

การศึกษาสีคลาแลงจากการใช้หางแร่เหล็กทดแทนมวลรวมละเอียด

The Study of Laterite Colour from Using Iron Ore Tailing Substitute Fine Aggregate

ศรันย์ สิงห์เปา¹ ปลุเกษม ชูตระกูล² และ ศิวโรดม ศิริลักษณ์^{1*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ คณะวิศวกรรมศาสตร์

²สาขาวิชาเทคโนโลยีการพิมพ์ คณะศิลปกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, 128 ถนนห้วยแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

Sarun Singpao¹, Ploogkasem Chootragoon² and Siwarote Siriluck^{1*}

¹Mining Engineering, Faculty of Engineering

²Printing and Packaging Technology, Faculty of Art and Architecture

Rajamangala University of Technology Lanna, 128 Huaykaew, Muang, Chiangmai, 50300, Thailand

*ผู้รับผิดชอบบทความ: siwarote@hotmail.com เบอร์โทรศัพท์ 0-5392-1444 ต่อ 1236

Received: 26 July 2019, Revised: 25 October 2019, Accepted: 12 November 2019

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มุ่งเน้นเรื่องของการใช้ประโยชน์หางแร่เหล็กที่แหล่งภูอ่าง จังหวัดเลย มาทำเป็นสีคลาแลง โดยการใช้ทดแทนมวลรวมละเอียดที่ขนาด -30+200 เมช พบว่า ค่าสีในระบบ CIE L*a*b* ใกล้เคียงกับสีคลาแลงธรรมชาติจากแหล่งลี่ จังหวัดลำพูน จึงสามารถใช้หางแร่เหล็กทั้งหมดแทนมวลรวมละเอียด ในรูปของสีแดงธรรมชาติเมื่อเทียบเคียงกับสีคลาแลง และยังช่วยประหยัดค่าแรงในการทาสี ใช้ระยะเวลาทาสีสั้น และวัสดุมีราคาถูก อย่างไรก็ตาม จุดด้อย คือ ความหนาแน่นของปูนผสมมวลรวมละเอียดสูง มีค่าขนส่งจากเหมืองแร่เหล็ก และสีจะเปลี่ยนไปตามระยะเวลาที่ถูกลอกซีไอซ์ในบรรยากาศ

คำสำคัญ สีคลาแลง แร่เหล็ก หางแร่เหล็ก มวลรวมละเอียด

Abstract

The main objective of this study was to utilise iron ore tailing from Phu-Ang source, Loei as a laterite colour. It was used to substitute the fine aggregate with -30+200 Mesh sieved size. It was found that the colour in CIE L*a*b* colour system was nearly identical to the natural laterite from Li source, Lamphun. With this, iron ore tailing could be replaced fine aggregate in the forms of a natural red colour as compared to a laterite colour. Besides, the labor cost could be saved, shortly white-wash time, and cheap material cost. However, the disadvantages were the high density mixture, ore resource distance, and the colour changing caused by the oxidized time in the ambient air.

Keywords: laterite, iron ore, iron tailing, fine aggregate.

1. บทนำ

สีคลาแลงเป็นวัสดุทางธรรมชาติที่ใช้มานานในหลายพื้นที่ทั่วโลกส่วนประวัติการใช้งานนี้มีประวัติการใช้งานมานานมากกว่าการก่อตั้งประเทศไทยที่มีหลักฐานทางประวัติศาสตร์ในการใช้งานที่พบได้มาก คือวัสดุเพื่อการก่อสร้างในสมัยสุโขทัย [1] การทำเหมืองในสมัยโบราณมักใช้แรงงานคนปัจจุบันการทำเหมืองยังสามารถพบได้ทั่วไป [2],[3] ดังแสดงรูปที่ 1

สีของสีคลาแลงนั้นเป็นเสน่ห์อย่างหนึ่งของวัสดุก่อสร้างที่ถูกเลือกนำมาใช้โดยนักออกแบบความเด่นชัดของสีสนิมเหล็กที่ไม่ต้องทาสีแต่สามารถยับยั้งสีมาได้นับพันปีก็เป็นเสน่ห์อีกประการหนึ่ง [1]

ในงานวิจัยนี้จะเน้นไปที่การนำเอาหางแร่เหล็กจากเหมืองแร่เหล็กที่ถูกทิ้งไว้ไม่ได้ใช้ประโยชน์เป็นของเหลือทิ้งในงานอุตสาหกรรมกลับนำมาใช้ประโยชน์เพื่อทดแทนมวลรวมละเอียดเพื่อเทียบเคียงกับสีของสีคลาแลงและเป็น

พื้นฐานของการศึกษาขั้นต่อไปของแนวทางในการทำอิฐบล็อกสำเร็จรูปที่ใกล้เคียงกับศิลาแลงในอนาคต



รูปที่ 1 เมืองศิลาแลงในเมืองคาราบาประเทศเบอคินาฟาโซกับการใช้แรงงานคนในปี 2008 [3]

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 ส่วนประกอบหลักทางเคมีและคุณสมบัติบางประการด้านฟิสิกส์ของศิลาแลง

ในปี ค.ศ. 2014, Saeed และทีมงานวิจัยของเขาได้ทำการทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของศิลาแลงพบว่าความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน หรือ CEC มีค่า 22.7 milliequivalent ต่อ 100 กรัมมีความเป็นกรดเล็กน้อยที่ $\text{pH} = 4.9$ ค่าความถ่วงจำเพาะเป็น 2.75 โดยที่สภาพความแห้งสูงสุดพบว่าหนาแน่นเป็น 1,330 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรการทดสอบหาค่าความแข็งแรงด้วยวิธีแรงอัดแกนเดียวเป็น 288 kPa. ด้านส่วนประกอบทางเคมีโดยวัดค่าในรูปของส่วนประกอบของออกไซด์พบว่า $\% \text{Fe}_2\text{O}_3 = 29.4$, $\% \text{Al}_2\text{O}_3 = 24.31$ และ $\% \text{SiO}_2 = 21.55$ [4]

ส่วนประกอบทางเคมีในรูปสารประกอบออกไซด์นั้นจะพบสารประกอบหลักดังเช่นงานวิจัยในปี ค.ศ. 2013 ของ Lafiti และทีมวิจัยของเขาได้วิเคราะห์สัดส่วนหลักพบว่า $\% \text{Fe}_2\text{O}_3 = 35.53$, $\% \text{Al}_2\text{O}_3 = 31.10$ และ $\% \text{SiO}_2 = 25.46$ ตามลำดับ [5] จากการศึกษาพบว่าส่วนประกอบทางเคมีนั้นมีความแตกต่างด้านปริมาณของสารประกอบหลักออกไซด์ตามแต่ละพื้นที่ของเมืองศิลาแลง

2.2 สีในระบบต่างๆของดินกับความสัมพันธ์ของปริมาณแร่เหล็กจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สีมีความสำคัญอย่างมากในงานเชิงพาณิชย์และใน ด้านอุตสาหกรรมต่างๆ การวัดสีที่ได้มาตรฐานได้ถูกกำหนดขึ้นโดยองค์การนานาชาติเกี่ยวกับแสงและสี International commission on Illumination (CIE) นำมาใช้เป็นเครื่องมือในการกำหนดวิธีการที่สามารถสื่อสารได้เข้าใจตรงกัน [6] ระบบสีของ CIE ที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย ได้แก่ ระบบ CIE

$L^*a^*b^*$ ซึ่งหมายถึง ค่าความสว่าง ความเป็นสีแดง-สีเขียว ความเป็นสีเหลือง-สีน้ำเงิน โดยมีพื้นฐานจากทฤษฎีสตรีง ข้ามจากการรับรู้สีของมนุษย์ [7]

การวัดค่าสีของดินเป็นกระบวนการหนึ่งที่น่าสนใจ ใช้วิเคราะห์ความแตกต่างของดินทางปฐพีวิทยา โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer วัดค่าสีตามระบบสี CIE $L^*a^*b^*$ สีของดินเป็นสมบัติทางกายภาพที่มองเห็นได้ง่าย และจะแปรผันไปตามสภาพและองค์ประกอบอื่นๆ ของดิน เช่น ถ้าดินมีออกไซด์ของเหล็กเคลือบผิวอนุภาคมาก ดินจะมี สีแดงหรือสีเหลือง การรู้จักสีของดินจะเป็นแนวทางในการใช้ ประโยชน์จากดินได้ เช่นเดียวกับวิจัยของ ศรีธรรม ที่ทำการตรวจวิเคราะห์ดินโดยวิธี FTIR และการวัดสีดิน ซึ่งผลที่วัดได้จากตัวอย่างดินจะมีความแตกต่างกัน ถึงแม้ว่า เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าจะมีสีคล้ายคลึงกัน ผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่าทั้งสองเทคนิคนี้สามารถนำมาใช้เปรียบเทียบ ตัวอย่างทางนิติวิทยาศาสตร์ได้ [8]

ในปี 1792 ดินที่มีสีแดงของอินเดียได้รับการบันทึกเกี่ยวกับปริมาณเหล็กออกไซด์อย่างเป็นทางการซึ่งเป็นที่มาของสีที่ใช้อ้างอิงในเวลาต่อมาในการเรียกเป็นครั้งแรกที่บันทึกโดยสามารถวัดค่าได้เป็น sRGB = (205, 92, 92) สีนี้ใช้ในงานออกแบบและงานคอมพิวเตอร์กราฟิกในเวลาต่อมา [9]

ในปี 2005 Levin และทีมงานได้ศึกษาเรื่องของการจำแนกสีของดินจากภาพถ่ายดิจิทัลซึ่งมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของดินในเยรูซาเล็มใช้การวัดออกมาเป็นค่าสีตามรูปแบบของระบบสี ตัวอย่างดิน 370 ตัวอย่างถูกทดสอบพบว่าหลังจากเปรียบเทียบกับเครื่องมือสเปกโตรมิเตอร์แบบเคลื่อนที่แล้วพบว่าความแม่นยำมีนัยสำคัญที่ยอมรับได้ของสี RGB ของดินปริมาณของเหล็กออกไซด์และส่วนประกอบอนุภาคละเอียดของดิน [10]

ในปี 2013 งานวิจัยของ Tatyana และทีมงานได้ศึกษาถึงการนำแร่เหล็กเพื่อมาใช้เป็นเม็ดสีในอุตสาหกรรมก่อสร้างเพื่อเป็นสีทาอาคารและวัสดุเคลือบสีเมื่อทำการหาสัดส่วนของสารเคลือบพลาสติกและสารลดแรงตึงผิวแล้วพบว่าสามารถใช้ประโยชน์ได้ [11]

จากการศึกษาของงานวิจัยข้างต้นทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดว่าจะนำทางแร่เหล็กเหลือทิ้งมาคัดขนาดด้วยตระแกรงที่ขนาดผ่านตระแกรงเบอร์ 30 และค้ำตระแกรงเบอร์ 200 เพื่อใช้แทนวัสดุทรายละเอียด [12] และทำการหาค่าส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดเพื่อเทียบเคียงกับสีของศิลาแลงจากแหล่งอำเภอลี้จังหวัดลำพูนจะทำการเก็บตัวอย่างจากกองทางแร่เหล็กที่ผ่านการแต่งแต่ยังมีส่วนประกอบของแร่เหล็กอยู่มาก

3. วัสดุอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้และ วิธีการดำเนินการวิจัย

ซีกตัวอย่างจากกองทางแร่เหล็กเปอร์เซ็นต์ต่ำจากหน้าเหมือง ที่แหล่งแร่ภูอ่างคำบลาณาดินดำอำเภอมืองจังหวัดเลย

อบไล่ความชื้นคัดขนาดด้วยตะแกรงส้นเพื่อใช้ขนาดผ่านตระแกรงเบอร์ 30 และค้ำตระแกรงเบอร์ 200 เพื่อใช้ทดแทนมวลรวมละเอียด สูตรในการผสมที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วย ปูนปอร์ตแลนด์ หทราย และ น้ำ โดยปริมาณจะถูกคำนวณตามน้ำหนักแปรผันทั้งสิ้น 11 การทดลอง ตัวแปรควบคุมคือ ปริมาณโดยน้ำหนักของปูนปอร์ตแลนด์และน้ำ ตัวแปรที่จะศึกษาคือสัดส่วนของทรายและแร่เหล็กจะถูกใช้ในปริมาณรวมที่เท่ากันในทุกการทดลอง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 น้ำหนักส่วนผสมในการเตรียมตัวอย่างอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 โดยน้ำหนัก

ทราย:แร่เหล็ก	วัสดุในการทดลอง กรัม (g)			
	ทราย	แร่เหล็ก	ปูน	น้ำ
0:100	0	16.60	4.1	2.87
10:90	1.23	14.91	4.1	2.87
20:80	2.46	13.28	4.1	2.87
30:70	3.69	11.62	4.1	2.87
40:60	4.92	9.96	4.1	2.87
50:50	6.15	8.30	4.1	2.87
60:40	7.38	6.64	4.1	2.87
70:30	8.61	4.98	4.1	2.87
80:20	9.84	3.32	4.1	2.87
90:10	11.07	1.66	4.1	2.87
100:0	12.3	0	4.1	2.87

เมื่อผสมที่เข้ากันแล้วเติมน้ำลงในส่วนผสมที่เข้ากันแล้ว โดยค่า W/C เท่ากับ 0.7 ซึ่งเป็นตัวแปรควบคุมในการทดลองให้เท่ากันทุกการทดลอง แล้วคนให้เข้ากัน เทลงในแบบ บล็อกสำเร็จ ขนาด 2 cm x 2.5 cm x 1.5 cm การบ่มตัวอย่างในแบบบล็อกเป็นเวลา 7 วันแล้วแกะออกใส่ถุงซิปล จากนั้นนำบล็อกตัวอย่างไปทดสอบเปรียบเทียบความเข้มของสีสีแลงและตัวอย่างที่ได้

การทดลองวัดสีของตัวอย่างทดสอบ ขั้นแรกนำสีแลงจากแหล่งสีแลง บ้านใหม่ศิริไล ตำบลลี้ อำเภอลี้ จังหวัดลำพูน มาบดและคัดขนาดให้มีขนาดผ่านตระแกรงเบอร์ 30 และค้ำตระแกรงเบอร์ 200 จากนั้นทำการชั่งตัวอย่างเพื่อเป็นตัวแทนของสีสีแลง นำตัวอย่างไป วัดค่าสีด้วยเครื่อง Spectrophotometer ทำการวัด 5 ตำแหน่งบนก้อนตัวอย่าง ทำการวัด 3 ซ้ำตามรูป

ขั้นตอนต่อมา นำเอาตัวอย่าง ทั้ง 11 การทดลอง มาทำการวัดสีตามกระบวนการที่วัดจากสีแลงธรรมชาติ จนครบทุกตัวอย่าง จากนั้นจึงรายงานผลการทดลองนำผงสีแลงที่ได้ขนาดแล้วมาใส่ในแบบบล็อกเพื่อวัดค่าสีของสีแลงและทำการวัดเป็นจำนวน 5 ครั้งที่มีมุมทั้ง 4 และตรงกลาง ดังแสดง

ในรูปที่ 2 ทำการวัดค่า 3 ครั้งต่อจุด ด้วยเครื่อง Spectrophotometer โดยวางแบบบล็อกที่มีสีแลงบรรจุอยู่ไว้ตรงจุดศูนย์กลางในการอ่านค่าสีแล้วบันทึกค่า

นำก้อนตัวอย่างในแต่ละอัตราส่วนที่ทำการบ่มแล้วมาทำการวัดค่าสีเป็นจำนวน 3 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ยด้วยเครื่อง Spectrophotometer แล้วบันทึกค่า



รูปที่ 2 จุดที่ใช้ในการวัดค่าสีของสีแลง 5 จุดต่อ 1 ตัวอย่าง

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 ผลการทดสอบการวัดสีของชิ้นตัวอย่างและสีแลงที่ใช้เป็นมาตรฐานด้วย Spectrophotometer

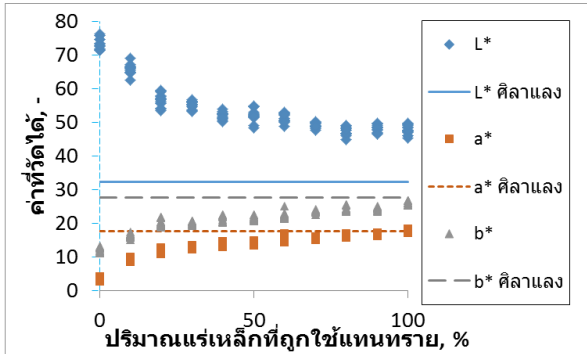
ผลการทดสอบการวัดสีของตัวอย่างที่ผสมทางแร่เหล็กใน 11 อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักดังตารางที่ 3.1 เพื่อหาค่า CIE L*a*b* (L*a*b* color) ที่ทำให้สีของตัวอย่างที่ได้มานั้นมีความใกล้เคียงกับสีของสีแลงมากที่สุดโดยใช้เครื่อง Spectrophotometer จากผลการทดลอง 180 ค่าได้ถูกใส่ลงไปในกราฟ ดังแสดงรูปที่ 3

ค่า b* มีค่าใกล้เคียงมาก; เมื่อปริมาณทางแร่เหล็กถูกแทนที่ด้วยทรายมากขึ้นจากส่วนผสมร้อยละ 0 ถึง ร้อยละ 100 จะทำให้ ค่า b* จาก 11.92 ขึ้นมาเป็น 26.01 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่า b* ของสีแลงธรรมชาติมาตรฐานที่นำมาใช้ในงานวิจัยซึ่งมีค่า b* เฉลี่ยเป็น 27.68 จากการวัด 5 จุด 3 ก้อนตัวอย่าง

ค่า a* มีค่าใกล้เคียงมาก; เมื่อปริมาณทางแร่เหล็กถูกแทนที่ด้วยทรายมากขึ้นจากส่วนผสมร้อยละ 0 ถึง ร้อยละ 100 จะทำให้ ค่า a* จาก 2.79 ขึ้นมาเป็น 16.79 ที่ ร้อยละ 90 ส่วนผสมทางแร่เหล็กที่ใช้แทนทราย และจะขึ้นไปสูงที่สุดที่ 18.26 ที่ร้อยละ 100 ส่วนผสมทางแร่เหล็กใช้แทนทราย โดยทั้งสองกรณีมีค่าความแตกต่างกับค่า a* ของสีแลงธรรมชาติมาตรฐานที่นำมาใช้ในงานวิจัยซึ่งมีค่า b* เฉลี่ยเป็น 17.50 จากการวัด 5 จุด 3 ก้อนตัวอย่าง ค่าความแตกต่างที่ร้อยละ 90 และร้อยละ 100 ส่วนผสมทางแร่เหล็กที่ใช้แทนทรายต่างจากสีแลงมาตรฐานเป็น 0.71 (17.50-16.79) และ 0.76 (18.26-17.50) ตามลำดับซึ่งจัดว่าแตกต่างน้อยมาก

ค่า L* ยังมีค่าต่างกับค่ามาตรฐานค่อนข้างมาก; เมื่อปริมาณทางแร่เหล็กถูกแทนที่ด้วยทรายมากขึ้นจากส่วนผสมร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 100 จะทำให้ ค่า L* อยู่ต่ำกว่ามาตรฐาน

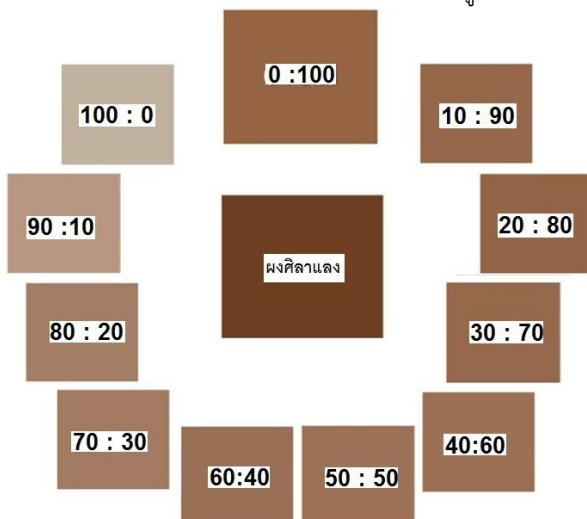
จาก 76.09 ลงมาเป็น 46.01 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงที่สุดในการทดสอบในครั้งนี้ กับค่า L^* ของสีลาแลงธรรมชาติมาตรฐานที่นำมาใช้ในงานวิจัยซึ่งมีค่า L^* เฉลี่ยเป็น 32.16 จากการวัด 5 จุด 3 ก่อนตัวอย่าง โดยค่าที่แตกต่างกันเป็น 13.85 (46.01-32.16)



รูปที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ของปริมาณแร่เหล็กที่ถูกใช้แทนมวลรวมละเอียด สัมพันธ์กับค่า $L^*a^*b^*$ Color จาก Spectrometer โดยมีเส้นมาตรฐานของค่า $L^*a^*b^*$ สีลาแลงธรรมชาติเทียบไว้

3.2 ผลการแสดงผลจากภาพถ่ายในเงื่อนไขเดียวกันของชิ้นตัวอย่างและสีลาแลงที่ใช้เป็นมาตรฐาน

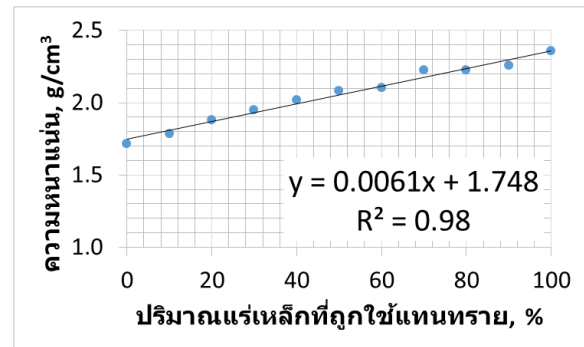
การนำค่าเฉลี่ยของค่า $L^*a^*b^*$ color ที่วัด 5 จุด 3 ชิ้นตัวอย่างทดสอบ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยและใช้โปรแกรมแสดงสีค่าเฉลี่ยนั้นถูกนำมาจำลองเพื่อเป็นตัวแทนของตัวอย่างทั้ง 11 ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4 ผลของเฉลี่ยจะพบว่า ที่ร้อยละ 100 ของปริมาณทางแร่เหล็กถูกใช้แทนที่ด้วยทรายจะให้สีมีความใกล้เคียงกับ สีลาแลงธรรมชาติมากที่สุดของตัวอย่างที่ทดสอบซึ่งจากการสังเกตจะยังมีความแตกต่างอยู่



รูปที่ 4 สีจากการนำค่า $L^*a^*b^*$ Color เฉลี่ยของทั้ง 11 ตัวอย่างทดสอบ มาเทียบกับ สีของสีลาแลงจากธรรมชาติ แหล่ง สีลาแลง อ.สี จ.ลำพูน (สัดส่วนที่แสดงในภาพ หมายถึง ทราย:ทางแร่เหล็ก)

3.3 ผลการแสดงผลถึงความหนาแน่นของตัวอย่างทดสอบ 11 ชุด

การพิจารณาในแง่ของสีเพื่อเทียบเคียงให้ใกล้เคียงกับสีลาแลงธรรมชาติมากที่สุดนั้น มีการเปลี่ยนแปลงในส่วนของคุณสมบัติของการใช้ทางแร่เหล็กที่มีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่ามาผสมแล้ว วัสดุผสมเลียนแบบสีของสีลาแลงนี้จะมีค่าความหนาแน่นที่เปลี่ยนไปด้วย ซึ่งจากการทดสอบโดยวิธีชั่งน้ำหนัก และคำนวณความหนาแน่นของทั้ง 11 ตัวอย่างขึ้นทดสอบได้แสดงดังแผนภูมิรูปที่ 5



รูปที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ของปริมาณแร่เหล็กที่ถูกใช้แทนมวลรวมละเอียด สัมพันธ์กับความหนาแน่นของวัสดุผสมเลียนแบบสีของสีลาแลงสังเคราะห์ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นความสัมพันธ์แบบ Linear regression

จากผลการทดลองจะพบว่า ปริมาณของทางแร่เหล็กที่ถูกใช้เพื่อทดแทนมวลรวมละเอียดจะมีผลทำให้ความหนาแน่นของวัสดุผสมเลียนแบบสีของสีลาแลงนั้นมีความหนาแน่นสูงขึ้น โดยมีความสัมพันธ์แบบ Linear regression; ที่การใช้ทรายเป็นส่วนผสมทั้งหมดวัสดุจะมีความหนาแน่น 1.75 g/cm³ จากนั้นเมื่อทดแทนทางแร่เหล็กแทนที่ทรายจะทำให้ทุกๆการทดแทน ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก จะทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น 0.0061 g/cm³ จนกระทั่งที่ความหนาแน่นของวัสดุที่มากที่สุดในการทดลองพบว่าเป็น 2.36 g/cm³ ที่ส่วนผสมการทดแทนด้วยทางแร่เหล็กแทนมวลรวมละเอียดทั้งหมด เป็นความสัมพันธ์รูปแบบ Linear regression นี้ ที่มีค่า R^2 0.98

3.4 ผลการแสดงผลการเปรียบเทียบต้นทุนเพื่อทำการประเมินด้านเศรษฐศาสตร์

การคำนวณเชิงเศรษฐศาสตร์เพื่อเปรียบเทียบกับวัสดุผสมเลียนแบบสีของสีลาแลงสังเคราะห์(เฉพาะค่าวัสดุ ไม่รวมค่าแรง และค่าขนส่งซึ่งแปรตามระยะทาง กรณีนี้คำนวณที่อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่, เมษายน 2562) จะทำการเปรียบเทียบ 3 แบบคือผนังสีลาแลงต่อผนัง 1 m² ผนังทาสีอะคริลิคต่อผนัง 1 m² และผนังวัสดุผสมเลียนแบบสีของสีลาแลงต่อผนัง 1 m² จะได้ว่าต้นทุนดังตารางที่ 2 – 4 ของตัวอย่างทดสอบ 11 ชุด

ตารางที่ 2 กรณีการนำเอาศิลาแลงมาก่อเป็นกำแพง

ลำดับ	รายการ	ปริมาณ ใช้งาน	บาท/ตารางเมตร (B/m ²)
1	ปูนสำหรับงานก่อฉาบ 50kg ถุงละ 120 B ใช้ได้ 2.5m ²	20 kg/m ²	48
2	ทรายฉาบ 30 kg ถุงละ 40 B	60 kg/m ²	80
3	ศิลาแลงขนาด 20x40x7.5 cm. ราคา 30 B/ก้อน	13 ก้อน/m ²	390
รวมราคา			518

ตารางที่ 3 กรณีงานก่อบล็อก งานฉาบ ทาสีรองพื้นปูนใหม่ 2 รอบ และทาสีอะครีลิกงานภายนอก 2 รอบ

ลำดับ	รายการ	ปริมาณ ใช้งาน	บาท/ตารางเมตร (B/m ²)
1	ปูนสำหรับงานก่อฉาบ 50kg ถุงละ 120 B ใช้ได้ 2.5m ²	20 kg/m ²	48
2	ทรายฉาบ 30 kg ถุงละ 40 B	60 kg/m ²	80
3	ปูนสำหรับงานฉาบฉวย 50 kg ถุงละ 145 B ใช้ได้ 2.5 m ²	20 kg/m ²	58
4	ทรายละเอียด 30 kg ถุงละ 60 B	60 kg/m ²	120
5	อิฐบล็อกขนาด 19x39x7 cm ราคา 6 B ต่อก้อน	125 ก้อน/m ²	75
6	สีทารองพื้นปูนใหม่ขนาด 1 แกลลอน (Gal) ราคา 529 บาทได้ 25 m ² ราคา 21.16 B/m ²	0.04 Gal/m ² (ทา1ครั้ง) 0.08Gal/ m ² ทา 2 ครั้ง	42.32 (ทา2ครั้ง)
7	สีอะครีลิกขนาด 1 Gal. ราคา 565 B. ทาได้ 25 m ² ราคา 22.60 B/m ²	0.04 Gal/m ² (ทา 1 ครั้ง) 0.08Gal/ m ² ทา 2 ครั้ง	44.12 (ทา 2 ครั้ง)
รวมราคา			467.44

ตารางที่ 4 กรณีงานก่อบล็อก งานฉาบด้วยวัสดุผสมเลียนแบบ
สีของศิลาแลง

ลำดับ	รายการ	ปริมาณ ใช้งาน	บาท/ตารางเมตร (B/m ²)
1	ปูนสำหรับงานก่อฉาบ 50kg ถุงละ 120 B ใช้ได้ 2.5m ²	20 kg/m ²	48
2	ทรายฉาบ 30 kg ถุงละ 40 B	60 kg/m ²	80
3	ปูนสำหรับงานฉาบฉวย 50 kg ถุงละ 145 B ใช้ได้ 2.5 m ²	20 kg/m ²	58
4	ทรายละเอียด 30 kg ถุง ละ 60 B	60 kg/m ²	120
5	หางแร่เหล็กขนาด -30+200 วัสดุทิ้ง (ฟรี-ควรได้รายรับ จากการกำจัดขยะ)	80.97 kg/m ²	0
รวมราคา			261

จากตารางราคาแสดงต้นทุนราคาวัสดุ 3 กรณีศึกษาเพื่อ
การเปรียบเทียบจะเห็นว่า ต้นทุนต่อ 1 m² ของศิลาแลง
ธรรมชาติจะแพงที่สุดที่ 518 B/m² ถัดไปในราคาที่ใช้ใกล้เคียง
กันคือราคาวัสดุของกำแพงอิฐบล็อกปูนใหม่ซึ่งทาสีรองพื้น 2
รอบและทาด้วยสีอะครีลิกงานภายนอก 2 รอบซึ่งมีราคา
467 B/m² โดยต้นทุนราคาวัสดุที่ถูกที่สุดคือ กำแพงงานก่อ
บล็อกที่ฉาบด้วยวัสดุผสมเลียนแบบสีของศิลาแลงมีราคา 261
B/m²

4. สรุปผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองการศึกษาสีศิลาแลงจากการใช้หางแร่
เหล็กทดแทนมวลรวมละเอียดจากแหล่งแร่ภูอ่างคำบนาดิน
คำอำเภอเมืองจังหวัดเลยมาเป็นส่วนผสมของวัสดุผสม
เลียนแบบสีของศิลาแลงในอัตราส่วนทรายต่อหางแร่เหล็กที่
ต่างกันพบว่า

ค่าสีของวัสดุผสมเลียนแบบสีของศิลาแลงกับสีของศิลา
แลงจากธรรมชาติที่อัตราส่วนการใช้หางแร่เหล็ก 100
เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะทำให้ค่าของสีในระบบ L*a*b*
Color จะมีค่าใกล้เคียงกับสีของศิลาแลงธรรมชาติมากที่สุด
การเพิ่มสีต่างไปจะสามารถช่วยให้ค่า L* มีค่าลดลงได้ แต่
ต้องคำนึงถึงต้นทุนด้วย

วัสดุผสมเลียนแบบสีของศิลาแลงมีความหนาแน่นมาก
ขึ้นจากการใช้ทรายปกติในปูนฉาบจนกระทั่งทดแทนด้วยหาง
แร่เหล็กแทนทรายร้อยละ 100 โดยมีค่าเริ่มต้นที่ 1.75 g/cm³
ในตอนเริ่มต้น จนกระทั่ง 2.36 g/cm³ ซึ่งการนำไปใช้งานต้อง
คำนึงถึงน้ำหนักของหน่วยพื้นที่รับแรงด้วย

ราคาของวัสดุที่ไม่รวมค่าแรง และค่าขนส่งถูกประเมิน
จากการคำนวณ โดยราคาที่ถูกที่สุดเป็น กำแพงงานก่ออิฐ
บล็อก และใช้วัสดุผสมเลียนแบบสีของศิลาแลงโดยมีราคา
261 B/m² ความได้เปรียบของวัสดุคือหางแร่เหล็กด้อยค่าเป็น
วัสดุต้องการทิ้งจากเหมืองแร่เหล็กซึ่งในกรณีการจัดการกับ
วัสดุเหลือทิ้งตามข้อบังคับของทางอเมริกาในบางกรณีวัสดุ
เหลือทิ้งจากเหมืองแร่จะมีข้อบังคับเมื่อเลิกกิจการเหมืองแร่
ต้องขุดปูพื้นยางขนนำไปทิ้งบดอัดและฝังกลบซึ่งเป็นต้นทุน
หลังเลิกกิจการในกรณีนี้การนำวัสดุเหลือทิ้งจากเหมืองแร่ต้อง
ได้รับเงินจากการรับกำจัดขยะด้วยข้อเสียคือแร่เนื้ออยู่ที่จังหวัด
เลยซึ่งอยู่ในที่ห่างไกลจากพื้นที่ทดลองข้อได้เปรียบ อีกข้อ
หนึ่งคือสีของเหล็กนั้นจะมีความแดงทนมไปตามกาลเวลาดัง
กรณีภาพเขียนสีผนังถ้ำของมนุษย์ยุคโบราณที่เลี้ยวแล้วใช้
แร่เหล็กขีดผนังถ้ำที่ผ่านมา 2000 ปี จนปัจจุบันก็มีสีสนิม
เหล็กแดง [13]



รูปที่ 6 ภาพวาดวัวไบสัน ในถ้ำ Lascaux ซึ่งมีอายุ 15,000 ปี ก่อนคริสตกาล [13]

ส่วนการควบคุมของปฏิกิริยาเคมีกับสภาพภูมิอากาศคือ สีแดงที่เกิดขึ้นคือสีของ Ferrous oxide ที่เกิดตามธรรมชาติ ดังนั้นในการทาสีในป่าแรก ๆ จะมีสีที่ซีดจางกว่าเมื่อเวลาผ่านไปนานซึ่งเป็นไปตามสภาพภูมิอากาศในแต่ละพื้นที่ความชื้น ปริมาณฝนซึ่งจะทำให้เกิดสนิมเต็มทีจนสีแดงและมีความ เสถียรตลอดการใช้งานส่วนกรณีปกติคือการใช้สีอะครีลิคก็ยังมี ความซีดจางตามกาลเวลาต้องมีการปรับปรุงทาสีตามสภาพ ภูมิอากาศในแต่ละพื้นที่ความได้เปรียบด้านสีที่มีในตัวของ วัสดุผสมเลียนแบบสีของสีลาแลงคือการที่ไม่ต้องรองพื้นและ ทาสีภายนอกเพิ่มเป็นข้อได้เปรียบหนึ่งที่ทำให้ต้นทุนของ ระยะเวลาในการทำงานของกรณีการใช้วัสดุผสมเลียนแบบสี ของสีลาแลงมีราคาถูกอย่างไรก็ตามการเล่นลายพื้นผิวก็อาจจะ เป็นทางออกในการฉาบในตอนเริ่มต้นเพราะจะทำให้พื้นผิวมี มิติไม่ราบเรียบจนเกินไปข้อเด่นอีกข้อคือ ราคาต่ำแรงซึ่งใน การศึกษานี้ไม่ได้กล่าวถึงแต่การทาสีปกติต้องใช้การฉาบและ ค่าแรงคนงานทาสี 4 รอบแต่การใช้วัสดุผสมเลียนแบบสีของ สีลาแลงนี้เมื่อใช้งานเสร็จก็เป็นอันเสร็จงานสีภายนอกไปด้วย ข้อกังวลเรื่องการรับน้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่ของคานรับเป็น เรื่องที่ต้องคำนึงถึงถ้ากำแพงมีความสูงเพราะความหนาแน่นที่มี ค่ามากกว่าถึง 0.61 g/cm^3 อย่างไรก็ตาม การศึกษารุ่นนี้เป็น การศึกษาเพื่อใช้ประโยชน์ด้านการอนุรักษ์ทรัพยากรแร่และ การรีไซเคิลทรัพยากรที่ทิ้งแล้วนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ต่อไป

สำหรับการศึกษาในลำดับถัดไป คือ เรื่องของการใช้วัสดุ ผสมสีเลียนแบบสีลาแลงนี้ให้ได้ตามมาตรฐาน มอก. เพื่อการ ใช้งานเป็นปูนฉาบในอนาคต ก่อนที่จะนำไปใช้งานจริง ใน งานวิจัยครั้งนี้ มุ่งเน้นเฉพาะการใช้เคลือบทรัพยากรธรรมชาติ มาใช้ประโยชน์เป็นหลัก ในเรื่องของการใช้สีเชิงศิลปะ ส่วนข้อมูลของคุณสมบัติทางกลศาสตร์ รวมทั้งคุณสมบัติ ทางการใช้งานในแง่ต่าง ๆ ควรทำการศึกษาต่อไป ก่อนการ นำไปใช้งานจริง

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้ร่วมงานทุกท่าน และขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดาอาจารย์และญาติพี่น้องทุกท่านที่ให้การสนับสนุน ด้านต่างๆ ในการดำเนินโครงการและให้กำลังใจจนโครงการนี้ สำเร็จลุล่วงด้วยดีตามที่มุ่งหวังไว้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] อโนชา ทับทิม. แผนผังวัดสองพี่น้องเมืองสรรคบุรี: รูปแบบผสมระหว่างศิลปะอยุธยาและสุโขทัย. Veridian E-Journal, Silpakorn University (Humanities, Social Sciences and arts). 2015 May 31;8(2); p.1543-52.
- [2] Kasthurba AK, Santhanam M, Mathews MS. Investigation of laterite stones for building purpose from Malabar region, Kerala state, SW India-Part 1: Field studies and profile characterisation. Construction and Building Materials. 2007 Jan 1;21(1); p. 73-82.
- [3] Pace D. Karaba Brick Quarry - Video interview with David Pace | LensCulture [Internet]. LensCulture. 2019 [cited 10 July 2019]. Available from: <https://www.lensculture.com/articles/david-pace-karaba-brick-quarry>.
- [4] Saeed KA, Kassim KA, Nur H, Yunus NZ. Strength of lime-cement stabilized tropical lateritic clay contaminated by heavy metals. KSCE Journal of Civil Engineering. 2015 May 1;19(4); p. 887-92.
- [5] Latifi N, Marto A, Eisazadeh A. Structural characteristics of laterite soil treated by SH-85 and TX-85 (non-traditional) stabilizers. EJGE. 2013;18; p. 1707-18.
- [6] X-Rite Incorporated ©. 2016. A Guide to Understanding Color Communication. [cited 24 July 2019]. Available from: https://www.xrite.com/-/media/xrite/files/whitepaper_pdfs/l10-001_a_guide_to_understanding_color_communication/l10-001_understand_color_en.pdf
- [7] R.W.G.Hunt, M.R. Pointer. Measuring Colour, 4th ed. John Wiley & Sons Ltd. 2011; p. 55-60.
- [8] ศรัณย์ธรรม ภูริจายางกูร. การตรวจวิเคราะห์ดินโดยวิธี FTIR และการวัดสีดิน. วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2559.
- [9] C. Mish F. Merriam-Webster's Collegiate Dictionary. 10th ed. Springfield, MA: Merriam-Webster, Inc; 1994.



- [10] Levin N, Ben - Dor E, Singer A. A digital camera as a tool to measure colour indices and related properties of sandy soils in semi - arid environments. International Journal of Remote Sensing. 2005 Dec 20;26(24); p. 5475-92.
- [11] Streltsova TP, Lesovik VS, Frolova MA, Perkova MV, Belikov DA. Natural iron oxide pigments for the construction industry. World Applied Sciences Journal. 2013;25(2); p.193-201.
- [12] ASTM C. 125 Standard terminology relating to concrete and concrete aggregates. Annual Book of Standards. Volume 04.02, 2003.
- [13] Rockwell N. Prehistory - Illustration History [Internet]. Illustrationhistory.org. 2018 [cited 11 July 2019]. Available from: <https://www.illustrationhistory.org/history/time-eriods/prehistory>.