การเสื่อมสภาพ และวิธีการป้องกันศิลปวัตถุสำริด: กรณีศึกษาศิลปวัตถุสำริดที่อยู่ในห้องจัดเก็บใต้ดินในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติของประเทศกัมพูชา

โดย

Mr.Chanveasna Chhourn

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรศิลปศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาอนุรักษ์ศิลปกรรม แผน ก แบบ ก 1 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

การเสื่อมสภาพ และวิธีการป้องกันศิลปวัตถุสำริด: กรณีศึกษาศิลปวัตถุสำริดที่อยู่ในห้องจัดเก็บใต้ดินในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติของประเทศกัมพูชา

โดย

Mr.Chanveasna Chhourn

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรศิลปศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาอนุรักษ์ศิลปกรรม แผน ก แบบ ก 1 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

THE DEGRADATION AND PREVENTION OF BRONZE ARTIFACTS: A CASE STUDY OF BRONZE ARTIFACTS IN BASEMENT STORAGE AT NATIONAL MUSEUM OF CAMBODIA

By

Mr. Chanveasna CHHOURN

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for Master of Arts (CONSERVATION OF FINE ART)

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2022

Copyright of Silpakorn University

หัวข้อ	การเสื่อมสภาพ และวิธีการป้องกันศิลปวัตถุสำริด: กรณีศึกษาศิลปวัตถุสำริดที่อยู่ในห้องจัดเก็บใต้ดินในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติของประเทศกัมพูชา
โดย	Mr.Chanveasna Chhourn
สาขาวิชา	อนุรักษ์ศิลปกรรม แผน ก แบบ ก 1 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ถนอมจิตร์ ชุ่มวงค์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรศิลปศาสตรมหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย (ผู้รักษาการแทน)
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาธิต นิรัติศัย)

พิจารณาเห็นชอบโดย

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปานใจ ธารทัศนวงศ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ถนอมจิตร์ ชุ่มวงค์)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พงษ์พันธ์ จันทนมัฏฐะ)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(อาจารย์ โสภิต ปัญญาขัน)

626020001 : อนุรักษ์ศิลปกรรม แผน ก แบบ ก 1 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
คำสำคัญ : ประติมากรรม สำริด การอนุรักษ์ สภาพแวดล้อม อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์

Mr. Chanveasna Chhourn: การเสื่อมสภาพ และวิธีการป้องกันศิลปวัตถุสำริด: กรณีศึกษาศิลปวัตถุสำริดที่อยู่ในห้องจัดเก็บใต้ดินในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติของประเทศกัมพูชา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ถนอมจิตร์ ชุ่มวงค์

บทความนี้เป็นผลสรุปงานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาปัญหาที่เกิดบนศิลปวัตถุสำริดที่จัดเก็บในชั้นใต้ดิน ณ พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ ประเทศกัมพูชา สำริดเป็นโลหะผสมที่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบหลักจะเกิดสนิมง่ายขึ้นเมื่อสัมผัสกับอากาศที่มีออกซิเจนหรืออากาศที่มีก๊าซต่าง ๆ จากการศึกษามีการสำรวจ ประเมินสภาพของศิลปวัตถุสำริดและวิเคราะห์สภาพแวดล้อมโดยการใช้อุปกรณ์บันทึกข้อมูลอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อทำการบันทึกสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งในการเกิดสนิมและสนิมกัดกร่อน ขั้นตอนการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ในห้องจัดเก็บที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ ประเทศกัมพูชา โดยการบันทึกค่าของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เป็นระยะเวลา 9 เดือน โดยแบ่งออกเป็น 3 ฤดู (ฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน) ส่วนที่ 2 การทดลองในกล่องจำลอง พร้อมทั้งสร้างชิ้นงานที่มีองค์ประกอบคล้ายกับตัวอย่างศิลปวัตถุของกรณีศึกษาเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุ การเปลี่ยนแปลงที่ทำให้เกิดสนิม และศึกษาหาวิธีการป้องกัน

มหาวิทยาลัยศิลปากร

626020001 : Major (CONSERVATION OF FINE ART)

Keyword : Sculpture Bronze Conservation Environment Temperature Humidity

MR. CHANVEASNA CHHOURN : THE DEGRADATION AND PREVENTION OF BRONZE ARTIFACTS: A CASE STUDY OF BRONZE ARTIFACTS IN BASEMENT STORAGE AT NATIONAL MUSEUM OF CAMBODIA THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR THANOMCHIT CHUMWONG, Ph.D.

This article describes a summary of the research on the problems that arise with bronze artifacts that keep in the basement storage room at the National Museum of Cambodia. Bronze is an alloy consisting primarily of copper and gets rust when it's exposed to oxygen gas etc. In the study, survey, and assess the condition of bronze artifacts and climate (environment) analysis. Temperature and humidity data recording devices were used to record the environmental changes such as temperature and humidity which is the main cause of rust and corrosion. The research process was divided into 2 parts. The first part was recorded in a chamber box with the bronze sample as a model and the second in the storage room at the National Museum by spending 9 months collecting the data on temperature and humidity values, divided into 3 seasons (rainy season, cold season, and dry season). The researcher created a sample of bronze with similar elements to study to be analyzed the cause of corrosion and studied to find a method for preventing the bronze artifacts from getting rushed.

มหาวิทยาลัยศิลปากร

กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระฉบับนี้ ได้รับพระเมตตาจากสมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ที่ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ พระราชทานทุนจากโครงการ พระราชทานความช่วยเหลือด้านการศึกษาแก่ผู้ศึกษาสำหรับราชอาณาจักรกัมพูชา ให้ข้าพเจ้าได้มีโอกาสเข้ามาศึกษาต่อในระดับปริญญาโทที่ประเทศไทยจนประสบความสำเร็จในการศึกษาครั้งนี้ ข้าพเจ้าขอน้อมระลึกในพระมหากรุณาธิคุณอันหาที่สุดมิได้

นอกจากนี้ ข้าพเจ้ายังได้รับความอนุเคราะห์จาก บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ดำเนินการช่วยเหลือทุนการศึกษา รวมทั้งช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ จนข้าพเจ้าสำเร็จการศึกษาตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเป็นที่เรียบร้อย ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ถนอมจิตร์ ชุ่มวงค์ อาจารย์ที่ปรึกษาหลักเป็นอย่างสูง ที่เสียสละเวลาให้ความรู้ ให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำ ให้ความเมตตาช่วยเหลือ และชี้แนะแนวทางในการศึกษาวิจัยฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วง ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง หากผู้วิจัยได้ทำผิดพลาดประการใด ขอกราบขออภัยมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการตรวจสอบการค้นคว้าอิสระทุกท่าน ได้แก่ รองศาสตราจารย์ ดร. ปานใจ ธารทัศนวงศ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พงษ์พันธ์ จันทนมัฏฐะ และอาจารย์ โสภิต ปัญญาขัน คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาสละเวลาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการปรับแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระ Mr.Chhay Visoth ผู้อำนวยการพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ กรุงพนมเปญ และ Mr. Von Neuon ผู้จัดการสำนักงานอนุรักษ์ที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ กรุงพนมเปญ ที่ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ กราบขอบพระคุณครอบครัวที่ให้ความรัก ความห่วงใย และคอยเป็นแรงบันดาลใจ ผลักดันและสนับสนุนให้ผู้วิจัยได้ศึกษาจนประสบความสำเร็จในการศึกษาระดับปริญญาโทในครั้งนี้

Mr. Chanveasna Chhourn

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญภาพ ..... ฐ

บทที่ 1 1

บทนำ 1

1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.1 สำริดในประเทศกัมพูชา 2

1.2 กระบวนการกัดกร่อนของสำริด 4

2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 6

3 ขอบเขตของการศึกษา 6

4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 7

5 วิธีการศึกษา 7

6 ระยะเวลาที่ใช้การดำเนินงานวิจัย 8

7 คำจำกัดความ 9

บทที่ 2 11

ทบทวนวรรณกรรม 11

1 ประวัติของพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ 11

2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสำริดในประเทศกัมพูชา 13

2.1 โบราณวัตถุสำริดของชาวเขมร 14
2.2 หลักฐานการหล่อสำริดในประเทศกัมพูชา.....15
2.3 เทคนิคการหล่อสำริดในปัจจุบัน 17
3 องค์ประกอบของสำริด 21
3.1 คุณสมบัติของสำริดและโลหะผสม 23
3.1.1 คุณสมบัติของสำริด.....23
3.1.2 คุณสมบัติของโลหะอื่น ๆ ที่เป็นส่วนประกอบของสำริด.....23
3.2 ลักษณะของสำริดในปัจจุบัน 24
3.3 ประเภทของสำริด.....25
4 ปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดสนิม และการอนุรักษ์ 27
4.1 สนิมสำริด.....27
4.2 สาเหตุจากสภาพแวดล้อม.....29
4.3 ลักษณะของสนิมที่เกิดบนสำริด 30
4.4 การอนุรักษ์เชิงป้องกัน.....32
4.5 การอนุรักษ์เชิงสงวนรักษา 32
5 แนวทางและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทางด้านการอนุรักษ์ 34
6 กรอบแนวคิดการวิจัย.....35
บทที่ 3 36
วิธีดำเนินการวิจัย.....36
1 การศึกษา และรวบรวมข้อมูลศิลปวัตถุสำริด 36
1.1 จากหนังสือ บทความวิชาการ และบทความวิจัย 36
1.2 จากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญด้านโลหะสำริด 36
1.3 การรวบรวมข้อมูลศิลปวัตถุสำริดอื่น ๆ ที่สร้างขึ้นในยุคเดียวกัน.....38
2 ระเบียบวิธีวิจัย (Research Methodology) 40

วิธีที่ 1 การตรวจประเมินสภาพของศิลปวัตถุสำริด 40
1. ลักษณะรูปทรง และขนาด 40
2. โครงสร้างที่มีไม้เป็นส่วนประกอบเพื่อเสริมความแข็งแรง 40
3. ลักษณะของเนื้อสำริด ประเมินด้วยกล้องขยายขนาด 40X 40
4. การแยกแยะสนิม ชนิดของสนิมที่พื้นผิวโลหะ ประกอบด้วยหลายชนิดรวมกันอยู่ 40
5. การตรวจสภาพของศิลปวัตถุสำริดและบันทึกข้อมูล 40
6. ผลการตรวจสภาพแวดล้อมในห้องเก็บรักษาศิลปวัตถุสำริด 43
วิธีที่2 การศึกษาและบันทึกผลการสำรวจสภาพภูมิอากาศ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ในห้องจัดเก็บ 46
2.1 การบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เพื่อการทดลองกระบวนการเกิดสนิมบนพื้นผิวโลหะสำริด 46
วิธีที่3 การศึกษาแนวทางการป้องกันศิลปวัตถุสำริด 47
3.1 วิเคราะห์เทคนิคที่เจ้าหน้าที่ที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติได้ทำการอนุรักษ์ศิลปวัตถุสำริด 47
3.2 การวางแผนการปฏิบัติงานและวิธีการอนุรักษ์ จากการบันทึกคำแนะนำและข้อเสนอแนะสำหรับการจัดเก็บ 48
วิธีที่ 4 การทดลองกระบวนการเกิดสนิมบนพื้นผิวโลหะสำริดด้วยวิธีการให้ความชื้นสัมพัทธ์ในกล่องทดลอง (Moist Chamber) 48
3 ขั้นตอนวิธีการอนุรักษ์โลหะสำริด 49
3.1 การตรวจและการประเมินสภาพ 49
3.2 การทำความสะอาดสำริดโดยกำหนด 2 วิธีการคือ 49
3.3 การนำสนิมออก 49
3.4 การรักษาการกัดกร่อน 51
3.5 การป้องกันพื้นผิวสำริด 52

บทที่ 4 53
ผลการศึกษาข้อมูล 53
1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูลศิลปวัตถุ 54
2 ผลลัพธ์ของระเบียบวิธีวิจัย 61
วิธีที่ 1 การตรวจประเมินสภาพของศิลปวัตถุสำริดที่ต้องศึกษา 61
วิธีที่ 2 ผลการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ 64
2.1 การบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เพื่อการทดลองกระบวนการเกิดสนิมบนพื้นผิวโลหะสำริด 76
วิธีที่ 3 การศึกษาแนวทางการป้องกันศิลปวัตถุสำริด 79
3.1 การวิเคราะห์เทคนิคที่เจ้าหน้าที่ที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติได้ทำการอนุรักษ์ศิลปวัตถุสำริด 79
3.2 การวางแผนการปฏิบัติงานและวิธีการอนุรักษ์จากการบันทึกคำแนะนำและข้อเสนอแนะสำหรับการจัดเก็บ 80
3.2.1 การปฏิบัติงานและการรักษาเบื้องต้น 80
3.2.2 การอนุรักษ์เชิงป้องกัน 83
วิธีที่ 4 การทดลองกระบวนการเกิดสนิมบนพื้นผิวโลหะสำริดด้วยวิธีการให้ความชื้นในกล่องทดลอง (Moist Chamber) 83
3 ขั้นตอนวิธีการอนุรักษ์โลหะสำริด 86
3.1 การตรวจและการประเมินสภาพ 86
3.2 การทำความละอาดสำริดโดยกำหนด 2 วิธีการ 86
วิธีที่ 1: ทำความสะอาดสำริดด้วยมะนาวกับเบกกิ้งโซดา (Baking Soda + Citric Acid ($C_6H_{10}O_8$)) 86
วิธีที่ 2: ทำความสะอาดสำริดด้วยเกลือ 87
3.3 การนำสนิมออก 88
3.4 การรักษาการกัดกร่อน 88

3.5 การป้องกันพื้นผิวสำริด 89
บทที่ 5 90
บทสรุปและข้อเสนอแนะ 90
ข้อเสนอแนะ 94
รายการอ้างอิง 96
ประวัติผู้เขียน 100

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ตารางแสดงส่วนประกอบของสำริด (ชุน ชู, 2020).....16

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของโลหะชนิดอื่น ๆ (Siam Chemi, 2011; อรัณยะนาค, 2014).....23

ตารางที่ 3 การสรุปคำสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติในกัมพูชา.....36

ตารางที่ 4 ตารางรายงานข้อมูล (National Service Te Paerangi, 2010) 41

ตารางที่ 5 ตารางบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในห้องจัดเก็บศิลปวัตถุสำริดที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติของประเทศกัมพูชา.....46

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์ สรุปข้อมูล และการตรวจสอบสภาพศิลปวัตถุที่เป็นชิ้นส่วนประกอบสถาปัตยกรรมปราสาท.....48

ตารางที่ 7 ตารางคุณสมบัติลักษณะสนิมบนวัตถุสำริด (รัตนรังสิกุล, 2011) 50

ตารางที่ 8 ตารางวิธีการอนุรักษ์ศิลปวัตถุสำริด (ทิพย์เนตร พยุง, 1975) 51

ตารางที่ 9 สรุปขั้นตอนการป้องกันศิลปวัตถุสำริด และการแนะนำกำหนดสภาพแวดล้อมกรณีศึกษาศิลปวัตถุสำริดที่อยู่ในห้องใต้ดินในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติของประเทศกัมพูชา 52

ตารางที่ 10 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แต่ละเดือนที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในกล่องจำลอง.....76

ตารางที่ 11 รายการอุปกรณ์ เพื่อทำความสะอาดชิ้นงานสำริด.....81

ตารางที่ 12 ข้างล่างเป็นการรวบรวมการทดลองการขึ้นสนิมบนสำริดในกล่องจำลอง (Moist Chamber) พร้อมทั้งบันทึกค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์.....92

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 เตาหล่อโลหะของชาวกูยในปี 1987 (Boulangie,).....16
ภาพที่ 2 กิจกรรมการหล่อโลหะของชาวกูยในปี 1987.....17
ภาพที่ 3 การเพิ่มสำริดเหลวเข้าแม่พิมพ์.....17
ภาพที่ 4 การใช้ไม้นำกากแร่หลอมออก.....18
ภาพที่ 5 การเทสำริดเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์.....18
ภาพที่ 6 การทาดินเหนียว.....19
ภาพที่ 7 การวางรูปปั้นดินเหนียวกับช่องทางเดินให้แห้ง.....20
ภาพที่ 8 การหล่อสำริดด้วยกระบวนการสูญขี้ผึ้ง.....20
ภาพที่ 9 กระบวนการหล่อและเทสำริดเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์.....20
ภาพที่ 10 รูปส่วนด้านหน้าของโบราณวัตถุ.....38
ภาพที่ 11 รูปส่วนด้านหลังของโบราณวัตถุ.....38
ภาพที่ 12 รอยซ่อมที่มีกาวติดอยู่.....39
ภาพที่ 13 รายละเอียดไม้รองรับด้านหลังของวัตถุ.....39
ภาพที่ 14 หน้าต่างอยู่ทิศตะวันออกในห้องใต้ดิน.....43
ภาพที่ 15 หน้าต่างอยู่ทิศเหนือในห้องใต้ดิน.....43
ภาพที่ 16 ท่อน้ำในห้องใต้ดิน.....44
ภาพที่ 17 ตู้ใช้สำหรับเก็บศิลปวัตถุในห้องใต้ดิน.....44
ภาพที่ 18 ตู้ใช้สำหรับเก็บศิลปวัตถุในห้องใต้ดิน.....44
ภาพที่ 19 อุปกรณ์บันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แบบต่อเนื่อง (Data Logger).....45
ภาพที่ 20 แผนที่ตั้งและสภาพแวดล้อมโดยรอบของพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ.....53
ภาพที่ 21 แผนภาพจำลองจากด้านบนของพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ.....54

ภาพที่ 22 ปฏิมากรรมครุฑตรงประตูทิศตะวันออกต้อนรับผู้เข้าชมพิพิธภัณฑ์ 56
ภาพที่ 23 โซน A ด้านขวาของปฏิมากรรมครุฑทิศตะวันออก 56
ภาพที่ 24 โซน B ด้านซ้ายของปฏิมากรรมครุฑทิศตะวันออก 57
ภาพที่ 25 รูปภาพทิศใต้ของโซนที่สองในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ 57
ภาพที่ 26 รูปภาพทิศตะวันตกของโซนที่สามในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ 58
ภาพที่ 27 รูปภาพทิศตะวันตกของโซนที่สามในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ 58
ภาพที่ 28 รูปภาพทิศเหนือของโซนที่สี่ในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ.....59
ภาพที่ 29 บันไดลงไปชั้นใต้ดินหลังรูปปฏิมาครุฑ.....59
ภาพที่ 30 ชั้นใต้ดินบริเวณจัดเก็บศิลปวัตถุสำริด.....60
ภาพที่ 31 ชั้นใต้ดินบริเวณจัดเก็บศิลปวัตถุสำริด.....60
ภาพที่ 32 รูปด้านหน้าและด้านหลังของกล้องขยายขนาดที่ใช้ในการตรวจสภาพสนิม 61
ภาพที่ 33 รอยกาวที่เปลี่ยนสีและรอยแตกร้าว 62
ภาพที่ 34 ด้านหลังที่มีไม้ที่ใช้สำหรับเสริมความแข็งแรงและรอยแตกร้าว 62
ภาพที่ 35 สนิมสีเขียวเข้มที่เกิดขึ้นตรงบริเวณด้านหลังใกล้ๆที่มีไม้ประกอบ 63
ภาพที่ 36 สนิมสีเขียวเข้มที่เกิดขึ้นตรงบริเวณข้างบน.....63
ภาพที่ 37 กราฟที่ 1 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (ช่วงฤดูฝน) ที่ห้องใต้ดินพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ ตรงบริเวณจัดเก็บศิลปวัตถุสำริด บันทึกวันที่ 1 จนถึงวันที่ 30 เดือนกันยายน 2564 ตั้งแต่เวลา 00:00 – 23:59 น. 65
ภาพที่ 38 กราฟที่ 2 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (ช่วงฤดูฝน) ที่ห้องใต้ดินพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ ตรงบริเวณจัดเก็บศิลปวัตถุสำริด บันทึกวันที่ 1 จนถึงวันที่ 31 เดือนตุลาคม 2564 ตั้งแต่เวลา 00:00 – 23:59 น. 65
ภาพที่ 39 กราฟที่ 3 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (ช่วงฤดูหนาว) ที่ห้องใต้ดินพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ ตรงบริเวณจัดเก็บศิลปวัตถุสำริด โดยบันทึกวันที่ 1 จนถึงวันที่ 30 เดือนพฤศจิกายน 2564 ตั้งแต่เวลา 00:00 – 23:59 น.....66

ภาพที่ 40 กราฟที่ 4 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (ช่วงฤดูหนาว) ที่ห้องใต้ดินพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ ตรงบริเวณจัดเก็บศิลปวัตถุสำริด บันทึกวันที่ 1 จนถึงวันที่ 31 เดือนธันวาคม 2564 ตั้งแต่เวลา 00:00 – 23:59 น. 66

ภาพที่ 41 กราฟที่ 5 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (ช่วงฤดูหนาว) ที่ห้องใต้ดินพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ ตรงบริเวณจัดเก็บศิลปวัตถุสำริด บันทึกวันที่ 1 จนถึงวันที่ 31 เดือนมกราคม 2565 ตั้งแต่เวลา 00:00 – 23:59 น. 67

ภาพที่ 42 กราฟที่ 6 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (ช่วงฤดูหนาว) ที่ห้องใต้ดินพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ ในบริเวณจัดเก็บศิลปวัตถุสำริด บันทึกวันที่ 1 จนถึงวันที่ 28 เดือนกุมภาพันธ์ 2565 ตั้งแต่เวลา 00:00 – 23:59 น. 67

ภาพที่ 43 กราฟที่ 7 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (ช่วงฤดูร้อน) ที่ห้องใต้ดินพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ ในบริเวณจัดเก็บศิลปวัตถุสำริด บันทึกวันที่ 1 จนถึงวันที่ 31 เดือนมีนาคม 2565 ตั้งแต่เวลา 00:00 – 23:59 น. 68

ภาพที่ 44 กราฟที่ 8 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (ช่วงฤดูร้อน) ที่ห้องใต้ดินพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ ในบริเวณจัดเก็บศิลปวัตถุสำริด บันทึกวันที่ 1 จนถึงวันที่ 30 เดือนเมษายน 2565 ตั้งแต่เวลา 00:00 – 23:59 น. 68

ภาพที่ 45 กราฟที่ 9 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (ช่วงฤดูร้อน) ที่ห้องใต้ดินพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ ในบริเวณจัดเก็บศิลปวัตถุสำริด บันทึกวันที่ 1 จนถึงวันที่ 31 เดือนพฤษภาคม 2565 ตั้งแต่เวลา 00:00 – 23:59 น. 69

ภาพที่ 46 กราฟที่ 10 สรุปค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้บันทึกไว้เป็นระยะเวลา 9 เดือน ในห้องจัดเก็บใต้ดิน ณ พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ กรุงพนมเปญ 69

ภาพที่ 47 กราฟที่ 1 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (ช่วงฤดูฝน) ที่ได้บันทึกวันที่ 1 จนถึงวันที่ 30 เดือนกันยายน 2564 ตั้งแต่เวลา 00:00 – 23:59 น. ในกล่องจำลอง 70

ภาพที่ 48 กราฟที่ 2 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (ช่วงฤดูฝน) ที่ได้บันทึกวันที่ 1 จนถึงวันที่ 31 เดือนตุลาคม 2564 ตั้งแต่เวลา 00:00 – 23:59 น. ในกล่องจำลอง.....71

ภาพที่ 49 กราฟที่ 3 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (ช่วงฤดูหนาว) ที่ได้บันทึกวันที่ 1 จนถึงวันที่ 30 เดือนพฤศจิกายน 2564 ตั้งแต่เวลา 00:00 – 23:59 น. ในกล่องจำลอง.....71

ภาพที่ 50 กราฟที่ 4 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (ช่วงฤดูหนาว) ที่ได้บันทึกวันที่ 1 จนถึงวันที่ 31 เดือนธันวาคม 2564 ตั้งแต่เวลา 00:00 – 23:59 น. ในกล่องจำลอง 72

ภาพที่ 51 กราฟที่ 5 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (ช่วงฤดูหนาว) ที่ได้บันทึกวันที่ 1 จนถึงวันที่ 31 เดือนมกราคม 2565 ตั้งแต่เวลา 00:00 – 23:59 น. ในกล่องจำลอง.....72

ภาพที่ 52 กราฟที่ 6 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (ช่วงฤดูหนาว) ที่ได้บันทึกวันที่ 1 จนถึงวันที่ 28 เดือนกุมภาพันธ์ 2565 ตั้งแต่เวลา 00:00 – 23:59 น. ในกล่องจำลอง 73

ภาพที่ 53 กราฟที่ 7 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (ช่วงฤดูร้อน) ที่ได้บันทึกวันที่ 1 จนถึงวันที่ 31 เดือนมีนาคม 2565 ตั้งแต่เวลา 00:00 – 23:59 น. ในกล่องจำลอง 73

ภาพที่ 54 กราฟที่ 8 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (ช่วงฤดูร้อน) ที่ได้บันทึกวันที่ 1 จนถึงวันที่ 30 เดือนเมษายน 2565 ตั้งแต่เวลา 00:00 – 23:59 น. ในกล่องจำลอง.....74

ภาพที่ 55 กราฟที่ 9 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (ช่วงฤดูร้อน) ที่ได้บันทึกวันที่ 1 จนถึงวันที่ 31 เดือนพฤษภาคม 2565 ตั้งแต่เวลา 00:00 – 23:59 น. ในกล่องจำลอง 74

ภาพที่ 56 กราฟที่ 10 สรุปค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้บันทึกไว้เป็นระยะเวลา 9 เดือน ในกล่องจำลอง (Moist Chamber) 75

ภาพที่ 57 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทำความสะอาด 81

ภาพที่ 58 แว่นขยายสำหรับตรวจบริเวณที่มีลวดลายหรือซอกต่าง ๆ บนชิ้นงาน 82

ภาพที่ 59 อาซิโตนและแอลกอฮอล์ที่ใช้สำหรับทำความสะอาด 82

ภาพที่ 60 กล่องพลาสติกที่ทำการทดลองสำริดเพื่อให้เกิดสนิม 84

ภาพที่ 61 ภาชนะที่ใส่น้ำเพื่อให้เกิดไอน้ำ.....84

ภาพที่ 62 การบันทึกภาพชิ้นงานทดลองของการเกิดสนิม.....84

ภาพที่ 63 การใช้กล้องขยายขนาด 40X เพื่อตรวจสอบลักษณะของสำริด 85

ภาพที่ 64 การใช้กล้องขยายขนาด 40X เพื่อตรวจสอบลักษณะของสำริด 85

ภาพที่ 65 การใช้มะนาวกับเบกกิ้งโซดาเพื่อทำความสะอาดพื้นผิวสำริด.....87

บทที่ 1

บทนำ

1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมในศตวรรษที่ผ่านมาไม่เพียงแต่สร้างปัญหาต่อสุขภาพมนุษย์ แต่ยังทำให้ดินและแหล่งน้ำมีสารกรด และสร้างความเสียหายอย่างร้ายแรงต่อมรดกทางวัฒนธรรมของโลกโดยเฉพาะวัตถุที่สร้างจาก โลหะผสม หรือสำริด ฯ ล ฯ การศึกษางานวิจัยต่าง ๆ ทำให้ผู้วิจัยทราบว่าสภาพอากาศที่มีก๊าซ หรือบริเวณที่มีความชื้นสูงอาจทำให้สำริดมีปัญหาเกิดสนิมได้เร็วมากขึ้น จากการศึกษาข้อมูลในเว็บไซต์ของพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ และข้อมูลจากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ ประเทศกัมพูชา ผู้วิจัยได้ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในห้องจัดเก็บโบราณวัตถุที่อยู่ใต้ดินว่ามีปัญหาน้ำท่วมในฤดูฝนหรือในช่วงที่มีฝนตกหนักซึ่งทำให้มีผลเสียต่อศิลปวัตถุที่เป็นสำริดโดยศิลปวัตถุเหล่านี้ถูกจัดเก็บในตู้ที่ทำมาจากไม้อัดซึ่งไม้อัดเป็นประเภทไม้ที่ดูดความชื้นง่าย และก่อให้เกิดเชื้อราส่งผลให้ศิลปวัตถุสำริดเกิดสนิมขึ้น ในขณะเดียวกัน ห้องนี้เป็นห้องที่อยู่ใต้ดิน ทำให้การระบายอากาศมีจำนวนน้อยไม่เพียงพอจนทำให้ศิลปวัตถุที่เป็นสำริดจำนวน 7,000 กว่าชิ้นมีปัญหาสนิมเกิดขึ้น จึงทำให้ผู้วิจัยสนใจและศึกษาเกี่ยวกับปัญหานี้ที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติของประเทศกัมพูชา

เนื่องจากในหลายประเทศมีมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมเพิ่มมากขึ้น ในพื้นที่เดียวกันโบราณวัตถุที่ขุดพบในช่วงไม่กี่ปีมานี้มีการเสื่อมเสียมากกว่าโบราณวัตถุที่เคยขุดพบในอดีต เหมือนที่ทราบแล้วว่าในระหว่างการฝัง กระบวนการกัดกร่อนบนทองสำริดหรือโลหะผสมที่ทำจากทองแดงมักจะเริ่มด้วยการก่อตัวของชั้นแร่ชนิดหนึ่ง (Cuprite Layer) ซึ่งทำให้พื้นผิวคล้ำลงอย่างต่อเนื่อง ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่ใกล้เคียง โดยการกัดกร่อน (Corrosion) ต่าง ๆ อาจเกิดขึ้นบนวัตถุที่ทำจากทองแดง II (Copper-II) ทำให้มีสีน้ำตาล สีดำ หรือสีเขียวบนพื้นผิว ชั้นผิวของวัตถุที่กัดกร่อนเรียกว่าสนิมเขียว (Patina) พร้อมกับองค์ประกอบของวัตถุ และมีความหนาขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของกลุ่มโลหะผสมและสภาพแวดล้อม (Angelini, Rosalbino, GRASSIN, Ingo, & De Caro, 2007) เพราะสำริดเป็นโลหะผสมประกอบด้วยโลหะทองแดงกับดีบุกและมักจะมีตะกั่วและโลหะอื่น ๆ ผสมอยู่บ้างเล็กน้อย (ทิพย์เนตร พยุง, 1975)

ในการขุดค้นสำริดคือไม่มีปัญหากับสนิมเขียว (Noble Patina) แต่หลังจากขุดค้นสำริดจากดินที่มีส่วนผสมของคลอไรด์ (Cl) กระบวนการกัดกร่อนอาจเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง หลังการขุดกระบวนการกัดกร่อนในโลหะผสมทองแดงมีชื่อว่า โรคสำริด (Bronze Disease) หรือลักษณะการกัดกร่อน (Active Corrosion) และเกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาของคอปเปอร์คลอไรด์ (Copper Chloride) กับออกซิเจน (Oxygen) และน้ำในรูปแบบของความชื้นสัมพัทธ์ โดยปกติความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ที่ก่อให้เกิดโรคสำริดอยู่ระดับประมาณ 55-60 เปอร์เซ็นต์ แม้ว่าไม่มีหลักฐานของลักษณะการกัดกร่อนในความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 42-46 เปอร์เซ็นต์ก็ตาม แต่ผลกระทบมากมายจากสภาพแวดล้อมที่มีการสัมผัสกับโบราณวัตถุสำริดได้กำหนดโดยการประเมินความเสี่ยงที่เกิดจากสภาพแวดล้อมในระหว่างการฝังและหลังจากการขุดค้น ขึ้นอยู่กับเหตุการณ์การกัดกร่อนที่ระบุไว้ข้างต้น (O Oudbashi, 2015) สนิมกัดกร่อนโดยปกติจะปรากฏเป็นจุดสีเขียวสดหลายจุดบนผิวของวัตถุ จุดเหล่านี้เกิดจากคิวปริกคลอไรด์ที่มีน้ำผลึกอยู่ในโมเลกุล (ซึ่งมีชื่อทางแร่ธาตุว่าอะตาคะไมท์หรือพาราตาคาไมท์) จุดเหล่านั้นจะมีสีเข้มขึ้นถ้าอยู่ในที่ที่มีความชื้นสูงและทำการดูดความชื้นไว้ด้วย ถ้าเก็บวัตถุสำริดไว้ในที่ที่มีความชื้นในระยะหนึ่งที่พื้นผิวจะมีแววของหยดน้ำเล็ก ๆ เกาะอยู่ สนิมที่อยู่ข้างในและภายใต้จุดเหล่านั้น (คิวปรัสคลอไรด์, ชื่อทางแร่ธาตุว่าแนนโตไคต์) จะดูดความชื้นและเปลี่ยนเป็นคิวปริกคลอไรด์ที่มีน้ำผลึกอยู่ (Cupric Chloride Dihydrate) โดยการรวมตัวกันระหว่างออกซิเจนและน้ำ (Oxidation and Hydration) ทำให้ปริมาตรเปลี่ยนไปหรือจะกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าแนนโตไคต์สีเทาจะปูด (ทิพย์เนตร พยุง, 1975)

1.1 สำริดในประเทศกัมพูชา

ดังที่ทราบว่ามีการแบ่งช่วงเวลาหลัก ๆ ออกเป็นสี่ช่วงเช่นยุคหินเก่า ยุคหินใหม่ ยุคสำริด และยุคเหล็ก เกี่ยวกับการค้นพบยุคสำริดของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีความแตกต่างกันกับยุคสำริดในประเทศจีน โดยสำริดในเอเชียปรากฏขึ้นระหว่าง 1500-1000 ปีก่อนคริสต์ศักราช แต่ยังมีอายุน้อยกว่าสำริดของจีน ตามการสันนิษฐานสำริดของจีนเกิดขึ้นในช่วง 4000 ปีก่อนคริสต์ศักราช ในช่วงปลายยุคหินใหม่ และต่อไปจนถึงราชวงศ์เซี่ย (Xia dynasty) ประมาณ 2000 ปีก่อนคริสต์ศักราช โดยมีหลักฐานเป็นหลักในการหล่อมทองแดงและดีบุกเพื่อทำสำริด เทคนิคการหล่อสำริดนี้ถูกใช้จนถึงปลายราชวงศ์ซาง (Shang dynasty) ระหว่าง 1000 ปีก่อนคริสต์ศักราช และแพร่ถึงวัฒนธรรมซางเซียงดูย (Sangxiangdui culture) จังหวัดซูชุน (Suchun province) ประเทศจีน (Seang, 2011)

ส่วนยุคสำริดในประเทศกัมพูชาดูเหมือนจะเริ่มขึ้นในประมาณสหัสวรรษที่ 3 ก่อนคริสต์ศักราช ส่วนใหญ่การหล่อสำริดสำหรับทำอาวุธ ชุดเกราะ และเครื่องมือในบ้าน รวมทั้งเครื่องประดับสำหรับผู้ชายและผู้หญิงเช่นกำไลข้อเท้าและแขน, มงกุฎ, ที่อุดหู และเครื่องประดับต่าง ๆ การใช้เทคนิคหล่อสำริดเกิดขึ้นพร้อมกับการค้นพบทองแดง เมื่อผสมกับสารหนูทำให้โลหะมีความแข็งแรงและตีเป็นแผ่นบาง ๆ ง่ายมากขึ้น หลังจากนั้นมีการใช้ดีบุกแทนสารหนูและทำให้กลายเป็นสำริดแท้ โดยสำริดเป็นโลหะผสมทองแดง 95 เปอร์เซ็นต์ ดีบุกกับสังกะสี 1-2 เปอร์เซ็นต์ และองค์ประกอบอื่น ๆ ที่มีจำนวนเล็กน้อยรวมทั้งตะกั่วและซิลิกอนด้วย (Zefferys, Zefferys, & Stone, 2001) เพราะในยุคแรกของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ใช้ดีบุกผสมกับโลหะเพื่อลดจุดหลอมเหลวและเพิ่มความแข็งให้โลหะสำริด ในขณะที่ตะกั่วส่วนใหญ่จะใส่ในการหล่อทำกลองมโหระทึก (Kettle Drum) เป็นสัดส่วนสูงเพื่อเพิ่มการไหลเข้าสู่แม่พิมพ์ (Mould) ส่วนปริมาณดีบุกจะต่ำกว่า แต่การทำเครื่องมือและอาวุธดีบุกมีปริมาณสูงกว่าตะกั่ว ดังที่ หลุยส์ มัลเลเรต์ (Louis Malleret) นักโบราณคดีชาวฝรั่งเศสได้อธิบายว่า ระฆังสามใบจากพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติของประเทศกัมพูชาหนึ่งใบ ในฮานอยประเทศเวียดนามหนึ่งใบและอีกหนึ่งใบจากเประ (Perak) ประเทศมาเลเซียแต่ปัจจุบันอยู่ในพิพิธภัณฑ์อังกฤษ ทั้งสามใบนี้เป็นสำริดที่มีปริมาณดีบุกแตกต่างกันระหว่าง 13.4 เปอร์เซ็นต์ถึง 15.1 เปอร์เซ็นต์ แต่ปริมาณตะกั่วแตกต่างกันอย่างมากระหว่าง 0.1 เปอร์เซ็นต์ถึง 12.3 เปอร์เซ็นต์ (Cort & Jett, 2010) และในกลางสหัสวรรษก่อนคริสต์ศักราช ชาวเขมรเริ่มหล่อสำริดขนาดกลางถึงขนาดใหญ่เป็นรูปทรงมนุษย์สำหรับบูชาศาสนาฮินดูโดยใช้วิธีการสูญขี้ผึ้ง (Lost Wax) ซึ่งต้นแบบเป็นขี้ผึ้งและหุ้มรัดแม่พิมพ์ลักษณะเกราะเหล็ก นี้เป็นวิชาการหล่อแบบซับซ้อนที่ไม่เคยมีมาก่อนในประเทศกัมพูชา (Bunker & Latchford, 2011)

อย่างไรก็ตาม การค้นพบสำริดจำนวนหนึ่งในช่วงปลายศตวรรษที่สิบเก้าและต้นศตวรรษที่ยี่สิบในสถานที่โบราณคดีต่าง ๆ ของประเทศกัมพูชาชี้ให้เห็นว่าสำริดถูกหลอมหรือหล่อในท้องถิ่น หลักฐานการหล่อสำริดของกัมพูชาในสหัสวรรษที่ 2 ก่อนคริสต์ศักราช มีเครื่องมือและอาวุธทำจากสำริดที่มีลักษณะแข็งแรงเช่นกับการค้นพบแม่พิมพ์สำหรับหล่อจำนวนมากที่อยู่ใกล้อ่างดองไนในประเทศเวียดนาม (Murowchick, 1989)

โดยเหตุว่างานวิจัยเกี่ยวกับสมัยก่อนประวัติศาสตร์ในประเทศกัมพูชายังมีข้อจำกัดที่จะกำหนดได้ว่าการพัฒนาโลหะสำริดอยู่ในระดับที่เป็นอิสระจากประเทศเพื่อนบ้านหรือไม่ เพราะการค้นพบเครื่องมือและเครื่องประดับสำริดจากแหล่งขุดค้นที่มีเพียงไม่กี่แห่งยังให้คำอธิบายและการวิเคราะห์เป็นทางการไม่ได้เช่นในสำโรงเสน (Samrong Sen, Kampong Chhnang province),

ภูมิสเนห์ (Phum Snay, Bateay Meanchey province), และโปรเฮีย (Prohear, Prey Veng province) แสดงให้เห็นว่าในสมัยเดียวกันประมาณสองพันปีหรือหนึ่งพันปีก่อนคริสตศักราชช่างทำโลหะในท้องถิ่นใช้เทคนิคเหมือนกันในการผสมหรือหล่อดีบุก ตะกั่ว โดยสำริดมีความคล้ายกันกับประเทศไทยและประเทศเวียดนาม เพราะประเทศกัมพูชาดูเหมือนจะขาดแหล่งขุดแร่ มีความเป็นไปได้ที่ทองแดง ดีบุก และตะกั่วในยุคแรกถูกขุดและนำเข้าจากเมืองภูโล้นภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยหรือจากหุบเขาวงพระจันทร์ในภาคกลางของประเทศไทย (Cort & Jett, 2010)

1.2 กระบวนการกัดกร่อนของสำริด

สนิมกัดกร่อนของสำริดเป็นการผุกร่อนชนิดหนึ่งที่เกิดจากสารประกอบพวกคลอไรด์ในบริเวณที่วัตถุนั้นตั้งอยู่ สารประกอบคลอไรด์ที่เกิดจากเกลือและน้ำกร่อยใต้ดิน แม้จะมีอนุภาคคลอไรด์ในน้ำเพียงเล็กน้อยก็สามารถทำร้ายรูปลักษณ์ของวัตถุได้เหมือนกัน ในกรณีของสนิมกัดกร่อนของสำริดการผุกร่อนจะดำเนินไปเรื่อย ๆ แม้ว่าวัตถุนั้นจะมีผู้นำมาเก็บไว้ในพิพิธภัณฑสถานแล้วก็ตาม ฉะนั้นจึงเรียกว่า “การผุกร่อนที่เกิดขึ้นต่อเนื่องเป็นลูกโซ่” (Recurring Corrosion) (ทิพย์เนตร พยุง, 1975) การเติบโตของสนิมเขียวก่อให้เกิดการกัดกร่อนเร็วมากขึ้นซึ่งเกี่ยวข้องกับการย่อยสลายที่เกิดจากสารเคมีและระยะเวลาที่ตามมาของอายุกาลวัตถุนั้น (สภาพที่เกิดขึ้นเอง) ซึ่งสามารถสังเกตได้ตามเวลา (Mezzi et al., 2012)

ดังที่ระบุไว้แล้วว่าคลอไรด์และปริมาณน้ำเป็นความเสี่ยงหลักที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนจึงสามารถกล่าวได้ว่าผลเสียที่ตามมาขึ้นอยู่กับปริมาณของคลอไรด์และปริมาณน้ำใต้ดินรอบสำริดอันเป็นระยะเวลานาน ในช่วงเวลาที่สำริดฝังอยู่ใต้ดินคลอไรด์ไอออนอาจทำให้มีการก่อตัวของแร่ชนิดหนึ่งชื่อว่า แนนโตไคท์ (Nantokite - CuCl) แนนโตไคท์ที่มีความชื้นเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนจะสร้างคลอไรด์ทองแดง (Copper Chlorides) ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า “โรคสำริด” (Omid Oudbashi, 2016) สารแร่นี้อาจจะหุ้มผนึกบนพื้นผิวของวัตถุในช่วงกระบวนการกัดกร่อนเพื่อปกป้องโลหะที่อยู่ข้างในจากการทำร้ายเพิ่มอีกและสร้างสภาวะสมดุล (Patel, 2014)

สภาพอากาศร้อนชื้นทำให้ทองแดงและโลหะผสมทองแดงเสื่อมสภาพง่าย และทำให้การกัดกร่อนเร็วมากขึ้น ส่วนใหญ่โลหะผสมทองแดงและทองแดงที่ขุดพบจะมีคราบหรือการหุ้มของคลอไรด์และออกไซด์บนพื้นผิว การหุ้มหรือเปลือกนี้จะเปราะและแตกง่ายเมื่อมีการกระแทกกับเครื่องกลโดยรอยแตกเป็นจุดของการกัดกร่อน และเปิดช่องให้ออกซิเจนและความชื้นซึมเข้าไปตรงกลางโลหะที่เหลือ (Patel, 2014)

โรคสำริดจะเกิดขึ้นเมื่อมีความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) ที่ไม่ถูกต้อง และนี้เป็นปัจจัยหลักที่เกี่ยวกับความเสี่ยงซึ่งผู้วิจัยสังเกตเห็นในพิพิธภัณฑ์ที่จะต้องศึกษา (Omid Oudbashi, 2016) แต่ “โรคสำริด” บนโบราณวัตถุสามารถป้องกันได้ด้วยหลายวิธี หนึ่งในนั้นคือการรักษาโบราณวัตถุในที่แห้ง ด้วยความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์มักจะเพียงพอ แต่ในระดับ 40 เปอร์เซ็นต์ให้ความปลอดภัยมากกว่า ภายใต้สภาพที่แห้งคลอไรด์อาจจะคงที่ แต่ในพิพิธภัณฑ์มักเป็นไปไม่ได้ที่จะตรวจสอบให้แน่ใจว่ามีสภาพแวดล้อมที่สอดคล้องกัน มีอีกสามวิธีสำหรับป้องกันที่มีวัตถุประสงค์แตกต่างกัน จุดประสงค์แรกคือการเอาคิวปรัสคลอไรด์ (Cuprous Chloride) ออกให้หมด ประการที่สองมุ่งหมายในการแปลงคิวปรัสคลอไรด์ (Cuprous Chloride) ที่มีอยู่บนวัตถุทั้งหมดกลายเป็นวัตถุที่คิวปรัสคลอไรด์ไม่มีปฏิกิริยาคิวปรัสอ๊อกไซด์ (Cuprous Oxide) ประการที่สามคือการแยกคิวปรัสคลอไรด์ (Cuprous Chloride) ออกจากบรรยากาศโดยไม่ให้มีปฏิกิริยาอีก (Organ, 1963)

โดยประเทศกัมพูชาเป็นประเทศหนึ่งอยู่ในภาคพื้นเอเชียอาคเนย์ที่มีมรดกทางวัฒนธรรมของชาติที่มีคุณค่าทางศิลปะและโบราณคดีเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะศิลปะโบราณวัตถุประเภทสำริดนั้นมีจำนวนมากมาย จากการสำรวจได้พบว่าศิลปวัตถุสำริดที่มีในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ อยู่ในสภาพที่กำลังชำรุดเสียหายเนื่องจากสนิมกัดกร่อน และสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม พร้อมกับลักษณะภูมิอากาศของประเทศกัมพูชามีความชื้นสูงเป็นปัจจัยช่วยเพิ่มการชำรุดหรือการกัดกร่อนให้เกิดขึ้นต่อไปได้เรื่อย ๆ ด้วยเหตุดังกล่าว จึงเห็นความสำคัญและศึกษาเพื่อหาวิธีสงวนรักษาศิลปวัตถุอันเป็นมรดกทางวัฒนธรรมของชาติให้คงทนถาวรตลอดไป

ประเด็นสำคัญในการศึกษาวิจัยเล่มนี้เป็นกรณีศึกษาศิลปวัตถุสำริดชิ้นหนึ่งที่จัดเก็บในห้องเก็บโบราณวัตถุใต้ดินในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติของประเทศกัมพูชา โดยปัจจุบันศิลปวัตถุในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ มีศิลปวัตถุทั้งหมดจำนวนประมาณ 16,493 ชิ้น และในปี 2004 ในช่วงเริ่มต้นโครงการการประเมินศิลปะวัตถุของพิพิธภัณฑ์พบว่ามีจำนวนประมาณ 14,000 ชิ้น พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติของประเทศกัมพูชาที่ตั้งอยู่ในกรุงพนมเปญ และมีงานศิลปวัตถุของชาวเขมรที่มีชื่อเสียงระดับโลกตั้งแต่ศตวรรษที่ 9 ถึงศตวรรษที่ 15 ในคริสต์กราช (National Museum of Cambodia, 2013)

ในบรรดาศิลปวัตถุทั้งหมดที่จัดเก็บในห้องใต้ดิน ณ พิพิธภัณฑ์มีศิลปวัตถุสำริดประมาณ 7,000 กว่าชิ้นโดยมีการจัดแสดงถาวรจำนวน 600 กว่าชิ้น ภายใต้โครงการการอนุรักษ์ศิลปวัตถุสำริดในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติมีห้องปฏิบัติการศูนย์กลาง และทำหน้าที่เป็นศูนย์กลาง

ในการอนุรักษ์วัตถุสำริดในประเทศกัมพูชาด้วย และการปรับสภาพพื้นที่การจัดเก็บโบราณวัตถุเป็นอีกหนึ่งเป้าหมายที่สำคัญของโครงการนี้ ด้วยเหตุผลสภาพแวดล้อมในกรุงพนมเปญไม่เหมาะอย่างมากเนื่องจากพื้นที่มีปัญหาในฤดูฝน และบางส่วนของพิพิธภัณฑ์จะเกิดน้ำท่วมในช่วงฤดูฝน โดยเจ้าหน้าที่ยกศิลปวัตถุสำริดที่อยู่ในห้องจัดเก็บทั้งหมดจากพื้นเพื่อป้องกันไม่ให้ศิลปวัตถุสำริดจมอยู่ในน้ำ (National Museum of Cambodia, 2013) ดั้งนั้นจากการตรวจสภาพเบื้องต้น พบว่าโบราณวัตถุที่ทำมาจากสำริดเกิดการกัดกร่อนโดยสาเหตุจากความชื้นในห้องจัดเก็บ

ผู้วิจัยจึงเห็นความสำคัญในการแก้ปัญหาการเสื่อมสภาพ สิ่งแวดล้อม และเสนอแนะวิธีการป้องกัน กรณีศึกษาโบราณวัตถุสำริดที่เก็บอยู่ในห้องใต้ดิน ณ พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติของประเทศกัมพูชา โดยมีกรอบการศึกษา 2 ประเด็นคือทางกายภาพ (Physical) และสิ่งแวดล้อม (Environment) เพื่อหาสาเหตุที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของสำริดรวมทั้งหาแนวทางป้องกันการเสื่อมสภาพของสำริด ศึกษาวิธีการดูแลรักษา และวิธีการจัดเก็บที่ถูกต้อง ซึ่งจะช่วยลดการเสื่อมสภาพ และการเลือกใช้วัสดุในการจัดเก็บเพื่อประหยัดงบประมาณของพิพิธภัณฑ์ พร้อมทั้งช่วยยืดอายุของสำริดและโบราณวัตถุอื่น ๆ ได้ด้วย

2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

2.1 เพื่อศึกษาการเสื่อมสภาพ และวิธีการป้องกันพื้นผิวของศิลปวัตถุสำริด

2.2 เพื่อศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนพื้นผิวของศิลปวัตถุสำริด

2.3 เพื่อหาแนวทางการป้องกัน และการเก็บรักษาศิลปวัตถุสำริดในห้องใต้ดินในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติของประเทศกัมพูชา

3 ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาศิลปวัตถุสำริดในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติของประเทศกัมพูชาในสมัยพระนครโดยวัตถุเป็นสถาปัตยกรรมตกแต่งของปราสาท โดยศิลปวัตถุมีขนาดความยาว 32 เซนติเมตร ความกว้าง 7.5 เซนติเมตร และความลึก 7 เซนติเมตร ถูกจัดเก็บในห้องใต้ดินที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญประเทศกัมพูชาโดยมีขอบเขตการศึกษาดังนี้

1. การตรวจคุณสมบัติ และโครงสร้างของศิลปวัตถุ
2. การสำรวจสิ่งแวดล้อม และอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง
3. การแก้ไขปัญหา และการป้องกัน

4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

4.1 เพื่อทราบถึงโครงสร้างส่วนผสมของสำริด

4.2 ทำให้ทราบถึงสาเหตุที่ทำให้ศิลปวัตถุสำริดมีการกัดกร่อน

4.3 ทำให้เข้าใจแนวทางการเก็บรักษา (Preservation) วิธีการป้องกัน (Prevention Conservation) ศิลปวัตถุสำริดและแนวทางการอนุรักษ์ศิลปวัตถุสำริด

4.4 สามารถนำผลจากการศึกษาเป็นตัวอย่างต้นแบบ (Prototype) ในการอนุรักษ์ และวิธีการป้องกันศิลปวัตถุสำริดมิให้เกิดสนิมในพิพิธภัณฑ์อื่น ๆ ได้ในอนาคต

5 วิธีการศึกษา

5.1 การรวบรวมข้อมูล ทำการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากแหล่งต่าง ๆ อันได้แก่ ผลงานวิจัยที่ผ่านมา หนังสือ วารสาร และข้อมูลจากสื่อออนไลน์

5.2 ศึกษาความเป็นมาของศิลปวัตถุสำริดในประเทศกัมพูชา

5.3 การสำรวจและประเมินสภาพของศิลปวัตถุสำริด และเก็บข้อมูลจากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ

5.4 ศึกษาสาเหตุที่ทำให้เกิดการกัดกร่อน และสนิม ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ในบริเวณพื้นที่ห้องจัดเก็บใต้ดินในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ เพื่อได้ทราบถึงวิธีการจัดเก็บและสภาพแวดล้อม และการทดลองกระบวนการเกิดสนิมบนพื้นผิววัตถุสำริดจำลองในกล่องทดลอง

5.5 ศึกษาแนวทางในการป้องกันและจัดเก็บศิลปวัตถุสำริดในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติของประเทศกัมพูชา

5.6 วิเคราะห์ผลการศึกษา

5.7 สรุปผลการศึกษา

6 ระยะเวลาที่ใช้การดำเนินงานวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้จะใช้เวลา 1 ปี ตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ 2564 จนถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ 2565

ขั้นตอน	เดือนมิถุนายน 2564 ถึง เดือนพฤษภาคม 2565											
	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ย
รวบรวมข้อมูลและศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง	←	—	→									
ตรวจสอบสภาพของศิลปวัตถุสำริดในห้องจัดเก็บ		←	—	→								
สำรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์บริเวณรอบศิลปวัตถุสำริด				←	—	—	—	—	—	—	—	→
การศึกษาแนวทางสำหรับการป้องกันศิลปวัตถุสำริดในพิพิธภัณฑ์									←	—	→	
วิเคราะห์ผล											←	→
สรุปผลการศึกษาและเผยแพร่ผลงานวิจัย											←	→

มหาวิทยาลัยศิลปากร

7 คำจำกัดความ

7.1 การอนุรักษ์เชิงป้องกัน (Preventive Conservation)

เป็นการดูแลรักษาวัตถุให้มีการเก็บรักษาที่ดี หรือการจัดแสดงที่เหมาะสมตามหลักวิชาการ ได้แก่การหยิบจับเคลื่อนย้ายที่ถูกต้องการเลือกวิธีและวัสดุในการจัดเก็บรักษาที่เหมาะสม การควบคุมสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมกับวัตถุต่าง ๆ รวมถึงการทำความสะอาดเบื้องต้นที่ถูกต้องและไม่ทำให้วัตถุชำรุดเพิ่มมากขึ้นในระยะยาว (ศรีสมบูรณ์ พวงพร)

การอนุรักษ์ (Conservation)

หมายถึง การกระทำที่มุ่งเน้นการชะลอการชำรุดเสื่อมสภาพของมรดกทางศิลปะวัฒนธรรม การแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ซ่อมแซมหรือเสริมสร้างความมั่นคงแข็งแรงให้วัตถุนั้นคงสภาพอยู่ได้ หรือแก้ปัญหาและดำเนินการป้องกันการเสื่อมสภาพ การกระทำทุกขั้นตอนต้องอาศัยความรู้ด้านการอนุรักษ์มรดกศิลปะวัฒนธรรม (อรัณยะนาค จิราภรณ์, 2014)

นักอนุรักษ์ (Conservator)

หมายถึง บุคลากรที่มีความรู้ด้านการอนุรักษ์ ซึ่งทำหน้าที่คล้ายแพทย์ในการรักษาคนไข้และป้องกันโรค ตลอดจนปรับปรุงวิธีการอนุรักษ์ให้เหมาะสมแต่ละกรณี และพัฒนาวิธีการอนุรักษ์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น (อรัณยะนาค จิราภรณ์, 2014)

7.2 ศิลปวัตถุ (Artifact)

หมายถึง วัตถุอันเป็นผลงานสร้างสรรค์ทางทัศนศิลป์ที่ประกอบด้วยศิลปะลักษณะ เช่น ภาพเขียน รูปปั้น เครื่องลายครามเครื่องถม หรือสิ่งที่ทำด้วยฝีมืออย่างประณีตและมีคุณค่าสูงในทางศิลปะ (ราชบัณฑิตยสถาน, 2011)

7.3 สำริด (Bronze)

เป็นคำที่มีความหมายตามพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยถาม พุทธศักราช 2542 ว่าเป็น “โลหะเจือชนิดหนึ่ง ส่วนใหญ่ประกอบด้วยทองแดงกับดีบุก” บางครั้งเรียกว่าทองสัมฤทธิ์หรือทองบรอนซ์ สำริดเป็นคำโบราณ ปัจจุบันในความหมายเดียวกันนี้ เขียนได้อีกแบบหนึ่งเป็น “สัมฤทธิ์” (อรัณยะนาค จิราภรณ์, 2005)

7.4 พิพิธภัณฑ์ (Museum)

เป็นสถานที่เก็บรวบรวมและแสดงสิ่งต่าง ๆ ที่มีความสำคัญด้านวัฒนธรรมหรือด้านวิทยาศาสตร์ โดยมีความมุ่งหมายเพื่อให้เป็นประโยชน์ต่อการศึกษา และก่อให้เกิดความเพลิดเพลินใจ (ราชบัณฑิตยสถาน, 2011)

7.5 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)

เป็นอัตราส่วนระหว่างมวลของไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศเทียบกับมวลของไอน้ำอิ่มตัวเมื่อมีปริมาตรและอุณหภูมิเท่ากัน มักกำหนดค่าเป็นร้อยละ (ราชบัณฑิตยสถาน, 2011)

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

งานวิจัยเล่มนี้ได้ทำการทบทวนแนวคิดทฤษฎี รวมทั้งผลการศึกษาของผลงานวิจัยต่าง ๆ และองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยเบื้องต้น อันได้แก่ความรู้วิธีการอนุรักษ์ผลงานที่ถูกต้องของหลักการอนุรักษ์ ศึกษาสภาพแวดล้อมในการจัดแสดงและจัดเก็บโบราณวัตถุสำริด ศึกษาสาเหตุการเสื่อมสภาพ การอนุรักษ์ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อนำไปสู่การสร้างกรอบแนวความคิด และเป็นการสร้างความเข้าใจเบื้องต้นในการศึกษาครั้งนี้โดยมีหัวข้อที่สำคัญดังนี้

1 ประวัติของพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ

พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติของประเทศกัมพูชาตั้งอยู่ในกรุงพนมเปญ เป็นพิพิธภัณฑ์ประวัติศาสตร์และเป็นแหล่งโบราณคดีชั้นนำของประเทศ ยังเป็นพิพิธภัณฑ์ประวัติศาสตร์ที่ใหญ่ที่สุดของประเทศกัมพูชา และเปิดอย่างเป็นทางการในปีพ.ศ 2463 ภายใต้พระเจ้าสีสุวัฒน์ (Sisowat) โดยตัวอาคารออกแบบตามสถาปัตยกรรมปราสาทเขมร พิพิธภัณฑสถานแห่งนี้มีศิลปวัตถุมากกว่า 14,0000 ชิ้น เป็นหนึ่งในโลกที่มีศิลปวัตถุเขมรมากที่สุด ได้แก่ ประติมากรรม เซรามิก สำริด และวัตถุทางชาติพันธุ์ตั้งแต่สมัยก่อนประวัติศาสตร์จนถึงสมัยหลังพระนคร พร้อมทั้งศิลปวัตถุทางศาสนา (พุทธและฮินดู) ที่มีหน้าที่สำคัญในประวัติศาสตร์ พิพิธภัณฑ์แห่งนี้ตั้งอยู่บนถนนสาย 13 กลางเมืองพนมเปญ ทางเหนือของพระราชวังจตุมุขศิริมงคล และทางฝั่งตะวันตกของสนามหลวง (Veal Preah Maen) โดยทางเข้าของพิพิธภัณฑ์อยู่ที่มุมถนนเลข 13 และถนนเลข 178 และข้างหลังของพิพิธภัณฑ์เป็นมหาวิทยาลัยวิจิตรศิลป์หลวง (Royal University of Fine Art) ปัจจุบันพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติอยู่ภายใต้การดูแลของกระทรวงวัฒนธรรมและวิจิตรศิลป์กัมพูชา

พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติสร้างขึ้นเมื่อวันที่ 15 สิงหาคม พ.ศ. 2460 ตามรูปแบบสถาปัตยกรรมเขมรดั้งเดิมและเปิดให้ใช้เมื่อวันที่ 13 เมษายน พ.ศ. 2463 ต่อหน้าสมเด็จพระบาทสมเด็จพระสีสุวัตดิ์ มุนีวงศ์ (Sisowath Monivong) พระเจ้ากรุงกัมพูชา และคุณฟร็องซัว มาริอุส โบดัว (François Marius Baudoin) ผู้แทนระดับสูงของฝรั่งเศสในกัมพูชา ในช่วงอาณานิคมของฝรั่งเศสในราชอาณาจักรกัมพูชา (พ.ศ. 2406-2496) โดยสถาปนิกเป็นชาวฝรั่งเศสชื่อจอร์จ กรอสเลียร์ (George Groslier เป็นนักโบราณคดี) ด้วยตัวอาคารมีความยาว 54 เมตร ความลึก 66 เมตร และสร้างบนชานสูง 2 เมตรครึ่ง ตอนแรกชื่อของพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติเรียกว่าพิพิธภัณฑ์

กรุงกัมพูชาธิบดี และเปลี่ยนมาเป็น “พิพิธภัณฑ์อัลแบร์ ซาโร” เพื่อเป็นการให้เกียรติแก่อัลแบร์ ซาโร (Albert Sarraut) ผู้บริหารชาวฝรั่งเศส (ចាន់ម៉ាក៉ ព្រាប, 2016)

ปัจจุบันมีแผ่นหินอ่อนสองแผ่นที่ตั้งอยู่ข้างหน้าพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ โดยหนึ่งเป็นภาษาเขมร และอีกแผ่นเป็นภาษาฝรั่งเศสจารึกในยุคนั้น เค้าโครงพิพิธภัณฑ์ได้รับการออกแบบโดยจอร์จ กรอสเลียร์ (George Groslier) และการรวบรวมผลงานศิลปะตกแต่งของตัวอาคารเป็นผลงานของศิลปินชาวกัมพูชาที่เป็นครูและนักเรียนของโรงเรียนเช่นเรื่องนางกากี (Neang Khaki) หรือเรื่องรามเกียรติ์ (Ream Ker) (ในสมัยนั้นอาคารหลังนี้เป็นทั้งพิพิธภัณฑ์และสถาบันวิชาชีพ) โดยตกแต่งบนหน้าต่างทั้งสิบสองบาน และบนประตูหลักทั้งสามบาน ด้วยภาพสลักและภาพวาดตามวรรณคดีและตำนานของชาวเขมรโบราณต่าง ๆ (Kohsantepheapdaily, 2015)

พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติตั้งอยู่ทิศใต้ของศูนย์กลางกับมหาวิทยาลัยภูมินทร์ศิลป์ (Royal University of Fine Arts) ชาวเขมรนิยมเรียกศูนย์นั้นว่า ศาลารจนา (โรงเรียนออกแบบ) พิพิธภัณฑ์แห่งนี้ดำเนินการโดยนักอนุรักษ์ชาวฝรั่งเศสอาทิ ฌ็อง บอยเซอเอร์ (Jean Boisselier) และปีแอร์ ดูพอนต์ (Pierre Dupont) เป็นภัณฑารักษ์คนแรกของพิพิธภัณฑ์ และต่อมาพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติได้เปลี่ยนหัวหน้าชื่อโซเลเรน เทียรี่ (Solange Thierry Bernard) จนถึงปีพ. ศ. 2492 (Kohsantepheapdaily, 2015)

ต่อมาในปีพ. ศ. 2493 ฌ็อง บอยเซเออร์ เป็นรองหัวหน้าผู้ดูแลโบราณสถานในเมืองพระนครกลับมาเป็นหัวหน้าพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติโดยได้จัดการปรับเปลี่ยนระบบการจัดการพิพิธภัณฑ์จากโรงเรียนฝรั่งเศสแห่งตะวันออก (École Française d'Extrême-Orient) มาอยู่ภายใต้รัฐบาลกัมพูชาแทน ตอนนั้นพิพิธภัณฑ์ได้เปลี่ยนชื่อเป็นพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติของกัมพูชา หลังจาก ฌ็อง บอยเซเออร์ ยังมีหัวหน้าที่เป็นผู้หญิงชื่อ เมเดอลีน กิโต (Madeleine Giteau, 2499-2509) มาเป็นผู้นำต่อ (Kohsantepheapdaily, 2015)

ตั้งแต่ปีพ. ศ. 2509 สัญญาระหว่างโรงเรียนฝรั่งเศสแห่งตะวันออก (École Française d'Extrême-Orient) และรัฐบาลกัมพูชา (Royal Government of Cambodia) เป็นเวลา 10 ปีได้หมดอายุ การจัดการของพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติได้เปลี่ยนหัวหน้ามาให้คุณ เจีย ไทเสง (Chea Thay Seng) เป็นภัณฑารักษ์ชาวเขมรคนแรกซึ่งเคยไปศึกษาที่ Ecole du Louvre และมหาวิทยาลัยปารีสประเทศฝรั่งเศส เจีย ไทเสงเป็นหัวหน้าพิพิธภัณฑ์ในฐานะภัณฑารักษ์ (ผู้อำนวยการ) จนถึงปีพ.ศ. 2514 หลังจากนั้นยังมีคุณลี หว่อง (Ly Vouong) ได้รับการแต่งตั้งให้เป็นหัวหน้าและอนุรักษ์ในพิพิธภัณฑ์ ซึ่งทั้งสองคนถูกฆ่าในระบอบเขมรแดง (Kohsantepheapdaily, 2015)

ในช่วงทศวรรษ 1970 เมื่อประเทศกัมพูชาตกอยู่ในวิกฤตทางการเมืองและไม่มีความปลอดภัย เบอร์นาร์ด ฟิลิปป์ กรอสเลีย (Bernard Philippe Groslier) เป็นผู้ดูแลโบราณสถานที่นครวัดได้ขนส่งโบราณวัตถุจากบริเวณอนุรักษ์นครวัดในเสียมราฐไปยังพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ ส่วนโบราณวัตถุที่มีค่าจากพิพิธภัณฑ์ของพระตะบองและพิพิธภัณฑ์อื่น ๆ ถูกส่งมาเก็บอยู่ในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติเหมือนกัน (Kohsantepheapdaily, 2015)

ในช่วงเขมรแดงพิพิธภัณฑ์แห่งนี้ถูกปิดเป็นเวลาเกือบสี่ปี และในสิ้นสุดของระบอบเขมรแดงพิพิธภัณฑ์ได้จัดระเบียบใหม่และเปิดให้เข้าชมเมื่อวันที่ 13 เมษายน พ.ศ. 2523 อึก เจีย (Auk Chea) และอึก ซุนเฮง (Auk Sunheng) ซึ่งจบการศึกษาระดับปริญญาโทจากมหาวิทยาลัยได้รับการแต่งตั้งให้เป็นหัวหน้าของพิพิธภัณฑ์ และในช่วงเวลาต่อมายังมีเพชร แก้ว (Pech Keo) มาดูแลต่อ (พ.ศ. 2534-2539) เมื่อวันที่ 26 กันยายน 2539 มีการจัดพิธีเปลี่ยนตำแหน่งภัณฑารักษ์ในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติระหว่าง เพชร แก้ว มาเป็น คุณ สาเมน (Khun Samen) ภายใต้อธิบดีของรัฐมนตรีกระทรวงวัฒนธรรมและวิจิตรศิลป์ นุช นาราง (Nut Narang) ต่อมายังมีฮับ ตูช (Hub Touch) และ กุง วิรัก (Kung Virak) ที่เป็นหัวหน้าพิพิธภัณฑ์ (Kohsantepheapdaily, 2015)

ตอนแรกพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติเป็นอาคารหนึ่งที่ตั้งอยู่ในวิทยาลัยสีสุวัตดิ์ที่มีชื่อว่า "พิพิธภัณฑ์พนมเปญ" เมื่อพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ (พิพิธภัณฑ์ปัจจุบัน) สร้างเสร็จ พิพิธภัณฑ์พนมเปญได้ย้ายมาและเปลี่ยนชื่อเป็น "พิพิธภัณฑ์กรุงกัมพูชาธิบดี" ในปีพ. ศ. 2522 ในระบอบเขมรแดงพิพิธภัณฑ์ได้เปลี่ยนชื่อเป็น "พิพิธภัณฑ์โบราณวัตถุ" จนถึงปีพ. ศ. 2539 ภายใต้การดูแลของภัณฑารักษ์ เพชร แก้ว ได้เปลี่ยนชื่อเป็น "พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติของกัมพูชา" จนถึงปัจจุบันนี้ (Kohsantepheapdaily, 2015)

2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสำริดในประเทศกัมพูชา

บรอนซ์ (Bronze) เป็นสิ่งที่ชาวเขมรเรียกว่าสำริด ถูกมองว่าเป็นวัสดุที่มีคุณค่ามาตลอด ส่วนผสมที่สำคัญที่สุดของโลหะสำริดประกอบด้วยทองแดงและดีบุก และในสมัยพระนครสำริดมักถูกปิดด้วยทอง โดยเชื่อว่าสำริดเป็นวัตถุมงคลที่นำมาซึ่งความสุขและความสำเร็จ ชาวเขมรซึ่งนิยมใช้สำริดโดยไม่ได้ถือว่าเป็นวัตถุทางศาสนาเท่านั้น นอกจากนี้สำริดยังเป็นตัวแทนของเทพเจ้าในศาสนาฮินดูและศาสนาพุทธ และยังมีวัตถุทางศาสนา, เครื่องใช้, และเครื่องประดับที่มีคุณภาพดีเป็นจำนวนมาก ประติมากรรมสำริดเป็นรูปสลักของเทพเจ้าเคยตั้งอยู่ในปราสาทและวัดสำหรับเคารพและบูชา ซึ่งเต็มไปด้วยความงดงามและพลังอำนาจทางศาสนา (Cort & Jett, 2010)

2.1 โบราณวัตถุสำริดของชาวเขมร

ประติมากรรมทางศาสนาทำจากสำริดมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาวัฒนธรรมของชาวเขมรในยุคแรก ในอดีตการบันทึกของท้องถิ่นมีจำนวนน้อยทำให้ยากที่จะระบุว่าชาวเขมรเก่งในการประดิษฐ์ประเพณีทำสำริดเป็นประติมากรรมทางศาสนา ในสถานการณ์นี้นักวิจัยหวังว่าจะแก้ไขได้โดยการศึกษาสำริดที่มีอยู่ในปัจจุบันมาบันทึกเฉพาะตัวเอง สำริดของชาวเขมรอาจถือเป็นเครื่องยืนยันระดับกลางสำหรับการศึกษาทางวัฒนธรรมโบราณที่ไม่ได้บันทึกไว้หรือถูกบิดเบือนในประวัติศาสตร์ (Bunker & Latchford, 2011)

โบราณวัตถุสำริดหลายพันชิ้นที่สร้างโดยช่างที่มีฝีมือของชาวเขมรได้ค้นพบทุกที่ในประเทศกัมพูชา ภาคใต้ในประเทศลาว ภาคตะวันตกเฉียงใต้ของเวียดนาม และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ที่เคยเป็นพื้นที่ของอาณาจักรขอม ที่เกิดขึ้นในคริสต์ศักราชปี 802 และรักษาอำนาจที่เป็นเอกลักษณ์ทุกสาขาในอาณาจักรจนตกอำนาจในปี 1451 ค.ศ สำริดนี้ส่วนใหญ่หล่อโดยใช้วิธีการสูญขี้ผึ้งที่เป็นเครื่องหมายของโบราณวัตถุหลากหลายชนิดที่กำหนดวิถีชีวิตของชาวเขมร ซึ่งรวมถึงรูปบูชาทางศาสนา ของในพิธีศาสนา เครื่องประดับ เครื่องราชรถ อาวุธ รูปแกะสลักบนหัวเรือ เครื่องตกแต่งแคร่ เครื่องตกแต่งบ้าน และเครื่องประกอบทางสถาปัตยกรรมหลายชิ้นที่ไม่รู้ที่มาหรือวันที่ชัดเจน (Bunker & Latchford, 2011)

ชาวเขมรมักจะฝังสมบัติทองสำริดไว้ในบริเวณวัดเพื่อเป็นการนับถือแก่เทพเจ้าแทนที่จะฝังในหลุมศพเพื่อเป็นการให้เกียรติแก่ผู้ตายเช่นเดียวกับบรรพบุรุษในยุคเหล็ก ประเพณีการฝังศพของชาวเขมรนิยมทำพิธีเผาศพแทนที่จะฝังศพ ถ้าเป็นไปได้คือห้ามไม่ให้ค้นหาหลุมศพของชนชั้นสูงที่มีคุณค่ารวมทั้งโบราณวัตถุสำริด บางครั้งพบสำริดของชาวเขมรซ่อนในที่ไม่มีร่องรอยตามสิ่งที่เป็นวิถีทางชีวิตและเส้นทางการค้า บางทีอาจถูกซ่อนไว้ในช่วงเวลากลียุค และค้นพบโดยบังเอิญในยุคปัจจุบันในช่วงปฏิบัติการกำจัดทุ่นระเบิด โครงการซ่อมแซม และการก่อสร้างถนน (Bunker & Latchford, 2011)

ในศตวรรษที่เก้าและศตวรรษที่สิบในช่วงต้นสมัยพระนครถือเป็นช่วงเวลาที่มีการสร้างสรรค์รูปประติมากรรมทางศาสนาของชาวเขมรมากที่สุด และเป็นช่วงที่มีการหล่อสำริดเจริญถึงระดับสูง ในช่วงครึ่งศตวรรษที่สองต่อมา ศิลปะเขมรมีการพัฒนามากขึ้น และในศตวรรษที่เก้าและสิบได้เบ่งบานจนกลายเป็นการออกแบบทางศิลปะบาพวนที่สวยงามและซับซ้อนเป็นพิเศษซึ่งมีอิทธิพลจนถึงศตวรรษที่สิบเอ็ด (Bunker & Latchford, 2011)

แหล่งที่มาของลวดลายตกแต่งมากมายและเครื่องประดับอย่างอุดมสมบูรณ์ที่ปรากฏบนปราสาทในโรลูออส (Roluos) โดยเฉพาะทับหลังเป็นพื้นฐานที่รับมาจากอินเดีย ตามการเปรียบเทียบรายละเอียดของมิเรย เบนิสตี (Mireille Benisti) ระหว่างรูปประติมากรรมของชาวเขมรยุคแรกกับโบราณวัตถุในอินเดีย เห็นว่าลวดลายชวาในศิลปะเขมรยุคแรกอาจไม่ได้เกิดจากการสื่อสารโดยตรงแต่เป็นมรดกของอินเดียร่วมกัน ซึ่งเป็นเรื่องที่ต้องมีการตรวจสอบเพิ่มเติม (Bunker & Latchford, 2011)

2.2 หลักฐานการหล่อสำริดในประเทศกัมพูชา

ตั้งแต่สมัยก่อนประวัติศาสตร์ชาวเขมรได้ใช้โลหะทำกลองสำริด, กำไลสำริดมีร่างเหมือนเขาควาย, ขัน, กระดิ่ง, เครื่องมือ, และต่างหู จากการวิเคราะห์อายุโดยการใช้คาร์บอน 14 พบว่าสำริดเหล่านี้มีอายุระหว่างปี 1280 ถึงปี 120 ก่อนคริสต์ศักราช ดั้งนั้นในประเทศกัมพูชามีวัตถุทำมาจากสำริดหลากหลายตั้งแต่สมัยก่อนประวัติศาสตร์ก่อนมีแม่พิมพ์ทำประติมากรรม ตั้งแต่ยุคเหล็กเทคนิคการทำแม่พิมพ์ของเขมรเริ่มเจริญมากขึ้นซึ่งยังใช้ต่อในอีกสี่ถึงห้าศตวรรษต่อมา (ชุน ชู, 2020)

ต่อมาในต้นคริสต์ศักราชชาวเขมรใช้โลหะเป็นเครื่องมือในการประกอบพิธีทางศาสนา, เครื่องประดับ, และธุรกิจ ความหลากหลายของศิลปวัตถุจากทองสำริดและทองคำถูกนำมาใช้ในทางศาสนามากขึ้นเช่นรูปปฏิมา เครื่องประดับ และเทคนิคการหล่อสำริดมีตั้งแต่สมัยก่อนประวัติศาสตร์จนถึงปัจจุบัน (ชุน ชู, 2020)

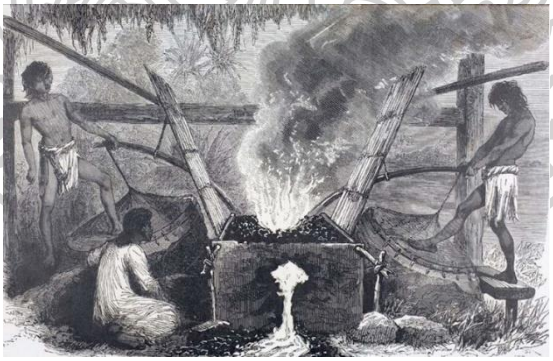
เทคนิคการหล่อสำริดของชาวเขมรใช้แร่ทองแดงเป็นแร่หลักในการผสม มีดีบุก (2 ถึง 15 เปอร์เซ็นต์) และตะกั่ว 20 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น ตามการวิเคราะห์ส่วนประกอบของสำริดในประเทศกัมพูชามีความแตกต่างกันตามลำดับเวลาเช่นศิลปวัตถุในคริสต์ศตวรรษที่ 7 ถึง 9 การวิเคราะห์เห็นว่าดีบุกมีมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ศตวรรษที่ 10 ถึง 11 ในคริสต์ศักราชมีดีบุกน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ และศิลปวัตถุในศตวรรษที่ 12 ถึง 13 มีดีบุกมากกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์นี้เป็นเพียงการวิเคราะห์บนศิลปวัตถุบางส่วนเท่านั้น (ชุน ชู, 2020)

ตารางที่ 1 ตารางแสดงส่วนประกอบของสำริด (ជុន ថូ, 2020)

ส่วนประกอบในสำริดของชาวเขมร					
ยุคสมัย	ทองแดง	ดีบุก	ตะกั่ว	สังกะสี	เล็ก
ศตวรรษที่ 7-9 ในค.ศ.	80-85%	10-15%	5%	-	-
ศตวรรษที่ 10-11 ในค.ศ.	90%	1-2%	5%	3%	-
ศตวรรษที่ 12-13 ในค.ศ.	80%	15-25%	5%	-	-

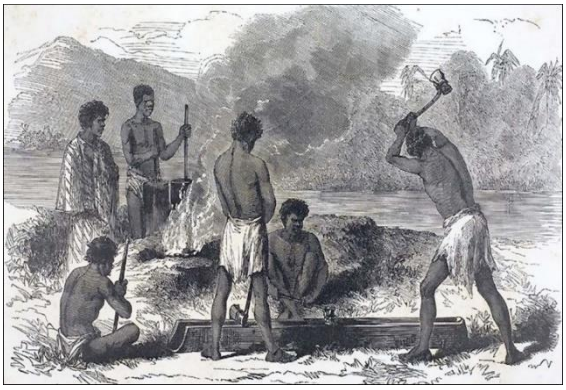
จากการขุดค้นโดยนักโบราณคดีจากโรงเรียนฝรั่งเศสแห่งตะวันออก (École Française d'Extrême-Orient (EFEO)) ร่วมกับ Apsara Authority ได้ระบุว่าโรงช่างหล่อสำริดไม่ใช่โรงช่างธรรมดา แต่เป็นโรงช่างในพระราชวังที่พระมหากษัตริย์ทรงใช้สำหรับหล่อสำริดทำประติมากรรมต่าง ๆ (ជុន ថូ, 2020)

โดยมีการค้นพบทองแดงและถ่านในแม่พิมพ์เครื่องปั้นดินเผา และด้านล่างของถ่านใกล้กับแร่ทองแดงที่หลอมแล้วโดยใช้อุณหภูมิในการเผา 1,000 ถึง 1,200 องศา ในปีพ. ศ. 2423 Boulangier ได้บันทึกและวาดรูปช่างโลหะรวมกับเทคนิคในการหล่อโลหะของชาวกูย (Kui) ที่มีเตาและเครื่องอัดอากาศ (ជុន ថូ, 2020)



ภาพที่ 1 เตาหล่อโลหะของชาวกูยในปี 1987 (Boulangie,)

ที่มา: អត្ថបទ៖ បច្ចេកទេស លា យ សំរិទ្ធខ្មែរ เข้าถึงเมื่อ 16 ธันวาคม 2020, เข้าถึงได้จาก https://ams.com.kh/khmercivilization/detail/2727



ภาพที่ 2 กิจกรรมการหล่อโลหะของชาวกูยในปี 1987

ที่มา: អត្ថបទ៖ បច្ចេកទេសលា យសំរិទ្ធខ្មែរ เข้าถึงเมื่อ 16 ธันวาคม 2020, เข้าถึงได้จาก https://ams.com.kh/khmercivilization/detail/2727

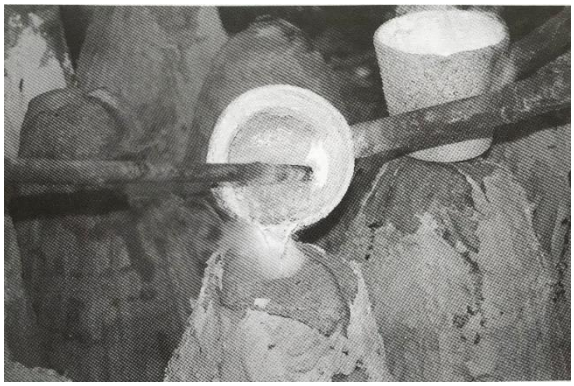
2.3 เทคนิคการหล่อสำริดในปัจจุบัน

สำริดหลอมที่อุณหภูมิประมาณ 1,000 องศาเซลเซียส และเทที่อุณหภูมิประมาณ 1,150 องศาเซลเซียส โดยใช้เตาขนาดเล็กเพื่อให้ความร้อนสำหรับหลอมสำริดที่อุณหภูมิสูง การเทโลหะเหลวลงในแม่พิมพ์ต่าง ๆ ตามลำดับทำได้โดยใช้ทีมงานที่เชี่ยวชาญ (Zefferys et al., 2001)

ภาพที่ 3 การเพิ่มสำริดเหลวเข้าแม่พิมพ์

ที่มา: Heave and Empire: Khmer Bronze from the 9th to the 15th Centuries.

ช่างถือเบ้าหลอมสำหรับตักโลหะเหลวและเทลงในแม่พิมพ์ในขณะที่ช่างอีกคนกำจัดตะกรันผิวที่ไม่ต้องการออก (การเก็บคราบเสียที่ตะกอนอยู่บนพื้นผิวของโลหะที่เหลวเมื่อเย็นลง) ด้วยไม้ในขณะที่กำลังเท กระบวนการนำออกนี้เรียกว่ากากแร่หลอม (Slagging) (Zefferys et al., 2001)



ภาพที่ 4 การใช้ไม้นำกากแร่หลอมออก

ที่มา: Heave and Empire: Khmer Bronze from the 9th to the 15th Centuries.

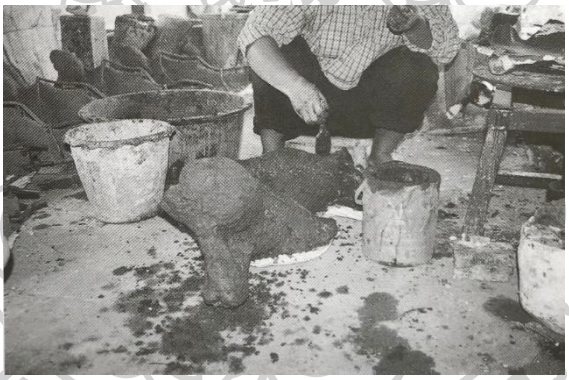
ช่างที่มีความชำนาญในการเทสำริดต้องระมัดระวังและมือแข็งแรงเพื่อให้แน่ใจว่าโลหะเหลวไหลระบายประกอบไม่เป็นชั้น ถ้าไม่ชำนาญในการเทอาจทำให้เกิดความวุ่นวายและให้ผลชิ้นงานไม่ดี โลหะเหลวจะเทลงในแม่พิมพ์ (ช่องทางเดิน - Runners) อย่างระมัดระวังเพื่อให้แน่ใจว่าไหล่ทั่วถึงปลายสุดตามลำดับที่มีรายละเอียดเล็ก ๆ การเทจะเสร็จสมบูรณ์เมื่อโลหะเหลวปรากฏที่ด้านบนของแม่พิมพ์ (ช่องระบายอากาศ - Risers) สำริดเหลวจะเย็นลงและเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลเหลือง (amber color) (Zefferys et al., 2001)

ภาพที่ 5 การเทสำริดเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์

ที่มา: Heave and Empire: Khmer Bronze from the 9th to the 15th Centuries.

โรงหล่ออาจหลอมได้มากถึงห้าเตาหรือน้อยกว่านี้ และมากถึงสามสิบเตาหรือมากกว่านั้นขึ้นอยู่กับขนาดของโรงหล่อและเตาที่ใช้ในการหลอมสำริด กระบวนการนี้ไม่ได้ทำทุกวัน เว้นแต่มีแม่พิมพ์พอที่จะหล่อเท่านั้น (Zefferys et al., 2001)

กระบวนการสูญขี้ผึ้ง (Lost Wax) สมัยก่อนเริ่มต้นด้วยรูปแบบดินเหนียวที่ทำหน้าที่เป็นพื้นฐานของรูปปั้น โดยพื้นฐานดินเหนียวนี้จะเคลือบด้วยขี้ผึ้ง ส่วนขี้ผึ้งปั้นอย่างละเอียดเป็นรูปร่างของรูปปั้นที่ต้องการโดยมีรายละเอียดเล็ก ๆ รวมถึงลักษณะใบหน้า เครื่องประดับตกแต่งและเสื้อผ้า เมื่อขี้ผึ้งแข็งจะมีดินเหนียวทารอบนอกอีกชั้นของขี้ผึ้งและรอบ ๆ แท่งหลอดที่เรียกว่าช่องสำหรับให้ลมออกจากข้างในของชั้นขี้ผึ้ง ช่องเหล่านี้จัดเตรียมสำรับระบายอากาศและก๊าซ (Risers) ที่อยู่ภายในแม่พิมพ์เพื่อให้การไหลของโลหะเหลวที่เทลงได้สม่ำเสมอ และช่องนี้ยังเป็นช่องสำหรับเทโลหะเหลวเข้าแม่พิมพ์ด้วย (Runners) โดยความจริงช่องขี้ผึ้งจะเชื่อมส่วนหนึ่งของรูปเข้าไปอีกส่วนหนึ่งเพื่อสร้างผลงานให้สมบูรณ์ (Zefferys et al., 2001)

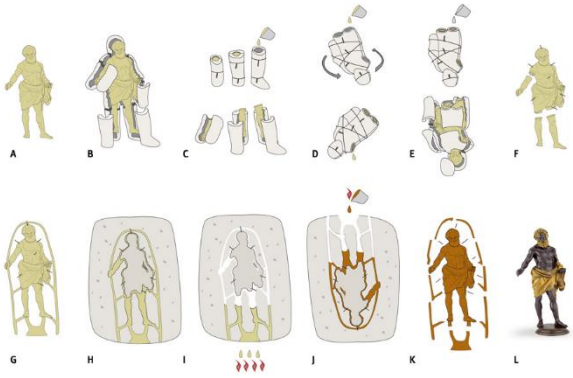


ภาพที่ 6 การทาดินเหนียว
ที่มา: Heave and Empire: Khmer Bronze from the 9th to the 15th Centuries.

แม่พิมพ์ชั้นดินเหนียวที่ทาบนขี้ผึ้งหลายชั้นโดยเพิ่มทรายเป็นส่วนผสมจะถูกปล่อยให้แห้งเป็นเวลาหลายวันจากนั้นจึงนำไปเผา วิธีนี้ทำให้ดินเหนียวแข็งและทำให้ขี้ผึ้งที่อยู่ข้างในละลายไหลออกจากดินเหนียวและเทโลหะเหลวลงไป นอกจากนั้นช่องที่เหลือจะเต็มไปด้วยสำริดเหลวในแม่พิมพ์ และประติมากรรมถูกทิ้งไว้ให้เย็นเป็นเวลาสามถึงสี่วันเพื่อให้สำริดแห้ง เมื่อพร้อมแล้ว แม่พิมพ์ดินเผาที่อยู่ด้านนอกถูกแกะออกโดยใช้ขวานเล็กเพื่อนำประติมากรรมที่อยู่ข้างในออกและช่องเทหรือช่องไหลออกอากาศจะถูกตัดออก สุดท้ายคือการเอาสำริดไปขัดให้สะอาดและทิ้งไว้นอกบ้านเป็นเวลาหนึ่งเดือนเพื่อให้มีสนิมเขียวขึ้นตามลักษณะเฉพาะศิลปิน จากนั้นประติมากรรมที่สร้างเสร็จจะถูกเคลือบด้วยขี้ผึ้งสำหรับป้องกัน (Zefferys et al., 2001)

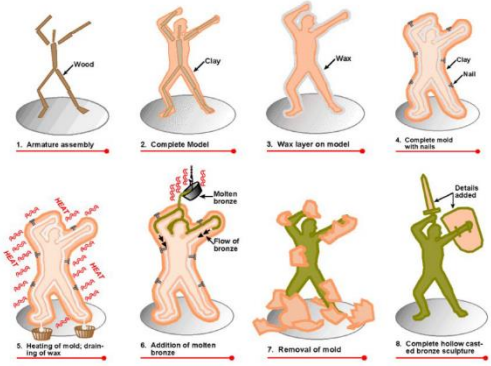
ภาพที่ 7 การวางรูปปั้นดินเหนียวกับช่องทางเดินให้แห้ง

ที่มา: Heave and Empire: Khmer Bronze from the 9th to the 15th Centuries.



ภาพที่ 8 การหล่อสำริดด้วยกระบวนการสูญขี้ผึ้ง

ที่มา: Bronze Casting – The Lost Wax Process, เข้าถึงเมื่อ 12 กุมภาพันธ์ 2564, ได้จาก https://www.thesculpturepark.com/lost-wax-bronze-casting/



ภาพที่ 9 กระบวนการหล่อและเทสำริดเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์

ที่มา: Casting Method, เข้าถึงเมื่อ 12 กุมภาพันธ์ 2564, ได้จาก https://bigbronze.com/our-casting-method/

ศิลปินที่มีประสบการณ์ต้องผ่านการฝึกหัดหลายปีมาก่อน ซึ่งเป็นที่ต้องการอย่างมาก สำหรับทักษะด้านหล่อสำริดได้ละเอียด ศิลปินที่ดีที่สุดต้องเชี่ยวชาญด้านประติมากรรมพร้อมกับศิลปะที่ละเอียดมากเพื่อได้ราคาสูงเมื่อในอดีต การหล่อสำริดคือทำสำหรับบุคคลในราชวงศ์ นักบวชและบุคคลที่มีตำแหน่งสูงเท่านั้น (Zefferys et al., 2001)

3 องค์ประกอบของสำริด

ตามความหมายที่แท้จริง สำริด คือ โลหะผสมที่มีทองแดงเป็นหลัก ส่วนองค์ประกอบอื่น ๆ คือดีบุกและตะกั่ว อาจมีเหล็ก อาร์ซีนิค สังกะสี เจือปนอยู่ด้วยเล็กน้อย แต่ในปัจจุบันความหมายของสำริดเปลี่ยนไป สำริดปัจจุบันหมายถึงโลหะผสมที่มีทองแดงเป็นหลัก และองค์ประกอบอื่น ๆ ได้แก่ สังกะสี เหล็ก ตะกั่ว ฟอสฟอรัส ซิลิคอน อาร์ซีนิค (สารหนู) บิสมัท อะลูมิเนียม ซึ่งนำไปใช้งานหลากหลายรูปแบบ ชนิดและปริมาณของโลหะอื่น ๆ ที่ผสมในโลหะผสมของทองแดงส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของโลหะผสมนั้น ๆ อย่างมากมาย (Medal Association of Thailand, 2020)

ทองแดงบริสุทธิ์มีสีชมพูคล้ายเนื้อปลาแซลมอน ลักษณะเป็นมันวาว สามารถดึงยืดหรือตีแผ่นได้ดีทนทานต่อการกัดกร่อน ส่วนดีบุกเป็นโลหะที่มีสีขาว คล้ายเงิน ไม่ค่อยแข็ง แต่มีการต้านทานต่อการกัดกร่อนสูงและมีคุณสมบัติด้านหล่อลื่น สามารถดึงยืดหรือรีดเป็นแผ่นบางได้ดี (Medal Association of Thailand, 2020)

เมื่อนำทองแดงและดีบุกมาหลอมรวมกันในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ จะได้โลหะผสมที่เรียกว่าสำริด ซึ่งเป็นโลหะผสมที่มีคุณสมบัติเหนือกว่าทองแดงและโลหะอื่น ๆ มาก สามารถใช้งานได้หลากหลายขึ้น และทนทานต่อการกัดกร่อนขึ้น (Medal Association of Thailand, 2020)

เมื่อมีการค้นพบการทำสำริด ชุมชนโบราณก็มีการใช้สำริดแทนทองแดงอย่างมากมาย ทั้งนี้น่าจะเป็นเพราะการขึ้นรูปทองแดงต้องใช้วิธีตีเป็นเวลานาน ส่วนสำริดเป็นโลหะที่แข็งและตีขึ้นรูปยากกว่าทองแดง เมื่อมีการค้นพบสำริดแล้ว จึงนิยมผลิตสำริดมากกว่าผลิตเครื่องมือเครื่องใช้จากทองแดง เนื่องจากการหล่อสำริดไม่ต้องผ่านการตีขึ้นรูปเป็นเวลานาน สามารถเทลงในแม่พิมพ์ออกมาเป็นรูปร่างที่ต้องการ และมีความแข็งพอเพียงที่จะใช้งานได้ทันที เป็นการประหยัดเวลาและพลังงาน (Medal Association of Thailand, 2020)

นอกจากนี้การหล่อสำริดยังทำได้ง่ายและได้โลหะที่มีคุณสมบัติดีกว่าทองแดง เพราะทองแดงบริสุทธิ์มีแนวโน้มที่เกิดฟองอากาศ ระหว่างการหล่อ ทำให้โลหะที่มีเนื้อพรุนคล้ายฟองน้ำ

ในขณะที่สำริด ไม่เกิดฟองอากาศระหว่างการหล่อ นอกจากนี้ สำริดยังมีคุณสมบัติเหนือกว่าโลหะอื่น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติที่เอื้อต่อกระบวนการผลิต เมื่อสำริดเริ่มแข็งตัวเป็นของแข็งและจะขยายตัว ทำให้โลหะแทรกซึมเข้าไปตามช่องว่าง และซอกหลืบของแม่พิมพ์ได้อย่างทั่วถึง เมื่อสำริดเย็นตัวลงจะหดตัวเล็กน้อย สามารถแยกออกจากแม่พิมพ์ได้ง่าย และเมื่อผสมตะกั่วลงไปเล็กน้อย สำริดนั้นจะหล่อได้ง่ายขึ้น เพราะตะกั่วช่วยลดจุดหลอมเหลว (Medal Association of Thailand, 2020)

เพิ่มความสามารถในการไหล สามารถหล่อเป็นแผ่นบาง ๆ ได้ แต่ตะกั่วไม่สามารถละลายได้ในทองแดงและดีบุก เมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นตะกั่วปะปนอยู่ในเนื้อสำริดในลักษณะเป็นเม็ดกลม ๆ เล็ก ๆ กระจัดกระจาย ๆ คุณสมบัติของสำริด ขึ้นอยู่กับปริมาณของโลหะอื่น ๆ ที่เป็นองค์ประกอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณดีบุกมีบทบาทสำคัญในการกำหนดคุณสมบัติของสำริด ปริมาณดีบุกมีผลต่อสี ความแข็ง จุดหลอมเหลว และความทนทานต่อการกัดกร่อนของสำริด (Medal Association of Thailand, 2020)

องค์ประกอบกับส่วนผสมต่าง ๆ จะออกสีไม่เหมือนกันตามปริมาณของธาตุผสมน้อยหรือมากเช่นสำริดที่มีดีบุก 5 เปอร์เซ็นต์ สีออกแดง เนื้อเปราะ, สำริดที่มีดีบุก 10 เปอร์เซ็นต์ สีคล้ายทอง, สำริดที่มีดีบุก 10-20 เปอร์เซ็นต์ สีคล้ายเงิน, สำริดที่มีดีบุก 10-20 เปอร์เซ็นต์ และตะกั่ว 5 เปอร์เซ็นต์ สีเหลืองทอง เนื้อแข็ง, สำริดที่มีดีบุก 25 เปอร์เซ็นต์ ตะกั่ว 5 เปอร์เซ็นต์ สีคล้ายเงินเป็นมันเงา ทนการกัดกร่อนดี แต่เปราะ, สำริดที่มีดีบุก 30-35 เปอร์เซ็นต์ ตะกั่ว 5 เปอร์เซ็นต์ สีขาวเปราะ, และสำริดที่มีสังกะสีผสมอยู่ด้วยเล็กน้อย สีเหลืองอ่อน (Medal Association of Thailand, 2020)

สำริดที่มีเนื้อเดียวกัน ควรมีดีบุกผสมอยู่ไม่เกิน 14 เปอร์เซ็นต์ สำริดที่มีดีบุกผสมอยู่ไม่เกิน 17 เปอร์เซ็นต์ เรียกว่า สำริดดีบุกต่ำ (Low-tin Bronze) เนื่องจากปริมาณดีบุก 17 เปอร์เซ็นต์เป็นปริมาณสูงสุดที่ดีบุกจะละลายได้ในทองแดง แต่ถ้ามีดีบุกผสมอยู่มากกว่า 17 เปอร์เซ็นต์ เรียกว่า สำริดดีบุกสูง (High-tin Bronze) เนื้อโลหะมักจะไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Medal Association of Thailand, 2020)

3.1 **คุณสมบัติของสำริดและโลหะผสม**

3.1.1 คุณสมบัติของสำริด

สำริดเป็นโลหะผสมที่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบหลัก ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าสำริดเป็นโลหะผสมของทองแดงโลหะที่มีส่วนผสมรองลงไปได้แก่ ดีบุกและตะกั่วในขณะเดียวกันอาจมีโลหะอื่น ๆ เช่น สังกะสี เหล็ก อาร์ซินิค เจือปนอยู่เล็กน้อย ปริมาณโลหะอื่นที่ผสมในโลหะผสมของทองแดงมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของประติมากรรมสำริด โดยเฉพาะดีบุกมีส่วนผสมสำคัญในการกำหนดคุณสมบัติของโลหะผสมประเภทนี้ เพราะดีบุกมีผลต่อสี ความแข็งและความทนทานต่อการกัดกร่อนของสำริด (สำนักพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ กรมศิลปากร, 2013)

3.1.2 คุณสมบัติของโลหะอื่น ๆ ที่เป็นส่วนประกอบของสำริด

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของโลหะชนิดอื่น ๆ (Siam Chemi, 2011; ***อรัณยะนาค***, 2014)

ประเภทโลหะ	**น้ำหนักอะตอม**	**ความหนาแน่น**	**จุดหลอมเหลว**	**จุดเดือด**	**อื่นๆ**
ทองแดง (Cu)	63.55 g/mol	8.96 g/cm^3	1083 ºC	2600 ºC	ทนทานต่อการกัดกร่อน แต่อาจมีสนิมเกิดขึ้นเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ
ดีบุก (Sn)	118.71g/mol	7.27g/cm^3	232ºC	2602 ºC	มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนสูง อาจเกิดสนิมได้น้อยเมื่อมีปฏิกิริยากับออกซิเจน
ตะกั่ว (Pb)	207.21 g/mol	11.34 g/cm^3	327.4 ºC	1749 ºC	ทนทานต่อการกัดกร่อน และอาจเกิดสนิมเป็นผงสีขาวอม

					เทาในสภาวะแวดล้อมที่มีกรด
สังกะสี (Zn)	65.39 g/mol	7.14 g/cm^3	419.53 ºC	907 ºC	ทนต่อการกัดกร่อน
เงิน (Ag)	107.87 g/mol	10.50 g/cm^3	961 ºC	2162 ºC	อาจมีคราบสีเทาหรือสีดำเกิดขึ้นเมื่อมีปฏิกิริยากับก๊าซในอากาศ

3.2 ลักษณะของสำริดในปัจจุบัน

ปัจจุบันนี้มีการผลิตและเรียกชื่อโลหะผสมของทองแดงแตกต่างกันมากมาย และบางครั้งก่อให้เกิดความสับสน โดยทั่วไปคำว่าสำริด ตรงกับคำภาษาอังกฤษว่า บรอนซ์ (Bronze) ซึ่งเดิมหมายถึงโลหะผสมของทองแดงที่มีดีบุกผสมอยู่แต่ปัจจุบันนี้คำว่าบรอนซ์มีความหมายเปลี่ยนไปจากเดิม องค์ประกอบของบรอนซ์เปลี่ยนไปจากเดิม มีการผสมโลหะอื่น ๆ ลงไปเพื่อปรับปรุงคุณภาพ โลหะผสมบางอย่างมีองค์ประกอบที่จัดเป็นทองเหลือง แต่ในทางการค้ามีชื่อเรียกกันว่าบรอนซ์นอกจากนี้ยังมีโลหะผสมทองแดงเกิดขึ้นใหม่ ๆ อีกมากมายที่มีสีเหมือน ทอง เงิน ทองแดง ทองเหลือง และสำริด ในกรณีที่ไม่ทราบองค์ประกอบที่แท้จริงของโลหะเหล่านั้น เพื่อป้องกันความผิดพลาด ควรเรียกโลหะเหล่านี้ว่า โลหะผสมของทองแดง (Medal Association of Thailand, 2020)

นอกจากสำริดแล้ว โลหะผสมของทองแดงที่คุ้นเคยในปัจจุบัน ได้แก่ ทองเหลือง (Brass) ซึ่งเป็นโลหะผสมของทองแดงกับสังกะสี 10 - 20 เปอร์เซ็นต์ จะมีสีเหลืองคล้ายทอง แต่นานไปจะหมอง ทองเหลืองเริ่มปรากฏหลังจากมีการใช้สำริดมาหลายพันปี เนื่องจากการถลุงแร่สังกะสีทำได้ยากมากต้องใช้อุณหภูมิสูงจนถึงจุดเดือด การผลิตทองเหลืองสมัยก่อนประวัติศาสตร์ใช้วิธีเผาแร่ทองแดงและแร่สังกะสีเข้าด้วยกัน หลักฐานทางโบราณคดีแสดงว่าชาวโรมันมีการผลิตทองเหลืองเมื่อประมาณ 2050 ปีมาแล้ว โดยใช้ทำเงินตรา เช่นเดียวกับโบราณคดีหลายแห่งในเอเชียตะวันตกเฉียงใต้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอินเดียนิยมใช้ทองเหลืองในการทำหลังคา เครื่องเรือน ภาชนะหุงต้ม ภาชนะใส่อาหาร มาเป็นเวลายาวนานต่อเนื่องถึง 2000 ปีจนถึงปัจจุบัน ในระยะหลัง ๆ มีการ

ใช้สังกะสีมากขึ้น เนื่องจากหล่อง่าย ใช้อุณหภูมิไม่สูงมากนัก เช่นถ้าผสมสังกะสี 20 เปอร์เซ็นต์ จะได้โลหะผสมที่หลอมเหลวที่ 1,000 องศาเซลเซียส แต่ถ้าผสมสังกะสี 60 เปอร์เซ็นต์ จะหลอมเหลวที่ 833 องศาเซลเซียส (Medal Association of Thailand, 2020)

3.3 ประเภทของสำริด

สำริดเป็นโลหะผสมที่ประกอบด้วยทองแดงเป็นหลักโดยมีดีบุกประมาณ 12 ถึง 12.5 เปอร์เซ็นต์ และมักเป็นโลหะอื่น ๆ เช่นอลูมิเนียม แมงกานีส สังกะสี หรือนิกเกิล บางครั้งประกอบด้วยอโลหะหรือโลหะผสมเช่นสารหนู ฟอสฟอรัส และซิลิกอน โลหะกับอโลหะต่าง ๆ ที่เพิ่มเข้าไปเพื่อทำให้โลหะผสมสำริดมีหลายชนิดพร้อมทั้งมีคุณภาพแตกต่างกัน (Thomas, 2021)

โดยทั่วไปสำริดเป็นโลหะผสมที่ยืดหยุ่นได้ดี เมื่อสร้างชั้นทองแดงออกไซด์ขึ้นออกซิไดซ์เป็นเพียงผิวเผินและแกนกลางของโลหะจะได้รับการปกป้องจากการกัดกร่อน กระบวนการนี้สามารถพบได้บนรูปปั้นโบราณ โลหะผสมที่ทำจากทองแดงเช่นทองสำริดมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าเหล็กหรือธาตุเหล็กซึ่งทำให้ผลิตได้ง่ายกว่า สำริดมีความหนาแน่นมากกว่าเหล็กประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ แม้ว่าโลหะผสมที่ใช้อลูมิเนียมหรือซิลิกอนอาจมีความหนาแน่นน้อยกว่าเล็กน้อย สำริดนำความร้อนและไฟฟ้าได้ดีกว่าเหล็ก โดยทั่วไปสำริดมีราคาแพงกว่าเหล็ก แต่ราคาถูกกว่าโลหะผสมนิกเกิล สำริดมีสีทองหม่นและวงแหวนจาง ๆ บนพื้นผิว (Thomas, 2021)

บทความนี้กล่าวถึงประเภทต่าง ๆ ของบรอนซ์โดยเฉพาะโลหะผสมต่าง ๆ การใช้งานและคุณสมบัติ

บรอนซ์อลูมิเนียม (Aluminum Bronze) เป็นโลหะผสมที่มีทองแดงเป็นหลัก และมีอลูมิเนียมผสมอยู่ประมาณ 5-15 เปอร์เซ็นต์ หรืออาจมีโลหะอื่นๆ เช่น เหล็ก นิกเกิล แมงกานีส ปะปนอยู่เล็กน้อย บรอนซ์อลูมิเนียมมีคุณสมบัติเชิงกลสูงแข็งแรง เหนียว ต้านทานการกัดกร่อนได้ดี ละลายในอุณหภูมิไม่เกิน 400 องศาเซลเซียส สามารถทำการชุบแข็งและอบคืนตัวได้ในลักษณะเดียวกันกับ เหล็กกล้าคาร์บอน ใช้ทำโลหะแบริ่ง (Bearing Metal) ซึ่งใช้ทำเป็นส่วนประกอบรองรับหัวท้ายของเพลาหมุน และใช้ในเครื่องยนต์กลไกต่าง ๆ การผลิตบรอนซ์อลูมิเนียมต้องใช้เทคโนโลยีสูงมาก เนื่องจากโลหะผสมดังกล่าวมีช่วงแข็งตัวแคบมาก มีการหดตัวสูง และดูดก๊าซได้มากระหว่างการหล่อหลอม (Medal Association of Thailand, 2020)

บรอนซ์ซิลิกอน (Silicon Bronze) เป็นโลหะผสมที่มีทองแดงเป็นหลัก และมีซิลิกอนผสมอยู่ เป็นโลหะผสมที่แข็งแรงมาก ใกล้เคียงกับบรอนซ์อลูมิเนียมและเหล็กกล้าที่ใช้ใน

งานก่อสร้าง มีความทนทานต่อการกัดกร่อนได้ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งทนน้ำทะเลได้ดี และสามารถทำการเชื่อมได้ดีจึงใช้ในการทำภาชนะที่มีความดัน เช่นถังบรรจุขนาดใหญ่ทำรูปหล่อรูปเคารพต่าง ๆ (Medal Association of Thailand, 2020)

บรอนซ์ฟอสฟอรัส (Phosphor Bronze) เป็นโลหะผสมที่มีทองแดงและดีบุกเป็นหลัก และเติมฟอสฟอรัสเล็กน้อยประมาณ 0.1-1 เปอร์เซ็นต์ เพื่อกำจัดออกซิเจนระหว่างการหลอมเหลว เป็นโลหะผสมที่แข็งมาก มีความเค้นแรงดึงสูง ทนทานต่อก่อการกัดกร่อนได้ดี มีสัมประสิทธ์ความฝืดต่ำ จึงใช้เป็นโลหะแบริ่ง และใช้กับงานที่ต้องรับน้ำหนักสูง ๆ (Medal Association of Thailand, 2020)

แมงกานีสบรอนซ์ (Manganese Bronze) ทำจากแมงกานีสมากถึง 3 เปอร์เซ็นต์ และมีธาตุอื่น ๆ เช่นทองแดง สังกะสี อลูมิเนียม และเหล็ก โดยแมงกานีสบรอนซ์ทนต่อแรงกระแทกและเบี้ยวแทนการแตกหัก มีความทนทานต่อการกัดกร่อนของน้ำเค็มสูงจึงมักใช้เป็นใบพัดเรือ แมงกานีสบรอนซ์ยังผลิตเป็นวาล์วและชิ้นส่วนปั๊ม เกียร์ เกลียว และสลักเกลียว (Thomas, 2021)

แบริ่งบรอนซ์ (Bearing Bronze) มีปริมาณตะกั่วประมาณ 6 ถึง 8 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณตะกั่วที่สูงทำให้มีคุณสมบัติแรงเสียดทานต่ำ ทำให้มีประโยชน์ในสภาพแวดล้อมที่มีการสึกหรอสูง โดยเฉพาะพื้นที่ที่ยากต่อการเข้าถึงหรือรักษา แบริ่งบรอนซ์ส่วนใหญ่จะนำมาทำแบริ่งและบูช (Thomas, 2021)

นิกเกิลทองแดง (Copper-Nickel) หรือเรียกว่า Cupronickel มีนิกเกิลจำนวนมากประมาณ 2 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับโลหะผสมสำริดประเภทอื่น ๆ มีความทนทานและทนต่อการกัดกร่อนโดยเฉพาะกับน้ำเค็ม นอกจากนี้ยังมีความคงทนต่อความร้อนสูง นิกเกิลทองแดงใช้สำหรับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์เรือ ตัวเรือ ปั๊ม และวาล์ว (Thomas, 2021)

บิสมัทบรอนซ์ (Bismuth Bronze) มีบิสมัท 1 ถึง 6 เปอร์เซ็นต์ ทนต่อการกัดกร่อนได้ดีและสามารถนำความร้อนได้ บิสมัทบรอนซ์ขัดได้ดี และบางครั้งก็ใช้เป็นตัวสะท้อนแสงและกระจก ส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมที่พบมากที่สุดคือแบริ่ง แม้ว่าในอดีตบิสมัทบรอนซ์ใช้เป็นเครื่องครัว นอกจากนี้ยังพบทองสำริดบิสมัทในมีดอินคา (Inca) ที่มาชูปิกชู (Machu Picchu) บางครั้งก็ใช้เป็นทางเลือกแทนบรอนซ์ตะกั่ว (Thomas, 2021)

4 ปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดสนิม และการอนุรักษ์

สนิมคือสารประกอบที่เกิดจากโลหะทำปฏิกิริยากับสารอื่น เช่น ออกซิเจน น้ำ กรด ด่าง เกลือ แล้วเกิดเป็นสารประกอบใหม่ การที่โลหะเป็นสนิมง่าย เนื่องจากขณะทำการถลุงแร่เพื่อให้ได้โลหะบริสุทธิ์ ต้องมีการเติมพลังงานความร้อนเข้าไปในแร่ ซึ่งเป็นสารประกอบของโลหะ เพื่อแยกเอาโลหะออกมาจากแร่ ทำให้โลหะอยู่ในสภาวะที่ได้รับพลังงานความร้อนสูงกว่าที่เคยเป็น จึงอยู่ในสภาพที่ไม่มีเสถียรภาพ อะตอมของโลหะจึงพยายามกลับเข้าสู่สภาพเดิมที่มีเสถียรภาพมากกว่า โดยการคายพลังงานออกมา ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีหรือไฟฟ้าเคมีกับสารประกอบที่อยู่รอบ ๆ กระบวนการเช่นนี้เรียกว่า กระบวนการเกิดสนิม (Corrosion Process) สนิมจึงเป็นจุดสังเกตเริ่มแรกที่แสดงให้เห็นว่าโลหะวัตถุเริ่มเกิดการเสื่อมสภาพ (Medal Association of Thailand, 2020)

การที่โลหะชนิดใดจะเป็นสนิมได้ง่ายหรือยาก ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมีของโลหะนั้น ๆ สภาพแวดล้อมและกรรมวิธีการผลิต โลหะบางชนิดสามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบต่าง ๆ ได้ง่าย จะเกิดสนิมภายในเวลาอันรวดเร็ว เช่น เหล็ก ทองแดง ในขณะที่โลหะบางชนิดไม่ค่อยทำปฏิกิริยากับสารประกอบต่าง ๆ ในสภาพแวดล้อมตามปกติ จึงไม่เกิดสนิมเช่น ทอง ทองคำขาว ฯลฯ กรรมวิธีในการผลิตมักส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของโลหะ เช่น การผลิตโลหะโดยวิธีการทุบหรือตีขึ้นรูปขณะเย็น จะได้ผลิตภัณฑ์ที่เปราะ แตกหักง่าย อัตราเร็วในการชำรุดเสื่อมสภาพของสำริดแต่ละชิ้นจึงไม่เท่ากัน สนิมที่เกิดขึ้นบนสำริดมีทั้งสนิมดีที่ควรเก็บรักษาไว้และสนิมอันตรายที่ต้องขจัดออก ดังนั้นก่อนที่จะดำเนินการใด ๆ ควรพิจารณาหาสาเหตุที่ทำให้สำริดเกิดการเสื่อมสภาพและทำความรู้จักคุ้นเคยกับสนิมสำริด (Medal Association of Thailand, 2020)

4.1 สนิมสำริด

สนิมบนโลหะเกิดจากการที่โลหะทำปฏิกิริยากับสารเคมีในสภาพแวดล้อม เช่น ก๊าซออกซิเจน ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ไอระเหย น้ำหรือความชื้น เกลือ ดิน มูลสัตว์ เขม่า ฯลฯ เกิดเป็นสารประกอบของโลหะที่มีสีต่าง ๆ ปกคลุมอยู่บนผิวของโลหะ เรียกว่า “สนิม” สำริดที่มีอายุยาวนานหลายร้อยปีที่เก็บรักษาอย่างดีอยู่ในอาคารมักมีสนิมสีเขียวอมดำหรือดำอมเขียว ในช่วงแรก ๆ ผิวสำริดทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศอย่างรวดเร็ว ได้สนิมชั้นบาง ๆ สีน้ำตาลหรือน้ำตาลอมแดง เป็นสารประกอบทองแดงออกไซด์ เมื่อเวลา

ผ่านไปหลายสิบปี ความชื้นและก๊าซอื่น ๆ ในอากาศเข้าทำปฏิกิริยากับทองแดงจึงได้สนิมสีเขียว หรือสีเขียวอมน้ำเงิน หรือสีเขียวอมดำ ซึ่งเป็นสารประกอบทองแดงคาร์บอเนต ทองแดงซัลเฟต ทองแดงออกไซด์ ทองแดงซัลไฟด์ และอื่น ๆ (ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม) สารประกอบเหล่านี้เกิดขึ้นเป็นชั้น ๆ เรียบเนียนสม่ำเสมอ ส่วนสำริดที่อยู่กลางแจ้ง อยู่ใต้ดิน หรืออยู่ใต้น้ำจะมีสนิมที่มีลักษณะและองค์ประกอบแตกต่างหลากหลาย ขึ้นอยู่สารเคมีที่มีอยู่ในสภาพแวดล้อมนั้น ๆ และขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของเนื้อสำริด ส่วนใหญ่ไม่ค่อยงดงาม ไม่เรียบเนียนสม่ำเสมอ และมักเกิดสนิมกัดกร่อนร่วมด้วย

สนิมของสำริด มีหลายสี หลายลักษณะ สนิมที่ดีมีสีเขียวอมดำ หรือน้ำตาล เรียกว่า Noble Patina สนิมอื่น ๆ ของสำริดมักมีสีเขียว เขียวอมฟ้า เขียวอมเทา ฟ้า สนิมที่เป็นอันตรายกัดทำลายเนื้อโลหะ เรียกว่าสนิมกัดกร่อน หรือ Bronze Disease โดยสนิมมีลักษณะเป็นผงสีเขียว เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างทองแดงกับอนุมูลคลอไรด์ ที่มีอยู่ในดิน ในน้ำ และในอากาศ (ชายทะเล) บางทีได้จากเหงื่อบนมือคน ได้สารประกอบทองแดงคลอไรด์ หลายชนิด เช่น แนนโตไคต์ (Nantokite) พาราทาคาไมต์ (Paratacamite) หรือ อะทาคาไมต์ (Atacamite) ในสภาวะที่มีความชื้นสูง สารประกอบทองแดงคลอไรด์จะทำปฏิกิริยากับไอน้ำในอากาศได้กรดเกลือ ซึ่งจะเข้าทำปฏิกิริยากับทองแดงได้สารประกอบของทองแดง วนเวียนเช่นนี้เรื่อยไป เนื้อสำริดจะสูญเสียทองแดงไปเรื่อย ๆ หากไม่ดำเนินการใด ๆ ในที่สุดเนื้อสำริดจะกลายเป็นกองผงสนิมสีเขียว สนิมที่มักพบบ่อยที่สุดบนสำริดได้แก่

สนิมสีน้ำตาลแดงหรือสนิมทองแดงออกไซด์เป็นสนิมที่มีชื่อทางแร่ว่าคิวไพรต์ (Cuprite) เป็นกลุ่มสนิมที่เกิดขึ้นติดกับเนื้อโลหะมีความแข็งประมาณ 3.5-4 ตาม Mohs' scale และไม่ละลายน้ำ (Medal Association of Thailand, 2020)

สนิมสีเขียวเข้มหรือสนิมทองแดงคาร์บอเนต เป็นสนิมที่มีชื่อทางแร่ว่า มาลาไคต์ (Malachite) มีชื่อทางเคมีว่าคอปเปอร์คาร์บอเนต ไฮดรอกไซด์ (Copper Carbonate Hydroxide)

สนิมสีน้ำเงิน เป็นสนิมที่มีชื่อทางแร่ว่า อะซูไรต์ (Azurite) มีชื่อทางเคมีเป็น คอปเปอร์คาร์บอเนต ไฮดรอกไซด์ เช่นกัน แต่ต่างกันที่ประจุบวกของโลหะทองแดงที่เป็นองค์ประกอบของมาลาไคต์มีประจุ +2 ในขณะที่โลหะทองแดงที่เป็นองค์ประกอบของอะซูไรต์จะมีประจุ +3 เมื่ออะซูไรต์ได้รับความชื้นมากพอจะเกิดการเปลี่ยนแปลงกลายไปเป็นมาลาไคต์ จึงไม่ค่อยพบสารประกอบอะซูไรต์บนสำริดมากนัก (Medal Association of Thailand, 2020)

สนิมสีเขียวอมฟ้าหรือสนิมทองแดงซัลเฟต เป็นสนิมที่มีชื่อทางแร่ว่า โบรแคนไทต์ (Brochantite) มีชื่อทางเคมีว่า คอปเปอร์ซัลเฟต ไฮดรอกไซด์ (Copper Sulphate Hydroxide) เป็นสนิมที่เกิดขึ้นทั่วไปบนโลหะผสมของทองแดง เมื่ออยู่ในอากาศที่มีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ปะปนอยู่ หรือในดินที่มีอนุมูลซัลเฟต โบรแคนไทต์เป็นสนิมสีเขียวอมฟ้าที่มีลักษณะแววววาวดังแก้ว และมีเสถียรภาพมากที่สุดในบรรดาสนิมที่เกิดขึ้นบนโลหะผสมของทองแดง มีความแข็ง 2.5-4 ตาม Mohs' scale (Medal Association of Thailand, 2020)

สนิมสีเทาหรือเขียวอมเทา เป็นสนิมที่มีชื่อทางแร่ว่า แนนโตไคต์ (Nantokite) ชื่อทางเคมีคือ คิวปรัสคลอไรด์ (Cuprous Chloride) เกิดขึ้นบนผิวทองแดงและโลหะผสมของทองแดงได้หลายรูปแบบ ส่วนใหญ่เกิดขึ้นติดกับผิวโลหะใต้ชั้นทองแดงออกไซด์ หากเกิดสนิมที่มีลักษณะเป็นหลุมหรือเป็นรู ชั้นของคิวปรัสคลอไรด์จะอยู่ใต้ผิวของโลหะ บางกรณีคิวปรัสคลอไรด์เกิดขึ้นเหนือชั้นทองแดงออกไซด์ โดยอยู่ระหว่างชั้นของทองแดงออกไซด์และทองแดงคาร์บอเนต เมื่อคิวปรัสคลอไรด์ได้รับความชื้นและออกซิเจน จะเปลี่ยนไปเป็นอะทาคาไมต์ ซึ่งมีลักษณะเป็นผงสีเขียว (Medal Association of Thailand, 2020)

สนิมสีเขียวอ่อน เป็นสนิมที่มีชื่อทางแร่ว่า พาราทาคาไมต์ (Paratacamite) หรืออะทาคาไมต์ (Atacamite) มีชื่อทางเคมีว่า คิวปริกคลอไรด์ ไตรไฮเดรต (Cupric Chloride Trihydrate) เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าสนิมกัดกร่อน หรือ Bronze Disease มักพบในลักษณะที่เป็นผงสีเขียวอ่อนอยู่ในหลุม หรือรูบนผิวหน้าของสนิมทองแดงคาร์บอเนต สนิมชนิดนี้เมื่อเกิดขึ้นแล้วสามารถลุกลามแพร่กระจายกัดกินเนื้อโลหะต่อไปเรื่อย ๆ หากไม่ได้รับการดูแลรักษาที่ถูกต้อง (Medal Association of Thailand, 2020)

4.2 สาเหตุจากสภาพแวดล้อม

ในบรรยากาศปกติหากอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีอากาศบริสุทธิ์ปราศจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ในระยะเวลาสั้นจะมีสนิมออกไซด์ปกคลุมผิวเป็นชั้นบาง ๆ ชั้นสนิมดังกล่าวช่วยปิดกั้นผิวโลหะไม่ให้ทำปฏิกิริยากับอากาศ สนิมทองแดงออกไซด์ที่เกิดขึ้นนี้ มีสีน้ำตาลแดงมีชื่อทางแร่ว่าคิวไพรต์ (Cuprite) เมื่อเกิดสนิมทองแดงออกไซด์มากขึ้น ชั้นของสนิมจะหนาขึ้นทำให้ผิวของโลหะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้น้อยลง ทำให้ปฏิกิริยาการเกิดสนิมทองแดงออกไซด์ช้าลง หากสภาพแวดล้อมมีความชื้นต่ำ การเกิดสนิมทองแดงออกไซด์จะหยุดลง แต่เมื่อใดที่สภาพแวดล้อมมีความชื้นสูง ความชื้นจะช่วยเร่งให้

เกิดปฏิกิริยาเป็นสนิมออกไซด์ต่อไป แต่อัตราการเกิดสนิมจะช้าลง (Medal Association of Thailand, 2020)

หากบรรยากาศมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่มากกว่า 0.04 เปอร์เซ็นต์ และในน้ำฝนมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ 0.4 ส่วนในล้านส่วน (ppm) และมีค่าความเป็นกรดปานกลาง คือมีค่าประมาณ 5.8 จะทำให้เกิดสนิมสีเขียวเข้มมาลาไคต์ (Malachite) และสนิมสีดำทีโนไรต์ (Tenorite) บนสำริด สนิมมาลาไคต์เป็นสนิมที่เสถียรมาก เมื่อเกิดขึ้นบนผิวสำริดแล้วจะช่วยปกป้องเนื้อสำริดที่อยู่ภายใต้มิให้เกิดสนิมอีกต่อไป ดังนั้นจึงควรรักษาไว้ (Medal Association of Thailand, 2020)

ในขณะที่สำริดถูกฝังอยู่ใต้ดินซึ่งมีความชื้นสูงหรืออยู่ในสภาพเปียก โลหะสามารถเกิดการเสื่อมสภาพได้จากกระบวนการเคมีไฟฟ้า (Electrochemical Process) เนื่องจากโครงสร้างของโลหะในสถานะของแข็งมีลักษณะแบบโครงสร้างผลึก (Lattice Structure) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายตารางเกิดจากหน่วยเซลล์ที่มีรูปร่างเป็นลูกบาศก์สามมิติที่เกาะกันอย่างต่อเนื่องไร้ขอบเขตมีอะตอมของโลหะเช่นโลหะทองแดงอยู่บริเวณมุมของหน่วยเซลล์ และมีอิเล็กตรอนล้อมรอบอะตอมของโลหะนั้น ๆ อิเล็กตรอนมีประจุลบจะวิ่งอยู่รอบ ๆ อะตอมของทองแดงที่เป็นประจุบวก อิเล็กตรอนเหล่านี้มีอิสระที่จะวิ่งไปมาภายในโครงสร้างของผลึกทองแดง จึงเกิดการเหนี่ยวนำไฟฟ้า เมื่อสำริดถูกฝังอยู่ใต้ดินที่มีความชื้นสูง มีออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ซัลไฟด์ และอนุมูลคลอไลด์ ทำให้โลหะสำริดอยู่ท่ามกลางสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด ด่าง และเกลือ กระบวนการเคมีไฟฟ้าจึงเกิดขึ้น (Medal Association of Thailand, 2020)

โดยจะเกิดกระแสไฟฟ้าที่ผิวบริเวณใดบริเวณหนึ่งที่เปรียบเสมือนขั้วบวกของวงจรไฟฟ้า (Anode) กระแสไฟฟ้าดังกล่าวเคลื่อนสู่ดินแล้วเคลื่อนเข้าสู่ผิวโลหะอีกบริเวณหนึ่งที่เปรียบเสมือนขั้วลบของวงจรไฟฟ้า (Cathode) ผิวโลหะบริเวณที่กระแสไฟฟ้าเคลื่อนสู่ดินจะเกิดการกัดกร่อน ส่วนผิวโลหะที่บริเวณที่กระแสไฟฟ้าเคลื่อนจากดินเข้าสู่โลหะจะไม่เกิดการกัดกร่อน สำริดที่เกิดการเสื่อมสภาพจากกระบวนการเคมีไฟฟ้ามักมีผิวขรุขระ เป็นปุ่มปม และหลุมบ่อ (Medal Association of Thailand, 2020)

4.3 ลักษณะของสนิมที่เกิดบนสำริด

โดยทั่วไปการเกิดสนิมสำริดสามารถเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะ โดยลักษณะแรกคือการเกิดสนิมที่ผิว เป็นการเกิดสนิมที่พบเห็นกันทั่วไป กล่าวคือเกิดขึ้นทั่วทั้งผิวหน้าของวัตถุ เมื่อสำริด

อยู่ในสภาพแวดล้อมที่บรรยากาศมีออกซิเจน ความชื้น คาร์บอนไดออกไซด์ หรือซัลไฟด์ จะเกิดสนิมทองแดงออกไซด์บนผิวหน้าโลหะทองแดง และอาจเกิดสนิมสีเขียวเข้มทองแดงคาร์บอเนตบนสนิมทองแดงออกไซด์ สำริดที่ถูกฝังอยู่ใต้ดินจะเกิดสนิมทองแดงออกไซด์และสนิมทองแดงคาร์บอเนตบนผิวหน้าของสำริดเช่นกัน เนื่องจากบริเวณหนึ่งขณะนั้นเป็นขั้วบวกและเกิดเป็นขั้วลบในเวลาต่อมา (Medal Association of Thailand, 2020)

ลักษณะการเกิดสนิมแบบนี้ทำให้เกิดสนิมชนิดดีที่เรียกว่าสนิมเขียว (Patina) ทั่วทั้งผิวหน้าวัตถุ เป็นสนิมชนิดที่มีผิวเรียบและชั้นของสนิมเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่ยังคงรักษารูปร่างและลายละเอียดของวัตถุไว้ ในปัจจุบันนี้คำว่า สนิมเขียวมักจะหมายถึงสนิมสีสวยซึ่งเป็นสนิมสีเขียวเข้มทองแดงคาร์บอเนต เกิดขึ้นปกคลุมผิวหน้าของวัตถุอย่างสม่ำเสมอ และดูสวยงาม และช่วยปกป้องเนื้อโลหะที่อยู่ภายใต้ สนิมชนิดนี้ไม่ควรขจัดออก (Medal Association of Thailand, 2020)

ลักษณะที่สองสนิมที่มีลักษณะเป็นหลุมหรือเป็นรู เป็นลักษณะของการเกิดสนิมเฉพาะแห่ง บริเวณที่เกิดสนิมจะเป็นจุดขนาดเล็กและเป็นหลุมลึกลงไปข้างในเนื้อวัตถุ อาจเกิดเป็นบริเวณกว้างก็ได้ หากปัจจัยต่าง ๆ เอื้ออำนวย บริเวณที่เกิดสนิมจะมีบางส่วนปูดขึ้นด้านบน แต่ในขณะเดียวกันสนิมก็จะกระจายลึกลงไปด้านล่างด้วย ลักษณะคล้ายหูด สาเหตุที่เกิดเช่นนี้เพราะสำริดที่ถูกฝังอยู่ในดินทำปฏิกิริยากับอนุมูลคลอไรด์ที่มีปะปนอยู่ในดิน อนุมูลคลอไรด์อาจมาจากปุ๋ยที่ใช้ในการเพาะปลูก หรือมาจากกิจกรรมของมนุษย์ หรือมาจากแหล่งน้ำกร่อยใต้ดินหรือจากน้ำทะเลหรือมาจากแหล่งเกลือสินเธาว์ บางส่วนของเนื้อโลหะทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน ทำให้โลหะจุดนั้นเป็นประจุบวกและเกิดวงจรไฟฟ้าขึ้น จึงทำให้เนื้อโลหะตรงจุดที่มีการให้อิเล็กตรอนเกิดการกัดกร่อนลึกลงไปข้างในเนื้อโลหะ สำริดที่จัดแสดงอยู่ใกล้ทะเล จะมีละอองของน้ำทะเลหรือน้ำฝนที่มีอนุมูลคลอไรด์มาเกาะบนผิวสำริด ทำให้เกิดสนิมกัดกร่อนชนิดนี้ได้ (Medal Association of Thailand, 2020)

สนิมของทองแดงจะปกคลุมผิวเดิมของวัตถุ และเปลี่ยนคุณสมบัติของโลหะทองแดงที่มองเห็นได้ชัดเจนคือการเปลี่ยนสีทำให้ผิวโลหะหมองคล้ำ ขาดความแข็งแรงและขาดความคงทน ทำลายรูปร่างของผิวเนื้อโลหะเดิม ทำให้โลหะเปลี่ยนแปลงไปโดยเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีระหว่างโลหะทองแดงกับอนุมูลต่างๆดังกล่าวมาแล้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าโลหะทองแดงทำปฏิกิริยากับอนุมูลคลอไรด์จะเกิดสนิมชนิดที่มีอันตรายที่เรียกกันว่า สนิมอันตรายหรือสนิมกัดกร่อนลักษณะเป็นผงหรือขุยสีเขียวอ่อน เกิดขึ้นเป็นจุดบนผิวโลหะทองแดงหรือโลหะผสมของทองแดง สนิมชนิดนี้เป็นสนิมที่อันตรายมากที่สุดต่อโลหะผสมของทองแดง เนื่องจากเมื่อ

เกิดขึ้นแล้วจะสามารถลุกลามทำลายความมั่นคงที่แข็งแรงของโลหะให้หมดไป โดยกัดทำลายเนื้อโลหะให้เปลี่ยนไปเป็นสนิม ทำให้ลักษณะทางกายภาพและสมบัติต่าง ๆ ของวัตถุเปลี่ยนไปอย่างเห็นได้ชัดเจน และสุดท้ายวัตถุทั้งชิ้นจะถูกทำลายผุพังอย่างสิ้นเชิงมิอาจจะคงรูปร่างอยู่ได้ (Medal Association of Thailand, 2020)

4.4 การอนุรักษ์เชิงป้องกัน

สำริดทำปฏิกิริยากับความชื้นและก๊าซต่าง ๆ ในอากาศแล้วเกิดเป็นสนิมชนิดต่าง ๆ ได้เร็วมาก ดังนั้นจึงควรป้องกันการเกิดสนิมดังกล่าว โดยเก็บรักษาหรือจัดแสดงในที่แห้ง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัตถุที่ได้จากการขุดค้นทางโบราณคดีหรือวัตถุสำริดที่มีสนิมกัดกร่อนเกิดขึ้นแล้วแต่ยังไม่ได้รับการอนุรักษ์ โดยทั่วไปวัตถุประเภทโลหะควรเก็บในบริเวณที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 30 เปอร์เซ็นต์ จะช่วยป้องกันการเกิดสนิมได้เป็นอย่างดีแต่เนื่องจากประเทศกัมพูชาตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น จึงเป็นการยากที่จะควบคุมระดับความชื้นให้ต่ำมากได้ วัตถุสำริดควรเก็บอยู่ในที่ที่มีความชื้นสัมพัทธ์ควรจะมีค่าต่ำกว่า 55 เปอร์เซ็นต์ และค่าที่เหมาะสมของความชื้นสัมพัทธ์ควรจะมีอยู่ในระดับ 35-55 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องใช้สารดูดความชื้นภายในตู้จัดแสดงหรือตู้ที่จัดเก็บวัตถุ สารดูดความชื้นมีหลายชนิด เช่น แคลเซียมคลอไรด์ ซิลิกาเจล สารดูดความชื้นที่หาซื้อได้ง่ายและเป็นที่นิยมใช้คือ ซิลิกาเจล (Silica Gel) (Medal Association of Thailand, 2020)

การเก็บรักษาวัตถุสำริดควรเก็บในภาชนะหรือบรรจุภัณฑ์ที่ปิดได้มิดชิดเช่น ตู้ กล่อง ถุงพลาสติก ฯลฯ เพื่อป้องกันก๊าซต่าง ๆ ที่มาสัมผัสกับวัตถุ วัตถุที่มีขนาดเล็กอาจเก็บในถุงโพลีเอทธีลีน (Polyathylene) ที่มีซิปปิดถุง ซึ่งสามารถป้องกันทั้งความชื้นและก๊าซได้พอสมควร โดยไม่ทำให้เกิดสนิมเพิ่มขึ้น หรืออาจป้องกันความชื้นและก๊าซที่จะสัมผัสกับวัตถุโดยการทาสารเคลือบผิวประเภทอะคริลิคที่มีคุณสมบัติเหมาะสม (Medal Association of Thailand, 2020)

4.5 การอนุรักษ์เชิงสงวนรักษา

สนิมกัดกร่อนของสำริดจะถูกทำลายไปหมดโดยการใช้วิธีทางเคมีหรือทางไฟฟ้า วิธีนี้จะทำให้ลักษณะภายนอกของวัตถุเปลี่ยนไปเห็นได้ชัด โดยคลอไรด์จะถูกทำลายไปหมด และวัตถุสำริดนั้นก็จะไม่เกิดสนิมกัดกร่อนต่อไปอีก (ทิพย์เนตร พยุง, 1975)

โดยวิธีแรกเป็นวิธีทางเคมีใช้ Alkaline Rochelle Salt, Alkaline Glycerol กับกรดกำมะถันอย่างเจือจาง นอกจากนี้ยังใช้วิธีไฟฟ้าเคมีเพื่อกำจัดสนิมกัดกร่อนโดยการใช้สังกะสีกับด่าง

โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide) วิธีที่ใช้ไฟฟ้ากำจัดสนิมทำได้โดยใช้ด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโซเดียมคาร์บอเนต (Sodium Carbonate) เป็นตัวนำไฟฟ้าใช้วัตถุเป็นขั้วลบผ่านกระแสไฟตรงจากแบตเตอรี่ 10 แอมแปร์ (10 amperes) ต่อตารางเดซิเมตร วัตถุนี้หลังจากผ่านกระแสไฟฟ้าแล้วจะต้องปฏิบัติการต่อไปอีกหลายขั้น และในบางกรณีต้องเอาคลอไรด์ออกหรือแปรงออก การใช้วิธีนี้สนิมสีเขียวจะถูกทำลายไปหมด (ทิพย์เนตร พยุง, 1975)

ส่วนวิธีที่สองการกำจัดคลอไรด์โดยใช้โซเดียมเซสควิคาร์บอเนต (Sodium Sesquicarbonate) แต่วิธีนี้เสียเวลามาก และสีสนิมของสำริดที่ผิวก็จะเปลี่ยนไปด้วย การรักษาโดยวิธีนี้จะต้องแช่วัตถุลงในน้ำยาของโซเดียมเซสควิคาร์บอเนต (Sodium Sesquicarbonate) เป็นเวลานาน โดยใช้เวลาในการแช่ประมาณสามเดือนถึงหนึ่งปีหรือนานกว่านั้น และระหว่างที่ใช้โซเดียมเซสควิคาร์บอเนต (Sodium Sesquicarbonate) ภายหลังการรักษาโดยวิธีนี้สนิมสีเขียวจะเปลี่ยนไปเป็นสีเขียวแกมน้ำเงิน (ทิพย์เนตร พยุง, 1975)

วิธีที่สามสนิมกัดกร่อนของสำริดที่เป็นจุดบนวัตถุรักษาได้โดยการใช้ซิลเวอร์ออกไซด์ (Silver Oxide) วิธีนี้สีสนิมจะไม่เปลี่ยนแปลงเลย เป็นวิธีที่ใช้ได้ผลดีกับวัตถุบางอย่าง สนิมกัดกร่อนที่เห็นเป็นจุดนั้นจะต้องเจาะลงไปแล้วเติมซิลเวอร์ออกไซด์ (Silver Oxide) ที่ผสมกับเอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl Alcohol) ลงไป (ทิพย์เนตร พยุง, 1975)

ซิลเวอร์ออกไซด์ (Silver Oxide) จะทำปฏิกิริยากับคลอไรด์ในสนิมกัดกร่อนกลายเป็นซิลเวอร์คลอไรด์ (Silver Chloride) เมื่อวัตถุสำริดนั้นถูกกับอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงจะเกิดซิลเวอร์คลอไรด์ (Silver Chloride) เป็นชั้นที่น้ำซึมผ่านไม่ได้ตรงด้านล่างของรูที่เจาะเอาสนิมกัดกร่อนออกเป็นการป้องกันมิให้ไอน้ำซึมเข้าไปได้ ดังนั้นจึงทำให้สำริดไม่เกิดสนิมกัดกร่อนอีก (ทิพย์เนตร พยุง, 1975)

วิธีที่สี่โดยการใช้เบนโซไตรอาโซล (Benzotriazole) ซึ่งจะไปหยุดยั้งการเคลื่อนที่ของคลอไรด์และทองแดงในสนิมกัดกร่อน และทำให้วัตถุคงสภาพถาวรไม่เกิดการกัดกร่อน เบนโซไตรอาโซล (Benzotriazole) เป็นสารประกอบที่มีปฏิกิริยาแรงมากกับทองแดงและจะกันไม่ให้คลอไรด์ไปมีปฏิกิริยากับทองแดงได้ต่อไป วิธีนี้ทำได้โดยการแช่วัตถุในน้ำยาของเบนโซไตรอาโซล (Benzotriazole) ชั่วครู่หนึ่งแล้วนำเอาวัตถุออกจากน้ำยานั้น ปล่อยให้แห้งต่อมาเอาเบนโซไตรอาโซล (Benzotriazole) ที่เกาะอยู่บนผิววัตถุออกด้วยน้ำยาเคมี วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายและเร็ว และไม่เปลี่ยนสีของสนิม เป็นวิธีที่เลือกใช้ในโครงการการสงวนรักษาศิลปะโบราณวัตถุสำริดนี้ การแช่

วัตถุลงในน้ำยาของเบนโซไตรอาโซล (Benzotriazole) จำนวน 3 เปอร์เซ็นต์ ในสุญญากาศประมาณหนึ่งชั่วโมงหรือตามที่ต้องการ (ทิพย์เนตร พยุง, 1975)

หลังจากการใช้เบนโซไตรอาโซล (Benzotriazole) หรือวิธีที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ควรจะป้องกันวัตถุนั้นไว้โดยการเคลือบด้วยน้ำยาเคลือบเพื่อป้องกัน การถูกกับสิ่งแวดล้อมที่อาจจะทำให้เกิดการชำรุดได้อีก น้ำยาเคลือบที่ใช้คือสารประกอบไนโตรเซลลูโลส (Nitrocellulose) ผสมเบนโซไตรอาโซล (Benzotriazole) เล็กน้อย (ชื่อทางการค้าคืออินคราแลค - Incralac) (ทิพย์เนตร พยุง, 1975)

5 แนวทางและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทางด้านการอนุรักษ์

นักวิจัยชาวฝรั่งเศสชื่อว่า เดวิด บูร์การิธ (David Bourgarit) ได้ศึกษาเรื่อง A Millennium of Khmer Bronze Metallurgy : Analytical Studies of Bronze Artifacts from the Musee Guimet and the Phnom Penh National Museum การศึกษาเกี่ยวกับศิลปวัตถุสำริดจำนวน 75 ชิ้น โดยศิลปวัตถุนี้สร้างขึ้นในยุคก่อนพระนคร ยุคพระนคร และยุคหลังพระนคร ถูกนำมาทำการทดลองทางวิทยาศาสตร์เช่นการวิเคราะห์โดยการถ่ายภาพรังสี (Radiographic Procedure) เพื่อศึกษากระบวนการหล่อ การวิเคราะห์โลหะก้อนโดยการใช้ธาตุเคมีทดลองบนศิลปวัตถุสำริดโดยการใช้ Direct current plasma spectrometer (DCP-AES) และ Inductively couple plasma atomic emission spectrometer (ICP-AES) และการวิเคราะห์พื้นผิวของวัตถุสำริดด้วยการใช้เครื่อง XRF จากการศึกษาได้พบว่าเทคนิคในการหล่อและการเทลงในแม่พิมพ์มีระดับสูงโดยไม่มีข้อเสีย และผลวิเคราะห์จากธาตุเคมีแสดงให้เห็นว่าโลหะผสมที่มีอยู่ในศิลปวัตถุสำริดมีสังกะสี ดีบุก และตะกั่วจำนวนมาก ส่วนพื้นผิวของประติมากรรมกำหนดได้ว่ามีหลายสี โดยสังเกตตรงใบหน้าของประติมากรรมมีการทาสีทอง และสีเงินตรงบริเวณร่างกายของประติมากรรม การสร้างสรรค์ที่มีทักษะสูงเหล่านี้ดูเหมือนจะใช้กระบวนการที่เป็นนวัตกรรมใหม่เช่นการผสมทองแดงกับเงินและบางทีอาจจะมีการใช้ดีบุกสำหรับเคลือบผิวเพื่อให้ได้สีบนพื้นผิวเป็นพิเศษของศิลปวัตถุ ตามปกติการออกแบบกับงานปฏิบัติรูปปั้นได้ดำเนินการด้วยความระมัดระวัง (Bourgarit, Mille, Borel, Baptiste, & Zéphir, 2003)

6 กรอบแนวคิดการวิจัย

งานวิจัย “การเสื่อมสภาพ และวิธีการป้องกันศิลปวัตถุสำริด: กรณีศึกษาศิลปวัตถุสำริดที่อยู่ในห้องจัดเก็บใต้ดินในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติของประเทศกัมพูชา” เป็นการศึกษารวบรวมข้อมูลจากการเสื่อมสภาพด้วยสาเหตุต่าง ๆ จากแหล่งการจัดเก็บรักษาศิลปวัตถุสำริดเพื่อทดสอบสมมติฐานขึ้น ซึ่งวิธีการดำเนินการเก็บข้อมูลเพื่อการวิจัยนี้มีทั้งการศึกษาจากหนังสือ การศึกษาจากข้อมูลออนไลน์ และการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญด้านการอนุรักษ์ศิลปวัตถุสำริดที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ ประเทศกัมพูชา

จากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้นทำให้ผู้วิจัยได้ศึกษาแนวทางการอนุรักษ์ศิลปวัตถุสำริด เพื่อวิเคราะห์สาเหตุที่แท้จริงที่ทำให้เกิดโรคสำริด และเสนอแนะวิธีการอนุรักษ์ที่ถูกต้องตามหลักการของการอนุรักษ์ตามมาตรฐานสากล ศึกษาสภาพแวดล้อมในการจัดเก็บและการจัดแสดงศิลปวัตถุสำริด และผลการทดสอบงานวิจัยอื่น ๆ เพื่อนำมาปรับใช้ และสร้างกรอบแนวคิดในการศึกษาเพื่อให้เกิดเป็นประโยชน์สำหรับแก้ปัญหาโรคสำริด

เพื่อศึกษากระบวนการ การเสื่อมสภาพศิลปวัตถุสำริดที่มีสนิมกัดกร่อนบนพื้นผิว โดยกำหนดขอบเขตการศึกษา 4 ขั้นตอนคือ

1. การรวบรวมข้อมูล ประวัติศาสตร์ศิลปวัตถุสำริดที่ขุดพบและจัดแสดงในพิพิธภัณฑแห่งชาติของประเทศกัมพูชา
2. การบันทึกและประเมินสภาพศิลปวัตถุสำริดเบื้องต้น และการสำรวจสภาพแวดล้อมในห้องจัดเก็บศิลปวัตถุสำริด
3. การเก็บบันทึกข้อมูล อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในบริเวณพื้นที่จัดเก็บศิลปวัตถุ
4. การกำหนดวิธีการป้องกัน ยับยั้งการเสื่อมสภาพจากสาเหตุของการเกิดสนิมกัดกร่อนบนพื้นผิวของศิลปวัตถุสำริด โดยประกอบ 2 ส่วนคือ

    4.1 การนำสนิมประเภทกัดกร่อนพื้นผิวออกจากศิลปวัตถุสำริดและการป้องกัน

    4.2 การกำหนดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ด้วยวิธีการปรับปรุงส่วนประกอบของห้องหรือวิธีการจัดเก็บศิลปวัตถุสำริด

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยเล่มนี้ได้ศึกษาปัญหาการเสื่อมสภาพของศิลปวัตถุสำริดที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ โดยการศึกษาจากกรณีตัวอย่างศิลปวัตถุสำริดที่เก็บรักษาในห้องใต้ดินที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ ประเทศกัมพูชา เพื่อหาแนวทางในการอนุรักษ์ ซึ่งผู้วิจัยได้มีการศึกษาทางด้านเอกสารที่เกี่ยวข้องได้แก่ ความรู้เรื่องศิลปวัตถุสำริดของประเทศกัมพูชา สาเหตุที่ทำให้เกิดสนิมกัดกร่อนบนศิลปวัตถุสำริด องค์ประกอบของสำริด การอนุรักษ์ และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสอดคล้องกับการศึกษากรณีศึกษาครั้งนี้ โดยดำเนินการรวบรวมข้อมูลที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ นอกจากนั้นศึกษาแหล่งข้อมูลทางด้านเอกสารและตำราต่าง ๆ บันทึกข้อมูลเบื้องต้น ประมวลข้อมูลทั้งหมดที่ได้รับมาและประเมินข้อมูลที่จะนำมาใช้ เพื่อทราบถึงปัญหาและแนวทางการแก้ปัญหา โดยผู้วิจัยได้กำหนดระเบียบวิธีการดำเนินการวิจัยดังนี้

1 การศึกษา และรวบรวมข้อมูลศิลปวัตถุสำริด

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ

1.1 จากหนังสือ บทความวิชาการ และบทความวิจัย

1.1.1 สำนักหอสมุดกลางมหาวิทยาลัยศิลปากร

1.1.2 เอกสารวิจัยด้านการอนุรักษ์ที่อยู่ในความครอบครองของนักอนุรักษ์

1.1.3 แหล่งข้อมูลออนไลน์

1.2 จากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญด้านโลหะสำริด

คุณ วุน เนือน (Mr. Von Noeun) รองหัวหน้าสำนักงานอนุรักษ์ที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ ประเทศกัมพูชา ที่มีหน้าที่ดูแลและการซ่อมศิลปวัตถุโลหะที่สำนักงานอนุรักษ์ในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ

ตารางที่ 3 การสรุปคำสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติในกัมพูชา

คำถามที่เกี่ยวกับศิลปวัตถุสำริด	ข้อมูลจากการสัมภาษณ์
1 การฝึกอบรมบุคลากรในพิพิธภัณฑ์	- มีพนักงานจำนวน 5 คนที่ได้รับการอบรมของโครงการการอนุรักษ์ศิลปวัตถุสำริดจากสหรัฐอเมริกาทั้งทฤษฎีและการ

	ปฏิบัติ (จำนวน 9 เดือน)
2 การตรวจสอบสภาพสำริดที่มีในห้องจัดแสดงและห้องจัดเก็บ	- ตรวจสอบสภาพสำริดทุก ๆ สามเดือน เพื่อทำรายงาน หากวัตถุมีฝุ่นติดมากหรือเกิดสนิม เจ้าหน้าที่ต้องทำแบบฟอร์มเสนอวัตถุมาทำความสะอาดหรือรักษา
3 ปัญหาที่พบในห้องจัดเก็บ	- มีความชื้นสูง การระบายอากาศมีจำนวนน้อย - มักพบปัญหาน้ำท่วมในฤดูฝนหรือในช่วงที่มีฝนตกหนัก - ตู้สำหรับวางศิลปวัตถุทำจากไม้อัดเบาะด้วยแผ่นอลูมิเนียม
4 วิธีการอนุรักษ์ศิลปวัตถุสำริด	- ทำความสะอาดสำหรับศิลปวัตถุที่มีฝุ่นเกาะบนผิวตามหลักการเชิงป้องกัน - การเอาสนิมบนศิลปวัตถุสำริดออกด้วยใช้สารเคมีเช่น Ethanol หรือ Acetone และล้างด้วยน้ำกลั่น (Distill Water) - การรักษาโรคสำริดด้วยใช้สารเคมีชื่อ Silver Oxide ตรงบริเวณที่มีสนิมเกิดขึ้นเล็กน้อย - ส่วน Benzotriazole (BTA) ใช้สำหรับรักษาโรคสำริดที่มีจำนวนมากหรือเกิดทั่วพื้นผิวของสำริด โดยการผสม BTA กับน้ำสำหรับแช่วัตถุ หรือเอาสำลีจุ่มในน้ำที่มีสาร BTA และแปะตรงบริเวณที่เกิดสนิม (เฉพาะศิลปวัตถุสำริดที่มีขนาดใหญ่) หลังจากวางให้แห้งวัตถุถูกเช็ดด้วย Ethanol หรือ Acetone
5 การรักษารอยแตกบนศิลปวัตถุสำริด	- ใช้กาว Paraloid B-72 (Acryloid) จำนวน 3% หรือมากกว่านี้ตามขนาดของศิลปวัตถุละลายในอะซิโตน หากรอยแตกที่ติดกาวไม่เสถียรจะมีการใช้ Fiberglass จุ่มในสาร Acryloid แล้วติดตรงบริเวณที่มีรอยแตก - ใช้แป้ง Micro balloons ผสมกับ Acryloid เพื่อปกปิดรอยกาว และเลือกใช้ Acrylic Paint หากต้องการให้สีผิวเหมือนกัน

1.3 การรวบรวมข้อมูลศิลปวัตถุสำริดอื่น ๆ ที่สร้างขึ้นในยุคเดียวกัน

ศึกษาจากกรณีตัวอย่างศิลปวัตถุสำริดที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ โดยศึกษาวัตถุที่เป็นสถาปัตยกรรมตกแต่งของประสาทนครวัดโดยมีความยาว 32 เซนติเมตร ความกว้าง 7.5 เซนติเมตร และความลึก 7 เซนติเมตร ที่กำลังเสื่อมสภาพ

ภาพที่ 10 รูปส่วนด้านหน้าของโบราณวัตถุ
ที่มา ภาพจากเจ้าหน้าที่ที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ

ภาพที่ 11 รูปส่วนด้านหลังของโบราณวัตถุ
ที่มา ภาพจากเจ้าหน้าที่ที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ

ภาพที่ 12 รอยซ่อมที่มีกาวติดอยู่
ที่มา ภาพจากเจ้าหน้าที่ที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ

ภาพที่ 13 รายละเอียดไม้รองรับด้านหลังของวัตถุ
ที่มา ภาพจากเจ้าหน้าที่ที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ

2 ระเบียบวิธีวิจัย (Research Methodology)

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลโดย

วิธีที่ 1 การตรวจประเมินสภาพของศิลปวัตถุสำริด

1. ลักษณะรูปทรง และขนาด

2. โครงสร้างที่มีไม้เป็นส่วนประกอบเพื่อเสริมความแข็งแรง

3. ลักษณะของเนื้อสำริด ประเมินด้วยกล้องขยายขนาด 40X

4. การแยกแยะสนิม ชนิดของสนิมที่พื้นผิวโลหะ ประกอบด้วยหลายชนิดรวมกันอยู่

- สนิมสีน้ำตาลแดงหรือสนิมทองแดงออกไซด์

- สนิมสีเขียวเข้มหรือสนิมทองแดงคาร์บอเนต

- สนิมสีน้ำเงิน

- สนิมสีเขียวอมฟ้าหรือสนิมทองแดงซัลเฟต

- สนิมสีเทาหรือสนิมสีเขียวอมเทา

- สนิมสีเขียวอ่อน

5. การตรวจสภาพของศิลปวัตถุสำริดและบันทึกข้อมูล

การตรวจสอบสภาพของศิลปวัตถุสำริดที่เป็นสถาปัตยกรรมตกแต่งของปราสาทนครวัด โดยผู้วิจัยจัดเตรียมสถานที่และอุปกรณ์ในการทำความสะอาดและอุปกรณ์ในการเคลื่อนย้าย มีรถเข็นและกล่องที่ปูด้วยวัสดุนุ่ม ๆ ผู้วิจัยต้องใส่ถุงมือก่อนที่จะเคลื่อนย้ายหรือจับศิลปวัตถุมาวางบนโต๊ะปูด้วยพลาสติกหรือเศษผ้านุ่ม ๆ เพื่อรองรับชิ้นงาน จากนั้นเริ่มการตรวจสอบสภาพของศิลปวัตถุสำริดด้วยเริ่มจากรายละเอียดชื่อของศิลปวัตถุ สถานที่และเวลาในการสร้างขึ้น ขนาด และบันทึกความเสียหายทั้งหมด เช่นบริเวณที่มีการกัดกร่อนและสนิม การถ่ายภาพและบันทึกข้อมูล พร้อมทั้งบันทึกตำแหน่งของความเสียหาย โดยการร่างลงบนกระดาษใบรายงานการตรวจสภาพผลงาน ซึ่งผู้วิจัยได้จัดทำแบบฟอร์มการตรวจสภาพผลงานขึ้นมาใหม่ด้วยตนเองโดยได้อ้างอิงมาจากแบบฟอร์มการตรวจสภาพผลงานจาก National Services Te Paerangi Template Museum of New Zealand Te Papa Tongarewa

ตารางที่ 4 ตารางรายงานข้อมูล (National Service Te Paerangi, 2010)

Condition Reporting Form		
Museum name: National Museum of Cambodia		
Object name/title: Fragment of Temple		
Accession number: Ga 5629	**Receipt №:**	**Number of pieces:** 1
Storage/Display location: in basement storage		
Dimensions (mm) **Length:** 32cm	**Width:** 7.5cm	**Diameter:** 7cm
Exhibition:		
Artist/maker:		
Year of product: (Angkor Era)		
Physical description (color, shape, feature, decoration): Fragment of Temple architectural decoration. Mounted upright on the small wooden base. Overall light brown color and some areas of dark brown color below.		
Inscriptions/labels and location on object: Ga 5629, Phnom Penh, at national museum of Cambodia		
General condition: ☐ Appears stable ☑ Active deterioration noted ☐ Damage notes ☐ Fragile/weak		
Materials/process: Copper alloy		
Previous repairs (non-conservation): Old repair is unstable and discolored. Object is attached to support with unidentified brown adhesive.		
Artifacts Condition: Object broken into two parts from the past, and had several cracks and one large crack on the top. The old repair is unstable and discolored. The object is attached with unidentified brown adhesive. Action corrosion on the back side, light dirt on surface, and small traces of gilding concentrated at the top of object.		

Summary of condition/recommendations:

1. Dirty on surface
2. Active corrosion
3. Unstable and discolored

Recommended storage:
Storage room should have temperature at 22-24˚C with humidity 50%.

Display Conditions:

Photography No and Location: [ ] □ Digital image □ Print

Examined in:
☐ Workroom ☑ Exhibition ☑ Storage ☐ Other

Condition notes/drawing:

1. Dust on artifact surface
2. Discolored of adhesive
3. Unstable mount
4. Active corrosion

Examined by:
Date:

Conservation treatment proposal:

1. Remove overall dirt, preserve gilding
2. Redo at the old repair, improve mount
3. Stabilize active corrosion
4. Apply wax coating

Proposal by:
Date:

Recommendations:

Keep in cabinet and put in plastic bag (if it can). Storage with temperature at 22-24˚C and humidity 50%.

Name: Chanveasna CHHOURN

Date: 3/Feb/2021

6. ผลการตรวจสภาพแวดล้อมในห้องเก็บรักษาศิลปวัตถุสำริด

การสำรวจพื้นที่เก็บรักษาศิลปวัตถุสำริด เพื่อศึกษาอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ที่มีความเสี่ยงต่อศิลปวัตถุสำริดที่เก็บไว้ในห้อง พร้อมทั้งตู้ที่ใช้ในการวางศิลปวัตถุสำริด โดยมีการใช้อุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

ภาพที่ 14 หน้าต่างอยู่ทิศตะวันออกในห้องใต้ดิน
ที่มา ภาพจากเจ้าหน้าที่ที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ

ภาพที่ 15 หน้าต่างอยู่ทิศเหนือในห้องใต้ดิน
ที่มา ภาพจากเจ้าหน้าที่ที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ

ภาพที่ 16 ท่อน้ำในห้องใต้ดิน
ที่มา ภาพจากเจ้าหน้าที่ที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ

ภาพที่ 17 ตู้ใช้สำหรับเก็บศิลปวัตถุในห้องใต้ดิน
ที่มา ภาพจากเจ้าหน้าที่ที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ

ภาพที่ 18 ตู้ใช้สำหรับเก็บศิลปวัตถุในห้องใต้ดิน
ที่มา ภาพจากเจ้าหน้าที่ที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ

สรุปสภาพแวดล้อมในห้องจัดเก็บใต้ดินที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ ผู้วิจัยเห็นว่าสภาพห้องมีความแออัดจึงทำให้การระบายอากาศมีจำนวนน้อยไม่เพียงพอ ในห้องมีท่อระบายน้ำจำนวนหนึ่งที่ทำหน้าที่สำหรับปล่อยน้ำ ส่วนหน้าต่างมีจำนวนสี่ที่อยู่ติดกับเพดานพร้อมกับพัดสำหรับระบายอากาศ แต่ในห้องไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งเป็นปัญหาที่ทำให้ศิลปวัตถุสำริดเกิดสนิมขึ้นเพราะไม่ทราบค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในห้องจัดเก็บ

อุปกรณ์สำหรับบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ

ผู้วิจัยเลือกใช้อุปกรณ์บันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แบบต่อเนื่อง (data logger) คืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (รูปที่ 19) เครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ยี่ห้อ Uni-T model UT330TH เลือกตั้งความถี่ในการบันทึกข้อมูลทุก 24 ชั่วโมง โอนถ่ายข้อมูลการบันทึกผ่านสาย USB โดยแสดงผลผ่านโปรแกรม “Data Analysis Software” แสดงข้อมูลในรูปแบบกราฟ สามารถตรวจสอบค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ได้อย่างละเอียดในช่วงที่บันทึกด้วยโปรแกรม Microsoft excel

ภาพที่ 19 อุปกรณ์บันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แบบต่อเนื่อง (Data Logger)
ที่มา: Data Logger Uni-T UT330TH, เข้าถึงมือ 8 สิงหาคม 2564, ได้จาก https://uni-trend.en.made-in-china.com/product/eZlfoLKXkTWC/China-Uni-T-Ut3 3 0 th-USB-Temperature-Humidity-Datalogger-High-Precision-Recorder-for-Medicine-Ferishable-and-Food-Transportation.html

วิธีที่2 การศึกษาและบันทึกผลการสำรวจสภาพภูมิอากาศ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ในห้องจัดเก็บ

การศึกษาสภาพแวดล้อมห้องจัดเก็บศิลปวัตถุสำริดในห้องใต้ดินของพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญด้วยการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อทราบถึงค่าอุณหภูมิและความชื้น

2.1 การบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เพื่อการทดลองกระบวนการเกิดสนิมบนพื้นผิวโลหะสำริด

วิธีการศึกษากระบวนการเกิดสนิม และการกัดกร่อนบนพื้นผิวโลหะสำริดโดยวิธีการทดลองสร้างชิ้นงานสำริด มีขนาดเท่าต้นแบบที่จัดเก็บในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ มีความยาว 32 เซนติเมตร กว้าง 7.5 เซนติเมตรและลึก 7 เซนติเมตร รวมทั้งมีองค์ประกอบของโลหะคล้ายกันกับศิลปวัตถุสำริดที่สร้างขึ้นในศตวรรษที่ 10 – 11 ในค.ศ. โดยมีส่วยผสมของทองแดง 90 เปอร์เซ็นต์, ดีบุก 2 เปอร์เซ็นต์, ตะกั่ว 5 เปอร์เซ็นต์, และสังกะสี 3 เปอร์เซ็นต์ พร้อมทั้งสร้างกล่องทดลอง (Moist Chamber) ขนาดความยาว 100 เซนติเมตร กว้าง 100 เซนติเมตร และความสูง 80 เซนติเมตร โดยกำหนดเวลาในการทดลองจำนวน 9 เดือน ด้วยการกำหนดค่าอุณหภูมิและความชื้นที่สอดคล้องตามค่าเฉลี่ยสภาพอากาศที่ได้บันทึกในเมืองพนมเปญ ปี 2020 จากเว็บไซท์ https://www.timeanddate.com/weather/@1830103/historic

ตารางที่ 5 ตารางบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในห้องจัดเก็บศิลปวัตถุสำริดที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติของประเทศกัมพูชา

ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในห้องจัดเก็บพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ		
ระยะเวลา (วัน/เดือน/ปี)	**อุณหภูมิ**	**ความชื้นสัมพัทธ์**
1-30/09/2564	29 °C	79%
1-31/10/2564	28 °C	82%
1-30/11/2564	28 °C	71%
1-31/12/2564	28 °C	66%
1-31/01/2565	26 °C	61%
1-28/02/2565	28 °C	65%
1-31/03/2565	30 °C	62%
1-30/04/2565	30 °C	71%

จากตารางการบันทึกข้อมูลค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เพื่อจะเป็นต้นแบบสำหรับการกำหนดในกล่องทดลอง (Moist Chamber) โดยจะแสดงผลวิเคราะห์ในบทถัดไป

วิธีที่3 การศึกษาแนวทางการป้องกันศิลปวัตถุสำริด

การศึกษาแนวทางการป้องกันศิลปวัตถุสำริด ผู้วิจัยใช้วิธีการทดลองการล้างสนิมออกจากวัตถุต้นแบบ (ศิลปวัตถุสำริด) ที่มีโครงสร้างคล้ายกับศิลปวัตถุสำริดที่เป็นของจริง โดยการทดลองผู้วิจัยเลือกใช้วิธีที่ 3 และวิธีที่ 4 ที่ได้เขียนในบทที่ 2 ด้วยมี Silver Oxide และ Benzotriazole (BTA) เพื่อเอามาล้างสนิม และเพื่อทราบถึงผลหลังการทดลอง พร้อมทั้งหาวิธีป้องกันวัตถุเพื่อมิให้สัมผัสกับอากาศที่มีความชื้นสูง

3.1 วิเคราะห์เทคนิคที่เจ้าหน้าที่ที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติได้ทำการอนุรักษ์ศิลปวัตถุสำริด

จากการศึกษาข้อมูลรายงายที่ได้จากเจ้าหน้าที่ที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ ผู้วิจัยมีความคิดเห็นว่า โบราณวัตถุชิ้นนี้ได้รับการอนุรักษ์มาแล้วจากนักอนุรักษ์ชาวฝรั่งเศส โดยเวลาผ่านมานานรวมทั้งสภาพอากาศเปลี่ยนแปลงจึงทำให้โบราณวัตถุเสื่อมสภาพและต้องได้รับการดูแลทันที ศิลปวัตถุชิ้นนี้ได้แตกออกเป็นสองชิ้นตั้งแต่ค้นพบ และเชื่อมต่อด้วยกาวที่ไม่ระบุชื่อ การรักษาสมัยก่อนทำให้วัตถุเปลี่ยนสีและ ไม่มีความมั่นคง วัตถุติดอยู่กับฐานที่เป็นไม้พยุงตั้งด้วยกาวสีน้ำตาลที่ไม่ระบุชื่อ พร้อมทั้งมีรอยแตกหลายจุดและมีรอยแตกขนาดใหญ่ที่ด้านบน แต่โบราณวัตถุยังมีความเสถียร วัตถุมีลักษณะการกัดกร่อนในพื้นที่หนึ่งตรงด้านหลังของวัตถุ และมีรอยการซ่อมแซมขนาดใหญ่บนพื้นผิวแน่นด้วยคอปเปอร์ออกไซด์ที่มองเห็นได้ พร้อมทั้งมีฝุ่นเล็กน้อยบนพื้นผิว และมีร่องรอยการปิดทองขนาดเล็กที่กระจุกตัวอยู่ที่ด้านบนของวัตถุ

โดยการทำความสะอาดฝุ่น และทำการเอากาวออกพร้อมทั้งเปลี่ยนไม้พยุงตั้งเพื่อรักษาความมั่นคง จากนั้นทำการรักษาการกัดกร่อนและทาแว็กซ์เพื่อป้องกันพื้นผิวสำริดไม่ให้สัมผัสกับความชื้นและก๊าซต่าง ๆ ที่มีในอากาศ

จากข้อมูลที่ได้มาจากการสัมภาษณ์ จึงทำให้ผู้วิจัยได้ศึกษาหาแนวทางในการป้องกันศิลปวัตถุสำริด พร้อมการศึกษาสภาพอากาศในห้องจัดเก็บศิลปวัตถุที่เป็นสาเหตุนำให้เกิดสนิม และนำผลที่ได้จากการศึกษามาวิเคราะห์ โดยหาวิธีควบคุมอุณหภูมิและความชื้นและเสนอแนะวิธีการจัดเก็บและจัดแสดงศิลปวัตถุสำริด กรณีศึกษาศิลปะวัตถุสำริดที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ

ของประเทศกัมพูชา เพื่อนำไปสู่ผลการจำแนกความเป็นไปได้จากสาเหตุที่แท้จริงที่ทำให้ศิลปวัตถุสำริดมีปัญหาการกัดกร่อนหรือขึ้นสนิม แล้วนำมาสรุปนำเสนอในรูปแบบเรียงความต่อไป

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์ สรุปข้อมูล และการตรวจสอบสภาพศิลปวัตถุที่เป็นชิ้นส่วนประกอบสถาปัตยกรรมปราสาท

ข้อมูล (Documentation)	**การตรวจ และประเมินสภาพ**
- ศิลปวัตถุอยู่ในยุคสมัยพระนคร ช่วงศตวรรษที่ 10-11 ในค.ศ - ซึ่งสามารถสันนิษฐานได้ว่ามีชนิดโลหะที่เป็นส่วนประกอบด้วย : 1. ทองแดง 90% 2. ดีบุก 1-2% 3. ตะกั่ว 5% 4. สังกะสี 3%	- การปรากฏ: ศิลปวัตถุแตกเป็นสองชิ้นและถูกเชื่อมต่อโดยกาวที่ไม่ได้ระบุชื่อ - เงื่อนไข: เป็นศิลปวัตถุที่เคยผ่านการซ่อมโดยรอยเก่าไม่เสถียรและเปลี่ยนสีตรงบริเวณติดกาว - Action Corrosion: Unstable - ลักษณะของสนิมกัดกร่อน: เป็นสนิมสีเขียวอ่อน ที่มีคุณสมบัติเป็นแท่งทรงกลมเรียว

การศึกษาจากการทำรายงานสภาพและการอนุรักษ์ศิลปวัตถุสำริดของเจ้าหน้าที่ที่พิพิธภัณฑ์ พร้อมทั้งการสัมภาษณ์รองหัวหน้าสำนักงานการอนุรักษ์ที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญเพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ศิลปวัตถุสำริด โดยผู้วิจัยพบว่าการอนุรักษ์ศิลปวัตถุสำริดที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญยังใช้วิธีเดิม และไม่มีการใช้วิธีใหม่ที่ค้นพบได้ในปัจจุบัน

3.2 การวางแผนการปฏิบัติงานและวิธีการอนุรักษ์ จากการบันทึกคำแนะนำและข้อเสนอแนะสำหรับการจัดเก็บ

ผู้วิจัยได้ศึกษาการศึกษาที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับศิลปวัตถุสำริด โดยศึกษาวิธีการอนุรักษ์และวิธีการการจัดเก็บที่ถูกต้องตามหลักการที่ไม่มีผลเสี่ยงต่อศิลปวัตถุสำริดที่ถูกจัดเก็บและจัดแสดงในพิพิธภัณฑ์

วิธีที่ 4 การทดลองกระบวนการเกิดสนิมบนพื้นผิวโลหะสำริดด้วยวิธีการให้ความชื้นสัมพัทธ์ในกล่องทดลอง (Moist Chamber)

1.1 การกำหนดความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 60 – 70 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 61 วัน

1.2 การกำหนดความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 70 – 80 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 120 วัน

1.3 การกำหนดความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 80 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไป เป็นระยะเวลา 92 วัน

สรุปผล: 1 สภาพ และลักษณะของสนิมที่เกิด (ความชื้น 60 – 70 เปอร์เซ็นต์)

2 สภาพ และลักษณะของสนิมที่เกิด (ความชื้น 70 – 80 เปอร์เซ็นต์)

3 สภาพ และลักษณะของสนิมที่เกิด (ความชื้น 80 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไป)

3 ขั้นตอนวิธีการอนุรักษ์โลหะสำริด

3.1 การตรวจและการประเมินสภาพ

ก่อนจับศิลปวัตถุที่เป็นโลหะผสม ผู้วิจัยควรใส่ถุงมือผ้าฝ้ายเนื้อนุ่มหรือถุงมือสะอาด (พลาสติก) หรือเอาเศษผ้ามาใช้เพื่อหลีกเลี่ยงมิให้ศิลปวัตถุมีลายนิ้ว เพราะเกลือและน้ำมันจากผิวหนังของคนสามารถกัดกร่อนโลหะที่ไม่เคลือบผิวได้ และอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อไปอนาคตได้ ลายนิ้วมือบนทองแดงที่ไม่ได้เคลือบมักจะมองเห็นเป็นรอยคล้ำทำให้ไม่สวย อนึ่งการยกวัตถุจากจุดศูนย์ถ่วง ผู้วิจัยควรหลีกเลี่ยงการยกศิลปวัตถุด้วยการจับขอบภาชนะ แขน หูจับ พวยกา หรือบริเวณอื่น ๆ มิฉะนั้นโลหะอาจมีการเพิ่มจุดอ่อนที่มองไม่เห็น และอาจจะบิดหรือหักได้โดยไม่คาดคิดและวางบนโต๊ะที่ปูด้วยกระดาษไทเวค (Tyvek) จากนั้นผู้วิจัยเริ่มทำการบันทึกบริเวณที่มีความชำรุดพร้อมกับการถ่ายรูปบันทึกไว้เพื่อเป็นการรายงานการเสียหายของชิ้นงาน

3.2 การทำความสะอาดสำริด โดยกำหนด 2 วิธีการคือ

วิธีที่ 1: ทำความสะอาดพื้นผิวสำริดด้วยน้ำมะนาวกับเบกกิ้งโซดา (Baking Soda + Citric Acid)

วิธีที่ 2: ทำความสะอาดสำริดด้วยเกลือ

3.3 การนำสนิมออก

จากการสังเกตบนพื้นผิวสำริด ผู้วิจัยสันนิษฐานได้ว่าสนิมที่เกิดบนศิลปวัตถุสำริดเป็นสนิมสีเขียวอ่อน (เปรี่ยบเทียบจากตารางที่ 5) ซึ่งผู้วิจัยเลือกใช้ Ethanol หรือ Acetone เพื่อนำสนิมออก โดยใช้ก้านสำลีหรือก้อนสำลีกลม ๆ จุ่มในสารเอธิลอัลกอฮอล์หรืออาซิโตน ถ้าเป็นวัตถุชิ้นเล็กๆหรือพื้นที่เล็ก ๆ ตามซอกหลืบหรือในลวดลาย ต้องใช้สำลีพันปลายไม้จิ้มฟันหรือก้านสำลีขนาดเล็กมาถูคราบสนิม หรือฝุ่นที่เกาะบนพื้นผิวสำริด

ตารางที่ 7 ตารางคุณสมบัติลักษณะสนิมบนวัตถุสำริด (รัตนรังสิกุล, 2011)

ลักษณะสีสนิม	ชื่อทางแร่	ชื่อทางเคมี	สาเหตุการเกิด	คุณสมบัติ
สีน้ำตาลแดง	คิวไพรต์ (Cuprite)	คิวไพรต์	ทองแดง และน้ำ	เป็นกลุ่มสนิมที่เกิดขึ้นติดกับเนื้อโลหะ มีความแข็งประมาณ 3.5-4 ตาม Mohs' scale และไม่ละลายน้ำ
สีเขียวเข้ม	มาลาไคต์ (Malachite)	คอปเปอร์คาร์บอเนตไฮดรอกไซด์ (Copper carbonate hydroxide)	น้ำ ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ (ก๊าซ)	มีรูปผลึกระบบโมโนคลินิก มีลักษณะเรียวยาวคล้ายรูปเข็ม แต่มักจะพบไม่ชัด อาจเกิดแทนที่อะซูไรต์ มักจะเกิดในแบบคล้ายพวงองุ่น หรือพอกพูนคล้ายหินย้อยซึ่งมีเนื้อเป็นเส้นกระจายในรูปรัศมี อาจเกิดเป็นแบบมวลเมล็ดหรือแบบลักษณะคล้ายดิน (Earthy) มีแนวแตกเรียบ ที่สมบูรณ์ (มักจะไม่ค่อยเห็น) แข็ง 3.5 – 4 ถ.พ. 3.9 – 4.03 วาวคล้ายเพชรไปจนกระทั่งคล้ายแก้ว ถ้าเป็นลักษณะคล้ายดินจะมีเนื้อด้านๆ (dull) มีสีเขียว เนื้อแร่โปร่งแสง
สีน้ำเงิน	อะซูไรต์ (Azurite)	คอปเปอร์คาร์บอเนตไอครอกไซด์	ทองแดง กรดคาร์บอนิก และน้ำ	ลักษณะเป็นครึ่งวงกลมเกาะเป็นกลุ่ม เนื้อเป็นเส้น สีน้ำเงินเข้มจนถึงสีน้ำเงินอ่อน มีความแข็งตามมาตรวัดของมอร์ (Mohs' scale) เท่ากับ 3.5 - 4.0 ถ.พ. 3.8 - 3.9 ความวาวคล้ายแก้วหรือด้านคล้ายดิน ผงละเอียดสีน้ำเงินอ่อนรอยแตกแบบก้นหอย
สีเขียวอมฟ้า	โบรแคนไทต์ (Brochantite)	คอปเปอร์ซัลเฟตไฮดรอกไซด์ (Copper sulphate hydroxide)	ทองแดง ไฮดรอกไซด์ และซัลเฟต	มีลักษณะแววววาวดังแก้วและมีเสถียรภาพมากที่สุดในบรรดาสนิมที่เกิดบนโลหะผสมของทองแดง มีความแข็ง 2.5 -4 ตาม Mohs' scale

สีเทา หรือ เขียวอมเทา	แนนโตไดท์ (Nantokite)	คิวปรัสคลอไรด์ (Cuprous chloride)	ทองแดง คลอรีน และน้ำ	มีลักษณะเป็นผงสีเขียวเล็กน้อย จากสิ่งสกปรกออกซิไดซ์ ละลายได้ในเอทานอล และอะซิโตน
สีเขียวอ่อน	พาราทาคา ไมต์ (Paratacamite) (Atacamite)	คิวปริกคลอไรด์ ไตรไฮเดรต (Cupric chloride trihydrate)	ทองแดง คลอไรด์ และไฮดรอกไซด์	เป็นผลึกแท่งทรงกลมเรียวมี ลักษณะเป็นเส้นๆ เป็นเม็ดๆ จนถึงขนาดกระทัดรัดขนาด ใหญ่ มีความมันวาว ความแข็ง 3-3.5 Moh's scale

3.4 การรักษาการกัดกร่อน

การเลือกวิธีการอนุรักษ์การกัดกร่อน โดยผู้วิจัยได้เลือกวิธีเช่นการเปรียบเทียบในตารางที่ 6 โดยวิธีเช็ดด้วยอะซิโตนเพื่อขจัดน้ำมันขัดเงา (Lacquer) ออกแล้วเช็ดด้วยแอลกอฮอล์จุดไฟ (I.M.S - industrial methylated spirit) การรักษาโดยการลดใช้อิเล็กโทรลี้ดทิค 10 เปอร์เซ็นต์ ในกรดกำมะถันหรือกรดซัลฟิวริก (Sulfuric Acid) บนสำลีเช็ดกับตะกั่วดำที่มีขั้วบวกจำนวนหลายวินาที และล้างด้วยน้ำกลั่นหลาย ๆ ครั้งแล้วซับให้แห้งด้วยสำลี หรืออาจปฏิบัติตามวิธีต่าง ๆ ที่มีอยู่ในตาราง

ตารางที่ 8 ตารางวิธีการอนุรักษ์ศิลปวัตถุสำริด (ทิพย์เนตร พยุง, 1975)

วิธีการอนุรักษ์	**สารที่ใช้**
การใช้สารเคมี	Alkaline Rochelle salt, alkaline glycerol, กรดกำมะถัน และไฟฟ้าเคมี (โดยใช้ด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโซเดียมคาร์บอเนต)
การกำจัดคลอไรด์	ใช้กับโซเดียมเซสควิคาร์บอเนตที่ละลายในน้ำ
การใช้ซิลเวอร์ออกไซด์	ใช้ซิลเวอร์ออกไซด์ผสมกับแอลกอฮอล์
การใช้เบนโซไตรอาโซล	ใช้เบนโซไตรอาโซลผสมกับน้ำ และใช้ในโตรเซลลูโลสผสมเบนโซไตรอาโซล หรืออินคราแลค (สำหรับเคลือบผิว)

จากการศึกษาข้อมูลวิธีการกำจัดสนิมที่มี 4 วิธีการที่มีในตาราง ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีที่ 4 โดยการใช้เบนโซไตรอาโซลในการล้างสนิมออกจากศิลปวัตถุสำริด เพราะผู้วิจัยเห็นว่าวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายและประหยัดเวลา และไม่เปลี่ยนสีของสนิมด้วย

3.5 การป้องกันพื้นผิวสำริด

หลังจากทำความสะอาด ผู้วิจัยต้องทำการเคลือบผิวสำริดด้วยแวกซ์ชนิดพิเศษ ในกรณีที่ไม่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้ โดยแวกซ์ชนิดนี้เรียกว่า Microcrystalline wax ซึ่งสกัดจากน้ำมันปิโตรเลียม ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ มีผลึกขนาดเล็กมาก มีความยืดหยุ่นสูง ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตให้มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการเคลือบผิววัตถุพิพิธภัณฑ์ที่ทำด้วยโลหะที่ใช้ทั่วไป มีชื่อการค้า Renaissance wax ผู้วิจัยสามารถใช้ผ้าเนื้อละเอียดหรือสำลีจุ่มในแวกซ์แล้วเช็ดถูบนผิวโลหะให้ทั่ว จากนั้นเช็ดแวกซ์ส่วนเกินออกด้วยผ้านุ่ม ๆ แวกซ์ดังกล่าวจะช่วยป้องกันมิให้ผิวโลหะสัมผัสกับความชื้นและก๊าซต่าง ๆ ในอากาศ รวมทั้งสิ่งแปลกปลอมจากมือ อีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้คือเคลือบผิวด้วยสารละลาย Paraloid B-72 ในปริมาณ 3-5 เปอร์เซ็นต์ ในอะซีโตนหรือโทลูอีน

ตารางที่ 9 สรุปขั้นตอนการป้องกันศิลปวัตถุสำริด และการแนะนำกำหนดสภาพแวดล้อม กรณีศึกษาศิลปวัตถุสำริดที่อยู่ในห้องใต้ดินในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติของประเทศกัมพูชา

Art Object	**Environment**
- Remove Rust: Benzotriazole - Surface Coating: Paraloid B-72 - Display: Stand with wooden vertical	- Relative Humidity: Between 35% and 55% - Temperature: Between 22 ºC and 24ºC - Physical: Ventilation and Low humidity - Building Components: Sill, Exhaust fan, and Damp-proof course (as it can) - Monitoring Equipment: Temperature and Humidity data logger

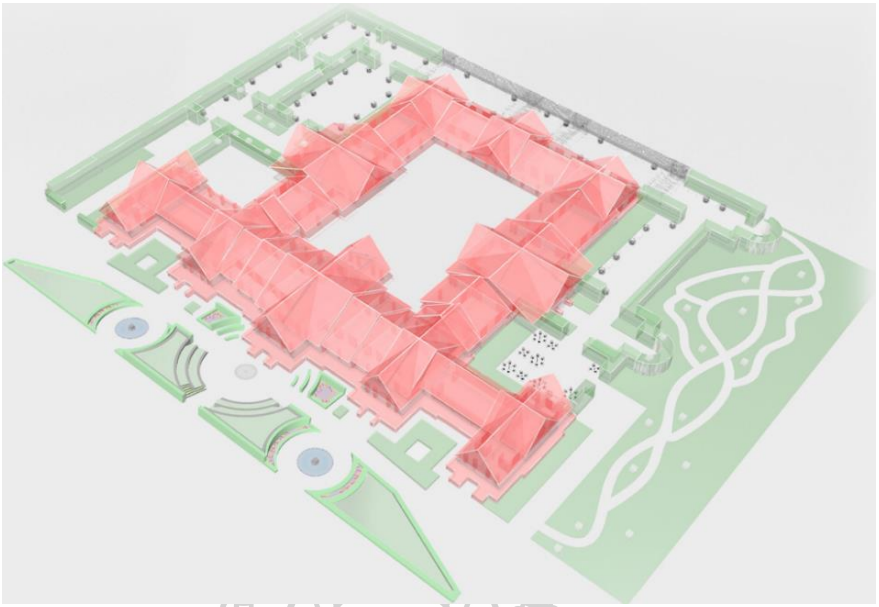
บทที่ 4

ผลการศึกษาข้อมูล

ในการศึกษาการเสื่อมสภาพและวิธีการป้องกันศิลปวัตถุสำริด กรณีศึกษาศิลปวัตถุสำริดที่อยู่ในห้องจัดเก็บใต้ดินในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติของประเทศกัมพูชา เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลจากการรวบรวมข้อมูลการทดลองวัตถุสำริดที่เป็นวัตถุจำลอง พร้อมทั้งการเก็บข้อมูลค่าอุณหภูมิและความชื้นที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ โดยพิพิธภัณฑสถานแห่งนี้มีพื้นที่ร่วมกว่า 5,000 ตารางเมตร ตั้งอยู่ทิศเหนือของพระบรมราชวังจตุมุขสิริมงคล และทิศตะวันตกของสนามหลวง (Veal Preah Man) ทางเข้าพิพิธภัณฑ์อยู่ตรงหัวมุมแยกถนน 13 และถนน 178 ในบริเวณรอบตึกมีต้นไม้หนาแน่นเนื่องจากพิพิธภัณฑ์ตั้งอยู่ในใจกลางเมืองด้วยมีทั้งมหาวิทยาลัย อาคารบ้านเรือน และโรงแรม ซึ่งในลักษณะดังกล่าวจึงทำให้พิพิธภัณฑ์เป็นพื้นที่ชมชุนมีผู้คนเข้าชมมากมายในพิพิธภัณฑ์ทั้งนักท่องเที่ยวท้องถิ่นและนักท่องเที่ยวต่างชาติ

ภาพที่ 20 แผนที่ตั้งและสภาพแวดล้อมโดยรอบของพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ

ที่มา: Google earth, พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติประเทศกัมพูชา, เข้าถึงเมื่อ 01 กันยายน 2564, เข้าถึงได้จากhttps://earth.google.com/web/search/National+museum+of+cambodia/@11.56535184,104.92966027,10.93793712a,841.55276655d,35y,0h,0t,0r/data=CigiJgokCYZVCpW-hDRAEYJVCpW-hDTAGf5Ghq8SYjvAIbxPIr78MWDA



ภาพที่ 21 แผนภาพจำลองจากด้านบนของพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ
ที่มา : https://christianduvernois.com/portfolio/national-museum-of-cambodia-phnom-penh-cambodia/attachment/birds-eye-2/

1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูลศิลปวัตถุ

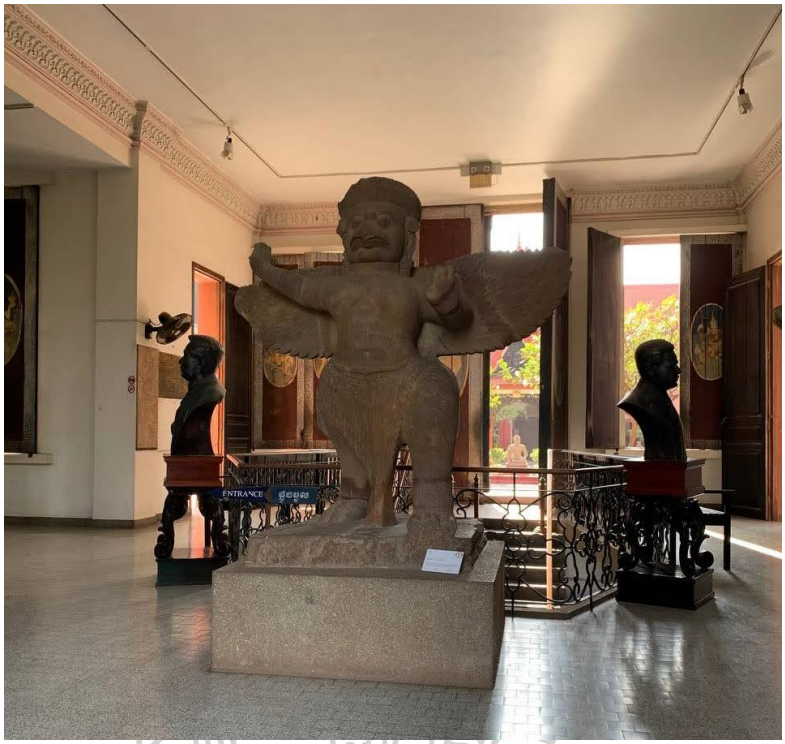
พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญเป็นอาคารที่มีสถาปัตยกรรมสไตล์เขมร สร้างขึ้นระหว่างปี ค.ศ. 1917-1924 บนเนื้อที่รวมกว่า 5,000 ตารางเมตร และเปิดให้ใช้งานในปี ค.ศ. 1920 ตัวอาคารมีสองชั้นโดยชั้นล่างอยู่ใต้ดิน ปัจจุบันถูกใช้เป็นห้องจัดเก็บศิลปวัตถุ ส่วนชั้นบนตั้งอยู่เนื้อดินเป็นพื้นที่จัดแสดงศิลปวัตถุโดยชั้นนี้มีการแบ่งออกเป็น 4 โซน ดังนี้

โซนที่ 1 ที่เป็นด้านหน้า (ทิศตะวันออก) เป็นประตูหลักของพิพิธภัณฑ์ ด้านนี้มีบูท (Booth) โบราณวัตถุสมัยก่อนประวัติศาสตร์ บูทสำริด การตั้งโชว์ศิลปวัตถุชั่วคราว โรงงานอนุรักษ์หินและโลหะ บูทโบราณวัตถุสมัยก่อนประวัติศาสตร์นี้ยังมีการตั้งโชว์วัตถุที่ใช้ประจำวันของมนุษย์สมัยก่อนประวัติศาสตร์ เช่น ยุคหิน ยุคสำริด และยุคโลหะ โดยวัตถุทั้งนี้ถูกค้นพบในสถานที่โบราณคดีที่อยู่ในสำโรงเสน (Samrong Sen, Kompong Chhnang province) มลูไพร (Mlo Prey, Preah Vihear province) มะเม็ต (Memot, Kompong Cham province) และแสรสะบูว (Sre Sbov, Kratié province) ส่วนบูทสำริดมีการตั้งโชว์ขวาน มีด กำไล กลอง กระถาง ฯลฯ และด้านนี้ถูกแบ่งเป็น 2 บูท โดยฝั่งขวาของครุฑเป็นโซน A และฝั่งซ้ายเป็นโซน B

โซนที่ 2 อยู่ทิศใต้ ในทิศนี้มีการตั้งโชว์ศิลปวัตถุ 2 สมัยคือ สมัยก่อนพระนคร (600-800 ค.ศ.) และสมัยพระนคร (900-1500 ค.ศ.) สมัยก่อนพระนครมีการโชว์ประติมากรรมและศิลปวัตถุอื่น ๆ มากมาย พร้อมทั้งรูปปั้นของบุคคลสำคัญ ๆ เช่น ประติมากรรมของพระพุทธรูป (600-700 ค.ศ) ประติมากรรมพระวิษณุ:เทพเจ้าคุ้มครอง (600 ค.ศ) ประติมากรรมของพระราม (อวตารที่7ของพระวิษณุ) วีรบุรุษของเรื่องรามเกียรติ์ในเวอร์ชั่นอินเดีย (600 ค.ศ) ประติมากรรมของพระกฤษณา (อวตารที่8ของพระวิษณุ, 600 ค.ศ) ลึงค์ของพระศิวะและโยนี (700-800 ค.ศ) ประติมากรรมของพระทุรคา:เทพีแห่งนักรบและหนึ่งในมเหสีของพระศิวะ (700-800 ค.ศ.) ประติมากรรมของพระพิฆเนศ:เทพเจ้าแห่งการเริ่มต้นใหม่ แห่งความสำเร็จ แห่งความสติปัญญาและการขจัดอุปสรรค (700-800 ค.ศ) ฯลฯ

โซนที่ 3 อยู่ทิศตะวันตก ส่วนใหญ่จัดแสดงประติมากรรมในสมัยพระนคร (900-1500 ค.ศ) ซึ่งประกอบด้วยประติมากรรมของพระพรหม:เทพเจ้าแห่งการสร้างสรรค์ (1100 ค.ศ) ประติมากรรมของพระศิวะ:เทพเจ้าแห่งการทำลายและการสร้าง (900 ค.ศ) ประติมากรรมของพระวิษณุเอนกาย (1100 ค.ศ) ประติมากรรมของพระตรีมูรติ (100ค.ศ) ประติมากรรมของเทวี:มเหสีของพระเจ้าฮินดู (1200 ค.ศ) ประติมากรรมเทพทั้ง9องค์ ปี 1000-1100 ค.ศ (สุริยาหรืออทิตยา:เทพแห่งดวงอาทิตย์, โสมาหรือจันทรา:เทพแห่งดวงจันทร์, ยามา:เทพแห่งความตาย, วรุณ:เทพแห่งคงคา, พระอินทร์:เทพสายฟ้าและฟ้าแลบ, คุเบราหรือคุเวระ:เทพแห่งความมั่งคั่ง, อัคนีหรืออัคคี:เทพแห่งไฟ, พระราหู:โหนดจันทรคติขึ้นหรือโหนดจันทรคติเหนือ, พระเกตุ:โหนดจันทรคติลงหรือโหนดจันทรคติใต้) ประติมากรรมของพระบาทชัยวรมันที่7 (1200-1300 ค.ศ) สุกรีวาและวาหลีหรือประติมากรรมของปาหลีตีกัน (1000 ค.ศ) ประติมากรรมของมุคาลินดาที่กำบังพระโคตมพุทธเจ้า (1100 ค.ศ) และประติมากรรมอีกหลายชิ้นที่เป็นรูปแบบสถาปัตยกรรมเหมือนสมัยพระนครและบายน

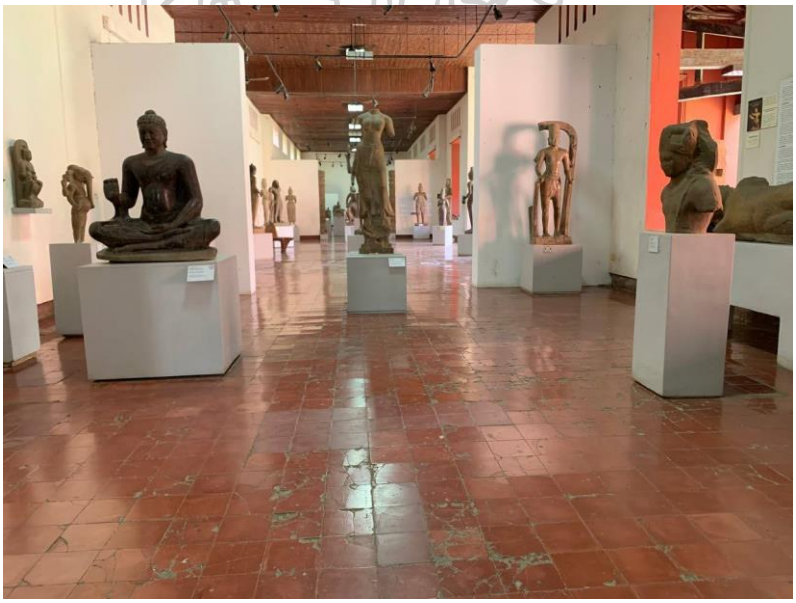
โซนที่ 4 อยู่ทิศเหนือเป็นแถวที่โชว์ศิลปะชาติพันธุ์ที่มีการตั้งโชว์ประติมากรรมสมัยหลังพระนคร (1500 – กลาง - 2000 ค.ศ) ด้านตะวันออกของแกลเลอรีเป็นบูทเซรามิคพร้อมทั้งเครื่องปั้นดินเผาและบูทของพระพุทธรูปในสมัยหลังพระนครพร้อมศิลปวัตถุอีกหลายชิ้น



ภาพที่ 22 ปฏิมากรรมครุฑตรงประตูทิศตะวันออกต้อนรับผู้เข้าชมพิพิธภัณฑ์
ที่มา : ถ่ายโดยเจ้าหน้าที่พิพิธภัณฑ์, เมื่อวันที่ 30 มกราคม 2021

ภาพที่ 23 โซน A ด้านขวาของปฏิมากรรมครุฑทิศตะวันออก
ที่มา : ถ่ายโดยเจ้าหน้าที่พิพิธภัณฑ์, เมื่อวันที่ 30 มกราคม 2021

ภาพที่ 24 โซน B ด้านซ้ายของปฏิมากรรมครุฑทิศตะวันออก
ที่มา : ถ่ายโดยเจ้าหน้าที่พิพิธภัณฑ์, เมื่อวันที่ 30 มกราคม 2021



ภาพที่ 25 รูปภาพทิศใต้ของโซนที่สองในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ
ที่มา : ถ่ายโดยเจ้าหน้าที่พิพิธภัณฑ์, เมื่อวันที่ 30 มกราคม 2021

ภาพที่ 26 รูปภาพทิศตะวันตกของโซนที่สามในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ
ที่มา : ถ่ายโดยเจ้าหน้าที่พิพิธภัณฑ์, เมื่อวันที่ 30 มกราคม 2021

ภาพที่ 27 รูปภาพทิศตะวันตกของโซนที่สามในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ
ที่มา : ถ่ายโดยเจ้าหน้าที่พิพิธภัณฑ์, เมื่อวันที่ 30 มกราคม 2021

ภาพที่ 28 รูปภาพทิศเหนือของโซนที่สี่ในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ

ที่มา : ถ่ายโดยเจ้าหน้าที่พิพิธภัณฑ์, เมื่อวันที่ 30 มกราคม 2021

ภาพที่ 29 บันไดลงไปชั้นใต้ดินหลังรูปปฏิมาครุฑ

ที่มา : ถ่ายโดยเจ้าหน้าที่พิพิธภัณฑ์, เมื่อวันที่ 30 มกราคม 2021

ภาพที่ 30 ชั้นใต้ดินบริเวณจัดเก็บศิลปวัตถุสำริด
ที่มา : ถ่ายโดยเจ้าหน้าที่พิพิธภัณฑ์, เมื่อวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2021

ภาพที่ 31 ชั้นใต้ดินบริเวณจัดเก็บศิลปวัตถุสำริด
ที่มา : ถ่ายโดยเจ้าหน้าที่พิพิธภัณฑ์, เมื่อวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2021

2 ผลลัพธ์ของระเบียบวิธีวิจัย

วิธีที่ 1 การตรวจประเมินสภาพของศิลปวัตถุสำริดที่ต้องศึกษา

จากการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับศิลปวัตถุสำริดจึ่งได้ทราบว่า ศิลปวัตถุสำริดชิ้นนี้ถูกสร้างขึ้นในสมัยพระนคร (ไม่ระบุปีสร้าง) โดยสำริดชิ้นนี้เป็นสถาปัตยกรรมตกแต่งของปราสาท มีความยาว 32 เซนติเมตร ความกว้าง 7.5 เซนติเมตร และความลึก 7 เซนติเมตร และปัจจุบันชิ้นนี้ถูกเก็บรักษาอยู่ที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ โดยมีเลขระบุ Ga 5629 จากสภาพที่ได้สำรวจมาเห็นว่าศิลปวัตถุสำริดชิ้นนี้ผ่านการซ่อมเมื่อในอดีต (โดยนักอนุรักษ์ชาวฝรั่งเศส) ด้วยรอยซ่อมไม่เสถียรส่วนกาวที่ติดตามรอยหักมีการเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลเข้ม (กาวไม่ระบุชื่อ) มีฝุ่นละอองปกคลุมทั่วพื้นผิวของสำริด ด้านบนเห็นมีรอยการปิดทองและรอยแตกร้าว ส่วนด้านหลังมีสนิมเกิดขึ้นและมีการใช้ไม้ประกอบเพื่อเสริมความแข็งแรงให้ศิลปวัตถุ โดยไม้สามารถดูดความชื้นได้จึ่งทำให้บริเวณรอบ ๆ ไม้มีสนิมเกิดขึ้น (แผ่นภาพที่ 13 หน้าที่ 41 บทที่ 3)

การตรวจสอบสนิมที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของสำริด ผู้วิจัยได้ใช้กล้องขยายหรือเลนส์กล้องจุลทรรศน์ ยี่ห้อ CU Smart Lens กำลังขยาย 40 เท่า (40X) ใช้เพื่อส่องลักษณะและสีของสนิม

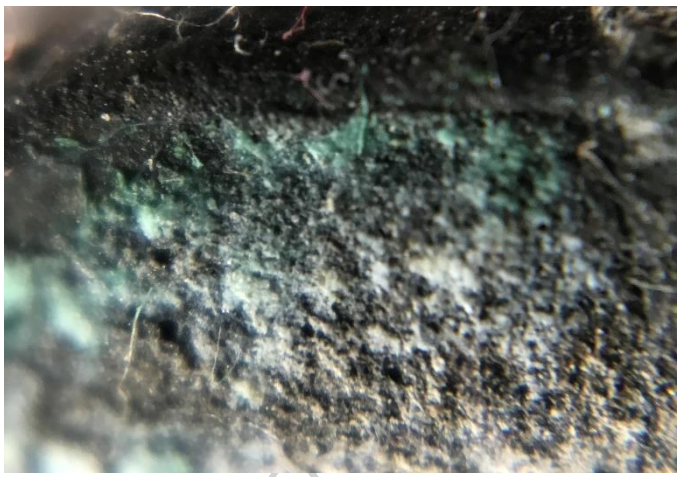
ภาพที่ 32 รูปด้านหน้าและด้านหลังของกล้องขยายขนาดที่ใช้ในการตรวจสภาพสนิม
ที่มา : ถ่ายโดยผู้วิจัย, เมื่อวันที่ 2 มีนาคม 2022

ภาพที่ 33 รอยกาวที่เปลี่ยนสีและรอยแตกร้าว

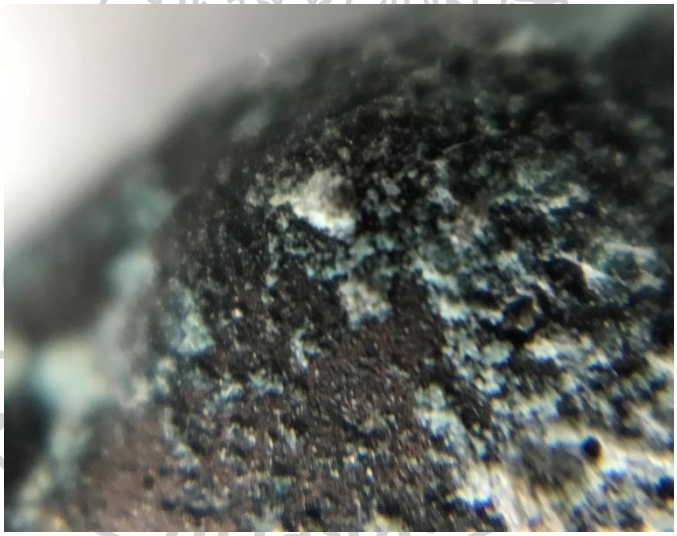
ที่มา : ภาพจากเจ้าหน้าที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ กรุงพนมเปญ

ภาพที่ 34 ด้านหลังที่มีไม้ที่ใช้สำหรับเสริมความแข็งแรงและรอยแตกร้าว

ที่มา : ภาพจากเจ้าหน้าที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ กรุงพนมเปญ



ภาพที่ 35 สนิมสีเขียวเข้มที่เกิดขึ้นตรงบริเวณด้านหลังใกล้ๆที่มีไม้ประกอบ
ที่มา : ถ่ายโดยผู้วิจัย, เมื่อวันที่ 3 มิถุนายน 2022



ภาพที่ 36 สนิมสีเขียวเข้มที่เกิดขึ้นตรงบริเวณข้างบน
ที่มา : ถ่ายโดยผู้วิจัย, เมื่อวันที่ 3 มิถุนายน 2022

จากภาพที่ 35 และ 36 สนิมที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของสำริดมีลักษณะเป็นผง ๆ และจากที่ได้ตรวจมาเห็นว่าเป็นสนิมสีเขียวเข้มซึ่งสนิมเสียวเข้มหรือสนิมทองแดงคาร์บอเนตเป็นสนิมที่ดี เพราะเป็นสนิมที่เกิดจากอ็อกไซด์และคาร์บอเนต เกิดในลักษณะเป็นฟิล์มป้องกันการกัดกร่อนจากปฏิกิริยาอื่น ๆ ได้อย่างดี และถ้าเป็นสนิมที่เกิดจากคลอไรด์เป็นสนิมที่อัตรายเมื่อเกิดขึ้นแล้วจะทำปฏิกิริยากัดกร่อนเนื้อของสำริดหรือโลหะผสมให้เกิดความเสียหายได้ โดยสาเหตุที่ทำเกิดสนิมนี่ส่วนใหญ่มาจากสภาพแวดล้อมที่มีความชื้น มีอ็อกซิเจน และมีอนุมูลของคลอไรด์ เช่น ใกล้น้ำทะเล

จากภาพที่ 14, 15 และ 16 หน้าที่ 44 สังเกตเห็นว่าสภาพแวดล้อมในห้องจัดเก็บใต้ดินที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ ผู้วิจัยเห็นว่าสภาพห้องมีความแออัดจึงทำให้การระบายอากาศมีจำนวนน้อยไม่เพียงพอ ในห้องมีท่อระบายน้ำจำนวนหนึ่งที่ทำหน้าที่สำหรับปล่อยน้ำ ส่วนหน้าต่างมีจำนวนสี่ที่อยู่ติดกับเพดานพร้อมกับพัดสำหรับระบายอากาศ แต่ในห้องไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งเป็นปัญหาที่ทำให้ศิลปวัตถุสำริดเกิดสนิมขึ้นเพราะไม่ทราบค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในห้องจัดเก็บ

วิธีที่ 2 ผลการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

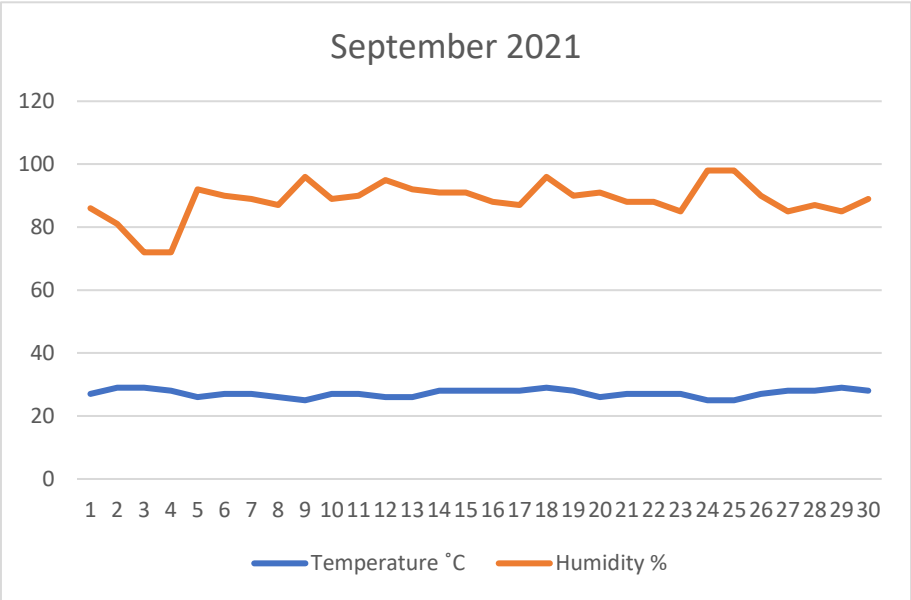
ข้อมูลที่ได้จากการวัดอุณภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในชั้นใต้ดินของพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ ประเทศกัมพูชา ตรงบริเวณจัดเก็บศิลปวัตถุสำริด เพื่อเป็นการศึกษาและเป็นต้นแบบสำหรับให้ผู้วิจัยจัดสร้างกล่องและวัตถุสำริดจำลองให้มีลักษณะคล้ายกับห้องใต้ดินที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ โดยใช้เครื่อง Data logger ยี่ห้อ Uni-T รุ่น UT330TH สำหรับบันทึกค่าอุณภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ บันทึกผลทุก 30 นาที ตลอดเวลา 24 ชั่วโมง ในฤดูฝน เริ่มตั้งแต่วันที่ 1 เดือนกันยายน พ.ศ. 2564 จนถึงวันที่ 31 เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2565 โดยในระหว่างเดือนกันยายน พ.ศ. 2564 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2565 พบว่าค่าอุณหภูมิและความชื้นสูงมากอย่างคงที่ในสามฤดู ดังนี้

1 ฤดูฝน ตั้งแต่เดือนกันยายน ถึงเดือนตุลาคม

2 ฤดูหนาว ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน ถึงเดือนกุมภาพันธ์

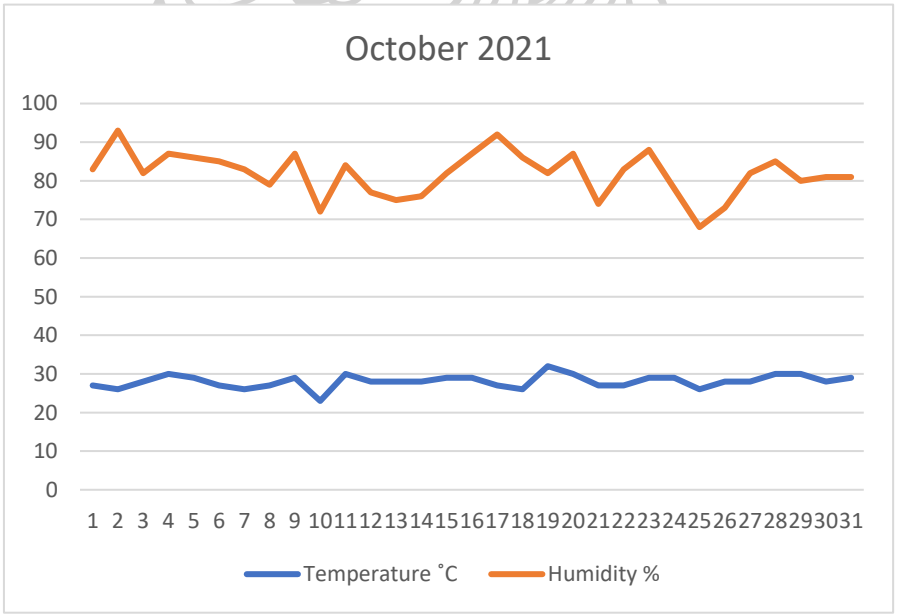
3 ฤดูร้อน ตั้งแต่เดือนมีนาคม ถึงเดือนพฤษภาคม

กราฟที่แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ทั้ง 3 ฤดู โดยได้ทำการบันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2564 จนถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2565 ที่ห้องจัดเก็บใต้ดินพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญตรงบริเวณเก็บศิลปวัตถุสำริด



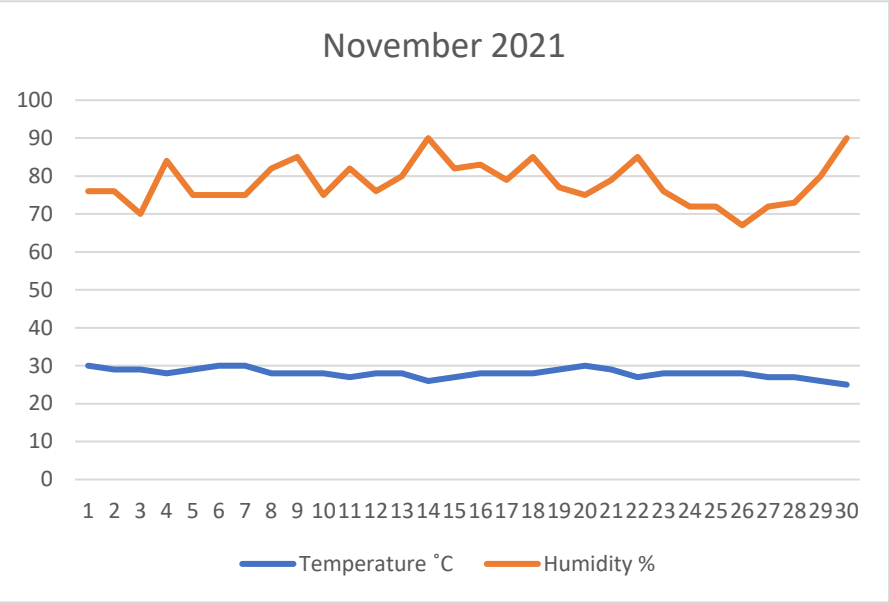
ภาพที่ 37 กราฟที่ 1 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (ช่วงฤดูฝน) ที่ห้องใต้ดินพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ ตรงบริเวณจัดเก็บศิลปวัตถุสำริด บันทึกวันที่ 1 จนถึงวันที่ 30 เดือนกันยายน 2564 ตั้งแต่เวลา 00:00 – 23:59 น.

ที่มา: เรียบเรียงโดยผู้วิจัย



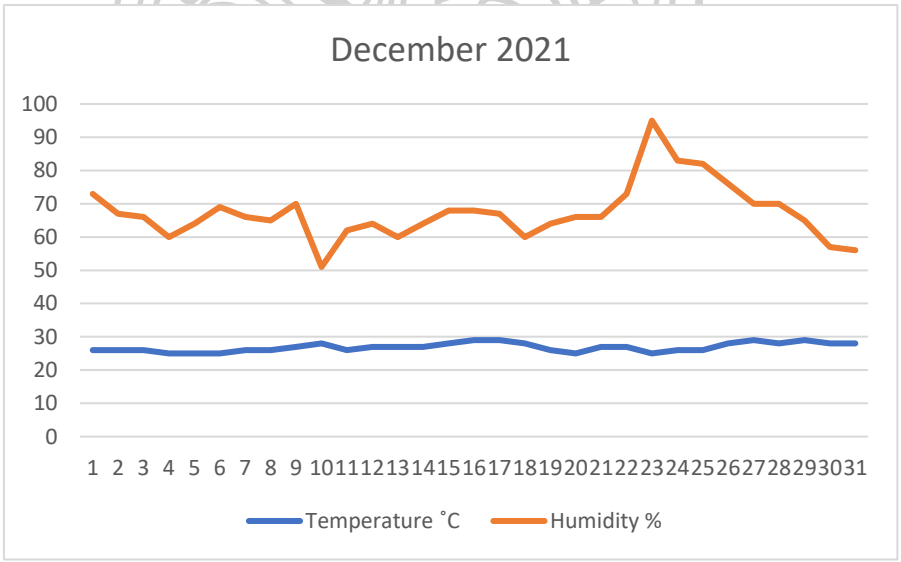
ภาพที่ 38 กราฟที่ 2 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (ช่วงฤดูฝน) ที่ห้องใต้ดินพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ ตรงบริเวณจัดเก็บศิลปวัตถุสำริด บันทึกวันที่ 1 จนถึงวันที่ 31 เดือนตุลาคม 2564 ตั้งแต่เวลา 00:00 – 23:59 น.

ที่มา: เรียบเรียงโดยผู้วิจัย



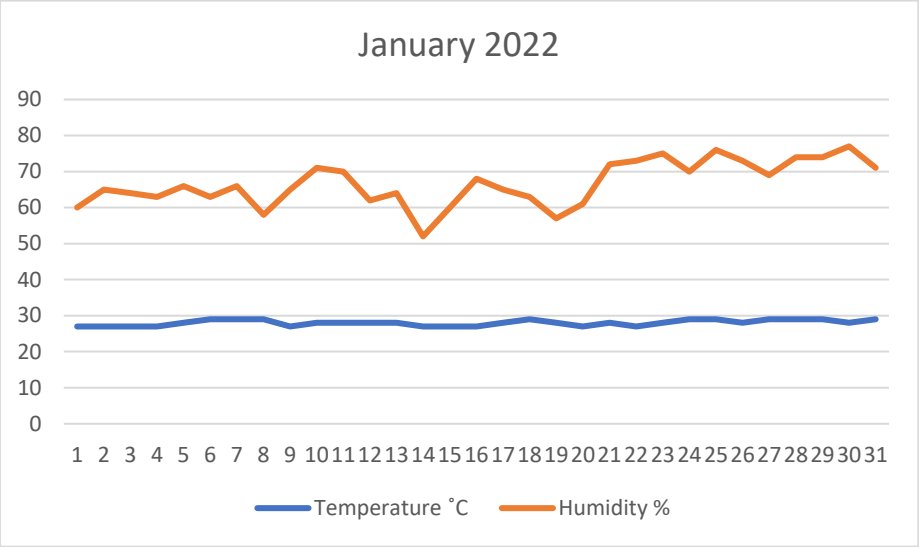
ภาพที่ 39 กราฟที่ 3 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (ช่วงฤดูหนาว) ที่ห้องใต้ดินพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ ตรงบริเวณจัดเก็บศิลปวัตถุสำริด โดยบันทึกวันที่ 1 จนถึงวันที่ 30 เดือนพฤศจิกายน 2564 ตั้งแต่เวลา 00:00 – 23:59 น.

ที่มา: เรียบเรียงโดยผู้วิจัย



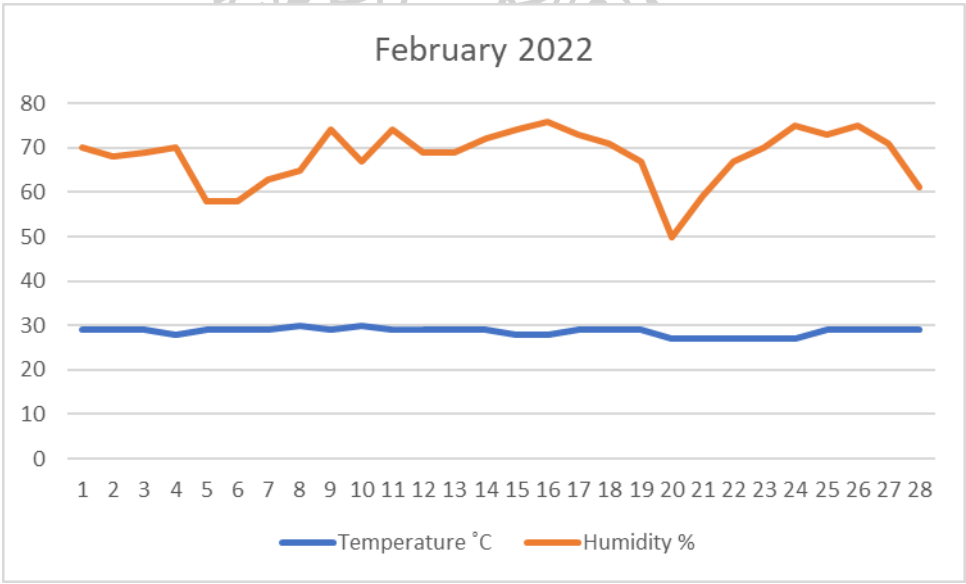
ภาพที่ 40 กราฟที่ 4 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (ช่วงฤดูหนาว) ที่ห้องใต้ดินพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ ตรงบริเวณจัดเก็บศิลปวัตถุสำริด บันทึกวันที่ 1 จนถึงวันที่ 31 เดือนธันวาคม 2564 ตั้งแต่เวลา 00:00 – 23:59 น.

ที่มา: เรียบเรียงโดยผู้วิจัย



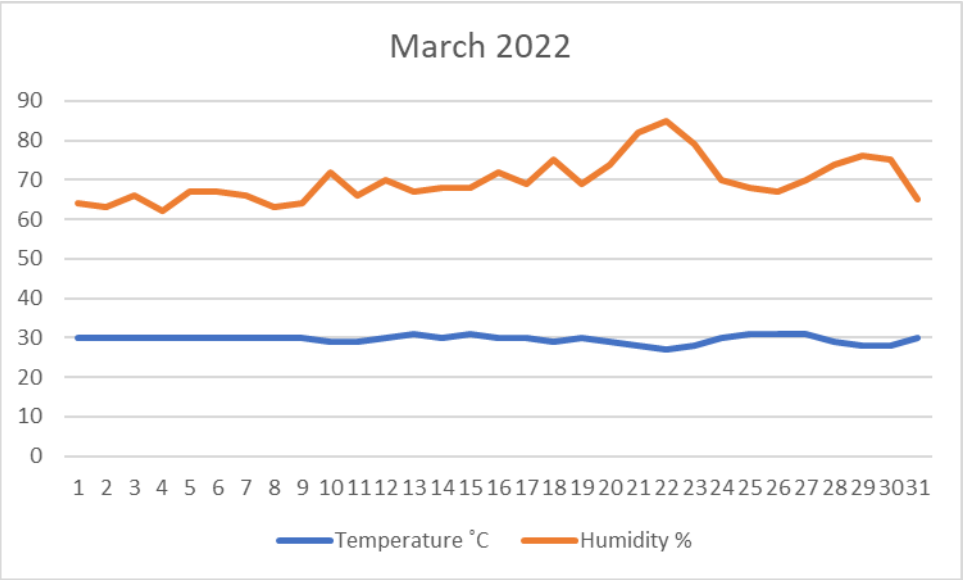
ภาพที่ 41 กราฟที่ 5 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (ช่วงฤดูหนาว) ที่ห้องใต้ดินพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ ตรงบริเวณจัดเก็บศิลปวัตถุสำริด บันทึกวันที่ 1 จนถึงวันที่ 31 เดือนมกราคม 2565 ตั้งแต่เวลา 00:00 – 23:59 น.

ที่มา: เรียบเรียงโดยผู้วิจัย



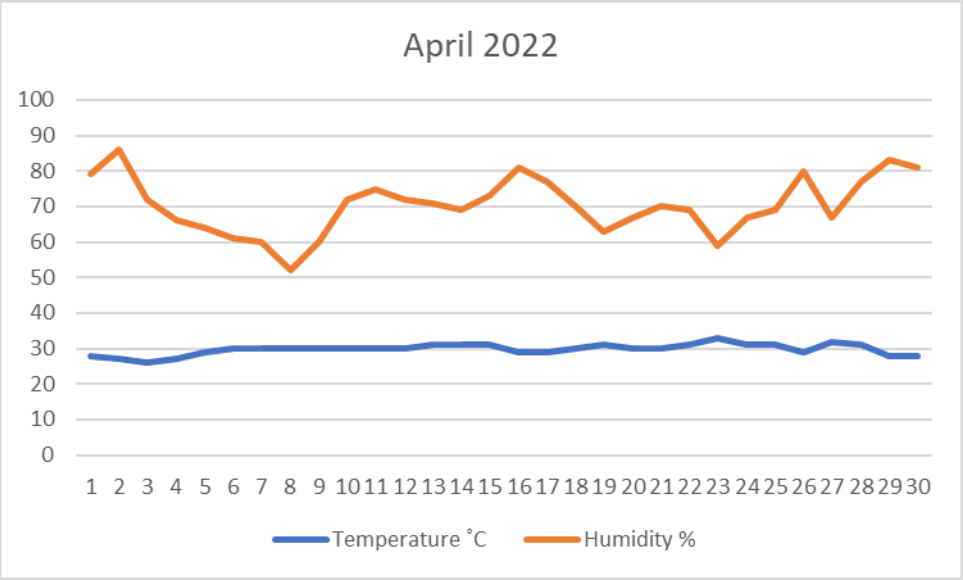
ภาพที่ 42 กราฟที่ 6 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (ช่วงฤดูหนาว) ที่ห้องใต้ดินพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ ในบริเวณจัดเก็บศิลปวัตถุสำริด บันทึกวันที่ 1 จนถึงวันที่ 28 เดือนกุมภาพันธ์ 2565 ตั้งแต่เวลา 00:00 – 23:59 น.

ที่มา: เรียบเรียงโดยผู้วิจัย



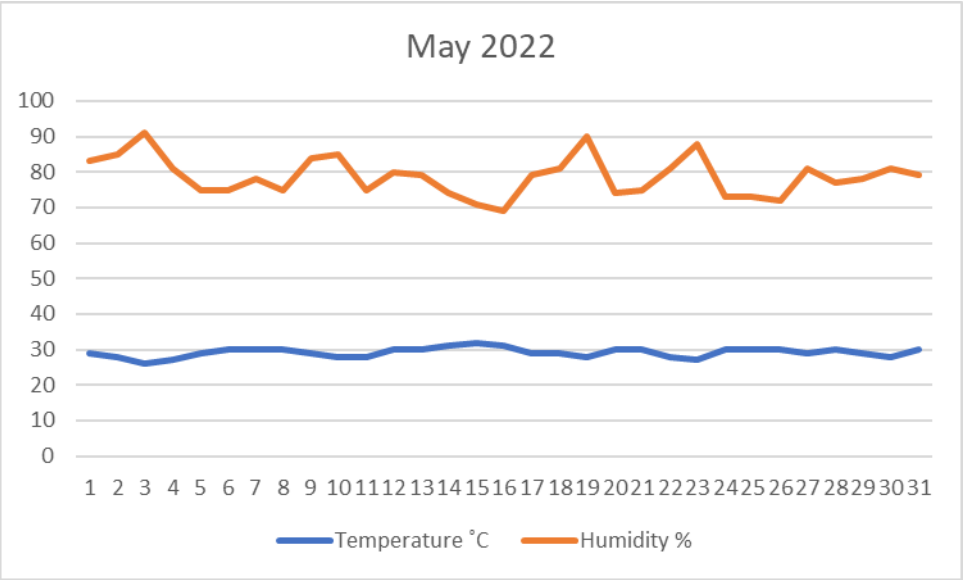
ภาพที่ 43 กราฟที่ 7 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (ช่วงฤดูร้อน) ที่ห้องใต้ดินพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ ในบริเวณจัดเก็บศิลปวัตถุสำริด บันทึกวันที่ 1 จนถึงวันที่ 31 เดือนมีนาคม 2565 ตั้งแต่เวลา 00:00 – 23:59 น.

ที่มา: เรียบเรียงโดยผู้วิจัย



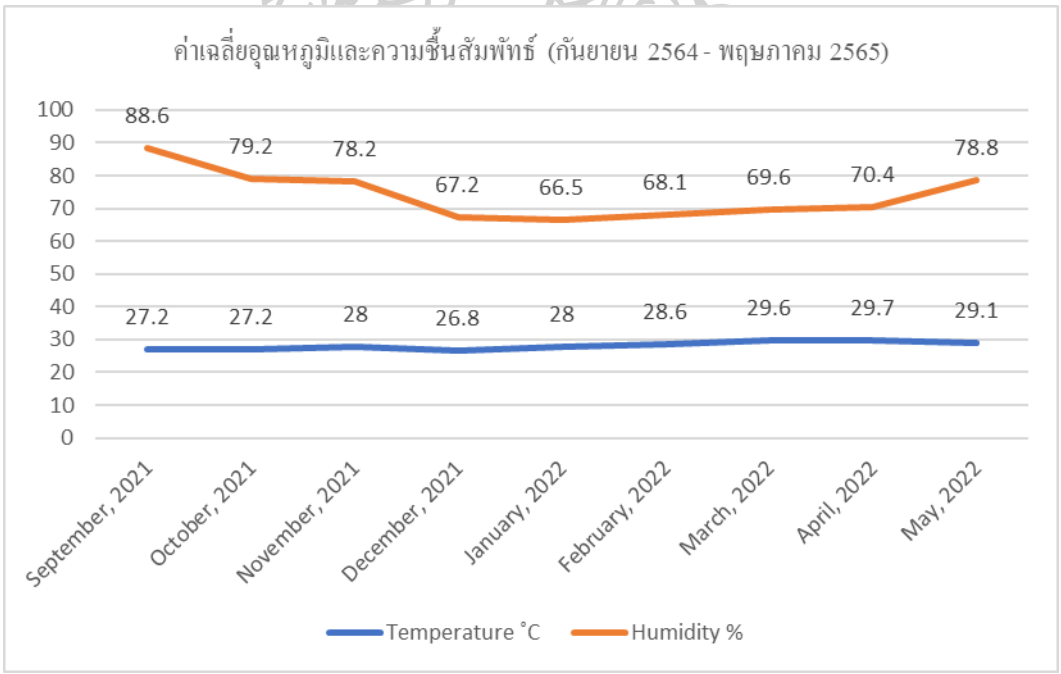
ภาพที่ 44 กราฟที่ 8 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (ช่วงฤดูร้อน) ที่ห้องใต้ดินพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ ในบริเวณจัดเก็บศิลปวัตถุสำริด บันทึกวันที่ 1 จนถึงวันที่ 30 เดือนเมษายน 2565 ตั้งแต่เวลา 00:00 – 23:59 น.

ที่มา: เรียบเรียงโดยผู้วิจัย



ภาพที่ 45 กราฟที่ 9 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (ช่วงฤดูร้อน) ที่ห้องใต้ดินพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ ในบริเวณจัดเก็บศิลปวัตถุสำริด บันทึกวันที่ 1 จนถึงวันที่ 31 เดือนพฤษภาคม 2565 ตั้งแต่เวลา 00:00 – 23:59 น.

ที่มา: เรียบเรียงโดยผู้วิจัย

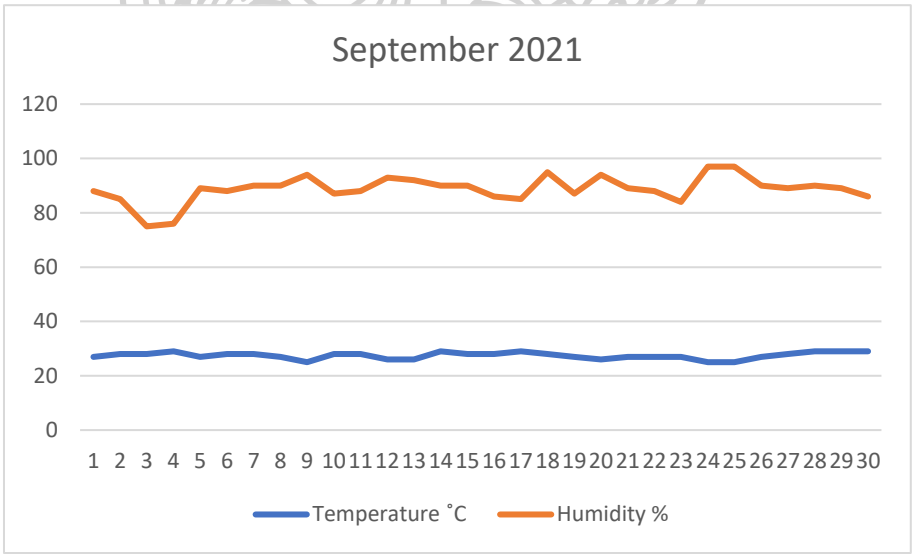


ภาพที่ 46 กราฟที่ 10 สรุปค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้บันทึกไว้เป็นระยะเวลา 9 เดือน ในห้องจัดเก็บใต้ดิน ณ พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ กรุงพนมเปญ

ที่มา: เรียบเรียงโดยผู้วิจัย

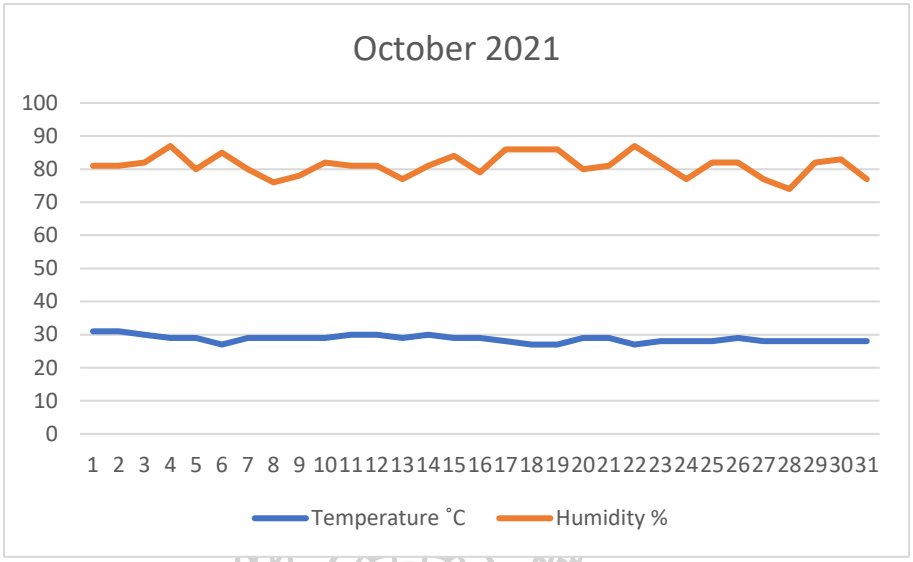
สรุปผลจากการบันทึกข้อมูลที่ได้มาจากการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในห้องใต้ดินพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญประเทศกัมพูชา ได้พบว่าค่าอุณหภูมิและความชื้นมีค่าสูงเกือบตลอดเวลา โดยในฤดูฝนค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอยู่ที่ 29 องศาเซลเซียล (˚C) และค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 81 เปอร์เซ็นต์ (%) ส่วนในช่วงฤดูหนาวค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอยู่ที่ 28 องศาเซลเซียล (˚C) และค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 66 เปอร์เซ็นต์ (%) สังเกตได้ว่าในฤดูหนาว (พฤษจิกายน ธันวาคม มกราคม และกุมภาพันธ์) ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์มีการลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับฤดูฝน ช่วงฤดูร้อนค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอยู่ที่ 29 องศาเซลเซียล (˚C) และค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 73 เปอร์เซ็นต์ (%) จากการบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ทั้ง 3 ฤดูสังเกตเห็นว่าค่าอุณหภูมิและความชื้นในห้องจัดเก็บใต้ดิน ณ พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญมีค่าสูงเกือบตลอดเวลา โดยความชื้นมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดสำหรับศิลปวัตถุสำริดจึ่งส่งผลทำให้ศิลปวัตถุสำริดมีความเสี่ยงและเกิดสนิมได้ตลอดเวลา

กราฟที่แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ทั้ง 3 ฤดู ที่ได้ทำการบันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นในกล่องจำลองตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2564 จนถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2565



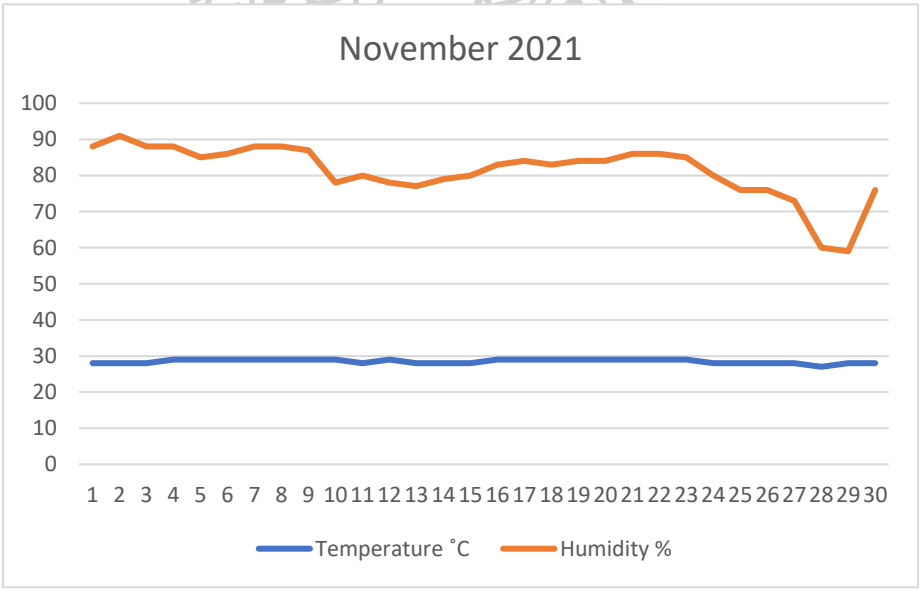
ภาพที่ 47 กราฟที่ 1 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (ช่วงฤดูฝน) ที่ได้บันทึกวันที่ 1 จนถึงวันที่ 30 เดือนกันยายน 2564 ตั้งแต่เวลา 00:00 – 23:59 น. ในกล่องจำลอง

ที่มา: เรียบเรียงโดยผู้วิจัย



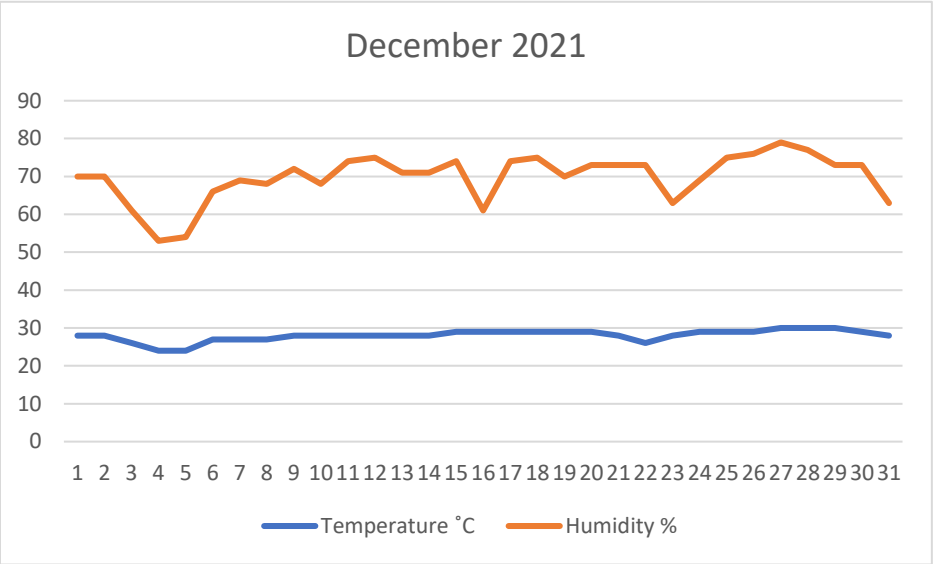
ภาพที่ 48 กราฟที่ 2 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (ช่วงฤดูฝน) ที่ได้บันทึกวันที่ 1 จนถึงวันที่ 31 เดือนตุลาคม 2564 ตั้งแต่เวลา 00:00 – 23:59 น. ในกล่องจำลอง

ที่มา: เรียบเรียงโดยผู้วิจัย



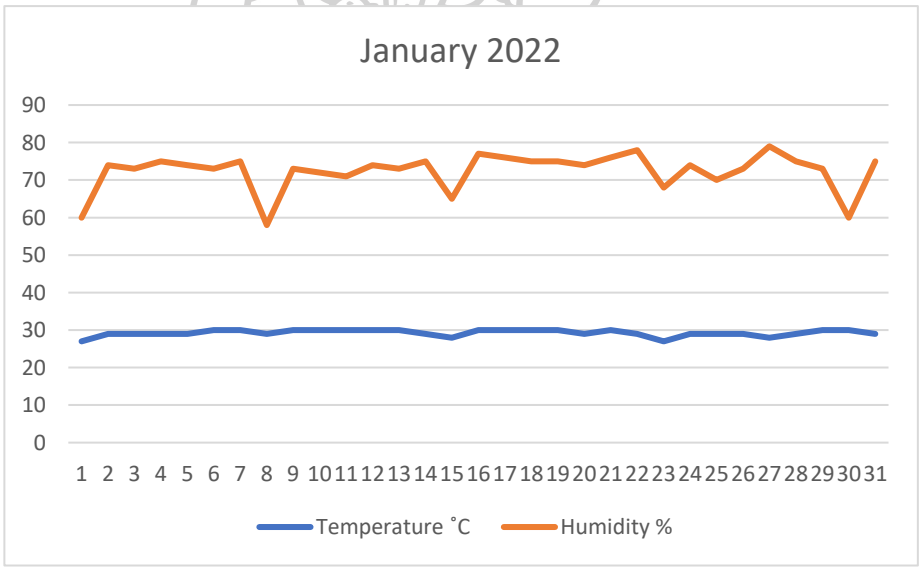
ภาพที่ 49 กราฟที่ 3 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (ช่วงฤดูหนาว) ที่ได้บันทึกวันที่ 1 จนถึงวันที่ 30 เดือนพฤศจิกายน 2564 ตั้งแต่เวลา 00:00 – 23:59 น. ในกล่องจำลอง

ที่มา: เรียบเรียงโดยผู้วิจัย



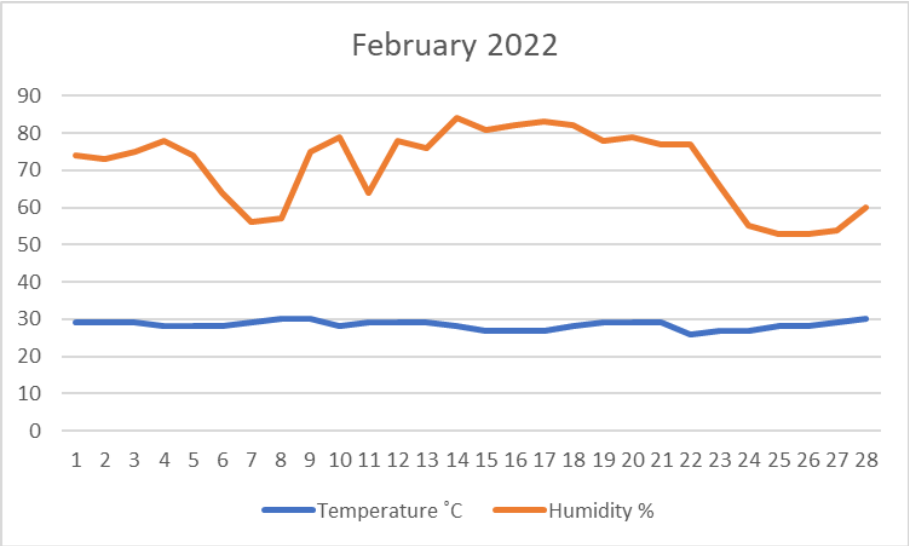
ภาพที่ 50 กราฟที่ 4 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (ช่วงฤดูหนาว) ที่ได้บันทึกวันที่ 1 จนถึงวันที่ 31 เดือนธันวาคม 2564 ตั้งแต่เวลา 00:00 – 23:59 น. ในกล่องจำลอง

ที่มา: เรียบเรียงโดยผู้วิจัย



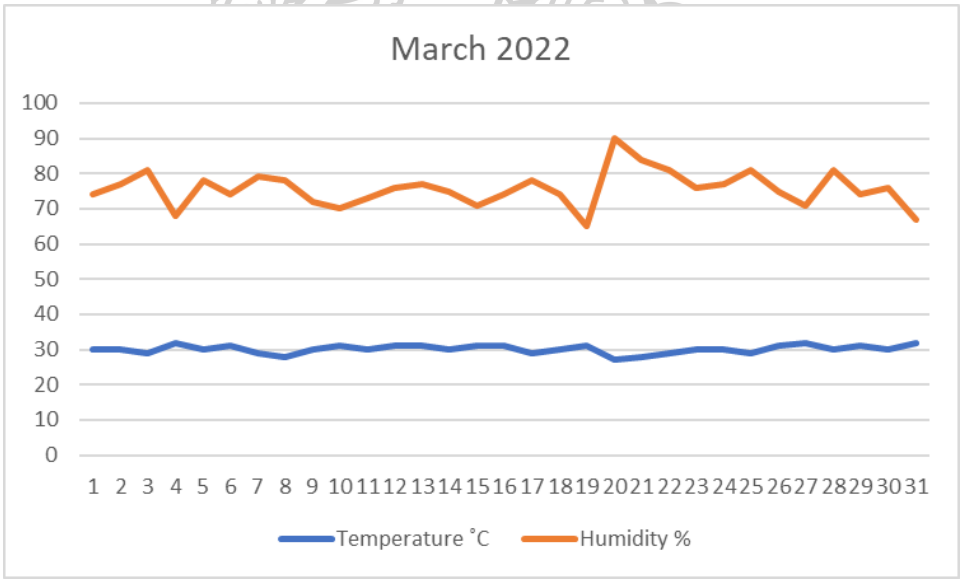
ภาพที่ 51 กราฟที่ 5 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (ช่วงฤดูหนาว) ที่ได้บันทึกวันที่ 1 จนถึงวันที่ 31 เดือนมกราคม 2565 ตั้งแต่เวลา 00:00 – 23:59 น. ในกล่องจำลอง

ที่มา: เรียบเรียงโดยผู้วิจัย



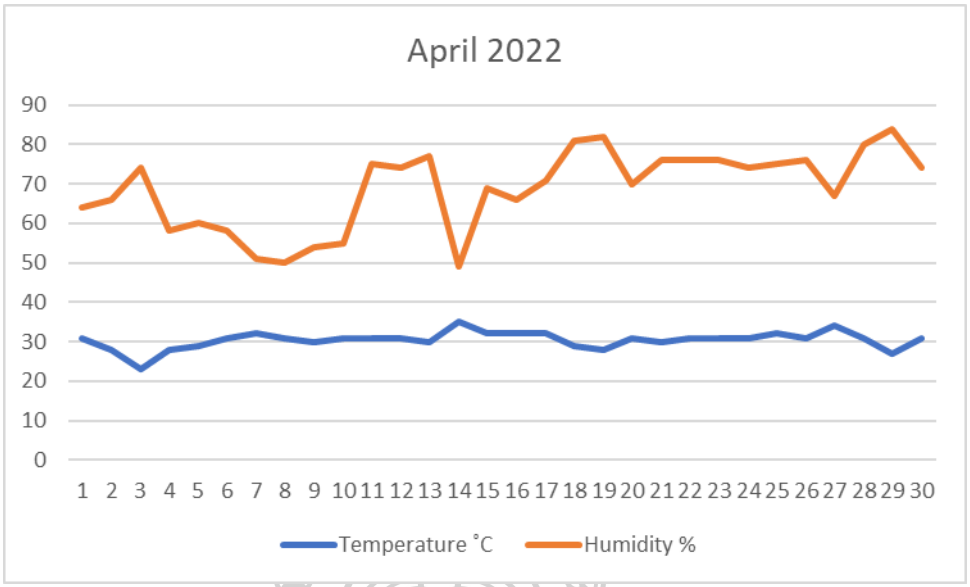
ภาพที่ 52 กราฟที่ 6 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (ช่วงฤดูหนาว) ที่ได้บันทึกวันที่ 1 จนถึงวันที่ 28 เดือนกุมภาพันธ์ 2565 ตั้งแต่เวลา 00:00 – 23:59 น. ในกล่องจำลอง

ที่มา: เรียบเรียงโดยผู้วิจัย



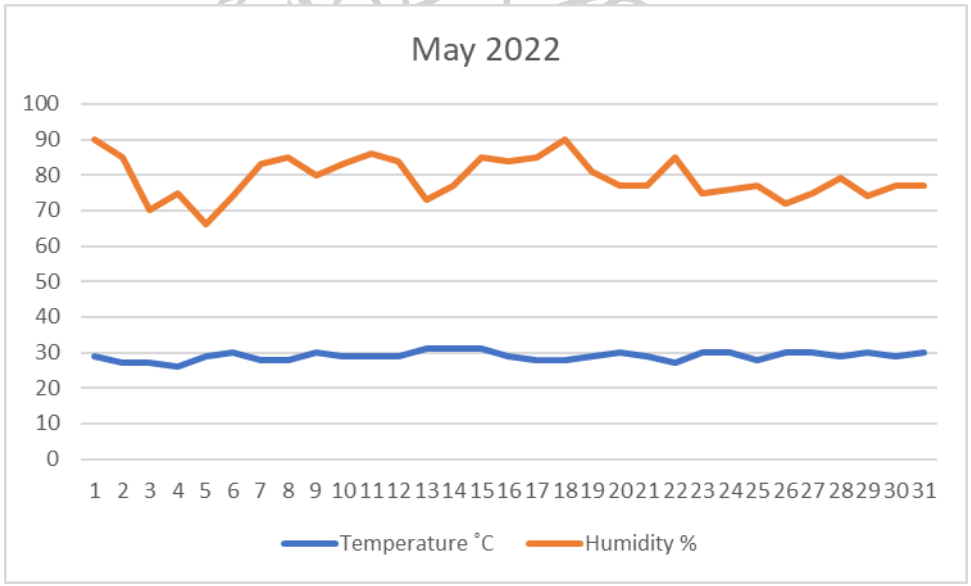
ภาพที่ 53 กราฟที่ 7 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (ช่วงฤดูร้อน) ที่ได้บันทึกวันที่ 1 จนถึงวันที่ 31 เดือนมีนาคม 2565 ตั้งแต่เวลา 00:00 – 23:59 น. ในกล่องจำลอง

ที่มา: เรียบเรียงโดยผู้วิจัย



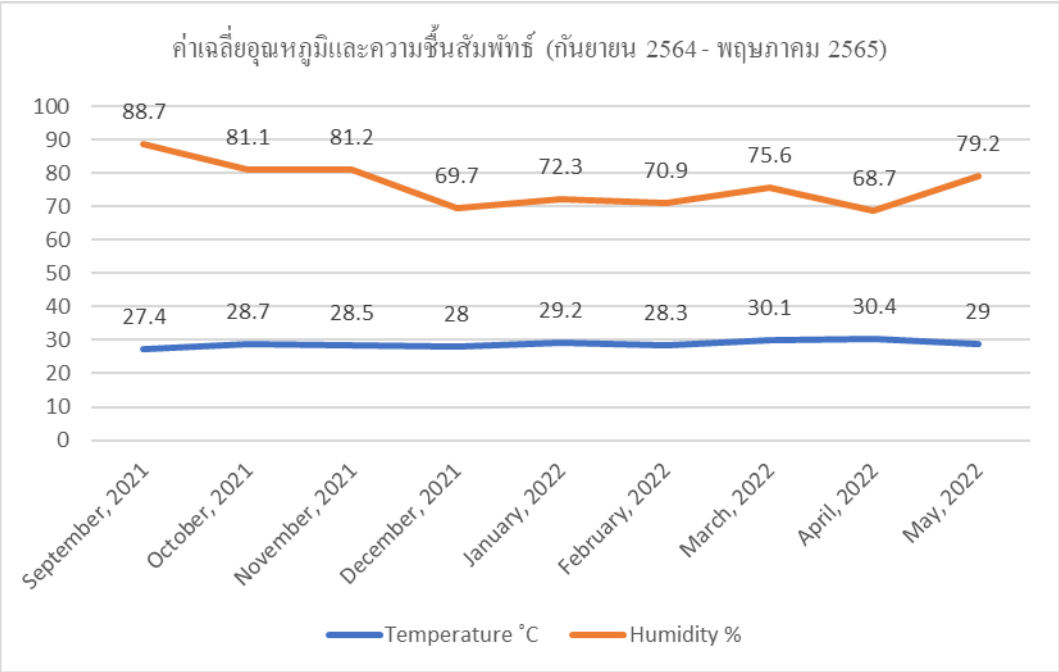
ภาพที่ 54 กราฟที่ 8 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (ช่วงฤดูร้อน) ที่ได้บันทึกวันที่ 1 จนถึงวันที่ 30 เดือนเมษายน 2565 ตั้งแต่เวลา 00:00 – 23:59 น. ในกล่องจำลอง

ที่มา: เรียบเรียงโดยผู้วิจัย



ภาพที่ 55 กราฟที่ 9 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (ช่วงฤดูร้อน) ที่ได้บันทึกวันที่ 1 จนถึงวันที่ 31 เดือนพฤษภาคม 2565 ตั้งแต่เวลา 00:00 – 23:59 น. ในกล่องจำลอง

ที่มา: เรียบเรียงโดยผู้วิจัย



ภาพที่ 56 กราฟที่ 10 สรุปค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้บันทึกไว้เป็นระยะเวลา 9 เดือน ในกล่องจำลอง (Moist Chamber)

ที่มา: เรียบเรียงโดยผู้วิจัย

ผลสรุปจากการบันทึกข้อมูลจากการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในกล่องจำลอง ได้พบว่าค่าอุณหภูมิและความชื้นมีค่าสูงเกือบตลอดเวลา โดยในฤดูฝนค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอยู่ที่ 28 องศาเซลเซียล (˚C) และค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 81 เปอร์เซ็นต์ (%) ส่วนในช่วงฤดูหนาวค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอยู่ที่ 28 องศาเซลเซียล (˚C) และค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 65 เปอร์เซ็นต์ (%) สังเกตได้ว่าในฤดูหนาว (พฤศจิกายน ธันวาคม มกราคม และกุมภาพันธ์) ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์มีการลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับฤดูฝน ช่วงฤดูร้อนค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอยู่ที่ 29 องศาเซลเซียล (˚C) และค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 74 เปอร์เซ็นต์ (%) จากข้อมูลการบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้ทำการบันทึกในกล่องจำลอง (Moist Chamber) ซึ่งในระยะเวลาที่ได้ทำการบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้น ผู้วิจัยได้ใช้กระป๋องฉีดเป็นละอองน้ำเพื่อเพิ่มความชื้นให้สำริดที่ได้สร้างมาให้เกิดเป็นสนิม โดยระยะเวลา 9 เดือน ที่ได้ทำการทดลองสังเกตได้ว่ามีสนิมเกิดขึ้นตามพื้นผิวของโลหะจำนวนเล็กน้อย

2.1 การบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เพื่อการทดลองกระบวนการเกิดสนิมบนพื้นผิวโลหะสำริด

ผลของการทดลองชิ้นงานที่เป็นตัวอย่างด้วยวิธีการสังเกตลักษณะสภาพพื้นผิวที่เกิดสนิม และรวบรวมข้อมูลที่ได้บันทึกการวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในกล่องจำลอง (Moist Chamber) โดยค่าอุณหภูมิและความชื้นมีค่าคล้ายกันกับค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ห้องจัดเก็บ ณ พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ ได้เริ่มบันทึกตั้งแต่วันที่ 1 เดือนกันยายน พ.ศ. 2564 จนถึงวันที่ 31 เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2565 โดยในระหว่างเดือนกันยายน พ.ศ. 2564 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2565 พบว่าค่าอุณหภูมิและความชื้นสูงมากอย่างคงที่ในสามฤดู ดั้งนี้ 1 ฤดูฝน ตั้งแต่เดือนกันยายน ถึงเดือนตุลาคม 2 ฤดูหนาว ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน ถึงเดือนกุมภาพันธ์ และ 3 ฤดูร้อน ตั้งแต่เดือนมีนาคม ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2565

ตารางที่ 10 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แต่ละเดือนที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในกล่องจำลอง

วัน เดือน และปี ในการเก็บข้อมูล	พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ		กล่องจำลอง		รูปภาพการเปลี่ยนแปลงของวัตถุ
	ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ	ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์	ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ	ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์	
วันที่ 1 – 15 กันยายน, 2564	27 ˚C	88 %	27 ˚C	88 %	
วันที่ 16 - 30 กันยายน, 2564	27 ˚C	90 %	27 ˚C	90 %	
วันที่ 1 - 15 ตุลาคม, 2564	28 ˚C	82 %	29 ˚C	81 %	
วันที่ 16 - 31 ตุลาคม, 2564	27 ˚C	76 %	28 ˚C	81 %	

วันที่ 1 - 15 พฤศจิกายน, 2564	28˚C	79 %	29 ˚C	84 %	
วันที่ 16 - 30 พฤศจิกายน, 2564	28 ˚C	78 %	28 ˚C	78 %	
วันที่ 1 - 15 ธันวาคม, 2564	26 ˚C	65 %	27 ˚C	68 %	
วันที่ 16 - 31 ธันวาคม, 2564	27 ˚C	70 %	29 ˚C	72 %	
วันที่ 1 - 15 มกราคม, 2565	28 ˚C	63 %	29 ˚C	71 %	
วันที่ 16 - 31 มกราคม, 2565	28 ˚C	70 %	29 ˚C	74 %	
วันที่ 1 - 14 กุมภาพันธ์, 2565	29 ˚C	68 %	29 ˚C	72 %	
วันที่ 15 - 28 กุมภาพันธ์, 2565	28 ˚C	69 %	28 ˚C	70 %	
วันที่ 1 – 15 มีนาคม, 2565	30 ˚C	66 %	30 ˚C	75 %	

วันที่ 16 – 31 มีนาคม, 2565	29 ˚C	73 %	30 ˚C	77 %	
วันที่ 1 – 15 เมษายน, 2565	29 ˚C	69 %	30 ˚C	62 %	
วันที่ 16 – 30 เมษายน, 2565	30 ˚C	72 %	31 ˚C	75 %	
วันที่ 1 – 15 พฤษภาคม, 2565	29 ˚C	79 %	29 ˚C	80 %	
วันที่ 16 – 31 พฤษภาคม, 2565	29 ˚C	78 %	29 ˚C	79 %	

จากการศึกษารวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการจัดเก็บและดูแลวัตถุสำริด จึงทำให้ผู้วิจัยได้ทราบว่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมสำหรับสำริดโดยอุณหภูมิอยู่ประมาณ 18 – 25 องศาเซลเซียล ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 55 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากการเก็บข้อมูลตลอดเดือนตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2564 จนถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2565 ที่แสดงในกราฟของพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ อาจสันนิษฐานได้ว่าลักษณะของพื้นที่และโครงสร้างของอาคารเป็นปัจจัยสำคัญทำให้ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ขึ้นสูงทุก ๆ เดือน เพราะเป็นห้องที่อยู่ใต้ดินและการถ่ายเทอากาศมีจำนวนน้อยทำให้ห้องมีความอับชื้นซึ่งไม่เหมาะสมสำหรับจัดเก็บศิลปวัตถุสำริด นอกจากนี้ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้น คือ สภาพอากาศภายนอกอาคาร อากาศร้อนจัดทำให้อุณหภูมิภายในอาคารสูงขึ้น ฝนตกส่งผลต่อความชื้นในอาคารสูงขึ้นเช่นกัน จากรูปที่ได้บันทึกเป็นภาพแบ่งเป็น 3 ช่วง ช่วงแรกเป็นฤดูฝน (เดือนกันยายน ถึงเดือนตุลาคม) แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างสำริดมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยโดยมีคราบสีเขียนอ่อนขึ้นตามพื้นผิวของสำริด ส่วนช่วงที่ 2 ภาพในฤดูหนาว (เดือนพฤศจิกายน ถึงเดือนกุมภาพันธ์) เห็นว่าสนิม

เริ่มปรากฏตัวมากขึ้นมีลักษณะเป็นคราบสีเขียว และคราบสีเทา และช่วงที่ 3 ภาพในฤดูร้อน (เดือนมีนาคม ถึงเดือนพฤษภาคม) สนิมปรากฏตัวเป็นคราบสีเขียวเข้ม และมีสีเทาบางจุด

วิธีที่ 3 การศึกษาแนวทางการป้องกันศิลปวัตถุสำริด

3.1 การวิเคราะห์เทคนิคที่เจ้าหน้าที่ที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติได้ทำการอนุรักษ์ศิลปวัตถุสำริด

คำถามที่เกี่ยวกับศิลปวัตถุสำริด	**ข้อมูลจากการสัมภาษณ์**
1 การฝึกอบรมบุคลากรในพิพิธภัณฑ์	- มีพนักงานจำนวน 5 คนที่ได้รับการอบรมของโครงการการอนุรักษ์ศิลปวัตถุสำริดจากสหรัฐอเมริกาทั้งทฤษฎีและการปฏิบัติ (จำนวน 9 เดือน)
2 การตรวจสอบสภาพสำริดที่มีในห้องจัดแสดงและห้องจัดเก็บ	- ตรวจสอบสภาพสำริดทุก ๆ สามเดือน เพื่อทำรายงาน หากวัตถุมีฝุ่นติดมากหรือเกิดสนิม เจ้าหน้าที่ต้องทำแบบฟอร์มเสนอวัตถุมาทำความสะอาดหรือรักษา
3 ปัญหาที่พบในห้องจัดเก็บ	- มีความชื้นสูง การระบายอากาศมีจำนวนน้อย - มักพบปัญหาน้ำท่วมในฤดูฝนหรือในช่วงที่มีฝนตกหนัก - ตู้สำหรับวางศิลปวัตถุทำจากไม้อัดเบาะด้วยแผ่นอลูมิเนียม
4 วิธีการอนุรักษ์ศิลปวัตถุสำริด	- ทำความสะอาดสำหรับศิลปวัตถุที่มีฝุ่นเกาะบนผิวตามหลักการเชิงป้องกัน - การเอาสนิมบนศิลปวัตถุสำริดออกด้วยใช้สารเคมีเช่น Ethanol หรือ Acetone และล้างด้วยน้ำกลั่น (Distill water) - การรักษาโรคสำริดด้วยใช้สารเคมีชื่อ Silver Oxide ตรงบริเวณที่มีสนิมเกิดขึ้นเล็กน้อย - ส่วน Benzotriazole (BTA) ใช้สำหรับรักษาโรคสำริดที่มีจำนวนมากหรือเกิดทั่วพื้นผิวของสำริด โดยการผสม BTA กับน้ำสำหรับแช่วัตถุ หรือเอาสำลีจุ่มในน้ำที่มีสาร BTA และแปะตรงบริเวณที่เกิดสนิม (เฉพาะศิลปวัตถุสำริดที่มีขนาดใหญ่) หลังจากวางให้แห้งวัตถุถูกเช็ดด้วย Ethanol หรือ Acetone

5 การรักษารอยแตกบนศิลปวัตถุสำริด	- ใช้กาว Paraloid B-72 (Acryloid) จำนวน 3% หรือมากกว่านี้ตามขนาดของศิลปวัตถุละลายในอะซีโตน หากรอยแตกที่ติดกาวไม่เสถียรจะมีการใช้ Fiberglass จุ่มในสาร Acryloid แล้วติดตรงบริเวณที่มีรอยแตก - ใช้แป้ง Micro balloons ผสมกับ Acryloid เพื่อปกปิดรอยกาว และเลือกใช้ Acrylic Paint หากต้องการให้สีผิวเหมือนกัน

จากบทสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ที่เป็นผู้เชี่ยวชาญทางด้านโลหะที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญเห็นว่าศิลปวัตถุสำริดที่เก็บรักษาในห้องจัดเก็บใต้ดินส่วนใหญ่เผชิญกับปัญหาความชื้นที่มีค่าสูง และเผชิญกับน้ำฝนท่วมบ้างเฉพาะฤดูฝนที่มีฝนตกหนัก การอนุรักษ์ศิลปวัตถุสำริด เจ้าหน้าที่ที่พิพิธภัณฑ์ได้รับการอบรมภายใต้โครงการ การอบรมการอนุรักษ์โลหะโครงการนี้ได้รับการอบรมโดยนักอนุรักษ์จากสหรัฐอเมริกาทั้งทฤษฎีและการปฏิบัติจำนวน 9 เดือน ส่วนวิธีการอนุรักษ์เจ้าหน้าที่มีการปฏิบัติงานตามขั้นตอนของการอนุรักษ์ โดยส่วนใหญ่มีการใช้สารเคมีเพื่อรักษาการเกิดสนิมและรอยแตกร้าวของชิ้นงาน จึ่งแสดงให้เห็นว่าศิลปวัตถุมีปัญหามากจากความชื้นที่มีค่าสูงในห้องจัดเก็บ

3.2 การวางแผนการปฏิบัติงานและวิธีการอนุรักษ์จากการบันทึกคำแนะนำและข้อเสนอแนะสำหรับการจัดเก็บ

สำริดเป็นโลหะผสมที่มีทองแดงเป็นหลัก ซึ่งทองแดงเป็นโลหะที่เกิดสนิมหรือปฏิกิริยาได้ง่ายกว่าโลหะทองคำและเงิน และเป็นสนิมที่มีหลายชนิด ที่พบส่วนมาก ได้แก่ สนิมของอ็อกไซด์จึงจะทำให้มีสีน้ำตาลแดง สนิมคาร์บอเนตทำให้เกิดสีเขียวเข้ม และสนิมของคลอไรด์ที่มีสีเขียวอ่อนจะเห็นว่าทองแดงสามารถเกิดสนิมได้มากมาย เป็นทั้งสนิมที่ดีและสนิมที่ไม่ดี ดังนั้นจึงต้องรับการดูแลเป็นพิเศษเพื่อป้องกันหลักฐานทางด้านประวัติศาสตร์และเป็นสมบัติของชาติ

3.2.1 การปฏิบัติงานและการรักษาเบื้องต้น

ก่อนจับศิลปวัตถุที่เป็นโลหะผสม ผู้วิจัยควรใส่ถุงมือผ้าฝ้ายเนื้อนุ่มหรือถุงมือสะอาด (พลาสติก) หรือเอาเศษผ้ามาใช้เพื่อหลีกเลี่ยงมิให้ศิลปวัตถุมีลายนิ้ว อนึ่งการยกวัตถุจากจุดศูนย์ถ่วง ผู้วิจัยควรหลีกเลี่ยงการยกศิลปวัตถุด้วยการจับขอบภาชนะ แขน หูจับ พวยกา หรือบริเวณอื่น ๆ มิฉะนั้นโลหะอาจมีการเพิ่มจุดอ่อนที่มองไม่เห็น และอาจจะบิดหรือหักได้โดยไม่คาดคิด ก่อนลง

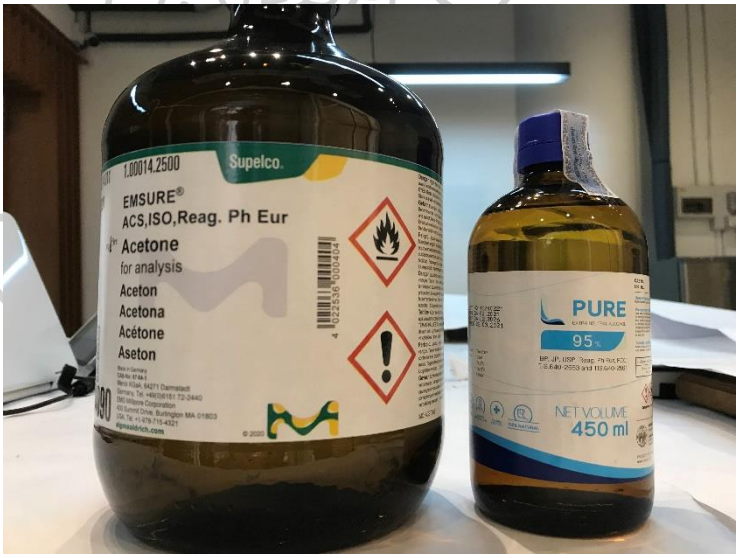
มือทำความสะอาดวัตถุสำริด ผู้วิจัยต้องจุดบันทึกบริเวณที่มีความชำรุดหรือเสียหายพร้อมกับการถ่ายรูปเพื่อทำรายงาน (Condition Report) การเสียหายของชิ้นงาน หลังจากนั้นผู้วิจัยสามารถใช้แปรงขนอ่อนเพื่อปัดฝุ่นละอองสิ่งสกปรกที่เกาะอยู่บนพื้นผิวสำริด และใช้อาซิโตน (Acetone) หรือแอลกอฮอล์ (Alcohol) เช็ดตรงบริเวณที่มีคราบหรือรอยเปื้อนบนพื้นผิวสำริด โดยการเช็ดผู้วิจัยใช้ก้านสำลีหรือก้อนสำลีกลม ๆ เพื่อป้องกันมิให้เกิดรอยขูดขีดเพิ่มบนศิลปวัตถุ

ตารางที่ 11 รายการอุปกรณ์ เพื่อทำความสะอาดชิ้นงานสำริด

วัสดุ	อุปกรณ์ที่ใช้ทำความสะอาด
- ฝุ่นละออง - สนิม - รอยแตกร้าว	- สำลีก้าน - ถุงมือพลาสติก - อาซิโตน หรือ แอลกอฮอล์ - มีดผ่าตัด - เหล็กปลายแหลม - พู่กันและแปรงขนาดต่าง ๆ - แว่นขยาย

ภาพที่ 57 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทำความสะอาด
ที่มา: ถ่ายโดยผู้วิจัย, เมื่อวันที่ 20 พฤษภาคม 2022

ภาพที่ 58 แว่นขยายสำหรับตรวจบริเวณที่มีลวดลายหรือซอกต่าง ๆ บนชิ้นงาน
ที่มา: ถ่ายโดยผู้วิจัย, เมื่อวันที่ 20 พฤษภาคม 2022



ภาพที่ 59 อาซิโตนและแอลกอฮอล์ที่ใช้สำหรับทำความสะอาด
ที่มา: ถ่ายโดยผู้วิจัย, เมื่อวันที่ 20 พฤษภาคม 2022

3.2.2 การอนุรักษ์เชิงป้องกัน

สำริดทำปฏิกิริยากับความชื้นและก๊าซต่าง ๆ ในอากาศแล้วเกิดเป็นสนิมชนิดต่าง ๆ ได้เร็วมาก ดังนั้นจึงควรป้องกันการเกิดสนิมดังกล่าว โดยเก็บรักษาหรือจัดแสดงในที่แห้ง ๆ โดยทั่วไปวัตถุประเภทโลหะควรเก็บในบริเวณที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 30 เปอร์เซ็นต์ จะช่วยป้องกันการเกิดสนิมได้เป็นอย่างดีแต่เนื่องจากประเทศกัมพูชาตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น จึงเป็นการยากที่จะควบคุมระดับความชื้นให้ต่ำมากได้ วัตถุสำริดควรเก็บอยู่ในที่ที่มีอุณหภูมิ 22 – 24 เซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องใช้สารดูดความชื้นภายในตู้จัดแสดงหรือตู้ที่จัดเก็บวัตถุ สารดูดความชื้นมีหลายชนิด เช่น แคลเซียมคลอไรด์ ซิลิกาเจล สารดูดความชื้นที่หาซื้อได้ง่ายและเป็นที่นิยมใช้คือ ซิลิกาเจล (Silica Gel) การเก็บรักษาวัตถุสำริดควรเก็บในภาชนะหรือบรรจุภัณฑ์ที่ปิดได้มิดชิดเช่น ตู้ กล่อง ถุงพลาสติก ฯลฯ และปูด้วยผ้าพลาสติกหรือผ้าม่านรอบ ๆ เพื่อป้องกันก๊าซต่าง ๆ ที่มาสัมผัสกับวัตถุ วัตถุที่มีขนาดเล็กอาจเก็บในถุงโพลีเอทธีลีน (polyathylene) ที่มีซิปปิดถุง ซึ่งสามารถป้องกันทั้งความชื้นและก๊าซได้พอสมควร โดยไม่ทำให้เกิดสนิมเพิ่มขึ้น หรืออาจป้องกันความชื้นและก๊าซที่จะสัมผัสกับวัตถุโดยการทาสารเคลือบผิวประเภทอะคริลิคที่มีคุณสมบัติเหมาะสม ส่วนห้องจัดเก็บวัตถุที่ไม่มีเครื่องปรับอากาศควรปรับปรุงให้มีอากาศไหลเวียนถ่ายเทได้ดีตลอดเวลา

วิธีที่ 4 การทดลองกระบวนการเกิดสนิมบนพื้นผิวโลหะสำริดด้วยวิธีการให้ความชื้นในกล่องทดลอง (Moist Chamber)

จากการทดลองกระบวนการเกิดสนิม ผู้วิจัยได้สร้างชิ้นงานจำลองที่มีองค์ประกอบและสัดส่วนคล้ายกันกับศิลปวัตถุสำริดที่ต้องศึกษา (จัดเก็บที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ ประเทศกัมพูชา) พร้อมทั้งสร้างกล่อง (Moist Chamber) พลาสติกเพื่อเป็นการทดลอง และบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อวางชิ้นงานจำลองในกล่อง ด้วยกล่องมีขนาดความยาว 100 เซนติเมตร กว้าง 100 เซนติเมตร และความสูง 80 เซนติเมตร การทดลองจะใช้เวลาประมาณ 9 เดือนนับตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2564 จนถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2565 เพื่อบันทึกข้อมูลการเสื่อมสภาพของวัตถุที่เป็นตัวอย่าง นอกจากนี้ยังมีการใช้ขวดฉีดพ่นละอองน้ำ และมีการวางภาชนะที่ใส่น้ำตั้งไว้เพื่อให้น้ำระเหยเกิดเป็นไอน้ำสร้างความชื้นในกล่องที่วางชิ้นงานทดลอง เพื่อค่าความชื้นอยู่ในระดับเดียวกันกับห้องจัดเก็บใต้ดินในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ ประเทศกัมพูชา

ภาพที่ 60 กล่องพลาสติกที่ทำการทดลองสำริดเพื่อให้เกิดสนิม

ที่มา: ถ่ายโดยผู้วิจัย, เมื่อวันที่ 20 กันยายน 2021

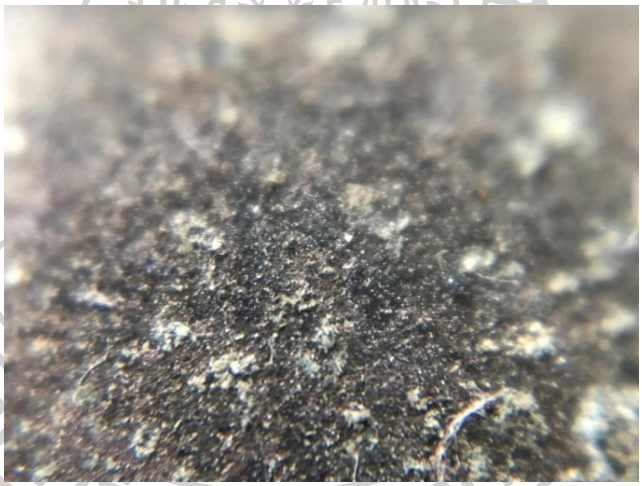
ภาพที่ 61 ภาชนะที่ใส่น้ำเพื่อให้เกิดไอน้ำ

ที่มา: ถ่ายโดยผู้วิจัย, เมื่อวันที่ 20 กันยายน 2021

ภาพที่ 62 การบันทึกภาพชิ้นงานทดลองของการเกิดสนิม

ที่มา: ถ่ายโดยผู้วิจัย, เมื่อวันที่ 19 พฤษภาคม 2022

ภาพที่ 63 การใช้กล้องขยายขนาด 40X เพื่อตรวจสอบลักษณะของสำริด
ที่มา: ถ่ายโดยผู้วิจัย, เมื่อวันที่ 19 พฤษภาคม 2022



ภาพที่ 64 การใช้กล้องขยายขนาด 40X เพื่อตรวจสอบลักษณะของสำริด
ที่มา: ถ่ายโดยผู้วิจัย, เมื่อวันที่ 19 พฤษภาคม 2022

จากรูปที่ได้บันทึกเป็นภาพในตารางค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ถูกแบ่งเป็น 3 ช่วง สันนิษฐานได้ว่าสำริดชิ้นนี้มีการเกิดสนิมจำนวนน้อยและเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ และเกิดเป็นบางจุดบนพื้นผิวสำริด โดยช่วงแรกเป็นฤดูฝน (เดือนกันยายน ถึงเดือนตุลาคม) แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างสำริดมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยโดยมีคราบสีเขียวอ่อนขึ้นบนพื้นผิวของสำริด ส่วนช่วงที่ 2 ภาพในฤดูหนาว (เดือนพฤศจิกายน ถึงเดือนกุมภาพันธ์) เห็นว่าสนิมเริ่มปรากฏตัวมากขึ้นมีลักษณะเป็นคราบสีเขียว และคราบสีเทา และช่วงที่ 3 ภาพในฤดูร้อน (เดือนมีนาคม ถึงเดือนพฤษภาคม) สนิมปรากฏตัวเป็นคราบสีเขียวเข้ม และมีสีเทาบางจุด

3 ขั้นตอนวิธีการอนุรักษ์โลหะสำริด

3.1 การตรวจและการประเมินสภาพ

จากสภาพที่ได้สำรวจมาเห็นว่าศิลปวัตถุสำริดชิ้นนี้ผ่านการซ่อมเมื่อในอดีต (โดยนักอนุรักษ์ชาวฝรั่งเศส) ด้วยรอยซ่อมไม่เสถียรส่วนกาวที่ติดตามรอยหักมีการเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลเข้ม (กาวไม่ระบุชื่อ) มีฝุ่นละอองปกคลุมทั่วพื้นผิวของสำริด ด้านบนเห็นมีรอยการปิดทองและรอยแตกร้าว ส่วนด้านหลังมีสนิมเกิดขึ้น และมีการใช้ไม้ประกอบเพื่อเสริมความแข็งแรงให้ศิลปวัตถุโดยไม้สามารถดูดความชื้นได้จึ่งทำให้บริเวณรอบ ๆ ไม้มีสนิมเกิดขึ้น

ศิลปวัตถุสำริดที่เป็นส่วนตกแต่งสถาปัตยกรรมรูปด้านหน้าและรูปด้านหลัง

ที่มา : ภาพจากเจ้าหน้าที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ กรุงพนมเปญ

3.2 การทำความละอาดสำริดโดยกำหนด 2 วิธีการ

วิธีที่ 1: ทำความสะอาดสำริดด้วยมะนาวกับเบกกิ้งโซดา (Baking Soda + Citric Acid ($C_6H_{10}O_8$))

เริ่มด้วยการล้างสำริดหรือชิ้นงานในน้ำอุ่นเพื่อกำจัดฝุ่น และเช็ดให้แห้งด้วยผ้านุ่มสะอาดหรือเศษผ้า เทเบกกิ้งโซดา 2 ช้อนโต๊ะลงในชามใบเล็กพร้อมกับน้ำมะนาว (ไม่ว่าจะเป็นแบบสดหรือแบบเข้มข้น) เทลงบนเบกกิ้งโซดาอจนส่วนผสมเปียกคล้ายกับยาสีฟัน แล้วทาน้ำยาที่

ผสมกันลงบนชิ้นงานโดยสามารถใช้มือที่ใส่ถุงมือหรือเอาเศษผ้ามาทำให้กระจายทั่วตัวงานโดยเคลื่อนไหวเป็นวงกลมเล็ก ๆ เน้นบริเวณที่มีคราบมากถูจนคราบลดออกและตรงบริเวณที่มีลวดลายหรือซอกต่าง ๆ สามารถใช้แปรงสีฟันเพื่อให้น้ำยาเข้าถึงได้ และปล่อยไว้เป็นเวลาครึ่งชั่วโมง ต่อมาล้างชิ้นงานให้สะอาดด้วยน้ำอุ่นและเช็ดให้แห้งด้วยผ้านุ่มสะอาด จากนั้นใช้น้ำมันมะกอกสองหรือสามหยดลงบนผ้าและขัดเบา ๆ เพื่อให้เงาออกมาสวย

ภาพที่ 65 การใช้มะนาวกับเบกกิ้งโซดาเพื่อทำความสะอาดพื้นผิวสำริด
ที่มา: ผู้วิจัยเรียบเรียง

วิธีที่ 2: ทำความสะอาดสำริดด้วยเกลือ

อันดับแรกคือทำความสะอาดฝุ่นที่ติดบนสำริดด้วยการล้างกับน้ำอุ่นแล้วเช็ดให้แห้งด้วยเศษผ้านุ่ม ๆ หลังจากล้างเสร็จเอาเกลือแกงสองช้อนโต๊ะมาผสมกับแป้งขาวสองช้อนโต๊ะ และใส่น้ำส้มสายชูสีขาวลงแล้วคนให้ข้นสม่ำเสมอ ใส่ถุงมือเพื่อตักน้ำยามาทาบนชิ้นงานและใช้นิ้วหรือเศษผ้าถูเนื้อสำริดเป็นวงกลมเล็ก ๆ เพื่อวางให้ทั่วพื้นผิวโลหะรวมทั้งรอยแตกต่าง ๆ จากนั้นปล่อยไว้บนเนื้อสำริดเป็นเวลาหนึ่งชั่วโมงหรือมากกว่านั้น เสร็จแล้วใช้น้ำอุ่นล้างเนื้อครีมโดยถูเบา ๆ เพื่อขจัดสิ่งตกค้าง ต่อมาเช็ดให้แห้งด้วยเศษผ้านุ่มสะอาด สุดท้ายทาน้ำมันมะกอกหนึ่งหรือสองหยดลงบนเศษผ้าแล้วขัดเพื่อให้เงางาม

จากการศึกษาข้อมูล ผู้วิจัยสามารถสรุปผลของการทำความสะอาดผิวสำริดได้ 2 วิธี ซึ่งวิธีทั้งสองข้างต้นเป็นวิธีที่ง่ายในการทำความสะอาดพื้นผิวของสำริด เพราะสามารถใช้วัตถุทำความสะอาดแบบธรรมชาติและหาซื้อได้ในตลาด ที่สำคัญกว่านี้วิธีทั้ง 2 นี้มีผลดีต่อการทำความ

สะอาดผิวสำริด แต่ต้องทำด้วยความระวัง เพราะสารกรดในน้ำมะนาวและน้ำส้มสายชูมีปฏิกิริยากับเนื้อโลหะได้ และหากล้างสารกรดออกไม่หมด สารกรดนั้นจะทำปฏิกิริยาต่อไปในเนื้อโลหะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในซอกหรือรูเล็ก ๆ ที่ของเหลวสามารถแทรกซึมเข้าไปได้ รวมทั้งในช่องว่างเล็ก ๆ ระหว่างผลึกในเนื้อโลหะที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า

3.3 การนำสนิมออก

สนิมที่เกิดบนศิลปวัตถุสำริดเป็นสนิมสีเขียว ซึ่งการนำสนิมออก ผู้วิจัยเลือกใช้ Ethanol หรือ Acetone โดยใช้ก้านสำลีหรือก้อนสำลีกลม ๆ จุ่มในสารเอธิลอัลกอฮอล์หรืออาซิโตน ให้ชื้นแล้วลูบบนสนิมอย่างระมัดระวังมิให้เกิดรอยขูดขีด ถ้าเป็นวัตถุชิ้นเล็ก ๆ หรือพื้นที่เล็ก ๆ ตามซอกหลืบหรือในลวดลาย ต้องใช้สำลีพันปลายไม้จิ้มฟันหรือก้านสำลีขนาดเล็กมาถู ทำแบบนี้สนิมทองแดงจะหลุดติดมากับสำลี ทำซ้ำ ๆ ครั้งจนมองเห็นเนื้อโลหะ จากนั้นใช้สำลีจุ่มแอลกอฮอล์เช็ดเบา ๆ หลาย ๆ ครั้งจนหมดคราบครีมและคราบสนิม แล้วใช้ผ้านุ่ม ๆ เนื้อเรียบ ๆ เช็ดให้แห้ง

3.4 การรักษาการกัดกร่อน

การเลือกวิธีการอนุรักษ์การกัดกร่อนโดยผู้วิจัยได้เลือกวิธีเช่นการเปรียบเทียบในตารางที่ 6 วิธีการคือเช็ดด้วยอะซิโตนเพื่อขจัดน้ำมันขัดเงา (Lacquer) ออกแล้วเช็ดด้วยแอลกอฮอล์จุดไฟ (I.M.S - industrial methylated spirit) การรักษาโดยการลดใช้อิเล็กโทรลิ้ดทิค 10 เปอร์เซ็นต์ในกรดกำมะถันหรือกรดซัลฟิวริก (Sulfuric Acid) บนสำลีเช็ดกับตะกั่วดำที่มีขั้วบวกจำนวนหลายวินาที และเช็ดด้วยแอลกอฮอล์หลาย ๆ ครั้งแล้วซับให้แห้งด้วยสำลี หรืออาจปฏิบัติตามวิธีต่าง ๆ ที่มีอยู่ในตาราง

หน้าที่ 51, *ตารางที่ 8 ตารางวิธีการอนุรักษ์ศิลปวัตถุสำริด* (ทิพย์เนตร พยุง, 1975)

วิธีการอนุรักษ์	**สารที่ใช้**
การใช้สารเคมี	Alkaline Rochelle salt, alkaline glycerol, กรดกำมะถัน และไฟฟ้าเคมี (โดยใช้ด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโซเดียมคาร์บอเนต)
การกำจัดคลอไรด์	ใช้กับโซเดียมเซสควิคาร์บอเนตที่ละลายในน้ำ
การใช้ซิลเวอร์ออกไซด์	ใช้ซิลเวอร์ออกไซด์ผสมกับแอลกอฮอล์
การใช้เบนโซไตรอาโซล	ใช้เบนโซไตรอาโซลผสมกับน้ำ และใช้ไนโตรเซลลูโลสผสมเบนโซไตรอาโซล หรืออินคราแลค (สำหรับเคลือบผิว)

จากการศึกษาข้อมูลวิธีการกำจัดสนิมที่มี 4 วิธีการที่มีในตาราง ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีที่ 4 โดยการใช้เบนโซไตรอาโซลในการล้างสนิมออกจากศิลปวัตถุสำริด เพราะผู้วิจัยเห็นว่าวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายและประหยัดเวลา และไม่เปลี่ยนสีของสนิมด้วย

3.5 การป้องกันพื้นผิวสำริด

หลังจากทำความสะอาด ผู้วิจัยต้องทำการเคลือบผิวสำริดด้วยแวกซ์ชนิดพิเศษ ในกรณีที่ไม่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้ โดยแวกซ์ชนิดนี้เรียกว่า Microcrystalline wax ซึ่งสกัดจากน้ำมันปิโตรเลียม ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ มีผลึกขนาดเล็กมาก มีความยืดหยุ่นสูง ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตให้มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการเคลือบผิววัตถุพิพิธภัณฑ์ที่ทำด้วยโลหะที่ใช้ทั่วไป มีชื่อการค้า Renaissance wax ผู้วิจัยสามารถใช้ผ้าเนื้อละเอียดหรือสำลีจุ่มในแวกซ์แล้วเช็ดถูบนผิวโลหะให้ทั่ว จากนั้นเช็ดแวกซ์ส่วนเกินออกด้วยผ้านุ่ม ๆ แวกซ์ดังกล่าวจะช่วยป้องกันมิให้ผิวโลหะสัมผัสกับความชื้นและก๊าซต่าง ๆ ในอากาศ รวมทั้งสิ่งแปลกปลอมจากมือ อีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้คือเคลือบผิวด้วยสารละลาย Paraloid B-72 ในบริมาณ 3-5 เปอร์เซ็นต์ ละลายในอะซีโตนหรือโทลูอีน

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษา การเสื่อมสภาพ และวิธีการป้องกันศิลปวัตถุสำริด กรณีศึกษาศิลปวัตถุสำริดที่อยู่ในห้องจัดเก็บใต้ดินในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติของประเทศกัมพูชา มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเสื่อมสภาพและหาวิธีการป้องกันพื้นผิวของศิลปวัตถุสำริด ศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนพื้นผิวของศิลปวัตถุสำริด และหาแนวทางการป้องกัน การจัดเก็บรักษาศิลปวัตถุสำริดในห้องใต้ดินในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญของประเทศกัมพูชา

จากผลการศึกษาและการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมในห้องจัดเก็บใต้ดิน ณ พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติของประเทศกัมพูชา สันนิษฐานได้ว่าในห้องมีสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อศิลปวัตถุที่เป็นโลหะอย่างมาก โดยในห้องจัดเก็บมีการติดตั้งพัดลมดูดอากาศจำนวน 2 เครื่องที่หน้าต่างและเปิดในเวลาที่มีเจ้าหน้าที่ลงไปตรวจหรือเข้าไปนำศิลปวัตถุสำริดมาทำการอนุรักษ์เท่านั้นจึงทำให้อากาศในห้องมีความแออัด และการถ่ายเทอากาศมีจำนวนน้อย ซึ่งทำให้ห้องมีความชื้นสูงเกือบตลอดเวลา นอกจากนี้ยังมีท่อระบายน้ำที่มีน้ำขังอยู่ในท่อโดยน้ำสามารถระเหยก่อเป็นความชื้น หรือมีน้ำท่วมในช่วงฤดูฝนที่มีฝนตกหนักซึ่งน้ำที่ท่วมเข้ามาในห้องอาจมีสารกรดปนเปื้อนอยู่ในน้ำและส่งผลต่อศิลปวัตถุที่เป็นโลหะมีความเสียหาย

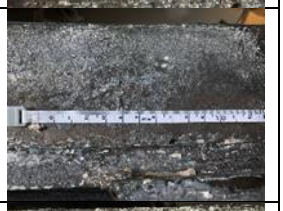
เนื่องจากสำริดเป็นโลหะผสมซึ่งอาจทำให้เกิดเป็นสนิมได้หลายชนิดเมื่อสัมผัสกับความชื้นหรือมีปฏิกิริยากับสภาพแวดล้อมที่มีก๊าซออกซิเจน (Oxygen) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2 - เมื่ออยู่ในอากาศจะถูกออกซิไดซ์ กลายเป็น SO_3 และรวมตัวกับความชื้นในอากาศกลายเป็นฝนกรด) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 - ละลายน้ำได้และจะกลายเป็นกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3)) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S - เมื่อสัมผัสกับน้ำหรือไอน้ำจะเปลี่ยนสภาพเป็นกรดซัลฟูริค (H_2SO_4) หรือเรียกว่าไอกรดหรือฝนกรดโดยมีความสามารถกัดกร่อนโลหะผสม) ไอระเหย เกลือ ดิน มูลสัตว์ ฯลฯ จึ่งต้องรับการดูแลรักษาอย่างดีเพื่อยืดอายุของศิลปวัตถุที่มีคุณค่าทางด้านประวัติศาสตร์ของมนุษยชาติ โดยสามารถเพิ่มหรือเปลี่ยนพัดลมดูดอากาศที่หน้าต่างพร้อมทั้งเปิดตลอด 24 ชั่วโมง เพื่อให้อากาศในห้องถ่ายเทและการระบายอากาศดีขึ้น นอกจากนี้ควรใช้เครื่องดูดความชื้นและเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่สามารถบันทึกได้ 24 ชั่วโมง เพื่อช่วยในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในห้องจัดเก็บให้คงที่หรืออยู่ที่ระดับที่ต้องการ ในกรณีที่ใช้กล่องพลาสติกสำหรับเก็บศิลปวัตถุสำริด ผู้วิจัยสามารถใช้ซิลิกาเจลที่มีหน้าที่ดูดความชื้นในกล่องที่ปิด

มิดชิด เพราะในกล่องที่ปิดสนิทอาจมีอากาศที่กลั่นตัวและก่อเป็นหยดน้ำเกาะติดอยู่บนศิลปวัตถุที่เก็บอยู่ในกล่อง ซึ่งซิลิกาเจลสามารถดูดซับความชื้นจากอากาศได้ถึง 400 เท่า เพื่อช่วยรักษาระดับความชื้นให้คงที่ในภาชนะพลาสติก ส่วนตู้ที่ใช้สำหรับวางหรือเก็บศิลปวัตถุที่เป็นโลหะ ผู้วิจัยเลือกใช้ผ้าพลาสติกหรือผ้าม่านสำหรับปูชั้นวาง หรือสามารถใช้โฟมเฉื่อย เช่น EPE foam เพื่อรองรับศิลปวัตถุที่เป็นโลหะ เพราะชนิด EPE foam มีเนื้อนุ่มและความยืดหยุ่นสูง และมีคุณสมบัติป้องกันความชื้นได้เช่นกัน

จากการบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในกล่องพลาสติก (Moist Chamber) ตั่งแต่วันที่ 1 เดือนกันยายน พ.ศ. 2564 จนถึงวันที่ 31 เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2565 โดยใช้เวลาในการรวบรวมข้อมูลผลการทดลองจำนวน 9 เดือน ถูกแบ่งเป็น 3 ช่วง โดยช่วงแรกเป็นฤดูฝน (เดือนกันยายน ถึงเดือนตุลาคม) ผู้วิจัยพบว่าตัวอย่างสำริดมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย มีคราบสีเขียวอ่อนขึ้นตามพื้นผิวของสำริดที่เป็นตัวอย่าง ส่วนช่วงที่ 2 เป็นฤดูหนาว (เดือนพฤศจิกายน ถึงเดือนกุมภาพันธ์) เห็นว่าสนิมเริ่มปรากฏตัวมากขึ้นมีลักษณะเป็นคราบสีเขียว และคราบสีเทา ที่เกิดจากการให้ความชื้นในกล่อง (Moist Chamber) โดยคราบสีเทามีชื่อทางเคมีว่า คิวปรัสคลอไรด์ (Cuprous Chloride) โดยสนิมชนิดนี้มักเกิดขึ้นบนพื้นผิวทองแดงและโลหะผสมของทองแดงได้หลายรูปแบบ เมื่อคิวปรัสคลอไรด์ได้รับความชื้นและออกซิเจนจะเปลี่ยนเป็นอะทาคาไมต์ ซึ่งมีลักษณะเป็นผงสีเขียว และช่วงที่ 3 ในฤดูร้อน (เดือนมีนาคม ถึงเดือนพฤษภาคม) สังเกตเห็นว่าสนิมปรากฏตัวชัดเป็นคราบสีเขียวเข้ม และมีสีเทาบางจุดตามพื้นผิวของสำริด จากการตรวจสอบสนิมที่เกิดขึ้นผู้วิจัยสามารถแยกออกว่าสนิมที่เกิดขึ้นบนโลหะสำริดจำลองเป็นสนิมที่เกิดจากอ็อกไซด์หรือคาร์บอเนต ซึ่งเป็นสนิมที่เกิดจากอ็อกไซด์และคาร์บอเนตเป็นสนิมที่ดี และเกิดเป็นฟิล์มป้องกันการกัดกร่อนจากปฏิกิริยาอื่น ๆ ได้ (เอื้อพันธุ์, 2018)

ตารางที่ 12 ข้างล่างเป็นการรวบรวมการทดลองการขึ้นสนิมบนสำริดในกล่องจำลอง (Moist Chamber) พร้อมทั้งบันทึกค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

วัน เดือน และปี ในการทดลองการขึ้นสนิม	กล่องจำลอง (Moist Chamber)		รูปภาพการเปลี่ยนแปลงของวัตถุ
	ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ	ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์	
วันที่ 1 – 15 กันยายน, 2564	27 ˚C	88 %	
วันที่ 16 - 30 กันยายน, 2564	27 ˚C	90 %	
วันที่ 1 – 15 ตุลาคม, 2564	29 ˚C	81 %	
วันที่ 16 – 31 ตุลาคม, 2564	28 ˚C	81 %	
วันที่ 1 – 15 พฤศจิกายน, 2564	29 ˚C	84 %	
วันที่ 16 – 30 พฤศจิกายน, 2564	28 ˚C	78 %	
วันที่ 1 – 15 ธันวาคม, 2564	27 ˚C	68 %	

วันที่ 16 – 31 ธันวาคม, 2564	29 ˚C	72 %	
วันที่ 1 – 15 มกราคม, 2565	29 ˚C	71 %	
วันที่ 16 – 31 มกราคม, 2565	29 ˚C	74 %	
วันที่ 1 – 14 กุมภาพันธ์, 2565	29 ˚C	72 %	
วันที่ 15 – 28 กุมภาพันธ์, 2565	28 ˚C	70 %	
วันที่ 1 – 15 มีนาคม, 2565	30 ˚C	75 %	
วันที่ 16 – 31 มีนาคม, 2565	30 ˚C	77 %	
วันที่ 1 – 15 เมษายน, 2565	30 ˚C	62 %	
วันที่ 16 – 30 เมษายน, 2565	31 ˚C	75 %	

วันที่ 1 – 15 พฤษภาคม, 2565	29 ˚C	80 %	
วันที่ 16 – 31 พฤษภาคม, 2565	29 ˚C	79 %	

สรุปผลการทดลองการเกิดสนิมบนสำริดในกล่องจำลอง สันนิษฐานได้ว่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์มีค่าสูงเกือบตลอดเวลาเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดสนิมมากพอสมควร โดยสำริดที่สร้างขึ้นเพื่อทำการทดลองในระยะเวลา 9 เดือน มีสนิมค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับศิลปวัตถุสำริดที่มีอายุนับพันปี ดังนั้นควรจัดเก็บวัตถุที่เป็นโลหะตามหลักการการอนุรักษ์ และวางในพื้นที่ที่มีความชื้นไม่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์ และคงที่ตลอดเวลา

หลักการของการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมสำหรับการจัดเก็บวัตถุที่เป็นโลหะควรรักษาระดับอุณหภูมิระหว่าง 22 – 24 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ควรควบคุมให้ต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ และคงที่หรือค่อนข้างคงที่ตลอด 24 ชั่วโมง (อรัณยะ นาค จิราภรณ์, 2014) เนื่องจากประเทศกัมพูชาเป็นประเทศหนึ่งที่อยู่ในภาคพื้นเอเชียอาคเนย์ ซึ่งภูมิอากาศของประเทศมีลักษณะเป็นแบบร้อนชื้น จึงยากต่อการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้ถูกตามหลักการของการอนุรักษ์ ดังนั้นผู้วิจัยสามารถเลือกใช้ถุงพลาสติกที่มีซิปหรือกล่องพลาสติกที่ปิดได้สนิทเพื่อที่จะใส่สารกันความชื้นเช่น ซิลิกาเจล ไว้ภายในถุงหรือกล่องพลาสติก

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะที่ได้จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้ เป็นความรู้เกี่ยวกับการจัดเก็บศิลปวัตถุสำริด พร้อมทั้งสภาพแวดล้อมที่เหมาะสำหรับการจัดเก็บศิลปวัตถุที่เป็นโลหะผสม โดยสามารถนำความรู้เหล่านี้ไปใช้กับศิลปวัตถุที่เป็นโลหะในพิพิธภัณฑ์ หรือที่บ้านที่มีศิลปวัตถุสำริดได้ หากมีโอกาสและงบประมาณเพียงพอควรจัดให้มีการบรรยายหรือการประชุมเชิงปฏิบัติการในหลักสูตรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์ศิลปกรรมเพื่อเผยแพร่ความรู้ทางด้านอนุรักษ์ให้แก่ภัณฑารักษ์ นักสะสม และศิลปิน

เนื่องจากระยะเวลาในการศึกษารวบรวมข้อมูลและทดลองการเกิดสนิมบนพื้นผิวสำริดมีเวลาจำกัด เพราะฉะนั้นการศึกษาอาจจะไม่ครบสมบูรณ์ในทุกประเด็น เช่น การศึกษาลงลึกทางด้านวิทยาศาสตร์เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของสำริดในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกรุงพนมเปญ ประเทศกัมพูชา เป็นประเด็นที่น่าสนใจและควรได้รับการวิจัยเพิ่มเพื่อขยายผลการศึกษาต่อไป

รายการอ้างอิง

Angelini, E., Rosalbino, F., GRASSIN, S., Ingo, G., & De Caro, T. (2007). Simulation of corrosion processes of buried archaeological bronze artefacts. In *Corrosion of Metallic Heritage Artefacts* (pp. 203-218): Elsevier.

Bourgarit, D., Mille, B., Borel, T., Baptiste, P., & Zéphir, T. (2003). *A millennium of Khmer bronze metallurgy: analytical studies of bronze artifacts from the Musée Guimet and the Phnom Penh National Museum.* Paper presented at the Scientific Research in the Field of Asian Art: Proceedings of the First Forbes Symposium at the Freer Gallery of Art, London, Archetype Publications.

Bunker, E. C., & Latchford, D. (2011). *Khmer bronzes: new interpretations of the past*: Art Media Resources.

Cort, L. A., & Jett, P. (2010). *Gods of Angkor: Bronzes from the National Museum of Cambodia*: University of Washington Press.

Kohsantepheapdaily. (2015). ប្រវត្តិនៃសារមន្ទីរជាតិកម្ពុជាជាឃ្លាំងកំណប់វត្ថុបុរាណខ្មែរ Retrieved from https://kohsantepheapdaily.com.kh/article/112139.html

Medal Association of Thailand. (2020). Bronze (เหรียญ เนื้อสำริด). Retrieved from https://thaimedal.com/th/bronze

Mezzi, A., Angelini, E., De Caro, T., Grassini, S., Faraldi, F., Riccucci, C., & Ingo, G. (2012). Investigation of the benzotriazole inhibition mechanism of bronze disease. *Surface and interface analysis, 44*(8), 968-971.

Murowchick, R. E. (1989). *The ancient bronze metallurgy of Yunnan and its environs: development and implications.* Harvard University Cambridge, MA,

National Museum of Cambodia. (2013). PROJECTS AND ACTIVITIES: Collection Inventory Project & Collection Database Project. Retrieved from https://www.cambodiamuseum.info/en_projects_activities.html

National Service Te Paerangi. (2010). National Services Te Paerangi Template Condition Reporting Form. Retrieved from https://www.tepapa.govt.nz/sites/default/files/conditionreportingform.pdf

Organ, R. M. (1963). Aspects of bronze patina and its treatment. *Studies in Conservation, 8*(1), 1-9.

Oudbashi, O. (2015). From Excavation to Preservation: Preventive Conservation Approaches in Archaeological Bronze Collections. *La Conservation-Restauration des Métaux Archéologiques: des Premiers soins à la Conservation Durable*, 29-36.

Oudbashi, O. (2016). Corrosion Risk Assessment Approach in Archaeological Bronze Collections: From Burial to Long-term Preservation Environments.

Patel, A. B. (2014). Conservation of Archaeological Metal Artifacts-Emphasizing on Copper/Bronze.

Seang, R. (2011). The introduction to the bronze studies in Cambodia.

Siam Chemi. (2011). เคมี-ชีวะ-ฟิสิกส์พื้นฐาน. Retrieved from https://www.siamchemi.com/basic/

Thomas. (2021). Types of Bronze - A Thomas Buying Guide. Retrieved from https://www.thomasnet.com/articles/metals-metal-products/types-of-bronze/

Zefferys, M. L., Zefferys, N. S., & Stone, J. (2001). *Heaven and Empire: Khmer Bronzes from the 9th to the 15th Centuries*: White Lotus Company, Limited (Thailand).

ทิพย์เนตร พยุง. (1975). สนิมกัดกร่อนของสำริดและวิธีการรักษา: กรมศิลปากรจัดพิมพ์เป็นเอกสารประกอบการจัดนิทรรศการพิเศษ ณ พระที่นั่งอิศราวินิจฉัย พิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติ พระนคร ๒๒ มีนาคม ถึง ๒๒ มิถุนายน ๒๕๑๘.

รัตนรังสิกุล, ภ. (2011). *Patina* สร้างสรรค์ สีสัน สำหรับสำริด. กรุงเทพมหานคร: บริษัท ทองเพ็ชรการพิมพ์ จำกัด.

ราชบัณฑิตยสถาน. (Ed.) (2011). กรุงเทพฯ: ศิริวัฒนาอินเตอร์พริ้นท์ จำกัด (มหาชน).

ศรีสมบูรณ์ พวงพร. การดูแลรักษาวัตถุทางวัฒนธรรม ด้วยหลักการวิทยาศาสตร์การอนุรักษ์. Retrieved from http://www.bia.or.th/fileupload

สำนักพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ กรมศิลปากร. (2013). คู่มือการตรวจพิสูจน์ประติมากรรมสำริด โครงการจัดการความรู้ในการตรวจพิสูจน์โบราณวัตถุ ศิลปวัตถุ และสิ่งเทียม. กรุงเทพมหานคร: บริษัทไทภูมิพับลิชชิ่ง จำกัด.

อรัณยะนาค, จ. (2014). สารพันของสะสม. กรุงเทพฯ: สถาบันพิพิธภัณฑ์การเรียนรู้แห่งชาติ.

อรัณยะนาค จิราภรณ์. (2005). สำริด: โลหะที่เปลี่ยนโลก: พระที่นั่งอิศราวินิจฉัย พิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติ พระนคร ๒๒ มีนาคม ถึง ๒๖ มิถุนายน ๒๕๔๘.

อรัณยะนาค จิราภรณ์. (2014). การดูแลรักษาวัตถุพิพิธภัณฑ์: สถาบันพิพิธภัณฑ์การเรียนรู้แห่งชาติ.

เอื้อพันธุ์. (2018). ตึกเท่ด้วยทองแดง Retrieved from https://www.bangkokbiznews.com/lifestyle/583

ចាន់ម៉ារ៉ា ព្រាប. (2016). ប្រវត្តិសាស្ត្រចនា: មរតក១០០ឆ្នាំនៃសិល្បៈនិងវប្បធម៌ខ្មែរ. Phnom Penh: Udong Organization.

ថុន ថូ. (2020). អត្ថបទៈបច្ចេកទេសលាយសំរិទ្ធខ្មែរ Retrieved from

https://ams.com.kh/khmercivilization/detail/2727

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	Chanveasna CHHOURN
วัน เดือน ปี เกิด	2 เมษา 2536
สถานที่เกิด	จังหวัดกระแจะ ประเทศกัมพูชา
วุฒิการศึกษา	พ.ศ 2558 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี จากมหาวิทยาลัยภูมินท์พนมเปญ
ที่อยู่ปัจจุบัน	จังหวัดกระแจะ ประเทศกัมพูชา ติดต่อทางโซ้เชียลมี้เดีย อีเมล chanveasnachhourn@gmail.com ไลน์ไอดี pathavong

มหาวิทยาลัยศิลปากร