การเสื่อมสภาพของศิลปกรรม

จิราภรณ์ อรัณยะนาค

การเสื่อมสภาพ ของศิลปกรรม

การเสื่อมสภาพของศิลปกรรม

ผู้เขียน	จิราภรณ์ อรัณยะนาค
เผยแพร่ครั้งแรก	เมษายน 2566
หัวหน้าโครงการฯ และบรรณาธิการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์โอชนา ผลทองดีวัฒนา
ศิลปกรรมและออกแบบปก	พงศกร เจนในเมือง
พิสูจน์อักษร	พงศกร เจนในเมือง
ISBN (e-book)	978-616-584-107-8
จัดทำโดย	วิทยสถานสังคมศาสตร์ มนุษยศาสตร์ และศิลปกรรมศาสตร์แห่งประเทศไทย (ธัชชา) สำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ

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

1. ศิลปกรรม -- การอนุรักษ์และการบำรุงรักษา. I. ชื่อเรื่อง.

702.88
ISBN 978-616-584-107-8

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

สนับสนุนโดย

คำนำหัวหน้าโครงการ

หนังสือเรื่อง **"การเสื่อมสภาพของศิลปกรรม"** 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 นอกจากนี้ยังเผยแพร่ความรู้ด้านการอนุรักษ์ผลงานศิลปกรรมในรูปแบบหนังสืออิเล็กทรอนิกส์จำนวนสามเล่ม 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 พูลทองดีวัฒนา
หัวหน้าภาควิชาทฤษฎีศิลป์
คณะจิตรกรรม ประติมากรรมและภาพพิมพ์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
หัวหน้าโครงการฯ

คำนำผู้เขียน

วัสดุส่วนใหญ่ที่ใช้สร้างสรรค์ศิลปกรรมรวมทั้งวัสดุที่ใช้ในชีวิตประจำวัน เกิดการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา วัสดุบางอย่างเริ่มเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ระยะแรก ๆ หลังการผลิตหรือหลังการใช้งาน การเปลี่ยนแปลงอาจเกิดจากสาเหตุภายในที่เกิดจากตัววัสดุเองและจากสาเหตุภายนอก โดยเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ร่วมกับการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเป็นส่วนใหญ่ การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้อาจทำให้ศิลปกรรมส่วนหนึ่งมีลักษณะทางกายภาพและทางเคมีแตกต่างไปจากเดิม การเปลี่ยนแปลงบางอย่างสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงบางอย่างเป็นการเปลี่ยนแปลงในระดับโมเลกุลซึ่งอาจมองไม่เห็น แต่สามารถตรวจสอบได้โดยใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่แม่นยำและทันสมัย การเปลี่ยนแปลงบางอย่างเกิดจากปฏิกิริยาที่ซับซ้อนหลาย ๆ ปฏิกิริยาเกิดขึ้นร่วมกัน จนบางครั้งไม่สามารถบ่งชี้ได้แน่ชัดว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากปฏิกิริยาใด หากศิลปกรรมทำจากวัสดุหลายชนิดอยู่ร่วมกันหรือใกล้ชิดกัน ปฏิกิริยาจะยิ่งซับซ้อนมากขึ้น ยังมีการเปลี่ยนแปลงอีกมากมายที่ยังไม่สามารถหาคำตอบได้ว่าเกิดจากสาเหตุใด

การเปลี่ยนแปลงที่เมื่อเกิดขึ้นแล้วทำให้ศิลปกรรมมีตำหนิ ไม่สวยงามเหมือนเดิม มีคุณค่าหรือมูลค่าลดลง หลักฐานทางประวัติศาสตร์ โบราณคดี ศิลปะ ถูกบดบังหรือสูญหายไป บางส่วนอาจชำรุด สึกหรอ สึกกร่อน มีสภาพอ่อนแอลง บางส่วนถูกทำลายสูญหายไป หรือเปลี่ยนสภาพอย่างสิ้นเชิง บางครั้งไม่สามารถใช้งานได้เหมือนเดิม ฯลฯ นักอนุรักษ์เรียกการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ว่า **การเสื่อมสภาพ** หรือ **deterioration** และเรียกสาเหตุที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพว่า causes of deterioration หรือ causes of damage (COD)

เพราะฉะนั้น เป็นความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับนักอนุรักษ์ ที่จะต้องศึกษาวิเคราะห์สาเหตุและกระบวนการที่ทำให้ศิลปกรรมเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นขั้นตอนแรก ก่อนที่จะดำเนินการอนุรักษ์ด้วยวิธีการต่าง ๆ ที่จะช่วยแก้ปัญหาที่ต้นเหตุ หรือชะลออัตราการเปลี่ยนแปลงให้ช้าลงมากที่สุดเท่าที่จะทำได้

ผู้เขียนสนใจศึกษาค้นคว้า วิเคราะห์ และวิจัยเกี่ยวกับสาเหตุและกระบวนการเสื่อมสภาพของวัสดุต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างสรรค์ศิลปกรรมและวัตถุทางวัฒนธรรมมาตลอดชีวิตการทำงาน รวมเวลาประมาณ 50 ปี จึงรวบรวมข้อมูลส่วนหนึ่งมาย่อ เรียบเรียง และสรุปในระดับที่ไม่ยากจนเกินไป เพื่อเผยแพร่ให้เป็นพื้นฐานเบื้องต้นสำหรับผู้ที่สนใจงานด้านอนุรักษ์สมบัติวัฒนธรรมได้นำไปใช้ประกอบการตัดสินใจและพิจารณาเลือกใช้วัสดุและวิธีการอนุรักษ์ได้อย่างถูกต้องเหมาะสม เป็นไปตามหลักการอนุรักษ์ในระดับสากล และสามารถนำข้อมูลเหล่านี้ไปศึกษาค้นคว้าวิจัยเพิ่มเติมให้สมบูรณ์ยิ่ง ๆ ขึ้นต่อไป

เนื้อหาในหนังสือเล่มนี้ยังมีบางส่วนไม่ครบถ้วนสมบูรณ์ เนื่องจากข้อมูลกระจัดกระจายและมีเวลาจำกัดในการรวบรวมเรียบเรียง หวังว่าในอนาคตอาจจะมีโอกาสจัดทำเล่มใหม่ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จิราภรณ์ อรัณยะนาค

14 มีนาคม 2566

สารบัญ

บทที่ 1 9
ความรู้พื้นฐานก่อนการอนุรักษ์

บทที่ 2 17
การเปลี่ยนแปลงจากสาเหตุภายในวัสดุ

บทที่ 3 107
การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจาก
เทคนิคในการสร้างสรรค์ศิลปกรรม

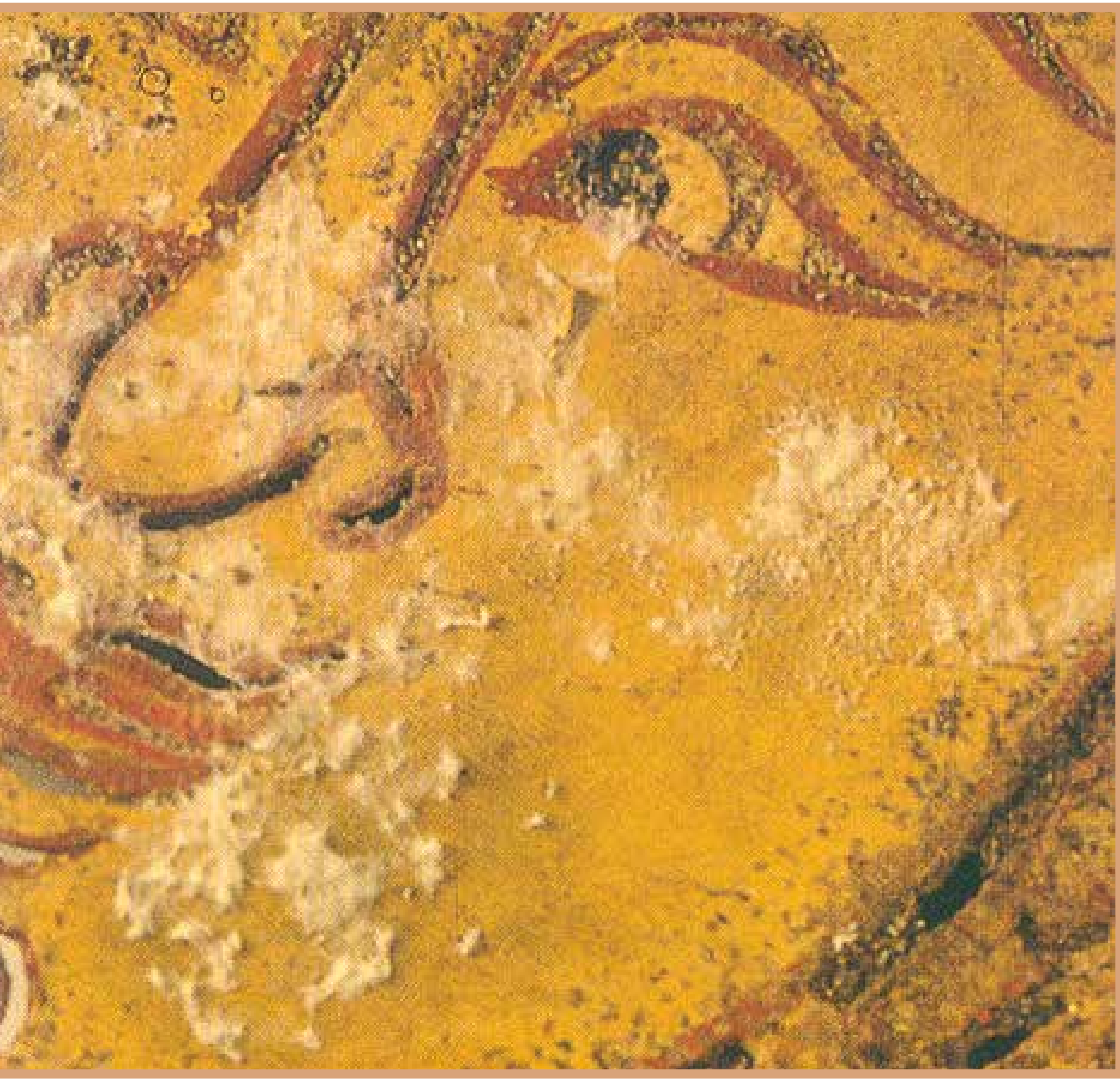
บทที่ 4 115
การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากสภาพแวดล้อม

บทที่ 5 195
การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจาก
วัสดุที่ใช้ในการจัดเก็บและจัดแสดง

บทที่ 6 205
การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากมนุษย์

บทที่ 7 229
บทสรุป

เอกสารอ้างอิง 232



บทที่ 1

ความรู้พื้นฐานก่อนการอนุรักษ์

องค์ความรู้ที่จำเป็นสำหรับงานอนุรักษ์ศิลปกรรมและวัตถุทางวัฒนธรรมต่าง ๆ หนีไม่พ้นความรู้เกี่ยวกับวัสดุต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในการสร้างสรรค์และวัสดุใหม่ ๆ ที่นำมาใช้ในการอนุรักษ์ทุกขั้นตอน รวมทั้งปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลง

ขั้นตอนแรกก่อนลงมือปฏิบัติการอนุรักษ์ศิลปกรรมคือ ตรวจสอบสภาพของวัตถุอย่างละเอียด บางครั้งต้องใช้อุปกรณ์วิทยาศาสตร์ในการวิเคราะห์ตรวจสอบ เพื่อค้นหาข้อมูลเกี่ยวกับชนิดของวัสดุที่นำมาใช้สร้างสรรค์ศิลปกรรม และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ทั้งการเปลี่ยนแปลงที่ไม่เป็นอันตรายและการเปลี่ยนแปลงที่ทำให้วัสดุชำรุด ผุพัง เช่นเดียวกับขั้นตอนแรกที่แพทย์ดำเนินการก่อนทำการรักษาผู้ป่วย ผู้ปฏิบัติงานจึงควรทำความเข้าใจเกี่ยวกับองค์ประกอบของวัสดุชนิดต่าง ๆ และแนวโน้มที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงจากสาเหตุต่าง ๆ แล้วนำข้อมูลเหล่านี้มาพิจารณาหาวิธีการแก้ไขและป้องกันการเปลี่ยนแปลงเหล่านั้น วัสดุหลายชนิดที่ใช้ในการสร้างสรรค์ศิลปกรรมเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้ศิลปกรรมมีลักษณะเปลี่ยนไปจากสภาพเดิม สาเหตุที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอาจเกิดจากองค์ประกอบและคุณสมบัติของตัววัสดุเอง รวมทั้งเทคนิคในการผลิต การใช้งาน การตอบสนองต่อสภาพแวดล้อม สาเหตุอีกกลุ่มหนึ่งมาจากปัจจัยภายนอก เช่น สภาพภูมิอากาศ ก๊าซ มนุษย์ สัตว์ พืช จุลินทรีย์ คน ฯลฯ วัสดุทั้งหลายที่ใช้ในการสร้างสรรค์ศิลปกรรมรวมทั้งวัสดุอื่น ๆ ที่ใช้ในชีวิตประจำวัน ล้วนเกิดการเปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา เรียกว่า **กระบวนการ aging** (เหมือนร่างกายคนที่ชราไปตามอายุ) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ จะมากหรือน้อย ช้าหรือเร็ว ขึ้น

อยู่กับคุณสมบัติของวัสดุแต่ละชนิดและสภาพแวดล้อม ส่วนการเสื่อมสภาพของวัตถุที่อยู่กลางแจ้งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ได้รับผลกระทบจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมร่วมกันกระทำอย่างรุนแรง เรียกว่า **การผุพังอยู่กับที่** (weathering) วัตถุที่ได้รับการดูแลรักษาเป็นอย่างดี อยู่ในอาคาร อยู่ในบรรจุภัณฑ์ มีการควบคุมสภาพแวดล้อม จะเกิดการเสื่อมสภาพอย่างช้า ๆ จากกระบวนการ aging เป็นส่วนใหญ่ แต่ถ้าอยู่ภายนอกอาคาร ได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อมอย่างเต็มที่ จะเกิดการผุพังอยู่กับที่ในเวลาไม่นาน

> นักอนุรักษ์ต้องวิเคราะห์สาเหตุก่อนดำเนินการอนุรักษ์ แล้วจึงวางแผนทดลองทดสอบเพื่อตัดสินใจเลือกใช้วิธีการและวัสดุในการหยุดยั้งหรือชะลอกระบวนการเสื่อมสภาพอย่างถูกต้องเหมาะสมสำหรับแต่ละกรณี

การเปลี่ยนแปลงบนศิลปกรรมมีทั้งที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าหรือมองเห็นด้วยอุปกรณ์ช่วยสายตาที่มีกำลังขยายสูง เช่น แว่นขยาย กล้องจุลทรรศน์ ฯลฯ หรืออาจเป็นการเปลี่ยนแปลงที่มองไม่เห็น ต้องตรวจสอบด้วยอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ที่มีความแม่นยำสูง บางกรณีต้องศึกษาลงลึกถึงระดับโมเลกุล

การเปลี่ยนแปลงบางอย่างมองเห็นได้ชัดเจน ลักษณะที่เปลี่ยนแปลงจะเห็นได้ชัดบนพื้นผิวของวัสดุ ชั้นสี หรือสารเคลือบผิว รวมทั้งส่วนตกแต่งต่าง ๆ การเปลี่ยนแปลงจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับชนิดและคุณสมบัติของโครงสร้าง ชั้นรองรับ ชั้นรองพื้น ชั้นสี สารยึด และสารเคลือบผิว ลักษณะที่เปลี่ยนไปที่สังเกตได้ เช่น การเกิดรอยย่น การขึ้นเหลือง สูญเสียความโปร่งใส สีซีดจาง เปลี่ยนสี ขุ่นมัว เป็นฝ้าขาว โค้งงอ แอ่น บิดเบี้ยว หงิกงอ รอยแตก รอยร้าว หลุดล่อน ป่นเป็นผง บวม พอง หดตัว เป็นสนิม ฉีกขาด ปริ แตกหัก สึกกร่อน เกิดคราบเปื้อน มีคราบแข็งปกคลุม ฯลฯ

การเปลี่ยนแปลงบางส่วนมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า อาจเกิดขึ้นในระดับโมเลกุล เช่น พันธะระหว่างโมเลกุลอ่อนแอ แตกหัก เกิดพันธะใหม่ระหว่างโมเลกุล เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีแล้วเกิดโมเลกุลใหม่ที่มีคุณสมบัติเปลี่ยนไป พันธะระหว่างโมเลกุลเปลี่ยนแปลงไป หรือเกิดการไขว้พันธะ (cross-linking) ฯลฯ ส่งผลให้วัสดุอ่อนแอลง ขาดความเหนียว ขาดความยืดหยุ่น ขาดแรงยึดเหนี่ยว เปลี่ยนสี เกิดคราบเปื้อน กรอบ เปราะ พรุน ขุ่นมัว ยับย่น เปลี่ยนรูปทรง บิดงอ โค้ง แอ่น แตกร้าว หลุดล่อน ป่นเป็นผง ส่งกลิ่น ผุเปื่อย เน่า สูญเสียเนื้อวัสดุ ฯลฯ

สาเหตุที่ทำให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงมีมากมายหลายสาเหตุ นักอนุรักษ์ต้องวิเคราะห์สาเหตุเหล่านี้ก่อนดำเนินการอนุรักษ์ แล้วจึงวางแผนทดลอง ทดสอบ เพื่อตัดสินใจเลือกใช้วิธีการและวัสดุในการหยุดยั้งหรือชะลอกระบวนการเสื่อมสภาพอย่างถูกต้องเหมาะสมสำหรับแต่ละกรณี และพิจารณาหาวิธีควบคุมสภาพแวดล้อมในการจัดแสดง จัดเก็บ และระหว่างการขนย้าย โดยพิจารณาจากข้อมูลเกี่ยวกับการเสื่อมสภาพตามกาลเวลาและการตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมของวัสดุแต่ละชนิด

การเสื่อมสภาพบางอย่างสามารถแก้ไขได้ โดยทำให้กระบวนการเสื่อมสภาพหยุดลงหรือเกิดขึ้นช้าลง ในขณะที่กระบวนการเสื่อมสภาพบางกระบวนการไม่สามารถหยุดยั้งได้ หลายกรณีพบว่าการซ่อมแซมแต่เพียงอย่างเดียวเป็นการแก้ปัญหาที่ปลายเหตุ อาจไม่ทำให้กระบวนการเสื่อมสภาพหยุดไป หลังจากซ่อมแซมเรียบร้อยแล้ว วัตถุยังคงเสื่อมสภาพอยู่ต่อไป การอนุรักษ์ด้วยวิธีที่ถูกต้องอาจหยุดยั้งหรือชะลออัตราการเปลี่ยนแปลงให้ช้าลงได้ ในขณะเดียวกันจะช่วยรักษาวัสดุเดิม รักษาหลักฐานทางประวัติศาสตร์ โบราณคดี ศิลปะ และรักษาฝีมือช่างเอาไว้ให้มากที่สุด เพราะฉะนั้นนักอนุรักษ์จึงควรทำความเข้าใจกระบวนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับวัสดุต่าง ๆ ให้ถ่องแท้ ก่อนดำเนินการขั้นต่อไป

สาเหตุสำคัญที่ทำให้ศิลปกรรมมีการเปลี่ยนแปลงและแก้ไขได้ยาก เกิดจากสาเหตุภายในตัววัสดุเอง เช่น ศิลปกรรมทำจากวัสดุหลายชนิดอยู่ด้วยกัน อาจอยู่ชิดติดกันและสร้างแรงยึดเหยี่ยวระหว่างกันหรืออยู่ห่างกันเล็กน้อย วัสดุแต่ละชนิดตอบสนองต่ออุณหภูมิและความชื้นที่แปรเปลี่ยนไม่เหมือนกัน จึงมีการเปลี่ยนปริมาตรหรือขนาด รูปร่าง แตกต่างกัน ส่งผลกระทบต่อความแข็งแรง ความแข็งตึง และคุณสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ ไม่เหมือนกัน นอกจากนี้วัสดุแต่ละชนิดอาจมีความทนทานต่อการเสื่อมสภาพไม่เท่ากัน เมื่อวัสดุชนิดหนึ่งเสื่อมสภาพหรือหลุดร่วงสูญหายไป จะเหนี่ยวนำให้วัสดุอื่น ๆ ที่ทนทานกว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงไปด้วย แม้ว่าจะมีการคัดเลือกวัสดุที่มีคุณภาพดีที่สุดและใช้เทคนิคดีเยี่ยมในการสร้างสรรค์งาน วัสดุเหล่านั้นก็ยังเกิดการเปลี่ยนแปลงไม่เหมือนกัน และทำให้เกิดความเครียดและความเค้นบนศิลปกรรมนั้น ๆ การเปลี่ยนแปลงจะมากหรือน้อยยังขึ้นอยู่กับเทคนิคที่ใช้ในการผลิตและองค์ประกอบของวัสดุต่าง ๆ ที่นำมาใช้

การเสื่อมสภาพของวัสดุส่วนใหญ่เกิดจากหลาย ๆ สาเหตุที่เกิดขึ้นพร้อมกัน จนไม่สามารถแยกจากกันได้อย่างเด็ดขาด บางครั้งการเปลี่ยนแปลงจากสาเหตุหนึ่งไปเร่งหรือกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากสาเหตุอื่น ๆ เพิ่มขึ้น หรือสารเคมีที่เกิดจากปฏิกิริยาหนึ่ง ๆ อาจเข้าทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบอื่น ๆ ของวัสดุหรือทำปฏิกิริยากันเอง ได้สารเคมีอีกมากมายจากปฏิกิริยาอันซับซ้อน จนบางครั้งไม่สามารถอธิบายขั้นตอนหรือที่มาของสารเคมีเหล่านั้นได้ครบถ้วน

การทำความเข้าใจในกระบวนการเสื่อมสภาพของวัสดุต่าง ๆ ต้องประยุกต์ใช้ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์หลาย ๆ สาขา เช่น เคมี ฟิสิกส์ ชีววิทยา ธรณีวิทยา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มาประยุกต์กับความรู้ด้านศิลปะ ประวัติศาสตร์ศิลปะ เทคโนโลยีโบราณ เพื่อหาข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับประวัติ แหล่งที่มาของวัสดุต่าง ๆ รวมทั้งวิธีการเตรียม การทำให้บริสุทธิ์ การปรับปรุงคุณสมบัติ กรรมวิธีในการผลิต วิธีการใช้งาน และการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นให้มากที่สุด ขั้นตอนนี้จึงต้องอาศัยความรู้ความเชี่ยวชาญของนักวิชาการหลาย ๆ สาขาในการค้นหาคำตอบที่ต้องการความรู้เกี่ยวกับชนิด โครงสร้าง และคุณสมบัติของวัสดุชนิดต่าง ๆ รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงสภาพของศิลปกรรมเป็นสิ่งจำเป็นเบื้องต้นในการวางแผนการดูแลรักษาทุกขั้นตอน เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการลงทะเบียน ที่ผู้ทำทะเบียนจะต้องบ่งชี้ชนิดของวัสดุอย่างแม่นยำ ตรวจสอบสภาพวัตถุและจัดทำรายงานสภาพของวัตถุอย่างละเอียด ซึ่งต้องอาศัยความรู้ด้านการเสื่อมสภาพของวัสดุต่าง ๆ เป็นอย่างมาก พร้อมทั้งเสนอแนะวิธีการแก้ปัญหาหรือวิธีการเก็บรักษา จากนั้นจึงวางแผนการเก็บรักษา จัดแสดง และควบคุมสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมต่อวัตถุแต่ละชิ้นต่อไป

> ต้องมีการประเมินผลและติดตามผลอย่างต่อเนื่องตลอดไป เพื่อให้แน่ใจว่าวิธีการต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในการอนุรักษ์ได้ผลดีและไม่มีผลข้างเคียงที่เหนือความคาดหมาย

ก่อนดำเนินการอนุรักษ์ศิลปกรรม ผู้ปฏิบัติต้องทำความเข้าใจในสาเหตุและกระบวนการเสื่อมสภาพของวัสดุทุกชนิดที่เป็นองค์ประกอบของศิลปกรรมอย่างละเอียด แล้วพิจารณาหาวิธีการที่แก้ปัญหาได้อย่างตรงจุด ในขณะเดียวกันต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของวัสดุใหม่ที่ควรจะต้องเข้ากันได้กับวัสดุเดิม มีการเสื่อมสภาพในลักษณะใกล้เคียงกับวัสดุเดิม สารเคมีที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างวัสดุเดิมกับวัสดุใหม่ หรือระหว่างวัสดุเดิมและ/หรือวัสดุใหม่กับปัจจัยต่าง ๆ ในสิ่งแวดล้อม ต้องไม่สร้างปัญหาให้กับวัสดุเดิมมากขึ้น รวมทั้งศึกษาผลข้างเคียงทั้งในระยะสั้นและระยะยาว ที่อาจจะเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างวัสดุเดิมกับวัสดุใหม่ รวมทั้งสารเคมีและกรรมวิธีที่ใช้ในการอนุรักษ์ แล้วหาทางลดความเสี่ยงเหล่านั้น รวมทั้งหาทางป้องกันหรือชะลอการเปลี่ยนแปลงทุกรูปแบบที่จะเกิดขึ้นในอนาคต หลังจากดำเนินการตามขั้นตอนการอนุรักษ์เรียบร้อยแล้ว ต้องมีการประเมินผลและติดตามผลอย่างต่อเนื่องตลอดไป เพื่อให้แน่ใจว่าวิธีการต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในการอนุรักษ์ได้ผลดีและไม่มีผลข้างเคียงที่เหนือความคาดหมาย หากพบการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ที่อาจนำไปสู่การเสื่อมสภาพของวัสดุเพิ่มขึ้น จะได้ดำเนินการแก้ไขอย่างทันท่วงที

จะเห็นได้ว่าทุกขั้นตอนของงานอนุรักษ์เกี่ยวข้องกับกระบวนการเสื่อมสภาพของวัสดุทั้งสิ้น ทั้งการเสื่อมสภาพของวัสดุเดิม และการเสื่อมสภาพของวัสดุใหม่ที่นำมาใช้ในการอนุรักษ์ เพราะฉะนั้นบุคลากรที่ปฏิบัติงานด้านอนุรักษ์ศิลปกรรม รวมทั้งโบราณสถานและวัตถุทางวัฒนธรรมทุกชนิด

ควรมีความรู้พื้นฐานด้านคุณสมบัติของวัสดุและกระบวนการเสื่อมสภาพของวัสดุอย่างเพียงพอที่จะประเมินปัญหาและตัดสินใจเลือกใช้วัสดุและวิธีการอนุรักษ์ที่ถูกต้อง เพื่อยืดอายุของวัสดุเหล่านั้นให้ยาวนานที่สุดเท่าที่จะทำได้

ความรู้ด้านนี้เป็นเรื่องใหม่สำหรับคนไทยและเป็นเรื่องเฉพาะด้านที่ยังไม่มีสอนในหลักสูตรต่าง ๆ ในสถาบันการศึกษาในประเทศ ทำให้บุคลากรที่ปฏิบัติงานด้านการอนุรักษ์ศิลปกรรม โบราณสถาน และวัตถุทางวัฒนธรรมต่าง ๆ ยังเข้าใจเกี่ยวกับคุณสมบัติของวัสดุและกระบวนการเสื่อมสภาพของวัสดุต่าง ๆ ไม่เพียงพอ ส่งผลให้การปฏิบัติงานในขั้นตอนอนุรักษ์วัสดุเดิมอาจไม่เป็นไปตามมาตรฐานสากล ที่เน้นด้านการอนุรักษ์วัสดุเดิมให้มากที่สุดและส่งต่อหลักฐานทางประวัติศาสตร์ โบราณคดี สถาปัตยกรรมและศิลปะให้เป็นมรดกของคนรุ่นหลัง บางกรณีพบว่าการอนุรักษ์โดยมุ่งเน้นแต่การซ่อมแซมเพียงอย่างเดียว ทำให้วัสดุเดิมเสื่อมสภาพมากยิ่งขึ้นหรือสูญเสียไป หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ไม่สามารถแก้ไขให้กลับสู่สภาพเดิมได้

น่าจะถึงเวลาที่จะต้องทบทวน ประเมินผลการปฏิบัติงานที่ผ่านมา แล้ววางแผนพัฒนาบุคลากรที่ปฏิบัติงานด้านอนุรักษ์ให้มีความรู้ความเข้าใจในหลักการและขั้นตอนการอนุรักษ์วัสดุเดิมที่เป็นองค์ประกอบของศิลปกรรมและวัตถุทางวัฒนธรรมต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้องเหมาะสมตามมาตรฐานสากล

บทที่ 2

การเปลี่ยนแปลงจากสาเหตุภายในวัสดุ

แม้ว่าวัสดุที่ใช้สร้างสรรค์ศิลปกรรมส่วนใหญ่เกิดการเสื่อมสภาพจากหลาย ๆ สาเหตุในเวลาเดียวกัน จนบางครั้งแทบจะแยกจากกันไม่ได้ แต่วัสดุบางชนิดแสดงอาการเสื่อมสภาพเด่นชัดจากสาเหตุภายในตัวเอง จากคุณสมบัติของวัตถุดิบในการผลิต และจากกระบวนการผลิต รวมทั้งระหว่างการใช้งานและการเก็บรักษา เรียกได้ว่าเกิดจากจุดอ่อนของวัสดุเองเป็นหลัก

ในอดีต ช่างเลือกใช้วัสดุในการสร้างสรรค์ศิลปกรรมโดยอาศัยภูมิปัญญาท้องถิ่นที่ผ่านการลองผิดลองถูกมาเป็นเวลายาวนาน ส่วนใหญ่ใช้วัสดุที่หาได้ในท้องถิ่นหรือจากต่างถิ่น การเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมต่อการใช้งานอาศัยประสบการณ์ที่สั่งสมมานานหลายชั่วอายุคน เริ่มจากการลองผิดลองถูกและสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นตามกาลเวลา โดยพยายามหลีกเลี่ยงวัสดุที่ไม่คงทน หรือหาวิธีการทำให้วัสดุคงทนขึ้นด้วยภูมิปัญญาโบราณ โดยไม่มีข้อจำกัดเรื่องเวลาในการสร้างสรรค์งานหรือสนใจเรื่องผลกำไรหรือขาดทุนมากเท่าปัจจุบัน ช่างในอดีตพยายามดำเนินการตามคำแนะนำของผู้อาวุโสอย่างเคร่งครัด ทำให้ศิลปกรรมเหล่านั้นคงสภาพได้ดีกว่าศิลปกรรมสมัยใหม่ซึ่งซื้อวัสดุสำเร็จรูปมาใช้งาน โดยไม่ผ่านการศึกษา ทดลอง วิจัย หรือสังเกตการเปลี่ยนแปลงเป็นเวลานานพอ

บางกรณีอาจมีปัญหาจากการที่วิทยาการในห้วงเวลานั้นยังมีข้อจำกัดที่ทำให้มีปัญหาในการการวิเคราะห์หรือจำแนกแยกแยะชนิดของวัสดุหรือการทำให้ได้วัสดุบริสุทธิ์ และการคัดกรองคุณสมบัติของวัสดุอาจจะยังไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร และมักไม่ตระหนักหรือมองข้ามการเปลี่ยนแปลงใน

ระยะยาวที่จะเกิดขึ้น เนื่องจากยังขาดข้อมูลจากการวิเคราะห์วิจัย วัสดุบางส่วนที่ใช้งานในสมัยก่อน จึงอาจมีจุดอ่อนที่เกิดจากคุณสมบัติของวัสดุเอง ซึ่งมาแสดงอาการเมื่อเวลาผ่านไป

พื้นที่ที่มีการติดต่อค้าขายกับชาวต่างถิ่นหรือต่างประเทศจะมีวัสดุให้เลือกใช้อย่างหลากหลายกว่าพื้นที่ที่เข้าถึงยาก วัสดุบางอย่างที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ อาจเป็นวัสดุที่ค้นพบใหม่หรือสังเคราะห์ขึ้นมาใหม่ ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในบางห้วงเวลาและเลิกใช้ไปในเวลาต่อมา เนื่องจากพบว่ามีข้อเสียบางประการ แต่ก็จะพบได้บนวัตถุที่ผลิตขึ้นในห้วงเวลานั้น ๆ ซึ่งอาจอยู่ในสภาพป่วยหนักในปัจจุบัน ความก้าวหน้าทางวิทยาการสมัยใหม่ไม่ได้ทำให้วัสดุต่าง ๆ มีความคงทนเสมอไป วัสดุหลายชนิดที่ผลิตหลังจากกลางคริสต์ศตวรรษที่ 19 มีคุณภาพต่ำกว่าเดิม ห้วงเวลานั้นมีความเจริญก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรมอย่างก้าวกระโดด มีการผลิตวัสดุใหม่ ๆ มากมาย ที่ใช้งานง่าย หาซื้อสะดวก โดยไม่มีการศึกษาคุณสมบัติและการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นในระยะยาว รวมทั้งไม่ตระหนักถึงผลกระทบที่มีต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม ผู้ผลิตมักคำนึงถึงผลกำไรเป็นหลัก มีผู้ประกอบการมากมาย เลือกใช้วัตถุดิบและกระบวนการผลิตแตกต่างหลากหลาย และเปลี่ยนแปลงไปเรื่อย ๆ มีการเรียกชื่อผลิตภัณฑ์อย่างสับสน มีผลิตภัณฑ์หลายคุณภาพในชื่อเดียวกัน หรือผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบเหมือนกัน แต่มีหลายชื่อ ต่างจากแต่ก่อนซึ่งช่างทั้งหลายมักผลิตวัสดุด้วยตัวเองหรือเสาะแสวงหาวัสดุที่มีคุณสมบัติตามคำแนะนำที่สืบทอดกันมา โดยใช้กรรมวิธีดั้งเดิมที่สืบทอดมายาวนานและมีมาตรฐานสูง ช่างมีข้อมูลเกี่ยวกับข้อดีและข้อเสียของวัสดุแต่ละชนิดที่สั่งสมและสืบทอดมาหลายชั่วอายุ ในขณะที่วัสดุใหม่ ๆ เพิ่งค้นพบใหม่ ไม่ได้ผ่านการใช้งานมานานพอที่จะเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสีย วัสดุใหม่ ๆ อาจมีจุดอ่อนที่เป็นอันตรายซุกซ่อนอยู่ ซึ่งผู้ซื้อนำมาใช้งานโดยรู้เท่าไม่ถึงการณ์ ส่งผลให้ศิลปกรรมที่สร้างสรรค์ขึ้นมาเปรียบเสมือนมีโรคร้ายแฝงอยู่ในตัวเอง ซึ่งแสดงอาการร้ายแรงในเวลาต่อมา นอกจากจะทำให้ตัวเองเจ็บป่วยแล้ว ยังสามารถเหนี่ยวนำหรือกระตุ้นให้วัสดุอื่น ๆ ที่อยู่ข้างเคียงเจ็บป่วยตามไปด้วย บางครั้งมีอาการของโรคเพิ่มเติมหรือแตกต่างไปจากเดิม เนื่องจากวัสดุแต่ละชนิดมีองค์ประกอบและความไวในปฏิกิริยาแตกต่างกัน บางกรณีมีการทำปฏิกิริยากันเองภายในระหว่างวัสดุต่างชนิดกันที่อยู่ใกล้ชิดกัน

การประยุกต์ใช้ความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในการพัฒนาวิชาการอนุรักษ์ในปัจจุบัน ทำให้มีการวิเคราะห์วิจัยและค้นพบสาเหตุต่าง ๆ ที่ทำให้ศิลปกรรมเกิดการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น เครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่ทันสมัยช่วยให้สามารถวิเคราะห์วัสดุและสาเหตุการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ได้อย่างลึกซึ้งและกว้างขวางกว่าเดิม ช่วยให้นักอนุรักษ์สามารถพิจารณาหาวิธีการและสารเคมีที่เหมาะสมที่สุดในการแก้ปัญหาแต่ละปัญหา และสามารถติดตามประเมินผลดี/ผลเสียของแต่ละวิธีการ และของแต่ละวัสดุ/สารเคมีได้อย่างต่อเนื่อง เป็นการแก้ปัญหาอย่างตรงจุด

สาเหตุและกระบวนการเสื่อมสภาพของวัสดุต่าง ๆ มีมากมายและละเอียดซับซ้อน ขึ้นอยู่กับตัวแปรต่าง ๆ หลากหลาย ทั้งจากองค์ประกอบและคุณสมบัติของวัสดุแต่ละชนิด กระบวนการผลิต สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต สิ่งเจือปน สารเติมเต็ม สารเติมแต่ง วิธีการใช้งาน สภาพแวดล้อม อายุ แหล่งที่มา ฯลฯ ขณะนี้ยังไม่มีข้อมูลที่สมบูรณ์ที่สามารถตอบคำถามทุกคำถามได้หมด กระบวนการเสื่อมสภาพบางกระบวนการยังอยู่ระหว่างการศึกษาวิจัยเพื่อหาคำตอบ บางกระบวนการยังไม่มีคำตอบที่แน่นอน วัตถุชนิดเดียวกันอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงไม่เหมือนกันในสภาพแวดล้อมแตกต่างกันหรือเก็บรักษาด้วยวิธีแตกต่างกัน เนื่องจากวิชาการอนุรักษ์เป็นสาขาวิชาที่เพิ่งเกิดใหม่เมื่อประมาณ 60 ปีมานี้ บุคลากรที่ทำงานด้านนี้ค่อย ๆ เพิ่มจำนวนขึ้นทีละน้อย มีการศึกษาวิจัยในด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเพิ่มขึ้น แต่ก็ยังไม่ทันต่อความต้องการ เพราะวัสดุที่เกี่ยวข้องกับงานอนุรักษ์มีมากมายและมีลักษณะเฉพาะตัวแตกต่างกัน เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันในแต่ละท้องถิ่นจะเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้การเสื่อมสภาพของวัสดุแต่ละชิ้นมีลักษณะเฉพาะเป็นแต่ละกรณี ๆ ไป

ผู้เขียนได้รวบรวมข้อมูลส่วนหนึ่งที่ได้จากการศึกษาค้นคว้า ทดลอง และวิจัย นำมาเล่าสู่กันฟังอย่างย่อ ๆ แบ่งเป็นกลุ่ม ๆ เริ่มจากวัสดุที่ใช้เป็นโครงสร้างของศิลปกรรม วัสดุที่ใช้ในการตกแต่ง วัสดุที่ใช้ในการเตรียมพื้นผิว วัสดุที่ทำให้เกิดสีสันและการสร้างลวดลาย ไปจนถึงสารเคลือบผิว

> เครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่ทันสมัยช่วยให้สามารถวิเคราะห์วัสดุและสาเหตุการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ได้อย่างลึกซึ้งและกว้างขวางกว่าเดิม ช่วยให้นักอนุรักษ์สามารถพิจารณาหาวิธีการและสารเคมีที่เหมาะสมที่สุดในการแก้ปัญหาแต่ละปัญหา

1. การเปลี่ยนแปลงของวัสดุที่ใช้เป็นโครงสร้างและส่วนประกอบของศิลปกรรม

โครงสร้างและส่วนประกอบของศิลปกรรม ทำจากวัสดุต่าง ๆ หลายชนิด ที่สำคัญคือ ไม้ ผ้า กระดาษ ผนัง (ก่ออิฐถือปูนหรือคอนกรีต) ปูนปั้น โลหะ หนังสัตว์ พลาสติก หิน งา เขา กระดูก กระดองเต่า เครื่องปั้นดินเผา ยางรัก ฯลฯ วัสดุแทบทุกชนิดเกิดการเปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา (aging) และเกิดการเปลี่ยนแปลงมากขึ้นจากการใช้งานหรือเก็บรักษาในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ศิลปกรรมที่ใช้งานกลางแจ้งเกิดการเปลี่ยนแปลงรวดเร็วและรุนแรงที่สุด

โครงสร้างและส่วนประกอบต่าง ๆ ของศิลปกรรม มีผลกระทบอย่างมากต่อพฤติกรรมและการเปลี่ยนแปลงของศิลปกรรม เนื่องจากทำจากวัสดุที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน มีการตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมไม่เท่ากัน วัสดุบางชนิดมีความยืดหยุ่น วัสดุบางชนิดแข็งตึง วัสดุบางชนิดมีความหนาแน่นสูง เช่น โลหะ ไม้ ปูน เขาสัตว์ งาช้าง วัสดุบางชนิดมีความหนาแน่นปานกลาง เช่น แผ่นใยไม้อัด (fiberboard) ไม้อัดแผ่นเรียบ (hardboard) วัสดุที่มีน้ำหนักเบา เช่น ผ้าลินิน ผ้าฝ้าย ผ้ากระสอบ กระดาษที่ทำด้วยมือ กระดาษแข็ง หนังสัตว์ พลาสติก วัสดุบางชนิดแข็งแรงแต่บอบบางแตกหักง่าย เช่น กระจก แก้ว เครื่องปั้นดินเผา วัสดุบางชนิดดูดซับน้ำหรือความชื้นได้ดี เช่น ไม้ กระดาษ ผ้า งาช้าง หนังสัตว์ วัสดุบางชนิดเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับแสงสว่างและความร้อน วัสดุบางชนิดมีเนื้อพรุน บางชนิดมีเนื้อแน่น ฯลฯ

1.1 กระดาษ

วัสดุที่ใช้เป็นโครงสร้างและเป็นส่วนประกอบของศิลปกรรมมากที่สุดคือกระดาษ ซึ่งผลิตขึ้นมากมายหลายพันชนิดจากแหล่งผลิตต่าง ๆ ในหลายภูมิภาค แต่ละชนิดผลิตจากวัตถุดิบแตกต่างกัน ผ่านกระบวนการผลิตแตกต่างกัน ผลิตในห้วงเวลาแตกต่างกัน ผลิตจากแหล่งผลิตต่าง ๆ ซึ่งบางครั้งไม่สามารถค้นหาหลักฐานได้ แหล่งผลิตบางแหล่งผลิตกระดาษนับพันชนิดในห้วงเวลาเดียวกัน กระดาษที่ใช้งานกันมาแต่อดีตจึงมีคุณสมบัติหลากหลาย และอาจมีจุดอ่อนที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้วยสาเหตุและกระบวนการที่แตกต่างกัน ซึ่งส่วนใหญ่ยังไม่ถูกพิสูจน์ทราบ ในขณะที่กระดาษสมัยใหม่ อาจบ่งบอกแหล่งผลิตได้ง่ายกว่า และสามารถสืบหาข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุดิบและวิธีการผลิตได้ง่าย แต่ขาดข้อมูลเกี่ยวกับความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงในระยะยาว

คุณสมบัติที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของศิลปกรรมบนกระดาษมากที่สุดคือความสามารถในการดูดและคายความชื้นได้ เรียกว่า hygroscopicity เนื่องจากองค์ประกอบหลักของกระดาษคือเซลลูโลส เมื่อความชื้นในสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ กระดาษสูง กระดาษจะดูดความชื้นเข้ามา แล้วขยายตัวขึ้น เมื่อความชื้นในสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ กระดาษลดลง กระดาษจะคายความชื้นออกมา แล้วหดตัวลง เป็นเช่นนี้เรื่อยไป ตราบใดที่อุณหภูมิและความชื้นในสิ่งแวดล้อมยังคงแปรเปลี่ยนไปในแต่ละวัน หากศิลปกรรมบนกระดาษถูกยึดตรึงติดอยู่กับวัสดุอื่นหรือกระดาษชนิดอื่นที่ขยายตัวและหดตัวได้ไม่เท่ากัน หรือเก็บรักษาในพื้นที่จำกัด ไม่มีพื้นที่ให้ศิลปกรรมบนกระดาษขยายตัว/หดตัวอย่างเป็นอิสระ เช่น ทากาวหรือติดเทปกาวบนกระดาษแข็ง หรืออยู่ในกรอบที่มีขนาดเท่ากับกระดาษ ศิลปกรรมบนกระดาษจะเกิดการแอ่น โค้งงอ โป่ง เป็นคลื่น

การเปลี่ยนแปลงของกระดาษที่เกิดจากการดูดและคายความชื้น

การผลิตกระดาษเริ่มต้นเมื่อประมาณ ค.ศ. 105 ที่ประเทศจีน โดยนำเส้นใยจากต้นข้าว แฟลกซ์หรือลินิน ป่านกัญชา เปลือกต้นหม่อน และเส้นใยของพืชอื่น ๆ มาแช่น้ำให้นุ่ม คัดเลือกสิ่งเจือปนออกไป ต้มหรือนึ่งด้วยน้ำด่างที่ทำจากขี้เถ้า จากนั้นทุบให้เส้นใยกลายเป็นเยื่อกระดาษ ผสมเยื่อกระดาษกับน้ำและสารเมือกที่ได้จากรากหรือใบของพืชบางชนิด เพื่อให้เยื่อกระดาษเรียงตัวกันอย่างสม่ำเสมอในน้ำ แล้วช้อนขึ้นเป็นแผ่นบนตะแกรง ทำให้แห้ง ทุกขั้นตอนทำด้วยมือ จีนได้เก็บเทคนิคการทำกระดาษเป็นความลับเป็นเวลานานหลายร้อยปี

เทคนิคการทำกระดาษแพร่จากจีนเข้าสู่เกาหลีและญี่ปุ่นเมื่อ ค.ศ. 600 และเข้าสู่แบกแดดเมื่อ ค.ศ. 793 มาถึงดามัสกัสและไคโร หลัง ค.ศ. 1000 เข้าสู่สเปนเมื่อ ค.ศ. 1151 อิตาลี ค.ศ. 1276 อังกฤษ ค.ศ. 1494 หลังจากนั้นแพร่ไปสู่ประเทศอื่น ๆ ในยุโรปและอเมริกา กระดาษเหล่านั้นผลิตด้วยมือโดยใช้พืชในท้องถิ่นที่มีปริมาณเซลลูโลสสูง ส่วนใหญ่ใช้ด่างในการย่อยเยื่อ หลังจากทำกระดาษด้วยมือมาระยะหนึ่ง ชาวยุโรปเริ่มประดิษฐ์เครื่องจักรช่วยในบางขั้นตอนของการทำกระดาษ และพัฒนาจนสามารถผลิตได้ในระดับอุตสาหกรรม

กระดาษที่ทำด้วยมือของไทยทำจากเส้นใยจากเปลือกปอสาและเปลือกต้นข่อย บางแห่งใช้ต้นไผ่ ซึ่งเป็นเส้นใยเซลลูโลสที่ค่อนข้างบริสุทธิ์ ใช้สารละลายของด่าง เช่น น้ำขี้เถ้า โซดาไฟ น้ำปูนใส ในการต้มเยื่อ จึงไม่เป็นกรด มักใช้แป้งเปียกหรือน้ำข้าวเป็นสารกันซึม และต่อเชื่อมกันเป็นแผ่นใหญ่ด้วยกาวแป้งเปียก กระดาษเหล่านี้มีความหนาต่าง ๆ กัน ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการใช้งาน บางชนิดมีสีดำ เกิดจากการใช้เขม่าผสมกับแป้งเปียกทาลงบนกระดาษสีขาว แล้วใช้หินก้อนกลมหรือหอยเบี้ยกดและขัดให้เขม่าแทรกซึมเข้าในเนื้อกระดาษและทำให้กระดาษมีสีดำ เนื้อแน่นและเรียบ

สมุดไทยที่ทำจากเปลือกต้นข่อย

กระดาษที่ทำด้วยมือของจีน เกาหลี ญี่ปุ่น ผลิตด้วยกรรมวิธีคล้ายกัน แต่มีรายละเอียดแตกต่างกันเล็กน้อย เช่น ใช้วัตถุดิบ สารเติมแต่ง วิธีการช้อนเยื่อ การทำให้แห้ง แตกต่างกัน กระดาษที่ทำด้วยมือในประเทศอื่น ๆ ก็ใช้กรรมวิธีคล้าย ๆ กัน ต่างกันที่วัตถุดิบในการผลิต เช่น ก่อนคริสต์ศตวรรษที่ 17 ยุโรปใช้เส้นใยที่ได้จากเศษผ้าลินินหรือใยฝ้ายในการทำกระดาษเป็นส่วนใหญ่ กระดาษที่ทำด้วยมือที่มีคุณภาพสูงของอินเดียทำจากเส้นใยป่านกัญชา ป่านลินิน และฝ้าย เส้นใยเหล่านี้มีชื่อเรียกรวม ๆ กันว่า rag เนื่องจากเป็นเส้นใยที่มีปริมาณเซลลูโลสสูงมาก จึงใช้เป็นองค์ประกอบสำคัญของวัตถุดิบที่ใช้ในการทำกระดาษที่มีคุณภาพสูง

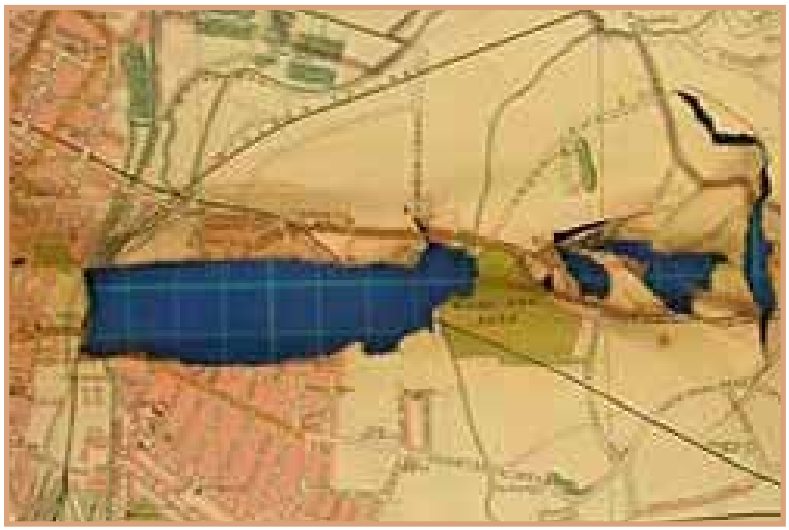
กระดาษที่ทำด้วยมือเหล่านี้จึงแข็งแรงและทนทานในระยะยาว หากเก็บรักษาอย่างดี แทบจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง แต่ที่พบว่ากระดาษที่ทำด้วยมือบางส่วนเกิดการชำรุดเสื่อมสภาพส่วนใหญ่เป็นเพราะการใช้งานอย่างไม่ระมัดระวังและการเก็บรักษายังไม่ดีเท่าที่ควร

เมื่อความต้องการใช้กระดาษเพิ่มสูงมากในคริสต์ศตวรรษที่ 18 จึงมีผู้ทดลองการทำกระดาษด้วยเครื่องจักรเป็นผลสำเร็จในอังกฤษ ทำให้สามารถผลิตกระดาษได้คราวละมาก ๆ แต่ต่อมามีปัญหาเกี่ยวกับการขาดแคลนวัตถุดิบ เนื่องจากการปลูกพืชต่าง ๆ ต้องใช้เวลาและไม่ทันต่อความต้องการของโรงงานที่จะต้องผลิตอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ในคริสต์ศตวรรษที่ 19 จึงมีผู้ค้นพบวัตถุดิบใหม่ในการทำกระดาษ นั่นคือนำลำต้นของต้นไม้หลายชนิด และเศษไม้มาบดย่อยเป็นเยื่อกระดาษโดยไม่ได้แยกสิ่งเจือปนที่ไม่ต้องการออกไป เรียกว่า mechanical pulp ผลิตกระดาษราคาถูก แต่ไม่คงทนและเป็นปัญหาในการอนุรักษ์

ต่อมาผลิตเยื่อกระดาษที่ใช้สารเคมีในการย่อยเยื่อและปรับปรุงคุณสมบัติ เรียกว่า chemical wood pulp ซึ่งช่วงแรก ๆ ใช้โซดาไฟในการย่อยเยื่อ ต่อมาใช้แคลเซียมไบซัลไฟต์และกรดซัลฟิวริกในการย่อยเยื่อ ซึ่งทำให้ได้กระดาษที่มีกรดเจือปน ต่อมาพัฒนาวิธีการย่อยเยื่อมาโดยลำดับ ลดการใช้กรดลงไป จนในที่สุดใช้กระบวนการที่เป็นด่างและเป็นกลาง สารเคมีที่ใช้ในการย่อยเยื่อช่วยละลายลิกนินที่ยึดเหนี่ยวเส้นใยไม้เข้าด้วยกัน ทำให้ได้เส้นใยเซลลูโลสสำหรับการทำกระดาษ เยื่อกระดาษที่ไม่ผ่านการฟอกสีหรือใช้สารเคมีในการปรับปรุงคุณสมบัติ ใช้ทำกระดาษราคาถูก หากต้องการกระดาษที่มีสีขาว มีคุณภาพดี และมีความทนทาน จะนำเยื่อกระดาษมาฟอกสีเพื่อขจัดสารมีสีและสิ่งเจือปนต่าง ๆ ออกไป เยื่อกระดาษที่ผ่านกระบวนการทางเคมีจนมีปริมาณเซลลูโลสใกล้เคียง 100% เรียกว่าอัลฟา–เซลลูโลส (alpha–cellulose) ซึ่งใช้ในการผลิตกระดาษที่มีคุณภาพสูง

นอกจากนี้เยื่อกระดาษอาจถูกนำมาปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกระบวนการต่าง ๆ เพิ่มขึ้นอีกหลายขั้นตอน ใช้วัสดุและสารเคมีอีกหลายชนิด เพื่อให้ได้กระดาษที่มีคุณสมบัติพิเศษตามความต้องการในการใช้งาน เช่น ทนความชื้น ลดการซึมซับหมึกและสี เพิ่มความมัน มีสีสวย ทึบแสง มีผิวเรียบหรือผิวขรุขระ มีลวดลาย ฯลฯ

เพราะฉะนั้นกระดาษจากแหล่งผลิตต่าง ๆ ในแต่ละห้วงเวลา จึงมีมากมายหลายพันชนิด ผลิตจากวัตถุดิบแตกต่างกันขึ้นอยู่กับแหล่งที่มา มีการใช้กระบวนการผลิตและใช้สารเคมีมากมาย มีกระบวนการปรับคุณสมบัติให้เหมาะสมต่อการใช้งานแต่ละประเภท ฯลฯ ยากต่อการจำแนกแยกแยะบ่งบอกที่มาและกระบวนการผลิต



กระดาษกรอบผุจากสาเหตุภายใน

เนื่องจากกระดาษแต่ละชนิดมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีแตกต่างกัน จึงเสื่อมสภาพด้วยสาเหตุและกระบวนการแตกต่างกัน กระดาษบางส่วนมีจุดอ่อนจากวัตถุดิบและกรรมวิธีในการผลิต และเริ่มเปลี่ยนแปลงมาตั้งแต่ระยะแรกที่ทำการผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งเยื่อกระดาษที่ผลิตจากการบดย่อยต้นไม้โดยไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ มักมีลิกนินและสารเคมีอื่น ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของเนื้อไม้ปะปนอยู่ในเนื้อกระดาษ กระดาษเหล่านี้มีคุณภาพต่ำ ราคาถูก มีความเป็นกรดสูง ในระยะยาวจะเปลี่ยนสีเป็นสีเหลือง–น้ำตาลและมีสภาพกรอบเปราะ หลังเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจะได้กรดอินทรีย์หลายชนิด เช่น กรดฟอร์มิก กรดแลคติก กรดซักซินิก กรดอะซิติก ฯลฯ บางชนิดปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ด้วย กระดาษเหล่านี้ไม่เพียงแต่ทำลายตัวเองให้เปื่อยยุ่ยหรือกรอบเปราะแต่จะทำลายวัสดุอื่น ๆ ที่เป็นส่วนประกอบในการสร้างสรรค์ศิลปกรรมและวัตถุที่อยู่ข้างเคียงด้วย

กระดาษบางชนิดที่ผลิตในคริสต์ศตวรรษที่ 19–20 มีความเป็นกรดรุนแรงมาก เนื่องจากใช้ขันสนเป็นสารกันซึม (sizing agent) เพื่อลดการดูดซึมน้ำ ป้องกันไม่ให้สีและหมึกแทรกซึมแผ่ไปรอบ ๆ บริเวณที่ต้องการ แต่เนื่องจากขันสนเกาะยึดกับเส้นใยได้ไม่ดี จึงผสมสารส้ม (โพแทสเซียมอะลูมิเนียมซัลเฟต) ลงในสารกันซึมด้วย ทั้งขันสนและสารส้มต่างก็เป็นกรดทำให้กระดาษเปลี่ยนสีและกรอบเปราะ ต่อมาโรงงานกระดาษบางแห่งในยุโรปใช้อะลูมิเนียมซัลเฟตแทนสารส้มเพื่อลดต้นทุน โดยนำแร่อะลูมิเนียมมาทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริก ได้อะลูมิเนียมซัลเฟต เรียกว่า paper maker's alum ซึ่งไม่เสถียร สลายตัวได้ในกรดซัลฟิวริก ซึ่งเป็นกรดแก่ สามารถกัดกร่อนกระดาษจนผุพังและเปลี่ยนสีมากกว่ากระดาษที่ผลิตโดยใช้สารส้มธรรมดา โรงงานกระดาษบางแห่งใช้กาวหนังสัตว์เป็นสารกันซึม โดยต้องผสมสารส้มลงไปด้วย ทำให้ได้กระดาษที่เป็นกรดเช่นเดียวกัน กระดาษปัจจุบันใช้สารกันซึมที่ไม่เป็นกรดแทน เช่น เจลาติน แป้งเปียก เรซินสังเคราะห์

กระดาษเก่าที่เสื่อมสภาพมักเปลี่ยนสีเป็นสีเหลือง ส่วนหนึ่งเกิดจากลิกนิน (องค์ประกอบของเนื้อไม้และเยื่อกระดาษที่ได้จากการบดย่อยเนื้อไม้) สลายตัวได้กรดฟีนอลิก (phenolic acids) หลายชนิด ซึ่งมีสีเหลือง เมื่อกรดเหล่านี้ทำปฏิกิริยากับเซลลูโลส ทำให้โมเลกุลแตกหัก กระดาษจึงกรอบเปราะ นอกจากนี้การแตกหักของสายโซ่โมเลกุลของเซลลูโลส ทำให้เกิดสารเคมีมากมาย ซึ่งทำให้กระดาษมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้นและมีสีเปลี่ยนไปเป็นสีเหลือง–น้ำตาล การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดจากกระบวนการทางเคมีหลายกระบวนการ เช่น ออกซิเดชัน (oxidation) ไฮโดรลิซิส (hydrolysis) Maillard reaction ปฏิกิริยาเหล่านี้จะเกิดได้มากขึ้น หากมีแสงสว่างมากเกินไป อุณหภูมิสูง ความชื้นสูง อากาศไม่สะอาดมีก๊าซมลพิษ ฝุ่นละออง สิ่งสกปรก และสารเคมีจากวัสดุที่อยู่ใกล้ชิด

การเสื่อมสภาพของกระดาษคุณภาพต่ำ

กระดาษแต่ละชนิดผ่านกระบวนการผลิตที่ทำให้มีคุณสมบัติเฉพาะตัว เพื่อให้เหมาะต่อการใช้งาน เช่น กระดาษที่ใช้ในการทำภาพพิมพ์ที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการพิมพ์ภาพด้วยเทคนิคต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติในการดูดซับสี กระดาษอื่น ๆ ที่ผ่านการเคลือบผิว กระดาษที่ผ่านการขัดมัน กระดาษลอกลาย กระดาษไขเขียนแบบ กระดาษแข็ง กระดาษสี กระดาษย่น กระดาษปั๊มลายนูน ฯลฯ จะมีคุณสมบัติแตกต่างกัน จึงเสื่อมสภาพด้วยสาเหตุต่าง ๆ กัน

1.2 ผ้า

ผ้าเป็นโครงสร้างและส่วนประกอบของศิลปกรรมหลายประเภท เช่น ผ้าทอมือ ผ้าปัก ภาพเขียนบนผ้า ผ้าพระบฏ ผ้าพระเวสส์ ผ้าห่อคัมภีร์ เครื่องแต่งกาย ม่าน พรม เครื่องประดับตกแต่งอาคารบ้านเรือน ร่ม พระกลศ ธง พัดยศ ผ้าไหว้ ผ้ากราบ หมวก ฯลฯ ผ้าที่นิยมใช้มาก ได้แก่ ผ้าฝ้าย ผ้าลินิน ผ้าไหม ผ้าขนสัตว์ ผ้าใยสังเคราะห์ชนิดต่าง ๆ

ผ้าใบ (canvas) ใช้ในการเขียนภาพสีน้ำมันและสีอะครีลิก ผ้าใบเป็นผ้าเนื้อหนา เนื้อหยาบ ส่วนใหญ่ทอจากป่านลินิน เนื่องจากมีความแข็งแรงสูงมาก ไม่ฉีกขาดง่าย ไม่ค่อยดูดซับน้ำ ผ้าใบบางส่วนทอจากฝ้ายหรือป่านกัญชา ซึ่งดูดน้ำและคายความชื้นได้ดีกว่า ทำให้ผ้าใบหดตัว/ขยายตัวตามความชื้น ส่งผลให้สารสียึดติดบนผ้าใบไม่ดี แต่จะดูดซับน้ำมันได้ดี ทำให้สารสีและน้ำมันจมลงในผ้า ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของสี โดยที่คาดเดาได้ยาก เพราะฉะนั้นชนิดของผ้าที่ใช้ทำผ้าใบจึงมีบทบาทสำคัญต่อคุณภาพของภาพเขียนบนผ้าใบนั้น ๆ

นอกจากนี้การที่ผ้าใบสามารถดูดและคายความชื้นได้ดี ทำให้หดตัวและขยายตัวด้วยอัตราที่แตกต่างจากการหดตัว/ขยายตัวของชั้นสีขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์แปรเปลี่ยน ทำให้เกิดความเครียดสะสม นาน ๆ ไปจะทำให้ชั้นสีแตกร้าวหรือโก่งงอ ในที่สุดชั้นสีบางส่วนอาจสูญหายไป

ชั้นสีบนผ้าอยู่ในสภาพแตกร้าวและหลุดล่อน

ด้วยเหตุที่ผ้าใบมีผิวหยาบ ทำให้ภาพเขียนไม่สวยงามเท่าที่ควร ก่อนใช้งานจึงต้องเตรียมผ้าใบให้มีคุณสมบัติเหมาะสม โดยการขึงให้ตึง ทาสารกันซึม (sizing agent) แล้วลงชั้นรองพื้น การเตรียมผ้าใบก่อนใช้งานอย่างเหมาะสม เลือกใช้วัสดุและวิธีการอย่างถูกต้อง ทำให้ได้ชั้นรองพื้นที่มีสีสันตามต้องการ มีความแข็งแรง และมีความสามารถในการดูดซับสีได้ดี ทำให้การทำงานราบรื่น ใช้เวลาน้อย สามารถใช้สีปริมาณมากในการสร้างสรรค์ความงาม สามารถลงรายละเอียดบนภาพได้ดีขึ้น

ในอดีตช่างจะขึงและเตรียมผ้าใบเอง ต่อมาเมื่อสามารถหาซื้อผ้าใบที่ขึงตึงบนกรอบไม้และเตรียมพื้นผิวสำเร็จรูปขนาดต่าง ๆ ให้เลือกใช้ จึงไม่ค่อยมีผู้ขึงผ้าใบเอง ผ้าใบสำเร็จรูปมีคุณสมบัติแตกต่างหลากหลาย ขึ้นอยู่กับวัสดุและวิธีการที่ผู้ผลิตเลือกใช้ ส่วนใหญ่ใช้วัสดุคุณภาพต่ำและเร่งรีบผลิต

กรอบไม้ที่ใช้ขึงผ้าใบมีสองแบบ คือ 1) stretcher ที่สามารถปรับความตึงของผ้าใบได้โดยใช้ลิ่มไม้ขนาดเล็ก สอดตรงมุมของกรอบไม้ และ 2) strainer เป็นกรอบไม้ที่เมื่อขึงผ้าใบแล้วไม่สามารถปรับความตึงของผ้าใบได้ หากไม่รื้อออกมาขึงใหม่ ส่วนใหญ่นำผ้าใบมาขึงบนกรอบไม้แล้วยึดตรึงโดยรอบด้วยตะปูหรือลวดเย็บ โดยไม้ที่ใช้ทำกรอบสำหรับขึงผ้าใบอาจบิดเบี้ยว โก่งงอ เนื่องจากใช้ไม้คุณภาพต่ำที่มีการหดตัว/ขยายตัวสูง หรือเลือกใช้ไม้ที่ผ่านการเลื่อยในทิศทางต่างกัน เช่น บางชิ้นเลื่อยในแนวรัศมี บางชิ้นเลื่อยในแนวเส้นสัมผัส ไม้ที่เลื่อยในแนวเส้นสัมผัสขยายตัวและหดตัวมากว่าไม้ที่เลื่อยในแนวรัศมี ทำให้ขอบทั้งสี่ของกรอบไม้ขยายตัวและหดตัวแตกต่างกัน

หลังจากขึงผ้าใบบนกรอบไม้แล้ว ทาผ้าใบด้วยสารกันซึมเพื่อคั่นผ้าใบจากชั้นรองพื้นและชั้นสี เนื่องจากชั้นรองพื้นและชั้นสีมีน้ำมันชักแห้ง ซึ่งมีกรดไขมันที่ทำอันตรายต่อเส้นใยผ้า สารกันซึมที่นิยมใช้ในยุโรปคือกาวหนังกระต่ายหรือกาวที่ทำจากจากหนังหมู หนังวัว หนังแกะ หรือหนังแพะ ซึ่งมีลักษณะเป็นเม็ด เมื่อนำมาแช่น้ำเย็นจะบวมขึ้น เมื่อให้ความร้อนไม่สูงมากโดยใช้หม้อตุ๋น จะได้ของเหลวเหนียว ๆ คล้ายน้ำผึ้ง หากให้ความร้อนสูงจนกาวเดือด จะได้สารกันซึมที่แตกร้าวง่าย และส่งผลกระทบต่อชั้นสี คุณภาพของกาวหนังสัตว์แต่ละชนิดแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับแหล่งผลิตและกระบวนการผลิต คุณสมบัติของกาวหนังสัตว์ยังขึ้นอยู่กับความชื้นอีกด้วย กาวหนังสัตว์จะคงความแข็งแรงได้ดีถ้าความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 70% ถ้าความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่านี้ ความแข็งแรงของกาวจะลดลง

การทาสารกันซึมบนผ้าใบมักใช้เกรียงเกลี่ยให้กาวสม่ำเสมอทั่วผืนผ้าใบและใช้เกรียงกดลงบนผิวผ้าใบ เพื่อให้กาวแทรกซึมเข้าไปในเนื้อผ้าให้ลึกที่สุด จะได้แทรกเข้าไปในช่องว่างระหว่างเส้นใย เมื่อกาวแห้งแล้ว ใช้หินพัมมิซขัดให้เรียบ การเตรียมอย่างระมัดระวังช่วยให้ผ้าใบแข็งแรงทนทานและใช้งานได้ดี ภาพเขียนบางภาพเสื่อมสภาพเร็วเนื่องจากไม่ได้ป้องกันผ้าใบอย่างดีพอหรือเตรียมผ้าใบอย่างไม่ระมัดระวังเพียงพอ

หลังจากนั้นลงชั้นรองพื้นที่มีชื่อเรียกว่าเจสโซ่ (gesso) ซึ่งในอดีตมักทำจากแคลเซียมคาร์บอเนตผสมกับสารสีและสารยึด เจสโซ่บางชนิดทำจากกาวหนังกระต่ายผสมกับแคลเซียมคาร์บอเนตและไทเทเนียมไดออกไซด์ เรียกว่า oil *"glue gesso"*

รายงานการวิจัยของชาวต่างประเทศรายงานว่า เมื่อประมาณ 60–70 ปีก่อนในยุโรป ภาพเขียนบนผ้าใบจำนวนหนึ่งไม่ผ่านการทาสารกันซึมและไม่ลงชั้นรองพื้น ปัจจุบันพบว่าภาพเขียนเหล่านั้นมีสีแทรกซึมออกไปเป็นวง ๆ (halo) รอบพื้นที่ที่ระบายสีแต่ละสีไว้ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของสารยึด (น้ำมัน) ในผ้าใบ ถ้ามีชั้นรองพื้นจะช่วยป้องกันการเคลื่อนที่ดังกล่าว นอกจากนี้ยังทำให้ชั้นสีติดแน่นกับชั้นรองรับ บางกรณีทำให้เกิดผิวสัมผัส (texture) หากไม่มีชั้นรองพื้นหรือชั้นรองพื้นไม่เสถียร ชั้นสีจะเสื่อมสภาพได้ง่าย

ผ้าใบสำเร็จรูปมีคุณสมบัติแตกต่างหลากหลาย ขึ้นอยู่กับวัสดุและวิธีการที่ผู้ผลิตเลือกใช้ ส่วนใหญ่ใช้วัสดุคุณภาพต่ำและเร่งรีบผลิต

ชั้นรองพื้นสมัยใหม่ส่วนใหญ่ทำจากอะครีลิกพอลิเมอร์ผสมกับแคลเซียมคาร์บอเนต ไทเทเนียมไดออกไซด์ ฯลฯ ชั้นรองพื้นประเภทนี้เหมาะต่อการระบายด้วยสีอะครีลิก หากนำมาระบายด้วยสีน้ำมันจะให้ผลไม่ค่อยดี เพราะสีน้ำมันจะไม่ค่อยแทรกซึมเข้าไปในชั้นรองพื้นที่ทำจากอะครีลิก ชั้นรองพื้นสมัยใหม่บางกลุ่มอาจใช้พอลิเมอร์อื่น ๆ ซึ่งทำให้เกิดพื้นผิวที่เป็นมันหรือไม่ดูดซับสี ส่งผลให้ภาพเขียนเสื่อมสภาพก่อนเวลาอันควร ผ้าใบสำเร็จรูปบางส่วนรองพื้นด้วยสีน้ำทาอาคารหรือสีลาเทกซ์ ซึ่งมีคุณภาพต่ำ เสื่อมสภาพเร็ว บางกรณีพบว่าสีลาเทกซ์สลายตัวหลังจากใช้งานไม่นาน ทำให้ชั้นสีชำรุด เนื่องจากไม่มีชั้นรองพื้นรองรับ

ชั้นรองพื้นทำให้ผ้าใบมีผิวเรียบ สะดวกต่อการระบายสี ชั้นรองพื้นต้องแข็งและไม่เปราะ มีความพรุนพอเหมาะ เพื่อให้ชั้นสียึดเหนี่ยวติดแน่นบนผ้าใบได้ดี ในอดีต ช่างในยุโรปบางคนลงรองพื้นสองชั้น เช่น ช่างชาวดัตช์ลงรองพื้นชั้นแรกที่ผสมสารสีที่ทำจากดินหลายสีผสมกัน ได้รองพื้นสีตุ่น ๆ หรือสีเทา รองพื้นชั้นที่สองเรียกว่า imprematura ใช้สีขาวตะกั่วผสมกับเขม่าหรือถ่าน ทำให้เกิดสีกลาง ๆ หากต้องการสีเข้มขึ้น จะเติมสารสีที่ได้จากเหล็กออกไซด์ บางคนใช้รองพื้นสีอ่อน โดยใช้แคลเซียมคาร์บอเนต ผสมกับน้ำมันลินสีดและสีขาวตะกั่ว ในยุคเรอเนซองส์ นิยมใช้รองพื้นสีขาว องค์ประกอบของชั้นรองพื้นส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของชั้นรองพื้นและสีของภาพ ชั้นรองรับภาพและชั้นรองพื้นที่ผ่านการเตรียมอย่างไม่ระมัดระวัง ทำให้ภาพเขียนเสื่อมสภาพได้ เช่น หากชั้นรองรับภาพและชั้นรองพื้นแข็งดึงเกินไป จะทำให้เกิดรอยแตกร้าว ชั้นรองรับภาพและชั้นรองพื้นที่พรุนและดูดซับชั้นสีได้ดีเกินไป จะดูดน้ำมันออกไปจากชั้นสี ชั้นรองรับภาพและชั้นรองพื้นที่ไม่ทนทานต่อปฏิกิริยาของชั้นสี จะถูกน้ำมันและองค์ประกอบอื่น ๆ ในชั้นสีทำลายได้ง่าย ชั้นรองรับภาพและชั้นรองพื้นที่ไม่เหมาะสมทำให้เกิดพื้นผิวที่ระบายสีได้ยาก

ผ้าอีกชนิดหนึ่งที่พบบ่อยบนศิลปกรรมคือ ผ้าไหม ผ้าไหมส่วนใหญ่แข็งแรงและทนทาน มีอายุยาวนานนับพันปีหากได้รับการดูแลเป็นอย่างดี ผ้าไหมจากแต่ละแหล่งจะมีความงามและลักษณะเฉพาะตัวแตกต่างกันเล็กน้อย แต่ผ้าไหมกลุ่มหนึ่งเสื่อมสภาพอย่างรุนแรง เส้นใยกรอบเปราะแตกหักง่าย เนื่องจากใช้สารเคมีในกระบวนการผลิต เรียกว่า **ผ้าไหมเพิ่มน้ำหนัก** (weighted silk) ที่ผลิตมากในคริสต์ศตวรรษที่ 19–20 ในยุโรป ซึ่งใช้น้ำตาล กาว แทนนิน (tannin คือสารที่มีรสฝาด–เปรี้ยวที่ได้จากพืชบางชนิด) หรือสารประกอบของโลหะ เพื่อเพิ่มน้ำหนักของเส้นไหมที่ลดลงหลังจากการสาวไหมและฟอกกาว โดยทั่วไปน้ำหนักเส้นไหมจะลดลงประมาณ 25% ผ้าไหมเพิ่มน้ำหนักที่ผลิตโดยใช้น้ำตาลจะไม่คงทนและแพง สามารถเพิ่มน้ำหนักได้น้อย ประมาณ 10% ใช้กับผ้าสีอ่อน ๆ บางแห่งใช้แทนนินเป็นทั้งสารช่วยติด (mordant) และสารเพิ่มน้ำหนัก แต่เพิ่มน้ำหนักได้น้อยและใช้ได้กับผ้า

สีเข้ม สารประกอบของโลหะนิยมใช้มาตั้งแต่คริสต์ศตวรรษที่ 19 เนื่องจากสารประกอบของโลหะยังช่วยทำให้ผ้าไหมทนทานต่อเปลวไฟได้ดีขึ้น บางครั้งใช้สารประกอบของโลหะผสมกับสารเพิ่มน้ำหนักอื่น ๆ ที่กล่าวมาและผสมสีย้อม ในบางกระบวนการมีการใช้กรดซัลฟิวริกปริมาณน้อย ๆ ร่วมด้วย การเพิ่มน้ำหนักด้วยสารประกอบของโลหะช่วยให้ผ้ามีน้ำหนักเพิ่มขึ้นได้มากประมาณสองเท่าของน้ำหนักตัว แต่ความแข็งแรงของเส้นใยผ้าลดลงอย่างมาก

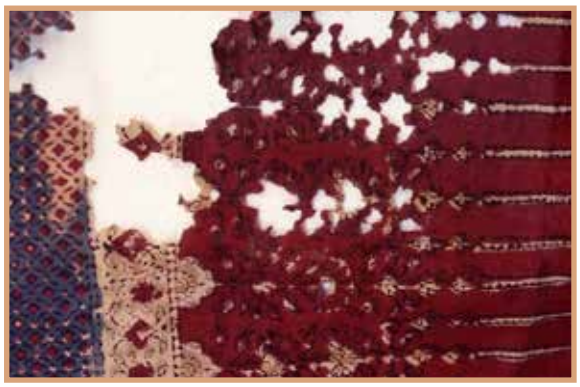
สารประกอบของโลหะที่ใช้เพิ่มน้ำหนักมากที่สุดคือ สารประกอบของดีบุก สารประกอบของเหล็ก สารประกอบของโครเมียม สารประกอบของแมกนีเซียม สารประกอบของอะลูมิเนียม ฯลฯ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของผ้าไหมให้มีน้ำหนักมากขึ้น อยู่ตัว และจับจีบได้ดีขึ้น นิยมใช้ทำริบบิ้น ชายครุย ม่าน งานปัก งานตกแต่ง เครื่องแต่งกายและผลิตภัณฑ์ผ้าไหมอื่น ๆ รวมทั้งใช้รองรับภาพ สารประกอบของโลหะเป็นต้นเหตุสำคัญที่ทำให้เส้นใยไหมกรอบเปราะ เปื่อยยุ่ยในเวลาต่อมา โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อผ้าเหล่านั้นได้รับแสงสว่างเป็นเวลานาน จากการสำรวจพบว่าผ้าไหมเพิ่มน้ำหนักที่สั่งซื้อจากยุโรปเมื่อร้อยกว่าปีที่แล้วกำลังอยู่ในสภาพผุเปื่อยอย่างรุนแรง

การเสื่อมสภาพของผ้าไหมเพิ่มน้ำหนัก

ผ้าบางส่วนอาจเสื่อมสภาพจากการใช้สีย้อมผ้า พิมพ์ผ้า หรือเขียนสีบนผ้า สีย้อมบางชนิดทำจากเศษเหล็กหรือแร่เหล็กแช่ในส่วนต่าง ๆ ของพืชที่มีรสเปรี้ยวและฝาด เช่น ลูกสมอ มะขามเทศ มะขามป้อม กอล (gall) ซึ่งมีความเป็นกรดสูง บางครั้งใช้สารช่วยติด (mordant) ที่มีความเป็นกรด เช่น น้ำมะขาม สารส้ม ฯลฯ เพื่อช่วยให้สีย้อมยึดติดกับเส้นใยได้ดี ทำให้ผ้าเหล่านั้นอ่อนแอและผุเปื่อยในเวลาต่อมา

สีน้ำตาลบนภาพพระบฏ ทำจากเหล็กและของเหลวที่เป็นกรด

ผ้าโบราณบางส่วนมีสภาพขาดเป็นรูตามบริเวณที่ใช้สีบางชนิดเขียนหรือพิมพ์ลาย เช่น ผ้าฝ้ายพิมพ์ลายหรือเขียนลายจากอินเดียที่เป็นที่นิยมอย่างมากในคริสต์ศตวรรษที่ 18–19 ซึ่งเรียกว่า ผ้าลายอย่าง ผ้าลายนอกอย่าง รวมทั้งผ้าลายแขก เส้นและลวดลายบางส่วนใช้สีน้ำตาล–ดำที่ได้จากการหมักเศษเหล็กในของเหลวที่มีรสฝาด–เปรี้ยว ซึ่งได้จากผลไม้บางชนิด เช่น ลูกสมอ ลูกมะขามเทศ ลูกมะขามป้อม ฯลฯ ทำให้ได้ของเหลวสีน้ำตาล–ดำซึ่งติดแน่นติดทนบนผ้าฝ้าย ในเวลาต่อมาพบว่าสีน้ำตาล–ดำนั้น ๆ ปลดปล่อยกรดออกมาทำอันตรายต่อผ้า ปัจจุบันผ้าเหล่านั้นมีรอยขาดปรุตามลวดลายที่ใช้สีประเภทนี้



1.3 ไม้

ไม้ ไม้อัด และผลิตภัณฑ์ไม้ที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในการสร้างสรรค์ศิลปกรรมหรือใช้ในการจัดแสดงหรือจัดเก็บศิลปกรรม ไม้มีจุดอ่อนหลายประการ จุดอ่อนที่สำคัญคือไม้ขยายตัวและหดตัวตลอดเวลา ตามปริมาณความชื้นและตามอุณหภูมิของอากาศรอบ ๆ ตัว ชั้นสีบนภาพเขียนบนแผ่นไม้จะโป่งพอง แตกร้าว แยกตัวจากชั้นรองพื้นและเนื้อไม้ แล้วหลุดล่อนและสูญหาย การเปลี่ยนแปลงเช่นนี้พบมากเป็นพิเศษตรงรอยต่อระหว่างแผ่นไม้ ซึ่งเกิดจากไม้แต่ละแผ่นขยายตัวและหดตัวตลอดเวลา เนื่องจากอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตลอดเวลา ทำให้มีรอยแตกและรอยร้าวในเนื้อไม้ หากมีจิตรกรรมบนไม้ ชั้นสีตรงรอยต่อมีความเครียดจากแรงดึงและแรงดันสลับกันไปมาจึงแตกร้าว หลุดล่อน และสูญหายมากกว่าบริเวณอื่น ๆ

จากการสำรวจภาพเขียนบนหอไตรและอาคารไม้หลายแห่ง พบว่าบนผนังด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกของอาคารที่ตั้งอยู่ในที่โล่ง ไม่มีอาคารข้างเคียงหรือต้นไม้ใหญ่ช่วยกำบังแสงแดด ชั้นสีจะชำรุดหลุดล่อนมากกว่าผนังด้านทิศเหนือและทิศใต้ เนื่องจากผนังด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกได้รับความร้อนจากแสงแดดในยามเช้าและยามบ่ายรุนแรงกว่าด้านทิศเหนือและทิศใต้ ส่งผลให้ผนังด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกร้อนและความชื้นลดลงมากกว่าผนังด้านทิศเหนือและทิศใต้ ในเวลากลางวันไม้จะหดตัวมากและขยายตัวในเวลากลางคืน โดยมีความแตกต่างของปริมาตรที่เพิ่มขึ้นและลดลงสลับกัน สูงกว่าไม้ส่วนอื่น ๆ ที่ไม่ได้รับแสงแดดโดยตรง ในฤดูฝนผนังด้านที่มีฝนเข้าปะทะจะได้รับความชื้นสูงมากกว่าด้านอื่น ๆ จึงมีการขยายตัวของไม้สูงกว่าด้านที่ไม่ได้รับฝนโดยตรง การเสื่อมสภาพของศิลปกรรมบนไม้บนผนังทั้งสี่ด้านจึงแตกต่างกัน แต่หากผนังด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกได้รับการปกป้องจากแดดและฝนด้วยกันสาด ต้นไม้ใหญ่ หรือมีอาคารข้างเคียง การเปลี่ยนแปลงของชั้นสีจะลดน้อยลง

ชั้นสีและชั้นรองพื้นของภาพเขียนบนแผ่นไม้โป่งพอง แยกตัวจากแผ่นไม้

ชั้นสีบนภาพเขียนบนแผ่นไม้ชำรุดมากเป็นพิเศษตรงรอยต่อของไม้

ชั้นรองพื้นที่ไม่แข็งแรงและมีแรงยึดเหนี่ยวน้อยทำให้ชั้นสีชำรุด

นอกจากนี้ ไม้หลายชนิดยังปลดปล่อยไอระเหยของกรดออกมาทำปฏิกิริยากับวัสดุอื่น ๆ ที่อยู่ใกล้ เช่น กรดโพรพิโอนิก (propionic acid) กรดไอโซบิวทิริก (isobutyric acid) ฯลฯ รวมทั้งแอลกอฮอล์ ฟอร์มาลดีไฮด์ และไอระเหยอื่น ๆ ไม้จะปลดปล่อยไอระเหยได้มากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงและความชื้นสูง และปลดปล่อยสารเคมีที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และสารอื่น ๆ ที่ทำเกิดคราบเปื้อนบนวัสดุที่อยู่ใกล้หรือสัมผัส

ไม้อัดสร้างปัญหาในงานอนุรักษ์อย่างมาก เนื่องจากผลิตจากแผ่นไม้บาง ๆ ทากาวระหว่างชั้นแล้วผนึกเข้าด้วยกันด้วยความร้อนและความดันสูง ไม้อัดสำหรับใช้งานภายในใช้กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ (urea formaldehyde) ซึ่งไม่เสถียร จะสลายตัวให้ฟอร์มาลดีไฮด์ออกมาตลอดเวลา เมื่อสภาพแวดล้อมมีความชื้นสูง ฟอร์มาลดีไฮด์จะเปลี่ยนไปเป็นกรดฟอร์มิก (กรดมด) ปัญหานี้พบบ่อยบนภาพเขียนที่อยู่ในกรอบที่มีไม้อัดหรือแผ่นใยไม้อัดเป็นแผ่นปิดหลังภาพ หรือเก็บรักษาในตู้หรือลิ้นชักหรือหีบที่ทำด้วยไม้ ไม้อัด และแผ่นใยไม้อัดต่าง ๆ เมื่ออุณหภูมิสูง ความชื้นสูง ไม้จะปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์มากขึ้น ไม้อัดที่ใช้ภายนอกหรือที่เรียกว่าไม้อัดกันน้ำใช้กาวฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ (phenol formaldehyde) ซึ่งเสถียรกว่า จึงปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์น้อยกว่า ผลิตภัณฑ์ไม้ชนิดอื่น ๆ ก็มีข้อเสียคล้าย ๆ กัน

ฟอร์มาลดีไฮด์ทำให้โมเลกุลของโปรตีนและเซลลูโลสเปลี่ยนสภาพจากการไขว้พันธะ นอกจากนี้ยังทำให้สารสีมีสีเปลี่ยนไปและทำปฏิกิริยากับโลหะบางชนิด ได้เกลือฟอร์เมต ตะกั่วและโลหะผสมของตะกั่วกับทองแดงทำปฏิกิริยากับฟอร์มาลดีไฮด์ได้เร็วที่สุด รองลงมาคือสำริด ทองเหลือง และทองแดง ตามลำดับ สารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างตะกั่วกับฟอร์มาลดีไฮด์คือตะกั่วฟอร์เมต ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพ แก้ว/กระจกทำปฏิกิริยากับฟอร์มาลดีไฮด์ได้สารประกอบฟอร์เมต เพราะฉะนั้น หากแก้ว/กระจกสัมผัสกับภาพเขียนและภาพถ่ายโดยตรง จะทำให้ภาพเขียนและภาพถ่ายเปลี่ยนสี

ประติมากรรมที่ทำจากโลหะบางชนิด เช่น ตะกั่ว โลหะผสมของตะกั่ว ที่สัมผัสหรืออยู่ใกล้ไม้ ไม้อัด และผลิตภัณฑ์ไม้ ซึ่งปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์และกรดอินทรีย์หลายชนิดออกมา เช่น กรดฟอร์มิก กรดอะซีติก ฯลฯ บางครั้งมีไอระเหยจากสารเคลือบผิวไม้และสารยาแนวร่วมด้วย เนื้อโลหะหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ตะกั่ว จะทำปฏิกิริยากับกรด กลายเป็นเกลือฟอร์เมต เกลืออะซีเตต และเกลืออื่น ๆ ของตะกั่ว มีลักษณะเป็นตุ่มพุพองหรือเป็นผงร่วงหล่น ส่วนใหญ่มีสีขาวหรือเทาอ่อน นอกจากนี้ฟอร์มาลดีไฮด์และกรดจากไม้ยังทำให้วัตถุที่ทำจากหนังสัตว์แข็งกระด้าง ขาดความยืดหยุ่น ศิลปกรรมที่ทำจากเปลือกหอย เช่น เครื่องมุก อาจทำปฏิกิริยากับกรดแล้วทำให้มุกแลดูด้าน ไม่เป็นมัน หรือผิวหน้ากลายเป็นผง ปฏิกิริยานี้เป็นที่รู้จักกันในชื่อ Byne's disease

ผิวของตะกั่วที่เปลี่ยนสภาพเป็นฝุ่ม
ผุผองเพราะไอกรด

ลักษณะการสื่อมสภาพที่เรียกว่า
Byne's disease

1.4 หนังสัตว์

หนังสัตว์มีองค์ประกอบที่สำคัญคือโปรตีน หนังสัตว์ที่ไม่ผ่านการฟอก เรียกว่า **หนังดิบ** เมื่อถลกออกจากตัวสัตว์แล้ว นำมาหมักเกลือเพื่อป้องกันการเน่าเปื่อย จากนั้นขูดเอาผังผืด เศษเนื้อ ไขมัน เส้นขน เลือด ออกให้หมด จะได้หนังสัตว์ที่มีผิวสีเหลืองและโปร่งแสง ซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ง่าย เมื่ออุณหภูมิและความชื้นเปลี่ยนแปลง หนังดิบที่แห้งตามธรรมชาติจะบิดงอ เสียรูป และไม่ยืดหยุ่น จึงนำมาขึงให้ตึงบนกรอบไม้เพื่อป้องกันการหดตัว แล้วตากแดดให้แห้ง จากนั้นนำออกจากกรอบนำไปสร้างสรรค์ศิลปกรรมต่อไป หนังวัวและหนังควายนิยมใช้ทำหนังตะลุง หนังใหญ่ หน้ากลอง ฯลฯ หนังดิบอีกกลุ่มหนึ่งเรียกว่า shagreen เดิมทำจากหนังม้า ปัจจุบันทำจากหนังปลากระเบนและหนังปลาฉลาม มีลักษณะหยาบ ผิวเป็นเม็ด ๆ ใช้ทำปกหนังสือ กล่อง ด้ามดาบ ฝักดาบ ด้ามมีด ฝักมีด สิ่งของเครื่องใช้ต่าง ๆ ฯลฯ

หนังสัตว์ที่นำมาใช้สร้างสรรค์ศิลปกรรมส่วนใหญ่เป็นหนังที่ผ่านกระบวนการฟอกหนัง เรียกว่า **หนังฟอก** (leather) กระบวนการฟอกหนังมีหลายกระบวนการ ใช้สารฟอกหนังต่าง ๆ กัน เช่น ใช้สารประกอบโครเมียม สารส้ม น้ำมันปลา สารที่มีรสฝาด–เปรี้ยวจากพืช หนังฟอกบางชนิดผ่านกระบวนการรมควัน ฯลฯ สารฟอกหนังเหล่านั้นเข้าไปเกาะติดกับเส้นใยคอลลาเจนในหนังสัตว์ ทำให้หนังที่ฟอกแล้วมีผิวเรียบ เนื้อนุ่ม ยืดหยุ่น ทนทานต่อสภาพแวดล้อม มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการใช้งาน

หนังสัตว์อีกกลุ่มหนึ่งนิยมนำมาเขียนหนังสือและเขียนภาพในสมัยโบราณ ชนิดแรกเรียกว่า vellum ทำจากหนังสัตว์คุณภาพดี เช่น หนังลูกวัว หนังลูกแกะ หนังลูกแพะ และหนังลูกสัตว์อื่น ๆ ที่ตายในท้องแม่ เมื่อผ่านกรรมวิธีจะมีผิวเรียบคล้ายกระดาษ ซึ่งต่อมามีการผลิตกระดาษที่ตกแต่งผิวให้คล้าย vellum แล้วเรียกว่า vellum (แต่ความจริงคือกระดาษ) หนังสัตว์อีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้เขียนและเขียนภาพและตกแต่งสวยงามด้วยการปิดทอง คือ parchment ทำจากหนังสัตว์ที่มีสีอ่อน ส่วนใหญ่ทำจากหนังลูกวัว ส่วนหนังสัตว์ที่มีขนติดอยู่ เรียกว่าขนสัตว์ติดหนัง (fur) เป็นขนสัตว์ที่ผ่านกระบวนการฟอกหนัง แต่ไม่ขูดขนออกไป

หนังสัตว์ดิบและหนังฟอกดูดและคายความชื้นได้ดี จึงเกิดการขยายตัวและหดตัว เปลี่ยนปริมาตรไปมาตามอุณหภูมิและความชื้น ในขณะที่อากาศมีความร้อนสูงหรือความชื้นต่ำ หนังสัตว์จะแห้ง กระด้าง เสียรูป สูญเสียความยืดหยุ่น หงิกงอ เป็นคลื่น ฯลฯ เมื่ออากาศมีความชื้นสูง หนังสัตว์จะบวมพองและมีเชื้อราและแบคทีเรียขึ้น หากไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้คงที่ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสลับกันไปมา

หนังสัตว์ที่เก็บรักษาในที่ที่มีอุณหภูมิและความชื้นไม่คงที่ มีลักษณะเป็นคลื่น

เนื่องจากองค์ประกอบหลักของหนังสัตว์คือโปรตีน นอกจากนั้นเป็นสารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ เช่น ไขมัน น้ำมัน เกลือ ฯลฯ หนังสัตว์จึงเป็นอาหารที่แมลงหลายชนิดชอบกิน แมลงที่สร้างปัญหาให้กับหนังสัตว์มากที่สุดคือ ด้วงขนสัตว์ ด้วงหนังสัตว์ ผีเสื้อกินผ้า แมลงสาบ ฯลฯ

หนังฟอกส่วนหนึ่งที่ผลิตในช่วงคริสต์ศตวรรษที่ 19 มีจุดอ่อนจากกระบวนการฟอกหนังที่ใช้สารเคมีรสฝาดและเปรี้ยวที่สกัดจากพืช สารเคมีเหล่านี้จะทำให้เส้นใยโปรตีนแข็งกระด้างขึ้นและแตกหักง่ายขึ้น บางครั้งในกระบวนการฟอกหนังมีการใช้กรดซัลฟิวริกร่วมด้วย หนังสัตว์เหล่านั้นจะดูดซับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากอากาศได้ดี ในอากาศที่มีความชื้นสูงจะเกิดกรดซัลฟิวรัสและเกิดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อุณหภูมิสูงจะเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงนี้ให้เร็วขึ้น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นเข้าทำปฏิกิริยากับแทนนินที่ใช้ในการฟอกหนัง โดยจะออกซิไดซ์โปรตีนในหนังสัตว์ ทำให้หนังฟอกอ่อนแอลงเรื่อย ๆ ชนิดของสารฟอกหนังที่เลือกใช้ ส่งผลกระทบต่ออัตราเร็วในการเสื่อมสภาพ ผลสุดท้ายทำให้หนังฟอกกลายเป็นผง

การเสื่อมสภาพของหนังฟอก

หนังฟอกบางส่วนมีกรดซัลฟิวริกที่หลงเหลือจากกระบวนการฟอกหนัง หรือใช้น้ำที่มีสิ่งเจือปนที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง หรือบางกรณีหนังฟอกผ่านกระบวนการฟอกที่ไม่สมบูรณ์หรือผ่านกระบวนการย้อมสีโดยใช้สีย้อมที่เป็นกรดหรือด่าง ปฏิกิริยาเหล่านี้ทำให้หนังฟอกเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากเก็บรักษาในที่ที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูงและมีก๊าซมลพิษในอากาศ ปฏิกิริยาจะเกิดได้เร็ว เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้าทำปฏิกิริยา แล้วเกิดกรดซัลฟิวรัสและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เมื่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้าทำปฏิกิริยากับสารรสฝาด–เปรี้ยวที่ใช้ในการฟอกหนัง จะทำให้โปรตีนถูกออกซิไดซ์ ได้แอมโมเนียมซัลเฟตและแอมโมเนียมไบซัลไฟต์ หนัง

ฟอกนั้น ๆ จะอ่อนแอลง มีลักษณะคล้ายสักหลาดและกรอบเปราะกลายเป็นผงสีแดง เรียกว่า Red rot บางครั้งหนังฟอกผุเปื่อยเพราะใช้น้ำที่มีสิ่งเจือปนในการฟอกสีหรือกระบวนการฟอกสีเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ บางกรณีเกิดจากกระบวนการย้อมสีที่ใช้สีย้อมที่มีฤทธิ์เป็นกรดหรือเป็นด่าง

หนังฟอกบางชนิดมีสารเคมีที่ใช้ในการฟอกหนังหลงเหลืออยู่บนหนังหรือผ่านกระบวนการที่ปรับปรุงคุณสมบัติของหนัง เมื่อสัมผัสใกล้ชิดกับวัสดุอื่น สารเคมีเหล่านั้นอาจทำให้วัสดุที่อยู่ข้างเคียงเกิดการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ทำให้โลหะเป็นสนิม ทำให้กระดาษและผ้าเกิดคราบเปื้อนและผุเปื่อย ฯลฯ

โลหะเป็นสนิมเพราะสารเคมีจากหนังที่อยู่ใกล้

1.5 ส่วนต่าง ๆ ของสัตว์

ศิลปกรรมส่วนหนึ่ง ทำจากส่วนต่าง ๆ ของสัตว์หลายชนิด เช่น งา กระดูก เขา นอแรด กระดองเต่า กีบ ขน ขนสัตว์ปีก ฯลฯ

งาและกระดูกมีคุณสมบัติทางเคมีคล้ายกัน คือมีสารอนินทรีย์ประกอบด้วยแคลเซียมฟอสเฟตและฟลูออไรด์ที่ช่วยให้เกิดความแข็งแรงและแข็งตึง และมีสารอินทรีย์คือโปรตีนชื่อ ossein ที่ช่วยในการเจริญเติบโตและการซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ แต่งาแตกต่างจากกระดูกตรงที่งาไม่มีระบบเส้นเลือด สีขาวกว่า แข็งกว่า และเนื้อแน่นกว่ากระดูก หากมองผ่านกล้องจุลทรรศน์ จะเห็นว่าด้านในกระดูกมีลักษณะโปร่งพรุนคล้ายฟองน้ำและมีโพรงเส้นเลือดอยู่ข้างใน บนผิวมองเห็นเป็นจุดหรือรูหรือเส้นสีเข้ม กระดูกของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่อาศัยอยู่ในทะเลจะมีส่วนที่มีลักษณะเป็นฟองน้ำมากกว่ากระดูกสัตว์บก

งาช้างมีลักษณะเฉพาะตัวที่เด่นชัดบนพื้นที่ภาคตัดขวาง คือมีเส้นสีอ่อน ๆ ตัดกันเป็นร่างแห เส้นดังกล่าวมีสีขาวและทึบแสงกว่าบริเวณรอบ ๆ แม้ว่าผู้ผลิตงาช้างเทียมโดยใช้พลาสติกจะสามารถทำเส้นตัดกันได้ใกล้เคียงงาช้างแท้ แต่เมื่อพิจารณาอย่างละเอียดจะพบว่าเส้นตัดเหล่านั้นจะสม่ำเสมอมากกว่าเส้นตัดของงาช้างแท้ งาช้างเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายถ้าเก็บรักษาในที่ที่มีความชื้นสูงและความชื้นไม่คงที่ เนื่องจากงาช้างดูดและคายความชื้นได้ดี การขยายตัวหดตัวสลับกันไปมา นานเข้าจะเกิดรอยร้าว รอยแตก แอ่น โก่งงอได้ หากแปรรูปงาช้างเป็นแผ่นบาง ๆ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น

เขาสัตว์หลายชนิดนิยมใช้ในการสร้างสรรค์ศิลปกรรม ที่พบบ่อยคือเขากวางชนิดต่าง ๆ เขากวางคือกระดูกส่วนที่ยื่นออกมาจากกระโหลก เรียกว่า antler ต่างจากเขาสัตว์อื่น ๆ ตรงที่มีกิ่งก้านยื่นออกมา ผิวชั้นนอกเป็นกระดูกเนื้อแน่น ๆ และเป็นชั้นหนา มักมีลักษณะหยาบขรุขระและมีสีเข้ม ส่วนชั้นในมีลักษณะโปร่งพรุนคล้ายฟองน้ำซึ่งมีเส้นเลือดอยู่ เขากวางจึงมีเนื้อแน่นและหนักกว่ากระดูก

วัตถุที่ทำจากงาช้าง เขาสัตว์ และนอแรด

ส่วนเขาวัว เขาควาย นอแรด เรียกว่า horn มีองค์ประกอบเหมือนผม ขน กีบ และเล็บ ประกอบด้วยเส้นใยแข็ง ๆ คล้ายผมยึดติดกันแน่น เส้นใยแข็ง ๆ เหล่านั้นคือโปรตีนที่เรียกว่าเคราติน (keratin) ซึ่งมีกรดอะมิโนชื่อ cysteine ประมาณ 7–20% โครงสร้างภายในมีลักษณะโปร่งพรุนคล้ายฟองน้ำ ซึ่งเมื่อเอาส่วนนี้ออก จะได้เขาที่ข้างในกลวง เขาสัตว์กลุ่มนี้ไม่แตกกิ่ง นำมาแปรรูปโดยการต้ม ตัด และหล่อให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ ได้ หากเก็บรักษาในที่ที่มีความชื้นต่ำหรือมีความร้อนสูง ส่วนที่เป็นโปรตีนจะถูกทำลายและสูญเสียความชื้น ส่งผลให้หดตัวและมีรอยแตกร้าว ถ้าสภาพแวดล้อมมีความชื้นสูง ส่วนที่เป็นโปรตีนจะบวมพองและมักมีเชื้อรา ถ้าสภาพแวดล้อมทั้งร้อนและชื้นจะทำให้โปรตีนสลายตัว ทำให้เกิดการโก่งงอและแตกร้าว

กระดองเต่าหรือกระเป็นวัสดุที่เคยนิยมใช้สร้างสรรค์ศิลปกรรม ก่อนได้รับการคุ้มครองโดยนิยมใช้ทำเครื่องประดับและของใช้ขนาดเล็ก ๆ กระดองเต่ามีองค์ประกอบทางเคมีเป็นเคราตินเช่นเดียวกับเขาสัตว์ เป็นวัสดุที่แข็งแรง สามารถรับน้ำหนักได้ถึง 200 เท่าของน้ำหนักตัว กระดองเต่าดูดและคายความชื้นได้ดี หากเก็บรักษาในที่ที่มีอุณหภูมิและความชื้นไม่คงที่ มักโก่งงอ บิดเบี้ยว และเป็นอาหารของแมลงหลายชนิดที่ชอบกินโปรตีน

ต่อมามีการนำพลาสติกมาใช้ทดแทนเลียนแบบกระดองเต่า โดยใช้เซลลูโลสไนเตรตและเซลลูโลสอะซีเตตทำกระดองเต่าเทียม พลาสติกสองชนิดนี้เสื่อมสภาพง่ายและมักทำให้วัสดุอื่น ๆ ที่อยู่ข้างเคียงเสื่อมสภาพไปด้วย ควรตรวจสอบแล้วคัดแยกออกไปเก็บรักษาเป็นพิเศษ

ขนสัตว์ปีก (feather) เช่น ขนนก ขนไก่ ขนเป็ด ฯลฯ มีลักษณะเบาและยืดหยุ่น เซลล์ของขนสัตว์ปีกประกอบด้วยเส้นใยเคราตินขนาดเล็ก ๆ ฝังตัวอยู่ในเคราตินที่มีลักษณะเป็นก้อน ๆ ความงามของขนสัตว์ปีกเกิดจากสีสันสดใสที่มาจากเมลานิน (melanin) ให้สีน้ำตาล ดำ เทา เหลืองอมน้ำตาล และแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ให้สีแดง ส้ม เหลือง ขนสัตว์ปีกบางชนิดมีสีฟ้า–น้ำเงิน แต่สีสวย ๆ ของขนสัตว์ปีกที่มองเห็น ไม่ได้เกิดจากสารสีเหล่านั้นเพียงอย่างเดียว สีที่ตามองเห็นได้บางสี เกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างบางส่วนของขนและส่งผลให้สะท้อนแสงแตกต่างกัน เช่น ขนนกกินปลาที่มีสีฟ้ามีโครงสร้างที่ทำให้แสงสีม่วงและสีฟ้าถูกสะท้อนออกมา จึงมองเห็นเป็นสีฟ้า–ม่วง ขนนกที่มีสีขาว เป็นเพราะโครงสร้างของขนสะท้อนแสงสีขาวออกมาทั้งหมด เนื่องจากขนสัตว์ปีกจะดูดซับแสงที่ตกกระทบได้เกือบ 100% เมื่อได้รับแสงสว่างเป็นเวลานาน ขนสัตว์ปีกจะมีสีซีดจางลงและมีสภาพเปราะกรอบมากขึ้น

หากเก็บรักษาในที่ที่มีความชื้นไม่คงที่ ขนสัตว์ปีกจะเกิดการขยายตัวและหดตัวสลับกันไปมา แล้วแยกตัวออกจากวัสดุอื่น ๆ ที่เป็นส่วนประกอบของศิลปกรรม ถ้าความชื้นสูงมาก ขนสัตว์ปีกจะเป็นอาหารของเชื้อราหลายชนิดที่สามารถย่อยสลายโปรตีนได้ดีและทำให้เกิดคราบเปื้อนสีต่าง ๆ เมื่อขนสัตว์ปีกอ่อนแอลงจากสาเหตุต่าง ๆ ดังที่กล่าวมา ขนสัตว์ปีกจะอ่อนแอและไม่ทนทานต่อแรงดึงแรงดัน แรงกระแทก แรงสั่นสะเทือน และการสัมผัสจับต้อง ในที่สุดจะกรอบเปราะ หักงอ เสียรูป

วัสดุที่ได้จากส่วนต่าง ๆ ของสัตว์ต่าง ๆ เกิดการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายถ้าสัมผัสกับน้ำ หรือเก็บรักษาในที่ที่มีความชื้นสูง และมักมีคราบเปื้อนง่ายหากอยู่ใกล้ชิดโลหะ (ทองแดง โลหะผสมของทองแดง เหล็ก) และวัสดุที่มีสีต่าง ๆ หากคราบเปื้อนแทรกซึมลึก จะทำความสะอาดยากมาก หลายกรณีพบว่าการเสื่อมสภาพของวัตถุกลุ่มนี้เกิดจากการทำความสะอาดด้วยวิธีที่ไม่ถูกต้อง เช่น การเช็ดขัดถูรุนแรง ใช้สารเคมี สารฟอกสี สารซักฟอกหรือสบู่ ยาสีฟัน กรด ฯลฯ และล้างด้วยน้ำ ส่งผลให้วัตถุสึกหรอ มีริ้วรอย แตกร้าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระดูกปลาวาฬ มีเนื้อเปราะมาก เขาสัตว์ที่แปรรูปเป็นแผ่นบาง ๆ จะอ่อนตัว เสียรูปได้ หากสัมผัสกับน้ำ ทำให้วัตถุอ่อนตัวลงและอาจบิดเบี้ยว เสียรูป สารเคมีในการทำความสะอาดอาจทำให้เกิดปฏิกิริยามากมาย บางกรณีวัตถุมีรอยร้าว รอยแตก แล้วถูกซ่อมแซมโดยใช้กาวที่ไม่เหมาะสม ทำให้เกิดคราบเปื้อน กาวบางชนิดเปลี่ยนสภาพเป็นกรอบเปราะ กาวบางชนิดไม่ละลายในตัวทำละลาย ทำให้ไม่สามารถเอาออกได้เมื่อกาวเสื่อมสภาพ

วัสดุที่ได้จากสัตว์เหล่านี้ประกอบด้วยโปรตีน ซึ่งเป็นสารอาหารที่แมลงชอบเป็นพิเศษ แมลงที่พบบ่อยบนวัสดุที่ได้จากสัตว์คือ ตัวอ่อนของด้วงขนสัตว์ แมลงสาบ และผีเสื้อกินผ้า รวมทั้งสัตว์ฟันแทะ เช่น หนู

1.6 แก้ว/กระจก

แก้วและกระจกที่ใช้ในการสร้างสรรค์ศิลปกรรมมีหลายชนิด แต่ละชนิดมีองค์ประกอบและคุณสมบัติแตกต่างกัน จึงมีแนวโน้มที่จะเกิดการเสื่อมสภาพแตกต่างกัน จุดอ่อนที่เด่นชัดคือแตกง่าย การเปลี่ยนแปลงอื่น ๆ ที่มักพบบนแก้ว/กระจกที่อยู่กลางแจ้ง ได้แก่ เกิดรอยร้าว แตกราน ขุ่นมัว ผิวหลุดออกเป็นสะเก็ดหรือเป็นชิ้น ๆ

กระจกสีและกระจกเงาที่พบบ่อยในการสร้างสรรค์ศิลปกรรม มีสีสันและสะท้อนแสงมากกว่ากระจกธรรมดาทั่วไป เนื่องจากมีการเคลือบผิวด้านหลังของกระจกด้วยโลหะหรือสารเคมีต่าง ๆ เมื่อผ่านกาลเวลามายาวนาน อุณหภูมิและความชื้นที่แปรเปลี่ยนตลอดเวลาทำให้ชั้นของสารเคลือบด้านหลังของกระจกขยายตัวและหดตัวด้วยอัตราที่แตกต่างจากกระจก จึงแยกตัวออกจากกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระจกที่เคลือบด้านหนังด้วยแผ่นโลหะบาง ๆ โลหะขยายตัวและหดตัวมากกว่ากระจก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่มีการใช้กาว ปูน หรือยางรัก ยึดติดกระจกสี/กระจกเงาบนชั้นรองรับ วัสดุเหล่านี้มีอัตราการขยายตัวและหดตัวที่แตกต่างกัน เมื่ออุณหภูมิและความชื้นแปรเปลี่ยนตลอดเวลา จึงแยกตัวออกจากกัน บางกรณีพบว่ากาวที่ใช้ยึดติดกระจกบนชั้นรองรับเป็นกาวที่มีแรงยึดเหนี่ยวสูงมากและไม่ยืดหยุ่น เช่น กาวอีพ็อกซีที่ใช้ในการซ่อมแซม จะดึงชั้นของสารเคลือบด้านหลังของกระจกให้หลุดออกจากกระจก ทำให้กระจกเปลี่ยนสีและไม่สะท้อนแสงเหมือนเดิม จากนั้นหลุดร่วงออกไป พบมากบนกระจกสี/กระจกเงาที่ประดับบนลวดลายปูนปั้น หรือบนไม้แกะสลักที่ใช้กาวอีพ็อกซีในการซ่อมแซม พบว่าการเปลี่ยนแปลงเช่นนี้เกิดขึ้นภายในเวลาไม่นานหลังการซ่อมแซม

กระจกสี/กระจกเงารุ่นโบราณบางส่วนถูกยึดตรึงบนชั้นรองรับด้วยหมุดหรือตะปูโลหะมักแตกร้าว

การเสื่อมสภาพของกระจกสี

การเสื่อมสภาพของกระจกสี/กระจกเงาบนปูนปั้นและไม้ประดับกระจก

การซ่อมแซมโดยใช้กาวที่มีแรงยึดเหนี่ยวสูงเกินไป ทำให้กระจกชำรุดเร็วขึ้น

ศิลปกรรมบนแก้วหรือกระจกโบราณบางส่วนอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น แก้ว/กระจกมีลักษณะเป็นฝ้า ขุ่นมัว ไม่โปร่งใสเหมือนเดิม มีของเหลวเหนียว ๆ เกาะบนผิว หรือมีรอยแตกร้าว แตกราน หรือผิวหน้าบางส่วนเปื่อยป่นหลุดออกมาเป็นผงหรือเป็นสะเก็ด อาการดังกล่าวเรียกว่า **โรคแก้ว** (Glass disease หรือ Weeping glass) เกิดขึ้นกับแก้วที่มีซิลิกา อัลคาไลน์ และอัลคาไลน์เอิร์ธ เป็นองค์ประกอบหลัก ทำให้แก้วหรือกระจกมีจุดอ่อนภายใน เสื่อมสภาพได้ง่าย แก้วที่มีซิลิกามาก ความเป็นกรดจะสูง ถ้ามีด่างมาก เช่น แคลเซียมออกไซด์ โซเดียมออกไซด์ โพแทสเซียมออกไซด์ แก้ว/กระจกจะมีเสถียรภาพลดลง เนื่องจากมีแรงยึดเหนี่ยวลดลง เมื่อเก็บรักษาในที่ที่มีความชื้นสูงจะเกิดปฏิกิริยาเคมีบนผิวหน้าและใต้ผิว มีการแลกเปลี่ยนอนุมูลบวกของโลหะที่เป็นด่างจากภายในเนื้อแก้วกับอนุมูลไฮโดรเจนที่มีขั้วลบจากภายนอก แล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของแก้ว/กระจก โดยอนุมูลไฮโดรเจนที่มีขั้วลบจะเข้าแทนที่อนุมูลบวกของโลหะ ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างผิวชั้นนอกที่เกิดการเปลี่ยนแปลงกับชั้นในที่ยังไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้เกิดความเครียดและทำให้แก้ว/กระจกแตกร้าว

ปริมาณขององค์ประกอบที่เป็นด่างในเนื้อแก้ว/กระจกและระดับความชื้นในอากาศเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้แก้ว/กระจกเกิดการเปลี่ยนแปลง เมื่อความชื้นสูง ด่างจะดูดความชื้นเข้ามากลายเป็นของเหลวและหลุดออกจากเนื้อแก้ว/กระจก ถ้าความชื้นต่ำกว่า 40% ด่างจะมีลักษณะเป็นผลึกหรือเป็นผงเกาะอยู่บนพื้นผิว บนผิวแก้วจะมีสารประกอบที่เป็นด่างเกาะอยู่ ทำให้แก้ว/กระจกขุ่นมัว ผิวแก้ว/กระจกจะมีลักษณะลื่น ๆ ถ้าความชื้นสูงกว่า 55% จะมีหยดน้ำเกาะบนผิวแก้วและไหลลงคล้ายหยดน้ำตา จึงเป็นที่มาของคำว่า weeping glass หรือ sweatering glass การที่ความชื้นแปรเปลี่ยนสูงและต่ำสลับกัน จะเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเร็วขึ้น ปริมาณด่างที่เกิดขึ้นจากการแลกเปลี่ยนอนุมูลที่ผิวแก้วจะเร่งอัตราการเสื่อมสภาพ อนูมูลโซเดียมและโปตัสเซียมมีความเป็นด่างสูง สามารถละลายซิลิกาออกจากแก้ว แล้วปลดปล่อยอนุมูลด่างเพิ่มขึ้น แก้วจะขุ่นมัวมากขึ้น เกิดรอยร้าว รอยแตก เนื่องจากสูญเสียด่าง ทิ้งช่องว่างขนาดเล็ก ๆ บนพื้นผิวที่ต้องมองผ่านเลนส์ จากนั้นตรงรอยแตก รอยร้าว จะมีด่างเพิ่มขึ้น ส่งผลให้รอยแตก รอยร้าวลึกลงเรื่อย ๆ เกิดรอยแตกรานเป็นร่างแหที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เรียกว่า crizzling ระยะต่อไปผิวแก้วที่เสื่อมสภาพเริ่มหลุดล่อนออกเป็นสะเก็ดเล็ก ๆ เรียกว่า spalling ในที่สุดแก้ว/กระจกนั้น ๆ จะแตกหักเป็นชิ้น ๆ

ลักษณะของแก้วที่เสื่อมสภาพจาก glass disease

การเสื่อมสภาพของแก้วสีต่าง ๆ ที่ใช้กับเครื่องประดับโบราณ

1.7 โลหะ

โลหะแทบทุกชนิดมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนไปเป็นแร่หรือเกลือของโลหะตามสถานะเดิมที่มันเกิดขึ้น เนื่องจากเป็นสถานะที่โลหะส่วนใหญ่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ซึ่งมีพลังงานต่ำที่สุด เมื่อนำมาถลุง ต้องใช้ความร้อนสูงในการเปลี่ยนแร่ของโลหะให้เป็นโลหะ ซึ่งมีพลังงานสูงกว่าเดิม โลหะจึงพยายามกลับสู่สถานะเดิมที่มีพลังงานต่ำกว่า ด้วยการทำปฏิกิริยากับก๊าซในอากาศและสารเคมีต่าง ๆ ที่มีอยู่ในสภาพแวดล้อม กลายเป็นสารประกอบของโลหะที่มักเรียกกันว่า *"สนิม"* โลหะบางชนิดเกิดสนิมทันทีที่เริ่มผลิต เช่น สนิมทองแดงออกไซด์ (สีแดง–น้ำตาล) เกิดขึ้นทันทีตั้งแต่กระบวนการถลุงและหล่อหลอมทองแดง มักพบทองแดงออกไซด์แทรกตัวอยู่ในเนื้อโลหะทองแดงและโลหะผสมของทองแดง เมื่อทองแดงและโลหะผสมของทองแดงสัมผัสกับอากาศจะเกิดสนิมสีส้ม–น้ำตาลแดง ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ผิวโลหะสัมผัสกับอากาศ ต่อไปจะเกิดสนิมสีเขียวเข้ม–คล้ำ อาจมีผิวเรียบหรือขรุขระปกคลุมบนผิว สนิมสีเขียวคล้ำเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างทองแดงกับเกลือคาร์บอเนตหรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แล้วกลายเป็นเกลือคาร์บอเนต สนิมชนิดนี้ไม่ทำให้เกิดการกัดกร่อน ในทางตรงข้ามหากสนิมทองแดงคาร์เนตเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ จะมีผิวเรียบเนียนสีเขียวคล้ำ แลดูสวยงาม เป็นสนิมที่ดี เรียกว่า patina ซึ่งนอกจากจะช่วยเสริมคุณค่าและแสดงถึงความเป็นของแท้แล้ว สนิมชนิดนี้ยังช่วยปกป้องเนื้อโลหะที่อยู่ภายใต้ ไม่ให้ทำปฏิกิริยากับก๊าซและสารเคมีอื่น ๆ ในสภาพแวดล้อม ลดการสูญเสียเนื้อโลหะ

หากในสภาพแวดล้อมมีสารเคมีอื่น ๆ อยู่ด้วย เช่น ซัลเฟต ไนเตรต คลอไรด์ อะซีเตต ฯลฯ จะเกิดสารประกอบของทองแดงอีกหลายชนิดที่มีสีสันแตกต่างกัน บางชนิดเป็นอันตราย บางชนิดไม่เป็นอันตราย

สนิมของโลหะผสมของทองแดง

สนิมของทองแดงและโลหะผสมของทองแดงที่เมื่อเกิดขึ้นแล้วสามารถกัดกร่อนเนื้อโลหะอย่างต่อเนื่อง เรียกว่า **สนิมกัดกร่อน** (active corrosion) หากเกิดขึ้นกับสำริด (โลหะผสมของทองแดงกับดีบุก) จะเรียกว่า **โรคสำริด** (bronze disease) เกิดจากการที่ทองแดงทำปฏิกิริยากับเกลือคลอไรด์แล้วเกิดเกลือทองแดงคลอไรด์ ซึ่งมีลักษณะเป็นผงสีเขียวสดปรากฏอยู่บนผิวโลหะ ปฏิกิริยาเช่นนี้เกิดขึ้นได้ดีเมื่อความชื้นสูง เกลือทองแดงคลอไรด์จะทำปฏิกิริยากับน้ำหรือความชื้นและออกซิเจน เกิดเป็นเกลือทองแดงคลอไรด์และกรดเกลือ (hydrochloric acid) กรดเกลือจะเข้าทำปฏิกิริยากับทองแดงต่อไปเป็นวงจร และลุกลามเป็นบริเวณกว้างขึ้นหรือทำลายเนื้อโลหะในระดับลึกได้ อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงเช่นนี้อย่างต่อเนื่อง จนในที่สุดไม่มีเนื้อโลหะเหลืออยู่

ลักษณะของโรคสำริด

โลหะอื่น ๆ ก็อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงคล้าย ๆ กัน การที่โลหะชนิดใดจะเกิดสนิมได้ยากหรือง่ายเพียงใดขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมีไฟฟ้าของโลหะนั้น ๆ โลหะที่เกิดสนิมได้ง่ายมาก คือ **เหล็ก** เมื่อเหล็กทำปฏิกิริยากับออกซิเจน จะเกิดเหล็กออกไซด์ (สีแดงอมส้ม) หากมีความชื้นสูงจะเกิดเหล็กไฮดรอกไซด์ มีสีน้ำตาลอมแดง ซึ่งเป็นสนิมเหล็กที่รู้จักกันทั่วไป หากในสภาพแวดล้อมมีเกลือคลอไรด์ เหล็กจะทำปฏิกิริยากับเกลือคลอไรด์ เกิดเหล็กคลอไรด์ ซึ่งดูดความชื้นจากอากาศได้ดี จึงมักเห็นเป็นหยดน้ำสีน้ำตาล มีกลิ่นเหม็น เกาะอยู่บนผิวเหล็กหรือไหลหยดย้อยจากผิววัตถุที่ทำจากเหล็กที่อยู่ใกล้ทะเลหรืออยู่ในดินเค็ม ปรากฏการณ์เช่นนี้พบบ่อยบนปืนใหญ่ เครื่องมือเหล็ก อาวุธ ประติมากรรม ฯลฯ ที่ได้จากการขุดค้นทางโบราณคดีหรือจัดแสดงกลางแจ้ง สนิมชนิดนี้จะกัดกร่อนเนื้อเหล็กให้ผุกร่อนเช่นเดียวกับสนิมกัดกร่อนของสำริด

สนิมเหล็ก

สนิมเหล็กทำให้เกิดคราบเปื้อนสีเข้มบนวัสดุอื่น ๆ ที่อยู่ใกล้

สนิมเหล็กกัดเนื้อกระดาษจนขาดเป็นรู

สนิมบนเหล็กที่มีองค์ประกอบแตกต่างกัน

ปฏิกิริยาเคมีระหว่างโลหะกับก๊าซและเกลือชนิดต่าง ๆ เป็นปฏิกิริยาที่ซับซ้อน หากมีเกลือหลายชนิดผสมกันหรือมีแบคทีเรียเข้าร่วมด้วย ทำให้เกิดกรดที่กัดกร่อนเนื้อโลหะ หรือมีโลหะหลายชนิดอยู่ด้วยกันหรือสัมผัสกัน ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีและเคมีไฟฟ้า

เงินมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนเป็นสีดำคล้ำเมื่อสัมผัสกับอากาศเป็นเวลานาน โดยทำปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในอากาศ หรือสัมผัสกับวัสดุที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ เช่น ผ้าขนสัตว์ ยางแข็ง หนังสัตว์ ฯลฯ ส่วนทองที่บริสุทธิ์ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ยกเว้นทองที่มีโลหะอื่น ๆ ผสมอยู่ เช่น เงิน ทองแดง อาจจะหมองคล้ำหรือมีสนิมสีเขียวบ้างเล็กน้อย

เงินหมองคล้ำเนื่องจากทำปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ศิลปกรรมที่ทำจากโลหะบางส่วนทำจากโลหะสองชนิดอยู่ด้วยกัน เช่น มีการปิดทองชั้นบาง ๆ บนโลหะที่มีราคาถูกกว่า ชุบเงิน ชุบทอง หรือบุเงิน บุทอง ฯลฯ หลังจากใช้งานมายาวนาน หรือผ่านการทำความสะอาดด้วยวิธีรุนแรง ส่งผลให้ผิวชั้นบนสึกหรอ เกิดรอยขูดขีด เปลี่ยนสีเป็นด่างดวง

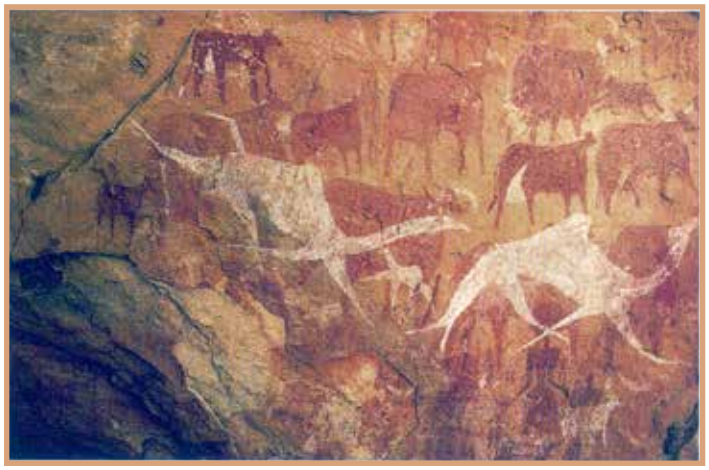
การเปลี่ยนแปลงของโลหะที่ชุบเงิน

ประติมากรรมที่ทำจากวัสดุหลายชนิดอยู่ด้วยกันหรือมีบางส่วนสัมผัสกัน อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ซับซ้อน เช่น โลหะสองชนิดสัมผัสกัน โลหะชนิดหนึ่งว่องไวในปฏิกิริยา จึงเป็นสนิมก่อน สนิมที่เกิดขึ้นทำให้โลหะอีกชนิดหนึ่งมีคราบเปื้อนหรือสึกกร่อน ในบางกรณีสารเคมีจากวัสดุชนิดหนึ่งอาจแพร่ไปยังวัสดุที่อยู่ใกล้ชิดแล้วทำให้เกิดปัญหา เช่น หนังสัตว์ที่สัมผัสกับโลหะ ทำให้โลหะเกิดสนิม ผ้าและกระดาษที่สัมผัสกับไม้หรือผลิตภัณฑ์ไม้ หรือกระดาษที่มีคุณภาพต่ำ จะเปลี่ยนสีและมีสภาพกรอบเปราะ เป็นต้น

1.8 หิน

แม้แต่หินซึ่งดูแข็งแรงทนทานมากกว่าวัสดุใด ๆ ก็มีจุดอ่อนภายในตัวเอง หินบางชนิดมีแนวโน้มที่จะแตกออกเป็นชั้น ๆ หรือเป็นกาบ ๆ โดยง่าย หากจัดแสดง จัดเก็บกลางแจ้ง หรือวางบนดิน ที่พบบ่อยคือหินทราย หินอับเฉาหรือหินทัฟฟ์ (หินภูเขาไฟชนิดหนึ่งที่มาจากจีน ใช้ถ่วงน้ำหนักเรือสำเภา เกิดขึ้นจากการทับถมของเถ้าภูเขาไฟโดยไม่มีวัตถุประสาน) หินดินดาน หินกาบ หินชนวน หินบางชนิดมีวัตถุประสานที่ไม่แข็งแรง เช่น วัตถุประสานเป็นสารประกอบของเหล็ก แร่ดิน ฯลฯ เมื่อดูดซับความชื้นจะขยายตัวและเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีแล้วละลายออกไป ทำให้เนื้อหินผุร่วน

การเสื่อมสภาพของหินอับเฉา



ภาพเขียนสีบางแห่ง ชั้นสีหลุดหายไปเนื่องจากการหลุดล่อนของหินทรายที่เป็นชั้นรองรับภาพ

การเสื่อมสภาพของหินทรายสีชมพู-แดงที่อยู่กลางแจ้ง

1.9 ปูนปั้น

ปูนที่ใช้ในการสร้างสรรค์ศิลปกรรมในอดีตเป็นปูนขาวหมัก ซึ่งได้จากการนำหินปูน (แคลเซียมคาร์บอเนต) มาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 800 องศาเซลเซียส ได้แคลเซียมออกไซด์หรือที่เรียกกันว่า lime หรือปูนขาว จากนั้นนำแคลเซียมออกไซด์มาใส่ลงในถังน้ำหรือบ่อน้ำ เพื่อให้แคลเซียมออกไซด์ทำปฏิกิริยากับน้ำ ได้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ เรียกว่า **ปูนขาวหมัก** (slaked lime หรือ lime putty) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้นช่วงแรกจะอยู่ในรูปของสารละลาย มีลักษณะเป็นของเหลวใส ๆ ที่เรียกกันทั่วไปว่าน้ำปูนใส ซึ่งต่อไปจะตกผลึกเป็นของแข็ง เห็นเป็นปูนสีขาวอยู่ก้นถัง น้ำใส ๆ ส่วนบนคือน้ำปูนใส หากกวนหรือเขย่าจะได้ของเหลวสีขาวขุ่น หากน้ำระเหยออกไปมากจะได้ของเหลวข้น ๆ เรียกว่า lime putty

การหมักปูนควรใช้เวลาไม่น้อยกว่าหนึ่งเดือน เพื่อให้แคลเซียมออกไซด์ทำปฏิกิริยากับน้ำได้อย่างสมบูรณ์ ระหว่างนั้นต้องเติมน้ำหรือเปลี่ยนน้ำบ่อย ๆ เพื่อให้มีน้ำมากพอที่จะเข้าทำปฏิกิริยา หากใส่น้ำน้อยไป จะมีน้ำไม่เพียงพอที่จะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมออกไซด์ ทำให้ได้ปูนหมักที่มีแคลเซียมไฮดรอกไซด์น้อยและยังมีแคลเซียมออกไซด์ปะปนอยู่มาก การเติมน้ำบ่อย ๆ ยังช่วยป้องกันไม่ให้ปูนหมักทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ แล้วกลายเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต หากน้ำแห้งจะได้ปูนหมักที่มีแคลเซียมออกไซด์มาก และมีแคลเซียมคาร์บอเนตผสมแทนที่จะได้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ 100% ทำให้ปูนขาวหมักมีคุณภาพต่ำลง เนื่องจากจุดประสงค์ในการหมักปูนก็คือการผลิตแคลเซียมไฮดรอกไซด์ให้มากที่สุด เวลาใช้งาน ปูนขาวหมักทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้วกลายเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตหรือหินปูน เรียกกระบวนการนี้ว่า carbonation แคลเซียมคาร์บอเนตที่เกิดขึ้นทำหน้าที่สร้างแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคของมวลรวม เพิ่มความ

แข็งแรงให้กับปูนปั้น ปูนก่อ และปูนฉาบ ส่วนแคลเซียมออกไซด์ไม่ทำปฏิกิริยาโดยตรงกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จึงไม่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับปูนปั้น หากมีแคลเซียมคาร์บอเนตเกิดขึ้นบนผิวหน้าของปูนในถังหมัก ในกรณีที่น้ำแห้ง แคลเซียมคาร์บนเนตทำหน้าที่เป็นมวลรวม ไม่ทำหน้าที่สร้างแรงยึดเหนี่ยว

ปูนขาวหมักที่ใช้เวลานาน ๆ (หลายเดือนถึงหลายปี) ในการหมัก จะเกิดแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีลักษณะเป็นผลึกแบน ๆ เรียงกัน เมื่อใช้งานจะช่วยให้ได้ปูนที่แข็งแรงกว่าปูนขาวหมักที่ใช้เวลาในการหมักน้อย กระบวนการเตรียมปูนขาวหมักส่งผลกระทบอย่างมากต่อคุณภาพและความแข็งแรงทนทานของปูนขาวหมัก

องค์ประกอบของปูนปั้นคล้ายกับปูนก่อและปูนฉาบ แต่ปูนปั้นจะแข็งตัวช้ากว่าปูนก่อปูนฉาบ จึงทำให้ช่างมีเวลาตกแต่งสร้างสรรค์ลวดลายได้นานกว่า ปูนปั้นทำจากปูนขาวหมักผสมกับมวลรวมในอัตราส่วนที่กำหนด เลือกชนิดและขนาดของมวลรวมที่เหมาะสมต่อความต้องการ ปูนก่อโดยทั่วไป ใช้ปูนขาวหมักผสมทราย ในอัตราส่วน ปูนขาวหมัก 1 ส่วนและทราย 2–4 ส่วน ทรายที่ใช้อาจเป็นทรายละเอียด ทรายหยาบ หรือทรายคละขนาด ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติที่ต้องการ ปูนปั้นจะไม่ทนทาน หากเลือกใช้ทรายที่มีขนาดไม่เหมาะสมหรือทรายไม่สะอาด มีสิ่งเจือปนมาก

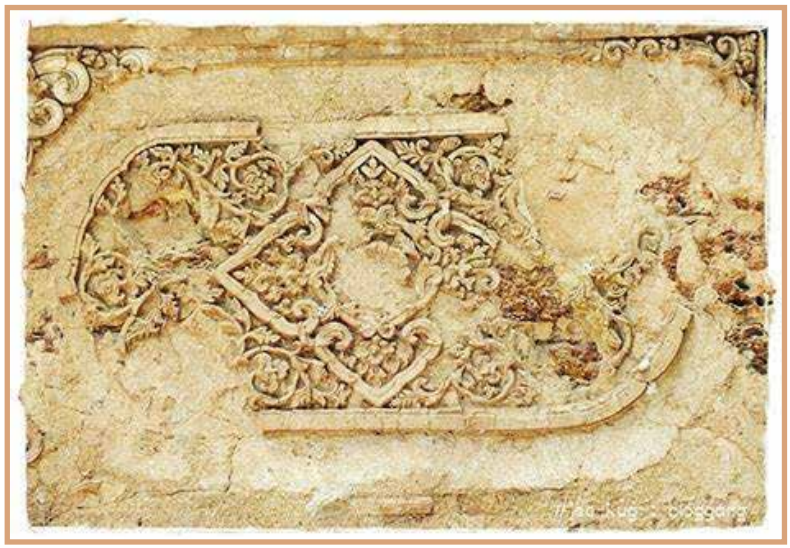
ปูนขาวหมักที่จะใช้ในการปั้น ต้องผ่านกระบวนการอื่น ๆ เพิ่มขึ้น เพื่อให้ได้ปูนที่มีความเหนียว ปั้นง่าย อยู่ตัว เนื้อเนียนนุ่ม หดตัวต่ำ และแข็งตัวเร็ว เช่น ผ่านการโขลกหรือตำ เพื่อให้ได้ปูนเนื้อแน่น มีช่องว่างลดลง มีน้ำลดลง และเนื้อเหนียวขึ้น ระหว่างตำ มักผสมสารเติมแต่งต่าง ๆ เพื่อเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวในระยะแรก เพิ่มความเหนียว ความหนืด ความอยู่ตัว ความเร็วในการแห้ง ความทนทานต่อแรงกด ความทนทานต่อแรงดึง ความพรุน ความสามารถในการอมน้ำเพื่อช่วยให้ปฏิกิริยาระหว่างปูนขาวกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นได้ดีขึ้น และเพื่อความสะดวกในการปั้น เช่น บางท้องถิ่นใช้ฟางข้าว กระดาษ กากน้ำตาลอ้อย กาวหรือยางไม้ เส้นใยพืช บางแห่งใส่ข้าวเหนียว หรือกล้วยดิบลงไปด้วย

เมื่อปูนขาวหมักแข็งตัว จะมีลักษณะคล้ายหินปูนเนื้อละเอียดและมีกระบวนการเสื่อมสภาพเหมือนหินปูนและหินอ่อน ซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับกรด ปูนปั้นจึงมักเสื่อมสภาพจากน้ำฝน น้ำใต้ดิน และเกลือที่ละลายน้ำได้ ส่งผลให้แคลเซียมคาร์บอเนตลดลงและเกิดผลึกเกลือที่มีปริมาตรเพิ่มขึ้น ทำให้เนื้อปูนผุ

ปูนปั้นที่มีเนื้อพรุนดูดซับความชื้นไว้ได้ดี โดยฉพาะด้านที่ได้รับแสงแดด มักมีสาหร่ายเป็นคราบสีเขียว–ดำ อยู่ทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณที่มีน้ำไหลผ่านหรือมีน้ำใต้ดินแทรกซึมขึ้นมา จะมีสาหร่ายอยู่หนาแน่น สาหร่ายสร้างสารเมือกสำหรับเกาะอยู่บนผิวปูน ในฤดูฝน สารเมือกพองตัว เกาะยึดกับปูนได้แน่น ในฤดูร้อน อากาศร้อนและแห้งแล้ง สาหร่ายและสารเมือกจะเหี่ยวแห้งและแยกตัวออกจากพื้นผิวปูนและดึงเนื้อปูนหลุดติดมาด้วย ทำให้เนื้อปูนสึกกร่อน ขรุขระ เป็นหลุมเป็นบ่อมากขึ้นเรื่อย ๆ บางกรณีเมื่อมีสาหร่ายอยู่หนาแน่น จะมีมอสและพืชชั้นต่ำอื่น ๆ เจริญเติบโตร่วมด้วย เนื้อปูนจะชำรุดมากขึ้น

คราบสีดำคือสาหร่ายบนปูน

การเสื่อมสภาพของปูนปั้นบนโบราณสถานอาจมีความสัมพันธ์กับการเคลื่อนตัวของชั้นดินหรือการเคลื่อนไหวของโครงสร้าง ทำให้ปูนปั้นเกิดรอยร้าว รอยแตก หรือทรุดเอียง เป็นช่องทางให้ความชื้น น้ำ เกลือ และก๊าซแทรกซึมเข้าไปทำปฏิกิริยาได้มากขึ้น บางกรณีเกิดจากผนังทำจากวัสดุหลายชนิดที่มีคุณสมบัติในการนำความร้อนและมีความพรุนแตกต่างกัน



จิตรกรรมบางส่วนเกิดจากการเขียนสีบนผนังปูนที่ยังไม่แข็งตัว เรียกว่า **จิตรกรรมปูนเปียก** (fresco) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ช่างชาวยุโรปนำเข้ามาสร้างสรรค์ศิลปกรรม โดยใช้สารสีที่เป็นผงแห้ง ๆ บดรวมกับน้ำ แล้วระบายลงบนปูนที่กำลังเปียก หลังจากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างแคลเซียมไฮดรอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ เมื่อปูนแห้งและแข็งตัว และเกิดแคลเซียมคาร์บอเนต อีกเทคนิคหนึ่งเรียกว่า secco ใช้สารสีผสมน้ำและสารยึดอื่น ๆ ให้เป็นของเหลวข้น ๆ ระบายลงบนพื้นผิวปูนที่แห้งแล้ว เทคนิคนี้ตรงกับการเขียนสีฝุ่นบนจิตรกรรมฝาผนังของไทย ภาพเขียนบางแห่งใช้สองเทคนิคนี้ร่วมกัน เช่น ตอนแรกเขียนสีบนปูนเปียก แล้วตกแต่งรายละเอียดด้วยเทคนิค secco โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องการระบายสีฟ้าหรือสีน้ำเงินบนปูนเปียก แต่ทำไม่ได้เนื่องจากสีฟ้าหรือสีน้ำเงินบางชนิดเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อสัมผัสกับด่าง จึงรอให้จิตรกรรมปูนเปียกแห้งก่อน แล้วระบายสีฟ้าหรือสีน้ำเงินด้วยเทคนิค secco ยกเว้นในกรณีที่ใช้สีฟ้า–น้ำเงินจากลาพิส ลาซูลีและอะซูไรต์ ซึ่งเข้ากันได้ดีกับปูนเปียก

จิตรกรรมปูนเปียกแข็งแรง ทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดีมาก แต่อาจจะมีคราบสีขาวจาง ๆ บนพื้นผิวจิตรกรรม เกิดจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศรวมตัวกับน้ำได้กรดคาร์บอนิกและกรดซัลฟิวริก แล้วไปทำปฏิกิริยากับแคลเซียมคาร์บอเนต ได้แคลเซียมไบคาร์บอเนตและแคลเซียมไบซัลไฟต์ซึ่งละลายน้ำได้ จึงเคลื่อนตัวมาที่ผิวหน้าของจิตรกรรม และถูกชะล้างไปกับน้ำ หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยกระบวนการออกซิเดชันและไฮเดรชัน ทำให้แคลเซียมไบซัลไฟต์เปลี่ยนแปลงไปเป็นยิปซัม (calcium sulphate dihygrate)

กระบวนการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้ผิวหน้าจิตรกรรมเกิดการชำรุด เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงจากแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นยิปซัม ทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้นสองเท่า จะดันให้ปูนที่อยู่ใต้ชั้นสีปูดขึ้นมา มีลักษณะเป็นผงร่วน นอกจากนี้ยิปซัมสามารถละลายน้ำได้เล็กน้อย หากปูนมีความชื้นสูง น้ำจะพาเกลือเคลื่อนที่ไปยังส่วนอื่น ๆ

การเสื่อมสภาพของจิตรกรรมปูนเปียก

ปูนขาวบางแหล่งทำจากหินโดโลไมต์ (dolomite) ซึ่งมีแคลเซียมคาร์บอเนตและแมกนีเซียมคาร์บอเนตอยู่ด้วยกัน เมื่อหมักแล้วจะได้แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเมื่อแข็งตัวจะได้แคลเซียมคาร์บอเนตปนอยู่กับแมกนีเซียมคาร์บอเนต ปูนขาวชนิดนี้เสื่อมสภาพมากกว่าปูนขาวที่มีแต่แคลเซียมคาร์บอเนตเพียงอย่างเดียว เนื่องจากเมื่อทำปฏิกิริยากับก๊าซและความชื้น แมกนีเซียมคาร์เนตจะถูกเปลี่ยนไปเป็นแมกนีเซียมซัลเฟต ซึ่งดูดน้ำเข้ามาในโมเลกุลและกลายเป็นแมกนีเซียมซัลเฟตที่มีน้ำผลึกอยู่ในโมเลกุล จำนวนน้ำผลึกมีตั้งแต่ 1–7 โมเลกุล แมกนีเซียมซัลเฟตที่มีน้ำผลึกละลายน้ำได้ดีมาก จึงเคลื่อนที่ไปตามส่วนต่าง ๆ ของพื้นผิว เมื่อความชื้นและอุณหภูมิแปรเปลี่ยนขึ้น ๆ ลง ๆ ในแต่ละวัน ผลึกของแมกนีเซียมซัลเฟต จะมีปริมาณน้ำผลึกเปลี่ยนแปลงไปมาตามอุณหภูมิและความชื้น พร้อมทั้งเปลี่ยนรูปร่างและขนาดของผลึก ส่งผลให้เกิดแรงดันภายในเนื้อปูน จนในที่สุดปูนจะแตกป่น เกลือที่ละลายน้ำได้เหล่านี้ จะไปเพิ่มหรือผสมกับเกลือที่มีอยู่ในวัสดุมาแต่เดิม แล้วเกิดปฏิกิริยาอื่น ๆ เพิ่มขึ้นอีกมากมาย

ปูนซีเมนต์พบได้บนศิลปกรรมบางส่วน ปูนซีเมนต์ส่วนใหญ่ทำจากการนำหินปูนหรือหินดินดานมาบดและผสมกับดินเหนียวแล้วนำไปเผา จากนั้นผสมยิปซัม (เพื่อหน่วงปฏิกิริยาให้ปูนซีเมนต์แข็งตัวช้าลง) และสารเติมแต่งอื่น ๆ แล้วบดให้ละเอียด ผลที่ได้คือสารประกอบเชิงซ้อนที่มี calcium aluminosilicate เป็นหลัก ปูนซีเมนต์จึงมีมากมายหลายชนิด แต่ละชนิดมีคุณสมบัติต่าง ๆ กัน และเสื่อมสภาพด้วยอัตราเร็วแตกต่างกัน ปูนซีเมนต์บางชนิดเสื่อมสภาพเร็วมากหากสัมผัสกับสารประกอบซัลเฟต การเสื่อมสภาพในระยะเริ่มแรกจะทำให้ปูนมีคราบสีขาวปรากฏบนผิว แต่ถ้ามีการเสื่อมสภาพมากขึ้น ผลึกเกลือจะขยายขนาด ทำให้เกิดการแตกร้าว หลุดล่อน เปื่อย ป่นเป็นผง เนื่องจากอนุมูลซัลเฟตทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ แล้วได้สารประกอบที่มีชื่อทางแร่ว่า ettringite และสารประกอบอื่น ๆ ที่ทำให้มีปริมาตรเพิ่มขึ้น ปูนซีเมนต์ที่มีปริมาณ calcium aluminate สูงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเช่นนี้ได้มาก

นอกจากปูนซีเมนต์จะเสื่อมสภาพจากสาเหตุในตัวเองแล้ว ปูนซีเมนต์ยังทำให้วัสดุอื่น ๆ ที่อยู่ใกล้เสื่อมสภาพได้ เนื่องจากปลดปล่อยสารประกอบที่ละลายน้ำออกไป ทำให้วัสดุใกล้เคียงมีปัญหาจากเกลือ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกลือซัลเฟต ข้อเสียอีกประการหนึ่งคือปูนซีเมนต์ทึบน้ำ ยอมให้น้ำผ่านเข้าออกเพียงเล็กน้อย ทำให้เกิดบริเวณที่มีความชื้นสะสม แล้วเกิดการเสื่อมสภาพด้วยสาเหตุอื่น ๆ ต่อไป ในบางกรณีปูนซีเมนต์มีความแข็งแรงเกินไปเมื่อเทียบกับวัสดุอื่น ๆ ที่อยู่ข้างเคียง หรือมีแรงยึดเหนี่ยวสูงเกินไป ขยายตัวและหดตัวไม่เท่ากับวัสดุเดิม ทำให้วัสดุที่อยู่ข้างเคียงชำรุด

1.10 เครื่องปั้นดินเผา

เครื่องปั้นดินเผาแบ่งเป็นหลายกลุ่ม ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบและกระบวนการผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการเผาจะมีผลต่อคุณสมบัติของเครื่องปั้นดินเผาเป็นอย่างมาก เครื่องปั้นดินเผาที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่ำ มีเนื้อพรุน จะทนทานต่อการใช้งานและสภาพแวดล้อมได้ต่ำกว่าเครื่องปั้นดินเผาที่เผาที่อุณหภูมิสูง เครื่องปั้นดินเผาที่เผาสุกแล้วมีลักษณะแข็ง มีเนื้อแกร่ง สามารถรับแรงกดได้ดี แต่เปราะ จึงแตกหักง่าย

การชำรุดเสื่อมสภาพของเครื่องปั้นดินเผาส่วนใหญ่มีลักษณะแตกร้าว บิ่น กะเทาะแตกหัก มีรอยขูดขีด น้ำยาเคลือบแตกราน เปลี่ยนสี มีผลึกเกลือ น้ำยาเคลือบหลุดล่อน เนื้อดินเปื่อยป่น ฯลฯ รอยร้าวและรอยแตกเล็ก ๆ มักเกิดบนน้ำยาเคลือบ หรือตรงรอยต่อระหว่างน้ำยาเคลือบกับเนื้อดิน บางครั้งพบยิปซัมบนผิวน้ำยาเคลือบ เนื่องจากกระบวนการผุพังอยู่กับที่ของน้ำยาเคลือบ บางครั้งพบผลึกแคลเซียมออกซาเลตซึ่งเกิดจากกิจกรรมของแบคทีเรีย รา และไลเคนร่วมด้วย

การเสื่อมสภาพของน้ำยาเคลือบอาจเกิดจากปฏิกิริยาของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และแอมโมเนีย ทำให้เกิดเกลือหลายชนิด ส่งผลให้ชั้นน้ำยาเคลือบสึกกร่อน แตกร้าว มีบางส่วนถูกชะล้างออกไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งผิวชั้นบนที่มีอัลคาไลน์และอัลคาไลน์เอิร์ธมักถูกชะล้างออกไป ทำให้ผิวชั้นบนของน้ำยาเคลือบอ่อนแอ

เนื้อดินและน้ำยาเคลือบที่เสื่อมสภาพง่าย มักมีฟองอากาศมาก มีสิ่งเจือปน มีรูพรุน เนื้อหยาบ และมีรอยร้าวเล็ก ๆ ในผลึก น้ำยาเคลือบบางส่วนอาจเกิดการเสื่อมสภาพ เนื่องจากจุดอ่อนภายในน้ำยาเคลือบ เช่น เกิดจากคุณสมบัติและสัดส่วนของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต วิธีการเตรียมน้ำยาเคลือบ วิธีการเคลือบ วิธีการจัดวางในเตาเผา การควบคุมอุณหภูมิและบรรยากาศในเตาเผา ระยะเวลาในการเผา ฯลฯ นอกจากนี้องค์ประกอบของน้ำยาเคลือบอาจส่งผลกระทบต่อการเสื่อมสภาพของเครื่องปั้นดินเผา เช่น น้ำยาเคลือบที่มีโซเดียมและโพแทสเซียมมาก จะทนต่อสภาพแวดล้อมที่เป็นกรดได้น้อย

การเสื่อมสภาพของน้ำยาเคลือบบนเครื่องปั้นดินเผา

การสึกกร่อนของน้ำยาเคลือบมีความสัมพันธ์กับรอยแตก รอยร้าวขนาดเล็ก ๆ ในเนื้อน้ำยาเคลือบ บางครั้งมีรูเล็ก ๆ รอยร้าวและรอยแตกในน้ำยาเคลือบ บางทีเกิดจากองค์ประกอบบางอย่างของน้ำยาเคลือบหายไป น้ำยาเคลือบที่ทำจากสารประกอบของตะกั่วจะเกิดรอยร้าวมากเป็นพิเศษ

ตำหนิในน้ำยาเคลือบที่พบบ่อย เช่น น้ำยาเคลือบไหลหยดย้อย มีรูเข็ม มีรอยด่างหรือจุดเล็ก ๆ สีดำ มีรอยแตกราน มีรอยปูดหรือรอยบิ่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเกิดรูเข็มในน้ำยาเคลือบทำให้น้ำยาเคลือบเสื่อมสภาพได้เร็วขึ้น รูเข็มเกิดจากก๊าซที่ออกมาจากเนื้อดินขณะเผา ความร้อนสูงทำให้สารอินทรีย์ เช่น ถ่านในเนื้อดินถูกเผาไหม้ ได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งแทรกตัวผ่านชั้นน้ำยาเคลือบขึ้นมา ทำให้เกิดรูเล็ก ๆ ในน้ำยาเคลือบ เป็นช่องทางให้น้ำ สารละลายของเกลือ กรด ด่าง หรือก๊าซในอากาศแทรกซึมเข้าไปทำปฏิกิริยาได้ง่าย

รอยแตกร้าวขนาดเล็ก บนกระเบื้องเคลือบที่อยู่กลางแจ้ง

เครื่องปั้นดินเผาบางส่วนเสื่อมสภาพง่าย เนื่องจากเนื้อดินและน้ำยาเคลือบมีอัตราการขยายตัวและหดตัวเมื่ออยู่ในอุณหภูมิต่าง ๆ ไม่เท่ากัน เครื่องปั้นดินเผาบางชนิดนำความร้อนได้ไม่ดี จึงทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกะทันหันไม่ได้

เครื่องปั้นดินเผาที่ดูดซับน้ำได้ดี มักมีปัญหาจากการแตกร้าวหรือแอ่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องปั้นดินเผาที่ตั้งอยู่บนพื้นที่ที่เกิดการขยายตัวและหดตัวจากอุณหภูมิและความชื้นแปรเปลี่ยนสูงกว่า จะแตกร้าวได้มากกว่าเครื่องปั้นดินเผาที่จัดเก็บหรือจัดแสดงในอาคาร บนแท่น หรือในตู้

เนื่องจากเครื่องปั้นดินเผามีรูพรุน จึงสามารถดูดซับน้ำได้ดี หากน้ำบริสุทธิ์ จะไม่สร้างปัญหามากนัก แต่น้ำส่วนใหญ่ไม่บริสุทธิ์ มีเกลือแร่และสารประกอบที่ละลายน้ำได้เจือปนอยู่ด้วยเสมอ เมื่อสารละลายเหล่านี้แทรกซึมเข้าไปในเนื้อเครื่องปั้นดินเผาตามหลอดรูเล็ก (pore หรือ capillary tube) โดยอาศัยแรงดึงดูดภายในหลอดรูเล็ก เรียกว่า capillary action น้ำจะนำพาสารละลายของกรด ด่าง และเกลือ เข้ามาทำอันตรายต่อเนื้อดินและน้ำยาเคลือบได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารละลายของเกลือทำให้เกิดการเสื่อมสภาพอย่างรุนแรง นอกจากนี้ ไอน้ำที่แทรกซึมเข้าในรูพรุนของเนื้อดินจะทำให้เกิดการแตกราน มีรอยร้าวเล็ก ๆ แตกเป็นร่างแห รวมทั้งทำให้เกิดผลึกเกลือ ความชื้นที่สะสมในเนื้อดินยังทำให้สาหร่ายเจริญเติบโตได้ดี

1.11 ยางรัก

ศิลปกรรมจำนวนมากเกิดจากการใช้ยางรักในขั้นตอนการผลิต ยางรักเป็นยางที่ได้จากต้นไม้หลายชนิด เช่น *Taxicodendron vernicifuum* (พบในจีน เกาหลี ญี่ปุ่น) *Taxicodendron succedaneum* (พบในเวียดนาม ไต้หวัน จีนตอนใต้) *Gluta usitata* (พบในไทย กัมพูชา เมียนมา และในคาบสมุทรมลายู) ฯลฯ ต้นไม้เหล่านี้ให้น้ำยางที่มีลักษณะเป็นอีมัลชันที่ประกอบด้วยน้ำในน้ำมัน (W/O emulsion) ส่วนที่เป็นน้ำประกอบด้วยพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ที่ชอบน้ำ และเอนไซม์ที่ช่วยให้เกิดกระบวนการ polymerization ส่วนที่เป็นน้ำมันประกอบด้วย catechol เป็นส่วนใหญ่ และไกลโคโปรตีนเล็กน้อย โดยพอลิแซ็กคาไรด์และไกลโคโปรตีนมีบทบาทสำคัญที่ทำให้ยางรักแข็งตัวเป็นชั้นบาง ๆ

ชั้นรักเสื่อมสภาพเนื่องจากไม้ที่เป็นชั้นรองรับถูกแมลงกัดกิน

เนื่องจากยางรักได้จากต้นไม้หลายชนิด แต่ละชนิดมีองค์ประกอบแตกต่างกัน เช่น ยางรักที่พบในจีน เกาหลี และญี่ปุ่น มีสารประกอบชื่อ Urushiol เป็นหลัก และมีเอนไซม์ชื่อ laccase ยางรักที่พบในเวียดนาม ไต้หวัน และจีนตอนใต้ มีสารประกอบชื่อ laccol เป็นหลัก ส่วนยางรักที่พบในไทย เมียนมา กัมพูชา และคาบสมุทรมลายู มีสารประกอบชื่อ thitsiol เป็นหลัก ยางรักเหล่านี้จึงมีคุณสมบัติแตกต่างกัน เช่น ความหนืด ความเร็วในการแห้ง สีสัน รวมทั้งคุณสมบัติเชิงกลก็แตกต่างกัน เช่น ความแข็ง ความทนทานต่อแสงสว่าง ความเครียดตกค้างในฟิล์มที่แห้งแล้ว และมีอัตราในการเสื่อมสภาพแตกต่างกัน บางครั้งผู้ผลิตใช้ยางรักจากหลายแหล่งผสมกัน ทำให้เกิดปฏิกิริยาที่ซับซ้อนยิ่งขึ้น บ่อยครั้งพบว่ายางรักที่นำมาใช้ซ่อมแซมหรือสร้างสรรค์ศิลปกรรมเป็นยางรักคุณภาพต่ำ มีการปลอมปน ผสมสิ่งต่าง ๆ ที่ไม่แจ้งให้ผู้ใช้ทราบ ทำให้ศิลปกรรมเกิดการเปลี่ยนแปลงในเวลารวดเร็วกว่าปกติ หลายกรณีมีผู้ใช้สารสังเคราะห์ประเภทสีโป๊แทนยางรักในการซ่อมแซม ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหลายรูปแบบที่คาดเดายาก

ยางรักไม่ทนต่อแสงสว่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ไม่ทนต่อรังสีอัลตราไวโอเลต เมื่อได้รับแสงสว่างเป็นเวลานานจะเกิดรอยร้าวเล็ก ๆ ทั้งในแนวตั้งและแนวนอนตัดกันเป็นร่างแหมากขึ้นเรื่อย ๆ ผิวของชั้นรักจะสูญเสียความมันวาว สีซีด จนถึงจุดหนึ่งที่ชั้นยางรักจะแตกร้าว หลุดล่อนเป็นผง องค์ประกอบบางส่วนของยางรักจะแตกสลายแล้วเกิดกรด เข้าทำปฏิกิริยากับส่วนอื่น ๆ ของชิ้นงาน

ความชื้นสูงและรังสีอัลตราไวโอเลตทำให้ชั้นรักเปลี่ยนสี

ฝน น้ำค้าง และความชื้นที่แปรเปลี่ยนขึ้น ๆ ลง ๆ ในแต่ละวันเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ยางรักมีรอยร้าวเล็ก ๆ และสูญเสียความมัน เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ สิ่งตกแต่งและผิวบางส่วนจะสูญหายไป อาจเปลี่ยนสีหรือสีซีดจาง ผิวบางส่วนเผยอขึ้น บางครั้งโครงสร้างของศิลปกรรมที่ทำด้วยไม้หรือปูนเกิดการหดตัวขยายตัวสลับกันไปมา ชั้นรักที่เคลือบอยู่บนผิวไม้หรือปูนไม่สามารถปรับตัวให้หดตัวขยายตัวตามโครงสร้างนั้น ๆ ได้ จะแตกร้าว หลุดล่อน แยกตัวออกมา รอยร้าวที่เกิดขึ้นเป็นช่องทางที่ทำให้น้ำ ความชื้น และก๊าซ แทรกซึมเข้าไปในเนื้อวัสดุที่รองรับ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอื่น ๆ ตามมา ผลสุดท้ายทำให้ผิวหน้าแตกร้าวและหลุดล่อนมากยิ่งขึ้น หากวัตถุที่ทำจากยางรักได้รับความร้อนเป็นเวลานาน จะมีสภาพแห้งและเปราะ เนื่องจากการสูญเสียน้ำ ชั้นของยางรักจะไม่เหนียวและยืดหยุ่นเหมือนเดิม

ลักษณะการเสื่อมสภาพของยางรักที่ได้รับแดดและฝน

การสัมผัสแตะต้องและการทำความสะอาดอย่างไม่ระมัดระวังทำให้ผิวหน้าของชั้นรักมีรอยขูดขีด สึกกร่อน สูญเสียสิ่งตกแต่งและรายละเอียด

1.12 พลาสติก

พลาสติกเริ่มผลิตในคริสต์ศตวรรษที่ 19 และมักเป็นส่วนหนึ่งของศิลปกรรมหลายประเภท พลาสติกที่ผลิตในช่วงแรก ๆ มีจุดอ่อนมากมายและมักเสื่อมสภาพจากสาเหตุภายในตัวพลาสติกเอง เนื่องจากช่วงเวลานั้น ๆ ผู้ผลิตยังไม่ตระหนักในคุณสมบัติระยะยาวของพลาสติก เช่น เซลลูลอยด์ (celluloid) หรือเซลลูโลสไนเตรต (cellulose nitrate) เซลลูโลสอะซีเตต (cellulose acetate) พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC หรือ polyvinylchloride) ยางแข็ง (vulcanized rubber) ฯลฯ พลาสติกรุ่นแรก ๆ เหล่านี้ไม่ทนต่อความร้อน แสงสว่าง มลพิษ ความชื้น ก๊าซ เมื่อเสื่อมสภาพจะสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น มีหยดน้ำหรือของเหลวเกาะบนผิว เหนียวเหนอะหนะ เปลี่ยนสี บิด เบี้ยว แตกราน เปราะกรอบ ส่งกลิ่น ขุ่นมัว ฯลฯ เมื่อสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ แสดงว่าพลาสติกนั้น ๆ กำลังเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วและไม่สามารถทำให้กลับสู่สภาพเดิมได้ ส่วนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของพลาสติกเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ซับซ้อนมาก จึงขอไม่กล่าวถึงในที่นี้

การเสื่อมสภาพของวัตถุที่ทำจากพลาสติกรุ่นแรก ๆ

พลาสติกที่กำลังเสื่อมสภาพ มักมีกลิ่นแปลก ๆ เช่น กลิ่นน้ำส้มสายชู กลิ่นการบูร หรือมีสภาพเยิ้มเหนียว ขุ่นมัว ผิวปนเป็นผง สีเข้มขึ้น มีรอยร้าว พลาสติกส่วนใหญ่มักผ่านกระบวนการที่ทำให้ได้พลาสติกที่มีความยืดหยุ่นสูงขึ้นเพื่อตอบสนองต่อการใช้งาน สารเคมีที่เติมลงในกระบวนการผลิตพลาสติกที่ต้องการให้มีความยืดหยุ่นสูง เรียกว่า plasticizer ซึ่งอาจเป็นของแข็งที่มีจุดหลอมเหลวต่ำหรือของเหลวที่มีจุดเดือดสูง ระหว่างการใช้งาน plasticizer จะเคลื่อนตัวมาที่ผิวหน้าพลาสติก ทำให้พลาสติกมีลักษณะลื่น ๆ เหนียวเหนอะหนะ บางครั้งเกิดการโก่งงอ บิดเบี้ยว หากสัมผัสกับผิววัตถุจะทำให้เกิดคราบเปื้อนและเกิดปฏิกิริยาเคมีได้

การเสื่อมสภาพของกระดองเต่าเทียมที่ทำจากเซลลูโลสไนเตรต

อาการแรก ๆ ที่บ่งบอกว่าพลาสติกกำลังเสื่อมสภาพคือ การส่งกลิ่น พลาสติกบางชนิดปลดปล่อยไอระเหยที่เป็นอันตรายต่อตัวเองและวัสดุอื่น ๆ ที่อยู่ใกล้ เช่น เซลลูโลสไนเตรตหรือเซลลูลอยด์ปล่อยกลิ่นการบูร เซลลูโลสอะซีเตตปลดปล่อยกรดน้ำส้มออกมาระหว่างการเสื่อมสภาพ ทำให้เนื้อวัตถุหงิกงอ เป็นคลื่น หดตัว และมีกลิ่นเปรี้ยว กรดน้ำส้มที่เกิดขึ้นเข้าทำปฏิกิริยากับตัววัสดุเองและวัสดุอื่น ๆ ที่อยู่ใกล้ ทำให้วัตถุเสื่อมสภาพอย่างสิ้นเชิง การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเรียกว่า **โรคกรดน้ำส้ม** (vinegar syndrome)

ฟิล์มเนกาทีฟและฟิล์มภาพยนตร์บางส่วนทำจากเซลลูโลสอะซีเตตและเซลลูโลสไดอะซีเตต ซึ่งผลิตจากเซลลูโลสและกรดน้ำส้ม เมื่อเวลาผ่านไป กรดน้ำส้มจะแยกตัวออกมาจากฟิล์มดังกล่าว แล้วทำให้แผ่นฟิล์มเยิ้มเหนียวและมีกลิ่นน้ำส้มระเหยออกมา อาการดังกล่าวเรียกว่า vinegar syndrome การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้เร็วขึ้นหากเก็บรักษาในที่ที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูง โดยทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส (hydrolysis) อย่างต่อเนื่อง แม้ว่าปฏิกิริยานี้ใช้เวลานานกว่าจะเกิดขึ้น แต่เมื่อเกิดขึ้นแล้วจะหยุดยาก เรียกว่า *"ทำลายตัวเอง"* (self destructive) อาการเริ่มแรกที่บ่งบอกถึงอันตรายที่กำลังจะเกิดขึ้นคือ เริ่มมีกลิ่นกรดน้ำส้ม กรดที่มีอยู่ในอากาศและกรดน้ำส้มที่เกิดขึ้นเป็นจุดเริ่มต้นที่ทำให้ฟิล์มสลายตัว หลังจากนั้นฟิล์มจะหดตัว ในขณะเดียวกันเยื่อไวแสงไม่หดตัว จึงเกิดการเปลี่ยนแปลง มีรอยย่นเกิดขึ้นบนเยื่อไวแสง ภาพบนเยื่อไวแสงจะบิดเบี้ยว ขั้นต่อไปฟิล์มจะกรอบเปราะ เพราะพลาสติไซเซอร์แยกตัวออกจากฐานฟิล์ม เกิดเป็นหยดสีขาว ดูเผิน ๆ คล้ายผงสีขาว

> เซลลูโลสไนเตรตเป็นพลาสติกที่ไม่เสถียร เมื่อเริ่มเก่า จะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารเหนียว ๆ สีน้ำตาล ต่อไปจะสลายตัวกลายเป็นผงหรือเป็นก้อน

ฟิล์มอีกชนิดหนึ่งที่เสื่อมสภาพจากสาเหตุในตัวเองอย่างรุนแรงคือฟิล์มเซลลูโลสไนเตรต ซึ่งนิยมใช้ทำฟิล์มเนกาทีฟและฟิล์มภาพยนตร์ในคริสต์ศตวรรษที่ 19 เซลลูโลสไนเตรตเป็นพลาสติกที่ไม่เสถียร เมื่อเริ่มเก่า จะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารเหนียว ๆ สีน้ำตาล ต่อไปจะสลายตัวกลายเป็นผงหรือเป็นก้อน นอกจากนี้เซลลูโลสไนเตรตยังเป็นสารไวไฟและสารระเบิดที่สามารถลุกไหม้ได้เอง เมื่อลุกไหม้แล้วจะทำให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ เกิดการลุกไหม้อย่างต่อเนื่อง ไม่สามารถดับได้ เนื่องจากเซลลูโลสไนเตรตสลายตัวให้ไนโตรเจนออกไซด์ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ให้ความร้อนออกมา ความร้อนนั้นจะเร่งให้เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่อง เมื่อมีประกายจะเผาไหม้รวดเร็วมาก หากฟิล์มอยู่ติดกันแน่นเป็นปึก จะเกิดการระเบิด ฟิล์มดังกล่าวมีชื่อเรียกว่า *"ฟิล์มมหาภัย"*

ความร้อน ความชื้น แสง และก๊าซในสภาวะแวดล้อมมีส่วนเร่งปฏิกิริยาต่าง ๆ ในกระบวนการเสื่อมสภาพของพลาสติก การจับต้อง เคลื่อนย้าย และทำความสะอาดพลาสติกด้วยวิธีการที่ไม่ถูกต้อง ทำให้พลาสติกเสื่อมสภาพเร็วยิ่งขึ้น

พลาสติกหลายชนิดปลดปล่อยสารเคมีหรือก๊าซที่สามารถกัดกร่อนวัตถุอื่น ๆ ที่อยู่ข้างเคียงหรือสัมผัสกันได้ การเก็บรักษาวัตถุที่ทำจากพลาสติก จะต้องคำนึงถึงความเสี่ยงข้อนี้ และหาทางป้องกันโดยการเก็บแยกจากกันในบรรจุภัณฑ์ที่สามารถระบายอากาศได้ หรือใส่สารเคมีที่ช่วยดูดซับก๊าซหรือไอระเหยที่ถูกปลดปล่อยออกมา เช่น ใช้ถ่านกัมมันต์หรือ molecular sieve (ตะแกรงโมเลกุล) พลาสติกบางชนิด เช่น PVC และพอลิยูรีเทนโฟม อาจต้องเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ที่สามารถลดปริมาณออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์นั้น ๆ ได้ เช่น ใช้ oxygen scavenger

2. ชั้นรองพื้น

ชั้นรองพื้นเป็นวัสดุที่ใช้เคลือบหรือเตรียมพื้นผิวก่อนทาหรือระบายสี เพื่อเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสีกับพื้นผิวและชั้นรองรับ เพิ่มความแข็งแรงทนทานต่อชั้นสี และช่วยปกป้องเนื้อวัสดุที่อยู่ภายใต้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นผิวที่มีความพรุน ซึ่งจะดูดซับของเหลวได้ดี หากไม่มีชั้นรองพื้น ของเหลวในสีจะถูกพื้นผิวที่มีรูพรุนดูดซับทำให้ชั้นสีไม่สามารถแห้งหรือแข็งตัวได้อย่างสมบูรณ์ ชั้นรองพื้นจึงทำหน้าที่ป้องกันมิให้ของเหลวถูกดูดซับไปก่อนที่ปฏิกิริยาในการแข็งตัวของชั้นสีจะดำเนินไปอย่างช้า ๆ ชั้นรองพื้นยังช่วยปกปิดข้อบกพร่องหรือผิวสัมผัสของพื้นผิวที่อาจขรุขระหรือมีความพรุนหรือมีสีที่ไม่ต้องการ ทั้งยังช่วยให้ชั้นสีติดแน่นบนพื้นผิวได้ดีขึ้น และทำหน้าที่เป็นชั้นสำหรับรองรับชั้นสี นอกจากนี้ชั้นรองพื้นยังช่วยลดการดูดซึมน้ำและความชื้นของพื้นผิว ช่วยป้องกันมิให้พื้นผิวแอ่นหรือโค้งงอหรือแตกร้าว จากการหดตัวและขยายตัวเมื่อความชื้นแปรเปลี่ยนและช่วยลดการเจริญเติบโตของเชื้อรา

หากใช้วัสดุรองพื้นที่คุณภาพต่ำหรือไม่เหมาะสมต่อพื้นผิวของชั้นรองรับ จะทำให้ศิลปกรรมเกิดการเปลี่ยนแปลงเร็วกว่าเวลาอันควร เช่น รอยแตกรานบนจิตรกรรมและประติมากรรมมักเกิดจากชั้นรองพื้นที่มีคุณสมบัติไม่เหมาะสม เมื่อเวลาผ่านไป ทั้งชั้นสีและชั้นรองพื้นสูญเสียความยืดหยุ่น จึงมีลักษณะกรอบเปราะ ตัวอย่างเช่น ภาพเขียนสีน้ำมันมักมีรอยแตกรานบนชั้นสี สาเหตุหนึ่งเกิดจากเทคนิคการเขียนภาพ เช่น บางครั้งเขียนสีทับซ้อนกันหลายชั้น ชั้นสีชั้นบนที่มีความยืดหยุ่นน้อยกว่าชั้นที่อยู่ข้างล่างจะแตกราน หรือการระบายสีหนา ๆ โดยใช้เกรียง สีจะเริ่มแตกรานเป็นร่างแหตรงขอบส่วนส่วนที่สีบางที่สุดก่อน ระยะต่อมาจึงเริ่มแตกรานในส่วนที่หนา บางกรณีเกิดจากชั้นสีบน ๆ

มีน้ำมันผสมอยู่น้อยกว่าชั้นสีล่าง ๆ หรือทำจากสารยึดที่เปราะกว่า หรือเติมน้ำมันสนมากเกินไป ชั้นสีที่ใช้น้ำมันเมล็ดป็อบปี้และน้ำมันเมล็ดวอลนัทหดตัวมากกว่าชั้นสีที่ใช้น้ำมันลินสีด บางครั้งช่างเขียนเติมสารเร่งแห้งมากเกินไป จะได้ชั้นสีที่เปราะ เป็นต้น

ช่างบางคนผสมสารส้มในกาวหนังสัตว์เพื่อใช้ทำชั้นรองพื้น ถ้าผสมสารส้มมากไป จะทำให้ชั้นสีมีสีออกเหลืองหรือมีจุดสีเหลือง–น้ำตาลเกิดขึ้น ในที่ที่มีความชื้นสูง สารส้มจะทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดกรดซัลฟิวริก ซึ่งไปทำปฏิกิริยากับกาวหนังสัตว์/กระดูกสัตว์ ได้กรดอะมิโนหลายชนิด หรือกรดซัลฟิวริกอาจจะทำปฏิกิริยากับสารประกอบแคลเซียมในชั้นรองพื้น ได้แคลเซียมซัลเฟต สารเคมีที่เกิดจากปฏิกิริยาบางชนิดมีความสามารถในการดูดความชื้นสูง จึงอมความชื้นได้นาน

ในกรณีที่ชั้นรองรับมีความพรุนและมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดี เช่น ผ้า กระดาษ ไม้ ก่อนที่จะรองพื้นต้องทาสารกันซึม (sizing agent) เพื่อลดการดูดซึมน้ำ สารกันซึมทำหน้าที่ยึดติดกับชั้นรองรับและทำให้เกิดฟิล์มที่ด้านบน สารกันซึมไม่ชอบน้ำหรือเข้ากันไม่ได้กับน้ำ ฟิล์มดังกล่าวจะเรียบเนียนและดูดซึมน้ำได้น้อยลง เวลาระบายสีที่เป็นของเหลว สีจะไม่ซึมแผ่กระจายไปทั่วชั้นรองรับ นอกจากนี้สารกันซึมบางชนิดยังทำหน้าที่เป็นสารช่วยติด (mordant) อีกด้วย สารกันซึมที่นิยมใช้ในการสร้างสรรค์งานศิลปกรรมมีหลายชนิด เช่น แป้งเปียก (starch paste) เมทิลเซลลูโลส (methyl cellulose) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethyl cellulose) กาวหนัง/กระดูกสัตว์ กาวคาเซอิน (casein) เจลาติน น้ำมันชักแห้ง (drying oil) ฯลฯ โดยเฉพาะอย่างยิ่งผ้าใบที่ใช้เขียนภาพสีน้ำมัน จำเป็นต้องทาสารกันซึมหลังจากขึงผ้าใบให้ตึงบนกรอบไม้เพื่อทำให้ผ้าแข็งตึง และป้องกันมิให้กรดไขมันจากน้ำมันชักแห้งกัดกินเนื้อผ้า สารกันซึมที่ช่างโบราณสมัยเรอเนซองส์นิยมใช้กันมากเป็นกาวหนังกระต่าย (rabbit skin glue) กาวที่ทำจากปลา (fish glue) ซึ่งทำจากหนังปลา ก้างปลา และถุงลมปลา กาวดังกล่าวจะเติมเต็มช่องว่างและรูพรุนในเนื้อผ้าใบ ช่วยป้องกันไม่ให้สีซึมผ่านทะลุและช่วยให้ผ้าแข็งตึง แต่การใช้กาวเป็นสารกันซึมในการเตรียมพื้นผิวก่อนเขียนภาพสีน้ำมันมักทำให้เกิดรอยแตกร้าวบนชั้นสีน้ำมัน เนื่องจากกาวดูดและคายความชื้นได้ดีจึงบวมพองและหดตัวสลับกันไปมา

องค์ประกอบของชั้นรองพื้นส่งผลกระทบต่อภาพเขียน ช่างเขียนภาพสีน้ำมันของอิตาลีบางคนรองพื้นบนผ้าใบด้วยดินสีแดงหรือผงอิฐผสมกับชอล์ก และสีขาวตะกั่วและถ่านสีดำเล็กน้อย บางคนใช้ดินขาวแทนชอล์ก โดยผสมกับน้ำมันชักแห้ง ทาลงบนผ้าใบ ความสามารถในการดูดซับสารสีของรองพื้นชนิดนี้ทำให้เกิดปัญหา เพราะสารสีจะจม ซึ่งอาจเป็นเพราะชั้นรองพื้นแห้งช้า หรือเป็นเพราะน้ำมันชักแห้งมีกรดไขมันน้อย ทำให้เกิดช่องว่างที่มีอากาศในชั้นรองพื้น ซึ่งส่งผลให้ชั้นรองพื้น

มีรูพรุนมาก เมื่อระบายสีบนชั้นรองพื้น ชั้นสีบางส่วนจะจมลง เนื่องจากสารยึดในชั้นสีถูกดูดลงมาสู่ชั้นรองพื้นที่สามารถดูดซึมได้ดี หากชั้นรองพื้นแห้งเร็ว เนื่องจากใช้อีมัลชัน เมื่อน้ำระเหยออกไป จะส่งผลให้ชั้นรองพื้นมีรูพรุน

> เจสโซสมัยใหม่ไม่สามารถดูดซับของเหลวและเข้ากันไม่ได้กับสารยึดบางชนิด เช่น เทมเพอราที่ใช้ไข่เป็นสารยึด นอกจากนี้เจสโซสมัยใหม่มักมีกลิ่นเนื่องจากมีการเติมสารเคมี เพื่อป้องกันการบูด

เจสโซปัจจุบันมีองค์ประกอบแตกต่างจากเดิม เพราะใช้กาวอะครีลิกเป็นสารยึด ผสมกับชอล์กและสารเคมีอื่น ๆ เพื่อให้มีความยืดหยุ่นและยืดอายุการใช้งาน มีลักษณะเป็นของเหลวข้นสีขาวเนื้อหนาละลายในน้ำ มักทำจากปูนปลาสเตอร์ ชอล์ก หรือยิปซัมผสมกาวจำพวกอะครีลิก (acrylic) หรืออัลคิด (alkyd) กาวอะครีลิกเมื่อแห้งจะหดตัว ทำให้ผ้าใบตึง เพราะฉะนั้นไม่ควรทาบนผ้าใบที่เคลือบกาวหนังกระต่ายเป็นสารกันซึม บางครั้งใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์แทนชอล์กเพื่อให้มีสีขาวจัด ในขณะที่ชอล์กช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับสี เจสโซสมัยใหม่ไม่สามารถดูดซับของเหลวและเข้ากันไม่ได้กับสารยึดบางชนิด เช่น เทมเพอราที่ใช้ไข่เป็นสารยึด นอกจากนี้เจสโซสมัยใหม่มักมีกลิ่น เนื่องจากมีการเติมสารเคมี เพื่อป้องกันการบูด เช่น ฟอร์มาลดีไฮด์ แอมโมเนีย ฯลฯ บางคนใช้สีลาเทกซ์เป็นสารรองพื้นเพื่อประหยัด แต่ลาเทกซ์อาจสลายตัวก่อนที่จะแห้งหรือแข็งตัว ทำให้ชั้นสีไม่มีฐานรองรับ นอกจากนี้สีลาเทกซ์เปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองภายในเวลาไม่นาน

ชั้นรองพื้นบนจิตรกรรมไทยประเพณี ส่วนใหญ่ทำจากดินสอพองผสมกับกาวเม็ดมะขาม ดินสอพองเป็นดินที่เกิดจาการผุพังของหินปูน ประกอบด้วยดินเหนียวและแคลเซียมคาร์บอเนต ในขณะที่กาวเม็ดมะขามมีลักษณะคล้ายแป้งเปียกที่ยึดเหนี่ยวอนุภาคของดินเหนียวเข้าด้วยกัน และทำหน้าที่เป็นสารกันซึม กาวเม็ดมะขามเป็นกาวแป้งชนิดหนึ่งซึ่งไม่ค่อยทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ร้อนชื้น มีแรงยึดเหนี่ยวค่อนข้างต่ำ และเมื่ออยู่ในที่มีความชื้นสูง จะบวมพองและอ่อนตัว ชั้นสีและชั้นรองพื้นจึงมักหลุดล่อนออกมาจากชั้นรองรับและเป็นอาหารของแมลงและรา

3. ชั้นสี

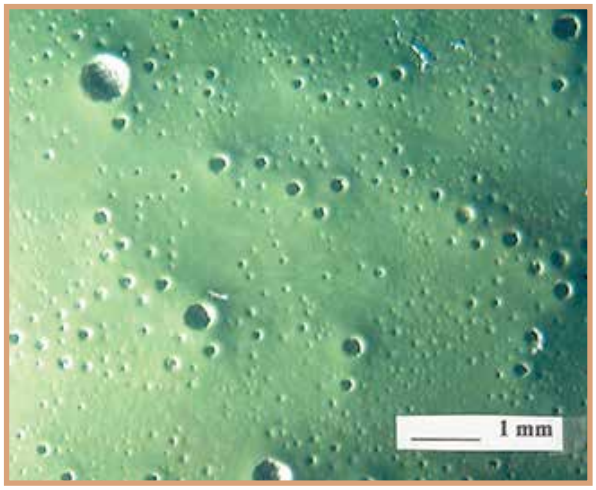
ชั้นสีประกอบด้วยสารสี (pigment หรือ dye) และสารยึด (binder หรือ binding medium) เป็นหลัก อนุภาคของสารสีเป็นของแข็งกระจายตัวอยู่ในของเหลวหรือเรียกว่าสารละลายแขวนตะกอน (suspension) ในขณะที่สีย้อมเป็นสารละลายของสารมีสีที่ได้จากพืช สัตว์ และสารสังเคราะห์

ชั้นสีบนจิตรกรรมประเพณีของไทยบางส่วนชำรุดเสื่อมสภาพจากสาเหตุภายในตัววัสดุเอง เช่น ชั้นรองพื้นสร้างแรงยึดเหนี่ยวกับชั้นรองรับไม่แข็งแรงพอ ชั้นรองพื้นและชั้นสีมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกันต่ำ ความเข้มข้นของสารยึดสูงเกินไปหรือต่ำเกินไป สารสีมีสิ่งเจือปนที่ทำให้สีเปลี่ยนในเวลาต่อมา ใช้สารสีที่ทำปฏิกิริยากับวัสดุอื่น ๆ ที่อยู่ใกล้ เป็นต้น

นอกจากในชั้นสีจะมีสารสีที่ทำหน้าที่ให้สีต่าง ๆ แล้ว ในชั้นสียังอาจมีสารสีประกอบหรือสารเพิ่มเนื้อสี (extender หรือ filler) ซึ่งมีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าสารสีและสารยึด ทำให้สีมีเนื้อมากขึ้น มีราคาถูกลง ช่วยให้ทาหรือระบายง่าย หรือเพิ่มความหนาของชั้นสี ช่วยให้สามารถขัดได้เรียบง่าย เพิ่มหรือลดความมันวาว เพิ่มความสามารถในการปกปิดพื้นผิว เพิ่มความต้านทานต่อการขัดสี เพราะฉะนั้นสีราคาถูกจะมีสารเพิ่มเนื้อผสมอยู่มาก ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเร็ว

ในการระบายสี บางครั้งต้องใช้ตัวทำละลาย (solvent) เพื่อทำหน้าที่ปรับความข้นใสของสีให้เหมาะสมต่อการใช้งานและเอื้อต่อการจัดเก็บสี ไม่ทำหน้าที่ทำให้เกิดฟิล์ม หากเลือกใช้ตัวทำละลายที่ไม่เหมาะสม จะไม่สามารถละลายสารยึดได้ดี จะได้สีที่มีลักษณะเป็นวุ้นหรือแข็งตัว มีระดับความมันเงาลดลง หรือทำให้สารยึดแทรกซึมเข้าไปในชั้นรองรับได้น้อย ส่งผลให้การยึดเกาะไม่ดี สีจะบวมพองและหลุดล่อน นอกจากนี้ตัวทำละลายยังต้องเข้ากันได้ดีกับสารสีและสารยึด อัตราการระเหยของตัวทำละลายมีผลต่อชั้นสี ถ้าตัวทำละลายระเหยเร็วเกินไป ชั้นสีจะมีลักษณะเป็นฝ้าขาว ถ้าระเหยช้าเกินไป สีจะไหลหยดย้อย

ชั้นสีประกอบด้วยสารยึดและสารสีอยู่ด้วยกัน ส่วนใหญ่เริ่มเสื่อมสภาพตั้งแต่เริ่มแรก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขณะที่สีแห้ง ชั้นสีจะหดตัว ทำให้เกิดฟิล์มที่ไม่สม่ำเสมอหรือแตกร้าว ซึ่งเห็นได้บ่อยบนสีน้ำมัน ถ้าชั้นสีหนาจะมีน้ำมันมาก จึงดึงดูดฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกเข้ามาสะสมและมักมีรอยย่นผิวหน้าของชั้นสีอาจมีรอยปูดบวมหรือโป่งนูน ซึ่งมักเกิดขณะชั้นสีกำลังแห้ง ตัวทำละลายถูกกักเก็บอยู่ใต้ผิวชั้นนอกของชั้นสีซึ่งแห้งก่อน เมื่อมีความร้อนตัวทำละลายพยายามระเหยออกไปในลักษณะเหมือนฟองอากาศปุดขึ้นมา ทำให้ชั้นสีมีรูเล็ก ๆ ขนาดหัวเข็มหมุดหรือเป็นปากปล่องเล็ก ๆ เรียกว่า **รูเข็ม** (pinhole) บางครั้งความชื้นทำให้ชั้นสีที่แห้งแล้วเกิดอาการเช่นนี้ขึ้น



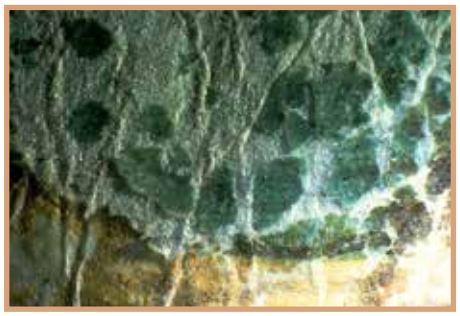
รูเข็มบนชั้นสี

สารยึด (Binder, medium, binding agent หรือ film former) คือสิ่งที่ยึดเหนี่ยวอนุภาคของสารสีให้ยึดติดกันเป็นแผ่นหรือเป็นฟิล์ม ทำให้สารสีอยู่กับที่หลังจากชั้นสีแห้ง ช่วยปกป้องพื้นผิวของวัสดุและองค์ประกอบของชั้นสี การเกิดฟิล์มเกิดจากการที่ตัวทำละลายระเหยไป เกิดจากปฏิกิริยาเคมี (เช่น oxidative crosslinking หรือ polymerization) เกิดจากการเย็นตัว การใช้รังสีอัลตราไวโอเลตทำให้แข็งตัว หรือเกิดจากการใช้ความร้อน สารยึดที่ดีจะทำให้สารสี สารเพิ่มเนื้อ เรซิน และสารเติมแต่งอื่น ๆ กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน และมีส่วนสำคัญในการควบคุมคุณสมบัติของชั้นสี เช่น ความมันวาว ความทนทาน ความยืดหยุ่น และความเหนียว

สารยึดที่เลือกใช้ ส่งผลกระทบต่อความทนทานของชั้นสี เช่น สารสีที่ผสมกับกาวหนังสัตว์และกระดูกสัตว์ จะเกิดฟิล์มบาง ๆ ที่มีความพรุน ผิวด้านหน้าของสารสีชั้นบนสุดจะได้รับอิทธิพลจากแสงสว่างและความชื้น ทำให้ซีดจางหรือเปลี่ยนสี กาวหนังสัตว์และกระดูกสัตว์ขยายตัวและหดตัวเมื่อได้รับความชื้นและคายความชื้น ทำให้ชั้นสีแตกล่อนเป็นสะเก็ดหรือเป็นแผ่น ส่งผลให้ชั้นสีแตกร้าวและแตกราน บางครั้งเกิดคราบเปื้อนและป่นเป็นผง

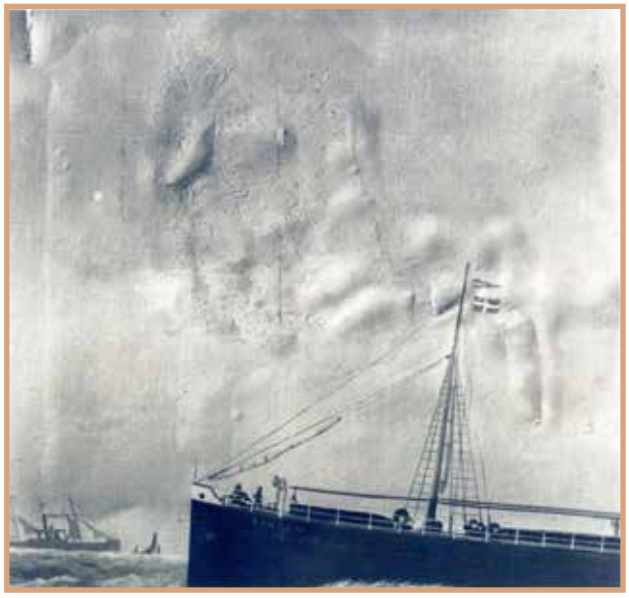
ภาพเขียนบางภาพมีรอยด่างสีอ่อน ๆ หรือสีขาวเกิดขึ้นบนชั้นสีหรือสารเคลือบผิว เรียกว่า blanching เนื่องจากเกิดรอยร้าวขนาดเล็ก ๆ ซึ่งกระเจิงแสง (scatter) แตกต่างจากส่วนอื่น ๆ หากพบบนภาพเขียนสีน้ำมัน อาจมีลักษณะขุ่นมัว เป็นฝ้า เนื่องจากการสลายตัวของน้ำมัน

การเสื่อมสภาพของสารยึดและสารสีมักเกิดจากอนุมูลอิสระหรือโมเลกุลของสารประกอบที่เกิดขึ้นเมื่อได้รับรังสีอัลตราไวโอเลต แสงสว่าง ความชื้น ฯลฯ ซึ่งว่องไวในปฏิกิริยา สามารถทำให้พันธะระหว่างโมเลกุลของสารยึดและสารสีแตกหักหรือทำให้เกิดพันธะใหม่ขึ้นมา ส่งผลให้ชั้นสีเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง ชั้นสีจะเริ่มสูญเสียความมันวาว เปลี่ยนสี บางครั้งป่นเป็นผง



ชั้นสีที่เสื่อมสภาพหลุดล่อนแยกตัวออกจากชั้นรองพื้น

ภาพเขียนบางภาพ ชั้นสีโป่งพองขึ้นมา ลักษณะคล้ายโดม ภายในกลวง เรียกว่า blistering เกิดจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นรองพื้น ชั้นสี และสารเคลือบผิว ไม่สูงพอ หรืออาจเป็นเพราะความร้อน ความชื้น ตัวทำละลาย ทำให้เกิดการแยกชั้นดังกล่าว



หลายกรณีสารสีไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง แต่สารยึดเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น น้ำมันลินสีดที่ใช้เป็นสารยึดในสีน้ำมันมักมีสีออกเหลืองตั้งแต่แรก กระบวนการแห้งหรือแข็งตัวของชั้นสีน้ำมันเกิดจากระบวนการออกซิเดชัน ซึ่งทำให้เกิดการไขว้พันธะ (cross– linking) ระหว่างโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมัน ขณะเดียวกันก็เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีอีกหลายกระบวนการ ซึ่งทำให้น้ำมันมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น น้ำมันขักแห้งแต่ละชนิดมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองแตกต่างกัน บางกรณีพบว่าสารเคมีบางอย่าง เช่น แอมโมเนีย ทำให้ชั้นสีน้ำมันมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น สารยึดที่ทำจากอะครีลิกส่วนมากไม่มีสี แต่ในระยะยาวอาจเปลี่ยนเป็นสีเหลืองได้อย่างช้า ๆ

น้ำมันชักแห้งแข็งตัวหรือแห้งกลายเป็นของแข็ง โดยกระบวนการเคมีที่เรียกว่า oxidative cross—linking polymerization โดยมีอิออนของโลหะจากสารเร่งแห้งหรือสารสีทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา น้ำมันชักแห้งที่มีกรดไขมันที่มีพันธะคู่ (double bond) มาก จะเกิดปฏิกิริยาเช่นนี้มาก เพราะฉะนั้นในกรณีที่ต้องการทำให้น้ำมันลินสีดแห้งเร็วขึ้นโดยนำไปต้มเรียกว่า boiled linseed oil หรือนำไปทำให้ร้อนโดยไม่มีออกซิเจน เรียกว่า stand oil ซึ่งจะมีน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น ลดความไวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน

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

น้ำมันลินสีด	Palmitic acid 10%
	Oleic acid 15%
	Linoleic acid 16%
	Linolenic acid 56%
	Iodibe number 170–190
น้ำมันวอลนัท	Palmitic acid 5%
	Oleic acid 18%
	Linoleic acid 73%
	Iodine number 140–150
น้ำมันเมล็ดป๊อปปี้	Palmitic acid 10%
	Oleic acid 16%
	Linoleic acid 72%
	Iodine number 135

น้ำมันเมล็ดฝ้าย	Stearic acid 20%
	Oleic acid 33%
	Linoleic acid 44%
	Iodine number 10–110
น้ำมันมะกอก	Stearic acid 13%
	Oleic acid 69%
	Linoleic acid 13%
	Iodine number 77–94

การแห้งหรือแข็งตัวของน้ำมันชักแห้งเกิดจากกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของน้ำมันชักแห้ง ได้แก่ กรดลิโนเลนิก (linolenic acid) และกรดลิโนเลอิก (linoleic acid) ซึ่งมีพันธะคู่ (double bond) อยู่เป็นจำนวนมาก พันธะคู่ในกรดเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ แล้วทำให้พันธะคู่แตกออก เกิดการไขว้พันธะ เกิดสารประกอบที่มีโครงสร้างเป็นโครงข่าย แล้วได้ฟิล์มที่แข็งแรง น้ำมันที่ไม่มีพันธะคู่จะไม่เกิดปฏิกิริยาดังกล่าว

น้ำมันเมล็ดฝิ่นเป็นสารยึดสำหรับสีน้ำมันที่ได้รับความนิยมเท่า ๆ กับน้ำมันลินสีด น้ำมันเมล็ดฝิ่นประกอบด้วยไขมันอิ่มตัว 14 กรัม ไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน 62 กรัม ไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว 20 กรัม ไขมันไม่อิ่มตัวที่พบมากเป็น กรดลิโนเลอิกประมาณ 70% ที่เหลือเป็นกรดโอเลอิก (oleic acid) และกรดปาลมิติก (palmitic acid) คงสภาพได้ดีกว่าน้ำมันเมล็ดคำฝอยและน้ำมันลินสีด กรดลิโนเลอิกชนิดนี้รวมตัวกับออกซิเจนได้ไม่ดีเท่ากรดลิโนเลนิก ทำให้ได้ฟิล์มไม่ค่อยแข็งแรง แต่ไม่ค่อยเปลี่ยนสี ศิลปิน impressionist นิยมใช้กับชั้นสีหนา ๆ สีสดใส แต่มีข้อเสียคือแห้งช้าและได้ฟิล์มที่ไม่ค่อยทนทาน ในกรณีที่ใช้เป็นสารยึดในชั้นรองพื้นหรือชั้นสีที่อยู่ชั้นล่าง หากชั้นสีชั้นบนแห้งเร็วกว่าชั้นล่างจะเกิดรอยแตกรานหรือแยกชั้นและไม่ค่อยคงทน (เพราะน้ำมันที่เป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนเป็นสีเหลืองมีข้อดีที่ทำให้ชั้นสีทนทาน)

น้ำมันเมล็ดวอลนัทเป็นที่นิยมมากในสมัยเรอเนซองส์ เช่น ภาพเขียนสีน้ำมันที่เขียนโดย **ลีโอนาร์โด ดา วินชี** ใช้น้ำมันเมล็ดวอลนัทเป็นสารยึด น้ำมันเมล็ดวอลนัทมีราคาไม่แพง ไม่ค่อยทนทาน แห้งเร็ว เกือบไม่มีสี เหมาะกับการระบายพื้นที่ที่มีสีขาวหรือสีอ่อน ๆ แต่มีข้อเสียที่แห้งช้าและเปลี่ยนสีง่าย เนื่องจากมีกรดลิโนเลนิกประมาณ 10–15% และกรดลิโนเลอิกประมาณ 60% ต้อง

นำไปฟอกสีโดยการตากแดดเป็นเวลาพอเหมาะ จะได้สารยึดที่แห้งเร็วขึ้นและไม่เปลี่ยนสี เมื่อแห้งแล้วได้ชั้นสีที่แข็งแรงทนทาน ข้อเสียอีกประการหนึ่งคือน้ำมันชนิดนี้บูดเสียง่าย ไม่สามารถเก็บไว้ได้นาน

น้ำมันเมล็ดกัญชา (Hempseed oil หรือ hemp oil) ได้จากการหีบเมล็ดกัญชาสายพันธุ์ที่ไม่ค่อยมีสารเสพติดโดยไม่ใช้ความร้อน ได้น้ำมันสีค่อนข้างเขียวและมีกลิ่นรสเฉพาะตัว คล้ายกลิ่นหญ้า เมื่อนำมาผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ขึ้น จะเป็นน้ำมันใส ไม่มีสี มีรสเล็กน้อย น้ำมันเมล็ดกัญชาประกอบด้วยไขมันไม่อิ่มตัวเป็นหลัก ผสมกับน้ำมันที่มีคุณภาพต่ำ เมื่อวางทิ้งไว้จะหืนภายในระยะเวลาไม่นาน จึงควรเก็บในขวดสีเข้มหรือแช่แข็ง หากใช้น้ำมันที่เก็บรักษาไม่ดี จะได้ชั้นสีที่ไม่แข็งแรง

น้ำมันชักแห้งที่ใช้มากในการเขียนสีน้ำมัน

สารยึดที่ใช้ในภาพเขียนประเภทอื่น ๆ มักทำจากยางไม้หรือเรซินที่ได้จากพืช เช่น สีน้ำทำจากสารสีที่ละลายน้ำผสมกับกาวอะคาเซียเล็กน้อย ได้สารละลายสีต่าง ๆ สีพาสเทลใช้สารยึดผสมกับสารสีจนมีลักษณะคล้ายดินเหนียว สารยึดที่ใช้ในสีพาสเทลอาจเป็นกาวอะคาเซีย กาวทรากาคันท์ (tragacanth) หรือเมทิลเซลลูโลส (methyl cellulose) บางทีมีชอล์กหรือยิปซัมผสมอยู่ด้วย โดยใช้สารยึดเพียงเล็กน้อย แค่ให้สารสีจับตัวกันเป็นแท่งเท่านั้น สีพาสเทลมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับชนิดของสารยึดและปริมาณของสารเติมเต็ม สีพาสเทลที่เข้มข้นสูงสุดจะมีเพียงเนื้อสีแท้ ๆ ไม่มีสารเติมเต็มอยู่ด้วย สีพาสเทลสีอ่อน ๆ เกิดจากเติมสารสีขาว สีพาสเทลสีคล้ำเกิดจากการผสมสารสีดำ สีพาสเทลมีทั้งชนิดเนื้ออ่อนและเนื้อแข็ง สีพาสเทลที่มีลักษณะอ่อนนุ่มจะมีสารสีมากและมีสารยึดน้อย มีสีสดใส

จึงเหมาะในการนำมาระบายมากกว่านำมาวาดเส้น ส่วนพาสเทลที่มีสารยึดมากและสารสีน้อยจะมีลักษณะแข็ง สามารถลากเส้นคมชัดในลักษณะภาพวาด สีพาสเทลบางชนิดผสมขี้ผึ้งและไขมัน บางชนิดผสมน้ำมัน ซึ่งเมื่อได้รับความร้อนจะไหลหยดย้อย

เมื่อสารยึดเกิดการเปลี่ยนแปลง จะสูญเสียแรงยึดเหนี่ยว ทำให้ชั้นสีแตกร้าว หลุดล่อน หรือป่นเป็นผง

สารยึดเสื่อมสภาพ ทำให้ชั้นสีหลุดล่อน

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

น้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนในกาวหนังสัตว์และกระดูกสัตว์มีความหลากหลาย มีทั้งที่เป็นกาวที่ผลิตจากโรงงานอุตสาหกรรมและกาวที่ผลิตด้วยมือภายในครัวเรือน การใช้งานต้องปรับปริมาณกาวให้เหมาะสม

ในอดีตการใช้สารยึดมีข้อจำกัด เนื่องจากสารสีแต่ละชนิดมีคุณสมบัติเฉพาะตัว เช่น บางชนิดไม่รวมตัวกับน้ำมัน บางชนิดไม่รวมตัวกับสารสีอื่น ๆ บางครั้งต้องการให้ได้สีโปร่งแสง บางครั้งต้องการให้ทึบแสง สารยึดในอดีตผลิตโดยช่างเขียนเอง ในขณะที่สารยึดปัจจุบันผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งบ่อยครั้งไม่ทราบองค์ประกอบที่แน่นอน

สารยึดมีหลายชนิด มีการใช้งานแตกต่างกันในแต่ละเทคนิค แต่ละท้องถิ่น และแต่ละห้วงเวลา เช่น จีนและญี่ปุ่น นิยมใช้กาวหนังสัตว์หรือกระดูกสัตว์หรือกาวที่ทำจากเอ็นและเนื้อเยื่อเกี่ยวพันของสัตว์เป็นสารยึดมาแต่โบราณกาล กาวหนังสัตว์และกระดูกสัตว์มีคุณสมบัติคล้ายเจลาติน แต่มีสิ่งเจือปนหลายอย่าง เช่น mucoprotein, mucopolysaccharide ซึ่งจะมีผลต่อความสามารถในการดูดซึมน้ำของกาว น้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนในกาวหนังสัตว์และกระดูกสัตว์มีความหลากหลาย มีทั้งที่เป็นกาวที่ผลิตจากโรงงานอุตสาหกรรมและกาวที่ผลิตด้วยมือภายในครัวเรือน การใช้งานต้องปรับปริมาณกาวให้เหมาะสม หากใช้กาวมากเกินไปชั้นสีจะแตกร้าว หากใช้กาวน้อยเกินไป ชั้นสีจะลอกหลุด

ภาพเขียนสีฝุ่นหรือเทมเพอราเกิดจากการนำสารสีที่มีลักษณะเป็นผงละเอียด มาผสมกับสารยึดจนมีลักษณะเป็นครีมข้น 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) หรือเมทิลเซลลูโลส เป็นสารยึด เมื่อแห้งจะจะเกิดผิวที่แบนราบคล้ายกำมะหยี่ คนไทยเรียกว่าสีโปสเตอร์ คนอังกฤษเรียกว่า Body color คนฝรั่งเศสเรียกว่า gouache หลังสงครามโลกครั้งที่ 1 มักเรียกกันผิด ๆ ว่าสีเทมเพอรา

ภาพเขียนสีฝุ่นของไทย ยังไม่จัดเป็นสีเทมเพอราที่แท้เนื่องจากใช้สารยึดที่ละลายน้ำได้เท่านั้น ไม่ใช้สารยึดที่ไม่ละลายน้ำผสมกับสารยึดที่ละลายน้ำ ช่างไทยบางคนเรียก *"สีน้ำกาว"* นักวิชาการชาวต่างประเทศเรียกภาพเขียนสีฝุ่นของไทยว่า gouache หรือสีน้ำทึบ น้ำยาหรือกาวที่นิยมใช้ในการสร้างภาพจิตรกรรมสีฝุ่นของไทยในสมัยโบราณยังไม่ทราบแน่ชัดว่าเป็นกาวประเภทใด สันนิษฐานว่าอาจจะเป็นยางไม้ที่หาได้ในท้องถิ่น เช่น ยางมะขวิด ซึ่งเป็นยางที่ได้จากต้นมะขวิด เกิดขึ้นเมื่อลำต้นเป็นแผล เมื่อแห้งแล้วจะเป็นก้อนแข็ง เวลาใช้งานจะนำมาบดแล้วละลายในน้ำร้อน จัดเป็นสารยึดที่มีคุณภาพดีมาก ส่วนการปิดทองช่างไทยนิยมใช้ยางมะเดื่อ ซึ่งมีลักษณะขุ่นข้นคล้ายน้ำนมแต่มีสีเหลือง มีความยืดหยุ่นและความเหนียว ช่วยให้ปิดทองได้เรียบเนียน

ต่อมาเมื่อมีการติดต่อค้าขายกับต่างประเทศ จึงรับเอาสารยึดที่ชาวต่างชาตินำมาขาย สารยึดที่ยังคงใช้สืบต่อกันมาจนถึงปัจจุบันคือ **กาวกระถิน** (Gum acacia) ซึ่งเป็นยางที่ได้จากพืชในตระกูล *Acacia* พบมากในตะวันออกกลาง แอฟริกากลาง อินเดีย ชนิดที่ดีที่สุดได้มาจากภาคเหนือของทวีป

แอฟริกา การผลิตกาวกระถินทำได้โดยการกรีดลำต้นให้เกิดแผลและมีน้ำยางไหลออกมา ยางจะแข็งตัวเป็นก้อน ๆ มีลักษณะโปร่งแสง ยางที่มีคุณภาพดีมีสีอ่อน ๆ ยางที่มีคุณภาพไม่ดี มีสิ่งเจือปนมากจะทำให้เกิดฟิล์มที่กรอบเปราะ กาวกระถินที่มีคุณภาพดีที่สุดได้จากต้น *Acacia senegal* ที่เรียกว่ากาวเซเนกัลหรือกาวคอร์โดแฟน ชื่อทางเภสัชศาสตร์คือ **อะคาเซีย**

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

ภาพเขียนสีอะครีลิก เกิดจากการใช้สารสีผสมกับอะครีลิก ซึ่งเป็นสารยึดที่เกิดจากการสังเคราะห์ สีอะครีลิกมีลักษณะเป็นอีมัลชัน โมเลกุลของอะครีลิกแขวนลอยในน้ำ ใช้สารเติมแต่งให้ละลายน้ำได้ เมื่อน้ำระเหยออกไป สีจะแห้งเป็นฟิล์มของอะครีลิกพอลิเมอร์ (acrylic polymer) จึงทนทานกว่าสีน้ำและระบายง่ายกว่าสีน้ำมัน แต่ภาพเขียนสีอะครีลิกจะแลดูด้านเมื่อแห้ง จึงควรเลือกใช้อะครีลิกเรซินที่มีความมันวาว ทำให้ภาพเขียนมีความมันเงาแบบผ้าต่วน นอกจากนี้ความมันเงาของวาร์นิชยังขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ใช้เติม บางครั้งทำให้เกิดบริเวณที่มีความมันเงาไม่เท่ากันบนภาพเดียวกัน

สารยึดจำพวกอะครีลิก

อัลคิดเกิดจากการควบแน่นของกรดที่มีอนุมูลด่างกับแอลกอฮอล์และกรดไขมัน ใช้ทำสารยึดที่แห้งเร็ว บางครั้งใช้ผสมกับสีน้ำมันเพื่อทำให้สีแห้งเร็วขึ้น มักผสมตัวทำละลาย ซึ่งเดิมใช้น้ำมันสน ปัจจุบันใช้ตัวทำละลายที่ได้จากการกลั่นปิโตรเลียม เช่น ไวท์สปิริต การแห้งและแข็งตัวของอัลคิดเกิดจากน้ำมันชักแห้งทำปฏิกิริยากับออกซิเจน หลังจากตัวทำละลายระเหยออกไปมากพอ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา แล้วเกิดพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมพลาสติกที่ cross- link ได้สารที่มีโมเลกุลใหญ่

สารยึดที่ทำจากอัลคิด

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

น้ำมันลินสีดและอะครีลิกมีแรงยึดเหนี่ยวไม่สูงมาก หากเตรียมพื้นผิวหรือชั้นรองพื้นอย่างถูกต้องจะช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวได้ โดยทั่วไปภาพเขียนสีน้ำมันบนผืนผ้าใบควรมีชั้นรองพื้น แต่ภาพเขียนสีอะครีลิกอาจมีหรือไม่มีชั้นรองพื้นก็ได้

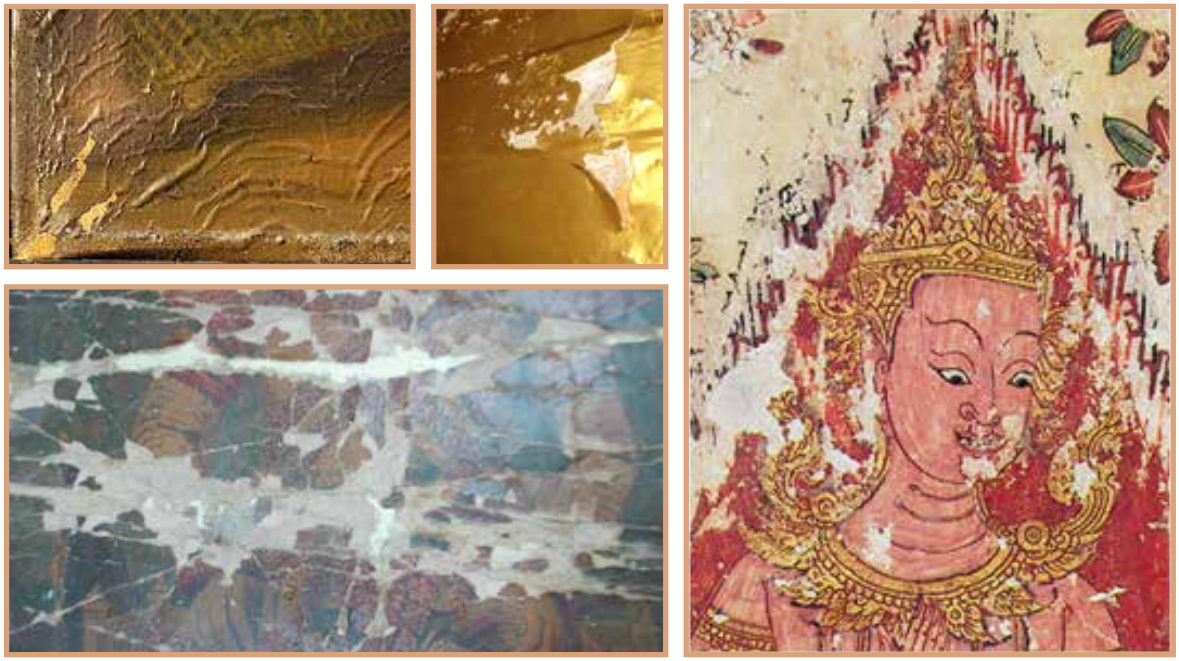
ภาพเขียนสื่อผสมส่วนหนึ่งเสื่อมสภาพเร็ว เนื่องจากชั้นสีบางส่วนเสื่อมสภาพเร็วเพราะใช้สีน้ำมันและสีอะครีลิกปนกันในภาพเดียวกัน การระบายสีอะครีลิกทับบนสีน้ำมันจะทำให้ภาพเขียนเสื่อมสภาพเร็ว เนื่องจากชั้นสีน้ำมันแข็งและเป็นมัน จึงไม่สร้างแรงยึดเหนี่ยวกับสีอะครีลิก ตามปกติสีจะยึดติดพื้นผิวที่ขรุขระได้ดีกว่า เพราะฉะนั้นหากมีชั้นรองพื้นจะช่วยให้สียึดติดดี ผิวที่ขรุขระมีช่องรู หลุม หรือแอ่งที่สารยึดและสารสีจะแทรกซึมเข้าไปแล้วแข็งตัวอยู่ในนั้น เป็นการเพิ่มแรงยึดเหนี่ยว ช่างเขียนต่างชาติเรียกรอยขรุขระบนพื้นผิวว่า "*tooth*" เพื่อให้ชั้นสียึดเหนี่ยวกันได้ดีควรระบายสีน้ำมันทับบนสีอะครีลิกจะให้ผลดีกว่า

เมื่อสีน้ำมันแห้งและแข็งตัวจะมีสภาพเปราะ หลังจากนั้นความเปราะจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามกาลเวลา ด้วยเหตุนี้ภาพเขียนสีน้ำมันมีแนวโน้มที่จะแตกร้าวสูง หากระบายสีน้ำมันเป็นชั้นหนา จะยิ่งแตกร้าวง่าย ส่วนชั้นสีอะครีลิกมีความยืดหยุ่นสูงกว่าชั้นสีน้ำมัน สีอะครีลิกที่ระบายใหม่ ๆ เกิดรอยแตกร้าวน้อยกว่าสีน้ำมัน เมื่อสีน้ำมันแตกร้าวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงจากสาเหตุอื่น ๆ ถ้าแรงยึดเหนี่ยวลดลง ชั้นสีอาจหลุดล่อน แม้ว่าชั้นสียังไม่หลุดล่อน แต่เมื่อมีรอยแตกร้าว จะมองเห็นชั้นรองพื้นมากขึ้น ทำให้มองเห็นสีเปลี่ยนไป ชั้นสีน้ำมันที่แตกร้าวอาจแอ่นขึ้นตรงส่วนขอบของรอยแตก

สารยึดสมัยใหม่ล้วนทำจากสารสังเคราะห์ ซึ่งเมื่อแห้งจะมีคุณสมบัติแตกต่างจากสีน้ำมัน ผู้ผลิตมักไม่แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีของสารยึดที่ผลิตจำหน่าย ทำให้ผู้ใช้งานเข้าใจผิดได้ เช่น สีอะครีลิกที่ผลิตในคริสต์ศตวรรษที่ 20 มีองค์ประกอบทางเคมีหลากหลาย บางผลิตภัณฑ์อาจเป็นอะครีลิกโคพอลิเมอร์ 100% ผลิตภัณฑ์อื่น ๆ อาจเป็นอะครีลิก/สไตรีนโคพอลิเมอร์ หรืออะครีลิก/ไวนิลอะซีเตตโคพอลิเมอร์ ฯลฯ ซึ่งทุกผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นอีมัลชันเหมือนกันและเรียกรวม ๆ ว่า อะครีลิกเหมือนกัน แต่คุณสมบัติและคุณภาพแตกต่างกัน ผู้ใช้ส่วนมากไม่ทราบข้อมูลเหล่านี้ เมื่อนำมาใช้งาน อะครีลิกที่ใช้อาจทำหน้าที่ได้ไม่สมบูรณ์หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงในระยะเวลาอันสั้น อะครีลิกต่างชนิดกันมีคุณสมบัติต่างกัน เช่น normal butyl acrylate และ methyl methacrylate มีคุณสมบัติกันน้ำได้ดี เหมาะกับงานภายนอก และทำหน้าที่ปกป้องได้ยาวนานกว่าอะครีลิกชนิดอื่น สารยึดอะครีลิกปัจจุบันมีคุณสมบัติดีกว่าอะครีลิกที่ผลิตเมื่อ 25–50 ปีที่แล้ว หากเลือกใช้อย่างถูกต้อง งานศิลปกรรมสมัยใหม่ที่ใช้สีอะครีลิกมักอยู่ในสภาพทนทานกว่า

อย่างไรก็ตาม สารยึดสมัยใหม่มักมีวัตถุดิบหลากหลายและใช้สารเติมแต่งมากมาย ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตและห้วงเวลาในการผลิต บางผลิตภัณฑ์มีชื่อการค้าเดียวกัน ผลิตโดยผู้ผลิตรายเดียวกัน แต่องค์ประกอบและคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมโดยไม่แจ้งให้ผู้ใช้ทราบ หลายกรณีพบว่าทำให้

การอนุรักษ์งานศิลปกรรมร่วมสมัยและงานศิลปกรรมสมัยใหม่ประสบปัญหา เช่น ทำความสะอาดยากมาก เนื่องจากตัวทำละลายที่เลือกมา มักส่งผลกระทบต่อชั้นสี เช่น อาจทำให้ชั้นสีบวมพองหรือทำให้ชั้นสีบางส่วนละลายออกมา โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานศิลปกรรมสื่อผสม มีการใช้วัสดุหลายชนิดร่วมกัน ซึ่งอาจทำปฏิกิริยากันเองหรือทำปฏิกิริยากับสารเคมีที่ใช้ในการทำความสะอาดหรือเสริมสร้างความมั่นคงแข็งแรงแตกต่างกัน



4. สารสี (pigments หรือ dyes)

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

การเปลี่ยนแปลงของสารสีสามารถพบเห็นได้บ่อยบนศิลปกรรม เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมี การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพทำให้สารสีบางอย่างมีลักษณะทางกายภาพเปลี่ยน

ไป เช่น มีสีคล้ำขึ้นหรือมีสีซีดจางลง กลายเป็นผง กลายเป็นคราบแข็ง ฯลฯ เกิดจากคุณสมบัติทางเคมีของสารสีนั้น ๆ หรือสารยึดที่ไม่เสถียร ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้ง่ายเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิ ความชื้น แสงสว่าง ไม่เหมาะสม

สารสีหลายชนิดเกิดการเปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา ทั้งจากสาเหตุภายในตัวเองและจากสาเหตุภายนอก เช่น สารสีที่ทำจากแร่และดิน อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงในระยะยาว มักมีสีซีดจางหรือเปลี่ยนสี โดยเกิดปฏิกิริยาเคมีเมื่อได้รับแสงสว่าง ความชื้น ออกซิเจน ก๊าซ และไอระเหย เช่น สีแดงเสน สีแดงชาด สีดินแดง สีเขียวมาลาไคต์ สีน้ำเงินอะซูไรต์ มักจะมีสีคล้ำขึ้น อะซูไรต์ (azurite) และสีคราม มักเปลี่ยนเป็นสีคล้ำขึ้นหรือบางทีออกเขียว สีฟ้าเซรูเลียน (cerulean) ซึ่งเป็นออกไซด์ของทองแดงกับออกไซด์ของโคบอลต์มักเปลี่ยนสีเป็นสีเขียว สีเขียวคริสโซคอลล่า เมื่อสัมผัสกับด่างจะเปลี่ยนเป็นสีดำ สีแดงครั่งมักมีสีคล้ำขึ้นและซีดง่าย สีเขียวเวอร์ดิกริสจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเมื่อได้รับรังสีอัลตราไวโอเลต เป็นต้น

ห้วงเวลาที่มีการปฏิวัติอุตสาหกรรม สารสีที่มีจำหน่ายส่วนหนึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีไม่ตรงกับสารสีที่เคยใช้มาแต่เดิม แม้ว่าจะจำหน่ายในชื่อเดียวกัน เพื่อลดต้นทุนในการผลิต เช่น สีฟ้าเซรูเลียนบางผลิตภัณฑ์ทำจากอัลตรามารีนสังเคราะห์ผสมกับ Naples yellow แทนที่จะเป็นสารสีน้ำเงินที่ทำจากสารประกอบโคบอลต์สแตนเนต [Co(II) stannate] ซึ่งใช้มาแต่เดิมและมีราคาแพง หรือสารสีเหลืองบางผลิตภัณฑ์ที่จำหน่ายในนาม Naples yellow แต่ความจริงผสมดินเหลืองจำนวนมากเพื่อลดต้นทุน หรือ

สารสีบางชนิด ผู้ผลิตผสมดินขาวเป็นปริมาณมากเพื่อเพิ่มเนื้อสีและลดต้นทุนในการผลิต เนื่องจากดินขาวมีราคาถูกมาก สีดำที่จำหน่ายในชื่อ Ivory black ในปัจจุบันทำจากการเผากระดูกสัตว์แทนงาช้าง สีฟ้าอัลตรามารีนในปัจจุบันได้จากการสังเคราะห์ เนื่องจากลาพิส ลาซูรีหายากและมีราคาแพงมาก แต่ใช้ชื่อเดียวกัน

ในระยะหลัง ๆ การผลิตสารสีหลายชนิด มีการปรับเปลี่ยนส่วนผสมไปจากเดิมมากมาย ทำให้ผู้ใช้เข้าใจผิดและอาจทำให้สีบนงานศิลปกรรมเปลี่ยนแปลงหลังใช้งานไม่นาน ที่พบบ่อยคือสีน้ำมันราคาถูกที่บรรจุหลอด มักผสมสารเพิ่มเนื้อสีซึ่งเป็นผงสีขาวเพื่อลดต้นทุนและเพื่อตัดราคาผู้ผลิตรายอื่น เมื่อใช้งานไประยะหนึ่งผงสีขาวที่เป็นสารเพิ่มเนื้อสีทำให้ชั้นสีมีลักษณะฝ้ามัวและมีสีซีดลง ภาพมีลักษณะขาดมิติ

ภาพเขียนสีน้ำมันที่ใช้สีน้ำมันคุณภาพต่ำ

สารสีสังเคราะห์ที่ผลิตขึ้นใหม่หลายชนิดไม่เสถียร เช่น สารประกอบของโครเมียมหลายชนิดให้สีสดสวย Chrome yellow หรือตะกั่วโครเมต เริ่มผลิตใน ค.ศ. 1797 มีสีเหลืองสด ราคาถูก แต่ไม่ทนทาน มักจะมีสีคล้ำขึ้น เพราะทำปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ก๊าซไข่เน่า) เมื่อได้รับแสงสว่างนาน ๆ จะมีสีออกเขียว เพราะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นโครเมียมออกไซด์ จึงไม่เหมาะต่อสีปูนเปียกหรือพื้นผิวที่เป็นด่างและสารยึดที่ละลายน้ำ เมื่อผสมกับสารสีอื่น ๆ มักทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะหากใช้ในภาพเขียนสีน้ำมัน หากผสมกับสารสีอื่น ๆ ที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบจะเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลหรือดำเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาเคมี

สารสีที่ทำจากดิน เช่น ดินเหลือง (Yellow ochre) หากใช้กับสีน้ำมันจะมีสีคล้ำขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง หากชั้นสีชั้นล่างยังไม่แห้งสนิท สีชนิดนี้ไม่ควรใช้กับสีปูนเปียกเนื่องจากจะเกิดการสลายตัวและเปลี่ยนสี แต่ใช้ได้กับสารสีอื่น ๆ ทุกชนิด ยกเว้นสีเลค เพราะสีเลคจะทำให้สีดินเหลืองมีสีคล้ำขึ้น หรือหากบดผงสีให้ละเอียดเกินไป ก็จะทำให้สีดินเหลืองคล้ำขึ้นเช่นกัน

สารสีเหลืองจากหรดาล (orpiment) ถ้าอยู่ใกล้สารสีที่ทำจากสารประกอบของตะกั่ว เช่น สีขาวตะกั่ว สีแดงเสน สีเหลืองตะกั่ว จะปลดปล่อยไอระเหยออกมาทำปฏิกิริยากับตะกั่ว ได้สารประกอบที่มีสีเทา หรือหากอยู่ใกล้กับสีเขียวเวอร์ดิกริสจะมีสีคล้ำขึ้นและมีปฏิกิริยากัดกร่อนสารยึด ทำให้ชั้นสีหลุดล่อน บางกรณีพบว่าหรดาลทำปฏิกิริยากับสีขาวสังกะสีออกไซด์หรือสีขาวไทเทเนียมไดออกไซด์แล้วเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลอ่อนหรือสีเนื้อ

นอกจากนี้สีเหลืองจากหรดาลไม่สามารถใช้งานร่วมกับซินนาบาร์ เวอร์มิเลียน เหล็กออกไซด์ สารประกอบของตะกั่ว และสารสีเขียวที่ได้จากทองแดง เพราะกำมะถันจากหรดาลจะทำปฏิกิริยาเคมีทำให้สารสีเหล่านี้หมองคล้ำในเวลารวดเร็ว ส่วนรีอัลการ์ไม่ค่อยนิยมใช้เป็นสารสี นอกจากนี้หรดาลยังเปลี่ยนสภาพไปเป็นผงได้หากได้รับแสงสว่างมากเกินไป

สีเขียวสดชนิดหนึ่งคือ **Emerald green** มีสีเขียวเข้มคล้ายมรกต เป็นสารประกอบของสารหนูไม่ละลายในน้ำและมีสีคล้ำขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะหากใช้ในภาพเขียนสีน้ำมัน หากผสมกับสารสีอื่น ๆ หรืออยู่ใกล้ชิดกับสารสีที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ เช่น แคดเมียมซัลไฟด์ อัลตรามารีนสังเคราะห์ สีแดงชาด ฯลฯ จะเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลหรือดำ

สีน้ำเงินปรัสเซียนบลู (Prussian blue) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กคือ ferric hexacyanoferrate หรือ ferric ferrocyanide มีสีน้ำเงินเข้มสดใสมาก ทนต่อสภาวะแวดล้อมได้ดี ยกเว้นไม่ทนต่อด่าง หากใช้กับสีปูนเปียกจะเปลี่ยนสีกลายเป็นสีสนิมเป็นจุด ๆ และสูญเสียความเข้มของสี หากใช้กับน้ำมัน มีสีเข้มขึ้น

สีน้ำตาล Vandyke brown เกิดการเปลี่ยนแปลงได้เร็วหากใช้ร่วมกับด่าง เช่น เมื่อใช้กับสีปูนเปียก จะเปลี่ยนสีเป็นสีเทา และเมื่อผสมกับสีขาวในสีน้ำมันจะเปลี่ยนสีเป็นสีเทา เช่นเดียวกับสีแดงเสน สีแดงชาด และสีขาวตะกั่ว หากใช้กับปูนเปียกจะมีสีคล้ำ

สีแดงชาดหรือซินนาบาร์ไม่ได้มีสีแดงสดจัดเสมอไป สีแดงชาดมักมีสีคล้ำลงเมื่อตากแดดเป็นเวลานาน ๆ เพราะเกิดการเปลี่ยนแปลงภายในโครงสร้างผลึกจากระบบ hexagonal ไปเป็นลูกบาศก์ ซึ่งมีสีดำ เรียกว่า meta cinnabar บางครั้งสีแดงชาดเปลี่ยนสีเนื่องจากมีเกลือคลอไรด์เจือปนอยู่ในแร่ตั้งแต่เริ่มแรก หรืออาจปนเปื้อนภายหลังจากสภาพแวดล้อมหรือจากวัสดุที่อยู่ใกล้เคียง เช่น หากใช้สีแดงชาดกับสีเทมเพอรา (ใช้ไข่แดงเป็นสารยึด) จะได้สีแดงคล้ำ

สีเหลืองจากหรดาลไม่สามารถใช้งานร่วมกับซินนาบาร์ เวอร์มิเลียน เหล็กออกไซด์ สารประกอบของตะกั่ว และสารสีเขียวที่ได้จากทองแดง เพราะกำมะถันจากหรดาลจะทำปฏิกิริยาเคมี ทำให้สารสีเหล่านี้หมองคล้ำในเวลารวดเร็ว

สีแดงแคดเมียมเกิดการเปลี่ยนแปลงได้จากสาเหตุต่าง ๆ เช่น ในสีปูนเปียกที่อยู่ภายนอกอาคารจะเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาล ถ้าผสมหรืออยู่ใกล้กับสารสีที่ทำจากสารประกอบของทองแดง สารสีที่ทำจากสารประกอบแคดเมียมทุกชนิดจะกลายเป็นสีดำหากใช้ร่วมกับสารสีที่ทำจากสารประกอบของตะกั่ว เพราะจะทำให้สารสีที่ทำจากสารประกอบของตะกั่วมีสีคล้ำลงหรือเปลี่ยนไปเป็นสีเทา–ดำ สีเหลืองที่ทำจากสารประกอบของแคดเมียม (Cadmium yellow) มีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนสีเป็นสีส้มภายในหนึ่งปีหากใช้ภายนอกอาคาร หากผสมกับปูนขาวจะเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาล

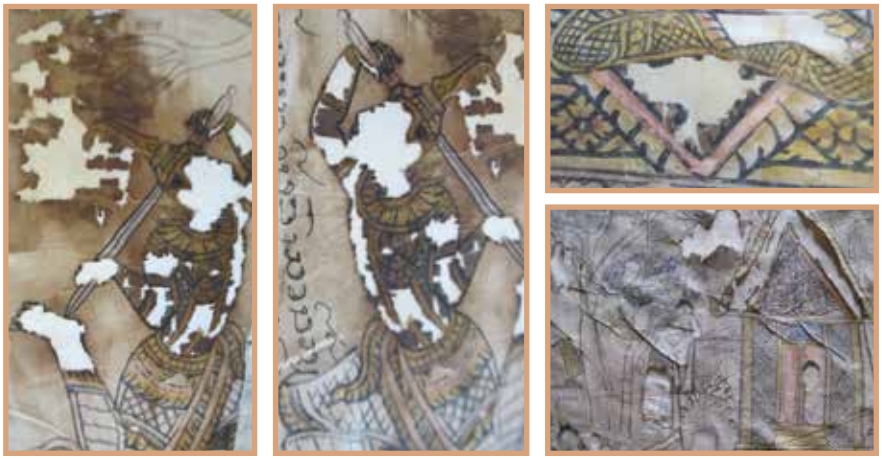
สีแดงเสนซึ่งเป็นสารประกอบตะกั่วออกไซด์เปลี่ยนสีเป็นสีเทา–ดำหากสภาพแวดล้อมมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ก๊าซไข่เน่า) และจะเกิดการเปลี่ยนแปลงถ้าสัมผัสกับกรดเกลือ และเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลหากสัมผัสกับกรดไนตริก (กรดดินประสิว) เจือจาง สีแดงเสนใช้ได้ดีกับสีน้ำมัน ถ้าใช้กับสีปูนเปียกจะเปลี่ยนสีเป็นสีดำ ข้อเสียของสีแดงเสนคือไม่คงทนต่อสภาวะแวดล้อม หากมีแสงสว่างและความชื้น สีแดงเสนจะเปลี่ยนสีไปเป็นสีน้ำตาลคล้ายช็อกโกแลต หากสัมผัสกับน้ำมันหรือสัมผัสกับกรดจะเปลี่ยนไปเป็นสีน้ำตาล เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกลายเป็นตะกั่วไดออกไซด์ หากได้รับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะกลายเป็นตะกั่วซัลไฟด์ซึ่งมีสีดำ เมื่อใช้สีแดงเสนผสมทำสีน้ำมันจะกลายเป็นสีชมพู เนื่องจากตะกั่วออกไซด์บางส่วนเปลี่ยนไปเป็นตะกั่วคาร์บอเนต นอกจากนี้สีแดงเสนยังเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ทำให้ปัจจุบันไม่เป็นที่นิยม

สีน้ำเงินอะซูไรต์เป็นสารประกอบที่ไม่คงตัว เมื่อได้รับความชื้นมักเปลี่ยนไปเป็นสีเขียวมาลาไคต์ ถ้ามีสารประกอบคลอไรด์อยู่ด้วยจะได้สีเขียวที่มีชื่อทางแร่ว่า paratacamite (ซึ่งเป็นสนิมชนิดหนึ่งของสำริด มักพบบนสำริดที่ได้จากแหล่งขุดค้นทางโบราณคดีที่มีดินเค็ม) หากในสิ่งแวดล้อมมีกำมะถัน สีของอะซูไรต์จะเปลี่ยนไปเป็นสีดำ เนื่องจากทองแดงทำปฏิกิริยากับกำมะถันได้ทองแดงซัลไฟด์ซึ่งมีสีดำ สารสีน้ำเงินอะซูไรต์ที่ใช้กับสีน้ำจะมีสีคล้ำลงถ้าความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า 75% เนื่องจากเกิดทองแดงออกไซด์ (CuO, tenorite) Cu_2O หรือ CuS ซึ่งมีสีดำ

สีแดงเสนใช้ได้ดีกับสีน้ำมัน ถ้าใช้กับสีปูนเปียกจะเปลี่ยนสีเป็นสีดำ ข้อเสียของสีแดงเสนคือไม่คงทนต่อสภาวะแวดล้อม หากมีแสงสว่างและความชื้น สีแดงเสนจะเปลี่ยนสีไปเป็นสีน้ำตาลคล้ายช็อกโกแลต

สีเขียวที่ได้จากสารประกอบของทองแดง มักเกิดการเปลี่ยนแปลงและสร้างปัญหาในการอนุรักษ์อยู่เสมอ สารสีที่เป็นสารประกอบของทองแดงมีแนวโนมที่จะเปลี่ยนสีและทำลายวัสดุที่เป็นชั้นรองรับภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระดาษหรือผ้าที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก เรียกอาการนี้ว่า kupferfrass เช่น สีเขียวเวอร์ดิกริสเปลี่ยนสีได้ง่าย โดยเปลี่ยนจากสีเขียวอมฟ้าเป็นสีเขียวภายในระยะเวลาอันสั้นจากปฏิกิริยาเคมี เมื่อเวลาผ่านไปจะปล่อยกรดน้ำส้มออกมากัดกินกระดาษ ผ้า และวัสดุอื่น ๆ ที่เป็นชั้นรองรับและชั้นรองพื้นจนเป็นรูโหว่ และมักทำให้กระดาษและผ้าที่ใช้เขียนภาพเกิดรอยด่างสีน้ำตาลคล้ายรอยไหมับนด้านหลังและโดยรอบของบริเวณที่ระบายสีเขียวชนิดนี้

ภาพจิตรกรรมที่เขียนบนผ้าและกระดาษบางภาพเกิดรอยไหม้และขาดปรุตามบริเวณที่ระบายด้วยสีเขียวชนิดนี้ พบบ่อยในภาพพระบฏ ผ้าพระเวส สมุดไทย และศิลปะบนกระดาษที่ทำขึ้นในสมัยรัตนโกสินทร์ตอนต้น จุลจิตรกรรมและหนังสือเลขาวิจิตรก็มักพบอาการเช่นนี้ ภาพพิมพ์ สิ่งพิมพ์ และของประดับตกแต่งที่ผลิตระหว่าง 200–300 ปีมาแล้ว ก็พบอาการเช่นนี้เช่นกัน เพราะช่วงนั้นมีการผลิตเวอร์ดิกริสอย่างแพร่หลาย โดยใช้กระบวนการง่าย ๆ ราคาถูก ไม่เน้นคุณภาพ เวอร์ดิกริสมีคุณภาพดีจะต้องผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์และไม่เป็นกรด ไม่ค่อยเปลี่ยนสี ราคาแพง เรียกว่า Neutral copper acetate หรือ Distilled verdigris



รอยด่างและรอยขาดบนผ้าที่เขียนสีเขียวด้วยเวอร์ดิกริส

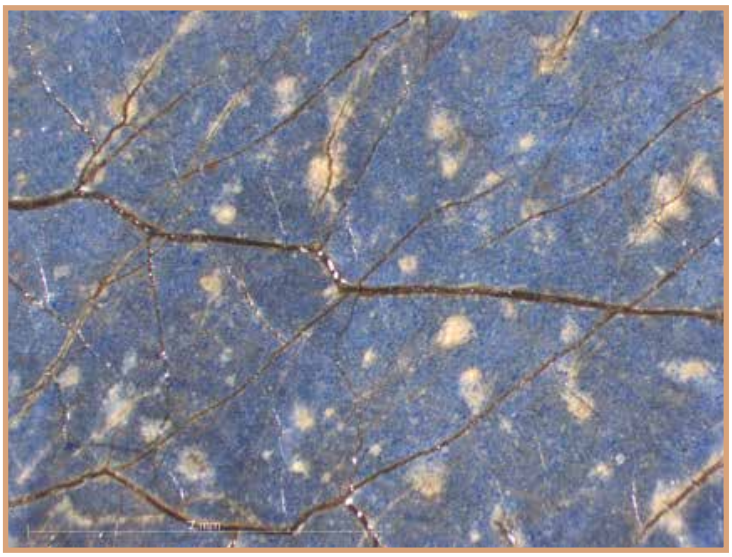
สีเขียวจากสารประกอบของทองแดงหลายชนิด เช่น สีเขียวมาลาไคต์ เวอร์ดิกริส และอื่น ๆ เกิดการเปลี่ยนแปลงได้ง่าย เช่น สารสีเขียวเวอร์ดิกริสจะเปลี่ยนสีจากเขียวอมฟ้าไปเป็นสีเขียวภายในสามเดือนหลังจากใช้งาน หากมีสารประกอบกำมะถันอยู่ใกล้ กำมะถันจะทำให้สีเขียวเวอร์ดิกริสเปลี่ยนเป็นสีเขียวคล้ำ-ดำ สารประกอบของทองแดงเมื่อทำปฏิกิริยากับคลอไรด์จะได้ basic copper chloride ทำให้สีเปลี่ยนไปเล็กน้อย และทำให้กระดาษ/ผ้าที่รองรับภาพเสื่อมสภาพ สารสีจะแทรกซึมลงไปทางด้านหลังของกระดาษ ต่อไปเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและแผ่กระจายออกรอบ ๆ นาน ๆ เข้า สีเขียวจะหายไปจนหมด กระดาษ/ผ้าจะกรอบเปราะและขาดเป็นรู

บางครั้งในสภาพแวดล้อมมีกรดหรือก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ทองแดงอะซีเตตกลายเป็นสารประกอบทองแดงซัลเฟต ซึ่งมีสีขาว-แดง ตามแต่ปริมาณน้ำผลึก สารประกอบของทองแดงบางชนิดเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีด่าง จะทำปฏิกิริยากับคาร์โบไฮเดรตหรือเซลลูโลส ได้สารสีเหลือง-น้ำตาล ซึ่งก็คือ cuprous oxide ปฏิกิริยานี้มีชื่อเรียกว่า Fehling's reaction

สีเขียวเวอร์ดิกริสในสีน้ำมันจะเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลอ่อนเมื่อความชื้นสูง เห็นได้ชัดที่ขอบ ๆ ของส่วนที่ระบายด้วยสีเขียวชนิดนี้ เนื่องจากเป็นชั้นสีที่บางที่สุด และเมื่อใช้กับสีน้ำสีจะเปลี่ยนจากซีดจางเป็นสีเขียวซีดหรือสีเขียวอมฟ้าที่ป่นเป็นผง เมื่อได้รับความชื้นสูงและมีแสงสว่าง

สีเขียวมาลาไคต์และสีน้ำเงินอะซูไรต์มักมีรอยเปื้อนซึมเลอะออกไปรอบ ๆ ส่วนที่มีสารนี้เหล่านี้ สีเปลี่ยนไปเป็นสีน้ำตาลและทำให้กระดาษหรือผ้าที่รองรับภาพกรอบเปราะเรียกว่า malachite staining เกิดจากใช้สารส้มมากเกินไปในการเตรียมชั้นรองพื้น และเกิดจากสภาพแวดล้อมที่ร้อนชื้น ระยะแรกมาลาไคต์เป็นสารเคมีที่ไม่ละลายน้ำ แต่เมื่อทำปฏิกิริยากับกรดจะเกิดสารประกอบของทองแดงที่ละลายน้ำได้ จึงแทรกซึมออกไปรอบ ๆ รวมทั้งแทรกซึมลงไปด้านหลังของภาพ เคยพบส่วนที่ระบายด้วยมาลาไคต์แล้วทับด้วยสีขาวเปลี่ยนไปเป็นสีน้ำตาล ในขณะที่ส่วนที่ระบายสีขาวอย่างเดียวไม่เปลี่ยนแปลง

สีอัลตรามารีน (แท้) ที่ทำจากลาพิส ลาซูรี มีข้อเสียที่เกิดการเปลี่ยนสีเป็นจุดสีอ่อนเนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของลาพิส ลาซูรีประกอบด้วยโครงข่ายของอะลูมิเนียมและซิลิกอน สีฟ้า–น้ำเงินสดเกิดจากมีโมเลกุลขนาดเล็กที่ประกอบด้วยกำมะถันถูกกักเก็บอยู่ภายในโครงข่ายนั้น โครงสร้างดังกล่าวทำให้ลาพิส ลาซูรีเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อสัมผัสกับกรด เช่น การใช้กับน้ำมันลินสีดทำให้ขั้นสีมีรอยแตกร้าว หลุดล่อน และสีเปลี่ยน จึงไม่เหมาะในการทำสีน้ำมัน เนื่องจากกรดในสีน้ำมันทำให้สีเปลี่ยนไปเป็นสีเทา เรียกว่าเกิด *"โรคอัลตรามารีน"* (ultramarine sickness หรือ ultramarine disease)



ultramarine sickness

สารสีเหลืองตะกั่วชนิดหนึ่งที่มีชื่อเรียกว่า Massicot เป็นสารประกอบตะกั่วออกไซด์ ทำปฏิกิริยากับก๊าซในอากาศแล้วเปลี่ยนสีไปเป็นสีเขียวหรือสีดำ

สารสีขาวจากไททาเนียมในสีน้ำมัน เมื่อแห้งจะกลายเป็นชั้นสีที่โปร่งพรุนคล้ายฟองน้ำ หากต้องการแก้ไขควรผสมสารสีขาวอื่น ๆ ร่วมด้วย หรือใช้เป็นสารเพิ่มเนื้อสี ในขณะที่สารสีขาวจากสังกะสีออกไซด์ในสีน้ำมัน เมื่อแห้งจะได้ชั้นสีที่เปราะกรอบ จึงมักนำสารสีขาวไทเทเนียมผสมกับสังกะสีออกไซด์ เพื่อให้ได้ชั้นสีที่มีคุณสมบัติดีขึ้น ของผสมดังกล่าวมีชื่อเรียกว่า Professional grade titanium white หรือ Titanium–zinc white สารสีขาวไทเทเนียมราคาถูกมักใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ผสมกับแบเรียมซัลเฟตหรือสารเพิ่มเนื้อสีอื่น ๆ นอกจากนี้สีขาวไทเทเนียมยังเปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อผสมกับน้ำมันผลิตเป็นสีน้ำมันบรรจุหลอด จึงแก้ปัญหาโดยการใช้สังกะสีออกไซด์ปริมาณมากผสมกับไทเทเนียมไดออกไซด์ เพื่อให้ได้สีน้ำมันที่แห้งเร็วและช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำมัน นอกจากนี้ สารสีขาวสังกะสีออกไซด์จะแตกตัวได้ง่ายเมื่อใช้งานกลางแจ้ง เพราะจะมีปริมาตรเพิ่มขึ้นทำให้เกิดรอยแตกร้าวมากมายและไม่ควรใช้กับสีปูนเปียก หากใช้กับสีน้ำจะทำให้สารสีอื่น ๆ ที่ทำจากน้ำมันดินหรือถ่านหินไม่คงทนและเร่งกระบวนการที่ทำให้สีซีดจาง แต่ถ้าใช้กับสีน้ำมันจะไม่เกิดปัญหาเช่นนี้ สังกะสีออกไซด์ทนทานต่อแสงแดดได้ดี แต่เมื่อใช้กับสีน้ำมันมักจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ทำให้มีสีไม่สดใส แม้ว่าสีขาวสังกะสีออกไซด์จะมีข้อดีหลายประการ แต่ก็มีข้อเสียคือ ถ้าไม่ผสมกับสารสีอื่น ๆ จะได้ชั้นสีที่แห้งกรอบ และเกิดรอยแตกร้าวภายในเวลาไม่กี่ปี

สารสีดำที่เกิดจากการเผากระดูก หากใช้โดยไม่ผสมกับสารสีอื่น ๆ บนพื้นผิวที่มีสีขาวและเรียบจากการใช้สีขาวตะกั่ว จะมีแนวโน้มที่จะแตกร้าว แต่จะไม่แตกร้าวถ้าผสมกับสารสีอื่น ๆ เล็กน้อย

น้ำหมึกหรือสีย้อมบางชนิดมีฤทธิ์เป็นกรด สามารถกัดกินกระดาษ ผ้า และหนังให้ขาดทะลุได้ เช่น Iron gall ink ที่ทำจากเศษเหล็กแช่ในของเหลวที่มีรสเปรี้ยวหรือฝาด ซึ่งมักทำจาก oak gall ได้หมึกที่มีความเป็นกรดสูง หมึกบางชนิดไม่เป็นกรด แต่ทำจากสารสีสังเคราะห์ซึ่งไม่ทนต่อแสงสว่างหรือละลายได้ในน้ำ

น้ำหมึกที่เป็นกรดกัดเนื้อกระดาษขาดทะลุ

สารสีที่ได้จากพืชและสัตว์เป็นสีย้อมซึ่งเป็นสารอินทรีย์ จึงมีจุดอ่อนมากมายที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง

สารสีที่ได้จากพืชและสัตว์เป็นสีย้อมซึ่งเป็นสารอินทรีย์ จึงมีจุดอ่อนมากมายที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น สารสีแดงที่ได้จากครั่งเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ง่าย เมื่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างเปลี่ยนไป เช่น เมื่อสัมผัสกับกรดจะได้สีแดงและเปลี่ยนเป็นสีแดงอมน้ำเงินเมื่อสัมผัสกับด่าง สีแดงจากแมดเดอร์ไม่สามารถใช้กับสีปูนเปียกได้ เพราะด่างจะทำลายสีแดงแมดเดอร์อย่างสิ้นเชิง

สารสีที่ได้จากพืชอีกชนิดหนึ่งที่พบบ่อยบนภาพเขียนสีน้ำและสีฝุ่นคือ **รง** (gamboge) ซึ่งให้สีเหลืองสวยงามในช่วงแรก แต่มีข้อเสียคือ ไม่ทนต่อแสง ซีดจางเร็ว หากผสมกับสีอื่น เช่น ผสมกับสีน้ำเงินเพื่อให้ได้สีเขียว เมื่อได้รับแสง สีเหลืองจะซีดจางหายไป ทำให้ส่วนที่เป็นสีเขียวเปลี่ยนไปเป็นสีเขียวอมน้ำเงิน นาน ๆ เข้าอาจจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน นี่เป็นสาเหตุที่ทำให้ต้นไม้ใบหญ้าในภาพเขียนบางภาพไม่เป็นสีเขียวอย่างที่ควรจะเป็น

สารสีบางชนิดทำปฏิกิริยากับอนุมูลต่าง ๆ แล้วได้สารประกอบใหม่ที่อาจมีสีเปลี่ยนไปหรือมีสีเหมือนเดิม เช่น กรดออกซาลิก (oxalic acid) ทำปฏิกิริยากับสารสีที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบจะเปลี่ยนไปเป็นแคลเซียมออกซาเลต (สีขาว) สารสีที่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบ เช่น มาลาไคต์ เวอร์ดิกริส (สีเขียว) จะเกิดทองแดงออกซาเลต (สีเขียว) หากในสภาพแวดล้อมมีอนุมูลซัลไฟด์หรือซัลเฟต จะทำให้เกิดสารประกอบซัลไฟด์หรือซัลเฟต เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต (สีขาว) ทำปฏิกิริยากับอนุมูลซัลเฟตจะได้แคลเซียมซัลเฟต (สีขาว) ตะกั่วคาร์บอเนต (มีสีขาว) ทำปฏิกิริยากับอนุมูลซัลไฟด์ได้ตะกั่วซัลไฟด์ (สีดำ)

บางกรณีชั้นสีส่วนที่ระบายด้วยสีน้ำมันสีขาวเปลี่ยนไปเป็นสีเหลือง หากเก็บรักษาในที่ที่มีความชื้นสูง เนื่องจากมีสารมีสีเกิดขึ้น เรียกว่า chromophore พบมากบนภาพเขียนสีน้ำมันที่เก็บรักษาในที่มืดเป็นเวลานาน สีเหลืองที่เกิดขึ้นนี้จะหายไป เมื่อนำภาพออกมารับแสงสว่าง พลังงานจากแสงสว่างจะทำลายพันธะของสารมีสีนี้ให้แตกหัก ส่วนของภาพเขียนที่มีสีเหลืองจะกลับไปเป็นสีขาวดังเดิม นอกจากนี้ สีเหลืองบนภาพเขียนอาจเกิดจากสาเหตุอื่น ๆ เช่น ความร้อน ควัน

สารสีที่ผลิตแล้วบรรจุในหลอดโลหะ อาจเปลี่ยนสีเนื่องจากโลหะที่ใช้ทำหลอดทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบบางอย่างในสารยึด เช่น สารสีเหลือง Naples yellow หรือ Lead antimonite yellow ซึ่งผลิตเป็นสีเทมเพอราบรรจุหลอด เปลี่ยนเป็นสีเทาสกปรกตั้งแต่ยังอยู่ในหลอด

ปัจจุบันมีผู้วิจัยพบว่าภาพเขียนสีน้ำมันบางภาพที่เขียนขึ้นในคริสต์ศตวรรษที่ 19 มีผลึกสีขาวปูดขึ้นบนชั้นสีบางส่วน บางครั้งทำให้ชั้นสีโป่งพอง แตกร้าว หลุดล่อน ทำให้ตอนแรกเข้าใจผิดคิดว่าเป็นเกลือหรือเป็นเชื้อรา แต่เมื่อวิเคราะห์อย่างละเอียดจะพบว่าเป็นผงสีขาวที่เกิดขึ้นเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างสารสีกับสารยึด ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน (complex compound) หรือเกิดสารจำพวกสบู่ (metal soap) เช่น การเกิด carboxylate จากปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมัน (fatty acid) สารยึด และสารสีที่มีความเป็นด่าง ทำให้เกิดสารที่มีคุณสมบัติทางเคมีคล้ายสบู่ เรียกว่า metal soap กรดไขมันที่ทำให้เกิด metal soap ได้ดีคือ palmitic acid และ stearic acid ซึ่งเกิดขึ้นจากปฏิกิริยา hydrolysis ของน้ำมันที่ใช้เป็นสารยึด

การเกิด metal soap มีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติของสารสี องค์ประกอบของน้ำมัน สารเติมแต่ง และสภาพแวดล้อม สารสีที่ทำจากสารประกอบของสังกะสีและตะกั่ว มีแนวโน้มที่จะทำให้เกิด metal soap มากกว่าสารสีอื่น เช่น สีขาวที่ทำจากสังกะสีออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับกรดไขมันแล้วได้ สังกะสีคาร์บอกซีเลต (zinc carboxylate) ที่เรียกว่า zinc soap หรือสีขาวตะกั่วหรือสีอื่น ๆ ที่เป็นสารประกอบของตะกั่วทำปฏิกิริยากับกรดไขมันแล้วได้ตะกั่วคาร์บอกซีเลต (lead carboxylate) ที่เรียกว่า lead soap สารประกอบเหล่านี้ไม่ละลายในน้ำและขจัดออกยาก

ผลึกของ metal soap ที่ค่อย ๆ โตขึ้นจากชั้นในของชั้นสีหรือบนผิวหน้าของชั้นสี ทำให้ชั้นสีเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและทางเคมี การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่เห็นได้ชัดคือ การมีปริมาตรเพิ่มขึ้น มีรอยแตกร้าว พื้นผิวผิดรูป แยกชั้น มีคราบสีขาวปกคลุมพื้นผิวบางส่วน ทำให้ชั้นสีบางส่วนโปร่งใส ฯลฯ ปฏิกิริยาเหล่านี้เกิดได้ดีหากชั้นสีสัมผัสกับตัวทำละลายบางชนิด ใน

ระหว่างขั้นตอนการทำความสะอาด การเสริมสร้างความมั่นคง โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากตัวทำละลายมีน้ำเจือปนอยู่ด้วยแม้เพียงเล็กน้อย (4–5%) ก็เพียงพอที่จะเร่งให้ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้น เพราะฉะนั้นการทำความสะอาดจิตรกรรมสีน้ำมันด้วยแอลกอฮอล์ มีความเสี่ยงที่จะทำให้เกิด metal soap เนื่องจากแอลกอฮอล์ส่วนใหญ่ดูดความชื้นจากอากาศได้ จึงมีน้ำเจือปนอยู่ด้วยเล็กน้อยเสมอ หากใช้น้ำผสมแอลกอฮอล์ในการทำความสะอาด น้ำจะแทรกซึมลึกเข้าไปในชั้นสีมากยิ่งขึ้น จะยิ่งทำให้เกิด metal soap ได้มากยิ่งขึ้นภายในระยะเวลาไม่กี่นาที นอกจากนี้น้ำยังทำให้บางส่วนของชั้นสีบวมพอง และทำให้บางส่วนของชั้นสีละลายออกมาและนำพาสารเคมีที่ว่องไวในปฏิกิริยาไปทำปฏิกิริยากับสารเคมีอื่น ๆ ในชั้นสี

ลักษณะของ metal soap บนภาพเขียนสีน้ำมัน

การเปลี่ยนแปลงของสารสีที่ยังไม่ทราบว่าเกิดจากสาเหตุใด

5. สารเคลือบผิว

สารเคลือบผิวใช้เพื่อเคลือบพื้นผิวต่าง ๆ เพื่อความสวยงาม และปกป้องพื้นผิวจากความชื้น ความร้อน แสงสว่าง รังสีอัลตราไวโอเลต ก๊าซ ฝุ่นละออง แมลง รา ฯลฯ สารเคลือบผิวทำจากเรซินที่ได้จากธรรมชาติและเรซินสังเคราะห์

ประติมากรรม ภาพเขียนสีน้ำมัน และภาพเขียนสีอะครีลิก มักมีการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบเงาสีใสหรือโปร่งแสงหลังจากเขียนภาพ สารเคลือบผิวบนเครื่องเรือน ประติมากรรม และภาพเขียนเรียกว่า **วาร์นิช** (varnish) เพื่อช่วยปกป้องชั้นสีจากฝุ่นละออง ก๊าซ ความชื้น และสภาวะแวดล้อม นอกจากนี้วาร์นิชยังช่วยให้ภาพเขียนมีสีสันสดใสและมันวาว เนื่องจากหลังจากเขียนภาพ เมื่อชั้นสีบนภาพเขียนสีน้ำมันแห้ง จะเกิดความมันวาวหรือด้านไม่สม่ำเสมอกัน ทำให้สีเปลี่ยนไปจากตอนเขียนใหม่ ๆ ช่างเขียนจึงนิยมเคลือบวาร์นิชเพื่อทำให้ชั้นสีมีความมันวาวสม่ำเสมอเท่ากันทั้งภาพ

ชั้นสีที่จะทาวาร์นิชได้ควรหนาพอควร ถ้าใช้วาร์นิชกับสีน้ำ สีน้ำทึบ และภาพวาดลายเส้น วาร์นิชจะถูกดูดซับลึกลงไปในชั้นสีและชั้นรองรับแล้วกลายเป็นส่วนหนึ่งของภาพ และอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนสี ซึ่งไม่สามารถละลายออกได้โดยไม่ทำอันตรายต่อชั้นสีเดิม

ศิลปินบางท่านไม่ทาวาร์นิชบนภาพเขียนสีน้ำมัน 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 ซึ่งมีจุดอ่อนหลายประการ เช่น เปลี่ยนสีเป็นสีเหลือง โปร่งใสน้อยลง แตกร้าว บางครั้งบดบังรายละเอียดบนภาพ ทำให้ต้องมีการเช็ดหรือละลายออกเป็นระยะ ๆ จึงพยายามทดลองหาวาร์นิชใหม่ที่มีคุณสมบัติดีกว่าของเดิมมาโดยตลอด แต่วาร์นิชใหม่เหล่านั้นก็ยังมีคุณสมบัติไม่พึงประสงค์บางประการแฝงอยู่ ผู้ผลิตวาร์นิชทราบว่าวาร์นิชที่ทำจากเรซินธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลเล็ก ทำให้ได้สารละลายที่มีความหนืดต่ำ ทาง่าย เมื่อแห้งจะได้ชั้นที่เรียบ สม่ำเสมอกว่าวาร์นิชที่ได้จากสารสังเคราะห์ ชั้นของวาร์นิชจะเป็นมันวาว และทำให้มองเห็นสีสดใสจัดจ้า จึงพยายามผลิตวาร์นิชจากสารสังเคราะห์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ

วาร์นิชที่มีขายทั่วไปมีคุณสมบัติแตกต่างหลากหลาย การเลือกใช้วาร์นิชที่ไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดปัญหาในการอนุรักษ์ เช่น เลือกใช้วาร์นิชที่ไม่สามารถละลายออกได้ในภายหลังเพื่อทำความสะอาดโดยไม่ทำอันตรายต่อชั้นสี หรือใช้วาร์นิชที่มีความยืดหยุ่นไม่เท่ากับผ้าใบและชั้นสี จึงไม่ยืดและหดไปพร้อม ๆ กับผ้าใบ และทำให้แตกร้าว หรือใช้วาร์นิชที่เป็นฟิล์มที่อ่อน ฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกเกาะติดและฝังลงไปได้ง่าย หรือใช้วาร์นิชที่มีรูพรุนไม่เหมาะสมต่อสภาวะแวดล้อมในแต่ละสถานที่ บางครั้งต้องการให้เกิดฟิล์มที่ความชื้นเคลื่อนที่ผ่านได้หรือเกิดฟิล์มที่ไม่ต้องการให้ความชื้นผ่านหรือเกิดฟิล์มที่ไม่โปร่งใสหรือเปลี่ยนสี บางกรณี ใช้วาร์นิชที่ไวต่อปฏิกิริยาเคมีและไม่ทนต่อความชื้นและน้ำ บางกรณีใช้วาร์นิชที่เปลี่ยนสีจากความชื้น ความร้อน รังสีอัลตราไวโอเลต เป็นต้น

ก่อนการเคลือบผิว ชั้นสีบนภาพเขียนสีน้ำมันต้องแห้งสนิท ซึ่งใช้เวลานาน เนื่องจากการแข็งตัวของชั้นสีน้ำมันเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยทั่วไปอาจใช้เวลา 3–6 เดือน หรืออาจถึงหนึ่งปีหากชั้นสีหนามาก ถ้าเคลือบผิวในขณะที่ชั้นสียังไม่แห้ง จะทำให้อากาศเข้าไปทำปฏิกิริยากับน้ำมันในชั้นสีไม่ได้ ชั้นสีจะไม่แห้งหรือแข็งตัวเต็มที่และชั้นวาร์นิชจะแตกร้าว เนื่องจากชั้นสีจะหดตัวขณะแห้ง โดยเฉพาะชั้นสีที่หนามาก ๆ จะแตกร้าวมาก ปัจจุบันนี้มีวาร์นิชชนิดใหม่ที่ยอมให้อากาศเข้าไปทำปฏิกิริยากับชั้นสีได้ น่าจะช่วยลดการเปลี่ยนแปลงแบบนี้ได้

> ประติมากรรม ภาพเขียนสีน้ำมัน และภาพเขียนสีอะครีลิก มักมีการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบเงาสีใสหรือโปร่งแสงหลังจากเขียนภาพ เรียกว่า **วาร์นิช** (varnish)

วาร์นิชที่ใช้ในสมัยโบราณอาจทำจากยางของต้นไม้ เช่น ยางของต้นสนผสมกับตัวทำละลาย เมื่อทาบนภาพเขียนจะมีลักษณะแข็งและมีสีทอง ในยุคคลาสสิก วาร์นิชที่นิยมใช้กับภาพเขียนสีน้ำมันทำจากเรซินที่ได้จากธรรมชาติ เช่น อำพัน, Dammar, Copal, Sandarac, Mastic, Elimi, ชันสน ฯลฯ ผสมกับน้ำมันชักแห้ง เช่น น้ำมันลินสีด น้ำมันทัง น้ำมันวอลนัท ฯลฯ Copal และอำพันเป็นที่นิยมใช้ทำวาร์นิชมานาน เป็นวาร์นิชที่ให้สีทองสวยงาม มีลักษณะเป็นมันวาว แต่จะแตกร้าวง่ายและเปลี่ยนเป็นสีเหลืองในระยะยาวจะไม่ละลายในตัวทำละลายธรรมดา แต่จะละลายได้ในน้ำมันร้อน ๆ ปัจจุบันจึงไม่ใช้แล้ว Dammar และ Mastic ละลายในน้ำมันสนและไวท์สปิริต มีข้อดีกว่า เนื่องจากยังสามารถละลายออกได้โดยไม่ทำอันตรายต่อชั้นสี แต่มีปัญหาอื่นคือเปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองหลังจากใช้งานไปประมาณ 50 ปี ในสภาพแวดล้อมปกติ และเมื่อแข็งจะกรอบเปราะขึ้น ทำให้ภาพเขียนแตกร้าว

ตั้งแต่ ค.ศ. 1826 ช่างเขียนยุโรปนิยม ใช้ Dammar ผสมกับน้ำมันสน เมื่อแห้งจะได้ฟิล์มที่มีความมันเงาและสามารถเช็ดหรือซับออกด้วยน้ำมันสน ใช้ทั้งในระหว่างเขียนภาพและหลังเขียนเสร็จ มักเคลือบผิวสองชั้นบาง ๆ ทิ้งไว้ค้างคืน หากทาวาร์นิชชั้นบาง ๆ ทับบนชั้นหนา ๆ จะทำให้เกิดรอยแตกร้าว วาร์นิชชนิดนี้ยังสามารถนำมาผสมกับ Stand oil กับน้ำมันสน แล้วได้สารยึดที่มีคุณภาพดี

วาร์นิชที่ใช้ในการเคลือบผิวภาพเขียนสีน้ำมันเพื่อปกป้องชั้นสีจากสภาพแวดล้อมและเพื่อทำให้สีสันสดใสสวยงามขึ้น และเพื่อให้ชั้นสีมีความมันวาวสม่ำเสมอทั่วกัน ในระยะยาววาร์นิชมักเปลี่ยนสีเป็นสีเหลือง–น้ำตาล ทำให้สีบนภาพเปลี่ยนไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งวาร์นิชที่ทำจากเรซินธรรมชาติ เช่น Dammar มักเปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองหรือมีสีคล้ำขึ้นตามกาลเวลา บางครั้งบดบังรายละเอียดบนภาพ

วาร์นิชโบราณเปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองได้ง่าย

บางกรณีภาพเขียนสีน้ำมันมีสีเหลืองมากขึ้น เนื่องจากมีวาร์นิชเดิมหลงเหลืออยู่บนชั้นสี หลังการทำความสะอาด หลังจากผ่านกาลเวลา วาร์นิชที่ทำจากเรซินที่ได้จากต้นไม้จะสูญเสียความโปร่งใสและมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น

วาร์นิชมีมากมายหลายชนิดที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน เช่น 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 ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ซับซ้อนยิ่งขึ้น

วาร์นิชที่ทำจาก dammar

วาร์นิชระยะหลัง ๆ ใช้เรซินสังเคราะห์มากขึ้นเรื่อย ๆ ได้วาร์นิชที่มีคุณสมบัติหลากหลาย วาร์นิชสังเคราะห์ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดเป็นวาร์นิชที่ทำให้เกิดความมันเงา (gloss) ทำให้สีสดฉ่ำขึ้นกว่าเดิม สะท้อนแสงมากขึ้น แต่ในอนาคตจะเช็ดออกหรือซับออกยากขึ้น ต้องใช้ตัวทำละลายที่แรงขึ้น ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อชั้นสีและสารยึด

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 มักใช้กับภาพเขียน abstract หรือ impressionism

การเปลี่ยนแปลงของสารเคลือบผิวไม่ทราบชนิด

หากต้องการความมันเงาในระดับกลาง ๆ ใช้วาร์นิชชนิดมีความมันวาวผสมกับวาร์นิชชนิดด้านในอัตราส่วนต่าง ๆ ตามต้องการ โดยทั่วไปหากใช้วาร์นิชชนิดมันวาวผสมกับวาร์นิชชนิดด้านในอัตราส่วน 50 ต่อ 50 จะได้ฟิล์มที่มีความมันเงาคล้ายความมันเงาบนผ้าต่วน อยู่กึ่งกลางระหว่างความมันเงากับความด้าน เรียกว่า Satin finish ทนต่อรังสีอัลตราไวโอเลตได้ดี หากต้องการขจัดออกในภายหลังให้ใช้ไวท์สปิริตหรือน้ำมันสนที่ผ่านกระบวนการกลั่น เพราะฉะนั้นวาร์นิชแต่ละชนิดถูกผลิตมาเพื่อใช้งานเฉพาะอย่าง ผู้ใช้ต้องเลือกใช้วาร์นิชที่ถูกต้องและตรงกับวัตถุประสงค์และเข้าใจกลไกในการเกิดฟิล์มของวาร์นิชแต่ละชนิด

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

วาร์นิชสมัยใหม่อีกชนิดหนึ่งที่เป็นที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางคือวาร์นิชที่ทำจากอะครีลิกเรซิน ซึ่งใช้ในลักษณะของอีมัลชันละลายในน้ำหรือแบบละลายในตัวทำละลาย อะครีลิกมีดัชนีหักเหต่ำที่สุดในบรรดาวาร์นิชทั้งหมดและโปร่งใส ข้อดีอีกประการหนึ่งของอะครีลิกคือไม่เปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองในระยะยาว แต่หากใช้กับภาพเขียนขนาดใหญ่ ถ้าทาด้วยแปรงอาจมีปัญหาได้ เนื่องจากแห้งเร็วเกินไป ตอนแรกที่ทาบนภาพเขียน อะครีลิกจะมีสีขาวขุ่นเหมือนน้ำนม เมื่อแห้งจะโปร่งใส แต่ฟิล์มที่ได้จากอะครีลิกอีมัลชันจะไม่แข็งแรงเท่าฟิล์มที่ได้จากอะครีลิกที่ละลายในตัวทำละลาย อะครีลิกเรซินที่นิยมใช้ในการผลิตวาร์นิชคือ polybutylmethacrylate (PBMA)

ภาพเขียนสีอะครีลิกที่เคลือบผิวด้วยวาร์นิชมีปัญหาในระยะยาว เพราะจะละลายวาร์นิชออกได้ยากมาก โดยไม่ทำอันตรายต่อชั้นสี เนื่องจากชั้นสีอะครีลิกค่อนข้างอ่อนนุ่ม หากสภาพแวดล้อมมีความชื้นและความร้อน ทำให้ฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกเกาะติดง่าย หากทาวาร์นิชโดยตรงบนภาพเขียนสีอะครีลิก จะทำให้เกิดปัญหาในอนาคต จะทำความสะอาดหรือขจัดวาร์นิชออกไม่ได้โดยไม่ทำอันตรายต่อชั้นสี การใช้วาร์นิชที่แข็งตัวเป็นฟิล์มที่แข็งกว่าชั้นสีจะแก้ไขปัญหานี้ได้ เรียกว่า isolation coat ซึ่งทำหน้าที่คล้ายแผ่นกระจกบาง ๆ บนชั้นสี กั้นระหว่างชั้นสีกับชั้นวาร์นิช

ประติมากรรมที่อยู่กลางแจ้งส่วนใหญ่จำเป็นต้องใช้สารเคลือบผิว เพื่อปกป้องผิววัสดุจากสภาพแวดล้อมที่รุนแรง การเลือกใช้สารเคลือบผิวและวิธีการในการเคลือบผิวต้องอาศัยข้อมูลทางวิชาการเกี่ยวกับคุณสมบัติของสารเคลือบผิวชนิดต่าง ๆ ที่มีการศึกษาวิจัยและเป็นที่ยอมรับว่ามีประสิทธิภาพสูงเพียงพอที่จะปกป้องพื้นผิววัสดุเป็นเวลานาน สารเคลือบผิวที่มีขายทั่วไปส่วนใหญ่เสื่อมสภาพในเวลารวดเร็วทำให้เกิดรอยด่างที่มีสีแตกต่างจากเนื้อวัสดุเดิม จากนั้นชั้นของสารเคลือบผิวจะแตกร้าว เผยอตัว แยกตัวและหลุดล่อนออกจากพื้นผิวของประติมากรรม ไม่สามารถปกป้องพื้นผิวประติมากรรมได้นานพอ

การใช้สารเคลือบผิวที่ไม่ได้ผลิตมาเพื่อใช้กับงานศิลปกรรมหรือสารเคลือบผิวที่ยังไม่มีการตรวจสอบ ทดลอง วิจัย ว่ามีประสิทธิภาพเหมาะสมต่อการใช้กับงานศิลปกรรม อาจทำให้ศิลปกรรมเสื่อมสภาพได้ เช่น พอลิยูรีเทนเรซิน (polyurethane) เริ่มมีใช้เมื่อประมาณ 70 ปีมาแล้ว เพื่อใช้เป็นสารเคลือบผิวไม้ เมื่อแห้งจะได้ฟิล์มที่แข็งแรงและมีความพรุน สามารถใช้ได้ดีกับอาคารบ้านเรือน สิ่งของเครื่องใช้ธรรมดาทั่วไป ไม้แกะสลักและเครื่องเรือนบางส่วนนิยมเคลือบผิวด้วยพอลิยูรีเทน พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปฟิล์มของพอลิยูรีเทนเปลี่ยนเป็นสีชา บางส่วนขุ่นมัวเป็นฝ้าขาว บางส่วนแตกร้าว และส่วนขอบเผยอตัวขึ้นมา แลดูไม่สวยงาม หากนำมาใช้กับศิลปกรรมที่มีคุณค่าสูง อาจทำให้เกิดการเสื่อมสภาพที่แก้ไขไม่ได้ เนื่องจากพบว่าพอลียูเรเทนไม่สามารถละลายออกได้ในภายหลัง พอลิยูรีเทนมีหลายชนิด หลายเกรด มีทั้งที่ละลายในน้ำและละลายในตัวทำละลาย บางชนิดเปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองได้ง่าย แต่บางชนิดไม่เปลี่ยนสี พบว่าภาพจิตรกรรมฝาผนังบางแห่งถูกเคลือบด้วยพอลิยูรีเทน ชนิดเดียวกับที่นิยมใช้เคลือบพื้นไม้ ทำให้สีบนจิตรกรรมฝาผนังเปลี่ยนไป และไม่สามารถละลายพอลิยูรีเทนออกได้

ไม้แกะสลักและเครื่องเรือนโบราณบางส่วนถูกเคลือบผิวด้วยน้ำมันลินสีดในพิพิธภัณฑ์หลายแห่งในต่างประเทศเมื่อเกือบร้อยปีมาแล้วเพื่อปกป้องเนื้อไม้และทำให้ไม้มีสีสวยงาม สม่ำเสมอเป็นที่น่าพอใจในเวลานั้น หลายสิบปีต่อมาพบว่าไม้ที่เคลือบด้วยน้ำมันลินสีดมีสีคล้ำขึ้น ผิวเหนียวเหนอะหนะ ดึงดูดฝุ่นมาสะสม บางครั้งมีเชื้อราเกิดขึ้น นักอนุรักษ์ต้องหาวิธีละลายเอาชั้นของสารเคลือบผิวออก โดยไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อเนื้อไม้ ใช้เวลายาวนานและเสียงบประมาณมากมายในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น นับเป็นบทเรียนที่สำคัญที่ทำให้นักอนุรักษ์เริ่มตื่นตัวและเพิ่มความระมัดระวังในการเลือกใช้วัสดุและสารเคมีมากยิ่งขึ้น

อีกตัวอย่างหนึ่ง เมื่อ 60–70 ปีที่แล้ว นักอนุรักษ์ต่างประเทศสมัยนั้นนิยมใช้สารเคลือบผิวชนิดหนึ่งเรียกว่า soluble nylon หรือ N–methoxymethyl nylon ซึ่งเป็นไนลอนชนิดหนึ่งที่ถูกปรับปรุงให้ใช้ในการเสริมสร้างความแข็งแรงของวัตถุทางวัฒนธรรมหลายอย่างในขณะนั้น เช่น กระดาษ ผ้า จิตรกรรมฝาผนัง ไม้ กระดูก งาช้าง วัตถุทางชาติพันธุ์ โลหะ ฯลฯ เนื่องจากขณะนั้นเชื่อว่ามีคุณสมบัติเหมาะสมหลายประการ เช่น เป็นฟิล์มที่ช่วยปกป้องผิวหน้าวัตถุได้ดี มีความยืดหยุ่น ไม่หดตัวแล้วดึงรั้งเนื้อวัสดุ แห้งแล้วไม่เป็นมัน เป็นกาวที่ดี โมเลกุลมีขนาดใหญ่ ยอมให้น้ำผ่านเข้าออกได้ แต่ในเวลาต่อมาพบว่าฟิล์มดังกล่าวเกิดการเปลี่ยนแปลง ดึงดูดฝุ่นและสิ่งสกปรก เปลี่ยนสี ขุ่นมัว ไม่โปร่งใส ดูดความชื้นจากอากาศ เมื่อเปียกจะบวมพอง และทำให้วัตถุเกิดการชำรุด ทำปฏิกิริยา

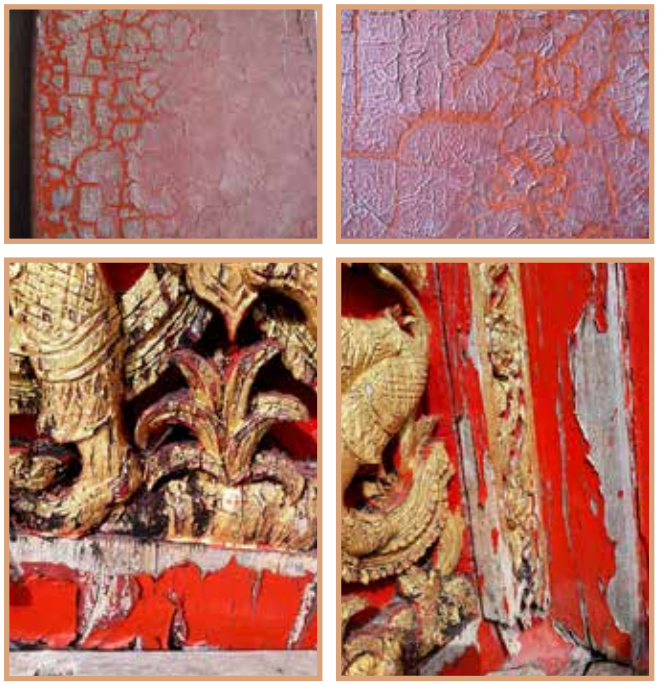
กับน้ำ ขณะหดตัวมีแรงดึงทำให้ดึงผิวหน้าวัสดุออกมา และที่สำคัญคือไม่สามารถละลายออกด้วยตัวทำละลายทั่วไป หลังจากนั้นนักอนุรักษ์ไม่ใช้สารเคมีนี้อีกเลย และพยายามหาทางแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น ภาพจิตรกรรมฝาผนังหลายแห่งในไทยถูกเคลือบผิวด้วย soluble nylon เมื่อประมาณ 50 ปีที่แล้ว ตามคำแนะนำของนักอนุรักษ์ชาวต่างประเทศ แม้ว่าภาพจิตรกรรมเหล่านั้นยังอยู่ในสภาพมั่นคงแข็งแรงดี เพราะอาคารได้รับการอนุรักษ์อยู่เสมอ แต่ก็สังเกตพบการเปลี่ยนแปลงบางอย่างที่เกิดจาก soluble nylon บนพื้นผิวจิตรกรรม รอเวลาที่จะได้รับการแก้ไข ซึ่งมีปัญหาสำคัญคือ ยังไม่สามารถละลายเอา soluble nylon ออกจากพื้นผิวจิตรกรรมได้

สภาพปัจจุบันของจิตรกรรมฝาผนังที่เคลือบผิวด้วย soluble nylon เมื่อประมาณ 50 ปีที่แล้ว

การเสื่อมสภาพของสารเคลือบผิวบางอย่างอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ทำให้เกิดการไขว้พันธะ (cross-link) หรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ค่อย ๆ ทำให้พันธะในสายโซ่โมเลกุลแตกหัก การไขว้พันธะทำให้ฟิล์มของสารเคลือบผิวกรอบเปราะ และมีแนวโน้มที่จะแตกร้าวและหลุดล่อนมากขึ้น การแตกหักของสายโซ่โมเลกุล ทำให้เกิดโมเลกุลเล็ก ๆ ยิ่งมีการแตกหักมาก ฟิล์มจะอ่อนแอและป่นเป็นผง

การเปลี่ยนแปลงของสาร
เคลือบผิวบนภาพเขียน

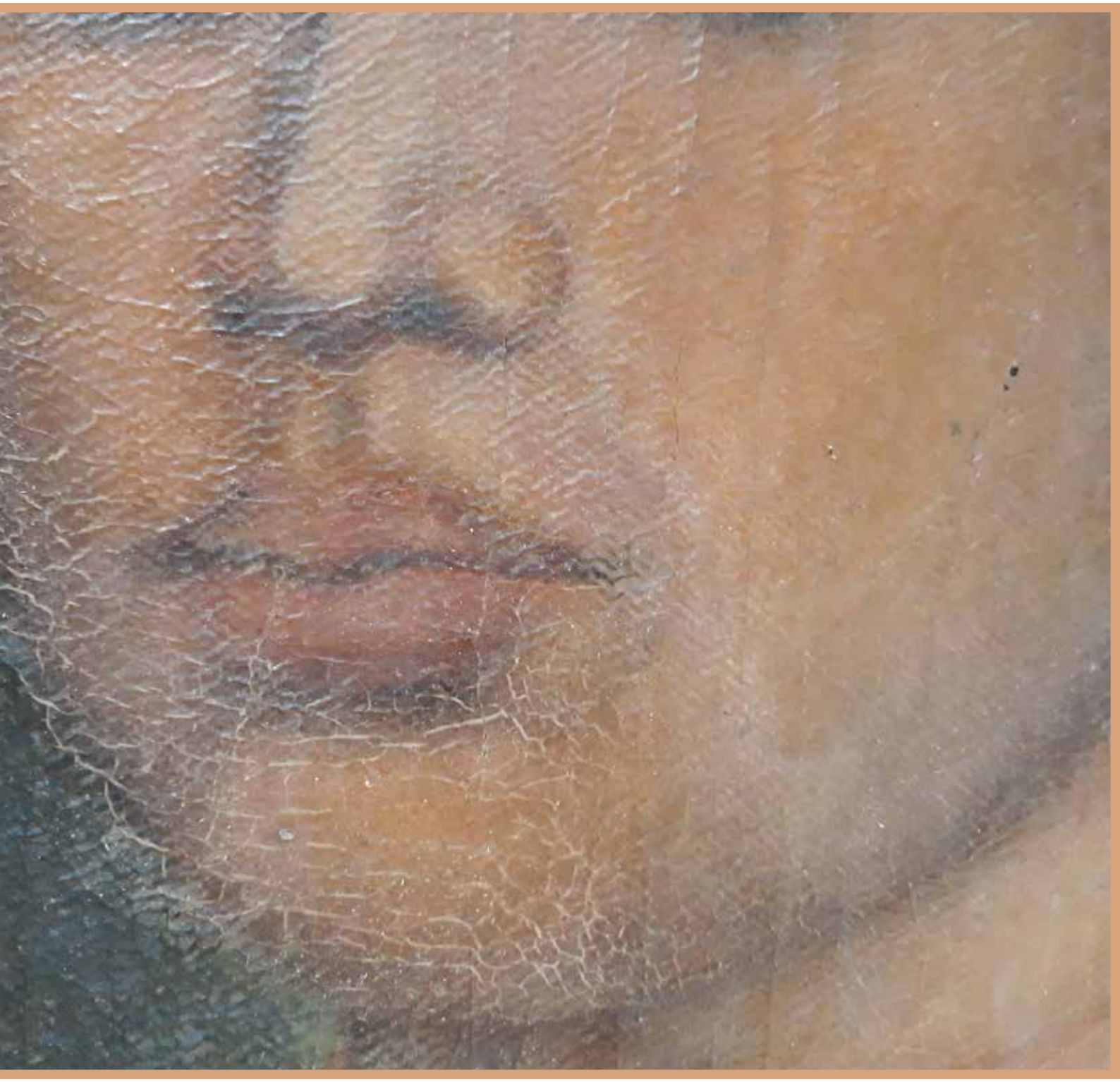
สารเคลือบผิวบางชนิดปลดปล่อยไอระเหยออกมาทำปฏิกิริยากับวัสดุอื่น ๆ ที่อยู่ภายใต้หรืออยู่ใกล้ ๆ เช่น พอลิยูรีเทนชนิดที่ไม่ต้องผสม สีน้ำมัน หรือสีอัลคิด จะปลดปล่อยไอกรด สารเคลือบผิวบางชนิดที่ทำจากอะครีลิกอาจส่งผลกระทบเช่นเดียวกัน สารเคลือบผิวบางชนิดมีตัวทำละลายผสมอยู่ ซึ่งจะแยกตัวตัวออกมาเป็นไอระเหยอยู่อีกนาน



การเสื่อมสภาพของสาร
เคลือบผิว

ภาพเขียนที่เขียนด้วยสีที่มีสารยึดน้อย (เช่น สีพาสเทล) หรือไม่มีสารยึด (เช่น ดินสอถ่าน) มีแนวโน้มที่ชั้นสีจะจางลงหรือบางส่วนหลุดหายไปจากการจับต้องหรือสัมผัสกับวัสดุอื่น ๆ ที่อยู่ใกล้หรือการสั่นสะเทือนระหว่างการขนส่ง จึงมักใช้สารเคลือบผิวที่เรียกว่า fixative ซึ่งเป็นสารละลายเจือจางของเรซินในตัวทำละลาย ทำหน้าที่เพิ่มแรงยึดเหนี่ยวของชั้นสี ช่วยให้สารสีอยู่กับที่และยึดติดกับชั้นรองรับ และช่วยปกป้องผิวหน้าของภาพจากการสั่นสะเทือน ครูดถู สัมผัส การใช้ fixative มีทั้งข้อดีและข้อเสีย จึงต้องเลือกใช้อย่างระมัดระวัง เช่น ต้องเลือก fixative ที่มีคุณภาพดี มีองค์ประกอบที่ผ่านการทดลอง/วิจัยมาแล้วว่าปลอดภัยในระยะยาว fixative บางชนิดทำให้สีบนภาพเขียนเปลี่ยนไป บางชนิดทำให้ลักษณะคล้ายชอล์กของสีพาสเทลเปลี่ยนไป บางชนิดทำให้เกิดปฏิกิริยาที่ไม่คาดคิดระหว่าง fixative กับสีและสารยึด fixative ที่อยู่ในรูปของสเปรย์มักมีอนุภาคและไอระเหยที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ

การใช้ fixative ด้วยวิธีหรือปริมาณที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้ภาพเขียนแลดูแบนหรือสูญเสียมิติแทนที่จะได้ภาพที่มีความคม ชัด ลึก มีแสงเงา บางครั้งทำให้เกิดพื้นผิวที่สะท้อนแสงหรือมีสีเปลี่ยนไป แต่ที่สำคัญที่สุดคือ หากต้องการเก็บรักษาในระยะยาว ควรตระหนักว่า fixative แทบทุกชนิดเกิดการเปลี่ยนแปลงตามกาลเวลา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง fixative ราคาถูกและไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับชนิดและองค์ประกอบที่แน่นอน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงบางอย่างอาจส่งผลกระทบต่อภาพเขียนอย่างมาก เมื่อถึงเวลานั้นจะแก้ไขเปลี่ยนแปลงไม่ได้ เช่น fixative อาจไม่โปร่งใสเหมือนเดิมหรือเปลี่ยนสี บดบังรายละเอียดบนภาพ แทบทุกกรณีพบว่าไม่สามารถแยก fixative ออกจากชั้นสีโดยไม่ทำให้ชั้นสีเสียหายมากกว่าเดิม



บทที่ 3

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากเทคนิคในการสร้างสรรค์งาน

เทคนิคในการสร้างสรรค์งานอาจทำให้ศิลปกรรมมีการเปลี่ยนแปลงทั้งในระยะสั้นและระยะยาว ตัวอย่างเช่น ในการเขียนภาพสีน้ำมัน หากใช้น้ำมันลินสีดหรือน้ำมันวอลนัทในอัตราส่วนที่ไม่เหมาะสม เช่น ใช้น้ำมันมากเกินไป จะทำให้ภาพสีน้ำมันนั้น ๆ มีชั้นสีย่นหรือเป็นคลื่น

ชั้นสีเป็นรอยย่นหรือเป็นคลื่น เนื่องจากใช้น้ำมันมากเกินไป

สารสีแดงจากเหล็กออกไซด์ ถ้าบดละเอียดมากเกินไปแล้วใช้กับน้ำมันชักแห้ง จะมีอาการที่เรียกว่า “*ตกสี*”(bleeding)

บางกรณีภาพเขียนเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเลือกใช้สารสีผิดพลาด หากไม่วิเคราะห์ให้ละเอียด บางครั้งผู้ขายอาจสลับสับเปลี่ยนกันโดยไม่ตั้งใจ สารสีสองชนิดอาจมีสีและลักษณะอนุภาคเหมือนกันจนแยกด้วยตาเปล่าไม่ออก แต่มีคุณสมบัติทางเคมีแตกต่างกันอย่างมาก และเกิดการเปลี่ยนแปลงไม่เหมือนกัน ส่งผลให้สีสันบนภาพเขียนไม่เป็นไปตามที่ตั้งใจ

การเขียนภาพบนพื้นผิวที่เรียบและมัน เช่น โลหะ กระจก กระดาษผิวเรียบ ชั้นสีจะไม่ค่อยยึดติดกับพื้นผิว จึงเกิดรอยแตกรานตั้งแต่ระยะเริ่มแรก ช่างเขียนบางคนใช้ยางมะตอยเป็นชั้นรองพื้น เมื่อระบายสีทับจะเกิดรอยแตกขนาดใหญ่ เนื่องจากยางมะตอยแทรกซึมเข้าไปในชั้นสี บางกรณีช่างระบายสีในหลายทิศทาง ทำให้เกิดรอยแตกเป็นร่างแห ไม่สม่ำเสมอ

วิธีการบดสารสีส่งผลกระทบต่อสีของสารสี เช่น สารสีเขียวมาลาไคต์มีหลายสี ถ้าบดหยาบ ๆ จะได้สีเขียวสด ถ้าบดละเอียดจะได้สีเขียวอ่อน นอกจากนี้สีของสีเขียวมาลาไคต์ยังเปลี่ยนไปตามชนิดของสารยึด เช่น ในสีน้ำจะได้สีเขียวอ่อน ในสีน้ำมันจะได้สีเขียวเข้มขึ้น และจะได้สีเขียวสวยขึ้นเมื่อใช้กับสีเทมเพอรา อีกตัวอย่างหนึ่งคือสารสีแดงจากเหล็กออกไซด์ ถ้าบดละเอียดมากเกินไปแล้วใช้กับน้ำมันชักแห้ง จะมีอาการที่เรียกว่า *"ตกสี"* (bleeding)

บางครั้งการเปลี่ยนแปลงเกิดจากวิธีทาหรือระบายสี เช่น สารสีเขียวเวอริเดียนซึ่งเป็นสารประกอบโครเมียมออกไซด์ เป็นสารสีที่โปร่งใส ทนทาน และไม่เป็นพิษ แต่มีแนวโน้มที่จะแตกร้าวถ้าทาหรือระบายหนาเกินไป บางกรณีชั้นสีที่มีความมันวาวมากเกินไป อาจเกิดจากการระบายสีลงบนพื้นผิวที่ไม่ลงรองพื้น ใช้รองพื้นราคาถูก ใช้ทินเนอร์มากเกินไป ระบายสีบางเกินไป หรือผสมสีโดยใช้ตัวทำละลายมากเกินไป

การเปลี่ยนแปลงบางอย่างบนภาพเขียนอาจเกิดจากการผสมสี บางครั้งสารสีสองชนิดหรือมากกว่าสองชนิดที่อยู่ติดกันทำปฏิกิริยากันเอง เกิดเป็นสารประกอบใหม่ ทำให้สีเดิมเปลี่ยนไป เช่น สีแดงชาดซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีเป็นปรอทซัลไฟด์ เมื่ออยู่ใกล้กับสีขาวตะกั่วจะทำให้เกิดสีดำ เพราะปรอทซัลไฟด์ทำปฏิกิริยากับตะกั่วคาร์บอเนต แล้วได้ตะกั่วซัลไฟด์ ซึ่งมีสีดำ สารสีที่ทำจากสารประกอบของตะกั่ว เช่น สีขาวตะกั่ว สีแดงเสน สีเหลืองตะกั่ว ฯลฯ เปลี่ยนเป็นสีดำเมื่อทำปฏิกิริยากับสารสีอื่น ๆ ที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ หรือได้รับสารประกอบกำมะถันจากสิ่งแวดล้อม และมักเกิดตะกั่วออกไซด์เป็นฟิล์มบาง ๆ หรือเป็นจุด ๆ การใช้สีขาวตะกั่วผสมกับสีฟ้าอัลตรามารีน มีแนวโน้มที่จะหลุดล่อนหรือป่นเป็นผง สีฟ้าอัลตรามารีนสังเคราะห์ทนแสงสว่างได้ดี แต่จะเปลี่ยนสีถ้ามีกรดอยู่ใกล้ ๆ สีน้ำเงินโคบอลต์เมื่อใช้ร่วมกับ Burnt sienna จะรวมตัวเป็นก้อนแล้วจมลง

ศิลปินมักใช้สารเร่งแห้งในการเขียนภาพสีน้ำมัน เพื่อช่วยให้ชั้นสีแห้งเร็วขึ้น สารเร่งแห้งบางชนิดอาจทำปฏิกิริยาเคมีกับสารสีหรือสารยึด เกิดเป็นสารประกอบใหม่ที่ส่งผลกระทบต่อภาพ บางกรณีทำให้สีเปลี่ยนไป เช่น สารประกอบของตะกั่ว ช่วยทำให้ชั้นสีน้ำมันแห้งเร็วขึ้น แต่ทำให้ดัชนีหักเหของชั้นสีเปลี่ยนไป

สีสันบนภาพเขียนสีน้ำมันที่ผิดเพี้ยนไปเพราะใช้กำมะถันเป็นสารเร่งแห้ง

น้ำมันหรือสารยึดอื่น ๆ ที่ไม่ชอบน้ำ มีส่วนช่วยปกป้องสารสีจากการทำปฏิกิริยากับความชื้นและทำปฏิกิริยากับสารสีอื่น ๆ ระหว่างการบดสารสีในน้ำมันชักแห้ง น้ำมันชักแห้งจะห่อหุ้มรอบอนุภาคของสารสี ทำให้สารสีไม่มีโอกาสเข้าทำปฏิกิริยากับสารสีที่อยู่ใกล้ ด้วยเหตุนี้ภาพเขียนสีน้ำมันจึงคงสภาพได้ดีกว่าภาพเขียนสีน้ำและสีฝุ่น แต่ถ้าช่างใช้ทินเนอร์ในการผสมสี ทินเนอร์จะทำให้น้ำมันที่เคลือบผิวอนุภาคของสารสีละลายออกไป ทำให้สารสีเกิดการเปลี่ยนแปลงง่ายขึ้น แม้ว่าการเปลี่ยนแปลงเช่นนี้จะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ แต่ก็เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นบ่อยมาก

ภาพเขียนสีน้ำ สีอะครีลิก และพาสเทล ใช้สารยึดเพียงเล็กน้อย สารยึดจึงไม่ช่วยห่อหุ้มหรือแยกอนุภาคของสารสีต่างชนิดกันออกจากกัน สารสีมีโอกาสที่จะสัมผัสกันและทำปฏิกิริยากันได้ เพราะฉะนั้นเมื่อผู้ผลิตตระหนักในผลของการเปลี่ยนแปลงที่ไม่พึงประสงค์ จึงไม่ผลิตสารสีที่สร้างปัญหาออกมาจำหน่ายอีกต่อไป และผลิตสารสีใหม่ ๆ ที่คิดว่าสร้างปัญหาน้อยกว่าออกมาจำหน่ายแทน เช่น สีขาวตะกั่ว สีเหลืองเนเปิล สีแดงโครเมียม สีเขียวโครเมียม และสีแดงเสนเมื่ออยู่ใกล้กับกำมะถัน (ที่ช่างบางคนใช้เป็นสารเร่งแห้ง) และสารสีที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ เช่น สีแดงแคดเมียม สีเหลืองแคดเมียม สีส้มแคดเมียม สีเขียวแคดเมียม สีแดงชาด ฯลฯ จะเปลี่ยนเป็นสีเทา–ดำ หรือการเปลี่ยนแปลงของสารสีที่เป็นสารประกอบของทองแดง เช่น Emerald green, Malachite, Verdigris, Azurite เมื่อทำปฏิกิริยากับกำมะถันหรือสารสีที่มีกำมะถันจะมีสีเปลี่ยนไป สารสีที่มีปัญหาเหล่านี้จึงหายากในปัจจุบัน แต่จะพบบนศิลปกรรมที่ผลิตก่อนหน้าที่จะทราบว่าสารสีนั้น ๆ มีข้อเสียอย่างไร

ความรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ทำให้มีคำแนะนำให้ปรับเปลี่ยนการใช้สารสีที่แตกต่างไปจากเดิม เช่น ในกรณีที่ต้องการผสมสารสีที่เป็นสารประกอบของแคดเมียมกับสารสีขาว เพื่อให้ได้สีแดงอ่อนลง จะไม่ใช้สีขาวตะกั่ว แต่ใช้สีขาวสังกะสีหรือสีขาวไทเทเนียม และสีขาว lithopone แทน เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหา

สารสีที่ทำจากสีย้อมบางชนิด เช่น Alizarin crimson ตามปกติทนต่อแสงสว่างและก๊าซในบรรยากาศได้ดี จึงนิยมใช้ระบายเป็นชั้นบาง ๆ บนพื้นผิวที่แห้ง เมื่อผสมกับสารสีขาว มักจะมีซีดจาง หรือถ้าผสมกับสารสีจากดินจะสูญเสียความคงทนต่อแสงสว่างและก๊าซ แต่ถ้าผสมกับสารสีดำหรือออกไซด์จะไม่ส่งผลกระทบต่อความคงทน ในอดีตปัญหานี้ไม่ค่อยปรากฏ เพราะสารสีที่ทำจากสีย้อมมีน้อย แต่ปัจจุบันมีการใช้สีย้อมเป็นสารสีมากกว่าครึ่งหนึ่งของสารสีทั้งหมด โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารสีที่ได้จากการสังเคราะห์ ส่วนใหญ่เป็นสีย้อมทำให้พบปัญหาบ่อยขึ้น และจะเป็นปัญหาที่นักอนุรักษ์รุ่นหลัง ๆ ต้องเผชิญ

บางครั้งการเปลี่ยนแปลงของสารสีเกิดจากสิ่งแปลกปลอมที่ช่างเขียนเติมลงในขั้นตอนการเตรียมสี เช่น สีน้ำเงินอะซูไรต์ ตามปกติไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงตามความชื้น แต่ถ้าใช้กับกาวหนังสัตว์ที่ช่างผสมเกลือแกงลงไปด้วย ในที่ที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า 75% จะเปลี่ยนสีเป็นสีเขียวสดเพราะเกิดสารประกอบ basic copper chloride [$Cu_2(OH)_3Cl$] หรือช่างบางคนนำสีเขียวที่ได้จากสารประกอบของทองแดงมาผสมกับน้ำมะนาว เพื่อให้ได้สีเขียวที่สดใสยิ่งขึ้น น้ำมะนาวเป็นกรดที่แรง (มีค่า pH 2) สามารถกัดเนื้อวัสดุให้อ่อนแอลงได้ นอกจากนี้กรดซิตริกจากน้ำมะนาวยังทำปฏิกิริยากับสารสีและวัสดุต่าง ๆ ได้สารประกอบใหม่อีกมากมาย

> สารสีมีโอกาสที่จะสัมผัสกันและทำปฏิกิริยากันได้ เพราะฉะนั้นเมื่อผู้ผลิตตระหนักในผลของการเปลี่ยนแปลงที่ไม่พึงประสงค์ จึงไม่ผลิตสารสีที่สร้างปัญหาออกมาจำหน่ายอีกต่อไป และผลิตสารสีใหม่ ๆ ที่คิดว่าสร้างปัญหาน้อยกว่าออกมาจำหน่ายแทน

สีแดงชาดที่ผสมกับไข่แดงในการวาดภาพเทมเพอรา มีสีคล้ำลงเร็วกว่าสีแดงชาดที่ผสมกับน้ำมันชักแห้งในภาพเขียนสีน้ำมัน แต่ในภาพเขียนสีน้ำมัน สีแดงชาดจะเร่งอัตราการออกซิเดชันของฟิล์มที่เกิดจากน้ำมันที่แข็งตัว

เมื่อใช้หรดาลเป็นสารสีในสีน้ำมักมีปัญหาเกิดขึ้น หรดาลมักมีสีอ่อนลงเพราะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากน้ำและแสงสว่าง แต่ถ้าใช้กับสีน้ำมันและอยู่ในที่ที่มีความชื้นต่ำ ปัญหานี้จะไม่เกิด แต่ถ้าความชื้นสูง หรดาลจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อน นอกจากนี้หรดาลยังสามารถกัดกร่อนสารยึดจนทำให้ชั้นสีผุและหลุดร่วง ถ้าใช้หรดาลผสมกับสารสีขาว เช่น สีขาวสังกะสีหรือสีขาวไทเทเนียม จะทำให้สีเหลืองเปลี่ยนไปเป็นสีน้ำตาลหรือสีเนื้อ นอกจากนี้สารสีเหลืองจากหรดาลที่อยู่ใกล้ชิดกับสารสีที่ทำจากสารประกอบตะกั่วจะทำให้สีเปลี่ยนไป เพราะจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างตะกั่วกับกำมะถันจากสารหนู และสารสีชนิดนี้ยังให้ไอระเหยที่สามารถเคลื่อนที่ไปทำปฏิกิริยากับสารประกอบตะกั่วที่อยู่ไกลออกไปหลายนิ้ว

การใช้สีน้ำมัน พบว่าบางครั้งสีอ่อน ๆ ที่ระบายหรือทาไว้ในตอนแรก เปลี่ยนสีเป็นเข้มขึ้น อาจเป็นเพราะสารสีบางชนิดที่ละลายได้ในน้ำมันเคลื่อนตัวแทรกซึมขึ้นมาอยู่บนผิวหน้า ทำให้ได้สีที่ไม่ตรงกับความต้องการ บางครั้งพบว่าการเปลี่ยนแปลงของชั้นสีเกิดจากการใช้สารสีผสมกันในอัตราส่วนไม่เหมาะสม ทำให้เกิดรอยแตกราน เช่น การผสมชอล์กปริมาณมากจะทำให้ชั้นสีแตกราน

การเลือกใช้สารสีไม่เหมาะสมกับสารยึดอาจส่งผลให้ชั้นสีเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก เช่น สารสีเซรูเลียน (Cerulean blue) ซึ่งเป็นสารประกอบโคบอลต์สแตนเนต มีความทนทานมาก แต่ไม่เหมาะกับสีน้ำ เนื่องจากจะป่นเป็นผงง่าย ถ้าใช้กับสีน้ำมันจะคงสภาพได้ดีกว่า สีน้ำเงินจากครามไม่ทนต่อแสงสว่าง แต่ทนต่อก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีและทนต่อน้ำมันได้ไม่ดี

บางกรณีชั้นสีบนภาพเขียนสีน้ำมันมีลักษณะด้าน ไม่เป็นมัน เนื่องจากน้ำมันที่อยู่บนผิวหน้าชั้นบนสุดจมลงสู่ชั้นสีด้านล่าง ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า sinking เกิดจากชั้นสีส่วนบน ๆ มีความสามารถในการดูดซึมดีเกินไป ใช้ตัวทำละลายมากเกินไป หรือใช้สารยึดน้อยเกินไป

การเคลือบผิวภาพเขียนสีน้ำมันด้วยวาร์นิชควรทำหลังจากชั้นสีแห้งสนิทดีแล้ว หากเคลือบผิวขณะที่ชั้นสียังไม่แห้งสนิท ชั้นของสารเคลือบผิวจะปิดกั้นไม่ให้ออกซิเจนเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารยึด (น้ำมันชักแห้ง) เพราะฉะนั้นชั้นสีจะยังคงสภาพเหนียวเหนอะหนะอยู่ต่อไป ไม่สามารถแห้งสนิทเป็นฟิล์มแข็งได้ เช่นเดียวกับการเก็บภาพเขียนสีน้ำมันที่ยังไม่แห้งไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิสูงและความชื้นสูงเกินไป

นอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนแปลงหลายอย่างบนศิลปกรรมที่ยังไม่สามารถบ่งบอกได้อย่างชัดเจนว่าเกิดจากสาเหตุใด ส่วนหนึ่งคาดเดาว่าอาจเกิดจากวัสดุและเทคนิคในการสร้างสรรค์งานหรืออาจเกิดจากปฏิริยาระหว่างวัสดุกับสิ่งแวดล้อม

บทที่ 4

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากสภาพแวดล้อม

วัสดุแต่ละชนิดที่ใช้สร้างสรรค์ศิลปกรรมต่างมีลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ กัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศไทยที่ตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น มีฝนตกชุกยาวนาน มีอากาศร้อนเกือบตลอดปี และมีแสงแดดแผดจ้ามาก อัตราการเสื่อมสภาพของวัสดุต่าง ๆ จัดอยู่ในระดับสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับการเสื่อมสภาพของวัสดุในภูมิภาคที่มีอากาศหนาวเย็น

ปัจจัยสิ่งแวดล้อมสำคัญที่ทำให้วัสดุต่าง ๆ เกิดการเปลี่ยนแปลง ได้แก่ แสงสว่าง อุณหภูมิ ความชื้น ก๊าซและมลพิษในอากาศ พืช สัตว์ แมลง และจุลินทรีย์

1. แสงสว่าง

วัสดุต่างๆ ที่ได้รับแสงเป็นเวลานาน ๆ มักเกิดการเปลี่ยนแปลงหลายรูปแบบ การเปลี่ยนแปลงที่มองเห็นได้ชัดคือการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น มีสีซีดจางหรือมีสีเปลี่ยนไปจากเดิม เช่น สารสี (dye) ที่ทำจากสีย้อมที่สกัดจากพืช สัตว์ และจากการสังเคราะห์ มักมีสีซีดลงภายในเวลาไม่นาน เนื่องจากโมเลกุลของสารอินทรีย์ประกอบด้วยคาร์บอนซึ่งสร้างพันธะกับคาร์บอนด้วยพันธะโคเวเลนต์ (covalent bond) ซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายเมื่อได้รับแสงหรือรังสีอัลตราไวโอเลต เพราะฉะนั้น สีเลคและสีย้อมจะซีดจางง่ายเมื่อได้รับแสง โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากมีความชื้นสูงร่วมด้วย พลาสติก

กาวสังเคราะห์ กระดาษ ขนสัตว์ปีก เครื่องเขิน วัตถุที่ทายางรัก สารเคลือบผิว ฯลฯ เปลี่ยนสีเมื่อได้รับแสงเป็นเวลานาน

แหล่งกำเนิดแสงต่าง ๆ เช่น แสงอาทิตย์ หลอดไฟต่าง ๆ มีรังสีอัลตราไวโอเลต (ultraviolet radiation) รังสีอินฟราเรด (infrared radiation) และแสงที่ตามองเห็น (visible radiation) อยู่ด้วยกันในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน พลังงานของรังสีต่าง ๆ มีค่าผกผันกับความยาวคลื่น รังสีที่มีความยาวคลื่นต่ำจะมีพลังงานสูงกว่ารังสีที่มีความยาวคลื่นสูง เช่น รังสีเอกซ์ มีความยาวคลื่น 0.01–1 นาโนเมตร รังสีอินฟราเรด มีความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร–1 มิลลิเมตร รังสีอัลตราไวโอเลตมีความยาวคลื่น 1–400 นาโนเมตร ในขณะที่แสงที่ตามองเห็นมีความยาวคลื่น 400–700 นาโนเมตร เพราะฉะนั้นรังสีเอกซ์มีพลังงานสูงที่สุดในบรรดารังสีที่นำมาเปรียบเทียบ รองลงมาคือรังสีอัลตราไวโอเลต แสงที่ตามองเห็น และรังสีอินฟราเรดตามลำดับ เพราะฉะนั้นรังสีอัลตราไวโอเลตในแสงแดดและแหล่งกำเนิดแสงอื่น ๆ มีบทบาทสำคัญต่อการเสื่อมสภาพของอินทรียวัตถุต่าง ๆ ตามปกติ พันธะเคมีระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอนเกิดจากคาร์บอนมีสี่อิเล็กตรอนในวงโคจรชั้นนอก จึงแบ่งปันอิเล็กตรอนกับอะตอมหรือโมเลกุลอื่น เป็นอิเล็กตรอนที่จับคู่กันสี่คู่อย่างแน่นหนา เนื่องจากอะตอมของคาร์บอนมีขนาดเล็กนิวเคลียสจึงมีแรงยึดเหนี่ยวอิเล็กตรอนในวงโคจรรอบนอกที่จับคู่กับอะตอมอื่นได้อย่างแข็งแรง ทำให้พันธะคาร์บอน–คาร์บอนมีพลังงานในการจับยึดกัน 145 กิโลแคลอรีต่อโมล (Kcal/mol) ถ้าคาร์บอนและคาร์บอนสร้างพันธะคู่ (double bond) จะมีพลังงานในการจับยึดกัน 146 กิโลแคลอรีต่อโมล ในขณะที่พันธะสาม (triple bond) มีพลังงานในการจับยึดกัน 212 กิโลแคลอรีต่อโมล สารประกอบที่มีพันธะเหล่านี้จึงเสถียรมาก แต่รังสีอัลตราไวโอเลตมีพลังงานสูงพอที่จะทำให้พันธะคาร์บอน–คาร์บอนแตกหักได้ ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากโมเลกุล เรียกว่า กระบวนการ ionization และเหลืออิเล็กตรอนที่ไม่มีคู่อยู่ในโมเลกุล

หากรังสีอัลตราไวโอเลตร่วมกับออกซิเจนเข้าทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่เรียกว่า photo–oxidation degradation รังสีอัลตราไวเลตที่มีความยาวคลื่น 242 นาโนเมตร สามารถทำให้โมเลกุลของออกซิเจน (มีออกซิเจนสองอะตอมสร้างพันธะกัน) แตกออก กลายเป็นออกซิเจนอิสระหนึ่งอะตอม ซึ่งว่องไวในปฏิกิริยา จะไปรวมกับออกซิเจนหนึ่งโมเลกุล กลายเป็นโอโซน (มีออกซิเจนสามอะตอมในหนึ่งโมเลกุล) ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้อย่างรวดเร็ว ทำให้วัสดุที่ทำจากสารอินทรีย์เกิดการเปลี่ยนแปลงในระดับโมเลกุล (โมเลกุลแตกหัก) ส่วนวัสดุที่เป็นสารอนินทรีย์ทนต่อแสงสว่างได้ดีกว่า เนื่องจากส่วนใหญ่เป็นวัสดุที่มีแรงยึดเหนี่ยวแบบ ionic bond ซึ่งไม่แตกหักง่ายเมื่อได้รับแสง

รังสีอัลตราไวโอเลตมีความยาวคลื่นระหว่าง 100-400 นาโนเมตร มีพลังงานสูงพอที่จะทำให้โมเลกุลของอินทรียวัตถุหลายชนิดแตกหัก

รังสีอัลตราไวโอเลตมีความยาวคลื่นระหว่าง 100–400 นาโนเมตร มีพลังงานสูงพอที่จะทำให้โมเลกุลของอินทรียวัตถุหลายชนิดแตกหัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีความยาวคลื่นสั้นแต่มีพลังงานสูง เช่น UVC (มีความยาวคลื่น 100–280 นาโนเมตร) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมากที่สุด ส่วนรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีความยาวคลื่นปานกลางคือ UVB (มีความยาวคลื่น 218–315 นาโนเมตร) และรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีความยาวคลื่นยาวคือ UVA (มีความยาวคลื่น 315–400 นาโนเมตร) และแสงที่ตามองเห็น (มีความยาวคลื่น 380–750 นาโนเมตร) มีพลังงานไม่สูงเท่า UVC แต่ก็เพียงพอที่จะทำให้วัสดุบางอย่างเกิดการเปลี่ยนแปลงได้เช่นกัน แต่อาจใช้เวลานานกว่า

ระหว่างการเสื่อมสภาพของวัสดุต่าง ๆ มีกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดขึ้นมากมาย เริ่มจากการที่เมื่อรังสีอัลตราไวโอเลตตกกระทบบนสารอินทรีย์ โมเลกุลของวัสดุจะถูกกระตุ้นให้มีระดับพลังงานสูงขึ้นจากเดิม เป็นโมเลกุลที่ว่องไวในปฏิกิริยาและไม่เสถียร จากนั้นโมเลกุลนั้น ๆ จะกลับสู่สถานะเดิม ระหว่างนั้นออกซิเจนจะเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของสารอินทรีย์ เกิดเป็นอะตอมออกซิเจนและอนุมูลอิสระ (superoxide oxygen) ซึ่งทำลายโมเลกุลของสารอินทรีย์ เรียกกระบวนการนี้ว่า photooxidation (กระบวนการออกซิเดชันที่เกิดจากแสงหรือรังสี) ในที่สุดทำให้น้ำหนักโมเลกุลลดลง ความแข็งแรงลดลง เปลี่ยนสี และทำให้วัสดุบางอย่างสูญเสียความมันวาว

การเปลี่ยนแปลงของอินทรียวัตถุยังเกิดจากกระบวนการที่เรียกว่า photolysis ซึ่งสารอินทรีย์ดูดซับรังสี บางโมเลกุลถูกโฟตอนที่มีพลังงานสูงพอที่จะทำลายพันธะเคมีให้แตกหัก ทำให้เกิดโมเลกุลขนาดเล็กลง ทำให้เห็นว่าอินทรียวัตถุนั้น ๆ เปลี่ยนไป

อีกกระบวนหนึ่งเรียกว่า photoreduction หรือ photochemical reduction เกิดขึ้นกับอินทรียวัตถุที่มีพันธะคู่ (double bond) หรือพันธะสาม (triple bond) อยู่ในโครโมฟอร์ (chromophore) หากมีไฮโดรเจนและโฟตอนที่มีพลังงานเพียงพอ จะทำให้พันธะคู่และพันธะสามเกิดการแตกหัก ได้สารประกอบที่มีพันธะเดี่ยว ซึ่งจะทำให้ความยาวของสารโครโมฟอร์สั้นลง ทำให้สารอินทรีย์มีสีอ่อนลงหรือซีดจาง

เพราะฉะนั้นสารอินทรีย์ที่ได้รับแสงแดดจะสีซีดและอ่อนแอ โดยเกิดกระบวนการ photosensitization หรือ photochemical sensitization ซึ่งเกิดจากสารประกอบบางอย่างที่สามารถดูดซับแสงและถ่ายเทพลังงานไปสู่สารประกอบอื่น ๆ แล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ในขณะเดียวกันจะเกิดกระบวนการ phototendering ซึ่งทำให้เส้นใยที่ทำจากอินทรียวัตถุสูญเสียความแข็งแรง สูญเสียความยืดหยุ่น มีสีซีดจาง เนื่องจากรังสีอัลตราไวโอเลตทำให้สายโซ่โมเลกุลแตกหัก

วัสดุที่ทำจากสารอินทรีย์หลายชนิดเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายมากเมื่อได้รับแสงและรังสีอัลตราไวโอเลต เช่น พอลิเมอร์มักเปลี่ยนสีหรือมีสีเหลืองขึ้น วัสดุที่มีลิกนินและเซลลูโลส เช่น ไม้ กระดาษ จะมีสีเปลี่ยนไปเป็นสีเหลือง การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและสะสมตามระยะเวลา เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงแล้ว ไม่สามารถย้อนกลับได้

การซีดจางของสารสีที่ใช้ในการพิมพ์ภาพบนภาพพิมพ์ไม้แกะของญี่ปุ่น

สารสีบางส่วนที่ใช้ในการสร้างสรรค์ศิลปกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารสีที่ได้จากพืช สัตว์ และสารสังเคราะห์ ส่วนใหญ่เกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวและมีสีหายไป ซีดจางไป หรือเปลี่ยนไป แต่บางครั้งการซีดจางของสารสีไม่ได้เกิดจากแสงเสมอไป แต่อาจเกิดจากการที่สารสีสูญหายไประหว่างการครูดถู ขัดสี หรือการใช้งาน หรือเกิดจากการที่สารยึดอ่อนแอลงหรือสูญเสียแรงยึดเหนี่ยว ทำให้สารสีหลุดหายไป

ปฏิกิริยาทางเคมีของการซีดจางหรือเปลี่ยนแปลงของสารสีที่ใช้สร้างสรรค์ศิลปกรรมเป็นปฏิกิริยาที่ซับซ้อน สารสีแต่ละชนิดมีองค์ประกอบทางเคมีหลากหลาย องค์ประกอบบางอย่างทนต่อแสงได้ดีมาก เช่น Carbon black ไม่ซีดจางและทนทานต่อแสงดีที่สุด เช่นเดียวกับสารสีกลุ่มไซอัน (Cyan) การใช้สารสีหลายชนิดผสมกัน มีโอกาสที่จะเกิดการเปลี่ยนสี เพราะในขณะที่สารสีบางอย่างซีดจางง่ายเมื่อได้รับแสงเป็นเวลานาน เหลือแต่สารสีที่ทนต่อแสงได้ดี ทำให้สีนั้น ๆ เปลี่ยนไปจากเดิมหรือทำให้เกิดรอยด่างไม่สม่ำเสมอ ที่เห็นได้บ่อยมากคือสีเขียวที่เกิดจากการผสมสีเหลืองที่ได้จากพืชและสีน้ำเงิน ในเวลาต่อมาสารสีเหลืองส่วนใหญ่ซีดจางไป ทำให้ส่วนที่เคยเป็นสีเขียวกลายเป็นสีน้ำเงินหรือเทา ภาพเขียนโบราณบางภาพจึงมีทุ่งหญ้าสีน้ำเงินหรือสีเทา

สารสีในส่วนที่มีกระดาษแข็งปิดไว้ต่างจากส่วนที่ได้รับแสง

งานวิจัยฉบับหนึ่งรายงานผลการทดลองเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสารสีที่ใช้กับภาพพิมพ์ไม้แกะที่มีชื่อเสียงของญี่ปุ่นในคริสต์ศตวรรษที่ 19 (ภาพบน) บางส่วนใช้สารสีที่ไม่ทนต่อแสง ผลของการทดลองพบว่าส่วนที่ยังมีสีสดทางขอบขวาสุดของภาพคือส่วนที่ใช้กระดาษแข็งปิดเพื่อไม่ให้ได้รับแสง นั่นคือพื้นที่ที่ไม่ได้รับแสงยังมีสีสดใสกว่าพื้นที่ที่ได้รับแสง

สารสีแต่ละชนิด เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับแสงและรังสีอัลตราไวโอเลตไม่เหมือนกัน สารสีที่ได้จากแร่ส่วนใหญ่ เช่น สีขาวตะกั่ว สีเขียวมาลาไคต์ สีน้ำเงินอะซูไรต์ ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับแสง ยกเว้นสารสีที่ได้จากแร่บางชนิด เช่น สีส้มจากหรดาล (realgar) เกิดการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายเมื่อได้รับแสงในระยะยาว สีจะมีลักษณะขุ่นม้ว มีฟิล์มบาง ๆ ที่ประกอบด้วยผงสีขาวหรือกลายเป็นผงสีเหลือง เนื่องจากเปลี่ยนไปเป็น X-realgar และ Pararealgar

สีแดงเสนและสีเหลืองตะกั่วออกไซด์ (PbO) จะมีสีคล้ำขึ้นเมื่อได้รับแสง คาดว่าเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเป็น Pb(v) oxide ถ้าความชื้นต่ำสีดำคล้ำจะอยู่ทน แต่ถ้าความชื้นสูงและมีแสงสีจะอ่อนลง คาดว่าเกิดสีขาวตะกั่วขึ้นจากปฏิกิริยาเคมี ยิ่งมีแสงมากยิ่งเกิดเร็ว การเปลี่ยนแปลงเช่นนี้จะลดลงถ้าใช้สีแดงเสนและสีเหลืองในน้ำมันลินสีด

สารสีแดงบางชนิดเกิดจากการนำสีย้อมสีแดงราดลงบนผงสีขาว เมื่อทำให้แห้งจะได้ผงสีแดงที่เรียกว่า Red lake หลังจากใช้งาน สีจะซีดจางลงเรื่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีชมพู-ชมพูอ่อน—ขาว จากการที่สีย้อมสีแดงเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ทั้งเกิดจากกระบวนการออกซิเดชันและการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากแสง ซึ่งบางครั้งทำให้ผู้วิเคราะห์เข้าใจผิดได้

สารสีบางชนิดมีสีคล้ำขึ้นเมื่อได้รับแสง เช่น สีแดงชาด สีเหลืองโครเมต สีเขียวที่ทำจากสารประกอบของทองแดง ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ค่อนข้างซับซ้อน

เมื่อได้รับแสง สีเหลืองโครเมียมเปลี่ยนสีเป็นสีเขียวหรือมีสีคล้ำขึ้น เนื่องจากเปลี่ยนเป็นโครเมียมออกไซด์ เมื่อถูกออกซิไดซ์จากก๊าซในอากาศจะมีสีคล้ำขึ้นแม้ไม่มีแสงสว่าง และจะยิ่งคล้ำมากเมื่อความชื้นสูง ถ้าหากได้รับแสง สีเหลืองโครเมียมจะมีสีคล้ำลงเร็วขึ้น เช่นเดียวกับสีเหลืองตะกั่วโครเมตออกไซด์และสีเหลืองตะกั่ว–ดีบุกในน้ำมันไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับแสงและความชื้นสูง แต่ถ้าใช้กับสีเทมเพอราและมีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า 75% จะเปลี่ยนเป็นสีเทาเล็กน้อย เพราะเกิดตะกั่วไดออกไซด์ (มีสีดำ) ขึ้นบนผิว นาน ๆ ไปจะเกิดตะกั่วคาร์บอเนตซึ่งมีสีขาว เพราะตะกั่วออกไซด์ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ

สารสีบางชนิดมีสีคล้ำขึ้นเมื่อได้รับแสง เช่น สีแดงชาด สีเหลืองโครเมต สีเขียวที่ทำจากสารประกอบของทองแดง ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ค่อนข้างซับซ้อน การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้เป็นการเปลี่ยนแปลงอย่างถาวร ไม่สามารถทำให้กลับสู่สภาพเดิมได้

สีเขียวที่เป็นสารประกอบของทองแดงอีกชนิดหนึ่งคือ copper resinate ไม่ทนต่อแสง เมื่อได้รับแสงและออกซิเจนจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล เพราะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นทองแดงออกไซด์ สารสีอื่น ๆ ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน ได้แก่ lithopone เปลี่ยนเป็นสีเทา สีปรัสเซียนบลูมีสีอมเทามากขึ้นเมื่อได้รับแสง นี่คือเหตุผลที่ภาพเขียนโบราณบางภาพมีต้นไม้ใบไม้เป็นสีน้ำตาล แทนที่จะมีสีเขียว

แม้ว่ารังสีอัลตราไวโอเลตจะไม่ทำปฏิกิริยากับกระจก/แก้ว แต่ก็มีแก้ว/กระจกบางชนิดที่เกิดการเปลี่ยนแปลงได้เมื่อได้รับรังสีอัลตราไวโอเลต เช่น แก้ว/กระจกที่เติมแมงกานีสไดออกไซด์ในกระบวนการผลิต เพื่อช่วยทำให้กระจก/แก้วไม่มีสี เมื่อได้รับรังสีอัลตราไวโอเลตจะเปลี่ยนสีเป็นสีม่วง หรือกระจก/แก้วที่ผสมสารหนูและเซเลเนียมในขั้นตอนการผลิต เมื่อได้รับรังสีอัลตราไวโอเลตเป็นเวลานานจะเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาล การเปลี่ยนสีเช่นนี้เรียกว่า solarization

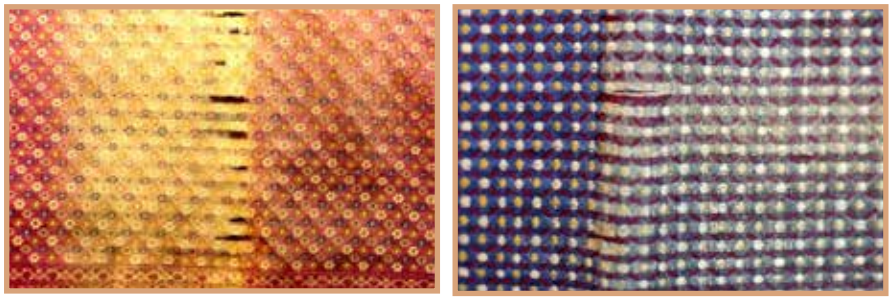
สารยึดที่ทำจากน้ำมันและสารอินทรีย์ต่าง ๆ เสื่อมสภาพได้ง่ายเมื่อได้รับรังสีอัลตราไวโอเลต ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ร่วมกับน้ำหรือความชื้น โดยเกิดการไขว้พันธะ (cross–linking) ได้ดีขึ้น เช่น ทำให้โมเลกุลของกรดไขมันในสารยึดแตกหักกลายเป็นกรดออกซาลิกและกรดอินทรีย์อื่น ๆ ซึ่งทำปฏิกิริยากับชั้นสี ชั้นรองพื้น ชั้นรองรับ และสารเคลือบผิวได้ต่อไป ส่งผลให้ชั้นเหล่านี้เริ่มมีรอยร้าวเล็ก ๆ แล้วแตกร้าว แยกตัว ลอกหลุดออกไปจากพื้นผิว น้ำจะแทรกซึมเข้าไปสะสมด้านในลึกขึ้น แล้วเกิดปัญหาอื่น ๆ ตามมา เช่น ทำให้สารเคลือบผิวเสื่อมสภาพเพิ่มขึ้นเป็นบริเวณกว้างขึ้น เกิดรอยแตกร้าวมากขึ้น มีเชื้อรา แมลงกิน เปลี่ยนสี และเน่าเปื่อย

แม้ว่ารังสีอินฟราเรดจะมีพลังงานไม่สูงมากพอที่จะทำให้โมเลกุลแตกหัก แต่ก็ทำให้วัสดุต่าง ๆ ร้อนขึ้น เป็นการเร่งอัตราการเสื่อมสภาพโดยกระบวนการต่าง ๆ และทำให้วัสดุสูญเสียความชื้น ในที่สุดจะกรอบเปราะ

การวัดความสามารถในการทนต่อแสงทำได้โดยนำตัวอย่างสารสีต่าง ๆ มาส่องด้วยแสงจากแหล่งกำเนิดแสงต่าง ๆ เป็นระยะเวลาเท่ากัน แล้วเปรียบเทียบผลกับสารสีที่เก็บไว้ในที่มืด

ลักษณะการเสื่อมสภาพของกระดาษและผ้าที่ได้รับแสงเป็นเวลานาน

ภาพเขียนบนเพดานด้านที่ได้รับแสงแดดซีดจางกว่าด้านใน



การเสื่อมสภาพของผ้าที่ได้รับแสงจากหลอดไฟในตู้จัดแสดงมากเกินไป

สารเคลือบผิวทุกชนิดเป็นสารประกอบอินทรีย์ ทั้งที่ได้จากธรรมชาติและจากการสังเคราะห์ ทำหน้าที่ปกป้องเนื้อวัสดุจากปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้วัสดุเสื่อมสภาพ เช่น ป้องกันโลหะจากการเกิดสนิมหรือเกิดการกัดกร่อน ป้องกันอุณหภูมิและความชื้น ป้องกันแสง ก๊าซ และปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ แต่สารเคลือบผิวหลายชนิดผลิตจากวัตถุดิบที่ไม่เสถียรหรือมีส่วนผสมไม่เหมาะสม หรือมีการเตรียมพื้นผิวก่อนการเคลือบผิวไม่ดีพอหรือใช้วิธีการไม่ถูกต้อง ปัจจัยเหล่านี้ทำให้สารเคลือบผิวเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สารเคลือบผิวที่ใช้งานกลางแจ้งมักเสื่อมสภาพอย่างรุนแรงและรวดเร็ว หากเลือกใช้สารเคลือบผิวที่ทำจากวัตถุดิบและสารเติมแต่งที่ไม่ทนทานต่อแสง เมื่อรังสีต่าง ๆ จากแสงแดดทำให้สารเคลือบผิวอ่อนแอลง ประสิทธิภาพในการปกป้องพื้นผิวจากน้ำ ความชื้นและก๊าซต่าง ๆ ในบรรยากาศจะลดลงอย่างต่อเนื่อง ในที่สุดสารเคลือบผิวจะแตกร้าว หลุดล่อน และป่นเป็นผง ทำให้วัสดุที่อยู่ภายใต้สารเคลือบผิวเสื่อมสภาพมากยิ่งขึ้น กล่าวได้ว่าการเสื่อมสภาพเกิดขึ้นตั้งแต่เริ่มใช้งาน เพราะฉะนั้นหลังจากใช้สารเคลือบผิว ต้องมีการบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่อง

สารเคลือบผิวที่ใช้บ่อยคือ *"สีทาอาคาร"* ซึ่งมีสีเปลี่ยนไปหลังจากใช้งานไประยะหนึ่ง ส่วนมากมีสีซีดลง เนื่องจากแสงแดดทำให้ chromophore เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลหรืออาจเกิดจากสารสีบางชนิดทำปฏิกิริยาเคมีกับสารเคมีที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อม เช่น ออกซิเจน กรดไนตริก โอโซน ฯลฯ แล้วมีสีเปลี่ยนไป ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นเป็นส่วนใหญ่ในกระบวนการเสื่อมสภาพของสารเคลือบผิวคือกระบวนการออกซิเดชัน

เมื่อศิลปกรรมที่ทำด้วยไม้ได้รับแสงแดด นอกจากจะทำให้ไม้ร้อนขึ้นแล้ว ผิวหน้าของไม้ดูดซับรังสีอัลตราไวโอเลต แล้วเกิดปฏิกิริยาที่โมเลกุลของไม้ถูกกระตุ้นโดยแสงหรือโฟตอน (photon) ที่โมเลกุลดูดซับไว้ เรียกว่า photochemical reaction แล้วทำให้เกิดอนุมูลอิสระ ซึ่งจะไปเริ่มต้นกระบวนการเสื่อมสลาย (degradation)

ไม้ดูดซับรังสีอัลตราไวโอเลตได้ดี โดยเฉพาะบางส่วนในโครงสร้างอันซับซ้อนของลิกนิน ได้แก่ quinoid structure ไม้ที่ตากแดดอยู่เสมอจะมีปริมาณลิกนินลดลง มีความเป็นกรดสูงขึ้น และมีปริมาณของกลุ่มคาร์บอนิล (carbonyl) สูงขึ้น และเกิดสารประกอบอื่น ๆ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ เมทิลแอลกอฮอล์ ฟอร์มาลดีไฮด์ กรดอินทรีย์ ฯลฯ ในระยะแรก ลิกนินในเนื้อไม้เกิดการเปลี่ยนแปลงและสลายตัวไป เนื้อไม้จะมีสีน้ำตาล เมื่อลิกนินที่สลายตัวถูกชะล้างออกไปโดยลมและฝน เนื้อไม้จะมีสีเทา ไม้ที่ได้รับแสงแดดอยู่เสมอจะมีสีเปลี่ยนไปจากเดิม ผิวหน้าของไม้จะหยาบขึ้น ความเป็นมันหายไป มีรอยแตกเล็ก ๆ ทั่วไป บางครั้งผิวของไม้เป็นขุย ๆ

แต่รังสีอัลตราไวโอเลตทะลุทะลวงเข้าในเนื้อไม้ได้ไม่ดีนัก น้อยกว่า 75 ไมโครเมตร ในขณะที่แสงที่ตามองเห็น สามารถทะลุทะลวงได้ถึง 200 ไมโครเมตร รังสีทั้งสองนี้รวมทั้งรังสีอินฟราเรดทำให้ไม้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้อีกมากมาย ทำให้ไม้มี Degree of Polymerization (DP) ลดลง เนื่องจากเซลลูโลสแตกหักเป็นโมเลกุลสั้น ๆ จึงมีความแข็งแรงลดลง ปฏิกิริยาเหล่านี้เกิดได้ดีเมื่ออุณหภูมิสูงและความชื้นสูง ถ้าความชื้นต่ำจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นส่วนใหญ่ แต่ถ้าความชื้นสูงจะเกิดปฏิกิริยา hydrolysis ร่วมด้วย

การเปลี่ยนสีของไม้ที่ตากแดดตากฝน

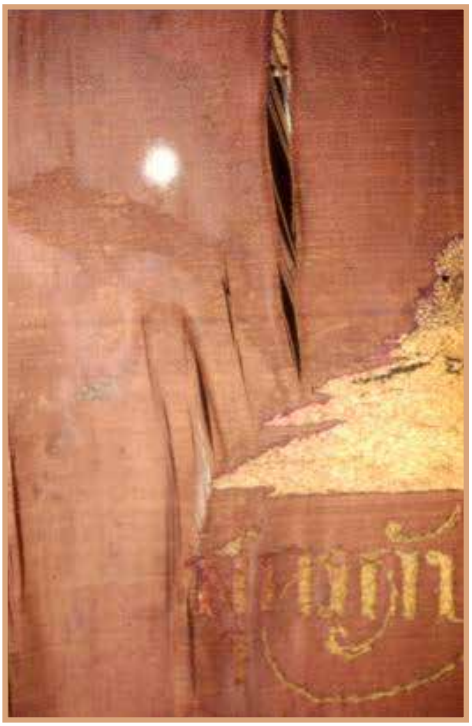
แม้ว่าไม้ส่วนใหญ่จะมีสารเคลือบผิว แต่สารเคลือบผิวส่วนใหญ่ไม่สามารถปกป้องเนื้อไม้จากแสงแดดได้ สารเคลือบผิวเองก็เสื่อมสภาพจากกระบวนการ photodegradation เช่นเดียวกัน แล้วอยู่ในสภาพแตกระแหง หลุดออกเป็นแผ่น ๆ หรือเป็นชั้น ๆ ทำให้ไม้เกิดการเสื่อมสภาพมากขึ้นเรื่อย ๆ

2. อุณหภูมิและความชื้น

ความร้อนและความชื้นทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงไป เช่น การที่อุณหภูมิและความชื้นไม่คงที่ เพิ่มขึ้นหรือลดลงสลับกันตลอดเวลา ทำให้วัสดุขยายตัวและหดตัวสลับกันตลอดเวลาตามไปด้วย นานๆ เข้าจะแตกร้าว โก่งงอ และหากการขยายตัวหรือหดตัวนั้นเกิดในพื้นที่จำกัดหรือมีสิ่งอื่นมายึดเหนี่ยว ผูกรัด ขวางกั้นมิให้การขยายตัวหรือหดตัวเป็นไปอย่างอิสระ เช่น มีการใส่กรอบ ตอกตะปู เข้าลิ้น เชื่อมต่อ ทากาว ยึดตรึง ฯลฯ การชำรุดเสื่อมสภาพจะเกิดขึ้นได้เร็วขึ้นและรุนแรงขึ้น

ศิลปกรรมที่อยู่กลางแจ้งจะเสื่อมสภาพด้วยสาเหตุนี้เร็วมาก ดังจะเห็นได้จากผิวของประติมากรรมที่อยู่กลางแจ้งเป็นเวลานาน ๆ มักแตกร้าว หลุดล่อนออกมาเป็นแผ่น ๆ หรือเป็นผง ๆ เนื่องจากเวลากลางวัน แสงแดดทำให้พื้นผิวร้อนขึ้น บางครั้งร้อนถึง 45–50 องศาเซลเซียส ผิวของวัสดุจะขยายตัว ในขณะที่ส่วนที่อยู่ลึกเข้าไปข้างในมีอุณหภูมิต่ำกว่าและขยายตัวน้อยกว่า เมื่ออุณหภูมิลดลงในเวลากลางคืนหรือเมื่อฝนตก ผิวของวัสดุจะเย็นลงและหดตัวอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ส่วนที่อยู่ลึกเข้าไปข้างในยังคงร้อนอยู่ จึงหดตัวช้ากว่า เพราะฉะนั้นส่วนที่ผิวจะแยกตัวหลุดล่อนออกมาเป็นแผ่น ๆ วัสดุที่นำความร้อนได้ไม่ดี (ความร้อนจะสะสมที่ผิววัสดุ) ผิวของวัสดุจะได้ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงกว่าวัสดุที่นำความร้อนได้ดี (ความร้อนจะเคลื่อนที่ไปสู่ส่วนอื่น ๆ ที่อยู่ข้างเคียง) แม้แต่หินที่แข็งแรงก็เกิดการเปลี่ยนแปลงเช่นนี้ได้

หากศิลปกรรมนั้น ๆ ทำจากวัสดุหลายชนิดในชิ้นเดียวกัน ยึดเหนี่ยวกันด้วยวิธีการต่าง ๆ วัสดุแต่ละชนิดมีความสามารถในการหดตัวและขยายตัวตามอุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน เมื่อสภาพแวดล้อมมีอุณหภูมิและความชื้นไม่คงที่ เปลี่ยนแปลงขึ้น ๆ ลงๆ ตลอดเวลา จึงเกิดการดึงรั้ง โก่งงอ บิดเบี้ยว และฉีกขาดได้



การขยายตัวของกรอบไม้ทำให้ผ้าไหมโบราณที่ขึงบนกรอบฉีกขาด

การเสื่อมสภาพของส่วนต่าง ๆ ของอาคารไม้และศิลปกรรมที่ทำจากไม้ส่วนใหญ่เกิดจากการเสื่อมสภาพของสารเคลือบผิวร่วมกับการขยายตัว/หดตัวของไม้ เนื่องจากสารเคลือบผิวมักขยายตัวและหดตัวแตกต่างจากไม้ ในระยะแรก ๆ สารเคลือบผิวเกิดรอยร้าว รอยแตกเล็ก ๆ และแยกตัวจากเนื้อไม้ ทำให้ความชื้นและน้ำฝนสามารถแทรกซึมเข้าไปในเนื้อไม้แล้วทำให้ไม้ขยายตัว และหดตัวเมื่อน้ำระเหยออกไป การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของไม้จะทำให้สารเคลือบผิวแตกร้าวและหลุดล่อนมากขึ้น สารเคลือบผิวที่มีคุณภาพต่ำไม่ทนทานต่อความร้อน รังสีอัลตราไวโอเลต แสง ความชื้น และก๊าซต่าง ๆ จะไม่สามารถปกป้องเนื้อไม้ได้นานพอ ส่งผลให้ไม้และสารเคลือบผิวแตกร้าว เป็นช่องทางให้น้ำแทรกซึมเข้าไปสะสมภายในเนื้อไม้มากขึ้น เหนี่ยวนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอื่น ๆ เพิ่มขึ้น เช่น การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจาก เห็ด รา สาหร่าย และแบคทีเรีย

สารเคลือบผิวตรงรอยต่อแตกร้าวและหลุดล่อนจากผิวไม้

วัสดุต่างชนิดกันขยายตัวและหดตัวแตกต่างกัน จึงมักแยกตัวออกจากกัน

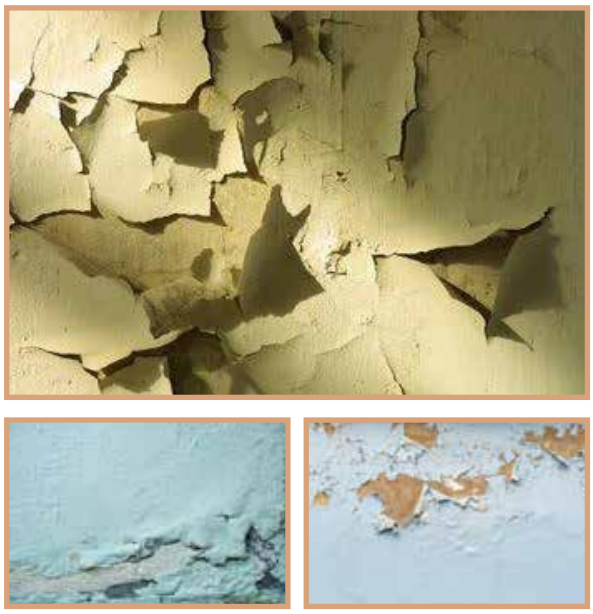
ความร้อนยังเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้น้ำ สารละลาย ตัวทำละลายและองค์ประกอบบางอย่างของศิลปกรรมระเหยออกไปจากเนื้อวัสดุ ทำให้วัสดุแห้งกรอบ เปราะ ขาดความยืดหยุ่น และขาดความแข็งแรง สารอินทรีย์มีแนวโน้มที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้เร็วมาก นอกจากนี้ความร้อนยังมีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนแปลงทางเคมี โดยความร้อนทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีทั้งหลายให้เกิดขึ้นได้ดียิ่งขึ้น รายงานการวิจัยหลายฉบับรายงานว่า เมื่อความร้อนเพิ่มขึ้นสิบองศาเซลเซียส ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นกับวัสดุบางอย่างที่นำมาทดลองเพิ่มขึ้น 2–5 เท่า เพราะฉะนั้นการเก็บรักษาศิลปกรรมที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้ง่าย เช่น ภาพถ่าย ฟิล์ม ภาพวาด ผ้า ขนสัตว์ พลาสติก ฯลฯ ในสถานที่ที่มีอุณหภูมิสูง เป็นการเร่งอัตราการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ทำให้วัตถุเหล่านั้นเสื่อมสภาพเร็วขึ้น

ความร้อนยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ กาว สารเคลือบผิว และพลาสติกต่าง ๆ ที่มีโครงสร้างโมเลกุลไม่เป็นผลึก โมเลกุลไม่เรียงตัวเป็นระเบียบ เรียกว่า **อสัณฐาน** (amorphous) เมื่อได้รับความร้อนจะเปลี่ยนสภาพจากสภาพแข็งดึงเหมือนแก้วไปเป็นของเหลวคล้ายยาง ช่วงของอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเรียกว่า glass transition temperature (Tg) แตกต่างจากจุดหลอมเหลว (melting point หรือ Tm) ซึ่งเกิดขึ้นกับวัสดุที่มีโครงสร้างเป็นผลึก โมเลกุลเรียงตัวเป็นระเบียบ มีบางส่วนของโมเลกุลสัมผัสกันและยึดเหนี่ยวกันแข็งแรง เมื่อได้รับความร้อน โมเลกุลจะแยกจากกัน เรียงตัวไม่เป็นระเบียบ แล้วหลอมเหลว พลาสติกบางชนิดมีทั้งส่วนที่เป็นผลึกและส่วนที่ไม่เป็นผลึกอยู่ด้วยกัน จึงมีทั้ง Tm และ Tg

กาว พลาสติก และสารเคลือบผิวที่มีค่า Tg ต่ำ เมื่ออยู่ที่อุณหภูมิห้อง จะมีลักษณะอ่อนนุ่ม เหนียวเหนอะหนะ หากมีค่า Tg ใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง กาว พลาสติก และสารเคลือบผิวจะมีความเหนียวคล้ายหนังฟอก ถ้ามีค่า Tg สูงกว่าอุณหูมิห้องจะแข็งและเปราะ เช่น พอลิไวนิลอะซีเตต มีค่า Tg 28 องศาเซลเซียส พอลิไวนิลคลอไรด์ มีค่า Tg 75 องศาเซลเซียส พอลิสไตรีน มีค่า Tg 100 องศาเซลเซียส พอลิเมทิลเมทาคริเลต มีค่า Tg 105 องศาเซลเซียส เป็นต้น

เพราะฉะนั้นการเลือกใช้กาว สารเคลือบผิว และพลาสติกกับศิลปกรรมที่อยู่ในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เช่น กลางแจ้ง ในอาคาร ในห้องปรับอากาศ ซึ่งมีอุณหภูมิแตกต่างกันจะต้องพิจารณาค่า Tg เป็นสำคัญ เช่น กาวหรือสารเคลือบผิวที่มีค่า Tg ต่ำ หากใช้งานกลางแจ้ง หรือในห้องที่มีอุณหภูมิสูง จะอ่อนตัวและไม่สามารถทำหน้าที่ยึดเหนี่ยวชิ้นส่วนต่าง ๆ ไว้ด้วยกันได้ แต่ขั้นตอนในการเลือกใช้สารสังเคราะห์ที่มีคุณสมบัติตามความต้องการยังมีความยุ่งยาก เนื่องจากสารสังเคราะห์ต่าง ๆ มีส่วนผสมแตกต่างกัน บางชนิดเป็นโคพอลิเมอร์ ซึ่งมีพอลิเมอร์สองชนิดอยู่ในโมเลกุล ผู้ผลิตแต่ละรายปรับเปลี่ยนชนิดของพอลิเมอร์ และอัตราส่วนของพอลิเมอร์แตกต่างกัน ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่า Tg หลากหลาย

นอกจากนี้ หากต้องการสารสังเคราะห์ที่ทำหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารเคลือบผิวที่เรียกว่า latex (เป็นอีมัลชัน) ยังต้องพิจารณาค่า Minimum Film Formation Temperature (MFFT) ของสารสังเคราะห์แต่ละชนิดก่อนตัดสินใจเลือกใช้งาน ค่า MFFT เป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่ทำให้ลาเทกซ์ก่อตัวเป็นฟิล์มได้อย่างสม่ำเสมอเมื่อทาบาง ๆ บนพื้นผิว



การเสื่อมสภาพของสารเคลือบผิวคุณภาพต่ำ

การเลือกใช้กาว พลาสติก และสารเคลือบผิว เป็นขั้นตอนที่ยาก หากไม่ได้พิจารณาคุณสมบัติเหล่านี้ อาจทำให้ใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่ำหรือมีประสิทธิภาพไม่สูงพอที่จะทำหน้าที่ตามที่ต้องการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งประสิทธิภาพในการใช้งานในระยะยาว ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมากในการอนุรักษ์ศิลปกรรม

สำริดเป็นสนิมเนื่องจากสารเคลือบผิวเสื่อมสภาพ

ภาพเขียนสีน้ำมันมักเกิดปัญหา หากอยู่ในที่ที่มีอุณหภูมิและความชื้นไม่เหมาะสม เนื่องจากชั้นสีบนภาพเขียนสีน้ำมันแห้งช้า เนื่องจากต้องอาศัยปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารยึด (น้ำมันชักแห้ง) กับออกซิเจนในอากาศ ทำให้เกิดฟิล์มที่แห้งและแข็ง การทำให้แห้งจึงต้องให้เวลานานพอสมควร ระหว่างนั้นอุณหภูมิและความชื้นในอากาศอาจส่งผลกระทบต่ออัตราเร็วในการแห้งของชั้นสีและคุณภาพของชั้นสี หากเร่งการแห้งด้วยการเป่าด้วยลมร้อนหรืออบความร้อนจะไม่เกิดผลดีต่อชั้นสี เพราะความร้อนทำให้ความชื้นในชั้นสีระเหยออกไป ส่งผลให้เกิดการแตกร้าว การใช้พัดลมธรรมดาเป่า จะมีส่วนช่วยให้ออกซิเจนเข้าทำปฏิกิริยาได้ดีกว่าการเป่าด้วยลมร้อน บางกรณีพบว่าความชื้นเข้าทำปฏิกิริยากับสารยึด ทำให้สารยึดอ่อนตัว บวมพอง หรือละลายออกไป สูญเสียแรงยึดเหนี่ยว ซึ่งส่งผลต่อเสถียรภาพของสารสี เช่น กาวหนังสัตว์ดูดความชื้นเข้ามาแล้วอ่อนตัว ทำให้ชั้นสีอ่อนแอ

ความชื้นสูงยังเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดคราบเปื้อนบนศิลปกรรม บางครั้งความชื้นสูงทำให้สารยึด สารสีบางอย่าง ฝุ่นละออง และสิ่งสกปรกที่ตกสะสมบนพื้นผิวของศิลปกรรมละลายและแทรกซึมไปในเนื้อวัสดุเป็นวงกว้าง เมื่อความชื้นลดลงจะเกิดคราบเปื้อนเป็นด่างดวง

คราบเปื้อนที่เกิดจาก
ความชื้นสูง

ความชื้นและน้ำเป็นสาเหตุสำคัญในการชำรุดเสื่อมสภาพของวัสดุทุกประเภท เนื่องจากก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหลายรูปแบบ ทั้งทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีววิทยา เช่น เมื่ออากาศรอบ ๆ ศิลปกรรมมีความชื้นสูงและต่ำสลับกันตลอดเวลา ทำให้วัสดุแข็งตึงและผ่อนคลายสลับกัน หรือขยายตัวและหดตัวสลับกัน เช่น เมื่อความชื้นสัมพัทธิ์สูงกว่า 80% กาวหนังสัตว์ เจลโซ ไม้ สี วาร์นิช ฯลฯ จะผ่อนคลายด้วยอัตราแตกต่างกัน กาวหนังสัตว์จะเปลี่ยนสภาพจากของแข็งที่แข็งตึง แข็งแรง มีลักษณะคล้ายแก้ว ไปเป็นวัสดุที่มีลักษณะคล้ายยาง ไม้วีเนียร์ที่ยึดกันด้วยกาวหนังสัตว์ จะแอ่นโค้งงอ หรือบางครั้งเคลื่อนตัวออกจากจุดเดิม แล้วไปยึดติดกับกับจุดใหม่ เมื่อความชื้นลดลง

ความผันแปรของความชื้นทำให้วัสดุอีกหลายชนิดเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น ผ้าบางชนิดหดตัวอย่างมาก รอยต่อ รอยเชื่อมระหว่างวัสดุต่าง ๆ จะเปลี่ยนไปจากเดิม โดยเฉพาะอย่างยิ่งไม้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดและสร้างความเสียหายอย่างมาก ไม้ที่เลื่อยจากส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้ในทิศทางการเลื่อยที่แตกต่างกันจะขยายตัวและหดตัวแตกต่างกัน ไม้ที่เลื่อยในแนวรัศมีจะขยายตัวประมาณ 5% ซึ่งน้อยกว่าไม้ที่เลื่อยในแนวเส้นสัมผัส (ตั้งฉากกับรัศมี) ซึ่งขยายตัวประมาณ 10% เครื่องเรือนหรือไม้แกะสลักที่ทำจากไม้ชิ้นเล็ก ๆ หลายชิ้นนำมาต่อเชื่อมกันด้วยกาวหรือยึดด้วยตะปู มักมีรอยแตกร้าว โค้งงอเนื่องจากไม้แต่ละชิ้นขยายตัวและหดตัวแตกต่างกัน ไม้แกะสลักบางชิ้นใช้หมันหรือขันหรือวัสดุอื่น ๆ ยาระหว่างรอยต่อของไม้เพื่อกันน้ำหรือเพื่ออุดช่องว่าง เมื่อไม้ขยายตัวจะบีบให้หมันหรือขันหลุดออกไป ขณะเดียวกันอาจทำลายชั้นรักหรือชั้นสีที่ตกแต่งให้แตกร้าวหลุดล่อน

ไม้แกะสลักที่อยู่กลางแจ้งจะมีผิวแตกร้าวโดยทั่วไป เพราะเนื้อไม้ขยายตัวและหดตัวสลับกันตลอดเวลาอย่างรุนแรงมาก ผิวหน้าที่แตกร้าวเหล่านั้นจะแยกตัวหลุดลอกออกไปทีละชั้น ๆ จนผิวไม้สึกกร่อนไปเรื่อย ๆ ไม้ที่อยู่ใกล้รางน้ำฝนหรือทางระบายน้ำจะชำรุดมากกว่าไม้ส่วนที่แห้งกว่า เมื่อเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสทำปฏิกิริยากับน้ำจะเกิดปฏิกิริยา hydrolysis โดยมีกรดหรือเกลือของกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลของปฏิกิริยาทำให้เกิดพอลีเมอร์ที่มีโมเลกุลเล็กกว่าเดิม และในที่สุดได้น้ำตาลหลายชนิด ถ้าอุณหภูมิสูงและมีกรดมาก ปฏิกิริยาจะเกิดได้เร็วมาก ไม้แข็งหรือไม้ใบกว้าง (hardwoods) จะเสื่อมสภาพจากปฏิกิริยานี้ได้ดีกว่าไม้อ่อนหรือไม้ใบแคบ (softwoods) เพราะไม้แข็งมีเฮมิเซลลูโลสมากกว่าไม้อ่อน

การสึกกร่อนของไม้แกะสลักที่อยู่กลางแจ้งเป็นเวลานาน

ภาพเขียน กรอบรูป แผ่นไม้และอินทรียวัตถุอื่น ๆ จะมีรูปร่างและขนาดเปลี่ยนไปมาในแต่ละวัน ทำให้ชั้นสีเกิดแรงดึงแรงดัน เกิดรอยแตกเล็ก ๆ และในที่สุดจะหลุดล่อน แม้แต่ศิลปกรรมที่อยู่ในอาคารที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นตลอดเวลาก็เกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้ แต่ช้ากว่าและไม่รุนแรงเท่ากับอยู่กลางแจ้ง ชั้นรองพื้น ชั้นสี และสารเคลือบผิวบนวัสดุต่าง ๆ มักแตกร้าว หลุดล่อนหรือป่นเป็นผงด้วยสาเหตุเดียวกัน

ความสามารถในการแพร่ความชื้นในสารอินทรีย์จะเพิ่มขึ้นตามค่าความชื้นในเนื้อวัสดุ หากวัสดุมีแรงดึงดูดในหลอดรูเล็ก (capillary tube) สูง วัสดุจะอมความชื้นได้ดี ในทางตรงข้ามวัสดุที่มีผิวเป็นของแข็งแห้ง ๆ ทึบตัน จะยอมให้ไอน้ำแทรกซึมผ่านได้น้อย ค่าความชื้นสัมพัทธ์ระดับปานกลางเหมาะกับวัสดุที่แข็งตึง (rigid) ถ้าวัสดุยังแข็งแรง ไม่ชำรุดเสื่อมสภาพ จะสามารถทนความผันแปรของความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง ±20% ถึง ±40% โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

สภาพแวดล้อมที่เกิดจากภัยพิบัติทางธรรมชาติ เช่น น้ำท่วม แผ่นดินไหว ไฟไหม้ ฯลฯ ส่งผลกระทบต่อศิลปกรรมอย่างรุนแรงในเวลาอันสั้น เช่น ก่อให้เกิดการทรุด เอียง โค่นล้ม พังทลาย บวมพอง ละลาย แตกร้าว ฉีกขาด เปื่อยยุ่ย เน่าเปื่อย ฯลฯ ในขณะที่สภาวะแวดล้อมทั่ว ๆ ไปทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีอย่างช้า ๆ

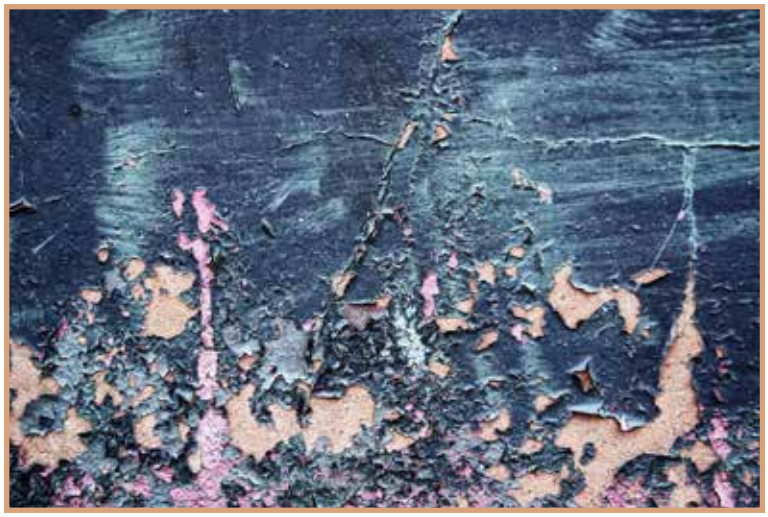
จิตรกรรมฝาผนังหลายแห่งประสบปัญหาจากน้ำและความชื้นอย่างรุนแรง โดยเฉพาะจิตรกรรมฝาผนังที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ลุ่มหรือริมแม่น้ำที่น้ำมักท่วมถึงในฤดูฝน หรือแม้น้ำไม่ท่วมแต่น้ำจากใต้ดินสามารถแทรกซึมขึ้นไปตามผนังได้เนื่องจากมีแรงดึงดูดในหลอดรูเล็ก (capillary tube) นักอนุรักษ์เรียกว่า rising damp ทำให้ผนัง ชั้นรองพื้นและชั้นสีชื้นอยู่เสมอ ชั้นสีมักบวมพอง หลุดล่อน หรือลอกหลุดเป็นแผ่น ๆ หากมีเกลือที่ละลายน้ำเจือปนอยู่ด้วย การเสื่อมสภาพจะรุนแรงยิ่งขึ้น

ความชื้นและสารละลายของเกลือที่แทรกซึมขึ้นมาบนผนัง ทำให้ภาพเขียนและปูนชำรุด

การเสื่อมสภาพของภาพเขียน
บนบานประตูที่ถูกน้ำท่วม

จิตรกรรมฝาผนังที่ถูกน้ำท่วมขัง
เมื่อ พ.ศ. 2554

วัสดุที่ไม่ได้รับการปกป้องจากความร้อน รังสีอัลตราไวโอเลต แสง มลพิษในอากาศ อนุมูลต่าง ๆ เช่น คลอไรด์ กำมะถัน ฯลฯ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีอย่างซับซ้อนและรวดเร็ว ประติมากรรมที่อยู่กลางแจ้งจึงเสื่อมสภาพได้เร็วกว่าประติมากรรมที่อยู่ในอาคารหลายเท่า กระบวนการเสื่อมสภาพของวัสดุที่อยู่กลางแจ้ง ส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการผุพังอยู่กับที่ (weathering) ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของสิ่งแวดล้อม เช่น ความร้อน แสงแดด น้ำฝน ความชื้น ก๊าซต่าง ๆ ในบรรยากาศ ฝุ่นละออง พืช สัตว์ และจุลินทรีย์ รวมทั้งการกระทำของคน



การเสื่อมสภาพของชั้นสีบนผิวหินที่อยู่กลางแจ้ง

ประติมากรรมที่อยู่กลางแจ้งได้รับความร้อนสูงมากในตอนกลางวัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านที่หันหน้ารับแสงแดดเต็มที่ เช่น อุณหภูมิของผิวหินในช่วงเวลาที่ร้อนจัดวัดได้ถึง 50 องศาเซลเซียสหรือสูงกว่า การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่สำคัญคือ การขยายตัวและหดตัวของหิน เมื่อหินได้รับความร้อนจากแสงแดดจะขยายตัว ส่วนที่ผิวจะร้อนกว่าและขยายตัวมากกว่าส่วนที่อยู่ลึกเข้าไป เนื่องจากหินนำความร้อนได้ไม่ดี ความร้อนจึงไม่ส่งผ่านต่อเข้าไปถึงเนื้อหินข้างใน แต่จะสะสมอยู่บนผิว เมื่อถึงกลางคืนหรือเวลาฝนตก อุณหภูมิจะลดลง ผิวของหินจะเย็นตัวลงและหดตัว และก็อีกเช่นกัน ส่วนที่ผิวจะหดตัวมากกว่าส่วนที่อยู่ข้างใน ความแตกต่างของอุณหภูมิเรียกว่า thermal gradient ส่งผลให้เกิดการขยายตัวและหดตัวสลับกันซ้ำแล้วซ้ำเล่าในเนื้อที่จำกัด นาน ๆ เข้าจะแตกร้าว กะเทาะหลุดล่อนเป็นแผ่น ๆ หรือเป็นชั้น ๆ ปรากฏการณ์ดังกล่าวพบมากบนหินด้านที่หันหน้ารับแสงแดดด้านทิศตะวันออกและตะวันตก ในฤดูฝน ผิวของหินจะมีอุณหภูมิแปรเปลี่ยนขึ้น ๆ ลง ๆ มากกว่าฤดูอื่น ๆ เพราะมีการเปียกและแห้งสลับกันมาก ทำให้เกิดการขยายตัวและหดตัวทั้งจากการดูดซึมน้ำและการขยายตัวและหดตัวจากความร้อนผสมกันหลาย ๆ ครั้งในแต่ละวัน

หินต่างชนิดกันมีสัมประสิทธิ์ในการขยายตัวต่างกัน จึงขยายตัวและหดตัวด้วยอัตราไม่เท่ากัน หากหินต่างชนิดกันมาอยู่ชิดกันหรือเกาะยึดกันด้วยวิธีใด ๆ จะเกิดแรงดึงและแรงดันในเนื้อหิน ทำให้เกิดการแตกร้าวหรือแยกตัวจากกันได้ นอกจากนี้ในเนื้อหินยังประกอบด้วยแร่หลายชนิด แร่แต่ละชนิดมีค่าความร้อนจำเพาะ (specific heat) และค่าสัมประสิทธิ์ในการขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน (Coefficience of thermal expansion) ไม่เท่ากัน แร่เหล่านี้จะขยายตัวและหดตัวด้วยอัตราต่าง ๆ กัน แร่บางชนิดมีคุณสมบัติเป็น anisotropic กล่าวคือมีความสามารถในการขยายละหดตัวไม่เท่ากันในทิศทางต่างกัน เช่น แคลไซต์ทำให้เกิดการแตกหักหรือแตกร้าวในเม็ดแร่ ซึ่งส่งผลกระทบไปถึงโครงสร้างของหิน ด้วยเหตุนี้หินอ่อนจึงไม่ทนต่อความร้อน

แร่ที่มีสีเข้ม เช่น ไบโอไทต์ ฮอร์นเบลนด์ ทัวร์มาลีน ไพโรต์ ฯลฯ จะดูดซับความร้อนได้ดีกว่าแร่สีอ่อน ๆ เช่น เฟลด์สปาร์ แคลไซต์ แร่ที่มีสีเข้มจึงขยายตัวได้ดีกว่า การขยายตัวในเนื้อที่จำกัดเช่นนี้ทำให้เม็ดแร่ที่อยู่ข้างเคียงแตกหักบิ่นกะเทาะได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากเม็ดแร่ที่อยู่ข้างเคียงเป็นแร่ที่มีเนื้ออ่อนจะแตกป่นเป็นผง ตัวอย่างเช่น ผลการศึกษาแผ่นหินบางของผิวของหินทรายที่ใช้ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างพบว่าแร่เฟลด์สปาร์ส่วนใหญ่อยู่ในสภาพผุพังแตกป่น และบางส่วนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกลายเป็นแร่ดิน

การเสื่อมสภาพของหินทรายแป้งที่อยู่กลางแจ้ง

ภาพเขียนบนแผ่นไม้เสื่อมสภาพจากการที่ไม้ขยายตัวและหดตัวสลับกันตามปริมาณความชื้นในอากาศ ไม้จะขยายตัวเมื่อมีความชื้นสูงและหดตัวเมื่อมีความชื้นต่ำ สลับกันไปมาตลอดเวลา ตามสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงตลอดวัน ส่งผลให้ชั้นรองพื้น ชั้นสี และสารเคลือบผิวขยายตัวและหดตัวตามไปด้วย ในที่สุดจะแตกร้าว หลุดล่อน ระยะแรกอาจมีรอยร้าวเล็ก ๆ เกิดขึ้นก่อน เมื่อไม่ได้รับการแก้ไข รอยร้าวเล็ก ๆ เหล่านี้จะเป็นช่องทางให้ความชื้นและน้ำแทรกซึมเข้าไปในเนื้อไม้ได้กว้างขึ้นและลึกขึ้น รอยร้าวขยายตัวมากขึ้น และเพิ่มจำนวนขึ้นเรื่อย ๆ ในที่สุดเกิดรอยแตก พื้นผิวสึกกร่อนหลุดร่วง ชั้นสีและสารเลือบผิวหลุดล่อน เห็นได้ชัดตรงขอบ และรอยต่อของไม้ ซึ่งน้ำแทรกซึมเข้าไปได้มากที่สุด นี่คือปัญหาที่แก้ไขยากที่สุดในการอนุรักษ์ภาพเขียนบนแผ่นไม้ รวมทั้งอาคารไม้ที่มีภาพเขียนอยู่ภายใน ภาพเขียนบนฝ้าเพดาน หอไตร ตู้พระธรรม หีบพระธรรม บานประตู บานหน้าต่าง ไม้แกะสลัก ชิ้นส่วนสถาปัตยกรรมต่าง ๆ ฯลฯ

ชั้นสีบนไม้ประสบปัญหาจากการยืดหดตัวของไม้

การขยายตัวและหดตัวสลับกันของวัสดุต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างสรรค์จิตรกรรมทำให้เกิดความเค้นและความเครียดในเนื้อวัสดุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งตรงรอยต่อระหว่างวัสดุต่างชนิดกัน ชั้นรองพื้นและชั้นสีจะอ่อนแอและเกิดแตกร้าวตามมา เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้สารเคลือบผิวและชั้นสีต่าง ๆ เสื่อมสภาพอย่างรุนแรง

ชั้นสีมีความสามารถในการยืดและหดไม่เท่ากับชั้นรองรับ

ภาพเขียนบนบานประตูหน้าต่างของบางวัดมักเขียนภาพทั้งสองด้าน พบว่าภาพเขียนบนบานประตูและบานหน้าต่างที่หันสู่ด้านนอกของอาคาร ได้รับผลกระทบจากแสงแดด ลม และฝนตลอดเวลา จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรง ชั้นสีและชั้นรองพื้นจะบวมพอง แตกร้าว หลุดล่อนออกจากผิวไม้

การเสื่อมสภาพของภาพเขียนบนบานประตูไม้ที่ได้รับแดดและฝน

ภาพเขียนบนผ้าใบก็เกิดการเปลี่ยนแปลงจากการขยายตัวและหดตัวสลับกันไปมา ทำให้ชั้นสีแตกราน เนื่องจากกรอบไม้ที่ใช้ขึงผ้าใบขยายตัวและหดตัวไม่เท่ากับผ้าใบ เมื่อกรอบไม้ขยายตัวและหดตัวสลับกันจะทำให้ผ้าใบดึงและหย่อนสลับกัน ในขณะเดียวกันผ้าใบ ชั้นรองพื้น ชั้นสี และสารเคลือบผิวต่างก็ขยายตัวและหดตัวด้วยอัตราที่แตกต่างกัน พบว่าภาพเขียนบนผ้าใบที่ขึงบนกรอบไม้ขนาดใหญ่ที่มักมีแผ่นไม้เล็ก ๆ ดีเป็นตารางหรือตามแนวขนาน ดีทแยงมุม เพื่อเสริมสร้างความมั่นคงแข็งแรงของกรอบไม้ที่ใช้ขึงผ้าใบ (stretcher หรือ strainer) ชั้นสีและเนื้อผ้ามักมีรอยยืดนูนตรงส่วนที่สัมผัสกับไม้ เนื่องจากเมื่อไม้ขยายตัวจะมีปริมาตรเพิ่มขึ้นและดันผ้าใบส่วนนั้นให้นูนออก ผ้าบริเวณนั้นจะยืดและย้วยมากกว่าส่วนอื่น ๆ หากเกิดการเปลี่ยนแปลงเช่นนี้เป็นเวลานาน ผ้าใบจะขาดเป็นแนวตามส่วนที่สัมผัสกับแผ่นไม้ บางครั้งพบว่าผ้าใบส่วนที่สัมผัสกับไม้มีสีเปลี่ยนไป

ภาพเขียนบนผืนผ้าใบที่เก็บรักษาในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิและความชื้นไม่คงที่ จะประสบปัญหาจากการหดตัว ขยายตัวของผ้าใบตลอดเวลา ทำให้ชั้นสียืดหดสลับกันตลอดเวลาเช่นเดียวกัน นอกจากนี้อัตราการขยายตัวและหดตัวของผ้าใบและไม้ที่ใช้ทำกรอบในการขึงผ้าใบแตกต่างกัน ทำให้ชั้นสีแตกร้าวหรือแตกรานหรือชั้นสีอาจแยกตัวจากผ้าใบ

ชั้นสีแตกรานเมื่อเก็บรักษาในที่ที่มีความชื้นไม่คงที่

ความชื้นอาจทำสารสีบางชนิดเปลี่ยนสี เช่น ในที่ที่มีความชื้นสูง สีแดงชาดจะมีสีคล้ำลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งสีแดงชาดที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธีเปียก (wet process) จะมีสีคล้ำกว่าสีแดงชาดที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธีแห้ง สีแดงชาดที่ใช้กับสีเทมเพอรา สีคล้ำเร็วกว่าเมื่อใช้กับสีน้ำมัน

วัตถุที่ทำจากวัสดุต่างชนิดกันที่ยึดติดด้วยกัน เกิดการขยายตัวและหดตัวจากการที่อุณหภูมิและความชื้นไม่คงที่อย่างไม่เป็นอิสระ จึงมีแนวโน้มที่จะเกิดรอยร้าว รอยแตก จากความเครียดและความเค้น แล้วแยกจากกันในที่สุด

เครื่องดนตรีที่ทำจากไม้และหนังแยกตัวและมีรอยแตกมีการขยายตัวและหดตัวไม่เท่ากัน

ศิลปกรรมที่ทำจากงาช้าง มักมีรอยแตกร้าหรือแตกราน เนื่องจากงาช้างเติบโตขึ้นทีละชั้นตามอายุของช้าง จึงมีโครงสร้างเป็นชั้น ๆ หากตรวจสอบทางด้านหน้าตัดจะพบว่ามีลักษณะเป็นกาบ ๆ คล้ายปลีกล้วย ถ้าเก็บรักษาในที่ที่มีอุณหภูมิและความชื้นไม่คงที่ หรือทำความสะอาดด้วยการใช้น้ำหรือผ้าชื้น ๆ บ่อย ๆ งาช้างแต่ละชั้นจะมีการขยายตัวและหดตัวสลับกัน ในที่สุดจะแยกออกเป็นชั้น ๆ

ประติมากรรมหินที่อยู่กลางแจ้งจะผุพังไปเรื่อย ๆ เนื่องจากปัจจัยจากสภาวะแวดล้อม ในขณะที่ประติมากรรมหินที่เก็บรักษาในอาคารแทบจะไม่เกิดการผุพังใด ๆ การเสื่อมสภาพของหินขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญสองประการคือคุณสมบัติของหินและสภาวะแวดล้อม หินแต่ละชนิดมีความทนทานต่อการเสื่อมสภาพแตกต่างกัน เช่น หินปูนทนทานต่อสภาวะแวดล้อมต่ำกว่าหินทรายและหินควอร์ตไซต์ แม้แต่หินชนิดเดียวกันก็ทนทานต่อสภาวะแวดล้อมไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ เช่น ขนาดของเม็ดแร่ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดแร่และความพรุน หินที่มีเม็ดแร่ขนาดใกล้เคียงกัน ทนทานกว่าหินที่มีเม็ดแร่ขนาดใหญ่ปนอยู่กับเม็ดแร่ขนาดเล็กเป็นเนื้อพื้น (matrix) หินที่มีเนื้อพื้นประกอบด้วยแร่ที่มีองค์ประกอบแตกต่างกันหลายชนิดและหินที่เม็ดแร่เรียงกันเป็นชั้นเสื่อมสภาพง่ายมาก เช่น หินปูนเนื้อดิน หินทรายเนื้อดิน หินทรายเนื้อปูน ฯลฯ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดแร่มีผลอย่างมากต่อคุณสมบัติของหิน เช่น คุณสมบัติเชิงกล ความพรุน ความทนทานต่อสภาวะแวดล้อม

การเสื่อมสภาพของหินที่อยู่กลางแจ้งเกิดจากกระบวนการหลายกระบวนการที่เกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน ได้แก่ กระบวนการเคมี กระบวนการฟิสิกส์ และกระบวนการชีวภาพ รวมเรียกว่า การผุพังอยู่กับที่ (weathering) ทำให้หินเหล่านี้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้หลายรูปแบบ การเปลี่ยนแปลงที่มองเห็นได้ชัดเจน ได้แก่ มีลักษณะแตกต่างจากเดิม (alteration) คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพเปลี่ยนไปทำให้สูญเสียคุณค่าหรืออยู่ในสภาพอ่อนแอ (decay) มีรอยแตก/รอยร้าว ขนาดและรูปร่างต่าง ๆ

กัน รอยแตกเดี่ยว ๆ ที่เกิดจากการแยกตัวของส่วนหนึ่งหินออกจากส่วนอื่น ๆ เรียกว่า crack, fissure หรือ fault รอยแตกผ่ากลางหินเรียกว่า fracture รอยแตกที่มีรูปร่างเหมือนดาวเกิดจากสนิมเหล็กหรือผลกระทบทางเชิงกล เรียกว่า star crack รอยแตกขนาดเล็กกว่า 0.1 มิลลิเมตร เรียกว่า hair crack รอยแตกขนาดเล็ก ๆ เป็นร่างแหเรียกว่า crack network หากรอยแตกมีขนาดใหญ่ เนื้อหินแยกออกเป็นชั้น ๆ ตามแนวชั้นหิน เรียกว่าการแตกเป็นแผ่น ๆ หรือ delamination ส่วนการแตกเป็นชั้น ๆ หลายชั้นขนานกับผิวหน้าของหิน เรียกว่าการแตกเป็นกาบ ๆ แบบกาบกะหล่ำปลีหรือ exfoliation การแตกหลุดออกเป็นแผ่นหรือสะเก็ดเล็ก ๆ โดยไม่แตกตามแนวชั้นหิน เรียกว่าตกสะเก็ดหรือ scaling ผิวหินที่โป่งพองหรือบวมปูด ภายในมีอากาศอยู่ เกิดจากผิวของหินแยกตัวออกจากหินข้างใน เรียกว่า blistering ถ้าเนื้อหินชั้นนอกถูกแรงดันข้างในอัดให้ระเบิดออก มีลักษณะคล้ายหลุมระเบิด ตรงกลางมีลักษณะเป็นปล่อง เรียกว่า bursting

การเปลี่ยนแปลงบางอย่างมีผลต่อความแข็งแรงของหินอย่างมาก เช่น เม็ดแร่ในเนื้อหินแยกตัวออกจากกันเป็นเม็ด ๆ หรือเป็นผง เรียกว่าป่นเป็นผง disintegration, powdering, chalking หรือ sanding ถ้าหินมีเนื้อร่วน ขาดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดแร่ เมื่อเอามือลูบจะหลุดเป็นผงติดมือ เรียกว่า ร่วน หรือ crumbling บางครั้งหินแตกออกเป็นชิ้น ๆ มีขนาดและรูปร่างต่าง ๆ เรียกว่า แตกเป็นชิ้นหรือ fragmentation หากเนื้อหินสึกกร่อนหรือสึกหรอจนเหลือหินชั้นในที่มีผิวเรียบ เรียกว่า กร่อน (erosion)

หินที่มีความชื้นสะสมอยู่มาก มักพบพืชและจุลินทรีย์นานาชนิดขึ้นเจริญอยู่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งส่วนล่างของงานศิลปกรรมซึ่งตั้งอยู่บนพื้นดิน ส่วนที่เป็นหลังคา กำแพง บริเวณที่เป็นทางน้ำไหลผ่าน ฯลฯ จะพบจุลินทรีย์และพืชหนาแน่นเป็นพิเศษ ส่วนของงานศิลปกรรมที่อยู่ใต้ร่มเงาของอาคารหรือต้นไม้ใหญ่ก็พบจุลินทรีย์มากเช่นเดียวกัน

หินสึกกร่อนจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและฟิสิกส์

ในพื้นที่ที่มีก๊าซมลพิษจากยวดยาน การเผาไหม้เชื้อเพลิง หรือโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งมีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์อยู่มาก ก๊าซเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับความชื้น ได้ละอองไอน้ำ ฝน หรือน้ำค้าง ที่เป็นกรด ได้แก่ กรดซัลฟิวริก กรดคาร์บอนิก กรดไนตริก กรดเหล่านี้เป็นกรดแก่ แม้จะมีความเข้มข้นต่ำ แต่ในระยะยาวจะทำให้วัสดุแทบทุกชนิดละลายและผุกร่อนได้ เช่น หินปูนและหินอ่อนที่มีคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบหลัก โลหะหลายชนิดทำปฏิกิริยากับฝนกรดแล้วเกิดสนิมสีต่าง ๆ ก๊าซที่เป็นกรดทำให้ ผ้า กระดาษ หนังสัตว์ ผุเปื่อย ฉีกขาดง่าย

หินที่ผุเปื่อยจากฝนกรด แร่บางชนิดในเนื้อหินถูกละลายออกไป จนเนื้อหินโปร่งพรุน

ความชื้นที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพของศิลปกรรม อาจอยู่ในรูปของไอน้ำในบรรยากาศ น้ำฝน น้ำค้าง หมอก น้ำใต้ดิน น้ำในดิน น้ำในแหล่งน้ำ ฯลฯ ความชื้นช่วยให้ปฏิกิริยาเคมีระหว่างวัสดุกับสิ่งแวดล้อมเกิดขึ้นได้ดี ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นอาจเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบและคุณสมบัติของวัสดุ ทำให้วัสดุมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมต่ำลง มีรูพรุนมากขึ้น ปฏิกิริยาเคมีบางอย่างอาจทำให้เกิดคราบเปื้อนพอกสะสมอยู่บนผิวหรือมีผลึกเกลือเกิดขึ้น ปฏิกิริยาบางชนิดอาจรุนแรงถึงกับทำให้วัสดุผุเปื่อยได้

นอกจากนี้น้ำยังเป็นตัวทำละลายที่ดีไม่ว่าจะเป็นน้ำบริสุทธิ์หรือมีสารเจือปน สามารถละลายสสารต่าง ๆ ได้มากมาย เช่น น้ำใต้ดินมักมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายอยู่กลายเป็นกรดคาร์บอนิกเจือจาง ซึ่งสามารถละลายสารประกอบหลายชนิดที่เป็นองค์ประกอบของวัสดุ ในกรณีของหินจะมีแร่เฟลด์สปาร์ คาโอลิไนต์ แคลไซต์ ที่ละลายน้ำได้ ทำให้เนื้อหินร่วนขึ้น

น้ำฝนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพได้เช่นกัน ขณะไหลผ่านผิววัสดุจะกัดเซาะผิวของวัสดุได้ดี โดยทำให้เกิดการขัดสีสึกกร่อน น้ำฝนที่ไหลแรงมากจะทำให้เกิดการขัดสีสึกกร่อนได้ดียิ่งขึ้น หากมีฝุ่นละออง กรวด ทราย สะสมอยู่บนโบราณสถานมาก ๆ จะยิ่งเพิ่มแรงขัดสี เมื่อน้ำฝนไหลผ่านวัสดุที่มีรอยแตก รอยร้าวหรือช่องโหว่ จะยิ่งเพิ่มขนาดของรอยแตกเหล่านั้น นอกจากนี้รอยแตกหรือช่องโหว่ยังเป็นช่องทางให้น้ำฝนกัดเซาะเข้าไปยังส่วนที่อยู่ลึกเข้าไปภายใน และอาจท่วมขังอยู่ภายใน ผิวของวัสดุที่อยู่ในแนวราบจะสึกกร่อนได้มากกว่าวัสดุที่อยู่ในแนวตั้ง เพราะผิวของวัสดุที่อยู่ในแนวราบทำให้สิ่งสกปรก กรวด ทราย และสิ่งเจือปนอื่น ๆ ทำปฏิกิริยากับวัสดุได้มากกว่าและนานกว่า

วัสดุแต่ละชนิดและวัสดุแต่ละชิ้นมีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้ไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับความพรุน ขนาดของรูพรุน และรูปร่างของรูพรุน ซึ่งช่วยให้น้ำและอากาศแทรกซึมเข้าไปทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบของวัสดุ ในขณะเดียวกันน้ำยังช่วยนำพาสารประกอบที่เกิดการการทำปฏิกิริยาออกไปสู่ส่วนอื่น ๆ ของวัสดุ แล้วก่อให้เกิดปฏิกิริยาอื่น ๆ ต่อไปหรือนำออกมาสู่ผิวหน้าของวัสดุ

วัสดุที่มีเนื้อแน่นจะดูดซึมน้ำได้ไม่ดี ในขณะที่วัสดุที่มีเนื้อพรุนจะดูดซึมน้ำได้ดี ตัวอย่างเช่น หินปูนและหินแกรนิตมีเนื้อแน่นจึงมีอัตราการดูดซึมน้ำ 1–2% และ 2–7% ตามลำดับ ในขณะที่หินทรายมีความพรุน 18–34% หินทัฟฟ์มีความพรุน 47% จึงดูดซึมน้ำได้สูงมาก หากอยู่กลางแจ้งจะผุพังเร็วมาก ดังจะเห็นได้จากตุ๊กตาหินอับเฉาที่ตั้งเรียงรายอยู่ในวัดสำคัญ ๆ

องค์ประกอบของวัสดุก็มีผลต่อความสามารถในการดูดซึมน้ำ องค์ประกอบบางชนิดดูดซึมน้ำได้ดีในขณะที่องค์ประกอบบางชนิดไม่ดูดซึมน้ำ เช่น ในหินที่มีแร่ดิน เมื่อดูดซึมน้ำแล้วจะขยายตัวหรือพองตัวทำให้ปริมาตรของแร่นั้น ๆ เปลี่ยนแปลงไป เช่น มอนต์มอริลโลไนต์ เมื่อดูดน้ำแล้วมีปริมาตรเพิ่มขึ้นถึง 60% การขยายตัวละหดตัวของแร่เหล่านี้ในเนื้อที่จำกัดทำให้โครงสร้างของหินแตกหัก

น้ำเป็นของเหลวที่มีขั้วบวกและขั้วลบอยู่ด้วยกัน โดยมี H+ อยู่ที่ปลายข้างหนึ่ง และ O– อยู่ที่ปลายอีกข้างหนึ่ง H+ จะถูกโมเลกุลที่มีขั้วลบดึงดูด และมีน้ำโมเลกุลอื่น ๆ เข้ามาต่อแถว โมเลกุลที่มีขั้วลบ ได้แก่ ดินและแร่อีกหลายชนิดที่เป็นองค์ประกอบของหิน เพราะฉะนั้น เมื่อหินเปียกน้ำบ่อย ๆ จะมีโมเลกุลของน้ำเข้ามาต่อแถวมากขึ้นเรื่อย ๆ และยึดพื้นที่บนผิวของดินและแร่มากยิ่งขึ้น หินนั้น ๆ จึงเสื่อมสภาพ หินที่เปียกและแห้งสลับกันอยู่เสมอ ๆ จะผุพังเร็วกว่าหินที่อยู่ในสภาพแห้งตลอดเวลา โดยเฉพาะอย่างยิ่งหินที่มีเม็ดแร่ (grain) ขนาดเล็กมาก มักเกิดการหลุดร่อนออกเป็นชั้นบาง ๆ ตรงผิวชั้นนอกบางกรณีอาจพบว่าหินแตกร้าวตรงแนวชั้นหิน และหลุดออกเป็นกาบ ๆ หรือเป็นแผ่น ๆ (exfoliation และ delamination)

ผิวของหินหลุดออกเป็นกาบ ๆ หรือเป็นแผ่น ๆ

ทุกขณะที่น้ำทำปฏิกิริยากับวัสดุ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงหลายอย่าง จัดเป็นกระบวนการผุพังอยู่กับที่ทางเคมี (chemical weathering) ซึ่งทำให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยกระบวนการต่าง ๆ ดังนี้

- **กระบวนการไฮเดรชัน** (hydration) เป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากการดูดน้ำเข้ามาในโครงสร้างของวัสดุแล้วทำให้เกิดความร้อนและเปลี่ยนปริมาตร ทำให้โครงสร้างของวัสดุมีความพรุนและทำให้เกิดการผุพังอยู่กับที่ได้มากขึ้น เช่น ปฏิกิริยาระหว่างเหล็กออกไซด์กับน้ำทำให้เกิดเหล็กไฮดรอกไซด์หรือ hydrated iron oxide ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่พบบ่อยในหินทรายที่มีแร่เหล็กอยู่มาก หินทรายที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเช่นนี้จะมีสีเหลือง—ส้ม
- **กระบวนการออกซิเดชัน** (oxidation) เป็นการรวมตัวกันระหว่างวัสดุกับออกซิเจน ผลที่ได้คือเป็นการเพิ่มประจุบวกหรือลดประจุลบของไอออนลง ที่พบบ่อยคือไอออนซัลไฟด์ (S^{-2}) ถูกออกซิไดซ์ไปเป็นซัลเฟต และการเปลี่ยนสภาพจากเฟอรัส (Fe^{2+}) ไป

เป็นเฟอริก (Fe^{3+}) ดังที่ปรากฏในหินที่มีแร่ไบโอไทต์ โอลิวีน ไพรอกซีน แอมฟิโบล เป็นองค์ประกอบ ซึ่งจะมีคราบสนิมเหล็กสีน้ำตาลตามรอยแตกระหว่างเม็ดแร่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแร่ไพไรต์ (FeS_2) ถูกออกซิไดซ์กลายเป็นกรดกำมะถัน (H_2SO_4) ซึ่งสามารถกัดกร่อนแร่ต่าง ๆ ได้ดี เกิดเป็นสารประกอบซัลเฟตอีกมากมาย หากหินใดมีแร่แคลไซต์ ($CaCO_3$) อยู่ด้วย เช่น หินปูน หินอ่อน หินทรายเนื้อปูน ฯลฯ กรดกำมะถันจะทำปฏิกิริยากับแคลไซต์ แล้วเปลี่ยนไปเป็นแร่ยิปซัม ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) ซึ่งมีปริมาตรเพิ่มขึ้นประมาณ 99% หรือหากกรดกำมะถันทำปฏิกิริยากับไมกาจะได้แร่จาโรไซต์ (Jarosite) เป็นต้น แร่ยิปซัมและจาโรไซต์ที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นผงสีขาวและเหลืองอยู่บนผิวหิน

- **กระบวนการรีดักชัน** (reduction) เป็นกระบวนที่ตรงกันข้ามกับออกซิเดชัน มักเกิดในบริเวณที่มีน้ำขังและไร้อากาศ เช่น การเปลี่ยนเฟอริก (Fe^{3+}) ไปเป็นเฟอรัส (Fe^{2+}) ทำให้ไอออนเหล็กสามารถละลายหรือเคลื่อนย้ายได้ง่ายขึ้น
- **กระบวนการไฮโดรไลซีส** (hydrolysis) เป็นปฏิกิริยาเคมีระหว่างแร่กับน้ำ โดยน้ำเป็นตัวทำปฏิกิริยาเอง ไม่ได้ทำหน้าที่เป็นเพียงตัวทำละลาย หินที่มีเนื้อหยาบและมีเฟลด์สปาร์เป็นองค์ประกอบ เช่น หินทราย หินแกรนิต จะผุพังง่าย เพราะเกิดกระบวนการไฮโดรไลซีสแล้วทำให้แร่ซิลิเกตขยายตัว แล้วเกิดการผุพังทางกายภาพ คือเม็ดแร่หลุดออกมา เนื้อหินจะร่วน (crumbling)
- **กระบวนการละลาย** (solution) เป็นการเคลื่อนย้ายแร่ธาตุที่ละลายน้ำได้ออกไป สารประกอบของโซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม สามารถละลายน้ำได้ดีกว่าอะลูมิเนียม ซิลิกอน หินที่มีแร่ควอตซ์และแร่มัสโคไวต์จึงทนทานกว่าหินที่มีแร่เฟลด์สปาร์และแร่ดิน หินที่มีแร่ธาตุหลายชนิดปนกันและไม่เป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อแร่บางชนิดละลายออกไปจะเกิดโพรงหรือรูเล็ก ๆ ในเนื้อหิน ถ้าเป็นรูเล็ก ๆ แบบรูเข็มไม่ต่อเนื่องกันเรียกว่า pitting แต่ถ้าเป็นรูขนาดใหญ่หรือโพรงที่อาจต่อเนื่องกัน เรียกว่า alveolization เกิดจากหินมีเม็ดแร่หลายชนิดหลายขนาดอยู่ด้วยกัน แร่ที่ไม่ทนทานต่อสภาวะแวดล้อมถูกชะละลายออกไปก่อน ทำให้เกิดรูหรือโพรง
- **กระบวนการคาร์บอเนชัน** (carbonation) เกิดจากการที่มีไอออนไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) อยู่ในน้ำ ไอออนไบคาร์บอเนตจะตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากอากาศหรือจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชหรือจากการหายใจของรากพืช หรือจากการย่อยสลายเศษพืชโดยแบคทีเรียและรา แล้วกลายเป็นสารประกอบคาร์บอเนต หากเกิดขึ้นสะสมเป็นชั้นหนาบนหิน เรียกว่า crust หรือ encrustation บางครั้งมีสิ่งสกปรก ฝุ่นละออง เขม่า ซากจุลินทรีย์ ฯลฯ มาสะสมร่วมด้วยจะเป็นคราบสีดำ–น้ำตาล

ในน้ำยังมีกรด ด่าง และสารประกอบอื่น ๆ ที่เกิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของสิ่งที่มีชีวิต เช่น กรดออกซาลิก กรดซิตริก กรดกำมะถัน กรดไนตริก สารประกอบไนเตรต ไนไตรต์ แอมโมเนีย ซัลไฟด์ ซัลเฟต ฟอสเฟต ฯลฯ ซึ่งทำให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้ น้ำที่ไหลผ่านเนื้อวัสดุอาจมีความเป็นกรดอ่อน ๆ หรืออาจเป็นด่างในบางกรณี สามารถละลายสารต่าง ๆ ได้ดี เนื่องจากน้ำเป็นตัวทำละลายที่ดี จึงละลายองค์ประกอบบางอย่างที่ละลายน้ำได้ออกไป ทำให้สูญเสียองค์ประกอบบางอย่างของวัสดุไป วัสดุจึงอ่อนแอลงและเกิดปฏิกิริยาเคมีกับสารประกอบต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของวัสดุ สารประกอบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงที่พบบ่อย ได้แก่ แคลไซต์ เฟลด์สปาร์ ไมกา ไพรอกซีน โอลิวีน ฯลฯ จึงมักพบการเปลี่ยนแปลงของแร่เหล่านี้ในเนื้อหิน เช่น แร่แคลไซต์ละลายออกไป แร่เฟลด์สปาร์เกิดการเปลี่ยนแปลงแล้วกลายเป็นแร่ดินและไมกา

น้ำ ความชื้นอาจเข้าทำปฏิกิริยาโดยตรงกับวัสดุหรือช่วยให้ปฏิกิริยาระหว่างวัสดุกับสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ เกิดขึ้นได้ดียิ่งขึ้น จึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้โลหะเป็นสนิม โดยการทำปฏิกิริยากับโลหะแล้วทำให้เกิดเกลือของโลหะ เช่น เหล็ก เมื่อทำปฏิกริยากับน้ำหรือไอน้ำจะเกิดเหล็กไฮดรอกไซด์ซึ่งมีสีเหลือง–น้ำตาลเกาะบนผิวของเหล็ก ที่เรียกกันทั่วไปว่า *"สนิมเหล็ก"* หากมีอนุมูลอื่น ๆ อยู่ด้วย เช่น อนุมูลคลอไรด์ อนุมูลซัลเฟต ฯลฯ จะเกิดสนิมอื่น ๆ ร่วมด้วย สนิมเหล็กที่กัดกร่อนเนื้อโลหะอย่างรุนแรงคือสนิมเหล็กคลอไรด์ ซึ่งมักมีลักษณะเป็นหยดน้ำสีน้ำตาลเกาะอยู่บนผิวเหล็ก และมีกลิ่นเหม็น หากไม่ได้รับการแก้ไข สารละลายเหล็กคลอไรด์ไหลหยดย้อยหรือเคลื่อนที่ไปยังส่วนอื่น ๆ ของวัตถุทำให้เกิดสนิมแพร่ไปทั่ว โลหะอื่น ๆ ก็เกิดสนิมได้ง่ายเมื่อความชื้นสูง ดังที่ได้กล่าวแล้วในบทที่ 2

แก้วและกระจกทั่วไปทนความชื้นได้ค่อนข้างดี ยกเว้นแก้วหรือกระจกบางชนิดที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้ง่าย เช่น แก้วหรือกระจกที่ทำจากขี้เถ้าของพืชจะมีด่างปะปนอยู่มาก เมื่อสภาพแวดล้อมมีความชื้นสูงจะสลายตัวให้ด่างออกมา แก้ว/กระจกที่ทำจากทรายและขี้เถ้าที่ได้จากการเผาสาหร่ายทะเลจะมีโซเดียม โซเดียมออกไซด์ และแคลเซียมออกไซด์ที่เกิดจากการสลายตัวของแก้ว สารเหล่านี้สามารถดูดซับความชื้นได้ดีมาก กลายเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์ (โซดาไฟ) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (น้ำปูนใส) ซึ่งทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ กลายเป็นสารประกอบคาร์บอเนตที่มีลักษณะเป็นคราบแข็งบนผิวแก้ว ทำให้ผิวแก้วขุ่นมัว บางทีมีสีเหลือบประกายรุ้ง ส่วนแก้ว/กระจกที่ทำจากทรายและขี้เถ้าที่ได้จากการเผาไม้จะมีสารประกอบโพแทสเซียมด่างที่เกิดขึ้นจึงเป็นโพแทสเซียมออกไซด์ ซึ่งดูดความชื้นได้ดีมากกลายเป็นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ จากนั้นทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ กลายเป็นโพแทสเซียมคาร์บอเนต ซึ่งดูดความชื้นจากอากาศได้ดี มีลักษณะเป็นของเหลวไหลเป็นทางบนผิวแก้ว เรียกว่า sweating glass หรือ weeping glass เมื่อสารละลายโพแทสเซียมคาร์บอเนตทำปฏิกิริยากับผิวแก้ว ทำให้ผิวแก้วขุ่นมัวและมีรอยแตกรานเล็ก ๆ เกิดขึ้นในเนื้อแก้วอย่างถาวร อาการดังกล่าวมีชื่อเรียกว่า *"โรคแก้ว"* หรือ glass disease ดังได้กล่าวแล้วในบทที่ 2

3. การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากจุลินทรีย์

ศิลปกรรมที่อยู่กลางแจ้งหรืออยู่ในที่อับชื้น มักเกิดการเปลี่ยนแปลงจากจุลินทรีย์หลายชนิด ได้แก่ แบคทีเรีย (bacteria) แอคติโนมัยซีต (actinomycetes) รา (fungi หรือ mold) สาหร่าย (algae) ไลเคน (lichen)

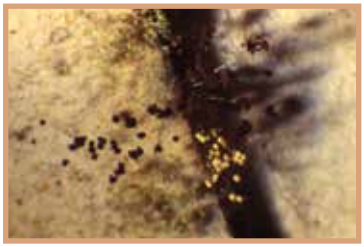
3.1 รา

ราเป็นสิ่งมีชีวิตชั้นต่ำซึ่งมีโครงสร้างพื้นฐานทั่วไปมีลักษณะเป็นเส้นใย เซลล์มีลักษณะคล้ายเซลล์พืชแต่ไม่มีคลอโรฟิลล์ จึงไม่สามารถสังเคราะห์อาหารได้เอง ดำรงชีพด้วยการสลายสารอินทรีย์ (decomposer) เชื้อราส่วนใหญ่สามารถสร้างกรดอินทรีย์ในกระบวนการเมแทบอลิซึม แล้วหลั่งออกมานอกเซลล์ ราหลายชนิดจึงเป็นแหล่งผลิตกรดอินทรีย์ในระดับอุตสาหกรรม

ประเทศไทยมีอากาศร้อนชื้นเกือบตลอดปี จึงมักพบเชื้อราบนศิลปกรรมที่อยู่ในอาคารบ่อย ๆ ในช่วงฤดูฝน ส่วนศิลปกรรมที่อยู่กลางแจ้งไม่ค่อยพบเชื้อราเนื่องจากสภาวะแวดล้อมไม่เอื้อ

อำนวยต่อการเจริญของเชื้อรา เช่น มีอุณหภูมิสูงเกินไป และได้รับแสงแดดจ้าในเวลากลางวัน ทำให้ความชื้นระเหยออกไปได้ง่าย นอกจากนี้รังสีอัลตราไวโอเลตทำให้สปอร์ของเชื้อราไม่งอก ศิลปกรรมที่อยู่ในอาคารมีเชื้อราขึ้นเจริญได้ดีกว่า เป็นเพราะอาคารส่วนใหญ่ขาดการระบายอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศแต่ไม่สามารถเปิดเครื่องปรับอากาศได้ตลอดเวลา ช่วงเวลาที่ไม่เปิดเครื่องปรับอากาศ ประตูหน้าต่างมักปิดสนิท ไม่มีช่องระบายอากาศ ศิลปกรรมจึงอยู่ในพื้นที่ที่อับชื้น หากปิดเครื่องปรับอากาศต่อเนื่องเกินกว่าสามวันในฤดูฝนจะมีโอกาสที่จะพบเชื้อราบนศิลปกรรมสูงมาก (ถ้าไม่มีการระบายอากาศ) เพราะความชื้นที่สะสมอยู่บนผิวหรือในเนื้อวัสดุไม่สามารถระเหยออกไป จึงสะสมอยู่มากพอที่จะทำให้สปอร์ของเชื้อรางอกขึ้นมา ศิลปกรรมที่เก็บรักษาในห้องใต้ดินที่ไม่มีระบบควบคุมความชื้นที่มีประสิทธิภาพจะเกิดเชื้อราบ่อยครั้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูฝน ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์ในห้องอาจสูงถึง 80–90% เป็นเวลานานพอที่เชื้อราจะเจริญได้ พบว่ากระจกหน้าต่าง กระจกบนตู้จัดแสดง หรือตู้เก็บของบางแห่ง รวมทั้งวัตถุที่อยู่ในตู้ ซึ่งมีผิวเย็น ๆ มีเชื้อราเจริญอยู่อย่างหนาแน่น บางแห่งพบเชื้อราบนพื้นที่ปูด้วยกระเบื้องเซรามิกหรือหินขัดมัน เนื่องจากไอน้ำในอากาศชื้น ๆ จะควบแน่นกลั่นตัวเป็นหยดน้ำบนผิวที่เย็น ๆ

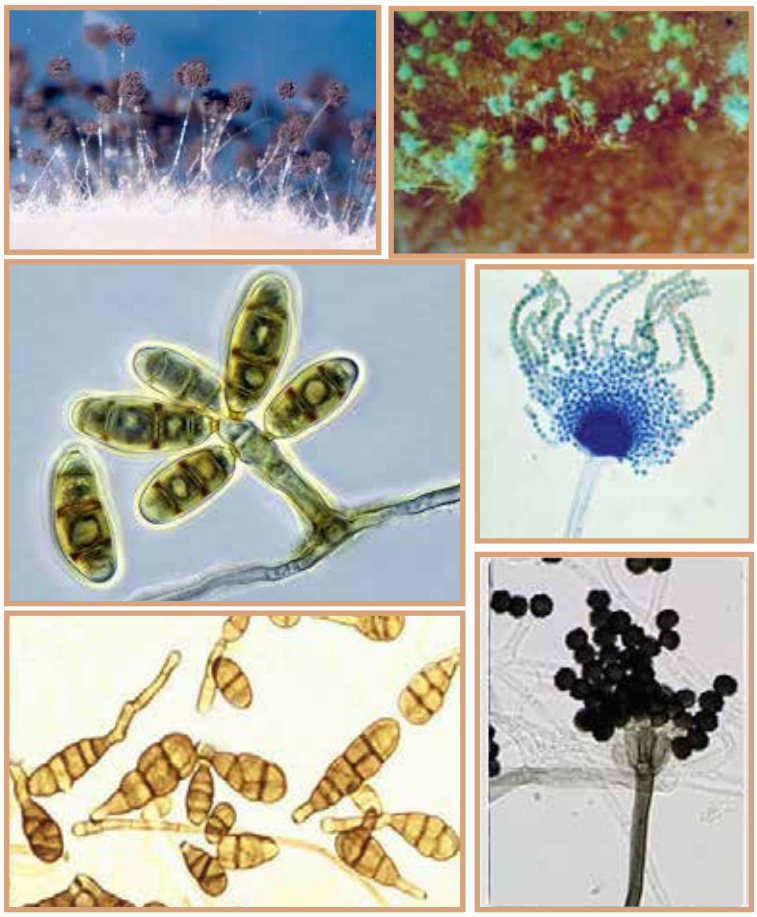
เชื้อราบนกระจกตู้เก็บของในห้องใต้ดิน



ลักษณะของเชื้อราบนศิลปกรรม

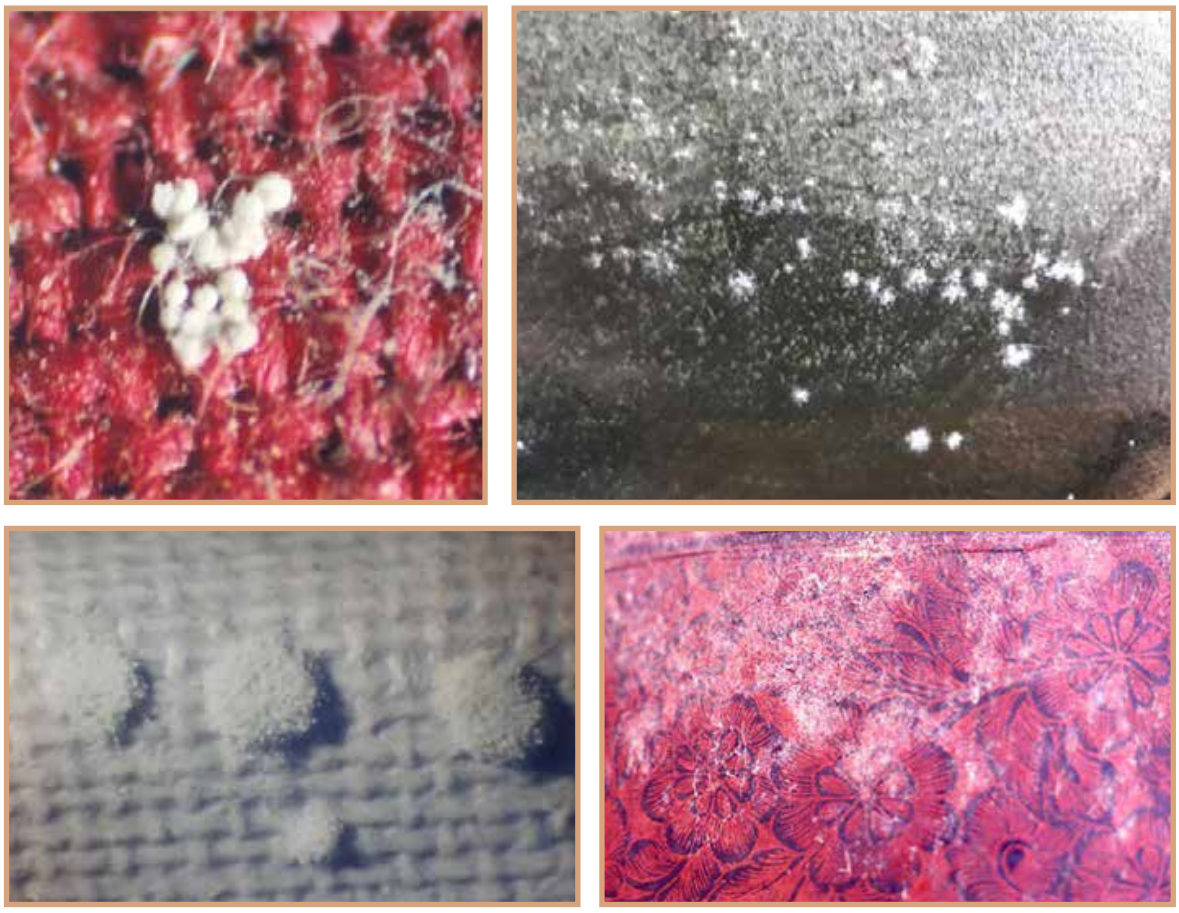
เชื้อราที่พบบ่อยบนกระดาษและผ้า

เชื้อราบนจิตรกรรมฝาผนังที่ประสบปัญหาน้ำท่วมขัง



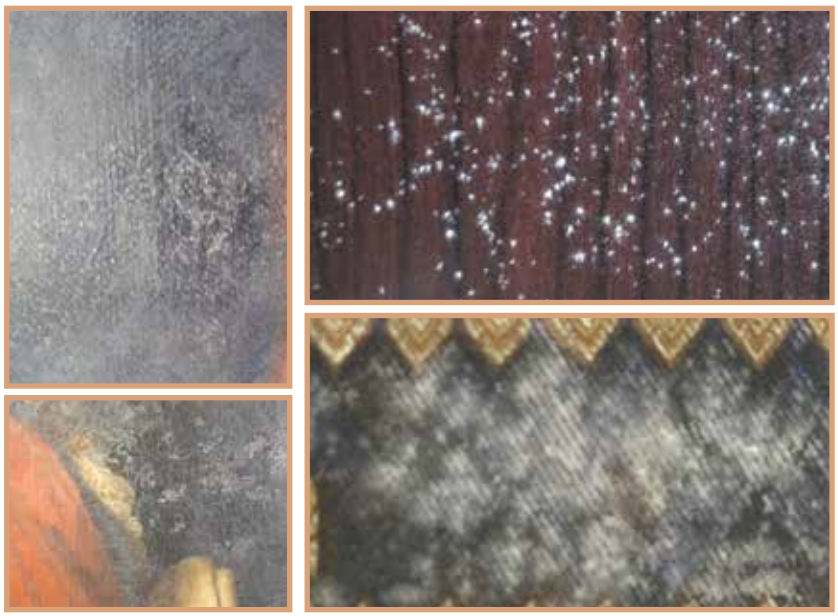
เชื้อราบนกระจกตู้เก็บของในห้องใต้ดิน

ผู้เขียนวิจัยเรื่องเชื้อรานานหลายปี พบว่าเชื้อราหลายชนิดเจริญได้ดีบนวัสดุที่ไม่ชื้นมาก แต่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่ขาดการระบายอากาศ แม้แต่โลหะ เครื่องปั้นดินเผา ก็พบเชื้อราบนพื้นผิวได้ แม้ว่าวัสดุเหล่านั้นจะไม่เป็นอาหารของเชื้อรา แต่ฝุ่นละอองและคราบสกปรกบนพื้นผิวก็เป็นอาหารของเชื้อราได้ บางครั้งสารเคลือบผิวหรือชั้นสีเป็นสารอาหารที่เชื้อรานำไปใช้ได้ เชื้อรากลุ่มที่เจริญได้ดีบนวัตถุที่ไม่ชื้นมาก เรียกว่า *Xerophilic fungi* เป็นเชื้อราที่สปอร์ของมันไม่ต้องการความชื้นสูงมากในการงอกและเจริญ จึงพบมากและพบบ่อยในอาคารที่อากาศไม่ไหลเวียนถ่ายเท หลายกรณีพบเชื้อราที่เจริญและแพร่พันธุ์โดยอาศัยเพศร่วมด้วย เรียกเชื้อรากลุ่มนี้ว่าเป็น perfect stage ของเชื้อรากลุ่มแรกที่เจริญและแพร่พันธุ์โดยไม่อาศัยเพศ ลักษณะเชื้อราที่พบมีลักษณะสีขาว–สีครีม เป็นผงคล้ายแป้ง หากดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นโครงสร้างของราชัดเจน เชื้อรากลุ่มนี้พบมากในอาคารที่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ แต่ไม่เปิดเครื่องปรับอากาศตลอดเวลา โดยเฉพาะอย่างยิ่งห้องสมุดต่าง ๆ จะพบเชื้อรากลุ่มนี้มากเป็นพิเศษ



ปัญหาจากเชื้อราจะรุนแรงมากขึ้น ถ้ามีน้ำเข้ามาร่วมด้วย เช่น ฝนรั่ว ฝนสาด หรือเปียกน้ำจากสาเหตุอื่น ๆ ถ้าวัตถุเปียกน้ำและไม่สามารถทำให้แห้งได้ภายในสองวันจะมีเชื้อรามากมายหลายชนิดเจริญขึ้นมา เชื้อราหลายชนิดมีสีเข้ม บางชนิดสร้างสารมีสีออกมาแล้วแทรกซึมลงไปในเนื้อวัสดุ เป็นคราบเปื้อนที่ไม่สามารถขจัดออกได้ หลายชนิดสร้างกรดและสารเคมีที่ทำให้วัสดุต่าง ๆ เกิดการเปลี่ยนแปลง บางชนิดเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

สีอะครีลิกมีความสามารถในการดูดความชื้นจากอากาศได้ดี จึงมักมีเชื้อราขึ้นเจริญสะสมฝุ่นละอองและสิ่งสกปรก และทำความสะอาดยาก เพราะจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อสัมผัสกับตัวทำละลายอินทรีย์ นอกจากนี้ยังเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง



เชื้อราบนภาพเขียนสีอะครีลิกซึ่งเก็บรักษาในที่ที่อากาศไม่ไหลเวียนถ่ายเท

ไม้ที่เปียกชื้นอยู่เสมอ มักพบเห็ดหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากเป็นไม้ที่มีความทนทานต่อสภาวะแวดล้อมต่ำ เห็ดบางชนิดพบได้บนไม้ที่อยู่กลางแจ้ง บางชนิดพบบนไม้ที่อยู่ในที่ร่ม เห็ดหลายชนิดย่อยสลายไม้ได้ดี เส้นใยของเห็ดจะแทรกเข้าไปในช่องว่าง รูพรุน รอยแตก และรอยต่อของไม้ และสร้างน้ำย่อยออกมาย่อยสลายไม้ ส่วนที่มองเห็นบนผิวหน้าของไม้คือดอกเห็ด (fruiting body) ซึ่งทำหน้าที่สร้างสปอร์ในการขยายพันธุ์ ดอกเห็ดมีลักษณะแตกต่างกันไปตามแต่ละสายพันธุ์ ไม้ที่พบดอกเห็ดอยู่บนผิวหน้า ด้านในมักผุพังจนใช้การไม่ได้

ศิลปะบนกระดาษจำนวนมากกำลังประสบปัญหาจากการมีจุดสีเหลือง–น้ำตาลเกิดขึ้นเป็นจุดเล็ก ๆ กระจัดกระจาย เรียกว่า foxing มีลักษณะหลายแบบ แต่ละแบบเกิดจากสาเหตุต่าง ๆ กัน จุดสีน้ำตาลบางกลุ่มเกิดจากสาเหตุเดียว แต่บางกลุ่มเกิดจากหลาย ๆ สาเหตุที่เกิดร่วมกัน ขณะนี้ยังมีความไม่แน่นอนในสาเหตุและกระบวนการเกิดจุดสีน้ำตาล นักวิจัยบางคนเสนอว่าบางกระบวนการอาจเกิดจากเชื้อรา บางกระบวนการอาจเกิดจากโลหะถูกออกซิไดซ์หรือโลหะทำให้เกิดการสลายตัว หรืออาจเกิดจากการที่น้ำ อากาศ และเซลลูโลสทำปฏิกิริยากัน แต่จุดสีน้ำตาลบางส่วนไม่มีความสัมพันธ์กับสาเหตุเหล่านี้ ปัจจุบันยังคงมีปัญหาในการจำแนกแยกแยะสาเหตุที่แท้จริงของการเกิดจุดสีน้ำตาล

บางคนเชื่อว่าจุดสีน้ำตาลเกิดจากสารประกอบของเหล็กและทองแดง เนื่องจากเป็นสิ่งเจือปนที่พบทั่วไปในวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตกระดาษหรือมาจากอุปกรณ์และเครื่องจักร หรือมาจากฝุ่นละออง เมื่อกระดาษดูดซับความชื้น เหล็กและทองแดงจะถูกออกซิไดซ์ ทำให้กระดาษส่วนนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและเปลี่ยนสี ในขณะเดียวกันทำให้เกิดสภาวะเป็นกรด ซึ่งเชื้อราจะเจริญได้ดี จุดสีน้ำตาลที่เกิดจากโลหะจะมีจุดสีเข้มตรงกลาง และมีการเคลื่อนตัวของสารเคมีที่ละลายน้ำออกมารอบ ๆ เป็นสีอ่อนกว่า

foxing มีลักษณะหลายแบบ แต่ละแบบเกิดจากสาเหตุต่าง ๆ กัน จุดสีน้ำตาลบางกลุ่มเกิดจากสาเหตุเดียว แต่บางกลุ่มเกิดจากหลาย ๆ สาเหตุที่เกิดร่วมกัน ขณะนี้ยังมีความไม่แน่นอนในสาหตุและกระบวนการเกิดจุดสีน้ำตาล

หลายกรณีพบว่าบริเวณที่กระดาษสัมผัสกับกระดาษอื่นที่คุณภาพต่ำ เช่น ปกแฟ้ม กระดาษสีน้ำตาล กระดาษห่อของ ฯลฯ มีจุดสีน้ำตาลเกิดขึ้นอย่างหนาแน่นทั่วทั้งแผ่น ในขณะที่กระดาษแผ่นอื่น ๆ ที่อยู่ด้านใน ไม่ได้สัมผัสโดยตรงกับกระดาษคุณภาพต่ำ ไม่มีจุดสีน้ำตาลเกิดขึ้น และอีกหลาย ๆ กรณีพบว่า ส่วนของกระดาษที่ไม่มีซองหรือแฟ้มปกป้อง ได้รับฝุ่นและสัมผัสกับความร้อน ความชื้น แสงสว่าง มลพิษในอากาศโดยตรง มีจุดสีน้ำตาลเกิดขึ้นมากกว่าส่วนที่ได้รับการปกป้อง

อีกทฤษฎีหนึ่งเชื่อว่าจุดสีน้ำตาลเกิดจากเชื้อราที่ล่องลอยมาในอากาศ เมื่อตกบนกระดาษและมีสภาพแวดล้อมเหมาะสมจะเจิญขึ้นมา มีลักษณะเป็นด่างดวง รูปร่างไม่สม่ำเสมอ เมื่อมองดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นโครงสร้างของรา

จุดสีน้ำตาลบนภาพถ่าย

จุดสีน้ำตาลบนกระดาษและผ้า

3.2 แบคทีเรียและแอคติโนมัยซีต

แบคทีเรียเป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวขนาดเล็กมาก มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส มีรูปร่างต่าง ๆ กัน แบคทีเรียหลายชนิดสร้างกรดได้ดี แบคทีเรียบางชนิดสร้างสารมีสีแล้วหลั่งออกมานอกเซลล์ ทำให้เกิดคราบเปื้อนสีน้ำตาลบนวัสดุ และยังพบว่าแบคทีเรียหลายชนิดสามารถย่อยสลายวัสดุได้โดยตรง แอคติโนมัยซีตหลายชนิดสร้างกรดและหลั่งออกมานอกเซลล์ นอกจากนี้ยังพบว่าแอคติโนมัยสีทหลายชนิดสร้างสารมีสีที่ละลายได้ในน้ำและหลั่งออกมานอกเซลล์ ซึ่งจะแทรกซึมอยู่บนผิวของวัสดุในลักษณะเป็นคราบสีต่าง ๆ

นักวิทยาศาสตร์ในหลายประเทศได้ศึกษาวิเคราะห์ชนิดและบทบาทของแบคทีเรียบนหินและวัสดุต่าง ๆ พบว่าแบคทีเรียหลายชนิดมีส่วนร่วมในการทำให้วัสดุเสื่อมสภาพ และได้พิมพ์เผยแพร่ในวารสารชั้นนำของโลกและในรายงานการประชุมวิชาการระดับนานาชาติจำนวนมาก ผลการศึกษาวิจัยเหล่านี้ชี้ให้เห็นว่า บทบาทที่สำคัญของแบคทีเรียที่ทำให้วัสดุผุกร่อน เกิดจากการสร้างสารเคมีที่มีฤทธิ์เป็นกรด ซึ่งมีทั้งกรดอินทรีย์ เช่น กรดฟอร์มิก (formic acid) กรดอะซีติก (acetic acid) กรดไกลโคลิก (glycolic acid) กรดซิตริก (citric acid) กรดกลูโคนิก (gluconic acid) เป็นต้น และกรดอนินทรีย์ เช่น กรดไนตริก กรดซัลฟิวริก รวมทั้งสารเคมีอื่น ๆ ที่มีคุณสมบัติเป็น chelator หรือ ligand หมายถึง อนุมูลหรือโมเลกุลที่สร้างพันธะกับอนุมูลบวก แล้วเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (complex salt) ตัวอย่างเช่น CN^-, NH_3, NO^-_2 ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับอนุมูลโลหะของแร่ต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของวัสดุ เช่น เหล็ก ซิลิกอน อะลูมิเนียม แคลเซียม แมงกานีส แมกนีเซียม ฯลฯ และเกิดสารประกอบเชิงซ้อน ซึ่งทำให้แร่เหล่านั้นละลายหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารประกอบอื่น ๆ ที่อาจละลายน้ำหรือไม่ละลายน้ำหรืออาจถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายต่อไป

แบคทีเรียที่มีบทบาทสูงมากบนวัตถุที่อยู่ในดินหรือสัมผัสกับดินหรือเปียกชื้นตลอดเวลา แบคทีเรียที่ทำอันตรายต่อวัตถุได้มากคือ Sulfate reducing bacteria ซึ่งสร้างกรดซัลฟิวริกออกมากัดกร่อนวัตถุอย่างรุนแรง สามารถทำให้ปูนซีเมนต์ผุเป็นรูได้

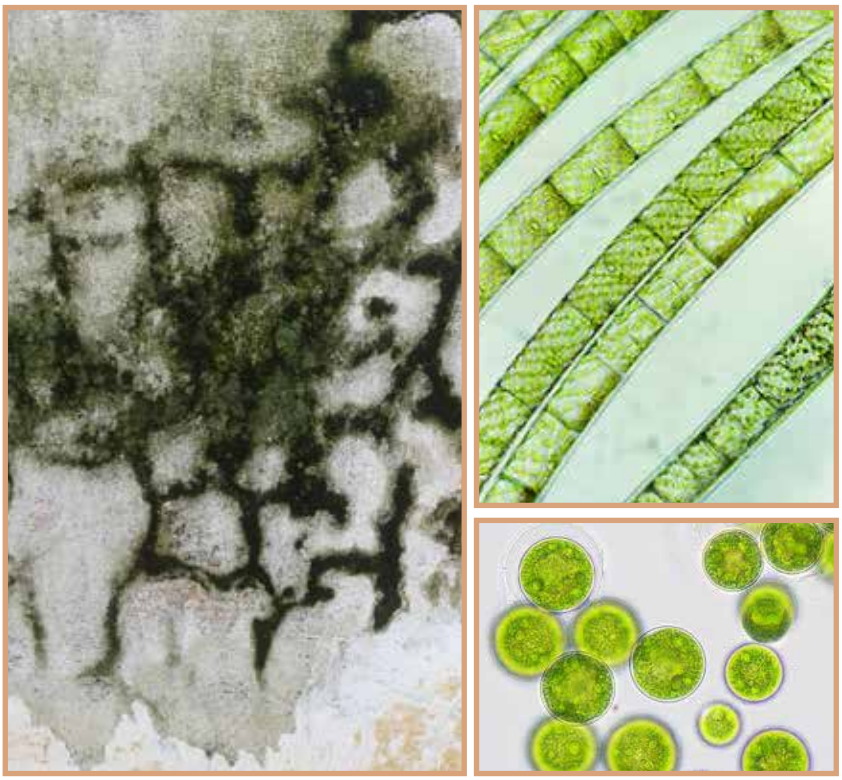
3.3 สาหร่าย

สาหร่ายหรือตะไคร่เป็นพวกโพรทิสต์ (protist) ที่มีคลอโรฟิลล์ สามารถสังเคราะห์แสงได้เช่นเดียวกับพืชสีเขียว มีทั้งเซลล์เดียวและหลายเซลล์ มีอวัยวะสร้างเซลล์สืบพันธุ์ที่ส่วนใหญ่เป็นเซลล์เดียว ถ้ามีหลายเซลล์ เซลล์ทุกเซลล์สามารถทำหน้าที่สืบพันธุ์ได้

ลักษณะที่เห็นเป็นคราบสีเขียว เหลือง ดำ น้ำตาล เทา ฯลฯ กระดำกระด่างอยู่ทั่วไปบนประติมากรรมและโบราณสถาน สาหร่ายเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นสาหร่ายที่อาศัยความชื้นจากอากาศ (aerial algae) และสาหร่ายที่มีชีวิตอยู่ในน้ำ สาหร่ายที่อาศัยความชื้นจากอากาศสามารถทนความแห้งแล้งได้ดี ประติมากรรมและชิ้นส่วนสถาปัตยกรรมที่อยู่กลางแจ้ง จึงมีความชื้นและแสงสว่างพอเพียงต่อการดำรงชีวิต จากการวิจัยพบสาหร่ายมากมายบนวัสดุที่อยู่กลางแจ้ง วัสดุมักมีรูพรุน รอยร้าว รอยแตกมากขึ้น ทำให้สะสมความชื้นไว้ได้ดี นอกจากนี้ยังมีดิน ฝุ่นละออง ซากของพืช และสิ่งมีชีวิต มูลสัตว์ สะสมอยู่ในช่องว่าง รอยแตก รอยต่อของวัสดุ ทำให้สาหร่ายเจริญได้ดี ในฤดูฝนจึงพบสาหร่ายมากมายบนวัสดุที่อยู่กลางแจ้ง ในฤดูร้อนสาหร่ายบางส่วนแห้งเหี่ยวกลายเป็นคราบสีเทา สีดำ และสีน้ำตาล และบางส่วนหลุดล่อนออกจากผิวของวัสดุในบริเวณที่ชื้นแฉะผิดปกติ เช่น บริเวณทางน้ำไหล ทางระบายน้ำ ส่วนที่มีน้ำขังหรือน้ำรั่วซึม จะพบสาหร่ายที่มีชีวิตอยู่ในน้ำและจุลินทรีย์อื่น ๆ มากมายเป็นพิเศษ

สาหร่ายเหล่านี้นอกจากจะทำให้เกิดคราบสกปรกและดูน่าเกลียดแล้ว ยังทำให้วัสดุส่วนที่มีสาหร่ายปกคลุมอยู่อ่อนยุ่ยและมีรูพรุนมากขึ้น ผิวของวัสดุสึกกร่อน หลุดล่อน เป็นหลุมเป็นบ่อ เมื่อสาหร่ายเจริญและตายทับซ้อนกันหลาย ๆ ชั้น จะกลายเป็นแหล่งอาหารที่มอส เฟิร์น และวัชพืช มาเจริญติบโต ไรซอยด์ของมอสและรากของพืชแทรกซอนเข้าไปในเนื้อวัสดุได้ลึกและสร้างความเสียหายอย่างเห็นได้ชัด แม้ว่ากระบวนการนี้จะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ แต่ในระยะยาวทำให้วัสดุก่อสร้างชำรุดเสื่อมสภาพ

สาหร่ายที่พบมากและพบบ่อย ได้แก่ สาหร่ายสีเขียวอมน้ำเงิน (Blue-green algae) หรือ cyanobacteria สาหร่ายสีเขียว (Green algae) สาหร่ายสีน้ำตาลแกมเหลือง (Yellow brown algae) หรือไดอะตอม (diatom)



สาหร่ายสีเขียวอม
น้ำเงินที่พบบ่อยบน
วัตถุที่อยู่กลางแจ้ง

ซากของสาหร่าย
และมอสในฤดูร้อน

นักวิทยาศาสตร์ในหลายประเทศได้ศึกษาบทบาทของสาหร่ายบนวัสดุชนิดต่าง ๆ และชี้ให้เห็นว่าสาหร่ายมีส่วนช่วยทำให้ผิวของวัสดุผุกร่อนไป เนื่องจากเป็นที่ทราบดีว่าสาหร่ายสร้างสารเมือกออกมาเพื่อยึดติดกับสิ่งที่มันขึ้นเจริญอยู่ สาหร่ายบางชนิดเป็นแหล่งผลิตวุ้นหรือสารเมือกในระดับอุตสาหกรรม สารเมือกดังกล่าวสามารถยึดติดกับพื้นผิวได้ดี สังเกตได้จากคราบสาหร่ายบนผนังอาคารหรือศิลปกรรม ซึ่งเกาะติดแน่นอยู่กับที่ได้ดี ไม่หลุดออกง่าย ๆ แม้ในยามที่ฝนตกหนักหรือมีลมพัดแรง สารเมือกมีคุณสมบัติพิเศษคือแข็งเมื่อแห้งและพองตัวเมื่อเปียก ในหน้าแล้งจึงมักเห็นคราบสาหร่ายหดแห้งแตกระแหงและม้วนตัวขึ้นตรงขอบ บ้างก็มีลักษณะเป็นเกล็ด บ้างก็เป็นแผ่น ขณะแห้งจะดึงเอาเนื้อวัสดุติดออกมาด้วยมากบ้างน้อยบ้าง ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงและปัจจัยแวดล้อมอื่น ๆ ของวัสดุนั้น ๆ นั่นหมายความว่าผิวของวัสดุจะสึกกร่อนไปทุก ๆ ปี ในฤดูฝนสาหร่ายดูดซับความชื้นเอาไว้ได้ดี ทำให้พื้นผิวของวัสดุใต้สาหร่ายเปียกชื้น มีสภาพเหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ เช่น แบคทีเรีย แอคติโนมัยซีต รา โปรโตซัว พืชชั้นต่ำ พืชชั้นสูง และสัตว์ขนาดเล็กอื่น ๆ แม้ว่าสาหร่ายมีบทบาทไม่มากนักในการทำให้วัสดุผุกร่อนโดยตรง แต่เมื่อใดที่วัสดุมีสาหร่ายขึ้นเจริญหนาแน่น จะช่วยให้กระบวนการเสื่อมสภาพเกิดขึ้นได้รวดเร็วและรุนแรงขึ้นจากหลาย ๆ ปัจจัยร่วมกัน

รายงานการวิจัยจำนวนมากได้แสดงให้เห็นว่า สาหร่ายทำให้วัสดุสึกกร่อนอย่างช้า ๆ โดยสามารถสร้างกรดอินทรีย์หลายชนิด เช่น กรดไกลโคลิก (glycolic acid) กรดฟอร์มิก (formic acid) กรดอะซีติก (acetic acid) กรดซิตริก (citric acid) กรดคาร์บอนิก (carbonic acid) กรดยูโรนิก (uronic acid) กรดคีโตนิก (ketonic acid) เป็นต้น กรดเหล่านี้เมื่อสาหร่ายสร้างขึ้นแล้วจะหลั่งออกมานอกเซลล์และสร้างสารเคมีอื่น ๆ ที่ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับอนุมูลของโลหะในวัสดุ

กรดเหล่านี้สามารถละลายแร่หลายชนิดที่เป็นองค์ประกอบของวัสดุโดยการทำให้เกิดปฏิกิริยา chelation อนุมูลโลหะที่สามารถทำปฏิกิริยากับกรดเหล่านี้ ได้แก่ ซิลิกอน (Si) อะลูมิเนียม (Al) เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) แมกนีเซียม (Mg) แคลเซียม (Ca) โพแทสเซียม (K) โซเดียม (Na) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของวัสดุต่าง ๆ

ร่องรอยการสึกกร่อนบนผิวปูนปั้น หลังจากขจัดสาหร่ายและมอสออกไป

3.4 ไลเคน (lichen)

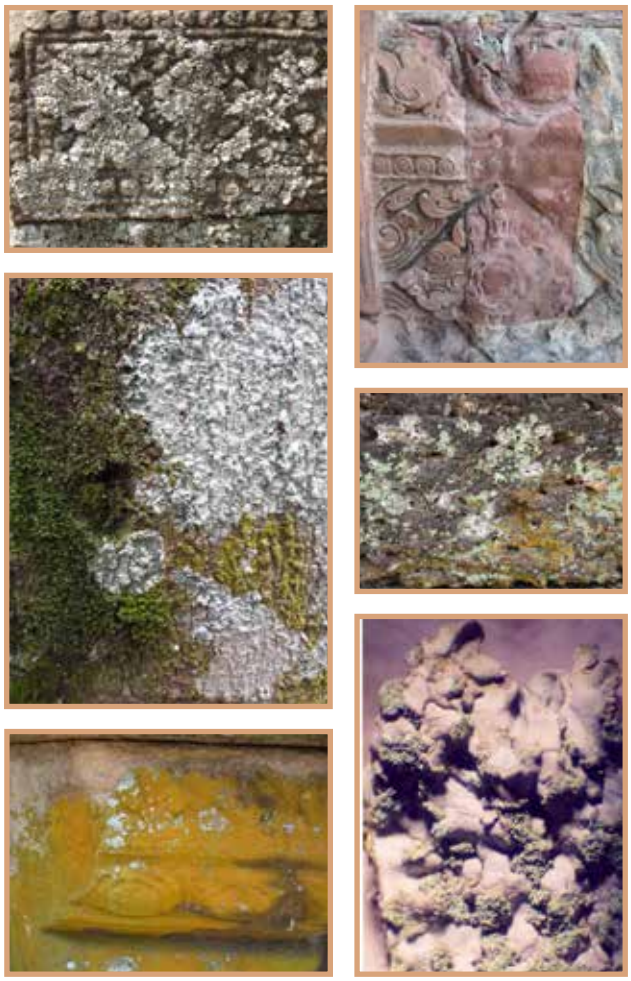
ในชนบทที่ห่างไกลจากมลภาวะ มักพบการเจริญของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก ๆ ที่มีลักษณะเป็นด่างดวงสีต่าง ๆ บนเนื้อวัสดุบ้างก็มีลักษณะเป็นแผ่นแบน ๆ บ้างก็มีลักษณะเป็นกลีบคล้ายกลีบดอกไม้หรือใบไม้ บ้างก็มีลักษณะเป็นเม็ดเล็ก ๆ อยู่รวมกันเป็นกลุ่ม สิ่งที่มีชีวิตเหล่านี้ เรียกว่าไลเคน (lichen) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ชนิดหนึ่งที่เกิดจากการอยู่ร่วมกันระหว่างราและสาหร่าย การอยู่ร่วมกันนี้อาจเป็นไปในแบบที่มีการเอื้ออำนวยประโยชน์ซึ่งกันและกัน (symbiotic) โดยที่สาหร่ายทำหน้าที่สังเคราะห์แสงสร้างอาหาร ส่วนราทำหน้าที่ดูดน้ำและแร่ธาตุ เก็บรักษาความชุ่มชื้น ห่อหุ้ม และทำหน้าที่เป็นฐานให้สาหร่ายได้เกาะยึด ไลเคนบางชนิดอาจเกิดจากการอยู่ร่วมกับราในแบบที่ฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งได้ประโยชน์แต่เพียงฝ่ายเดียว (parasitic) ส่วนใหญ่แล้วสาหร่ายเป็นผู้สร้างอาหารให้ราเอาไปใช้

ประติมากรรมที่ทำด้วยหินทรายและศิลาแลง มีไลเคนขึ้นเจริญอยู่มากมายหนาแน่นกว่าวัสดุอื่น ๆ เนื่องจากหินทรายและศิลาแลงที่อยู่กลางแจ้งมาเป็นเวลานานมีเนื้อพรุน เนื้อหินบางส่วนผุพังกลายเป็นดิน อมความชื้นไว้ได้ดี พบมากบนผิวที่ขรุขระ เช่น บริเวณที่มีลวดลายจากการแกะสลัก และพบว่ามีสาหร่ายมากมายหลายชนิดขึ้นเจริญร่วมด้วย

ไลเคนที่พบบนวัสดุที่อยู่กลางแจ้งส่วนใหญ่เป็นครัสโตสไลเคน (crustose lichens) และโฟลิโอสไลเคน (foliose lichens) ลักษณะของครัสโตสไลเคนมีรูปร่างแบบแผ่นทัลลัส (thallus) เกาะติดแน่นกับผิวของวัสดุ ลักษณะคล้ายเปลือก บางชนิดทัลลัสอยู่ข้างในเนื้อหิน โผล่แต่โครงสร้างสืบพันธุ์ขึ้นมาที่ผิว เส้นใยของราแทรกซอนลึกเข้าไปในเนื้อวัสดุ ส่วนโฟลิโอสไลเคนมีรูปร่างเป็นแผ่นบาง ทัลลัสมีรูปร่างคล้ายใบไม้หรือกลีบดอกไม้เกาะอยู่บนผิววัสดุ นอกจากนี้ยังมีไลเคนอีกกลุ่มหนึ่งเรียกว่า squamulose lichens ซึ่งมีลักษณะเป็นเกล็ด ๆ

เมื่อสะกิดเอาทัลลัสของโฟลิโอสไลเคนออกไปจากผิวของวัสดุ พบว่ามีไรซอยด์ (รากเล็ก ๆ) จำนวนมาก และมีเม็ดทรายจำนวนมากหลุดติดออกมาอยู่ในไรซอยด์ ใต้ทัลลัสของไลเคนประกอบด้วยดินปนทรายสีค่อนข้างคล้ำ ต่างจากสีที่ผิวของวัสดุ ดินดังกล่าวมีลักษณะร่วนและอ่อนนุ่ม สามารถใช้ปลายเข็มหรือปลายมีดผ่าตัดสะกิดออกมาได้อย่างง่ายดาย ต่างจากเนื้อวัสดุที่ยังแข็งแรง ต้องใช้แรงและอุปกรณ์ที่แข็งแรงขึ้นจึงจะขูดให้เนื้อวัสดุหลุดร่วงออกมาได้ ส่วนครัสโตสไลเคนติดแน่นอยู่ในเนื้อวัสดุจนยากที่จะขูดออก ทัลลัสของครัสโตสไลเคนฝังแน่นและแทรกซอนเข้าไปในเนื้อวัสดุ

ลักษณะของเม็ดแร่และองค์ประกอบทางแร่ของผิววัสดุส่วนที่อยู่ใต้ไลเคนและสาหร่ายมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าส่วนที่ไม่มีไลเคนและส่วนที่อยู่ลึกเข้าไปข้างใน ผิวของวัสดุส่วนที่อยู่ใต้ทัลลัสของไลเคนมีลักษณะเป็นหลุมเป็นบ่อ ผุร่วน เพราะฉะนั้นสารเคมีที่ไลเคนสร้างขึ้น ไม่ได้ทำปฏิกิริยาเคมีแบบธรรมดาทั่วไปเพียงอย่างเดียว และไม่ได้ทำปฏิกิริยาเฉพาะกับแคลไซต์หรือแคลเซียมคาร์บอเนตเท่านั้น แต่สามารถทำปฏิกริยากับแร่ทุกชนิดที่เป็นองค์ประกอบของหินและวัสดุอื่น ๆ ปฏิกิริยาเหล่านี้ดำเนินไปตลอดเวลาตราบใดที่ไลเคนยังมีชีวิตอยู่ สารเคมีที่ไลเคนสร้างขึ้นจะแทรกซึมเข้าไปในเนื้อหินและทำปฏิกิริยาเคมีได้ทันที โอกาสที่สารเคมีเหล่านี้จะถูกน้ำฝนชะล้างออกไปมีน้อยมากเมื่อเทียบกับระยะเวลาที่สารเคมีถูกสร้างขึ้นอย่างต่อเนื่องภายในเนื้อหิน เพราะฝนจะตกเฉพาะในฤดูฝนเท่านั้น และในขณะฝนตกน้ำฝนแทรกซึมเข้าสู่ผิวของหินใต้ทัลลัสและช่วยพาสารละลายของสารเคมีที่ไลเคนสร้างขึ้น ให้แทรกซึมลึกเข้าไปเนื้อหินได้รอบทิศทาง ความชื้นที่มาจากน้ำใต้ดินและความชื้นจากน้ำค้างในยามค่ำคืนมีบทบาทอย่างมากในการทำปฏิกิริยาเคมีเหล่านั้น



ไลเคนชนิดต่าง ๆ บนผิวหิน

เมื่อตรวจสอบการเสื่อมสภาพของหินด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าวัสดุประสานเหลือน้อย เฟลด์สปาร์ผุพังกลายเป็นแร่ดินมากกว่าส่วนอื่น ๆ ที่อยู่ลึกลงไป บางตัวอย่างสามารถมองเห็นสาหร่ายและไลเคนแทรกซอนเข้าไปในเนื้อหินและทำให้เม็ดแร่แยกออกจากกัน เนื้อหินร่วน ๆ ส่วนที่อยู่ใต้ทัลลัสของไลเคนและสาหร่ายประกอบด้วยควอตซ์หรือทรายเป็นส่วนใหญ่ และพบแร่ดิน (kaolinite) และแคลไซต์ (calcite) ร่วมด้วยเพียงเล็กน้อย ในขณะที่เนื้อหินส่วนที่อยู่ลึกเข้าไปข้างในของหินก้อนเดียวกันมีองค์ประกอบสำคัญคือ ควอตซ์ และพบเฟลด์สปาร์ ไมกา แคลไซต์ เคโอลิไนต์ และมอนต์มอริลโลไนต์ ร่วมด้วย แสดงว่าหินทรายที่ผิวซึ่งอยู่ใต้ไลเคนและสาหร่ายมีองค์ประกอบต่างไปจากเดิม กล่าวคือเป็นเพียงผงร่วน ๆ ที่มีทรายเป็นหลัก แร่อื่น ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของหินทรายถูกเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบอื่น ๆ ซึ่งละลายน้ำแล้วถูกชะออกไป หรือเปลี่ยนสภาพไปเป็นสารประกอบที่ไม่มีรูปผลึก (amorphous หรืออสัณฐาน) ในขณะที่เนื้อหินส่วนที่อยู่ภายในยังคงสภาพเหมือนเดิม

รายงานการวิจัยจำนวนมากได้อธิบายกระบวนการสำคัญที่ไลเคนทำให้ผิวของวัสดุหลายชนิดสึกกร่อนว่าเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีพร้อม ๆ กัน การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพเกิดจากการที่ไลเคนหลายชนิดมีไรซอยด์ (rhizoid) หรือรากเล็ก ๆ แทรกซอนและฝังเข้าไปในเนื้อวัสดุ ทำให้เนื้อวัสดุบริเวณนั้น ๆ สึกกร่อนและร่วนซุยกว่าส่วนอื่น ๆ ที่ไม่มีไลเคนขึ้นเจริญอยู่ ไลเคนบางชนิดไม่มีไรซอยด์ แต่สร้างสารเมือกออกมายึดติดกับผิววัสดุ ขณะที่ไลเคนเจริญเติบโต ขนาดของทัลลัสที่ขยายใหญ่ขึ้นในแต่ละปีจะทำให้เม็ดแร่ที่เป็นองค์ประกอบของเนื้อวัสดุบริเวณนั้น ๆ แยกตัวออกจากกันทำให้เนื้อวัสดุร่วนและผุ นอกจากนี้ขณะที่อยู่กลางแจ้ง ไลเคนเปียกและแห้งสลับกันตลอดเวลาเนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแปรเปลี่ยนตลอดเวลา เมื่อเปียก ไลเคนจะขยายตัว และเมื่อแห้งไลเคนจะหดตัว การขยายตัวและหดตัวสลับกันบนผิววัสดุ ทำให้เกิดแรงดึงและแรงดันภายในเนื้อวัสดุ นาน ๆ เข้าจะทำให้ผิวของวัสดุสึกกร่อนผุเปื่อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูแล้ง ไลเคนส่วนใหญ่จะเหี่ยวเฉาและตายไป ขณะที่เหี่ยวแห้ง ทัลลัสของไลเคนจะหดตัวและมักแอ่นตัวขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งทัลลัสของไลเคนจำพวกโฟลิโอส ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นคล้ายดอกไม้หรือใบไม้ จะหดตัวและส่วนขอบมักแอ่นตัวขึ้น ไรซอยด์และสารเมือกจะดึงเอาเม็ดแร่ที่ผิวของหินออกมาด้วย ทำให้ผิวของหินบางลง ส่วนไลเคนจำพวกครัสโตส ซึ่งไม่มีไรซอยด์แต่จะเกาะติดแน่นและรัดตัวบนเม็ดแร่ในเนื้อวัสดุ การขยายตัวและหดตัวของทัลลัส ทำให้เกิดแรงดึงและแรงดัน ทำให้เม็ดแร่สูญเสียแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกันและหลุดออกจากกัน นอกจากนี้เส้นใยของราที่เป็นส่วนหนึ่งของไลเคนจำพวกครัสโตสสามารถแทรกซอนได้ลึก จึงมักแทรกเข้าไปในรอยต่อระหว่างเม็ดแร่ที่เป็นองค์ประกอบของวัสดุ กระบวนการนี้เกิดขึ้นซ้ำแล้วซ้ำเล่าทุกขณะที่ความชื้นแปรเปลี่ยน นอกจากนี้ไลเคนยังทำให้พื้นผิวของวัสดุอมความชื้นไว้ได้นาน เนื่องจากทัลลัสของไลเคนและสารประกอบต่าง ๆ ที่

ไลเคนสร้างขึ้นแล้วกลายเป็นผลึกหรือตะกอนหรือแผ่นคราบแข็ง ๆ ปกคลุมบนผิววัสดุ ขัดขวางการระเหยของน้ำออกจากผิวของวัสดุภายใต้ทัลลัสของไลเคน ทำให้วัสดุบริเวณนั้น ๆ ชื้นนานกว่าส่วนอื่น ๆ ความชื้นและอุณหภูมิที่เหมาะสมบริเวณใต้ทัลลัสของไลเคนทำให้จุลินทรีย์อื่น ๆ สามารถเจริญได้ดีและทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ได้ดี

นอกจากนี้ไลเคนยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เป็นที่ทราบดีว่าไลเคนส่วนใหญ่สร้างสารเคมีหลายชนิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึม กรดสำคัญที่ไลเคนสร้างขึ้น ได้แก่ กรดคาร์บอนิก (carbonic acid) กรดมาลิก (malic acid) กรดแซกซาลิก (saxalic acid) กรดไกลโคลิก (glycolic acid) กรดซักซินิก (succinic acid) กรดออกซาลิก (oxalic acid) กรดอูสนิก (usnic acid) กรดแอสคอบิก (ascobic acid) กรดเลคาโนริก (lecanoric acid) กรดโซโรมิก (psoromic acid) กรดเลพราริก (lepraric acid) กรดสติคติก (stictic acid) และกรดอื่น ๆ อีกมากกว่า 2,000 ชนิด

กรดอินทรีย์เหล่านี้สามารถทำปฏิกิริยากับอนุมูลของโลหะที่เป็นองค์ประกอบของอิฐ หิน และปูน แล้วเกิดปฏิกิริยาเคมีที่เรียกว่า *"chelation"* ซึ่งทำให้ธาตุบางอย่างที่เป็นองค์ประกอบของหินและปูน เช่น แคลเซียม โซเดียม อะลูมิเนียม แมกนีเซียม เหล็ก ฯลฯ กลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (complex salt) ต่าง ๆ ที่ละลายน้ำได้ แม้ว่ากรดอินทรีย์เหล่านี้จะเป็นกรดอ่อนและบางชนิดไม่ค่อยละลายน้ำ แต่มีความสามารถในการทำให้เกิด chelation ได้ดีมาก

ลักษณะของไลเคนชนิดต่าง ๆ บนผิวหิน

เพราะฉะนั้นสารเคมีที่ไลเคนสร้างขึ้น ไม่ได้ทำปฏิกิริยาเคมีแบบธรรมดาทั่วไปเพียงอย่างเดียว และไม่ได้ทำปฏิกิริยาเฉพาะกับแคลไซต์หรือแคลเซียมคาร์บอเนตเท่านั้น แต่สามารถทำปฏิกิริยากับแร่ทุกชนิดที่เป็นองค์ประกอบของวัสดุ ปฏิกิริยาเหล่านี้ดำเนินไปตลอดเวลาตราบใดที่ไลเคนยังมีชีวิตอยู่ สารเคมีที่ไลเคนสร้างขึ้นจะแทรกซึมเข้าไปในเนื้อหินและทำปฏิกิริยาเคมีได้ทันที โอกาสที่สารเคมีเหล่านี้จะถูกน้ำฝนชะล้างออกไปมีน้อยมากเมื่อเทียบกับระยะเวลาที่สารเคมีถูกสร้างขึ้นอย่างต่อเนื่องภายในเนื้อหิน เพราะฝนจะตกเฉพาะในฤดูฝนเท่านั้น และในขณะฝนตกน้ำฝนแทรกซึมเข้าสู่ผิวของหินใต้ทัลลัสและช่วยพาสารละลายของสารเคมีที่ไลเคนสร้างขึ้น ให้แทรกซึมลึกเข้าไปเนื้อหินได้รอบทิศทาง ความชื้นที่มาจากน้ำใต้ดินและความชื้นจากน้ำค้างในยามค่ำคืนมีบทบาทอย่างมากในการทำปฏิกิริยาเคมีเหล่านั้น

3.4 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากพืช

ศิลปกรรมที่อยู่กลางแจ้ง ขาดการดูแลรักษา มักมีวัชพืช พืชชั้นต่ำ และพืชชั้นสูงขึ้นปกคลุม พบมากบริเวณที่ติดกับดิน รอยต่อ รอยแตกของวัสดุ หรือในที่ที่มีดินหรือฮิวมัสสะสมอยู่มาก สิ่งที่ชีวิตเหล่านี้ทำให้วัสดุเกิดการผุกร่อนได้ทีละน้อย ๆ

สิ่งที่มองเห็นเป็นคราบสกปรกสีต่าง ๆ เช่น สีเขียว สีดำ สีเทา สีเหลือง สีน้ำตาล สีขาว สีส้ม สีแดง ฯลฯ ประกอบด้วยพืชชั้นต่ำและต้นอ่อนของพืชชั้นสูง พืชชั้นต่ำที่พบมากคือ มอส (moss) เฟิร์น (fern) ซีแลกจิเนลลา (selaginella) ลิเวอร์เวิร์ต (liverwort)

พืชชั้นต่ำและพืชชั้นสูง พบมากบนวัสดุที่เปียกชื้นและตามบริเวณที่มีดินหรือฝุ่นละอองสะสมอยู่ เช่น ตามส่วนฐานที่อยู่ใกล้พื้นดิน ส่วนที่อยู่ใต้ร่มไม้หรืออยู่ใกล้ต้นไม้ใหญ่ ตามบริเวณรอยต่อ/รอยแตกของวัสดุ ในลวดลายบนส่วนยอดของประติมากรรม พืชชั้นต่ำพบมากบนประติมากรรมที่ชื้น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งตรงส่วนล่างติดกับดินมักพบมอส เฟิร์น ลิเวอร์เวิร์ต ซีแลกจิเนลลา มอสเป็นกลุ่มพืชที่มีเซลล์เรียงตัวกันอย่างง่าย ๆ ไม่มีท่อลำเลียงอาหาร ไม่มีราก ลำต้น หรือใบที่แท้จริง แต่มีรูปร่างคล้ายพืชชั้นสูงที่ทำหน้าที่คล้ายราก เรียกว่า ไรซอยด์ (Rhizoid) พบว่ามอสมีไรซอยด์ค่อนข้างยาว พบมากบนวัสดุที่อยู่ทางทิศเหนือและทิศใต้มากกว่าด้านตะวันตกและด้านตะวันออก เนื่องจากด้านทิศเหนือและด้านทิศใต้ได้รับแสงแดดน้อยกว่าด้านทิศตะวันออกและตะวันตก วัสดุจะอุ้มความชื้นไว้ได้ดีกว่า อัตราการระเหยของน้ำจะน้อยกว่า

ประติมากรรมที่อยู่กลางแจ้ง มักมีสาหร่ายและพืชชั้นต่ำขึ้นปกคลุมผิว

ลิเวอร์เวิร์ตเป็นพืชชั้นต่ำที่คล้ายมอส มีลักษณะเป็นแผ่นราบ ขนาดสูงประมาณ 2–3 เซนติเมตร หรือแบนราบกับพื้น ลักษณะคล้ายใบ ไม่มีท่อลำเลียงและไม่มีใบที่แท้จริง โครงสร้างที่คล้ายใบเป็นทัลลัส มีไรซอยด์คล้ายเส้นผม ดูดอาหารในดินและวัสดุ พบบนวัสดุที่มีดินสะสมและชื้นแฉะอยู่เสมอ มักอยู่ใต้ร่มเงาไม่ได้รับแสงแดดโดยตรง

เฟิร์นเป็นพืชไร้ดอกพวกหนึ่ง มีโครงสร้างภายในแต่ละเซลล์แยกกันทำหน้าที่ต่าง ๆ มีการสืบพันธุ์โดยการสร้างสปอร์ทางด้านใต้ของใบ จัดเป็นพืชที่ไม่มีเนื้อไม้ ประกอบด้วยส่วนสำคัญสามส่วน คือ ต้น ราก และใบ ต้นมีท่อลำเลียงน้ำและอาหารแบบง่าย ๆ ไม่มีเนื้อไม้และไม่มีการเพิ่มขนาดทางด้านกว้าง ลำต้นไม่มีเปลือก แต่มักมีขนหรือเกล็ด (scale) ปกคลุม รากมีกำเนิดจากลำต้นแตกแขนงแบบรากวิสามัญโดยไม่มีรากแก้ว ใบลักษณะคล้ายคลึงกับใบของพืชมีดอกทั่วไป แบ่งเป็นใบเดี่ยวและใบประกอบ ด้านท้องใบมีอับสปอร์จำนวนมากทำหน้าที่สร้างสปอร์ สปอร์จะหลุดออกจากอับสปอร์เมื่อเจริญเต็มที่แล้ว เมื่อไปตกในที่ชื้นพอเหมาะก็จะเจริญงอกงาม เฟิร์นที่พบบ่อยบนประติมากรรมที่อยู่กลางแจ้งได้แก่เฟิร์นก้านดำ (*Adiantum spp.*) ซึ่งมีกิ่งก้านสีดำเรียวเล็ก ใบเป็นแผ่นรูปเหลี่ยม บางชนิดมีรูปค่อนข้างกลมมักพบร่วมกับมอสและซีแลกจิเนลลา ในฤดูฝนจะเจริญเติบโตงอกงามดี แต่ในฤดูแล้งมักอยู่ในสภาพเหี่ยวเฉา

ซีแลกจิเนลลามีลักษณะที่สำคัญคือ มีราก ลำต้น ใบที่แท้จริง ลำต้นมีทั้งที่อยู่บนดินและใต้ดิน ลำต้นที่อยู่บนดินอาจตั้งตรงหรือเลื้อยทอดไปตามผิวดิน ขยายพันธุ์โดยการแตกหน่อ พบมากในบริเวณที่ชื้น ๆ และอยู่ในที่ร่ม ส่วนที่ไม่ค่อยได้รับแสงแดดมากนัก

พืชเหล่านี้ล้วนแล้วแต่มีรากหรือส่วนที่คล้ายราก ซึ่งจะแทรกซอนเข้าไปในช่องว่างหรือรูพรุนของวัสดุ เพื่อเกาะยึดและดูดน้ำ ดูดอาหาร แล้วทำให้วัสดุนั้น ๆ แตกออก พืชขนาดใหญ่จะมีรากขนาดใหญ่ที่ทำให้เอียง ทรุด หรือพังทลาย ใบและซากของพืชที่ตายแล้วจะสลายตัวกลายเป็นฮิวมัส ซึ่งเป็นแหล่งอาหารที่ดีสำหรับพืชอื่น ๆ และจุลินทรีย์ นอกจากนี้วัชพืชที่เจริญเติบโตยังขัดขวางการระเหยของน้ำออกจากเนื้อวัสดุและรากของพืชอมน้ำไว้ได้มากทำให้วัสดุชื้นแฉะตลอดเวลา

รากของพืชไชซอนไปตามรอยต่อของวัสดุ

พืชขั้นสูงที่พบบนประติมากรรมที่อยู่กลางแจ้งคือ วัชพืชที่พบได้ทั่วไปในที่รกร้างขาดการดูแล มีทั้งวัชพืชปีเดียวหรือพืชล้มลุก วัชพืชสองปี และวัชพืชหลายปี พืชเหล่านี้แข็งแรง เจริญเติบโตและขยายพันธุ์ได้รวดเร็ว มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมหรือการควบคุมได้เป็นอย่างดี ราก ของพืชไชชอนเข้าไปในช่องว่างหรือรอยต่อหรือรอยร้าวในเนื้อหินแล้วดันให้เนื้อหินแตกออก

3.5 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากแมลง

ศิลปกรรมบนกระดาษ ผ้า ไม้ และอินทรียวัตถุอื่น ๆ ที่เก็บรักษาในสภาพแวดล้อมที่ร้อนชื้นและขาดมาตรการป้องกันแมลงที่เหมาะสม มักถูกแมลงกัดกินและทำให้เกิดคราบเปื้อน หรือบางครั้งทำให้เกิดกลิ่นเหม็น แมลงที่กัดกินทำลายศิลปกรรม ได้แก่ ปลวก มอดเจาะไม้ มอดไม้ไผ่ มอดขี้ขุย ด้วงขนสัตว์ ผีเสื้อกลางคืน แมลงสาบ แมลงสามง่าม ฯลฯ

ส่วนหนึ่งของแมลงที่พบบ่อยบนศิลปกรรม

ลักษณะการทำลาย ของแมลง

แม้แต่จิตรกรรมฝาผนังก็อาจพบร่องรอยการทำลายของแมลง ทั้ง ๆ ที่องค์ประกอบหลักเป็นอนินทรียวัตถุ เช่น ปูนขาว ปูนซีเมนต์ ดินสอพอง ฯลฯ ซึ่งแมลงไม่ชอบกิน แต่ชั้นสีถูกกัดกินทำลาย เช่น เคยพบว่าแมลงสาบและแมลงสามง่ามกัดกินชั้นสีบนจิตรกรรมฝาผนังที่เพิ่งเขียนเสร็จใหม่ ๆ เนื่องจากสารยึดที่เป็นคาร์โบไฮเดรตเป็นอาหารที่แมลงเหล่านี้ชอบกิน รวมทั้งกาวที่ใช้ในการเตรียมรองพื้น หลายกรณีพบว่ามีทางเดินปลวกบนจิตรกรรมฝาผนัง ทำให้ชั้นสีชำรุดและเกิดคราบเปื้อนสีเข้มที่ขจัดออกยาก พบว่าปลวกใต้ดินทำทางเดินผ่านจิตรกรรมเพื่อไปกินไม้ที่เป็นวงกบประตู วงกบหน้าต่าง บานประตู บานหน้าต่าง เสา เพดาน ฯลฯ

ลักษณะการทำลาย
ของปลวก

อุโมงค์ที่ตัวอ่อนของ
มอดหนังสือกัดกิน
ทำลายกระดาษ

3.6 ก๊าซมลพิษและไอระเหย

ก๊าซมลพิษและไอระเหยอาจล่องลอยอยู่ในอากาศหรือตกสะสมบนพื้นผิวหรือมาเกาะติดบนผิววัตถุโดยการสัมผัสหรือเสียดสี แล้วทำให้ศิลปกรรมเกิดการเปลี่ยนแปลงได้หลายรูปแบบ ตัวอย่างเช่น ประติมากรรมที่ทำด้วยหิน ปูนปั้น และโลหะ ที่อยู่ในที่โล่งมักเกิดการเปลี่ยนแปลงจากก๊าซมลพิษในอากาศ

ในพื้นที่ที่มีการจราจรคับคั่ง อยู่ใกล้โรงงานอุตสาหกรรม หรืออยู่ใกล้โรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง อากาศมีกรดเจือปนอยู่มาก ก๊าซมลพิษที่สร้างปัญหาให้กับประติมากรรมมากที่สุดคือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ เมื่อรวมตัวกับความชื้นในอากาศ น้ำฝน หมอก น้ำค้าง จะเกิดกรดคาร์บอนิก กรดซัลฟิวริก และกรดไนตริก เรียก

รวม ๆ ว่าฝนกรด (acid rain) ซึ่งทำปฏิกิริยากับวัสดุต่าง ๆ ได้ดี นอกจากนี้ในบางพื้นที่อาจมีปัญหาจากหมอกควัน หมอกพิษ หรือหมอกปนควัน ที่เรียกว่า smog ในช่วงเวลาที่มีอากาศมัว ๆ หรือที่กรมอุตุนิยมวิทยาเรียกว่า "*ฟ้าหลัว*" ซึ่งมีอนุภาคขนาดเล็ก ๆ ที่เรียกว่า particulate matter (PM) รวมตัวกับกลุ่มควันและหมอกหนาหนัก มีฝุ่นละอองและสารที่เป็นอันตรายต่อคนและวัสดุสิ่งของต่าง ๆ รวมทั้งศิลปกรรมปะปนอยู่มากมาย บางชนิดมองเห็นได้ บางชนิดมองไม่เห็นด้วยตา ศิลปกรรมที่อยู่กลางแจ้งได้รับผลกระทบจากหมอกควัน เกิดการเปลี่ยนแปลงหลายรูปแบบ ส่วนศิลปกรรมที่อยู่ในอาคาร แต่ไม่อยู่ในตู้หรือบรรจุภัณฑ์ที่ช่วยป้องกันหมอกควันจะได้รับผลกระทบเช่นกัน แต่น้อยกว่าศิลปกรรมที่ทำจากอินทรียวัตถุเกิดการเปลี่ยนแปลงได้มากและยากต่อการแก้ไข

มีผู้ทำการทดลองแล้วรายงานว่า การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากก๊าซมลพิษอย่างรุนแรงเกิดขึ้นเมื่อหินปูน หินอ่อน ปูนปั้น และวัสดุที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบ อยู่ในสภาพแห้ง ก๊าซที่เป็นกรดและอนุภาคอื่น ๆ ในอากาศ จะทำปฏิกิริยาอยู่ภายในช่องว่าง รูพรุน รอยต่อของอนุภาค แล้วทำให้เกิดยิปซัม (calcium sulphate dihydrate) ซึ่งละลายน้ำได้ดีกว่าแคลเซียมคาร์บอเนตมาก สารละลายของยิปซัมที่เกิดขึ้นจึงไหลไปตามน้ำ (ขณะที่ฝนตก) แพร่กระจายไปยังส่วนอื่น ๆ บนพื้นผิว ในขณะเดียวกันก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ก็ทำปฏิกิริยากับคาร์บอเนตเช่นนี้เหมือนกัน แต่เกิดแคลเซียมไนเตรตขึ้น ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าทำปฏิกิริยากับน้ำ ได้กรดคาร์บอนิก ซึ่งเข้าทำปฏิกิริยาต่อไปกับคาร์บอเนตแล้วได้แคลเซียมไบคาร์บอเนต ซึ่งละลายน้ำได้และบางส่วนสลายตัวให้น้ำกับคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไป ส่งผลให้แคลเซียมคาร์เนตในเนื้อวัสดุละลาย เปลี่ยนรูปไปเป็นสารละลาย ถูกฝนชะล้างออกไปเรื่อย ๆ เนื้อวัสดุจะสึกกร่อน โปร่งพรุนมากขึ้น ผู้ทำการวิจัยรายงานว่ากระบวนการเช่นนี้ทำให้อนุมูลแคลเซียมในหินอ่อนลดลงจากเดิม 69% ในขณะที่ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นขณะฝนตก ทำให้อนุมูลแคลเซียมลดลงจากเดิมเพียง 3% แสดงว่าปฏิกิริยาที่เกิดในขณะวัสดุแห้งส่งผลกระทบรุนแรงกว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นขณะฝนตก เพราะน้ำฝนตกกระทบและสัมผัสกับผิววัสดุเป็นเวลาสั้น ๆ

ส่วนของประติมากรรมตรงที่ไม่ถูกฝนสาดหรือมีน้ำไหลผ่าน เช่น ตามซอก หลืบ มุม หรือใต้ชายคา มักมีคราบแข็ง ๆ เกาะติดอยู่บนผิว นั่นคือสารประกอบของแคลเซียมที่เกิดจากปฏิกิริยาดังกล่าวที่สะสมตัวอยู่บนผิว แล้วมีฝุ่นละออง เขม่า ควัน และสารประกอบอื่น ๆ จะปลิวมาสะสมอยู่บนคราบแข็ง ๆ นานเข้าจะได้คราบสีเข้ม–สีดำ ที่เรียกว่า black crust ซึ่งประกอบไปด้วยผลึกยิปซัมขนาดเล็ก–ใหญ่ทับซ้อนเป็นชั้น ๆ อยู่ร่วมกับผลึกแคลเซียมคาร์บอเนตที่มาตกผลึกใหม่จากแคลเซียมไบคาร์บอเนตและสารมลพิษต่าง ๆ คราบแข็ง ๆ เช่นนี้จะกะเทาะหรือหลุดล่อนออก

ไป พาเอาเนื้อวัสดุติดออกไปด้วย หากพยายามแซะหรือขัดคราบแข็ง ๆ นี้ออก จะทำให้สูญเสียเนื้อวัสดุที่อยู่ใต้คราบแข็ง ๆ ออกไปเช่นกัน ส่งผลให้เนื้อวัสดุขรุขระ เป็นหลุมเป็นบ่อทำรุดเพิ่มขึ้น จากนั้นเนื้อวัสดุส่วนที่อยู่ใต้คราบแข็งสัมผัสกับก๊าซมลพิษและความชื้นได้มากขึ้น ในต่างประเทศจึงใช้แสงเลเซอร์ทำความสะอาดเฉพาะจุด เพื่อเผาส่วนที่เป็นเขม่าออกไป โดยไม่รบกวนคราบแข็ง ๆ

แม้ว่าในขณะนี้ ประเทศไทยยังมีระดับก๊าซมลพิษที่ทำให้เกิดฝนกรดไม่สูงมาก แต่มีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นในเมืองใหญ่ที่มีการจราจรคับคั่งและพื้นที่ที่อยู่ใกล้โรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงถ่านหิน รวมทั้งพื้นที่ที่มีปัญหาก๊าซมลพิษและหมอกควัน ควรวางแผนตรวจสอบสภาพบ่อย ๆ และหาทางป้องกันศิลปกรรมที่มีคุณค่าสูงจากกระบวนการดังกล่าว

ก๊าซมลพิษที่สร้างปัญหาให้กับประติมากรรมมากที่สุดคือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ เมื่อรวมตัวกับความชื้นในอากาศ น้ำฝน หมอก น้ำค้าง จะเกิดกรดคาร์บอนิก กรดซัลฟิวริก และกรดไนตริก เรียกรวมๆ ว่า “*ฝนกรด*” (acid rain)

ประติมากรรมที่ทำจากหิน อาจมีรอยแตก รอยร้าว เนื่องจากมีการใช้เหล็กในการยึดหรือเสริมสร้างความแข็งแรง ในระหว่างการผลิตหรือในกระบวนการซ่อมแซม เหล็กทำปฏิกิริยากับอากาศที่มีความชื้น รวมทั้งก๊าซมลพิษ แล้วเกิดสารประกอบของเหล็กหลายชนิดที่เรียกรวม ๆ ว่า **สนิมเหล็ก** สารประกอบเหล่านี้มีปริมาตรเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดแรงดันในเนื้อหิน บางกรณีในการซ่อมแซมมีการใช้ปูนสอที่มีองค์ประกอบที่ไม่เหมาะสม ทำให้เนื้อหินชำรุดผุเปื่อย

บางกรณีปัญหาเกิดจากหินอ่อนและหินปูนบางชนิดมีสิ่งเจือปนอยู่ภายใน เป็นสารประกอบจำพวกซิลิเกต ทำให้เนื้อหินอ่อนมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกันน้อย เกิดช่องว่าง รูพรุนที่น้ำสามารถแทรกซึมเข้ามาได้ และนำพาสารละลายของกรดและเกลือเข้ามาทำปฏิกิริยาภายในโครงสร้าง แล้วเกิดผลึกเกลือใหม่ ๆ ที่ทำให้เนื้อหินผุเปื่อย หลุดล่อน

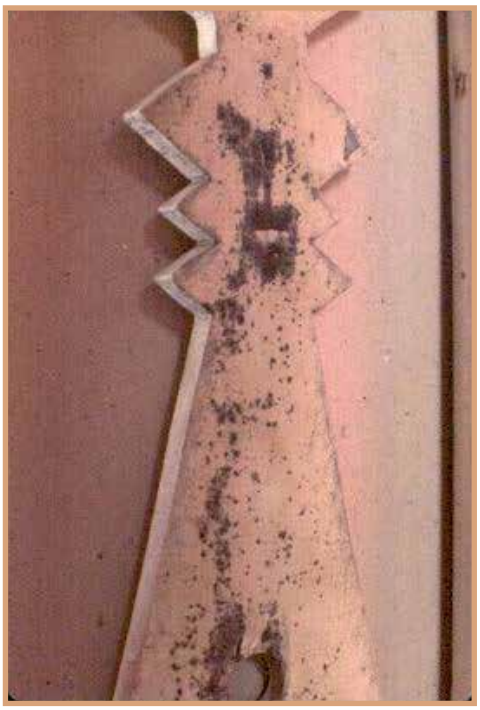
ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ทำให้ปูนเกิดการเปลี่ยนแปลงคล้าย ๆ กัน เนื่องจากกรดไนตริกที่เกิดจากก๊าซไนโตรเจนออกไซด์เข้าทำปฏิกิริยากับแคลเซียมคาร์บอเนต แล้วเกิดเกลือแคลเซียมไนเตรตและแคลเซียมไนไตรต์ ซึ่งละลายน้ำได้ดี เช่นเดียวกับในกรณีที่ในสภาพแวดล้อมมีสารประกอบคลอไรด์ จะเกิดเกลือแคลเซียมคลอไรด์ซึ่งละลายน้ำได้ดีเช่นเดียวกัน

การสึกกร่อนผุพังของหินปูนและหินอ่อนจากการกระทำของฝนกรด

ประติมากรรมที่ทำจากโลหะ เช่น สำริด เหล็ก สังกะสี ตะกั่ว ฯลฯ ได้รับผลกระทบจากฝนกรดเช่นเดียวกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ทำให้เนื้อโลหะเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบซัลเฟตมากที่สุด รองลงมาคือการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ทำให้เนื้อโลหะบางส่วนกลายเป็นเกลือไนเตรตและถูกทำลายไป นอกจากนี้ยังเกิดคราบสนิมที่มีสีต่าง ๆ ประติมากรรมโลหะที่อยู่ในอาคารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า เช่น สำริดที่อยู่ในอาคารตลอดเวลา จะมีสนิมสีน้ำตาล–ดำ ค่อนข้างสม่ำเสมอ นั่นคือสารประกอบทองแดงออกไซด์ ส่วนสำริดที่อยู่กลางแจ้งมักมีสนิมสีต่าง ๆ ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน สนิมชั้นล่างสุดเป็นทองแดงออกไซด์ที่มีชื่อทางแร่ว่า cuprite สนิมชั้นถัดขึ้นมาเป็นสนิมสีเขียวอมฟ้า เกิดจากทองแดงทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริกในฝนกรด เรียกว่า brochantite ซึ่งเป็นสารประกอบทองแดงซัลเฟตชนิดหนึ่งเรียกว่า copper hydroxy sulfate พื้นที่ที่อยู่ใกล้ทะเลในบรรยากาศมีไอเค็ม (โซเดียมคลอไรด์) จากน้ำทะเลปะปนอยู่ อาจทำให้เกิดสนิมกัดกร่อนของสำริด แล้วทำให้เนื้อโลหะถูกทำลายรุนแรง

คราบสนิมสีต่าง ๆ เกิดจากโลหะทำปฏิกิริยากับก๊าซมลพิษในอากาศ

สารสีหลายชนิดเกิดการเปลี่ยนแปลงจากการทำปฏิกิริยากับก๊าซชนิดต่าง ๆ และไอระเหยในบรรยากาศ (volatile organic compound หรือ VOC) เช่น สารประกอบของตะกั่วทำปฏิกิริยากับก๊าซไข่เน่า (ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์) ได้ตะกั่วซัลไฟด์ที่มีสีดำเป็นปรากฏการณ์ที่พบบ่อยบนภาพเขียนที่ใช้สารสีขาวตะกั่ว สีแดงเสน สีเหลืองตะกั่ว และสารประกอบของตะกั่วอื่น ๆ



สีขาวตะกั่วเปลี่ยนเป็นสีดำ

ปัจจุบันนักอนุรักษ์ให้ความสำคัญกับปฏิกิริยาเคมีที่เกิดจากไอระเหยที่มีปะปนในอากาศ ภายในห้องหรือภายในตู้ ลิ้นชัก กล่อง ลัง ฯลฯ ซึ่งเรียกว่า indoor pollution นอกเหนือจากก๊าซและไอระเหยที่มีปะปนในบรรยากาศภายนอกซึ่งเรียกว่า outdoor pollution ในบรรยากาศมักมีไอระเหยจากวัสดุต่าง ๆ เช่น ฟอร์มาลดีไฮด์จากไม้และผลิตภัณฑ์ไม้ ซึ่งรวมตัวกับน้ำได้กรดฟอร์มิก รวมทั้งไอระเหยจากผลิตภัณฑ์พลาสติก ยาง สารเคลือบผิว น้ำยาทำความสะอาด ยาฆ่าแมลง/ไล่แมลง สเปรย์ปรับอากาศ กาว พรม สักหลาด น้ำมันเชื้อเพลิง อาหาร ฯลฯ ไอระเหยเหล่านี้ทำให้ศิลปกรรมหลายชนิดเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีอย่างช้า ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจิตรกรรมประเภทต่าง ๆ กระดาษ ผ้า และประติมากรรมที่ทำจากโลหะ เช่น ตะกั่วเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบของตะกั่ว มีสีขาว-เทา ลักษณะคล้ายเกลือเกาะอยู่บนผิวตะกั่ว ถ้าทิ้งไว้นานจะทำให้ผิวตะกั่วปูดโปนเป็นตุ่ม บางส่วนขรุขระเป็นหลุมเป็นบ่อหรือหลุดร่วงเป็นผง

ไม้ ผลิตภัณฑ์ไม้ สารเคลือบผิว กาวพอลีไวนิลอะซีเตตหรือกาวลาเทกซ์ ซิลิโคนยาแนว น้ำยาทำความสะอาด และพลาสติกบางชนิด ปลดปล่อยกรดอินทรีย์ออกมาเข้าทำปฏิกิริยากับตะกั่ว สังกะสี แคดเมียม ทำให้เกิดสนิม ตัวอย่างเช่น ทำให้วัตถุที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบมีผลึกเกิดขึ้นบนผิว ทำให้ภาพถ่ายซีดจาง ทำให้เครื่องปั้นดินเผาที่เคลือบด้วยน้ำยาเคลือบที่ผสมตะกั่วเกิดผลึกเกลือบนผิวน้ำยาเคลือบ โฟมพอลิยูรีเทนบางชนิดเมื่อเสื่อมสภาพสลายตัวให้กรดอะดิพิก (adipic acid) ที่ทำให้ทองแดง สำริด และสังกะสีเป็นสนิม สีน้ำมันที่ใช้ทาอาคาร เครื่องเรือน และเครื่องใช้ต่าง ๆ จะปลดปล่อยไอระเหยออกมาอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดฟิล์ม (oxidation polymerization) เป็นไปอย่างช้า ๆ ใช้เวลานาน ระหว่างนั้นจะปลดปล่อยกรดฟอร์มิกออกมาตลอดเวลา

คอนกรีต กาว สีทาบ้าน กาวยาแนวบางชนิด ปลดปล่อยด่างหรือก๊าซแอมโมเนียออกมาทำปฏิกิริยาเคมีกับเซลลูโลสไนเตรตหรือเซลลูโลสเกิดการเปลี่ยนแปลง พอลีไวนิลคลอไรด์หรือ PVC จะปลดปล่อยสารเคมีที่เกิดจากการสลายตัวของ plasticizer เช่น กรดเบนโซอิกซึ่งทำให้ทองแดงสำริด และสังกะสีเป็นสนิม

> โฟมพอลิยูรีเทนบางชนิด เมื่อเสื่อมสภาพสลายตัว ให้กรดอะดิพิก (adipic acid) ที่ทำให้ทองแดง สำริด และสังกะสีเป็นสนิม

ผลิตภัณฑ์ไม้ กระเบื้องยาง สารเคลือบผิวที่ผลิตจากน้ำมันหรือสารเคลือบผิวที่ผลิตโดยกระบวนการ oxidative polymerization จะปลดปล่อยกรดฟอร์มิกซึ่งทำให้ทองแดงและสำริดเป็นสนิม ทำให้กระดาษอ่อนแอ ทำให้แก้วบางชนิดแตกราน ทำให้ภาพถ่าย (ภาพสี) มีสีซีดจาง

สารเคลือบผิวที่ทำจากอัลคิดและสารเคลือบผิวที่ผลิตโดยกระบวนการ oxidative polymerization ปลดปล่อยก๊าซไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งสามารถออกซิไดซ์อัลดีไฮด์ทำให้เกิดกรดอินทรีย์ เช่น กรดอะซีติก กรดฟอร์มิก ซึ่งเข้าทำปฏิกิริยากับภาพถ่าย (ภาพขาว–ดำ) ทำให้อนุภาคเงินในชั้นเยื่อไวแสงมีสีคล้ำขึ้น การปลดปล่อยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะเกิดมากในระยะแรก ๆ ที่ใช้งาน หลังจากนั้นจะค่อย ๆ ลดลง

วัสดุที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ เช่น ยางแข็ง (vulcanized rubber) ที่ผสมกำมะถันในขั้นตอนการผลิต สารเคลือบผิวและสีย้อมที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ ขนสัตว์ที่ได้รับแสงแดดจะปลดปล่อยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือก๊าซไข่เน่า และสารประกอบที่มีกำมะถันอยู่ในโมเลกุล เช่น carbonyl sulfide วัสดุเหล่านี้ทำให้ทองแดง สำริด และเงินเป็นสนิม ภาพถ่ายบางชนิด เช่น daguerreotype จะสูญเสียรายละเอียดบนภาพ สารสีที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบ เช่น สีขาวตะกั่ว สีแดงเสน สีเหลืองตะกั่วมีสีคล้ำ–ดำ นอกจากนี้สารประกอบกำมะถันยังทำให้กระดาษและผ้าที่มีความพรุนเปลี่ยนสีเป็นสีเหลือง

วัตถุที่ทำจากพลาสติกรุ่นแรก ๆ เช่น เซลลูโลสไนเตรตหรือเซลลูลอยด์ ใช้เป็นฟิล์มถ่ายภาพ ฟิล์มภาพยนตร์ และใช้ทำลูกบิลเลียด (เลียนแบบงาช้าง) เครื่องประดับ (เลียนแบบกระดองเต่า) กระดุม ปากกา ของใช้ ของเล่นต่าง ๆ รวมทั้งสารเคลือบผิวและกาวที่ผลิตจากเซลลูโลสไนเตรต ปลดปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ทำให้ทองแดง ทองเหลือง เหล็ก และสังกะสีเป็นสนิม ทำให้กระดาษอ่อนแอ ภาพถ่าย (ภาพสี) ซีดจาง และมีข้อเสียที่เป็นวัตถุไวไฟ สามารถลุกไหม้ได้เอง ทำให้เลิกใช้ไป ต่อมาผลิตเซลลูโลสอะซีเตตขึ้นมาใช้แทนเซลลูโลสไนเตรต นิยมใช้ทำเครื่องประดับและเครื่องใช้ต่าง ๆ เช่นเดียวกับเซลลูโลสไนเตรต เซลลูโลสอะซีเตตมีข้อดีตรงที่ไม่ไวไฟเท่าเซลลูโลสไนเตรต และเสถียรอยู่ได้นานประมาณ 40 ปี หลังจากนั้นจะปลดปล่อยกรดอะซีติกออกมาจากกระบวนการ acid hydrolysis เรียกว่า vinegar syndrome กรดอะซีติกจะทำลายตัวพลาสติกเอง และทำลายวัตถุอื่น ๆ ที่อยู่ใกล้เคียง ยิ่งปริมาณของกรดสะสมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้วัตถุเกิดการเสื่อมสภาพมากยิ่งขึ้น

การสัมผัส เสียดสีระหว่างผิววัสดุ หรือการอยู่ใกล้ชิดกัน อาจเกิดคราบเปื้อนหรือรอยด่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัตถุที่มีสีขาวและสีอ่อน ๆ มักเกิดคราบเปื้อนที่มีสีแตกต่างจากเดิม บางครั้งทำให้วัสดุกรอบเปราะขึ้น ตัวอย่างของวัสดุที่มักทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ได้แก่ สารเคมีที่โฟมพอลิยูรีเทนราคาถูกปลดปล่อยออกมาจากการสลายตัวจากกระบวนการ photooxidation และ

hydrolysis ทำให้โฟมเปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองอมน้ำตาล ซึ่งสร้างรอยเปื้อนบนผิววัตถุ ในขณะเดียวกันก็ปลดปล่อยกรดออกมา ตัวโฟมเองก็มีสภาพกรอบเปราะ จนไม่สามารถรับน้ำหนักได้เหมือนเดิม

วัสดุอื่น ๆ ที่ทำให้ศิลปกรรมเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น plasticizer ที่ PVC สลายตัวแล้วปลดปล่อยออกมา มีลักษณะเป็นของเหลวข้น ๆ เหนียวเหนอะหนะ ดึงดูดฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกมาสะสม สารประกอบกำมะถันที่ยางปลดปล่อยออกมาทำปฏิกิริยากับโลหะ สารสี ภาพถ่าย และวัสดุอื่น ๆ แล้วเกิดสารประกอบใหม่ที่มีสีต่างจากเดิม ดินน้ำมันปล่อยสารเคมีหลายอย่างที่ทำให้เกิดคราบเปื้อน เทปกาวบางชนิดเปลี่ยนสีขณะเกิดการเสื่อมสภาพ ส่วนใหญ่เปลี่ยนจากใสไม่มีสีกลายเป็นคราบเหนียวสีเหลืองถึงสีน้ำตาล ไม้ที่ไม่เคลือบผิวและไม้ที่มีตำหนิ เช่น มีรอยร้าว รอยแตก มีตา มีปุ่ม มีรอยต่อ ปลดปล่อยสารเคมีหลายชนิดที่ทำให้วัสดุที่อยู่ข้างเคียงเกิดคราบเปื้อน

สนิมบนเหรียญโลหะที่สัมผัสกับซอง PVC

บางครั้งคราบเปื้อนเกิดจากวัสดุที่ย้อมสีโดยใช้สีย้อมที่สามารถละลายออกมาได้เมื่อความชื้นสูงหรือเปียกน้ำ วัสดุที่ผลิตจากน้ำมัน เช่น น้ำมันซิลิโคน โฟมซิลิโคน แวกซ์ เจล น้ำมันหล่อลื่น ฯลฯ มักปลดปล่อยน้ำมันออกมาทำให้เกิดคราบเปื้อนลักษณะเป็นคราบน้ำมันหรือเป็นจุดสีคล้ำ หากวัตถุมีความพรุนสูง น้ำมันจะแทรกซึมลึกจนทำความสะอาดยากมาก วัสดุบางอย่างอาจติดแน่นบนผิววัตถุ เช่น สีทาอาคาร เทปกาว กาวหมากฝรั่ง (Blu Tack) ดินน้ำมัน เจล PVC (รวมทั้งหนังเทียม) ที่เสื่อมสภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัตถุที่มีวัสดุต่างชนิดกันยึดเหนี่ยวกัน โดยมีลักษณะเป็นชั้น ๆ และวัตถุที่มีพื้นผิวบอบบาง จะมีความเสี่ยงที่จะเกิดการเสื่อมสภาพสูง เช่น ชั้นต่าง ๆ อาจแยกตัวออกจากกันหรือวัตถุอาจมีรูปร่างเปลี่ยนไป

การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้เป็นส่วนหนึ่งของการเปลี่ยนแปลงของวัสดุต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อศิลปกรรม ยังมีการเปลี่ยนแปลงของวัสดุอีกมากมายที่ยังกำลังอยู่ในระหว่างการศึกษาวิจัย วัสดุชนิดใหม่ ๆ ที่เพิ่งผลิตขึ้นในทศวรรษนี้ อาจยังไม่ผ่านการทดสอบใด ๆ จึงมีความเสี่ยงสูง

สารเคมีที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างวัสดุกับสิ่งแวดล้อมอาจทำให้เกิดคราบเปื้อน และเสื่อมสภาพ เช่น สนิมของเหล็กและทองแดงมีสีเข้ม ทำให้เกิดคราบเปื้อนบนวัตถุที่อยู่ใกล้ชิด กรดไขมันจากหนังฟอกทำปฏิกิริยากับทองแดงหรือสำริด แล้วเกิดสารประกอบของทองแดงซึ่งมีสีเขียวและอาจกัดเนื้อวัสดุ

ในบรรยากาศมีโอโซนปะปนอยู่เล็กน้อย โอโซนเป็นตัวเติมออกซิเจน (oxidizing agent) อย่างแรง ทำปฏิกิริยาได้ดีกับอินทรียวัตถุและสารสีหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอินทรียวัตถุและสารสีที่ทำจากพืช สัตว์ และสารสังเคราะห์ โอโซนทำให้พันธะระหว่างโมเลกุลของวัตถุเหล่านี้แตกหักออก ทำให้มีสีซีดจางลงหรือเปลี่ยนสี ปฏิกิริยานี้จะรุนแรงและรวดเร็วมากขึ้นถ้ามีความชื้นและอุณหภูมิสูง ตามปกติเมื่อสีซีดจางลง มักคาดเดาว่าเป็นเพราะแสงสว่าง แต่มีผู้ทำการทดลองพบว่าสารสีหลายชนิดมีสีซีดจางลงเมื่อได้รับโอโซน แม้ไม่มีแสงสว่าง เช่น สีน้ำที่ทำจากอะลิซาริน รง ขมิ้น ฯลฯ จะซีดจางเร็วมากเมื่อได้รับโอโซน

ก๊าซอื่น ๆ อาจทำให้วัสดุบางชนิดเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น สีแดงเสนเปลี่ยนสีจากแดงอมส้มเป็นสีแดงอมน้ำตาลหรือแดงอมม่วง บางกรณีเปลี่ยนเป็นสีแดงอ่อนเนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเข้าทำปฏิกิริยากลายเป็นตะกั่วคาร์บอเนตซึ่งมีสีขาว ทำให้มองเห็นเป็นสีแดงอ่อน ก๊าซอื่น ๆ ทำให้ได้สารประกอบอื่น ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อสีเดิม

สีฟ้าอัลตรามารีนอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงที่เรียกว่า Ultramarine sickness ซึ่งมีลักษณะเป็นจุดสีเทาหรือเทาอมเหลืองบนผิวหน้าของชั้นสี เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างอัลตรามารีนกับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และความชื้น หรือการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากกรดในน้ำมันที่แห้งช้า ระหว่างนั้นจะดูดซับความชื้นแล้วทำให้สารยึดเกิดการบวมพอง ทึบแสง มองเห็นเป็นจุดหรือพื้นที่สีขาวบนชั้นสี

สีเขียวที่เป็นสารประกอบของทองแดงอีกชนิดหนึ่งคือ copper resinate ไม่ทนต่อแสงสว่าง เมื่อมีแสงและออกซิเจนจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล เพราะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นทองแดงออกไซด์ นี่คือเหตุผลที่ภาพเขียนโบราณบางภาพมีต้นไม้ใบไม้เป็นสีน้ำตาลแทนที่จะมีสีเขียว

ก๊าซไข่เน่า (ไฮโดรเจนซัลไฟด์) จะทำปฏิกิริยาเคมีกับผงสีที่เป็นสารประกอบของทองแดง ปรอท ตะกั่ว เช่น สีขาวตะกั่ว สีแดงเสน ทำให้เกิดเกลือซัลไฟด์ของโลหะดังกล่าว ซึ่งมีสีดำคล้ำ เช่น สีเหลืองตะกั่วโครเมตจะมีสีคล้ำขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้กับสารยึดที่ละลายน้ำได้ สารสีขาวตะกั่วที่เคยนิยมใช้ในสมัยโบราณจะเปลี่ยนไปเป็นสีน้ำตาล-เทา-ดำเมื่อทำปฏิกิริยากับก๊าซไข่เน่า หากใช้กับสีน้ำมันจะเกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวน้อยลง เพราะน้ำมันจะห่อหุ้มอนุภาคของสารสี ทำให้ก๊าซไข่เน่าแทรกซึมเข้าไปทำปฏิกิริยาได้น้อยลง สีเหลืองตะกั่วโครเมตจะมีสีคล้ำขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้กับสารยึดที่ละลายน้ำได้ สีแดงเสนไม่คงทนต่อสภาวะแวดล้อม หากได้รับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ก๊าซไข่เน่า) จะกลายเป็นตะกั่วซัลไฟด์ซึ่งมีสีดำ เมื่อใช้สีแดงเสนผสมทำสีน้ำมันจะกลายเป็นสีชมพู เนื่องจากตะกั่วออกไซด์บางส่วนเปลี่ยนไปเป็นตะกั่วคาร์บอเนต

สีขาวตะกั่วทำปฏิกิริยากับก๊าซไข่เน่าแล้วเปลี่ยนสีเป็นสีเทา-ดำ

เงิน ทองแดง และโลหะผสมที่มีเงินหรือทองแดงผสมอยู่ มักเกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีเทา-ดำ เนื่องจากโลหะทำปฏิกิริยากับก๊าซ ไอระเหย หรือสัมผัสกับวัสดุอื่น ๆ ที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ

เครื่องเงินส่วนที่สัมผัสกับอากาศหมองคล้ำ

3.7 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากกรด ด่าง และเกลือ

กรดที่เกิดจากก๊าซในอากาศ เช่น กรดคาร์บอนิก กรดซัลฟิวริก กรดไนตริก และกรดที่มาจากไอระเหยจากวัสดุต่าง ๆ เช่น กรดฟอร์มิก กรดอะซีติก (กรดน้ำส้ม) ฯลฯ ทำให้วัสดุบางชนิดที่ใช้สร้างสรรค์ศิลปกรรมเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ เช่น สีขาวที่ทำจากปูนขาวและสีขาวที่ทำจากเปลือกหอยจะละลายในกรด กรดทุกชนิดทำให้ผ้า กระดาษ และวัสดุอื่น ๆ ผุเปื่อย

กรดทำให้ผ้าผุเปื่อย

สารสีบางชนิดเปลี่ยนแปลงได้ง่ายถ้าสัมผัสกับกรด เช่น สีขาวจากปูนขาว สีขาวจากเปลือกหอย สีขาวจากเปลือกไข่ เปลือกหอย หอยมุก ไข่มุก รวมทั้งวัตถุอื่น ๆ ที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ กรดเข้าทำปฏิกิริยากับแคลเซียมคาร์บอเนตแล้วเกิดเกลืออื่น ๆ ของแคลเซียมขึ้นมาแทน

กรดกัดกร่อนเปลือกหอย เรียกว่า Byne's didease

สารสีเขียวมาลาไคต์ทั้งที่ได้จากธรรมชาติและที่ได้จากการสังเคราะห์ เป็นสารประกอบทองแดงคาร์บอเนต จึงทำปฏิกิริยากับกรด ทำให้สารสีชนิดนี้เกิดการเปลี่ยนแปลง เช่นเดียวกับสารสีอื่น ๆ ที่เป็นสารประกอบคาร์บอเนต

สารสีน้ำตาลอมแดงเป็นสีย้อมที่ได้จากไม้ Logwood จะเปลี่ยนสีเป็นน้ำเงิน-ดำ เมื่อสัมผัสกับด่างเช่นเดียวกับสีส้ม Antimony orange หรือ Antimony trisulfide จะสลายตัวเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีด่าง

เกลือเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้อาคารประวัติศาสตร์ จิตรกรรมฝาผนัง และประติมากรรมปูนปั้นชำรุดเสื่อมสภาพอย่างรุนแรง เกลือในที่นี้หมายถึงสารเคมีที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดกับด่าง เพราะฉะนั้นองค์ประกอบของเกลือคือไอออน (ion) บวกของด่าง และไอออนลบของกรด เช่น โซเดียมคลอไรด์ (เกลือแกง) โซเดียมซัลเฟต แอมโมเนียมไนเตรต แคลเซียมซัลเฟต เป็นต้น เกลือเป็นสารเคมีที่พบมากทั่วไปในธรรมชาติ ทั้งในดิน ในน้ำ ในอากาศ ในวัสดุต่าง ๆ และในร่างกายของสิ่งที่มีชีวิต เกลือจึงมีบทบาทสูงในการทำให้วัสดุที่มีรูพรุนเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางเคมีและทางกายภาพ หากมีน้ำหรือความชื้นร่วมอยู่ด้วย ปฏิกิริยาจะยิ่งรุนแรงและรวดเร็ว

น้ำยาเคลือบบนเครื่องลายครามแตกป่นเป็นผงเนื่องจากแรงดันของผลึกเกลือ

จิตรกรรมฝาผนังและประติมากรรมปูนปั้นเสื่อมสภาพจากการกระทำของเกลือมากที่สุด เกลือที่ละลายอยู่ในน้ำใต้ดินและแหล่งน้ำรอบ ๆ ฐานรากของอาคารจะเคลื่อนตัวขึ้นมาทางวัสดุก่อสร้าง เช่น อิฐ ปูนขาว ไม้ หิน ขึ้นมาบนผนังอาคารที่มีจิตรกรรมและประติมากรรมประดับอยู่โดยอาศัยแรงดึงดูดในรูพรุนขนาดเล็ก ๆ ภายในเนื้อวัสดุที่เรียกว่า **หลอดรูเล็ก** (capillary tube) สารละลายของเกลือจะแทรกซึมอยู่ในช่องว่างหรือรูพรุนในเนื้อวัสดุ น้ำจะเคลื่อนที่ขึ้นไปในเนื้อวัสดุจนถึงจุดที่น้ำไม่สามารถเอาชนะแรงดึงดูดของโลก จึงสะสมอยู่ในบริเวณนั้น เช่น ในพื้นที่กรุงเทพฯ

และปริมณฑลที่อยู่ใกล้แหล่งน้ำ น้ำสามารถเคลื่อนที่ขึ้นไปในผนังอิฐและปูนได้สูงถึง 1.5–2.5 เมตร เมื่อน้ำระเหยออกไปจากพื้นผิว สารละลายของเกลือจะมีความเข้มข้นสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงจุดหนึ่งที่มีความเข้มข้นสูงสุด เรียกว่าเป็นสารละลายอิ่มตัวยิ่งยวด (supersaturated) เกลือจะตกผลึกอยู่ภายในช่องว่างหรือรูพรุนส่วนที่มีการระเหยสูงสุด เมื่อใดที่ความชื้นสูง เกลือเหล่านี้จะละลายเป็นสารละลายแล้วตกผลึกใหม่เมื่อความชื้นต่ำ ผลึกจะมีขนาดใหญ่ขึ้น ดันให้ผนังของช่องว่างหรือรูพรุนของวัสดุแตกหักป่นเป็นผง

ผลึกเกลือบนจิตรกรรมฝาผนัง

กระบวนการเสื่อมสภาพที่เกิดจากเกลือ อาจเป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพหรือทางเคมีหรือทั้งสองอย่างผสมกัน การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพเกิดจากการที่สารละลายของเกลือแทรกซึมเข้าไปสะสมอยู่ในช่องว่างเล็ก ๆ หรือรูพรุนของเนื้อวัสดุ โดยอาศัยแรงดึงดูดในหลอดรูเล็ก (capillarity) ที่ดึงดูดน้ำให้เคลื่อนที่ในเนื้อวัสดุ น้ำจะเคลื่อนที่มาระเหยตรงผิวนอกสุดของวัสดุ เพราะเป็นส่วนที่ร้อนที่สุดและได้รับอิทธิพลจากลม เมื่อน้ำส่วนที่อยู่ผิวนอกสุดระเหยออกไป น้ำส่วนที่อยู่ถัดเข้าไปข้างในก็จะเคลื่อนตัวเข้ามาแทนที่ น้ำดังกล่าวจะพาเกลือที่ละลายน้ำได้มาด้วย เมื่อน้ำระเหยไป

สารละลายนั้นจะมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงจุดอิ่มตัวของสารละลายนั้น ๆ เกลือจะตกผลึกออกมาภายในช่องว่างหรือรุพรุนของวัสดุ แต่เนื่องจากความชื้นในเนื้อวัสดุและในบรรยากาศไม่คงที่ เพราะฉะนั้นในบางขณะน้ำระเหยออกไปได้มาก เกลือจะตกผลึกและบางขณะความชื้นในเนื้อวัสดุสูง เกลือจะอยู่ในรูปของสารละลาย ในวันหนึ่ง ๆ มีการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสลับกันไปมาหลาย ๆ ครั้ง เกลือที่ตกผลึกซ้ำแล้วซ้ำเล่าภายในเนื้อที่จำกัด ผลึกเกลือมีปริมาตรเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งตรงมุมจะขยายขนาดขึ้น ทำให้เกิดแรงดันตรงผนังของช่องว่างเล็ก ๆ ภายในเนื้อวัสดุ และจะระเบิดให้ผนังของช่องว่างภายในเนื้อวัสดุแตกออก ทำให้วัสดุนั้น ๆ มีสภาพเปื่อยยุ่ยหลุดร่วงออกมาเป็นผง ๆ ปรากฏการณ์เช่นนี้เกิดขึ้นมากตรงบริเวณที่น้ำระเหยออกจากวัสดุได้มากที่สุด

นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงเช่นนี้อาจเกิดจากการที่เกลือบางชนิดสามารถดูดน้ำเข้าในโมเลกุลแล้วกลายเป็นเกลือที่มีน้ำผลึก ซึ่งมีปริมาตรเพิ่มขึ้น และสามารถคายน้ำออกจากโมเลกุลกลายเป็นเกลือที่ไม่มีน้ำผลึกและมีปริมาตรลดลง เช่น Anhydrite (แคลเซียมซัลเฟต $CaSO_4$) ดูดน้ำจากอากาศแล้วเปลี่ยนเป็นยิปซัม ($CaSO_4 . 2H_2O$) ซึ่งมีปริมาตรเพิ่มขึ้น 19% แคลไซต์หรือแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) เมื่อทำปฏิกิริยากับสารประกอบที่มีอนุมูลซัลเฟต จะเปลี่ยนเป็นแคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4$) ซึ่งมีปริมาตรเพิ่มขึ้น 99% เมื่อ Thenardite (Na_2SO_4) ดูดน้ำเข้ามาในโมเลกุลแล้วกลายเป็น Mirabilite ($Na_2SO_4 . 10H_2O$) จะมีปริมาตรเพิ่มขึ้น 308% ฯลฯ

ประติมากรรมที่ฝังในฐานปูนซีเมนต์ ซ่อมแซมด้วยปูนซีเมนต์ หรือตั้งอยู่บนพื้นคอนกรีต มักเกิดการเปลี่ยนแปลงจากการกระทำของเกลือ

ศิลปกรรมที่ตั้งอยู่บนแหล่งเกลือหรือใกล้แหล่งน้ำมักประสบปัญหาที่เกิดจากเกลือ เช่น ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งตั้งอยู่บนแหล่งเกลือสินเธาว์ พบว่าหิน อิฐ ปูนผุเปื่อยจากการตกผลึกของเกลือที่ละลายน้ำได้ ศิลปกรรมที่ตั้งอยู่ใกล้ทะเลมักมีปัญหาจากเกลือแกงและเกลืออื่น ๆ ที่มาจากน้ำทะเล ศิลปกรรมที่ตั้งอยู่ใกล้แหล่งน้ำ เช่น บ่อน้ำ สระน้ำ แม่น้ำ ลำคลอง มักพบร่องรอยที่เกิดจากการทำลายของเกลืออย่างเด่นชัดและมักพบเกลือมากมายหลายชนิด เกลือบางส่วนเป็นเกลือเชิงซ้อน เนื่องจากน้ำในดินและแหล่งน้ำถูกปนเปื้อนจากสารเคมีต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์ ศิลปกรรมบางส่วนผุเปื่อยจากเกลือจากมูลนก ค้างคาว และสัตว์อื่น ๆ ที่อยู่อาศัยในบริเวณนั้น เกลือส่วนใหญ่ที่พบเป็นเกลือไนเตรต

นอกจากนี้ศิลปกรรมที่สัมผัสหรืออยู่ใกล้ชิดกับปูนซีเมนต์ เช่น ประติมากรรมที่ฝังในฐานปูนซีเมนต์ ซ่อมแซมด้วยปูนซีเมนต์ หรือตั้งอยู่บนพื้นคอนกรีต มักเกิดการเปลี่ยนแปลงจากการกระทำของเกลือ ที่พบบ่อยคือ การผุเปื่อยของหินและปูนปั้นบนฐานและผนังบางด้านของอาคาร ตั้งแต่ความสูงระดับพื้นดินถึงหนึ่งเมตร สองเมตร หรือมากกว่า ปรากฏการณ์ดังกล่าว หากเกิดบนผนังที่ว่างเปล่า มีเพียงอิฐ หิน และปูนจะไม่เป็นปัญหาสำคัญมากนัก แต่ถ้าเกิดบนผนังที่มีจิตรกรรมฝาผนังหรือมีลวดลายปูนปั้นประดับหรือประติมากรรมหิน จะเป็นปัญหาสำคัญในการอนุรักษ์

ผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทำให้วัสดุผุร่วน แตกหัก หลุดร่อนออกเป็นชั้น ๆ หรือเป็นผง เพราะขาดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของวัสดุนั้น ๆ วัสดุประสานอาจทำปฏิกิริยาเคมีกับเกลือกับเกลือแล้วละลายหายไป ทำให้วัสดุนั้น ๆ โปร่งพรุนและอ่อนยุ่ย

ปัจจัยสำคัญที่ทำให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงเช่นนี้ได้ดีก็คือการที่วัสดุหลายชนิดมีเนื้อพรุน ยอมให้อากาศและน้ำผ่านเข้าออกได้ได้ รูพรุนดังกล่าวเรียกว่าหลอดรูเล็ก (capillary tube) มีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 0.1–10 ไมครอน วัสดุส่วนใหญ่มีรูพรุนขนาดต่าง ๆ กระจัดกระจายอยู่ทั่วไป วัสดุที่มีรูพรุนขนาดเล็ก ๆ จำนวนมากมีแรงดึงดูดน้ำและสารละลายของเกลือสูงกว่า จึงผุกร่อนจากผลึกเกลือได้ง่ายกว่าวัสดุที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ ๆ

ปัจจัยอีกอย่างหนึ่งที่ช่วยสนับสนุนให้เกิดปรากฏการณ์นี้ได้ดีขึ้นคือ องค์ประกอบส่วนใหญ่ของวัสดุเป็นคาร์บอเนต ซิลิเกต อะลูมิเนต ออกไซด์ ฯลฯ ซึ่งล้วนแล้วแต่มีออกซิเจน (มีขั้วไฟฟ้าลบ) หรือไฮดรอกซิล (มีทั้งขั้วไฟฟ้าบวกและลบ) ขั้วไฟฟ้าบวกและลบเหล่านี้สามารถดึงดูดสารเคมีอื่น ๆ ที่มีขั้วบวกและขั้วลบอยู่ด้วย เช่น น้ำ เพราะฉะนั้นผิวหน้าของวัสดุมีขั้วไฟฟ้าบวกและลบอยู่มากมาย

จึงสามารถดึงดูดโมเลกุลของน้ำได้ วัสดุเหล่านี้เรียกว่า water-loving material หรือ hydrophilic หลังจากนั้นน้ำจะดึงดูดน้ำอีกหลาย ๆ โมเลกุลเข้ามาเรื่อย ๆ จนกระทั่งน้ำสามารถแทรกซึมอยู่เต็มภายในรูพรุนภายในเนื้อวัสดุได้ และโดยเหตุที่น้ำมีขั้วไฟฟ้าบวกและลบอยู่ภายในโมเลกุลเดียวกัน ทำให้น้ำมีคุณสมบัติพิเศษคือมีพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) โดยขั้วบวกที่ไฮโดรเจนดึงดูดกับขั้วลบที่ออกซิเจนโมเลกุลของน้ำจึงมีลักษณะเป็นพอลิเมอร์ (polymer) ซึ่งประกอบด้วยน้ำหลายโมเลกุลต่อเชื่อมกันและดึงดูดกันโดยพันธะไฮโดรเจน เมื่อน้ำสัมผัสกับผิววัสดุใด วัสดุที่มีพันธะไฮโดรเจนจะดึงดูดโมเลกุลของน้ำไว้ที่ผิวของวัสดุ และเมื่อน้ำแทรกซึมเข้าไปในรูพรุนของวัสดุได้ผิวนอกสุดของหยดน้ำจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่เว้าลง วัสดุจะเปียกหรือชื้น ถ้าผิวของวัสดุไม่มีคุณสมบัติในการดึงดูดน้ำ เรียกว่า hydrophobic น้ำจะจับตัวเป็นหยดกลม ๆ กลิ้งอยู่บนผิวของวัสดุหยดน้ำกลม ๆ จับตัวกันอยู่ได้เพราะมีแรงตึงผิว และโมเลกุลของน้ำในหยดน้ำนี้ยึดกันและดึงดูดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน

แรงดึงดูด (capillary action) ภายในรูพรุนของวัสดุต่าง ๆ มีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูพรุนนั้น ๆ รูพรุนที่มีขนาดเล็กมากจะมีแรงดึงดูดสูงมาก แรงดึงดูดนี้มีผลอย่างยิ่งต่อการเคลื่อนที่ของน้ำภายในวัสดุ ถ้าวัสดุมีรูพรุนขนาดใหญ่และขนาดเล็กปะปนกัน สารละลายของเกลือจะซอบอยู่ในรูพรุนขนาดเล็ก ๆ มากกว่ารูพรุนขนาดใหญ่ ผลึกเกลือที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเล็กและไม่มีแรงดันมากนัก แต่ถ้าวัสดุมีรูพรุนขนาดใหญ่เป็นจำนวนมาก ขนาดของผลึกจะโตมากขึ้น ทำให้เกิดแรงดันในช่องว่างภายในเนื้อวัสดุ

การเกิดผลึกเกลือมีหลายแบบ ได้แก่ เกิดที่ผิวของวัสดุ (Efflorescence) ปรากฏการณ์เช่นนี้เกิดเมื่ออัตราการระเหยไม่สูงมากนักและที่ผิวของวัสดุยังเปียกชื้นอยู่บ้าง ทำให้เกิดการตกผลึกที่ผิว หรือเป็นเพราะวัสดุมีเนื้อแน่นหรือมีรูพรุนขนาดเล็ก ๆ เช่น อิฐที่มีเนื้อแน่น หินเนื้อละเอียด ปูนฉาบและปูนปั้นเนื้อละเอียด ฯลฯ จะมีแรงดึงดูดในรูพรุนสูง ทำให้น้ำหรือสารละลายของเกลือมาออกันอยู่ที่ผิวของวัสดุมาก เมื่อน้ำระเหยไป เกลือจึงตกผลึกที่ผิว

ผลึกเกลืออาจเกิดในเนื้อวัสดุ เรียกว่า subflorescence ถ้ามีลมพัดแรงหรือแสงแดดร้อนจะทำให้อัตราการระเหยเร็วขึ้น ผิววัสดุจะแห้ง ปราศจากความชื้น เกลือจึงตกผลึกอยู่ภายในเนื้อวัสดุ หรืออาจเป็นเพราะวัสดุมีเนื้อหยาบมีรูพรุนขนาดใหญ่ ซึ่งมีแรงดึงดูดน้ำหรือสารละลายของเกลือไม่สูงนัก สารละลายของเกลือจึงสะสมอยู่ภายในมากกว่าที่ผิว เมื่อน้ำระเหยออกไป ผ่านรูพรุนที่ผิว เกลือจะตกผลึกอยู่ภายใต้ผิวหน้าของวัสดุ ลักษณะที่เห็นจะไม่พบผลึกเกลือ แต่วัสดุมีอาการผุเปื่อย เพราะผลึกเกลือจะมีแรงดันให้ผิวหน้าวัสดุหลุดออกเป็นแผ่น ๆ หรือป่นเป็นผง

หากศิลปกรรมมีเกลือโซเดียมคลอไรด์และแคลเซียมซัลเฟตอยู่ด้วยกัน จะพบผลึกเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ด้านบน ส่วนแคลเซียมซัลเฟตจะพบที่ด้านล่างของศิลปกรรม

ส่วนใหญ่พบว่ามีผลึกเกลือเกิดขึ้นกระจัดกระจายเป็นแห่ง ๆ ไม่สม่ำเสมอ สาเหตุส่วนหนึ่งเป็นเพราะความแตกต่างของขนาดของรูพรุน วัสดุที่มีเนื้อแน่น รูพรุนเล็ก จะพบเกลือบนผิว วัสดุที่มีเนื้อหยาบ มีรูพรุนขนาดใหญ่ เกลือจะตกผลึกข้างใน ในกรณีที่มีวัสดุหลายชนิดอยู่ด้วยกัน เช่น ปูนก่อที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มีเนื้อแน่นกว่าอิฐ หิน และปูนขาว น้ำจะระเหยออกที่ผิวที่มีรูพรุนมากกว่า ทำให้ส่วนนั้นผุเปื่อย เกลือที่ละลายน้ำได้ดีมักสามารถเคลื่อนตัวขึ้นไปตามผนังได้สูงกว่าที่ละลายน้ำไม่ดี เช่น หากศิลปกรรมมีเกลือโซเดียมคลอไรด์และแคลเซียมซัลเฟตอยู่ด้วยกัน จะพบผลึกเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ด้านบน ส่วนแคลเซียมซัลเฟตจะพบที่ด้านล่างของศิลปกรรม จะเห็นได้ว่าการเกิดผลึกเกลือบนวัสดุมีปัจจัยที่สำคัญสองประการคือ การที่มีเกลือที่ละลายน้ำปะปนอยู่และการเคลื่อนที่ของน้ำเข้าและออกจากรูพรุนในเนื้อวัสดุ

เกลือที่พบบนวัสดุมาจากหลายแหล่ง เช่น เกลือที่เป็นองค์ประกอบของดิน เกลือจากน้ำใต้ดิน เกลือที่มีอยู่ในเนื้อวัสดุ เกลือที่มาจากสิ่งแวดล้อม การผุพังสลายตัวของสิ่งที่มีชีวิต ตลอดจนเกลือจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น จากโรงงานอุตสาหกรรม การก่อสร้าง การทำอาหาร

ในดินมีสารอินทรีย์ที่เกิดจากการเน่าเปื่อยผุพังของสิ่งที่มีชีวิตซึ่งเรียกว่า ฮิวมัส น้ำ จุลินทรีย์ ฯลฯ ดินที่มีสารอินทรีย์อยู่มากมีความโน้มเอียงที่จะเป็นกรดได้ง่าย กรดที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยาต่อไปกับแร่ธาตุต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของดินและที่มีอยู่ในดิน เกิดเป็นเกลือชนิดต่าง ๆ อีกมากมาย เมื่อเกลือทำปฏิกิริยากับน้ำจะแตกตัวเป็นไอออน (ion) และทำให้สารละลายของเกลือมีฤทธิ์เป็น กรด ด่าง หรือเป็นกลาง ซึ่งจะทำปฏิกิริยาต่าง ๆ ต่อไป เพราะฉะนั้นดินจึงมีเกลือชนิดต่าง ๆ อยู่มากมายทั้งเกลืออินทรีย์และเกลืออนินทรีย์

เนื่องจากน้ำเป็นตัวทำละลายที่ดี เมื่อน้ำไหลผ่านชั้นดินและกรวดทรายจะละลายเกลือต่าง ๆ ที่ละลายน้ำได้ออกมาด้วย เกลือที่มักพบบ่อยในน้ำใต้ดิน ได้แก่ แคลเซียมไบคาร์บอเนต แมกนีเซียมไบคาร์บอเนต แมกนีเซียมซัลเฟต แคลเซียมซัลเฟต แคลเซียมคลอไรด์ แมกนีเซียมคลอไรด์ โซเดียมคลอไรด์ โซเดียมซัลเฟต พื้นที่ที่อยู่ใกล้ทะเลหรือแหล่งเกลือสินเธาว์มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ แมกนีเซียมคลอไรด์ แมกนีเซียมซัลเฟต โซเดียมซัลเฟต และแคลเซียมซัลเฟต ปะปนอยู่มากกว่าพื้นที่อื่น ๆ

วัสดุหลายชนิดมีเกลือปะปนอยู่ด้วย ทั้งที่ปะปนมาแต่เดิมจากแหล่งวัตถุดิบ และที่เกิดจากการผุพังสลายตัวตามธรรมชาติของวัสดุ เช่น อิฐซึ่งทำจากดินเหนียวและปูนก่อที่ทำจากปูนขาวมักมียิปซัม (แคลเซียมซัลเฟต) ปะปนอยู่ด้วยเสมอ อิฐที่เผาโดยใช้อุณหภูมิไม่สูงพอ ข้างในจะยังไม่สุกมองเห็นเป็นสีดำ อิฐเหล่านี้จะมีเกลือที่ละลายน้ำได้ปะปนอยู่มาก เพราะอุณหภูมิไม่สูงพอที่จะทำให้เกลือที่มีอยู่ในดินสลายตัวไป นอกจากนี้การที่ผิวของอิฐสุกดีแต่ข้างในไม่สุก ผิวที่สุกดีมีเนื้อแน่นกว่าเพราะองค์ประกอบของดินกลายเป็นสารประกอบที่มีเนื้อคล้ายแก้ว ซึ่งจะขัดขวางการสลายตัวของเกลือหรือกักขังเกลือไว้ภายใน

ทรายและกรวดมีเกลือปะปนอยู่ด้วยหลายชนิด ขึ้นอยู่กับที่มาของกรวดและทรายนั้น ๆ การใช้ทรายที่มีเกลือปะปนในการผสมปูน ทำให้เกิดปัญหาในเวลาต่อมา ปูนซีเมนต์เองมีเกลือหลายชนิด เช่น แคลเซียมซัลเฟต โซเดียมซัลเฟต โซเดียมคาร์บอเนต เกลือบางชนิดมีอยู่ในเนื้อปูนซีเมนต์ตั้งแต่เริ่มแรก เช่น แคลเซียมซัลเฟตซึ่งใช้เป็นตัวหน่วงปฏิกิริยาในการแข็งตัว และเกลือบางชนิดเกิดขึ้นขณะผสมปูนซีเมนต์กับน้ำ ทำให้เกิดสารละลายของเกลือ เช่น โซเดียมซัลเฟต โซเดียมคาร์บอเนต แมกนีเซียมคาร์บอเนต ซึ่งล้วนแล้วแต่เป็นเกลือที่เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้วัสดุผุกร่อน

นอกจากนี้ในสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ อาจมีเกลือปะปนอยู่ด้วย เช่น เกลือที่มาจากยาฆ่าแมลง ยาฆ่าวัชพืช ปุ๋ยวิทยาศาสตร์และปุ๋ยอินทรีย์ สารซักฟอก สารเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพดิน (ยิปซัม หินปูน ปูนมาร์ล) เขม่า ควัน และมลพิษในอากาศ ในน้ำ ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น

เกลือจะละลายน้ำได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเกลือนั้น ๆ และที่อุณหภูมิสูงเกลือจะละลายน้ำได้ดีกว่า เมื่ออุณหภูมิต่ำลงเกลือที่ละลายอยู่ในสารละลายจะตกผลึก ความยากง่ายในการตกผลึกขึ้นอยู่กับรูปร่างของผลึกและส่วนผสมของสารละลายของเกลือ เกลือหลายชนิดไม่ค่อยตกผลึกให้เห็น เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เพราะดูดความชื้นได้ดีมาก แล้วอยู่ในรูปของสารละลายเกือบตลอดเวลา จึงไม่พบเกลือเหล่านี้ แต่ถ้าสกัดเกลือออกจากวัสดุโดยใช้น้ำกลั่นแล้วนำสารละลายนั้นไปวิเคราะห์ อาจพบเกลือเหล่านี้ เกลือโซเดียมซัลเฟตและแมกนีเซียมซัลเฟตพบบ่อยในวัสดุเพราะเมื่อบรรยากาศมีความชื้นสูงกว่า 50% จะตกผลึกได้ง่าย แม้มีปริมาณเล็กน้อยก็ตกผลึกได้ จึงพบมากบนศิลปกรรม เกลือโพแทสเซียมซัลเฟตตกผลึกยาก จะตกผลึกก็ต่อเมื่อมีเกลืออื่น ๆ ร่วมอยู่ด้วย จึงแทบไม่พบผลึกเกลือชนิดนี้บนงานศิลปกรรม

ความชื้นในอากาศเป็นปัจจัยที่กำหนดว่าเกลือชนิดใดจะตกผลึก เช่น โซเดียมไนเตรตจะตกผลึกเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 74% ในขณะที่แมกนีเซียมไนเตรต ($Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$) จะตกผลึกก็ต่อเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 53% และแมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) จะตกผลึกเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 33% ประเทศไทยมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงกว่า 60% จึงมีโอกาสพบเฉพาะผลึกเกลือที่ตกผลึกได้เมื่อความชื้นสัมพัทธ์สูง ยกเว้นในบางพื้นที่ที่แห้งแล้งหรือบางบริเวณซึ่งได้รับแสงแดดเต็มที่ตลอดเวลาหรือในฤดูร้อนจนความชื้นต่ำกว่า 50% จึงจะพบเกลือที่ตกผลึกเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ

ผลึกเกลือเกิดได้หลายรูปแบบ ลักษณะผลึกอาจเป็นรูปเข็ม แท่ง เหลี่ยม ฯลฯ ขึ้นอยู่กับชนิดของเกลือและปัจจัยอื่น ๆ ได้แก่ องค์ประกอบและสิ่งแปลกปลอมในสารละลาย สภาวะอิ่มตัวยิ่งยวด (supersaturation) ความชื้น ความพรุนของวัสดุก่อสร้าง อัตราเร็วในการระเหย ฯลฯ เกลือชนิดเดียวกันภายใต้สภาวะแวดล้อมต่างกัน อาจตกผลึกที่มีรูปร่างต่างกัน บางครั้งพบว่าแม้ในจุดเดียวกันผลึกที่เกิดขึ้นในตอนแรก ๆ มีรูปร่างแตกต่างจากผลึกที่เกิดขึ้นในระยะเวลาต่อมาหรือเกลือที่ตกผลึกโดยมีรูปร่างแบบหนึ่งแล้ว เมื่อสภาวะแวดล้อมเปลี่ยนไป เกลือนั้น ๆ จะตกผลึกใหม่และมีรูปร่างผลึกแตกต่างไปจากเดิม เพราะฉะนั้นการดูรูปร่างลักษณะของผลึกเพียงอย่างเดียว ไม่

สามารถบอกได้ว่าเกลือนั้น ๆ เป็นเกลือชนิดใด จำเป็นต้องวิเคราะห์ด้วยวิธีเคมีหรือวิธีฟิสิกส์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ X-Ray Diffractometer จะช่วยให้สามารถบ่งบอกชื่อของเกลือและลักษณะโครงสร้างของผลึก

ผลึกเกลือที่พบเป็นกระจุกหรือเป็นคราบหนา ๆ บนผิววัสดุหรือภายในวัสดุ มักพบบ่อยบนวัสดุที่ชื้นแฉะอยู่เสมอ เช่น วัสดุที่ชื้นจากความชื้นจากใต้ดิน (rising damp) วัสดุที่มีอัตราการระเหยต่ำ เช่น ส่วนที่อยู่ในอาคาร ในที่ร่ม และมักพบบนส่วนล่างของผนังมากกว่าส่วนที่อยู่สูง ๆ แต่ถ้าบริเวณใดมีความชื้นมากเกินไปจะไม่พบผลึกเกลือ เพราะความชื้นสูงเกินไปไม่ทำให้เกิดสภาวะอิ่มตัวยิ่งยวด เกลือไม่สามารถตกผลึกออกมาได้ การตกผลึกจะเริ่มขึ้นต่อเมื่อวัสดุเริ่มแห้ง น้ำจะเริ่มระเหยออกไป ทำให้สารละลายของเกลือมีความเข้มข้นสูงขึ้นทีละน้อย ๆ จนถึงจุดอิ่มตัวยิ่งยวด เกลือจึงเริ่มตกผลึกออกมา ถ้าอัตราการระเหยไม่สูงมากเกินไป เกลือจะตกผลึกได้ผลึกที่มีรูปร่างแบบ isometric หรือระบบผลึก เช่น เป็นรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ รูปพีระมิด รูปปริซึม เป็นต้น โดยทั่วไปมักพบผลึกเกลือมากในฤดูแล้งและในบริเวณที่ไม่ถูกฝนชะล้าง

เพราะฉะนั้นเกลือและความชื้นต่างก็มีบทบาทสำคัญร่วมกันในการเสื่อมสภาพของศิลปกรรมที่ตั้งอยู่บนดินหรือบนผนังอาคาร ถ้ามีเกลืออยู่โดยปราศจากความชื้น เกลือจะเคลื่อนที่ไม่ได้ และถ้ามีเพียงความชื้นแต่ปราศจากเกลือก็ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากถึงขนาดนี้

ความชื้นที่เคลื่อนที่อยู่ในวัสดุ ส่วนใหญ่มาจากน้ำฝน ซึ่งจะแทรกซึมเข้าไปในวัสดุและในดินรอบ ๆ น้ำฝนที่แทรกซึมเข้าไปอยู่ในเนื้อวัสดุมีบทบาทน้อยกว่าน้ำฝนที่แทรกซึมลงไปสะสมอยู่ใต้ดินกลายเป็นน้ำใต้ผิวดิน เพราะฝนที่แทรกซึมในวัสดุจะระเหยไปหลังจากฝนหยุด แต่น้ำใต้ดินระเหยช้ามาก จึงแทรกซึมเข้าไปในวัสดุโดยผ่านทางรูพรุนเล็ก ๆ ในเนื้อวัสดุ ในขณะเดียวกันก็ละลายเอาเกลือที่มีอยู่ในดินและสิ่งแวดล้อมขึ้นไปสะสมอยู่ในเนื้อวัสดุ การที่น้ำใต้ดินจะแทรกซึมขึ้นไปได้สูงเพียงใด ขึ้นอยู่กับระดับน้ำใต้ดิน ความพรุนของวัสดุ พื้นที่ที่มีการระเหย อัตราการระเหย

ในที่ราบลุ่มหรือในที่ใกล้แม่น้ำ ลำคลอง หรือแหล่งน้ำอื่น ๆ ระดับน้ำใต้ผิวดินมีค่าสูงกว่าบริเวณที่อยู่ห่างไกลแหล่งน้ำ ทำให้น้ำใต้ดินสามารถแทรกซึมขึ้นไปในผนังได้สูงมาก และนำพาเกลือไปตกผลึกบนส่วนบนของผนังซึ่งมักมีปูนปั้นหรือจิตรกรรมประดับอยู่

เกลือที่มักพบบนวัสดุที่ผุเปื่อยมีหลายชนิด ที่พบมากในลักษณะเป็นผงและเป็นผลึกปรากฏให้เห็น ได้แก่

- Gypsum ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)
- Halite (NaCl)
- Thenadite (Na_2SO_4)
- Mirabilite ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$)
- Calcite ($CaCO_3$)
- Hexahydrite ($MgSO_4 \cdot 6H_2O$)
- Epsomite ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$)
- Darapskite ($Na_3(NO_3)SO_4 \cdot H_2O$)
- Soda nitre ($NaNO_3$)
- Bloedite ($Na_2Mg(SO_4) \cdot 4H_2O$)
- ฯลฯ

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเกลือที่พบมากและพบบ่อยบนศิลปกรรมในภาคกลาง คือยิปซัม คาดว่าเกิดจากองค์ประกอบของดินและอิฐ และในหลายแห่งพบว่าที่มาของยิปซัมบนศิลปกรรมคือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ใช้ในการอนุรักษ์ เกลืออีกชนิดที่พบมากบนศิลปกรรมและก่อให้เกิดการผุเปื่อยมากเป็นพิเศษคือ Thenardite และ Mirabilite ซึ่งเป็นโซเดียมซัลเฟต นอกจากนี้ยังพบเกลือ Hexahydrite และ Epsomite อยู่บนศิลปกรรมหลายแห่งและทำให้ผิวของวัสดุผุเปื่อยอย่างเห็นได้ชัด ที่มาของเกลือกลุ่มนี้คาดว่ามาจากปูนที่ใช้ในการก่อและฉาบผนัง เป็นปูนขาวที่มีแมกนีเซียมผสมอยู่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาจมาจากปูนขาวที่มีแมกนีเซียมคาร์บอเนตผสมอยู่มากกว่า 25% มีชื่อเรียกว่าปูนขาวโดโลไมต์ (Dolomitic limestone)

เกลือแกงหรือโซเดียมคลอไรด์ พบมากและพบบ่อยบนศิลปกรรมที่กำลังผุกร่อน ที่มาของเกลือแกงคือจากใต้ดินและจากทะเล โดยเฉพาะอย่างยิ่งศิลปกรรมที่ตั้งอยู่ใกล้ทะเลจะพบเกลือแกงได้ทั่วไป และศิลปกรรมจำนวนมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือก็พบมากเช่นเดียวกัน เนื่องจากตั้งอยู่บนแหล่งเกลือสินเธาว์

อาจพบเกลือโซเดียมไนเตรตบนพื้นที่ที่มีนกและค้างคาวอาศัยอยู่อย่างต่อเนื่องมาเป็นเวลานาน มูลของค้างคาวและนกมีสารประกอบไนโตรเจนอยู่มาก หรืออยู่ใกล้พื้นที่ที่มีการใช้ปุ๋ยในการเพาะปลูกหรือมีการเลี้ยงสัตว์เพื่อการค้า สารประกอบไนโตรเจนเป็นสาเหตุที่ทำให้พบเกลือโซเดียมไนเตรต

นอกจากนี้อาจมีเกลืออื่น ๆ ปนอยู่ด้วย บางชนิดเป็นเกลือเชิงซ้อน พบได้พื้นที่ที่มีชุมชนอยู่ประชิด ตั้งอยู่ใกล้แหล่งน้ำที่มีมลพิษ หรือใกล้โรงงานอุตสาหกรรมซึ่งปล่อยสารเคมีหลายชนิดลงสู่แหล่งน้ำ ทำให้มีเกลือที่ละลายน้ำได้หลายชนิดปนกันและทำปฏิกิริยากันได้เกลือใหม่ ๆ อีกหลายชนิด

ผลึกเกลือใต้สารเคลือบผิว

ผลึกเกลือทำให้วัสดุผุเปื่อย

ใบเสมาหินทรายที่ฝังอยู่ในดินเค็มกำลังเปื่อยยุ่ย

ผลึกเกลือบนชั้นสีที่บวมพองและแตกป่น

โลหะมักมีสนิมปกคลุมอยู่หลายชนิด สนิมเหล่านั้นส่วนใหญ่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างเนื้อโลหะกับเกลือที่มีอยู่ในอากาศ ในน้ำ และในดิน เช่น สนิมสีเขียวคล้ำบนผิวสำริดเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างทองแดงกับเกลือคาร์บอเนตหรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กลายเป็นเกลือทองแดงคาร์บอเนตปกคลุมอยู่บนผิว สนิมชนิดนี้ไม่ทำให้เกิดการกัดกร่อน ในทางตรงข้ามหากสนิมทองแดงคาร์บอเนตเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอจะมีผิวเรียบเนียน สีเขียวคล้ำ แลดูสวยงาม จัดเป็นสนิมที่ดี เรียกว่า patina ซึ่งนอกจากจะช่วยเสริมคุณค่าและแสดงถึงความเป็นของแท้ของสำริดนั้น ๆ แล้ว สนิมชนิดนี้ยังช่วยปกป้องเนื้อโลหะที่อยู่ภายใต้ ไม่ให้ทำปฏิกิริยากับก๊าซและสารเคมีอื่น ๆ ในสภาพแวดล้อม ลดการสูญเสียเนื้อโลหะ

แต่ในสภาพแวดล้อมอาจมีสารเคมีอื่น ๆ ปนอยู่ด้วย เช่น เกลือซัลเฟต เกลือไนเตรต คลอไรด์ อะซีเตต ฯลฯ ส่งผลให้เกิดสนิมชนิดอื่น ๆ บนทองแดงและโลหะผสมของทองแดง สนิมของทองแดงที่เป็นอันตราย เรียกว่า สนิมกัดกร่อนของสำริด (bronze disease) เกิดจากการที่ทองแดงทำปฏิกิริยากับเกลือคลอไรด์ที่มีอยู่ในดินหรือในน้ำ แล้วกลายเป็นเกลือทองแดงคลอไรด์ ซึ่งมีลักษณะเป็นผงสีเขียวสด ปฏิกิริยานี้เกิดได้ดีเมื่อความชื้นสูง เกลือทองแดงคลอไรด์จะทำปฏิกิริยากับน้ำหรือความชื้นและออกซิเจน ได้เกลือทองแดงคลอไรด์กับกรดเกลือ ซึ่งจะเข้าทำปฏิกิริยากับทองแดงต่อไป ลุกลามเป็นบริเวณกว้างหรือทำลายเนื้อโลหะเป็นบริเวณกว้างหรือทำลายเนื้อโลหะในระดับลึกได้ หากไม่ป้องกันและแก้ไข อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงเช่นนี้อย่างต่อเนื่อง จนในที่สุดไม่มีทองแดงเหลืออยู่ ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า **โรคสำริด**

เหล็กก็เช่นกัน ทำปฏิกิริยากับความชื้น ก๊าซ และสารเคมีต่าง ๆ เมื่อเหล็กทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจะเกิดเหล็กออกไซด์ หากมีความชื้นสูงจะเกิดเหล็กไฮดรอกไซด์ซึ่งมีสีน้ำตาลอมแดง เรียกว่าสนิมเหล็ก สนิมเหล็กที่เกิดขึ้นมีปริมาตรสูงขึ้นเรื่อย ๆ ในที่สุดจะดันเนื้อวัสดุอื่น ๆ ที่อยู่ใกล้ให้แตกร้าว หลุดล่อน ป่นเป็นผง การเปลี่ยนแปลงเช่นนี้พบมากบนประติมากรรมและอาคารที่ใช้เหล็กเป็นโครงสร้างในการเสริมสร้างความแข็งแรง หรือใช้ตะปู หมุด ตะปูเกลียว เดือย ฯลฯ นอกจากนี้สนิมเหล็กละลายน้ำได้ดี จึงทำให้เกิดคราบเปื้อนผนผิววัสดุ

หากในดินหรือในน้ำมีเกลือคลอไรด์ เหล็กจะทำปฏิกิริยากับเกลือคลอไรด์ได้เหล็กคลอไรด์ ซึ่งดูดความชื้นจากอากาศได้ดี มักเห็นเป็นหยดน้ำสีน้ำตาล มีกลิ่นเหม็นเกาะอยู่บนผิวเหล็ก สนิมชนิดนี้เป็นสนิมกัดกร่อนของเหล็ก เมื่อเกิดขึ้นแล้วจะลุกลามไปเรื่อย ๆ คล้ายกับการเกิดโรคสำริด

ปฏิกิริยาเคมีระหว่างโลหะกับเกลือชนิดต่าง ๆ เป็นปฏิกิริยาที่ซับซ้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีเกลือหลาย ๆ ชนิดผสมกัน หรือเมื่อมีแบคทีเรียเข้ามาร่วมด้วย แบคทีเรียกลุ่มหนึ่งสามารถรีดิวซ์ซัลเฟตได้ (Sulfate reducing bacteria หรือ SRB) สร้างปัญหาให้กับโลหะวัตถุที่อยู่ในดินหรืออยู่ติดกับดิน แบคทีเรียกลุ่มนี้จะออกซิไดซ์สารอินทรีย์หรือก๊าซไฮโดรเจน และรีดิวซ์ซัลเฟตให้กลายเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งทำปฏิกิริยาต่อไปกับโลหะ ทำให้โลหะเป็นสนิม

การเกิดสนิมบนโลหะ สร้างปัญหาในการอนุรักษ์ศิลปกรรมที่อยู่กลางแจ้งมาโดยตลอด โลหะแต่ละชนิดมีกระบวนการเกิดสนิมแตกต่างกัน เกลือเป็นต้นเหตุสำคัญที่ทำให้พื้นผิวโลหะเปลี่ยนสี ขรุขระ เป็นหลุมเป็นบ่อ กลายเป็นผง มีคราบแข็ง มีปริมาตรเพิ่มขึ้น ปูดบวม และส่งผลกระทบต่อลวดลายและสิ่งตกแต่งบนโลหะ เช่น ชั้นที่มีการปิดทอง ทาสี เคลือบผิว และการฝังประดับด้วยวัสดุอื่น ๆ

สนิมบนสังกะสี

บทที่ 5

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากวัสดุที่ใช้ในการจัดเก็บและจัดแสดง

การจัดเก็บและจัดแสดงศิลปกรรมมีความจำเป็นต้องใช้วัสดุหลายชนิดในการทำตู้ ชั้น แท่น ฐาน กล่อง แฟ้ม ซอง คำบรรยาย และใช้ในการห่อหุ้ม คลุม ยึด พยุง รองรับ คั่น หรือแยกวัตถุออกจากกัน การเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมจะช่วยยืดอายุของศิลปกรรมได้อีกยาวนาน เนื่องจากวัสดุเหล่านี้จะสัมผัสหรืออยู่ใกล้ชิดศิลปกรรมมากที่สุดและตลอดเวลา หากเลือกใช้วัสดุที่ไม่เหมาะสม จะเร่งอัตราการชำรุดเสื่อมสภาพ เช่น กรดและไอระเหยของไม้และกระดาษหลายชนิดจะแทรกซึมเข้าสู่เนื้อวัสดุที่ใช้ในการสร้างสรรค์ศิลปกรรม แล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กาวหลายชนิดทำให้เกิดคราบเปื้อนสีเหลือง–สีน้ำตาล พลาสติกบางชนิดทำให้มีคราบน้ำมันเยิ้มเหนียวติดบนศิลปกรรม พลาสติกบางชนิดดึงดูดฝุ่นหรือเปลี่ยนสภาพกลายเป็นฝุ่น ผ้าเนื้อหยาบอาจครูดถูขัดสีผิวหน้า ผ้าสีสดอาจเกิดการตกสี กรอบไม้และแผ่นปิดหลังภาพที่มีการขยายตัวหดตัวมาก ทำให้ภาพเขียนบิดเบี้ยวโก่งงอ สีที่ใช้ทาผนังอาคาร หรือเคลือบผิวเครื่องเรือน ตู้ ชั้น แท่น ฐาน ปลดปล่อยไอระเหยที่อาจทำปฏิกิริยากับศิลปกรรม พรมและวัสดุปูพื้นปลดปล่อยไอระเหยและสารเคมีออกมาทำปฏิกิริยากับศิลปกรรมตลอดเวลา ทินเนอร์และตัวทำละลายที่ใช้ในการทำตู้ ชั้น แท่น ฐาน สำหรับการจัดแสดงหรือการจัดเก็บทำให้องค์ประกอบบางอย่างบนศิลปกรรมเกิดการเปลี่ยนแปลง เป็นต้น

ศิลปกรรมจำนวนมากเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากวัสดุที่ใช้ในการใส่กรอบหรือทำแฟ้ม ซอง กล่อง หรือใช้ห่อหุ้ม เช่น กระดาษแข็งและกระดาษสีน้ำตาลทั่วไปมักมีความเป็นกรด บางครั้งมีผู้ติดภาพเขียนหรือภาพพิมพ์หรือภาพถ่ายลงบนแผ่นไม้อัดหรือแผ่นใยไม้อัดโดยตรงโดยไม่มีกระดาษไร้กรด

คั่น บ่อยครั้งที่ด้านหน้าภาพสัมผัสกับกระจกหรือแผ่นอะครีลิกโดยไม่มีสิ่งใดคั่น บางคนใช้กาวหรือเทปกาวติดภาพบนแผ่นรองหลังภาพ วัสดุที่ใช้ทำกรอบมักเป็นไม้ที่ไม่มีการเคลือบผิวด้านใน (ส่วนที่สัมผัสกับภาพ) วัสดุเหล่านี้มักมีไอระเหยหรือสารเคมีที่ทำให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงได้

อัลบัมเก็บภาพสมัยก่อน มักใช้กระดาษสีดำหรือสีครีมและติดภาพถ่ายบนกระดาษด้วยกาวยางหรือติดด้วยมุมรูปสามเหลี่ยมที่มีกาวอยู่ด้านหลัง กระดาษสีดำที่ใช้ทำอัลบัมส่วนใหญ่มีความเป็นกรดสูง พบว่ากระดาษสีดำของอัลบั้มอายุ 50 ปี มีความเป็นกรดสูง วัดค่า pH ได้ 4 ทำให้ภาพถ่ายเกิดการเปลี่ยนแปลง

อัลบัมภาพสมัยก่อนทำจากกระดาษที่เป็นกรด

การเก็บภาพถ่ายในอัลบัมที่ใช้พลาสติกใสและกาวในการยึดภาพให้อยู่กับที่ ในภาษาอังกฤษเรียกว่า Magnetic album, Sticky album หรือ Self adhesive photo album แผ่นพลาสติกที่ใช้มักเป็นเซลลูโลสอะซีเตตหรืออาจเป็นพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) กาวที่ใช้มักเป็นกรด ทำให้ภาพเหลืองหรือกัดกินด้านหลังของภาพ ในบางกรณีจะเห็นกาวเป็นเส้นบนด้านหน้าของภาพ แผ่นพลาสติกด้านหน้ากักเก็บไอของกรดจากปฏิกิริยาเคมีแล้วทำอันตรายต่อด้านหน้าของภาพ บางครั้งเกิดการฉีกขาดจากความพยายามดึงภาพออกจากกาว เมื่อเวลาผ่านไปนาน ๆ แผ่นพลาสติกอาจติดแน่นบนผิวหน้าของภาพและแยกออกจากกันได้ยากมาก

ตัวภาพถ่ายเองก็อาจเสื่อมสภาพจากสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการอัดล้าง ซึ่งอาจล้างออกไม่หมด ยังคงตกค้างอยู่ในภาพถ่ายแล้วทำให้ภาพถ่ายเสื่อมสภาพในเวลาต่อมา ร่วมกับปัจจัยอื่น ๆ เช่น กรดจากกระดาษ กาว พลาสติก กรดเหล่านี้สามารถเคลื่อนที่ไปทั่วอัลบัม ทำให้ภาพถ่ายกรอบเปราะและมีสีเปลี่ยนไป

อัลบัมพลาสติกราคาถูกมักทำจาก PVC ซึ่งเป็นวัสดุที่ไม่ควรใช้ในการจัดเก็บและจัดแสดงศิลปกรรมทุกชนิด เนื่องจากเป็นพลาสติกที่ไม่เสถียร จะเกิดการเปลี่ยนแปลงหลายอย่างที่ส่งผลกระทบต่อวัสดุที่อยู่ใกล้ชิด แผ่น PVC เป็นแผ่นพลาสติกที่มีความยืดหยุ่นดี เนื่องจากใช้ plasticizer ในกระบวนการผลิต หลังจากผลิตได้ 2–3 ปี ในสภาพแวดล้อมที่มีความร้อน ความชื้นสูงและได้รับแสงสว่าง plasticizer จะแยกตัวออกจากพลาสติกเข้าสู่เนื้อวัสดุที่อยู่ใกล้ชิดแล้วทำให้เกิดคราบเปื้อนเหนียวเหนอะหนะดึงดูดฝุ่นละอองและสิ่งสกปรก สีเปลี่ยน และทำปฏิกิริยาเคมีต่อไป บางกรณีหากสภาพแวดล้อมมีอุณหภูมิสูง ผลของปฏิกิริยาเคมีจะเป็นกรด เช่น กรดเกลือ บางกรณีเกิดการไขว้พันธะ (cross-linking) และสายโซ่ของโมเลกุลแตกหัก (chain scission) ผลที่เกิดจากการไขว้พันธะทำให้ได้พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น แข็งกระด้างขึ้น บางครั้งบิดเบี้ยว ส่วนการแตกหักของสายโซ่โมเลกุลทำให้น้ำหนักโมเลกุลลดลง ความสามารถในการละลายสูงขึ้น หากวัสดุที่อยู่ใกล้ชิดกับ PVC มีความสามารถในการดูดซับสูง จะดูดซับ plasticizer เข้ามาได้มาก ทำให้ PVC สูญเสีย plasticizer มากขึ้น อายุการใช้งานและความทนทานของ PVC จะลดลง นอกจากนี้เมื่ออัลบั้มเปียกน้ำ พลาสติกจะกักเก็บน้ำไว้ภายใน ทำให้ภาพถ่ายเสื่อมสภาพอย่างรุนแรง ทั้งจากการละลายของชั้นเยื่อไวแสงและจากเชื้อรา

อัลบั้มที่ทำจากพลาสติกราคาถูกทำให้ภาพถ่ายเสื่อมสภาพ

ภาพถ่ายบางภาพเกิดคราบเปื้อนจากกาวที่มาจาก Post-it ที่เขียนข้อความแล้วแปะติดบนผิวหน้าของภาพโดยตรง แม้ว่าจะดึงแผ่น Post-it ออกมาได้ไม่ยาก แต่จะทิ้งคราบกาวและกรดเอาไว้บนผิวหน้าของภาพ

ภาพถ่ายและศิลปะบนกระดาษบางส่วนถูกเก็บรักษาในซองพลาสติกราคาถูก เมื่อพลาสติกเสื่อมสภาพ จะส่งผลกระทบต่อวัตถุที่อยู่ภายใน พลาสติกส่วนใหญ่ไม่เสถียร เกิดการเปลี่ยนแปลงในเวลาไม่นาน ลักษณะที่มองเห็นได้คือ ขุ่นมัวขึ้น ย่น แอ่นตัว โก่งงอ หงิกงอ กรอบเปราะ เปลี่ยนสี สูญเสียความยืดหยุ่น ป่นเป็นผง สารเคมีแยกตัวออกมากลายเป็นคราบเหนียว ฯลฯ ทำให้สิ่งที่อยู่ภายในซองเกิดการเปลี่ยนแปลง

ลักษณะการเสื่อมสภาพของพลาสติก

วัสดุหลายชนิดที่ใช้ในการจัดแสดงและจัดเก็บศิลปกรรม ทำให้เกิดคราบเปื้อน เช่น คราบเปื้อนสีน้ำตาลจากไม้ คราบสนิมเหล็ก คราบสนิมสีเขียวของทองแดงและโลหะผสมของทองแดง คราบน้ำมันจากพลาสติกบางชนิด สีตกจากผ้าหรือกระดาษ ยางที่เยิ้มเหนียว กระดาษสีสด ๆ หรือกระดาษราคาถูก ฟองน้ำ คราบวัสดุหล่อลื่น ขี้ผึ้งขัดพื้นและเครื่องเรือน สีทาบ้าน ฯลฯ วัสดุบางชนิดเปลี่ยนสภาพกลายเป็นฝุ่นผง เช่น ฟองน้ำและโฟมบางชนิด ทำให้มีฝุ่นสะสมบนวัตถุที่อยู่ใกล้ วัสดุบางชนิดดึงดูดฝุ่นเนื่องจากมีไฟฟ้าสถิตเกิดขึ้นบนผิว บางครั้งดึงดูดสารสีให้หลุดออกจากพื้นผิว เช่น แผ่นอะคริลิก ไมลาร์ (Mylar) พลาสติกอื่น ๆ ฯลฯ วัสดุเหล่านี้จะดึงดูดฝุ่นให้มาเกาะบนผิวของศิลปกรรม และดึงดูดสารสีหรือชั้นสีหรือสิ่งตกแต่งบนศิลปกรรมให้หลุดออก เช่น หากใช้ไมลาร์หรือแผ่นอะคริลิกปิดบนผิวหน้าภาพเขียนสีพาสเทล ภาพเขียนสีชอล์ก ภาพเขียนด้วยถ่าน ไฟฟ้าสถิตจะดึงสารสีให้หลุดออกจากผิวภาพ

วัสดุที่ทำจากพลาสติกที่ผลิตขึ้นระหว่างคริสต์ศตวรรษที่ 19–20 จัดอยู่ในกลุ่มของวัสดุที่เกิดการเสื่อมสภาพง่ายมาก เนื่องจากองค์ประกอบของยางและสารเติมแต่งเป็นสารเคมีที่ไม่เสถียร ใช้ของแข็งที่มีจุดหลอมเหลวต่ำและของเหลวที่เป็นสารอินทรีย์ที่มีจุดเดือดสูงผสมกับพลาสติกแข็ง เพื่อให้มีความยืดหยุ่น เมื่อนานเข้า ของเหลวเหล่านี้จะเคลื่อนตัวมาที่ผิว ทำให้พลาสติกมีสภาพเหนียวเหนอะ กรอบเปราะ บิดเบี้ยว หรือเสียรูปร่าง กระบวนการเปลี่ยนแปลงนี้เกิดได้เร็วขึ้นถ้ามีก๊าซมลพิษ แสงสว่าง รังสีอัลตราไวโอเลต ความชื้นสูง อุณหภูมิและความชื้นไม่คงที่ เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นแล้ว พลาสติกนั้น ๆ จะเสื่อมสภาพเร็ว

การเก็บรักษาศิลปกรรมในกล่อง ตู้ หรือกรอบที่ทำด้วยไม้แล้วปิดสนิท จะเกิดปัญหาเนื่องจากไม้หลายชนิดปลดปล่อยไอระเหยที่เป็นกรด เช่น กรดอะซีติก กรดฟอร์มิก กรดแลกติก ฯลฯ โดยเฉพาะอย่างยิ่งไม้อัดและแผ่นใยไม้อัดทั้งหลาย จะปลดปล่อยไอระเหยที่เป็นกรดมากเป็นพิเศษ กรดเหล่านี้จะสะสมมากขึ้นเรื่อย ๆ เพราะอยู่ในพื้นที่ที่ปิดสนิท กรดไม่สามารถหลบหนีออกไปได้ จึงเข้าทำปฏิกิริยากับวัสดุต่าง ๆ ที่อยู่ภายใน โลหะและสารสีหลายชนิดเกิดการเปลี่ยนแปลงได้รวดเร็วและเห็นได้ชัดเจนมาก

เมื่อเก็บรักษาศิลปกรรมในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออุณหภูมิและความชื้นสูง สารยึดบางชนิดทำให้สีซึมเลอะออกนอกพื้นที่ที่ต้องการ หรือวาร์นิชบางชนิดจะเปลี่ยนสีหรือตัวทำละลายในวาร์นิชละลายสารสีบางสีออกมา

การจัดแสดงหรือจัดเก็บศิลปกรรมในสถานที่ที่มีก๊าซพิษและฝุ่นละอองที่เกิดจากการคมนาคม การเผาไหม้เชื้อเพลิง พลุ ดอกไม้ไฟ ควันธูป/เทียน การทำอาหาร โรงงานอุตสาหกรรม ขยะ สิ่งปฏิกูล เป็นต้น หรือจัดแสดงและจัดเก็บนอกตู้ จะทำให้ศิลปกรรมมีสีคล้ำขึ้น จนบางครั้งบดบังรายละเอียดหรือสีเดิม มักมีคราบเหนียว ๆ สะสมบนผิว ซึ่งดึงดูดฝุ่นให้มาสะสม ฝุ่นจะดึงดูดความชื้นเข้ามาทำให้ศิลปกรรมมีความชื้นสูง แล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงอื่น ๆ ตามมาอีกมากมาย เช่น มีเชื้อราขึ้นเจริญ มีรอยด่าง คราบเปื้อน

ภาพเขียนและภาพถ่ายจำนวนมากเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากวัสดุที่ใช้ในการใส่กรอบหรือทำแฟ้ม ทำกล่อง ห่อหุ้ม ฯลฯ ไม้หลายชนิดรวมทั้งผลิตภัณฑ์ไม้ทั้งหลาย มีไอระเหยและกรดอินทรีย์อยู่ในเนื้อไม้ เช่น กรดฟอร์มิก กรดน้ำส้ม และกรดอินทรีย์อื่น ๆ กรดบางชนิดมีโมเลกุลเล็กมาก จึงระเหยออกมาจากเนื้อไม้และทำอันตรายต่อวัสดุอื่น ๆ ที่อยู่ใกล้เคียงโดยไม่ต้องสัมผัส

ไม้อัด ทำจากแผ่นไม้บาง ๆ ผนึกกันด้วยกาว แล้วอัดด้วยความร้อนและความดัน จนเป็นแผ่นหนา กาวที่ใช้มีหลายชนิด แต่กาวที่ใช้กับไม้อัดที่ใช้ภายในเป็นกาวยูเรีย ฟอร์มาลดีไฮด์ ซึ่งไม่เสถียร จะสลายตัวให้ไอระเหยของฟอร์มาลดีไฮด์ตลอดเวลาอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานหลายปี ฟอร์มาลดีไฮด์ทำให้โมเลกุลของโปรตีนแข็งตัว เซลลูโลสเปลี่ยนสภาพ สารสีมีสีเปลี่ยนไป ทำให้โลหะเป็นสนิม ผลิตภัณฑ์ไม้อื่น ๆ เช่น แผ่นใยไม้อัด (fiber board) ไม้อัดแผ่นเรียบ (hard board) แผ่นผงไม้อัด (particle board) แผ่นชิ้นไม้อัด (chipboard) แผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง (medium density fiber board หรือ MDF) ก็ปลดปล่อยไอระเหยที่เป็นอันตรายออกมาเช่นกัน

กระดาษราคาถูกมักมีความเป็นกรดที่มาจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต สารเคมีที่ใช้ในการผลิต และกรดที่เกิดจากการสลายตัวของเซลลูโลส บางครั้งใช้กระดาษเก่านำมาเวียนใช้ใหม่ โดยไม่ผ่านการแยกองค์ประกอบอื่น ๆ ของไม้ เช่น ลิกนิน (lignin) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ยางไม้ น้ำมัน ฯลฯ กระดาษเหล่านี้มักสลายตัวปลดปล่อยกรดอินทรีย์หลายชนิด เช่น กรดฟอร์มิก (formic acid) กรดแลกติก (lactic acid) กรดซักซินิก (succinic acid) กรดอะซีติก (acetic acid) ฯลฯ จึงมีความเป็นกรดและมักเปลี่ยนสี วัตถุที่สัมผัสกับกระดาษเหล่านี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลง

วัสดุที่ใช้ทำกรอบมักเป็นไม้ที่ไม่มีการเคลือบผิวด้านใน (ส่วนที่สัมผัสกับภาพ) วัสดุเหล่านี้มักมีไอระเหยหรือสารเคมีที่ทำให้สารสีเกิดการเปลี่ยนแปลงได้

กระดาษแข็งทั่วไปที่ช่างนำมารองหลังภาพมักเป็นกรด บางครั้งมีผู้ติดภาพลงบนแผ่นไม้อัดหรือแผ่นใยไม้อัดโดยตรงโดยไม่มีกระดาษไร้กรดคั่น ด้านหน้าภาพมักสัมผัสกับกระจกหรือแผ่นอะคริลิกโดยไม่มีสิ่งใดคั่น บางคนใช้กาวหรือเทปกาวยึดตรึงติดภาพบนแผ่นรองหลังภาพ วัสดุที่ใช้ทำกรอบมักเป็นไม้ที่ไม่มีการเคลือบผิวด้านใน (ส่วนที่สัมผัสกับภาพ) วัสดุเหล่านี้มักมีไอระเหยหรือสารเคมีที่ทำให้สารสีเกิดการเปลี่ยนแปลงได้

พลาสติกหลายชนิดมีสารเติมแต่งที่อาจทำปฏิกิริยากับวัสดุต่าง ๆ เช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ หรือ PVC ต้องใช้สารเติมแต่งที่ช่วยให้พลาสติกมีความยืดหยุ่น สารเติมแต่งไม่ได้สร้างพันธะกับพอลิเมอร์ จึงแยกตัวออกมาจากพลาสติกภายในเวลาไม่เกินสามปี แล้วทำปฏิกิริยากับวัสดุที่สัมผัสใกล้ชิดได้ แม้ไม่ทำปฏิกิริยาเคมี แต่อาจทำให้เกิดคราบเปื้อนหรือเปลี่ยนสี

สารสีและสารยึดหลายชนิดเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับกรด บางครั้งพบว่าภาพเขียนที่สัมผัสกับน้ำหรือความชื้นจะมีรอยด่าง เนื่องจากสารเคมีบางอย่างที่ละลายน้ำได้ ทำให้เกิดคราบเปื้อนสีเหลือง–น้ำตาลบนภาพเขียน

กาวที่ทำจากหนังสัตว์หรือกระดูกสัตว์มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบ มักสลายตัวให้สารประกอบกำมะถันที่ทำให้วัสดุหลายชนิดเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนสี เช่น ทำให้โลหะหลายชนิดเกิดการเปลี่ยนแปลง ผิวของโลหะอาจฝ้ามัวหรือเปลี่ยนเป็นสีคล้ำขึ้นหรือมีคราบสนิมปกคลุมเป็นรอยด่างดวง การเปลี่ยนสีของดิ้นเงิน ดิ้นทอง เลื่อม และลูกปัดที่ทำจากเงินและทองแดง บางส่วนปิดทอง เกิดจากสารประกอบกำมะถัน นอกจากนี้สารประกอบของกำมะถันยังเข้าทำปฏิกิริยากับเกลือของเงินที่ใช้ในเยื่อไวแสงของภาพถ่ายหลายชนิด ทำให้เกิดสารประกอบเงินซัลไฟด์ซึ่งมีสีดำ

ภาพถ่ายขาว–ดำ ที่ใช้สารละลายเกลือเงินในเยื่อไวแสงที่ทำจากเจลาติน มักเกิดความมันเงาขึ้นบนบางส่วนของภาพ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า silver mirroring เกิดจากเมื่อมีความชื้น เกลือเงินในเจลาตินถูกกรดจากก๊าซมลพิษออกซิไดซ์ให้เกิดอนุมูลเงิน (Ag^{+}) ซึ่งจะเคลื่อนที่ออกไปยังผิวของภาพ เมื่อสัมผัสกับอากาศ จะถูกเปลี่ยนเป็นเงิน (ในรูปของโลหะ) เป็นชั้นบาง ๆ อยู่บนผิว ซึ่งสะท้อนแสงได้ดีและมีเงินซัลไฟด์ (AgS) อยู่ร่วมด้วย เกิดจากก๊าซมลพิษในอากาศหรือสัมผัสกับกระดาษคุณภาพต่ำ โดยทั่วไปถ้าพบ silver mirroring ที่ขอบ ๆ ของภาพ แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงนี้เกิดจากความชื้นและก๊าซมลพิษในอากาศ แต่ถ้าเกิด silver mirroring เป็นบริเวณกว้างหรือเป็นหย่อม ๆ แสดงว่าเกิดจากกระดาษคุณภาพต่ำที่ใช้ในการเมาท์รูป ทำซอง หรือทำบรรจุภัณฑ์สำหรับเก็บรักษา

แม้ว่าการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะไม่เป็นอันตรายมากนัก แต่ก็ทำให้บดบังรายละเอียดบนภาพและทำลายความงามของภาพ เพราะฉะนั้นหากเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมในการจัดเก็บและจัดแสดงจะสามารถป้องกันปรากฏการณ์เช่นนี้ได้

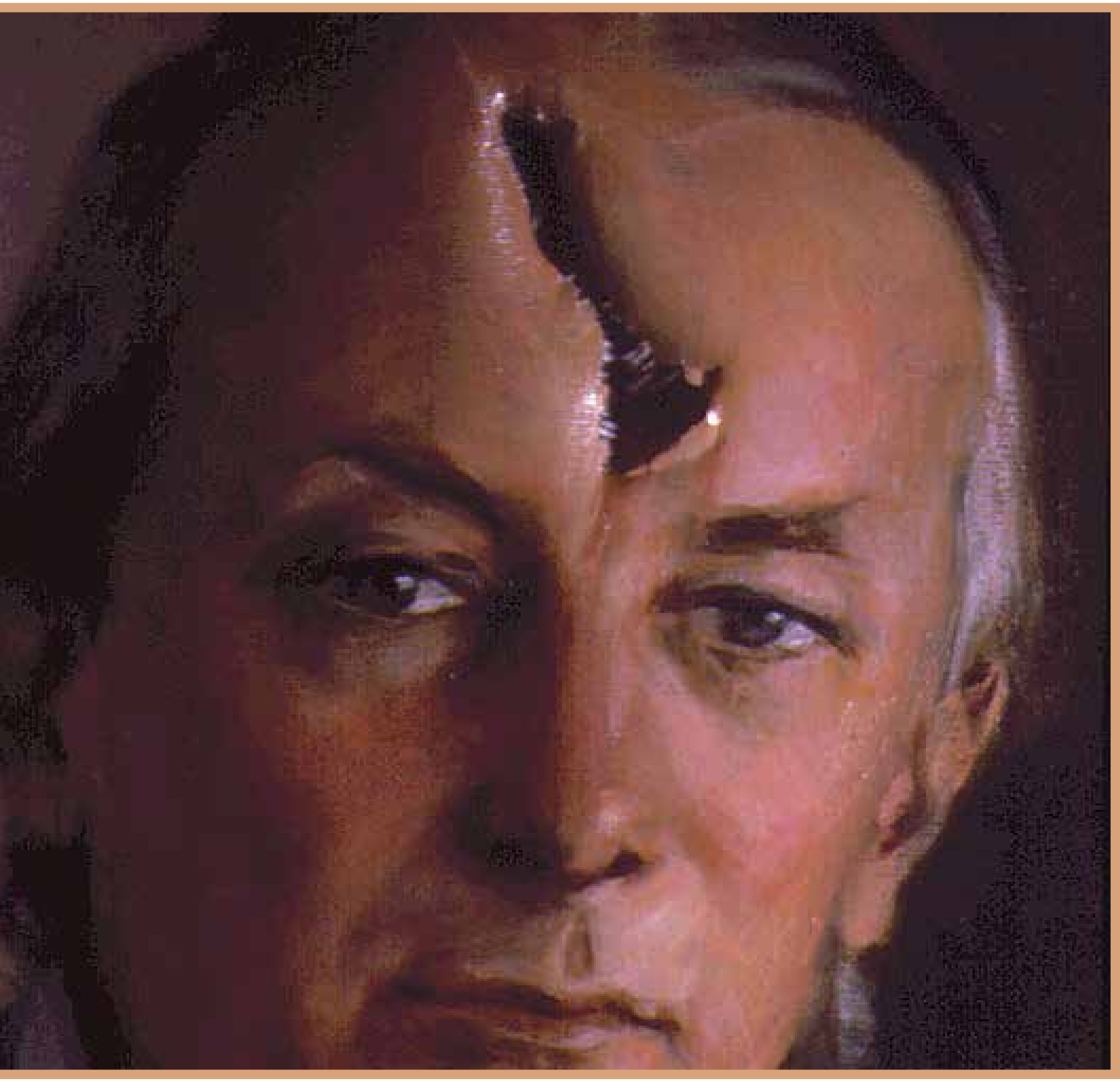
การเกิด silver mirroring บนภาพถ่าย

ในการจัดแสดงโลหะชิ้นเล็ก ๆ เช่น เหรียญ เครื่องประดับ ฯลฯ บางครั้งมีผู้ใช้ดินน้ำมันปั้นเป็นก้อนเล็ก ๆ ทำหน้าที่ยึดเกาะวัตถุให้อยู่กับที่ บางคนใช้ดินน้ำมันในการเก็บรักษาวัตถุที่มีรูปร่างกลมกลิ้งไปมาได้ง่าย จึงกดวัตถุลงบนดินน้ำมันเพื่อรองรับวัตถุและยึดให้อยู่กับที่ ดินน้ำมันมีสารประกอบกำมะถันผสมอยู่ เมื่อสัมผัสกับเงิน ทองแดง ทองเหลือง สำริด หรือตะกั่ว จะทำให้หมองคล้ำหรือเปลี่ยนสีเป็นสีดำอย่างรวดเร็ว

บางคนใช้วัสดุสังเคราะห์อื่น ๆ ที่มีคุณสมบัติคล้ายดินน้ำมัน เช่น กาวหมากฝรั่ง (BLU TACK®, Sticky tack หรือ White tack) ซึ่งทำจากยางสังเคราะห์ผสมกับสารสี สารเติมเต็มที่ทำจากแร่ น้ำมันปิโตรเลียม เมื่อใช้กับโลหะจะทำให้เกิดรอยด่างบนผิวโลหะ ในระยะยาว กาวชนิดนี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลง เยิ้ม เหลว เปลี่ยนสี ติดแน่นกับเนื้อวัสดุ และทำให้วัตถุเกิดการเปลี่ยนแปลง

ผู้จัดแสดงบางคนชอบใช้ Museum wax เพื่อช่วยยึดวัตถุชิ้นเล็ก ๆ ให้อยู่กับที่ หลีกเลี่ยงอันตรายที่จะเกิดขึ้นในขณะที่มีแรงสั่นสะเทือนหรือมีแผ่นดินไหว Museum wax ทำจาก Microcrystalline wax มีความแข็งแรงพอสมควร แต่ในระยะยาวจะทำให้วัตถุบางอย่างมีผิวด้าน ขาดความมันวาว โดยเฉพาะอย่างยิ่งโลหะและวัตถุที่มีการเคลือบผิวหรือขัดมัน จะสูญเสียความมันหรือความวาว นอกจากนี้ยังทำให้เกิดคราบเปื้อนบนผิววัตถุ ซึ่งทำความสะอาดยาก จึงไม่ควรใช้กับวัตถุที่มีความพรุน ผ้า กระดาษ ไม้ที่ไม่มีสารเคลือบผิว แต่อาจใช้ได้กับกระจก แก้ว พลาสติก ไม้ที่มีสารเคลือบผิว

วัสดุที่ใช้ในห้องจัดแสดงและห้องคลังวัตถุหลายชนิด ปลดปล่อยฝุ่น ไอระเหย และสารเคมีที่ทำปฏิกิริยากับวัตถุต่าง ๆ ได้ ตัวอย่างเช่น กาวซิลิโคนที่ใช้ยาแนวและสีทาบ้านบางชนิดปลดปล่อยไอระเหยของกรดน้ำส้ม ปูนซีเมนต์ใหม่ ๆ ปลดปล่อยฝุ่นผงที่เป็นด่าง ล่องลอยอยู่ในอากาศเป็นเวลานานหลายเดือน พลาสติกใหม่ ๆ มีสารเคมีที่ใช้ในการผลิตปนเปื้อนอยู่มาก และมักมีกลิ่นแปลก ๆ พรมที่ทำจากเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ปลดปล่อยสารเคมีหลายชนิด กาวและเทปกาวบางชนิดปลดปล่อยไอระเหยที่เป็นต้นเหตุในการเสื่อมสภาพของวัตถุที่อยู่ใกล้



บทที่ 6

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากมนุษย์

บ่อยครั้งที่พบว่าการเปลี่ยนแปลงของศิลปกรรมต่าง ๆ เกิดจากคน ทั้งโดยตั้งใจและไม่ตั้งใจ เช่น กระบวนการในการดูแลรักษาและอนุรักษ์ที่ไม่เหมาะสม การจัดเก็บ/จัดแสดงในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม การทำความสะอาดด้วยวิธีการรุนแรงหรือใช้สารเคมีที่ไม่เหมาะสม การเคลือบผิว การซ่อมแซมด้วยวิธีที่ไม่ถูกต้อง การใช้วัสดุและสารเคมีที่เข้ากันไม่ได้กับวัสดุเดิมหรือทำลายเนื้อวัสดุเดิม ฯลฯ มักทำให้ศิลปกรรมเกิดการเปลี่ยนแปลง ทั้งที่มองเห็นด้วยตาและที่มองไม่เห็น

การทำความสะอาดด้วยวิธีการไม่เหมาะสม เช่น เช็ดถูด้วยผ้า ล้างด้วยน้ำ ขัดด้วยแปรงขนแข็ง แปรงลวด ใช้น้ำยาทำความสะอาดหรือสารซักฟอก ใช้สารเคมีที่มีฤทธิ์เป็นกรดหรือด่าง ฯลฯ นอกจากจะทำลายหลักฐานสำคัญทางประวัติศาสตร์และโบราณคดีแล้ว ยังทำลายคุณค่าของศิลปกรรมอย่างถาวรได้

การซ่อมแซมด้วยวัสดุที่ไม่เหมาะสมก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้วัตถุเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและทางเคมีอย่างรวดเร็ว บางครั้งทำให้วัตถุชำรุดเสื่อมสภาพและเสื่อมค่าอย่างรุนแรงจนไม่สามารถแก้ไขให้กลับสู่สภาพเดิมได้ ที่พบบ่อย ได้แก่ การซ่อมแซมโดยใช้กาวหรือเทปกาวที่มีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด พบว่ากาวเหล่านั้นมักเปลี่ยนสีหรือเปลี่ยนสภาพเป็นเยิ้มเหนียว กรอบเปราะ หลุดล่อน ในเวลาต่อมา กาวที่แทรกซึมเข้าไปในเนื้อวัตถุ ทำให้เกิดคราบเปื้อนที่ไม่สามารถขจัดออกด้วยวิธีใด ๆ บางครั้งกาวที่ใช้ในการซ่อมแซมมีความแข็งแรงมากเกินไปและมีการหดตัว

ขยายตัวแตกต่างจากวัตถุ เช่น กาวอีพอกซี กาวตราช้าง ฯลฯ ทำให้เกิดแรงดึงแรงดันในเนื้อวัตถุ เกิดการแตกร้าวมากขึ้น เมื่อถึงเวลาที่กาวเหล่านี้เสื่อมสภาพ จะไม่สามารถขจัดกาวออกได้ง่าย ๆ อาจต้องใช้วิธีที่ทำอันตรายต่อเนื้อวัสดุเดิม

ศิลปกรรมขนาดใหญ่ที่ทำจากไม้ เช่น เรือพระราชพิธี ราชรถ ราชยาน เกวียน ประติมากรรมหน้าจั่ว หน้าบัน บานประตู บานหน้าต่าง ฯลฯ มักมีรอยร้าว รอยแตก และบิดงอ เมื่อจัดแสดงในที่ที่มีอุณหภูมิและความชื้นไม่คงที่หรือมีการเปียกและแห้งสลับกัน ตัวอย่างเช่น การจัดแสดงกลางแจ้ง หรือการนำเรือพระราชพิธีลงน้ำแต่ละครั้ง ทำให้ลวดลายและเครื่องประดับเรือพระราชพิธีชำรุดเสื่อมสภาพ แตกร้าว ฉีกขาด บวมพองและมีเชื้อราขึ้นเจริญ จากการขนย้าย การติดตั้ง การใช้งาน แสงแดด น้ำฝน และจากสภาพแวดล้อมที่แปรเปลี่ยนในแต่ละวัน หรือการทำความสะอาดประติมากรรมไม้ด้วยการล้างน้ำโดยใช้เครื่องอัดน้ำแรงดันสูง ขัดถูด้วยแปรง ใช้น้ำยาทำความสะอาด เป็นต้น

การจัดเก็บด้วยวิธีที่ไม่ถูกต้องเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ศิลปกรรมหลายชนิดเสื่อมสภาพอย่างรุนแรง เช่น ใบเสมา ทับหลัง ประติมากรรมหิน และศิลาจารึกส่วนหนึ่งถูกปักไว้ในดิน ทั้งในที่โล่งและในที่ร่ม บางส่วนถูกฝังไว้ในฐานปูนซีเมนต์ เกลือจากดินและปูนซีเมนต์ทำให้เนื้อหินผุเปื่อยกลายเป็นผงอย่างเห็นได้ชัด บางกรณีมีการปลูกต้นไม้ประชิดศิลปกรรม การรดน้ำ ใส่ปุ๋ย ใช้ยาฆ่าแมลง ส่งผลกระทบต่อการเสื่อมสภาพของศิลปกรรม

ศิลปกรรมที่อยู่กลางแจ้งจะเสื่อมสภาพเนื่องจากสาเหตุนี้ได้เร็วมาก ดังจะเห็นได้จากผิวของโลหะและหินที่อยู่กลางแจ้งเป็นเวลานาน ๆ มักแตกร้าวหลุดร่อนเป็นแผ่น ๆ เนื่องจากในเวลากลางวัน วัตถุได้รับความร้อนจากแสงแดดแล้วร้อนขึ้น บางครั้งวัดอุณหภูมิที่ผิวของวัตถุได้ถึง 45–50 องศาเซลเซียส ผิวของวัตถุจะขยายตัว ในขณะที่ส่วนที่อยู่ลึกเข้าไปข้างในมีอุณหภูมิต่ำกว่าและขยายตัวน้อยกว่า เมื่ออุณหภูมิลดลงในเวลากลางคืนหรือเมื่อฝนตกผิวของวัตถุจะเย็นลงและหดตัวอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ส่วนที่อยู่ลึกเข้าไปข้างในจะยังคงร้อนอยู่จึงหดตัวได้ช้ากว่า เพราะฉะนั้นส่วนที่ขยายตัวและหดตัวสลับกันตลอดเวลาจะแยกตัวออกจากส่วนที่อยู่ลึกเข้าไปข้างในและหลุดล่อนออกมาเป็นแผ่น ๆ ในทำนองเดียวกันหากศิลปวัตถุทำจากวัสดุหลายชนิดในชิ้นเดียวกัน วัสดุแต่ละชนิดมีความสามารถในการหดตัวและขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนแตกต่างกัน เกิดการดึงรั้ง โก่งงอ หรือบิดเบี้ยวได้

ความร้อนยังเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้น้ำ สารละลาย ตัวทำละลาย และองค์ประกอบบางอย่างระเหยออกไปจากเนื้อวัตถุ ทำให้วัตถุแห้งกรอบ เปราะ ขาดความยืดหยุ่น และขาดความแข็ง

แรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัตถุที่ทำจากอินทรียวัตถุมีแนวโน้มที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้เร็วมาก ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดคือ ผ้า ขนสัตว์ หนังสัตว์ ใบลาน เครื่องจักสาน ฟิล์ม กระดาษ แสตมป์ ธนบัตร ภาพเขียนหรือภาพถ่ายที่ได้รับความร้อนจะมีสภาพแห้ง กรอบ และเปราะ

นอกจากนี้ความร้อนยังมีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนแปลงทางเคมี โดยความร้อนทำหน้าที่เป็นตัวเร่งให้ปฏิกิริยาเคมีทั้งหลายเกิดขึ้นได้ดียิ่งขึ้น นักวิทยาศาสตร์รายงานว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นสิบองศาเซลเซียส จะทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาเคมีเพิ่มขึ้นมากกว่าสองเท่า เพราะฉะนั้นวัตถุที่เก็บรักษาในที่ที่มีอุณหภูมิสูงจะเสื่อมสภาพด้วยอัตราสูงมาก นี่เป็นเหตุผลสำคัญที่นักอนุรักษ์มักแนะนำให้เก็บรักษาศิลปกรรมที่อุณหภูมิต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัตถุที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้ง่าย เช่น ฟิล์มสี ภาพสไลด์ ฟิล์มภาพยนต์ ภาพถ่าย ภาพวาด แสตมป์ ธนบัตร ผ้าโบราณ เอกสารโบราณ ขนนก ขนสัตว์ต่าง ๆ ฯลฯ จำเป็นต้องเก็บรักษาในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำเป็นพิเศษเพื่อช่วยลดอัตราการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและต้องควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ตลอดเวลา ความร้อนยังเป็นปัจจัยสำคัญอีกอย่างหนึ่งที่ทำให้สัตว์ แมลง และจุลินทรีย์เจริญเติบโตและแพร่พันธุ์ได้รวดเร็วและทำลายศิลปกรรมด้วยอัตราเร็วสูง เนื่องจากวัตถุหลายชนิดเป็นอาหารที่สิ่งที่มีชีวิตเหล่านี้กินเป็นอาหารหรือใช้ในการสร้างรัง

> ศิลปกรรมขนาดใหญ่ที่ทำจากไม้ มักมีรอยร้าว รอย แตก และบิดงอ เมื่อจัดแสดงในที่ที่มีอุณหภูมิและความชื้นไม่คงที่หรือมีการเปียกและแห้งสลับกัน

การเสื่อมสภาพของศิลปกรรมบางส่วนเกิดจากการซ่อมแซมในอดีต ผู้ดูแลรักษาศิลปกรรมสมัยก่อนนิยมใช้สารเคมีมากเกินความจำเป็น และไม่ตระหนักว่าสารเคมีที่ใช้จะเกิดผลข้างเคียงต่อศิลปกรรมอย่างไร เนื่องจากขณะนั้นแนวคิดในการอนุรักษ์ เน้นการทำให้ศิลปกรรมกลับสู่สภาพแข็งแรงหรือสวยงามอย่างเดิม สารเคมีบางชนิดที่ใช้เกิดการเปลี่ยนแปลงตามกาลเวลา ทำให้เกิดปัญหามากกว่าเดิม เช่น การใช้ขี้ผึ้งเคลือบผิวเพื่อป้องกันความชื้น ก๊าซและฝุ่นละออง ปรากฏว่าเมื่อเวลาผ่านไป ขี้ผึ้งเปลี่ยนสีและทึบแสงมากขึ้น มีลักษณะเป็นฟิล์มสีขาวขุ่นบดบังพื้นผิวของวัตถุ อีกตัวอย่างหนึ่งที่ก่อให้เกิดปัญหาคือการใช้น้ำมันลินสีดเคลือบผิวไม้ พบว่าในภายหลังน้ำมันลินสีดมีสีคล้ำขึ้นและไม่แข็งตัว ทำให้มีสภาพเป็นสารสีน้ำตาลเหนียว ๆ เคลือบอยู่บนผิว และดึงดูดฝุ่นให้มาสะสม

ศิลปกรรมบางส่วนถูกจัดแสดงกลางแจ้ง เพื่อให้ใกล้เคียงกับสภาพเดิมที่ถูกพบ การตากแดดตากฝน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรงดังได้กล่าวไปแล้ว บางครั้งทำให้สูญเสียเนื้อวัสดุเดิม บางศิลปกรรมบางส่วนกลายเป็นส่วนประกอบของสวนที่มีการปลูกต้นไม้จำนวนมาก ซึ่งมีการรดน้ำต้นไม้ ใส่ปุ๋ย และพ่นยาฆ่าแมลงเป็นประจำ ทำให้ศิลปกรรมเปียกและแห้งสลับกันบ่อยครั้งในแต่ละวัน ปุ๋ยและยาฆ่าแมลงอาจมีเกลือบางอย่างที่ละลายน้ำได้ และถูกดูดซึมขึ้นมาในเนื้อวัสดุ ทำให้เกิดผลึกเกลือในเนื้อวัสดุ แล้วทำให้เนื้อวัสดุผุเปื่อยได้

วัตถุที่จัดแสดงกลางแจ้งเสื่อมสภาพอย่างรุนแรง

วิธีการจัดแสดงที่ไม่เหมาะสม เช่น จัดแสดงภาพเขียน ภาพถ่าย ศิลปกรรมที่ทำจากผ้า กระดาษ งาช้าง กระดูก ฯลฯ นอกตู้ ในห้องที่ไม่มีการควบคุมสภาพแวดล้อม ทำให้วัตถุเหล่านั้นได้รับผลกระทบจากแสง อุณหภูมิ ความชื้น ก๊าซมลพิษ รา แมลง หนู ฯลฯ อย่างเต็มที่ นอกจากนั้นยังสะสมฝุ่นละออง สิ่งสกปรก เขม่า ควัน ก๊าซพิษ รอยนิ้วมือ รวมทั้งมูลแมลงและสัตว์อื่น ๆ

เครื่องแต่งกายโบราณที่จัดแสดงนอกตู้มักเปลี่ยนสีและสกปรก

การนำภาพถ่ายหรือภาพพิมพ์ เข้ากรอบในสมัยโบราณ ส่วนใหญ่ทำให้ภาพเหล่านั้นเสื่อมสภาพอย่างแก้ไขไม่ได้ เนื่องจากวัสดุที่ใช้ในการทำกรอบ ใช้รองรับภาพและปิดหลังกรอบรูป เช่น กระดาษแข็ง ไม้ ไม้อัด แผ่นใยไม้อัด ฯลฯ มักเป็นกรดตั้งแต่เริ่มแรก มีการใช้กาวราคาถูกที่หาได้ทั่วไปมาติดภาพลงบนแผ่นรองรับภาพ และภาพมักสัมผัสกับกระจกโดยตรง เมื่อเวลาผ่านไป กรดที่ถูกกักเก็บอยู่ภายในเริ่มกัดกินภาพ กระดาษเริ่มเปลี่ยนสี ความชื้นสูงทำให้ภาพบางส่วนติดแน่นกับกระจก บางส่วนมีเชื้อรา บางส่วนมีแมลงกัดกิน ภาพถ่ายขาว-ดำ อาจเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า silver mirroring เป็นต้น

วัสดุและวิธีการนำภาพเข้ากรอบในอดีต ส่งผลกระทบต่อภาพอย่างมาก

การยึดตรึงวัตถุที่มีขนาดเล็ก ๆ หรือมีน้ำหนักเบาบนผนังตู้หรือบนแท่นฐานด้วยกาวหรือเทปกาว หรือใช้เทปกาวในการเขียนหมายเลขทะเบียน แล้วติดลงบนผิววัตถุโดยตรง กาวและเทปกาวทำให้เกิดคราบเปื้อนบนวัตถุซึ่งขจัดออกยากมาก คราบกาวบางชนิดอาจละลายออกได้ด้วยตัวทำละลาย แต่วัตถุยังคงมีรอยด่างที่มีสีแตกต่างกัน บางกรณีไม่สามารถละลายกาวที่ฝังแน่นในเนื้อวัสดุได้

รอยด่างบนโลหะเกิดจากเทปกาวที่ใช้ยึดวัตถุให้อยู่กับที่

ผ้ามีคราบเปื้อนจากเทปกาวที่ใช้เขียนหมายเลขทะเบียน

คราบเปื้อนที่เกิดจากการใช้กาวยึดตรึงวัตถุในขณะจัดแสดง

สาเหตุการชำรุดเสื่อมสภาพที่พบมากที่สุดคือระหว่างการใช้งาน วัตถุถูกหยิบยก จับต้อง เคลื่อนย้ายตลอดเวลา หากไม่ระมัดระวังเพียงพอ ทำให้เกิดการขัดสี ครูดถู ขีดข่วน มีรอยปริ ฉีกขาด สึกหรอ สึกกร่อน มีคราบเปื้อนจากมือ อาหาร เครื่องดื่ม เครื่องสำอาง

การเสื่อมสภาพระหว่างการใช้งาน

วิธีการและวัสดุที่ใช้ในการเตรียมผ้าใบก่อนการระบายสี ส่งผลกระทบต่อการเสื่อมสภาพของจิตรกรรมบนผ้าใบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตกรอบผ้าใบสำเร็จรูปสำหรับวาดภาพในระดับอุตสาหกรรม บางครั้งได้ผ้าใบที่มีผิวเป็นมันมากเกินไป ไม่ดูดซับชั้นสี ทำให้ภาพเขียนไม่ทนทานต่อการใช้งาน การเลือกใช้เจสโซ (gesso) เป็นชั้นรองพื้น ส่งผลกระทบอย่างมากต่อคุณภาพของภาพเขียน ชั้นรองพื้นที่ดีควรดูดซับชั้นสีได้ดี มีผิวสัมผัสที่ขรุขระเพื่อช่วยให้ชั้นสีถูกจับอย่างแข็งแรงบนพื้นผิว ในอดีตทำจากผงชอล์ก (แคลเซียมคาร์บอเนต) ทำหน้าที่ดูดซับสี ผสมกับสารยึดและสารสี สารยึดที่นิยมใช้ในอดีตคือกาวหนังกระต่าย เจสโซปัจจุบันทำจากอะครีลิกพอลิเมอร์ ผสมกับชอล์กไทเทเนียมไดออกไซด์และอื่น ๆ

การเปลี่ยนแปลงที่พบบ่อยมักเกิดจากการทำความสะอาดด้วยวิธีการที่ไม่เหมาะสม เช่น การเช็ดถูด้วยผ้าขี้ริ้ว ใช้แปรงขนไก่ปัด ใช้แปรงลวดขัด ใช้น้ำล้าง ใช้น้ำอัดแรงดันสูง ฯลฯ วิธีการเหล่านี้ทำให้ศิลปกรรมเกิดริ้วรอยจากการขูดขีดครูดถู น้ำทำให้วัสดุบางอย่างบวมพองขึ้นหรือเกิดการละลาย หรือทำให้เกิดคราบเปื้อนเพิ่มมากขึ้น น้ำอัดแรงดันสูงอาจทำให้ผิวหน้าของศิลปกรรมหรือชิ้นส่วนที่เกาะยึดอย่างหลวม ๆ หลุดหายไป

ริ้วรอยที่เกิดจากการทำความสะอาด

รอยด่างที่เกิดจากการทำความสะอาด

การใช้กรดในการทำความสะอาด ทำให้วัสดุแทบทุกชนิดเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ไม่สามารถย้อนกลับได้ เช่น น้ำกรดทำให้วัสดุที่เป็นสารประกอบคาร์บอเนตละลาย ปูนปั้น หินปูน หินอ่อน สีขาวตะกั่ว สีขาวจากปูนขาวหรือจากเปลือกหอย ไข่มุก หอยมุก และสารสีอื่น ๆ ก็เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น สีน้ำเงินอัลตรามารีนจะมีสีซีดจางลง บางคนใช้พืชผักผลไม้และน้ำส้มสายชูจากในครัวในการทำความสะอาดศิลปกรรม หลายคนมุ่งเน้นแต่จะทำให้ศิลปกรรมสะอาดปราศจากสิ่งสกปรกใด ๆ จึงใช้วิธีรุนแรงเพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าว โดยไม่คำนึงถึงผลเสียที่จะเกิดขึ้น

ในความเป็นจริง การทำความสะอาดศิลปกรรมเป็นงานที่ต้องใช้บุคลากรที่มีความรู้ด้านอนุรักษ์มากพอสมควร เพราะบางครั้งการทำความสะอาดทำให้วัตถุเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ไม่สามารถย้อนกลับได้ หากทำความสะอาดด้วยวิธีการรุนแรงหรือไม่ระมัดระวังเพียงพอ จะทำให้ศิลปกรรมเสื่อมสภาพมากขึ้นกว่าเดิม หลายกรณีไม่สามารถทำให้กลับสู่สภาพเดิมได้ เช่น การทำความสะอาดด้วยสารเคมีอย่างไม่ระมัดระวัง มักส่งผลกระทบต่อศิลปกรรมอย่างมาก สารเคมีอาจเข้าทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบบางอย่างของศิลปกรรม เช่น ทำให้ความชื้นในเนื้อวัสดุแปรเปลี่ยน ส่งผลให้เนื้อวัสดุหดตัว/ขยายตัว หากการขยายตัว/หดตัวเกิดในพื้นที่จำกัดหรือมีแรงยึดเหนี่ยวจากกาว ตะปู หรือสิ่งยึดตรึงอื่น ๆ อาจเกิดการแตกร้าว โก่งงอ บิดเบี้ยว ฯลฯ สารเคมีบางอย่างอาจละลายสารยึดและสารเคลือบผิวที่ใช้ในภาพเขียน ทำให้สารสีเปลี่ยนสี หรือทำให้เกิดคราบเปื้อน/รอยด่าง สารเคมีบางอย่างทำให้เกิดผลึกเกลือ สารเคมีที่เป็นกรดสามารถทำปฏิกิริยากับเนื้อวัสดุได้แทบทุกชนิด บางครั้งทำให้เกิดการกัดกร่อน สารเคมีที่เป็นด่างก็เช่นกัน พืชผักผลไม้และอาหารจากในครัวมักทำให้เกิดคราบเปื้อน และสิ่งตกค้างที่ดึงดูดราและแมลง

การใช้กรดในการทำความสะอาด ทำให้สารสีหลายชนิดเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ไม่สามารถย้อนกลับได้ เช่น กรดทำให้สีที่เป็นสารประกอบคาร์บอเนตละลาย เช่น สีขาวตะกั่ว สีขาวจากปูนขาวหรือจากเปลือกหอย สารสีอื่น ๆ ก็เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อสัมผัสกับกรด เช่น สีน้ำเงินอัลตรามารีนจะมีสีซีดจางลง

การทำความสะอาดเครื่องเงิน เครื่องทองแดง สำริด ทองเหลือง และโลหะผสมของทองแดงด้วยวิธีที่ไม่ถูกต้อง ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพมากยิ่งขึ้น เช่น ขัดถูด้วยวัสดุที่มีผิวหยาบ หรือล้างด้วยของเหลวที่มีความเป็นกรดสูงทำให้ผิวของวัตถุสึกกร่อนหรือเปลี่ยนสีมากยิ่งขึ้น การขัดถูด้วยอุปกรณ์ที่ไม่เหมาะสมทำให้ผิวโลหะส่วนที่นูนขึ้นแววววาวมากเป็นพิเศษ (แต่เนื้อโลหะสูญหายไป) ในขณะที่คราบสกปรกหรือคราบสนิมในร่องหรือในลวดลายจะยังเหมือนเดิม ส่งผลกระทบต่อความคมชัดของรายละเอียดบนผิววัตถุ บ่อยครั้งพบว่าสารเคมีที่ใช้ในการทำความสะอาดลงไปฝังอยู่ในร่องหรือรูบนลวดลายแล้วทำปฏิกิริยาต่อไป ทำให้เกิดสารประกอบสีอื่น ๆ ที่แตกต่างจากเดิม โดยทั่วไปถ้าใช้สารเคมีที่มีฤทธิ์เป็นกรดในการทำความสะอาด เช่น น้ำมะขามเปียก น้ำส้ม น้ำมะนาว น้ำสับปะรด ฯลฯ จะมีสิ่งตกค้างหลงเหลือในร่อง แล้วทำให้เกิดสารประกอบสีเขียว ซึ่งเป็นสารประกอบที่เกิดจากทองแดงในเนื้อเงินทำปฏิกิริยากับกรด

โลหะบางส่วนทำจากโลหะที่มีราคาถูก เช่น ทองแดง ทองเหลือง นำมาขึ้นรูปและตกแต่งตามต้องการ แล้วชุบเงินหรือทอง หรือปิดเงินหรือทองเป็นชั้นบาง ๆ ด้วยวิธีการต่าง ๆ ชั้นของเงินและทองบนผิววัตถุมักหลุดลอกระหว่างการใช้งานและการทำความสะอาด หากทำความสะอาดด้วยวิธีที่รุนแรง ชั้นของเงินและทองจะหลุดออกมากขึ้น

วัตถุบางชิ้นมีเงินเคลือบบาง ๆ อยู่บนเกลือเงินคลอไรด์ ระหว่างขัดถู ชั้นของเงินจะหลุดออก นอกจากนี้หากของเหลวที่นำมาทำความสะอาดเครื่องเงินหลงเหลืออยู่บนผิวหรือร่องหรือหลุมบนเครื่องเงิน จะทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีกับสิ่งแวดล้อมที่ซับซ้อน ทำให้ยากต่อการคาดการณ์หรือป้องกัน และทำให้เครื่องเงินหมองมากขึ้นหลังจากทำความสะอาด

การทำความสะอาดด้วยวิธีและอุปกรณ์ไม่ถูกต้อง ทำให้ส่วนนูนของเครื่องเงินสึกหรอ

คราบสีเขียวบนเครื่องเงิน ทองแดง และโลหะผสมของทองแดงหลังทำความสะอาดด้วยผลไม้ที่มีรสเปรี้ยวหรือน้ำยาทำความสะอาดที่มีฤทธิ์เป็นกรด

นักอนุรักษ์จะรักษาชั้นของ patina ไว้ เพื่อแสดงถึงความเป็นของแท้ดั้งเดิม การใช้กรดในการทำความสะอาด patina ออกไป แม้ว่าจะได้ผิวทองที่สะอาด สดใส เป็นมันวาว แลดูเป็นของใหม่ แต่ในขณะเดียวกันก็ทำลาย patina ที่ควรเก็บไว้

แม้แต่ส่วนที่เป็นทองก็เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อทำปฏิกิริยากับกรด ทำให้สีทองแลดูด่างเป็นบางส่วน เนื่องจากทองมีโลหะอื่น ๆ ที่เจือปนเป็นปริมาณเล็กน้อยอยู่ด้วยเสมอ โลหะเหล่านั้นถูกออกซิไดซ์ทำให้ทองหมองลง มีฟิล์มบาง ๆ สีเข้มปกคลุมพื้นผิว เรียกว่า patina (สนิมดี) โดยทั่วไปนักอนุรักษ์จะรักษาชั้นของ patina ไว้ เพื่อแสดงถึงความเป็นของแท้ดั้งเดิม การใช้กรดในการทำความสะอาด patina ออกไป แม้ว่าจะได้ผิวทองที่สะอาด สดใส เป็นมันวาว แลดูเป็นของใหม่ แต่ในขณะเดียวกันก็ทำลาย patina ที่ควรเก็บไว้

การทำความสะอาดด้วยด่าง อาจทำให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงได้เช่นเดียวกัน เช่น การใช้สารซักฟอกในการทำความสะอาดภาพเขียนและประติมากรรม มักทำให้สารสีมีสีออกเหลือง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้วาร์นิชที่ทำจากเรซิน บางคนใช้แอมโมเนียในการทำความสะอาดศิลปกรรมทำให้ทองแดง โลหะผสมของทองแดง สารประกอบของทองแดง และสารสีบางชนิดเปลี่ยนสี

สารสีเขียวที่ทำจากอะซูไรต์อาจเปลี่ยนสีหากทำความสะอาดด้วยสารเคมีบางชนิด เช่น ใช้แอมโมเนียมคาร์บอเนตตามด้วยแบเรียมไฮดรอกไซด์ จะเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำเงินเข้ม และหลังจากเวลาผ่านไปสองปี สีน้ำเงินนี้จะเปลี่ยนสีเป็นสีเขียว มีผู้วิเคราะห์พบว่าสารสีเขียวที่เกิดขึ้นเป็น paratacamite (basic copper chloride) และหากมีคลอไรด์เจือปนจะได้ paratacamite ผสมกับ atacamite ส่วนสารสีน้ำเงินที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงคือ ทองแดงไฮดรอกไซด์ แสดงว่าสารเคมีที่ใช้ในการอนุรักษ์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว โดยแบเรียมไฮดรอกไซด์ทำให้เกิดทองแดงไฮดรอกไซด์ ซึ่งเปลี่ยนสีต่อไปเป็นทองแดงออกไซด์ซึ่งมีสีดำ แอมโมเนียมคาร์บอเนตและแบเรียมไฮดรอกไซด์ทำให้เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องวนเวียนไป ผลก็คือทำให้ paratacamite ละลายออกไปจากพื้นผิว เกิดทองแดงไฮดรอกไซด์แล้วเกิดการสลายตัวของทองแดงไฮดรอกไซด์ไปเป็น paratacamite (ถ้ามีอนุมูลคลอไรด์อยู่ด้วย) หรือเปลี่ยนไปเป็นทองแดงออกไซด์สีดำ

> แสงเลเซอร์จะเลือกเผาไหม้เฉพาะสิ่งสกปรกที่เกาะอยู่บนพื้นผิวของวัตถุหรือใช้ขจัดคราบเปื้อนที่เกิดจากเชื้อรา

ปัจจุบันมีการทำความสะอาดศิลปกรรมที่ประสบปัญหาบางอย่างด้วยแสงเลเซอร์ ซึ่งมีข้อดีหลายประการ แต่ก็มีข้อจำกัดหลายอย่าง เช่น ต้องเลือกใช้พลังงานของเลเซอร์ได้อย่างเหมาะสม ต้องทำการทดลองก่อนลงมือปฏิบัติ ผู้ปฏิบัติงานต้องมีทักษะสูง มีความอดทน ซึ่งวิธีนี้จะเลือกใช้เมื่อไม่มีวิธีอื่นที่ใช้งานได้หรือใช้ในกรณีที่ถ้าไม่ทำความสะอาดแล้วจะทำให้วัตถุเป็นอันตราย หรือทำความสะอาดศิลปกรรมบางประเภทที่มีความเสี่ยงที่จะชำรุดเสื่อมสภาพมากยิ่งขึ้นหากใช้วิธีทำความสะอาดด้วยวิธีอื่น ๆ แสงเลเซอร์จะเลือกเผาไหม้เฉพาะสิ่งสกปรกที่เกาะอยู่บนพื้นผิวของวัตถุหรือใช้ขจัดคราบเปื้อนที่เกิดจากเชื้อรา หากใช้อย่างระมัดระวังจะทำความสะอาดวัตถุได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ในบางกรณีอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ไม่พึงประสงค์ได้ เช่น การทำความสะอาดชั้นสีที่มีตะกั่วขาวเป็นองค์ประกอบหลักด้วยแสงเลเซอร์ พบว่าหลังทำความสะอาด สีขาวตะกั่วจะเปลี่ยนสี

วิธีการซ่อมแซมศิลปกรรมที่นิยมใช้กันในอดีต อาจทำให้ศิลปกรรมเปลี่ยนแปลงจนไม่สามารถทำให้กลับสู่สภาพเดิมได้ เช่น วิธีการซ่อมแซมกระดาษที่นิยมกันมากเมื่อ 50–70 ปีมาแล้วคือการผนึกกระดาษระหว่างแผ่นเซลลูโลสอะซีเตตสองแผ่น โดยใช้ความร้อนช่วยให้พลาสติกยึดติดกัน เรียกว่า Lamination ปัจจุบันพบว่าการซ่อมแซมด้วยวิธีดังกล่าวทำให้กระดาษเสื่อมสภาพอย่างแก้ไขไม่ได้ เนื่องจากความร้อนทำให้กระดาษยึดติดแน่นกับแผ่นเซลลูโลสอะซีเตตจนแยกจากกันไม่ได้ นอกจากนี้เซลลูโลสอะซีเตตผลิตจากเซลลูโลสทำปฏิกิริยากับกรดอะซีติกและมีกรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในระยะยาวเซลลูโลสอะซีเตตจะปลดปล่อยกรดอะซีติกออกมาทำอันตรายต่อกระดาษ กระดาษเองก็เป็นกรด ซึ่งจะเร่งปฏิกิริยาทำให้สายโซ่โมเลกุลของเซลลูโลสในกระดาษเกิดการแตกหัก ส่งผลให้กระดาษเสื่อมสภาพมากขึ้น นอกจากนี้อะซีเตตอิออนเข้าทำปฏิกิริยากับเปอร์ออกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของ plasticizer แล้วเกิดไอระเหยของกรดอะซีติก ซึ่งทำให้แผ่นเซลลูโลสอะซีเตตหดตัวและบิดงอ วัตถุที่นำมา laminate จะเสื่อมสภาพไปตามพลาสติกที่ใช้และไม่สามารถทำให้กลับมาเหมือนเดิมได้

การซ่อมแซมด้วยวิธีการไม่เหมาะสมอาจทำให้ศิลปกรรมเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและทางเคมีอย่างรวดเร็ว บางครั้งทำให้เกิดการชำรุดเสื่อมสภาพและเสื่อมค่าอย่างรุนแรง จนไม่สามารถแก้ไขให้กลับสู่สภาพเดิมได้ ที่พบบ่อย ได้แก่ การใช้กาวในการซ่อมแซม กาวหลายชนิดเปลี่ยนสีหรือเปลี่ยนสภาพเป็นเยิ้มเหนียว กรอบเปราะ หลุดล่อนในเวลาต่อมา กาวที่แทรกซึมเข้าไปในเนื้อวัสดุ ทำให้เกิดรอยด่างหรือคราบเปื้อนที่อาจไม่สามารถขจัดออกด้วยวิธีใด ๆ กาวบางชนิดอ่อนตัวหรือเยิ้มเหลวเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น บางครั้งกาวแข็งแรงเกินไป หรือมีการยืดหดตัวแตกต่างจากวัสดุเดิมมาก ทำให้เกิดการแตกร้าวมากขึ้น การซ่อมแซมมักเกิดปัญหาจากการที่ใช้วัสดุที่ไม่กลมกลืนกับวัสดุเดิม หรือใช้วัสดุที่เกิดการเปลี่ยนแปลงตามกาลเวลาแตกต่างจากวัสดุเดิม ทำให้ในระยะยาวพื้นที่ส่วนที่ซ่อมแซมแลดูแตกด่าง บางครั้งวัสดุที่ใช้ในการซ่อมแซมเสื่อมสภาพเกิดการเปลี่ยนแปลงมากกว่าวัสดุเดิม ปัญหาที่รุนแรงที่สุดมักเกิดจากการใช้สารเคมีที่ทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบของวัสดุเดิม แล้วทำให้วัสดุเดิมถูกทำลายไป

ผู้ซ่อมแซมบางคนใช้สารเคมีมากเกินความจำเป็น เน้นการทำให้กลับสู่สภาพเดิมหรือเน้นความสวยงามเป็นหลัก บางครั้งเน้นการเคลือบผิวเพื่อให้สีแลดูสดฉ่ำ เป็นมันวาว สารเคลือบผิวบางชนิดเกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้เกิดปัญหามากกว่าเดิม เช่น การใช้ขี้ผึ้งเคลือบผิวเพื่อป้องกันความชื้น ก๊าซและฝุ่นละออง หรือใช้ผนึกภาพเขียนลงบนวัสดุรองรับใหม่ ปรากฏว่าเมื่อเวลาผ่านไป ขี้ผึ้งเปลี่ยนสีและทึบแสงมากขึ้น มีลักษณะเป็นฟิล์มสีขาวขุ่นบดบังพื้นผิวของชั้นสี บางครั้งใช้ขี้ผึ้งผสมกับเรซิน

ในการผนึกภาพเขียนซึ่งมีสีเข้มขึ้นตามกาลเวลา บางครั้งใช้เชลแล็กหรือแล็กเกอร์ราคาถูกเคลือบผิว เมื่อสารเคลือบผิวนั้น ๆ เสื่อมสภาพ ชั้นสีจะเสื่อมสภาพไปด้วย อีกตัวอย่างหนึ่งคือการเคลือบผิวด้วยน้ำมันลินสีด ซึ่งปัจจุบันวางขายทั่วไปใช้ชื่อการค้าต่าง ๆ เช่น Teak oil, Teak wood oil ฯลฯ เมื่อเวลาผ่านไป น้ำมันลินสีดจะมีสีคล้ำขึ้นและไม่แข็งตัวอย่างสมบูรณ์ มีลักษณะเป็นสารเหนียว ๆ สีน้ำตาลและมีฝุ่นมาสะสม

พบว่าการซ่อมแซมด้วยวิธีการไม่เหมาะสมหรือใช้วัสดุที่มีคุณภาพต่ำทำให้ศิลปกรรมเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและทางเคมีอย่างรวดเร็ว บางครั้งทำให้เกิดการชำรุดเสื่อมสภาพและเสื่อมค่าอย่างรุนแรงจนไม่สามารถแก้ไขให้กลับสู่สภาพเดิมได้ ที่พบบ่อยได้แก่ การใช้กาวในการซ่อมแซม กาวหลายชนิดเปลี่ยนสีหรือเปลี่ยนสภาพเป็นเยิ้มเหนียว กรอบเปราะ หลุดล่อนในเวลาต่อมา กาวที่แทรกซึมเข้าไปในเนื้อวัสดุทำให้เกิดรอยด่างหรือคราบเปื้อนที่อาจไม่สามารถขจัดออกด้วยวิธีใด ๆ บางครั้งกาวแข็งแรงเกินไปหรือมีการยืดหดตัวแตกต่างจากวัสดุเดิมมาก ทำให้เกิดแรงดึงแรงดันในเนื้อวัสดุ เกิดการแตกร้าวมากขึ้น ตัวอย่างเช่น การใช้กาวอีพอกซีที่ผลิตมาเพื่อใช้ต่อโลหะในการซ่อมแซมประติมากรรมหินที่อยู่กลางแจ้ง กาวอีพอกซีแข็งแรงมากเกินไปจะดึงเนื้อหินให้ติดแน่น เมื่อมีการยืดหดตัวจากความร้อนและความชื้น จะยืดหดด้วยอัตราแตกต่างจากเนื้อหิน นอกจากนี้กาวอีพอกซียังไม่ยอมให้น้ำและความชื้นผ่าน หากน้ำหรือความชื้นเข้าไปในเนื้อหิน จะถูกกักเก็บอยู่ภายใน แล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอื่น ๆ ต่อไป ในระยะยาวอีพอกซีดึงเนื้อหินติดออกมาด้วย เนื้อหินส่วนที่ซ่อมแซมจะหลุดออกมาเป็นแผ่นหรือชำรุดเสื่อมสภาพมากกว่าเดิม

การซ่อมแซมหินด้วยกาวอีพอกซี

การซ่อมแซมศิลปกรรมที่ทำด้วยไม้โดยใช้กาวที่ไม่เหมาะสม เช่น ใช้กาวอีพอกซีโดยไม่ได้ศึกษาคุณสมบัติของกาวอีพอกซีที่นำมาใช้ อาจเลือกใช้กาวอีพอกซีที่มีคุณสมบัติไม่เหมาะสมที่จะใช้กับไม้ เช่น แข็งเกินไป ขาดความยืดหยุ่น เปลี่ยนสีง่าย ขยายตัว/หดตัวแตกต่างจากเนื้อไม้ ฯลฯ ผลสุดท้ายจะทำให้ไม้แตกร้าว โก่งงอ หรือบิดเบี้ยวเพิ่มขึ้น เพราะไม่สามารถขยายตัวและหดตัวได้อย่างอิสระ และไม่สามารถรื้อส่วนที่ซ่อมไว้เดิมออกโดยไม่ทำให้เนื้อไม้ส่วนที่ติดกับกาวเสียหาย นอกจากนี้กาวอีพอกซีส่วนใหญ่เปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองหลังจากใช้งานไม่นาน การซ่อมแซมไม้ควรเลือกใช้กาวที่มีความยืดหยุ่นใกล้เคียงกับไม้และสามารถเอาออกได้ในอนาคต โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่แผ่นไม้นั้น ๆ หรือส่วนที่ซ่อมนั้น ๆ ไม่ได้เป็นโครงสร้างที่ต้องรับน้ำหนักของอาคาร ต้องการเพียงกาวหรือส่วนผสมของกาวกับสารเติมเต็มที่เหมาะสมที่จะใช้ในการอุดรูหรือช่องว่างจึงไม่จำเป็นต้องใช้กาวอีพอกซีที่มีแรงยึดเหนี่ยวสูงมากมาย

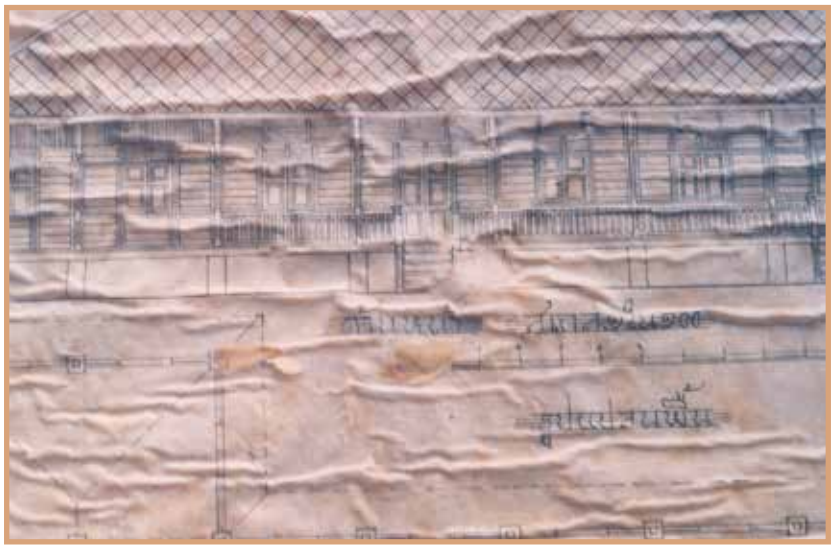
การซ่อมแซมภาพเขียนสีฝุ่นบนไม้ด้วยกาวอีพอกซี

การซ่อมแซมมักเกิดปัญหาจากการที่ใช้วัสดุที่ไม่กลมกลืนกับวัสดุเดิมหรือใช้วัสดุที่เกิดการเปลี่ยนแปลงตามกาลเวลาแตกต่างจากวัสดุเดิม ทำให้ในระยะยาว พื้นที่ส่วนที่ซ่อมแซมแลดูแตกต่างจากวัสดุเดิม วัสดุที่ใช้ในการซ่อมแซมอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงมากกว่าวัสดุเดิม แล้วเหนี่ยวนำให้วัสดุเดิมชำรุดเสื่อมสภาพเพิ่มขึ้น ปัญหาที่รุนแรงที่สุดมักเกิดจากการใช้สารเคมีที่ทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบของวัสดุเดิมแล้วทำให้วัสดุเดิมถูกทำลายไป

การเสื่อมสภาพที่พบบ่อย เกิดจากการซ่อมแซมโดยใช้กาวหรือเทปกาวที่มีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด ซึ่งทำให้ศิลปกรรมเกิดการเปลี่ยนแปลงภายในเวลาไม่นาน กาวมักเปลี่ยนสีหรือเปลี่ยนสภาพเป็นเยิ้มเหนียว กรอบเปราะ หลุดล่อน ในเวลาต่อมา กาวที่แทรกซึมเข้าไปในเนื้อวัสดุทำให้เกิดคราบเปื้อนที่ไม่สามารถขจัดออกได้ง่าย ๆ บางคนซ่อมกระดาษด้วยการทากาวลาเทกซ์ยึดกระดาษเข้ากับกระดาษแผ่นใหม่หรือผ้าฝ้าย พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป กระดาษมีลักษณะเป็นคลื่น เนื่องจากกระดาษเดิม กระดาษใหม่ และผ้าฝ้าย มีการขยายตัวและหดตัวแตกต่างกัน

การยึดตรึงด้วยเทปกาว ทำให้เกิดคราบเปื้อนที่เอาออกยาก

ในอดีตมีการซ่อมแซมกระดาษเนื้อบาง เช่น แบบแปลน แผนที่ โปสเตอร์ ภาพเขียน ภาพพิมพ์ ภาพสเก็ตช์ ฯลฯ โดยการดามด้านหลังด้วยกระดาษแผ่นใหม่ บางคนดามด้วยผ้าฝ้าย ใช้กาวลาเทกซ์ยึดกระดาษเก่ากับกระดาษใหม่หรือผ้าใหม่เข้าด้วยกัน พบว่าหลังจากผ่านไปประมาณสิบปี กระดาษเก่าขยายตัวและหดตัวไม่เท่ากับกระดาษใหม่และผ้าใหม่ ทำให้เกิดรอยย่นเป็นคลื่น กระดาษเดิมมีลักษณะแข็งกระด้างเหมือนแผ่นพลาสติก นอกจากนี้กาวลาเทกซ์ยังปลดปล่อยกรดอะซีติกออกมาทำอันตรายต่อกระดาษและผ้า



การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากกระดาษ กาว และผ้าที่ดามด้านหลังของกระดาษขยายตัวและหดตัวแตกต่างกัน

การซ่อมแซมจิตรกรรมบนผืนผ้าใบ หากไม่ระมัดระวังมากพอ บางครั้งมีรอยย่นหรือหย่อนยานบริเวณมุมและใกล้ขอบของกรอบไม้ที่ใช้ขึงผ้าใบ เกิดจากการขึงผ้าใบไม่ตึงพอ ใช้สารยึดที่ทำให้สีซึมเลอะออกนอกพื้นที่ที่ต้องการ ใช้วาร์นิชคุณภาพต่ำที่เปลี่ยนสีง่าย ตัวทำละลายในวาร์นิชละลายสีบางสีในชั้นสี ใช้สีที่ไม่เสถียร ใช้สีที่ไม่รวมตัวกับสีอื่น ๆ ใช้สีที่ทำปฏิกิริยากับสีอื่นแล้วเปลี่ยนสี ฯลฯ

ปัญหาที่มักพบเสมอคือการซ่อมแซมโดยบุคลากรที่ไม่มีความรู้ด้านการอนุรักษ์อย่างเพียงพอ มักใช้วิธีของช่าง รื้อหรือขูดลอกของเดิมออกแล้วซ่อมแซมแต่งเติมใหม่ให้สวยงามด้วยวัสดุช่าง บางครั้งเน้นการเสริมสร้างความมั่นคงแข็งแรงและความสวยงาม ทำให้เกิดปัญหาตามมาหลายประการที่สำคัญที่สุดคือการทำลายฝีมือและภูมิปัญญาของศิลปินและเทคโนโลยีในการผลิตที่ติดมากับวัสดุเดิม ซึ่งควรจะเก็บรักษาเอาไว้ให้ชนรุ่นหลังได้ศึกษา นอกจากนี้ยังมีปัญหาที่เกิดจากปฏิกิริยาและผลข้างเคียงของวัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการซ่อมแซม

การซ่อมแซมโลหะปิดทองโดยการลอกทองเก่าออกแล้วปิดทองใหม่

การซ่อมแซมโดยบุคลากรที่ไม่มีทักษะและฝีมือ

การซ่อมแซมรอยร้าวบนปูนปั้นโดยใช้วัสดุที่ไม่เหมาะสม

การซ่อมแซมโดยใช้วัสดุที่มีสีไม่กลมกลืนกับสีเดิม

การเติมสีไม่กลมกลืนกับสีเดิม

การเลือกใช้วาร์นิชส่งผลกระทบต่อการเสื่อมสภาพของภาพเขียน เช่น วาร์นิชบางชนิดไม่สามารถละลายออกได้ในภายหลังเพื่อทำความสะอาดโดยไม่ทำอันตรายต่อชั้นสี วาร์นิชบางชนิดไม่ยืดหยุ่น ไม่สามารถยืดและหดไปพร้อม ๆ กับผ้าใบโดยไม่แตกร้าว วาร์นิชบางชนิดไม่แข็งพอ ฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกเกาะติดและฝังลงไป ทำให้ทำความสะอาดยาก วาร์นิชบางชนิดมีรูพรุนไม่เหมาะสมต่อสภาวะแวดล้อมในแต่ละสถานที่ เพื่อให้ความชื้นเคลื่อนที่ผ่านได้หรือเป็นฟิล์มที่ไม่ต้องการให้ความชื้นผ่าน วาร์นิชบางชนิดไวต่อปฏิกิริยาเคมี ไม่ทนต่อความชื้นและน้ำ วาร์นิชบางชนิดเปลี่ยนสีจากปัจจัยที่เกิดจากความชื้น ความร้อน รังสีอัลตราไวโอเลต วาร์นิชบางชนิดเปลี่ยนสีหรือขุ่นมัวหลังการใช้งานไประยะหนึ่ง ฯลฯ คุณสมบัติเหล่านี้ทำให้วาร์นิชเสื่อมสภาพก่อนเวลาอันควร

ขั้นตอนก่อนการเคลือบผิวส่งผลกระทบต่อความทนทานของภาพเขียนเช่นกัน ชั้นสีบนภาพเขียนสีน้ำมันต้องแห้งสนิทก่อนเคลือบผิวซึ่งใช้เวลานาน เนื่องจากการแข็งตัวของชั้นสีน้ำมันเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยทั่วไปอาจใช้เวลา 3–6 เดือน หรืออาจถึงหนึ่งปีหากชั้นสีหนามาก 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 มีลักษณะเป็นมันวาว แต่จะแตกร้าวง่ายและเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ในระยะยาวจะไม่ละลายในตัวทำละลายธรรมดา แต่จะละลายได้ในน้ำมันร้อน ๆ ปัจจุบันจึงไม่ใช้แล้ว Dammar และ Mastic ละลายในน้ำมันสนและไวท์สปิริต มีข้อดีกว่า เนื่องจากยังสามารถละลายออกได้โดยไม่ทำอันตรายต่อชั้นสี แต่มีปัญหาอื่นคือเปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองหลังจากใช้งานไปประมาณ 50 ปี ในสภาพแวดล้อมปกติ และเมื่อแข็งจะกรอบเปราะขึ้น ทำให้ภาพเขียนแตกร้าว

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

ปัญหาที่พบบ่อยบนรูปเคารพและประติมากรรมบางส่วนที่ประชาชนเข้าถึงง่าย มักเกิดคราบเปื้อนหรือรอยด่างจากสิ่งสกปรก รอยนิ้วมือ น้ำยาทำความสะอาด น้ำอบ เขม่าและควันธูปควันเทียน การปิดทอง บางครั้งนำอาหารและเครื่องดื่มมาบูชาสักการะตามความเชื่อ

คราบเปื้อนบนหินสีอ่อน ๆ ที่เกิดจากมือคนและวัสดุที่ใช้ในการปิดทอง

การจัดแสดงและจัดเก็บศิลปกรรมในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมทำให้วัตถุเกิดการเปลี่ยนแปลงได้มากมาย สภาพแวดล้อมที่ทำให้เกิดปัญหาต่อวัตถุ ได้แก่ ความร้อน ความชื้น แสงสว่าง รังสีอัลตราไวโอเลต สิ่งสกปรกจากฝุ่นละออง เหงื่อไคล น้ำมูก น้ำลาย เครื่องสำอาง เครื่องดื่ม อาหาร เชื้อรา แมลง เขม่า ควัน ไอระเหย และก๊าซมลพิษต่าง ๆ

สาเหตุสำคัญอีกประการหนึ่งคือการกระทำของคน ซึ่งทำลายศิลปกรรมอย่างตั้งใจ เช่น การขุดเจาะหาของมีค่าบนโบราณสถาน การลักลอบตัดชิ้นส่วนทางสถาปัตยกรรมของโบราณสถานเพื่อประโยชน์ทางการค้า เป็นต้น การกระทำดังกล่าวนอกจากจะมีผลโดยตรงต่อคุณค่าทางสถาปัตยกรรมและโครงสร้างของศิลปกรรมแล้ว ยังทำให้ศิลปกรรมชำรุดเสื่อมสภาพมากยิ่งขึ้น เพราะทำให้เกิดโพรงช่องโหว่และรอยแตกหักซึ่งน้ำฝนสามารถแทรกซึมเข้าไปทำปฏิกิริยาได้มากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ศิลปกรรมที่อยู่นอกตู้หรือแขวนบนผนังที่คนเอื้อมถึง มักเกิดคราบสกปรกเพิ่มขึ้นจากการสัมผัสลูบคลำ บางกรณีคนเดินชนจนตกแตกหรือชำรุด

การบูรณะโบราณสถานและอาคารประวัติศาสตร์ ตลอดจนประติมากรรมติดที่ด้วยวิธีการที่ไม่เหมาะสม ก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ศิลปกรรมเสื่อมสภาพมากขึ้นกว่าเดิม เช่น การใช้คอนกรีตเสริมเหล็กในการเสริมความมั่นคงในหินหรือปูนปั้น พบว่าสนิมบนเหล็กเส้นทำให้เนื้อหินและปูนปั้นแตกระเบิดออก หรือการใช้ปูนซีเมนต์จำนวนมากในการบูรณะ ทำให้เกิดผลึกเกลือและทำให้

หินและปูนปั้นผุเปื่อย การเคลือบผิวด้วยสารเคมีที่ไม่เหมาะสม ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระยะยาว เช่น สีเปลี่ยน ไม่ยอมให้ความชื้นผ่านเข้าออก ทึบน้ำ แตกล่อน ฯลฯ การเคลื่อนย้ายศิลปกรรมระหว่างการบูรณะอย่างไม่ระมัดระวังเพียงพอทำให้เกิดรอยบิ่นหรือกะเทาะตรงส่วนขอบและมุม

การซ่อมแซมด้วยปูนซีเมนต์และอีพอกซี

การนำมาใช้งานบ่อยครั้งหรือใช้งานในระยะยาวก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ศิลปกรรมเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและทางเคมี นอกเหนือจากปัจจัยต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้ว เช่น อาจเกิดอุบัติเหตุระหว่างการขนย้าย ขนส่ง บรรจุหีบห่อ ติดตั้ง ระหว่างการจัดแสดง การจับต้องเคลื่อนย้ายศิลปกรรมอย่างไม่ระมัดระวัง มักทำให้ศิลปกรรมเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรงได้ หรืออาจเกิดการเปลี่ยนแปลงจากอุบัติภัยต่าง ๆ

สภาพชำรุดจากการเคลื่อนย้าย

คราบเปื้อนบนศิลปกรรมส่วนหนึ่งเกิดจากความไม่ระมัดระวังในการดูแลรักษา เช่น คราบสีที่หยดย้อยหรือสะบัดจากการทาสีอาคาร การจัดเก็บและจัดแสดงโดยไม่มีการป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้น การละเลยไม่ดูแลรักษาความสะอาดทำให้ฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกสะสมหรือมีคราบสกปรกจากมูลของสัตว์ การหยิบจับแตะต้องสัมผัสโดยไม่สวมถุงมือ ทำให้เกิดคราบเปื้อนจากรอยนิ้วมือหรือเหงื่อหรือสิ่งสกปรกจากมือ การเคลื่อนย้ายอย่างไม่ระมัดระวัง ฯลฯ

คราบเปื้อนบนงานศิลปกรรมที่เกิดจากความประมาทของผู้ปฏิบัติงาน

ฝุ่นละอองและคราบสกปรกจากสภาพแวดล้อมสะสมบนวัตถุ

ศิลปะบนกระดาษชำรุดจากการจัดเก็บอย่างไม่ระมัดระวัง

บทที่ 7

บทสรุป

หลักการอนุรักษ์ศิลปกรรมตามมาตรฐานสากล เน้นการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์การอนุรักษ์ (conservation science) ร่วมกับความรู้ด้านอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องมาใช้ในการอนุรักษ์ทุกขั้นตอน วิทยาศาสตร์การอนุรักษ์เป็นอีกศาสตร์หนึ่งที่แตกต่างจากวิทยาศาสตร์บริสุทธิ์ เป็นสาขาวิชาใหม่ที่ประยุกต์ใช้ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และด้านศิลปะหลาย ๆ สาขาเข้าด้วยกัน เริ่มด้วยการศึกษาชนิดของวัสดุต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างสรรค์ศิลปกรรม องค์ประกอบ โครงสร้าง เทคโนโลยีในการผลิต ประวัติและที่มาของศิลปกรรม รวมทั้งการกำหนดอายุของศิลปกรรม จากนั้นศึกษาปฏิกิริยาของวัสดุเหล่านี้กับสิ่งแวดล้อม ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ มากมาย ทำให้วัสดุชำรุดเสื่อมสภาพหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาขั้นนี้จำเป็นมากสำหรับการพิจารณาหาวิธีการและวัสดุเคมีภัณฑ์ที่จะใช้ในการหยุดยั้งการชำรุดเสื่อมสภาพหรือการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น และพิจารณาหาวิธีป้องกันหรือชะลออัตราการชำรุดเสื่อมสภาพและการเปลี่ยนแปลงของศิลปกรรม เพื่อยืดอายุของศิลปกรรมออกไปให้ยาวนานที่สุดเท่าที่จะทำได้ ความรู้ทางวิทยาศาสตร์การอนุรักษ์ยังเป็นพื้นฐานที่จำเป็นในการศึกษาวิจัยเพื่อประเมินประสิทธิภาพและประสิทธิผลของวิธีการและวัสดุต่าง ๆ ที่เลือกใช้ในการสร้างสรรค์ศิลปกรรมและใช้ในกระบวนการอนุรักษ์ โดยจะต้องศึกษาผลดี ผลเสียและผลข้างเคียงที่จะเกิดขึ้นทั้งในระยะสั้นและระยะยาว

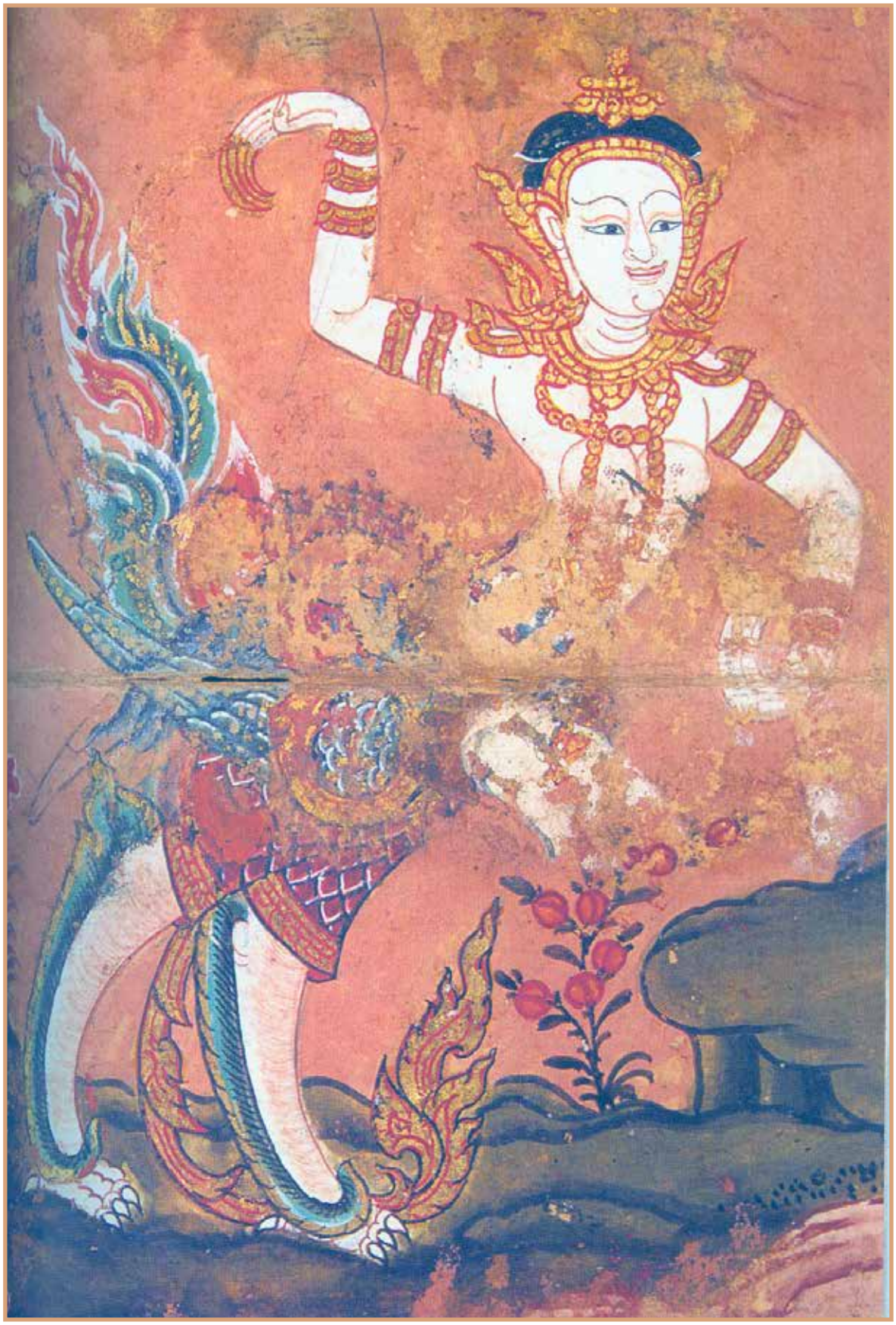
เนื้อหาในหนังสือเล่มนี้เกิดจากการศึกษา ค้นคว้า วิจัย ประสบการณ์ในการทำงานและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุและเทคนิคที่ใช้ในการสร้างสรรค์ศิลปกรรม รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของ

วัสดุต่าง ๆ จากสาเหตุหลากหลาย โดยเน้นข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุที่ใช้ในการสร้างสรรค์จิตรกรรมและประติมากรรมเป็นหลัก เพื่อให้นักอนุรักษ์และนักศึกษาในหลักสูตรปริญญาโทด้านอนุรักษ์ศิลปกรรมได้นำไปใช้ในการศึกษา วิจัย และปฏิบัติงานด้านอนุรักษ์ศิลปกรรม

นอกจากการซ่อมแซมโครงสร้างของศิลปกรรมให้คงรูปเดิมและเสริมสร้างความแข็งแรงทนทานให้กับศิลปกรรมแล้ว ขั้นตอนที่มีส่วนช่วยในการอนุรักษ์และยืดอายุของวัสดุเดิมออกไปให้ยาวนานขึ้นคือการค้นหาสาเหตุที่ทำให้เกิดการชำรุดแล้วแก้ปัญหาที่ต้นเหตุด้วยวิธีการที่เหมาะสมและถูกต้องตามหลักการอนุรักษ์ เลือกใช้วัสดุที่เข้ากันได้กันวัสดุเดิมและไม่ทำให้วัสดุเดิมเสื่อมสภาพมากขึ้นกว่าเดิม รวมทั้งหาทางป้องกันมิให้วัสดุเดิมและวัสดุใหม่เสื่อมสภาพต่อไปในอนาคต

อย่างไรก็ตามพบว่าสาเหตุหลาย ๆ สาเหตุที่ทำให้ศิลปกรรมเกิดการชำรุดผุพังเกิดจากจุดอ่อนในตัววัสดุเองและเกิดจากสภาพแวดล้อม ซึ่งยากต่อการแก้ไขและป้องกันตราบใดที่ศิลปกรรมยังคงยืนหยัดอยู่กลางแจ้ง หรือถูกจัดเก็บหรือจัดแสดงในอาคารที่ไม่มีมาตรการในการควบคุมสภาพแวดล้อม เนื่องจากสภาพแวดล้อมเป็นสิ่งที่แก้ไขหรือควบคุมได้ยาก หากต้องการยืดอายุของศิลปกรรมออกไปให้ยาวนาน ในกรณีที่ศิลปกรรมอยู่กลางแจ้ง วิธีการที่มีประสิทธิภาพสูงสุดคือการนำเข้ามาอยู่ในอาคารหรือสร้างหลังคาคลุม และแก้ปัญหาจากน้ำใต้ดินควบคู่ไปด้วย แต่วิธีนี้ไม่สามารถกระทำได้ง่ายนัก เนื่องจากมีผู้ไม่เห็นด้วยมากมาย เพราะเหตุผลทางด้านสุนทรียภาพจิตวิญญาณและทัศนียภาพ

ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องใช้วิธีการอื่น ๆ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นวิธีการด้านวิทยาศาสตร์การอนุรักษ์ (conservation science) เข้ามาช่วยแก้ไขปัญหา ยืดอายุของศิลปกรรมและปกป้องคุ้มครองเนื้อวัสดุจากสาเหตุต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการชำรุดเสื่อมสภาพ ในกรณีที่เนื้อวัสดุชำรุดเสื่อมสภาพไปแล้วก็ต้องใช้สารเคมีที่ช่วยให้เนื้อวัสดุนั้น ๆ แข็งแรงทนทานขึ้นกว่าเดิม และจะต้องรักษาเนื้อวัสดุเดิมเอาไว้ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยต้องศึกษาค้นคว้า วิจัย ทดลองให้แน่ใจก่อนการเลือกใช้วัสดุ สารเคมีและวิธีการ ขั้นตอนนี้ต้องใช้ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์การอนุรักษ์เป็นอย่างมาก เพื่อให้เกิดความเข้าใจในเรื่องวัสดุต่าง ๆ สามารถวิเคราะห์ปัญหา เลือกใช้วัสดุและสารเคมีที่เหมาะสม ทำการทดลอง ศึกษาวิจัยเพื่อให้ค้นหาข้อดีและข้อเสียของแต่ละวัสดุและแต่ละวิธีการ ตลอดจนศึกษาผลข้างเคียงและผลระยะยาวที่จะเกิดขึ้นกับวัสดุเดิม การปฏิบัติงานขั้นตอนนี้จึงเป็นการปฏิบัติงานที่มีรายละเอียดเฉพาะสำหรับแต่ละกรณี ต้องสามารถปรับเปลี่ยนปัจจัยต่าง ๆ ตลอดเวลาเพื่อให้เหมาะสมสำหรับวัสดุแต่ละชนิดและปัญหาแต่ละปัญหาที่เกิดขึ้น



เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

จิราภรณ์ อรัณยะนาค. (2535). **การเสื่อมสภาพของหินทรายบนปราสาทหินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง** (รายงานการวิจัย). กรุงเทพฯ : ส่วนวิทยาศาสตร์เพื่อการอนุรักษ์ กรมศิลปากร.

จิราภรณ์ อรัณยะนาค (2537). การผุกร่อน การกัดกร่อนกับการอนุรักษ์โบราณสถานและโบราณวัตถุ. **วารสารโลหะวัสดุและการกัดกร่อน,** 1(1), 85–91.

จิราภรณ์ อรัณยะนาค. (2538). สาเหตุที่ทำให้อิฐและหินบนโบราณสถานผุเปื่อย. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี,** 10(2), 18–28.

จิราภรณ์ อรัณยะนาค. (2546). ปัญหาและเทคนิคในการอนุรักษ์หิน. ใน **เอกสารเผยแพร่ในการฝึกอบรมเรื่องเทคนิคการอนุรักษ์โบราณสถานประเภทหิน.** กรุงเทพฯ : สำนักสถาปัตยกรรมและหัตถศิลป์ กรมศิลปากร.

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

จิราภรณ์ อรัณยะนาค. (2558). **การดูแลรักษาวัตถุพิพิธภัณฑ์.** กรุงเทพฯ : สถาบันพิพิธภัณฑ์การเรียนรู้แห่งชาติ.

จิราภรณ์ อรัณยะนาค. (2561). **วัสดุที่ใช้สร้างสรรค์ศิลปกรรม.** เอกสารที่ยังไม่เผยแพร่.

จิราภรณ์ อรัณยะนาค, ชุลี ชัยศรีสุข และพูนพิไล สุวรรณฤทธิ์. (2530). ผลการวิจัยเชื้อราบนกระดาษโบราณ. **วารสารศิลปากร,** 31(3)

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

ภาษาอังกฤษ

Aranyanark, C. (1985). Application of Scanning Electron Microscope in the Study of Fungal Growth on Cultural Property. Proceedings of **the Conference Organized by the Electron Microscopes Society of Thailand.** Bangkok.

Aranyanark, C.(1987). Insect factor in Deterioration of Cultural Materials in Thailand. **SPAFA Digest.** Vol. VIII No.1.

Aranyanark, C. (1988). Conservation of Ancient Thai Books. In Proceedings of **The 12th International Conservation Centre Congress.** Kyoto: Conservation of Far Eastern Art.

Aranyabark, C. (1988). Current Problems in the Conservation of Wood in Thailand. Proceedings of **the International Conference on Conservation Of Cultural Heritage: Conservation of Wood and International Cooperation.** Nara: Tokyo National Research Institute of Cultural Properties.

Aranyanark, C. (1992). Problems in the Conservation of Wood in Thailand. In Proceedings of **the International Seminar on Conservation of Cultural Heritage: Conservation of Wood and International Cooperation.** Nara: Tokyo National Research Institute of Cultural Properties.

Aranyanark, C. (1994). Mural Paintings of Thailand: the Problem of Fungal Growth. In Proceedings of **the Seminar on Conservation of Mural Paintings in India–Achievement and Problems.** New Delhi: INTACH.

Aranyanark, C. (1995). Microscopical Study of Fungal Growth on Paper and Textiles. In Proceedings of **the Third International Conference on Biodeterioration of Cultural Property.** Bangkok: The Fine Art Department.

Aranyanark, C. (1997). Deterioration of Wooden Buildings in Thailand. Proceedings of **the Innter-national Conference in Conservation and Revitalization of Vernacular Architecture.** Bangkok: ICOMOS-CIAV.

Aranyanark, C. (2000). Conservation of Movable Cultural heritage in Thailand. In Proceedings of **the International Conservation Centre Congress 2000 "Tradition and Innovation Advances in Conservation".** Melbourne.

Aranyanark, C. (2001). Biological agents in deterioration of sandstone sanctuaries in Thailand. In Preprints, **The Fifth International Conference on Biodeterioration of Cultural Property.** 11-15 August. Sydney.

Aranyanark, C. (2001). Salt Weathering of Monumental Building Materials in Thailand. In Proceedings of **the Second Seminar on Thai-Japanese Cooperation in Conservation of Monuments in Thailand.** September 4-5. Bangkok.

Aranyanark, C. (2003). Deterioration of Sandstone Sanctuaries in Northeastern Thailand. Proceed-ings of **the ICOMOS-ISCS International Conference on Stone Conservation.** Bangkok.

Aranyanark, C. (2008). Conservation of Contemporary Paintings in Thailand. In Proceedings of **the International Seminar on Asia Pacific Twentieth Century Conservation Art Research Network.** University of Melbourne.

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.

Casadio, F., Giangualano, I., & Pique, F. (2004). OrganicMaterials in Wall Paintings: The Historical and Analytical Literature. **Studies in Conservation49**(Supplement-1) 63-80.

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). In Proceedings of the Symposium "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.

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

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

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.

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

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

Hacke, M. (2009). Weighted Silk: History, Analysis and Conservation. Studies in **Conservation 54**(Supplement-1), 3-15.

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

Hermans, J., Helwig, K., Woutersen, S., and Keune, K. (2023). Traces of Water Catalyze Zinc Soap Crystallization in **Solvent-exposed Oil Paints.** Phys.Chem.Chem.Phys. 25. 5701–5709.

Hosono, T., Uchida. E., Suda, C., Ueno, U., & Nakagawa, T. (2006). Salt Weathering of Sandstone at the Angkor Cambodia: iIdentification of the Origin of Salts Using Sulfur and Strontium Isotopes. **Journal of Archaeological Science 33.** 1541–1551.

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

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.

Kuchitsu, N., Shimoyama, S., & Noda, Y. (1996). Discoloration of white lead and rewhitening: case study of a votive tablet of the Matsude Museum. **Hozon Kagaku, 35:** 32–39.

Levison, H. W. (1985). Yellowing and bleaching of paint films. **Journal of the American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works. Vol.24.** No. 2: 69–76.

Levinston, R. A. (2016). Acid rain attack on outdoor sculptures in perspective. **Journal of Atmospheric Environment. Vol.146.** pp. 332–345.

Michalski, S. (1993). Relative hue: a discussion of correct/incorrect values. In Preprints **10th Triennial Meeting, Washington D.C.** 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., & Kakoulli, I. (2015). Cinnabar alteration in archaeological wall painting: an experimental and theoretical approach. **Applied Physics A. Nov. Vol. 21.** Issue3: 915–938.

Nishiura, T. and Aranyanark, C. (1998). Conservation treatment of highly bio-deteriorated statue. In Proceedings of **the Fourth International Conference of Cultural Property.** Tehran.

Osmond, G. (2019). Zinc soaps : an overview of zinc oxide reactivity and consequences of soap formation in oil-based paintings. **Cultural heritage Science.**

Pavlopoulou, L. C. & Watkinson, D. (2006). The degradation of oil painted copper surfaces. Studies in Conservation. Vol.51. Issue sup 1: **Reviews in Conservation Vol.7:** 55–65.

Plesters, J. (1966). 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 — Issue 2: 79–87.

Roosa, M. (2004). Care, **Handling and Storage of Photographs. International Preservaton Issues Number 5.** Paris: IFLA–PAC.

Rutherford, J. G. & Fitzhugh, E. W. (1966). Azurite and blue verditer. **Studies in Conservation, Vol.11.** Issue 2: 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 Conser–vation, 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.

Scott, D. A. (1990). Bronze disease A review of some chemical problems and the role of relative humidity. **Journal of the American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, Vol. 29.**–Issue 2: 193–206.

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

Siedel, H., Piehwe–Leisen, E. v., & Leisen, H. (2008). Salt Load and Deterioration of Sandstone at the Temple of Angkor Wat, Cambodia. In Proceedings of **the 11th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone.** Porun. Poland.

Smith, R. (2003). **The Artist's Handbook.** London, UK: Dorling Kindersley.

Stockman, D. (2016). Inside the conservation laboratory: lead white conversion. **Associate Paper Conservation. PTM.** November 14.

Tanabe, S. (Ed.). (1979). **Proceedings of 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.

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 และระดับนานาชาติประมาณ 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