

องค์ประกอบและคุณสมบัติของดินแดงสุราษฎร์ธานีเพื่อพัฒนาสีธรรมชาติในงานศิลปะ Composition and Properties of Red Soil from Surat Thani for Developing Natural Color in Art

ธนุพล ฉันทกุล¹, อานนท์ ชูแก้ว², ชัญญา อุดมประมวณ¹ และ วิโรจน์ เชาว์วิเศษ^{*3}
Tanupol Chantakul¹, Arnon Chukaew², Chanya Udompramuan¹ & Wirot Chaowiset^{*3}

¹สาขาวิชาศิลปศึกษา คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

²สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

³สาขาวิชาพืชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

¹Art Education Program, Faculty of Education, Suratthani Rajabhat University

²Chemistry Program, Faculty of Science and Technology, Suratthani Rajabhat University

³Plant Science Program, Faculty of Science and Technology, Suratthani Rajabhat University

Submitted 02/04/2025 ; Revised 15/05/2025 ; Accepted 22/05/2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของสีธรรมชาติจากดินแดงท้องถิ่นในจังหวัดสุราษฎร์ธานี และสร้างองค์ความรู้เพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์สีดินธรรมชาติ โดยเลือกศึกษาดินในอำเภอพนมและคีรีรัฐนิคมจากกลุ่มชุดดินที่ 26 (ชุดดินอ่าวลึก) และกลุ่มชุดดินที่ 34 (ชุดดินฝั่งแดง) ซึ่งมีโทนาสีแดงโดดเด่น สุ่มเก็บตัวอย่างดินที่ความลึก 3 ระดับ (0-10, 10-20, 20-30 เซนติเมตร) วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ได้แก่ เนื้อดิน ความเป็นกรด-เบส ค่าการนำไฟฟ้า ค่าสีดิน ศึกษารูปร่างและการยึดเกาะบนพื้นผิวของอนุภาคดินระดับนาโนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของดินด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ผลการศึกษาพบว่า ดินจากอำเภอคีรีรัฐนิคมมีศักยภาพสูงในการเป็นเม็ดสีธรรมชาติเนื่องจากมีปริมาณแร่เฮมาไทต์ สติลโนเมลาน และคอปเปอร์แวนาเดียมออกไซด์ ซึ่งให้สีน้ำตาลแดงเข้มในปริมาณที่สูง โดยพบในดินบริเวณ KRN-A มากที่สุด การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แสดงให้เห็นว่าอนุภาคดินมีรูปร่างและขนาดที่หลากหลายส่งผลต่อคุณสมบัติการยึดเกาะและการกระจายตัวบนพื้นผิวต่าง ๆ กัน ดังนั้น ดินแดงจากอำเภอคีรีรัฐนิคม จังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งมีปริมาณแร่เฮมาไทต์และแร่ที่ให้สีแดงสูง มีขนาดอนุภาคที่เหมาะสม สามารถนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์สีธรรมชาติสำหรับงานศิลปะ โดยเฉพาะในพื้นที่ KRN-A ที่มีคุณสมบัติโดดเด่นที่สุด ซึ่งจะช่วยลดการพึ่งพาการใช้สีสังเคราะห์ เป็นแนวทางการใช้วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: สุราษฎร์ธานี ดินแดง สีธรรมชาติ งานศิลปะ

***ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)**

E-mail: wirot.cha@sru.ac.th

Abstract

This research aimed to investigate the properties of natural pigments derived from local red soils in Surat Thani Province and establish knowledge for the development of natural clay pigment products. Soil samples were collected from Phanom and Khiri Rat Nikhom districts, focusing on Soil Group 26 (Ao Luk soil series) and Soil Group 34 (Fang Daeng soil series), both known for their distinct red hues. Soil sampling was conducted at three depth levels (0-10, 10-20, and 20-30 cm). The analysis included physical and chemical properties, including soil texture, pH, electrical conductivity, and soil color. The morphology, adhesion structure, and surface characteristics of pigment nanoparticles were examined using a scanning electron microscope (SEM). Mineral components in the soil were analyzed using the X-ray diffraction (XRD) technique. The results revealed that soil from Khiri Rat Nikhom exhibited high potential as a natural pigment source, containing significant amounts of hematite, stilpnomelane, and copper vanadium oxide, which contribute to a deep reddish-brown hue, particularly in the KRN-A area. SEM analysis revealed diverse shapes and sizes of soil particles, affecting their adhesion properties and dispersion on different surfaces. Therefore, red soil from Khiri Rat Nikhom District, Surat Thani Province, which has a high amount of hematite and red-colored minerals, and has an appropriate particle size, can be developed into natural color products for art, especially in the KRN-A area, which has the most outstanding properties. This will help reduce the reliance on synthetic colors, and provide a guideline for using environmentally friendly materials.

Keywords: Surat Thani, red soils, natural color, art work

บทนำ

การศึกษาทางด้านศิลปกรรมเป็นการเรียนรู้ที่มีรูปแบบการปฏิบัติการเพื่อฝึกทักษะในด้านการสร้างสรรค์ผลงานทั้งด้านจิตรกรรม ประติมากรรม และภาพพิมพ์ จึงเป็นเรื่องที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ในการสัมผัสโดยตรงกับกับสารเคมีต่าง ๆ ในลักษณะของสื่อดิจิทัลที่อาจสร้างปัญหาเกี่ยวกับสุขภาพได้ พื้นฐานส่วนประกอบของสีเหล่านี้ได้มาจากแหล่งปิโตรเลียมซึ่งโดยทั่วไปจะมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำแต่ย่อยสลายได้ยาก [1] สารโลหะหนักบางชนิดส่งผลต่อระบบประสาทหรือระบบไต [2] การจัดการเพื่อลดความเสี่ยงของปัญหาสุขภาพที่เกิดจากการใช้สีเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์สีที่ได้จากวัตถุดิบธรรมชาติจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ยั่งยืนทั้งต่อสุขภาพของผู้ใช้และต่อสิ่งแวดล้อม สีของดินมีบทบาทสำคัญในการแสดงออกทางศิลปะตั้งแต่สมัยโบราณจนถึงปัจจุบัน [3] $\text{FeO}(\text{OH})$ หรือแร่ธาตุหุติยภูมิอย่างโกเอไทต์ซึ่งเป็นเหล็กออกไซด์ที่มีไฮดรอกไซด์บางส่วน เช่น lepidocrocite ($\gamma\text{-FeO}(\text{OH})$) ที่ได้จากการออกซิเดชันของแร่ธาตุแร่เหล็กที่พบในแร่เหล็กสีน้ำตาล และสีน้ำตาลเขียนนํ้าเป็นเม็ดสีเอิร์ธโทนที่มีธาตุเหล็กออกไซด์และแมงกานีสออกไซด์เป็นส่วนประกอบ [4]

ช่างศิลปะไทยในอดีตได้นำพืช ดิน หิน และแร่ท้องถิ่นมาสกัดสีและใช้ในการเขียนภาพจิตรกรรมฝาผนัง ซึ่งกระบวนการการสกัดสีจากวัตถุดิบธรรมชาติสำหรับงานศิลปะโดยเน้นที่ประเพณีศิลปะไทยโดยเฉพาะ จากการศึกษาเทคนิคที่ศิลปินไทยโบราณเป็นการสืบทอดภูมิปัญญาวัฒนธรรมรวมทั้งการสร้างวัสดุศิลปะที่ยั่งยืน [5] การศึกษาวัตถุดิบจากธรรมชาติที่ให้สี ในบริบทของศิลปะไทยมีการใช้จากธรรมชาติมาอย่างยาวนาน โดยเนื้อสัมผัสกับส่วนผสมอื่นทำให้เกิดสีชนิดต่าง ๆ การศึกษาเหล่านี้เป็นพื้นฐานสำคัญในการพัฒนาสีธรรมชาติจากดินท้องถิ่นให้สามารถนำมาใช้สร้างสรรค์ผลงานศิลปะที่มีความปลอดภัยและยั่งยืน ซึ่งจะช่วยลดการพึ่งพาเม็ดสีสังเคราะห์ที่มีข้อเสียด้านสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ

ดังนั้น การวิจัยจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติและองค์ประกอบของดินแดงในท้องถิ่นของจังหวัดสุราษฎร์ธานี เพื่อวิเคราะห์ศักยภาพของการนำมาสร้างเป็นผลิตภัณฑ์สีจากดินโทนสีแดง โดยมุ่งเน้นที่ความเหมาะสมในการนำมาใช้งานโดยการศึกษาคุณสมบัติและคุณค่าทางศิลปะที่เป็นไปได้ของเม็ดสีจากดินที่จะนำไปสู่การลดการพึ่งพาเม็ดสีสังเคราะห์ สร้างความเข้าใจในการใช้สีธรรมชาติจากดินที่จะช่วยให้นักศึกษาและนักวิจัยด้านศิลปะและบุคคลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องมีความตระหนักต่อการใช้วัสดุจากธรรมชาติอย่างยั่งยืน ซึ่งในอำเภอพนมและคีรีรัฐนิคม จังหวัดสุราษฎร์ธานี มีกลุ่มชุดดินที่มีคุณสมบัติให้เม็ดสีแดงสูง ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 26 (ชุดดินอ่าวลึก) และกลุ่มชุดดินที่ 34 (ชุดดินฝั่งแดง) ที่มีศักยภาพและลักษณะสีรวมถึงองค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นเพียงพอที่จะนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์สีดินแดงธรรมชาติได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาองค์ประกอบและคุณสมบัติของสีธรรมชาติจากดินแดงท้องถิ่นในจังหวัดสุราษฎร์ธานีสำหรับประยุกต์ใช้และสร้างสรรค์ผลงานศิลปะ
2. เพื่อสร้างองค์ความรู้กระบวนการสกัดสีและสร้างผลิตภัณฑ์สีธรรมชาติต้นแบบจากดินแดงท้องถิ่น

วิธีดำเนินการวิจัย

การสำรวจและเก็บตัวอย่างดิน

พื้นที่สำหรับการวิจัย ได้แก่ อำเภอพนมและคีรีรัฐนิคม จังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยพิจารณาข้อมูลชุดดินจากกรมพัฒนาที่ดิน [6] โดยเลือกกลุ่มชุดดินที่ 26 (ชุดดินอ่าวลึก) กลุ่มชุดดินที่ 34 (ชุดดินฝั่งแดง) ซึ่งมีโหนดของดินอยู่ในกลุ่มสีแดง สีส้มแดง หรือสีน้ำตาลแดง สุ่มเก็บตัวอย่างแบบเป็นระบบ (systematic sampling) ที่ความลึก 3 ระดับ ได้แก่ ดินผิวดิน (0-10 เซนติเมตร) ดินใต้ผิวดิน (10-20 เซนติเมตร) ดินลึก (20-30 เซนติเมตร) รูปแบบการเก็บข้อมูลแบบลำดับขั้น บันทึกข้อมูลของพิกัดที่อยู่และความสูงจากระดับน้ำทะเล นำตัวอย่างดินแต่ละระดับชั้นใส่ถุงพลาสติกตัวอย่างละ 1 กิโลกรัม จากนั้นนำไปอบให้แห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง เมื่อแห้งสนิทแล้วนำมาบดให้ละเอียด จากนั้นร่อนผ่านตะแกรงรูที่มีขนาด 2 มิลลิเมตร เก็บใส่ภาชนะที่ปิดมิดชิดสำหรับใช้วิเคราะห์คุณสมบัติดินและองค์ประกอบของดินต่อไป

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

นำดินตัวอย่างที่อบแห้งและร่อนผ่านตะแกรงขนาดรู 2 มิลลิเมตร ไปศึกษาชนิดของเนื้อดินด้วยวิธีวิเคราะห์การแยกขนาดของอนุภาคของดินโดยการหาปริมาณทราย (sand) ทรายแป้ง (silt) และดินเหนียว (clay) โดยใช้เทคนิค Pipette method ตามวิธีการของ USDA โดยใช้สามเหลี่ยมการแบ่งเนื้อดิน (USDA soil texture triangle) [7] วัดค่าความเป็นกรด-เบส (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของดินโดยใช้เครื่องวัด pH meter โดยใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำกลั่นเท่ากับ 1:2 (W/V)

การวิเคราะห์สีดิน

วิเคราะห์ค่าสีดิน $L^* a^* b^*$ แต่ละจุดและแต่ละระดับความลึกด้วยเครื่องวัดสียี่ห้อ Konica Minolta Model CR-10 Plus และใช้แผ่นเทียบสีมาตรฐาน RSH Color Chart ของ The Royal Horticultural Society เพื่อบันทึกเฉดสี (hue) หลังจากทีวิเคราะห์สีดินแล้วทำการคัดเลือกตัวอย่างดินที่มีความเข้มของเฉดสีแดงเพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบของดินสำหรับใช้ทำเป็นผลิตภัณฑ์สีดินธรรมชาติต่อไป

การวิเคราะห์องค์ประกอบของดิน

นำตัวอย่างดินที่คัดเลือกมาผสมน้ำอัตราส่วนดินต่อน้ำ 1:2 กวนผสมให้เข้ากัน จากนั้นร่อนผ่านตะแกรงที่มีรูขนาด 25 ไมโครเมตร นำดินตัวอย่างผ่านการกรองมาตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 48 ชั่วโมง เพื่อให้ตกตะกอน ดูดน้ำส่วนที่ใสด้านบนออก นำดินที่ได้ไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง นำตัวอย่างดินที่ได้ไปวิเคราะห์วิเคราะห์องค์ประกอบของดินด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction, XRD) ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์รุ่น D2 Phaser X-ray diffractometer เพื่อระบุเฟสผลึกและองค์ประกอบแร่ธาตุในดิน เปรียบเทียบตัวอย่างดินเพื่อประเมินศักยภาพเป็นเม็ดสีธรรมชาติ ศึกษาโครงสร้างและการยึดเกาะของเม็ดสีดินธรรมชาติบนผิววัสดุด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ (stereo microscope) และกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (compound light microscope) และศึกษารูปร่างและพื้นผิวของอนุภาคดินระดับนาโนเมตรด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning

electron microscope, SEM) แบ่งตัวอย่างดินที่เหมาะสมไว้ส่วนหนึ่งเพื่อนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์สีดินธรรมชาติต่อไป

ผลการวิจัย

คุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และชนิดเนื้อดิน

ตัวอย่างดินแดงจากอำเภอยะนิง จ.ปัตตานี มีค่าความเป็นกรด-เบส โดยเป็นเบสเล็กน้อย (pH 7.47-7.82) ส่วนจุด PN-B และ PN-C เป็นกรดอ่อนจนถึงกรดปานกลาง (pH 4.32-5.22) จุด PN-A และ PN-C มีค่าการนำไฟฟ้าใกล้เคียงกันและมีค่ามากกว่าจุด PN-B และดินชั้นบนมีแนวโน้มของการนำไฟฟ้าสูงกว่าดินชั้นที่ลึกลงไปอาจเนื่องมาจากการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุในดินชั้นบนมีปริมาณมากกว่า ทำให้มีปริมาณฮิวมัสและธาตุอาหารที่ถูกปลดปล่อยผสมอยู่ในดินชั้นบนมากกว่า ส่วนชนิดของเนื้อดินพบว่า จุด PN-A มีเนื้อดินชนิดดินเหนียวปนดินร่วน (silty clay) จุด PN-B เป็นดินชนิดดินร่วนปนดินเหนียว (clay loam) และจุด PN-C เป็นดินชนิดดินเหนียว ส่วนตัวอย่างดินจากอำเภอศรีรัฐนิคม มีค่าความเป็นกรด-เบสไม่แตกต่างกันมาก ซึ่งดินมีลักษณะเป็นกรดอ่อน (pH 5.89-6.69) ค่าการนำไฟฟ้าในจุด PN-A มีค่าเฉลี่ยโดยรวมสูงกว่าจุด PN-B และ PN-C เล็กน้อย และมีแนวโน้มเช่นเดียวกันจากอำเภอยะนิง โดยในดินชั้นบนจะมีค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าดินที่ลึกลงไป เมื่อวิเคราะห์ชนิดของเนื้อดินพบว่าในทุกจุดเป็นชนิดดินเหนียว (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางเคมี องค์ประกอบ และชนิดของเนื้อดินของตัวอย่างดินจากอำเภอยะนิง (PN) และอำเภอศรีรัฐนิคม (KRN) จังหวัดสุราษฎร์ธานีที่ระดับความลึกต่าง ๆ

ตัวอย่างดิน	ความลึก (ซม.)	กรด-เบส (1:2)	ค่าการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนส์/ซม.)	ทราย (เปอร์เซ็นต์)	ทรายแป้ง (เปอร์เซ็นต์)	ดินเหนียว (เปอร์เซ็นต์)	ชนิดเนื้อดิน
PN-A*	10	7.82	200	8.63	43.71	47.66	ดินเหนียวปนดินร่วน
PN-A	20	7.47	121	8.63	43.71	47.66	ดินเหนียวปนดินร่วน
PN-A	30	7.51	125	8.63	43.71	47.66	ดินเหนียวปนดินร่วน
PN-B	10	5.22	161	25.73	41.63	32.64	ดินร่วนปนดินเหนียว
PN-B	20	5.09	70	25.73	41.63	32.64	ดินร่วนปนดินเหนียว
PN-B	30	4.82	72	25.73	41.63	32.64	ดินร่วนปนดินเหนียว
PN-C	10	4.74	116	23.10	32.76	44.14	ดินเหนียว
PN-C	20	4.45	123	23.10	32.76	44.14	ดินเหนียว
PN-C	30	4.32	111	23.10	32.76	44.14	ดินเหนียว
KRN-A	10	6.69	110	0	11.90	88.10	ดินเหนียว
KRN-A	20	6.13	83	0	11.90	88.10	ดินเหนียว
KRN-A	30	5.96	76	0	11.90	88.10	ดินเหนียว
KRN-B	10	5.89	75	0	10.26	89.74	ดินเหนียว
KRN-B	20	6.13	70	0	10.26	89.74	ดินเหนียว
KRN-B	30	6.22	69	0	10.26	89.74	ดินเหนียว
KRN-C	10	5.98	68	0	15.00	85.00	ดินเหนียว
KRN-C	20	5.97	61	0	15.00	85.00	ดินเหนียว
KRN-C	30	6.17	63	0	15.00	85.00	ดินเหนียว

*อักษรภาษาอังกฤษ A หมายถึงบริเวณที่ 1, B หมายถึงบริเวณที่ 2, C หมายถึงบริเวณที่ 3

การวิเคราะห์กลุ่มสีของดินตัวอย่าง

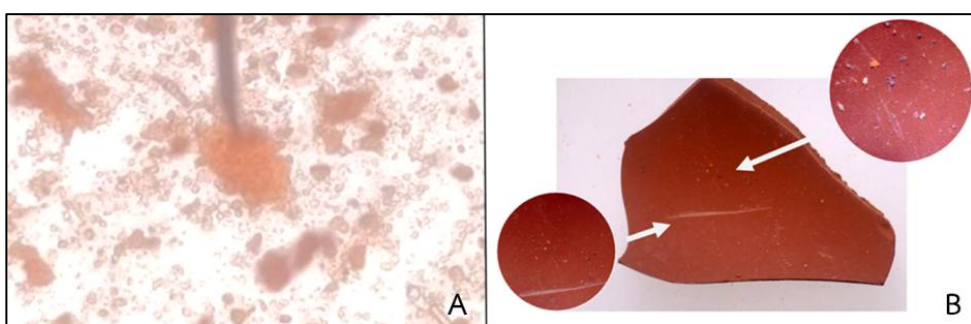
ค่าสี รหัสสี และกลุ่มสีของดินใช้วิธีมาตรฐานของการวัดสีตามหลักของ Commission International de l'Eclairage และสมุดคู่มือเทียบสีมาตรฐาน (RHS colour chart) พบว่า ค่าสีที่วัดได้จากเครื่องวัดสีของดินตัวอย่างในทุกจุดและทุกระดับความลึกเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการประเมินด้วยสายตาและการใช้สมุดคู่มือเทียบสี โดยดินในบริเวณที่ PN1-A-C (10-30 เซนติเมตร) และ PN2-B-C (10-30 เซนติเมตร) จำแนกกลุ่มสีอยู่ในกลุ่มสีน้ำตาล (brown) ส่วนตัวอย่างดิน PN2-A (10-30 เซนติเมตร) จำแนกได้อยู่ใน กลุ่มสีส้มเทา (grayed-orange) แต่มีความแตกต่างกันของรหัสสี และดินบริเวณที่ PN3-A-C (10-30 เซนติเมตร) จะมีสีอ่อนที่สุดในกลุ่ม กลุ่มสีส้มเทา หากวิเคราะห์ลักษณะสีดินตัวอย่างร่วมกับค่าความเป็นกรด-เบสของดินจะพบว่า ดินที่มีสีอ่อนและมีค่าความสว่างมาก (L^*) มักจะเป็นดินที่มีสภาพเป็นกรดจัด ส่วนดินที่มีสีเข้มและมีความสว่างน้อยจะมีค่าความเป็นกรด-เบสที่อยู่ในช่วงที่เป็นกรดอ่อนจนถึงเบสอ่อน ส่วนกลุ่มสีของดินตัวอย่างจากอำเภอกีร์รัฐนิคม พบว่า ค่าสีทุกจุดสามารถจำแนกกลุ่มสีอยู่ในกลุ่มสีส้มเทา แต่จะมีความแตกต่างของความสว่างของสี (L^*) จากเครื่องวัดสีและรหัสสีจากแผ่นเทียบสีมาตรฐาน ซึ่งโดยภาพรวมพบว่ากลุ่มสีส้มเทาเดียวกัน ตัวอย่างดิน KRN1-A-C (10-30 เซนติเมตร) จะมีความเข้มของสีมากที่สุด รองลงมาคือ KRN2-A-C (10-30 เซนติเมตร) และ KRN3-A-C (10-30 เซนติเมตร) ซึ่งมีสีอ่อนที่สุด ตามลำดับ (ภาพที่ 1)

Soil sample	Depth. (cm)			Soil sample	Depth. (cm)		
	10	20	30		10	20	30
PN1-A				KRN1-A			
PN1-B				KRN1-B			
PN1-C				KRN1-C			
PN2-A				KRN2-A			
PN2-B				KRN2-B			
PN2-C				KRN2-C			
PN3-A				KRN3-A			
PN3-B				KRN3-B			
PN3-C				KRN3-C			

ภาพที่ 1 สีของดินตัวอย่างจากอำเภอนน (PN) และอำเภอกีร์รัฐนิคม (KRN) จังหวัดสุราษฎร์ธานีที่ระดับความลึกต่าง ๆ

การวิเคราะห์ลักษณะอนุภาคเม็ดสีดินแดงด้วยกล้องจุลทรรศน์

การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงแสดงให้เห็นถึงความซับซ้อนและลักษณะเฉพาะของอนุภาคเม็ดสีในดินแดงที่กำลังขยายต่างกันที่กำลังขยายภาพ 10, 20 และ 40 เท่า อนุภาคดินจะมีรูปร่าง ขนาด และเนื้อสัมผัสที่หลากหลาย โดยมีทั้งมีลักษณะที่เป็นเหลี่ยมและมน การมีรอยแตกและรูพรุนขนาดเล็ก รวมถึงการรวมตัวของอนุภาคดินเหนียว (ภาพที่ 2A) ภาพจากกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอของดินที่ผ่านกระบวนการกรองและระเหยน้ำแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของอนุภาคดินอย่างชัดเจน โดยอนุภาคดินจะเรียงตัวกันแน่นเป็นพื้นผิวที่เรียบและต่อเนื่องเกิดเป็นโครงสร้างที่แข็งแรง มีช่องว่างระหว่างอนุภาคดินลดลงซึ่งทำให้มีความพรุนลดลงตามไปด้วย ส่งผลให้ผิวของดินมีความเรียบเนียนมากขึ้นและมีความหนาแน่นสูง (ภาพที่ 2B)



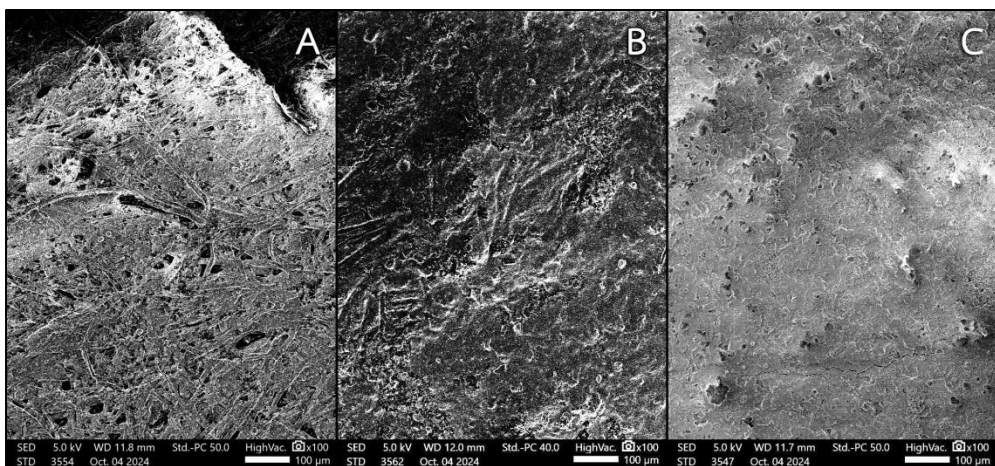
ภาพที่ 2 ลักษณะของอนุภาคดินจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (A) และจุลทรรศน์สเตอริโอ (B) ที่กำลังขยาย 40 เท่า (40x)

ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 100 เท่า แสดงอนุภาคดินเหนียวสีแดงที่มีรูปแบบการยึดเกาะที่แตกต่างกันบนพื้นผิวตัวอย่าง ได้แก่ กระจาด ผ่าใบ และไม้กระดานดินสอพอง พบว่า โครงสร้าง ความพรุน และลักษณะพื้นผิวมีผลโดยตรงต่อการกระจายตัวและความสม่ำเสมอของชั้นเม็ดสี [8] ลักษณะโครงสร้างและการกระจายตัวของอนุภาคดินมีความสัมพันธ์โดยตรงกับคุณสมบัติทางกายภาพของพื้นผิว [9] พื้นผิวกระจาดมีการกระจายตัวของอนุภาคตามแนวเส้นใยและมีช่องว่างที่ชัดเจนในขณะที่ผ่าใบแสดงโครงสร้างเป็นร่องและมีการสะสมตัวของอนุภาคตามแนวเส้นใยที่ถักทอ ส่วนพื้นผิวไม้กระดานดินสอพองแสดงการกระจายตัวที่มีความหนาแน่นและสม่ำเสมอมากกว่า (ภาพที่ 3) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Kadhim & Alyounis [10] ที่พบว่าความพรุนและความขรุขระของพื้นผิวมีผลโดยตรงต่อการยึดเกาะของอนุภาคดินเหนียว ผลการศึกษานี้มีนัยสำคัญต่อการเลือกวัสดุรองพื้นที่เหมาะสมสำหรับการใช้สีดินธรรมชาติในงานศิลปะ

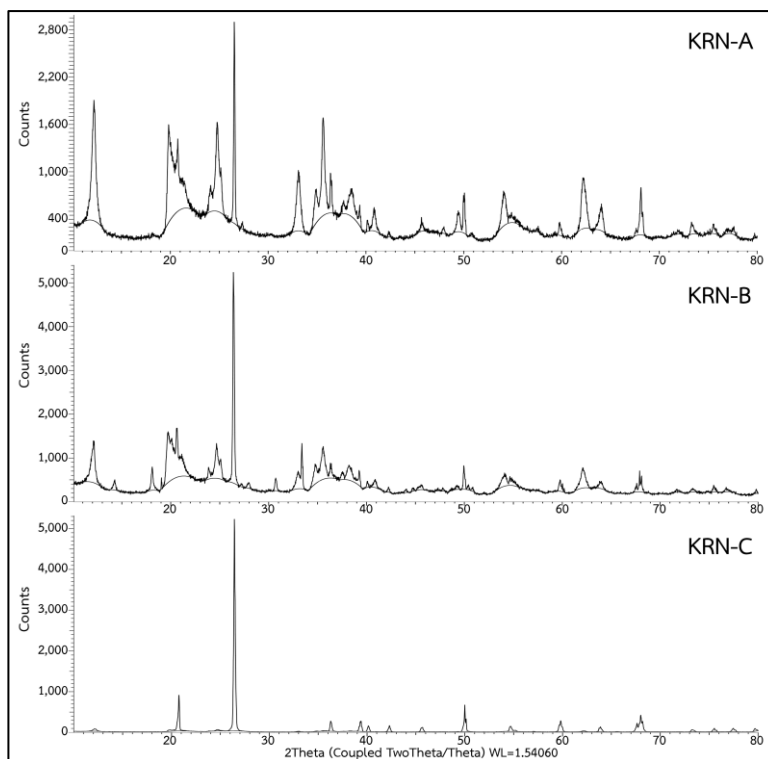
การวิเคราะห์องค์ประกอบของดินด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างดินจากอำเภอนมและคีรีรัฐนิคม จังหวัดสุราษฎร์ธานี จากลักษณะทางเคมีและกายภาพ และค่าของสีดินพบว่า ดินแดงจากอำเภอกีรีรัฐนิคมทั้ง 3 บริเวณ (KRN-A-C) มีศักยภาพการเป็นเม็ดสีธรรมชาติ และเมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบของดินโดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ซึ่งปรากฏลักษณะ แผนภูมิการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของตัวอย่างดินทั้ง

3 บริเวณ (ภาพที่ 4) พบว่า สารประกอบหลักของดินส่วนใหญ่เป็นชนิดเดียวกันกันแต่มีปริมาณที่ต่างกัน จากการเทียบกับฐานข้อมูล Powder Diffraction File™ (PDF®) (ตารางที่ 2) ดังนี้ ดินบริเวณ KRN-A มีแคดเมียมคอปเปอร์แกลเลียมซีลีไนด์ ($\text{CuCd}_2\text{GaSe}_4$) 12.6% ซึ่งเป็นแร่ที่ให้สีน้ำตาลแดงเข้ม แบเรียมอะลูมิเนียมฟลูออไรด์ (Ba_3AlF_9) 12.2% สีขาว ซิงค์คลอไรด์ ($\text{Zn}(\text{ClO}_4)_2$) 9.8% เป็นสีขาว สติลโนเมลาน ($(\text{Fe,Mn,Mg})_3(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_4\cdot\text{H}_2\text{O}$) 9.7% ให้สีน้ำตาลหรือดำ คอปเปอร์แวนาเดียมออกไซด์ ($\text{Cu}_0.95\text{V}_2\text{O}_5$) 9.0% ให้สีน้ำตาล และแร่ เฮมาไทต์ (Fe_2O_3) ซึ่งพบอยู่ที่ 8.2% จะให้สีน้ำตาลแดงเข้ม ส่วนดินตัวอย่างบริเวณ KRN-B มีแคดเมียมคอปเปอร์แกลเลียมซีลีไนด์ ($\text{CuCd}_2\text{GaSe}_4$) พบอยู่ที่ 19.4% เท่ากับคอปเปอร์แวนาเดียมออกไซด์ ($\text{Cu}_0.95\text{V}_2\text{O}_5$) และพบซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2 , Quartz) ที่ 15.5% เป็นองค์ประกอบหลัก และดินบริเวณ KRN-C มีแคดเมียมคอปเปอร์แกลเลียมซีลีไนด์ ($\text{CuCd}_2\text{GaSe}_4$) 37.0% แบเรียมแมงกานีสออกไซด์ (BaMnO_3) 16.3% ซึ่งเป็นแร่ที่มีสีขาว ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2 , Quartz) 15.2% แบเรียมอะลูมิเนียมฟลูออไรด์ (Ba_3AlF_9) 10.4% คอปเปอร์แวนาเดียมออกไซด์ ($\text{Cu}_0.95\text{V}_2\text{O}_5$) 7.8% โดยแร่ที่เป็นองค์ประกอบหลัก 5 ลำดับแรกของดินแต่ละบริเวณมีความสอดคล้องกับการวัดประเมินค่าสีด้วยเครื่องวัดสีและแผ่นเทียบสีมาตรฐานที่ได้



ภาพที่ 3 ลักษณะของอนุภาคดินบนผิววัสดุชนิดต่าง ๆ จากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 100 เท่า กำลังไฟ 5.0 kV บนกระดาษวาดเขียน (A) ผ้าใบ (B) และ กระดาษดินสอพอง (C)



ภาพที่ 4 แผนภูมิการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของตัวอย่างดิน 3 บริเวณจากอำเภอกีร์รัฐนิคม

ตารางที่ 2 แร่ที่เป็นองค์ประกอบของดินจากอำเภอกีร์รัฐนิคม วิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (PDF®)

ลำดับที่	แร่ที่เป็นองค์ประกอบของดิน (PDF)	สูตรเคมี	ปริมาณที่พบ (เปอร์เซ็นต์)		
			KRN-A	KRN-B	KRN-C
1	แคดเมียมคอปเปอร์แกลเลียมซีลีไนด์ (PDF 00-026-0828)	$\text{CuCd}_2\text{GaSe}_4$	12.6	19.4	37.0
2	แบเรียมอะลูมิเนียมฟลูออไรด์ (PDF 00-028-0116)	Ba_3AlF_9	12.2	4.7	10.4
3	ซิงค์คลอไรด์ (PDF 00-044-0216)	$\text{Zn}(\text{ClO}_4)_2$	9.8	6.6	1.0
4	สตีลโนเมธาน (PDF 00-015-0048)	$(\text{Fe,Mn,Mg})_3(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	9.7	7.0	1.1
5	คอปเปอร์แวนาเดียมออกไซด์ (PDF 00-018-0463)	$\text{Cu}_0.95\text{V}_2\text{O}_5$	9.0	19.4	7.8
6	เฮกซะเดคาไฮโดรไพรีน (PDF 00-070-1330)	$\text{C}_{16}\text{H}_{26}$ (3aR, 5aS, 8aR, 10aS)	8.6	7.8	0.6
7	เฮมาไทต์ (PDF 00-005-0637)	Fe_2O_3	8.2	4.7	0.2

ตารางที่ 2 แร่ที่เป็นองค์ประกอบของดินจากอำเภอกีร์รัฐนิคม วิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (PDF®) (ต่อ)

ลำดับที่	แร่ที่เป็นองค์ประกอบของดิน (PDF)	สูตรเคมี	ปริมาณที่พบ (เปอร์เซ็นต์)		
			KRN-A	KRN-B	KRN-C
8	เบตา-โซเดียมยูเรเนียมฟลูออไรด์ (PDF 00-010-0163)	Na_2UF_6	8.0	-	-
9	เฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซน (PDF 00-011-0725)	$\text{C}_6\text{H}_6\text{Cl}_6$	7.6	4.8	6.9
10	ฟิลลิปไซต์-แคลเซียม (ซีโอไลต์) PDF 00-039-1375)	$\text{KCa}(\text{Si}_5\text{Al}_3)\text{O}_{16} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	5.3	3.3	0.4
11	ฟลูออรีนไมกาที่แทนที่ด้วยนิกเกิล (PDF 00-051-0046)	$\text{KLiMgNiSi}_4\text{O}_{10}\text{F}_2$	4.8	4.5	1.9
12	แร้ซิลิกา (PDF 01-089-1961)	SiO_2	4.4	15.5	15.2
13	โซเดียมอลูมิเนียมออกไซด์ (PDF 00-019-1177)	NaAlO_2	-	2.3	1.1
14	บาร์เซียมแมงกานีสออกไซด์ (PDF 00-015-0232)	BaMnO_3	-	-	16.3

อภิปรายผลการวิจัย

ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางกายภาพและเคมี มีผลต่อสีของดินทั้งโทนสีและความเข้มของสีดินโดยพบว่า ดินตัวอย่างเกือบทุกจุดจะมีดินชั้นบนที่มีแนวโน้มของค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าดินชั้นที่ลึกลงไปอาจเนื่องมาจากการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุในดินชั้นบนมีปริมาณมากกว่าทำให้มีปริมาณธาตุอาหารที่ถูกปลดปล่อยผสมอยู่ในดินชั้นบนมากกว่าและมีอิทธิพลสูงที่ทำให้ดินมีสีเข้ม ลักษณะของชั้นดินบน เป็นชั้นดินที่มีสีเข้มเนื่องจากมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง และมักมีค่าความเป็นกรดต่ำ ($\text{pH} < 5.5$) ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างสีเข้มของดินกับความเป็นกรดของดิน [11] ดินจากอำเภอกีร์รัฐนิคมมีโทนสีโดยรวมที่เข้มกว่าสีจากอำเภอยะนง และดินจากอำเภอกีร์รัฐนิคมทั้ง 3 บริเวณที่ศึกษามีความแตกต่างกันของโทนสี ดินบริเวณ KRN-A มีสีน้ำตาลแดงเข้มที่สุด รองลงมา คือ KRN-B และ KRN-C ตามลำดับ ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อความเข้มของสีเกิดจากองค์ประกอบของดินที่วิเคราะห์ได้ซึ่งมีความสอดคล้องกัน โดยแร่ประกอบของดินที่ให้สีน้ำตาลแดง คือ แคลเซียมคอปเปอร์แกลเลียมซิลิไนด์ [12] ที่เป็นองค์ประกอบหลักเหมือนกันในตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด ส่วนความเข้มของสีแต่ละตัวอย่างแปรผันตามส่วนประกอบของแร่ธาตุรองที่พบคือคอปเปอร์แวนาเดียมออกไซด์ สติลปโนเมลาน [13] และแร่เฮมาไทต์ในรูปของเหล็กออกไซด์ที่เป็นส่วนของแร่ธาตุที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลแดงเข้มตามธรรมชาติและมีเสถียรภาพที่ดี [14] ซึ่งพบในตัวอย่างดิน KRN-A ในอัตราส่วนที่มากกว่า KRN-B และ KRN-C ตามลำดับ ทำให้ KRN-A มีสีน้ำตาลแดงเข้มที่สุด ส่วนแร้ซิลิกอนไดออกไซด์ แบเรียมอะลูมิเนียมฟลูออไรด์ ฟลูออรีนไมกาหรือแร้ซีโอไลต์เป็นแร่สีขาวหรือใสไม่มีสีซึ่งจะพบในตัวอย่างดิน KRN-C มากที่สุดด้วย ซึ่งเกณฑ์การใช้เม็ดสีในทางศิลปะจะต้องมีคุณสมบัติของความเข้มของสี (การวัดความสามารถของเม็ดสีในการถ่ายทอดสีให้กับวัสดุอื่น) ความสามารถในการทำให้สว่างขึ้น (การวัดความสามารถของ

เม็ดสีขาวในการทำให้วัสดุอื่นสว่างขึ้น) การปกปิด (การวัดความสามารถในการซ่อนพื้นผิวของวัตถุ) มีขนาดอนุภาค องค์ประกอบทางเคมี การกระจายขนาดอนุภาค ความหนาแน่น ปริมาณความชื้น และเกลือ ปริมาณของส่วนประกอบที่ละลายน้ำและกรด ค่า pH และการนำไฟฟ้าของดินมีบทบาทสำคัญต่อคุณภาพของสีธรรมชาติในงานศิลปะ โดยดินที่เป็นกรด (pH ต่ำกว่า 7) มักอุดมด้วยแร่ธาตุละลายอย่างเหล็กและอะลูมิเนียม ให้โทนสีเข้มแดง ส้ม หรือเหลือง แต่อาจทำให้วัสดุประสานเสื่อมสภาพเร็ว ขณะที่ดินเป็นเบส (pH สูงกว่า 7) มักมีแคลเซียมคาร์บอเนตสูงให้โทนสีอ่อนกว่า และอาจทำให้สีดูหม่นหรือเปลี่ยนโทนเมื่อเวลาผ่านไป ส่วนค่าการนำไฟฟ้ายิ่งต่ำยิ่งดีต่อการทำสี เพราะมีสารละลายน้อยไม่ก่อให้เกิดคราบเกลือบนผลงานทำให้สียึดเกาะวัสดุได้ดีและมีความสม่ำเสมอ ต่างจากดินที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูงซึ่งอาจทำให้เกิดการตกผลึกบนผิวงานและส่งผลต่อความคงทนของสีในระยะยาว ความคงตัวต่อแสงในเม็ดสีดินแดงสามารถทนต่อการสัมผัสแสงแดดโดยตรงเป็นเวลานานโดยไม่ซีดจางหรือเปลี่ยนสี ตัวอย่างเช่น ภาพเขียนในถ้ำยุคก่อนประวัติศาสตร์ที่ใช้ดินแดงยังคงสีสดใสชัดเจนแม้ผ่านเวลามานานหลายพันปี [15] คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของดินแดงมีผลต่อความคงทนของสีเมื่อสัมผัสกับแสงแดด โดยเฉพาะการมีแร่เหล็กออกไซด์ เช่น เฮมาไทต์ [16] และมีพฤติกรรมกระจายตัวและการตอบสนองกับส่วนประกอบของสารยึดเกาะ [17, 18]

ดังนั้น ศักยภาพในการใช้ดินแดงเป็นแหล่งเม็ดสีธรรมชาติ ดินจากอำเภอกีร์รัฐนิคม (KRN-A) เหมาะสำหรับการพัฒนาเป็นเม็ดสีโทนน้ำตาลแดงเข้ม การพัฒนาผลิตภัณฑ์สีจากดิน KRN-A เป็นการสร้างทางเลือกวัสดุศิลปะที่มีคุณภาพสูงและยั่งยืน คุณสมบัติการละลายและการไหลซึมที่ดี เหมาะสำหรับเทคนิคสีน้ำและเม็ดสีผงที่ใช้ในงานศิลปะในการประยุกต์ใช้ทางศิลปะ โดยมีการทดสอบใช้ในการวาดภาพร่วมแสดงนิทรรศการ ศิลปณจารย์ ประจำปี 2567 ณ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 ตัวอย่างภาพวาดด้วยสีดินแดงธรรมชาติจากอำเภอกีร์รัฐนิคม (KRN-A)

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้มุ่งเน้นการศึกษาคุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และสีของดินแดงจากอำเภอนมและอำเภอบีร์รัฐนิคม จังหวัดสุราษฎร์ธานี ดินจากอำเภอนมอยู่ในกลุ่มสีน้ำตาล และ กลุ่มสีส้มเทา ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรด-เบสของดิน ดินที่มีความเป็นกรดสูงมักมีสีอ่อนกว่าดินที่มีค่าความเป็นเบสอ่อน ดินตัวอย่างจากอำเภอบีร์รัฐนิคม ส่วนใหญ่อยู่ใน กลุ่มสีส้มเทา แต่มีความแตกต่างกันในระดับความเข้มของสี โดยบริเวณ KRN1-A-C มีสีเข้มที่สุด และ KRN3-A-C มีสีอ่อนที่สุด เมื่อวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงให้เห็นว่าอนุภาคดินมีรูปร่างและขนาดที่ต่างกัน มีรอยแตกและรูพรุนที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของสี ซึ่งดินชั้นบน (0-20 เซนติเมตร) มีศักยภาพสูงสุดเนื่องจากมีปริมาณแร่ที่ให้สี โครงสร้าง และอนุภาคเม็ดสีที่มีคุณภาพมากที่สุด พื้นผิวของวัสดุที่ใช้รองรับเม็ดสี (กระดาษ ผ้าใบ และไม้กระดานดินสอพอง) มีผลต่อการกระจายตัวของเม็ดสี สีของดินได้รับอิทธิพลจากองค์ประกอบของแร่และปัจจัยทางกายภาพ จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของดินด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ พบว่า ดินจากอำเภอบีร์รัฐนิคม (KRN-A, KRN-B, KRN-C) มีศักยภาพในการใช้เป็นเม็ดสีธรรมชาติ ซึ่งมีผลมาจากแร่ที่มีอิทธิพลต่อสีของดิน ได้แก่ เฮมาไทต์ที่ให้สีน้ำตาลแดงเข้ม สติลโนเมลานให้สีน้ำตาลหรือดำ คอปเปอร์แวนาเดียมออกไซด์ ให้สีน้ำตาล แร่ไม่มีสี เช่น ซิลิกอนไดออกไซด์และแบเรียมอะลูมิเนียมฟลูออไรด์ทำให้ดินมีสีอ่อนลง ดังนั้น ศักยภาพในการนำไปใช้เป็นสีดินแดงจากธรรมชาติ ดินจากอำเภอบีร์รัฐนิคม (KRN-A) ซึ่งมีแร่เฮมาไทต์ สติลโนเมลาน และคอปเปอร์แวนาเดียมออกไซด์สูงเป็นองค์ประกอบมีศักยภาพสูงที่สุดในการพัฒนาเป็นเม็ดสีธรรมชาติในโทนสีน้ำตาลแดงเข้มที่สามารถนำไปใช้พัฒนาเม็ดสีจากดินธรรมชาติในอุตสาหกรรมสีและงานศิลปะได้ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่สนับสนุนทุนการวิจัย (N33A670093) และมหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี สำหรับสถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Thoyib, M., Harsito, C., Basuki, Suyitno, S., & Hadi, S. (2018). Formulating water-based paint with red natural dyes. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 52(2), 259–265.
- [2] Affat, S. S. (2021). Classifications, advantages, disadvantages, toxicity effects of natural and synthetic dyes: A review. *University of Thi-Qar Journal of Science*, 8(1), 130.
- [3] Hradil, D., Grygar, T., Hradilova, J., & Bezdzicka, P. (2003). Clay and iron oxide pigments in the history of painting. *Applied Clay Science*, 22, 223–236.
- [4] Siddall, R. (2018). Mineral pigments in archaeology: Their analysis and the range of available materials. *Minerals*, 8(5), 201.

- [5] เก่งกาจ ต้นทองคำ, และจิตาภา ศรีสวัสดิ์. (2563). การศึกษาวัตถุจากธรรมชาติที่ให้สี เพื่อใช้ในการสร้างสรรค์งานจิตรกรรมไทย. ใน งานประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 12 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, 3626-3634.
- [6] กรมพัฒนาที่ดิน (2548). ลักษณะและสมบัติของชุดดินในภาคใต้และชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกของประเทศไทย. กรมพัฒนาที่ดิน.
- [7] Soil Survey Staff. (2014). Soil survey field and laboratory methods manual: Soil survey investigations report No. 51 Version 2.0. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
- [8] Li, Y., & He, B. (2011). Characterization of ink pigment penetration and distribution related to surface topography of paper using confocal laser scanning microscopy. *BioResources*, 6(3), 2690–2702.
- [9] CILAS. (n.d.). Particle size and shape analysis in the paint, ink, and pigment industry. CILAS.
- [10] Kadhim, H. K., & Alyounis, M. (2024). Effect of surface roughness on the interface behavior of clayey soils. *Open Engineering*, 10, 20220578.
- [11] Moritsuka, N., Matsuoka, K., Katsura, K., & Yanai, J. (2014). Soil color analysis for statistically estimating total carbon, total nitrogen and active iron contents in Japanese agricultural soils. *Science of the Total Environment*, 271(1), 123–133.
- [12] Shi, W. (2020). Thermoelectric transport control using single phase materials and metamaterial composites. Doctor of Philosophy Dissertation. University of South Florida.
- [13] Lu, Y., Dong, W., Wang, W., Ding, J., Wang, Q., Hui, A., & Wang, A. (2018). Optimal synthesis of environment-friendly iron red pigment from natural nanostructured clay minerals. *Nanomaterials*, 8(11), 925.
- [14] Vodyanitskii, Y. N., & Savichev, A. T. (2017). The influence of organic matter on soil color using the regression equations of optical parameters in the system CIE-L*a*b*. *Annals of Agrarian Science*, 15(3), 380–385.
- [15] Eastaugh, N., Walsh, V., Chaplin, T., & Siddall, R. (2004). *The pigment compendium: A dictionary of historical pigments*. Butterworth-Heinemann.
- [16] Sirisathitkul, Y., & Sirisathitkul, C. (2025). Decoding Soil Color: Origins, Influences, and Methods of Analysis. *Agri Engineering*, 7(3), 58.
- [17] Coccato, A., Moens, L., & Vandenabeele, P. (2017). On the stability of mediaeval inorganic pigments: A literature review of the effect of climate, material selection, biological activity, analysis and conservation treatments. *Heritage Science*, 5, 12.

- [18] Natural Pigments. (n.d.). Pigment particle size: The role of particle size in art. [online], retrieved from <https://www.naturalpigments.com/artist-materials/pigment-particle-size-role-in-art> (28 April 2025).