สีสัน บน ศิลปกรรม

จิราภรณ์ อรัณยะนาค

สีส้น
บน
ศิลปกรรม

สีสันบนศิลปกรรม

ผู้เขียน	จิราภรณ์ อรัณยะนาค
เผยแพร่ครั้งแรก	เมษายน 2566
หัวหน้าโครงการฯ และบรรณาธิการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์โอชนา ผลทองดีวัฒนา
ศิลปกรรมและออกแบบปก	พงศกร เจนในเมือง
พิสูจน์อักษร	พงศกร เจนในเมือง
ISBN (e-book)	978-616-584-108-5
จัดทำโดย	วิทยสถานสังคมศาสตร์ มนุษยศาสตร์ และศิลปกรรมศาสตร์แห่งประเทศไทย (ธัชชา) สำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ

จิราภรณ์ อรัณยะนาค.
สีสันบนศิลปกรรม.-- กรุงเทพฯ : วิทยสถานสังคมศาสตร์ มนุษยศาสตร์ และศิลปกรรมศาสตร์แห่งประเทศไทย (ธัชชา), 2566.
214 หน้า.-- (โครงการอบรมเชิงปฏิบัติการการอนุรักษ์เชิงป้องกันผลงานศิลปกรรม : การจัดเก็บและการควบคุมสภาพแวดล้อมจากบริบทของปัญหางานศิลปกรรมที่พบในไทย).

1. สีในศิลปกรรม. I. ชื่อเรื่อง.

701.85
ISBN 978-616-584-108-5

หนังสือเล่มนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการอบรมเชิงปฏิบัติการการอนุรักษ์เชิงป้องกันผลงานศิลปกรรม : การจัดเก็บและการควบคุมสภาพแวดล้อมจากบริบทของปัญหางานศิลปกรรมที่พบในไทย ภายใต้แผนงานพิพิธภัณฑ์ศิลปกรรมแห่งชาติตามโครงการขับเคลื่อนการวิจัยและพัฒนาบุคลากรการวิจัยด้านสังคมศาสตร์ มนุษยศาสตร์ และศิลปกรรมศาสตร์ ได้รับทุนอุดหนุนการทำกิจกรรมส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัยและนวัตกรรมจากสำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม และสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2565

สนับสนุนโดย

คำนำหัวหน้าโครงการ

หนังสือเรื่อง **"สีสันบนศิลปกรรม"** โดย **ดร.จิราภรณ์ อรัณยะนาค** เป็นส่วนหนึ่งของโครงการอบรมเชิงปฏิบัติการการอนุรักษ์เชิงป้องกันผลงานศิลปกรรม : การจัดเก็บและการควบคุมสภาพแวดล้อมจากบริบทของปัญหางานศิลปกรรมที่พบในไทย ภายใต้แผนงานพิพิธภัณฑ์ศิลปกรรมแห่งชาติ โครงการขับเคลื่อนการวิจัยและพัฒนาบุคลากรการวิจัยด้านสังคมศาสตร์ มนุษยศาสตร์ และศิลปกรรมศาสตร์ ได้รับทุนอุดหนุนการทำกิจกรรมส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัยและนวัตกรรมจากสำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม และสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2565 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ความรู้ด้านการอนุรักษ์เชิงป้องกันให้แก่เครือข่ายด้านศิลปกรรมในประเทศไทย โดยวิทยากรผู้เชี่ยวชาญด้านการอนุรักษ์ทั้งในประเทศและต่างประเทศ ได้แก่ **Dr.Nicole Tse** อาจารย์และนักอนุรักษ์จาก Grimwade Centre for Cultural Materials Conservation, University of Melbourne ดร.จิราภรณ์ อรัณยะนาค นักวิทยาศาสตร์ ระดับ 9 ชช. ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านวิทยาศาสตร์การอนุรักษ์ อดีตหัวหน้ากลุ่มวิทยาศาสตร์เพื่อการอนุรักษ์ สำนักพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ กรมศิลปากร **อาจารย์โสภิต ปัญญาขัน** นักวิทยาศาสตร์ ระดับชำนาญการพิเศษ กลุ่มวิทยาศาสตร์เพื่อการอนุรักษ์ สำนักพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ กรมศิลปากร **อาจารย์ขวัญจิต เลิศศิริ** ข้าราชการบำนาญ กรมศิลปากร นักอนุรักษ์ผู้ก่อตั้งบริษัท KCT Conservation จำกัด

นอกจากนี้ยังเผยแพร่ความรู้ด้านการอนุรักษ์ผลงานศิลปกรรมในรูปแบบหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ จำนวนสามเล่ม ได้แก่ เล่มที่หนึ่ง **"การอนุรักษ์เชิงป้องกันผลงานศิลปกรรม : การจัดเก็บและการควบคุมสภาพแวดล้อมจากบริบทของปัญหางานศิลปกรรมที่พบในไทย"** ซึ่งรวบรวมเนื้อหาจากการบรรยายของวิทยากรในโครงการอบรมเชิงปฏิบัติการฯ เล่มที่สอง "สีสันบนศิลปกรรม" และเล่มที่สาม **"การเสื่อมสภาพของศิลปกรรม"** โดย ดร.จิราภรณ์ อรัณยะนาค หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือที่โครงการฯ จัดพิมพ์ทั้งสามเล่ม จะก่อให้เกิดประโยชน์ทางการศึกษาแก่เครือข่ายด้านศิลปกรรมในประเทศไทย ผู้ดูแลศิลปกรรมในพิพิธภัณฑ์ หอศิลป์ ศิลปิน อาจารย์ นักวิชาการ นักศึกษา และผู้สนใจในด้านการอนุรักษ์ ให้สามารถนำความรู้เหล่านี้ไปใช้ประโยชน์เพื่อการสร้างสรรค์และการอนุรักษ์ผลงานศิลปกรรมสืบไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์โอชนา ผูลทองดีวัฒนา
หัวหน้าภาควิชาทฤษฎีศิลป์
คณะจิตรกรรม ประติมากรรมและภาพพิมพ์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
หัวหน้าโครงการฯ

คำนำผู้เขียน

ผู้เขียนได้ค้นคว้า วิจัย และรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในงานศิลปกรรม จากเอกสารวิจัย ตำรา วารสาร หนังสือ และคำบรรยายในหลักสูตรอนุรักษ์ต่าง ๆ ในต่างประเทศ ตลอดจนข้อมูลจากการนำเสนอผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติมาเป็นเวลานานกว่า 40 ปี รวมทั้งทำการศึกษา ทดลอง วิเคราะห์ ตรวจสอบวัสดุที่ใช้ในการสร้างสรรค์ศิลปกรรมก่อนทำการอนุรักษ์ และเคยนำเสนอข้อมูลบางส่วนในการประชุมวิชาการของกรมศิลปากร ตลอดจนเขียนบทความสั้น ๆ ตีพิมพ์เผยแพร่มาบ้างแล้ว ข้อมูลเหล่านี้เคยนำมาใช้บรรยายในหลักสูตรอบรมด้านการอนุรักษ์ศิลปกรรมมาแล้วหลายหลักสูตรในอดีต ต่อมาได้ค้นคว้าเพิ่มเติมและปรับปรุงให้มีเนื้อหากว้างขวางและลึกซึ้งขึ้น เพื่อใช้ในการเรียนการสอนหลักสูตรศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอนุรักษ์ศิลปกรรม ซึ่งเป็นหลักสูตรพหุวิทยาการของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ในรายวิชาวัสดุและเทคนิคในการอนุรักษ์ (Materials and Techniques in Conservation)

ความรู้เกี่ยวกับวัสดุที่ใช้ในการสร้างสรรค์ศิลปกรรม เป็นสิ่งจำเป็นขั้นพื้นฐานสำหรับผู้ปฏิบัติงานอนุรักษ์ศิลปกรรมที่จะต้องตรวจสอบที่มา ชนิด และคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้สร้างสรรค์งานศิลปกรรมและการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นตามกาลเวลา จากนั้นศึกษาหาสาเหตุและกระบวนการที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง เพื่อที่จะตัดสินใจเลือกใช้วัสดุและวิธีการที่ถูกต้องเหมาะสมและเป็นไปตามหลักการอนุรักษ์ นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นเอกสารอ้างอิงในการศึกษาวิจัยหรือเขียนบทความทางวิชาการหรือจัดทำรายงานการปฏิบัติงาน รวมทั้งเอื้อประโยชน์ต่อศิลปินและนักศึกษาด้านการสร้างสรรค์ศิลปกรรมในการเลือกใช้สารสีและวัสดุที่เหมาะสม

หวังว่าข้อมูลเหล่านี้จะเกิดประโยชน์ต่อนักศึกษา นักอนุรักษ์ บุคลากรที่ปฏิบัติงานด้านอนุรักษ์ ผู้ดูแลศิลปกรรม ตลอดจนจิตรกรและผู้สร้างสรรค์งานศิลปะแขนงต่าง ๆ

จิราภรณ์ อรัณยะนาค

7 มีนาคม 2566

สารบัญ

บทที่ 1 องค์ประกอบของศิลปกรรม
-8-

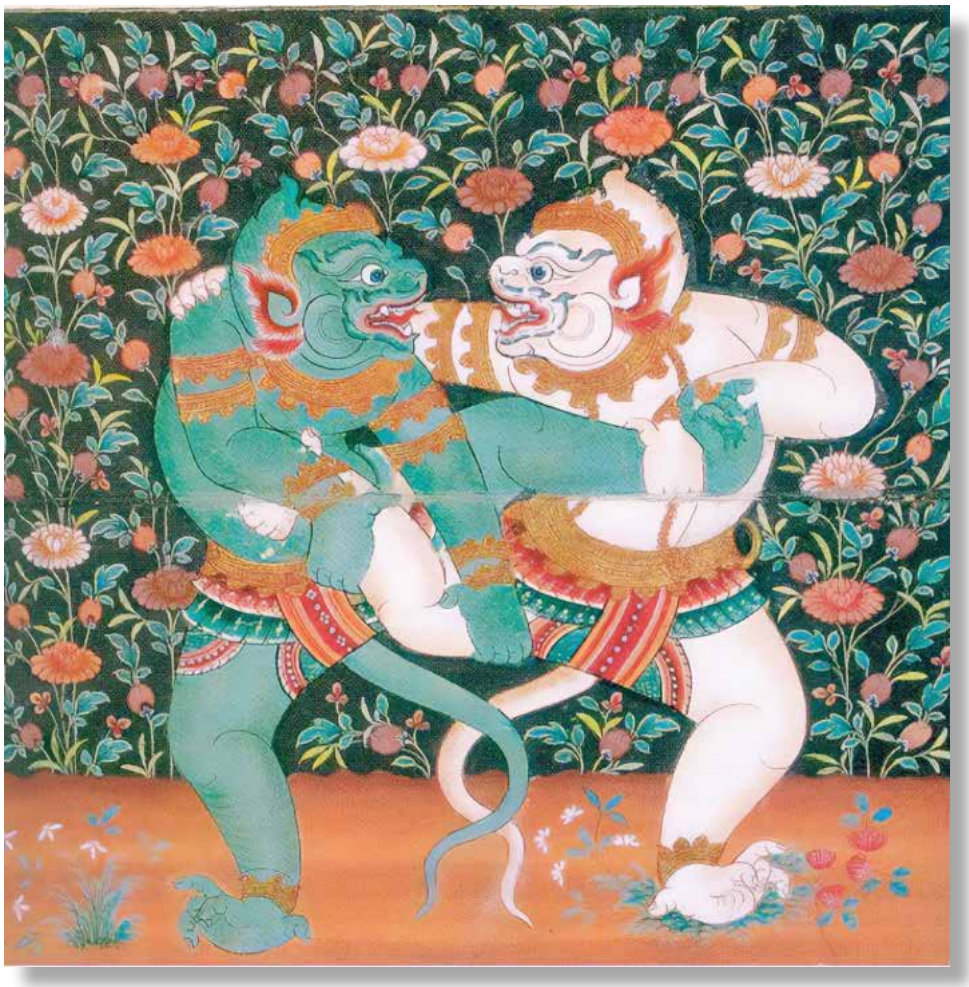
บทที่ 2 การมองเห็นสีบนวัสดุ
-46-

บทที่ 3 สารสีในการสร้างสรรค์ศิลปกรรม
-66-

บทที่ 4 คุณสมบัติของสารสีที่ใช้ในการสร้างสรรค์ศิลปกรรม
-76-

บทที่ 5 บทสรุป
-198-

เอกสารอ้างอิง
-204-



บทที่ 1
องค์ประกอบของงานศิลปกรรม

ก่อนที่จะดำเนินการอนุรักษ์งานศิลปกรรม ผู้ปฏิบัติงานควรมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับวัสดุและเทคนิคที่ใช้ในการสร้างสรรค์งานศิลปกรรม ทั้งคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุต่าง ๆ รวมทั้งต้องมีพื้นความรู้เกี่ยวกับประวัติศาสตร์ศิลปะและประวัติของเทคโนโลยีมากพอสมควร และต้องตระหนักในคุณค่าและความสำคัญของงานศิลปกรรมแต่ละชิ้น เริ่มจากทำการศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุ วิธีการ และเทคนิคที่ช่างใช้ในการสร้างสรรค์งาน ประวัติการใช้งานและการดูแลรักษา รวมทั้งศึกษาการเปลี่ยนแปลงของวัสดุเหล่านั้นจากปัจจัยต่าง ๆ จากนั้นศึกษาวิจัยเกี่ยวกับวัสดุและเคมีภัณฑ์ที่จะต้องใช้ในการอนุรักษ์แต่ละขั้นตอน ซึ่งต้องอาศัยความร่วมมือกันระหว่างผู้เชี่ยวชาญหลาย ๆ สาขา

เมื่อได้ข้อมูลแล้วลงมือปฏิบัติการอนุรักษ์ตามขั้นตอน เช่น ทำความสะอาด ละลายเอาชั้นเคลือบหรือผิวเดิมที่กำลังเสื่อมสภาพออก ละลายชั้นสีที่กำลังเสื่อมสภาพหรือเปลี่ยนสีหรือ

ชั้นสีที่มีผู้ซ่อมแซมด้วยการเขียนทับ เสริมสร้างความแข็งแรงให้ชั้นสีที่กำลังอยู่ในสภาพแตกล่อนหรือป่นเป็นผง ขจัดคราบเชื้อรา กำจัดแมลง ทำความสะอาดคราบฝ้ามัวที่เกิดจากน้ำหรือความชื้น ขจัดสนิมที่เป็นอันตราย ขจัดเกลือ ซ่อมแซมส่วนที่ฉีกขาดหรือเป็นรู ทำให้แบนราบหรือทำให้รอยย่นรอยยับ รอยพับหายไป เสริมวัสดุด้านหลังเพื่อให้แข็งแรงขึ้น การขึงผ้าใบใหม่หรือปรับความตึงของผืนผ้าใบเดิม เติมสีในส่วนที่ซ่อมแซมหรือส่วนที่สีเดิมสูญหายไป การนำภาพใส่กรอบโดยใช้วัสดุที่ไม่เป็นอันตรายต่องานศิลปกรรม การออกแบบอุปกรณ์ในการพยุงหรือรับน้ำหนักประติมากรรมขนาดใหญ่ การควบคุมสภาพแวดล้อมในการจัดเก็บและจัดแสดง เป็นต้น การปฏิบัติงานในขั้นตอนดังกล่าวล้วนมีความสัมพันธ์กับชนิดและคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้สร้างสรรค์งานศิลปกรรมและวัสดุ/เคมีภัณฑ์ที่นำมาใช้ในการอนุรักษ์

องค์ประกอบของงานศิลปกรรม

สิ่งจำเป็นในการสร้างสรรค์งานศิลปกรรม ได้แก่ วัสดุที่ใช้เป็นโครงสร้างหลักของภาพเขียนหรือชั้นรองรับ (support layer) ชั้นรองพื้น (ground layer หรือ primer) ชั้นสี (paint layer) บางครั้งมีสารเคลือบผิว (coating material หรือ varnish) ดังรายละเอียด

1. โครงสร้างหลัก/ชั้นรองรับ

ทำจากวัสดุหลายชนิด เช่น คอนกรีต ผนังอิฐฉาบปูน ปูนปั้น ไม้ ผ้า กระดาษ หนังสัตว์ แก้ว/กระจก เครื่องปั้นดินเผา โลหะ พลาสติก ยางรัก งาช้าง เขาสัตว์ ใบลาน หิน ฯลฯ ซึ่งเป็นชั้นรองรับปฐมภูมิ (primary support) ทำหน้าที่เป็นฐานสำหรับการตกแต่งด้วยวิธีการต่าง ๆ รวมทั้งทาสีหรือระบายสี นอกจากนี้ยังมีชั้นรองรับทุติยภูมิ (secondary support) ทำหน้าที่รองรับน้ำหนักของชั้นรองรับปฐมภูมิหรือช่วยปกป้องชั้นรองรับปฐมภูมิจากสภาวะแวดล้อม ตัวอย่างเช่น แผ่นบอร์ดรองรับภาพ แผ่นปิดหลังภาพ อุปกรณ์เสริมในการเข้ากรอบหรือยึดโยง แท่นฐานสำหรับรองรับน้ำหนักและพยุงประติมากรรม เป็นต้น

วัสดุเหล่านี้มีคุณสมบัติแตกต่างกันทั้งทางกายภาพและทางเคมี เช่น ไม้ กระดาษ ผ้า หนังสัตว์ และวัสดุอื่น ๆ ที่ได้จากสัตว์ พืช และพลาสติก เป็นอินทรียวัตถุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก อินทรียวัตถุส่วนใหญ่มีลักษณะเด่นคือสามารถดูดและคายความชื้นได้ดี จึง

ขยายตัวและหดตัวสลับกันไปมาเมื่อความชื้นแปรเปลี่ยน และมักเป็นอาหารของแมลง รา และสัตว์ฟันแทะ

อนินทรียวัตถุ เช่น หิน ดิน แร่ โลหะ อัญมณี ฯลฯ ทนต่อสิ่งแวดล้อมได้ดีกว่าส่วนใหญ่ไม่ดูดและคายความชื้น แต่เกิดการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบอื่น เช่น ความชื้นที่ทำให้โลหะเป็นสนิม อุณหภูมิที่แปรเปลี่ยนทำให้โลหะขยายตัวและหดตัวสลับกัน เครื่องปั้นดินเผา ปูนขาว และอิฐมีรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก มีแรงดึงดูดในหลอดรูเล็ก (capillary tube) สูง จึงดูดซึมความชื้นได้ดี หากในสภาพแวดล้อมมีเกลือที่ละลายน้ำอยู่ด้วย เกลือจะเข้ามาสะสมอยู่ในช่องว่าง/รูพรุนของเครื่องปั้นดินเผา ปูนปั้น ผนัง และอิฐ เมื่อน้ำระเหยออกไป สารละลายของเกลือมีความเข้มข้นสูงขึ้นจนอิ่มตัว และเกลือจะตกผลึกอยู่ภายในช่องว่าง/รูพรุน ระดับความชื้นที่แปรเปลี่ยนขึ้น ๆ ลง ๆ ตลอดเวลา ทำให้เกลือละลายและตกผลึกสลับกันตลอดเวลา จนถึงจุดหนึ่งที่ผลึกมีขนาดใหญ่ขึ้นและดันช่องว่างหรือรูพรุนให้แตกหักออก กลายเป็นผงวัสดุรวมกับผงเกลือ แก้วและกระจกเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้ง่ายเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า 40% ฯลฯ

ประติมากรรมที่พบมากในประเทศไทยคือประติมากรรมปูนปั้น ที่มีโครงสร้างภายในทำด้วยอิฐหรือหิน จากนั้นนำปูนหมักผสมทราย (มวลรวม) และวัสดุเดิมแต่งอื่น ๆ เช่น เส้นใยกระดาษ ฟางข้าว น้ำตาลอ้อย ข้าวเหนียว กาวหนังสัตว์ ยางไม้ ฯลฯ นำไปโบกจนละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน ปั้นเป็นรูปต่าง ๆ เมื่อปูนปั้นทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ในเนื้อปูนปั้นจะเปลี่ยนไปเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต (หินปูน) ทีละน้อย ปูนปั้นจึงมีความแข็งแรง มีความพรุน และค่อนข้างเปราะ ส่วนปูนปลาสเตอร์เกิดจากการนำแร่ยิปซัมที่มีความบริสุทธิ์สูงมาเผา ไล่น้ำออกไปบางส่วน เหลือน้ำอยู่เล็กน้อย เมื่อนำมาผสมน้ำที่มีอัตราส่วนเหมาะสมแล้วทิ้งให้แห้ง จะได้ปูนปลาสเตอร์ที่ค่อนข้างแข็ง แต่เปราะเกิดรอยขูดขีดได้ง่ายแม้ใช้เล็บมือขูด นิยมใช้ในการหล่อ

ประติมากรรมที่ทำจากไม้หรือหินหรืองาช้างแกะสลักแล้วระบายสีทับ เรียกว่า polychrome sculpture เป็นที่นิยมมากในยุโรปในสมัยกลางถึงสมัยเรอเนซองส์ เช่น ประติมากรรมที่ทำจากไม้แกะสลัก หลังจากแกะสลักเป็นรูปร่างที่ต้องการแล้ว ทาด้วยกาวหนังสัตว์เป็นสารกันซึม หลังจากนั้นใช้ผงแคลเซียมคาร์บอเนตผสมกับกาวหนังสัตว์เป็นชั้นรองพื้น หรือใช้ผ้าชุบส่วนผสมของชั้นรองพื้นแล้วปิดลงบนพื้นผิว เมื่อแห้งแล้ว ขัดให้เรียบ ชั้นรองพื้นทำหน้าที่เป็น

พื้นผิวที่ดูดซับสี หากไม่มีชั้นรองพื้น สีจะจมลงไปในเนื้อไม้ ชั้นรองพื้นยังทำให้ได้ชั้นที่เรียบเนียนสะดวกต่อการเขียนภาพ ส่วนที่ต้องการปิดทองจะใช้ bole ทำจากดินเหนียวเนื้อละเอียดผสมกาวทาทับบนส่วนที่ต้องการปิดทอง หากต้องการสร้างลวดลายที่มีลักษณะสามมิติบนพื้นผิว ใช้ส่วนผสมที่ใช้ทำรองพื้นปั้นเป็นรูปร่างที่ต้องการ ชั้นสีประกอบด้วยสารสีและน้ำมันชักแห้งหรือไข่แดง

ประติมากรรมไม้แกะสลักของจีนและญี่ปุ่น อาจทำจากไม้แกะสลักทั้งชิ้นแล้วใช้ผ้าป่านกัญชาชุบยางรักปิดบนพื้นผิว เทคนิคนี้เรียกว่า wood-core kanshitsu หรือ mokushin kansitsu อีกเทคนิคหนึ่งเรียกว่า dakkatsu kanshitsu ไม่ใช้ไม้ แต่จะปั้นดินเหนียวเป็นรูปร่างที่ต้องการ แล้วใช้ผ้าป่านกัญชาชุบยางรัก ปิดทับบนดินเหนียว ทิ้งให้แข็งตัว แล้วเอาดินเหนียวออก จะได้ประติมากรรมที่มีภายในกลวง เทคนิคที่ใช้ผ้าป่านกัญชาชุบยางรักทั้งสองเทคนิคนี้เรียกว่า dry lacquer หรือ kanshitsu ซึ่งเป็นเทคนิคที่พัฒนาขึ้นในจีนแล้วแพร่มาถึงญี่ปุ่นในสมัยนารา ใช้ทำพระพุทธรูปเป็นส่วนใหญ่ ลวดลายนูนบนพื้นผิวของผ้าป่านกัญชาและยางรักเกิดจากการใช้ยางรักผสมแป้งและผงไม้ให้มีลักษณะข้นเหนียวพอที่จะปั้นขึ้นรูปได้ ชั้นของยางรักมักหนา 1–3 เซนติเมตร

> อนินทรียวัตถุ เช่น หิน ดิน แร่ โลหะ อัญมณี ฯลฯ ทนต่อสิ่งแวดล้อมได้ดีกว่า ส่วนใหญ่ไม่ดูดและคายความชื้น แต่เกิดการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบอื่น เช่น ความชื้นที่ทำให้โลหะเป็นสนิม อุณหภูมิที่แปรเปลี่ยนทำให้โลหะขยายตัวและหดตัวสลับกัน...

จิตรกรรมไทยประเพณีส่วนหนึ่งเขียนภาพบนแผ่นไม้ พบมากบนฝาผนัง เพดาน บานประตู บานหน้าต่าง ตู้พระธรรม หีบ ฉาก ฯลฯ หลังจากเตรียมพื้นผิวไม้ให้มีขนาดและรูปร่างตามต้องการแล้ว ทารองพื้นให้มีความหนาตามต้องการแล้วขัดให้เรียบ จากนั้นตกแต่งระบายสีและ/หรือปิดทอง สารยึดที่ใช้เป็นอาจเป็นยางไม้ผสมกับสารสีที่มีลักษณะเป็นผงละเอียด

ภาพเขียนบนแผ่นไม้บางส่วนใช้ยางรักผสมสารสีระบายลงบนชั้นรองพื้น ในกรณีนี้ยางรักทำหน้าที่เป็นสารยึด เรียกว่าลายกำมะลอ มักพบบนตู้พระธรรม ฉาก หีบ ฯลฯ สารสีที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติเข้ากันได้กับยางรัก ส่วนใหญ่ใช้สารสีที่ได้จากแร่ เช่น สีแดงชาด สีดินแดง สีเขียวจากสารประกอบของทองแดง สีเหลืองจากหรดาล เป็นต้น ภาพเขียนประเภทนี้มีสีค่อนข้างหม่น ไม่สดใสเท่าภาพเขียนที่ใช้ยางไม้เป็นสารยึด

สำหรับภาพเขียนสีน้ำมันและสีอะครีลิกมักเขียนบนผ้าใบ (canvas) ซึ่งเป็นผ้าเนื้อหนา ทนทาน ทอลายขัด ในอดีตใช้ผ้าป่านกัญชา ปัจจุบันใช้ป่านลินิน ผ้าฝ้าย และบางครั้งทำจากพีวีซี ป่านกัญชาและป่านลินินมีคุณภาพสูงที่สุด ผ้าใบมีจำหน่ายตามน้ำหนัก ตั้งแต่ 8, 10 และ 12 ออนซ์ การจะเลือกใช้น้ำหนักเท่าใดขึ้นอยู่กับขนาดของภาพเขียนและความชอบของศิลปิน ภาพเขียนขนาดใหญ่ควรใช้ผ้าใบที่หนัก 12 ออนซ์ เนื่องจากขณะขึงผ้าใบต้องใช้แรงดึงมาก ผ้าใบเนื้อบางอาจขาดได้ ส่วนผ้าฝ้ายราคาถูกกว่าสามารถดึงให้ตึงได้ดี เนื้อผ้าเรียบสม่ำเสมอ

ในบางภูมิภาคนิยมเขียนภาพลงบนผืนผ้า ใช้ผ้าเป็นชั้นรองรับภาพ เช่น อินเดียและเอเชียตะวันออก โดยเฉพาะอย่างยิ่งญี่ปุ่นเขียนภาพบนผ้าไหมมายาวนานกว่าพันปี จากนั้นเทคนิคนี้แพร่กระจายไปทั่วโลก ชาวญี่ปุ่นเรียกภาพเขียนบนผ้าไหมว่า kinue หรือ kenpon ซึ่งต้องเลือกใช้ผ้าไหมที่มีผิวสัมผัสพิเศษ ส่วนผ้าฝ้ายนิยมมากในอินเดีย และเผยแพร่ไปทั่วโลกเช่นเดียวกัน ปัจจุบันมีการใช้ผ้าชนิดอื่น ๆ แทนบ้าง ภาพเขียนบนผ้าของไทยมักเป็นผ้าพระบฏ ส่วนใหญ่เขียนภาพด้วยสีฝุ่นบนผ้าฝ้าย

กระดาษเป็นชั้นรองรับที่ใช้มากในการสร้างสรรค์งานศิลปกรรม ในสมัยโบราณใช้กระดาษที่ทำด้วยมือ เช่น กระดาษข่อย กระดาษสา กระดาษจากเยื่อไม้ไผ่ ใยกัญชา ใยลินิน ใยรามี กระดาษช่วน และเยื่อที่ทำจากพืชชนิดอื่น ๆ กระดาษที่ทำด้วยมือประกอบด้วย

เส้นใยเซลลูโลสเกือบบริสุทธิ์ จัดเป็นกระดาษที่มีคุณภาพดีมาก หากเก็บรักษาอย่างระมัดระวังจะไม่เปลี่ยนสีและคงสภาพได้ดี

กระดาษที่ทำด้วยมือของไทยทำจากเส้นใยจากเปลือกปอสาและเปลือกต้นข่อย ใช้สารละลายของด่าง เช่น น้ำขี้เถ้า โซดาไฟ น้ำปูนใส ในการต้มเยื่อ จึงไม่เป็นกรด มักใช้แป้งเปียกหรือน้ำข้าวเป็นสารกันซึม และต่อเชื่อมกันเป็นแผ่นใหญ่ด้วยกาวแป้งเปียก มีความหนาต่าง ๆ กัน หากต้องการกระดาษสีดำ จะใช้เขม่าผสมแป้งเปียกหรือน้ำข้าวทาลงบนกระดาษทิ้งให้แห้งแล้วขัดให้เรียบ

หลังจากคริสต์ศตวรรษที่ 17 เป็นต้นมา มีการผลิตกระดาษในระดับอุตสาหกรรม ใช้เครื่องจักรและใช้วัตถุดิบหลากหลาย เช่น ใช้ลำต้นของต้นไม้มาบดย่อยเป็นเยื่อกระดาษโดยไม่แยกองค์ประกอบอื่น ๆ ในเนื้อไม้ออก มีการใช้สารเคมีที่เป็นกรดหรือด่างในการต้มเยื่อฟอกสีเยื่อ ทำให้ได้กระดาษที่มีคุณภาพหลากหลาย ส่วนใหญ่มีคุณภาพต่ำ ราคาถูก มีความเป็นกรดสูง ในระยะยาวจะเปลี่ยนสีเป็นสีเหลือง–น้ำตาลและมีสภาพกรอบเปราะ

นอกจากกระดาษที่ใช้ในการเขียนภาพแล้ว ยังมีกระดาษที่ใช้ในการทำภาพพิมพ์ที่ใช้เทคนิคต่าง ๆ เช่นใช้แม่พิมพ์ที่ทำจากตะแกรงไหม แผ่นโลหะ แผ่นไม้ แผ่นหิน กระดาษลอกลาย หรือแผ่นฟิล์ม กระดาษเหล่านี้ต้องมีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการพิมพ์ภาพด้วยเทคนิคต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติในการดูดซับสี

วัสดุที่ใช้เป็นโครงสร้างหลักของงานศิลปกรรมยังมีอีกหลายชนิด เช่น กระจก/แก้ว หนังสัตว์ พลาสติก ใบลาน โลหะ หิน เครื่องปั้นดินเผา ฯลฯ วัสดุแต่ละชนิดมีคุณสมบัติเฉพาะตัวแตกต่างกัน มีจุดอ่อนจุดแข็งแตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น โลหะแข็งและเหนียวมาก แต่โลหะหลายชนิดเป็นสนิมง่าย เช่น เหล็ก ตะกั่ว ชิน เงิน ทองแดง สำริด ทองเหลือง และโลหะผสมของทองแดง ผิวของโลหะบางชนิดอาจขัดเรียบหรือเป็นมัน ทำให้ยึดเกาะกับชั้นรองพื้นและชั้นสีได้ไม่ดี

การเขียนภาพบนกระจก/แก้วในอดีตมักเขียนบนด้านหลังของกระจก ด้วยสีสำหรับเขียนเครื่องปั้นดินเผาแล้วนำไปอบในเตา สำหรับใช้ประดับช่องหน้าต่างหรือช่องแสง รวมถึงการเขียนสีน้ำมันหรือสีน้ำทึบหรือสีฝุ่นที่ผสมสีขาว ระบายลงบนแผ่นแก้วใส บางส่วนใช้ทองคำเปลวหรือเลื่อมปิดตรงส่วนของภาพที่เป็นเครื่องประดับ บางส่วนทำให้เป็นกระจก

> ...ในอินเดียตอนปลายคริสต์ศตวรรษที่ 18 ช่วงที่ราชวงศ์โมกุลกำลังอ่อนแอ มีชาวต่างชาติเข้ามาค้าขายและปกครอง ภาพเขียนบนกระจกกลายเป็นสินค้ายอดนิยมในอินเดียที่คนชั้นกลางซื้อหาไปประดับบ้าน

เงาด้วยปรอท บางแห่งติดแผ่นโลหะบาง ๆ หรือกระดาษทอง จากนั้นใส่กรอบโดยให้ด้านที่ไม่ระบายสีอยู่ด้านหน้า กล่าวคือ ชั้นสีอยู่ด้านในจิตรกรรมบนกระจกเป็นที่นิยมมากในยุโรปในคริสต์ศตวรรษที่ 18 เนื่องจากยุโรปเป็นแหล่งผลิตแก้วคุณภาพดี เทคนี้นี้นักสอนศาสนาชาวยุโรปนำไปเผยแพร่ที่กว่างโจว จีนจึงผลิตเป็นสินค้าออกเป็นจำนวนมาก พ่อค้าชาวฮอลันดาและชาวอังกฤษนำเทคนิคนี้ไปเผยแพร่ในอินเดียตอนปลายคริสต์ศตวรรษที่ 18 ช่วงที่ราชวงศ์โมกุลกำลังอ่อนแอ มีชาวต่างชาติเข้ามาค้าขายและปกครอง ภาพเขียนบนกระจกกลายเป็นสินค้ายอดนิยมในอินเดียที่คนชั้นกลางซื้อหาไปประดับบ้าน ภาพเขียนบนกระจกจากจีนพบมากตามวัดวาอารามต่าง ๆ ในไทย ภาพเขียนภายในขวดยานัตถุ์ของจีนก็ใช้เทคนิคนี้เช่นเดียวกัน ช่างเขียนใช้พู่กันด้ามยาวสอดเข้าทางปากขวดแคบ ๆ เข้าไปเขียนภาพทางด้านในของขวดแก้ว/กระจก ทนต่อสารเคมีต่าง ๆ ได้ดี แต่แตกง่ายและเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายหากอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสูง

ประติมากรรมหินทำจากหินหลายชนิด เช่น หินปูน หินทราย หินอ่อน หินชนวน หินฟิลไลต์ หินแอนดีไซต์ หินทัฟฟ์ หินไดออไรต์ หินไรโอไรต์ หินแกรนิต ฯลฯ หินส่วนใหญ่แข็งแรงมาก ทนต่อสภาพแวดล้อมได้ดี นิยมใช้ทำประติมากรรม แต่หินบางชนิดมีคุณภาพต่ำ

เช่น หินทัฟฟ์ หินทรายบางชนิด ฯลฯ หากเก็บรักษาหรือจัดแสดงกลางแจ้งจะผุพัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งรูปแกะสลักหินและชิ้นส่วนสถาปัตยกรรมที่มาจากจีน ช่วยถ่วงน้ำหนักเรือสินค้าในห้องอับเฉา จึงเรียกว่า *"หินอับเฉา"* ส่วนใหญ่เป็นหินทัฟฟ์ (tuff) ซึ่งเป็นหินภูเขาไฟชนิดหนึ่ง เกิดจากการทับถมของขี้เถ้าภูเขาไฟมาเป็นเวลานานนับล้านปี หินทัฟฟ์ไม่ค่อยแข็งแรง เนื่องจากไม่ค่อยมีวัตถุประสาน จึงผุง่ายเมื่ออยู่กลางแจ้งเป็นเวลานาน

งานศิลปกรรมบางประเภททำจากหนังสัตว์ชนิดต่าง ๆ ทั้งหนังฟอกและหนังไม่ฟอก หนังสัตว์ดูดและคายความชื้นได้ดี จึงขยายตัวและหดตัวเมื่อความชื้นแปรเปลี่ยน ทำให้หนังสัตว์โค้งงอ แอ่น หรือเป็นคลื่น หนังสัตว์บางประเภทเสื่อมสภาพจากสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการฟอกหนัง นอกจากนี้หนังสัตว์เป็นอาหารที่ดึงดูดแมลง จึงมักถูกแมลงกัดกิน

รูปแกะสลักหินและชิ้นส่วนสถาปัตยกรรมที่มาจากจีน ช่วยถ่วงน้ำหนักเรือสินค้าในห้องอับเฉา จึงเรียกว่า *"หินอับเฉา"*

2. ชั้นรองพื้น

ชั้นรองพื้นเป็นวัสดุที่ใช้เคลือบหรือเตรียมพื้นผิวก่อนทาหรือระบายสี เพื่อเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสีกับพื้นผิวและชั้นรองรับ เพิ่มความแข็งแรงทนทานต่อชั้นสี และช่วยปกป้องเนื้อวัสดุที่อยู่ภายใต้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นผิวที่มีความพรุน ซึ่งจะดูดซับของเหลวได้ดี หากไม่มีชั้นรองพื้น ของเหลวในสีจะถูกพื้นผิวที่มีรูพรุนดูดซับทำให้ชั้นสีไม่สามารถแห้งหรือแข็งตัวได้อย่างสมบูรณ์ ชั้นรองพื้นจึงทำหน้าที่ป้องกันมิให้ของเหลวถูกดูดซับไปก่อนที่ปฏิกิริยาในการแข็งตัวของชั้นสีจะดำเนินไปอย่างช้า ๆ ชั้นรองพื้นยังช่วยปกปิดข้อบกพร่องหรือผิวสัมผัสของพื้นผิวที่จะทาสีหรือระบายสี นอกจากนี้ชั้นรองพื้นยังช่วยลดการดูดซึมน้ำและความชื้นของพื้นผิว ช่วยป้องกันมิให้พื้นผิวแอ่นหรือโค้งงอหรือแตกร้าว จากการหดตัวและขยายตัวเมื่อความชื้นแปรเปลี่ยนและช่วยลดการเจริญเติบโตของเชื้อรา

ในกรณีที่ชั้นรองรับมีความพรุนและมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดี เช่น ผ้า กระดาษ ไม้ ก่อนที่จะรองพื้นต้องทาสารกันซึม (sizing agent) เพื่อลดการดูดซึมน้ำ สารกันซึมทำหน้าที่ยึดติดกับชั้นรองรับและทำให้เกิดฟิล์มที่ด้านบน สารกันซึมไม่ชอบน้ำหรือเข้ากันไม่ได้กับน้ำ ฟิล์มดังกล่าวจะเรียบเนียนและดูดซึมน้ำได้น้อยลง เวลาระบายสีที่เป็นของเหลว สีจะไม่ซึมแผ่กระจายไปทั่วชั้นรองรับ ซึ่งจะทำให้เกิดภาพที่ไม่คมชัด นอกจากนี้สารกันซึมบางชนิดยังทำหน้าที่เป็นสารช่วยติด (mordant) อีกด้วย สารกันซึมที่นิยมใช้ในการสร้างสรรค์งานศิลปกรรมมีหลายชนิด เช่น แป้งเปียก (starch paste) เมทิลเซลลูโลส (methyl cellulose หรือ MC) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethyl cellulose หรือ CMC) กาวหนัง/กระดูกสัตว์ (animal glue) กาวคาเซอิน (casein ซึ่งทำจากน้ำนม) เจลาติน (gelatin) น้ำมันชักแห้ง (drying oil) ฯลฯ

ในสมัยโบราณผ้าใบที่ใช้เขียนภาพสีน้ำมัน จำเป็นต้องทาสารกันซึมหลังจากขึงผ้าใบให้ตึงบนกรอบไม้ เพื่อป้องกันมิให้กรดไขมันจากน้ำมันชักแห้งกัดเนื้อผ้า และทำให้ผ้าแข็งตึง สารกันซึมที่ช่างโบราณสมัยเรอเนซองส์นิยมใช้กันมากเป็นกาวหนังกระต่าย (rabbit skin glue) และกาวที่ทำจากปลา (fish glue) ซึ่งทำจากหนังปลา ก้างปลาและถุงลม กาวดังกล่าวจะเติมเต็มช่องว่างและรูพรุนในเนื้อผ้าใบ ช่วยป้องกันไม่ให้น้ำมันซึมผ่านทะลุ และช่วยให้ผ้าแข็งตึง แต่การใช้กาวหนังสัตว์/กระดูกสัตว์เป็นสารกันซึมในการเตรียมพื้นผิวก่อนเขียนภาพสีน้ำมันมักทำให้เกิดรอยแตกร้าวบนชั้นสีน้ำมัน เนื่องจากกาวดูดและคายความชื้นได้ดีจึงบวมพองและหดตัวสลับกันไปมา

ชั้นรองพื้นทำจากวัสดุหลายชนิด แตกต่างกันไปในแต่ละภูมิภาคและแตกต่างกันไปตามความถนัดของศิลปิน ส่วนใหญ่ใช้สารสีขาวผสมเป็นหลัก เนื่องจากสีขาวจะช่วยสะท้อนแสงออกมาได้มากที่สุด ช่างสมัยโบราณใช้สารสีทึบแสงผสมกับกาวทาบนผิววัสดุที่ต้องการสร้างสรรค์งาน เพื่อให้ได้พื้นผิวที่เรียบสม่ำเสมอ ดูดซับสีและยึดเหนี่ยวกันได้ดี ให้สีสวย เช่น ช่างในยุโรปใช้ผงชอล์ก (แคลเซียมคาร์บอเนต) หรือสีขาวตะกั่ว (white lead หรือตะกั่วคาร์บอเนต) ผสมกับกาวหนังสัตว์ ทาบนชั้นรองรับทีละชั้น ทิ้งให้แห้งแล้วทาทับ 4–8 ชั้น จากนั้นขัดด้วยกระดาษทรายและผ้าขี้น ๆ ชั้นรองพื้นที่นิยมใช้ในตะวันออกไกล (จีน เกาหลี ญี่ปุ่น) เป็นปูนขาวหมักผสมกับดินขาวหรือสีขาวตะกั่ว ชั้นรองพื้นของจิตรกรรมไทยประเพณีในปัจจุบันเป็นส่วนผสมของดินสอพอง (ดินเหนียวผสมแคลเซียมคาร์บอเนต) ผสมกับกาวเม็ดมะขาม

ชั้นรองพื้นสำหรับภาพเขียนสีน้ำมันบนแผ่นไม้และบนผ้าใบหรือบนประติมากรรมในยุโรปมักใช้เจสโซ (gesso) ซึ่งประกอบด้วยชอล์ก (แคลเซียมคาร์บอเนต) หรือยิปซัมผสมกับสารยึด อาจผสมสารสีเพื่อให้มีสีตามต้องการ สารยึดที่นิยมใช้มักเป็นกาวหนังกระต่ายหรือกาวหนังวัว ทารองพื้นเป็นชั้นบาง ๆ อย่างน้อยสิบชั้น รองพื้นชนิดนี้ดูดซับชั้นสีได้ดี ใช้ได้ดีกับสารยึดทุกชนิด เช่น สีน้ำ สีน้ำกาว สีฝุ่น สีน้ำทึบ สีเทมเพอรา สีน้ำมัน ฯลฯ ชั้นรองพื้นชนิดนี้ยังเหมาะต่อการเตรียมพื้นผิวก่อนการปิดทอง โดยใช้ดินเหนียวสีแดงที่เตรียมมาเป็นพิเศษ เรียกว่า bole ทาทับบนเจสโซก่อนปิดทองเพื่อให้สีแดงซับหนุนสีทองให้สดใสขึ้น

เจสโซปัจจุบันแตกต่างจากเจสโซโบราณ มีลักษณะเป็นสารสีขาวเนื้อหนาละลายในน้ำ มักทำจากปูนปลาสเตอร์ ชอล์ก หรือยิปซัมผสมกาวจำพวกอะครีลิก (acrylic) หรืออัลคิด (alkyd) กาวอะครีลิกเมื่อแห้งจะหดตัว ทำให้ผ้าใบตึง เพราะฉะนั้นไม่ควรทาบนผ้าใบที่เคลือบกาวหนังกระต่ายเป็นสารกันซึม บางคนใช้สีลาเท็กซ์เป็นชั้นรองพื้น

องค์ประกอบของชั้นรองพื้นส่งผลกระทบต่อภาพเขียนอย่างมาก ช่างเขียนภาพสีน้ำมันของอิตาลีบางคนรองพื้นบนผ้าใบด้วยดินสีแดงหรือผงอิฐผสมกับชอล์ก และสีขาวตะกั่วและถ่านสีดำเล็กน้อย บางคนใช้ดินขาวแทนชอล์ก โดยผสมกับน้ำมันชักแห้ง ทาลงบนผ้าใบ ความสามารถในการดูดซับสารสีของรองพื้นชนิดนี้ทำให้เกิดปัญหา เพราะสารสีจะจม ซึ่งอาจเป็นเพราะชั้นรองพื้นแห้งช้า หรือเป็นเพราะน้ำมันชักแห้งมีกรดไขมันน้อย ทำให้เกิดช่องว่างที่มีอากาศในชั้นรองพื้น ซึ่งส่งผลให้ชั้นรองพื้นมีรูพรุนมาก เมื่อระบายสีบนชั้นรองพื้น ชั้นสีบาง

เจสโซ (Gesso) ปัจจุบัน
แตกต่างจากเจสโซโบราณ
มีลักษณะเป็นสารสีขาว
เนื้อหนาละลายในน้ำ มักทำ
จากปูนปลาสเตอร์ ชอล์ก หรือ
ยิปซัมผสมกาวจำพวกอะครีลิก
(acrylic) หรืออัลคิด (alkyd)

ส่วนจะจมลง เนื่องจากสารยึดในชั้นสีถูกดูดลงมาสู่ชั้นรองพื้นที่สามารถดูดซึมได้ดี หากชั้นรองพื้นแห้งเร็ว เนื่องจากใช้อีมัลชัน (emulsion) เมื่อน้ำระเหยออกไป จะส่งผลให้ชั้นรองพื้นมีรูพรุน

สารสีขาวที่ใช้ในการทำชั้นรองพื้นส่งผลกระทบต่อชั้นสี เช่น ชอล์กหรือแคลเซียมคาร์บอเนตมีค่าดัชนีหักเหต่ำมาก เมื่อผสมกับน้ำมันจะได้ส่วนผสมที่โปร่งแสงและมีปริมาณน้ำมันน้อย ในขณะที่สีขาวตะกั่วมีปริมาณน้ำมันมากกว่าและดูดซับสารสีได้น้อยกว่า หากใช้สีขาวตะกั่วที่บดหยาบ มีอนุภาคขนาดใหญ่ จะทำให้ชั้นรองพื้นมีความสามารถในการดูดซับต่ำลง ชั้นรองพื้นสำหรับผ้าใบควรเป็นอีมัลชันของเจสโซกับน้ำมันลินสีด ซึ่งเรียกว่า half-chalk ground และใช้สารสีจำพวกดินเป็นองค์ประกอบหลัก จะช่วยให้ส่วนผสมนั้นมีความยืดหยุ่นเหมาะกับผ้าใบ

ถ้าจะให้น้ำมันแห้งเร็ว ควรเลือกใช้น้ำมันลินสีดที่ผ่านกระบวนการทำให้เกิดพอลิเมอไรเซชัน (polymerization) ซึ่งนอกจากจะแห้งเร็วแล้ว ยังมีความสามารถในการดูดและคายความชื้น (hygroscopic) ช่วยให้อนุภาคของสารสีเปียกและสร้างแรงยึดเหนี่ยวกับสารยึดได้ดี สารรองพื้นสมัยใหม่มักละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ เนื่องจากแห้งเร็วกว่าสารรองพื้นที่ละลายน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกาวอะครีลิกเป็นที่นิยมมากกว่าน้ำมันชักแห้งและอัลคิด เพราะสามารถควบคุมการผสมสีได้ดี ยืดหยุ่นดี ไม่ค่อยแตกร้าว ทำให้ผ้าใบตึง สามารถดูดซับสีและเกาะยึดได้ดีเมื่อระบายด้วยสีน้ำมันหรือสีอะครีลิก

ปัจจุบันเจสโซที่สั่งเข้ามาจำหน่ายมีองค์ประกอบแตกต่างหลากหลาย เพราะใช้กาวอะครีลิกเป็นสารยึด ผสมกับชอล์ก และสารเคมีอื่น ๆ เพื่อให้มีความยืดหยุ่น และยืดอายุการใช้งาน บางครั้งใช้ไททาเนียมไดออกไซด์แทนชอล์กเพื่อให้มีสีขาวจัด ในขณะที่ชอล์กช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับสี เจสโซสมัยใหม่บางชนิดไม่สามารถดูดซับของเหลวและเข้ากันไม่ได้กับสารยึดบางชนิด เช่น เทมเพอราที่ใช้ไข่เป็นสารยึด นอกจากนี้เจสโซสมัยใหม่มักมีกลิ่น เนื่องจากมีการเติมสารเคมีเพื่อป้องกันการบูด เช่น ฟอร์มัลดีไฮด์ แอมโมเนีย ฯลฯ

บางคนใช้สีลาเท็กซ์ (อีมัลชันของพอลิไวนิลอะซีเตต) เป็นสารรองพื้นเพื่อประหยัดค่าใช้จ่าย แต่ลาเท็กซ์อาจสลายตัวก่อนที่จะแห้งหรือแข็งตัว ทำให้ชั้นสีไม่มีฐานรองรับ นอกจากนี้สีลาเท็กซ์เปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองภายในเวลาไม่นาน

3. ชั้นสี

ชั้นสีประกอบด้วยสารสี (pigments และ dyes) และสารยึด (binder, medium หรือ vehicle) เป็นหลัก โดยมีอนุภาคของสารสีเป็นของแข็งกระจายตัวอยู่ในของเหลวหรือเรียกว่าสารละลายแขวนตะกอน (suspension) หรือเป็นสารละลายของสีย้อม

3.1 สารสี (pigment) ผงสี หรือรงควัตถุ

หมายถึง สารที่เป็นสีในตัวและเป็นตัวให้สีแก่สารผสมต่าง ๆ ที่นำมาผสมกัน เพื่อใช้ในการย้อม เขียน เคลือบ พ่น ทา ฯลฯ ลงบนวัสดุต่าง ๆ สารสีมักทำเป็นผงละเอียด เพื่อสะดวกในการนำไปผสมกับสารอื่นและของเหลว เช่น น้ำ กาว น้ำมัน ฯลฯ

สารสีที่ละลายได้ในของเหลว ไม่ว่าจะเป็นน้ำ น้ำมัน หรือแอลกอฮอล์ มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า สีย้อม (dyestuff) ซึ่งมีลักษณะใส หากต้องการให้ข้นต้องเติมสารเพิ่มเนื้อสีเข้าไป หากต้องการใช้ในลักษณะเป็นผง สามารถเอาสีย้อมมาผสมกับสารเพิ่มเนื้อสี เช่น ผงชอล์ก (แคลเซียมคาร์บอเนต) แบเรียมซัลเฟต อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ทัลค์ (talc) ฯลฯ แล้วทำให้แห้ง จะได้สารสีหรืออาจทำให้แห้งในลักษณะเป็นก้อนหรือเป็นแท่ง หรืออาจใช้สำลีหรือกระดาษหรือผ้าดูดซับสารสีเอาไว้แล้วทำให้แห้ง สีย้อมกลุ่มนี้เรียกว่าสีเลค (lake) เมื่อต้องการใช้งานก็นำสำลีหรือกระดาษหรือผ้านั้น ๆ มาละลายน้ำ จะได้สารละลายของสีที่พร้อมใช้งาน บางกรณีมีการนำเศษผ้าเหลือใช้สีต่าง ๆ มาสกัดเอาสารสีออกมาใช้งาน

3.2 สารสีประกอบหรือสารเพิ่มเนื้อสี (extender/filler)

นอกจากสารสีที่ทำหน้าที่ให้สีต่าง ๆ แล้ว ในชั้นสียังอาจมีสารสีประกอบหรือสารเพิ่มเนื้อสี ซึ่งมีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าสารสีและสารยึด ทำให้สีมีเนื้อมากขึ้น มีราคาถูกลง ช่วยให้ทาหรือระบายง่าย หรือเพิ่มความหนาของชั้นสี ช่วยให้สามารถขัดได้เรียบง่าย เพิ่มหรือลดความมันวาว เพิ่มความสามารถในการปกปิดพื้นผิว เพิ่มความต้านทานต่อการขัดสี เพราะฉะนั้นสีราคาถูกจะมีสารเพิ่มเนื้อผสมอยู่มาก

สารเพิ่มเนื้อที่พบบ่อยมักเป็นสารประกอบอนินทรีย์ที่ได้จากธรรมชาติ ได้แก่ ทัลค์ ผงหินปูน ดินขาว ซิลิกา ซิลิเกต ดินเหนียวเผาไฟ ดินเบา (diatomaceous earth) แบไรต์ หรือแบเรียมซัลเฟต ฯลฯ สารเพิ่มเนื้อแต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกัน เช่น ดินเหนียวเผาไฟช่วยเพิ่มความสามารถในการปกปิดพื้นผิว ซิลิกาและซิลิเกตช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการขัดสี ดินเบาใช้ในการควบคุมความมันวาว บางครั้งใช้สังกะสีออกไซด์เป็นสารเพิ่มเนื้อเพื่อป้องกันราหรือป้องกันมิให้โลหะเป็นสนิม

3.3 สารเติมแต่ง (additives) การผลิตสีมักมีการใช้สารเติมแต่ง ทำหน้าที่ปรับสภาพส่วนประกอบต่าง ๆ ของสีให้สามารถรวมตัวกันอยู่ได้โดยไม่มีการแยกชั้นหรือตกตะกอน ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติการใช้งาน ทาง่าย ชั้นสีเรียบเนียน มีการยึดเกาะพื้นผิว ไม่มีกลิ่น ไม่บูดเน่า ทนทานต่อรา ตะไคร่ น้ำ และเพิ่มเอกลักษณ์เฉพาะ สารเติมแต่งที่สำคัญ ได้แก่

3.3.1 **สารเร่งแห้ง** (driers, drying agent หรือ siccative) ช่วยให้สีแห้งเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งสีน้ำมันแห้งช้ามาก จำเป็นต้องใช้สารเร่งแห้งเพื่อช่วยเร่งปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้สีน้ำมันแข็งตัวเป็นฟิล์ม สารเร่งแห้งที่สำคัญ ได้แก่ สารประกอบของโคบอลต์ ตะกั่ว แคดเมียม

3.3.2 **สารช่วยให้สีแตกตัว** (dispersant) ทำหน้าที่ช่วยให้ผงสีกระจายตัวไม่รวมกันเป็นก้อนหรือเป็นกระจุก เมื่อแห้งจะได้ชั้นสีที่เรียบเนียนสม่ำเสมอโดยทั่ว ๆ กัน ไม่มีจุดด่าง

3.3.3 **สารกันฟอง** (defoamer) ทำหน้าที่ลดการเกิดฟองที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการผลิต ผงสีที่มีอนุภาคเล็กละเอียดจะเกิดฟองในเนื้อสีได้ง่าย ทำให้ได้ชั้นสีที่โปร่งพรุน มีลักษณะคล้ายฟองน้ำ หรือมีฟองอากาศเป็นหย่อม ๆ

3.3.4 **ตัวทำละลาย** (solvent) ทำหน้าที่ปรับความข้นใสของสีให้เหมาะสมต่อการใช้งานและเอื้อต่อการจัดเก็บสี ไม่ทำหน้าที่ทำให้เกิดฟิล์ม ควรเลือกตัวทำละลายให้เหมาะสมต่อสารยึด หากตัวทำละลายไม่สามารถละลายสารยึดได้ดี จะได้สีที่มีลักษณะเป็นวุ้นหรือแข็งตัว หรือมีระดับความมันเงาลดลง หรือทำให้สารยึดแทรกซึมเข้าไปในชั้นรองรับได้น้อย ส่งผลให้การยึดเกาะไม่ดี สีจะบวมพองและหลุดล่อน นอกจากนี้ตัวทำละลายยังต้องเข้ากันได้ดีกับสารสีและสารยึด อัตราการระเหยของตัวทำละลายมีผลต่อชั้นสี ถ้าตัวทำละลายระเหยเร็วเกินไป ชั้นสีจะมีลักษณะเป็นฝ้าขาว ถ้าระเหยช้าเกินไป สีจะไหลหยดย้อย ตัวทำละลายที่สำคัญ ได้แก่

3.3.4.1 **น้ำ** ใช้กับสารยึดที่ละลายน้ำได้ เช่น สีน้ำ สีอะครีลิก

3.3.4.2 **น้ำมันสน** (turpentine oil หรือ gum spirits) น้ำมันสน (แท้) ได้จากการกลั่นเรซินที่ได้จากต้นไม้ตระกูลสน จะได้น้ำมันสนกับขันสน น้ำมันสนมีจุดเดือด 150–170 องศาเซลเซียส หากกลั่นหลาย ๆ ครั้งจะได้น้ำมันสนที่บริสุทธิ์ขึ้น เหมาะในการทำวาร์นิช ใช้ละลายเรซินที่มีลักษณะอ่อนนุ่ม ใช้ผสมสีน้ำมันเพื่อให้เจือจางหรือใช้ทำวาร์นิช แต่ปัจจุบันไม่ค่อยใช้แล้วเนื่องจากมีความเป็นพิษสูง หากไอระเหยเข้าตา จมูก และลำคอ จะเกิดความระคายเคือง เจ็บปวด ปวดแสบปวดร้อน ตามองไม่เห็น ส่งผลกระทบต่อปอดและทางเดินหายใจ จะหายใจติดขัด ไอหรือสำลักอย่างรุนแรง ลำคอบวม หากเข้าปากจะเป็นพิษต่อทางเดินอาหาร ปวดท้อง อาเจียน ถ่ายเป็นเลือด หากถูกผิวหนังจะทำให้ผิวหนังมีสีน้ำเงิน ไหม้ หรือระคายเคือง นอกจากนี้ยังไวไฟ

3.3.4.3 White spirits /Odorless white spirits ไวท์สปิริต ได้จากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนหลายชนิดผสมกัน มีจุดเดือด 120–200 องศาเซลเซียส มีชื่อการค้าต่าง ๆ มากมาย เช่น Shellsol Naphtha Mineral spirit, Mineral turpentine,

ไวท์สปิริตมีความเป็นพิษ ทำให้เนื้อเยื่อและผิวหนังระคายเคือง ถ้าได้รับเป็นปริมาณมาก ๆ ในคราวเดียว จะระบบการทำงานของระบบประสาทส่วนกลาง หากทำงานในพื้นที่ปิด ไม่มีอากาศไหลเวียนถ่ายเท จะเวียนศีรษะ อาเจียน หมดสติ หากสัมผัสนานผิวหนังอาจไหม้ได้

Light gasoline, Solvent naphtha, Stoddard solvent, Paint thinner เป็นต้น ปัจจุบันนิยมใช้ไวท์สปิริตแทนน้ำมันสน เนื่องจากไวไฟน้อยกว่าและเป็นพิษน้อยกว่า จึงมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Turpentine substitute แต่ร้านค้าและช่างบางคนยังคงเรียกไวท์สปิริตว่าน้ำมันสนหรือทินเนอร์

ไวท์สปิริตใช้ในการทำให้สีเจือจางและใช้ทำความสะอาดคราบสกปรกที่ไม่ละลายน้ำ ใช้ละลายเรซินชนิดต่าง ๆ เพื่อทำวาร์นิชและใช้ละลายวาร์นิชเดิมที่เสื่อมสภาพแล้ว ใช้ผสมสี แล็กเกอร์ หมึกพิมพ์ ใช้ล้างแปรงทาสี ตะแกรงไหม อุปกรณ์ในการพิมพ์ แต่ต้องปฏิบัติงานในพื้นที่ที่มีการระบายอากาศได้ดี ไวท์สปิริตมีอัตราการระเหยช้ากว่าน้ำมันสน หากใช้ผสมสีให้เจือจางลง สีจะแห้งช้า

ไวท์สปิริตมีกลิ่นคล้ายน้ำมันก๊าด บางเกรดผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ทำให้มีกลิ่นน้อยลง เพื่อให้เหมาะกับภาพเขียนสีน้ำมัน เรียกว่า odorless white spirits ไวท์สปิริตมีคุณสมบัติหลากหลายขึ้นอยู่กับจุดเดือด บางชนิดมีความสามารถในการละลายสูง บางชนิดสามารถแทรกซึมเข้าไปในเนื้อวัสดุได้ดี บางชนิดมีความข้นหนืด บางชนิดระเหยเร็ว บางชนิดระเหยช้า ไวท์สปิริตที่มีจุดเดือดต่ำ จะระเหยเร็วกว่าน้ำมันสน หากใช้ผสมวาร์นิชจะระเหยเร็ว ไม่สามารถทาหรือพ่นให้กระจายตัวบาง ๆ สม่ำเสมอบนชั้นสี และอาจทำปฏิกิริยากับสารสีบางชนิดได้ ควรเลือกชนิดพิเศษที่ไม่มีกำมะถันเจือปน อย่างไรก็ตาม ไวท์สปิริตมีความเป็นพิษ ทำให้เนื้อเยื่อและผิวหนังระคายเคือง ถ้าได้รับเป็นปริมาณมาก ๆ ในคราวเดียวจะรบกวนการทำงานของระบบประสาทส่วนกลาง หากทำงานในพื้นที่ปิด ไม่มีอากาศไหลเวียนถ่ายเท จะเวียนศีรษะ อาเจียน หมดสติ หากสัมผัสนานผิวหนังอาจไหม้ได้

3.3.4.4 Spirit of petroleum เป็นของเหลวที่ได้จากการกลั่นปิโตรเลียม ระเหยเร็ว นิยมใช้ทำให้สีเจือจาง (ทินเนอร์) และได้ชั้นสีที่เรียบเนียนสม่ำเสมอ

3.3.4.5 Canada balsam, Canada turpentine หรือ Balsam of fir ตัวทำละลายชนิดนี้ทำจากเรซินที่ได้จากต้น Balsam fir (Abiesbalsamea) ซึ่งพบในอเมริกาเหนือ เมื่อแห้งจะกลายเป็นฟิล์มโปร่งใส นาน ๆ ไปจะไม่ตกผลึก เพราะฉะนั้นคุณสมบัติทางแสงจะไม่เปลี่ยนแปลง มักใช้ในการทำสารยึดและวาร์นิช

3.3.4.6 Venice turpentine เป็นของเหลวข้นเหนียวที่ได้จากต้นไม้จำพวก larch (Larix occidentalis) ซึ่งพบมากในออสเตรีย นิยมใช้เติมในสีน้ำมันและสารยึดต่าง ๆ รวมทั้งใช้ทำวาร์นิช เมื่อแห้งจะได้ฟิล์มที่เหนียวแข็งแรงมีลักษณะคล้ายเอนนาเมล (enamel) แต่มีข้อเสียที่เปลี่ยนเป็นสีเหลืองง่าย ไม่ควรใช้กับน้ำมันชักแห้งบางชนิด เช่น Stand oil น้ำมันสน ฯลฯ

3.3.4.7 **เอทิลแอลกอฮอล์** (Ethyl alcohol) เอทิลแอลกอฮอล์เป็นแอลกอฮอล์ที่ดื่มได้ ผลิตจากการหมักพืชจำพวกข้าวโพด อ้อย หญ้า ฯลฯ เอทิลแอลกอฮอล์มีจุดเดือด 78.5 องศาเซลเซียส รวมตัวได้ดีกับน้ำ ใช้ในการทำเครื่องสำอางและผสมสี

3.3.4.8 **เมทิลแอลกอฮอล์** (Methyl alcohol) เมทิลแอลกอฮอล์ เป็นแอลกอฮอล์ที่ไม่ควรดื่ม เนื่องจากเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ในอดีตได้จากการกลั่นไม้ แต่ปัจจุบันได้จากกระบวนการเคมี แอลกอฮอล์ชนิดนี้มีความเป็นพิษสูง ทำให้เกิดภาวะเลือดเป็นกรดอย่างรุนแรง ใช้ในการผสมสีและสารเคลือบผิว โดยเฉพาะอย่างยิ่งใช้มากในการผสมเชลแล็ก

3.3.5 **สารกรองรังสีอัลตราไวโอเลต** (UV stabilizer) สารเคลือบผิวที่ใช้กับงานศิลปกรรมที่อยู่นอกอาคาร ตามระเบียง หรืออยู่ในอาคารที่เปิดโล่ง อาจจำเป็นต้องเติมสารเคมีที่มีคุณสมบัติช่วยดูด ซับ หรือกรองรังสีอัลตราไวโอเลต เพื่อปกป้องสารเคลือบผิวและพื้นผิวของงานศิลปกรรมจากรังสีอัลตราไวโอเลต

3.3.6 **สารยับยั้งการเกิดสนิม** (Corrosion inhibitor) สารเคลือบผิวที่ใช้กับโลหะมีหน้าที่เพิ่มเติมคือ ลดหรือยับยั้งการเกิดสนิมบนพื้นผิวโลหะ จึงต้องเติมสารเคมีที่ช่วยปกป้องพื้นผิวโลหะไม่ให้ทำปฏิกิริยากับวัสดุอื่น ๆ และสิ่งแวดล้อม

3.3.7 **สารเคมีที่ช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยว** (Adhesion promoter) ชั้นสีบางชนิดมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกันและแรงยึดเหนี่ยวกับพื้นผิวค่อนข้างต่ำ อาจจำเป็นต้องเติมสารเคมีที่ช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยว

4. สารยึด (Binder, medium, binding agent หรือ film former)

สารยึดคือสิ่งที่ยึดเหนี่ยวอนุภาคของสารสีให้ยึดติดกันเป็นแผ่นหรือเป็นฟิล์ม ทำให้สารสีอยู่กับที่หลังจากชั้นสีแห้ง และช่วยปกป้องพื้นผิวของวัสดุและองค์ประกอบของชั้นสี การเกิดฟิล์มเกิดจากการที่ตัวทำละลายระเหยไปหรือเกิดจากปฏิกิริยาเคมี (เช่น oxidative cross-linking หรือ polymerization) เกิดจากการเย็นตัว การใช้รังสีอัลตราไวโอเลตทำให้แข็งตัว หรือเกิดจากการใช้ความร้อน

สารยึดที่ดีจะทำให้สารสี สารเพิ่มเนื้อ เรซินและสารเติมแต่งอื่น ๆ กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน และมีส่วนสำคัญในการควบคุมคุณสมบัติของชั้นสี เช่น ความมันวาว ความทนทาน ความยืดหยุ่น และความเหนียว

คนไทยเรียกสารยึดว่า *"กาว"* หรือ *"ตัวผสานสี"* ทำหน้าที่ยึดจับมวลสารต่าง ๆ ที่ผสมรวมกันอยู่ในชั้นสี ทำให้สารสีเกาะติดแน่นกับพื้นผิวที่วาดระบาย และมีแรงยึดเหนี่ยวกันเองให้มีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ อยู่ได้ ในขณะเดียวกันทำให้เกิดความมันวาว ความทนทานต่อสภาวะแวดล้อม ความยืดหยุ่น ความเหนียว สารยึดแต่ละชนิดมีความสามารถยึดเกาะแตกต่างกัน หากมีการใช้สารสีหรือสารเพิ่มเนื้อสีที่มีขนาดโมเลกุลแตกต่างกันจะมีผลกระทบต่อสารยึด

ในอดีตการใช้สารยึดมีข้อจำกัด เนื่องจากสารสีแต่ละชนิดมีคุณสมบัติเฉพาะตัว เช่น บางชนิดไม่รวมตัวกับน้ำมัน บางชนิดไม่รวมตัวกับสารสีอื่น ๆ บางครั้งต้องการให้ได้สีโปร่งแสง บางครั้งต้องการให้ทึบแสง สารยึดในอดีตผลิตโดยช่างเขียนเอง ในขณะที่สารยึดปัจจุบันผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งบางครั้งไม่ทราบองค์ประกอบที่แน่นอน

สารยึดมีหลายชนิด มีการใช้งานแตกต่างกันในแต่ละเทคนิค แต่ละท้องถิ่น และแต่ละห้วงเวลา เช่น จีนและญี่ปุ่น นิยมใช้กาวหนังสัตว์หรือกระดูกสัตว์หรือกาวที่ทำจากเอ็นและเนื้อเยื่อเกี่ยวพันของสัตว์เป็นสารยึดมาแต่โบราณกาล กาวหนังสัตว์และกระดูกสัตว์มีคุณสมบัติคล้ายเจลาติน แต่มีสิ่งเจือปนหลายอย่าง เช่น mucoprotein, mucopolysaccharide ซึ่งจะมีผลต่อความสามารถในการดูดซึมน้ำของกาว น้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนในกาวหนังสัตว์และกระดูก

คนไทยเรียกสารยึดว่า *"กาว"* หรือ *"ตัวผสานสี"* ทำหน้าที่ยึดจับมวลสารต่าง ๆ ที่ผสมรวมกันอยู่ในชั้นสี ทำให้สารสีเกาะติดแน่นกับพื้นผิวที่วาดระบายและมีแรงยึดเหนี่ยวกันเองให้มีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ อยู่ได้

สัตว์มีความหลากหลาย มีทั้งที่เป็นกาวที่ผลิตจากโรงงานอุตสาหกรรมและกาวที่ผลิตด้วยมือภายในครัวเรือน การใช้งานต้องปรับปริมาณกาวให้เหมาะสม หากใช้กาวมากเกินไป ชั้นสีจะแตกร้าว หากใช้กาวน้อยเกินไป ชั้นสีจะลอกหลุด

อียิปต์โบราณใช้แป้งเปียก เจลาติน ไข่ขาว (ของเป็ดหรือห่าน) และกัมทรากาคัน (Gum tragacanth) เป็นสารยึดในการระบายสี กาวกระถินหรือกาวอารบิก (Arabic gum) หรือกาวอะคาเซีย (Acacia gum) มีประวัติการใช้งานยาวนานในอียิปต์และเมโสโปเตเมีย อินเดียโบราณใช้ครั่ง แหล่งอารยธรรมบางแห่งใช้น้ำผึ้งผสมในสารยึดที่ละลายน้ำ น้ำผึ้งมีคุณสมบัติช่วยอุ้มน้ำ ทำให้สารยึดไม่กรอบเปราะ

ภาพเขียนสีฝุ่นหรือเทมเพอราเกิดจากการนำสารสีที่มีลักษณะเป็นผงละเอียดมาผสมกับสารยึดจนมีลักษณะเป็นครีมข้น แล้วนำมาระบาย ภาพเขียนสีเทมเพอราที่แท้มีลักษณะอยู่กึ่งกลางระหว่างภาพเขียนสีน้ำมันกับภาพเขียนสีน้ำทึบ (gouache) เนื่องจากใช้สารยึดที่ละลายน้ำได้ เช่น กาวอารบิก กาวหนังสัตว์ แป้งเปียก คาซีอีน ผสมกับสารยึดที่ไม่ละลายน้ำ เช่น น้ำมันชักแห้ง สารละลายของเรซิน ขี้ผึ้งละลายในน้ำมันสน ยางมะเดื่อ ไข่แดง น้ำนม ฯลฯ ภาพเขียนสีเทมเพอราในแต่ละท้องถิ่นใช้สารยึดต่างกัน บางแห่งใช้สารสีผสมกับสารละลายข้น ๆ ที่ทำจากน้ำมัน เช่น น้ำมันลินสีด น้ำมันสแตนด์ (น้ำมันลินสีดผ่านกรรมวิธี) หรือน้ำมันชักเงาดามาร์ผสมกับน้ำมันสแตนด์ แล้วทำให้มีลักษณะเป็นครีมข้นโดยการเขย่าผสมกับกาวอารบิกและกลีเซอรีนเล็กน้อย บางแห่งใช้สารสีผสมกับกาวหนังสัตว์และน้ำมันลินสีดเล็กน้อย

ภาพเขียนสีน้ำใช้สารสีที่ละลายในน้ำได้ดี โดยใช้กาวหนังสัตว์หรือกาวจากพืชเป็นสารยึด บางครั้งระบายร่วมกับน้ำหมึก ส่วนใหญ่มีชั้นสีบางโปร่งใส มีสารสีกระจายอยู่ในสารยึดเป็นชั้นบาง ๆ เมื่อแห้งจะมีลักษณะด้าน ชั้นรองรับภาพมีส่วนช่วยให้ภาพแลดูเด่น ภาพเขียนสีน้ำอีกชนิดหนึ่งปรากฏขึ้นในคริสต์ศตวรรษที่ 15 ใช้สีน้ำทึบแสง ซึ่งเกิดจากการเติมสารเพิ่มเนื้อสี เช่น ชอล์ก แบเรียมซัลเฟต ฯลฯ ลงไปในน้ำสีเพื่อให้ทึบแสง ใช้กาวอารบิก เด็กซ์ทริน (dextrin) หรือเมทิลเซลลูโลสเป็นสารยึด เมื่อแห้งจะจะเกิดผิวที่แบนราบ คล้ายกำมะหยี่ คนไทยเรียกว่าสีโปสเตอร์ คนอังกฤษเรียกว่า Body color คนฝรั่งเศสเรียกว่า gouache หลังสงครามโลกครั้งที่ 1 มักเรียกกันผิด ๆ ว่าสีเทมเพอรา

ภาพเขียนสีฝุ่นของไทย ยังไม่จัดเป็นสีเทมเพอราที่แท้เนื่องจากใช้สารยึดที่ละลายน้ำได้เท่านั้น ไม่ใช้สารยึดที่ไม่ละลายน้ำผสมกับสารยึดที่ละลายน้ำ ช่างไทยบางคนเรียก *"สีน้ำกาว"* นักวิชาการชาวต่างประเทศบางคนเรียกภาพเขียนสีฝุ่นของไทยว่า gouache หรือสีน้ำทึบ น้ำยาหรือกาวที่นิยมใช้ในการสร้างภาพจิตรกรรมสีฝุ่นของไทยในสมัยโบราณยังไม่ทราบแน่ชัดว่าเป็นกาวประเภทใด สันนิษฐานว่าอาจจะเป็นยางไม้ที่หาได้ในท้องถิ่น เช่น มีบันทึกกล่าวถึงการใช้ยางมะขวิด ซึ่งเป็นยางที่ได้จากต้นมะขวิด เกิดขึ้นเมื่อลำต้นเป็นแผล เมื่อแห้งแล้วจะเป็นก้อนแข็ง เวลาใช้งานจะนำมาบดแล้วละลายในน้ำร้อน จัดเป็นสารยึดที่มีคุณภาพดีมาก ส่วนการปิดทอง ช่างไทยนิยมใช้ยางมะเดื่อ ซึ่งมีลักษณะขุ่นข้นคล้ายน้ำนมแต่มีสีเหลือง มีความยืดหยุ่นและความเหนียว ช่วยให้ปิดทองได้เรียบเนียน ต่อมาเมื่อมีการติดต่อค้าขายกับต่างประเทศ จึงรับเอาสารยึดที่ชาวต่างชาตินำมาขาย ภาพเขียนบางส่วนเขียนโดยคนจีนที่เข้ามาอยู่อาศัยในไทย คาดว่าคงใช้สารยึดเป็นกาวหนังสัตว์ที่คนจีน เกาหลี และญี่ปุ่นใช้เป็นสารยึดมาแต่โบราณ

ปัจจุบันช่างเขียนไทยใช้กาวกระถิน (Gum acacia) เป็นสารยึด ซึ่งเป็นยางที่ได้จากพืชในตระกูล Acacia พบมากในตะวันออกกลาง แอฟริกากลาง อินเดีย ชนิดที่ดีที่สุดได้มาจากภาคเหนือของทวีปแอฟริกา การผลิตกาวกระถินทำได้โดยการกรีดลำต้นให้เกิดแผลและมีน้ำยางไหลออกมา ยางจะแข็งตัวเป็นก้อน ๆ มีลักษณะโปร่งแสง ยางที่มีคุณภาพดีมีสีอ่อน ๆ ยางที่มีคุณภาพไม่ดี มีสิ่งเจือปนมาก จะทำให้เกิดฟิล์มที่กรอบเปราะ กาวกระถินที่มีคุณภาพดีที่สุดได้จากต้น *Acacia senegal* ที่เรียกว่ากาวเซเนกัลหรือกาวคอร์โดแฟน ชื่อทางเภสัชศาสตร์คือ **อะคาเซีย**

กาวอะคาเซีย

กาวกระถินมีจำหน่ายเป็นก้อนหรือเป็นเม็ดเล็ก ๆ หรือบดละเอียดเป็นผง เวลาใช้ให้เอามาละลายน้ำร้อน ใช้เป็นสารยึดผสมสีน้ำ ผสมกับสีฝุ่น เป็นสีเคลือบที่ใช้ในเครื่องปั้นดินเผาเพื่อช่วยให้น้ำยาเคลือบเกาะติดดินเผาได้ดี และยังใช้แพร่หลายในการผลิตยา อาหาร ลูกกวาด และสินค้าอุตสาหกรรมหลายประเภท

น้ำมันลินสีดมีกรดลิโนเลนิก
ประมาณ60%และกรดลิโนเลอิก
ประมาณ 10-20%
กรดลิโนเลนิกรวมตัวกับ
ออกซิเจนได้ดีกว่ากรดลิโนเลอิก
จึงแห้งเร็วและได้ฟิล์มที่แข็งแรง
แต่มีข้อเสียคือมักเปลี่ยนสีเป็นสี
เหลืองหรือเข้มขึ้นได้เร็ว

สารยึดที่ใช้ในจิตรกรรมสีน้ำมันเป็นน้ำมันชักแห้ง (drying oil) ซึ่งหมายถึงน้ำมันพืชบางชนิดที่สามารถแข็งตัวเป็นฟิล์มแข็งได้เมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ น้ำมันชักแห้งที่สำคัญ ได้แก่ น้ำมันลินสีด (Flaxseed oil) น้ำมันเมล็ดฝิ่น (Poppyseed oil) น้ำมันเมล็ดวอลนัท (Walnut oil) น้ำมันจากเมล็ดคำฝอย (Safflowerseed oil) น้ำมันเมล็ดกัญชา (Hempseed oil) น้ำมันทัง (Tung oil)

การแห้งหรือแข็งตัวของน้ำมันชักแห้งเกิดจากกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของน้ำมันชักแห้ง ได้แก่ กรดลิโนเลนิก (linolenic acid) และกรดลิโนเลอิก (linoleic acid) ซึ่งมีพันธะคู่ (double bond) อยู่เป็นจำนวนมาก พันธะคู่ในกรดเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ แล้วทำให้พันธะคู่แตกออก เกิดการไขว้พันธะ (cross-link) เกิดสารประกอบที่มีโครงสร้างเป็นโครงข่ายแล้วได้ฟิล์มที่แข็งแรง น้ำมันที่ไม่มีพันธะคู่จะไม่เกิดปฏิกิริยาดังกล่าว เรียกว่าเป็น non-drying oil

น้ำมันลินสีด (Linseed oil หรือ Flaxseed oil) ได้จากเมล็ดของต้นแฟลกซ์หรือลินิน (*Linum usitatissimum*) ซึ่งเปลือกหุ้มลำต้นนำไปใช้ทอผ้าลินิน น้ำมันลินสีดได้จากการนำเมล็ดต้นแฟลกซ์มาหีบเอาน้ำมันออกมา แล้วทำให้บริสุทธิ์ขึ้นด้วยการใช้ความร้อนหรือแสงแดด ช่างสมัยโบราณอาจใช้น้ำในการละลายเอาสิ่งเจือปนออกไปหรือนำไปตากแดด ความร้อนทำให้น้ำมันมีคุณสมบัติเปลี่ยนไป ทำให้ได้ชั้นสีเรียบสม่ำเสมอ ถ้าใช้เป็นปริมาณน้อย ๆ จะทำให้ชั้นสีมีลักษณะคล้ายเอนนาเมลและไม่เปลี่ยนเป็นสีเหลือง

น้ำมันลินสีดที่ยังดิบอยู่ เรียกว่า Cold-pressed linseed oil มีสีน้ำตาลทอง-เหลือง เป็นน้ำมันที่แห้งหรือแข็งตัวเร็ว เนื่องจากน้ำมันลินสีดมีกรดลิโนเลนิกประมาณ 60% และกรดลิโนเลอิกประมาณ 10-20% กรดลิโนเลนิกรวมตัวกับออกซิเจนได้ดีกว่ากรดลิโนเลอิก จึงแห้งเร็วและได้ฟิล์มที่แข็งแรง แต่มีข้อเสียคือมักเปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองหรือเข้มขึ้นได้เร็ว น้ำมันลินสีดหีบเย็นมีสีอ่อน โปร่งใส มีรสหวาน มีกลิ่นเล็กน้อย เมื่อถูกกับอากาศจะแข็งและเหนียว หากนำไปทาบาง ๆ จะมีลักษณะคล้ายวาร์นิช แต่แห้งช้ามาก

น้ำมันลินสีดที่ผ่านการต้ม (Boiled linseed oil) จะแห้งเร็วขึ้น ระหว่างต้มมักเติมสารประกอบของตะกั่ว เช่น สีแดงเสน (Pb_3O_4) หรือ litharge (PbO) เพื่อเร่งให้แห้งเร็ว หลังต้มแล้ว น้ำมันลินสีดจะข้นและมีสีเข้มขึ้น แห้งเร็วขึ้น แต่ความยืดหยุ่นลดลงและแทรกซึมได้น้อยลง

น้ำมันลินสีดที่วางขายส่วนใหญ่เป็นน้ำมันลินสีดที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ขึ้นหรือฟอกสี จะได้น้ำมันลินสีดที่โปร่งใส เรียกว่า Refined linseed oil, Sun-bleached oil หรือ Sun thickened oil ซึ่งจะข้นหนืดขึ้น แห้งเร็วขึ้น เมื่อแห้งหรือแข็งตัวจะได้ฟิล์มที่เหนียวแข็งแรง คล้ายเอนนาเมล ไม่ค่อยเปลี่ยนสี แต่บางครั้งผู้ผลิตอาจเติมสารเคมีในการฟอกสี ซึ่งอาจทำลายคุณสมบัติที่ดีของน้ำมันลินสีด

น้ำมันลินสีดผ่านกระบวนการอีกชนิดหนึ่งเรียกว่า Stand oil หรือ Polymerized oil เกิดจากการนำน้ำมันลินสีดมาทำให้ร้อนที่อุณหภูมิ 250-350 องศาเซลเซียส โดยไม่มีออกซิเจน จะได้น้ำมันลินสีดที่แห้งช้า มีสีอ่อน ข้นหนืดมาก ไม่เปลี่ยนเป็นสีเหลือง ได้ชั้นสีที่มีลักษณะคล้ายเอนนาเมล

น้ำมันเมล็ดฝิ่น เป็นสารยึดสำหรับสีน้ำมันที่ได้รับความนิยมเท่า ๆ กับน้ำมันลินสีด น้ำมันเมล็ดฝิ่นประกอบด้วยไขมันอิ่มตัว 14 กรัม ไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน 62 กรัม ไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว 20 กรัม ไขมันไม่อิ่มตัวที่พบมากเป็นกรดลิโนเลอิกประมาณ 70% ที่เหลือเป็นกรดโอเลอิก (oleic acid) และกรดพาล์มมิติก (palmitic acid) น้ำมันเมล็ดฝิ่นคงสภาพได้ดีกว่าน้ำมันเมล็ดคำฝอยและน้ำมันลินสีด

กรดลิโนเลอิกรวมตัวกับออกซิเจนได้ไม่ดีเท่ากรดลิโนเลนิก ทำให้ได้ฟิล์มไม่ค่อยแข็งแรง แต่ไม่ค่อยเปลี่ยนสี ศิลปิน impressionist นิยมใช้กับชั้นสีหนา ๆ สีสดใส แต่มีข้อเสียคือแห้งช้าและได้ฟิล์มที่ไม่ค่อยทนทาน จึงไม่ควรใช้น้ำมันที่แข็งตัวช้าเป็นสารยึดในชั้นรองพื้นหรือชั้นสีที่อยู่ชั้นล่าง เพราะเมื่อชั้นสีชั้นบนแห้งเร็วกว่าชั้นล่าง จะเกิดรอยแตกรานหรือแยกชั้น

น้ำมันเมล็ดฝิ่นใช้เป็นสารยึดในการวาดภาพสีน้ำมันมานานกว่าพันปี และยังคงใช้มาอย่างต่อเนื่อง ทั้งเป็นสารยึด ตัวทำละลายและทำวาร์นิช น้ำมันเมล็ดฝิ่นมีราคาแพง เหมาะกับการระบายบนพื้นที่ที่มีสีอ่อน ๆ ช่างเขียนบางคนกล่าวว่าน้ำมันเมล็ดฝิ่นที่วางตากแดดให้ขันขึ้นเป็นสารยึดที่มีคุณสมบัติดีที่สุด เนื่องจากเปลี่ยนเป็นสีเหลืองน้อยกว่าน้ำมันลินสีด แต่แห้งช้าและไม่ค่อยคงทน (เพราะน้ำมันที่เป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนเป็นสีเหลืองมีข้อดีที่ทำให้ชั้นสีทนทาน)

น้ำมันเมล็ดวอลนัท เป็นที่นิยมมากในสมัยเรอเนซองซ์ เช่น ภาพเขียนสีน้ำมันที่เขียนโดยลีโอนาร์โด ดา วินซี ใช้น้ำมันเมล็ดวอลนัทเป็นสารยึดน้ำมันเมล็ดวอลนัทมีราคาไม่แพง ไม่ค่อยทนทาน แห้งเร็ว เกือบไม่มีสี เหมาะกับการระบายพื้นที่ที่มีสีขาวหรือสีอ่อน ๆ แต่มีข้อเสียที่แห้งช้าและเปลี่ยนสีง่าย เนื่องจากมีกรดลิโนเลนิกประมาณ 10–15% และกรดลิโนเลอิกประมาณ 60% ต้องนำไปฟอกสีโดยการตากแดดเป็นเวลาพอเหมาะ จะได้สารยึดที่แห้งเร็วขึ้นและไม่เปลี่ยนสี เมื่อแห้งแล้ว ได้ชั้นสีที่แข็งแรงทนทาน ข้อเสียอีกประการหนึ่งคือน้ำมันชนิดนี้บูดเสียง่าย ไม่สามารถเก็บไว้ได้นาน

น้ำมันเมล็ดคำฝอย เป็นที่นิยมใช้มากในปัจจุบัน ผู้ผลิตสีน้ำมันมักใช้ผลิตสีน้ำมันชนิดบรรจุหลอด เนื่องจากไม่ค่อยเปลี่ยนสี ราคาไม่แพง หาง่าย แห้งช้ากว่าน้ำมันลินสีด แต่แห้งเร็วกว่าน้ำมันเมล็ดฝิ่น

น้ำมันเมล็ดกัญชา (Hempseed oil หรือ hemp oil) ได้จากการหีบเมล็ดกัญชาสายพันธุ์ที่ไม่ค่อยมีสารเสพติดโดยไม่ใช้ความร้อน ได้น้ำมันสีค่อนข้างเขียวและมีกลิ่นรสเฉพาะตัวคล้ายกลิ่นหญ้า เมื่อนำมาผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ขึ้น จะเป็นน้ำมันใส ไม่มีสี มีรสเล็กน้อย ใช้ทำยา เครื่องประทินผิว สี น้ำหมึก พลาสติก แชมพู สบู่ และสารซักฟอก น้ำมันเมล็ดกัญชาประกอบด้วยไขมันไม่อิ่มตัวเป็นหลัก ผสมกับน้ำมันที่มีคุณภาพต่ำ เมื่อวางทิ้งไว้จะหืนภายในระยะเวลาไม่นาน จึงควรเก็บในขวดสีเข้มหรือแช่แข็ง

เมล็ดกัญชา

น้ำมันเมล็ดกัญชา

น้ำมันทังหรือน้ำมันตัง (Tung oil) ได้จากเมล็ดของต้นทัง มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Vernicia fordii* เป็นพืชที่พบมากในจีน น้ำมันทังหรือที่ชาวจีนเรียกว่า "ตังอิ๊ว" เป็นน้ำมันชักแห้งที่มีคุณภาพดีกว่าน้ำมันลินสีด เมื่อถูกอากาศจะแข็งตัวกลายเป็นฟิล์มที่โปร่งใส

เมล็ดทัง

น้ำมันทัง

> สีพาสเทลมีทั้งชนิดเนื้ออ่อนและเนื้อแข็ง สีพาสเทลที่มีลักษณะอ่อนนุ่มจะมีสารสีมากและมีสารยึดน้อย มีสีสดใส จึงเหมาะในการนำมาระบายมากกว่านำมาวาดเส้น ส่วนสีพาสเทลที่มีสารยึดมากและสารสีน้อยจะมีลักษณะแข็ง สามารถลากเส้นคมชัดในลักษณะภาพวาด

สารยึดที่ใช้ในภาพเขียนประเภทอื่น ๆ มักทำจากยางไม้ เช่น สีน้ำทำจากสารสีที่ละลายน้ำผสมกับกาวอะคาเซียเล็กน้อย ได้สารละลายสีต่าง ๆ สีพาสเทลใช้สารยึดผสมกับสารสีจนมีลักษณะคล้ายดินเหนียว สารยึดที่ใช้ในสีพาสเทลอาจเป็นกาวอะคาเซีย กาวทรากาคันหรือเมทิลเซลลูโลส (methyl cellulose) บางทีมีชอล์กหรือยิปซัมผสมอยู่ด้วย โดยใช้สารยึดเพียงเล็กน้อย แค่ให้สารสีจับตัวกันเป็นแท่งเท่านั้น สีพาสเทลมีหลายชนิด ขึ้นอยู่กับชนิดของสารยึดและปริมาณของสารเติมเต็ม สีพาสเทลที่เข้มข้นสูงสุดจะมีเพียงเนื้อสีแท้ ๆ ไม่มีสารเติมเต็มอยู่ด้วย สีพาสเทลสีอ่อน ๆ เกิดจากเติมสารสีขาว สีพาสเทลสีคล้ำเกิดจากการผสมสารสีดำ สีพาสเทลมีทั้งชนิดเนื้ออ่อนและเนื้อแข็ง สีพาสเทลที่มีลักษณะอ่อนนุ่มจะมีสารสีมากและมีสารยึดน้อย มีสีสดใส จึงเหมาะในการนำมาระบายมากกว่านำมาวาดเส้น ส่วนพาสเทลที่มีสารยึดมากและสารสีน้อยจะมีลักษณะแข็ง สามารถลากเส้นคมชัดในลักษณะภาพวาด สีพาสเทลบางชนิดผสมขี้ผึ้งและไขมัน บางชนิดผสมน้ำมัน ซึ่งเมื่อได้รับความร้อนจะไหลหยดย้อย

ภาพเขียนสีขี้ผึ้งร้อน (Encaustic painting) เป็นภาพเขียนที่เกิดขึ้นมานานกว่า 5,000 ปี ใช้สารยึดคือขี้ผึ้งผสมกับสารสี ทำให้ร้อนประมาณ 63–65 องศาเซลเซียส เพื่อให้ขี้ผึ้งหลอมละลาย แล้วนำไปเขียนภาพ

นอกจากนี้ยังมีสารยึดอื่น ๆ อีกมากมาย เช่น ไข่ขาว คาเซอิน (casein) เด็กซ์ทริน (dextrin) อะการ์ อะการ์ (agar agar) ฟูโนริ (funori คือกาวที่ได้จากสาหร่ายสีแดง) ฯลฯ สารยึดที่ละลายได้ในน้ำ ได้แก่ กาวหนัง/กระดูกสัตว์ กาวแป้งเปียก กาวอารบิก เมทิลเซลลูโลส เซลลูโลสอะซีเตต คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เจลาติน ฯลฯ ส่วนสารยึดที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่ น้ำมันชักแห้ง สารละลายเรซิน สารละลายแวนตะกอนของเรซิน ของผสมระหว่างขี้ผึ้งกับน้ำมันสน ขี้ผึ้ง ฯลฯ

สารยึดที่ใช้ในปัจจุบัน ส่วนใหญ่เป็นสารเคมีที่ได้จากการสังเคราะห์ (Synthetic binders) เช่น อะครีลิก (acrylic) อัลคิด (alkyd) พอลิยูรีเทน (polyurethane) พอลิเอสเทอร์ (polyester) อีพอกซี (epoxy) พอลิไวนิลอะซีเตต (polyvinyl acetate) ฟีโนลิก เรซิน (phenolic resin) กาวเซลลูโลส เมทิลเซลลูโลส เอทิลเซลลูโลส ฯลฯ

ภาพเขียนสีอะครีลิก เกิดจากการใช้สารสีผสมกับอะครีลิก ซึ่งเป็นสารยึดที่เกิดจากการสังเคราะห์ สีอะครีลิกมีลักษณะเป็นอีมัลชันที่มีโมเลกุลของอะครีลิกแขวนลอยในน้ำ ใช้สารเติมแต่งช่วยให้ละลายน้ำได้ เมื่อน้ำระเหยออกไป สีจะแห้งเป็นฟิล์มของอะครีลิกพอลิเมอร์ (acrylic polymer) จึงทนทานกว่าสีน้ำและระบายง่ายกว่าสีน้ำมัน แต่ภาพเขียนสีอะครีลิกจะแลดูด้านเมื่อแห้ง จึงควรเลือกใช้อะครีลิกเรซินที่มีความมันวาว ทำให้ภาพเขียนมีความมันเงาแบบผ้าต่วน นอกจากนี้ความมันเงายังขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ใช้เติม บางครั้งทำให้เกิดบริเวณที่มีความมันเงาไม่เท่ากันบนภาพเดียวกัน

สารยึดจำพวกอะครีลิก

อัลคิด (alkyd) เกิดจากการควบแน่นของกรดที่มีอนุมูลด่างกับแอลกอฮอล์และกรดไขมัน ใช้ทำสารยึดที่แห้งเร็ว บางครั้งใช้ผสมกับสีน้ำมันเพื่อทำให้สีแห้งเร็วขึ้น มักผสมตัวทำละลาย ซึ่งเดิมใช้น้ำมันสน ปัจจุบันใช้ตัวทำละลายที่ได้จากการกลั่นปิโตรเลียม เช่น ไวท์สปิริต การแห้งและแข็งตัวของอัลคิดเกิดจากน้ำมันชักแห้งทำปฏิกิริยากับออกซิเจน หลังจากตัวทำละลายระเหยออกไปมากพอ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา แล้วเกิดพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมพลาสติกที่ไขว้พันธะกัน ได้สารที่มีโมเลกุลใหญ่

สารยึดที่ทำจากอัลคิด

นอกจากนี้ในสารยึดยังมีตัวทำละลาย (solvent) และตัวทำให้เจือจาง (diluent) ชนิดต่าง ๆ เพื่อช่วยให้สีมีความข้นหนืดพอเหมาะต่อการใช้งาน รวมทั้งอาจมีสารเติมแต่ง (additive) อีกหลายชนิดเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของสี เช่น ช่วยทำให้ทึบแสง ทำให้ได้ฟิล์มเรียบสม่ำเสมอ ป้องกันเชื้อรา สารเคมีที่ช่วยทำให้อนุภาคของสารสีกระจายตัว สารกันบูด ฯลฯ

5. สารเคลือบผิว (Coating material หรือ varnish)

ประติมากรรม ภาพเขียนสีน้ำมัน และภาพเขียนสีอะครีลิกมักมีการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบเงาสีใสหรือโปร่งแสงหลังจากเขียนภาพ สารเคลือบผิวบนประติมากรรมและภาพเขียนเรียกว่าวาร์นิช เพื่อช่วยปกป้องชั้นสีจากฝุ่นละออง ก๊าซ ความชื้น และสภาวะแวดล้อม ชั้นสีที่จะทาวาร์นิชได้ต้องหนาพอควร ไม่ควรใช้วาร์นิชกับสีน้ำ สีน้ำทึบ และภาพวาดลายเส้น เนื่องจากวาร์นิชจะถูกดูดซับลึกลงไปในชั้นสีและชั้นรองรับ แล้วกลายเป็นส่วนหนึ่งของภาพ และอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนสี ซึ่งไม่สามารถละลายออกได้โดยไม่ทำอันตรายต่อชั้นสีเดิม

นอกจากนี้ วาร์นิชยังช่วยให้ภาพเขียนมีสีสันสดใสและมันวาว โดยเฉพาะอย่างยิ่งสีน้ำมัน เมื่อชั้นสีบนภาพเขียนสีน้ำมันแห้ง จะเกิดความมันวาวหรือด้านไม่สม่ำเสมอกัน ทำให้สีเปลี่ยนไปจากตอนเขียนใหม่ ๆ ช่างเขียนจึงนิยมเคลือบวาร์นิชเพื่อทำให้ชั้นสีมีความมันวาวสม่ำเสมอเท่ากันทั้งภาพ

> Copal และอำพันเป็นที่นิยมใช้ทำวาร์นิชมานาน เป็นวาร์นิชที่ให้สีทองสวยงาม มีลักษณะเป็นมันวาว แต่จะแตกร้าวง่าย และเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ในระยะยาวจะไม่ละลายในตัวทำละลายธรรมดา แต่จะละลายได้ในน้ำมันร้อน ๆ ปัจจุบันจึงไม่ใช้แล้ว

ช่างเขียนบางคนไม่ทาวาร์นิชบนภาพเขียนสีน้ำมัน ถ้าภาพเขียนสีน้ำมันนั้น ๆ ผ่านกระบวนการเขียนที่ถูกต้อง สีชั้นบน ๆ ใช้น้ำมันมากกว่าสีชั้นล่าง ๆ (fat over lean) มีการรองพื้นอย่างดี มีชั้นรองรับที่ดี ชั้นสีจะเสถียรและทนทานต่อสภาวะแวดล้อมได้ดี ส่วนใหญ่จะทาวาร์นิชเพื่อเปลี่ยนลักษณะของภาพเขียน เช่น เพิ่มความมัน ลดความมัน เพิ่มความเข้มหรือสดใสของชั้นสี ปกป้องชั้นสี ช่วยให้ทำความสะอาดได้ง่ายขึ้น ปกป้องพื้นผิวจากรังสีอัลตราไวโอเลต ทำให้ชั้นสีแข็งแรงมั่นคงขึ้น ฯลฯ

วาร์นิชที่ใช้ในช่วงแรก ๆ ทำจากเรซินที่ได้จากธรรมชาติ ซึ่งมีจุดอ่อนในระยะยาวหลายประการ เช่น เปลี่ยนสีเป็นสีเหลือง โปร่งใสน้อยลง แตกร้าว บางครั้งบดบังรายละเอียดบนภาพ ทำให้ต้องมีการเช็ดหรือละลายออกเป็นระยะ ๆ ช่างเขียนจึงพยายามทดลองหาวาร์นิชใหม่ที่มีคุณสมบัติดีกว่าของเดิมมาโดยตลอด แต่วาร์นิชใหม่เหล่านั้นก็ยังมีคุณสมบัติไม่พึงประสงค์บางประการแฝงอยู่ ผู้ผลิตวาร์นิชทราบว่าวาร์นิชที่ทำจากเรซินธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลเล็ก ทำให้ได้สารละลายที่มีความหนืดต่ำ ทาง่าย เมื่อแห้งจะได้ชั้นที่เรียบ สม่ำเสมอกว่าวาร์นิชที่ได้จากสารสังเคราะห์ ชั้นของวาร์นิชจะเป็นมันวาวและทำให้มองเห็นสีสดใสจัดจ้าน จึงพยายามผลิตวาร์นิชจากสารสังเคราะห์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ

การเลือกใช้วาร์นิชต้องพิจารณาคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- วาร์นิชควรสามารถละลายออกได้ในภายหลังเพื่อทำความสะอาด โดยไม่ทำอันตรายต่อชั้นสี
- วาร์นิช ควรเป็นฟิล์มที่มีความยืดหยุ่นพอสมควร เพื่อที่จะได้ยืดและหดไปพร้อม ๆ กับผ้าใบโดยไม่แตกร้าว
- วาร์นิชควรเป็นฟิล์มที่แข็งพอสมควร เพื่อไม่ให้ฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกเกาะติดและฝังลงไป
- วาร์นิชควรมีรูพรุนเหมาะสมต่อสภาวะแวดล้อมในแต่ละสถานที่ เพื่อให้ความชื้นเคลื่อนที่ผ่านได้หรือเป็นฟิล์มที่ไม่ต้องการให้ความชื้นผ่าน
- วาร์นิชไม่ควรไวต่อปฏิกิริยาเคมี ต้องทนต่อความชื้นและน้ำ
- วาร์นิชไม่ควรเปลี่ยนสีจากปัจจัยที่เกิดจากความชื้น ความร้อน รังสีอัลตราไวโอเลต
- วาร์นิชควรเป็นฟิล์มที่มีความโปร่งใสตลอดไป โดยไม่เกิดการเปลี่ยนสีหรือขุ่นมัว

> หากใช้วาร์นิชชนิดมันวาวผสมกับวาร์นิชชนิดด้านในอัตราส่วน 50 ต่อ 50 จะได้ฟิล์มที่มีความมันเงาคล้ายความมันเงาบนผ้าต่วน อยู่กึ่งกลางระหว่างความมันเงากับความด้าน เรียกว่า Satin finish ซึ่งทนต่อรังสีอัลตราไวโอเลตได้ดี

ก่อนการเคลือบผิวภาพเขียนสีน้ำมัน ต้องรอให้ชั้นสีแห้งสนิท ซึ่งใช้เวลานาน เนื่องจากการแข็งตัวของชั้นสีน้ำมันเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งต้องการออกซิเจน โดยทั่วไปการแข็งตัวของชั้นสีน้ำมันอาจใช้เวลา 3–6 เดือน หรืออาจถึงหนึ่งปี หากชั้นสีหนามาก ถ้าเคลือบผิวในขณะที่ชั้นสียังไม่แห้ง จะทำให้อากาศเข้าไปทำปฏิกิริยากับน้ำมันในชั้นสีไม่ได้ ชั้นสีจะไม่แห้งหรือแข็งตัวเต็มที่และชั้นวาร์นิชจะแตกร้าว เนื่องจากชั้นสีจะหดตัวขณะแห้ง โดยเฉพาะชั้นสีที่หนามาก ๆ จะแตกร้าวมาก ปัจจุบันนี้มีวาร์นิชชนิดใหม่ที่ยอมให้อากาศเข้าไปทำปฏิกิริยากับชั้นสีได้

วาร์นิชที่ใช้ในสมัยก่อนประวัติศาสตร์ทำจากยางของต้นไม้ เช่น ยางของต้นสนผสมกับตัวทำละลาย เมื่อทาบนภาพเขียนจะมีลักษณะแข็งและมีสีทอง ในยุคคลาสสิก วาร์นิชที่นิยมใช้กับภาพเขียนสีน้ำมันทำจากเรซินที่ได้จากธรรมชาติ เช่น อำพัน, Dammar, Copal, Sandarac, Mastic, Elimi, ชันสน ฯลฯ ผสมกับน้ำมันชักแห้ง เช่น น้ำมันลินสีด น้ำมันทัง น้ำมันวอลนัท ฯลฯ Copal และอำพันเป็นที่นิยมใช้ทำวาร์นิชมานาน เป็นวาร์นิชที่ให้สีทองสวยงาม มี

ลักษณะเป็นมันวาว แต่จะแตกร้าวง่ายและเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ในระยะยาวจะไม่ละลายในตัวทำละลายธรรมดา แต่จะละลายได้ในน้ำมันร้อน ๆ ปัจจุบันจึงไม่ใช้แล้ว Dammar และ Mastic ละลายในน้ำมันสนและไวท์สปิริต มีข้อดีกว่า เนื่องจากยังสามารถละลายออกได้โดยไม่ทำอันตรายต่อชั้นสี แต่มีปัญหาอื่นคือเปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองหลังจากใช้งานไปประมาณ 50 ปี ในสภาพแวดล้อมปกติ และเมื่อแข็งจะกรอบเปราะขึ้น ทำให้ภาพเขียนแตกร้าว

ตั้งแต่ ค.ศ. 1826 ช่างเขียนในยุโรปนิยมใช้ Dammar ผสมกับน้ำมันสน เมื่อแห้งจะได้ฟิล์มที่มีความมันเงาและสามารถเช็ดหรือซับออกด้วยน้ำมันสน ใช้ทั้งในระหว่างเขียนภาพและหลังเขียนเสร็จ มักเคลือบผิวสองชั้นบาง ๆ ทิ้งไว้ค้างคืน ไม่ควรทาวาร์นิชชั้นบาง ๆ ทับบนชั้นหนา ๆ เพราะจะทำให้เกิดรอยแตกร้าว วาร์นิชชนิดนี้ยังสามารถนำมาผสมกับ Stand oil กับน้ำมันสน แล้วได้สารยึดที่มีคุณภาพดี

วาร์นิชที่ทำจากเรซินผสมกับตัวทำละลาย มีชื่อเรียกว่า Resin varnish, Gum varnish, Spirit varnish หรือ Solvent varnish ตัวทำละลายที่นิยมใช้ ได้แก่ แอลกอฮอล์ น้ำมันสน น้ำมันที่ได้จากการกลั่นปิโตรเลียม เรซินที่ใช้มีทั้งที่ได้จากธรรมชาติและเรซินสังเคราะห์ มีการพัฒนาคุณสมบัติของวาร์นิชมาโดยตลอดเป็นเวลาหลายร้อยปี บางครั้งใช้สารเติมแต่งอื่น ๆ เช่น ขี้ผึ้งผสมในวาร์นิชด้วยเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติ ทำให้วาร์นิชเหล่านั้นมีองค์ประกอบหลากหลาย ยากต่อการคาดเดา และยากต่อการทำขึ้นมาใหม่เพื่อเลียนแบบของเก่า บางครั้งสารเคมีหลายชนิดในวาร์นิชทำปฏิกิริยาเคมีกันเอง

วาร์นิชที่ทำจาก Dammar

รีทัชวาร์นิช (retouch varnish) เป็นวาร์นิชชนิดหนึ่งที่ใช้เพื่อปกป้องพื้นผิวชั่วคราว ทำจาก Dammar varnish นำมาเจือจางด้วยน้ำมันสน เป็นวาร์นิชที่แห้งเร็ว เมื่อทาหรือพ่นเป็นชั้นบาง ๆ ทนต่อรังสีอัลตราไวโอเลตได้ดี

วาร์นิชระยะหลัง ๆ ใช้เรซินสังเคราะห์มากขึ้นเรื่อย ๆ ได้วาร์นิชที่มีคุณสมบัติหลากหลาย วาร์นิชสังเคราะห์ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดเป็นวาร์นิชที่ทำให้เกิดความมันเงา (gloss) ทำให้สีสดใส ฉ่ำขึ้นกว่าเดิม สะท้อนแสงมากขึ้น แต่จะเช็ดออกหรือซับออกยากขึ้น ต้องใช้ตัวทำละลายที่แรงขึ้น ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อชั้นสี

> ภาพเขียนสีอะคริลิกไม่ควรเคลือบผิวด้วยวาร์นิช เพราะจะละลายวาร์นิชออกได้ยากมากโดยไม่ทำอันตรายต่อชั้นสี เนื่องจากชั้นสีอะคริลิกมีความอ่อนนุ่มหากสภาพแวดล้อมมีความชื้นและความร้อน ทำให้ฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกเกาะติดง่าย หากทาวาร์นิชโดยตรงบนภาพเขียนสีอะคริลิก จะทำให้เกิดปัญหาในอนาคต

> วาร์นิชสังเคราะห์ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดเป็นวาร์นิชที่ทำให้เกิดความมันเงา (gloss) ทำให้สีสดใส ฉ่ำขึ้นกว่าเดิม สะท้อนแสงมากขึ้น แต่จะเช็ดออกหรือซับออกยากขึ้น ต้องใช้ตัวทำละลายที่แรงขึ้น ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อชั้นสี

วาร์นิชบางชนิดมีลักษณะด้าน (matt หรือ matte) เนื่องจากผสมสารเคมีบางอย่างที่ทำให้ได้ฟิล์มที่ไม่สะท้อนแสงมากนัก สารเคมีดังกล่าวเรียกว่า matting agent หรือ flatting agent ซึ่งมักเป็นผงสีขาวหรือขี้ผึ้ง ถ้าภาพเขียนมีสีอ่อน ๆ จะไม่สังเกตเห็น แต่ถ้าภาพเขียนมีสีเข้ม ๆ ผงสีขาวดังกล่าวจะทำให้ชั้นสีนั้น ๆ มีลักษณะเป็นฝ้ามัว แม้ว่าจะแห้งแล้ว ชั้นวาร์นิชจะไม่โปร่งใส 100% เมื่อเปรียบเทียบกับวาร์นิชชนิดมันวาวซึ่งโปร่งใส 100% ชั้นสีนั้น ๆ จะแลดูด้านหรือมัว ไม่สดใส แต่ไม่สะท้อนแสงมากนัก เป็นวาร์นิชที่ผลิตในระยะหลัง ๆ เหมาะต่อภาพเขียน abstract หรือ imprssionism

หากต้องการความมันเงาในระดับกลาง ๆ อาจใช้วาร์นิชชนิดที่มีความมันวาวผสมกับวาร์นิชชนิดด้านในอัตราส่วนต่าง ๆ ตามต้องการ โดยทั่วไปหากใช้วาร์นิชชนิดมันวาวผสมกับวาร์นิชชนิดด้านในอัตราส่วน 50 ต่อ 50 จะได้ฟิล์มที่มีความมันเงาคล้ายความมันเงาบนผ้าด่วน อยู่กึ่งกลางระหว่างความมันเงากับความด้าน เรียกว่า Satin finish ซึ่งทนต่อรังสีอัลตราไวโอเลตได้ดี หากต้องการขจัดออกในภายหลัง ให้ผสมไวท์สปิริตหรือน้ำมันสนที่ผ่านกระบวนการกลั่น เพราะฉะนั้นวาร์นิชแต่ละชนิดถูกผลิตมาเพื่อใช้งานเฉพาะอย่าง ผู้ใช้ต้องเลือกใช้วาร์นิชที่ถูกต้องและตรงกับวัตถุประสงค์

เรซินสังเคราะห์ที่ใช้มากในการผลิตวาร์นิชคืออัลคิด (alkyd) ซึ่งทำจากน้ำมันพืชผ่านกระบวนการเคมี เพื่อให้แห้งและแข็งตัวเร็วขึ้น มีคุณสมบัติที่ดีกว่าเรซินที่ได้จากธรรมชาติหลายประการ เช่น โปร่งใสตลอดเวลาที่ใช้งาน ไม่เปลี่ยนเป็นสีเหลือง ทนทานต่อสภาวะแวดล้อม และมีความยืดหยุ่นดีกว่า สามารถละลายออกในภายหลังโดยไม่ทำอันตรายต่อชั้นสี บางผลิตภัณฑ์ผสมสารเคมีที่ช่วยดูดซับรังสีอัลตราไวโอเลตและเลือกใช้น้ำมันที่มีคุณภาพสูง ทำให้ได้วาร์นิชที่มีความมันวาวและทนต่อแสงสว่างได้ดีขึ้น บางผลิตภัณฑ์ผสมเรซินอื่น ๆ เข้าไปด้วย

วาร์นิชสมัยใหม่อีกชนิดหนึ่งที่เป็นที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางคือวาร์นิชที่ทำจากอะครีลิกเรซิน ซึ่งนิยมใช้ในลักษณะของอีมัลชันละลายในน้ำหรือแบบละลายในตัวทำละลาย อะครีลิกมีดัชนีหักเหต่ำที่สุดในบรรดาวาร์นิชทั้งหมดและโปร่งใส ข้อดีอีกประการหนึ่งของอะครีลิกคือไม่เปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองในระยะยาว อะครีลิกอีมัลชันไม่ควรใช้กับภาพเขียนขนาดใหญ่ถ้าทาด้วยแปรง เนื่องจากแห้งเร็วเกินไป ตอนแรกที่ทาบนภาพเขียน อะครีลิกจะมีสีขาวขุ่นเหมือนน้ำนม แต่เมื่อแห้งจะโปร่งใส ฟิล์มที่ได้จากอะครีลิกอีมัลชันจะไม่แข็งแรงเท่าฟิล์มที่ได้จากอะครีลิกที่ละลายในตัวทำละลาย อะครีลิกเรซินที่นิยมใช้ในการผลิตวาร์นิชคือ polybutylmethacrylate (PBMA)

ภาพเขียนสีอะครีลิกไม่ควรเคลือบผิวด้วยวาร์นิช เพราะจะละลายวาร์นิชออกได้ยากมากโดยไม่ทำอันตรายต่อชั้นสี เนื่องจากชั้นสีอะครีลิกมีความอ่อนนุ่มหากสภาพแวดล้อมมีความชื้นและความร้อน ทำให้ฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกเกาะติดง่าย หากทาวาร์นิชโดยตรงบนภาพเขียนสีอะครีลิก จะทำให้เกิดปัญหาในอนาคต จะทำความสะอาดหรือขจัดวาร์นิชออกไม่ได้โดยไม่ทำอันตรายต่อชั้นสี การใช้วาร์นิชที่แข็งตัวเป็นฟิล์มที่แข็งกว่าชั้นสีจะแก้ไขปัญหานี้ได้ เรียกว่า isolation coat ซึ่งทำหน้าที่คล้ายแผ่นกระจกบาง ๆ บนชั้นสี กั้นระหว่างชั้นสีกับชั้นวาร์นิช

พอลิยูรีเทนเรซิน (polyurethane) เริ่มมีใช้เมื่อประมาณ 70 ปีมาแล้ว นิยมใช้เป็นสารเคลือบผิวไม้ เนื่องจากเมื่อแห้งจะได้ฟิล์มที่แข็งแรงและมีความพรุน แต่ไม่สามารถละลายออกได้ในภายหลัง พอลิยูรีเทนมีทั้งที่ละลายในน้ำและละลายในตัวทำละลาย บางชนิดเปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองได้ง่าย แต่บางชนิดไม่เปลี่ยนสี

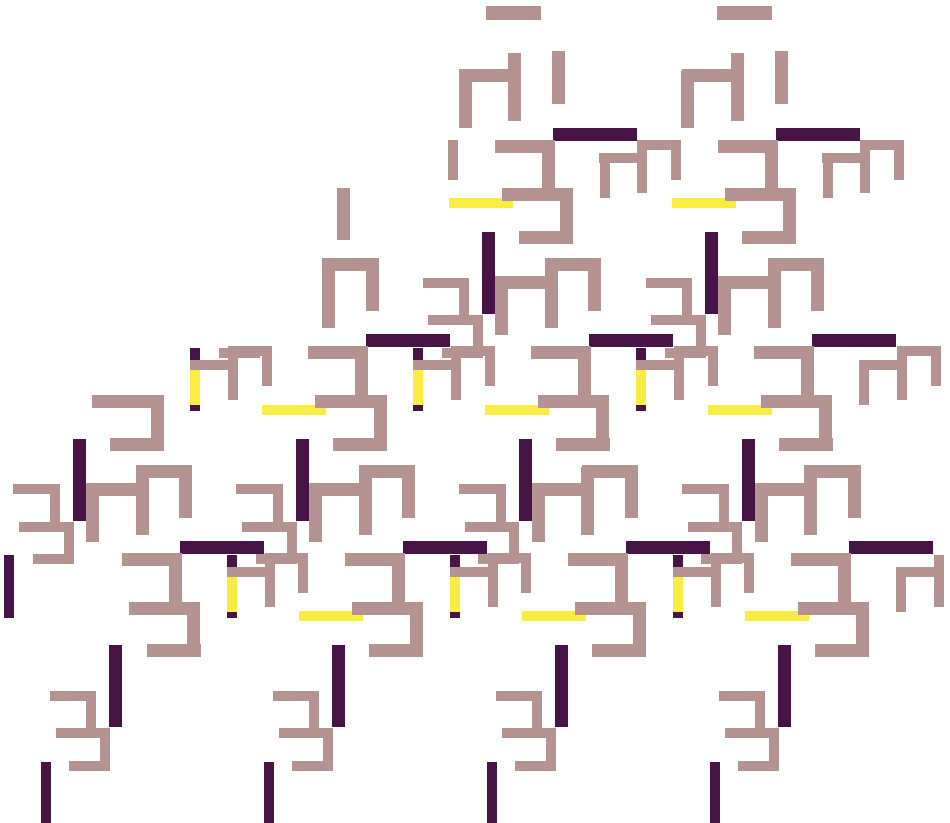
การใช้งานวาร์นิช อาจทาด้วยแปรงหรือฉีดพ่นเป็นละอองฝอย ซึ่งเหมาะกับภาพเขียนที่มีชั้นสีหนา ๆ และขรุขระ และใช้ในกรณีที่ไม่สามารถทาวาร์นิชด้วยแปรงได้หรือในกรณีที่ภาพเขียนมีขนาดใหญ่มาก

วาร์นิชที่เลือกใช้ต้องสามารถขจัดออกได้โดยไม่ทำอันตรายต่อชั้นสีเดิม ปัจจุบันมีวาร์นิชชนิดใหม่ที่ผลิตขึ้นมาให้ชิ้นงานสวยงาม แต่ไม่สามารถขจัดออกได้ในอนาคต เพราะฉะนั้น ต้องพิจารณาคุณสมบัติของวาร์นิชอย่างละเอียดก่อนใช้งาน

สารเคลือบผิวที่มีลักษณะโปร่งใส มักเรียกว่าแล็กเกอร์ จัดเป็นวาร์นิชชนิดใส ซึ่งใช้กับไม้และโลหะ ส่วนใหญ่ทำจากเซลลูโลสไนเตรต แต่แตกต่างจากยางรักซึ่งมีชื่อเรียกว่าแล็กเกอร์เช่นเดียวกัน

ในคริสต์ศตวรรษที่ 19 มีการใช้วัสดุใหม่ ๆ และเทคนิคใหม่ ๆ ในการสร้างสรรค์งานศิลปกรรมอย่างมากและมีการใช้วาร์นิชน้อยลงเรื่อย ๆ

บทที่ 2
การมองเห็นสีบนวัสดุ



การมองเห็นสีของวัสดุ เกิดจากการที่มีแสงตกกระทบบนวัสดุและมีแสงสะท้อนจากวัสดุสู่นัยน์ตา สีที่มีอยู่ในวัสดุเกิดการดูดกลืนสีบางสีและคายสีบางสีออกมากระทบนัยน์ตา เช่น เมื่อให้แสงสีขาวตกกระทบบนวัสดุ จะมองเห็นสีต่างกัน ในกรณีที่แสงสีขาวตกกระทบวัตถุทึบแสง วัตถุนั้นจะดูดกลืนแสงแต่ละสีที่ประกอบเป็นแสงสีขาวไว้ในปริมาณต่าง ๆ กัน แสงส่วนที่เหลือจากการดูดกลืนจะสะท้อนกลับสู่นัยน์ตา ทำให้มองเห็นวัตถุเป็นสีเดียวกันกับแสงที่สะท้อนกลับเข้าตามากที่สุด วัสดุต่าง ๆ มี *“สารสี”* หรือ *“สารมีสี”* ทำหน้าที่ดูดกลืนแสง วัสดุที่มีสารสีต่างกันจะมีสีต่างกัน เช่น วัสดุที่มีสีเขียวจะดูดกลืนแสงสีม่วงและสีแดง แล้วปล่อยแสงสีเขียวและสีใกล้เคียงที่สะท้อนกลับเข้าตามากที่สุด วัสดุที่มีสีแดงมีสารสีที่ดูดกลืนแสงสีม่วง น้ำเงิน และเขียวส่วนใหญ่ไว้ แล้วปล่อยแสงสีแดงปนสีส้มและสีเหลืองให้สะท้อนกลับเข้าตามากที่สุด สารสีดำดูดกลืนแสงทุกสีที่ตกกระทบ ทำให้ไม่มีแสงสีใด ๆ สะท้อนกลับเข้าสู่ตา ในขณะที่สารสีขาวจะสะท้อนแสงทุกสีที่ตกกระทบ

สารสีแต่ละชนิดมีคุณสมบัติทางแสงแตกต่างกัน เช่น

- **ทึบแสง** (opaque) คือไม่ยอมให้แสงผ่าน จึงสามารถปกปิดพื้นผิวได้ดี
- **กึ่งทึบแสง** (semi-opaque) ยอมให้แสงผ่านเพียงเล็กน้อย สามารถระบายทับพื้นผิวหรือชั้นสีที่มีสีเข้ม ปกปิดส่วนที่อยู่ข้างใต้
- **โปร่งใส** (transparent) ยอมให้แสงผ่านได้อย่างอิสระ มองเห็นพื้นผิวที่อยู่ข้างใต้ ในกรณีของภาพเขียนสีน้ำมัน ชั้นสีโปร่งใสชั้นบนที่ระบายทับชั้นสีที่อยู่ชั้นล่าง ทำให้เกิดสีสองสีที่ทับซ้อนกัน
- **กึ่งโปร่งใส** (semi-transparent) ยอมให้แสงผ่านได้มาก แต่ไม่ใส หากระบายทับสีอีกสีที่อยู่ชั้นล่าง จะทำให้เกิดสีอ่อน ๆ หรือขุ่นมัว เนื่องจากเกิดการสะท้อนแสงจากพื้นผิว
- **โปร่งแสง** (translucent) คือผงสีแบบกึ่งโปร่งใสและกึ่งทึบแสง

สารสีที่ใช้ในการสร้างสรรค์งานศิลปกรรมต่าง ๆ มีลักษณะเฉพาะตัวต่างกัน เช่น ภาพเขียนสีน้ำใช้สารสีที่มีลักษณะโปร่งใส ทำให้มองเห็นกระดาษสีขาวที่อยู่ใต้ชั้นสี สีที่ได้มีสีอ่อน ๆ ในขณะที่ภาพเขียนสีน้ำมันใช้ผงสีที่มีลักษณะทึบแสง โปร่งใส และโปร่งแสง ส่วนสีเทมเพอราใช้สารสีที่มีลักษณะกึ่งทึบแสง

> วัสดุต่าง ๆ มี “*สารสี*” หรือ “*สารมีสี*” ทำหน้าที่ดูดกลืนแสง วัสดุที่มีสารสีต่างกันจะมีสีต่างกัน เช่น วัสดุที่มีสีเขียว จะดูดกลืนแสงสีม่วงและสีแดง แล้วปล่อยแสงสีเขียวและสีใกล้เคียงที่สะท้อนกลับเข้าตามากที่สุด

วัสดุแต่ละชนิดเลือกดูดซับแสงสว่างที่มีความยาวคลื่น (wavelength) จำเพาะ แล้วสะท้อนหรือส่งผ่านแสงที่มีความยาวคลื่นอื่น ๆ พลังงานจากแสงที่ถูกดูดซับไว้ในโมเลกุลกระตุ้นอิเล็กตรอนให้มีพลังงานสูงขึ้น ไปอยู่ที่สภาวะตื่นตัว (excited state) ซึ่งสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีหรือทำให้พันธะระหว่างโมเลกุลแตกหักหรือไปทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่น ๆ เมื่อพันธะเคมีบางส่วนแตกหัก การดูดซับพลังงานจากแสงสว่างที่ตกกระทบจะเปลี่ยนไป โมเลกุลนั้น ๆ จะเลือกดูดซับแสงที่มีความยาวคลื่นสั้นลง เมื่อโมเลกุลกลับสู่สถานะเดิม จะปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมา

วัสดุส่วนใหญ่มีสี เนื่องจากดูดซับพลังงานแสงที่มีความยาวคลื่นจำเพาะ ส่วนความยาวคลื่นอื่น ๆ ที่ไม่ถูกดูดซับ จะสะท้อนหรือกระเจิงออกไป ทำให้มองเห็นสี

โมเลกุลของวัสดุมีอิเล็กตรอนโคจรอยู่ในวงโคจรที่มีระดับพลังงานต่าง ๆ ความแตกต่างของระดับพลังงานมีความเกี่ยวพันกับระดับพลังงานของความยาวคลื่นของแสงสีขาว (visible radiation) พันธะเคมีมีระดับพลังงานต่าง ๆ ซึ่งเกี่ยวข้องกับความถี่ต่าง ๆ ของแสงสีขาว เมื่อโฟตอนที่มีความถี่หนึ่ง ๆ มาทำให้พันธะเคมีเปลี่ยนระดับพลังงาน โฟตอนจะถูกดูดซับไว้ แต่ถ้าโฟตอนนั้นมีระดับพลังงานไม่พอเหมาะที่จะเปลี่ยนพันธะเคมีระหว่างระดับพลังงานสองระดับ โฟตอนนั้นจะไม่ถูกดูดซับ วัสดุส่วนใหญ่มีสี เนื่องจากดูดซับพลังงานแสงที่มีความยาวคลื่นจำเพาะ ส่วนความยาวคลื่นอื่น ๆ ที่ไม่ถูกดูดซับ จะสะท้อนหรือกระเจิงออกไป ทำให้มองเห็นสี

โลหะชนิดต่าง ๆ มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนต่างกัน เวเลนซ์อิเล็กตรอนเป็นผลรวมของอิเล็กตรอนที่อยู่ในระดับพลังงานสูงสุดของโลหะแต่ละชนิดหรือเป็นจำนวนอิเล็กตรอนที่อยู่ในวงโคจรชั้นนอกสุด

ในระดับอะตอม ความยาวคลื่นหนึ่ง ๆ ของแสงสีขาว สามารถกระตุ้นการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในโมเลกุล มีการดูดซับพลังงานเพื่อนำไปกระตุ้นอิเล็กตรอน และทำให้โมเลกุลเกิดการสั่นด้วยความถี่ที่ใกล้เคียงกับความถี่ของแสงที่มากระทบโมเลกุลที่สั่นจะกระทบหรือชนกับโมเลกุลอื่น ๆ และปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมา เพราะฉะนั้น ความยาวคลื่นแสงนั้น ๆ จะมองไม่เห็น สิ่งที่มองเห็นคือความยาวคลื่นอื่น ๆ ที่ไม่ถูกดูดซับ สิ่งที่ตามองเห็นเป็น subtractive color

สารอนินทรีย์ที่มีสี มักเป็นสารประกอบของโลหะทรานซิชัน (transition metal) ซึ่งมีอิเล็กตรอนไม่เต็มในวงโคจรชั้นนอกสุด (ชั้น d) ซึ่งอิเล็กตรอนถูกดึงดูดจากนิวเคลียสอย่างหลวม ๆ นั่นหมายความว่าอิเล็กตรอนเหล่านั้นสามารถเคลื่อนที่อย่างอิสระรอบ ๆ นิวเคลียส สามารถส่งผ่านอิเล็กตรอนระหว่างโมเลกุลหลาย ๆ โมเลกุลที่อยู่ชิดกัน สารประกอบของโลหะทรานซิชันจึงแข็งและแวววาว มีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดสูง มีสีสันต่าง ๆ มากมาย

โลหะชนิดต่าง ๆ มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนต่างกัน เวเลนซ์อิเล็กตรอนเป็นผลรวมของอิเล็กตรอนที่อยู่ในระดับพลังงานสูงสุดของโลหะแต่ละชนิด หรือเป็นจำนวนอิเล็กตรอนที่อยู่ในวงโคจรชั้นนอกสุด เช่น เหล็กมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 4 ทองแดงและโครเมียมมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 1 เวเลนซ์อิเล็กตรอนของธาตุแต่ละธาตุมีผลต่อคุณสมบัติของธาตุนั้น ๆ บางธาตุมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนที่สามารถสร้างพันธะกับธาตุอื่นได้ง่ายหรือได้มาก โลหะหลายชนิดมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนอยู่ในวงโคจรชั้นนอกสุด แต่โลหะทรานซิชันมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนอยู่ในวงโคจรชั้นในได้ด้วย อะตอมที่มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเกินมา 1–2 อิเล็กตรอน จะเกิดปฏิกิริยาอย่างว่องไว

ส่วนสารอินทรีย์มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก และมีอิเล็กตรอนที่สามารถเคลื่อนที่ไปมารอบ ๆ เมื่อถูกกระตุ้น เพราะฉะนั้นเมื่อวัสดุได้รับพลังงานแสง ไม่ว่าจะเป็นแสงสีขาว รังสีอัลตราไวโอเลต รังสีอินฟราเรด จะกระตุ้นโมเลกุลของวัสดุและมีการส่งผ่านพลังงานอิเล็กตรอนจะไปอยู่ในระดับพลังงานที่สูงกว่า จากนั้นโมเลกุลจะกลับสู่สภาพเดิม พลังงานจะถูกปลดปล่อยออกมาในรูปแสงสีขาวที่มองเห็นได้ นั่นคือทำให้มองเห็นสีต่าง ๆ

ในการสร้างสรรค์งานศิลปกรรม คุณสมบัติของสารสีที่ควรนำมาพิจารณา ได้แก่ ความสามารถในการดูดซับสี ขนาดและรูปร่างของอนุภาค เนื้อของสี ความบริสุทธิ์ของสี ความสามารถในการกระจายแสงจากพื้นผิว ความคงทน ดัชนีหักเห การเปลี่ยนแปลงของสารสี ความโปร่งใส โปร่งแสง ทึบแสง ความสามารถในการปกปิดพื้นผิว ความมันเงา

สารสีมีคุณสมบัติหลากหลายทั้งคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมี หากแบ่งสารสีตามลักษณะทางกายภาพจะแบ่งเป็นสารสีที่โปร่งใส กึ่งโปร่งใส และทึบแสง หากแบ่งสารสีตามคุณสมบัติทางเคมีจะแบ่งเป็น สารอินทรีย์ (organic compound) และสารอนินทรีย์ (inorganic compound) นอกจากนี้คุณสมบัติทางแสงของสารสียังผันแปรจากปัจจัยต่าง ๆ อีกมากมาย

สารสีที่ใช้อาจผสมสารสีประกอบ (extender/filler) ซึ่งทำหน้าที่เพิ่มเนื้อสีหรือเพื่อเพิ่มความทึบแสง บางครั้งใช้สารสีมากกว่าหนึ่งชนิดผสมกัน ส่งผลกระทบต่อการสะท้อนแสงภายในชั้นสี เช่น เมื่อระบายสีเลคสีแดงทับบนสารสีอื่น ๆ ความหนาและความเข้มข้นของชั้นสีกึ่งโปร่งแสงที่ระบายบาง ๆ ทับบนชั้นสีส่งผลกระทบต่อการมองเห็นสีและ tinting strength ของสารสีเป็นผลที่เกิดจากความสัมพันธ์ที่สลับซับซ้อนระหว่างคุณสมบัติทางแสงของอนุภาคของ

สารสี ดัชนีหักเหของสารยึด อัตราส่วนระหว่างสารสีกับสารยึด สภาวะแวดล้อมขณะมองเห็นการส่องสว่าง และพื้นผิวที่มีสารสีนั้นปกคลุมอยู่

คุณสมบัติของอนุภาคของสารสีขึ้นอยู่กับความสามารถในการกระจายแสง ส่งผ่านแสง เลือกดูดซับแสง และกระจายแสงที่ตกกระทบพื้นผิว

> สารสีที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ ทำให้ชั้นสีมีความสดฉ่ำ แต่ปกปิดพื้นผิวได้ไม่ดี ตรงกันข้ามกับสารสีที่มีอนุภาคขนาดเล็ก ละเอียดจะปกปิดพื้นผิวได้ดีกว่า

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติทางแสงของสารสีแต่ละชนิดคือคุณสมบัติทางเคมี ดัชนีหักเห ขนาด รูปร่าง และผิวสัมผัสของแต่ละอนุภาคของสารสี ขนาดของอนุภาคของสารสีมีผลต่อลักษณะเฉพาะตัวทางแสงของภาพเขียน เช่น การสะท้อนแสงและการมองเห็นสี ขนาดและรูปร่างของอนุภาคช่วยให้สีเปลี่ยนแปลง เนื่องจากมีผลต่อความสามารถในการปกปิดพื้นผิว และ tinting strength ในระยะแรก ๆ สารสีที่นำมาใช้เขียนภาพเกิดจากการบดด้วยมือ ทำให้ได้อนุภาคขนาดต่าง ๆ หลากหลาย โดยทั่วไปพบว่าสารสีที่จิตรกรชอบใช้มีขนาดอนุภาคระหว่าง 30–40 ไมโครเมตร โดยมีสารสีที่มีขนาดเล็กกว่าหรือใหญ่กว่าปะปนด้วย สารสีที่มีขนาดอนุภาค

น้อยกว่าหนึ่งไมโครเมตร จัดเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กละเอียดมาก ๆ (fine) ส่วนสารสีที่มีขนาดอนุภาคระหว่าง 1–10 ไมโครเมตร จัดเป็นอนุภาคขนาดปานกลาง (medium) และสารสีที่มีขนาดอนุภาคมากกว่าสิบไมโครเมตร จัดเป็นอนุภาคขนาดใหญ่หรือหยาบ (coarse)

ขนาดและรูปร่างของอนุภาคของสารสีส่งผลต่อความเรียบ ความมันวาว ความสามารถในการปกปิดพื้นผิว (hiding power) ความสามารถในการทำให้สารยึดมีสี (tinting strength) และความสม่ำเสมอของชั้นสี สารสีที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ทำให้ชั้นสีมีความสดฉ่ำ แต่ปกปิดพื้นผิวได้ไม่ดี ตรงกันข้ามกับสารสีที่มีอนุภาคขนาดเล็กละเอียดจะปกปิดพื้นผิวได้ดีกว่า สารสีที่มีขนาดอนุภาคเท่ากัน หากอนุภาคมีรูปร่างทรงกลมจะปกปิดพื้นผิวได้ดีกว่า ตัวอย่างเช่น สีเหลืองโครเมียมสองชนิด เป็นสารเคมีชื่อตะกั่วโครเมตเหมือนกัน แต่มีคุณสมบัติทางกายภาพแตกต่างกัน เพราะฉะนั้นภายใต้สภาวะเดียวกัน สีเหลืองโครเมียมสองสีนี้จะมีความสามารถในการทำให้สารยึดมีสีต่างกัน ทั้งในลักษณะที่มองเห็นและความเข้มของเฉดสี

สารสีที่ได้จากการกระบวนการเคมี ซึ่งมักใช้วิธีการตกตะกอนหรือการใช้ความร้อนทำให้เกิดผลึกขนาดเล็ก ๆ ที่สมบูรณ์แบบ เช่น สีอัลตรามารีน (สังเคราะห์) สีโครเมียมออกไซด์ สีแดงเวอร์มิลเลี่ยน ส่วนสารสีที่ได้จากสนิมของโลหะ เช่น สีขาวตะกั่ว สีเขียว verdigris มักมีลักษณะเป็นผลึกขนาดค่อนข้างใหญ่

สารสีน้ำเงินที่มีชื่อเรียกว่า Prussian blue และสีน้ำเงินหรือสีครามจากการหมักใบครามเป็นอนุภาคขนาดเล็กละเอียดมาก มีความสามารถในการปกปิดพื้นผิวได้ดี ในขณะที่สี Cobalt blue, Verdigris และ Emerald green มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า ทำให้ได้สีสดฉ่ำ แต่มีความสามารถในการปกปิดพื้นผิวต่ำ สีดำที่ได้จากเขม่ามีอนุภาคขนาดเล็กและสม่ำเสมอ หากในชั้นสีมีอนุภาคของสารสีหลายขนาดและรูปร่างต่าง ๆ กัน ผสมกัน แสงสามารถส่องทะลุผ่านแต่ละส่วนไม่เท่ากัน

สารสีมีความหนาแน่นหรือความถ่วงจำเพาะต่าง ๆ กัน สารสีที่ได้จากการบดย่อยแร่มักมีน้ำหนักมาก เช่น สีแดงเสน (Red lead) สีแดงชาดจากการสังเคราะห์ (Vermilion) หากระบายสีบนพื้นผิวในแนวราบ อาจเกิดการจมลงอยู่ส่วนล่างของชั้นสี หากใช้ร่วมกับสารสีอื่น ๆ จะแยกชั้น ส่วนสารสีที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น สีดำจากเขม่าและสีเลคมักเบากว่าจึงลอยอยู่บนผิวของชั้นสี

ที่มาและวิธีผลิตสารสี ส่งผลกระทบต่อความคงทนของสารสี ความสามารถของสารสีในการปกปิดพื้นผิวมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติในการดูดซับแสงหรือกระเจิงแสง เช่น สีแดงจากเหล็กออกไซด์ และสีดำคาร์บอนสามารถดูดซับแสงได้ดีมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสีดำคาร์บอนดูดซับแสงสีขาวได้ทุกความยาวคลื่น จึงทำให้ชั้นสีร้อนขึ้น สีขาวไทเทเนียมมีคุณสมบัติในการปกปิดพื้นผิวได้สูงมาก เพราะสามารถกระเจิงแสงได้ดี เนื่องจากสีขาวไทเทเนียมมีดัชนีหักเหสูง ทำให้แสงที่ตกกระทบเลี้ยวเบนออกไป ไม่สะท้อนกลับมาสู่ตา

ในการทำงานเกี่ยวกับงานศิลปกรรม มีคำศัพท์มากมายเกี่ยวกับสีที่บางครั้งยังนำมาใช้อย่างสับสน จึงควรศึกษารายละเอียดและเปรียบเทียบกับคำศัพท์ที่นิยมใช้กันในระดับสากล ตัวอย่างเช่น

เนื้อสี แบ่งออกเป็นสองชนิด ได้แก่ สีของแสง (ความแตกต่างสั้นยาวของแสงที่มองเห็นด้วยตา เริ่มจากสีม่วงถึงสีแดง) และสีของสาร เป็นสีที่มองเห็นบนวัสดุต่าง ๆ ซึ่งเกิดจากการดูดซับและสะท้อนคลื่นแสง

Hue หมายถึง สีของผงสีบริสุทธิ์ ปราศจากสีเจืออื่น ๆ หรือกล่าวได้ว่า Hue คือสีสันของเนื้อสีแท้ แต่ละ Hue จะมีความสดใสของตัวเอง และจะค่อย ๆ ไล่ระดับตามสีสันที่เปลี่ยนไป

เฉด (shade) ใช้เรียกสีที่เกิดจากนำสี hue ต่าง ๆ มาเจือสีดำ ให้มีสีสันทึบและคล้ำลง น่าจะตรงกับคำว่า *"มอ"* ที่ช่างเขียนไทยใช้กันแต่โบราณ

โทน (tones) หมายถึง การนำสี Hue ต่าง ๆ มาเจือสีเทา เพื่อให้มีสีสันหม่นลงและนุ่มนวลขึ้น เป็นการลดความอิ่มตัวของสี

ทินต์ (tint) เป็นการนำสี Hue ต่าง ๆ มาเจือสีขาวเพื่อให้ได้สีอ่อนลงหรือสีสว่างขึ้น แต่ยังคงมีมวลเนื้อสีคงเดิม

ความอิ่มตัวของสี (saturation หรือ chroma) คือความเข้มข้นของสี เป็นสีที่สดใสเจิดจ้า หากเจือสีเทาจะช่วยทำให้สีหม่นลงหรือสดใสน้อยลง เช่น สีเหลืองเป็นสีที่อิ่มตัว แต่สีเหลืองไพลเป็นสีเหลืองหม่น

ความอ่อนหรือความสว่างของสี (lightness) สารสีดำมีความสว่างต่ำสุด ในขณะที่สีขาวมีความสว่างสูงสุด ความอ่อนหรือสว่างของสีมีค่ามากน้อย ขึ้นอยู่กับปริมาณของสารสีดำหรือสีขาวที่นำมาเจือ

Value/brightness หมายถึง ค่าน้ำหนักของสี เป็นความแตกต่างของความสว่างของสี โดยสารสีที่มีค่าน้ำหนักสีสูงจะมีความเข้มของสีสูงกว่าสีที่มีค่าน้ำหนักสีต่ำ การปรับเปลี่ยนน้ำหนักสีจะส่งผลให้ภาพมีมิติและความลึก

ความสามารถในการปกปิดพื้นผิว (hiding power หรือ covering power) เป็นความสามารถของสารสีในการทำให้สารยึดทึบแสง หรือความสามารถของสารสีและสารเคลือบผิวในการปกปิดพื้นผิว เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความแตกต่างระหว่างดัชนีหักเหของสารสีกับสารยึดที่ทำหน้าที่ทำให้เกิดฟิล์ม เมื่อสารสีกระจายตัวอยู่ในสารยึด ความทึบแสงของสารสีเป็นปัจจัยสำคัญที่จะตัดสินความทึบแสงของสีและสารเคลือบผิว เมื่อแสงทะลุผ่านชั้นสีชั้นต่าง ๆ ลงไปแล้วสะท้อนกลับขึ้นมาได้น้อย แสดงว่าค่อนข้างทึบแสง สารสีที่สามารถปกปิดพื้นผิวได้ดีจะช่วยให้ใช้สีน้อยลงในการทาพื้นผิว

ความทึบแสงของสารสีเป็นปัจจัยสำคัญที่จะตัดสินความทึบแสงของสีและสารเคลือบผิว เมื่อแสงทะลุผ่านชั้นสีชั้นต่าง ๆ ลงไป แล้วสะท้อนกลับขึ้นมาได้น้อย แสดงว่าค่อนข้างทึบแสง

สารสีบางชนิด มีคุณสมบัติแปลก ๆ เช่น เมื่อบดละเอียดมาก ๆ ไม่ทำให้สีสดลดลง แต่ปกปิดพื้นผิวได้ดี และมี tinting strength ดี

ความสามารถในการปกปิดพื้นผิวขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารสี มีความสัมพันธ์กับขนาดและรูปร่างของอนุภาคของสารสี อนุภาครูปทรงกลมมักมีความสามารถในการปกปิดพื้นผิวดี สารสีบางชนิดมีอนุภาคเล็ก บาง และมีอนุภาคขนาดเท่า ๆ กัน อาจปกปิดพื้นผิวได้ดี แต่มี tinting strength ต่ำ สารสีบางชนิด มีคุณสมบัติแปลก ๆ เช่น เมื่อบดละเอียดมาก ๆ ไม่ทำให้สีสดลดลง แต่ปกปิดพื้นผิวได้ดี และมี tinting strength ดี ตัวอย่างเช่น สีเขียวและน้ำเงินที่นิยมใช้ในสมัยโบราณมักมีปัญหาที่เกิดจากขนาดอนุภาค ถ้าบดละเอียด สีจะซีดกว่าเมื่อใช้สารสีที่บดหยาบ

การหักเหของแสง (refraction) เกิดจากการที่แสงที่เคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน แล้วทำให้ทิศทางของแสงเปลี่ยนไป ในขณะเดียวกันก็เกิดการสะท้อนของแสงขึ้นพร้อม ๆ กัน ดัชนีหักเห (Refractive index) คือค่าความเร็วของแสงที่วิ่งผ่านวัสดุตัวกลางเทียบกับความเร็วของแสงที่วิ่งผ่านสุญญากาศ เพราะฉะนั้นค่าดัชนีหักเหมีค่ามากกว่าหนึ่งเสมอ ตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหสูง สามารถหักเหลำแสงได้มากกว่าตัวกลางที่มีดัชนีหักเหต่ำกว่า

สีที่ใช้ระบายบาง ๆ ที่นิยมใช้ในคริสต์ศตวรรษที่ 19 มีแนวโน้มที่จะเสื่อมสภาพอย่างรุนแรง เช่น สีเข้มขึ้น หดตัว แตกร้าว พบว่าส่วนของภาพที่ยังคงมีผิวมันและสดใสเป็นเพราะใช้เรซินที่มีดัชนีหักเหสูงกว่าสีน้ำมัน ทำให้ได้ชั้นสีที่โปร่งใส สีน้ำมันมีแนวโน้มที่จะโปร่งใสมากขึ้นเมื่อผ่านกาลเวลา ทำให้สามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงหรือเส้นดินสอภายใต้ชั้นสี เป็นเพราะสารยึดมีดัชนีหักเหสูงขึ้น เช่น น้ำมันลินสีดมีดัชนีหักเหเพิ่มขึ้นจาก 1.48 เป็น 1.57 ภายในเวลาสิบปี ชั้นรองพื้นที่ทำจากสีขาวตะกั่วในน้ำมัน และสารสีอัลตรามารีน ชอล์ก มีดัชนีหักเห 1.600 จะโปร่งใสมากขึ้นในสารยึดซึ่งมีค่าดัชนีหักเหต่ำกว่า การเลือกใช้เรซินในการผลิตสีมีผลกระทบต่อลักษณะของชั้นสีเมื่อเวลาผ่านไปนาน ๆ

เมื่อแสงเดินทางจากตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหมากกว่า (ทึบกว่า) ไปยังตัวกลางที่มีดัชนีหักเหน้อยกว่า (โปร่งกว่า) จะทำให้มุมหักเหมีค่ามาก แสงจะหักเหเบนออกจากเส้นปกติใช้วัดความสามารถในการปกปิดพื้นผิวขณะที่แสงสว่างส่องผ่าน ความสามารถในการปกปิดพื้นผิวของสารสีต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับค่าดัชนีหักเห ปริมาณแสงที่สะท้อนจากสารสีมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าดัชนีหักเห แสงจะสะท้อนได้มากเมื่อล้อมรอบด้วยอากาศ และสะท้อนได้น้อยเมื่อสารสีมีสารยึดล้อมรอบ

ดัชนีหักเห (Refractive index) คือค่าความเร็วของแสงที่วิ่งผ่านวัสดุตัวกลางเทียบกับความเร็วของแสงที่วิ่งผ่านสุญญากาศ

สารสีขาวที่มีค่าดัชนีหักเหสูง เช่น สีขาวไทเทเนียม สีขาวตะกั่ว สีขาวสังกะสี ทึบแสงและปกปิดพื้นผิวได้ดี เมื่อแสงตกกระทบบนสารสีเหล่านี้ จะสะท้อนออกได้ดี ทำให้เห็นเป็นสีขาวจัด สารสีอื่น ๆ ที่มีดัชนีหักเหสูง ให้สีที่เข้ม เช่น สีแดง ส้ม เหลือง ส่วนสารสีฟ้า น้ำเงินและม่วง มีดัชนีหักเหต่ำกว่า สารสีที่ทำจากสีย้อม ซึ่งนำมาผสมกับสารสีขาว เมื่อทำให้แห้งจะได้สารสีเรียกว่า เลค (lake) มีค่าดัชนีหักเหต่ำ แต่ก็ขึ้นอยู่กับชนิดของสารสีขาวที่ใช้ในการผลิตเลค เช่น สี lake ที่ตกตะกอนบนอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์มักโปร่งใสและปกปิดพื้นผิวได้น้อย

สารสีที่ทำจากโลหะหนัก เช่น Prussian blue, Vermilion, Cadmium red, Cadmium yellow และสีดำจากเขม่าหรือถ่าน สามารถปกปิดพื้นผิวได้ดี

สีที่มองเห็นบนชั้นสีเป็นผลมาจากความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างคุณสมบัติทางแสงของอนุภาคของสารสี สี ดัชนีหักเหของสารยึด อัตราส่วนระหว่างสารสีกับสารยึด การให้แสงและสภาพแวดล้อมขณะมองดู และพื้นผิวที่มีชั้นสีปกคลุมอยู่ คุณสมบัติของอนุภาคของสารสียังขึ้นอยู่กับความสามารถในการแพร่แสง ส่งผ่านแสง เลือกดูดกลืนแสง และกระจายแสงที่ตกกระทบ คุณสมบัติทางแสงของสารสียังขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมี ดัชนีหักเห ขนาดอนุภาค รูปร่างและผิวสัมผัสของแต่ละอนุภาค

ความสามารถในการดูดซับแสงและยอมให้แสงผ่านของเม็ดสี แตกต่างกันในแกนต่าง ๆ ของเม็ดสี สารสีส่วนใหญ่ผ่านกระบวนการผลิตอย่างระมัดระวัง ผ่านการบดอย่างละเอียดและตกตะกอนหลาย ๆ ครั้ง เพื่อให้ได้สารสีที่มีเนื้อละเอียด ขนาดอนุภาคสม่ำเสมอ เมื่อระบายแล้วจะได้ชั้นสีที่เนียน สม่ำเสมอ สารสีที่ได้จากแร่มักไม่ค่อยละเอียด เนื่องจากมีลักษณะเป็นผลึกที่แตกหักจากการบดย่อย ขนาดของอนุภาคขึ้นอยู่กับความยากง่ายในการแตกหักของแร่แต่ละชนิดและขึ้นอยู่กับกระบวนการบดย่อย สารสีเหล่านี้มักมีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุมไม่เหมือนกันและมีขนาดต่างกัน รูปร่างขึ้นอยู่กับรอยแตก (cleavage property) ของแร่แต่ละชนิด

สารสีธรรมชาติบางชนิด เช่น อะซูไรต์ มักใช้ในลักษณะที่ไม่บดละเอียดจนเกินไป เนื่องจากถ้าบดละเอียดมาก ๆ แสงจะสะท้อนออกจากผิวของอนุภาคมาก ทำให้ดูซีด สีที่ใช้ในจิตรกรรมของจีนสมัยโบราณมีลักษณะเฉพาะตัวคือ ใช้สารสีที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ที่มีลักษณะเป็นเม็ด (grain)

สารสีที่ได้จากแร่มักไม่ค่อยละเอียด เนื่องจากมีลักษณะเป็นผลึกที่แตกหักจากการบดย่อย ขนาดของอนุภาคขึ้นอยู่กับความยากง่ายในการแตกหักของแร่แต่ละชนิดและขึ้นอยู่กับกระบวนการบดย่อย

Tinting strength หมายถึง ความสามารถของสารสีที่จะเปลี่ยนสีของสารสีชนิดอื่นที่นำมาผสมกัน ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า tinting strength คือ ชนิดของสารสี ปริมาณของสารสีที่ใช้ และขนาดอนุภาคหลังการบด ยิ่งบดสารสีให้ละเอียดมากขึ้นเพียงใด ค่า tinting strength จะยิ่งสูงขึ้น เมื่อเจือสารสีดำหรือขาวลงในเนื้อสี จะได้สารสีที่มีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้ Chromatic strength, Darkening strength และ Brighthening strength

สารสียังทำหน้าที่ทำให้สารยึดมีสีต่าง ๆ จึงมีนิยามต่าง ๆ เกี่ยวกับสี ซึ่งขึ้นอยู่กับแสงที่ตกกระทบ แสงสะท้อน และความสามารถในการดูดซับแสงที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ เช่น hue ความสว่างสดใส (brightness) และความสดฉ่ำหรือความอิ่มตัว (saturation)

ขนาดของอนุภาคของสารสีมีผลต่อความสดฉ่ำ เนื่องจากปริมาณแสงสีขาวที่สะท้อนออกจากพื้นผิวจะเพิ่มขึ้นมากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของแสงที่ถูกดูดซับ สารสีที่ได้จากดินสีต่าง ๆ เกิดจากการตกตะกอนตามธรรมชาติ มักมีอนุภาคขนาดเล็ก ๆ ขนาดต่าง ๆ กันปะปนกัน ต้องนำมาบดและตกตะกอนหลาย ๆ ครั้ง เพื่อให้ได้สารสีเนื้อละเอียด ส่วนใหญ่สารสีกลุ่มนี้มีรูปร่างค่อนข้างกลม ไม่ค่อยมีเหลี่ยมมุมมากนัก ยิ่งสารสีถูกบดละเอียดมากขึ้น จะมีพื้นที่ผิวเพิ่มสูงขึ้น ทำให้มีพื้นผิวที่ได้รับแสงที่ตกกระทบสูงขึ้น ส่งผลให้ tinting strength สูงขึ้น

สีย้อมที่เป็นสารละลาย เช่น สีดำคาร์บอน ดูดซับแสงสีขาวได้ทุกความยาวคลื่น จึงปกปิดพื้นผิวได้ดีพอสมควร นอกจากนี้ยังทนต่อแสง จึงดูดซับรังสีอัลตราไวโอเลต และช่วยทำให้สารเคลือบชนิดนี้ทนต่อกระบวนการผุพังอยู่กับที่

อนุภาคที่มีขนาดเล็กละเอียด สามารถยึดเกาะกับพื้นผิวของอนุภาคที่ใหญ่กว่าได้ดี เช่น สังกะสีออกไซด์มีอนุภาคขนาดเล็กมาก เมื่อใช้ผสมกับสีเหลืองโครเมียมซึ่งมีอนุภาคขนาดใหญ่ อนุภาคของสังกะสีออกไซด์จะเคลือบผิวของสีเหลืองโครเมียม ทำให้มองเห็นเป็นสีขาว บางกรณีสีขาวบนพื้นผิวของอนุภาคสีอื่น เกิดจากความทึบแสงและความสามารถในการกระจายแสงของผงสีทั้งสองชนิดนั้น ๆ ถ้าเพิ่มผงสีเหลืองมากขึ้น จะมีพื้นผิวที่เป็นสีเหลืองได้รับแสงมากขึ้นและสะท้อนแสงออกมา จึงมองเห็นสีเหลืองมากขึ้น

ความสามารถในการทนต่อแสงของสารสี (permanence) เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออายุการใช้งานและความงามของงานศิลปกรรม สารสีบางชนิดซีดจางง่าย เกิดจากผลกระทบของสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อโครงสร้างทางเคมีของสารมีสีที่ใช้ในการสร้างสรรค์งาน แสงสว่างที่ตกกระทบบนพื้นผิวของสารสีอาจทำให้พันธะของโมเลกุลเปลี่ยนแปลงไปหรือแตกหัก ทำให้สีซีดจางลงหรือเปลี่ยนสีไป กระบวนการนี้เรียกว่า photodegradation สารสีที่ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเรียกว่า ทนต่อแสง (lightfast) ส่วนสารสีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายเรียกว่า **ไม่ทนแสง** (fugitve) ส่วนของโมเลกุลที่ทำให้สารต่าง ๆ มีสี เรียกว่า **โครโมฟอร์** (chromophore)

ชั้นสีจะยอมให้แสงผ่านได้มากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคของสารสีแต่ละชนิด สารสีที่มีอนุภาคหยาบจะปกปิดพื้นผิวหรือทึบแสงได้ดี ส่วนใหญ่มีขนาดอนุภาคประมาณ 300 นาโนเมตร ส่วนอนุภาคเล็กละเอียดประมาณ 20–50 นาโนเมตร ยอมให้แสงผ่านได้ดี จึงโปร่งแสง อนุภาคที่เล็กที่สุดของสารสีคือระดับโมเลกุล เช่น สีย้อมที่เป็นสารละลาย เช่น สีดำคาร์บอน ดูดซับแสงสีขาวได้ทุกความยาวคลื่น จึงปกปิดพื้นผิวได้ดีพอสมควร นอกจากนี้ยังทนต่อแสง จึงดูดซับรังสีอัลตราไวโอเลต และช่วยทำให้สารเคลือบชนิดนี้ทนต่อกระบวนการผุพังอยู่กับที่ สีดำคาร์บอนที่มีอนุภาคเล็กมาก ๆ จะโปร่งใส สามารถใช้เป็นสารเคลือบที่โปร่งใสได้ ถ้าสารสีมีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน จะมีเนื้อแน่นมากกว่าสารสีที่มีอนุภาคขนาดเท่า ๆ กัน

คุณสมบัติของชั้นสี ยังขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างปริมาตรของสารสีต่อปริมาตรของสารยึด หรือ Pigment Volume Concentration (PVC) ซึ่งมีผลต่อปริมาณ (เป็นเปอร์เซ็นต์) ของสารสีในชั้นสีหลังจากชั้นสีแห้งเรียบร้อย บอกถึงปริมาณของสารสีที่จะเติมลงในพอลิเมอร์หรือสารยึด ชั้นสีที่ดีต้องมีสารยึดห้อมล้อมอนุภาคของสารสีได้อย่างทั่วถึง และมีสารยึดมากพอที่จะเข้าไปอยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคของสารสีได้อย่างสมบูรณ์

เมื่อค่า PVC เพิ่มขึ้น จะทำให้คุณสมบัติของชั้นสีเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เมื่อค่า PVC เปลี่ยนจนถึงจุดหนึ่งที่มีปริมาณสารสีสูงสุด แต่ยังคงมีสารยึดอยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคของสารสีอยู่เต็มที่ เรียกจุดนี้ว่า Critical Pigment Volume Concentration (CPVC) ซึ่งเป็นค่า PVC ที่สารยึดมีค่าความเข้มข้นพอที่จะทำให้อนุภาคของสารสีและสารเพิ่มเนื้อ *"เปียก"* ได้อย่างทั่วถึง โดยมีสารยึดอยู่เต็มช่องว่างระหว่างอนุภาคสารสีและสารเพิ่มเนื้ออยู่ใกล้ชิดสัมผัสกันจนแน่น

ค่า CPVC มีผลกระทบต่อความมันวาว การบวมพอง และความสามารถในการยอมให้อากาศและความชื้นผ่านเข้าออก หากสีมีปริมาณสารสีต่ำกว่าหรือเท่ากับ CPVC จะมีสารยึดเพียงพอที่จะห้อมล้อมอนุภาคของสารสีได้อย่างทั่วถึง ชั้นสีจะเรียบเนียน กระเจิงแสงได้น้อย ยอมให้แสงส่วนใหญ่แทรกซึมเข้าไปและถูกสารสีดูดซับไว้ ทำให้มองเห็นสีสดและเข้มลึกและโปร่งใส เนื่องจากดัชนีหักเหระหว่างสารสีกับสารยึดมีค่าน้อยกว่าดัชนีหักเหระหว่างสารสีกับอากาศ พื้นผิวที่เรียบและเป็นมันวาวจะสะท้อนแสงออกไปในลักษณะที่เป็นระเบียบและสามารถควบคุมได้

> อัตราส่วนระหว่างปริมาตรของสารสีต่อปริมาตรของสารสีและปริมาตรของสารยึด หรือ Pigment Volume Concentration (PVC) มีผลต่อปริมาณ (เป็นเปอร์เซ็นต์) ของสารสีในชั้นสีหลังจากชั้นสีแห้งเรียบร้อย

เมื่อปริมาณสารสีในชั้นสีมีค่าสูงกว่า CPVC จะมีปริมาณสารยึดไม่เพียงพอที่จะห้อมล้อมอนุภาคของสารสีได้อย่างทั่วถึง จะได้ชั้นสีที่ด้าน (matte) มีรูพรุนสูงและมีผิวสัมผัส สารสีถูกสารยึดห้อมล้อมและยึดเกาะน้อย มีช่องว่างมาก ความหนาแน่นลดลง สารสีจะกระเจิงแสงมาก เนื่องจากมีความแตกต่างระหว่างดัชนีหักเหของสารสีกับอากาศรอบ ๆ นอกจากนี้ พื้นผิวที่ขรุขระกระเจิงแสงในลักษณะไม่สม่ำเสมอ ทำให้แสงที่แพร่กระจายใกล้เคียงกับสีของสารสี ทำให้มองเห็นสีอ่อนลง บางทีมีลักษณะเป็นฝุ่นผง สีกลุ่มนี้เหมาะกับงานภายใน เพราะไม่ทนทานต่อสภาพแวดล้อมและการเปลี่ยนแปลงทางเชิงกล

Critical Pigment Volume Concentration (CPVC) เป็นค่า PVC ที่สารยึดมีค่าความเข้มข้นพอที่จะทำให้อนุภาคของสารสีและสารเพิ่มเนื้อ “เปียก” ได้อย่างทั่วถึง

นอกจากนี้การกระเจิงแสงของชั้นสียังมีความสัมพันธ์กับปริมาณช่องว่างหรือฟองอากาศภายในชั้นสี ซึ่งจะทำให้มีการกระเจิงแสงเพิ่มขึ้น แล้วแทรกลงไปใต้ผิวหน้าของชั้นสี ทำให้เห็นชั้นสีที่มีลักษณะทึบแสง แสงที่หม่นลงมีลักษณะคล้ายหมอกที่กันมิให้มองเห็นพื้นผิวชั้นล่าง

ตำแหน่งของค่า CPVC ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคของสารสี การกระจายตัวของขนาดอนุภาค รูปร่างของอนุภาคของสารสีและสารเพิ่มเนื้อ เช่น สีน้ำลาเท็กซ์มีค่า CPVC ประมาณ 60%

ปัจจัยอื่น ๆ ที่ทำให้น้ำและออกซิเจนแทรกซึมเข้าในชั้นสีได้ดีหรือไม่ดี ขึ้นอยู่กับรูปร่างและขนาดของอนุภาค สารสีที่มีรูปร่างเป็นแผ่นแบน ๆ เช่น ไมกา เหล็กออกไซด์ ผงโลหะ ฯลฯ จะทำให้อากาศและความชื้นแทรกซึมเข้ามาได้น้อยลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากอนุภาคแบน ๆ เหล่านั้นเรียงตัวขนานไปกับผิวหน้าของชั้นสี สารสีที่มีอนุภาคเล็กจะทนต่อการรวมตัวกันอย่างหนาแน่น เช่น แคลเซียมคาร์บอเนตที่เกิดจากการตกตะกอนยอมให้อากาศและความชื้นผ่านเข้าออกได้น้อยกว่าแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีอนุภาคหยาบ (ซึ่งเกิดจากการบด)

สารยึดมีบทบาทสำคัญในการยึดอนุภาคของสารสีและองค์ประกอบอื่น ๆ ที่มีอยู่ในสี ปริมาณของสารยึดต้องเพียงพอที่จะยึดอนุภาคต่าง ๆ เข้าไว้ด้วยกันและมีเหลือมากพอที่จะยึดเกาะกับวัสดุที่ใช้รองพื้นและชั้นรองรับ สีหรือสารเคลือบที่ไม่มีสารสีจะเป็นมันวาวมาก ตัวอย่างเช่น สารเคลือบโปร่งใส (Clear gloss paints) มีค่า PVC เป็น 0 ส่วนสีหรือสารเคลือบผิวที่มีลักษณะด้าน (Flat paints) มีสารสีปริมาณสูง และมีค่า PVC สูง (55–80%) สีที่มีความมันวาวมีค่า PVC 3–20% สีที่ใช้งานภายนอกควรมีค่า PVC ต่ำ มีสารสีน้อย จึงเป็นมันวาว แต่จะทนทานกว่าชั้นรองพื้น สีกึ่งมันวาวและสีที่มีความมันวาวต่ำ มีค่า PVC 30–80% เมื่อค่า PVC สูงขึ้น ความมันวาวลดลง ความทนทานต่อสภาวะแวดล้อมกลางแจ้งลดลง แรงยึดเหนี่ยวลดลง ความสามารถในการปกปิดพื้นผิวเพิ่มขึ้นและความหนาแน่นเพิ่มขึ้น การทำให้ค่า PVC สูงขึ้นอาจใช้วิธีลดสารยึดลงหรือเติมสารสีมากขึ้น

แคลเซียมคาร์บอเนตที่เกิดจากการตกตะกอนยอมให้อากาศและความชื้นผ่านเข้าออกได้น้อยกว่าแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีอนุภาคหยาบ (ซึ่งเกิดจากการบด)

การวิเคราะห์สารสี

การวิเคราะห์สารสีสามารถกระทำได้โดยการตรวจสอบรูปพรรณสัณฐานของสารสี ตรวจสอบคุณสมบัติทางแสง องค์ประกอบทางเคมี และโครงสร้างของโมเลกุล โดยเริ่มจากการใช้วิธีการที่ไม่ทำลายเนื้อวัตถุหรือไม่ต้องนำเนื้อวัตถุออกมาจากวัตถุ เช่น ตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดต่าง ๆ เพื่อดูลักษณะทางกายภาพ ลักษณะของพื้นผิว ความทึบแสงหรือความโปร่งใส สีสันของสารสี รูปร่างและขนาดของอนุภาคของสารสี

หลังจากนั้น หากจำเป็นทำการวิเคราะห์หรือตรวจสอบด้วยวิธีที่ต้องนำตัวอย่างออกมาจากวัตถุหรือทำลายเนื้อวัตถุ จะเลือกพื้นที่ที่ไม่เป็นจุดสำคัญที่สามารถมองเห็นได้เด่นชัด และเก็บตัวอย่างขนาดเล็ก ๆ จากนั้นนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น วิธีจุลเคมี (microchemical analysis), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), X-ray diffractometry (XRD), X-ray fluorescent spectrometry (XRF), Scanning electron microscope/energy dispersive x-ray spectrometry (SEM/EDS), Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) ฯลฯ

บทที่ 3
สารสีในการสร้างสรรค์งานศิลปกรรม

สารสีที่ใช้ในการสร้างสรรค์งานศิลปกรรมในระยะแรก ๆ ใช้สารมีสีที่ได้จากธรรมชาติ เช่น ดินสีเหลือง ดินสีแดง เขม่า ถ่าน ดินขาว หินปูน เปลือกหอยป่น ครามแร่ ดังปรากฏหลักฐานบนงานศิลปกรรมโบราณจากแหล่งอารยธรรมต่าง ๆ สีเหล่านี้ไม่ค่อยสดใส แต่คงทน การใช้สีสำหรับงานศิลปกรรมมีการเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละยุคสมัย และแตกต่างกันในแต่ละภูมิภาค ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่หาได้ในแต่ละท้องถิ่นและเส้นทางการแลกเปลี่ยนซื้อขายกับต่างถิ่น

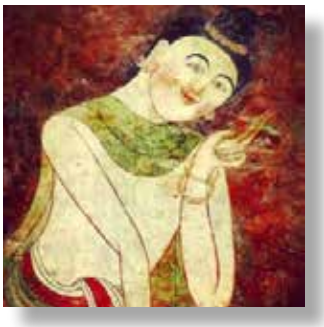
สารสีมีบทบาทอย่างมากในการสร้างสรรค์งานศิลปกรรมรูปแบบต่าง ๆ นอกจากจะช่วยทำให้เกิดความสวยงามแล้ว ยังช่วยปรับปรุงความสามารถในการสะท้อนแสง ดูดซับแสงและความร้อน หรือเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของพื้นผิว เช่น ลดแรงเสียดทาน ทำให้แข็งขึ้น ช่วยให้นำไฟฟ้า และปกป้องพื้นผิวจากปัจจัยสิ่งแวดล้อม เช่น ออกซิเจน ก๊าซ ความชื้น เกลือ สารเคมีอื่น ๆ อุณหภูมิ แบคทีเรีย รา สาหร่าย ฯลฯ รวมทั้งป้องกันการเกิดสนิมของพื้นผิวโลหะ

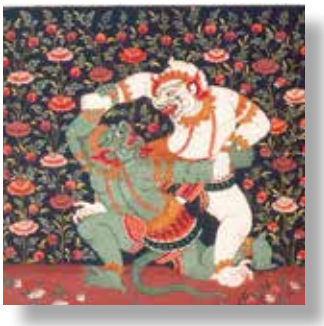
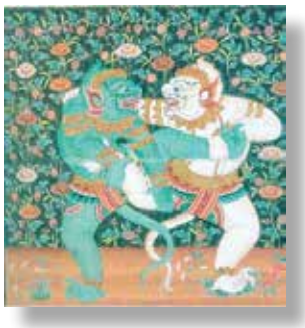
จากการค้นคว้าเอกสารและสิ่งพิมพ์เกี่ยวกับชนิดและชื่อของสารสีต่าง ๆ ที่มีใช้ในประเทศไทยมาแต่โบราณ พบว่ายังมีความสับสนเกี่ยวกับการเรียกชื่อสีอยู่มาก ช่างบางคนเรียกตามเฉดของสี เช่น แดงเลือดนก แดงลิ้นจี่ แดงเพลิง แดงน้ำหมาก แดงแก่ แดงอ่อน เขียวก้านมะลิ เขียวใบแค ฯลฯ หรือเรียกตามที่มาของสี เช่น ชาดอ้ายมุ่ย (ชาดที่ส่งมาจากเมืองท่าเอ้หมึง) หรือเรียกตามชื่อที่พ่อค้าเรียกกันเป็นภาษาต่างประเทศ แปลจากภาษาต่างประเทศหรือเพี้ยนมาจากภาษาต่างประเทศ เช่น ชาดจอแส ชาดจูซา เขียวดั้งแช ฝุ่นจีน ฯลฯ โดยไม่สนใจองค์ประกอบทางเคมีหรือชื่อที่แท้จริงของสี ผู้เขียนจึงพยายามรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับชนิดและองค์ประกอบทางเคมีของสีต่าง ๆ ที่มีใช้ เพื่อประโยชน์ในการอนุรักษ์ศิลปกรรม

งานจิตรกรรมและประติมากรรมของไทยสมัยโบราณเป็นแบบประเพณี ซึ่งครูช่างเป็นผู้สร้างสรรค์และถ่ายทอดวิชาความรู้ให้แก่ลูกศิษย์ที่ทำงานร่วมกัน เทคนิคต่าง ๆ เป็นเรื่องเฉพาะของแต่ละสกุลช่าง ซึ่งแตกต่างกัน เช่น เทคนิคการเลือกใช้สี บดสี ผสมสี และการเตรียมพื้น

จิตรกรรมไทยประเพณีส่วนใหญ่เป็นจิตรกรรมสีฝุ่นหรือสีน้ำกาวที่เกิดจากการนำสารสีผสมกับกาวหรือยางไม้ เทคนิคและสารสีที่ใช้เปลี่ยนแปลงไปทีละน้อยตามกาลเวลาและปัจจัยจากภายนอก จิตรกรรมไทยประเพณีแบ่งออกเป็น

1. **จิตรกรรมฝาผนัง** พบได้ตามผนังอุโบสถ วิหาร วัง และอาคารประวัติศาสตร์
2. **จิตรกรรมบนกระดาษ** มีทั้งที่เป็นภาพเขียนบนกระดาษและการเขียนภาพประกอบในสมุดไทย หัวโขน และศิลปะบนกระดาษอื่น ๆ
3. **จิตรกรรมบนผ้า** ส่วนใหญ่เป็นภาพพระบฏ ผ้าพระเวส
4. **จิตรกรรมบนไม้** พบบนบานประตู บานหน้าต่าง เพดาน ฝาผนัง ฉากตู้พระธรรม หีบพระธรรม เครื่องเรือน
5. **จิตรกรรมบนหนังสัตว์** พบมากบนหนังใหญ่ หนังตะลุง หีบหนัง ปกหนังสือ และวัตถุอื่น ๆ ที่ทำจากหนัง



สารสีที่ใช้ในการสร้างสรรค์งานศิลปกรรมในอดีตส่วนใหญ่ได้จากดินและแร่ที่หาได้จากธรรมชาติ บางส่วนเกิดจากกระบวนปรับปรุงคุณสมบัติของดินและแร่โดยใช้ความร้อน ตกตะกอน หรือจากปฏิริยาเคมี ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอนินทรีย์ (inorganic materials) ส่วนน้อยได้จากสีย้อม ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ (organic materials)

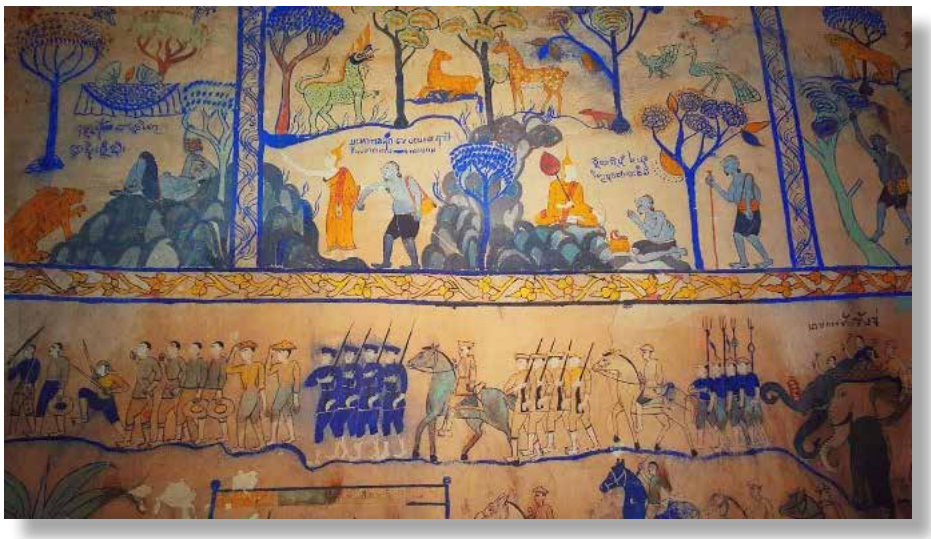
การเลือกใช้สารสีขึ้นอยู่กับแหล่งวัตถุดิบที่มีอยู่ในแต่ละพื้นที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแหล่งทรัพยากรแร่ ชาติพันธุ์ วัฒนธรรม ภูมิปัญญาท้องถิ่น และขึ้นอยู่กับการติดต่อค้าขายแลกเปลี่ยนสินค้าระหว่างชุมชนต่าง ๆ ชุมชนที่อยู่ใกล้เมืองท่าหรือเส้นทางการค้าจึงมีสารสีหลากหลายกว่าชุมชนที่อยู่ห่างไกล

สารสีที่ใช้ในการสร้างภาพจิตรกรรมและประดิมากรรมของไทย ในระยะแรก ๆ ใช้สารสีที่ได้จากธรรมชาติ เช่น ดินสีเหลือง ดินสีแดง เขม่า ดินขาว หินปูน เปลือกหอยป่น คราม ผสมกับสารยึด (ตัวผสานสี) ที่ทำหน้าที่ทำให้สารสีเกาะติดแน่นกับพื้นผิวที่วาดระบาย ซึ่งยังไม่มีผู้วิจัยว่ามีการใช้สารยึดกี่ชนิด

หลักฐานบนจิตรกรรม/ประดิมากรรมสมัยสุโขทัยและสมัยอยุธยาตอนต้น สีเหล่านี้ไม่ค่อยสดใส ใช้สารสีน้อย มีสีแดงเป็นหลัก

จิตรกรรมฝาผนังวัดช่องนนทรี

ในท้องถิ่นที่ห่างไกลเส้นทางการค้า เช่น ในภาคอีสานใช้สารสีที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น เช่น สีจากดินสีต่าง ๆ สีดำจากถ่านหรือเขม่า และสีน้ำเงินจากครามเป็นหลัก



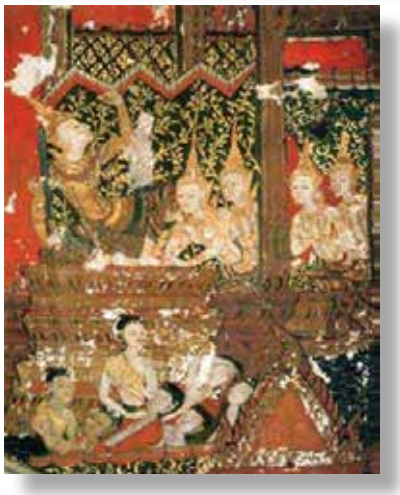
ต่อมาระยะหลัง ๆ เมื่อไทยมีการติดต่อค้าขายกับต่างชาติมากขึ้น พ่อค้าต่างชาตินำสารสีสดใสที่มีลักษณะเป็นสารสีสำเร็จรูป มีสีสันสดสวยกว่าเดิมเข้ามาขาย ทำให้จิตรกรรม/ประติมากรรมสมัยรัตนโกสินทร์มีสีสันสดใสกว่าระยะแรก ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งหลังคริสต์ศตวรรษที่ 19 มีการปฏิวัติอุตสาหกรรมในซีกโลกตะวันตก มีความก้าวหน้าทางวิทยาการสมัยใหม่มากขึ้น หลายประเทศมีการผลิตสารสีสังเคราะห์มากมายหลายชนิดออกมาจำหน่ายอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งจีนและยุโรปเป็นแหล่งผลิตสารสีที่สำคัญและนำเข้ามาขายในไทยตั้งแต่สมัยอยุธยา

จิตรกรรมสมัยอยุธยาตอนต้นมีสีค่อนข้างหม่น ไม่สดใส ใช้สารสีที่ได้จากธรรมชาติเป็นหลัก ต่างจากจิตรกรรมสมัยอยุธยาตอนปลายและสมัยรัตนโกสินทร์ตอนต้น (รัชกาลที่ 1–2) ที่ใช้สารสีมากขึ้น ตัดเส้นละเอียด นิยมทำฉากหลังเป็นสีเข้มเพื่อให้ภาพเด่นออกมา มีความอ่อนช้อย แสดงรายละเอียดมากขึ้น มีการตัดเส้นด้วยเส้นเล็ก ๆ เริ่มใช้สีสดใสขึ้น เช่น สีฟ้า น้ำเงิน

เขียว เนื่องจากมีการติดต่อกับต่างประเทศมากขึ้น สามารถสั่งซื้อสารสีจากต่างประเทศมาใช้มากขึ้น ได้เรียนรู้เทคนิคใหม่จากต่างชาติ และมีการปิดทองบนส่วนต่าง ๆ ของภาพมากขึ้น ทำให้แลดูแวววาวสวยงาม

จิตรกรรมสมัยรัชกาลที่ 3 มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก แสดงถึงอิทธิพลจากจีน มีการใช้สีที่นำเข้าจากจีนมากขึ้น เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่การค้าระหว่างไทยกับจีนกำลังเฟื่องฟู และมีการผสมสีมากขึ้น มีการผสมสีด้วยสีขาว เกิดเป็นสีใหม่ ๆ สวยงามหลายสี เช่น สีชมพู สีน้ำตาลอ่อน สีฟ้า เห็นได้ชัดบนภาพเขียนฝาผนังวัดสุวรรณาราม พระที่นั่งพุทไธสวรรย์ ฯลฯ

จิตรกรรมฝาผนัง
วัดสุวรรณารามราชวรวิหาร



จิตรกรรมฝาผนัง
พระที่นั่งพุทไธสวรรย์

วิวัฒนาการทางด้านศิลปะของไทยเปลี่ยนแปลงอย่างมาก ในสมัยรัชกาลที่ 6 มีการจัดตั้งสถาบันการสอนศิลปะในประเทศไทยแห่งแรก เมื่อ พ.ศ. 2456 คือโรงเรียนเพาะช่าง

จิตรกรรมสมัยรัชกาลที่ 4 มีวิธีการเขียนภาพแตกต่างออกไป ภาพมีระยะใกล้-ไกล มีแสงเงา มีความเป็นธรรมชาติและเหมือนจริงมากขึ้น เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากยุโรป บางภาพใช้พื้นหลังเป็นสีดำ เช่น จิตรกรรมฝาผนังวัดทองนพคุณ จิตรกรรมฝาผนังวัดชิโนรส ฯลฯ ใช้สารสีที่นำเข้าจากยุโรป ซึ่งขณะนั้นเริ่มผลิตสารสีและสารสังเคราะห์ในระดับอุตสาหกรรมขึ้นจำหน่าย

เมื่อมีการติดต่อค้าขายกับต่างชาติมากขึ้น ช่างเขียนไทยใช้สารสีที่ผลิตเองควบคู่ไปกับสารสีที่เรือสินค้านำเข้ามาจำหน่าย ส่วนใหญ่มาจากจีน อินเดีย ยุโรป และเริ่มผลิตสีใช้เองน้อยลง เนื่องจากมีสีสำเร็จรูปที่มีสีสันสดสวยให้เลือกใช้มากขึ้น

วิวัฒนาการของงานศิลปกรรมไทยก้าวไปพร้อม ๆ กับการความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่หลั่งไหลเข้ามาในประเทศ หลังจากไทยมีการติดต่อกับต่างชาติมากขึ้น ได้รับอิทธิพลจากศิลปะสากลมากขึ้น วิวัฒนาการทางด้านศิลปะของไทยเปลี่ยนแปลงอย่างมากในสมัยรัชกาลที่ 6 มีการจัดตั้งสถาบันการสอนศิลปะในประเทศไทยแห่งแรก เมื่อ พ.ศ. 2456 คือโรงเรียนเพาะช่าง เพื่อจัดการและให้การศึกษาในวิชาการด้านศิลปะหลายสาขา

ต่อมาใน พ.ศ. 2476 ได้จัดตั้งโรงเรียนประณีตศิลปกรรมหรือโรงเรียนศิลปากรแผนกช่าง ซึ่งต่อมาใน พ.ศ. 2486 ได้เปลี่ยนเป็นมหาวิทยาลัยศิลปากร โดย**ศาสตราจารย์ศิลป์ พีระศรี** เป็นผู้วางรากฐานในการศึกษาเกี่ยวกับวิชาช่างสาขาจิตรกรรมและประติมากรรม ทั้งในแบบของศิลปะสากลและศิลปะแบบไทยประเพณี

การสร้างสรรค์ศิลปะแบบสากล มีการใช้วัสดุและเทคนิคใหม่ ๆ เช่น สีน้ำ สีน้ำมัน สีชอล์ก สีฝุ่น สีพาสเทล สีอะครีลิก และเทคนิคประสมอื่น ๆ เพิ่มขึ้นอีกมากมาย โดยใช้วัสดุที่สั่งซื้อจากต่างประเทศเกือบทั้งหมด ศิลปินแต่ละคนต่างก็มีวิวัฒนาการในการสร้างสรรค์งานศิลปกรรมของตนเอง

ช่างเขียนไทยเริ่มวาดภาพสีน้ำมันบนไม้และบนผ้าใบในรัชสมัยพระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัว โดย**พระสรลักษณ์ลิขิต** (มุ่ย จันทรลักษณ์) ได้รับพระราชทานทุนทรัพย์จากพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัวให้ไปศึกษาวิธีเขียนภาพสีน้ำมันที่ประเทศอิตาลี เมื่อ พ.ศ. 2450 พระสรลักษณ์ลิขิตได้เขียนพระบรมสาทิสลักษณ์ของพระบาทสมเด็จพระพุทธเลิศหล้านภาลัย พระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว และพระมหากษัตริย์ไทยอีกหลายพระองค์ จึงได้รับการยกย่องให้เป็นจิตรกรยุคแรกที่วาดภาพเหมือนสีน้ำมันในประเทศไทย ภาพที่ท่านเขียนมีลักษณะมีมิติ ความขัดลึก และปริมาตรแบบตะวันตก

ต่อมาในรัชสมัยพระบาทสมเด็จพระปกเกล้าเจ้าอยู่หัว **พระยาอนุศาสน์จิตรกร**เป็นช่างเขียนภาพสีน้ำมันที่มีชื่อเสียง

พ.ศ. 2476 ได้จัดตั้งโรงเรียนประณีตศิลปกรรมหรือโรงเรียนศิลปากรแผนกช่าง ซึ่งต่อมาใน พ.ศ. 2486 ได้เปลี่ยนเป็นมหาวิทยาลัยศิลปากร โดยศาสตราจารย์ศิลป์ พีระศรี เป็นผู้วางรากฐานในการศึกษาเกี่ยวกับวิชาช่างสาขาจิตรกรรมและประติมากรรม ทั้งในแบบของศิลปะสากลและศิลปะแบบไทยประเพณี

บทที่ 4
คุณสมบัติของสารสี
ที่ใช้ในการสร้างสรรค์งานศิลปกรรม

สารสีที่ใช้ในการสร้างสรรค์งานศิลปกรรมแบ่งเป็นสามกลุ่มใหญ่ ๆ ตามคุณสมบัติทางเคมี คือ สารสีจากอนินทรียวัตถุ สารสีจากอินทรียวัตถุ และสารสีจากสารสังเคราะห์

สารสีจากอนินทรียวัตถุ

ได้จากดิน หิน และแร่ต่าง ๆ ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ ส่วนใหญ่ประกอบด้วย transition metal ซึ่งหมายถึงธาตุในบล็อก–ดี (D–block) ของตารางธาตุ หรือหมายถึงธาตุทั้งหมดในตารางธาตุหมู่ที่ 3–12 ซึ่งมีหนึ่งอิเล็กตรอนในวงโคจร d ซึ่งถูกทำให้แยกโดยกลุ่มลิแกน (ligand) ที่เข้ามาเกาะ ส่งผลให้เกิดสารมีสีต่าง ๆ oxidation state ของโลหะเหล่านี้มีความสัมพันธ์กับอิเล็กตรอนในวงโคจร d และส่งผลให้เกิดสีต่าง ๆ

สารสีอนินทรีย์ที่สำคัญ ได้แก่ สีดินแดง สีดินเหลือง สีดินขาว สีเขียวจากเกลือของทองแดง สีฟ้า–น้ำเงินอัลตรามารีน (ได้จากละพิส ลาซูรี และจากการสังเคราะห์) สีเหลืองจากหรดาล (อาร์ซีนิกซัลไฟด์) สีแดงชาด (ปรอทซัลไฟด์) สีเหลืองตะกั่ว (ตะกั่วโครเมต) สีขาวตะกั่ว สีขาวไทเทเนียม สีขาวสังกะสี ฯลฯ

สารสีจากอินทรียวัตถุ

ได้จากพืชและสัตว์ซึ่งมีสารเคมีที่มีพันธะคู่ (double bond) ซึ่งมีอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ได้ เรียกว่า **โครโมฟอร์** (chromophore) ทำให้สารประกอบอินทรีย์ดูดกลืนแสงได้ในช่วงความยาวคลื่น 200–800 นาโนเมตร หมู่โครโมฟอร์ ได้แก่ หมู่ —CO–, –C=C–, $–NO_2$, –N=O, –N=N หากเติมสารเคมีอื่น ๆ ทำให้เกิดเกลือ ซึ่งมีอิเล็กตรอนหนึ่งคู่ที่พร้อมจะให้ออกไปจะทำให้เกิดสีอื่น ๆ เรียกว่า auxochrome เช่น –OH, $–NH_2$, –Cl, –Br สารประกอบพวกนี้ไม่สามารถดูดกลืนคลื่นแสงได้ด้วยตนเอง แต่ถ้าเข้าไปเกาะกับโครโมฟอร์แล้วจะทำให้สารประกอบอินทรีย์นั้นดูดกลืนแสงได้ที่ความยาวคลื่นมากขึ้น

ตัวอย่างของสารสีจากอินทรียวัตถุ ได้แก่ สีแดงครั่ง สีแดงจากรากยอ สีม่วงจากหอย สีจากถ่านและเขม่า สีคราม สีขาวจากเปลือกหอย สีเหลืองจากยางรง สีแดงจากดอกคำฝอย สีแดงฝาง ฯลฯ

สารสีจากการสังเคราะห์

เกิดจากการผลิตโดยใช้ปฏิกิริยาเคมี มีทั้งเป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ เช่น สีแดงแคดเมียม สีเหลืองแคดเมียม สีเหลืองตะกั่ว สีแดงชาด (เวอร์มิเลียน) สีเขียวตั้งแช (ทองแดงอะซีเตต) สีเหลืองโครเมียม สีแดงควินาคริโดน (Quinacridone) สีแดงแนพทอล (naphthol) สีดินแดงที่ผ่านการเผาคั่ว สีน้ำเงินปรัสเซียนบลู สีอัลตรามารีน (สังเคราะห์) สีเขียวมรกต (Emerald green) ฯลฯ

เพื่อความสะดวกในการจำแนกชนิดของสารสี จึงแบ่งสารสีออกเป็น 12 กลุ่มใหญ่ ๆ ตามสีของสารที่ให้สี ดังนี้

1. กลุ่มสีแดง

สีแดงเป็นสีที่พบมากที่สุดในงานศิลปกรรมทุกประเภท โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานศิลปกรรมไทยประเพณีส่วนใหญ่มักมีสีแดงเป็นองค์ประกอบหลัก สีแดงที่ใช้แบ่งออกได้เป็นหลายเฉดสี เช่น แดงคล้ำ แดงสด แดงอมส้ม แดงอมน้ำตาล แดงอมม่วง แดงอ่อน ฯลฯ ขึ้นอยู่กับชนิดและองค์ประกอบของสารสีที่ใช้ บางครั้งขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการผสมสี และบางครั้งสีแดงที่เห็นในปัจจุบันไม่ใช่สีเดิม แต่เป็นสีที่เปลี่ยนไปตามกาลเวลา ทั้งจากสาเหตุในตัวเองและจากสาเหตุภายนอก

สารสีแดงที่เป็นที่รู้จักและนำมาใช้งานตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน ได้แก่

1.1. สีดินแดง

สีแดงที่หาง่ายที่สุดคือสีดินแดง ได้จากดินที่มีสีแดง เนื่องจากเป็นดินที่มีปริมาณเหล็กออกไซด์ผสมอยู่สูงมาก หรือได้จากแร่เฮมาไทต์ ซึ่งเป็นสารประกอบเหล็กออกไซด์ ช่างเขียนไทยใช้สีดินแดงมาแต่โบราณนับพัน ๆ ปี ดังปรากฏหลักฐานบนภาพเขียนสีบนผนังถ้ำหรือบนหน้าผา ในต่างประเทศก็มีการใช้สีดินแดงมานานมาก หลักฐานทางโบราณคดีหลายแห่งแสดงว่ามีการใช้งานมาก่อนยุคหินเก่า เช่น ในแอฟริกาใต้ พวก hominids ใช้สีดินแดงเมื่อ 270,000–170,000 ปีมาแล้ว และพบหลักฐานในแหล่งโบราณคดียุคหินเก่าจำนวนมาก ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือวิทยาศาสตร์พบว่าสีน้ำตาลแดงบนปาปิรัสของอียิปต์สมัยราชวงศ์ที่ 19 เป็นสีดินแดง

> Theophratus บันทึกวิธีการผลิตไว้เมื่อ 400 ปีก่อนคริสตกาล และ Vistruvius บันทึกไว้เมื่อ 100 ปีก่อนคริสตกาลว่า ถ้าเอาดินสีเหลืองมาเผาไฟจะได้ดินสีม่วง และถ้าใช้อุณหภูมิต่าง ๆ กันจะได้ดินสีต่าง ๆ หลายสี ตั้งแต่แดงถึงม่วง

Theophrastus (315 ปีก่อนคริสตกาล) Vistruvius (ศตวรรษที่ 1 ก่อนคริสตกาล) และ Pliny (ค.ศ. 77) บันทึกว่าสีดินแดงมีชื่อในภาษาละตินว่า rubrica ส่วนในกรีกเรียกว่า miltos และกล่าวด้วยว่าสีดินแดงคุณภาพดีที่สุดมาจากอะนาโตเลีย โดย Theophratus เรียกสีดินแดงนั้นว่า Sinopia ตามชื่อเมืองท่า Sinope ซึ่งอยู่ที่ Pontus (เมืองหนึ่งของอะนาโตเลียที่ตั้งอยู่บนฝั่งทะเลดำ) ซึ่งเป็นเมืองท่าที่ส่งดินแดงไปขายตามที่ต่าง ๆ แต่แหล่งผลิตอยู่ที่เมือง Cappadocia เช่นเดียวกับ Strabo นักภูมิศาสตร์บันทึกไว้เมื่อประมาณไม่ถึง 100 ปีก่อนคริสตกาล ว่า *"...ที่เมือง Cappadocia มีดินสีแดงเรียกว่า sinopean ซึ่งมีคุณภาพดีที่สุดในโลก..."*

สีดินแดงมีหลายสี เช่น สีแดงคล้ำ สีแดงสด สีแดงอมม่วง สีแดงอมน้ำตาล สีแดงอมส้ม ฯลฯ ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดและแหล่งผลิต การผลิตดินสีแดงโดยการนำดินสีเหลืองมาเผาเป็นที่รู้จักกันมายาวนาน ตั้งแต่ยุคหิน Theophratus บันทึกวิธีการผลิตไว้เมื่อ 400 ปีก่อนคริสตกาล และ Vistruvius บันทึกไว้เมื่อ 100 ปีก่อนคริสตกาลว่า ถ้าเอาดินสีเหลืองมาเผาไฟจะได้ดินสีม่วง และถ้าใช้อุณหภูมิต่าง ๆ กันจะได้ดินสีต่าง ๆ หลายสี ตั้งแต่แดงถึงม่วง สีดินแดงที่มีชื่อ Turkey red เป็นเหล็กออกไซด์ที่มีสีอ่อน ได้จากการนำเกลือของเหล็กมาเผาที่อุณหภูมิต่ำ ปรากฏหลักฐานว่าช่างเขียนชาวญี่ปุ่นผลิตสีดินแดงขึ้นมาใช้เอง ตั้งแต่สมัยเอโดะ หมายถึง Red ochre โดยนำดินเหลืองมาเผา ชาวโรมันรู้จักวิธีเผาดินเหลืองให้กลายเป็นดินสีแดง บางครั้งใช้ดินสีแดงผสมกับสีขาวตะกั่วเพื่อให้สีอ่อนลงมา

ดินสีแดงมีปริมาณเหล็กออกไซด์ผสมอยู่สูงมาก หรือได้มาจากแร่เฮมาไทต์ บางคนเรียกว่า หินสีเลือด (bloodstone) สารสีแดงเกิดจากผลึกขนาดเล็กมาก ๆ ของเหล็กออกไซด์ เฮมาไทต์มีลักษณะเป็นอนุภาคที่เล็กมาก ๆ เล็กกว่าหนึ่งไมครอน อยู่กระจายในหินหรือดินเป็นก้อนแข็ง มักตกผลึกในระบบ rhombohedral มักเกิดเป็นแท่งหนา ๆ อาจมีเนื้อสมานแน่นหรือเกิดเป็นรูปไตหรือเป็นมวลเมล็ดคล้ายพวงองุ่น มีความแข็งตามสเกลของโมส์ 6.55 สามารถนำมาแกะสลักหรือเจียระไนแบบหลังเบี้ยเพื่อใช้ทำเครื่องประดับ เช่น ลูกปัด สร้อย กำไล และประติมากรรมขนาดเล็ก ๆ ได้ เฮมาไทต์ที่มีลักษณะไม่เป็นผลึก คาดว่าเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของไลมอไนต์ (limonite) ซึ่งสูญเสียน้ำระหว่างได้รับความร้อน

ดินสีแดงพบได้ตามผิวชั้นบนของแหล่งแร่ที่มีเหล็กอยู่มาก บางครั้งพบเมื่อน้ำใต้ดินที่มีเหล็กผสมอยู่ไหลแทรกซึมขึ้นสู่ผิวหน้าดิน เกิดเป็นโคลนหรือ scum ที่มีเหล็กออกไซด์ผสมอยู่มาก พบตามแม่น้ำลำธาร ทะเลสาบ หรือน้ำที่ระบายจากเหมือง บางแห่งพบ

ดินสีแดงร่วมกับชอล์กหรือหินปูน มีสีแดงอมส้มซึ่งมีผลึกของเฮมาไทต์กระจัดกระจายปะปนอยู่กับชอล์ก ในกรณีนี้ชอล์กทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มเนื้อสี (extender) ตามธรรมชาติ แหล่งที่พบแร่เหล็กแดงทุกแห่งสามารถผลิต Red ochre ได้ แต่สีอาจแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสิ่งเจือปนที่เป็นแร่หลายชนิดผสมกันในปริมาณต่าง ๆ กัน ขึ้นอยู่กับกระบวนการกำเนิดและสภาวะแวดล้อมในแต่ละท้องถิ่น สิ่งเจือปนเหล่านั้นมีผลต่อคุณภาพของสี บางครั้งทำให้สีแลดูนุ่มนวล ไม่จัดจ้าร้อนแรงจนเกินไป มีสีอ่อนแก่หลากหลาย เปรียบเสมือนธรรมชาติได้ผสมสีมาให้ใช้

สีจากดินแดงมีชื่อเรียกทั่วไปว่า Red ochre มีคุณภาพและสีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิด มีทั้งสีแดงอ่อน แดงแก่ แดงคล้ำ แดงอมส้ม แดงอมม่วง แดงอมชมพู ฯลฯ เนื่องจากดินและหินธรรมชาติมักมีแร่หลายชนิดผสมกัน และมักมีสิ่งเจือปนอยู่ด้วยปริมาณแตกต่างกัน แหล่งผลิตที่สำคัญ ได้แก่ อิตาลี สหรัฐอเมริกา ฝรั่งเศส สเปน ไซปรัส อิหร่าน ออสเตรเลีย

สีดินแดง

สีดินแดงที่มีคุณภาพดีมีเหล็กออกไซด์ผสมอยู่มากกว่า 95% เป็นสีที่ชาวพื้นเมืองในอเมริกาใช้ทาหน้าและทาตัว ดินสีแดงคุณภาพดีจากจีนมาจาก Yanmen region ในมณฑลชานซี ซึ่งเคยมีชื่อเรียกว่า Dai Prefecture ทำให้ดินสีแดงนี้มีชื่อ Dai Ochre ในจีนสีดินแดงมีลักษณะเป็นก้อน หาซื้อได้ทั่วไปในร้านขายยา เมื่อนำมาบดละเอียดแล้ว ใช้แม่เหล็กดูดเหล็กที่ปะปนอยู่ออกไป จากนั้นนำไปแช่น้ำ ชั้นบนเป็นสีออกเหลือง ชั้นถัดลงมาเป็นสีแดง ชั้นล่างสุดมักมีเหล็กปน มีสีคล้ำกว่าหรือแดงจัดกว่า ช่างจีนเรียกดินสีแดงว่า iron red ช่างเขียนจีนโบราณนิยมใช้กันมาก ยกเว้นช่างเขียนจีนสมัยราชวงศ์หมิงและชิงที่นิยมใช้สีดินแดง Red ochre ผสมกับหมึกแทน

สีดินแดงมีทั้งที่ได้จากธรรมชาติและได้จาการสังเคราะห์ (โดยการใช้ความร้อน) จึงมีสีแดงอ่อน-แก่ หลากหลาย เมื่อมองดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นว่าสีดินแดงที่ได้จากธรรมชาติมีผลึกเป็นระเบียบ ส่วนสีดินแดงที่ได้จากการสังเคราะห์ ส่วนใหญ่ใช้วิธีเผาดินหรือแร่ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน ถ้าเผาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 800-900 องศาเซลเซียส จะมีผลึกไม่เป็นระเบียบ

สีดินแดงเหล่านี้มีชื่อเรียกมากมายหลายชื่อ ส่วนมากตั้งชื่อตามแหล่งผลิตหรือเมืองท่าที่ส่งสีดินแดงออกจำหน่าย บางครั้งตั้งชื่อตามสีที่ปรากฏ การเรียกชื่อสีค่อนข้างสับสน เช่น

- Indian red
- Light red
- Terra puzzolli
- Carnagione
- Venetian red
- Scarlet ochre
- Spanish red
- English red
- Persian red
- Prussian red
- Brown red
- Indian ochre
- English vermilion
- Spanish brown
- Bole
- Red haematite
- Red iron ore
- Scarlet ochre
- Red chalk
- Sinoper
- Sinopis
- Rubrica
- Miltos
- Terra rosa
- ฯลฯ

สีดินแดงที่เรียกว่า Indian red คนไทยเรียกว่าดินแดงเทศ มีสีแดงอมน้ำตาลสวยงาม คล้ายสีเปลือกลูกเกาลัด มีเหล็กออกไซด์มากกว่า 90% บางทีมีสีแดงอมม่วง ทำจากดินลูกรังที่ได้จากบางแหล่งในอินเดีย ใช้เป็นผงขัดสำหรับเครื่องเงินเครื่องทองได้ด้วย นอกจากนี้ยังมาจากฝรั่งเศส สเปน ไซปรัส อิหร่าน ออสเตรเลีย สหรัฐอเมริกา

ส่วนดินแดงจากเปอร์เซียมีชื่อเรียกว่า Gulf red, Persian red oxide หรือ East Indian red (เมื่อส่งไปขายที่อังกฤษ) มีเหล็กออกไซด์ 100% ใช้ทำสารสีและใช้เป็นผงขัดสำหรับขัดเครื่องเงินเครื่องทอง

ดินสีแดงที่ได้จากธรรมชาติเกิดจากการตกตะกอนตามธรรมชาติ จึงมีอนุภาคขนาดเล็ก ๆ ขนาดต่าง ๆ กันปะปนกัน ต้องนำมาบดและตกตะกอนหลาย ๆ ครั้ง เพื่อให้สารสีเนื้อละเอียด ส่วนใหญ่ผงสีกลุ่มนี้มีรูปร่างค่อนข้างกลม ไม่ค่อยมีเหลี่ยมมุม ดินแดงสีแดงเข้มทนทานต่อสภาวะแวดล้อมได้ดีมาก เนื่องจากอนุภาคมีขนาดเล็กมาก เมื่อบดก็ไม่เล็กลงอีก ดินแดงคุณภาพดีได้มาจากแร่เฮมาไทต์ เมื่อนำมาถูกลางฝ่ามือจะมีลักษณะเนียนเหมือนครีม ส่วนดินสีม่วงคล้ำและสีออกเหลือง ไม่นิยมใช้เป็นสารสี ดินสีแดงและดินสีเหลืองมีความสัมพันธ์กัน ดินสีแดงมีเหล็กออกไซด์ ดินสีเหลืองมีเหล็กไฮดรอกไซด์ เมื่อนำดินสีแดงมาแช่น้ำจะได้ดินสีเหลือง และเมื่อนำดินสีเหลืองไปเผาจะได้ดินสีแดง

ดินสีแดงอาจนำมาใช้ในสภาพดินดิบหรือนำมาเผาคั่ว อาจได้มาจากการนำดินสีเหลือง สีส้ม หรือสีน้ำตาลมาเผา ความร้อนสูงทำให้เกิดเหล็กออกไซด์เพิ่มขึ้น ได้ดินที่มีสีแดงเข้มขึ้น เช่น สารสีที่มีชื่อ Raw umber ประกอบด้วยเหล็กออกไซด์ เหล็กไฮดรอกไซด์ และแมงกานีสออกไซด์ 5–80% เมื่อนำมาเผา จะเกิดเหล็กออกไซด์เพิ่มขึ้นได้สารสีแดงอมน้ำตาลเรียกว่า Burnt umber

อีกตัวอย่างหนึ่ง คือดินสีแดงที่มีชื่อเรียกว่า Burnt Sienna มีลักษณะอบอุ่น โปร่งแสง ได้จากการเผาดินสีเหลือง (Yellow ochre) จากเมืองเซียนนา (Sienna) ในแคว้นทัสคานี (Tuscany) ประเทศอิตาลี ซึ่งประกอบด้วยเหล็กไฮดรอกไซด์เป็นหลักและมีแมงกานีสออกไซด์ไม่เกิน 10%

เอกสารโบราณที่บันทึกเมื่อประมาณ 100 ปีก่อนคริสตกาล กล่าวว่าเมื่อเผาดินเหลืองจะได้ดินสีต่าง ๆ หลายสี ตั้งแต่ แดง—ม่วง ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา เช่น ถ้าเผาที่อุณหภูมิ 800–1,100 องศาเซลเซียส จะได้สารสีดำ ซึ่งก็คือแมกนีไทต์

ดินสีแดงและดินสีเหลืองมีความสัมพันธ์กัน ดินสีแดงมีเหล็กออกไซด์ ดินสีเหลืองมีเหล็กไฮดรอกไซด์ เมื่อนำดินสีแดงมาแช่น้ำจะได้ดินสีเหลือง และเมื่อนำดินสีเหลืองไปเผาจะได้ดินสีแดง

สีดินแดงสังเคราะห์เริ่มผลิตในระดับอุตสาหกรรมในตอนต้นคริสต์ศตวรรษที่ 18 โดยการถลุงในเตาเผา ได้สีดินแดงที่มีชื่อต่าง ๆ มากมาย มีสีสดใสหลายสี ตั้งแต่เหลืองอมน้ำตาลถึงส้มและแดง ขึ้นอยู่กับสารประกอบอื่น ๆ ที่มีอยู่ในวัตถุดิบหรือที่นำมาเติมลงไปในกระบวนการผลิต เช่น สารประกอบของโครเมียม แมงกานีส นิกเกิล มีอนุภาคเล็กละเอียดมากกว่าสีดินแดงที่ได้จากธรรมชาติ เมื่อนำมาระบายสีจะมีสีโปร่งใส ความโปร่งใสของสีแต่ละสีขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค การบด องค์ประกอบ สัดส่วนของวัตถุดิบ สารยึด กระบวนการผลิต สิ่งเจือปน และสารเติมแต่ง

สีดินแดงสังเคราะห์มีชื่อมากมาย ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตตั้งชื่อสารสีของตนให้แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ของผู้อื่น ๆ การตั้งชื่อมักตั้งตามเนื้อสี แหล่งผลิต แหล่งวัตถุดิบ หรือกระบวนการผลิต และตัวแปรอื่น ๆ เช่น

- Agate brown
- Antique red ochre
- Antique russet brown
- Baroque red
- Bauxite
- Bloodstone red
- Bright red ochre
- Brown ink
- Brown red
- Burnt Roman violet
- Burnt Sienna deep
- Burnt vitriol
- Caput mortem
- Carput mortum
- Chinese red
- C.I. Pigment Red 101
- Crimson oxide
- Dutch brown
- English brown red
- English light red
- English red
- English red deep
- English red earth
- English red extra deep
- English red light
- English red (mars)
- English red ochre
- Havana brown
- Hematite burnt scarlet
- Indian red
- Indian red deep
- Indian red ochre
- Indian red oxide
- Iron brown hematite
- Iron oxide, Mars brown
- Iron oxide red
- Italian Venetian red
- Light oxide red
- Light red
- Light red ochre
- Lunar red
- Mars brown
- Mars orange
- Mars orange red
- Mars red
- Mars scarlet
- Mars violet
- Miltos
- Mineral puple
- Mineral violet
- Morelle salt
- Ochre red
- Opaque brown
- Oxide red
- Persian red
- Persian Indian red
- Pigment red 101
- Pompeiian red
- Purple ochre
- Raw sienna
- Raw umber
- Roman ochre
- Roman red
- Rouge violet
- Scarlet
- Sienna
- Spanish oxide
- Spanish red
- Spanish earth
- Synthetic iron oxide
- Terra rosa
- Terracotta reddish
- Terre rouge
- Transparent brown
- Transparent brown oxide
- Translucent brown oxide
- Translucent orange oxide
- Translucent orange red
- Tuscan red
- Venetian orange
- Venetian red
- Venice red
- Violet iron oxide
- ฯลฯ

สารสีที่มีชื่อเริ่มต้นด้วยคำว่า Mars เป็นสารสีที่ทำจากเหล็กออกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีให้มีสีต่าง ๆ ที่สดใส และโปร่งใสกว่าสีดินแดงที่ได้จากธรรมชาติ บางครั้งผสมสารเพิ่มเนื้อสี เช่น ยิปซัม แบไรต์ อะลูมินา หรือเติมสารสีอื่น ๆ ทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์เพื่อให้มีสีสดใสขึ้น เรียกรวม ๆ ว่า Mars colours เป็นสีสังเคราะห์ที่ทำจากการนำสารสีที่ได้จากดินหรือเกลือของเหล็กมาเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ มีหลายสี เช่น แดง ส้ม เหลือง ม่วง ดำ น้ำตาล อาจนำไปทำปฏิกิริยากับด่างให้เกิดตะกอน ซึ่งเมื่อนำไปเผา จะได้สีต่าง ๆ สีกลุ่มนี้มีลักษณะทึบแสง มีสีเข้มกว่าดินธรรมชาติ นิยมใช้มากในคริสต์ศตวรรษที่ 20–21

ตัวอย่างเช่น Mars scarlet ผลิตขึ้นในคริสต์ศตวรรษที่ 18 โดยนำเกลือของเหล็ก เช่น ซัลเฟต คลอไรด์ ไนเตรต อะซีเตต ฯลฯ ทำปฏิกิริยากับด่าง เช่น น้ำปูนขาว โซดาไฟ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ จะเกิดตะกอนสีเหลืองของเหล็กออกไซด์ไฮดรอกไซด์ ซึ่งก็คือ Mars yellow จากนั้นนำไปออกซิไดซ์ จะได้เหล็กออกไซด์ซึ่งมีสีแดง แต่หากนำ Mars yellow ไปเผาคั่ว (roast) จะได้ Mars red

ส่วน Mars orange เกิดจากการนำ Mars yellow ไปล้าง แล้วเผาคั่ว จะได้ผงสีส้ม–แดง บางครั้งผสมสารสีขาว เช่น แคลไซต์หรือชอล์ก เพื่อให้ได้เฉดสีอ่อนลง Mars brown อาจทำจากการผสมสารส้มกับเหล็กซัลเฟตและแมงกานีสคลอไรด์ หรือนำ Mars yellow มาผสมกับสารสีดำ Vine black หรือใช้เกลือของเหล็กทำปฏิกิริยากับเกลือของแมงกานีส โดยมีสังกะสีและโคบอลต์หรือนิกเกิลและด่างร่วมด้วย

สีดินแดงจากแหล่งต่าง ๆ มีสีไม่เหมือนกัน

Turkey red เป็นเหล็กออกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์ โดยนำเกลือของเหล็กมาเผาที่อุณหภูมิไม่สูงมาก Tuscan red เป็นสีดินแดงที่ได้จากการสังเคราะห์ ผสมกับ aniline lake มีสีออกม่วงเล็กน้อย

ส่วน Venetian red เป็นสีดินแดงสังเคราะห์ที่มาจากเวนิส นำมาผลิตเป็นสารสีในคริสต์ศตวรรษที่ 18 เป็นสีดินแดงสังเคราะห์ชนิดแรกที่ผลิตด้วยวิธีเคมี กระบวนการผลิตมีหลายวิธี แต่ที่เป็นที่ยอมรับมากที่สุดคือนำ copperas ($FeSO_4.7H_2O$) มาผสมกับด่างแล้วทำให้ร้อน หากนำ copperas มาเผาจะได้สีแดงที่เรียกว่า Copperas red

สีของสีดินแดงขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคของเหล็กออกไซด์ ถ้าอนุภาคเล็กละเอียด (0.1–0.2 ไมโครเมตร) จะให้สีแดงสด ถ้าอนุภาคใหญ่ขึ้น (1–5 ไมโครเมตร) จะได้สีแดงอมน้ำเงินถึงม่วง เมื่อเปรียบเทียบกับสีแดงชาด สีดินแดงมีสีคล้ำ มักมีสีอมน้ำตาลมากกว่า และทึบแสงมากกว่า

Venetian red

1.2 สีแดงชาด

สารสีแดงที่ช่างเขียนไทยนิยมใช้มากที่สุดในสมัยรัตนโกสินทร์ ได้แก่ สีแดงสดซึ่งเรียกกันทั่วไปว่า **สีแดงชาด** เป็นสีแดงที่สวยสดที่สุด สีสันสดใสกว่าสีดินแดงที่ใช้กันมาแต่เดิม เมื่อศึกษาประวัติความเป็นมาและคุณสมบัติของสารสีแดงชนิดนี้ พบว่าเป็นสารสีที่นำเข้าจากต่างประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากจีน ทั้งโดยเส้นทางบกและทางทะเล เนื่องจากไทยไม่มีแหล่งผลิตสารสีชนิดนี้ ผลการวิเคราะห์สีบนจิตรกรรมสีฝุ่นของไทยพบว่ามีการใช้สีแดงชนิดนี้อย่างแพร่หลายในสมัยรัตนโกสินทร์ตอนต้นและยังคงมีใช้มาจนถึงปัจจุบัน แต่ไม่ปรากฏหลักฐานที่แน่นอนว่าเริ่มมีใช้ตั้งแต่เมื่อไร นอกจากนี้ยังมีสีดินแดงบางส่วนที่มีสีสดใสเหมือนสีแดงชาด หากไม่ทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีวิทยาศาสตร์ อาจทำให้เกิดความเข้าใจผิดได้

สีแดงชาดได้จากแร่ซินนาบาร์ (cinnabar) ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติในพื้นที่บางแห่ง คำว่าซินนาบาร์มาจากภาษาเปอร์เซีย zinjifrah แปลว่า เลือดมังกร แร่ซินนาบาร์เป็นสารประกอบที่มีสีแดงเข้ม–น้ำตาลตามธรรมชาติ พบเป็นก้อนใหญ่ ๆ ร่วมกับหินปูน หรือพบในรอยแตกในพื้นที่ที่มีภูเขาไฟและน้ำพุร้อนโดยเข้าไปแทนที่ควอตซ์และแร่ซัลไฟด์อื่น ๆ มักพบร่วมกับแร่รีอัลการ์ (realgar) ไพไรต์ (pyrite) สติบไนต์ (stibnite) ควอตซ์ (quartz) แคลไซต์ (calcite) ฯลฯ ลักษณะคล้ายหินสีแดง เมื่อแตกจะเห็นรอยแตกสีแดงสดใส บางครั้งเกิดเป็นเม็ด ๆ หรือเป็นก้อน หากสภาวะแวดล้อมเหมาะสมจะตกผลึกเป็นรูปปริซึมหรือรูปสี่เหลี่ยมแบน ๆ แร่ชนิดนี้จึงเป็นแร่ที่สะดุดตาคนโบราณมาตั้งแต่สมัยก่อนประวัติศาสตร์

แร่ซินนาบาร์มีมากที่สเปน อิตาลี จีน สหรัฐอเมริกา (รัฐแคลิฟอร์เนีย) เยอรมนี กรีซ เม็กซิโก รัสเซีย และยูโกสลาเวีย สีแดงชาดที่มีใช้ในไทยเป็นสินค้านำเข้าจากจีนซึ่งพบมากที่มณฑลหูหนาน เช่น ที่ Chenzhou, Fenghuang, Huangxian, Mayang, Goncheng มณฑลกุ้ยโจว พบมากที่ Yuping, Bijie, Guizhu, Anshun มณฑลเสฉวน พบที่ Xiyang, Xiushan, Pengshui มณฑลยูนนาน พบที่ Baoshan และ Dali ซินนาบาร์ที่มีคุณภาพดีและมีชื่อเสียงจากจีนมีชื่อเรียกว่า "Chensa cinnabar" ตามชื่อแหล่งกำเนิด คือเมือง Chenzhou ในมณฑลหูหนาน เอกสารโบราณของจีนกล่าวว่า จีนภาคใต้และภาคกลางส่งซินนาบาร์เป็นเครื่องบรรณาการไปยังเมืองหลวงมาตั้งแต่โบราณ

นอกจากแร่ซินนาบาร์จะมีสีแดงแล้ว ยังมีซินนาบาร์สีดำเกิดขึ้นตามธรรมชาติด้วย ชาวจีนเรียกซินนาบาร์สีดำว่า wu sha ซึ่งเป็นเมตาซินนาบาร์ (metacinnabar) ตกผลึกเป็นรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ พบที่เมืองไกวโจวในมณฑลหูหนาน นอกจากนี้สีแดงชาดทั้งที่ได้จากแร่และได้จากการสังเคราะห์ เมื่อได้รับแสงที่มีความยาวคลื่น 400–570 นาโนเมตร มักมีสีคล้ำขึ้น น่าจะเป็นเพราะมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็น metacinnabar บางครั้งพบว่าเป็นเพราะสิ่งเจือปนในสีแดงชาดเป็นตัวเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว

แร่ซินนาบาร์มีสูตรทางเคมีเป็นปรอทซัลไฟด์ (HgS) ซึ่งมีปรอทอยู่ 86% จึงใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปรอทมายาวนาน คนจีนใช้ปรอทและซินนาบาร์เป็นยามากมายหลายขนาน รวมทั้งใช้เป็นยาอายุวัฒนะ นอกจากนี้ยังใช้ซินนาบาร์เป็นผงขัด เช่น เอกสารโบราณสมัยราชวงศ์หมิงกล่าวว่าคนจีนใช้ซินนาบาร์ขัดคันฉ่อง หัวลูกศร ฯลฯ โดยนำมาจากเหมืองในมณฑลหูหนานและเสฉวน

สีแดงชาดที่ได้จากแร่ซินนาบาร์เป็นสารประกอบที่มีสีแดงเข้ม–น้ำตาล ตามธรรมชาติ เมื่อนำมาบดละเอียดมักได้ผลึกที่แตกหัก สีสันไม่สดใสเท่าที่ควร มีชื่อเรียกกันทั่วไปว่า *"ซินนาบาร์"* ตามชื่อแร่

แร่ซินนาบาร์

สีแดงชาด

สีแดงชาดบางส่วนที่นำมาใช้ในงานจิตรกรรมอาจเป็นสีที่ผ่านกระบวนการทางเคมี ซึ่งเป็นสารประกอบปรอทซัลไฟด์ (HgS) ที่บริสุทธิ์ และมีลักษณะเป็นผลึกเล็กละเอียด มีสีแดงเจิดจ้าสวยงามกว่าแร่ซินนาบาร์ เรียกว่า เวอร์มิเลียน (Vermilion)

การผลิตสีแดงชาดสังเคราะห์ทำได้หลายวิธี เช่น วิธีการตกตะกอน หรือการใช้ความร้อน ทำให้เกิดผลึกสีแดงสดขนาดเล็ก ๆ ที่สมบูรณ์แบบ วิธีสังเคราะห์สีแดงชาดในระยะแรก ๆ ใช้วิธีแห้ง โดยนำปรอทกับกำมะถันมาบดเข้าด้วยกัน จะได้สารสีดำ จากนั้นนำมาให้ความร้อนให้เกิดการระเหิด จะได้ผลึกสีแดงเกาะติดบนฝาภาชนะ ผลึกเหล่านี้จะมีขนาดเล็ก ๆ อยู่เดี่ยว ๆ ต่างจากแร่ซินนาบาร์ที่มีผลึกขนาดใหญ่ อนุภาคแตกหักมีเหลี่ยมมุม (เกิดจากการบด) และมักมีสิ่งเจือปน ชาวจีนใช้วิธีนี้ในการสังเคราะห์สีแดงชาดก่อนยุโรป โดยตอนแรกผลิตมากที่เมืองจางโจว ในมณฑลฝูเจี้ยน ปัจจุบันผลิตมากที่เมืองซูโจว มณฑลเจียงซู ซึ่งต่อมาวิธีการนี้ได้แพร่ไปทางตะวันตกโดยพวกมัวร์ กล่าวกันว่าเป็นครั้งแรกที่คนจีนสามารถสังเคราะห์สารประกอบที่มีสถานะเหมือนของจริงที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจนแยกไม่ออก

สีแดงชาดจากแร่ซินนาบาร์ (Cinnabar) หรือสารประกอบปรอทซัลไฟด์ (HgS) มีชื่อแตกต่างกันหลายชื่อ เช่น Chinese vermilion, Scarlet vermilion, Orange vermilion

แร่ซินนาบาร์เป็นสารประกอบที่มีสีแดงเข้ม–น้ำตาลตามธรรมชาติ สีแดงชาดที่นำมาใช้งานจึงมักเป็นสีที่ผ่านกระบวนการผลิตเพื่อให้ได้สารประกอบปรอทซัลไฟด์ที่บริสุทธิ์และมีลักษณะเป็นผลึกเล็กละเอียด ซึ่งมีสีแดงเจิดจ้า สีแดงชาดที่ได้จากแร่ซินนาบาร์ มักเรียกว่าซินนาบาร์ สีแดงชาดที่ได้จากการสังเคราะห์เรียกว่าเวอร์มิเลียน (vermilion) โดยการนำปรอทมาทำปฏิกิริยากับกำมะถันและด่างเล็กน้อย จะได้ปรอทซัลไฟด์ หรืออาจนำสารละลายของสารประกอบของปรอทมาตกตะกอนด้วยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จะได้ปรอทซัลไฟด์

ในสมัยโบราณ จีนใช้สีแดงชาดทำประโยชน์หลายอย่าง เช่น ทำเครื่องเขินที่มีสีแดง ทำหมึกแดง ทำสีทาอาคาร ใช้เขียนภาพ ยุโรปก็ผลิตเวอร์มิเลียนเช่นเดียวกัน สมัยก่อนมีชื่อเรียกว่า minium แต่สีแดงชาดมีความเป็นพิษสูง เนื่องจากเป็นสารประกอบของปรอท ต่อมาสีแดงเสนเป็นที่นิยมใช้มากกว่า จึงนำชื่อ minium มาใช้เรียกสีแดงเสนต่อไป

สีแดงชาดเป็นสีที่มีเนื้อหนัก ปกปิดพื้นผิวได้ดี เมื่อมองดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้แสงผ่านจะพบว่าสีชนิดนี้โปร่งแสง มีสีแดงอมส้มจัด หากใช้กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้แสงสะท้อน จะเห็นอนุภาคสีแดงที่มีความแวววาวราวกับมีขี้ผึ้งเคลือบอยู่ ข้อเสียของสีชนิดนี้คือ เปลี่ยนสีได้หากได้รับแสงแดดโดยตรงและมีความเป็นพิษสูง

คนจีนเรียกสีแดงชาดที่ได้จากการสังเคราะห์ว่า *"หลิงชา"* (Ling sha) หรือ *"หยินจู"* (Yin chu) ในภาษาจีนจะเรียกซินนาบาร์ที่ได้จากธรรมชาติว่า *"ตานชา"* (Tan sha) หรือ "จูชา" (Zhu sha) ซึ่งตรงกับชื่อสีแดงที่ช่างเขียนไทยรู้จักในนาม *"ชาดจูชา"* ปัจจุบันร้านขายยาจีนบางแห่งในไทยจำหน่ายสีแดงชาดที่มีชื่อว่า *"ชาดเล่งจู"* ซึ่งเมื่อสอบถามผู้เชี่ยวชาญภาษาจีน ได้ความว่า *"เล่งจู"* แปลว่า ซินนาบาร์ นี่เอง ส่วนคำอื่น ๆ ที่คนไทยใช้เรียกชื่อสีแดงชาด เช่น ชาดจอแส คงมาจากคำใดคำหนึ่งที่คนจีนใช้เรียกซินนาบาร์ เนื่องจากภาษาจีนในแต่ละมณฑลออกเสียงแตกต่างกันหรือคนไทยออกเสียงตามสำเนียงจีนไม่ถูกต้อง ส่วนชาดอ้ายมุ่ย หมายถึงซินนาบาร์หรือเวอร์มิเลียนที่ส่งมากจากเมืองเอมอยหรือเอ้หมึง (โบราณเรียกว่า *"อ้ายมุ่ย"* ชาวกวางตุ้งออกเสียงว่า *"ห่าหมุน"* ในขณะที่ชาวแต้จิ๋วออกเสียงว่า *"แห่มึ๋ง"* ปัจจุบันคือ เซี่ยเหมิน) เป็นเมืองท่าสำคัญในมณฑลฝูเจี้ยน ตั้งอยู่ริมทะเลจีนใต้ ซึ่งส่งสินค้า

มาขายทางอินโดจีน นอกจากนี้คนจีนยังเรียกสีแดงชนิดนี้อีกหลายชื่อ เช่น Jih ching (แปลว่า essence of the Sun), Chen chu (แปลว่า red pearl), hsien sha (แปลว่า sand of the Immortals), hung sha (แปลว่า mercury sand), Chhih ti (แปลว่า red Emperor)

อย่างไรก็ตาม การเรียกชื่อสีแดงชาดในหลายประเทศยังมีความสับสน แม้แต่ในเอกสารโบราณของจีนและอังกฤษ เอกสารบางฉบับที่บันทึกในสมัยซ่งเรียกซินนาบาร์ว่า "*จูชา*" ในขณะที่ "*หยินจู*" หมายถึงเวอร์มิเลียน แต่บางคนเรียกซินนาบาร์ว่า ตานชา และเรียกเวอร์มิเลียนว่าจูชา ส่วนคำว่า หยินจู ใช้เรียกเวอร์มิเลียนที่มีสีแดงก่ำ เป็นต้น เวลาอ่านเอกสารเหล่านั้นจึงต้องพิจารณาให้ถ่องแท้

สารสีที่มีชื่อลงท้ายด้วยคำว่า vermilion อาจไม่ใช่สีแดงชาดที่ทำมาจากซินนาบาร์หรือปรอทซัลไฟด์เสมอไป เช่น American Vermilion เป็นสารสีแดงหรือสีส้มที่ทำจากโครเมียม Antimony Vermilion เป็นสารสีแดงที่ทำจากแอนติโมนีหรือพลวง เป็นต้น

> ในภาษาจีนจะเรียกซินนาบาร์ที่ได้จากธรรมชาติว่า “*ตานชา*” (Tan Sha) หรือ “*จูชา*” (Zhu sha) ซึ่งตรงกับชื่อสีแดงที่ช่างเขียนไทยรู้จักในนาม “*ชาดจูชา*” ปัจจุบันร้านขายยาจีนบางแห่งในไทยจำหน่ายสีแดงชาดที่มีชื่อว่า “*ชาดเล่งจู*” ซึ่งเมื่อสอบถามผู้เชี่ยวชาญภาษาจีน ได้ความว่า “*เล่งจู*” แปลว่า ซินนาบาร์

สีแดงชาดที่ได้จากธรรมชาติและที่ได้จากการสังเคราะห์มีสูตรเคมีเหมือนกัน ทำให้บางครั้งการวิเคราะห์สีแดงชาดด้วยเครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุหรือองค์ประกอบทางเคมี ไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างระหว่างซินนาบาร์ที่ได้จากธรรมชาติและเวอร์มิเลียนที่ได้จากการสังเคราะห์ได้อย่างชัดเจน แต่หากดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อาจเห็นลักษณะของสีแดงชาดที่ได้จากธรรมชาติที่มีขนาดอนุภาคไม่เท่ากันและมีรอยแตกหักจากการถูกบด ในขณะที่สีแดงชาดที่ได้จากการสังเคราะห์มีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกันและมีรอยแตกหักน้อย

ชาวจีนใช้สีแดงจากแร่ซินนาบาร์มาตั้งแต่สมัยก่อนประวัติศาสตร์ ดังปรากฏหลักฐานทางโบราณคดีบ่งบอกว่าชาวจีนโบราณสมัยราชวงศ์ซาง (ประมาณ 4,000 ปีมาแล้ว) ใช้ซินนาบาร์โปรยในหลุมฝังศพ สันนิษฐานว่าเพื่อช่วยรักษาสภาพศพหรือเพื่อให้ดูเหมือนมีชีวิต และใช้เขียนบนกระดูกเสี่ยงทาย (Oracle bone) พบว่ามีการใช้ผงสีแดงที่ทำจากซินนาบาร์เติมลงในร่องบนกระดูกที่ขุดเป็นตัวอักษร ต่อมาสมัยราชวงศ์โจวตะวันออก (700–265 ปีก่อนคริสตกาล) การเขียนบันทึกข้อความนิยมทำบนผ้าไหมแทนกระดูกและเปลือกหอย จึงใช้น้ำหมึกสีแดงทำจากซินนาบาร์ นอกจากนี้ยังใช้ทำน้ำหมึกสำหรับตราประทับ โดยผสมซินนาบาร์ที่บดละเอียดกับน้ำมันละหุ่งหรือน้ำมันงา และอาจมีส่วนประกอบอื่น ๆ อีก ในสมัยราชวงศ์ฮั่นพบหลักฐานว่าใช้ซินนาบาร์ทำหมึกสีแดงสำหรับประทับตราและพบว่าใช้ในการเขียนภาพบนผ้าไหมและกระดาษ ทำเครื่องเขินที่มีสีแดง ทำสีทาอาคาร ฯลฯ สีแดงและน้ำหมึกสีแดงที่ผสมซินนาบาร์มีชื่อเรียกว่า Shui yin chu มาร์โค โปโล นักเดินทางชาวเวนิสที่เข้าไปอยู่ในจีนเป็นเวลา 17 ปี ในคริสต์ศตวรรษที่ 13 บันทึกไว้ว่า "*...กุบไลข่าน ใช้หมึกสีแดงทำด้วยเวอร์มิเลียนสำหรับประทับตราบนธนบัตร...*"

แหล่งอารยธรรมอื่น ๆ ก็ใช้สีแดงชาด ปรากฏหลักฐานว่า ชาวอียิปต์นิยมใช้เวอร์มิเลียนในการเขียนภาพในช่วงปลายราชวงศ์ทอเลมี ซึ่งแต่เดิมเคยนิยมใช้สีชมพู แสดงถึงอิทธิพลจากการค้าขายกับชาติอื่น ๆ ทางตะวันออก เช่น อินเดีย เปอร์เซีย ในไบแซนไทน์จักรพรรดิและผู้นำศาสนจักรใช้ตราประทับแทนการเซ็นชื่อโดยใช้สีแดงที่ทำจากเวอร์มิเลียน

มาร์โค โปโล นักเดินทางชาวเวนิสที่เข้าไปอยู่ในจีนเป็นเวลา 17 ปี ในคริสต์ศตวรรษที่ 13 บันทึกไว้ว่า *"...กุบไลข่าน ใช้หมึกสีแดงทำด้วยเวอร์มิเลียนสำหรับประทับตราบนธนบัตร..."*

ชาวโรมันก็รู้จักใช้ประโยชน์จากปรอทและแร่ซินนาบาร์มานานแล้วเช่นกัน ระยะแรกใช้สีแดงชาดที่ได้จากธรรมชาติ สีแดงชาดเป็นสีที่มีค่าสูงมากในสมัยนั้น ราคาแพงกว่าสีดินแดงถึงสิบเท่า แสดงถึงความร่ำรวยของผู้ใช้ ต่อมาชาวโรมันสังเคราะห์สีแดงชาดขึ้นใช้งานแทนแร่ซินนาบาร์เมื่อปลายคริสต์ศตวรรษที่ 13

ชาวยุโรปนิยมสังเคราะห์เวอร์มิเลียนด้วยวิธีเปียก โดยนำปรอทและกำมะถันมาบดเข้าด้วยกัน แล้วทำให้ร้อนในสารละลายแอมโมเนียมซัลไฟด์หรือโพแทสเซียมซัลไฟด์ จะได้สารสีแดงสดใส แต่สีแดงชนิดนี้เปลี่ยนเป็นสีคล้ำได้เร็ว

ชาวอินเดียก็ใช้สีแดงชาดมานานหลายพันปี แหล่งโบราณคดีชื่อดังคือ โมเฮนโจ-ดาโร และฮารับปัน พบสีแดงชาดด้วยเช่นกัน เอกสารสำคัญของอินเดียซึ่งบันทึกไว้เมื่อ 1,500-600 ปีก่อนคริสตกาล กล่าวว่า มีการนำปรอทซัลไฟด์มาจากจีน นอกจากจะใช้ในการเขียนภาพแล้ว สตรีชาวอินเดียเคยใช้สีแดงชาดแต้มเป็นจุดสีแดงเล็ก ๆ บนหน้าผาก แต่ปัจจุบันคงใช้สารสีแดงชนิดอื่นแทน

ช่างเขียนชาวญี่ปุ่นนิยมใช้สีแดงชาดมานานแล้วเช่นเดียวกัน นักวิทยาศาสตร์วิเคราะห์พบสีชนิดนี้บนจิตรกรรมฝาผนังของญี่ปุ่นที่กำหนดอายุระหว่างคริสต์ศตวรรษที่ 3–4 เอกสารโบราณบันทึกว่า ซินนาบาร์และเวอร์มิเลียนที่ใช้ในญี่ปุ่น สั่งซื้อมาจากจีนและถ่ายทอดเทคโนโลยีโดยจีน ชาวญี่ปุ่นเรียกสีแดงที่ได้จากแร่ซินนาบาร์ว่า "*ชินชา*" (shin–sha) ส่วนสีแดงที่ได้จากการสังเคราะห์หรือเวอร์มิเลียนมีชื่อเรียกว่า "*ชู*" (shu) ชาวญี่ปุ่นนิยมสังเคราะห์เวอร์มิเลียนขึ้นมาใช้ เนื่องจากในญี่ปุ่นแร่ซินนาบาร์หายากและราคาแพง โดยใช้กระบวนการคล้ายกับของจีน คือนำปรอทและกำมะถันมาผสมกัน แล้วเผาที่อุณหภูมิสูง จะได้ปรอทซัลไฟด์สีดำ จากนั้นเผาอีกครั้งเพื่อไล่กำมะถันบางส่วนออก จะได้สารสีต่าง ๆ เช่น สีแดงอมเหลือง สีแดง สีแดงอมม่วง สีแดงคล้ำอมดำ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา สีเหล่านี้มีชื่อต่าง ๆ กันเช่น gokukiguchi–shu หมายถึงเวอร์มิเลียนที่มีสีอมเหลืองสด kiguchi–shu หมายถึงเวอร์มิเลียนที่มีสีอมเหลือง akaguchi–shu หมายถึงเวอร์มิเลียนที่มีสีแดงสด kamakura–shu หมายถึงเวอร์มิเลียนที่มีสีแดงสวยงามมากเป็นที่นิยมอย่างมากในสมัยคามาคูระ kodai–shu หมายถึงเวอร์มิเลียนที่มีสีออกม่วง koku–shu หมายถึงเวอร์มิเลียนที่มีสีออกดำ เป็นต้น

> ซินนาบาร์และเวอร์มิเลียนที่ใช้ในญี่ปุ่น สั่งซื้อมาจากจีนและถ่ายทอดเทคโนโลยีโดยจีน ชาวญี่ปุ่นเรียกสีแดงที่ได้จากแร่ซินนาบาร์ว่า “*ชินชา*” (shin-sha) ส่วนสีแดงที่ได้จากการสังเคราะห์หรือเวอร์มิเลียนมีชื่อเรียกว่า “*ชู*” (shu)

สีแดงชาดและสีที่ได้จากการบดย่อยแร่ เช่น หรดาล อะซูไรต์ และมาลาไคต์ ฯลฯ มีลักษณะเป็นเม็ด ๆ ส่งประกายระยิบระยับไม่มากนัก เนื่องจากโครงสร้างเป็นผลึกและขึ้นอยู่กับกระบวนการบดว่ากระทำอย่างประณีตเพียงใด สารสีที่ได้จากแร่มักไม่ค่อยละเอียด เนื่องจากมีลักษณะเป็นผลึกที่แตกหักจากการบดย่อย ขนาดของอนุภาคขึ้นอยู่กับความยากง่ายในการแตกหักของแร่แต่ละชนิดและขึ้นอยู่กับกระบวนการบดย่อย สารสีเหล่านี้มักมีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุม รูปร่างขึ้นอยู่กับแนวแตกเรียบที่แตกเป็นระนาบเรียบตามโครงสร้างอะตอมในผลึกแร่ของแร่แต่ละชนิด

> สีแดงชาดไม่ควรใช้ในจิตรกรรมฝาผนังเปียก ไม่ควรใช้ร่วมกับสีเหลืองหรดาล และสีที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบ เนื่องจากจะทำให้สีเปลี่ยนอย่างรวดเร็ว เช่น เมื่อผสมกับสีแดงเสน สีจะคล้ำขึ้นหรือจางลง

ซินนาบาร์เป็นสีที่ปกปิดพื้นผิวได้ไม่ดีเท่าอะซูไรต์กับมาลาไคต์ ซินนาบาร์ที่คุณภาพดีที่สุดต้องมีประกายแวววาวคล้ายกระจกเงา แร่ซินนาบาร์ในแต่ละแหล่งมีคุณภาพแตกต่างกัน แร่ซินนาบาร์ที่ใช้สำหรับสกัดเอาปรอทออกมาใช้งาน เป็นแร่ซินนาบาร์คุณภาพต่ำไม่เหมาะที่จะใช้ในงานศิลปกรรม

แร่ซินนาบาร์ที่นิยมนำมาใช้ในการเขียนภาพ จะต้องผ่านกระบวนการผลิตอย่างระมัดระวัง ผ่านการบดอย่างละเอียดและตกตะกอนหลาย ๆ ครั้ง เพื่อให้ได้สารสีที่มีเนื้อละเอียด ขนาดอนุภาคสม่ำเสมอ เมื่อระบายแล้วจะได้ชั้นสีที่เนียน สม่ำเสมอ

สีแดงชาดเป็นสีที่มีเนื้อหนัก หากระบายสีบนพื้นผิวในแนวราบ สีจะจมลงอยู่ส่วนล่างของชั้นสี หากใช้ร่วมกับสารสีอื่น ๆ จะแยกชั้น ปกปิดพื้นผิวได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับสารสีอื่น ๆ แต่เมื่อมองดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้แสงผ่านจะพบว่าสีชนิดนี้โปร่งแสง มีสีแดงอมส้มจัด หากใช้กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้แสงสะท้อนจะเห็นอนุภาคสีแดงที่มีความแวววาวราวกับมีขี้ผึ้งเคลือบอยู่ ช่างเขียนสมัยก่อนนิยมใช้สีแดงชาดผสมกับสีขาว เพื่อระบายส่วนที่เป็นผิวหนังคน

ระยะหลัง ๆ ช่างเขียนไม่นิยมใช้สีแดงชาดในงานจิตรกรรม ข้อเสียที่เด่นชัดของสีแดงชาดคือ เปลี่ยนสีเป็นสีดำคล้ำหากได้รับแสงแดดโดยตรง เนื่องจากซินนาบาร์และเวอร์มิเลียนเปลี่ยนโครงสร้างผลึกไปเป็นเมตา-ซินนาบาร์ (meta-cinnabar) ซึ่งมีสีดำ เมื่อใช้สีแดงชาดบนผนังหรือบนแผ่นหินในถ้ำ อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้จากน้ำที่แทรกซึมเข้ามาในผนัง ทำให้เกิดผลึกเกลือ บริเวณที่ได้รับแสงแดดโดยตรงจะเปลี่ยนเป็นสีดำคล้ำขึ้น ชาวยุโรปจึงพยายามแก้ปัญหาด้วยการใช้สีแดงชาดในจิตรกรรมสีน้ำมันแล้วเคลือบทับด้วยวาร์นิช เพื่อป้องกันมิให้สีแดงชาดเปลี่ยนสีเร็วเกินไป นอกจากนี้ยังเป็นที่ทราบกันมาแต่โบราณว่าสีแดงชาดไม่ควรใช้ในจิตรกรรมปูนเปียก ไม่ควรใช้ร่วมกับสีเหลืองหรดาล และสีที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบ เนื่องจากจะทำให้สีเปลี่ยนอย่างรวดเร็ว เช่น เมื่อผสมกับสีแดงเสน สีจะคล้ำขึ้นหรือจางลง

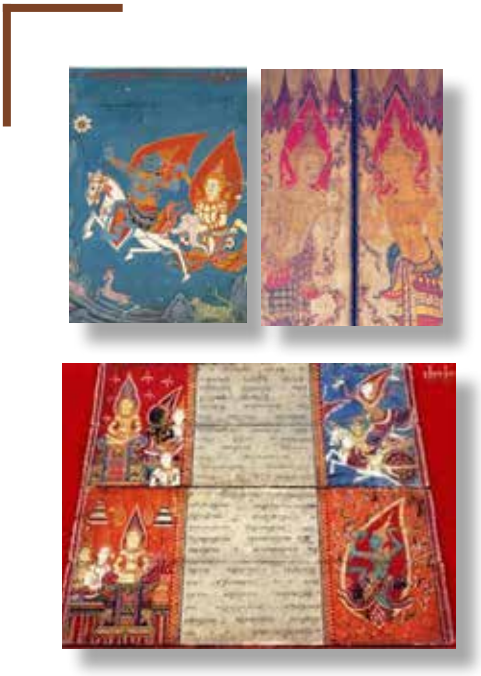
ชาวโรมันตระหนักในข้อเสียของซินนาบาร์และเวอร์มิเลียนเป็นอย่างดี ดังปรากฏในบันทึกของวิสทรูเวียส (Vistruvius) ซึ่งบันทึกไว้เมื่อประมาณ 100 ปีก่อนคริสตกาล กล่าวว่า *"...ผนังที่เคยทาสีแดงต่อมาเปลี่ยนเป็นสีแดงคล้ำ เป็นเพราะใช้แร่ที่ขุดได้จากเมือง Sisopa ในสเปน"* บันทึกของไพลนี (Pliny) ซึ่งบันทึกเมื่อประมาณ ค.ศ. 77 กล่าวว่า *"...สีแดงชาดเมื่อใช้ระบายสีกับงานที่อยู่กลางแจ้งจะเปลี่ยนสีเป็นสีดำ นอกเสียจากว่าจะเคลือบทับด้วยขี้ผึ้งหรือน้ำมัน..."* และเอ่ยถึงเมือง Sisopa ว่าเป็นแหล่งผลิตปรอทส่งมาให้กรุงโรม

ข้อเสียที่สำคัญของซินนาบาร์และเวอร์มิเลียนคือมีความเป็นพิษ เนื่องจากมีปรอทเป็นองค์ประกอบหลัก แม้ว่าสารประกอบปรอทซัลไฟด์จะเป็นพิษต่ำกว่าไอระเหยของปรอทหรือโลหะปรอท ผู้ที่ได้รับสารปรอทเข้าไปในร่างกายเป็นปริมาณมากจะเป็นโรคพิษปรอท ซึ่งมีอาการเกี่ยวกับประสาทรับความรู้สึก การมองเห็น การได้ยิน การพูด ความจำเสื่อม อวัยวะต่าง ๆ ทำงานไม่สัมพันธ์กัน ผิวหนังมีอาการคัน ไหม้ หรือเจ็บปวด ผิวเปลี่ยนสี เหงื่อออกมากผิดปกติ หัวใจเต้นเร็ว น้ำลายออกมาก ความดันโลหิตสูง ปาก เหงือก และฟันมีปัญหา หากได้รับสารปรอทนาน ๆ จะทำลายสมองและถึงตาย หากเป็นในเด็กจะมีแก้มและจมูกมีสีแดง ผมร่วง ฟันหลุด เล็บหลุด เป็นผื่น กล้ามเนื้ออ่อนแรง กลัวแสงสว่าง ไตทำงานผิดปกติ หากทารกที่อยู่ในครรภ์มารดาได้รับสารปรอทจากอาหารที่มารดารับประทานเข้าไป จะพิการตั้งแต่อยู่ในครรภ์ เรียกว่า **โรคมินามาตะ** (Minamata disease) ซึ่งได้ชื่อมาจากอ่าวมินามาตะในประเทศญี่ปุ่นที่ปนเปื้อนสารปรอทจากโรงงานอุตสาหกรรมเป็นปริมาณมาก ทำให้สัตว์น้ำในอ่าวได้รับสารปรอท เมื่อคนรับประทานสัตว์น้ำเหล่านั้นเป็นอาหาร ทำให้มีสารปรอทสะสมในร่างกายและเจ็บป่วยพิการจำนวนมาก จักรพรรดิจิ๋นซีฮ่องเต้ก็ประชวรและสิ้นพระชนม์เพราะสารปรอทที่ผสมอยู่ในยาอายุวัฒนะที่พระองค์เสวยเข้าไปหลายขนาน ชาวโรมันตระหนักดีว่าแร่ซินนาบาร์และปรอทมีความเป็นพิษ จึงให้เชลยศึกหรือนักโทษเป็นผู้ทำงานในเหมือง ส่วนชาวสเปนใช้วิธีผลัดเปลี่ยนหมุนเวียนคนงาน ให้แต่ละคนทำงานชั่วระยะเวลาสั้น ๆ ปัจจุบันเหมืองซินนาบาร์เป็นแหล่งที่ปลดปล่อยสารปรอทที่สร้างปัญหามลพิษ รวมทั้งเหมืองร้างที่เลิกใช้งานแล้วด้วย

คนจีนทำเหมืองซินนาบาร์ในระดับลึกจากพื้นดินในสมัยราชวงศ์ซ่ง โดยเอาไม้ฟืนมาสุมในหลุมแล้วจุดไฟ ความร้อนทำให้ก้อนหินแตกออก เผยให้เห็นซินนาบาร์อยู่ภายใน การทำเหมืองวิธีนี้ไม่ปลอดภัย เนื่องจากมีควันที่มีกำมะถันและไอปรอทผสมอยู่ บางแห่งมีสารหนูปะปนอยู่ด้วย ทำให้เกิดปัญหาต่อคนงานและสิ่งที่มีชีวิตที่อยู่ใกล้เคียงอย่างรุนแรง

แม้ว่าสีแดงชาดจะมีความเป็นพิษไม่สูงมากนัก เมื่อเทียบกับสารปรอทอื่น ๆ แต่ก็ควรระวังเมื่อใช้งาน เพราะสีแดงชาดถูกดูดซึมเข้าทางผิวหนังได้ ควรระวังฝุ่นผงที่อาจเข้าทางระบบหายใจ ไม่ควรใช้ความร้อนและระวังอย่าให้เข้าปาก หากร่างกายได้รับสีแดงชาดบ่อย ๆ นานเข้าจะส่งผลกระทบต่อไตและระบบประสาท

ชาวจีนโบราณนิยมใช้สีแดงชาดผสมกับยางรักในการผลิตเครื่องเขินที่มีสีแดง เนื่องจากยางรักเข้ากันได้ดีกับสีแดงชาดและมีสารสีเพียงไม่กี่ชนิดที่สามารถใช้ได้กับยางรัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการผลิตเครื่องเขินสีแดงที่มีลวดลายแกะสลักซึ่งเป็นที่นิยมกันมากในประเทศจีน ในสมัยราชวงศ์ซ่ง ช่างเครื่องเขินชาวจีนลดพิษของปรอทโดยการผสมสีแดงชาดกับยางรัก แล้วทาทับด้วยยางรักอีกหลายชั้น แต่ก็ยังมีพิษหากนำไปใช้เป็นภาชนะใส่อาหารหรือเครื่องดื่ม หากเครื่องเขินนั้นแตกร้าว บิ่น หรือมีรอยปริ รอยกะเทาะ ปัจจุบันเครื่องเขินสีแดงที่ผลิตเพื่อเป็นภาชนะใส่อาหารจะไม่ใช้สีแดงชาด แต่ใช้สารพลาสติกแทน เพื่อหลีกเลี่ยงพิษปรอท ช่างทำเครื่องเขินของไทยก็เคยใช้สีแดงชาดผสมยางรักในการทำเครื่องเขินสีแดง ระบายบนไม้แกะสลัก และใช้ทาบนประติมากรรมและส่วนต่าง ๆ ของอาคาร



1.3 สีแดงเสน

สีแดงอีกชนิดหนึ่งซึ่งคล้ายคลึงกันคือ สีแดงเสน (Red lead) เป็นสารสีที่นำเข้าจากจีนเช่นเดียวกัน สีแดงเสนเป็นสารประกอบตะกั่วออกไซด์ (Pb_3O_4 หรือ $2PbO.PbO_2$) พบได้ในแหล่งแร่ตะกั่วที่มีการออกซิเดชั่นสูง ชาวยุโรปเรียกว่า *"มิเนียม"* (Minium) มาจากชื่อแม่น้ำ Minius ในประเทศสเปน ซึ่งเป็นแหล่งที่พบสีแดงเสนมาก คำว่า มิเนียม เดิมชาวยุโรปใช้เรียกซินนาบาร์และเวอร์มิเลียน แต่ต่อมาพบว่ามีความเป็นพิษสูง เนื่องจากเป็นสารประกอบของปรอท จึงเลิกใช้แล้วหันไปใช้สีแดงเสนแทน ต่อมาสีแดงเสนเป็นที่นิยมใช้มากกว่า จึงนำชื่อ minium มาใช้เรียกสีแดงเสนต่อไป ทำให้เกิดความสับสนมากยิ่งขึ้น

สีแดงเสนที่พบในธรรมชาติมีลักษณะเป็นผงหรือเป็นคราบแข็ง ๆ สีแดงสดหรือแดงอมส้ม อยู่บนแหล่งแร่ตะกั่ว จัดเป็นแร่ทุติยภูมิของตะกั่ว ซึ่งพบไม่มากนัก เกิดจากกระบวนการออกซิเดชันของแร่ตะกั่ว มักพบเป็นชั้นสีแดงบาง ๆ เคลือบอยู่บนผิวแร่ตะกั่ว แหล่งที่พบสีแดงเสนธรรมชาติที่มีคุณภาพดีอยู่ที่รัฐนิวเซาท์เวลส์ ในประเทศออสเตรเลีย สีแดงเสนที่นำมาใช้งานส่วนใหญ่จึงได้มาจากการสังเคราะห์ ซึ่งมีลักษณะเป็นผงสีแดงอมส้ม อาจเป็นผลึกหรืออสัณฐาน ได้จากการนำตะกั่วขาวหรือตะกั่วคาร์บอเนตมาเผาที่อุณหภูมิ 480 องศาเซลเซียส จะได้ตะกั่วแดงหรือสีแดงเสน

ชาวจีนสังเคราะห์สีแดงเสนเมื่อประมาณ 500 ปีก่อนคริสตกาล โดยเรียกว่า Ch'ien tan แปลว่า lead cinnabar ใช้งานมาตั้งแต่สมัยราชวงศ์ฮั่น จัดว่าเป็นสารสีชนิดแรกที่มนุษย์ผลิตขึ้น โดยนำแร่ตะกั่วมาเผาที่อุณหภูมิ 600–700 องศาเซลเซียส ในสมัยราชวงศ์ซ่งรัฐบาลจีนมีโรงงานผลิตสีแดงเสนส่งออกไปขายต่างประเทศ ชาวจีนเรียกสีแดงเสนอีกชื่อหนึ่งว่า *"Zhang red"* เนื่องจากผลิตมากที่เมืองจางโจว ในมณฑลฝูเจี้ยน อีกชื่อหนึ่งคือ ชั้น (ภาษาจีน

กลาง) หรือซิน (ภาษาจีนแต้จิ๋ว) บางทีเรียกว่า yellow cinnabar เนื่องจากมีสีออกเหลืองและส้มมากกว่าซินนาบาร์ เอกสารโบราณของอินเดียเรียกสีแดงเสนว่า cinapishta แปลว่าแป้งจีน (Chinese flour) สีแดงเสนที่มีชื่อเสียงของจีนมีชื่อการค้าว่า Guangming Red

สีแดงเสนเป็นสีที่นิยมใช้มากในแหล่งอารยธรรมโบราณหลายแห่งในยุคกลาง เช่น เปอร์เซีย ไบแซนไทน์ ใช้ในการทำหนังสือเลขาวิจิตร (illuminator) และใช้ในการระบายสีบนจุลจิตรกรรม (miniature) เพราะฉะนั้นคำว่า miniature มีที่มาจากคำว่า minium นั่นเอง ช่างชาวปาเลสไตน์ใช้สีแดงเสนทาไม้ ชาวโรมันและชาวอียิปต์ก็นิยมใช้สีแดงเสนในการเขียนภาพเช่นกัน ชาวโรมันเอาสีขาวตะกั่วมาเผาเพื่อให้ได้สีแดงเสน

ในยุโรปไม่นิยมใช้สีแดงเสนกับจิตรกรรมฝาผนัง ส่วนในจีนและเอเชียกลาง พบบ่อยบนจิตรกรรมฝาผนัง การใช้สีแดงและสีขาวจากตะกั่วเป็นที่นิยมมากในจีนในสมัยราชวงศ์ถัง ชาวญี่ปุ่นก็ใช้สีแดงเสนในงานจิตรกรรม โดยเรียกว่า tan เอกสารของญี่ปุ่นบันทึกว่า เทคนิคในการผลิตสีแดงเสนเกิดขึ้นในกรีก แล้วนำมาที่จีน จากนั้นถ่ายทอดมาสู่ญี่ปุ่น ช่างชาวญี่ปุ่นชอบใช้สีแดงเสนในการทาผนังอาคาร และใช้ระบายสีบนพระสูตรในพระพุทธศาสนาในสมัย Tempyo

ช่างโบราณในหลายภูมิภาคนิยมใช้สีแดงเสนเป็นสีรองพื้นในการปิดทอง และนำมาผสมกับน้ำมันลินสีดใช้ทาเหล็กเพื่อป้องกันสนิม ซึ่งยังคงใช้อย่างต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน คุณสมบัติในการป้องกันสนิมเกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างตะกั่วออกไซด์กับเหล็กหรือเหล็กออกไซด์ ได้ผลผลิตคือสารประกอบเหล็กพลัมเบต ซึ่งไม่ละลายน้ำเคลือบอยู่บนผิวเหล็ก ช่วยป้องกันการสนิม บางแห่งใช้สีแดงเสนผสมกับเส้นใยลินินพันรอบข้อต่อของท่อน้ำ ท่อประปา นอกจากนี้ยังใช้เป็นวัตถุดิบในการทำแก้ว น้ำยาเคลือบเครื่องปั้นดินเผา

สีแดงเสน

สีแดงเสนมีน้ำหนักและทึบแสงดีมาก ข้อเสียของสีแดงเสนคือ ไม่คงทนต่อสภาวะแวดล้อม หากมีแสงแสว่างและความชื้น สีแดงเสนจะเปลี่ยนสีไปเป็นสีน้ำตาลคล้ายสีช็อกโกแลต หากสัมผัสกับน้ำมันหรือสัมผัสกับกรดจะเปลี่ยนไปเป็นสีน้ำตาล เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกลายเป็นตะกั่วไดออกไซด์ หากได้รับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ก๊าซไข่เน่า) จะกลายเป็นตะกั่วซัลไฟด์ซึ่งมีสีดำ เมื่อใช้สีแดงเสนผสมกับน้ำมันทำสีน้ำมัน เวลาผ่านไปจะกลายเป็นสีชมพูเนื่องจากตะกั่วออกไซด์บางส่วนเปลี่ยนไปเป็นตะกั่วคาร์บอเนตซึ่งมีสีขาว หากอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่มีกรดน้ำส้มหรือกรดดินประสิว จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล กรดเกลือทำให้สีเปลี่ยนไปเป็นสีขาว เมื่อใช้ร่วมกับสารสีอื่น ๆ ที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ จะมีสีเปลี่ยนเป็นสีดำ เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของสีแดงชาดกับสีแดงเสน พบว่าสีแดงชาดที่ได้จากธรรมชาติทนต่อสภาวะแวดล้อมได้ดีกว่าสีแดงเสนและสีขาวตะกั่ว

> สารประกอบของตะกั่ว ทำให้ผู้ผลิตสีและช่างเขียนที่ได้รับตะกั่วสะสมในร่างกายเป็นเวลานาน เกิดอาการของโรคพิษตะกั่ว มีอาการกระวนกระวาย มีปัญหาด้านการมองเห็น ความดันโลหิตสูง หน้าเป็นสีเทา โลหิตจาง ท้องผูก ท้องเสีย อาเจียน ฯลฯ

ข้อเสียอีกประการหนึ่งของสีแดงเสนคือ เป็นอันตรายต่อสุขภาพและสร้างปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม เพราะเป็นสารประกอบของตะกั่ว ทำให้ผู้ผลิตสีและช่างเขียนที่ได้รับตะกั่วสะสมในร่างกายเป็นเวลานาน เกิดอาการของโรคพิษตะกั่ว มีอาการกระวนกระวาย มีปัญหาด้านการมองเห็น ความดันโลหิตสูง หน้าเป็นสีเทา โลหิตจาง ท้องผูก ท้องเสีย อาเจียน เบื่ออาหาร น้ำหนักลด ไตทำงานผิดปกติ เหงือกมีเส้นสีน้ำเงิน เม็ดเลือดมีจุดสีน้ำเงิน หากหายใจเอาสารประกอบของตะกั่วเข้าไป จะระคายเคืองปอด เมื่อได้รับสารประกอบของตะกั่วมากผู้ป่วยจะรู้สึกถึงรสชาติของตะกั่วในปาก มีอาการเจ็บหน้าอกและปวดท้อง หากได้รับสารประกอบของตะกั่วเข้าทางปาก น้ำย่อยจะละลายสารประกอบของตะกั่วแล้วถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย ผิวหนังสามารถดูดซึมสารประกอบของตะกั่วได้หากมีความเข้มข้นสูง ผลการทดลองกับสัตว์พบว่าตะกั่วทำให้สัตว์เป็นมะเร็ง

อาการผิดปกติจากสารตะกั่วเป็นที่รู้จักเมื่อประมาณ 2,200 ปีมาแล้ว ชาวโรมันเป็นโรคพิษตะกั่วกันมาก เพราะนิยมใช้โลหะตะกั่วทำภาชนะใส่อาหารและเครื่องดื่ม ทำเครื่องสำอาง ทำท่อประปา ทำหม้อต้มกลั่นเหล้า ฯลฯ ที่สำคัญคือใช้ตะกั่วอะซีเตต (lead acetate) ทำสารรสหวานใส่ในไวน์ นอกจากนี้ยังใช้สารสีขาว (White lead) สารสีแดง (Red lead) และสารสีเหลือง (litharge) ในงานจิตรกรรม เป็นต้น

ด้วยเหตุผลดังกล่าว ทำให้สีแดงชาดและสีแดงเสนไม่เป็นที่นิยมใช้ในศิลปกรรมปัจจุบัน ความเจริญก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่รุดหน้าอย่างรวดเร็วในศตวรรษที่ผ่านมา ทำให้เกิดสารสีสังเคราะห์จำนวนมากมายที่มีคุณสมบัติเหนือกว่า หาซื้อง่ายกว่า ราคาถูกกว่า และไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ เช่น หลัง ค.ศ. 1910 สีแดงแคดเมียม (Cadmium red) ถูกสังเคราะห์ขึ้นมาใช้แทนสีแดงชาดและเป็นที่นิยมอย่างกว้างขวาง แต่ต่อมามีผู้วิจัยพบว่าสารประกอบแคดเมียมทั้งหลายเป็นอันตรายต่อสุขภาพ จึงมีสารสีอินทรีย์สีแดงสดสวยจากการสังเคราะห์มาแทนที่

1.4 สีแดงจากรีอัลการ์

รีอัลการ์ (realgar) เป็นแร่ที่มีสารหนูเป็นองค์ประกอบประมาณ 70% คือ เป็นสารประกอบอาร์ซีนิกซัลไฟด์ (As_2S_2) ซึ่งมักเกิดร่วมกับออร์พิเมนต์ (orpiment) หรืออาจนำออร์พิเมนต์ไปเผาในภาชนะที่ปิดได้สนิทเป็นเวลาห้าชั่วโมง จะได้รีอัลการ์ที่มีชื่อเรียกว่า ruby of arsenic ซึ่งมีสีไม่สดใสเท่ารีอัลการ์ที่ได้จากธรรมชาติ

เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมปกติ รีอัลการ์เปลี่ยนไปเป็นออร์พิเมนต์ได้ง่าย ทำให้ไม่เป็นที่นิยมใช้เป็นสารสี ชื่ออื่น ๆ ของรีอัลการ์ ได้แก่

- Arsenic rouge
- Burnt orpiment
- Realgarite
- Red arsenic
- Red orpiment
- Rejalgar
- Ruby sulfur
- Sandaracha

สีแดงชนิดนี้ไม่เข้ากันกับสารสีที่เป็นสารประกอบตะกั่วและทองแดง นอกจากนี้ยังมีความเป็นพิษสูง นิยมใช้เป็นยาพิษในสมัยโบราณ คนจีนเรียกยาพิษที่เป็นสารประกอบสารหนูซัลไฟด์ ซึ่งมีสีแดงว่า "*เหอคิงหง*" แปลว่า พิษหงอนกระเรียนแดง

แร่รีอัลการ์

สารสีแดงจากรีอัลการ์

1.5 สีแดงจากสีย้อม

สีแดงบางชนิดเป็นสีโปร่งใส อาจได้มาจากพืชหรือสัตว์ เช่น สีแดงจากครั่ง สีแดงจากรากยอ สีแดงฝาง ฯลฯ สารสีเหล่านี้มีสีสันสดใสแปลกตาและเป็นที่นิยมกันมากในสมัยก่อน เป็นสารสีที่ละลายได้ในของเหลว เช่น น้ำ น้ำมัน แอลกอฮอล์ ฯลฯ สารสีเหล่านั้นรู้จักกันทั่วไปในนาม **สีย้อม** (dyestuff) ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ ได้มาจากพืช สัตว์ และการสังเคราะห์ สีย้อมมีลักษณะโปร่งแสงถึงโปร่งใส นำไปย้อมผ้า ย้อมกระดาษ หรือย้อมหนังได้ทันที หากต้องการนำมาใช้ในงานต้องทำให้ข้นขึ้นด้วยการเติมสารเพิ่มเนื้อสีเข้าไป ให้ได้ผงละเอียดสีต่าง ๆ เหมือนสีฝุ่นอื่น ๆ เวลาใช้งานจะนำไปผสมกับน้ำ กาว น้ำมัน หรือสารอื่น ๆ สีประเภทนี้มีใช้มากในงานศิลปกรรม เช่น สีแดงครั่ง สีแดงโคชินนีล เมื่อนำมาผสมกับสารเพิ่มเนื้อสี เช่น อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ แบเรียมซัลเฟต ผงชอล์ก ผงยิปซัม ดินเหนียว ดินขาว ฯลฯ จะมีลักษณะเป็นสารสีที่มีความทึบแสงเพิ่มขึ้น สีกลุ่มนี้มักมีชื่อที่ประกอบด้วยคำว่า lake ต่อท้าย เช่น Crimson lake, Green lake, Purple lake, Yellow lake

สีเหล่านี้เมื่อมองดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะเห็นเป็นสารสีต่าง ๆ เคลือบอยู่บนผงละเอียดสีขาว ผลการตรวจสอบสารสีบนจิตรกรรมสมัยรัตนโกสินทร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูง พบว่ามีการใช้ผงสีประเภทนี้ปะปนอยู่ด้วย สีฝุ่นที่มีจำหน่ายทั่วไปในร้านจำหน่ายวัสดุช่างก็มีสีประเภทนี้ปะปนอยู่เช่นกัน อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์สารสีประเภทนี้ต้องพิจารณาอย่างถี่ถ้วน เพราะบางกรณีสารสีขาวที่พบบนงานศิลปกรรม อาจไม่มีสีขาวในระยะแรก แต่เป็นสีเลค เมื่อสีย้อมซีดจางไปกลายเป็นสารสีขาว การตรวจสอบภาคตัดขวางของชั้นสีอาจช่วยให้เห็นร่องรอยของสารสีเดิม

สีย้อมอาจเป็นสารมีสีที่สัตว์บางชนิดสร้างขึ้นหรือมาจากส่วนต่าง ๆ ของพืช ในคริสต์ศตวรรษที่ 19 มีสีย้อมจากการสังเคราะห์มากมาย

1.5.1 **<u>สีแดงจากสัตว์</u>** สัตว์บางชนิดผลิตสารสีแดงที่สามารถใช้เป็นสีย้อม สีผสมอาหาร ทำเครื่องสำอาง และใช้ในการสร้างสรรค์ศิลปกรรมได้ สีแดงที่ได้จากสัตว์ที่สำคัญได้แก่

1.5.1.1 **สีแดงครั่ง** สีแดงครั่งได้มาจากแมลงครั่ง (*Coccus lacca* หรือ *Laccifer lacca*) แมลงชนิดหนึ่งที่มีอยู่ทั่วไปในอินเดียและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เป็นแมลงปีก

รังครั่ง

แข็งขนาดเล็ก คล้ายแมลงหวี่ แมลงครั่งตัวผู้มีปีก บินไปมาได้ ส่วนตัวเมียไม่มีปีก มีลักษณะตัวสั้น กลม มีหกขา เคลื่อนไหวได้เล็กน้อย แมลงครั่งอาศัยอยู่บนกิ่งไม้ แมลงครั่งสืบพันธุ์ได้ทั้งจากการอาศัยเพศและไม่อาศัยเพศ หลังผสมพันธุ์ ตัวผู้จะตาย ตัวเมียจะเกาะกิ่งไม้ดูดกินอาหารแล้วสร้างสารสีแดงออกมารอบ ๆ ตัวเอง แล้ววางไข่ สารสีแดงส่วนที่อยู่ด้านนอกของรังจะแข็งตัวเป็นคราบแข็ง ทำหน้าที่ปกป้องตัวอ่อน ไข่ และตัวเต็มวัยจากภยันตรายภายนอก ส่วนสารสีแดงที่อยู่ภายในเป็นอาหารของตัวอ่อน เมื่อไข่ฟักเป็นตัวซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกับไร ตัวอ่อนจะกินของเหลวสีแดงที่แม่สร้างออกมาเป็นอาหาร แล้วมีขนาดโตขึ้นจนอ้วนกลม สารสีแดงดังกล่าวมีลักษณะเป็นคราบแข็ง ๆ สีแดงห่อหุ้มกิ่งไม้ เรียกว่า **รังครั่ง**

คุณภาพของสารสีแดงที่ได้จากครั่งขึ้นอยู่กับชนิดของต้นไม้ที่แมลงครั่งเกาะกินอยู่อาศัย แมลงครั่งของไทยชอบอาศัยอยู่บนต้นจามจุรีหรือต้นฉำฉา ต้น Pigeon pea *Cajamus cajan* ส่วนแมลงครั่งในจีนอาศัยอยู่บนต้น Pigeon pea *Hibiscus sp.* ไทยมีครั่งมากเป็นที่สองรองจากอินเดีย เอกสารโบราณหลายฉบับบันทึกว่าไทยส่งครั่งไปขายที่กัลกัตตา ชาวอินเดียนำครั่งไปผลิตเชลแล็กออกจำหน่าย เมื่อตัดกิ่งไม้ลงมาและกะเทาะเอาสารสีแดงที่แข็งตัวเคลือบกิ่งออกมาตากแดดให้แห้ง แมลงจะตาย แท่งสีแดงนี้เรียกว่า stick lac, purple shoots lac หรือ purple stem lac เมื่อนำมาผ่านกระบวนการหลายขั้นตอนจะได้เชลแล็ก ครั่งที่บริสุทธิ์ที่สุดเป็นเชลแล็กสีส้ม ซึ่งหากนำไปฟอกสีจะได้เชลแล็กฟอกขาว นิยมใช้ทาเครื่องเรือนและเครื่องดนตรี เช่น ไวโอลิน เปียโน กีตาร์ ฯลฯ มาแต่โบราณ

สารสีแดงที่แมลงครั่งสร้างขึ้นมีองค์ประกอบเป็นเรซินและสารประกอบ anthraquinone ได้แก่ กรดแลคคาอิก (laccaic acid) เป็นหลัก มีสารประกอบอื่น ๆ อยู่ด้วยเล็กน้อย ทำให้มีสีแดงอมม่วง เมื่อเก่าสีจะคล้ำลง หากใช้บนภาพเขียนจะซีดจางง่าย สีแดงครั่งปกติไม่ละลายน้ำ แต่เมื่อบดและผสมกาวหนังสัตว์จะได้สีแดง

สีแดงครั่งมีชื่ออื่น ๆ อีกมากมาย เช่น

- Lac lake
- Bengal lac
- Cake lac
- Caked lac
- C.I. Natural Red 25
- Gomme laque
- Grained lac
- Gum lac
- Gummilack
- Indian lake
- Lac dye
- Lac
- Lacca
- Laca
- Lac lake
- Lakka
- Lic–lac
- Natural–laccaic acid
- Seed–lac
- ฯลฯ

สีแดงชนิดหนึ่งที่มีผู้กล่าวถึงอยู่เสมอคือ *"สีแดงอินจี่"* ซึ่งมาจากประเทศจีน มีลักษณะเป็นแผ่นกระดาษที่มีสีแดง เมื่อต้องการใช้งานให้นำกระดาษดังกล่าวมาแช่น้ำ จะได้สีแดงในการเขียน ดังปรากฏในพระหัตถเลขาของสมเด็จฯ เจ้าฟ้ากรมพระยานริศรานุวัดติวงศ์ ซึ่งทรงบันทึกเรื่องความรู้ต่าง ๆ ประทานพระยาอนุมานราชธน ลงวันที่ 18 พฤศจิกายน พ.ศ. 2482 ความว่า *"...แล้วมีสีแดงลิ้นจี่อีก นี่รู้ว่าคำไทย หมายความว่าสีเหมือนเปลือกลูกลิ้นจี่ เป็นของมาแต่เมืองจีน ชุบสำลีเป็นแผ่นกลม ๆ จะใช้ต้องชักเอาสีออก เป็นสีแดงเข้มอย่างที่ภาษาอังกฤษเรียกว่า Carmine หรือ Crimson สีนี้ใช้แต่เขียนเส้นอ่อ ที่หน้าโขนหน้าหุ่น ไม่ได้ใช้ทั่วไป เพราะเหตุที่ผสมเอาก็ได้ ไม่ต้องใช้สีสำเร็จ..."*

ช่างบางคนกล่าวว่า *"...สีแดงลิ้นจี่หรืออินจี่ เป็นสีสำเร็จมาจากจีน เนื้อสีทาเคลือบบนแผ่นกระดาษ ทำเป็นชิ้นเล็ก ๆ เมื่อจะใช้ละลายสีออกด้วยน้ำ ลักษณะสีตรงกับสี Alizarin crimson..."* นั่นก็คือสีแดงสด แต่ยังไม่มีผู้ใดบรรยายรายละเอียดเกี่ยวกับสีชนิดนี้ได้อย่างชัดเจน

ผู้เขียนจึงได้สืบค้นจากเอกสารที่ตีพิมพ์ในต่างประเทศหลายฉบับ พบข้อมูลที่ช่วยให้ความกระจ่างเกี่ยวกับสีแดงอินจี่มากขึ้น เช่น Yu Fiean (1988) กล่าวว่าสีแดงอินจี่มีลักษณะเป็นแผ่นหรือเป็นก้อนสำลีที่มีสีแดงเข้ม เมื่อต้องการใช้งาน นำมาแช่น้ำ จะได้สีแดงเข้มใช้ในการเขียนภาพหรือใช้แต้มริมฝีปาก สีที่มีลักษณะดังกล่าว เป็นที่รู้จักกันในชื่อ *"Hangchou sparrow's tongue"* หรือ *"ลิ้นนกกระจอกจากเมืองหางโจว"* โดยคำว่า *"อินจี่"* ในภาษาจีนแปลว่า ลิ้นนกกระจอก เนื่องจากขอบของก้อนสำลีนั้นมีลักษณะคล้ายลิ้นเล็ก ๆ ของนกกระจอก บางคนเรียกว่า *"yan zhi"* สีแดงดังกล่าวเป็นสีย้อมที่ได้จากครั่ง ซึ่งนำมาราดลงบนก้อนสำลีให้ดูดซับสีไว้ แล้วทำให้แห้ง เมืองหางโจวเป็นแหล่งผลิตสารสีที่มีชื่อเสียงในจีน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารสีแดงที่ได้จากสัตว์และพืช ซึ่งนิยมใช้ทำเครื่องสำอาง และทำสีผสมอาหาร

ชาวญี่ปุ่นก็เรียกสีแดงชนิดนี้ว่า *"enji"* แปลว่า organic red หมายถึงสีแดงที่ได้จากสารอินทรีย์ ซึ่งอาจเป็นสีแดงครั่งหรือสีแดงโคชินีล ที่นำมาราดลงบนก้อนสำลีให้ดูดซับสีไว้ แล้วทำให้แห้ง จากนั้นม้วนเป็นก้อนเล็ก ๆ บาง ๆ

สีแดง "Enji"

ด้วยเหตุที่สีแดงดังกล่าวมีสีคล้ายสีเปลือกลิ้นจี่ ช่างไทยจึงเรียก สีแดงลิ้นจี่ หรืออาจเรียกเพี้ยนมาจากชื่อที่ชาวจีนเรียกกันคือ "*อินจี่*" หรือ yan zhi เพราะฉะนั้น สีแดงอินจี่คือสีแดงครั่ง เช่นเดียวกับสีแดงครั่งที่ใช้ในการย้อมผ้านั่นเอง

ชาวจีนใช้ประโยชน์จากครั่งมายาวนาน ระยะแรกใช้ย้อมผ้าไหม ต่อมาใช้ย้อมหนังและทำเครื่องสำอาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งใช้เพิ่มสีสันให้กับแก้มและริมฝีปาก นอกจากนี้ใช้ทำยาและอุตสาหกรรมไฟฟ้า สีแดงครั่งมีใช้มากทางตะวันตกเฉียงใต้ของจีน สมัยราชวงศ์ถัง มีผู้เรียกสีแดงครั่งว่า "*ant-ore*" ผลการสำรวจพบก้อนครั่งอยู่ท่ามกลางโบราณวัตถุสมัยราชวงศ์ถังที่นำมาถวายเป็นพุทธบูชาในโอกาสที่ชาวญี่ปุ่นรับนับถือศาสนาพุทธและสร้างวัดโทไดจิ ประดิษฐานพระพุทธขนาดใหญ่ ซึ่งเก็บรักษาไว้ที่โชโซอิน (Shosoin) ประเทศญี่ปุ่น

ชาวอินเดียใช้ครั่งเป็นยาบำรุงโลหิต โดยนำรังครั่งที่ยังมีแมลงครั่งอยู่ภายในมาต้มผสมกับนม ใช้ดื่มเป็นยา นอกจากนี้ยังใช้ทำเครื่องสำอาง โดยนำสีแดงที่สกัดได้จากครั่งมาราดลงบนผ้าฝ้ายเนื้อหนา แล้วใช้ทาฝ่ามือและฝ่าเท้าให้มีสีแดง นอกจากนี้ยังนำครั่งมาทำให้หลอมเหลวเพื่อใช้ในการประทับตรา และอัดในช่องว่างของเครื่องประดับทองคำและเงินที่มีโพรงหรือมีลักษณะกลวง เพื่อป้องกันการบุบบู้บี้เวลาใช้งาน

เอกสารโบราณของอิตาลีกล่าวว่า ช่างเขียนชาวอิตาเลียนในคริสต์ศตวรรษที่ 15 ใช้สีแดงครั่งในการระบายสีบนจิตรกรรมที่เคลื่อนที่ได้ ชาวยุโรปก็ใช้ประโยชน์จากครั่งมานานเช่นกัน พบหลักฐานว่าชาวกรีกโบราณใช้สีแดงครั่งย้อมเครื่องปั้นดินเผา ชาวอัสสิเรียนและชาวกอลใช้ย้อมผ้า

สีแดงจากครั่งที่มีชื่อเรียกว่า Indian lake ใช้สารสีแดงจากครั่งผสมกับดินที่มีแคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมซัลเฟต และซิลิกา มีสีแดงสด โปร่งใส มีผู้ยกย่องว่าเป็นสีเลคที่ดีที่สุด แต่ถ้าใช้กับสีน้ำมัน จะแห้งช้า จึงต้องใส่สารเร่งแห้ง

1.5.1.2 **สีแดงโคชินีล** แมลงอีกกลุ่มหนึ่งซึ่งสร้างสารสีแดงในลักษณะเดียวกันกับแมลงครั่ง แมลงกลุ่มนี้มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Dactylopius coccus*, *D. confusan* (Cockerele), *D. ceylonicus* (Green), *D. tomentosus* (Lamark) เดิมเรียกว่า *Coccus cacti* มีชื่อสามัญว่าแมลงโคชินีล (Cochineal insect) เป็นแมลงที่มีมากในอเมริกากลางและอเมริกาใต้ แมลงกลุ่มนี้มีหลายสายพันธุ์ มีลักษณะแตกต่างกันเล็กน้อย ชาวจีนเรียกว่า "เอ๋ียงอั๋ง"

แมลงโคชินนีล เป็นแมลงที่เป็นปรสิตบนต้นกระบองเพชร มีลำตัวอ่อนนุ่ม ลำตัวแบน รูปร่างรีคล้ายไข่ ตัวเมียไม่มีปีก ยาวประมาณห้ามิลลิเมตร อยู่รวมกันเป็นกลุ่มบนต้นกระบองเพชร แมลงโคชินนีลใช้ปากเจาะต้นกระบองเพชรเพื่อดูดกินของเหลว เมื่อมีการผสมพันธุ์ ตัวเมียจะมีขนาดใหญ่ขึ้นและออกลูกเป็นตัวอ่อนตัวเล็ก ๆ ตัวอ่อนสร้างสารสีขาวลักษณะคล้ายขี้ผึ้งเพื่อปกป้องร่างกายจากความร้อนและน้ำ แมลงโคชินนีลผลิตกรดคาร์มินิก (carminic acid) เพื่อป้องกันอันตรายจากแมลงอื่น ๆ

แมลงโคชินนีล บนต้นกระบองเพชร

สารสีแดงที่ได้จากแมลงชนิดนี้เรียกว่าคาร์มีน (Carmine) ซึ่งเป็นเกลืออะลูมิเนียมและแคลเซียมของกรดคาร์มินิก นิยมใช้ย้อมผ้ามานาน เช่น แหล่งวัฒนธรรมปาราคัส (Paracas culture) ในเปรู (700 ปีก่อนคริสตกาล) ใช้สีแดงชนิดนี้ย้อมผ้า พวกแอซเท็กและมายาในอเมริกากลางและอเมริกาเหนือ ใช้ในการระบายสีและย้อมผ้า ซึ่งต่อมาเมื่อถูก Montezuma ยึดครองในคริสต์ศตวรรษที่ 15 ต้องส่งเครื่องบรรณาการเป็นผ้าห่มย้อมสีแดงปีละ 2,000 ผืน และสีย้อมที่ทำจากแมลงโคชินนีลปีละ 40 กระสอบ เมื่อกลางคริสต์ศตวรรษที่ 16 ชาวสเปนเข้ายึดครองแอซเท็ก พบว่าพวกแอซเท็กสวมใส่เสื้อผ้าสีแดงสด จึงนำไปใช้และเผยแพร่ไปทั่วยุโรปจนถึงคริสต์ศตวรรษที่ 19 สีนี้เป็นที่นิยมใช้ทั่วโลก ทำให้สีแดงครั่งหมดความนิยมไป อย่างไรก็ตาม สารสีชนิดนี้ไม่ทนต่อแสงสว่าง ซีดจางง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้กับสีน้ำ จึงมักผสมกับสีแดงชาด เรียกว่า Scarlet lake หากเผาจะได้สีม่วง เรียกว่า Burnt carmine

สีแดงจากแมลงโคชินนิล

สมเด็จฯ เจ้าฟ้ากรมพระยานริศรานุวัดติวงศ์ ทรงกล่าวถึงสีแดงอีกชนิดหนึ่งที่นำมาใช้วาดภาพในสมัยนั้น ดังนี้ *"...แล้วก็มี ตัวเปื๊ย เข้ามาแต่เมืองจีน สีเหมือนดินแดง แต่เนื้อเป็นผงละเอียด ต่างก็ใช้ตัวเปื๊ยกันต่างดินแดง แต่ก็คงเรียกกันว่าดินแดงอยู่ตามเคย เว้นแต่ผู้รู้จึงเรียกตัวเปื๊ย..."* มีผู้พยายามตีความคำว่า *"ตัวเปื๊ย"* หลายท่าน แต่ไม่พบข้อสรุปที่แน่นอน

ผู้เขียนค้นคว้าจากเอกสารอ้างอิงหลายฉบับพบว่า นอกจากครั่งแล้วยังมีแมลงอื่น ๆ อีกหลายชนิดที่ผลิตสารสีแดงออกมา แมลงเหล่านี้เป็นแมลงที่ดูดกินน้ำเลี้ยงของพืช ร่างกายแมลงมีเกล็ดปกคลุม ลักษณะคล้ายขี้ผึ้ง แมลงตัวเมียปกป้องไข่ด้วยการหลั่งสารสีแดงออกมาห่อหุ้มไข่ไว้ สารสีแดงเหล่านั้นนำมาใช้ย้อมผ้าและใช้ในงานจิตรกรรมได้เช่นเดียวกัน สันนิษฐานว่า *"ตัวเปื๊ย"* อาจจะหมายถึงครั่งหรือแมลงโคชินนีลก็เป็นได้

สีแดงคาร์มีนที่แมลงโคชินนีลสร้างขึ้น นิยมใช้ในยุโรปอย่างแพร่หลายช่วงคริสต์ศตวรรษที่ 16–19 แหล่งผลิตระยะแรก ๆ อยู่ที่เม็กซิโก ซึ่งผลิตมากจนเป็นสินค้าออกที่มีความสำคัญเป็นอันดับที่สองรองจากเงิน ส่งไปขายทั่วยุโรป มีราคาแพง และเลิกผลิตเมื่อเกิด Mexican War of Independence ใน ค.ศ. 1810–1821 ต่อมาผลิตที่กัวเตมาลาและเกาะคานารี สารสีชนิดนี้มีสีแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสภาวะความเป็นกรดเป็นด่างในกระบวนการผลิต จึงมีชื่ออื่น ๆ อีกมากมาย เช่น

- Burnt carmine
- Carmine
- Carmine lake
- Coccus cacti extract
- Cochineal extract
- Cochineal tincture
- Cochineal lake
- Crimson lake
- Florentine lake
- Hamburg lake
- Indian purple
- Parisian lake
- Venetian lake
- Viennese lake
- Cochinilla
- Cochinille
- C.I. Natural Red 4

ยุโรปผลิตสีแดงโคชินนีลครั้งแรกที่สเปนใน ค.ศ. 1560 สีแดง Carmine ที่มีคุณภาพดีที่สุดในคริสต์ศตวรรษที่ 17–18 ผลิตที่นครเวนิส แอนต์เวิร์ป และในประเทศฝรั่งเศส นิยมใช้เป็นเครื่องสำอาง ชาวยุโรปเรียกว่า Western red หรือ Peony red ส่วนสารสีม่วงเข้มแลดูเยือกเย็น ที่เรียกว่า Indian purple ได้จากการนำโคชินนีลผสมกับจุนสีสะตุ (ทองแดงซัลเฟต)

เอกสารโบราณที่บันทึกไว้เมื่อต้นคริสต์ศตวรรษที่ 17 กล่าวว่า เอาโคชินนีลที่บดเป็นผงมาผสมกับสารส้มและแอลกอฮอล์ ตั้งทิ้งไว้สี่วัน แล้วเติมสารส้มอีก จะได้ Cochineal lake

สีแดงกลุ่มนี้ มีเนื้อละเอียด สีคล้ายดินแดง มีทั้งที่ทำเป็นผงและทำเป็นก้อน ทนต่อแสงได้ดีกว่าดอกคำฝอยและครั่ง เวลาใช้งานสีนี้จะไม่ซึมลงไปด้านหลังของกระดาษและผ้าที่ใช้เขียนภาพและไม่ทำให้พู่กันติดสีแดง บริษัทผลิตสีในเยอรมนีและอังกฤษมักผสมกาวหนังสัตว์มาในสีด้วย เวลาต้องการใช้งานนำมาเติมน้ำใช้ได้เลย เรียกว่าเป็นสีสำเร็จรูป ไม่มี

กลิ่นเหม็น ราคาแพง ต่อมาในครึ่งหลังของคริสต์ศตวรรษที่ 19 มีสีแดงอื่นที่ดีกว่า ทนกว่ามาแทนที่ คือสีแดง Madder และ Alizarin เหตุผลหนึ่งที่ทำให้สีแดงโคชินีลเสื่อมความนิยมลงไปก็คือ การสกัดสีแดงจากแมลงโคชินีล ต้องใช้แมลงถึง 155,000 ตัว เพื่อสกัดโคชินีลหนึ่งกิโลกรัม

สีแดงที่ได้จากแมลงอีกชนิดหนึ่งเรียกว่า kermes ได้จากแมลงในวงศ์ *Kermesidae* เช่น *Kermesidae vermilio*, *Kermococcus illicis* L. แมลงชนิดนี้มีสีแดงคล้ายลูกเบอร์รี พบในแถบเมดิเตอร์เรเนียน องค์ประกอบหลักของสารสีแดงชนิดนี้คือ kermisic acid แต่สีแดงชนิดนี้เสื่อมความนิยมไปเป็นเวลานานแล้ว ตั้งแต่มีโคชินีลและสีแดงครั่ง คงไม่ใช่ตัวเปี๊ยที่ช่างเขียนไทยรู้จักเป็นแน่

1.5.2 **<u>สีแดงจากพืช</u>** พืชหลายชนิดมีสารมีสีที่สามารถนำมาใช้เป็นสารสีได้ สีแดงจากพืชพืชที่สำคัญ ได้แก่

1.5.2.1 สีแดงแมดเดอร์ นอกจากสีแดงจากแมลงดังกล่าวแล้ว ยังมีสารสีแดงที่ได้จากพืชอีกหลายชนิดที่ผลิตออกจำหน่ายในห้วงเวลานั้น เช่น สีแดงแมดเดอร์ (Madder) เป็นสีย้อมที่ได้จากรากของพืชประเภทต้นเข็มหลายชนิดในวงศ์ *Rubiaceae* ที่สำคัญ ได้แก่ *Rubia cordifolia* Linn. หรือ Indian madder ชาวอินเดียเรียกว่า *"มันจีต" Rubia tinctorum* L. เรียกว่า Levant หรือ Wild madder, Madder หรือ Rose madder, Crimson บางทีเรียก Turkey red หรือ Carmine lake มีสีแดงแบบสีทับทิม สีแดงเข้มกว่าสีแดงจากดอกคำฝอย และทนต่อแสงได้ดี โปร่งใส องค์ประกอบสำคัญคือ สารประกอบพวก anthraquinone ได้แก่ alizarin, purpurin, pseudopurpurin, morindone, xanthopurpurin, rubiadin เป็นต้น จึงให้สีต่าง ๆ ตั้งแต่เหลือง ส้ม แดง ม่วง และน้ำตาล ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ มากมาย เช่น การเกิดสีในตัวพืชเอง และปฏิกิริยาระหว่างสารสีกับสารอินทรีย์อื่น ๆ ในกระบวนการผลิตหรือสารช่วยติด (mordant) เช่น หากมีสารประกอบดีบุกเจือปนอยู่ด้วยในกระบวนการผลิต จะได้สีส้ม–แดง หรือหากตกตะกอนเพียงบางส่วนด้วยสารประกอบโซเดียมหรือโพแทสเซียมจะได้สีแดงเข้ม หากตกตะกอนอย่างสมบูรณ์จะได้สีแดงอ่อน หรือถ้าผสมเหล็กซัลเฟตลงไปเล็กน้อยจะได้สีม่วงดำ เมื่อเอาสีแดงชนิดนี้ผสมกับสารส้มจะได้ตะกอนสีแดงสดเรียกว่า Turkey red เป็นต้น วิธีการผลิตสารสีแดงแมดเดอร์จึงเป็นกระบวนการที่ควบคุมให้เกิดสีตามต้องการได้ยาก จัดเป็นกระบวนการทางศิลปะมากกว่าทางวิทยาศาสตร์

สีแมดเดอร์เป็นที่นิยมใช้ย้อมผ้าและเขียนภาพมานานตั้งแต่ยุคอียิปต์ กรีก และโรมัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งชาวกรีกใช้มาตั้งแต่ยุคคลาสสิก โดยใช้ระบายสีบนผนังห้องเก็บศพเป็นสีชมพูบนพื้นสีขาวซึ่งทำด้วยยิปซัม สารสีชนิดนี้นิยมใช้เป็นสีย้อมผ้า เช่น เครื่องแบบทหารของฝรั่งเศส

รากของต้นแมดเดอร์

สีแดงแมดเดอร์

วิธีการผลิตสีแมดเดอร์ ใช้รากของต้นแมดเดอร์ที่มีอายุ 3–4 ปี นำมาสับเป็นท่อน ๆ เล็ก ๆ อบให้แห้ง ทำโดยเอาสารละลายของสีราดลงบนชอล์กหรือผงอิฐปูนตากแดดให้แห้ง แล้วบดเป็นผง บางชนิดผสมกับสารให้สีอื่น ๆ อีก เช่น สีดินแดง ผงอิฐปูน ดินเหนียว ทรายสีแดง ขี้เลื่อยจากไม้มะฮอกกานี ไม้จันทน์ รำข้าว เป็นต้น สีย้อมชนิดนี้เลิกผลิตหลังจากมีการสังเคราะห์ alizarin ใน ค.ศ. 1868

1.5.2.2 สีแดงจากราก รากของพืชจำพวกยอหลายชนิด เช่น *Morinda citrifolia* L., *M. umbellata* L., *M. officinalis* มีสารสีแดง ต้นยอในจีนที่ใช้ทำสีย้อม คือ *M. officinalis* ซึ่งจีนเรียก Bai ji tian พบมากในฝูเจี้ยน เสฉวน กว่างโจว ไห่หนาน และกว่างซี รากและเปลือกหุ้มรากเป็นสารเคมีจำพวก anthraquinone หลายชนิด นอกจากใช้ทำเป็นสีย้อมและสารสีแล้ว ยังมีสรรพคุณทางยาและฆ่าเชื้อ

สารสีจากรากยอ

เปลือกของรากยอป่า (*Morinda coreia* Ham.) ซึ่งพบทั่วไปในไทย มีสารสีแดงชื่อ Morindin ส่วนเนื้อในรากมีสีเหลือง เมื่อผสมกับเกลืออะลูมิเนียมจะได้สารสีชมพู-แดง ถ้าผสมกับเกลือของเหล็กจะได้สารสีม่วงแดง และถ้าผสมกับเกลือของทองแดงจะได้สารสีน้ำตาล

ยังมีสีแดงจากรากพืชอื่น ๆ อีกหลายชนิด เช่น chayroot เป็นรากของต้น *Oldenlandia umbellata* ซึ่งมีชื่อสามัญว่า Indian madder หรือ Chay เมื่อสกัดจะได้ alizarin มีชื่อ C.I. Natural Red 6 ซึ่งชาวอินเดียนิยมใช้ย้อมผ้าและพิมพ์ผ้า สีแดงบนผ้าพิมพ์ลายอย่างและลายนอกอย่าง ส่วนใหญ่ได้มาจากสีกลุ่มนี้นั่นเอง ส่วน *Hedyotis umbellata* ให้ rubierythric acid มีสีแดงเข้มอมน้ำเงิน

ลักษณะของต้น Chay

1.5.2.3 สีแดงจากดอกคำฝอย สารสีแดงที่ได้จากพืชอีกชนิดหนึ่งที่อาจมีพ่อค้านำมาขายคือ สารสีแดงจากดอกคำฝอย (*Carthamus tinctorius* L.) เรียกว่า safflower มีมากในอินเดีย จีน เปอร์เซีย และอียิปต์ ใช้เป็นสารสีมานานตั้งแต่สมัยก่อนประวัติศาสตร์ ต่อมาในยุคกลางนิยมปลูกกันมากในอิตาลี ฝรั่งเศส และสเปน หลังจากนั้นสเปนนำไปเผยแพร่ในเม็กซิโก โคลอมเบีย และอเมริกา

ชาวญี่ปุ่นเรียกสารสีแดงจากดอกคำฝอยว่า *"beni"* ชาวอินเดียเรียกดอกคำฝอยว่า *"กุสมภ์"* และยังคงใช้ในการย้อมผ้ามาจนถึงปัจจุบัน คนจีนเรียก *"hong hua"* ชาวอาหรับเรียกว่า *"quartum"* หรือ *"gartum"* มีสีแดงอมเหลือง โปร่งแสง คั้นมาจากกลีบดอกคำฝอยซึ่งมีสีแดง ส้ม เหลือง ขาว คนจีนเอาดอกคำฝอยสด ๆ มาบดแล้วห่อด้วยผ้า คั้นเอาน้ำสีเหลือง แต่เดิมใช้ย้อมผ้า ต่อมาใช้ทำสารสี โดยเอาน้ำสีที่คั้นได้ไปตากในที่ร่ม ทำให้แห้งเป็นก้อน ๆ เวลาจะใช้งาน นำไปแช่ในน้ำอุ่นจนได้น้ำสี เติมด่าง (โซดาแอชหรือขี้เถ้า) เล็กน้อย จะได้สารสีแดง กรองด้วยผ้า คั้นเอาน้ำ ได้สีย้อมสีแดง เมื่อผสมกาว ใช้งานได้เลย หากผสมกับสีเหลืองจากขมิ้นจะได้สีเหลือง หากผสมกับสีแดงจากไม้ฝางจะได้สีน้ำตาลอมม่วง สารสีชนิดนี้ใช้เป็นสารสีในการสร้างสรรค์งานศิลปกรรมและสีย้อม นอกจากนี้ยังใช้ทำเครื่องสำอางและใช้ในการปิดทอง

สีส้มในภาพพิมพ์ไม้แกะของญี่ปุ่นใช้สีจากดอกคำฝอย

ภาพพิมพ์ที่มีชื่อเสียงของญี่ปุ่นระยะแรก ๆ ประมาณ ค.ศ. 1770 ใช้สารสีแดงจากดอกคำฝอย แต่ในสมัยเมจิ ใช้สีแดงครั่งที่นำเข้าจากจีน โดยนำเข้าผ้าสักหลาดที่ย้อมสีแดง จากนั้นนำมาแช่น้ำจนสีละลายออกมา แล้วเอาไปทำให้น้ำระเหยออกไป จนได้สีเป็นผงแห้ง ๆ

สารสีแดงจากดอกคำฝอยเป็นที่รู้จักกันในนาม Chinese rouge และ Pink saucers นอกจากนี้ยังมีชื่ออื่น ๆ อีก เช่น

- Carthamus red
- Carthame
- Carthamic acid
- Carthamin
- C.I. Natural Red 26
- False saffron
- Safflower red

คำว่า "รูจ" (rouge) มาจากภาษาฝรั่งเศส แปลว่า แดง ส่วนใหญ่หมายถึงผงสีแดงที่ทำมาจากเหล็กออกไซด์ทั้งที่ได้มาจากการสังเคราะห์และที่ได้มาจากธรรมชาติ นิยมใช้ทำผงขัด เช่น ผงขัดเครื่องประดับที่เรียกกันว่า Jeweller's rouge เป็นผงเหล็กออกไซด์สังเคราะห์ที่มีขนาดเล็ก อนุภาคละเอียดเนียนมาก เวลาขัดเครื่องประดับจะไม่ทำให้เกิดรอยขูดขีด รูจบางส่วนทำมาจากพืชและสัตว์ เช่น rouge vegetale หรือ Chinese rouge และ Assiette rouge ทำมาจากดอกคำฝอย แมดเดอร์ หรือครั่ง ในยุโรปนิยมใช้ตกแต่งหนังสือ โดยใช้ทาก่อนที่จะปิดทอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งตรงส่วนขอบของหนังสือ รูจเหล่านี้ใช้ทำสารสีได้ด้วย ส่วนแป้งปัดแก้ม (cosmetic rouge) มักทำมาจากโคชินีลผสมกับฝุ่นแป้ง

ดอกคำฝอย

สารสีแดงจากดอกคำฝอย

สีแดงจากดอกคำฝอยเป็นสีที่ชาวจีนโบราณใช้ทำกระดาษสีแดงใช้ในเทศกาลตรุษจีน ข้อเสียของสีแดงจากดอกคำฝอยคือ ไม่ทนต่อแสง ซีดจางง่าย หลังสงครามฝิ่น ชาวจีนนิยมใช้สีแดงจากต่างประเทศแทน เนื่องจากในขณะนั้นอุตสาหกรรมการผลิตสารสีกำลังเจริญก้าวหน้า มีสารสีต่าง ๆ ที่มีราคาไม่แพงและคุณภาพดีและใช้งานง่ายส่งเข้ามาจำหน่ายในจีนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เยอรมนีผลิตสารสีที่สวยสดงดงามได้หลายสี ปัจจุบันนี้มีสารสีแดงสังเคราะห์ที่มีคุณสมบัติเหนือกว่าจำนวนมาก

สีแดงจากดอกคำฝอยเป็นสีที่ชาวจีนโบราณใช้ทำกระดาษสีแดงใช้ในเทศกาลตรุษจีน ข้อเสียของสีแดงจากดอกคำฝอยคือ ไม่ทนต่อแสง ซีดจางง่าย

1.5.2.4 สีแดงจากฝาง สารสีแดงอีกชนิดหนึ่งที่เป็นที่นิยมมากในต่างประเทศคือสีแดงจากไม้หลายชนิด รวมถึงไม้ฝางด้วย ไม้ที่ให้สีแดงส่วนใหญ่เป็นไม้ในวงศ์ *Caesalpinia* และ *Haematoxylum* ซึ่งนำมาใช้ผลิตสีย้อมและสารสีอย่างแพร่หลาย ไม้เหล่านี้เป็นสินค้าสำคัญในคริสต์ศตวรรษที่ 17 ระหว่าง จีน ญี่ปุ่น และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

องค์ประกอบหลักของไม้พวกนี้คือสารประกอบที่ชื่อ brazilin (มีสีเหลือง) เมื่อถูกออกซิไดซ์จะได้ brazilein (มีสีแดงเข้ม) สามารถผลิตได้หลายเฉดสี ขึ้นอยู่กับชนิดของสารช่วยติด (mordant) จึงมีหลายชื่อ สารเคมีนี้ไม่ละลายในน้ำและแอลกอฮอล์ แต่ละลายได้บางส่วนในด่าง ได้สีแดงอมน้ำตาล หากทำปฏิกิริยากับกรดจะเปลี่ยนสีเป็นสีเหลือง–แดง ข้อเสียของสารสีกลุ่มนี้คือไม่ทนแสงสว่าง

สารสีจากไม้ฝางมีชื่อหลายชื่อ เช่น

- Brazil
- Brazilwood
- Brazilwood sawdust
- Brazilwood shavings
- C.I. Natural Red 24
- Permambuco
- Sappanwood

เอกสารที่ชาวต่างประเทศบันทึกไว้เมื่อคริสต์ศตวรรษที่ 17 กล่าวว่า นำชิ้นไม้มาชิมดูจะมีรสออกหวาน แล้วตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ใส่น้ำให้ท่วม ต้มเป็นเวลาหนึ่งวันหนึ่งคืน จนกระทั่งเหลือสารละลายเพียงครึ่งหนึ่งของปริมาตรเดิมก่อนต้ม ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ตักเนื้อไม้ทิ้งไป เอาของเหลวที่ได้มาผสมกับกาวอารบิก ทิ้งไว้จนกาวละลาย คนให้ทั่ววันละ 2–3 ครั้ง ค่อย ๆ ผสมสารส้มป่นละเอียดทีละน้อยจนมีสีแดงจัด จะได้ผงสีแดงสำหรับใช้งาน คนจีนใช้ทำยารักษาโรคหัวใจ ตับ ม้าม ลดปวดบวม ช่วยขับระดู ฆ่าเชื้อแบคทีเรีย และป้องกันเลือดแข็งตัว เมื่อต้องการใช้ในงานจิตรกรรม จะราดสารละลายสีแดงนี้ลงบนชอล์กหรือผงสีขาวอื่น ๆ แล้วทำให้แห้งจะได้ผงสีแดง ในคริสต์ศตวรรษที่ 17 เรียกผงสีชนิดนี้ว่า Rose pink หรือ Roset

ไม้ฝาง มีหลายชื่อ เช่น ชาวตะวันตกเรียกว่า Brazil wood ชาวอาหรับเรียกว่า bakkain ชาวมาเลย์เรียกว่า Supang ชาวจีนโบราณเรียกว่า Su fang ชาวจีนปัจจุบันเรียกว่า Su mu

ส่วนต่าง ๆ ของต้นฝาง

ไม้ฝางของไทยคือ *Caesalpinia sappan* มีชื่อสามัญว่า Sappan wood คำว่า "ฝาง" ของไทยอาจมีความสัมพันธ์กับคำว่า Su fang ของจีนโบราณ

ไม้ฝาง

สารสีแดงจากไม้ฝาง

สีย้อมที่สกัดจากไม้ฝาง

1.5.2.5 สีแดงเลือดมังกร (Dragon's blood) ได้มาจากเรซินของพืชในตระกูล Croton เช่น *Dracaena cinnabari*, *Daemonorops* (Rattan palms), *Calamus rotang* Pterocarp คนจีนนิยมใช้ทำยาและทำสารสี

ต้นเลือดมังกร

สารสีแดงจากต้นเลือดมังกร

สีแดงเลือดมังกรมีชื่ออื่น ๆ อีกมากมาย เช่น

- C.I. Natural Red 31
- Palm Dragon'sblood
- Sanguis draconis
- Socotra dragon's blood

สีแดงชนิดนี้มีใช้มากในจีน เช่น Rattan palms นิยมใช้ทาเครื่องเรือน ทำกระดาษแดง และป้ายต่าง ๆ ที่ใช้ประดับตกแต่งในเทศกาลต่าง ๆ แต่มีข้อเสียที่ซีดจางง่ายหรือสีหม่นหมอง สีมักเปลี่ยนไปเป็นสีน้ำตาล

การเตรียมสารสีแดงจากยางของต้นเลือดมังกร

ดอกคำแสด

1.5.2.6 **สีแดงจากคำแสด** เปลือกหุ้มเมล็ดของคำแสด คำเงาะ หรือคำใต้ (*Bixa orellana* L.) มีสารสีแดง–ส้มที่ละลายน้ำได้ เรียกว่าบิซินหรือไบซิน (Bixin) และสารประกอบอื่น ๆ เช่น norbixin crocetin และสารสีจำพวกคาโรทีนอยด์อีกหลายชนิด ถ้ามีสีออกเหลือง แสดงว่ามี norbixin มาก ถ้าสีออกส้มจะมี bixin มาก

สารสีแดงจากดอกคำแสด

สารสีชนิดนี้เป็นที่รู้จักดีในนาม **แอนแนตโท** (annatto) แหล่งวัฒนธรรมหลายแหล่งใช้สารสีชนิดนี้ในการผสมอาหาร ทาตัว ป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต ป้องกันแมลง และย้อมเส้นใย เมื่อจะใช้เป็นสารสีในการสร้างสรรค์งานศิลปกรรม มักจะทำเป็นสีเลค แต่สารสีชนิดนี้ซีดจางง่ายเมื่อได้รับแสงสว่าง ต่อมาสารสีแดงจากการสังเคราะห์ที่มีคุณสมบัติดีกว่าเป็นที่นิยมมากกว่า

เนื่องจากสารสีชนิดนี้หาง่ายและราคาไม่แพง บางคนจึงนำไปใช้งานแทนสีจากหญ้าฝรั่น (saffron)

1.5.3 **<u>สีชมพู–แดงจากปะการังสีแดง (Red coral)</u>** ปะการังบางชนิดในน้ำลึกมีสีแดง–ชมพู เรียกว่า Red coral เป็นปะการังในสกุล Corallium มีรูปร่างแผ่เป็นแผ่นคล้ายพัด มีโครงสร้างเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตร่วมกับสารสีแดง ซึ่งเป็นสารประกอบพวกคาโรทีนอยด์ (carotenoid) นิยมใช้ทำเครื่องประดับ เครื่องราง และใช้ทำสารสีได้

ปะการังสีแดง

ปะการังสีแดงที่ใช้ทำสารสีมีชื่ออื่น ๆ อีกหลายชื่อ เช่น

- Corallium japonicum
- Coral pink
- Dragon's blood
- Japan coral
- Precious coral
- Sango matsu
- ฯลฯ

1.5.4. **สีแดงจากการสังเคราะห์** ในคริสต์ศตวรรษที่ 20 และ 21 มีสารสีแดงที่ได้จากการสังเคราะห์ทางเคมีเกิดขึ้นมากมายทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ และเป็นที่นิยมใช้แทนสารสีแดงที่ได้จากธรรมชาติ เนื่องจากสามารถผลิตได้ปริมาณมาก ๆ ในคราวเดียวกัน ต้นทุนในการผลิตจึงต่ำ ทำให้สามารถจำหน่ายในราคาถูก การใช้อุปกรณ์วิทยาศาสตร์ในการควบคุมคุณภาพของสี ทำให้ได้สารสีตามมาตรฐาน ความรู้ด้านเคมีทำให้สามารถปรับปรุงคุณสมบัติของสารสีให้ทนต่อแสงสว่าง ทนต่อน้ำ และไม่เป็นพิษต่อผู้ใช้งาน

สารสีแดงจากการสังเคราะห์ที่ใช้มากบนงานศิลปกรรม ได้แก่

1.5.4.1 สีแดงแคดเมียม

สารประกอบแคดเมียมมีสีสันสดใสหลายสี ส่วนใหญ่เป็นสีเหลือง ส้ม และแดง สีแดงแคดเมียม (Cadmium red) เริ่มผลิตหลัง ค.ศ. 1910 แต่ราคาค่อนข้างแพง มีสีแดงอมส้ม ไม่เปลี่ยนสี สามารถปกปิดพื้นผิวได้ดี นิยมใช้แทนสีแดงชาด ซึ่งเปลี่ยนสีง่าย สีแดงแคดเมียมมีลักษณะกึ่งทึบแสง สามารถผลิตให้ได้ผงสีเหลือง ส้ม และแดง ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) หรืออาจเป็นแคดเมียมเซเลไนด์หรือแคดเมียมซัลโฟเซเลไนด์

สีแดงแคดเมียม

สารประกอบแคดเมียมเป็นอันตรายต่อสุขภาพ หากได้รับเป็นปริมาณมาก หรือได้รับครั้งละน้อย ๆ แต่ต่อเนื่องเป็นเวลานาน จะเกิดอาการผิดปกติ เช่น ปวดหัว เวียนหัว (บ้านหมุน) นอนไม่หลับ เหงื่อออก หากได้รับจากการหายใจจะมีอาการผิดปกติที่ระบบหายใจและไต หากได้รับทางปาก ไตและตับจะมีอาการผิดปกติ กระดูกพรุนเพราะสูญเสียมวลกระดูก ปวดข้อและปวดหลัง จึงเป็นที่มาของชื่อโรค itai-itai ในภาษาญี่ปุ่น คำว่า itai แปลว่า เจ็บ

สารสีที่ทำจาก
สารประกอบของแคดเมียม

1.5.4.2 สีแดงโครเมียม

สารสีแดงที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีอีกชนิดหนึ่ง ที่พบบ่อยคือ Chinese red, Chrome red หรือ Chrome orange มีสูตรเคมี basic lead chromate หรืออาจเป็น lead chromate oxide ซึ่งสังเคราะห์โดยการต้มสีขาวตะกั่วในสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตเข้มข้นและโซดาไฟเล็กน้อย

Chrome Red

สารสีกลุ่มนี้มีสีแดงอิฐ มีลักษณะเป็นผลึก เป็นสีที่คงทน แต่สีไม่ค่อยสดใส และพร้อมที่จะมีสีคล้ำเมื่อทำปฏิกิริยากับสารประกอบกำมะถัน

1.5.4.3 สีแดงอะลิซาริน (Alizarin crimson) เป็นสารอินทรีย์ที่ได้จากสังเคราะห์เพื่อแทนที่สีแดงแมดเดอร์ สังเคราะห์ขึ้นในเยอรมนี เมื่อ ค.ศ. 1868 (ตรงกับสมัยรัชกาลที่ 5) และผลิต Alizarin lake ใน ค.ศ. 1870 เป็นสีย้อมชนิดแรกที่สังเคราะห์ได้ ส่งผลให้การผลิตสีแดงแมดเดอร์ในฝรั่งเศสลดลงอย่างมาก

สีแดงอะลิซารินจะซีดจางง่ายหากระบายบาง ๆ อะลิซารินละลายในเฮกเซนและคลอโรฟอร์ม และจะเปลี่ยนสีเมื่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างเปลี่ยนไป จึงใช้เป็น pH indicator

Alizarin Crimson ซึ่งมีสีแดงเข้มได้รับความนิยมสูงสุดเรื่อยมา แต่ปัจจุบันมีสารสีแดงชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัติเหนือกว่ามาแทนที่คือ quinacridone ซึ่งทนแสงได้ดีกว่า

สีแดงอะลิซารินเป็นสารประกอบในกลุ่ม anthraquinone มีสูตรเคมี 1,2—dihydroxyanthraquinone ($C_{14}H_8O_4$) มีชื่อมากมายหลายชื่อ เช่น

- Alizarin crimson
- Alizarin brown
- Alizarin carmine
- Alizarin crap lake
- Alizarin crimson dark
- Alizarin crimson deep
- Alizarin crimson gold
- Alizarin crimson lake
- Alizarin Golden
- Alizarin lake
- Alizarin madder lake
- Alizarin madder deep
- Alizarin orange
- Alizarin red
- Alizarin red lake
- Alizarin scarlet
- Alizarin violet lake
- Antique crimson
- Brown madder
- C.I. Pigment Red 83
- Carmine(hue)
- Carmine red (hue)
- Crimson alizarin
- Crimson madder
- Kermes lake
- Indian lake alizarin
- Madder brown
- Madder carmine
- Madder lake
- Permanent alizarin crimson
- Permanent carmine
- Permanent crimson
- Permanent rose madder
- Permanent violet
- Red scarlet
- Rose madder
- Rose madder alizarin
- Rose madder deep
- Rose madder hue
- Rose madder lake
- Scarlet crap lake
- Synthetic madder
- ฯลฯ

อะลิซารินเลคมีสีต่าง ๆ กัน ขึ้นอยู่กับสารประกอบของโลหะที่เติมลงไป เช่น สารประกอบของอะลูมิเนียมจะให้สีแดง สารประกอบแคลเซียมให้สีแดงอมน้ำเงิน สารประกอบของเหล็กให้สีเปลือกมังคุด สารประกอบโครเมียมให้สีน้ำตาลอมแดง สารประกอบดีบุกให้สีแดงอมเหลือง

สีแดงอะลิซาริน

1.5.4.4 Quinacridone เป็นสีแดงสดใสที่บริษัท DuPont สังเคราะห์ขึ้นเมื่อ ค.ศ. 1958 เป็นที่นิยมมากในปัจจุบัน มีหลายชนิดและหลายสี ตัวอย่างเช่น Quinacridone pyrrolidone PR เกิดจากการนำ quinacridone มาผสมกับ pyrrolidone ให้ตกตะกอน มีสีแดงเข้มที่มีสีออกน้ำเงินเล็กน้อย มีชื่ออื่น ๆ อีกหลายชื่อ เช่น

- Blood red
- Quinacridone red orange
- Permanent alizarin crimson
- Permanent carmine
- Madder (hue)
- Madder red dark (hue)

ส่วนหนึ่งของสีแดง Quinacridone

1.5.4.5 Azo pigments

โดย Azo คือ สารสีสังเคราะห์ที่มีกลุ่ม azo หรือ R–N=N–R* อยู่ในโมเลกุล สารสีชนิดนี้ไม่ละลายน้ำและมีสีสดใสมาก ตั้งแต่สีเหลือง–แดง–ส้ม และเป็นสารสีที่ทนต่อแสงสว่างได้ดี การจำแนกชนิดของสารสี ขึ้นอยู่กับจำนวนของกลุ่ม azo

Azo Pigment

Monoazo (มีกลุ่ม azo หนึ่งกลุ่ม) เริ่มมีใช้เมื่อ ค.ศ. 1909 จากนั้นมีการพัฒนามาเรื่อย ๆ ผลิตสารสีเหลืองออกมาสู่ตลาด โดยใช้ชื่อการค้า "Hansa" ซึ่งอาจเป็นสีเลค (ผสมกับผงสีขาว เช่น แคลเซียมคาร์บอเนตหรือเกลือแอมโมเนียม) หรือเป็นสารสีเดี่ยว ๆ ตัวอย่างเช่น Diarylide yellow pigment เป็นสารสีเหลืองที่สังเคราะห์และจดลิขสิทธิ์เมื่อ ค.ศ. 1911 ใช้มากในการทำหมึกพิมพ์

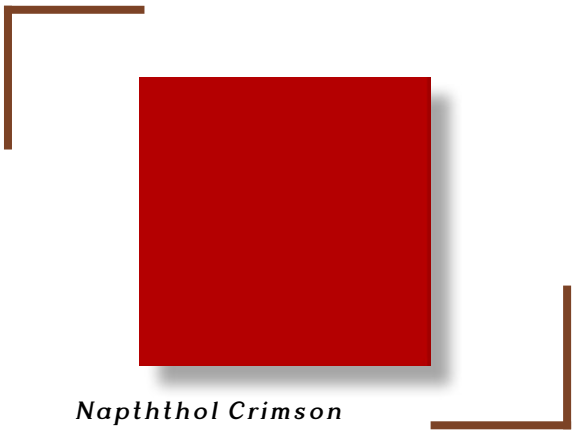
สารสีแดงที่สำคัญในกลุ่มนี้คือ Toluidine red ซึ่งเป็นสารประกอบ monoazo หรือ beta—naphthol toluidine มีสีแดงคล้ำ มีหลายชื่อ เช่น

- Barn red
- Bright red
- Chinese red
- Vermilion Hue
- Chinese vermilion substitute
- C.I. Pigment Red 3
- Cinnabar red
- Cinnabar red deep (hue)
- Eljon red
- Eljon scarlet
- Geranium lake
- Hansa red
- Hansa scarlet
- Harrison red
- Helio red
- Helio fast red
- Imitation vermilion
- Kenalake scarlet
- Lithol red
- Madder lake (hue)
- Poster red
- Scarlet
- Scarlet lake
- Solintor scarlet

สารประกอบ monoazo อีกชนิดหนึ่งคือ Naphthol red มีหลายสี ตั้งแต่สีเหลือง — แดงปานกลาง - สีแดงอมน้ำเงินสดใส น้ำตาล—ม่วง สารสีนี้มีชื่ออื่น ๆ อีกหลายชื่อ เช่น

- Naphthol red
- Carmine (hue)
- Carmine red(hue)
- C.I. Pigment red 5
- Crimson
- Fast carmine FB
- Magenta
- Naphthol carmine FB
- Naphthol crimson
- Naphthol red
- Permanent carmine
- ฯลฯ

Beta-naphthol จัดเป็น monoazo ชนิดหนึ่ง เริ่มผลิตใน ค.ศ. 1889 มีสีส้ม-แดงปานกลาง ใช้เป็นสารสีที่ใช้ในงานศิลปกรรม



Napththol Crimson

สารประกอบพวก diazo (มีกลุ่ม azo สองกลุ่ม) เกิดจากการควบแน่นสารประกอบ carboxylic monoazo สองโมเลกุลเข้ากับ aromatic diamine ผลที่ได้เป็นสารเคมีโมเลกุลใหญ่ มีสีต่าง ๆ เช่น เหลืองอมเขียว - ส้ม — แดงอมน้ำเงิน — น้ำตาล สารเคมีนี้ทนต่อตัวทำละลายและทนต่อการเคลื่อนที่ของสี

1.5.4.6 สีแดงทับทิม เป็นสารสีแดงที่ได้จากปฏิกิริยาเคมีที่มีชื่อเสียงมากในปลายคริสต์ศตวรรษที่ 17 ใช้ได้กับภาพเขียน แก้ว เครื่องปั้นดินเผา เครื่องเคลือบ เครื่องลงยา มีชื่อเรียกว่า Purple of cassius ตามชื่อของผู้ค้นพบคือ **Andreas Cassius the elder** สารตั้งต้นในการผลิตคือสารละลายของทองในกรดกัดทอง ได้สารละลายแขวนตะกอนสีแดงทับทิม –ม่วง จากนั้นนำไปราดลงบนดีบุกออกไซด์

1.5.4.7 สีม่วงแดง (Purple red) เป็นสีสังเคราะห์ที่ได้จากปฏิกิริยาระหว่างซิลเวอร์ไนเตรตกับโพแทสเซียมโครเมต ได้ซิลเวอร์โครเมต (Ag_2CrO_4) ซึ่งมีสีม่วงแดง นอกจากนี้ยังมีสารสีแดงจากการสังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีอีกจำนวนมาก

2. กลุ่มสีขาว

สารสีที่มีสีขาวมีหลายชนิด ได้แก่

2.1 ดินขาว (Kaolin)

สารสีขาวที่หาง่ายและราคาไม่แพงทำจากดินขาว ดินที่มีสีขาวเป็นดินที่มีแร่คาโอลิไนต์ (kaolinite) เป็นปริมาณสูง โดยมีองค์ประกอบหลากหลาย อาจมีเหล็กออกไซด์เจือปน ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิด ทำให้มีสีออกเหลือง ชมพู ส้ม แดง ดินขาวที่มีชื่อเสียงของจีนมีชื่อเรียกว่าเคโอลินหรือคาโอลิน (kaolin) บางคนเรียกว่าดินเกาเหลียง (Gaoling) ซึ่งพบมากที่จิ่งเต่อเจิ้น แหล่งผลิตเครื่องปั้นดินเผาที่สำคัญของจีน

ดินขาวใช้เป็นสารรองพื้นบนจิตรกรรมฝาผนังและจิตรกรรมบนไม้มาแต่โบราณหรือใช้สำหรับทำสีเลค เนื่องจากบริสุทธิ์ มีความสามารถในการดูดซับสูง และมีการหดตัวและขยายตัวน้อย

นอกจากนี้มักใช้ดินขาว เป็นสารเติมเต็ม (extender หรือ insert pigment) ในสารสีอื่น ๆ เพื่อเพิ่มปริมาณเนื้อสีและลดค่าใช้จ่าย บางครั้งใช้ดินขาวเพื่อปรับความมันเงา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในคริสต์ศตวรรษที่ 18 มีการผลิตสารสีในระดับอุตสาหกรรม จึงใช้ดินขาวเป็นสารเพิ่มเนื้อสีเพิ่มมากขึ้น เช่น สารสีน้ำเงินปรัสเซียนบลูหรือครามที่ผสมกับดินขาวในขั้นตอนการผลิต มีชื่อเรียกว่า Mineral blue

ช่างเขียนไทยใช้ดินขาวมาเผาไฟ จนสุกดี แล้วบดให้ละเอียดเป็นผง ผสมน้ำกาวอย่างเจือจาง กรองเอากากและสิ่งเจือปนออก กวนให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 3–4 วันให้นอนก้น ปล่อยให้แข็งตัว เมื่อจะใช้งาน นำมาบดให้ละเอียด จะได้สีขาวนวล ๆ นิยมใช้ทำชั้นรองพื้นและระบายงานหยาบ ๆ

2.2 สีขาวจากปูนขาว (Lime white)

สีขาวจากปูนขาว (Lime white, Armenian's white, Portlandite หรือ Saint John's white) ให้สีขาวจัด ทำจากหินปูนที่เผาไฟจนสุกแล้วบดให้ละเอียด จากนั้นกรองแล้วหมักในน้ำ แล้วตากให้แห้ง จากนั้นบดให้ละเอียดจนเป็นฝุ่น องค์ประกอบหลักคือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมคาร์บอเนต ในอิตาลีนิยมใช้สีขาวจากหินปูนในการเขียนภาพจิตรกรรมปูนเปียก

สีขาวอีกชนิดหนึ่งที่มีองค์ประกอบคล้ายสีขาวจากปูนขาวคือ ผงหินอ่อน มักนำมาผสมกับปูนขาว เพื่อเป็นชั้นรองพื้นก่อนเขียนภาพจิตรกรรมปูนเปียกและภาพเขียนด้วยสีชี้ผึ้ง

ชอล์กจัดเป็นหินปูนชนิดหนึ่ง มีอนุภาคเล็กละเอียดมาก มักมีสีขาวและมีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะใช้เป็นสารสี วิธีการผลิต เริ่มจากการนำวัตถุดิบที่ได้จากแหล่งมาบดแล้วแยกสิ่งเจือปนที่มีขนาดใหญ่กว่าออกด้วยการล้างน้ำ จะสามารถแยกชอล์กที่มีขนาดอนุภาคต่าง ๆ ออกจากกัน จากนั้นนำไปอบความร้อนให้แห้ง ซึ่งอาจทำให้มีแคลเซียมออกไซด์ปะปนบ้างถ้าใช้ความร้อนสูงเกินไป

ชอล์กเป็นสารสีที่โปร่งใสเมื่อใช้กับสารยึดแทบทุกชนิด จึงนิยมใช้เป็นสารเพิ่มเนื้อสีหรือผสมกับกาวหนังสัตว์เพื่อใช้เป็นชั้นรองพื้น ข้อมูลที่ปรากฏในเอกสารโบราณในแหล่งอารยธรรมต่าง ๆ เรียกชอล์กด้วยชื่อต่าง ๆ กันหลายชื่อตามแหล่งที่พบ เช่น

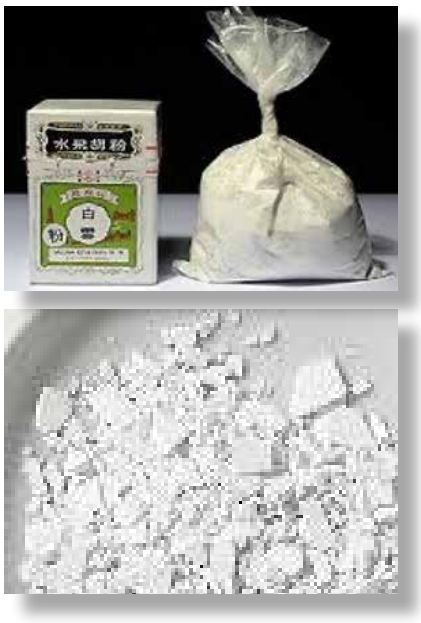
- Paris white
- Meudon white
- Rouen white
- Bougeval white
- White of Troys
- Troy white
- Troyes white
- Champagne white
- English white
- Spanish white
- ฯลฯ

ปัจจุบันมีการผลิตแคลเซียมคาร์บอเนตด้วยวิธีเคมี โดยการตกตะกอนให้ได้แคลเซียมคาร์บอเนตที่มีอนุภาคเล็กละเอียดและสม่ำเสมอ และมักเรียกว่าชอล์กเช่นกัน

สารสีขาวที่ใช้มากเป็นรองพื้นในจิตรกรรมไทยประเพณีของไทยคือดินสอพองหรือปูนมาร์ล (marl) ซึ่งประกอบด้วยดินเหนียวและแคลเซียมคาร์บอเนต นำมาผสมสารยึดซึ่งมักใช้กาวแป้งที่ทำจากเมล็ดมะขาม

2.3 สีขาวจากเปลือกหอย (Shell white)

สีขาวกลุ่มนี้ทำจากเปลือกหอยสองฝา มักใช้เปลือกหอยนำมาเผาคั่ว แล้วบดเป็นผง เติมน้ำเล็กน้อย จนได้ส่วนผสมข้น ๆ จากนั้นนำไปต้มสองชั่วโมง ช้อนฟองทิ้งไป นำส่วนผสมนี้มาสามส่วนผสมกับกาวสองส่วน กวนให้เข้ากัน ทิ้งให้แห้ง เวลาใช้งาน นำมาแช่น้ำสองวัน สีขาวจากเปลือกหอยของญี่ปุ่นทำจากเปลือกหอยนางรม เรียกว่า *gofun* เป็นสารสีที่มีคุณภาพดี ก่อนคริสต์ศตวรรษที่ 15 ชื่อ *gofun* ใช้เรียกสีขาวตะกั่ว สีขาวจากเปลือกหอยอาจใช้โดยไม่ผสมสารสีอื่น ๆ หรือผสมกับสารสีอื่น



Shell White

ช่างเขียนในญี่ปุ่นและจีนใช้สีขาวจากเปลือกหอยนางรมมาแต่โบราณ บางกรณีนำเปลือกไข่มาเผาแล้วบดให้ละเอียด ถ้าเปลือกไข่มีสีขาวจะได้ผงสีขาว แต่ถ้าเปลือกไข่มีสีอื่น ๆ จะได้ผงสีที่มีสีอื่น ๆ เช่น สีครีมหรือสีน้ำตาลอ่อน

สารสีจากเปลือกไข่

ผงไข่มุก (Pearl powder) ได้จากการนำไข่มุกน้ำจืดหรือไข่มุกน้ำเค็มที่มีคุณภาพต่ำมาฆ่าเชื้อด้วยน้ำเดือด แล้วบดให้ละเอียด ใช้ทำเครื่องสำอาง ยา และเป็นสารสีจีนเรียกว่า zhen zhu fen

สารสีขาวอีกชนิดหนึ่งอาจทำจากกระดองปลาหมึกที่เอามาบดละเอียด นิยมผสมกับสารสีที่โปร่งใสเพื่อเพิ่มเนื้อสี ช่างบางคนใช้เป็นฐานสำหรับสีเลค

นอกจากนี้ยังมีสารสีขาวที่ทำจากปะการัง ชาวญี่ปุ่นเรียกว่า sango matsu ซึ่งแปลว่าผงปะการัง จัดเป็นสารสีที่มีค่า มักมีสีออกชมพู ชาวปาปัวนิวกินีเอาปะการังมาเผาแล้วทำปูนหมัก เพื่อใช้เป็นสารสี

2.4 สีขาวจากกระดูก (Bone white หรือ Bone ash)

สีขาวจากกระดูกเกิดจากการนำกระดูกสัตว์ไปเผา จากนั้นบดให้ละเอียด จะได้ผงสีขาวอมเทา เทา น้ำตาล ดำ ขึ้นอยู่กับชนิดของกระดูกสัตว์ ซึ่งมีองค์ประกอบแตกต่างกัน กระดูกมีองค์ประกอบที่เป็นสารอินทรีย์อยู่ร่วมกับสารอนินทรีย์ โดยทั่วไปมีสารอินทรีย์ประมาณ 20–20% และสารอนินทรีย์ 60–70% ที่เหลือเป็นน้ำประมาณ 10% สารอินทรีย์ในกระดูกคือคอลลาเจน ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีลักษณะเป็นเส้นใยยาว ๆ อยู่รวมกันเป็นมัด ช่องว่างระหว่างเส้นใยเหล่านี้มีสารอนินทรีย์เข้าไปสะสม ส่วนใหญ่คือแคลเซียมฟอสเฟตหรือชื่อทางแร่คือ apatite เมื่อถูกเผาที่อุณหภูมิ 500–600 องศาเซลเซียส คอลลาเจนจะกลายเป็นโคก (coke) อยู่ร่วมกับ apatite หรือหายไป ถ้าเพิ่มความร้อนขึ้นอีก ผลึกของ apatite จะใหญ่ขึ้นและจัดเรียงตัวใหม่เป็นผลึกรูปหลายเหลี่ยมที่มีขนาดใหญ่ขึ้น องค์ประกอบทางเคมีคือ calcium hydroxyapatite และ calcium carbonate

เถ้ากระดูก

เถ้ากระดูก (Bone ash) เกิดจากการเผากระดูกที่อุณหภูมิประมาณ 1,100 องศาเซลเซียส แล้วผ่านกระบวนการอีกหลายขั้นตอนจนเป็นผงละเอียด นิยมใช้ในการเตรียมรองพื้นและเพิ่มเนื้อและผิวสัมผัสของสีน้ำมัน

สีขาวกลุ่มนี้มีคุณสมบัติดีเด่นหลายประการ เช่น โครงสร้างภายในของแต่ละอนุภาคยังคงมีลักษณะเป็นเซลล์เหมือนเดิม ทำให้สารสีชนิดนี้ทนทานต่อการส่งผ่านความร้อนหรือมีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อน นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติไม่เปียกน้ำ ไม่ว่องไวในปฏิกิริยาเคมี ไม่มีสารอินทรีย์เหลืออยู่ จึงทำให้ได้ชั้นรองพื้นที่ทนทานและมีพื้นผิวขรุขระเล็กน้อยเหมาะสมกับสีเทมเพอรา สีชี้ผึ้ง และสีน้ำมัน เมื่อผสมกับชอล์กและเจสโซ (gesso) เพื่อทำชั้นรองพื้นจะช่วยเพิ่มความสามารถในดารดูดซับสีและช่วยทำให้เกิดผิวสัมผัส

2.5 สีขาวตะกั่ว (White Lead)

สีขาวตะกั่วมีหลายชนิด ทั้งที่ได้จากธรรมชาติและที่ได้จากการสังเคราะห์ ส่วนใหญ่มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นตะกั่วคาร์บอเนตไฮดรอกไซด์ [$2PbCO_3.Pb(OH)_2$] บางทีเรียกว่า Flake white หรือสีจาดตะกั่ว และมีชื่ออื่น ๆ อีกมากมาย เช่น

- Lead white
- Berlin white
- Silver white
- Body white
- Ceruse
- Pure ceruse
- Cerassa
- Cerassa alba
- Condy'white lead
- Cremitz
- Kremitz
- Crems
- Krems
- Kremser white
- Dutch white
- French white
- Hamburg white
- London white
- Nottingham white
- Pattison's white
- Roman white
- Slate white
- Venetian white
- Vienna white
- shui fen (จีน)

สีขาวตะกั่วส่วนใหญ่มีสูตรเคมีเหมือนกับแร่ตะกั่วที่มีชื่อว่า hydrocerussite นอกจากนั้นอาจเป็นแร่เซรัสไซต์ (cerussite) ตะกั่วคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ ตะกั่วฟอสเฟต ตะกั่วซัลเฟต แร่สีขาวเหล่านี้เคยมีผู้นำมาใช้เป็นเครื่องสำอาง ทำให้หน้าและผิวขาวในสมัยโบราณ

ผงสีขาวจากแร่เซรัสไซต์

สารเคมีชนิดนี้สามารถสังเคราะห์ขึ้นได้ด้วยปฏิกิริยาเคมี ระยะแรก ๆ ใช้แผ่นตะกั่วใส่ในภาชนะที่มีกรดน้ำส้ม ทิ้งไว้ 3–4 เดือน ตะกั่วทำปฏิกิริยากับกรดน้ำส้ม โดยมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอากาศร่วมด้วย ได้ผลึกสีขาวเกาะอยู่บนแผ่นตะกั่ว เมื่อขูดออกมาล้างแล้วทำให้แห้ง จะได้สีขาวตะกั่ว แต่สารสีที่ได้มักมีสารเคมีอื่นปะปนอยู่ด้วยเล็กน้อย จึงอาจมีสีออกชมพูหรือเหลืองเล็กน้อย

สีขาวตะกั่ว

การทำสีขาวตะกั่ว

ต่อมามีการพัฒนากระบวนการผลิตสีขาวตะกั่วมาโดยลำดับ ทำให้ใช้เวลาน้อยลง เช่น กระบวนการผลิตในอิตาลี เยอรมนี และอังกฤษ ในคริสต์ศตวรรษที่ 18 เรียกว่า Chamber process ใช้แผ่นตะกั่วห้อยบนคานในห้องอบความร้อนด้วยก๊าซ กระบวนการผลิตในฝรั่งเศส เมื่อต้นคริสต์ศตวรรษที่ 19 เรียกว่า Thenard process หรือ French process ใช้ litharge เป็นสารตั้งต้น ได้ผงสีขาวคุณภาพดีมีชื่อเรียกว่า Silver white อังกฤษก็ใช้กระบวนการคล้าย ๆ กัน กระบวนการผลิตของสหรัฐอเมริกาในคริสต์ศตวรรษที่ 19 เรียกว่า Bailey process ใช้เส้นใยตะกั่ว ซึ่งมีพื้นที่ผิวมากขึ้น จึงเกิดผงสีขาวมากขึ้น แต่วิธีนี้ไม่ประสบความสำเร็จในทางการค้า อีกวิธีหนึ่งเรียกว่า Matheson process ใช้เม็ดตะกั่วเป็นสารตั้งต้น ใส่ในถังที่มีกรดน้ำส้ม แล้วอัดอากาศและไอน้ำเข้าไป เมื่อพื้นผิวของตะกั่วมีสารประกอบตะกั่วอะซีเตตปกคลุม อัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไป เพื่อเปลี่ยนให้เป็นตะกั่วคาร์บอเนต อีกกระบวนการหนึ่ง ใช้ตะกั่วเม็ดเล็ก ๆ ที่เกิดจากการใช้ตะกั่วที่หลอมเหลวพ่นเข้าไปเหนือไอน้ำที่มีแรงดันสูงภายในถังไม้ แล้วพ่นกรดน้ำส้มเป็นระยะ ๆ พร้อมกับอัดอากาศร้อน ๆ ที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในถัง ตะกั่วจะถูกเปลี่ยนไปเป็นสีขาวตะกั่วภายในเวลา 10–12 วัน กระบวนการนี้เรียกว่า Cater process

ผงสีขาวที่เป็นตะกั่วซัลเฟตไม่นิยมใช้ในงานจิตรกรรม เนื่องจากไม่คงทนและมีความเป็นพิษสูง ร่างกายสามารถดูดซึมเข้าทางผิวหนังได้

ปลายคริสต์ศตวรรษที่ 19 ถึงต้นคริสต์ศตวรรษที่ 20 โรงงานในสหรัฐอเมริกาผลิตสีขาวตะกั่วด้วยวิธี Electrolysis โดยให้กระแสไฟฟ้าผ่านโลหะตะกั่วและสารละลายโซเดียมไนเตรต จะเกิดตะกั่วไนเตรตและโซเดียมไฮดรอกไซด์ขึ้น แล้วทำปฏิกริยากันต่อไปได้ตะกั่วไฮดรอกไซด์ จากนั้นเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตลงไป จะเกิดตะกั่วคาร์บอเนตขึ้น สีขาวตะกั่วที่ผลิตด้วยวิธีนี้เรียกว่า Electric lead white

สีขาวตะกั่วที่มีจำหน่าย มีทั้งที่เป็นก้อนแข็งและที่บดผสมกับน้ำมัน เป็นสีที่มีน้ำหนัก ทึบแสง ปกปิดผิวได้ดี ทนความชื้นได้ดี มีแรงยึดเหนี่ยวสูง เข้ากันได้ดีกับสารยึดต่าง ๆ แต่นิยมใช้กับน้ำมันลินสีดและน้ำมันสน แต่ต้องบดให้ละเอียดมาก ๆ เพื่อให้สีสดใส สีขาวตะกั่วไม่ควรใช้กับจิตรกรรมปูนเปียก

สีขาวตะกั่วมักผสมกับสารสีขาวอื่น ๆ เช่น ชอล์ก แบไรต์ ดินขาว ยิปซัม ฯลฯ จิตรกรชาวดัตช์นิยมใช้สีขาวตะกั่วผสมกับชอล์กเป็นชั้นรองพื้น

สีขาวตะกั่วมีข้อเสียคือ จะเปลี่ยนสี เมื่ออยู่ในที่มืดจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง และเปลี่ยน เป็นสีเทา–ดำ เมื่อทำปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ก๊าซไข่เน่า) ในอากาศ และไม่สามารถผสมกับผงสีที่มีกำมะถัน เช่น สีแดงชาด สีเขียวโครเมียม ฯลฯ ที่สำคัญคือมีความเป็นพิษ หากร่างกายได้รับสารตะกั่วมาก ๆ จะทำให้เกิดโรคพิษตะกั่ว

สารประกอบของตะกั่วอีกชนิดหนึ่งที่มีสีขาวคือตะกั่วซัลเฟต ($PbSO_4$) ซึ่งผลิตจากของเสียที่เหลือจากกระบวนการถลุงตะกั่ว รวมทั้ง slag ที่เกิดขึ้นและแร่ตะกั่วที่มีคุณภาพต่ำ ผงสีขาวที่เป็นตะกั่วซัลเฟต มีชื่อทางการค้าว่า Flemish white, Muhlausem, white Sublimed white lead, Bartlett lead สารสีขาวชนิดนี้ไม่นิยมใช้ในงานจิตรกรรม เนื่องจากไม่คงทนและมีความเป็นพิษสูง ร่างกายสามารถดูดซึมเข้าทางผิวหนังได้ คนจีน ญี่ปุ่น และชาวยุโรปสมัยก่อนนิยมใช้ทาหน้าเพื่อให้หน้าขาว ปัจจุบันเปลี่ยนมาใช้แป้งข้าวเจ้าและแป้งอื่นที่ไม่เป็นพิษ

ปัจจุบันมีการผลิตสีขาวตะกั่วที่ไม่เป็นพิษ มีชื่อเรียกว่า Freeman's Non Poisonous White lead ซึ่งประกอบด้วยตะกั่วซัลเฟต สังกะสีออกไซด์ แมกนีเซียมคลอไรด์ และแบไรต์ที่ได้จากการสังเคราะห์

2.6 สีขาวสังกะสี (Zinc white, Chinese white หรือ Permanent white)

ใน ค.ศ. 1721 มีการค้นพบวิธีการแยกสังกะสีออกจากแร่ หลังจากนั้นใน ค.ศ. 1782 สามารถผลิตสังกะสีออกไซด์ (ZnO) ได้ แต่ช่วงแรก ๆ ไม่ทึบแสง บริษัท Winsor & Newton จึงพยายามพัฒนาคุณภาพให้ทึบแสง โดยใช้ความร้อนในการทำปฏิกิริยา ทำให้สามารถผลิตสีขาวสังกะสีที่ทึบแสงได้ใน ค.ศ. 1834 และตั้งชื่อว่า Chinese white ทำจากสังกะสีออกไซด์ที่มีอนุภาคเล็กละเอียดมาก ๆ อังกฤษเริ่มผลิตในระดับอุตสาหกรรมใน ค.ศ. 1794–1796

กระบวนการผลิตของฝรั่งเศส ใช้วิธีการเผาไอของสังกะสีที่เกิดจากสังกะสีที่กำลังหลอมเหลว ส่วนในอเมริกา ผลิตโดยใช้แร่สังกะสีผสมกับถ่านหิน แล้วเผา จากนั้นดักจับควันสีขาว (สังกะสีออกไซด์) ที่เกิดขึ้น

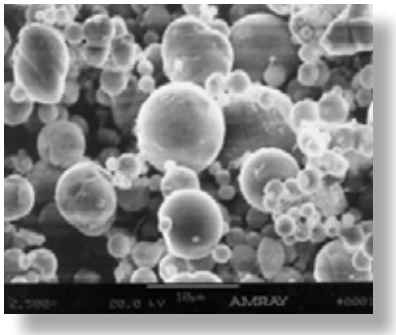
สังกะสีออกไซด์ มีสีขาวออกน้ำเงินเล็กน้อย มีความทึบแสงปานกลาง สังกะสีออกไซด์มักใช้ผสมกับสีอื่น ๆ เกิดสีอ่อน ๆ นิยมใช้ทำสีน้ำเมื่อ ค.ศ. 1834 แต่ตอนแรกผสมกับน้ำมันได้ไม่ดี ระยะต่อมาจึงแก้ไขข้อเสียนี้ได้ ใช้ทำสีน้ำมันได้ใน ค.ศ. 1845 หลังจาก ค.ศ. 1850 สีขาวสังกะสีจึงมีใช้แพร่หลายในยุโรป ตอนปลายคริสต์ศตวรรษที่ 19 ผงสีขาวสังกะสีมีชื่อเรียกว่า Permanent white และ Constant white ปัจจุบันใช้สังกะสีออกไซด์ผสมกับโคบอลต์ออกไซด์และบิสมัทออกไซด์ เพื่อผลิตสารสีเขียวและเหลืองใหม่ ๆ

สีขาวสังกะสีมีคุณสมบัติดีกว่าสีขาวตะกั่ว ทนแสงสว่างได้ดี ไม่เปลี่ยนสี ไม่เป็นพิษ และราคาถูก สามารถใช้ร่วมกับสารสีอื่น ๆ ได้ดี มักผสมกับสีขาวตะกั่ว แบเรียมซัลเฟต หรือไทเทเนียมไดออกไซด์ เพื่อปรับปรุงคุณภาพของสีที่ใช้งานกลางแจ้ง เพราะหากใช้โดยไม่ผสมกับผงสีอื่น ๆ เมื่อแห้งมักจะได้ชั้นสีที่เปราะ ระหว่าง ค.ศ. 1890–1900 นิยมใช้สีขาวสังกะสีทำชั้นรองพื้นสำหรับภาพเขียนสีน้ำมัน แต่ต่อมาพบว่าชั้นรองพื้นดังกล่าวมีรอยแตกร้าวมาก จึงไม่เป็นที่นิยม ถ้าใช้กับสีน้ำมันจะแห้งช้า จึงต้องผสมตะกั่วซัลเฟต เพื่อเป็นสารเร่งแห้ง นอกจากนี้ยังนิยมใช้เป็นสารที่ทำให้สารสีอื่น ๆ มีสีอ่อนลง

สีขาวสังกะสีมีหลายชนิด เช่น

- anhydrous zinc oxide
- hydrated oxide
- hydrated basic carbonate of zinc
- zinc phosphate
- zinc sulfate
- zinc sulfide
- zinc titanate

คนไทยสั่งซื้อสีนี้จากเรือสินค้า เรียกว่าฝุ่นขาวจีนหรือฝุ่นจีน ตามชื่อ Chinese white (แต่ผลิตที่อังกฤษ) สารสีขาวชนิดนี้ไม่เป็นพิษต่อสุขภาพ ผู้แสดงอุปรากรจีนนิยมใช้ผัดหน้า



สังกะสีออกไซด์ ถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

สีขาวสังกะสี

Hoffman & Savacz (1969) รายงานว่า เมื่อสังกะสีออกไซด์ได้รับรังสีอัลตราไวโอเลตจะกระตุ้นให้เกิดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งทำให้สารสีอื่น ๆ ที่อยู่ใกล้สูญเสียน้ำแล้วเปราะกรอบ นอกจากนี้ สีขาวสังกะสีเร่งการซีดจางของสารสีอื่น ๆ ที่ใช้ร่วมกัน เช่น ปรัสเซียนบลู

นอกจากนี้ยังมีสารประกอบของสังกะสีอื่น ๆ ที่มีสีขาว เช่น กลุ่มของสังกะสีซัลไฟด์ ซึ่งเกิดขึ้นตามธรรมชาติเป็นแร่ matraite, wurtzite, sphalerite ซึ่งมักมีเหล็กอยู่ด้วย เช่น (Zn,Fe)S หรือสังเคราะห์ขึ้นมา สังกะสีซัลไฟด์ทึบแสงมาก เริ่มใช้งานตั้งแต่ ค.ศ. 1852 ตอนแรกมีสีออกเทา เพราะมีเหล็กซัลไฟด์อยู่ด้วย 70 ปีต่อมา สามารถทำให้บริสุทธิ์ขึ้น

สารสีขาวอีกชนิดหนึ่งได้จากสังกะสีคาร์บอเนตไฮดรอกไซด์ [$3ZnCO_3 . 3Zn(OH)_2$] ซึ่งเกิดขึ้นตามธรรมชาติ เป็นแร่ hydrozincite และสีขาวสังกะสี–ตะกั่ว ทำจากแร่สังกะสีผสมกับตะกั่วแล้วทำให้เกิดการระเหิด (sublimation)

2.7 สีขาวไทเทเนียม (Titanium White)

สีขาวไทเทเนียม คือสารประกอบไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารสีที่ทึบแสงมาก และให้สีขาวเจิดจ้ามากกว่าสารสีขาวอื่น ๆ ปกปิดพื้นผิวได้ดี ไม่เปลี่ยนเป็นสีเหลือง ทนต่อกรดและความร้อน ดูดซับได้ดี ความหนาแน่นสูง มีคุณสมบัติเฉื่อย สามารถเข้ากันได้ดีกับสารสีอื่น ๆ จึงมักผสมกับสารสีอื่น ๆ เช่น สังกะสีออกไซด์ จะได้ชั้นสีที่แข็งแรงขึ้น ทนการขัดสีได้ดี หากใช้สีขาวไทเทเนียมอย่างเดียวโดยไม่ผสมกับสารสีอื่น ๆ จะได้ชั้นสีที่นุ่มและป่นเป็นผงได้ง่าย จึงเป็นที่นิยมใช้แทนสีขาวตะกั่ว เริ่มใช้ตอนปลายสงครามโลกครั้งที่ 1

> สารประกอบไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารสีที่ทึบแสงมาก และให้สีขาวเจิดจ้ามากกว่าสารสีขาวอื่น ๆ

ไทเทเนียมไดออกไซด์มีผลึกสามแบบที่เกิดจากการปรับโครงสร้างของผลึก ทำให้ผลึกมีเสถียรภาพไม่เท่ากัน เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมบางอย่าง รูปผลึกที่ไม่เสถียรจะเปลี่ยนไปเป็นรูปผลึกที่เสถียรกว่า การเปลี่ยนแปลงรูปผลึกทำให้คุณสมบัติบางอย่างเปลี่ยนแปลงไป เช่น anatase ทนต่อการผุพังอยู่กับที่ (weathering) ไม่ดีเท่า rutile นอกจากนี้ rutile ยังมีดัชนีหักเห 2.76 สูงกว่า anatase ซึ่งมีดัชนีหักเห 2.52 มีความถ่วงจำเพาะสูงกว่าและสามารถทำให้สีอื่นอ่อนลงได้ดีกว่า anatase

สีขาวไทเทเนียม

Anatase เกิดปฏิกริยาได้ง่ายเมื่อมีแสงสว่าง จึงเหมาะกับงานภายในส่วน rutile ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับแสง จึงมักใช้กับงานกลางแจ้ง

2.8 สีขาวแบเรียมซัลเฟต (Blanc fixe, Process White หรือ Permanent White)

แบเรียมซัลเฟตเป็นแร่ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เรียกว่า แร่แบไรต์ (baryte) มีลักษณะเป็นผลึกรูปยาว ๆ แบน ๆ หรือเป็นก้อนหรือมีลักษณะคล้ายเส้นใย หรือเป็นเม็ด ๆ และสามารถสังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาเคมีหลายกระบวนการ เช่น นำแร่มาล้างและแยกสิ่งเจือปนด้วยกรดเกลือหรือกรดซัลฟิวริก จากนั้นล้างและกรองหลาย ๆ ครั้ง ได้ผงสีขาวที่บริสุทธิ์กว่าแร่แบไรต์ มีคุณภาพแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาค บางครั้งเติมอัลตรามารีนเล็กน้อยเพื่อเพิ่มความขาว บางกระบวนการสังเคราะห์เริ่มต้นจากนำแร่แบไรต์มาเผา จะได้แบเรียมซัลไฟด์ นำไปละลายน้ำแล้วกรอง จากนั้นเติมโซเดียมซัลเฟตจะได้ผลึกแบเรียมซัลเฟต

สีขาวแบเรียมซัลเฟต

แร่แบไรต์

แบเรียมซัลเฟตเป็นหนึ่งในสารสีกลุ่ม Mineral white สารสีขาวชนิดนี้นิยมใช้เป็นสารสีและสารเพิ่มเนื้อสีมาตั้งแต่คริสต์ศตวรรษที่ 19 และใช้เป็นสารสีในสีทาบ้าน รวมทั้งผสมในกระดาษเพื่อให้กระดาษทึบแสง มีเนื้อหนาและมีสีขาว นอกจากนี้ยังนิยมใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเลค (lake) จึงเรียกอีกชื่อว่า Lake base

การเรียกชื่อสารสีในสมัยต่าง ๆ มักทำให้เกิดความสับสน ตัวอย่างเช่น สารสีขาวที่ทำจากแบเรียมซัลเฟตในระยะแรก ๆ ช่วงประมาณ ค.ศ. 1830 มีชื่อเรียกว่า Permanent White แต่ต่อมาตอนปลายของคริสต์ศตวรรษที่ 19 คำนี้เป็นชื่อของสารสีขาวที่ทำจากสังกะสีออกไซด์

2.9 สีขาวจากยิปซัม (Gypsum)

ยิปซัมมีสูตรเคมี $CaSO_4.2H_2O$ เป็นแร่ซัลเฟตที่พบมากที่สุด มักพบร่วมกับหินปูน หินดินดาน ดินสอพอง (ดินมาร์ล) ดินเหนียว เกลือ ใช้เป็นสารสีขาวในการสร้างสรรค์ศิลปกรรมมานาน เช่น พบบนโลงศพในพีระมิดของอียิปต์ ภาพเขียนบนผนังถ้ำของอาร์เจนตินา บางครั้งใช้เป็นสารเพิ่มเนื้อสี (filler หรือ extender) บางครั้งใช้ผสมกับสารสีเพื่อให้เกิดประกายมุก

อุณหภูมิที่ใช้ในการเผายิปซัม ทำให้ได้แคลเซียมซัลเฟตที่มีน้ำผลึกต่าง ๆ กัน เช่น ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำประมาณ 128 องศาเซลเซียส จะได้แคลเซียมซัลเฟตที่มีน้ำผลึกหนึ่งโมเลกุล (Calcium sulfate hemihydrate หรือ $CaSO_4.H_2O$) หากเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอีกเล็กน้อย เป็น 130–160 องศาเซลเซียส จะได้แคลเซียมซัลเฟตที่ไม่มีน้ำผลึก (anhydrite หรือ $CaSO_4$) ผสมกับ

แคลเซียมซัลเฟตที่มีน้ำผลึกหนึ่งโมเลกุล ซึ่งก็คือปูนปลาสเตอร์ (plaster of Paris) หรือเจสโซ (gesso) นิยมใช้รองพื้นบนแผ่นไม้ก่อนการเขียนภาพ

ถ้าเผายิปซัมที่อุณหภูมิ 163–300 องศาเซลเซียส จะได้แคลเซียมซัลเฟตที่ไม่มีน้ำผลึก ซึ่งจะรวมตัวกับน้ำได้รวดเร็ว กลายเป็นยิปซัม ถ้าเผาที่อุณหภูมิสูงกว่านี้ จะได้แคลเซียมซัลเฟตที่ไม่มีน้ำผลึก ผสมกับแคลเซียมออกไซด์ เรียกว่า Estrich gypsum เมื่อผสมกับน้ำจะแข็งตัวช้ามาก แต่เมื่อแข็งตัวแล้วจะแข็งมาก เพราะฉะนั้นอุณหภูมิในการเผามีผลต่อคุณสมบัติของสารประกอบที่เกิดขึ้น เตาเผาแบบโบราณไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ จึงได้สารประกอบหลายชนิดผสมกัน ส่วนที่ได้รับความร้อนมาก ๆ จะกลายเป็น *"ปูนตาย"* ซึ่งไม่ละลายน้ำ ส่วนที่ได้รับความร้อนไม่สูงมากจะได้จะแคลเซียมซัลเฟตที่ไม่มีน้ำผลึกผสมกับแคลเซียมซัลเฟตที่มีน้ำผลึกหนึ่งโมเลกุลซึ่งละลายน้ำได้ ถ้ายิปซัมเป็นก้อนใหญ่ ส่วนที่ผิวจะได้รับความร้อนสูงกว่าด้านใน

สารสีขาวอีกชนิดหนึ่งเรียกว่า Satin white ประกอบด้วยแคลเซียมซัลเฟตและแคลเซียมอะลูมิเนตผสมกัน โดยนำสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์มาทำปฏิกิริยากับอะลูมิเนียมซัลเฟต จะเกิดตะกอนสีขาวขึ้น นิยมใช้ในการทำสีเลค

แร่ยิปซัม

สารสีขาวจากยิปซัม

2.10 สีขาว Lithopone

Lithopone

Lithopone เป็นสารสีขาวสังเคราะห์ที่มีคุณภาพดีและเป็นที่ชื่นชอบอย่างมาก มีความขาวเท่ากับสีขาวสังกะสี แต่มีความสามารถในการปกปิดได้ดี ระยะแรก ๆ มีปัญหาเนื่องจากมีสีคล้ำในที่ที่มีแสงสว่างและกลับมาขาวในที่มืด ทำจากแบเรียมซัลเฟต (Blanc fix) ผสมกับสังกะสีซัลไฟด์หรือใช้แบเรียมซัลไฟด์ผสมกับสังกะสีซัลเฟต บางทีเติมสังกะสีออกไซด์เล็กน้อย แต่ปกปิดพื้นผิวได้ไม่ดี ไม่เป็นพิษ ไม่เปลี่ยนสี ไม่เหมาะกับงานกลางแจ้ง เพราะแสงแดดจะทำให้สารสีขาวชนิดนี้เปลี่ยนสีเป็นสีเทาเข้ม ต่อมาพัฒนาคุณภาพและแก้ปัญหาการเปลี่ยนสีของ lithopone ได้โดยเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ 15% และได้สารสีขาวที่ปกปิดพื้นผิวได้ดีขึ้น อังกฤษได้จดสิทธิบัตรใน ค.ศ. 1874 ปัจจุบัน จีนเป็นผู้ผลิตสารสีชนิดนี้เพียงแห่งเดียวในโลก

Lithopone ใช้กับสีทาภายใน แล็กเกอร์ สีเอนนาเมล (enamel) สีสำหรับโปสเตอร์ สีน้ำ มีราคาถูก ปัจจุบันใช้ทำชอล์กสำหรับเขียนกระดาน

สารสีขาวสังเคราะห์อีกชนิดหนึ่งเรียกว่า Cadmopone ทำจากแคดเมียมซัลไฟด์ผสมกับแบเรียมซัลเฟต ในขณะที่ blancopone เกิดจากการตกตะกอนจากสารละลายแบเรียมซัลเฟตและแคลเซียมคาร์บอเนตในอัตราส่วน 70 ต่อ 30

2.11 สีขาวจากทัลก์ (talc)

ทัลก์เป็นแร่ในกลุ่มไมกา ที่ประกอบด้วย Magnesium silicate hydroxide [$Mg_6Si_8O_{20}(OH)_4$] มีลักษณะเป็นแผ่น เนื้อนุ่ม เวลาสัมผัสจะลื่นมือ หากเกิดขึ้นเป็นปริมาณมากและเนื้อแน่นเรียกว่าหินสบู่ (soapstone หรือ steatite) สามารถใช้เป็นสารสีร่วมกับเฮมาไทต์ โอเคอร์ และแร่ดินเหนียวต่าง ๆ ได้ บางที่ใช้เป็นฐานสำหรับการทำสีเลค โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับสีคาร์มีน

สารสีขาวจากทัลก์

แร่ทัลก์

2.12 สีขาวจากโซเดียมอะลูมิเนียมซิลิเกต (Sodium aluminium silicate)

สารสีขาวชนิดนี้เป็นสีโปร่งใส แกมเขียว เมื่อใช้กับสีน้ำมันจะมีลักษณะกึ่งโปร่งใส เหมาะที่จะใช้เป็นสารเติมเต็มในสีน้ำมันที่ต้องการให้โปร่งแสง ผลิตจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างโซเดียมซิลิเกตกับอะลูมิเนียมซัลเฟต ซึ่งตกตะกอนลงมาเป็นโซเดียมอะลูมิเนียมซิลิเกต นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารลดฟอง (defoaming agent) สารลดความมันวาวหรือทำให้ด้านทำให้สีข้นขึ้นและช่วยทำให้สีลื่นไหลได้ดีขณะทา เนื่องจากสารสีชนิดนี้ไม่ว่องไวในปฏิกิริยาเคมีและไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ

สารสีขาวโซเดียมอะลูมิเนียมซิลิเกตมีชื่ออื่น ๆ อีกหลายชื่อ เช่น

- Albite
- Alumina white
- Alumina silicate
- Aluminium sodium salt
- SODASIL
- Sasil
- Sodium silico aluminate
- Synthetic zeolite

2.13 สีขาวดีบุกออกไซด์ (Tin white)

ดีบุกออกไซด์ เป็นสารที่ช่วยให้น้ำยาเคลือบทึบแสงมานานกว่าพันปี พบหลักฐานเครื่องปั้นดินเผาที่เคลือบสีขาวทึบแสงที่กำหนดอายุประมาณคริสต์ศตวรรษที่ 9 ในอิรัก จากนั้นแพร่ไปสู่ภูมิภาคอื่น ๆ ต่อมา ดีบุกออกไซด์ใช้เป็นสารที่ทำให้แก้วทึบแสงและทำให้เกิดสีขาวบนเครื่องลงยาอย่างแพร่หลาย ในคริสต์ศตวรรษที่ 15–17 ดีบุกออกไซด์ใช้เป็นสารสีในการสร้างสรรค์งานศิลปกรรม

3. กลุ่มสีดำ

3.1 ถ่าน

สารสีดำที่ใช้มากที่สุดเป็นถ่าน ซึ่งมีชื่อต่าง ๆ มากมาย ขึ้นอยู่กับที่มาหรือกระบวนการผลิต เช่น Charcoal, Carbon black, Vine black, Lamp black ในระยะแรก ๆ ได้จากการเผาไม้และพืช โดยให้มีอากาศน้อย แต่ละแหล่งวัฒนธรรมใช้วัตถุดิบในการผลิตแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับทรัพยากรที่มีอยู่ในแต่ละท้องถิ่น เช่น คนพื้นเมืองในอะแลสกาใช้ถ่านไม้ผสมกับเลือดแมวน้ำ ชาวโพลีนีเซียใช้ถ่านจากกะลามะพร้าว เป็นต้น

Vine black เป็นถ่านชนิดหนึ่ง ได้จากการเผาได้จากการเผากิ่งของต้นองุ่นหรือผลองุ่นที่คั้นเอาน้ำองุ่นออกไปแล้ว จึงผลิตมากในแหล่งผลิตเหล้าองุ่น สีจะเข้มหรือจางขึ้นอยู่กับคุณภาพของต้นองุ่น Vine black ที่มีคุณภาพดีจะมีสีออกน้ำเงิน คล้ายสีคราม

Vine Black

Lamp black คือเขม่าที่ได้จากการเผาไหม้น้ำมัน ในสมัยโรมันใช้น้ำมันลินสีดใส่ในตะเกียงแล้วจุดไฟ วางใต้ถาดที่สะอาด ให้เปลวไฟอยู่ห่างจากถาดประมาณ 2-3 นิ้ว เขม่าจะมาเกาะที่ก้นถาดหนาขึ้น จากนั้นเอาถาดมาปัดเอาเขม่าออกมา อีกกระบวนการหนึ่งซึ่งได้รับสิทธิบัตรในช่วง ค.ศ. 1920-1930 ผลิตในเตาเผา โดยใช้น้ำมันดินหรือน้ำมันปิโตรเลียมฉีดพ่นเข้าไปในเตาเผาที่มีอุณหภูมิสูง 1,200-1,900 องศาเซลเซียส และมีออกซิเจนน้อย ไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ สารสีดำที่ได้เรียกว่า Furnace black

สีดำจากเขม่ามีใช้ในแหล่งอารยธรรมทุกแห่ง เช่น ที่อินเดียใช้บนจิตรกรรมฝาผนังในถ้ำ ที่ญี่ปุ่นใช้เขม่าเป็นสีย้อม

Bone Black ได้จากการเผากระดูกสัตว์ เช่น Ivory black, Bone charcoal มีสีดำอมน้ำเงิน เนื้อนุ่มเนียน มีความหนาแน่นสูงกว่าเขม่า กึ่งโปร่งใส ประกอบด้วยคาร์บอนประมาณ 10% แคลเซียมฟอสเฟตประมาณ 84% แคลเซียมคาร์บอเนตประมาณ 6% เวลาใช้งานจะแห้งช้า Ivory black ที่ใช้ในสมัยโบราณได้จากการเผางาช้าง แต่ปัจจุบันไม่สามารถนำงาช้างมาเผาได้ จึงเปลี่ยนเป็นเผากระดูกสัตว์แทน แต่ก็ยังเรียกชื่อเดิม

Ivory Black

สีดำจากการเผาเขากวาง เรียกว่า Horn black เขากวางประกอบด้วยกระดูกโดยไม่มีโปรตีน (keratin) เจือปน ทำให้ใช้ทำสารสีได้ดี

สารสีดำจากกระดูก ใช้ได้กับสีน้ำมัน สีน้ำ สีฝุ่น ปัจจุบันนิยมใช้ในการถ่ายเอกสาร เครื่องพิมพ์เลเซอร์ สารสีดำกลุ่มนี้ปกปิดพื้นผิวได้ดีมาก

3.2 หมึกดำ

จากหลักฐานที่ปรากฏ หมึกดำเกิดจากการใช้เขม่า (Lamp black หรือ Soot) และถ่านที่ได้จากการเผางาช้าง (Ivory black) และกระดูกสัตว์ (Bone black) การทำเขม่าในระยะแรกทำจากการเผาน้ำมันพืช แต่ปัจจุบันได้จากการเผาน้ำมันดินครีโอโสต (Creosote) แนพทาลีน (naphthalene) และผลผลิตจากน้ำมันปิโตรเลียมอื่น เขม่าเป็นสารสีที่ทึบแสง มีสีเจือน้ำเงินเล็กน้อย

หมึกดำที่นิยมใช้ในการสร้างสรรค์งานจิตรกรรมอาจเป็นหมึกจีน (Chinese ink) หรือหมึกอินเดีย (India ink) ทำจากเขม่าที่เกิดจากการเผาไหม้กระดูก ไม้ น้ำมันดิน และวัสดุอื่น ๆ ผสมกัน จีนและอินเดียใช้หมึกดำมานานตั้งแต่ก่อนคริสตกาล อินเดียเรียกว่า masi ได้จากการเผากระดูก น้ำมันดิน ฯลฯ

หมึกจีนและหมึกญี่ปุ่นใช้สารสีดำที่ได้จากการเผาไม้หรือกระดูกสัตว์เขม่า แล้วผสมกับกาวหนังสัตว์ บดในครก เทใส่ถ้วย ทิ้งให้แห้ง มักทำเป็นก้อน เวลาใช้งานจะฝนบนแผ่นหินหรือแผ่นกระเบื้องเซรามิก หรือใช้พู่กันเปียก ๆ ป้ายให้หมึกละลายออกเป็นของเหลว

3.3 แกรไฟต์

แกรไฟต์เป็นอัญรูปหนึ่งของคาร์บอนที่เสถียรที่สุด มีชื่อสามัญว่า plumbago หรือแร่ดินสอดำ หากนำมาผานกระบวนการแปรรูป เรียกว่า Black lead จัดเป็นรูปแบบหนึ่งของถ่านหิน เป็นของแข็งที่มีรูปผลึกเป็นแผ่นบาง ๆ ทึบแสง อ่อนนุ่ม มีสีเทาเข้ม–ดำ อาจเกิดเป็นผลึกเล็ก ๆ ที่มีอนุภาคแบน ๆ เป็นแผ่นที่มีขอบรูปหกเหลี่ยม แต่ถ้าทำให้แตกขอบจะไม่เรียบหรือเป็นเหลี่ยมมุม บางครั้งเกิดเป็นแกรไฟต์ที่ไม่มีรูปผลึก พบเป็นเกล็ดเล็ก ๆ หรืออาจเกิดเป็นก้อนขนาดใหญ่ในช่องว่างหรือรอยแตก

แร่แกรไฟต์

ไส้ดินสอทำจากแกรไฟต์

แกรไฟต์ใช้เป็นสารสีมานาน เช่น ในคริสต์ศตวรรษที่ 16 ใช้เป็นสารสีในการตกแต่งเครื่องปั้นดินเผาในอังกฤษ ใช้ในการหล่อลูกปืนใหญ่ที่มีคุณภาพสูง และใช้เป็นดินสอสำหรับเขียน ซึ่งปัจจุบันไส้ดินสอดำทำจากผงแกรไฟต์ผสมกับดินเหนียว ใน ค.ศ. 1893 มีการสังเคราะห์แกรไฟต์ โดยทำจากคอรันดัม (Corundum หรือ Silicon carbide)

เมื่อนำแกรไฟต์มาบดแล้วผสมน้ำกาว จะได้สีดำที่โปร่งใส แต่จะไม่ดำสนิท เหมาะในการทำสีน้ำ นอกจากนี้แกรไฟต์ยังนำความร้อน นำไฟฟ้าได้ดี

เมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะเห็นการจัดเรียงคาร์บอนอะตอมเป็นระเบียบ โดยจัดเรียงกันเป็นแผ่นตาข่ายหกเหลี่ยมซ้อนกันเป็นชั้น ๆ แต่ละชั้นลื่นไถลออกจากกันได้ง่าย จึงนิยมผสมกับดินเหนียว ใช้ทำดินสอดำ ต่างจากถ่านที่มีการจัดเรียงคาร์บอนอะตอมไม่เป็นระเบียบ

3.4 ชอล์กสีดำ (Black chalk หรือ Black earth)

ชอล์กสีดำหรือดินสีดำ คือดินเหนียวที่มีคาร์บอนอยู่มาก ประกอบด้วยแกรไฟต์ ควอตซ์ และแร่อื่น ๆ เป็นที่นิยมใช้ในยุโรปเมื่อคริสต์ศตวรรษที่ 15–16 แห้งเร็ว เหมาะกับสีน้ำมัน แต่ก็ใช้ได้กับสีเทมเพอราและสีปูนเปียก

ชอล์กสีดำ

สารสีดำที่คล้ายกันอีกกลุ่มหนึ่งมีชื่อเรียกว่า Black ochre หรือ Earth black หรือ Prussian black

3.5 สีดำแมงกานีสไดออกไซด์

แมงกานีสออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์เป็นของแข็งสีดำ–น้ำตาล เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เป็นแร่ไพโรลูไซต์ (pyrolusite) พบมากในดิน แร่แมงกานีสมีมากกว่า 30 ชนิด แต่ที่นิยมใช้เป็นสารสี มักเป็นแมงกานีสไดออกไซด์และแมงกานีสออกไซด์ ซึ่งนำมาบดแล้วเผา สารสีดำชนิดนี้พบบนภาพเขียนสีอายุ 17,000–18,000 ปี ในถ้ำ Lascaux ที่ประเทศฝรั่งเศส และพบบนภาชนะดินเผาสมัยก่อนประวัติศาสตร์ในกรีก ที่ตกแต่งลวดลายด้วยสีดำบนพื้นสีแดง ต่อมาทำลวดลายด้วยสีแดงบนพื้นดำ และพบบนภาพเขียนบนผนังถ้ำหลายแห่ง

แมงกานีสออกไซด์

สีดำแมงกานีสออกไซด์มีชื่อหลายชื่อ เช่น

- Black manganese oxide
- Cement black
- Manganese black
- Manganese dioxide
- Pyrolusite brown

แร่แมงกานีสอีกชนิดหนึ่งที่มีสีดำคือแร่ jacobsite (FeMn0) รวมทั้งดินที่มีแร่แมงกานีสเจือปนอยู่มาก ซึ่งมีชื่อเรียกว่า wad

3.6 Mars black

Mars black เป็นสารประกอบเหล็กออกไซด์ชนิดหนึ่งมีสูตรเคมี Fe_3O_4 มีสีดำ ทึบแสง ทนต่อแสงได้ดี ทนทานต่อสภาพแวดล้อม มีชื่ออื่น ๆ อีกหลายชื่อ เช่น Black iron, Magnetic oxide, Pigment blackII

Mars black

3.7 สารสีดำอื่น ๆ

สารสีดำอื่น ๆ มีอีกหลายชนิด เช่น สีดำที่เกิดจากการเผาสารสีอื่น ๆ ที่ผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม ได้สารสีที่สามารถดูดซับแสงได้ทุกสี จึงเห็นเป็นสีดำ

ยางมะตอยหรือ asphalt เป็นสารสีดำที่มีผู้นำมาใช้สร้างสรรค์ศิลปกรรม ยางมะตอยเป็น bitumen ชนิดหนึ่งที่มีไฮโดรเจนและคาร์บอนต่อกันเป็นสายโซ่ยาว โดยมีคาร์บอนต่อกัน 22–50 อะตอมในหนึ่งโมเลกุล เป็นองค์ประกอบที่มีน้ำหนักมากที่สุดในน้ำมันดิบ จึงเป็นส่วนที่หลงเหลืออยู่หลังจากการกลั่นน้ำมันหลังจาก ค.ศ. 1860 ใช้ทำสารสี เชลแล็ก และวาร์นิช

4. กลุ่มสีน้ำเงิน

4.1 สีคราม

สีน้ำเงินที่ใช้มาแต่โบราณเป็นสีคราม (Indigo) ที่ได้จากใบของพืชหลายชนิดในตระกูล Indigoferra เป็นที่รู้จักกันในนาม blue plant ในไทยใช้ต้นครามที่มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Indigoferra *tinctoria* หรือ tea indigo ส่วนที่ให้สีน้ำเงินคือใบ เมื่อเก็บใบมาแล้ว นำมาตากบนแผ่นไม้ ใช้น้ำประพรม ปิดทับด้วยกระสอบทิ้งไว้ ระหว่างนี้จะเกิดความร้อนและเกิดการหมัก หลังจากนั้นเอากระสอบออก แล้วตากให้แห้ง กวนให้เข้ากัน ประพรมน้ำแล้วปิดทับด้วยกระสอบทิ้งไว้ให้มีการหมัก ทำเช่นนี้หลาย ๆ ครั้ง จนไม่มีการหมักเกิดขึ้นอีก เอาใบของต้นครามมาแช่ในน้ำด่าง สารเคมีที่ได้คือ indigotin มีสีน้ำเงินเข้ม เกิดจากกระบวนการหมักของสารประกอบพวกกลูโคไซด์ที่มีอยู่ในใบของพืชกลุ่มนี้ เวลาใช้งาน ให้เอาครามที่ได้มาบดให้ละเอียด ผสมกาว ทิ้งไว้ให้นอนก้น เอาส่วนที่ลอยข้างบนมาใช้

ใบคราม

การหมักคราม

ผงคราม

พืชที่ให้สารสีน้ำเงินมีหลายชนิด ในยุโรป สีคราม, woad, Dyer's woad หรือ Glastum ได้จากต้น *Isatis tinctoria* ซึ่งอยู่ใน Family Brassicaceae ส่วนครามในญี่ปุ่น เกาะริวกิว และไต้หวัน ได้จากต้น *Strobilanthis cusia* ครามในเอเชียตะวันออกได้จากต้น *Polygonum tinctorum* ส่วนครามในเขตร้อนชื้น เช่น เอเชียตะวันออกเฉียงใต้และอินเดีย ได้จากต้น *Indigofera tinctoria* ซึ่งมีกรรมวิธีในการผลิตคล้าย ๆ กัน

ใน ค.ศ. 1878 นักเคมีชาวเยอรมันสามารถสังเคราะห์สีครามขึ้นใช้แทนสีครามที่ได้จากธรรมชาติ เรียกว่า Indigotine ส่งผลให้การผลิตสีครามธรรมชาติลดลงเป็นอย่างมาก ต่อมาใน ค.ศ. 1901 นักเคมีสังเคราะห์สีน้ำเงินชนิดใหม่ขึ้นมาตีตลาด เรียกว่า Indanthrone blue ซึ่งปัจจุบันใช้ย้อมผ้าสีน้ำเงินเกือบทั้งหมด

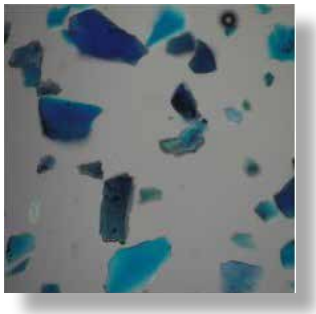
4.2 สีน้ำเงินจากแร่

แร่หลายชนิดมีสีน้ำเงินตามธรรมชาติ จึงนำมาใช้เป็นสารสี ได้แก่

4.2.1 Azurite สีน้ำเงินอมเขียวที่ทำจากแร่อะซูไรต์ เป็นสารสีที่ราคาไม่แพง นิยมใช้มากในยุโรปในยุคกลางและยุคเรอเนซองส์ นิยมใช้ระบายสีท้องฟ้า อะซูไรต์เป็นสารประกอบทองแดงคาร์บอเนตไฮดรอกไซด์ คล้ายกับมาลาไคต์ มีผลึกเป็นรูปพีระมิด พบร่วมกับมาลาไคต์ คิวไปรต์ ทีโนไรต์ ไลมอไนต์ คริสโซคอลลา ชาวจีนเรียกว่า pai chhing วิธีเตรียมสารสีเริ่มจากการนำมาบดและตกตะกอนหลาย ๆ ครั้ง แต่ไม่บดให้ละเอียดมาก ยังคงมีลักษณะเป็นเม็ด มีอนุภาคขนาดเล็กและใหญ่ปนกัน เพราะหากบดละเอียดมากเกินไป แสงจะสะท้อนออกมาจากผิวของอนุภาคมาก ทำให้แลดูซีด แล้วล้างด้วยน้ำหรือกรดน้ำส้ม หรือล้างด้วยน้ำผสมกาวหนังปลาหรือยางไม้เพื่อแยกสิ่งเจือปนออก ผงสีที่ได้มีสีฟ้า–น้ำเงิน เมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นรูปร่างค่อนข้างกลม ไม่ค่อยมีเหลี่ยมมุม ซึ่งแตกต่างจากสารสีที่ได้จากการทำปฏิกิริยาเคมี เช่น การตกตะกอน ใช้ความร้อน จะได้ผลึกขนาดเล็ก ๆ ที่สมบูรณ์แบบ มีเหลี่ยมมุม

แร่อะซูไรต์

อะซูไรต์ทึบแสงได้ดี ทนแสงสว่างได้ดี จะคงสภาพได้ดีมากในสภาวะแวดล้อมปกติ แต่ค่อนข้างหายาก ถ้าใช้ร่วมกับสารสีที่ประกอบด้วยกำมะถันจะเปลี่ยนเป็นสีดำ ต่อมาถูกสีอัลตรามารีนและสีน้ำเงินโคบอลต์แทนที่



อนุภาคของอะซูไรต์

อะซูไรต์ที่ได้จากการสังเคราะห์เรียกว่า Blue verditer, Mountain blue หรือ Blue bice เป็นการค้นพบโดยบังเอิญเมื่อรินสารละลายทองแดงไนเตรตลงบนชอล์กหรือ ceruse แล้วได้สารสีเขียวซึ่งมีลักษณะต่างจากอะซูไรต์ที่ได้จากธรรมชาติ เมื่อดูผ่านกล้องจุลทรรศน์จะเห็นสีชัดกว่า แต่คุณสมบัติอื่น ๆ เหมือนกัน ใช้ได้ดีกับสารยึดทุกชนิด แต่ในสีน้ำมันจะเกิดสารประกอบ organocopper

สารสีที่ทำจากอะซูไรต์

4.2.2 <u>สีอัลตรามารีน (Ultramarine หรือ Persian Blue)</u> เป็นสีฟ้าสวยงามที่นิยมใช้ในมากในเอเชียกลาง ตั้งแต่สมัยไบแซนไทน์ เนื่องจากมีสีสวยสดงดงามมาก สีอัลตรามารีนแท้ ทำมาจากแร่สีฟ้า *"ลาพิส ลาซูลี"* (Lapis lazuli) หรือเป็นของผสมระหว่าง lazurite calcspar และ iron pyrite ซึ่งมีมากในเปอร์เซีย ทิเบต จีน และอัฟกานิสถาน ชาวจีนเรียกว่า chhing shih

เมื่อบดลาพิส ลาซูลีให้ละเอียดจะได้อนุภาคของอัลตรามารีนมีสีฟ้าใส โปร่งแสง รอยแตกของเม็ดสีเป็นรูปก้นหอย ทนต่อแสงสว่างได้ดี ทนต่อด่าง แต่ไม่ทนกรด เมื่อสัมผัสกับกรดจะเปลี่ยนสี เหมาะในการสร้างภาพจิตรกรรมสีฝุ่น หากใช้กับสีน้ำมันจะได้สีน้ำเงินเข้มกว่าเมื่อใช้กับสีปูนเปียกและเทมเพอรา

อัลตรามารีน

ลาพิส ลาซูลี

4.2.3 Cobalt Blue สีน้ำเงินโคบอลต์ในระยะแรก ๆ ได้จากธรรมชาติ แหล่งอารยธรรมโบราณหลายแห่งใช้ทำเครื่องประดับ เป็นสารสีสำหรับภาพเขียน เครื่องปั้นดินเผา เครื่องเคลือบ และแก้วมาตั้งแต่สมัยก่อนประวัติศาสตร์ โดยใช้แร่ซึ่งเป็นสารประกอบโคบอลต์หลายชนิด เช่น โคบอลต์ซิลิเกตอะลูมิเนต โคบอลต์อะลูมิเนต ลูกปัดแก้วสีน้ำเงินจากแหล่งก่อนประวัติศาสตร์หลายแห่งใช้สีน้ำเงินโคบอลต์เป็นสารสี จีนใช้สีน้ำเงินโคบอลต์ในการตกแต่งเครื่องปั้นดินเผามาตั้งแต่คริสต์ศตวรรษที่ 8 สารสีน้ำเงินที่ทำจากแก้วสีน้ำเงิน เรียกว่า smalt ใช้เป็นสารสีบนจิตรกรรมฝาผนังในเอเชียกลางมานานกว่าพันปี ช่างเขียนยุโรปในยุคกลางผลิต smalt โดยหลอมเหลวแร่ smaltite กับควอตซ์ และโพแทสเซียมคาร์บอเนต ได้แก้วสีน้ำเงินเข้ม จากนั้นนำไปบดเป็นผงละเอียด ใช้เป็นสารสีในการทำแก้วและเขียนภาพ

ต่อมาในต้นคริสต์ศตวรรษที่ 19 มีการผลิตสีน้ำเงินโคบอลต์ด้วยวิธีเคมี โดยใช้โคบอลต์ออกไซด์ผสมกับอะลูมิเนียมออกไซด์แล้วเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส

ได้สารเคมีที่มีสูตร Co(II)oxide.Al(II) oxide, $CoAl_2O_4$ หรือโคบอลต์อะลูมิเนต เป็นสีที่มีเสถียรภาพสูง ทนความร้อนสูง สามารถใช้กับเครื่องปั้นดินเผาได้ ทนแสงสว่างได้ดี เข้ากันได้ดีกับสารสีอื่น ๆ และสารยึดทุกชนิด ไม่ละลายในกรดและด่างแก่

Cobalt Blue

สีน้ำเงินโคบอลต์มีสีอ่อนกว่าสีปรัสเซียนบลู ใช้แทนสีอัลตรามารีนได้ดี นิยมใช้ระบายสีท้องฟ้า นิยมใช้มากในยุค impressionism

Cerulean Blue

สารสีน้ำเงินที่ทำจากสารประกอบโคบอลต์อีกชนิดหนึ่ง เรียกว่า Cerulean blue ทำจากสารประกอบโคบอลต์สแตนเนต [Co(II) stannate]

4.3. สีน้ำเงินจากดอกไม้

ดอกไม้หลายชนิดให้สีน้ำเงิน แต่ไม่ทนต่อแสงสว่าง เช่น ในญี่ปุ่น เคยใช้สีน้ำเงินที่สกัดจากดอก Dayflower (*Commelino spp., Commelino communis* L.) ในการเขียนภาพและพิมพ์ภาพ ในช่วงคริสต์ศตวรรษที่ 17–18 ต่อมาภายหลังพบว่าสีน้ำเงินชนิดนี้ซีดจาง

ง่าย สารสีน้ำเงินที่สกัดได้มีชื่อทางเคมีว่า Commelinin, Flavocommelin, Flavocommelilten, Swertisin, Awobanin ซึ่งไม่ทนต่อแสง ในคริสต์ศตวรรษที่ 19 จึงใช้สีสังเคราะห์จากตะวันตกแทน เช่น สีปรัสเซียนบลู

ดอกอัญชันก็ให้สารสีน้ำเงินคล้าย ๆ กัน แต่ไม่เป็นที่นิยมใช้ เนื่องจากซีดจางเร็วมาก

4.4 สีน้ำเงินจากไม้ (Logwood, Blockwood)

ไม้บางชนิดให้สารสีน้ำเงิน–ม่วงที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในยุโรปและอเมริกา ไม้ดังกล่าวมีชื่อสามัญว่า Logwood ชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Haematoxylum campechianum* L. และ *H. brasiletto* Karsten อยู่ในวงศ์ *Leguminosae* เป็นสินค้าสำคัญในคริสต์ศตวรรษที่ 16 ส่งขายเป็นท่อน ๆ ในชื่อ Logwood, Blockwood, Campeche (campeachy) หรือ peachwood เมื่อนำมาสกัดจะได้สารประกอบ hematoxylin tannin และเรซิน ซึ่งจะถูกออกซิไดซ์ขณะย้อมผ้า ได้สารประกอบชื่อ haematin ซึ่งมีหลายสี เช่น แดง ม่วง น้ำเงิน ดำ สารประกอบชนิดนี้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายเมื่อค่า pH เปลี่ยนแปลง สีกลุ่มนี้นิยมใช้เป็นสีน้ำในคริสต์ศตวรรษที่ 17

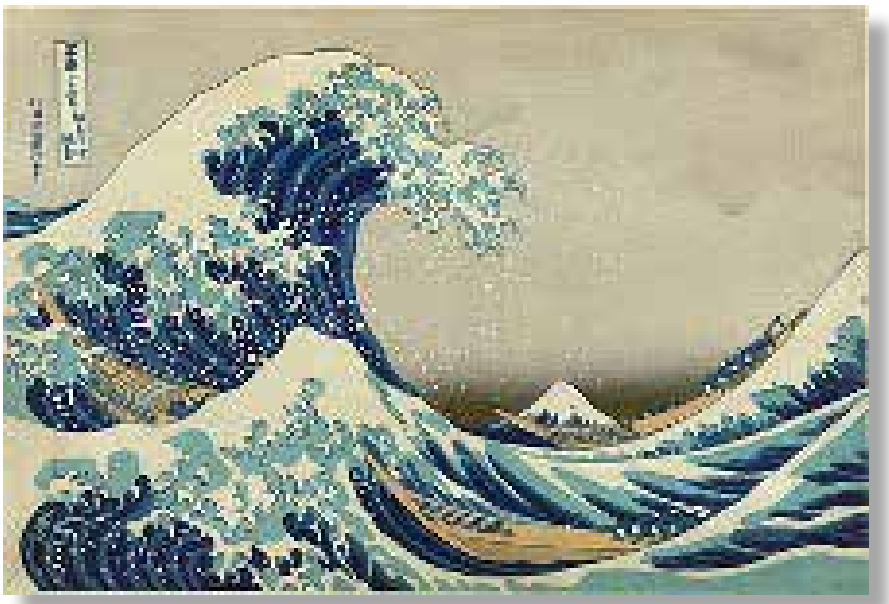
4.5 สีน้ำเงินที่ได้จากการสังเคราะห์

4.5.1 สีปรัสเซียนบลู (Prussian blue), Chinese blue, Cyanide blue, Iron blue, Paris blue, Bronze blue, Mineral blue หรือ Berlin blue เมื่อส่งไปขายที่ญี่ปุ่นในช่วง ค.ศ. 1820 ชาวญี่ปุ่นเรียกว่า bero–ai หรือ Berlin blue ซึ่งเป็นปรัสเซียนบลูชนิดหนึ่งที่มีสังกะสีออกไซด์ผสมอยู่ด้วย หรือได้จากการนำ Paris blue มาผสมกับแป้ง แบไรต์ ยิปซัม และดินเหนียวที่ผ่านการเผาและบดหรือดินขาว ในเยอรมนีคำว่า Berlin blue หมายถึงปรัสเซียนบลูผสมกับสารสีขาว

สีปรัสเซียนบลูเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็ก คือ Ferric hexa cyanoferrate [$Fe_7(CN)_{18}$] หรือ Ferric ferrocyanide หากแปรเปลี่ยนสภาวะแวดล้อมและปฏิกิริยาเคมีจะสามารถผลิตสารสีที่มีสีต่าง ๆ หลายสี ถ้าผลิตโดยโดยไม่ใช้สารส้ม จะได้สีน้ำเงินเข้มเรียกว่า Paris blue

สีปรัสเซียนบลู เริ่มมีใช้ต้นคริสต์ศตวรรษที่ 18 ในยุโรป มีสีน้ำเงินเข้มสดใสมาก เนื้อละเอียด โปร่งใส ทนต่อสภาวะแวดล้อมได้ดี ยกเว้นไม่ทนต่อด่าง หากสัมผัสกับด่างจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล หากเก็บไว้ในที่มืดสีจะเข้มขึ้น เมื่อได้รับแสงสว่างจะซีดจาง แต่สีจะกลับมาเข้มใหม่เมื่ออยู่ในที่มืด แต่ถ้าใช้ในลักษณะสีน้ำจะซีดจางง่ายหากใช้ร่วมกับสีขาวสังกะสี เมื่อผสมกับสีเหลืองจากรงจะได้สีเขียวที่เรียกว่า Hooker's green ซึ่งเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำเงินเมื่อได้รับแสง โดยรงจะซีดจางไปเหลือแต่สีน้ำเงิน

สีปรัสเซียนบลู



ส่วนที่เป็นสีฟ้าและน้ำเงินในภาพพิมพ์นี้คือปรัสเซียนบลู

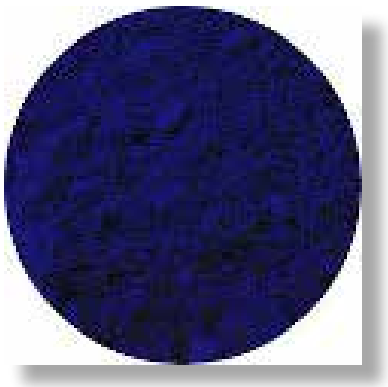
สีอัลตรามารีนจากธรรมชาติ (ซ้าย)
และสีอัลตรามารีนจากการสังเคราะห์ (ขวา)

4.5.2 <u>สีอัลตรามารีนสังเคราะห์</u> มีการสังเคราะห์ขึ้น เมื่อ ค.ศ. 1824 ที่ประเทศฝรั่งเศส โดยใช้ปฏิกิริยาเคมีสังเคราะห์สารประกอบซิลิเกตเชิงซ้อนของโซเดียมและอะลูมิเนียมซึ่งมีหลายสี ตั้งแต่สีฟ้า ม่วง เหลือง แดง ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ สีอัลตรามารีนสังเคราะห์ที่เป็นที่นิยมใช้มาก มีชื่อเรียกว่า French ultramarine มีสีฟ้าออกม่วงเล็กน้อย ทนต่อแสงสว่างและความร้อนได้ดี และทนต่อด่างได้ดี จึงสามารถใช้ในจิตรกรรมปูนเปียก (Fresco) ได้ แต่ไม่เหมาะในการทำสีน้ำมัน เนื่องจากกรดในสีน้ำมันทำให้สีเปลี่ยนไปเป็นสีเทา อัลตรามารีนสังเคราะห์ที่มีสีฟ้า–น้ำเงิน ปัจจุบันนิยมนำมาใช้เป็นสารสีอย่างแพร่หลาย และทำให้ผ้าขาวในระหว่างซักผ้า หรือเรียกกันทั่วไปว่า *"คราม*ซักผ้า*"*

สีอัลตรามารีนสังเคราะห์
*(คราม*ซักผ้า*)*

4.5.3 <u>สีน้ำเงินพทาลโลไซยาไนน์ (Phthalocyanine blue)</u> เป็นสารสีที่ได้จากการสังเคราะห์ มีสูตรเคมีหลักคือ $C_{32}H_{16}N_8Cu$ และมีอนุพันธ์อีกมากมาย จึงมีคุณสมบัติแตกต่างกันเล็กน้อย มีหลายสี ตั้งแต่น้ำเงินอมแดงถึงเขียวอมเหลือง มีชื่อการค้าหลายชื่อ เช่น

- Monastral blue
- Phthalo blue
- Helio blue
- Thalo blue
- Winsor blue
- Copper phthalocyanine blue
- Copper phthalo blue
- Copper tetrabenzo porphyrazine
- British rail blue
- C.I. Pigment Blue 15:2
- Phthalocyanine blue
- PB 15
- PB36
- ฯลฯ



สีน้ำเงินพทาลโลไซยาไนน์

สีน้ำเงินพทาลโลไซนาไนน์มีลักษณะเป็นผลึกสีฟ้าสดใส ไม่มีกลิ่น ไม่ละลายน้ำ จึงไม่เคลื่อนที่แทรกซึมเข้าในวัสดุ ค่า pH เป็นกลาง ทนแสงสว่างได้ดี ทนกรดทนด่างได้ดี โปร่งใส มี tinting strength สูง ไม่เป็นพิษ เหมาะกับการทำหมึกพิมพ์ สารเคลือบผิว เป็นสารสีในพลาสติก และเป็นสารสีสำหรับงานศิลปกรรม เพราะไม่ละลายน้ำ และไม่แทรกซึมเข้าไปในเนื้อวัสดุ หากเติมสารเคมีอื่น ๆ เข้าในในกระบวนการผลิต จะได้สารประกอบต่าง ๆ ที่ละลายน้ำได้ดีขึ้น เหมาะในการใช้ย้อมผ้าและอุตสาหกรรมกระดาษ

5. กลุ่มสีเขียว

5.1 สีเขียวที่เกิดจากการผสมสี

สีเขียวในระยะแรก ๆ เกิดจากการนำสีเหลืองผสมกับสีน้ำเงิน เช่น ใช้สีครามผสมกับสีเหลืองจากดินเหลืองหรือรง สีเหลืองแคดเมียมผสมกับสีเขียวโครเมียม สีเขียวปรัสเซียนบลูผสมกับสีเหลืองโครเมียม สีปรัสเซียนบลูผสมกับรงหรือดินเหลือง (เรียกว่า Prussian green) ฯลฯ แต่การผสมสีหลายชนิดเข้าด้วยกัน หากไม่ระมัดระวัง บางครั้งทำให้ได้สีที่มีลักษณะคล้ายโคลนหรือมีสีเทา

5.2 สีเขียวจากสารประกอบของทองแดง

สารประกอบของทองแดงมีหลายสี ทั้งที่เกิดขึ้นในธรรมชาติและจากการสังเคราะห์ ส่วนใหญ่มีสีเขียว แดง น้ำตาล คนสมัยก่อนจึงนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง สารประกอบของทองแดงที่สำคัญในการผลิตสารสี ได้แก่ ทองแดงคาร์บอเนต ทองแดงอะซีเตต ทองแดงอาร์ซีเนต ทองแดงอาร์ซีไนด์ ฯลฯ

การสังเคราะห์สารสีเขียวจากทองแดงเริ่มขึ้นในต่างประเทศหลายร้อยปีมาแล้ว และมีการผลิตในระดับอุตสาหกรรมเพื่อส่งขายไปในภูมิภาคต่าง ๆ เมื่อไทยมีการติดต่อค้าขายกับต่างประเทศ จึงมีการใช้สารสีเขียวจากต่างประเทศมากขึ้น

แร่มาลาไคต์

5.2.1 สีเขียวมาลาไคต์ (malachite)

เป็นสารสีที่รู้จักดีทั่วโลก มีใช้ในภาพเขียนของแหล่งอารยธรรมต่าง ๆ มาเป็นเวลานานหลายพันปี คนจีนเรียกสีเขียวมาลาไคต์ว่า Lu chhing มาลาไคต์เป็นผลึกของสารประกอบทองแดงคาร์บอเนตไฮดรอกไซด์ที่มีเนื้อแท้ สีเขียวสด–เขียวเข้มตามธรรมชาติ พบในแหล่งที่มีแร่ทองแดง โดยเฉพาะบนผิวชั้นบนของแหล่งแร่ทองแดงมักพบมาลาไคต์อยู่ด้วยเสมอ มักพบเป็นก้อนตามริมแม่น้ำ มีมากในยูนนานและกว่างซี

สีเขียวมาลาไคต์ เมื่อนำมาป่นให้ละเอียดเป็นผง ใช้เป็นสารสีมาตั้งแต่สมัยโรมันโบราณ จนถึงคริสต์ศตวรรษที่ 19 จึงมีการค้นพบสีเขียวชนิดอื่น ๆ ที่ติดทนและมีคุณภาพดี มาแทนที่

มาลาไคต์เป็นแร่ทองแดงที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ มีสูตรเคมี $Cu_2(CO_3)(OH)_2$ หรือ copper carbonate hydroxide และอาจมีแร่อื่น ๆ ปะปน เช่น อาจมีอะซูไรต์ (สีน้ำเงิน) มอตตราไมต์ (สีดำ) คริสโซคอลลา (สีน้ำเงิน) ฯลฯ ทำให้มีสีเขียวหลายเฉด คนจีนเรียกมาลาไคต์ที่มีลักษณะเป็นชั้น ๆ มีสีเขียวอ่อนแก่สลับกันว่า tsheng chhing และมาลาไคต์ที่มีลักษณะเป็นเม็ด ๆ ตะปุ่มตะป่ำว่า khung chhing มาลาไคต์ค่อนข้างหายาก จึงนิยมใช้ทำเครื่องประดับมากกว่า

สีเขียวมาลาไคต์

เนื่องจากมาลาไคต์เป็นแร่ที่หายาก ต่อมาจึงมีการสังเคราะห์สีเขียวมาลาไคต์ขึ้น มีองค์ประกอบทางเคมีเป็น $CuCO_3.Cu(OH)_2$ มีชื่อหลายชื่อ เช่น Malachite green, Green verditer, Mountain green, Green bice สีชนิดนี้ซีดจางง่าย

Green verditer หรือ Spherulitic malachite สังเคราะห์ขึ้นในคริสต์ศตวรรษที่ 15 โดยเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตลงในสารละลายของจุนสี จะได้ตะกอนสีเขียวเกิดขึ้น

5.2.2 **ทองแดงคาร์บอเนต** สารสีเขียวที่มีสีคล้ายมาลาไคต์คือทองแดงคาร์บอเนต ($CuCO_3$) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเคมี มักมีสีน้ำเงิน–เขียวหลายเฉดสี เนื่องจากมี basic copper carbonate ปะปนมากน้อยแตกต่างกันในระหว่างการผลิต ในอดีตเคยเป็นที่นิยมใช้เป็นสารสีและยาฆ่าตะไคร่

ทองแดงคาร์บอเนต

5.2.3 **สีเขียวเวอร์ดิกริส (Verdigris)** สีเขียวจากทองแดงอีกชนิดหนึ่งที่พบบ่อยบนจิตรกรรม มีชื่อว่า Verdigris หรือ Copper Green คนจีนเรียกว่า thung chhing มีสีเขียวอมฟ้า ซึ่งทนต่อแสงได้ดีมาก ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบทองแดงอะซีเตต หรืออาจเป็นสารประกอบอื่น ๆ ของทองแดง เนื่องจากวิธีการผลิตและวัตถุดิบอาจแตกต่างกันในแต่ละแหล่งผลิต

ในยุโรปผลิตเวอร์ดิกริสมากทางตอนใต้ของฝรั่งเศส ซึ่งเป็นแหล่งผลิตเหล้าองุ่น จึงมีกรดอะซีติกเป็นผลพลอยได้ เหมาะแก่การผลิตเวอร์ดิกริส

จีนผลิตเวอร์ดิกริสโดยแช่แผ่นทองแดงในกรดน้ำส้ม หุ้มด้วยแกลบแล้วรมควันด้วยไฟอ่อน ๆ จะเกิดผลึกสีเขียวอมฟ้า–ฟ้า จัดเป็นสารสีอีกชนิดหนึ่งที่ผลิตด้วยวิธีเคมีที่เก่าแก่ที่สุดในจีน เป็นที่นิยมอย่างมากก่อนคริสต์ศตวรรษที่ 19 เอกสารโบราณหลายฉบับกล่าวถึงสารสีเขียวจากจีนที่เป็นที่นิยมและเป็นที่กล่าวขวัญถึงมากคือ *"สีเขียวตั้งแช"* ซึ่งมีสีเขียวสดสวย ทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดีมาก เมื่อศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับสีชนิดนี้พบว่าคำว่า *"ตั้งแช"*

มาจากภาษาจีนแต้จิ๋ว คำว่า *"ตั้ง"* หรือ *"ตั๋ง"* แปลว่า ทองแดง ส่วนคำว่า *"แช"* แปลว่าสีเขียว ภาษาจีนกวางตุ้งเรียกว่า *"ถ่งเช้ง"* ดังนั้น *"สีเขียวตั้งแช"* คือสีเขียวที่ได้จากสนิมทองแดงกลุ่มนี้

สารประกอบของทองแดงอะซีเตตมีหลายชนิด เช่น Copper(I)acetate, Copper(II)acetate, Copper(II)acetate hydrate, Copper(II)acetate hydroxide, Copper(II)acetate hydroxide hydrate ฯลฯ ทำให้เวอร์ดิกริสมีหลายสี เช่น เขียวสด เขียวอมฟ้า เขียวอมน้ำเงิน ฯลฯ การใช้สีเขียวชนิดนี้ต้องมีกระบวนการเตรียมเป็นพิเศษ ระบายทับซ้อนเป็นชั้น ๆ และเคลือบด้วยวาร์นิชเพื่อป้องกันการเปลี่ยนสี ถ้าใช้กับสีน้ำมัน ตอนแรกจะมีสีเขียวอมฟ้า เมื่อเวลาผ่านไปจะกลายเป็นสีเขียว หากจะระบายสีหญ้าต้องเติมสีเหลืองลงไปเล็กน้อย จะได้สีเขียวเหมือนหญ้า สารเคมีชนิดนี้ใช้เป็นสารฆ่าเชื้อราได้ด้วย

สีเขียวเวอร์ดิกริส

สารสีเขียวอีกชนิดหนึ่งที่จัดเป็นพวกเวอร์ดิกริสอีกชนิดหนึ่ง คือ ทองแดงซัลเฟตไฮดรอกไซด์ ซึ่งมีชื่อทางแร่ว่า antlerite มีสีเขียวอ่อน–เขียวแก่ เป็นแร่ทุติยภูมิที่พบในแหล่งแร่ทองแดงที่มีคาร์บอเนตต่ำ ชาวอินเดียเรียกสารสีชนิดว่า เวอร์ดิกริส

เวอร์ดิกริสบางชนิดมีสีเขียวสวย เกิดจากนำเวอร์ดิกริส มาละลายในน้ำมะนาว ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วกรองแยกเอาส่วนที่เป็นของเหลวใส่ pastaverde ทีละน้อย แล้วทิ้งให้แห้ง เมื่อจะใช้งานเติมน้ำมะนาวอีกครั้ง จะได้สีเขียวมรกตสดใส สารเคมีที่เกิดขึ้นเรียกว่า copper citrate

บางครั้งใช้เวอร์ดิกริสผสมกับคราม เพื่อให้ได้สีเขียวเข้มขึ้นคล้ายสีเขียวมาลาไคต์ ถ้าผสมสีแดงจากไม้ฝางลงไปด้วยจะได้สีม่วง

จากประสบการณ์ พบสีเขียวเวอร์ดิกริสบนภาพพระบฏที่เขียนขึ้นในสมัยรัตนโกสินทร์ตอนต้นจำนวนมาก กรดอะซีติกที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมี ทำให้ส่วนที่ระบายสีเขียวด้วยสารสีชนิดนี้กลายเป็นสีน้ำตาลและขาดเป็นรู

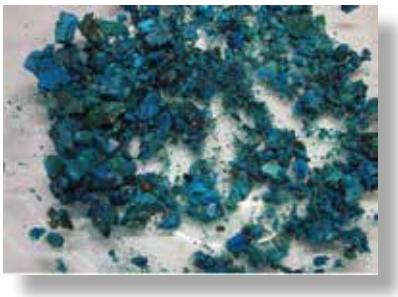
ถ้าใช้กับสีน้ำมัน ทองแดงอะซีเตตอาจละลายในน้ำมันหรือทำปฏิกิริยากับน้ำมันเกิดเป็นสารประกอบอื่น ๆ เพิ่มขึ้น เช่น ทองแดงโอลีเอต (copper oleate) ทองแดงเรซินเนต (copper resinate) ทองแดงโปรตีเนต (copper proteinate) ฯลฯ

5.2.4 **ทองแดงคลอไรด์** เป็นสารประกอบของทองแดงที่มีสีเขียวสวย เกิดจากการสังเคราะห์โดยอาศัยปฏิกิริยาระหว่างทองแดงกับสารประกอบคลอไรด์

สารประกอบทองแดงคลอไรด์อีกชนิดหนึ่งคือ Copper trihydroxy chloride [$Cu_2(OH)_3Cl$] ซึ่งมักเกิดร่วมกับแร่มาลาไคต์ตามธรรมชาติ เป็นสีเขียวที่ช่างเขียนจีนนิยมใช้มายาวนานก่อนสมัยห้าราชวงศ์ จีนเรียกว่า Salt green (Yan lv) หรือ Green salt (Lv yan) ส่วน Copper green คือ $Cu_2(OH)_3Cl$ ที่สังเคราะห์ขึ้น มีราคาถูก

ทองแดงคลอไรด์

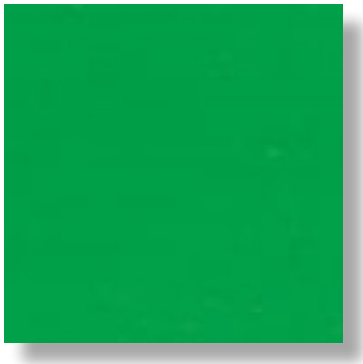
5.2.5 **คริสโซคอลลา (Chrysocolla)** หรือ Cedar green (เมื่อใช้กับสีน้ำ) เป็นสีเขียวจากสารประกอบของทองแดงอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นแร่ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ พบบนผิวหน้าของแหล่งแร่ทองแดง ซึ่งมีปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้น มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นทองแดงซิลิเกต มีลักษณะคล้ายมาลาไคต์ แต่จะมีสีอมน้ำเงินมากกว่า เนื้ออ่อนเปราะ เมื่อบดละเอียดจะยังเป็นผงสีเขียว โปร่งใสมาก และ tinting strength ต่ำ ถ้ามีสิ่งเจือปนจะมีสีน้ำตาลอมดำ นิยมใช้ทำสีน้ำและสีเทมเพอรา เมื่อผสมกับน้ำมันจะได้สีเขียวอ่อนที่โปร่งใส ทนแสงสว่างและสภาพแวดล้อมได้ดี แต่ไม่ทนต่อกรด หากสัมผัสกับด่างและมีความร้อนจะเปลี่ยนเป็นสีดำ



คริสโซคอลลา

5.2.6 Paris green, Emerald green หรือ Schweinfurt green เป็นสีเขียวที่นิยมใช้หลังค.ศ. 1822 เป็นสีสังเคราะห์ มีสีเขียวอมฟ้าสดใสเหมือนสีมรกต หากบดละเอียดดีจะมีสีเขียวสวย องค์ประกอบหลักคือทองแดงอาซีโต–อาร์ซีไนต์ (Cu(II) acetoarsenite) และสารประกอบอื่น ๆ ของทองแดงปะปนอีกหลายชนิด ได้จากการนำเวอร์ดิกริสมาผสมกับสารละลายเดือด ๆ ของสารหนู

เมื่อมองดูผ่านกล้องจุลทรรศน์ สารสีชนิดนี้มีลักษณะเป็นเม็ดกลม มีขนาดเท่า ๆ กัน ถ้าใช้กำลังขยายสูงจะเห็นโครงสร้างเป็นแฉกในแนวรัศมีและมีจุดสีเข้มตรงกลาง สามารถตรวจสอบหาสารหนูด้วยสารเคมี โดยแช่ใน stannous chloride ที่ละลายในกรดเกลือเข้มข้น และทำให้ร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะได้สีดำอมน้ำตาล แสดงว่ามีสารหนู ถ้าหยดโพแทสเซียมลงไปจะได้สีดิน หรือหยดกรดซัลฟิวริกเจือจาง ผงสีชนิดนี้จะละลายและเกิดสีน้ำเงิน



สีเขียวชนิดนี้พบบ่อยบนภาพเขียนของทิเบตที่มีชื่อเรียกว่า "ถังข่า" (thang ka) ที่เขียนขึ้นหลัง ค.ศ. 1830 และภาพเขียนของอินเดียที่เขียนขึ้นในช่วง ค.ศ. 1900 ส่วนญี่ปุ่นใช้สารสีชนิดนี้บนภาพเขียนในช่วง ค.ศ. 1797–1858

สารสีเขียวอีกชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นขณะผลิตสีเขียว Emerald green เรียกว่า Parrot green ซึ่งเกิดขึ้นจากการนำ Emerald green ไปล้างแล้วเติมสารละลายตะกั่วอะซีเตตลงไป จากนั้นให้ความร้อน จะเกิดตะกอนสีเขียวอมเหลือง—เขียวอมน้ำเงิน ขึ้นอยู่กับปริมาณของตะกั่วอะซีเตตที่เติมลงไป หรือใช้สารละลายโพแทสเซียมไบโครเมตใส่ลงไป แล้วคนให้เข้ากันให้ตกตะกอนข้า ๆ

Paris green เป็นสารที่มีพิษต่อสุขภาพอย่างรุนแรง เนื่องจากมีอาร์ซีนิกหรือสารหนูเป็นองค์ประกอบ มีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนสีเป็นสีคล้ำขึ้น และเมื่อผสมกับสารสีอื่นจะทำให้สารสีอื่นเปลี่ยนสีได้ เช่น หมองคล้ำหรือซีดจาง สารสีชนิดนี้ไม่สามารถผสมกับสารสีที่ทำจากแคดเมียม ปรอท และอัลตรามารีน เนื่องจากจะทำปฏิกิริยาเคมีกัน กลายเป็นสารสีน้ำตาล นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อมีความชื้นสูง จะปลดปล่อยไอของสารหนูซึ่งเป็นอันตรายต่อชีวิต จึงเลิกใช้เป็นสารสีตั้งแต่ ค.ศ. 1960

5.2.7 Scheele's green หรือ Patent green มีลักษณะและคุณสมบัติคล้าย Emerald green เป็นสารประกอบของทองแดงกับสารหนูเช่นเดียวกัน Scheele's green เป็นสารประกอบทองแดงอาร์ซีไนต์ ($CuHAsO_3$) เริ่มมีใช้ใน ค.ศ. 1775 มีน้ำหนักเบา ทึบแสง ทนทานน้อยกว่า Schweinfurt green มีความเป็นพิษสูง

เมื่อมองดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ Scheele's green จะมีลักษณะเป็นแผ่น รูปร่างไม่แน่นอนและโปร่งใสมาก การทดสอบด้วยวิธีเคมี เมื่อแช่ใน stannous chloride ที่ละลายในกรดเกลือเข้มข้นและทำให้ร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะได้สีดำอมน้ำตาล

5.2.8 **สีเขียวทองแดงเรซิเนต (Copper resinate)** เป็นสารประกอบของทองแดงอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ในยุโรป มีสีเขียวสด โปร่งใส เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างเกลือของทองแดงกับเรซินหลายชนิด เช่น ผลิตโดยใช้เวอร์ดิกริสทำปฏิกิริยากับเรซินที่ได้จากต้นสน (Venice turpentine) หรือทำปฏิกิริยากับสารยึดที่ทำจากน้ำมันและเรซิน ปัจจุบันผลิตโดยนำเรซินธรรมชาติมาหลอมเหลวแล้วผสมกับเกลือของทองแดง เช่น ทองแดงอะซีเตต ทองแดงไฮดรอกไซด์ ทองแดงออกไซด์ ทองแดงคาร์บอเนต ฯลฯ

สารสีชนิดนี้ละลายในน้ำมัน อีเทอร์ เบนซีน คลอโรฟอร์ม ไวท์สปิริต ฯลฯ ไม่ละลายน้ำ เมื่อมองดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นเป็นเกล็ดสีเขียวขนาดและรูปร่างไม่สม่ำเสมอ ไม่ทนต่อแสงสว่าง ไม่ทนต่อความร้อน ติดไฟได้ เมื่อมีแสงและออกซิเจนจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล เพราะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นทองแดงออกไซด์ นี่คือเหตุผลที่ภาพเขียนโบราณบางภาพมีต้นไม้ใบไม้เป็นสีน้ำตาล

5.2.9 Copper citrate สีเขียวชนิดนี้ เกิดจากการนำจุนสี (ทองแดงซัลเฟต) มาผสมกับน้ำมะนาวจะได้สีเขียวสดใส เคยสัมภาษณ์ช่างทำหนังตะลุงและหนังใหญ่ ได้ข้อมูลว่าใช้สีชนิดนี้ระบายส่วนที่ต้องการให้มีสีเขียว

> สีเขียวทองแดงเรซิเนต ไม่ทนต่อแสงสว่าง ไม่ทนต่อความร้อน ติดไฟได้ เมื่อมีแสงและออกซิเจนจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล เพราะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นทองแดงออกไซด์

5.3 สีเขียวจากโครเมียม

5.3.1 Chrome green เป็นสีเขียวอีกกลุ่มหนึ่งเกิดจากการสังเคราะห์ด้วยวิธีเคมี เป็นสารประกอบของโครเมียม มีสูตรเคมี Chromic oxide (Cr_2O_3) เริ่มผลิตใน ค.ศ. 1835 เป็นสารสีที่ทึบแสงและทนทานได้นานเมื่อใช้กับสีน้ำมัน

สีเขียวจากโครเมียมออกไซด์

สีเขียวเวอริเดียน

5.3.2. สีเขียวเวอริเดียน (Viridian) เป็นสารประกอบของโครเมียมที่มีสีเขียวอีกชนิดหนึ่ง มีสูตรเคมี $Cr_2O_3.H_2O$ (Hydrated chromic oxide) จดลิขสิทธิ์เมื่อ ค.ศ. 1809 มีสีเขียวค่อนข้างเข้ม ออกสีเขียวมากกว่าสีฟ้า โปร่งใส เป็นสีที่เสถียร และไม่เป็นพิษ แต่ราคาแพง หากนำสีเขียวเวอริเดียนผสมกับสีเหลืองจากสังกะสีหรือแบเรียมซัลเฟต จะได้สีเขียวที่มีชื่อเรียกว่า Victoria green หรือ Permanent green ซึ่งมีสีไม่ค่อยสดฉ่ำมาก แต่ทึบแสงและเสถียรกว่าสีเขียวเวอริเดียน

5.4 Cobalt green

สีเขียวโคบอลต์

สารประกอบของโคบอลต์มีหลายสี สารประกอบโคบอลต์ออกไซด์ผสมกับสังกะสีออกไซด์แล้วเผา ได้สารสีเขียวที่เรียกว่า Cobalt green และมีชื่ออื่น ๆ ดังนี้คือ Rinman's green, Zinc green สีจะเขียวมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของโคบอลต์ออกไซด์และสังกะสีออกไซด์ เป็นสารสีสังเคราะห์ที่ผลิตในสวีเดนตั้งแต่ ค.ศ. 1780 และใช้อย่างแพร่หลายหลัง ค.ศ. 1835 มีคุณสมบัติกึ่งทึบแสง ปกปิดพื้นผิวไม่ดี ผสมกับสารสีขาวไม่ได้ ใช้ได้กับสารยึดทุกชนิด สารประกอบของโคบอลต์อีกชนิดหนึ่งที่มีสีเขียวคือโคบอลต์โบรไมด์

5.5 สีเขียวพทาลโลไซยาไนน์ (Phthalocyanine)

สีเขียวพทาลโลไซยาไนน์ เป็นสีสังเคราะห์ประเภทอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ เป็นสารประกอบ polychlorinated phthalocyanine ($C_{32}N_8Cl_{14-16}Cu$) เริ่มผลิตในสวิตเซอร์แลนด์เมื่อ ค.ศ. 1927 มีสีเขียวเข้ม—น้ำเงิน นิยมใช้กับงานประดับตกแต่ง ทนความร้อน ตัวทำละลาย และทนด่างได้ดี

สีเขียวพทาลโลไซยาไนน์

5.6. สีดินเขียว (Green Earth)

เป็นดินที่มีสารประกอบบางชนิดที่ให้สีเขียวจากเหล็กออกไซด์ แมกนีเซียม อะลูมิเนียม ซิลิเกต โพแทสเซียม ฯลฯ ดินสีเขียวมีอนุมูลเหล็กที่มีเวเลนซี 2 และ 3 กระจายอยู่ในโครงสร้างของดินเหนียว ดินที่มีสีเขียวได้จากแร่ที่มีสีเขียว เช่น Glauconite, Celadonite ซึ่งนำมาบดอัด แล้วล้างน้ำเพื่อแยกสิ่งเจือปนออก จากนั้นบดให้ละเอียด แร่ Celadonite เป็นแร่ดินที่มีแมกนีเซียมผสมอยู่มาก พบในแหล่งที่มีหินภูเขาไฟ ในขณะที่ Glauconite มีเหล็กมาก พบในแหล่งที่มีหินตะกอนที่เกิดในน้ำ แร่อื่น ๆ ที่พบในดินสีเขียว ได้แก่ Montmorillonite, Chlorite Kaolinite บางทีมี Goethite ร่วมด้วย

แร่ Glauconite

การนำดินสีเขียวมาใช้งานต้องผ่านกระบวนการหลายขั้นตอน เพื่อให้ได้สารสีที่สะอาดบริสุทธิ์ เริ่มด้วยการล้างแล้วบดหลาย ๆ ครั้ง เลือกสิ่งเจือปนออก บางครั้งใช้วิธีเคมีเพื่อละลายสิ่งเจือปนหรือทำให้บริสุทธิ์

ชื่ออื่นๆ ของดินสีเขียว ได้แก่ Celadon green, Verditera, Green chalk สีดินเขียวเป็นสีที่ทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดี ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง สามารถใช้กับสารยึดทุกชนิด มีการใช้งานมายาวนาน วิเคราะห์พบบนจิตรกรรมฝาผนังของโรมัน ไบแซนไทน์ ญี่ปุ่น และจิตรกรรมในยุโรป บางแห่งใช้รองพื้นก่อนปิดทอง เรียกว่า Green bole จิตรกรรมบนปูนเปียกในถ้ำอชันตา ซึ่งเขียนขึ้นเมื่อประมาณ 2,000 ปีมาแล้ว ใช้สีเขียวจากดินสีเขียว เช่นเดียวกับภาพเขียนสีหลายแห่งในอาร์เจนตินา

ดินสีเขียวมีมากที่อิตาลี ไซปรัส และโบฮีเมีย ดินสีเขียวจากกลางทวีปยุโรปและไซปรัสเรียกว่า ไทโรลีน และจากเมืองเวโรนาในอิตาลีจะมีสีเขียวเจือสีฟ้า ส่วนดินสีเขียวจากโบฮีเมียเป็นดินสีเขียวระดับกลางที่มีเนื้อสีกระจ่าง ดินสีเขียวบางแหล่งมีสีเขียวอมเหลือง เมื่อนำดินสีเขียวมาเผาจะได้สารสีน้ำตาล เรียกว่า Verona brown ใช้มานานตั้งแต่ยุคคลาสสิก

ดินสีเขียวจากเมืองเวโรนา ประเทศอิตาลี

ดินสีเขียวใช้มากกับสีน้ำและสีฝุ่น สำหรับสีน้ำมันนิยมใช้สีเขียวจากทองแดงมากกว่า เพราะถ้าใช้ดินสีเขียวกับน้ำมันจะมีสีคล้ำคล้ายโคลน

5.7. สีเขียวจากพืช

สีเขียวจากพืชที่เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย เป็นสินค้าออกที่สำคัญของจีนในคริสต์ศตวรรษที่ 19 คนจีนเรียกว่า Lokao ชาวตะวันตกเรียกว่า Chinese green เป็นสารเคมีที่สกัดได้จากเปลือกและรากของต้น Chinese buckthorn (*Rhamnus utilis* Deene) ซึ่งคนจีนเรียกว่า hong-pi-lo-chou ต้น *R. globusa* Bunge ซึ่งคนจีนเรียกว่า pe-pi-lo-chou และต้น *R. cartharticus* ซึ่งเป็นไม้พุ่มมีหนามที่พบมากในจีน เกาหลี ญี่ปุ่น เปลือกของลำต้นและรากให้สารสีเขียวซึ่งเป็นสารเคมีในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoid) และแคโรทีนอยด์ (carotenoid) มีสีเขียวสวย สดใส ทนแสงได้ดี ใช้ย้อมผ้าได้โดยไม่ต้องใช้สารช่วยติด

การผลิตเป็นสินค้าออก นำผ้าฝ้ายมาแช่ในสารเคมีที่สกัดได้ แล้วทำให้แห้ง จากนั้นส่งไปขาย เพื่อสะดวกต่อการขนส่ง หรือเอาดินที่อยู่ในแหล่งย้อมผ้าฝ้าย ซึ่งสีเขียวชนิดนี้แทรกซึมลงไปอยู่ในดิน นำมาแผ่บนกระดาษซับแล้วทิ้งให้แห้ง กลายเป็นก้อนหรือแท่งบาง ๆ ต่อมามีสีสังเคราะห์ชนิดใหม่ ๆ ออกมาใช้แทนสีชนิดนี้

6. กลุ่มสีเหลือง

6.1 สีเหลืองจากดินเหลือง

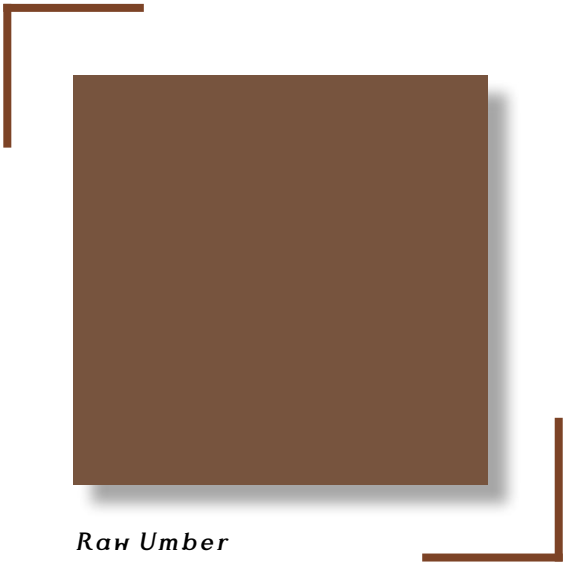
เรียกว่า Yellow ochre เป็นดินที่มีสารประกอบเหล็กไฮดรอกไซด์ผสมกับเหล็กออกไซด์ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน ทำให้ดินเหลืองมีสีอ่อนแก่ไม่เท่ากัน แม้ได้มาจากแหล่งเดียวกัน อาจมีสีออกเหลืองหรือส้ม–น้ำตาล ขึ้นอยู่กับสิ่งเจือปนในดิน ซึ่งอาจเป็นทรายชอล์ก สารประกอบของเหล็ก หรือสิ่งเจือปนอื่น ๆ ดินเหลืองที่มีคุณภาพดีคือดินเลิสส์หรือดินลมหอบจากจีน ซึ่งเกิดจากการขัดสีของทรายในทะเลทรายโกบี

สารประกอบเหล็กออกไซด์ที่เกิดขึ้นในสภาวะแวดล้อมบางอย่าง อาจไม่สามารถใช้ทำเป็นผงสีได้ เช่น ดินสีน้ำตาลที่เพิ่งเกิดขึ้นใหม่ ๆ บนผิวน้ำที่มีอนุมูลเหล็กอยู่มาก มีเหล็กออกไซด์ที่ไม่เป็นผลึก หรือบางผลึกมีพื้นที่ผิวน้อยเกินไป จึงทำให้เกิดสีไม่เพียงพอ ดินสีเหลืองที่มีสีเหลืองสดสวย มีผลึกและพื้นที่ผิวสูงมาก ค่อนข้างทึบแสง ส่วนใหญ่มักมีอนุภาคหยาบคล้ายกรวด ต้องใช้เวลาบดนานมาก กว่าจะได้สารสีที่มีเนื้อละเอียดเพียงพอ

ดินสีเหลืองมีหลายชื่อ มักตั้งชื่อตามแหล่งที่พบ เช่น

- Roman ochre
- Italian ochre
- Golden ochre
- Mineral yellow
- Brown ochre
- Oxford ochre
- ฯลฯ

Italian ochre มาจากแคว้นทัสคานีในประเทศอิตาลี เป็นดินเหลืองที่มียิปซัมผสมอยู่มาก บางทีมีดินเหนียวชนิดที่ขยายตัวได้ดีเมื่อเปียกน้ำร่วมด้วย



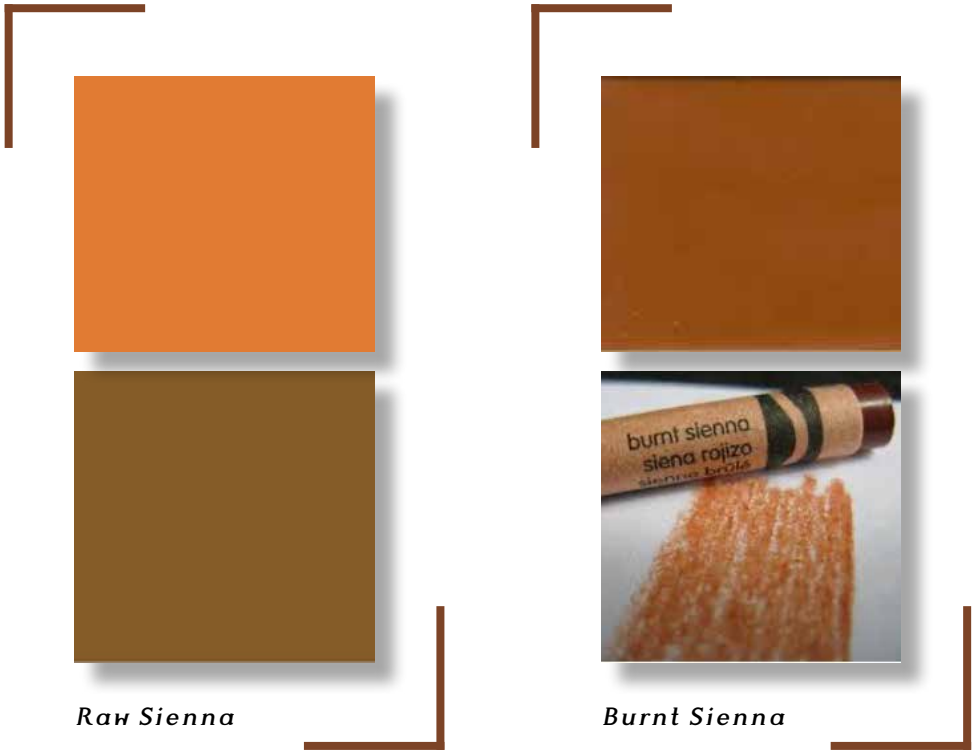
Raw Umber

ดินสีเหลืองที่มีสีคล้ำที่เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลาย คือ Raw umber ซึ่งใช้เป็นสารสีมาตั้งแต่สมัยก่อนประวัติศาสตร์ เป็นดินที่มีเหล็กออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ผสมอยู่ 5–25% บางแหล่งมีอะลูมินาและซิลิกาอยู่ด้วย ทำให้มีสีแตกต่างกัน เดิมมาจากเมืองอัมเบรีย (Umbria) ในประเทศอิตาลี ชาวฝรั่งเศสเชื่อว่าคำว่า umber มาจากภาษาละตินว่า ombra ซึ่งแปลว่า shadow เนื่องจากนิยมใช้ระบายส่วนที่เป็นเงา หรือใช้ผสมกับสารสีอื่น ๆ ให้เกิดเฉดสีต่าง ๆ

Burnt Umber

ปัจจุบันดินสีเหลืองที่มีคุณภาพดีที่สุดมาจากไซปรัส มีสีเหลืองอมน้ำเงิน ใช้ทำสีน้ำมันได้ดีมาก เนื่องจากแมงกานีสไดออกไซด์ช่วยทำให้แห้งเร็ว ได้ชั้นสีที่แข็งและยืดหยุ่น ในสมัยโรมันมีผู้ค้นพบว่าเมื่อนำดินสีเหลืองชนิดนี้ไปเผาไฟ จะได้ Burnt umber ซึ่งเป็นสีที่มีคุณภาพดีมาจากอิตาลี แต่ที่มาจากไซปรัสมีคุณภาพดีที่สุด พ่อค้าจึงเรียกว่า Turkey brown เนื่องจากไซปรัสเคยเป็นส่วนหนึ่งของตุรกีในคริสต์ศตวรรษที่ 18

สารสีที่ทำมาจากดินสีเหลืองอีกชนิดหนึ่งคือ Raw sienna เป็นดินที่มีเหล็กออกไซด์อยู่มากและมีแมงกานีสไดออกไซด์น้อยกว่า 5% มีหลายสี ตั้งแต่สีเหลือง–สีน้ำตาล ส่วนใหญ่มีสีคล้ำ มาจากเมืองเซียนนา (Sienna) ในแคว้นทัสคานี ประเทศอิตาลี เมื่อนำมาเผาคั่วหรือย่าง จะได้ Burnt sienna มีสีต่าง ๆ กัน ตั้งแต่น้ำตาล–แดง–ส้มสด ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการเผา ระยะเวลา และสีเดิมของดิน สารสีชนิดนี้แห้งเร็วพอสมควร และมีความยืดหยุ่นดี เมื่อใช้ทำสีน้ำมัน ไม่เป็นพิษ เมื่อผสมสีชนิดนี้กับสีอัลตรามารีนจะได้สีที่สวยงาม



6.2 สีเหลืองจากรง (Gamboge)

รง เป็นยางไม้สีเหลืองอมส้ม โปร่งใส ได้จากยางของพืชในตระกูล *Garcinia* ได้แก่ *Garcinia acuminata* Planch. & Triana (รงทอง), *G. hanburyi* Hook.f. (รง, รงทอง หรือ Gum cambodge tree) ซึ่งเป็นพืชพื้นเมืองในกัมพูชา ไทย และเวียดนามตอนใต้ *G. morella* มีมากในอินเดียและศรีลังกา ส่วนต้นรงในพม่าเป็นพันธุ์ *G. elliptica* และ *G.heteranda*

ต้นรงที่จะให้น้ำยางต้องมีอายุอย่างน้อยสิบปี การเก็บน้ำยางทำโดยกรีดลำต้นให้เป็นแผล จะมีน้ำยางสีเหลืองไหลออกมา นำมากรองแล้วใส่กระบอกไม้ไผ่เล็ก ๆ

ย่างไฟอ่อน ๆ แล้วทิ้งไว้ ยางรงจะแข็งเป็นก้อนสีน้ำตาล จากนั้นผ่ากระบอกไม้ไผ่ จะได้แท่งรง เวลาใช้งานเอาไปฝนกับน้ำ จะได้ของเหลวสีเหลืองสดใส ยางรงประกอบด้วยเรซินสีเหลืองประมาณ 70–80% และกัมที่ละลายน้ำได้ประมาณ 15–25% เรซินสีเหลืองประกอบด้วย กรดแกมโบจิก (gambogic acid หรือ cambogic acid มีสูตรเคมี $C_{38}H_{44}O_8$) ยางรงจึงมีทั้งผงสีและตัวผสานสีอยู่ด้วยกัน สามารถใช้ระบายสีได้เลยโดยไม่ต้องผสมกาว นิยมใช้ผสมกับแอลกอฮอล์ในการทำวาร์นิชสำหรับเคลือบผิวเครื่องเรือน เครื่องดนตรี และเคลือบผิวเครื่องเงินเพื่อทำให้มีสีเหมือนทอง ช่างเขียนไทยนิยมใช้ยางรงเป็นสารสีและใช้รองพื้นก่อนปิดทอง หากนำรงไปเจือน้ำด่าง เช่น ขี้เถ้า แล้วเติมตะกั่วอะซีเตต จะได้สีส้มสด เรียกว่า Gamboge orange

สีเหลืองจากรงเป็นสินค้าออกของหลายประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ส่งไปขายที่จีนและยุโรป มีชื่อเรียกอีกหลายชื่อ เช่น Rattan yellow, Moon yellow, Yue yellow, Linyi yellow, Zhenla, Painting yellow ยางรงที่มีคุณภาพดีที่สุดมาจากเมือง Yuenan ในเวียดนาม ยางรงของไทยและพม่ามีคุณภาพรองลงมา ยางและเรซินที่ได้จากต้น *G. hanburyi* หรือรงทอง เรียกว่า Siamese gamboge ส่วนยางและเรซินจากต้น *G . morella* เรียกว่า Indian gamboge จีนเรียกรงว่า teng huang (แปลว่า rattan yellow) ส่วนญี่ปุ่นเรียกว่า to–o หรือ shio พบหลักฐานว่าสีเหลืองจากรงมีใช้มานานตั้งแต่ยุคกลาง

สีเหลืองจากรงสามารถดูดซับรังสีอัลตราไวโอเลตได้ดีกว่าสารสีเหลืองชนิดอื่น ๆ ทำให้สามารถวิเคราะห์รงได้อย่างรวดเร็ว อีกวิธีหนึ่งที่ให้ผลแน่นอนคือวิธี Chromatography

สีเหลืองจากยางรง

6.3 สีเหลือง-ส้มจากหญ้าฝรั่น (Saffron)

หญ้าฝรั่นมีดอกสีม่วง มีเกสรยาวโผล่พ้นขึ้นมาเหนือกลีบดอก เกสรตัวเมียมีสีแดงเข้ม มีลักษณะเป็นสามง่าม ส่วนที่นำมาใช้งานคือเกสรตัวเมียซึ่งมีสามเส้นอยู่ในหนึ่งดอก จากนั้นนำมาคั่วให้แห้ง สารสีแดงจากเกสรของหญ้าฝรั่น มีสารเคมีจำพวกแคโรทีนอยด์หลายชนิด เช่น Crocin, Picrocrocin, Riboflavin และน้ำมันหอมระเหย โดย Crocin เป็นสารสีเหลือง–ส้ม สารสีชนิดนี้มีมากในอิหร่าน มีราคาแพง นิยมใช้ในการปรุงอาหาร ทำยา และใช้เป็นสารสี

ดอก Saffron

สารที่สกัดได้จาก ดอก Saffron

6.4 สีเหลืองจากหรดาล

สีเหลืองจากหรดาลใช้เป็นผงสีในตะวันออกกลางมายาวนาน ตะวันตกนิยมใช้เป็นสารสีมากในคริสต์ศตวรรษที่ 18 ช่างไทยใช้หรดาลในการสร้างภาพด้วยการทำลายรดน้ำและใช้เป็นสารสีในการสร้างภาพจิตรกรรม ช่างทำพลุเคยใช้หรดาล (realgar) ในการทำพลุที่มีสีขาว แต่ต่อมาใช้อะลูมิเนียม แมกนีเซียม และไทเทเนียมแทน

หรดาลเป็นแร่อาร์เซนิก ประกอบด้วย อาร์เซนิก (สารหนู) และกำมะถัน มีชื่อทางแร่ว่า **รีอัลการ์** (realgar–As_4S_4) และ**ออร์พิเมนต์** (orpiment–As_2S_3) เกิดเป็นสายแร่อุณหภูมิต่ำในหินภูเขาไฟและเกิดจากการผุพังอยู่กับที่ของแร่อาร์เซนิกอื่น ๆ แร่สองชนิดนี้มักพบร่วมกัน และบางครั้งพบร่วมกับซินนาบาร์และพลวง (antimony) หรดาลที่มีเนื้อแข็งเรียกว่าหรดาลหิน เมื่อฝนกับหินจะได้ผงสีเหลือง ส่วนหรดาลกลีบทองมีเนื้อเปราะ เมื่อตำหรือบดให้

ละเอียดจะมีลักษณะคล้ายฝุ่น สารสีชนิดนี้มีกลิ่นเหม็น เนื่องจากเมื่อได้รับแสงจะสลายตัวให้ก๊าซไข่เน่าและเป็นพิษต่อร่างกาย หากได้รับเป็นปริมาณมากจะเสียชีวิต บางท้องถิ่นใช้เป็นยาฆ่าหนู คนจีนและญี่ปุ่นโบราณป้องกันแมลงกินเอกสารโบราณ โดยใช้สารหนูที่มีสีเหลืองผสมในกระดาษ ได้กระดาษสีเหลือง

ออร์พิเมนต์ (Orpiment)

จีนมีหรดาลมากที่มณฑลหูหนาน จีนส่งออกหรดาลไปสู่ประเทศต่าง ๆ ทางตะวันตกเป็นจำนวนมากในคริสต์ศตวรรษที่ 19 ด้วยเหตุนี้หรดาลของจีนจึงมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Chinese yellow ส่วนหรดาลที่ได้จากการสังเคราะห์ โดยเอาสารหนูมาผสมกับกำมะถัน แล้วปล่อยให้ระเหิด (sublime) จะได้สารสีเหลืองที่เรียกว่า King's yellow

Realgar มีสีส้ม-แดง บางคนเรียกว่า Red orpiment ส่วน orpiment (Chinese yellow หรือ King's yellow) มีสีออกส้ม—เหลือง คนจีนเรียกรีอัลการ์ (สีแดง) ว่า hsiung huang และออร์พิเมนต์ (สีเหลือง) ว่า tzu huang

6.5 สีเหลืองขมิ้น

เหง้าของขมิ้นชันมีสารสีเหลืองสดใสที่ใช้เป็นสมุนไพรและสีผสมอาหารมาเป็นเวลานาน สารสีเหลืองที่ได้จากขมิ้นคือสารประกอบพวก Diaryl ซึ่งไม่ค่อยทนต่อแสงสว่าง ช่างเขียนไทยใช้ขมิ้นในการทดสอบความพร้อมของผนังที่ฉาบปูนก่อนการเขียนภาพ เนื่องจากปูนขาวที่ใช้ฉาบผนังมีความเป็นด่างสูงในช่วงแรก (pH ประมาณ 12) มีองค์ประกอบหลักคือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ [$Ca(OH)_2$] เมื่อปูนขาวทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ จะเปลี่ยนเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งเป็นกลาง (pH ประมาณ 7) หากผนังยังคงเป็น

ด่าง จะไม่สามารถเขียนภาพได้ เพราะสีบางสีจะเปลี่ยน ช่างจึงใช้ขมิ้นขีดบนผนัง หากได้สีแดง แสดงว่าผนังยังเป็นด่าง หากได้สีเหลือง แสดงว่าผนังเป็นกลาง พร้อมที่จะเขียนภาพ สิ่งที่หลายคนคุ้นเคยอีกอย่างหนึ่งคือปูนแดงที่คนชราใช้กินกับหมาก เป็นปูนขาวหมักตำผสมกับขมิ้นนั่นเอง

สีเหลืองขมิ้น

6.6 สีเหลืองโครเมียม

สีเหลืองโครเมียม

สารประกอบของโครเมียมหลายชนิดให้สีสดสวย เช่น Chrome yellow เริ่มผลิตใน ค.ศ. 1797 และเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในคริสต์ศตวรรษที่ 20 มีสีเหลืองสด ราคาถูก ปกปิดพื้นผิวได้ดี แต่ไม่ทนทาน มักจะมีสีคล้ำขึ้น และเมื่อผสมกับสารสีอื่น ๆ มักทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี เนื่องจากองค์ประกอบเป็นตะกั่วโครเมต ต่อมาเลิกใช้เพราะตะกั่วเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

เมื่อใช้สีเหลืองโครเมียมผสมกับปรัสเซียนบลู จะได้สีเขียว เรียกว่า Chrome green

6.7 สีเหลืองตะกั่ว

สารประกอบของตะกั่วมีหลายสี หนึ่งในนั้นคือสีเหลืองที่ได้จากตะกั่วออกไซด์ (PbO หรือ lead mono oxide หรือ Plumbers oxide) หรือที่เรียกชื่อสามัญว่า Litharge หรือ Massicot จีนเรียกว่า Huang tan สเปนเรียกว่า Plomo amarillo และ Lithargita

Litharge

สีเหลืองตะกั่วออกไซด์เป็นสารเคมีที่มีสีเหลือง–เหลืองอมแดง ไม่มีกลิ่น มีลักษณะคล้ายดิน มีน้ำหนัก ละลายน้ำได้ มีทั้งที่เกิดตามธรรมชาติในแหล่งแร่ตะกั่วและจากการสังเคราะห์ ตะกั่วออกไซด์ที่เกิดจากการสังเคราะห์เกิดจากการเอาตะกั่วมาเผาให้หลอมเหลว ทิ้งไว้ให้เย็น จะเป็นของแข็งเป็นสะเก็ดสีแดงอ่อน–แดงเข้ม สะเก็ดสีแดงอ่อนเรียกว่า Litharge of silver ส่วนสะเก็ดสีแดงเข้ม เรียกว่า Litharge of gold ซึ่งมีสีแดงเสนผสม บางครั้งคำว่า Litharge of silver หมายถึง Litharge ที่เป็นผลพลอยได้จากการแยกเงินออกจากตะกั่ว

ส่วน Massicot (beta–lead monoxide) เกิดจากการเผาคั่วตะกั่วขาว (ตะกั่วคาร์บอเนต) ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ความร้อนจะทำให้คาร์บอเนตกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เหลือตะกั่วออกไซด์หรือ Massicot เป็นผงสีเหลือง ในขณะที่ Litharge (alpha–lead monoxide) มีสีออกส้มมากกว่า เพราะมักมีสีแดงเสนเจือปนอยู่ด้วย ผงสีสองชนิดนี้มีสูตรเคมีเหมือนกัน แต่มีรูปร่างผลึกแตกต่างกัน โดย Massicot มีรูปผลึกแบบ orthorhombic ในขณะที่ Litharge มีรูปผลึกแบบ tetragonal การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์จะช่วยบอกความแตกต่างได้

Litharge ประกอบด้วยตะกั่ว 93% และออกซิเจน 7% มีความเป็นด่าง ไม่ละลายในน้ำและแอลกอฮอล์ แต่ละลายในกรดน้ำส้ม กรดดินประสิว (กรดไนตริก) และด่าง ไม่ค่อยนิยมใช้เป็นสารสีในการวาดภาพสีน้ำมัน แต่ใช้เป็นสารเร่งแห้งมากกว่า เพราะมีคุณสมบัติทำให้น้ำมันชักแห้งหลายชนิดแห้งเร็วขึ้น เช่น น้ำมันลินสีด น้ำมันเมล็ดป๊อบปี้ น้ำมันเมล็ดวอลนัท และน้ำมันเมล็ดคำฝอย แต่สามารถใช้เป็นสารสีในภาพวาดสีน้ำ สีฝุ่น สีปูนเปียก และสีขี้ผึ้งได้

สารประกอบของตะกั่วที่มีสีเหลืองอีกชนิดหนึ่งคือ ตะกั่วโครเมต ($PbCrO_4$) ซึ่งมีหลายชื่อ เช่น Chrome yellow, Lemon yellow, Paris yellow, Leipzig yellow ฯลฯ เกิดขึ้นตามธรรมชาติเป็นแร่ Crocoite มีลักษณะเป็นผลึกรูปปริซึม สีเหลือง-ส้มในแหล่งแร่ตะกั่ว แต่เป็นแร่ที่หายาก สารสีที่ใช้ในการสร้างสรรค์ศิลปกรรมจึงเกิดจากการสังเคราะห์ โดยใช้ตะกั่วอะซีเตตหรือตะกั่วไนเตรตทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียมโครเมต ได้สารสีเหลือง-ส้มสด-แดงขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคและสภาวะความเป็นกรดเป็นด่างในขณะตกตะกอน วิธีการสังเคราะห์นี้ได้รับสิทธิบัตรเมื่อ ค.ศ. 1804

ตะกั่วโครเมต

สารสีเหลืองอีกชนิดหนึ่งเป็นตะกั่วโครเมตซัลเฟต ($PbCrO_4.xPbSO_4$) ซึ่งได้จากการนำตะกั่วโครเมตมาทำปฏิกิริยากับตะกั่วซัลเฟต ได้สารสีเหลืองอ่อน-เหลืองแก่ ขึ้นอยู่กับปริมาณของตะกั่วโครเมต ซึ่งมีผลต่อโครงสร้างผลึกของผงสีที่สังเคราะห์ได้ เช่น สารสีที่ได้จากการผสมตะกั่วโครเมตมากกว่า 30-35% จะมีรูปผลึกเป็น monoclinic symmetry ซึ่งทนต่อแสงสว่างได้ดี ในขณะที่สารสีที่ได้จากการผสมตะกั่วโครเมตน้อยกว่า 10% จะมีรูปผลึกเป็น orthorhombic system แต่ละสีมีคุณสมบัติแตกต่างกัน แต่เรียกว่า Chrome yellow เช่นเดียวกัน

สารสีเหล่านี้ไม่ละลายน้ำ ถ้าบริสุทธิ์จะทนแสงได้ดี แต่นานไปจะเปลี่ยนเป็นสีคล้ำลงเป็นเหลืองอมน้ำตาล สีชนิดนี้เหมาะกับการใช้งานกับจิตรกรรมปูนเปียกและสีน้ำมัน ในสีน้ำมันมักใช้สีเหลืองตะกั่วผสมกับสีน้ำเงินจากพืชหรือสีอินทรีย์ที่ได้จากการสังเคราะห์ จะได้สีเขียว

สารประกอบอีกชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติคล้ายกันคือ ตะกั่วคลอไรด์ออกไซด์หรือตะกั่วออกซีคลอไรด์ มีสูตรเคมี $PbCl_{2.5-7}.PbO$ มีสีเหลืองมะนาว–เหลืองหม่นหรือเหลืองคล้ำ ขึ้นอยู่กับปริมาณตะกั่วออกไซด์ที่เติมลงไปในปฏิกิริยาที่นำตะกั่วออกไซด์มาหลอมรวมกับแอมโมเนียมคลอไรด์หรือนำ litharge ผสมกับน้ำเกลือแล้วคนนาน 24 ชั่วโมง แล้วนำมาเผา มีชื่ออื่น ๆ คือ Turner's yellow, Patent yellow ซึ่งได้สิทธิบัตรเมื่อ ค.ศ. 1781

สารประกอบของตะกั่วมีพิษหากได้รับต่อเนื่องเป็นเวลานาน ทำให้เป็นมะเร็ง เสียสายตา ทำลายตับ มีรายงานว่าตอนต้นคริสต์ศตวรรษที่ 19 บางประเทศใช้สารสีเหลืองชนิดนี้ผสมในลูกกวาด

บางทีสารสีเหลืองจากตะกั่วมีสีเหลืองอ่อน ๆ เป็นเพราะมีตะกั่วซัลเฟต (มีสีขาว) หรือเกลืออื่น ๆ ที่มีสีขาวผสมอยู่ ถ้ามีสีกลาง ๆ จะเป็น ตะกั่วโครเมตที่มีค่า pH เป็นกลาง ส่วนสีส้มเป็นตะกั่วโครเมตที่มีค่า pH เป็นด่าง

สีเหลืองตะกั่วอีกชนิดหนึ่งคือ สีเหลืองตะกั่ว–ดีบุก (Lead–Tin Yellow) มีชื่อทางเคมีว่า Lead stannate (Pb_2SnO_4) และ Lead tin oxide silicate [$Pb(Sn.Si)O_3$] ซึ่งนิยมใช้เป็นสารทึบแสงในการผลิตแก้ว Lead stannate มีรูปผลึกแบบ orthorhombic มีคุณสมบัติกึ่งทึบแสง เคยใช้เป็นสารสีมาแต่โบราณ นิยมใช้มากใน ค.ศ. 1300–1750 ในยุโรป

สีเหลืองตะกั่ว-ดีบุก

ส่วน Lead tin oxide silicate มีรูปผลึกแบบลูกบาศก์ มีลักษณะโปร่งใส ผลิตโดยการหลอมตะกั่ว ดีบุกและควอตซ์ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส จากนั้นนำมาบดและกรอง

สีเหลืองตะกั่ว–ดีบุกเป็นสีทึบแสง สามารถปกปิดพื้นผิวได้ดี นิยมใช้ระบายภาพดอกไม้ ใบไม้ในช่วงคริสตศตวรรษที่ 15–18 เป็นสีที่ทนทานต่อสารยึดทุกชนิดและเข้ากันได้กับสารสีอื่น ๆ แต่มีข้อเสียคือมีความเป็นพิษสูงมาก

6.8 สีเหลืองแคดเมียม

สารประกอบแคดเมียมหลายชนิดมีสีสันสดใส มีหลายสี เนื่องจากแคดเมียมเป็น transition metal หลังจากการค้นพบโลหะแคดเมียมเมื่อ ค.ศ. 1817 จึงมีการผลิตสารประกอบของแคดเมียมที่มีสีต่าง ๆ ค.ศ. 1846 มีการค้นพบแคดเมียมซัลไฟด์ ซึ่งมีสีเหลืองสด โปร่งใส เป็นที่นิยมชมชอบอย่างแพร่หลาย เนื่องจากทนทานมาก ทึบแสง และ tinting strength ปานกลาง ต่อมาผลิตแคดเมียมซัลโฟเซเลไนด์ (Cadmium sulfoselenide) มีสีเหลือง–แดง

สารประกอบแคดเมียมมีหลายสี

หลังจากนั้นมีผู้ค้นพบว่าสารประกอบแคดเมียมเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ผู้ที่ได้รับสารประกอบแคดเมียมปริมาณมากหรือได้รับติดต่อกันเป็นเวลานานจะเจ็บป่วย

แคดเมียมซัลไฟด์สีเหลืองมะนาว-ส้ม

6.9 Mars yellow

Mars yellow เป็นสารสีเหลืองอมน้ำตาล ที่เกิดจากการสังเคราะห์เมื่อคริสต์ศตวรรษที่ 18 โดยการตกตะกอนสารละลายของเกลือของเหล็ก เช่น เกลือซัลเฟต คลอไรด์ ไนเตรต อะซีเตต ด้วยด่าง (โซดาไฟ น้ำปูนใส โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์) ผลที่ได้คือสารประกอบที่มีสีเหลือง ซึ่งสามารถนำไปทำให้เกิดสีอ่อน-แก่ อีกหลายสี โดยการเผาคั่วที่อุณหภูมิต่าง ๆ จะได้สีส้ม น้ำตาล แดง ม่วง หรือผสมกับสารสีอื่น ๆ หรือใช้เหล็กซัลเฟตผสมกับสารส้ม ก่อนนำมาตกตะกอนกับด่างให้ได้สารสีเหลืองอ่อนใสขึ้น

สารสีชนิดนี้บริสุทธิ์และมีอนุภาคเล็กละเอียดมากกว่าเหล็กออกไซด์และไฮดรอกไซด์ที่เกิดจากการสังเคราะห์ก่อนหน้านี้

6.10 Naples yellow

สีเหลืองเนเปิลคือสารประกอบ lead antimonite ($Pb_2Sb_2O_7$) ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธีเคมี เป็นที่นิยมในช่วง ค.ศ.1700-1850 มีลักษณะเป็นสีเหลืองอมแดง—เหลืองอ่อนสดใส แต่ต่อมามีสารสีเหลืองอื่นมาแทนที่ เช่น สีเหลืองโครเมียม สีเหลืองแคดเมียม สีเหลืองโคบอลต์

Naples Yellow

6.11 Hansa yellow

สารสีเหลือง Hansa yellow, Arylide yellow หรือ Monoazo yellow เป็นสารประกอบอินทรีย์จำพวก monoazo มีลักษณะกึ่งโปร่งใส มีสีเหลือง–เขียวอมเหลือง ทนต่อแสงสว่างได้ดีและทนต่อสภาวะแวดล้อม

Hansa Yellow

6.12 สีเหลืองสังกะสี (Zinc yellow)

เป็นสารประกอบสังกะสีโครเมต ซึ่งอาจเป็นสารประกอบสังกะสีไดโครเมตไฮเดรต ($ZnCr_2O_7.3H_2O$) หรือสังกะสีโพแทสเซียมโครเมตไฮเดรต ($K_2O.4ZnCrO_4.3H_2O,CrO_4.3ZnCrO_4.Zn(OH)_2.2H_2O$) หรือสังกะสีโครเมตไฮดรอกไซด์ [$ZnCrO_4.4Zn(OH)_2$] ผลิตได้หลายวิธี เช่น เติมสารละลายโซเดียมไบโครเมตลงในสารละลายขัน ๆ ของสังกะสีออกไซด์และโพแทสเซียมคลอไรด์ ใช้กรดเกลือปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่าง เคยใช้เป็นสารสีในคริสต์ศตวรรษที่ 18 และ 19

Zinc Yellow

7. กลุ่มสีน้ำตาล

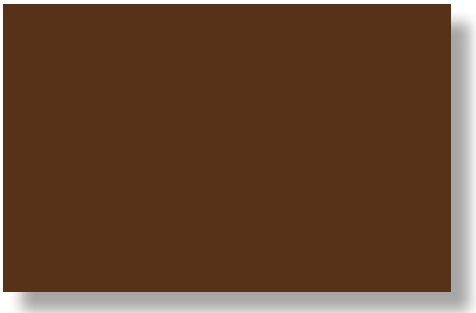
7.1 สีน้ำตาลที่เกิดจากการผสมสี

ได้จากการผสมสี เช่น ผสมสีแดง ดำ และเหลือง เข้าด้วยกัน หรือผสมสีน้ำเงิน เหลือง และแดง เข้าด้วยกัน

7.2 ดินสีน้ำตาล

ระยะแรก ๆ สีน้ำตาลส่วนใหญ่ได้จากดินที่มีสีน้ำตาล ซึ่งมีแร่เกอไทต์ (goethite) เป็นองค์ประกอบสำคัญ บางทีมีสารประกอบแมงกานีสผสมด้วย

สีน้ำตาลจากแร่เกอไทต์



Vandyke Brown

สีน้ำตาลที่เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายอีกชนิดหนึ่งคือ Vandyke brown ซึ่งชาวยุโรปเรียกว่า Cologne earth หรือ Cassel earth เป็นดินธรรมชาติที่มีสีน้ำตาลเข้มที่เกิดจากการเน่าเปื่อยผุพังของพืชหรือเป็นดินสีน้ำตาลที่มีเหล็กออกไซด์ไฮเดรตและสารประกอบอินทรีย์ ที่อยู่ในรูปของอิวมัสและสารจำพวกบิทูเมน ประกอบด้วยสารประกอบอินทรีย์ 80% ที่เหลือเป็นแร่ เช่น เหล็กออกไซด์ อะลูมิเนียมออกไซด์ แคลเซียมคาร์บอเนต ซิลิกา ฯลฯ สารสีชนิดนี้เป็นที่นิยมใช้มากในสมัยเรอเนซองส์ จนถึงคริสต์ศตวรรษ

ที่ 19 อาจผสมสีแดง ดำ หรือม่วงให้เกิดสีน้ำตาลเฉดต่าง ๆ ใช้เป็นสีย้อมได้ แต่ซีดจางง่ายเมื่อได้รับแสงสว่าง

ต่อมามีผู้สังเคราะห์ Vandyke brown โดยใช้สารสีที่ทำจากดินผสมกับสารสีดำเรียกว่า Soluble Vandyke brown หรือผสมเขม่าและเหล็กออกไซด์เล็กน้อย ได้สีน้ำตาลที่ไม่สดใสเท่าสารสีที่ได้จากธรรมชาติ

7.3 สีน้ำตาลจากการสังเคราะห์

สารสังเคราะห์สีน้ำตาลที่ได้จากกระบวนการทางเคมีที่สำคัญ ได้แก่ Mars Brown เป็นสารประกอบของเหล็กหลายชนิดผสมกัน มีสีออกน้ำตาล เช่น สีน้ำตาลคล้ายฝุ่น

สารสีน้ำตาลที่ได้จากการสังเคราะห์อีกชนิดหนึ่ง คือ Verona brown โดยนำดินสีเขียวไปเผา หรือเป็นของผสมระหว่าง Burnt umber กับ Burnt sienna หรือ Raw sienna

7.4 Bister

สีน้ำตาลชนิดนี้พบบ่อยในสีน้ำ ได้จากเขม่าที่ได้จากการเผาไม้ที่มีเรซินมีลักษณะคล้ายยางมะตอย เอามาบดแล้วล้างด้วยน้ำร้อน มีสีเหลือง—น้ำตาล—ดำ ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบและกระบวนการผลิต บางครั้งผสมสีดินแดง

8. กลุ่มสีส้ม

8.1 สีส้มที่เกิดจากการผสมสี

เช่น ใช้ดินสีแดงผสมกับดินสีเหลืองหรือสีย้อมสีแดงกับสีย้อมสีเหลือง

8.2 ดินสีส้ม

ดินบางแหล่งมีสีออกส้ม เนื่องจากมีเหล็กออกไซด์หรือเหล็กไฮดรอกไซด์ในปริมาณพอเหมาะที่จะทำให้เกิดสีส้ม

8.3 Chrome orange

สีส้มจากโครเมียม (Chrome orange) รวมทั้งสีแดงโครเมียม (Chrome red) มีชื่อเคมีเป็นตะกั่วโครเมตออกไซด์ มีสูตรเคมี $PbCrO_4.PbO$ พบตามธรรมชาติเป็นแร่ Phoenicochroite ซึ่งมักพบร่วมกับแร่ Crocoite หรือเกิดจากการสังเคราะห์ โดยผสมตะกั่วโครเมต ($PbCrO_4$) กับตะกั่วออกไซด์ (PbO) หรือเติมสารละลายของเกลือของตะกั่วลงในสารประกอบโครเมตที่เป็นด่าง ได้สารสีที่มีหลายสี ตั้งแต่สีส้มอมเหลืองไปถึงสีแดงเข้ม หากมีตะกั่วอยู่ในสารละลายมาก จะได้สารประกอบที่มีสีค่อนข้างเหลือง หากมีสารประกอบโครเมตในด่างมาก จะได้สีแดง สารสีส้มที่เกิดจากผสมตะกั่วโครเมตที่เป็นกลางกับสารละลายที่เป็นด่าง หากสารละลายเป็นกลาง หรือเป็นกรดอ่อนและใช้อุณหภูมิต่ำ จะได้สีเหลือง

ชื่ออื่น ๆ ของสารสีกลุ่มนี้ ได้แก่ Austrain cinnabar, Prussian red, Basic lead chromate, Red lead chromate, Chrome lead oxide

Chrome Orange

สารสีส้มจากโครเมียมแต่ละชนิดทนแสงได้ไม่เท่ากัน สีแดงทนแสงได้ดีกว่าสีเหลืองจากโครเมียม สีส้มทนแสงดีกว่าสีเหลืองแต่ไม่ดีเท่าสีแดง ส่วนสีเหลืองเปลี่ยนสีเป็นสีคล้ำเมื่อได้รับแสงสว่าง แต่ความนิยมลดลงเมื่อมีการผลิตสารสีส้มชนิดใหม่ที่ราคาถูกกว่าที่เรียกว่า Molybdate orange มาแทนที่

8.4 สีส้มจากแคดเมียม

Cadmium orange เป็นสารสีที่ได้จากการสังเคราะห์ เริ่มมีใช้ใน ค.ศ. 1862 องค์ประกอบทางเคมีของสารสีชนิดนี้คือ แคดเมียมเซเลไนด์ (Cadmium selenide) แคดเมียมซัลไฟด์ (Cadmium sulfide) และแคดเมียมเมอร์คิวรีซัลไฟด์ (Cadmium mercury sulfide) และบางทีเป็นแคดเมียมเซเลไนด์ที่มีสิ่งเจือปน จึงมีสีแตกต่างกันหลายสี เช่น สีเหลือง ส้ม แดง

Cadmium Orange

8.5 Molybdate orange

สารสีส้มชนิดใหม่ที่มาแทนที่ Chrome orange เป็นสารเคมีที่ได้จากการสังเคราะห์ที่มีองค์ประกอบเป็นตะกั่วโครเมตโมลิบเดต (Lead chromate molybdate) ซึ่งมีสูตรเคมี $PbCrO_4.PbMoO_4.PbSO_4$ อาจมีสีส้ม–แดง หากมีสีแดง เรียกว่า Molybdate red

8.6 Mars orange

สารสีส้มชนิดนี้เกิดจากการนำ Mars yellow (iron oxide hydroxide) ซึ่งมีสีเหลืองมาเผาคั่ว ได้สารประกอบของเหล็กที่มีสีเข้มขึ้น บางผลิตภัณฑ์ผสมกับผงชอล์ก

8.7 Azo pigments/ dyes

สีย้อมกลุ่มนี้เป็นสีย้อมสังเคราะห์ เมื่อ ค.ศ. 1940 มีการค้นพบ diazo (di arylide) ซึ่งให้สีแดง ส้ม และเหลือง

9. กลุ่มสีม่วง

9.1 สีม่วงที่เกิดจากการผสมสี

เช่น ใช้สีน้ำเงินผสมกับสีแดง สีฟ้าผสมสีแดงหรือชมพู

9.2 โคบอลต์อาร์ซีเนต

โคบอลต์อาร์ซีเนต (Cobalt arsenate, Cobalt arsenic oxide หรือ Cobaltbloom) ได้จากแร่ Erythrilte และ Roselite เป็นสารสีที่คงทน โปร่งใส แต่มีความสามารถในการทินต์ต่ำ มีความเป็นพิษ เนื่องจากมีสารหนู

9.3 Copper violet หรือ Guyard's violet

เป็นสารเคมีที่ได้จากการสังเคราะห์ชื่อ Cupric potassium ferrocynide มีสีม่วงอมน้ำเงิน สังเคราะห์โดยนำตะกอนของ copper ammonium sulfate มาเผากับ potassium ferricynide ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส มีความสามารถในการปกปิดพื้นผิวได้ดีมาก

9.4 Violet hematite

Violet hematite, Blood stone หรือ Mummy violet เป็นสารประกอบของเหล็กออกไซด์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ มีสีม่วงอ่อนถึงม่วงเข้ม

9.5 Han purple

Han purple, China blue หรือ Chinese purple มีสีม่วงสดใส เป็นสารประกอบ Barium copper silicate เป็นสีม่วงที่พบบนทหารดินเผาในหลุมฝังศพของจักรพรรดิจิ๋นซีในเมืองซีอาน

9.6 Silver chromate

Silver chromate หรือ Purple red มีสีม่วงอมแดง ได้จากปฏิกิริยาระหว่าง silver nitrate กับ potassium chromate

9.7 Purpurite

Purpurite (เพอพิวไรต์) เป็นแร่แมงกานีสฟอสเฟตหรือ Iron manganese phosphate มีสีชมพู–ม่วงแดง–แดงคล้ำ เป็นแร่ที่หายาก

9.8 Ultramarine violet

สารประกอบในกลุ่มอัลตรามารีน สามารถผลิตให้ได้สีต่าง ๆ มากมาย โดยอาศัยกระบวนการทางเคมี อัลตรามารีนไวโอเลตมีสีม่วง ได้จากการนำอัลตรามารีนบลู ผสมกับแอมโมเนียมคลอไรด์ แล้วทำให้ร้อนที่อุณหภูมิ 200–250 องศาเซลเซียส เป็นเวลาสี่วัน แล้ววางทิ้งให้สัมผัสกับอากาศ จนเปลี่ยนสีเป็นสีม่วง หรืออีกกระบวนการหนึ่งคือใช้คลอรีนและกรดเกลือแทนแอมโมเนียมคลอไรด์

Ultramarine Violet

9.9 สีย้อมแอนนิลีน (Aniline dyes)

แอนนิลีนเป็นสีย้อมที่มีสีสันสดใส ทนแสงสว่าง ละลายน้ำได้ และราคาถูก เริ่มสังเคราะห์ในอังกฤษเมื่อกลางคริสต์ศตวรรษที่ 19 ตอนแรกเป็นสีย้อมสีม่วง ต่อมาสังเคราะห์เพิ่มได้อีกหลายสี สารตั้งต้นในการผลิตคือน้ำมันดิน

Mauve เป็นชื่อใหม่ของ aniline dyes ค้นพบเมื่อ ค.ศ. 1856 ในอังกฤษ หลังจากมีการผลิตแอนนิลีนจากน้ำมันดิน สีย้อมที่ทำจากแอนนิลีนมีสีสดใส เข้มกว่าสีธรรมชาติ ผสมสีง่าย ใช้งานง่าย Mauve ผลิตจากการนำแอนนิลีนมาทำปฏิกิริยากับกรดโครมิก mauve ที่บริสุทธิ์มีลักษณะเป็นผลึกสีม่วงอมแดง เมื่อนำมาเขียนภาพจะมีสีม่วงหม่น ไม่ทนแสง Mauve lake ผลิตขึ้นใน ค.ศ. 1856

Mauveine, aniline purple หรือ Perkin's mauve เป็นสีม่วงอมน้ำเงินที่โด่งดังมากในสมัยวิกทอเรีย ค้นพบเมื่อ ค.ศ. 1856 โดยนำแอนนิลีน (aniline) ที่ไม่บริสุทธิ์มาออกซิไดซ์โดยใช้โพแทสเซียมไบโครเมต

10. ผงรัตนชาติ/หิน

สารสีที่ใช้กับภาพเขียนส่วนหนึ่งเป็นผงหินสีต่าง ๆ หรือผงรัตนชาติที่บดหยาบกว่าผงสีทั่วไป เรียกว่า Crushed gemstone painting ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีชื่อเสียงของราชวงศ์โมกุลของอินเดีย โดยบดหินมีค่าเพื่อใช้เป็นสารสี เช่น มรกต ไพลิน ทับทิม โอปอล หยก นิล ควอตซ์ แจสเปอร์ โรโดไนต์ ซาร์ด เทอร์ควอยซ์ ฯลฯ โดยใช้กาวเป็นสารยึด สารสีเหล่านี้ทนทาน ต่อสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าสารสีทั่วไป เทคนิคนี้นิยมใช้ในอินเดียและเวียดนาม

11. ผงโลหะ

ผงโลหะหลายชนิดมีสีสวยหรือแวววาว สามารถใช้เป็นสารสีในการสร้างสรรค์ศิลปกรรมได้ เช่น ผงเงิน ผงทอง ผงสำริด ผงทองเหลือง ผงโลหะผสมของทองแดง ผงเหล็ก ผงเหล็กไร้สนิม ผงอะลูมิเนียม ผงบิสมัท ผงตะกั่ว ผงชิน ผงสังกะสี ฯลฯ

ผงเงินและผงทองเป็นที่นิยมใช้เป็นสารสีที่มีลักษณะพิเศษคือสะท้อนแสงแวววาว นิยมใช้มากในสีน้ำ มีทั้งที่เป็นโลหะแท้หรือเป็นผงที่มีสีทองที่ทำเลียนแบบทอง

ผงอะลูมิเนียมได้จากการนำแร่บอกไซต์ (bauxite) มาผ่านกระบวนการเคมีที่เรียกว่า Bayer process เมื่อบดเป็นผงละเอียด เคลือบด้วย steatite เพื่อลดความว่องไวในปฏิกิริยาเคมี เนื่องจากเป็นผงที่ไวไฟ ผงอะลูมิเนียมดังกล่าวจำหน่ายในชื่อ Aluminium bronze มีลักษณะเป็นผงสีเงิน นอกจากใช้เป็นสารสีแล้ว ยังใช้ในการพิสูจน์รอยนิ้วมือได้ด้วย

ผงทองแดงและโลหะผสมของทองแดง เช่น สำริด ทองเหลือง หรือที่เรียกันทั่วไปว่าผงบรอนซ์ มีสีคล้ายทอง จึงมักใช้แทนทอง เพื่อประหยัด แต่สีที่ได้จะหมองคล้ำและเปลี่ยนสีอย่างรวดเร็ว เนื่องจากทองแดงทำปฏิกิริยากับก๊าซและสารเคมีในสิ่งแวดล้อมแล้วเปลี่ยนเป็นเกลือของทองแดง ซึ่งมีสีต่าง ๆ เช่น เขียว น้ำตาล ดำ

12. สารสีอื่น ๆ

สารสีบางชนิดทำให้เกิดลักษณะพิเศษ เช่น ทำให้เกิดสีเหลือบ สีประกายมุก สีสะท้อนแสง เช่น ผงไมกา (mica) เป็นผงสีที่ทำจากแร่ในตระกูลซิลิเกต มีสูตรเคมี $KAl_2(AlSi_3)O_{10}(OH.F)_2$ มีรูปผลึกเป็นแผ่นบาง มีความวาวแบบแก้วและแบบใยไหมหรือแบบมุก โปร่งใสและไม่มีสีเมื่อเป็นแผ่นบาง ๆ แต่ถ้าแผ่นบาง ๆ เหล่านั้นซ้อนกันหลายชั้นจะโปร่งแสงและมีสีต่าง ๆ กันคือ เหลือง น้ำตาล เขียว แดง และมีประกายมุก ผงไมกามีทั้งที่มีลักษณะด้านและเป็นมัน

นอกจากนี้ยังมีสารสีพิเศษอื่น ๆ อีกมากมาย บางส่วนเกิดจากการเคลือบผิวอนุภาคบางอย่างหรือใช้แผ่นกระจกเงาขนาดเล็ก และสารสีพิเศษอื่น ๆ อีกมากมาย

ผงไมกา

สารที่มีสีเหลือบประกายมุก

แร่สติบไนต์ (stibnite) เป็นสารประกอบพลวงซัลไฟด์ (Sb_2S_3) มีลักษณะเป็นผลึกสีเทา–ดำ มีความมันวาวเหมือนโลหะ ใช้เป็นสารสีโดยโปรยลงบนพื้นผิวที่ต้องการ บางครั้งพบผสมในสารสีเทา เพราะเมื่อบดละเอียดแร่สติบไนต์จะมีสีเทาเข้ม

บางแห่งใช้หินชนวนบดละเอียดเป็นสารเติมเต็มหรือสารเพิ่มเนื้อสี หินชนวนเป็นหินแปรเนื้อละเอียดเนียน ประกอบด้วยไมกา เหล็กออกไซด์ ไพไรต์ คาร์บอน ควอตซ์ ดินเหนียว

นอกจากสารสีสำคัญต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้ว สารสีที่ใช้ในการสร้างสรรค์งานศิลปกรรมยังมีอีกมากมายหลายชนิดที่เข้ามากับสินค้าต่างชาติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งหลังจากเกิดการปฏิวัติอุตสาหกรรม ปัจจุบันมีการค้นพบสารเคมีใหม่ ๆ เกิดขึ้นมากมายอย่างต่อเนื่องจนไม่อาจนำมากล่าวได้ทั้งหมด

สารสีที่ใช้ในการสร้างสรรค์งานศิลปกรรมยังมีอีกมากมายหลายชนิดที่เข้ามากับสินค้าต่างชาติโดยเฉพาะอย่างยิ่งหลังจากเกิดการปฏิวัติอุตสาหกรรม

บทที่ 5
บทสรุป

จากการค้นคว้าเอกสาร-สิ่งพิมพ์เกี่ยวกับชนิดและชื่อของสารสีต่าง ๆ ที่มีใช้ในประเทศไทยมาแต่โบราณ พบว่ายังมีความสับสนเกี่ยวกับการเรียกชื่อสีอยู่มาก ช่างบางคนเรียกตามเฉดของสี เช่น แดงเลือดนก แดงตับเป็ด แดงลิ้นจี่ แดงน้ำหมาก เขียวใบแค ฯลฯ หรือเรียกตามที่มาของสี เช่น ชาดจอแส ชาดอ้ายมุ่ย (หมายถึง ชาดที่ส่งมาจากเมืองท่าเอ้หมึง) ชาดจูซา เขียวตั้งแช ฯลฯ โดยไม่สนใจองค์ประกอบทางเคมีหรือชื่อที่แท้จริงของสี ซึ่งในความเป็นจริง สารสีที่มีชื่อเดียวกันก็ยังมีสีแตกต่างกัน เช่น สีดินแดง มีหลายเฉดสี บ้างก็แดงอ่อน แดงคล้ำ แดงอมส้ม แดงสด แดงอมน้ำตาล ขึ้นอยู่กับปริมาณเหล็กออกไซด์ที่เป็นองค์ประกอบหลัก บางครั้งสีเปลี่ยนไปตามปริมาณ เจือปนที่มีอยู่ในดิน ดินแดงที่มีแมงกานีสเจือปนจะมีสีคล้ำกว่าดินแดงที่ไม่มีแมงกานีสเจือปน นอกจากนี้ยังมีสารสีแดงสังเคราะห์ ที่นำดินสีต่าง ๆ จากแหล่งต่าง ๆ มาเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ หรือผสมกับสารเคมีทำให้ได้สีดินแดงอีกมากมาย

นักวิชาการชาวต่างประเทศมักเรียกชื่อสารสีต่าง ๆ ค่อนข้างมีระบบ แต่ก็ยังมีความสับสนอยู่เนื่องจากมีวิธีให้ชื่อสารสีหลายวิธีและบางครั้งชื่อของสารสีมาจากผู้ผลิต ก่อนคริสต์ศตวรรษที่ 19 มักตั้งชื่อสารสีตามชื่อของผู้ค้นพบ ตามสถานที่ที่ผลิต หรือแหล่งวัตถุดิบ บางครั้งตั้งชื่อตามลักษณะที่มองเห็นและบางครั้งตั้งตามโคลงกลอน ต่อมาเมื่อมีความเจริญก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีการผลิตสารสีใหม่ ๆ ขึ้นอีกมากมาย การตั้งชื่อสารสีจึงยึดเอาชื่อของแร่หรือธาตุเป็นหลัก เช่น Cobalt blue, Cadmium yellow, Chrome green เป็นต้น สารสีที่พบใหม่มักมีคุณสมบัติดีกว่าสารสีดั้งเดิมซึ่งอาจไม่คงทน ราคาแพง หายาก เป็นพิษต่อสุขภาพ ผู้ผลิตจึงมักใช้ชื่อเดิมแต่ใช้สารสีใหม่แทน บางครั้งผู้ผลิตตั้งชื่อสารสีตามใจชอบ ทำให้เกิดความสับสน เช่น Ivory black เดิมได้จากการเผางาช้างในที่ที่ไม่มีออกซิเจน แต่หลังจากมีการรณรงค์ให้เลิกใช้ประโยชน์จากงาช้าง ผู้ผลิตเปลี่ยนมาใช้กระดูกสัตว์แทน แต่ก็ยังคงเรียกชื่อสารสีใหม่ว่า Ivory black อยู่เหมือนเดิม บ่อยครั้งที่สารสีชนิดเดียวกันมีชื่อแตกต่างกันหลายชื่อ เพราะฉะนั้นปัจจุบันนี้ สารสีแต่ละชนิดมักมีชื่อหลายชื่อ สารสีหนึ่ง ๆ ก็มีหลายเฉดสี และมีสารสีหลายชนิดที่มีลักษณะเหมือนกัน แต่องค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน

> ศิลปกรรมในท้องถิ่นที่ห่างไกลจากเมืองท่าและแหล่งการค้าจะใช้สารสีที่มีในท้องถิ่นเกือบทั้งหมด ศิลปกรรมในพื้นที่ที่ติดต่อค้าขายกับต่างชาติจะมีสารสีแปลก ๆ มากกว่า

> การอนุรักษ์จะต้องพยายามรักษาสีดั้งเดิมเอาไว้มากที่สุด เลือกใช้สารเคมีที่มีปฏิกิริยาข้างเคียงกับสารสีดั้งเดิมให้น้อยที่สุด ขั้นตอนสุดท้ายของการอนุรักษ์คือการแต่งสีหรือเติมสีในส่วนที่หลุดหายไป

ชื่อของสารสีที่ปรากฏอยู่บนหลอดสีหรือบนขวด อาจเป็นเพียงชื่อที่เคยเป็นที่นิยม แต่เนื้อในสารสีเป็นสารเคมีอื่น ๆ ทำให้ผู้ใช้งานเกิดความสับสน และไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับความคงทน ความเข้ากันได้กับสารอื่นและคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารสีนั้น ๆ เพื่อนำมาประกอบการตัดสินใจในการเลือกใช้สารสีให้ตรงกับวัตถุประสงค์

ปัจจุบันมีผู้พยายามแก้ไขปัญหานี้โดยการพิมพ์ตัวเลขและชื่อ ตามที่ Society of Dyes and Colorists of London กำหนดมาตรฐานไว้ลงบนหลอดหรือภาชนะบรรจุสารสี เช่น กำหนด Colour Index (C.I.) ตามด้วยชื่อและหมายเลข เช่น C.I. Pigment Red 108 อย่างไรก็ตามการให้ชื่อและหมายเลขแบบนี้ก็ไม่บอกถึงลักษณะเฉพาะตัว คุณภาพ และความเข้มข้นของสารสี และไม่สามารถแยกแยะระหว่างเฉดสีต่าง ๆ ในสารสีนั้น ๆ ตลอดจนไม่ทราบข้อมูลเกี่ยวกับความเป็นพิษของสารสีแต่ละชนิด เช่น Phthalocyanine blue มักมีสารก่อมะเร็งเจือปนอยู่ และมักผสมกับสารเพิ่มเนื้อสี ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ไม่ปรากฏในชื่อและหมายเลขที่พิมพ์บนภาชนะบรรจุ

อย่างไรก็ตาม Colour Index ของสารสีมีประโยชน์เมื่อต้องการเปรียบเทียบคุณภาพของสีที่ผลิตโดยผู้ผลิตที่ใช้ชื่อการค้าต่างกัน เช่น หากมีคำว่า P.C. (Pure chemical) หมายถึง ทำจากสารเคมีบริสุทธ์ C.C. (Chemically concentrate) หมายถึง การทำให้เข้มข้นด้วยวิธีเคมี ตัวอย่างเช่น C.I. Pigment Red 108 77196 C.C. หรือ Cadmium sulfoselenide มักผสมกับแบเรียมซัลเฟตซึ่งเป็นสารเพิ่มเนื้อประมาณไม่เกิน 15% จะมี C.I. name เหมือนกัน แต่ตัวเลขที่ตามมาต่างกัน เช่น C.I. Pigment Red 108 77202

สารสีที่มีองค์ประกอบทางเคมีเหมือนกัน อาจมีวิธีการใช้งานและการผลิตไม่เหมือนกันในแต่ละท้องถิ่น ขึ้นอยู่กับภูมิปัญญาท้องถิ่นในแต่ละภูมิภาค เช่น กระบวนการการผลิตและการใช้งาน สีขาวตะกั่ว (มีสูตรเคมีเป็นตะกั่วคาร์บอเนตไฮดรอกไซด์) ในตะวันออกไกลจะแตกต่างจากตะวันตก การผลิตเวอร์มิลเลียนในแต่ละท้องถิ่นก็มีความแตกต่างหลากหลาย

สารสีที่ได้จากดิน แร่ พืช สัตว์และการสังเคราะห์ ที่ช่างอาจนำมาใช้ในงานศิลปกรรมมีมากมายหลายชนิด ส่วนใหญ่ช่างเลือกใช้จากสิ่งที่มีในธรรมชาติที่มีอยู่ในพื้นที่นั้น ๆ และสิ่งประดิษฐ์ที่เกิดจากภูมิปัญญาท้องถิ่น เห็นได้ชัดจากงานศิลปกรรมในท้องถิ่นที่ห่างไกลจากเมืองท่าและแหล่งการค้า จะใช้สารสีที่มีในท้องถิ่นเกือบทั้งหมด งานศิลปกรรมในพื้นที่ที่ติดต่อค้าขายกับต่างชาติจะมีสารสีแปลก ๆ มากกว่า สารสีหลายชนิดเป็นสารสีที่คนไทยไม่เคยผลิตเอง แต่มาจากสถานที่ต่าง ๆ ที่อยู่ห่างไกล บางครั้งพ่อค้าที่นำมาขายก็ไม่ทราบแน่ชัดว่าชื่อและองค์ประกอบที่แท้จริงของสารสีเหล่านั้นคืออะไร อาจเรียกชื่อเพี้ยนไปจากชื่อเดิมซึ่งเป็นภาษาต่างชาติ หรือพ่อค้าอาจเข้าใจผิด เรียกชื่อสารสีสับสนปนเปกัน สีบางสีอาจมีลักษณะและสีสันเหมือนกันหรือคล้ายกันมากจนไม่สามารถแยกแยะด้วยตาเปล่า เช่น มีสีแดงอมม่วงเหมือนกัน แต่องค์ประกอบของสีและกระบวนการผลิตต่างกันอย่างสิ้นเชิง บางครั้งใช้สารสีมากกว่าสองชนิดผสมกันเพื่อให้เกิดสีเข้มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้สารช่วยติด (mordant) ในการย้อมสีหรือผลิตสารสี สารช่วยติดทำหน้าที่ยึดสารสีให้ติดแน่นกับเส้นใยหรือเนื้อวัสดุที่ต้องการย้อม ในขณะเดียวกันสารช่วยติดชนิดต่าง ๆ กัน ยังทำให้ได้สารสีที่มีสีสันแปลกแตกต่างไปจากเดิม

สารสีมีคุณสมบัติทางกายภาพที่พิเศษเฉพาะตัวอยู่ในตัวเอง ไม่เกี่ยวกับสิ่งอื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติทางสี เพราะมีคุณสมบัติในการเลือกดูดซับแสงสีขาวที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน

วัสดุอื่น ๆ ที่ใช้ในการสร้างสรรค์งานศิลปกรรมทุกยุคสมัย ต่างก็มีคุณสมบัติเฉพาะตัวที่หลากหลาย คุณสมบัติบางอย่างไม่สามารถค้นคว้าจากเอกสารใด ๆ เพราะไม่มีผู้บันทึกไว้ จัดเป็น *"unknown"* อย่างแท้จริง แม้แต่การวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่ทันสมัยก็ยังไม่สามารถให้คำตอบที่แจ่มชัด เนื่องจากวัสดุเหล่านั้นผ่านกาลเวลามายาวนานและอาจมีส่วนผสมอื่น ๆ ปะปนอยู่มากบ้างน้อยบ้าง จึงอาจเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างกัน งานศิลปกรรมบางส่วนอาจผ่านการซ่อมแซมดูแลรักษาด้วยวิธีการและสารเคมีต่าง ๆ ที่ไม่ปรากฏหลักฐานมาหลายครั้งในอดีต ยิ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาซับซ้อนมากยิ่งขึ้น

เพราะฉะนั้นการวิเคราะห์วัสดุต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างสรรค์และศึกษาสาเหตุในการเสื่อมสภาพของงานศิลปกรรมไม่ง่ายและตรงไปตรงมาอย่างที่คิด ผู้วิเคราะห์ต้องมีความรู้พื้นฐานเรื่องวัสดุของแต่ละยุคสมัยดีพอ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้และความน่าจะเป็น และต้องอาศัยอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ที่ทันสมัยและมีความแม่นยำสูง จึงจะบ่งบอกองค์ประกอบและที่มาของวัสดุแต่ละชนิดได้อย่างถูกต้องและเรียกชื่อได้อย่างถูกต้อง เป็นที่เข้าใจยอมรับในระดับสากล ตลอดจนสามารถศึกษาหาสาเหตุการเปลี่ยนแปลงของวัสดุแต่ละชนิดที่ผ่านกาลเวลามายาวนาน ข้อมูลเหล่านี้เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการปฏิบัติงานอนุรักษ์งานศิลปกรรม ซึ่งจะต้องหาข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุดั้งเดิมที่นำมาสร้างสรรค์งานตั้งแต่เริ่มแรก ตัวอย่างเช่น สีที่ปรากฏในปัจจุบันอาจไม่ใช่สีเดิม แต่เป็นสีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงจากปัจจัยต่าง ๆ ทั้งจากสาเหตุภายในเนื้อสารสีเองและสาเหตุจากภายนอก ขั้นตอนอนุรักษ์จะต้องพยายามรักษาสีดั้งเดิมเอาไว้มากที่สุด เลือกใช้สารเคมีที่มีปฏิกิริยาข้างเคียงกับสารสีดั้งเดิมให้น้อยที่สุด ขั้นตอนสุดท้ายของการอนุรักษ์คือการแต่งสีหรือเติมสีในส่วนที่หลุดหายไป ควรเลือกใช้สารสีที่เหมือนสารสีเดิมหรือใกล้เคียงกันหรือสารสีอื่นที่ไม่ส่งผลกระทบใด ๆ ต่อสารสีเดิม ไม่เปลี่ยนสีในระยะยาว รวมทั้งต้องเป็นสีที่สามารถขจัดออกได้ในภายหลัง

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

จิราภรณ์ อรัณยะนาค. (2548). **สีที่ใช้ในจิตรกรรมไทยประเพณี. ผลงานวิชาการที่นำเสนอในการสัมมนาผลงานวิชาการพิพิธภัณฑ์.** กรุงเทพฯ : สำนักพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ กรมศิลปากร.

จิราภรณ์ อรัณยะนาค. (2552). ความเป็นมาของสีแดงชาดและสีแดงเสน. **ศิลปากร. ปีที่** 52(3), 4–17.

จิราภรณ์ อรัณยะนาค. (2553). สีที่ใช้ในจิตรกรรมไทย. ใน สำนักพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ กรมศิลปากร กระทรวงวัฒนธรรม, **พิพิธวิทยาการ รวมบทความวิชาการด้านโบราณคดี ประวัติศาสตร์ศิลปะ และพิพิธภัณฑ์วิทยา.** (118–136). กรุงเทพฯ : สำนักพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ กรมศิลปากร.

จิราภรณ์ อรัณยะนาค. (2557). **สารพันของสะสม.** กรุงเทพฯ : สถาบันพิพิธภัณฑ์การเรียนรู้แห่งชาติ.

พจนานุกรมศัพท์ศิลปะอังกฤษ-ไทย ฉบับราชบัณฑิตยสถาน. (2541). กรุงเทพฯ : ราชบัณฑิตยสถาน.

มูลนิธิโครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระบรมชนกาธิเบศร มหาภูมิพลอดุลยเดชมหาราช บรมนาถบพิตร. [ม.ป.ป.]. **จิตรกรรมและศาสนา.** สืบค้น 7 พฤศจิกายน 2565, จาก https://saranukromthai.or.th/sub/book/book.php?book=13&chap=4&page=t13-4-infodetail02.html

มูลนิธิโครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระบรมชนกาธิเบศร มหาภูมิพลอดุลยเดชมหาราช บรมนาถบพิตร. [ม.ป.ป.]. **วิวัฒนาการของจิตรกรรมไทยร่วมสมัย.** สืบค้น 7 พฤศจิกายน 2565, จาก https://saranukromthai.or.th/sub/book/book.php?book=13&chap=4&page=t13-4-infodetail06.html

สมเด็จฯ เจ้าฟ้ากรมพระยานริศรานุวัดติวงศ์. (2521). **บันทึกความรู้เรื่องต่าง ๆ.** (เล่ม 3). กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช.

ภาษาต่างประเทศ

Burgio, L., Clark, R. J. H., & Gibbs, P.J. (1999). Pigment idenification studies in situ of Japanese, Thai, Korean, Chinese and Uighur manuscripts by Raman microscopy. **Journal of Raman spectroscopy, 30,** 181–183.

Cooper, M. I., Fowles, P. S., & Tang, C. C. (2002). Analysis ofthe laser–induced discoloration of lead white pigment. **Applied Surface Science. 201.** No.1–4: 75–84.

Dorge, V & Howlett, F. C. (Eds.). (1994). **Painted Wood: History and Conservation.** Los Angeles, CA: Getty Conservation Institute.

Eastaugh, N., Walsh, V., Chaplin, T., & Siddall, R. (2004). **The Pigment Compendium: A Dictionary of Historical Pigments.** Oxford: Butterworth–Heinemann.

Forbes, E. W. (1932). Materials used in Japanese paintings. **Bulletin of the Fogg Art Museum, Vol.1** No.3. March: 48–52.

Gettens, R. J. & Stout, L. G. (1966). **Painting Materials: A Short Encyclopedia.** Mineola, NY: Dover Publications.

Gettens, R. J., Feller, R. L. & Chase, W. T. (1967). Lead white. **Studies in Conservation, Vol.12:** 120–139.

Gettens, R. J. & Mrose, M. E. (1954). Calcium sulphate minerals in the grounds of Italian paintings. **Studies in Conservation, 1** #4: 174–189.

Golas, P. J. (1999). **Science and Civilization in China Vol.5: Chemistry and Chinese Technology.** Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Gueli, A., Pasquala, S., Bonfiglio, G., & Troja, S. O. (2016). Effects of particle size on pigments colour. **Color Research & Application, 42**(2) June. 236–243

Harley, R. D. (1970). **Artist's Pigments c. 1600–1835.** London: Butterworths.

Hradil, D., Hopwood, T., & Walter, R. (1997). Choosing materials for prolonged proximity to museum objects. In **Preprints, 7th Annual Meeting.** Washington D.C.: American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works.

Grygar, J. H., & Bezdicka, P. (2003). Clay and iron oxide pigments in the history of painting. **Applied Clay Science, 22**: 223–236.

Kirtads, M. P. (2010). Preparation techniques of painting for traditional mural paintings of Kerala. **Indian Journal of Tradtional Knowledge. Vol.9**(4) October: 635–639. **Vol.24. No. 2,** : 69–76.

Michalski, S. (1993). Relative hue: a discussion of correct/incorrect values. In **Preprints 10th Triennial Meeting,** Paris: ICOM Committee for Conservation.

Mills. J., Smith, P., & Yamasaki, K. (1988). **Preprints of the Contributions to the Kyoto Congress: The Conservation of Far Eastern Art.** London, UK: The International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works.

Needham, J., & Ling, W. (1959). **Science and Civilisation in China. Vol. 3. Mineralogy.** Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Neiman, M. K., Bolonis, M., & Ioanna, K. (2015). Cinnabar alteration in archaeological wall painting: an experimental and theoretical approach. **Applied Physics A. Nov. Vol. 21.** Issue3: 915–938.

Plesters, J. (1996). Ultramarine Blue, artificial. **Studies in Conservation, Vol.11.** Issue2: 76–91.

Plesters J. (1966). Ultramarine Blue, natural and artificial. **Studies in Conservation, Vol.11.** Issue 2: 62–75.

Preprints. Historical Paintings, Techniques, Materials and Studio Practice. (1995). University of Leiden. The Netherlands. 26–29 June. Los Angeles, CA: Getty Conservaton Institute.

Preprints. Preventive Conservation Practice, Theory and Research. (1994). The Ottawa Congress. 12–16 September.

Purinton, N., & Watters, M. (1991). A study of the materials used by medieval Persian painters. **Journal of the American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, Vol.30,** Number 2: 125–144. reactions. Studies in Conservation, 60 – Issue2: 79–87.

Rutherford, J. G., & Fitzhugh, E. W. (1966). Azurite and blue verditer. **Studies in Conservation, Vol.11.** Issue2: 54–61

Rutherford, J. G., & Fitzhugh, E. W. (1974). Malachite and green verditer. **Studies in Conservation, Vol.19.** Issue 1: 2–23.

Rutherford, J., Feller, R. L., and Chase, W. T. (1972). Vermilion and cinnabar. **Studies in Conservation, Vol.17.** Issue 2: 45–69

Scott, D. A. (2000). A Review of copper chlorides and related salt in bronze corrosion and as painting pigments. **Studies in Conservation, Vol.45.** –Issue 1: 39–53.

Scott, D. A. (1997). Copper compounds in metals and colorants: oxides and hydroxides. **Studies in Conservation, Vol.42.** –Issue 2: 93–100.

Seymour, P. (2003). **The Artist's Handbook.** London, UK: Arcturus Publishing.

Smith, R. (2003). The Artist's Handbook. A Dorling Kindersley Book. London. Stockman, D. (2016). **Inside the conservation laboratory: lead white conversion.** Associate Paper Conservation. PTM. November 14.

Tanabe, S. (Ed.). (1979). **Proceedings of International Symposium on the Conservation of Cultural Property — Conservation of Far Eastern Art objects.** Tokyo, Japan: Tokyo National Research Institute of Cultural Properties.

Wiggind B. M., Alcantara–Garcia, J., & Booksh, K. S. (2017). Characterization of copper–based pigment preparation and alteration products. **Cambridge Core. Vol.2.** Issue 63: International Materials Research Congress xxvi.: 3973–3981.

Yu, F. A. (1988). **Chinese Painting Colors.** Hong Kong: Hong Kong University Press and University of Washington Press.

เกี่ยวกับผู้เขียน

จิราภรณ์ อรัณยะนาค

ได้รับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี และวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขานิวเคลียร์เทคโนโลยี จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รับราชการในกรมศิลปากร ตำแหน่งสุดท้าย คือ นักวิทยาศาสตร์ 9 ชช. ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านวิทยาศาสตร์การอนุรักษ์และหัวหน้ากลุ่มวิทยาศาสตร์เพื่อการอนุรักษ์ ระหว่างปฏิบัติงานได้รับการอบรมเฉพาะทางด้านการอนุรักษ์วัตถุทางวัฒนธรรมจากสถาบันต่าง ๆ เช่น Tokyo National Research Institute of Cultural Properties, ICCROM, Denmark National Museum, Canberra College of Advanced Education และเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการและการประชุมทางวิชาการระดับนานาชาติในหัวข้อต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์ตรวจสอบและการอนุรักษ์วัตถุทางวัฒนธรรมประเภทต่าง ๆ อีกมากมาย รวมทั้งเป็นผู้จัดการฝึกอบรมและวิทยากรในการฝึกอบรมระดับท้องถิ่น ระดับชาติ และระดับนานาชาติ ประมาณ 200 หลักสูตร ระหว่าง พ.ศ. 2548–2551 ได้รับคัดเลือกให้เป็นคณะกรรมการบริหารของ ICCROM หลังจากเกษียณอายุราชการได้เป็นอาจารย์พิเศษและเป็นที่ปรึกษาด้านอนุรักษ์ของหน่วยงานต่าง ๆ ได้รับคัดเลือกจากโครงการวิทยาศาสตร์สู่ความเป็นเลิศประจำปี พ.ศ. 2556 ของวุฒิสภา ให้เป็นนักวิทยาศาสตร์ดีเด่นสาขาวิทยาศาสตร์เพื่อการอนุรักษ์โบราณสถาน/โบราณวัตถุ และใน พ.ศ. 2561 ได้รับปริญญาศิลปศาสตรดุษฎีบัณฑิตกิตติมศักดิ์ (อนุรักษ์ศิลปกรรม) จากมหาวิทยาลัยศิลปากร

ARtPrev
(อนุ)รักษ์
คงยังไม่พอ
Con

สนับสนุนโดย

วช.
NRCT

ธัชฮา
วิทยสถานสังคมศาสตร์ มนุษยศาสตร์
และศิลปกรรมศาสตร์แห่งประเทศไทย

สถาบันพิพิธภัณฑ์ศิลปกรรมแห่งชาติ
NATIONAL ART MUSEUM OF THAILAND
NAMT

มหาวิทยาลัยศิลปากร
SILPAKORN UNIVERSITY

คณะวิจิตรศิลป์ ประติมากรรม และภาพพิมพ์
มหาวิทยาลัยศิลปากร