

การเพิ่มมูลค่ากากดินขาวเป็นชั้นตกแต่งผนังคล้ายหินสำหรับงานตกแต่งภายใน

Upcycling Kaolin Residue into Stone-Like Decorative

Coating on Wall for Interior Decoration

กิตติพงศ์ รื่นวงศ์¹ โชคชัย ยาทองไชย²

Received: February 1, 2019

Revised: April 22, 2019

Accepted: May 13, 2019

บทคัดย่อ

กากดินขาวเป็นของเสียจากอุตสาหกรรมเหมืองแร่และเซรามิกในจังหวัดลำปาง มีปริมาณถึงกว่า 240,000 ตันต่อปี ที่ถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดการปนเปื้อนในดิน นำไปสู่ความขัดแย้งในการใช้พื้นที่ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอวิธีการเพิ่มมูลค่ากากดินขาว โดยใช้กากดินขาวเป็นมวลรวมในชั้นตกแต่งผนังคล้ายหิน กากดินขาวขนาดต่าง ๆ จะผสมกับตัวประสานพอลิเมอร์สามชนิดซึ่งได้แก่ พอลิยูรีเทนซิลิโคนและอีพ็อกซี ในอัตราส่วนที่กำหนด ศึกษาเชิงเปรียบเทียบต่อลักษณะทางกายภาพ ความต้านทานแรงดึง ความแข็งแรงในการยึดเกาะและพฤติกรรมการดูดซับแสงของชั้นตกแต่ง ผลทดสอบพบว่ากากดินขาวผสมกับพอลิยูรีเทน มีค่าต้านทานแรงดึงอยู่ระหว่าง 0.68 – 1.88 เมกะปาสคาล และมีค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะอยู่ระหว่าง 0.31 – 0.76 เมกะปาสคาล กากดินขาวผสมซิลิโคนมีค่าต้านทานแรงดึงอยู่ในช่วงระหว่าง 0.18– 0.35 เมกะปาสคาล และมีความแข็งแรงในการยึดเกาะระหว่าง 0.07–0.10 เมกะปาสคาล ขณะที่ชั้นตกแต่งผนังซึ่งใช้กากดินขาวผสมอีพ็อกซี มีค่าต้านทานแรงดึงอยู่ในช่วงระหว่าง 2.05–15.36 เมกะปาสคาล และมีค่าแข็งแรงในการยึดเกาะอยู่ระหว่าง 1.30–2.13 เมกะปาสคาล ชั้นตกแต่งทั้งสามชนิดมีการดูดซับของแสงที่ 485 นาโนเมตร ทำให้ชั้นตกแต่งคล้ายหินมีลักษณะลวดลายเจดสีส้ม ความเข้มสีและผิวสัมผัสคล้ายหินมากขึ้นเมื่อผสมกากดินขาวที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และมวลรวมแต่ละชนิดสามารถใช้ขึ้นรูปชั้นตกแต่งผนังคล้ายหินได้ที่อุณหภูมิห้อง

จากงานวิจัยนี้ สรุปได้ว่าชั้นตกแต่งที่ใช้กากดินขาวผสมกับอีพ็อกซีเหมาะแก่การผลิตชั้นตกแต่งผนังคล้ายหินมากที่สุด นอกจากนี้ ใช้กากดินขาวที่มีขนาดมากกว่า 425 ไมครอน เป็นมวลรวมจะได้ชั้นตกแต่งที่มีสีและลวดลายคล้ายหินมากที่สุด การใช้กากดินขาวเป็นมวลรวมสำหรับชั้นตกแต่งผนังคล้ายหินเป็นวิธีหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าให้กับกากดินขาว

คำสำคัญ: การเพิ่มมูลค่า กากดินขาว ชั้นตกแต่งคล้ายหิน

Abstract

Kaolin residue is the waste retrieved from mining and ceramic industry in Lumpang province. Kaolin waste is annually generated more than 240,000 tons and then discharged to the environment, contaminating the soil leading to conflicts of land-use. Therefore, this research aims to propose upcycling kaolin residue into aggregate in stone-like decorative coatings. In this project, Lumpang kaolin residue with different particle sizes was simply mixed with three different polymeric binders including polyurethane (PU), silicone and epoxy, into the designed compositions to form decorative coatings. Subsequently, comparative studies on physical properties,

¹สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้

²สาขาวิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

tensile strength, adhesive strength and visible light absorption behavior of the obtained coatings were conducted. Regarding mechanical properties, it was found that tensile strength of the decorative coatings produced by mixing polyurethane and kaolin residue lay between 0.68 and 1.88 MPa and the adhesion strength lay between 0.31 and 0.76 MPa. Concerning silicone as a binder, the coatings obtained from combination of kaolin residue and silicone exhibited a low tensile strength which ranged from 0.18 to 0.35 MPa, while adhesion strength was between 0.07 and 0.10 MPa. In regard to epoxy, the decorative layers showed the highest tensile strength lying between 2.05 and 15.36 MPa, whereas the adhesion strength ranged from 1.30 - 2.13 MPa. Light absorption behavior was also investigated. It was found that all the studied coatings showed a similar absorption behavior. Surface of the decorative coatings absorbed visible light at wavelengths near 485 nm, which therefore made the coating surface exhibit orange stone texture. In addition, it was observed that the surface color turned deeper and the stone texture became sharper when kaolin residue with larger particles was used. All of the decorative layers could be successfully formed at room temperatures.

In conclusion, combination of epoxy and kaolin residue is most suitable for production of stone-like decorative coatings for wall decoration. Moreover, stone-like decorative coatings can be successfully obtained using kaolin residue aggregate with particle sizes larger than 425 microns. The utilization of kaolin residue as an aggregate for stone-like decorative coating can be value-added approach for kaolin residue.

Keywords: Upcycling, Kaolin Residue, Stone-like Decorative Coating

1. บทนำ

รูปแบบในการตกแต่งบ้านในปัจจุบัน ผู้สร้างบ้านจะนำเสนอรูปแบบการตกแต่งบ้านทั้งภายในและภายนอกที่จะช่วยดึงดูดสายตาให้เข้ามาใกล้ชิดเรามากขึ้นและมากขึ้น เช่น การตกแต่งผนังด้วยหิน หินให้ลวดลายและผิวสัมผัสที่เป็นธรรมชาติ ทนทานต่อสภาพอากาศ และมีความแข็งแรง อย่างไรก็ตาม ข้อเสียอย่างหนึ่งของหินก็คือมีน้ำหนักมาก การติดตั้งตามสภาพพื้นผิวต่าง ๆ ทำได้ยาก ยิ่งไปกว่านั้นคือมีความเปราะสูง ต้องอาศัยความชำนาญในการติดตั้ง ทำให้ในปัจจุบันได้มีการนำเสนอวัสดุทดแทนหิน เช่น ชันตกแต่งผนังคล้ายหินซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลาย ชันตกแต่งผนังคล้ายหินเป็นวัสดุที่เป็นส่วนผสมระหว่างมวลรวมจำพวกเม็ดหินขนาดเล็กกับพอลิเมอร์ ทำให้ชันตกแต่งผนังคล้ายหินมีน้ำหนักเบา มีลวดลายคล้ายหิน ที่สำคัญคือมีความยืดหยุ่นสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับหินธรรมชาติ อย่างไรก็ตาม ชันตกแต่งผนังคล้ายหินในท้องตลาดยังมีราคาสูงมากเมื่อเทียบกับวัสดุตกแต่งผนังชนิดอื่น ๆ เนื่องจากมีกระบวนการผลิตที่ซับซ้อน วัสดุมีราคาสูง ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความต้องการที่จะหาวัสดุอื่นมาทดแทนเพื่อทำชันตกแต่งผนังที่มีกระบวนการผลิตที่ง่ายขึ้น ใช้วัสดุเหลือทิ้งเพื่อลดการเกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

กากดินขาวเป็นวัสดุที่เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิก เกิดจากกระบวนการล้างดินขาว ซึ่งการล้างดินขาวแต่ละครั้งนั้นจะได้กากดินขาวประมาณร้อยละ 70 กากดินขาวที่เกิดขึ้นนั้นจัดเป็นปัญหาทางสิ่งแวดล้อม เช่น การปนเปื้อนดินรอบบริเวณโรงงาน การเสื่อมสภาพของดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในจังหวัดลำปางที่ซึ่งมีกากดินขาวจากอุตสาหกรรมเซรามิกมากถึง 240,000 ตันต่อปี นับว่าเป็นปริมาณมหาศาลที่ผู้ประกอบการจะต้องจัดการ (เกษสุตา ดอนเมือง, 2558; พลยุทธ์ สุขสมิตติ, วิวัฒน์ ไตรธิกุล, วรลักษณ์ เพชรรักษ์, สุทธิณี จารุมาศ, อมรรัตน์ ร่มพล, ยงยุทธ นพนิช และทิวา พวงไสว, 2559)

กากดินขาวมีซิลิกา (SiO_2) และอะลูมินา (Al_2O_3) เป็นองค์ประกอบหลัก (เกษสุตา ดอนเมือง, 2558; พลยุทธ์ สุขสมิตติ และคณะ, 2559) มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 45 ไมโครเมตร หลังเผาไหม้สีขาวและมีความเสถียรสูง จากรายงานผลงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ได้มีการศึกษาและนำกากดินขาวมาใช้ประโยชน์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการนำกากดินขาวมาเป็น

ส่วนประกอบหนึ่งของเนื้อดินเซรามิก (อดุลย์ ทรายตัน, 2558; ธิติมา คุณยศยิ่ง, ศิริมา เอมวงษ์, ไพฑูรย์ เกิดพร้อม และ แวอิลีส บินโซดาโอะ, 2552) ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1,000 – 1,200 องศาเซลเซียส ต้องใช้พลังงานสูง (German, 2014)

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการผลิตชั้นตกแต่งคล้ายหินจากกากดินขาวจังหวัดลำปางโดยการผสมระหว่างวัสดุมวลรวมกับวัสดุพอลิเมอร์ โดยมีวิธีการที่ไม่ซับซ้อนและประหยัดพลังงาน เป็นการสร้างมูลค่าให้กับกากดินขาวซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมให้เกิดประโยชน์ทางด้านพาณิชย์กรรม และยังเป็น การช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรวมถึงผลกระทบต่อชุมชน

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อเสนอแนวทางในการเพิ่มมูลค่าของกากดินขาวซึ่งเป็นขยะอุตสาหกรรม ไปเป็นมวลรวมในชั้นตกแต่งผนังคล้ายหิน

2.2 เพื่อหาคุณสมบัติของชั้นตกแต่งผนังคล้ายหิน ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพ ความหนาแน่น ความสามารถในการยึดเกาะ ความแข็งแรงและการลามไฟ

3. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 แนวคิดการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการทดลองการขึ้นรูปวัสดุตกแต่งผนังคล้ายหินดังแสดงในรูปที่ 1 โดยใช้กากดินขาวซึ่งทำการคัดให้มีขนาดต่าง ๆ เป็นวัตถุดิบหลัก ผสมกับพอลิเมอร์ชนิดต่าง ๆ คือ พอลิยูรีเทน ซิลิโคน และอีพ็อกซีโดยการนำกากดินขาวขนาดต่าง ๆ ผสมกับพอลิเมอร์แต่ละชนิดตามอัตราส่วนและนำไปหล่อขึ้นรูปที่อุณหภูมิห้องจากนั้นนำไปหา ลักษณะเฉพาะทางกายภาพทดสอบความความแข็งแรงภายใต้แรงดึง ความแข็งแรงในการยึดเกาะภายใต้แรงเฉือน ความแข็งแรงด้วยการกระแทกแบบชาร์ลปี และการวิเคราะห์การดูดกลืนของแสงศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของชั้นตกแต่งแต่ละชนิดเพื่อหาวัสดุที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตวัสดุตกแต่งผนังคล้ายหินสำหรับงานตกแต่งภายใน



รูปที่ 1 ตัวอย่างการตกแต่งผนังคล้ายหิน

3.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องการวิจัย

3.2.1 กากดินขาว

กากดินขาวมีลักษณะทางกายภาพคล้ายทรายละเอียด เป็นผงสีขาว เนื้อละเอียด มีอนุภาคใหญ่กว่า 45 ไมโครเมตร แสดงในรูปที่ 2 เมื่อผสมน้ำจะตกตะกอนอย่างรวดเร็ว ไม่มีความเหนียวเกิดจากกระบวนการผลิตแร่ดินขาวในขั้นตอนของกระบวนการล้างดิน (อดุลย์ ทรายตัน, 2558) กากดินขาวมีองค์ประกอบหลักเป็นซิลิกาและอลูมินา และ มีองค์ประกอบรองอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 2 กากดินขาว
ที่มา: อดุลย์ ทรายตัน (2558)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของกากดินขาว

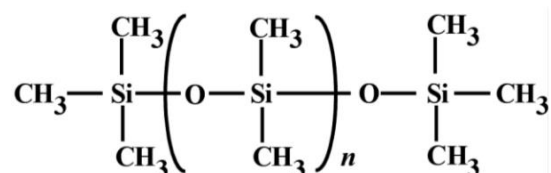
Constituents Raw materials	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	*LOI
Kaolin residue	52.68	33.57	0.93	0.08	5.72	0.12	6.75

*LOI = การสูญเสียโดยน้ำหนัก

ที่มา: Brasileiro, Rodrigues, Menezes, Neves, and Santana (2012)

3.2.2 ซิลิโคน

ซิลิโคนเป็นกลุ่มพอลิเมอร์สังเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลหลักคือพันธะของซิลิคอนกับออกซิเจน ซึ่งอะตอมของซิลิคอนยังสร้างพันธะกับกลุ่มอินทรีย์ตัวอื่น ๆ อาทิ กลุ่มเมทิลและเมื่อเกิดเป็นหน่วยซ้ำ ๆ กันเรียกว่า พอลิไซลอกเซน (Polysiloxanes) ดังแสดงในรูปที่ 3 ซิลิโคนเป็นสารที่มีหลายสถานะและหลายรูปแบบ เช่น ของเหลว ของแข็ง เจล คุณสมบัติที่โดดเด่นของซิลิโคนคือมีความยืดหยุ่นสูง (Patterson, 1998) แต่มีข้อด้อยคือความแข็งแรงต่ำ ทำให้ซิลิโคนถูกใช้ในงานที่ไม่ต้องการความแข็งแรง เช่น การใช้อุดรอยร้าวหรือรอยต่อบนผนัง

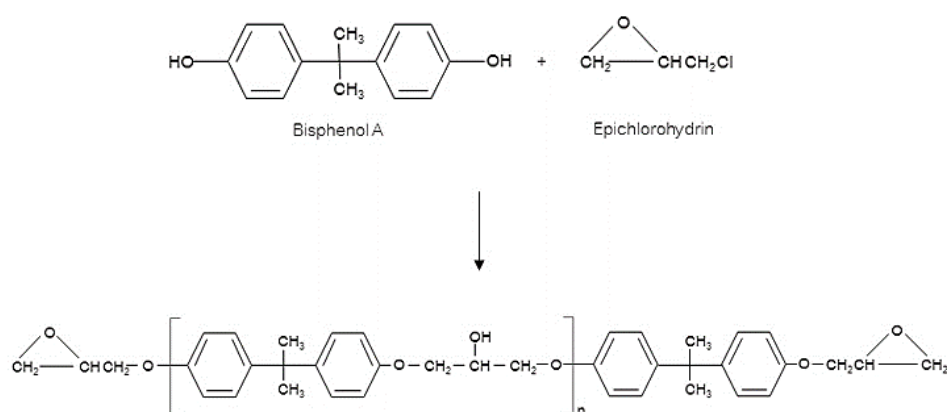


รูปที่ 3 โครงสร้างโมเลกุลของพอลิไดเมทิลไซลอกเซน (Polydimethylsiloxane)

ที่มา: Patterson (1998)

3.2.3 อีพ็อกซี

อีพ็อกซีเป็นพอลิเมอร์ที่จัดในกลุ่มเทอร์โมเซตติง เมื่อผ่านกระบวนการผลิตในครั้งแรกแล้วจะไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ อีพ็อกซีเป็นโคพอลิเมอร์ ประกอบด้วยมอนอเมอร์ 2 ชนิดขึ้นไป อีพ็อกซีได้จากการเกิดปฏิกิริยาของ Bisphenol A กับ Epichlorohydrin Monomer ดังแสดงในรูปที่ 4 และสารเพิ่มความแข็งซึ่งเป็นประเภทพอลิเอไมด์ อีพ็อกซีมีคุณสมบัติเด่นคือเป็นตัวประสานได้ดี ทนต่อการกระแทกและต่อความเป็นกรดและด่างได้ดี (Jin et al., 2015) แต่มีความเปราะเมื่อเทียบกับซิลิโคน ทำให้มีการนำอีพ็อกซีไปใช้ในงานการปกป้องผิววัสดุ เช่น เคลือบผิวพื้นโรงงานอุตสาหกรรม

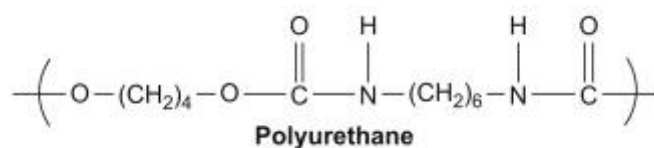


รูปที่ 4 โครงสร้างโมเลกุล Diglycidyl Ether of Bisphenol-A

ที่มา: Jin, Li and Park (2015)

3.2.4 พอลิยูรีเทน

พอลิยูรีเทน (Polyurethane) หรือเรียกอีกอย่างว่า ฟิยู (PU) ผลิตจากปฏิกิริยาของโพลีออลกับไดไอโซไซยาเนตหรือโพลีเมอร์ไอโซไซยาเนต โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม พอลิยูรีเทนส่วนใหญ่เป็นพลาสติกชนิดเทอร์โมเซต คือไม่สามารถหลอมเหลวและขึ้นรูปใหม่ได้สามารถทนต่อสารเคมีและการขีดข่วนได้ดี (Reghunadhan and Thomas, 2017) โดยปกติพอลิยูรีเทนจะถูกใช้งานคล้ายกับอีพ็อกซี เช่น การเคลือบผิวพื้นคอนกรีต พื้นไม้ เป็นต้นซึ่งโครงสร้างของพอลิยูรีเทนแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 โครงสร้างโมเลกุลของพอลิยูรีเทน

ที่มา: Heath and Cooper (2013)

3.2.5 การใช้หินธรรมชาติในงานตกแต่งภายใน

หินธรรมชาติมีหลากหลายประเภท การใช้หินธรรมชาติในการตกแต่งภายในควรพิจารณาคุณสมบัติอย่างระมัดระวัง หินบางประเภทมีความเป็นรูพรุนจึงทำให้เปื้อนง่าย เช่น หินปูนและมีความอ่อนไม่เหมาะกับการตกแต่งพื้นสำหรับการติดตั้งวัสดุตกแต่งที่เป็นหินธรรมชาติต้องยึดติดให้มั่นคงและต้องดูแลเป็นพิเศษ ส่วนลวดลายของหินอาจจะไม่เหมือนกันซึ่งอาจจะแตกต่างกันหากนำมาจากแหล่งผลิตที่ต่างกัน และถ้าหากมีการซ่อมแซมภายหลังลวดลายของหินตกแต่งนั้นอาจจะไม่เหมือนเดิม (Dodsworth, 2009)

4. วิธีการวิจัย เครื่องมือวิจัย และระเบียบวิธีวิจัย

4.1 วิธีการวิจัยและเครื่องมือวิจัย

โครงการวิจัยนี้จะถูกแบ่งออกเป็น 3 เฟส

เฟสที่ 1 เป็นการเตรียมวัตถุดิบก่อนการผสมกับพอลิเมอร์ ซึ่งประกอบไปด้วย

1. การเก็บตัวอย่างกากดินขาวจากโรงงานผลิตดินขาวในจังหวัดลำปาง โดยในงานวิจัยนี้ ได้ใช้กากดินขาวจากห้างหุ้นส่วนจำกัด อภิโชค
2. การแยกขนาดกากดินขาว โดยการนำกากดินขาวมาแยกขนาดด้วยตะแกรง 3 ขนาดคือ 40 70 และ 140 Mesh เพื่อเลือกกากดินขาวที่มีขนาดที่เหมาะสมสำหรับการเป็นมวลรวมในชั้นตกแต่งผนังคล้ายหิน
3. เปรียบเทียบลักษณะของกากดินขาวแต่ละขนาดด้วยตาเปล่า โดยกากดินขาวที่เหมาะสมที่จะนำไปผลิตชั้นตกแต่งผนังคล้ายหิน ต้องแสดงพื้นผิวที่มีลักษณะคล้ายหินที่ชัดเจน

เฟสที่ 2 การผลิตและเตรียมตัวอย่างของชั้นผิวคล้ายหินโดยการผสมกากดินขาวที่มีอนุภาคขนาดต่าง ๆ กับพอลิเมอร์ 3 ชนิดคือ พอลิยูรีเทน ซิลิโคน และอีพ็อกซีตามอัตราส่วนที่กำหนดเพื่อหาวัตถุดิบที่เหมาะสมในการผลิตชั้นตกแต่งผนังคล้ายหินโดยการวิเคราะห์และเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ วิเคราะห์ลักษณะลวดลายด้วยตาเปล่า วิเคราะห์สี วิเคราะห์ความแข็งแรงในการยึดเกาะกับผนัง วิเคราะห์การทนต่อแรงกระแทก และวิเคราะห์การลามไฟ

เฟสที่ 3 การทดสอบและหาคุณสมบัติของชั้นตกแต่งผนังคล้ายหินซึ่งได้แก่

- การวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของสีชิ้นงานหลังจากการเติมพอลิเมอร์แต่ละชนิด ในงานวิจัยนี้ ได้ใช้เครื่อง UV-Visible Spectroscopy
- การทดสอบความแข็งแรงในการยึดเกาะภายใต้แรงดึงการทดสอบความแข็งแรงในการยึดเกาะภายใต้แรงเฉือนโดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine TM 115 ESSOM
- การทดสอบความเหนียวของชิ้นงานด้วยการทดสอบแรงกระแทกแบบชาร์ลปี รุ่น TM232 ESSOM
- การทดสอบการลามไฟตามมาตรฐาน UL94

4.2 ลำดับขั้นตอนการเตรียมชั้นตกแต่งผนัง

4.2.1 การเตรียมกากดินขาว

นำกากดินขาวมาล้างเพื่อเอาเศษสิ่งเจือปนและคัดขนาดโดยการร่อนบนตะแกรงแบบเปียกโดยใช้ตะแกรงเบอร์ 40 70 และ 140 Mesh นำกากดินขาวที่ผ่านการคัดแยกขนาดแล้วไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในขั้นตอนนี้จะได้อากดินขาว 3 ขนาดคือ อนุภาคกากดินขาวขนาดโตกว่า 425 μm อนุภาคกากดินขาวที่มีขนาดระหว่าง 425 – 212 μm และอนุภาคกากดินขาวที่มีขนาดระหว่าง 211 – 106 μm วิเคราะห์และเปรียบเทียบลักษณะพื้นผิวและลวดลายของกากดินขาวแต่ละขนาดด้วยตาเปล่า

4.2.2 การเตรียมชั้นตกแต่งผนังคล้ายหิน

นำกากดินขาวจากขั้นตอนที่ 4.1.1 ผสมกับพอลิเมอร์ทั้ง 3 ชนิดคือ พอลิยูรีเทน ซิลิโคนและอีพ็อกซีในอัตราส่วน กากดินขาวต่อพอลิเมอร์เท่ากับ 2 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก หล่อในแบบขนาด กว้างxยาวxหนา เท่ากับ 3x6x0.5 เซนติเมตร และทิ้งให้แข็งตัวที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 8 ชั่วโมง แล้วทำการหาคุณสมบัติของชั้นตกแต่งผนังคล้ายหินแต่ละชนิดตามวิธีที่แสดงในข้อ 4.2.3

4.2.3 การหาคุณสมบัติและการทดสอบชั้นตกแต่งผนังคล้ายหิน

4.2.3.1 ลักษณะพื้นผิว

นำชิ้นงานที่ได้มาศึกษาเชิงเปรียบเทียบในด้านลักษณะพื้นผิว ลวดลาย โดยการสังเกตจากตาเปล่า ว่าชิ้นงานที่ได้มีลวดลายคล้ายหินธรรมชาติตามที่ต้องการหรือไม่

4.2.3.2 องค์ประกอบของภาคดินขาวโดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

นำตัวอย่างภาคดินขาวที่ตัดขนาดแล้วจากข้อ 4.1.1 ทำการหาองค์ประกอบโดยใช้เครื่อง D8 ADVANCE Bruker ค่ามุมที่ต้องการวัดสารตัวอย่างระหว่าง 10-60 องศา แล้วนำรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่ได้เปรียบเทียบกับรูปแบบมาตรฐานโดยใช้โปรแกรม X' Pert High Score Plus เพื่อหาองค์ประกอบ โดยภาคดินขาวควรมีหินควอตซ์เป็นองค์ประกอบหลักและมีดิน (clay) ในองค์ประกอบน้อยที่สุด เนื่องจากจะทำให้สีของชั้นตกแต่งเปลี่ยนไป ทำให้ไม่เห็นลวดลายที่ชัดเจน

4.2.3.3 การวิเคราะห์พฤติกรรมการดูดกลืนสีด้วยเครื่องมือ UV-Vis Spectrophotometer

ทำการทดสอบการดูดกลืนแสงในช่วง 400 ถึง 700 นาโนเมตร โดยใช้เครื่องทดสอบ UV-Vis Spectrophotometer รุ่น SPECORD 50 PLUS บันทึกข้อมูลและคำนวณหาค่าเปลี่ยนแปลงของสี ดังสมการ 4.1

$$\Delta E *_{ab} = \sqrt{(L *_{2} - L *_{1})^2 + (a *_{2} - a *_{1})^2 + (b *_{2} - b *_{1})^2} \quad (4.1)$$

เมื่อ L^* คือ ค่า ความสว่าง (lightness) จากค่า $+L^*$ แสดงถึงสีขาว จนถึง $-L^*$

a^* คือ ค่า แกนสีจากเขียว ($-a^*$) ไปจนถึงแดง ($+a^*$)

b^* คือ ค่า แกนสีจากน้ำเงิน ($-b^*$) ไปเหลือง ($+b^*$)

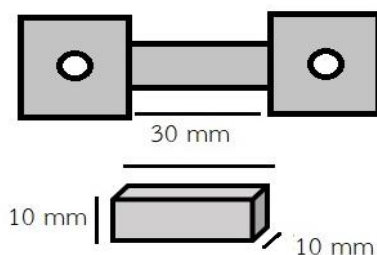
X_1 แทนค่าของชิ้นงานมาตรฐาน

X_2 แทนค่าของชิ้นงานที่นำมาเปรียบเทียบ

ค่า ΔE แสดงถึงค่าสีที่เปลี่ยนแปลงไปของภาคดินขาวก่อนและหลังผสมกับพอลิเมอร์ โดยค่า ΔE ควรจะมีค่าเข้าใกล้ 0

4.2.3.4 การทดสอบความแข็งแรงในการยึดเกาะภายใต้แรงดึง

ก) ขึ้นรูปชิ้นงานโดย ให้พื้นที่รับแรงมีขนาด $10 \times 10 \text{ mm}^2$ ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ลักษณะชิ้นงานในการทดสอบความแข็งแรงในการยึดเกาะภายใต้แรงดึง

ข) นำชิ้นงานทดสอบแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์บันทึกแรงดึง โดยมีหน่วยเป็นนิวตัน (N)

ค) นำแรงดึงที่บันทึกได้ คำนวณหาความแข็งแรงในการยึดเกาะภายใต้แรงดึง ตามสูตรคำนวณ(Callister and Rethwisch, 2014) ดังสมการ 4.2

$$\text{กำลังการยืดเกาะภายใต้แรงดึง (MPa)} = \frac{F}{A} \quad (4.2)$$

เมื่อ $T_{\max}$ คือ แรงสูงสุด (N)

A คือ พื้นที่ในการรับแรงทดสอบ (mm^2)

4.2.3.5 การทดสอบความแข็งแรงในการยึดเกาะภายใต้แรงเฉือน

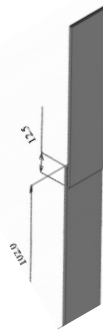
ก) นำชิ้นงานขึ้นรูปขนาด $5 \times 5 \times 0.5$ เซนติเมตรและติดกับแผ่นเหล็ก 2 ชั้นดังรูปที่ 7 เพื่อทดสอบแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ TM 115 ESSOM บันทึกแรงดึง โดยมีหน่วยเป็นนิวตัน (N)

ข) นำแรงดึงที่บันทึก คำนวณหาความแข็งแรงในการยึดเกาะภายใต้แรงดึง ดังสมการ 4.3

$$\text{กำลังการยึดเกาะภายใต้แรงดึง (MPa)} = \frac{P_{\max}}{A} \quad (4.3)$$

เมื่อ $P_{\max}$ คือ แรงสูงสุด (N)

A คือ พื้นที่ในการรับแรงในแนวนอนกับการทดสอบ (mm^2)



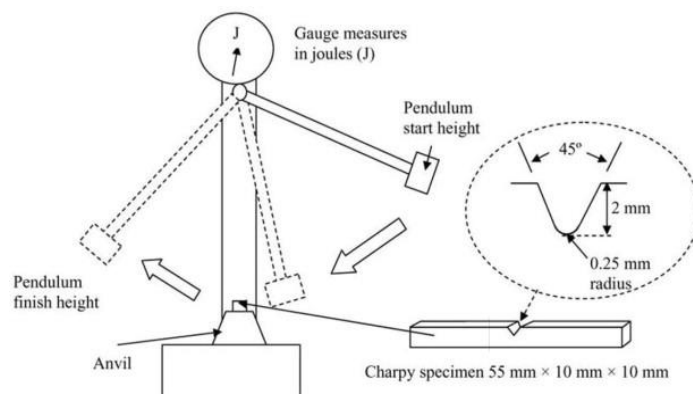
รูปที่ 7 ลักษณะการทดสอบความแข็งแรงในการยึดเกาะของชิ้นงาน

ที่มา: Garcia, Leyva, Queiroz and Simões (2011)

4.2.3.6 การทดสอบความเหนียวของชิ้นงานด้วยการทดสอบแรงกระแทกแบบชาร์ลปี

ก) นำชิ้นงานขึ้นรูปเป็นลักษณะแท่งสี่เหลี่ยมขนาด $1 \times 1 \times 5.5$ เซนติเมตรและมีรอยบากแบบ V Shape ดังรูปที่ 8

ข) นำชิ้นงานเข้าเครื่องทดสอบแรงกระแทกแบบชาร์ลปี บันทึกการดูดซับพลังงาน (Joule)



รูปที่ 8 การทดสอบแรงกระแทกแบบชาร์ลปีและลักษณะชิ้นงานที่มีรอยบากแบบ V-Shape

และลักษณะการวางชิ้นงานให้รอยบากตรงกันข้ามกับลูกตุ้ม

ที่มา: Hughes (2009)

4.3 สมมติฐานงานวิจัย

4.3.1 สามารถผลิตชั้นตกแต่งผนังจากกากดินขาวผสมกับพอลิเมอร์ คือ พอลิยูรีเทน ซิลิโคน หรืออีพ็อกซีได้

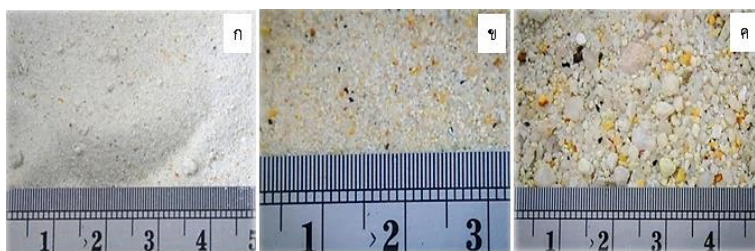
4.3.2 ขนาดอนุภาคของกากดินขาวมีผลต่อลักษณะทางกายภาพ ความแข็งแรง และกำลังการยึดเกาะของชั้นตกแต่งผนังคล้ายหินที่ใช้กากดินขาวเป็นมวลรวม

4.3.3 ประเภทของพอลิเมอร์มีผลต่อลักษณะทางกายภาพ ความแข็งแรง และกำลังการยึดเกาะของชั้นตกแต่งผนังคล้ายหินที่ใช้กากดินขาวเป็นมวลรวม

5. ผลการศึกษา

5.1 ลักษณะทางกายภาพของกากดินขาว

ลักษณะทางกายภาพของกากดินขาวซึ่งมีขนาดระหว่าง 106 – 211 ไมครอน แสดงในรูป 9-ก พบว่ากากดินขาวมีลักษณะมีสีขาวเนื้อละเอียด และมีสิ่งเจือปนในปริมาณเล็กน้อย มีสีคล้ายหินควอตซ์ธรรมชาติแต่แสดงลวดลายที่ไม่ชัดเจนรูปที่ 9-ข แสดงลักษณะทางกายภาพของกากดินขาวซึ่งมีขนาดระหว่าง 212 – 425 ไมครอน พบว่ากากดินขาวมีสีขาวเนื้อหยาบ ขนาดเกรนประมาณ 2 มิลลิเมตรและมีเกรนสีเหลืองกระจายอย่างสม่ำเสมอ จึงทำให้แสดงลวดลายเกิดขึ้นชัดเจนกว่า จึงน่าจะเหมาะสมสำหรับการผลิตชั้นตกแต่งมากที่สุด ขณะที่กากดินขาวซึ่งมีขนาดโตกว่า 425 ไมครอน ในรูป 9-ค จะสังเกตได้ว่ากากดินขาวมีสีขาวเหลือง เกรนมีขนาดใหญ่จึงทำให้เกิดลวดลายที่ชัดเจนมากขึ้น โดยมีลวดลายคล้ายหินแกรนิต อย่างไรก็ตามกากดินขาวที่มีขนาดใหญ่อาจจะมีปัญหาในเรื่องความสม่ำเสมอเมื่อผสมกับตัวประสานพอลิเมอร์



รูปที่ 9 ลักษณะทางกายภาพของกากดินขาว (ก) กากดินขาวที่มีขนาดระหว่าง 106 - 211 ไมครอน (ข)

กากดินขาวที่มีขนาดระหว่าง 212 – 425 ไมครอน (ค) กากดินขาวที่ขนาดมากกว่า 425 ไมครอน

5.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของกากดินขาวด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

ตารางที่ 2 แสดงอัตราส่วนขององค์ประกอบที่มีอยู่ในกากดินขาวขนาดต่าง ๆ จากเทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์

อัตราส่วน ขนาด (μm)	Quartz low, syn (ร้อยละ)	Muscovite (ร้อยละ)	Albite (ร้อยละ)	Montorillonite (ร้อยละ)
> 425	95	2	2	1
212 - 425	96	-	3	1
106- 211	91	-	9	-

ตารางที่ 2 แสดงองค์ประกอบของของกากดินขาวขนาดต่าง ๆ จะเห็นได้ว่ากากดินขาวประกอบไปด้วยหินควอตซ์มากกว่าร้อยละ 91 อนุภาคกากดินขาวที่เห็นเป็นสีขาวคือควอตซ์ที่ไม่มีมลทินเจือปนอยู่เลย ขณะที่อนุภาคอื่น ๆ ที่เป็นสีส้มอาจจะเป็นมัสโคไวต์ แอลไบต์และมอนต์มอริลโลไนท์ เมื่ออยู่ร่วมกันจึงทำให้มีลักษณะผิวคล้ายหิน

5.3 ลักษณะพื้นผิวชั้นตบแต่งผนังหลังการขึ้นรูปโดยการสังเกตด้วยตาเปล่า

รูปที่ 10 แสดงลักษณะชั้นตบแต่งผนังที่ได้จากการผสมอนุภาคกากดินขาวขนาดต่าง ๆ กับพอลิยูรีเทน จะเห็นได้ว่าหากใช้กากดินขาวที่ขนาดอนุภาคมากกว่า 425 ไมครอน ชั้นงานมีลวดลายคล้ายหินมีรูปทรงจำนวนมาก มีเนื้อพื้นหลักและเนื้อพื้นรองที่ชัดเจน มีสีอื่น ๆ เจือปน ทำให้ลวดลายคล้ายหินธรรมชาติมากที่สุด ขณะที่กากดินขาวที่มีขนาดเล็กกว่า 425 ไมครอนไม่แสดงลวดลายที่ชัดเจน ซึ่งให้เห็นว่ากากดินขาวที่มีขนาดโตกว่า 425 ไมครอน เหมาะสมที่จะนำไปใช้ขึ้นรูปชั้นตบแต่งผนังร่วมกับพอลิยูรีเทนมากที่สุด



รูปที่ 10 ลักษณะพื้นผิวชั้นงานหลังการขึ้นรูปของอนุภาคกากดินขาวขนาดต่าง ๆ ผสมกับพอลิยูรีเทน

- (ก) ผสมกากดินขาวขนาด 106 - 212 ไมครอน (ข) ผสมกากดินขาวขนาด 212 - 425 ไมครอน
(ค) ผสมกากดินขาวขนาดมากกว่า 425 ไมครอน

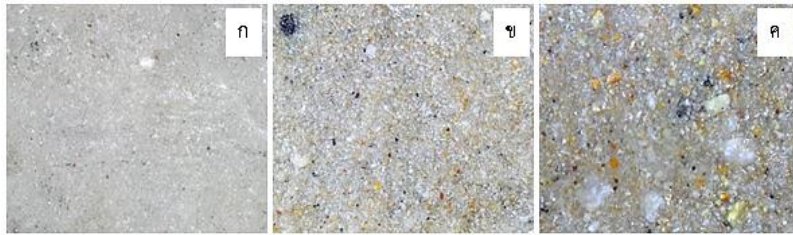
รูปที่ 11 แสดงพื้นผิวของชั้นตบแต่งผนังที่ได้จากการผสมกากดินขาวอนุภาคต่าง ๆ กับซิลิโคน จะสังเกตได้ว่าชั้นงานมีลักษณะผิวเรียบ มีรูปทรงเกิดขึ้นบนพื้นผิวชั้นงาน มีลวดลายคล้ายหินธรรมชาติทั้งหมด แต่ให้สีที่ต่างกัน โดยชั้นงานที่ใช้กากดินขาวขนาด 106 - 212 ไมครอน ให้สีเทา ชั้นงานที่ใช้กากดินขาวขนาด 212 - 425 ไมครอน ให้สีน้ำตาล ขณะที่ชั้นงานที่ใช้กากดินขาวขนาดโตกว่า 425 ไมครอน ให้สีน้ำตาลเข้ม



รูปที่ 11 ลักษณะพื้นผิวชั้นงานหลังการขึ้นรูปของอนุภาคกากดินขาวขนาดต่าง ๆ ผสมกับซิลิโคน

- (ก) ผสมกากดินขาวขนาด 106 - 212 ไมครอน (ข) ผสมกากดินขาวขนาด 212 - 425 ไมครอน
(ค) ผสมกากดินขาวขนาดมากกว่า 425 ไมครอน

ลักษณะพื้นผิวชั้นงานหลังการขึ้นรูปของกากดินขาวอนุภาคต่าง ๆ ผสมกับอีพ็อกซีแสดงในรูปที่ 12 พบว่าชั้นงานมีลักษณะผิวเรียบ แสดงลวดลายไม่ชัดเจนเมื่อใช้กากดินขาวขนาด 106 - 212 ไมครอนลักษณะชั้นงานจะแสดงลวดลายมากขึ้นเมื่อใช้กากดินขาวขนาดมากกว่า 212 ไมครอนและชั้นงานแสดงในโทนสีส้ม แสดงให้เห็นว่าชั้นตบแต่งที่ใช้อีพ็อกซีเป็นตัวประสาน ต้องใช้กากดินขาวขนาดโตกว่า 212 ไมครอน เป็นมวลรวม จึงจะแสดงพื้นผิวคล้ายหิน



รูปที่ 12 ลักษณะพื้นผิวชั้นงานหลังการขึ้นรูปของอนุภาคกากดินขาวขนาดต่าง ๆ ผสมกับอีพ็อกซี่

(ก) ผสมกากดินขาวขนาด 106 - 212 ไมครอน (ข) ผสมกากดินขาวขนาด 212 - 425 ไมครอน

(ค) ผสมกากดินขาวขนาดมากกว่า 425 ไมครอน

5.4 การวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของสี

ตารางที่ 3 ความยาวคลื่นที่ถูกดูดซับและค่าการเปลี่ยนแปลงของสีชั้นงานจากกากดินขาวที่ได้รับการผสมพอลิเมอร์

ชนิดพอลิเมอร์	ขนาดอนุภาคกากดินขาว (μm)	ความยาวคลื่นที่ถูกดูดซับ (nm)	ΔL	Δa	Δb	ΔE
ซิลิโคน	106 – 211	471	0.37	0.05	-1.05	1.11
	212 – 425	471	0.84	-0.05	-1.42	1.65
	> 425	464	-1.11	-0.09	-1.39	1.78
พอลิยูรีเทน	106 - 211	474	0.28	0.05	-0.59	0.65
	212 - 425	477	-0.31	-0.15	-1.64	1.67
	> 425	461	-1.96	-0.12	-1.74	2.62
อีพ็อกซี่	106 – 211	467	-0.66	-0.15	-0.83	1.07
	212 – 425	481	-0.12	-0.19	-1.44	1.45
	> 425	485	-1.99	-0.08	-1.61	2.56

ตารางที่ 3 แสดงพฤติกรรมการดูดซับแสงและการแสดงสีของชั้นตกแต่งผนัง จากตารางจะเห็นได้ว่าการดูดซับแสงในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 461 ถึง 485 นาโนเมตร ซึ่งเป็นแสงสีน้ำเงิน จึงทำให้เมื่อมองด้วยตาเปล่าชั้นตกแต่งแสดงเฉดสีออกมาเช่นเดียวกับกากดินขาวเมื่อไม่ผสมพอลิเมอร์ (ดังรูปที่ 9) นอกจากนี้เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของสีของชั้นตกแต่ง (ΔE) เปรียบเทียบกับสีของกากดินขาว โดยคำนวณจาก ΔL ค่าความสว่าง Δa ค่าแกนสีเขียวแดง และ Δb ค่าแกนสีน้ำเงิน-เหลือง ซึ่งคำนวณจากสมการ 5.1

$$\Delta E^2 = \Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2 \quad (5.1)$$

จะเห็นได้ว่ากากดินขาวขนาด 106 – 211 ไมครอน ผสมกับซิลิโคนมีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีมากที่สุด รองลงมาคืออีพ็อกซี่และพอลิยูรีเทน ตามลำดับ ส่วนการใช้กากดินขาวขนาด 212 – 425 ไมครอน พบว่าเมื่อผสมกับพอลิยูรีเทนมีค่าการเปลี่ยนแปลงสีมากที่สุด รองลงมาคือ ซิลิโคน และอีพ็อกซี่ และการใช้กากดินขาวขนาดมากกว่า 425 ไมครอน ร่วมกับพอลิยูรีเทนมีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีมากที่สุด รองลงมาคือ อีพ็อกซี่ และซิลิโคนตามลำดับ

5.5 ความแข็งแรงภายใต้แรงดึงของชั้นตกแต่ง

ตารางที่ 4 ความแข็งแรงภายใต้แรงดึงของชั้นตกแต่งที่ใช้อนุภาคกากดินขาวขนาดต่าง ๆ ที่ผสมกับพอลิยูรีเทน

ชนิดของพอลิเมอร์	ขนาดอนุภาคกากดินขาว (μm)	ค่าแรงดึงเฉลี่ย (MPa)
พอลิยูรีเทนผสมกับกากดินขาว	106 -211	0.68 $\pm$ 0.38
พอลิยูรีเทนผสมกับกากดินขาว	212 – 425	1.37 $\pm$ 0.65
พอลิยูรีเทนผสมกับกากดินขาว	มากกว่า 425	1.88 $\pm$ 0.39

ตารางที่ 5 ความแข็งแรงภายใต้แรงดึงของชั้นตกแต่งที่ใช้อนุภาคกากดินขาวขนาดต่าง ๆ ที่ผสมกับซิลิโคน

ชนิดของพอลิเมอร์	ขนาดอนุภาคกากดินขาว (μm)	ค่าแรงดึงเฉลี่ย (MPa)
ซิลิโคนผสมกากดินขาว	106 -211	0.35 $\pm$ 0.10
ซิลิโคนผสมกากดินขาว	212 – 425	0.31 $\pm$ 0.25
ซิลิโคนผสมกากดินขาว	มากกว่า 425	0.18 $\pm$ 0.02

ตารางที่ 6 ความแข็งแรงภายใต้แรงดึงของชั้นตกแต่งที่ใช้อนุภาคกากดินขาวขนาดต่าง ๆ ที่ผสมกับอีพ็อกซี

ชนิดของพอลิเมอร์	ขนาดอนุภาคกากดินขาว (μm)	ค่าแรงดึงเฉลี่ย (MPa)
อีพ็อกซีผสมกากดินขาว	106 -211	15.36 $\pm$ 3.72
อีพ็อกซีผสมกากดินขาว	212 – 425	3.25 $\pm$ 1.01
อีพ็อกซีผสมกากดินขาว	มากกว่า 425	2.05 $\pm$ 0.67

ตารางที่ 4 ถึง 6 แสดงค่าความแข็งแรงของชั้นตกแต่งผนังชนิดต่าง ๆ จะเห็นได้ว่าชั้นตกแต่งผนังกากดินขาวผสมพอลิยูรีเทนมีค่าความแข็งแรง 0.68 ถึง 1.88 MPa ชั้นตกแต่งผนังกากดินขาวผสมซิลิโคนมีค่าความแข็งแรง 0.18 ถึง 0.35 MPa ส่วนชั้นตกแต่งผนังกากดินขาวผสมอีพ็อกซีมีค่าความแข็งแรง 2.05 ถึง 15.36 MPa ผลการทดสอบดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า วัสดุตกแต่งผนังที่เหมาะสมที่สุดควรจะต้องผลิตจากกากดินขาวผสมกับอีพ็อกซี ทั้งนี้ความแข็งแรงของวัสดุจะขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคของกากดินขาวที่เลือกใช้ โดยที่จากตารางที่ 6 จะเห็นว่าความแข็งแรงของชั้นตกแต่งผนังมีค่าลดลงเมื่อขนาดของกากดินขาวโตขึ้น

5.5 กำลังการยึดเกาะภายใต้แรงเฉือน

ตารางที่ 7 กำลังการยึดเกาะภายใต้แรงเฉือนของอนุภาคกากดินขาวขนาดต่าง ๆ ที่ผสมกับพอลิยูรีเทน

ชนิดของพอลิเมอร์	ขนาดอนุภาคกากดินขาว (μm)	ค่าแรงยึดเกาะเฉลี่ย (MPa)
พอลิยูรีเทนผสมกับกากดินขาว	106 -211	0.31 $\pm$ 0.01
พอลิยูรีเทนผสมกับกากดินขาว	212 – 425	0.45 $\pm$ 0.05
พอลิยูรีเทนผสมกับกากดินขาว	มากกว่า 425	0.76 $\pm$ 0.03

ตารางที่ 8 กำลังการยึดเกาะภายใต้แรงเฉือนของอนุภาคกากดินขาวขนาดต่าง ๆ ที่ผสมกับซิลิโคน

ชนิดของพอลิเมอร์	ขนาดอนุภาคกากดินขาว (μm)	ค่าแรงยึดเกาะเฉลี่ย (MPa)
ซิลิโคนผสมกากดินขาว	106 -211	0.10 $\pm$ 0.02
ซิลิโคนผสมกากดินขาว	212 – 425	0.08 $\pm$ 0.01
ซิลิโคนผสมกากดินขาว	มากกว่า 425	0.07 $\pm$ 0.02

ตารางที่ 9 กำลังการยึดเกาะภายใต้แรงเฉือนของอนุภาคกากดินขาวขนาดต่าง ๆ ที่ผสมกับอีพ็อกซี

ชนิดของพอลิเมอร์	ขนาดอนุภาคกากดินขาว (μm)	ค่าแรงยึดเกาะเฉลี่ย (MPa)
อีพ็อกซีผสมกากดินขาว	106 -211	2.13 $\pm$ 0.05
อีพ็อกซีผสมกากดินขาว	212 – 425	1.74 $\pm$ 0.19
อีพ็อกซีผสมกากดินขาว	มากกว่า 425	1.30 $\pm$ 0.13

ตารางที่ 7 ถึง 9 แสดงค่ากำลังการยึดเกาะของชั้นตกแต่งผนังชนิดต่าง ๆ พบว่าชั้นตกแต่งผนังกากดินขาวผสมพอลิยูรีเทนมีกำลังการยึดเกาะ 0.31 ถึง 0.76 MPa ขณะที่ชั้นตกแต่งผนังกากดินขาวผสมซิลิโคนมีค่ากำลังการยึดเกาะน้อยมากอยู่ที่ 0.07 ถึง 0.10 MPa ส่วนชั้นตกแต่งผนังกากดินขาวผสมอีพ็อกซีมีค่าความแข็งแรง 1.30 ถึง 2.13 MPa ผลการทดสอบดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า วัสดุตกแต่งผนังที่เหมาะสมที่สุดควรจะต้องผลิตจากกากดินขาวผสมกับอีพ็อกซีโดยมีค่ากำลังการยึดเกาะมากกว่า 1 MPa ซึ่งเทียบเท่ามาตรฐาน ISO 13007 (C2) ซึ่งเป็นมาตรฐานสำหรับการติดตั้งแผ่นกระเบื้องเซรามิกทั้งภายในและภายนอกอาคารบนผนังหรือปูพื้น ทั้งนี้ความแข็งแรงของวัสดุจะขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคของกากดินขาวที่เลือกใช้ ซึ่งจากตารางที่ 9 จะเห็นว่าค่ากำลังการยึดเกาะของชั้นตกแต่งผนังลดลงเมื่อขนาดของกากดินขาวโตขึ้น

5.6 ความสามารถในการรับแรงกระแทกของชิ้นงาน

ตารางที่ 10 ตารางแสดงความแข็งแรงของชิ้นงานโดยการทดสอบแรงกระแทกแบบชาร์ลปี

ชนิดของพอลิเมอร์	ขนาดอนุภาคกากดินขาว (μm)	ค่าดูดซับพลังงานเฉลี่ย (Joule)
พอลิยูรีเทนผสมกับกากดินขาว	106 -211	2.13 $\pm$ 0.15
พอลิยูรีเทนผสมกับกากดินขาว	212 – 425	2.30 $\pm$ 0.17
พอลิยูรีเทนผสมกับกากดินขาว	มากกว่า 425	2.73 $\pm$ 0.32
ซิลิโคนผสมกากดินขาว	106 -211	1.00 $\pm$ 0.00
ซิลิโคนผสมกากดินขาว	212 – 425	1.00 $\pm$ 0.00
ซิลิโคนผสมกากดินขาว	มากกว่า 425	1.00 $\pm$ 0.00
อีพ็อกซีผสมกากดินขาว	106 -211	4.30 $\pm$ 0.21
อีพ็อกซีผสมกากดินขาว	212 – 425	4.13 $\pm$ 0.35
อีพ็อกซีผสมกากดินขาว	มากกว่า 425	3.70 $\pm$ 0.44

ตารางที่ 10 แสดงความต้านทานต่อการกระแทก จะเห็นว่าชั้นตกแต่งผนังที่ผลิตจากกากดินขาวผสมกับอีพ็อกซีมีความต้านทานต่อการกระแทกสูงสุด ซึ่งเหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นชั้นตกแต่งผนังคล้ายหินมากที่สุด

5.7 การลามไฟ

ตารางที่ 11 ตารางแสดงระดับการลามไฟตามมาตรฐาน UL94

ประเภทของชั้นตกแต่ง	ระดับการลามไฟตาม มาตรฐาน UL94	คำอธิบาย
พอลิยูรีเทนผสมกับ กากดินขาว	HB	วัสดุได้รับการทดสอบในแนวนอนและพบว่าการเผาไหม้ในอัตราน้อยกว่าที่กำหนดไว้สูงสุด
ซิลิโคนผสมกากดิน ขาว	V-1	วัสดุได้รับการทดสอบในแนวตั้งและดับตัวภายในเวลาที่กำหนดหลังจากที่แหล่งกำเนิดไฟถูกนำออกและไม่พบการหยดติดไฟ
อีพ็อกซีผสมกากดิน ขาว	HB	วัสดุได้รับการทดสอบในแนวนอนและพบว่าการเผาไหม้ในอัตราน้อยกว่าที่กำหนดไว้สูงสุด

ตารางที่ 11 แสดงพฤติกรรมการลามไฟของชั้นตกแต่งผนังคล้ายหินทั้ง 3 ชนิด การทดสอบการลามไฟมีสองแบบคือการทดสอบในแนวตั้งและในแนวนอน การลามไฟในแนวตั้งเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าในแนวนอน ดังนั้นวัสดุที่ผ่านการทดสอบในแนวตั้ง ไม่จำเป็นต้องทดสอบในแนวนอนอีก จากตารางที่ 11 จะเห็นว่าชั้นตกแต่งผนังกากดินขาวผสมกับซิลิโคนมีพฤติกรรมการลามไฟที่ดีที่สุดคือ สามารถผ่านการทดสอบการลามไฟในแนวตั้งมาตรฐาน V-1 ส่วนกากดินขาวผสมกับ

พอลิยูรีเทนหรืออีพ็อกซีได้ระดับมาตรฐานการลามไฟเมื่อทดสอบในแนวนอนที่ระดับ HB อย่างไรก็ตาม เราสามารถปรับปรุงพฤติกรรมการลามไฟได้โดยการเติมสารเติมแต่งจำพวกสารหน่วงไฟ (Flame Retardant) ผสมลงในพอลิเมอร์ได้

6. การอภิปรายผล สรุป และข้อเสนอแนะ

6.1 การอภิปรายผล สรุป

จากงานวิจัยนี้สรุปได้ว่า ชั้นตกแต่งทั้งสามชนิดมีการดูดซับของแสงที่ 485 นาโนเมตร ทำให้ชั้นตกแต่งคล้ายหินมีลักษณะลวดลายเจดสีส้ม ความเข้มสีและผิวสัมผัสคล้ายหินมากขึ้นเมื่อผสมกากดินขาวที่มีขนาดใหญ่ขึ้น สำหรับงานวิจัยนี้ใช้กากดินขาวที่มีขนาดมากกว่า 425 ไมครอน เป็นมวลรวมจะได้ชั้นตกแต่งที่มีสีและลวดลายคล้ายหินมากที่สุด สำหรับการนำไปใช้งานตกแต่งผนังภายในนั้นทั้งเจดสีและลวดลายที่ได้จากการผสมกากดินขาวขนาดต่าง ๆ ให้ความรู้สึกจากการมองด้วยตาเปล่าที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับความชอบส่วนบุคคล โทนสีที่ได้คือ Earth Tone ให้ความรู้สึกแบบธรรมชาติ จึงเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับการออกแบบตกแต่งผนังภายในที่ให้ความรู้สึกแตกต่างจากการทาสีธรรมดาทั่วไป

ชั้นตกแต่งซึ่งใช้กากดินขาวผสมกับพอลิยูรีเทน พบว่ามีค่าต้านทานแรงดึงอยู่ระหว่าง 0.68 – 1.88 เมกะปาสคาล และมีค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะอยู่ระหว่าง 0.31 – 0.76 เมกะปาสคาล การใช้กากดินขาวผสมซิลิโคนมีค่าต้านทานแรงดึงอยู่ในช่วงระหว่าง 0.18– 0.35 เมกะปาสคาล และมีความแข็งแรงในการยึดเกาะมีค่าระหว่าง 0.07–0.10 เมกะปาสคาล ขณะที่ชั้นตกแต่งซึ่งใช้กากดินขาวผสมอีพ็อกซี มีค่าต้านทานแรงดึงอยู่ในช่วงระหว่าง 2.05–15.36 เมกะปาสคาล และมีค่าแข็งแรงในการยึดเกาะอยู่ในช่วงระหว่าง 1.30–2.13 เมกะปาสคาลสรุปได้ว่าชั้นตกแต่งที่ใช้กากดินขาวผสมกับอีพ็อกซี มีความแข็งแรงสูงที่สุด รองลงมาคือกากดินขาวผสมพอลิยูรีเทน และกากดินขาวผสมซิลิโคน ตามลำดับ ดังนั้นกากดินขาวผสมอีพ็อกซีจึงเหมาะแก่การผลิตชั้นตกแต่งผนังคล้ายหินมากที่สุด งานวิจัยนี้ทำให้ทราบว่าคุณสมบัติของกากดินขาวที่ผสมอีพ็อกซีนั้นมีค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะและค่าต้านทานแรงดึงเพียงพอต่อการนำไปใช้ตกแต่งผนังมากกว่าการกากดินขาวที่ผสมซิลิโคนหรือพอลิยูรีเทนซึ่งมีค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะและค่าต้านทานแรงดึงต่ำเกินไปแต่อย่างไรก็ตามกากดินขาวที่ผสมอีพ็อกซีสามารถนำไปใช้ขึ้นรูปตกแต่งภายในผนังห้องทั่ว ๆ ไปที่มีสภาวะอุณหภูมิห้องปกติ และอาจจะยังไม่เหมาะต่อการนำไปใช้ตกแต่งผนังภายนอกอาคาร เนื่องจากต้องศึกษาผลกระทบจากสภาพแวดล้อมภายนอกเพิ่มเติม เช่น การต้านทานความร้อนจากแสงแดด ความชื้น การต้านทานแรงลม เป็นต้น

การใช้พอลิยูรีเทน ซิลิโคน หรืออีพ็อกซีในการเป็นตัวประสานการขึ้นรูปชั้นตกแต่งสามารถใช้ขึ้นรูปได้ในอุณหภูมิห้อง และไม่ลามไฟ สามารถขึ้นรูปได้ด้วยแปรงซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน จึงเหมาะสมต่อการนำไปใช้ตกแต่งผนังภายในอาคาร ดังนั้นกากดินขาวที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งในโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องจัดการ (เกษสุดา ดอนเมือง, 2558; พลุยุทธ สุขสมบัติ และคณะ, 2559) จึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตชั้นตกแต่งผนังคล้ายหินและสามารถทดแทนการตกแต่งด้วยหินธรรมชาติที่มีการใช้งานค่อนข้างจำกัด (Dodsworth, 2009)

6.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับการตกแต่งภายในนั้นนอกจากการตกแต่งผนังแล้ว ยังสามารถศึกษาเพิ่มเติมเพื่อการตกแต่งพื้นและฝ้าเพดานได้ด้วย และนอกจากกากดินขาวแล้วยังมีวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมอีกหลายชนิดที่น่าจะนำมาใช้ผสมกับพอลิเมอร์เพื่อใช้สำหรับงานตกแต่งอาคารได้เช่นกัน กรณีที่ควรศึกษาเพิ่มคือ วิธีการขึ้นรูปที่รวดเร็วขึ้น และสามารถควบคุมคุณภาพได้ ซึ่งนอกจากการขึ้นรูปชั้นตกแต่งผนังคล้ายหินด้วยแปรงแล้ว ควรศึกษาการขึ้นรูปด้วยวิธีการพ่นด้วยอุปกรณ์ที่เป็นมาตรฐานทั่วไปด้วย

เอกสารอ้างอิง

- เกษสุตา ดอนเมือง. (2558). การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของดินที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก. เข้าถึงได้จาก: <http://library.dip.go.th/multim6/ebook/2559/DIP%20%E0%B8%81%E0%B8%AA%E0%B8%AD5%20%E0%B8%81101%E0%B8%82.pdf>.
- ธิติมา คุณยศยิ่ง, ศิริมา เอมวงษ์, ไพฑูรย์ เกิดพร้อม และแวอิลีส บินโซดาโอะ. (2552). การศึกษาการลดน้ำหนักเนื้อดินสำหรับการประดิษฐ์เครื่องประดับเซรามิก โดยการเติมวัสดุชนิดเผาใหม่ได้. วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง. 2(1), 50-61.
- พลยุทธ สุขสมิตติ, วิวัฒน์ ไตรธิกุล, วรลักษณ์ เพชรรักษ์, สุทธิณี จารุมาศ, อมรรัตน์ ร่มพล, ยงยุทธ นพนิช และทิวา พวงไสว. (2559). โครงการศึกษาวิจัยประสิทธิภาพการทำเหมืองแร่และการแต่งแร่ดินขาว จังหวัดลำปาง. สำนักงานอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ เขต 3. เข้าถึงได้จาก: http://library.dmr.go.th/Document/DMR_Technical_Reports/2559/1969.pdf.
- อดุลย์ ทรายตัน. (2558). ประโยชน์ของกากดินขาวลำปางต่อสมบัติเชิงกลของเนื้อดินเอิร์ทเทินแวร์ (USE OF LAMPANG WHITE CLAY RESIDUAL FORMECHANICAL PROPERTY OF EARTHENWARE CLAY). วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี). 6(12), 163-175.
- Brasileiro, M. I., Rodrigues, A. W. B., Menezes, R. R., Neves, G. A., and Santana, L. N. L. (2012). **The Kaolin Residue and Its Use for Production of Mullite Bodies**. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/221926193_The_Kaolin_Residue_and_Its_Use_for_Production_of_Mullite_Bodies.
- Callister, D. C. and Rethwisch, D. G. (2014). **Materials Science and Engineering**. 9th ed. New York: Wiley.
- Dodsworth, S. (2009). **The Fundamentals of Interior Design**. New York: Boomsbury Publishing.
- Garcia, F. G., Leyva, M. E., Queiroz, A. A. A., and Simões, A. Z. (2011). Durability of adhesives based on different epoxy/aliphatic amine networks. **International Journal of Adhesion and Adhesives**. 31(4), 177-181.
- German, R. (2014). Chapter Two - History of Sintering. In R. M. German (Ed.), **Sintering: from Empirical Observations to Scientific Principles**. (pp. 13-40). Boston: Butterworth-Heinemann.
- Heath, D. and Cooper, S. (2013). A - Polyurethanes. In B. D. Ratner, A. S. Hoffman, F. J. Schoen, and J. E. Lemons (Eds.). **Biomaterials Science**. 3rd ed. (pp. 79-82). California: Academic Press.
- Hughes, S. (2009). Chapter 6 - Non-destructive and Destructive Testing. In S. E. Hughes (Ed.), **A Quick Guide to Welding and Weld Inspection**. (pp. 67-87). New York: Woodhead Publishing.
- Jin, F., Li, X., and Park, S. (2015). Synthesis and application of epoxy resins: A review. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**. 29, 1-11.
- Patterson, R. (1998). 9 - Silicones. In S. H. Goodman (Ed.). **Handbook of Thermoset Plastics**. 2nd ed. (pp. 468-497). Westwood, NJ: William Andrew Publishing.
- Reghunadhan, A., and Thomas, S. (2017). Chapter 1 - Polyurethanes: Structure, Properties, Synthesis, Characterization, and Applications. In S. Thomas, J. Datta, J. T. Haponiuk, and A. Reghunadhan (Eds.). **Polyurethane Polymers**. (pp. 1-16). Amsterdam: Elsevier.