คือ มีค่า $2.12 \pm 0.077 \text{ g/cm}^3$ เมื่อพิจารณาแนวโน้มความหนาแน่นรวมพบว่า มีค่าลดลงตามปริมาณส่วนผสมของกากตะกอนที่เพิ่มขึ้น

ความหนาแน่นรวม คือ อัตราส่วนของมวลต่อปริมาตร โดยจะมีค่ามากเมื่อมวลมีค่ามาก และปริมาตรมีค่าน้อย จากผลการวิจัย พบว่า แนวโน้มความหนาแน่นรวม มีค่าลดลงตามอัตราส่วนของกากตะกอนที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากกากตะกอน มีคุณสมบัติที่มีเนื้อดินเบา (ชัยวัฒน์ วรพิบูลพงศ์, ม.ป.ป.) เมื่อเทียบกับดิน ซึ่งเก็บตัวอย่างมาจากพื้นดินธรรมชาติ ที่ตำบลด่านเกวียน อำเภอโชคชัย จังหวัดนครราชสีมา กล่าวคือ ดินมีคุณสมบัติเป็นดินเหนียวเนื้อละเอียด (สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ, 2561) ดังนั้นมวลของกากตะกอนที่มีน้ำหนักเบา จึงมีน้อยกว่า ดินซึ่งเป็นดินเหนียวเนื้อละเอียด ส่งผลให้ความหนาแน่นรวมจึงมีค่าลดลงตามอัตราส่วนของกากตะกอนที่เพิ่มขึ้น

3. การหดตัวรวมเชิงเส้น (Total Linear Shrinkage)

การหดตัวรวมเชิงเส้นในทุกอัตราส่วนดินต่อกากตะกอนน้ำประปา พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 10.33 ± 0.56 ถึง 11.67 ± 0.32 ทุกอัตราส่วนมีค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยอัตราส่วนดินต่อกากตะกอน 90:10 มีค่าการหดตัวรวมเชิงเส้นมากที่สุด เมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่น ๆ คือ มีค่าร้อยละ 11.67 ± 0.32 เมื่อพิจารณาแนวโน้มการหดตัวรวมเชิงเส้น พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของกากตะกอนที่ลดลง

จากผลการวิจัย พบว่า อัตราส่วนกากตะกอนที่ลดลงมีผลทำให้การหดตัวรวมเชิงเส้นมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากกากตะกอนมีความชื้นที่น้อยกว่าดิน หากมีการผสมในอัตราส่วนที่ลดลง ส่งผลให้ปริมาณน้ำในแท่งทดสอบมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อนำไปเผาไหม้ในเตาเผา การระเหยของน้ำออกจากแท่งทดสอบจึงมีมาก ดังนั้นน้ำที่ระเหยออกในปริมาณมากทำให้มีขนาดและรูปร่างของแท่งทดสอบมีการหดตัวลง ส่งผลให้การหดตัวรวมเชิงเส้นจึงมีค่ามากขึ้น ซึ่งมีความสอดคล้องกับ ประจักษ์ สรรสิทธิ์ (2543) ที่กล่าวว่า ดินหรือผลิตภัณฑ์จะมีการหดตัวเมื่อถูกเผาไหม้ เนื่องจากการสูญเสียความชื้นในดิน และหากดินหรือผลิตภัณฑ์มีปริมาณน้ำมาก ทำให้เกิดการหดตัวมาก และสอดคล้องกับงานวิจัยของ ไพบุลย์ แยมเผื่อน, ปราโมทย์ พูนนายม กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, และสุรัชย์ กรุดทอง (2555) ที่พบว่า ตะกอนดินเซรามิกส์ที่มีเนื้อละเอียดจึงเก็บสะสมความชื้นได้ปริมาณมาก เมื่อนำไปเผาเพื่อผลิตเป็นกระเบื้องปูผนัง จึงเกิดการสูญเสียความชื้น ทำให้การหดตัวเชิงปริมาตรมีค่ามาก

4. ความแข็งแรงต่อการกระแทก (Impact Strength)

ความแข็งแรงต่อการกระแทกในทุกอัตราส่วนดินต่อกากตะกอนน้ำประปา พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 37 ± 2.33 ถึง 109 ± 8.32 N-m โดยอัตราส่วนดินต่อกากตะกอนน้ำประปา 100:0 มีค่าความแข็งแรงต่อการกระแทกมากที่สุด เมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่น ๆ คือ มีค่า 109 ± 8.32 N-m เมื่อพิจารณาแนวโน้มความแข็งแรงต่อการกระแทก พบว่า มีค่าลดลงตามอัตราส่วนของกากตะกอนที่เพิ่มขึ้น

จากผลการวิจัย พบว่า อัตราส่วนกากตะกอนที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความแข็งแรงต่อการกระแทกมีค่าลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ กฤษดา นุ่มนวล (2540) ที่พบว่า การผลิตอิฐมอญที่มีการผสมกากตะกอนน้ำประปาในอัตราส่วนที่มาก ทำให้ความแข็งแรงในรูปของการรับกำลังอัดมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากกากตะกอนมีคุณสมบัติมีเนื้อดินเบา เมื่อผสมในอัตราส่วนที่มาก จึงส่งผลให้ความหนาแน่นมีค่าลดลง กล่าวคือ ความหนาแน่นนับเป็นตัวแปรหนึ่งที่บ่งบอกถึงความแข็งแรงของวัสดุ โดยทั่วไปหากมีค่ามากจะทำให้วัสดุมีความแข็งแรงที่มากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ นนทพงษ์ พลพวง และศิวาดล กัญญาคำ (2557) ที่กล่าวว่า การนำเศษแก้วมาใช้ผสมในเซรามิกส์ ทำให้ความหนาแน่นมากขึ้น การดูดซึมน้ำต่ำลง และส่งผลให้เซรามิกส์มีความแข็งแรงที่มากขึ้น

นอกจากนี้อัตราส่วนกากตะกอนน้ำประปาที่ลดลง ทำให้อัตราส่วนดินมีมากขึ้น ส่งผลให้ความแข็งแรงต่อการกระแทกมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากดินที่ใช้ในการวิจัยได้นำจากพื้นที่ตำบลด่านเกวียน อำเภอโชคชัย จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งดินมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นดินเหนียว และมีเหล็กออกไซด์ในปริมาณมาก เมื่อนำมาเผาจะมีสีแดง หากนำมาผลิตเป็นภาชนะดินเผาจะมีความแข็งแรงและทนทานสูง

(เด่น รักซ้อน, 2559) และสอดคล้องกับงานวิจัยของ เอกพล แก้วนวม และจักรพงษ์ แก้วขาว (2559) ที่พบว่า การผลิตโองม้งกรจังหวัดราชบุรี มีการใช้ดินทุ่งสมณะ อำเภोधาบาราม เป็นวัตถุดิบหลัก หากมีการผสมดินจากพื้นที่ต่างอำเภอ คือ ดินทุ่งหลวง อำเภอปากท่อ ซึ่งมีปริมาณเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ในดินมาก ส่งผลให้โองม้งกรมีความแข็งแรงทนทานมากขึ้น

จากผลการวิจัย พบว่า อัตราส่วนดินต่อกากตะกอนน้ำประปา 90:10 มีค่าความหนาแน่นและความแข็งแรงต่อการกระแทกที่มากที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่นๆ ที่มีการผสมกากตะกอนน้ำประปา คืออัตราส่วน 50:50 และ 70:30 และมีค่าการหดตัวรวมเชิงเส้นของทั้งสามอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาลักษณะทางกายภาพของแท่งทดสอบหลังการเผา พบว่า มีความแข็งแรง พื้นผิวมีความเรียบเนียนและไม่มีรอยแตกร้าว ดังนั้น อัตราส่วนดังกล่าวจึงเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการนำมาผลิตตุ๊กตาดินเผา

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ สถานีผลิตน้ำบางพระ จังหวัดชลบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์กากตะกอนน้ำประปาเพื่อนำมาใช้ในการวิจัย

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์และเจ้าหน้าที่ สาขาวิชาออกแบบเซรามิกส์ คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในการผลิตตุ๊กตาดินเผา

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์และเจ้าหน้าที่ ภาควิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในการตรวจวิเคราะห์ความแข็งแรงต่อการกระแทก

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ เจ้าหน้าที่ นิสิต ภาควิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ข้อเสนอแนะในการทำวิจัย และให้ความช่วยเหลือในการร่วมทำการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

MGR Online. (2549). เครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียน โอท็อปสุดคลาสสิก. สืบค้นเมื่อ 12 มกราคม 2565

จาก <https://www.pwa.co.th/province/report>

การประปาส่วนภูมิภาค. (2565). สรุปข้อมูลการประปาส่วนภูมิภาคแยกตามรายจังหวัด. สืบค้นเมื่อ 20

มีนาคม 2565 จาก <https://mgronline.com/travel/detail/9490000106428>

ชัยวัฒน์ วรพิบูลพงศ. (ม.ป.ป). โครงการแนวคิด การทำวิจัย การใช้ตะกอนจากการผลิตน้ำประปาให้เป็นประโยชน์ในทางเศรษฐกิจ. สืบค้นเมื่อ 24 มีนาคม 2565 จาก

https://web.mwa.co.th/ewt_dl_link.php?nid=469ก

ดวงกมล สุริยฉัตร, ภาสกร วิชิตอมรพันธ์, และวรรณะ เรืองสำเร็จ. (2547). การประยุกต์ใช้ตะกอนดินจากน้ำประปา. สืบค้นเมื่อ 3 มีนาคม 2565 จาก

<https://www1.dpim.go.th/dt/pper/000001098158343.pdf>



- สุวันชัย สิ้นโพธิ์, ดวงจันทร์ สิ้นโพธิ์, สุวินัย โสตาเจริญ, นิรันดร์ พรหมเกษา, และวิชญ์ แผงเมือง. (2556). รายงานการวิจัย สร้างชุดการสอนเรื่องการทดสอบวัสดุด้วยแรงกระแทก Instructional Packet of Material Testing with Impact Testing Machine. สืบค้นเมื่อ 3 กุมภาพันธ์ 2565 จาก <https://research.rmutsb.ac.th/fullpaper/2556/2556239509815.pdf>
- การประปาส่วนภูมิภาค. (2561). คู่มือกระบวนการหลักด้านกระบวนการผลิตน้ำประปาและควบคุมคุณภาพน้ำ ภาคทฤษฎี. สืบค้นเมื่อ 3 กุมภาพันธ์ 2565 จาก <https://reg4.pwa.co.th/km/sites/default/files/km/upload/news1-281062.pdf>
- สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ. (2561). “ด้านเกี่ยว” แหล่งผลิตเครื่องปั่นดินเผาอันเลื่องชื่อ. สืบค้นเมื่อ 24 มกราคม 2565 จาก <https://www.thaitextile.org/th/insign/detail.180.1.0.html>
- ประจักษ์ สาส์สิทธิ์. (2543). การทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์ในเซรามิกส์. คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม. สถาบันราชภัฏนครราชสีมา.
- ไพบุลย์ แยมเผื่อน, ปราโมทย์ พูนนายม, กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, และสุรัชย์ กรุดทอง. (2555). การใช้ตะกอนดินเซรามิกเป็นส่วนผสมในการผลิตกระเบื้องปูผนัง. สืบค้นเมื่อ 20 กุมภาพันธ์ 2565 จาก <http://www.dms.eng.su.ac.th/filebox/FileData/MPM109.pdf>
- กฤษดา นุมนวล. (2540). การใช้ตะกอนจากระบบประปาแทนดินเหนียวในการผลิตอิฐมอญ. (ปริญญา นิพนธ์). มหาวิทยาลัยมหานคร, กรุงเทพฯ
- นนทพงษ์ พลพวก และศิวดล กัญญาคำ. (2557). การพัฒนากระบวนการผลิตอิฐมอญคุณภาพสูงโดยใช้เศษแก้วเป็นสารเติมแต่ง (รายงานการวิจัย). มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.
- เด่น รักซ้อน. (2559). วิวัฒนาการและการพัฒนาเนื้อดินปั้นด้านเกี่ยวให้คงความงามตามอัตลักษณ์. วารสารพื้นถิ่นโขง ซี มูล, 2(2), 109-136.
- เอกพล แก้วนวม และจักรพงษ์ แก้วขาว. (2559). การศึกษาดินเหนียววัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตโอ่งในจังหวัดราชบุรี. สืบค้นเมื่อ 6 มกราคม 2565 จาก <http://rms.mcru.ac.th/uploads/508134.pdf>