

근현대 대형유물 C-46 수송기의 도료분석 및 보존처리

Conservation Treatment and
Analysis of the Paint of a C-46
Transport

강현삼¹, 장한울¹, 이의천², 김수철^{3*}

전쟁기념관 전시유물부¹,
국립현대미술관 작품보존미술은행관리과²,
한국전통문화대학교 보존과학과^{3*}

Kang Hyunsam¹, Jang Hanul¹,
Lee Uicheon², Kim Soochul^{3*}

Department of Exhibition and collection,
The War Memorial of Korea¹,
National Museum of Modern and
Contemporary Art²,
Department of Conservation Science,
Korea National University of Cultural
Heritage^{3*}

요약

근현대 대형유물 C-46 수송기의 전시를 위해 도료분석 및 보존처리를 하였다. C-46 수송기는 우리 공군 최초의 해외 참전 항공기로서 베트남 전쟁에서 임무를 수행했다. 재질은 알루미늄이 대부분으로 표면에서는 움푹 파임(Pitting), 긁힘(Etching) 형태가 보이고 회색 또는 흰색 가루 모양의 부착물로 나타난다. 분석결과, 적색은 규조토($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), 백색의 이산화티탄(TiO_2), 흑색의 철옥(Fe_3O_4), 청색에서는 철단(鐵丹, Fe_3O_4)이 혼합된 퍼티를 사용했다. 적외선 분광분석 결과는 알키드 수지(Alkyd Resin), 태극무늬 부분은 니트로셀룰로오스계 도료가 사용되었다. 처리는 샌딩 및 세척 등 기계적, 화학적 용제로 부식물을 제거하고 도료 도포 등을 진행하였다. 도료분석과 보존처리를 통하여 안정한 상태로 전시에 활용할 수 있도록 하였다.

주제어 : 근현대 대형유물, 수송기, 도료분석, 알루미늄, 세척

Abstract

A C-46 transport aircraft, which can be thought of as a large cultural heritage item from the modern period, was subjected to paint analysis and conservation treatment in preparation for its exhibition. The C-46 is the first aircraft ever dispatched to overseas combat zones by the Korean Air Force and carried out missions during the Vietnam War. The aircraft is mainly made of aluminum and shows signs of corrosion on its surface, including pitting and etching, as well as gray and white powdery attachments. In the analysis of the paint, diatomite($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) was confirmed in the red paint, titanium dioxide(TiO_2) was identified in the white paint, black iron oxide(Fe_3O_4) was detected in the black paint, and colcothar(Fe_3O_4) mixed with putty was confirmed in the blue paint. Infrared spectroscopy revealed the use of alkyd resin in the paint on the main body and nitrocellulose in the Taegeuk pattern. During the conservation treatment, mechanical cleaning, such as sanding, was conducted to remove paint and varnish from the surface. Corrosion was removed by sanding and cleaning with chemical solvents, and new paints and varnishes were applied. Through the paint analysis and conservation treatment, the aircraft was made available for exhibition in a stable condition.

Keywords : Large Modern Cultural Heritage, Transport Aircraft, Paint Analysis, Aluminum, Cleaning

* Corresponding Author :
Kim Soochul

1. 서론

항공기 구조물은 금속으로 만들어져 있으며 이들 구조물에 발생하는 부식은 심각한 손상을 주며 중요한 결함 중의 하나이다. 1차 구조부재에 복합재료가 사용된 항공기 기체라 하더라도 부식방지에 소홀히 해서는 안 되며 복합재료 부분은 부식 발생 가능성이 없지만 함께 장착된 구성품들을 주의 깊게 살펴보아야 한다^[1]. 손상의 형태는 표면에서뿐만 아니라 내부 깊숙한 곳까지 손상을 일으킬 수 있다.

전쟁기념관 야외 전시물인 C-46 수송기는 오랜 기간 야외전시로 인한 태양광, 인접도로의 자동차 매연에 노출된 전시 환경 등은 항공기에 발생하는 부식의 주요 원인 중 하나이다. 그로 인해 도장표면의 열화 및 부식이 발생하였다. 만약 부식을 처리하지 않으면, 부식은 항공기의 구조 파괴 원인으로 작용할 수 있다. 항공기의 재질은 알루미늄이 대부분으로 표면에서는 움푹 파임(Pitting), 표면의 굽힘(Etching) 형태로 나타나고 가끔 회색 또는 흰색 가루 모양으로 파우더 형태의 부착물로 나타난다^[2]. 그 부식의 흔적은 결국 유물 파손의 형태로 진전될 수 있다.

최근 국내에서는 이러한 야외 전시물의 보존을 위한 다양한 분석 기술의 적용이 시도되고 있다. 그중에서도 외부 도장의 박락 현상을 통한 연구는 야외 금속문화재의 표면층 도료 박락 요소 분석에 대한 실험 가능성을 제시하고 있다^[3]. 도장 작업은 표면 샌딩, 프라이머를 사용한 하도 작업 및 최종 페인팅 순으로 진행된다. 여기에서 프라이머와 표면 사이의 밀착성은 표면의 샌딩 조건, 프라이머의 도장 두께에 따라 결정되며, 페인트의 밀착성은 프라이머와 페인트의 상호 조합과 각 특성의 영향을 받는다^[4]. 이후 근현대문화재의 도료층에 대한 현미경 관찰, 안료 분석, 안료에 사용된 수지 성분 확인을 위한 적외선분광분석 등의 기초 자료에 대한 연구가 진행되고 있다. 김수철 등에 의하여 근현대유물의 도막층에 대한 연구가 시도된 대상은 서울역사박물관 소장 등록문화재 제381호 전차와 1869년에 제작된 대한민국역사박물관 소장 인력거이다. 특히 인력거의 도막층은 외부에 5회 이상 도료가 칠해진 것으로 확인되었고 내부에서는 3회 정도 도료가 칠해진 것으로 연구가 수행되었다. 이는 내부에서 더 간단한 도색작업이 이루어졌을 것으로 판단하였다^[5]. 이후 전쟁기념관 소장 6·25전쟁 방산장비의 도료특성 분석에서는 도료의 단면은 9~20회가량의 여러 층으로 이루어져 있고, 도장 전 바탕면 처리로 퍼티를 사용하였다. 또한 도료의 종류를 확인하기 위하여 적외선 분광분석을 실시한 결과 알키드 수지의 지문영역이 확인되어 알키드(Alkyd) 수지 계열의 도료를 사용함을 알 수 있다^[6]. 이후 등록문화재 제666

호 F-51D 무스탕 전투기의 과학적 분석에서는 전투기 외부 도장에 사용된 수지로 알키드 수지를 사용하였으며 일부는 아크릴(Acryl) 수지를 이용하여 도장한 것을 알 수 있다^[7]. 국립현대미술관의 니키드 생팔 ‘검은 나나’ 작품은 표면에 도장된 페인트의 과학적 조사분석을 바탕으로 보존처리의 방향을 결정하여 진행하였다^[8]. 또한 2021년 국립문화재연구소 문화재보존과학센터에서 개최한 〈야외 금속문화재 보존처리와 보존관리〉 학술 심포지엄에서 야외 전시물의 보존 및 관리의 어려움과 보존방안에 대해 논의하는 한편 전쟁기념관과 국립현대미술관 야외 전시물, 국보 제229호 창경궁 자격루 누기의 보존사례를 설명하였다^[9]. 따라서 기존 연구에서는 야외 문화재 보존처리와 관리에 문화재의 재료에 대한 연구와 이에 따른 분석결과를 바탕으로 보존전략이 필요하다는 것에 공감하였다.

본 연구에서는 C-46 수송기의 사용 도료에 대한 과학적 분석을 진행하여 그 특성을 확인하고, 보존처리 과정은 기존 페인트층과 부식층 제거 후 표면 프라이머 작업을 거친 후 상도 폴리우레탄(Polyurethane) 코팅으로 마감하였다. 도료분석 자료는 향후 금속유물 중 페인트를 사용한 유물의 비교분석 및 대형유물의 복원 과정에 참고할 수 있는 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 분석 대상 및 방법

2.1. 분석 대상

C-46 수송기는 미국 커티스(Curtiss)사에서 제작한 쌍발 터보프롭 수송기이다. 1941년 최초로 실전배치된 이후 제2차 세계대전 동안 항공수송 및 공수부대 투하 등의 임무를 수행하였다. 원래 민항기로 만들어졌다가 군용으로 전용된 기체로 당대 제일 크고 무거운 쌍발 엔진 항공기로도 유명했다. 6·25전쟁과 베트남 전쟁에서도 사용되다가 1968년 미군의 일선에서 퇴역했다. 또한 우리 공군 최초의 해외 참전 항공기로서 베트남 전쟁에서 병력 및 물자 공수 임무를 성공적으로 완수하였다.

2.2. 분석 방법

2.2.1. 사진 촬영

분석 전 시료의 상태를 이미지로 기록하기 위해 사진 촬영을 실시하였다. 디지털 카메라(Alpha7, Sony, Japan)를 이용하여 시료의 상면 등을 촬영하였다.

2.2.2. 현미경 관찰

도료층 단면 현미경 관찰을 통해 전쟁기념관 야외 전시물 C-46 수송기의 도료층 제작 기법을 알아보고자 실시하였다. 분석 대상에서 미세하게 채취하거나 탈락된 시편을 실체현미경에서 확인한 다음 지름 15mm 실리콘 고정 틀에 임시 고정시켰다. 그리고 에폭시 수지(Epofix, Struers, Denmark)의 주제와 경화제를 혼합하여 부은 후 실온에서 24시간 동안 완전 경화시켰다. 경화된 에폭시 수지는 시료 절단기(Minitom, Struers, Denmark)를 사용하여 $10\mu\text{m}$ 크기로 절단하였다. 절단된 편에 부착된 이물질 등을 제거하기 위해 증류수가 담긴 초음파세척기에 넣고 이물질을 제거한 후, $76\times 26\text{mm}$ 크기의 슬라이드글라스에 부착하여 고정시켜 주었다. 슬라이드글라스에 고정된 편은 샌드페이퍼 #5,000으로 연마하였다. 연마된 편은 초음파세척기에 한 번 더 세척 한 후 글리세린 수용액(50%)을 떨어뜨린 뒤 기포가 생기지 않도록 주의하여 커버글라스를 덮어 프레파라트를 제작하였다. 제작된 프레파라트는 편광현미경(DM2700P, Leica, Germany)으로 투과광과 편광 및 낙사광 하에서 관찰 및 사진 촬영을 실시하였다.

2.2.3. SEM-EDS 분석

도료층에 사용된 안료 성분을 확인하기 위해 주사전자현미경에 설치된 에너지분산형 분석기를 사용하여 분석하였다. 시편 제작은 현미경 관찰용 시편 제작과 동일한 방법으로 제작하였으며, 현미경 상에서 안료가 도포된 부분으로 추정되는 표면층을 대상으로 실시하였다.

제작된 시편은 금(Au)으로 코팅한 후 시료대에 고정시켜 전압 20kV, 작업거리 20mm 조건으로 분석하였다. 주사전자현미경(SEM, Scanning Electron Microscope, JSM-5500LV, JEOL, Japan)을 사용하여 고배율로 관찰한 후, 주사전자현미경에 부착된 에너지분산형 분석기(EDS, Energy Dispersive Spectroscopy, INCA X-ACT, Oxford, UK)를 이용하여 분석하였다.

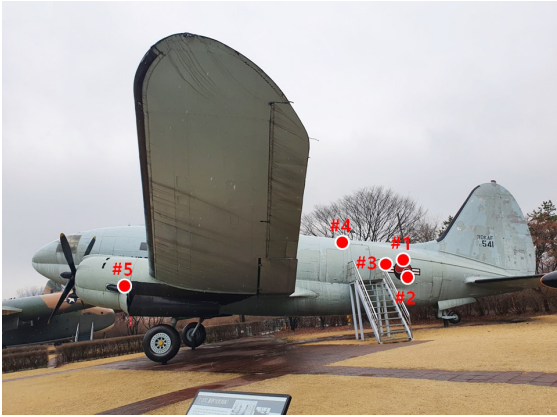
2.2.4. 적외선 분광분석(FT-IR)

C-46 수송기에 사용된 도료 성분을 확인하고자 실시하였다. 적외선 분광분석(FT-IR)은 장비(Cary620 Microscope, Agilent, USA)를 이용하여 ATR 방식으로 측정하였다. 분석 조건은 분해능은 4cm^{-1} , 측정 범위(Range)는 $400\sim 4,000\text{cm}^{-1}$, 스캔 횟수(Scans)는 32회이며, 분석은 시료별로 3회 반복하였다. 결과는 Agilent Library 또는 한국전통문화대학교 목재문화재연구소에서 구축한 House Library와 유사한 IR Peak값을 가지는 물질과 대조하여 분석하였다.

3. 분석 결과

3.1. 사진 촬영

C-46 수송기의 외형을 보여주는 도1을 보면 도장된 항공기의 도료층에서 라운델 부분과 동체 상부, 동체 좌편 주날개 앞부분 등 5개소의 위치에서 박락된 도료층을 대상으로 시편 제작을 하였다(표1).



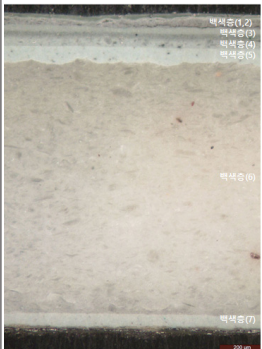
도1. C-46 수송기

표1. 시료명 및 사진

시료명	시료사진	비고	시료명	시료사진	비고
#1		라운델 (빨)	#4		동체 (구상층)
#2		라운델 (파)	#5		동체 (좌측하층)
#3		라운델 (흰)			

3.2. 현미경 관찰

시료명	시료사진	분석 결과
#1		<p>- 편광에서 적색층(6회), 흑색층(1회), 백색층(8회), 주황색층(1회), 황색층(1회)가 관찰되었으며, 두께는 적색층 : 20μm(1), 20μm(2), 10μm(3), 10μm(4), 20μm(5), 5μm(6), 흑색층 : 100μm(1), 백색층 : 20μm(1), 10μm(2), 160μm(3), 20μm(4), 10μm(5), 30μm(6), 20μm(7), 10μm(8), 주황색층 : 200μm, 황색층 : 20μm으로 측정되었다.</p>
#2		<p>- 편광에선 흑색층(1회), 백색층(8회)가 관찰되었으며, 두께는 흑색층 : 50μm, 백색층 : 50μm(1), 20μm(2), 60μm(3), 10μm(4), 60μm(5), 50μm(6), 430μm(7), 5μm(8)으로 측정되었다.</p>
#3		<p>- 편광에선 백색층(8회), 흑색층(2회), 청색층(1회), 주황색층(3회), 황색층(2회)가 관찰되었으며, 두께는 백색층 : 50μm(1), 30μm(2), 20μm(3), 5μm(4), 20μm(5), 10μm(6), 10μm(7), 5μm(8), 흑색층 : 120μm(1), 20μm(2), 청색층 : 5μm, 주황색층 : 20μm(1), 200μm(2), 50μm(3), 황색층 : 20μm(1), 5μm(2)으로 측정되었다.</p>
#4		<p>- 편광에선 백색층(8회), 주황색층(1회), 황색층(1회)가 관찰되었으며, 두께는 백색층 : 5μm(1), 5μm(2), 20μm(3), 40μm(4), 20μm(5), 380μm(6), 10μm(7), 15μm(8), 주황색층 : 20μm, 황색층 : 10μm으로 측정되었다.</p>

시료명	시료사진	분석 결과
#5		<p>- 편광에선 백색층(7회)가 관찰되었으며, 두께는 백색층 : 5μm(1), 5μm(2), 10μm(3), 10μm(4), 20μm(5), 1400μm(6), 20μm(7)으로 측정되었다.</p>

도2. 현미경 관찰 결과 해석

3.3. SEM-EDS

3.3.1. #1 시료

SEM-EDS 분석결과, 적색층(1)에서는 Si가 주성분으로 검출되었다. 이는 규조토($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)를 퍼티로 사용한 것으로 추정된다. 적색층(2)에서는 Si, Ca, Ti가 검출되었다. 이는 백색의 이산화티탄(TiO_2), 탄산칼슘(CaCO_3) 또는 규조토($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)를 퍼티로 사용한 것으로 추정된다. 적색층(3)에서는 Pb가 검출되었다. Pb이 검출된 점을 보아 Pb로 이루어진 적색의 사산화삼납(Pb_3O_4)을 사용한 것으로 판단된다. 적색층(4)에서는 Si, Pb가 검출되었다. 이는 규조토($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)를 퍼티로 사용한 것으로 보이고, Pb이 검출된 점을 보아 Pb로 이루어진 적색의 사산화삼납(Pb_3O_4)을 사용한 것으로 판단된다. 적색층(5)는 Si, Mg, Ti, Ba가 검출되었다. 이는 백색의 이산화티탄(TiO_2) 또는 활석($\text{Talc_H}_2\text{Mg}_3(\text{SiO}_3)_4$ 또는 $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$)을 퍼티로 사용한 것으로 보이고, 또한 Ba의 경우 채질안료로 사용되는 황산바륨(BaSO_4)이 사용된 것으로 판단된다. 적색층(6)에서는 Si, Mg가 검출되었다. 이는 활석($\text{Talc_H}_2\text{Mg}_3(\text{SiO}_3)_4$ 또는 $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$)을 퍼티로 사용한 것으로 추정된다. 적색 착색 안료에 사용되는 성분의 경우는 Fe를 주성분으로 하는 산화철 성분, Pb를 주성분으로 하는 적색의 사산화삼납(Pb_3O_4) 등이 주로 사용되나 해당 분석 결과에서는 특정 적색 안료 성분이 검출되지 않은 점을 보아 유기 안료를 사용하거나 추가적인 분석이 필요할 것으로 판단된다. 흑색층에서는 Fe, Ba가 검출되었다. 이는 철흑(Fe_3O_4)을 흑색 무기 안료로 사용한 것으로 판단된다. 백색층(1, 3, 5, 6, 8)에서는 Ti가 검출되었다. 이는 백색의 이산화티탄(TiO_2)을 퍼티로 사용한 것으로 판단된다. 백색층(2, 7)에서는 Si, Ti가 검출되었다. 이는 백색의 이산화티탄

(TiO_2) 또는 규조토($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)를 퍼티로 사용한 것으로 보인다. 백색층(4)에서는 Si가 검출되었다. 이는 규조토($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)를 퍼티로 사용한 것으로 추정된다. 주황색층에서는 Ti가 검출되었다. 이는 백색의 이산화티탄(TiO_2)을 퍼티로 사용한 것으로 판단된다. 황색층에서는 Si, Mg, Ca, Ti가 검출되었다. 이는 백색의 탄산칼슘(CaCO_3), 이산화티탄(TiO_2) 또는 활석($\text{Talc_H}_2\text{Mg}_3(\text{SiO}_3)_4$ 또는 $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$)을 퍼티로 사용한 것으로 추정된다^{(도3),(표2)}.



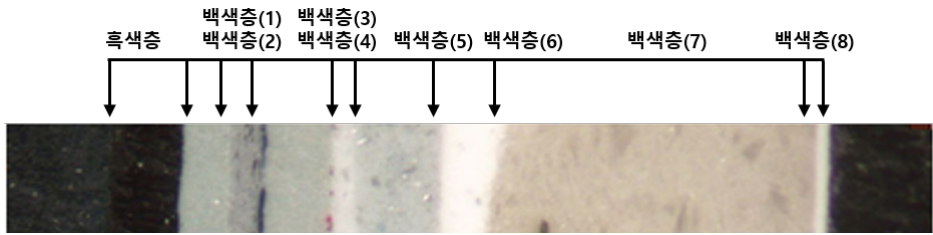
도3. #1 시료 분석 위치

표2. #1 시료 SEM- EDS 분석 결과

분석위치	성분비(wt.%)												
	O	Al	Cl	Si	Mg	Ca	Ti	Cr	Fe	Ba	Pb	Zn	Total
적색층(1)	75.48	1.43	2.12	15.66	-	0.05	3.83	-	1.43	-	-	-	100
흑색층	46.11	0.24	0.08	0.74	-	0.23	1.39	-	44.30	6.91	-	-	100
백색층(1)	52.28	1.33	0.06	1.44	-	0.02	44.70	-	0.17	-	-	-	100
백색층(2)	58.10	3.16	0.02	17.54	-	0.02	20.92	-	0.24	-	-	-	100
백색층(3)	60.15	1.25	-	0.24	-	0.03	38.33	-	-	-	-	-	100
적색층(2)	61.28	0.33	-	7.21	-	18.89	12.08	-	0.21	-	-	-	100
백색층(4)	71.12	1.18	-	17.97	-	1.90	1.90	-	0.64	5.29	-	-	100
적색층(3)	60.42	0.72	1.40	5.23	-	4.27	3.19	-	0.78	-	23.99	-	100
적색층(4)	62.08	0.87	2.33	12.65	-	1.55	2.13	-	0.26	0.43	17.70	-	100
백색층(5)	55.67	1.60	0.11	0.70	-	0.08	41.84	-	-	-	-	-	100
백색층(6)	44.34	1.96	-	8.66	-	0.09	44.95	-	-	-	-	-	100
주황색층	52.57	2.03	-	2.52	-	0.15	42.73	-	-	-	-	-	100
적색층(5)	48.23	0.93	0.08	12.38	8.92	4.04	13.59	-	3.11	8.72	-	-	100
적색층(6)	50.48	1.54	0.07	28.40	14.23	3.30	0.44	-	1.54	-	-	-	100
백색층(7)	50.90	1.87	0.56	17.76	-	1.46	27.41	-	0.04	-	-	-	100
백색층(8)	52.10	1.46	1.55	0.97	-	0.34	43.43	-	0.15	-	-	-	100
황색층	43.11	1.42	3.65	8.07	6.64	24.65	8.29	2.67	1.50	-	-	-	100

3.3.2. #2 시료

SEM-EDS 분석결과, 흑색층에서는 Fe, Ba가 주성분으로 검출되었다. 이는 철흑(Fe_3O_4)을 흑색 무기 안료로 사용한 것으로 보이고, Ba의 경우 체질안료로 사용되는 황산바륨(BaSO_4)이 사용된 것으로 판단된다. 백색층(1, 2, 3, 4, 8)에서는 Ti가 검출되었다. 이는 백색의 이산화티탄(TiO_2)을 퍼티로 사용한 것으로 판단된다. 백색층(5)에서는 Si, Mg, Ca, Ti가 검출되었다. 이는 백색의 탄산칼슘(CaCO_3), 이산화티탄(TiO_2) 또는 활석($\text{Talc_H}_2\text{Mg}_3(\text{SiO}_3)_4$ 또는 $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$)을 퍼티로 사용한 것으로 추정된다. 백색층(6)에서는 Si, Ti가 검출되었다. 이는 백색의 이산화티탄(TiO_2) 또는 규조토($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)를 퍼티로 사용한 것으로 추정된다. 백색층(7)에서는 Si, Mg, Ca가 검출되었다. 이는 백색의 탄산칼슘(CaCO_3) 또는 활석($\text{Talc_H}_2\text{Mg}_3(\text{SiO}_3)_4$ 또는 $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$)을 퍼티로 사용한 것으로 추정된다^{(도4),(표3)}.



도4. #2 시료 분석 위치

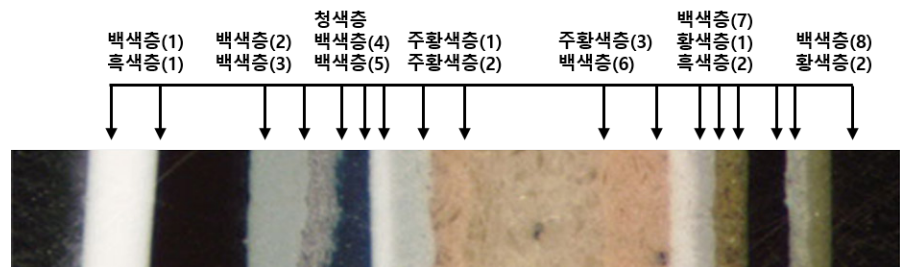
표3. #2 시료 SEM-EDS 분석 결과

분석 위치	성분비(wt.%)												
	O	Al	Cl	Si	Mg	Ca	Ti	Cr	Fe	Ba	Pb	Zn	Total
흑색층	44.49	0.01	0.70	5.75	-	0.16	1.89	-	40.76	6.24	-	-	100
백색층(1)	49.53	1.31	0.11	1.92	-	0.05	46.91	-	0.17	-	-	-	100
백색층(2)	39.28	1.52	0.13	1.49	-	0.02	57.41	-	0.15	-	-	-	100
백색층(3)	54.83	1.48	-	0.69	-	0.07	42.89	-	0.04	-	-	-	100
백색층(4)	42.61	1.68	-	0.97	-	0.50	53.98	-	0.26	-	-	-	100
백색층(5)	45.70	1.32	-	9.51	2.75	18.51	22.01	-	0.20	-	-	-	100
백색층(6)	40.46	1.57	-	10.99	-	0.36	46.61	-	0.01	-	-	-	100
백색층(7)	51.44	1.28	-	21.41	14.79	8.39	1.53	-	1.16	-	-	-	100
백색층(8)	48.85	1.51	-	0.46	-	0.17	48.90	-	0.11	-	-	-	100

3.3.3. #3 시료

SEM-EDS 분석결과, 백색층(1, 2, 4, 5, 7, 8)에서는 Ti가 검출되었다. 이는 백

색의 이산화티탄(TiO_2)을 퍼티로 사용한 것으로 판단된다. 백색층(3, 6)에서는 Si, Ti가 검출되었다. 이는 백색의 이산화티탄(TiO_2) 또는 규조토($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)를 퍼티로 사용한 것으로 추정된다. 흑색층(1)에서는 Fe, Ba가 주성분으로 검출되었다. 이는 철흑(Fe_3O_4)을 흑색 무기 안료로 사용한 것으로 보이고, Ba의 경우 체질안료로 사용되는 황산바륨(BaSO_4)이 사용된 것으로 판단된다. 흑색층(2)에서는 Fe가 주성분으로 검출되었다. 이는 철흑(Fe_3O_4)을 흑색 무기 안료로 사용한 것으로 추정된다. 청색층에서는 Ti, Fe가 검출되었다. 이는 백색의 이산화티탄(TiO_2)을 퍼티로 사용한 것으로 보이고, Fe 성분이 높게 검출된 것으로 보아 내부의 부식으로 인한 산화철 성분이 혼합되었거나 철단(鐵丹_ Fe_3O_4)이 혼합된 적색 계열의 퍼티를 사용한 것으로 판단된다. 청색 착색 안료의 경우, 감청($\text{Fe}(\text{NH}_4)\text{Fe}(\text{CN}) \cdot x\text{H}_2\text{O}$), 군청($\text{Na}_6-8-\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{S}_2-4$), 코발트 블루($\text{CoC}-\text{Al}_2\text{O}_3$)를 사용하지만 분석 결과에서는 해당 성분이 검출되지 않은 점을 보아 유기 안료 또는 향후 추가적인 분석이 요구된다. 주황색층(1, 3)에서는 Si, Ti, Ba가 검출되었다. 이는 백색의 이산화티탄(TiO_2) 또는 규조토($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)를 퍼티로 사용한 것으로 보이고, Ba의 경우 체질안료로 사용되는 황산바륨(BaSO_4)이 사용된 것으로 판단된다. 주황색층(2)에서는 Si, Ca가 검출되었다. 이는 백색의 탄산칼슘(CaCO_3) 또는 규조토($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)를 퍼티로 사용한 것으로 추정된다. 황색층(1)에서는 Si, Mg, Ca, Cr, Pb가 검출되었다. 이는 백색의 탄산칼슘(CaCO_3) 또는 활석($\text{Talc}_\text{H}_2\text{Mg}_3(\text{SiO}_3)_4$ 또는 $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$)을 퍼티로 사용한 것으로 보이고, 황색의 안료로 사용되는 크롬산납(황연_ PbCrO_4)을 착색 안료로 사용한 것으로 추정된다. 황색층(2)에서는 Cr, Pb, Zn이 검출되었다. 이는 백색의 산화아연(ZnO)을 퍼티로 사용한 것으로 보이고, 황색의 안료로 사용되는 크롬산납(황연_ PbCrO_4)을 착색 안료로 사용한 것으로 추정된다^{(도5),(표4)}.



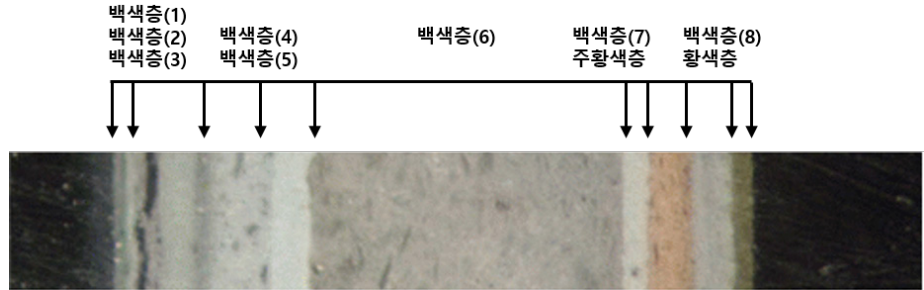
도5. #3 시료 분석 위치

표4. #3 시료 SEM-EDS 분석 결과

분석위치	성분비(wt.%)												
	O	Al	Cl	Si	Mg	Ca	Ti	Cr	Fe	Ba	Pb	Zn	Total
백색층(1)	53.09	1.20	0.02	1.15	-	0.04	44.44	-	0.06	-	-	-	100
흑색층(1)	55.39	-	0.54	0.22	-	0.08	2.98	-	35.45	5.34	-	-	100
백색층(2)	52.88	1.27	0.08	1.24	-	-	44.48	-	0.05	-	-	-	100
백색층(3)	59.05	2.22	0.05	20.59	-	0.32	14.59	-	0.32	-	-	2.86	100
청색층	57.37	1.07	-	3.37	-	0.26	21.41	-	16.52	-	-	-	100
백색층(4)	53.21	2.00	-	1.46	-	0.16	43.03	-	0.14	-	-	-	100
백색층(5)	52.75	2.00	-	0.92	-	0.11	44.09	-	0.13	-	-	-	100
주황색층(1)	54.40	-	0.12	14.64	-	4.34	13.65	-	3.19	9.66	-	-	100
주황색층(2)	62.63	-	0.06	15.80	-	15.18	3.56	-	2.77	-	-	-	100
주황색층(3)	54.22	-	0.17	15.28	-	4.26	14.03	-	3.03	9.01	-	-	100
백색층(6)	57.79	1.58	0.41	20.63	-	1.56	17.95	-	0.08	-	-	-	100
백색층(7)	52.12	1.47	1.42	1.57	-	0.56	42.71	-	0.15	-	-	-	100
황색층(1)	48.53	0.62	2.17	4.01	3.97	23.54	3.79	5.42	0.86	-	7.09	-	100
흑색층(2)	53.50	0.27	2.59	0.37	-	0.37	8.95	-	33.95	-	-	-	100
백색층(8)	60.17	0.75	-	1.35	-	0.13	37.38	-	0.22	-	-	-	100
황색층(2)	46.84	3.16	0.26	5.80	-	0.18	-	18.53	0.29	0.77	9.93	14.24	100

3.3.4. #4 시료

SEM-EDS 분석결과, 백색층(1, 2, 4, 5, 7, 8)에서는 Ti가 검출되었다. 이는 백색의 이산화티탄(TiO_2)을 페티로 사용한 것으로 판단된다. 백색층(3)에서는 Si, Ti가 검출되었다. 이는 백색의 이산화티탄(TiO_2) 또는 규조토($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)를 페티로 사용한 것으로 추정된다. 백색층(6)에서는 Si, Mg, Ca가 검출되었다. 이는 백색의 탄산칼슘(CaCO_3) 또는 활석($\text{Talc_H}_2\text{Mg}_3(\text{SiO}_3)_4$ 또는 $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$)을 페티로 사용한 것으로 추정된다. 주황색층에서는 Si, Mg, Ti, Ba가 검출되었다. 이는 백색의 이산화티탄(TiO_2) 또는 활석($\text{Talc_H}_2\text{Mg}_3(\text{SiO}_3)_4$ 또는 $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$)을 페티로 사용한 것으로 보이고, Ba의 경우 체질안료로 사용되는 황산바륨(BaSO_4)이 사용된 것으로 판단된다. 황색층에서는 Si, Cr, Zn이 검출되었다. 이는 백색의 산화아연(ZnO)을 페티로 사용한 것으로 보이고, 황색의 안료로 사용되는 크롬산납(황연_ PbCrO_4)을 착색 안료로 사용한 것으로 추정된다(도6),(표5).



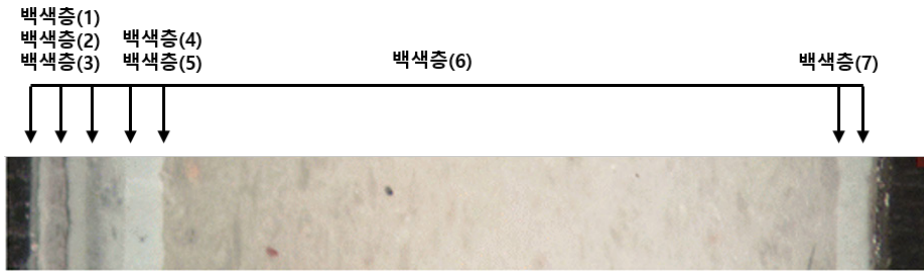
도6. #4 시료 분석 위치

표5. #4 시료 SEM-EDS 분석 결과

분석위치	성분비(wt.%)												
	O	Al	Cl	Si	Mg	Ca	Ti	Cr	Fe	Ba	Pb	Zn	Total
백색층(1)	53.53	-	0.01	0.84	-	0.17	43.01	-	2.44	-	-	-	100
백색층(2)	53.63	1.67	1.19	7.61	-	0.18	35.63	-	0.09	-	-	-	100
백색층(3)	56.22	3.17	0.06	20.67	-	0.43	16.20	-	0.04	-	-	3.21	100
백색층(4)	51.13	1.61	-	0.18	-	0.16	46.83	-	0.09	-	-	-	100
백색층(5)	47.14	1.50	-	0.65	-	0.84	49.68	-	0.19	-	-	-	100
백색층(6)	48.27	1.51	0.01	20.63	16.03	10.12	1.63	-	1.80	-	-	-	100
백색층(7)	32.24	4.39	0.13	3.46	-	0.64	59.05	-	0.09	-	-	-	100
주황색층	41.25	0.86	0.12	12.64	10.13	5.44	15.88	-	3.42	10.26	-	-	100
백색층(8)	26.02	3.09	0.11	2.17	-	0.31	67.75	-	0.55	-	-	-	100
황색층	39.39	1.74	0.98	15.06	-	0.44	-	17.57	0.69	1.28	-	22.85	100

3.3.5. #5 시료

SEM-EDS 분석 결과, 백색층(3, 5, 7)에서는 Ti가 검출되었다. 이는 백색의 이산화티탄(TiO_2)을 퍼티로 사용한 것으로 판단된다. 백색층(1)에서는 Si, Mg, Ti가 검출되었다. 이는 백색의 이산화티탄(TiO_2) 또는 활석($\text{Talc-H}_2\text{Mg}_3(\text{SiO}_3)_4$) 또는 $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ 을 퍼티로 사용한 것으로 추정된다. 백색층(2)에서는 Ca, Ti가 검출되었다. 이는 백색의 탄산칼슘(CaCO_3), 이산화티탄(TiO_2)을 퍼티로 사용한 것으로 판단된다. 백색층(4)에서는 Si, Mg, Ca, Ti가 검출되었다. 이는 백색의 탄산칼슘(CaCO_3), 이산화티탄(TiO_2) 또는 활석($\text{Talc-H}_2\text{Mg}_3(\text{SiO}_3)_4$) 또는 $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ 을 퍼티로 사용한 것으로 추정된다. 백색층(6)에서는 Si, Mg, Ca가 검출되었다. 이는 백색의 탄산칼슘(CaCO_3) 또는 활석($\text{Talc-H}_2\text{Mg}_3(\text{SiO}_3)_4$) 또는 $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ 을 퍼티로 사용한 것으로 추정된다^{(도7), (표6)}.



도7. #5 시료 분석 위치

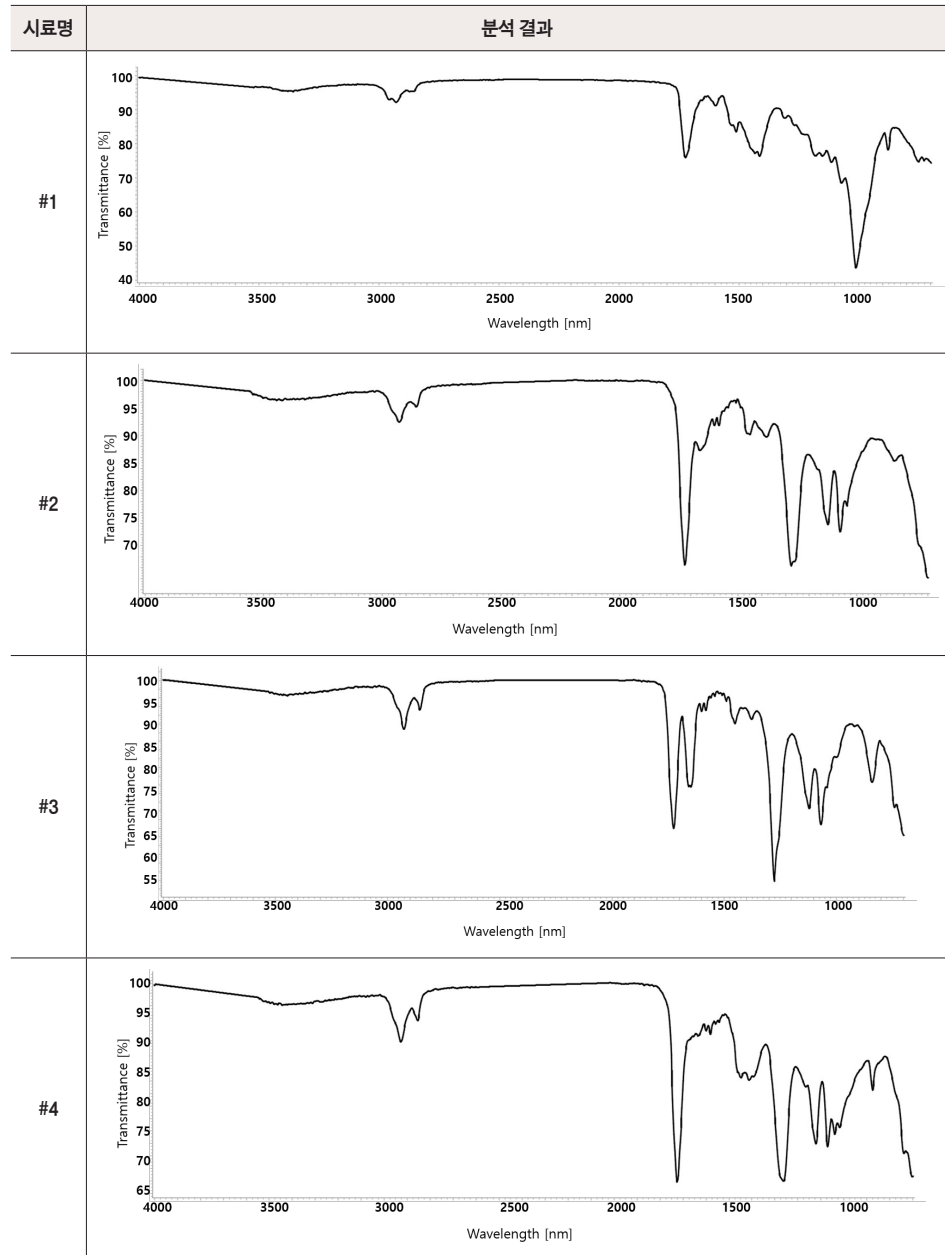
표6. #5 시료 SEM-EDS 분석 결과

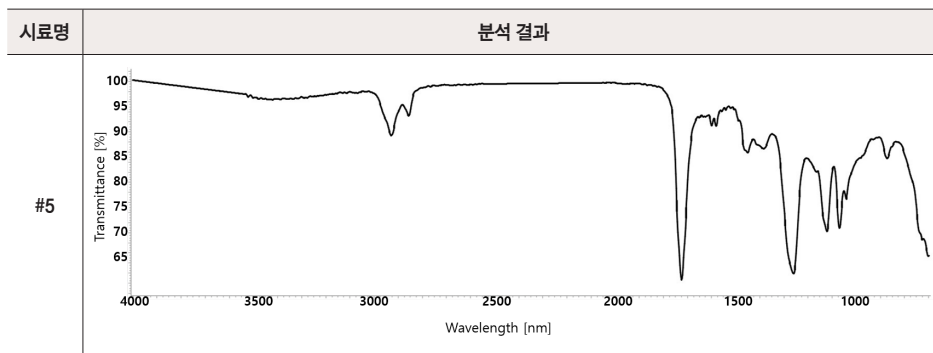
분석위치	성분비(wt.%)												
	O	Al	Cl	Si	Mg	Ca	Ti	Cr	Fe	Ba	Pb	Zn	Total
백색층(1)	52.00	1.18	0.17	17.67	5.73	0.25	19.48	-	0.14	-	-	3.38	100
백색층(2)	51.55	1.11	-	6.84	-	11.90	28.14	-	0.46	-	-	-	100
백색층(3)	53.51	1.47	0.06	0.75	-	0.54	43.48	-	0.19	-	-	-	100
백색층(4)	52.48	1.61	-	6.58	1.54	11.96	25.71	-	0.12	-	-	-	100
백색층(5)	51.29	1.46	-	0.51	-	0.48	46.08	-	0.18	-	-	-	100
백색층(6)	52.04	1.23	0.14	21.66	13.74	8.70	1.54	-	0.95	-	-	-	100
백색층(7)	57.52	1.90	0.12	1.75	-	0.17	38.54	-	-	-	-	-	100

3.4. 적외선 분광분석(FT-IR)

적외선 분광분석 결과, #1, 2, 3, 4에서는 C = O 이중 결합 신축진동으로 인한 $1,730\text{cm}^{-1}$, 메틸 및 메틸렌 밴딩 구조로 인한 $1,450\text{cm}^{-1}$, $1,380\text{cm}^{-1}$, 프탈레이트 에스테르의 C-O 진동으로 인한 $1,130\text{cm}^{-1}$, $1,070\text{cm}^{-1}$, 방향족탄화수소 밴딩 구조로 인한 740cm^{-1} , 700cm^{-1} 에서 흡수 스펙트럼이 관찰되었다(도8). 일부에서는 890cm^{-1} , $1,460\sim 70\text{cm}^{-1}$ 영역대의 흡수 스펙트럼이 관찰되었다. 이는 탄산칼슘 또는 이산화티탄 작용기로 확인할 수 있었으며, 체질안료 페티층에서 기인했을 가능성이 있다. 따라서 해당 유물에 사용된 도료(외부)는 지방산, 다가알코올, 다염기산의 에스테르화 반응으로 생성되는 알키드 수지(Alkyd Resin)의 도료가 사용된 것으로 판단된다. 또한 #3에서는 O-H 신축진동으로 인한 $3,560\sim 3,200\text{cm}^{-1}$, C-H 신축진동으로 인한 $2,930\sim 2,840\text{cm}^{-1}$, N-O 신축진동으로 인한 $1,660\sim 1,625\text{cm}^{-1}$, N-O 신축진동으로 인한 $1,454\text{cm}^{-1}$, $1,375\sim 1,379\text{cm}^{-1}$, C-H 굽힘진동으로 인한 $1,285\sim 1,270\text{cm}^{-1}$, C=O 굽힘진동으로 인한 $1,300\sim 900\text{cm}^{-1}$, N-O 굽힘진동으로 인한 $890\sim 800\text{cm}^{-1}$ 영역대에서

흡수 스펙트럼이 관찰된다. 또한 일부에서는 890cm^{-1} , $1,460\sim 70\text{cm}^{-1}$ 영역대의 흡수 스펙트럼이 관찰되었다. 이러한 특징은 질산염 셀룰로오스를 주성분으로 하는 NC 수지와 탄산칼슘 작용기로 확인할 수 있었으며, 따라서 해당 유물 중 #3에 사용된 도료(외부)는 질산염 셀룰로오스를 주성분으로 하는 니트로셀룰로오스계 도료가 사용된 것으로 판단된다.





도8. FT-IR 결과

4. 보존처리

처리 대상인 수송기의 알루미늄 부식은 항공기에서 발생하는 다양한 구조재료의 부식과 비교할 때 보다 효과적으로 부식을 관리할 수 있다. 알루미늄은 수송기의 소재로 표면에 발생하는 부식은 흰색의 생성물이 발생하고 일반적으로 원래의 모재보다 부피가 늘어나는 형상으로 나타나기 때문에 쉽게 발견할 수 있으며 부식 발생 초기에도 에칭(Etching), 떨어져 나간 부분, 거칠어진 표면 등으로 나타난다. 알루미늄 합금은 일반적으로 0.001~0.0025(inch) 두께의 매끄러운 표면 산화 현상이 나타나는데 이러한 현상은 심각하게 다루는 부식들과는 다른 성질의 것이며, 표면의 코팅 처리는 부식 발생원인 물질의 침투를 막아주는 방어벽을 만들어 준다. 알루미늄의 일반적인 표면 부식은 비교적 속도가 느리지만, 침투한 부식 인자의 존재는 그 발생 속도를 빠르게 조정한다. 좀 더 심각한 부식은 보통 구조 강도의 극심한 손실이 전개되기 전에 발생한다. 알루미늄 합금의 부식 중에서 심각하게 다루어져야 할 세 가지 형태는 알루미늄 튜브의 벽에 발생하는 핏 타입(Pit Type) 부식, 지속적인 응력 발생으로 인한 재료의 응력 부식 균열(Stress-Corrosion Cracking) 그리고 알루미늄 합금의 특성을 벗어난 부적절한 열처리로 인한 입자 간 부식(Intergranular Corrosion)이다^[10].

보존처리는 부식 생성물의 최대한 기계적 제거, 화학적 용제를 활용한 잔류 부식 생성물의 제거 그리고 외부 Glass 복원, 판금 및 먼 고르기 작업, 내장재 복원, 부식 방지제의 역할을 하는 도장 작업, 마킹 작업 등의 순서로 진행하였다. 야외에서 진행되는 작업은 기상 영향이 많이 받는다. 특히 잦은 우천과 여름 장마로 인하여 작업에 어려움이 많았다. 도장 작업은 너무 덥거나 습도가 75%를 넘으면 도장면의 부착력이 떨어질 뿐 아니라 건조시간이 길어지기 때문에 제한이 많다. 이를 맞춰 작업을 진행하여 최초 계획된 기간을 많이 초과하게 되었다.

4.1. 보존처리 전 상태

C-46 수송기는 표면의 페인트가 들뜸 현상이 심하고 일부는 박락이 일어나 보존상태가 매우 심각했다. 외부 Glass 표면은 크랙이 심하고 열에 의한 갈라짐 현상과 스크래치와 오염된 부분 등 내부를 관찰하기에는 손상이 심한 상태였다(도9). 표면의 도장 색을 조사한 결과 사용 당시의 색상과 일치하지 않아 후에 보수 과정에서 색상을 다르게 작업한 것을 확인할 수 있었다.

a	b
c	d
e	f

- (a) 정면
- (b) 측면
- (c) 측면
- (d) 뒷부분
- (e) 동체 배면
- (f) 내부



도9. 보존처리 전

4.2. 표면 샌딩(Sanding) 및 세척

도장 전에 작업 되는 표면 샌딩은 기체와의 밀착성 강화를 위해 매우 중요한 과정이다. 이때에는 부식이 의심되는 부분까지 보호막을 제거하여야 한다. 부식 생성물의 완전한 제거를 위해서는 부식 발생 부분에 존재하는 오염물과 부식 화합물을 깨끗하게 제거하여야 한다. 이러한 작업을 통해 부식 손상 부위 전체가 드러날 수 있도록 해야 정확한 보존처리 작업을 할 수 있다. 표면층의 두터운 부위는 그라인더와 고압 세척기를 이용하였으며, 일부 좁은 틈새는 붓과 자동차용 스펀지를 병행하여 습식 클리닝을 하였다(도10). 샌딩이 끝난 후 물 세척을 통해 남은 잔유물을 제거하여 표면을 매끈하게 하였다. 세척 작업에 사용하고자 하는 세척제의 종류는 부식 물질의 종류에 따라서 선택되는데, 최근에는 환경오염에 대한 걱정으로 인하여 수용성 물질과 중독성이 없는 세척 화합물이 주로 사용되고 있다. 항공기 구조에 최소한의 영향을 주면서 페인트를 벗겨 낼 수 있는 친환경

경 제거제를 사용하였다. 이때 항공기의 Tire, Fabric 또는 Acrylic을 포함한 합성 고무 표면에 페인트 제거 용액이 접촉하지 않도록 최대한 주의하여야 한다^[11].



도10. 샌딩 및 세척 과정



- (a) 표면 샌딩
- (b) 외부 세척
- (c) 내부 세척

4.3. Glass 보수

본 유물의 Glass는 장기간 야외에 노출되어 오염 및 스크래치가 발생된 부분, 빛에 의한 고체화 현상 등 표면에 백색의 가루가 묻어날 정도로 전체적인 손상이 관찰되었다^(도11). 이에 관련 전문가의 자문회의를 개최한 후, 현 상태에서 클리닝 등으로는 해결이 어렵다는 의견이 나왔다. 이를 통해 새로운 재료로 제작하여 교체하기로 결정하였다. C-46 수송기의 조종석과 객실 Glass는 고온에서도 모양의 변형이 없고 내구성이 좋은 에스폴리텍 폴리카보네이트 소재를 사용하였다^(도12,도13). 이는 자외선 차단 성분이 함유되어 햇빛에 누렇게 변색 되는 황변도가 매우 낮으며 강한 내충격성, 내열성, 내후성 및 야외 전시 환경의 온도변화를 견디는 성질이 우수하다.



도11. 조종석 Glass 보수 전 및 복원 과정



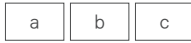
- (a) 조종석 내부 Glass
- (b) 조종석 외부 Glass
- (c) 객실 Glass 를 복원 작업



도12. 조종석 Glass 를 복원 과정



- (a) 조종석 Glass 재단
- (b),(c) 조종석 Glass 를 복원 모습



(a),(b) 객실 Glass 틀 복원 작업
(c) 객실 Glass 틀 복원 후



도13. 객실 Glass 틀 복원 과정

4.4. 판금 및 먼 고르기(퍼티)

판금 작업은 부식된 부분을 안정적으로 처리 할 수 있는 방법이다. 판금 재료는 기존의 금속과 같은 성분의 재료인 알루미늄 합금 성분을 사용하였다. 이는 금속의 연결 부위가 향후 부식이 발생할 수 있는 원인을 제공할 수 있기 때문이다. 이에 금속 간에 결합처리는 이러한 사항을 고려하여 처리해야 한다.

수송기의 부식은 그 금속의 종류, 크기, 모양, 대기 조건과 부식을 유발하는 원인 물질의 존재 여부에 따라서 다양한 형태로 나타난다. 표면부식은 표면에 부분적으로 움푹 패인 형태, 굽힘, 또는 가루모양의 형태로 확인된다^(도14). 광범위하게 표면이 떨어져 나가는 손상은 점점 퍼져나가 부식이 확산된다. 또한 도장 작업 전 화학적 처리가 부적절하게 행하여졌을 때 발생하는 필리폼 부식(Filiform Corrosion)은 페인트 아래에 작은 벌레의 형태로 나타난다. 이종 금속 간 부식(Dissimilar Metal Corrosion)은 광범위하게 표면이 떨어져 나가는 손상으로 전도체가 이종 금속들 사이에 접촉하여 부식을 진행시킨다^(도15). 또한 기계적인 접촉에 의한 금속의 표면 손상이나 오염 또한 이종 금속 부식을 유발하는 원인이 되기도 한다^[12]. 알루미늄 구조부재는 철재 브러쉬 또는 세척 용품의 부적절한 사용으로 인해 작업자들에 의해 만들어지기도 한다. 끝으로 입자 간 부식(Intergranular Corrosion)은 합금의 결정경계(Grain Boundary)로 침식이 발생되며, 보통은 합금구조물 성분의 불균일성이 그 원인이다. 알루미늄 합금과 일부 스테인레스강의 조합은 이런 형태의 전기화학침식으로 인한 부식에 특히 민감하다. 입자 간 부식은 보통 다른 부식처럼 눈에 띄는 표면의 흔적 없이 존재하게 된다. 심각한 입자 간 부식은 때때로 금속의 표면을 들뜨게 한다. 이것은 부식 생성물이 형성될 때 발생하는 압력에 의해 일어나는데 결정경계가 얇은 조각으로 갈라짐으로 인하여 표면에서 금속 조각들이 들뜨거나 떨어져 나간다^(도16). 위와 같은 부식으로 인하여 손상된 부분은 퍼티를 사용하여 먼 고르기 작업을 거친 후 판금 작업을 수행하였다^(도17). 퍼티는 폴리에스테르 수지를 주성분으로 하

는 이액형 폴리퍼티를 사용하였으며, 입자가 고와 표면이 곱게 형성되고 가공성이 높으며 경화 전후에 변형이 거의 없는 것이 특징이다^(도18).



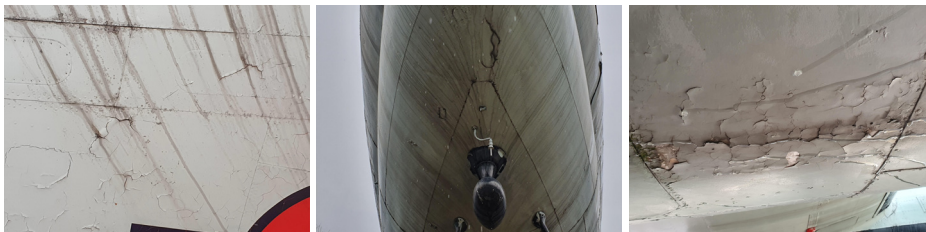
도14. 표면부식

- | | | |
|---|---|---|
| a | b | c |
|---|---|---|
- (a) 조종석 하단부 원형 유실 및 침상형 분말 형태 부식 현상
(b),(c) 동체 기골 및 조종석 하단 천공 및 크랙 발생 모습



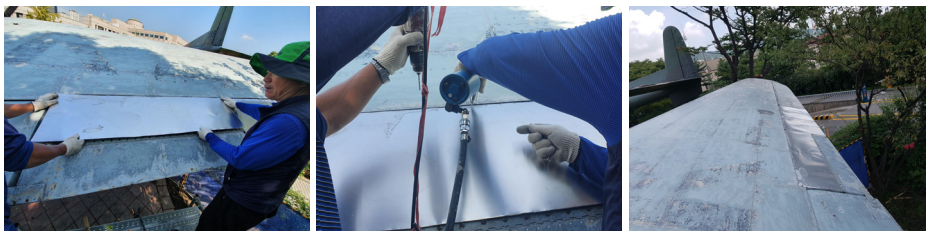
도15. 이종 금속 간 부식

- | | | |
|---|---|---|
| a | b | c |
|---|---|---|
- (a) 바닥면에 사용된 강철 판의 부식
(b),(c) 수송기 내부 바닥면의 백색 분말형태의 부식



도16. 표면손상

- | | | |
|---|---|---|
| a | b | c |
|---|---|---|
- (a) 표면 크랙 모습
(b) 빗물이 흘러내려 얼룩진 모습
(c) 표면 들뜬 모습



도17. 판금 작업

- | | | |
|---|---|---|
| a | b | c |
|---|---|---|
- (a),(b) 날개 파손 부위 판금 재단
(c) 도음 날개 복원 후



도18. 퍼티 작업

- | | | |
|---|---|---|
| a | b | c |
|---|---|---|
- (a),(b) 퍼티 바른 모습
(c) 퍼티 면 고르기 작업

4.5. 하도(프라이머) 및 상도 도장

도장 작업의 마무리는 금속표면과 부식성 물질의 사이에 가장 효과적인 방어벽 역할을 한다. 본 유물의 도장 작업 마무리는 폴리우레탄(Polyurethane) 계열의 도료를 사용하였다. 폴리우레탄 코팅제는 내자외선성, 촉진 내후성, 내수성 및 내약품성에서 보다 우수한 특성을 나타낸다. 또한 2액형 폴리우레탄 도료는 폴리올과 폴리이소시아네이트가 반응하여 분자 간 3차원 망상구조를 형성하기 때문에 도막 물성 및 작업성이 매우 우수하여 공업용 소재의 도장용으로 많이 사용하고 있다^{[13],(도19)}. 프라이머의 도포는 수송기의 부식을 막고 도료의 부착 안정성에 큰 역할을 하며 내구성을 높여주는 기능을 한다. 본 유물의 하도 재료는 에폭시 프라이머를 사용하였다^(도20). 도장은 노즐 압력, 거리, 직경 및 분사 패턴 폭을 일정하게 하였다. 도장 작업에는 Spray Gun을 사용하여 최대한 일정한 노즐 압력과 분사 거리를 유지하였다.



- (a) 표면 상도 처리
- (b) 객실 프라이머 처리 후
- (c) 객실 상도 처리 후
- (d) 표면 상도 처리 후



도19. 프라이머 및 상도 처리



도20. 표면 프라이머 처리

4.6. 마킹 및 마무리

C-46 수송기의 표면 샌딩, 물 세척 후 판금 및 면고르기 작업, 프라이머 및 상도작업, 마킹 작업 순으로 보존처리 하였다. 최종 페인팅 작업 후 보존처리 전의 색상 및 마킹의 원래 모습을 찾아주었다^(도21). 원래의 색상과 마킹의 위치 등을 찾는 복원 작업은 복원 관련 기술지시서(Technical Order 또는 Field Manual)를 따랐다^(도22). 그 외 미국 항공 고증자료를 토대로 최대한 원형에 가깝도록 작업하였다. 이때 마킹은 마스킹 작업과 인쇄 시트를 활용하여 비뚤어지지 않게 작업하였다^(도23).



도21. 보존처리 후

(a) 측면
(b) 정면

도22. 마킹 작업



도23. 마킹 후

5. 결론

야외에 전시되는 C-46 수송기의 외부 도장은 운용 환경인 온도 및 습도 변화, 대기오염 및 자외선 등에 의한 부식 또는 침식 등으로부터 기체를 보호하며 안정적인 관람 환경을 제공하는 중요한 역할을 한다. 하지만 현실적으로 야외에 전면 노출되는 전시 형태로는 보존성을 유지하는 데 한계가 있다. C-46 수송기는 표면 도료의 들뜸 현상, 박락, 크랙, 갈라짐 등의 복합적인 손상이 진행된 상태였기 때문에 보존처리를 통해 2차 손상을 방지하고자 하였다. 또한 처리 과정에서 과학적 분석을 통해 도료층의 제작 기법과 안료 성분 등을 확인하였다.

먼저 현미경 분석 결과, 도료층은 7~17개의 층위로 확인되었다. #1은 적색, 흑색, 백색, 주황색, 황색으로 관찰되고, #2는 흑색, 백색의 순서를 보여주며 #3은 백색, 흑색, 청색, 주황색, 황색의 층위로 구성되어 있고 #4는 백색, 주황색,

황색이 관찰되며 #5는 백색층이 확인되었다. 이는 각국의 군용기에 자주 사용되는 표식인 라운델(Roundel)부분에 비해 기체의 동체에 간단한 도색작업을 실시한 것을 알 수 있다.

SEM-EDS 분석 결과, 대체적으로 백색층에서는 Ti가 검출되었고 이는 백색의 이산화티탄(TiO_2)을 안료로 사용한 것으로 판단된다. #1에서는 적색 착색 안료에 사용되는 성분의 경우는 Fe를 주성분으로 하는 산화철 성분이 주로 사용되나, 분석 결과에서는 특정 적색 안료 성분이 검출되지 않은 점으로 보아 유기 안료를 사용한 것으로 추측할 수 있다. 또한 #3의 청색 안료도 감청($\text{Fe}(\text{NH}_4)\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot x\text{H}_2\text{O}$), 군청($\text{Na}_6-8-\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{S}_2-4$), 코발트 블루($\text{CoC}-\text{Al}_2\text{O}_3$)를 사용하지만 분석 결과 해당 성분이 검출되지 않은 점을 보아 유기 안료를 사용한 것으로 추정된다. #1~3의 흑색층에서는 Fe, Ba가 주성분으로 검출되었다. 이는 철흑(Fe_3O_4)을 흑색 무기 안료로 사용한 것으로 보이고, Ba의 경우 체질안료로 사용되는 황산바륨(BaSO_4)이 사용된 것으로 판단된다. 청색층에서는 Ti, Fe가 검출되었다. 이는 백색의 이산화티탄(TiO_2)을 퍼티로 사용한 것으로 보이고, Fe 성분이 높게 검출된 것으로 보아 내부의 부식으로 인한 산화철 성분이 혼합되었거나 철단(鐵丹_ Fe_3O_4)이 혼합된 적색 계열의 퍼티를 사용한 것으로 판단된다. 황색층에서는 Si, Mg, Ca, Ti가 검출되었다. 이는 백색의 탄산칼슘(CaCO_3), 이산화티탄(TiO_2) 또는 활석($\text{Talc}-\text{H}_2\text{Mg}_3(\text{SiO}_3)_4$ 이나 $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$)을 퍼티로 사용한 것으로 보이고, 황색의 안료로 사용되는 크롬산납(황연_ PbCrO_4)을 착색 안료로 사용한 것으로 추정할 수 있다.

적외선 분광분석 결과를 통해 #1~4에서는 탄산칼슘 또는 이산화티탄 작용기로 확인됐으며, 이는 체질안료 퍼티층에서 기인했을 가능성이 있다. 따라서 해당 유물에 사용된 도료(외부)는 지방산, 다가알코올, 다염기산의 에스터화 반응으로 생성되는 알키드 수지(Alkyd Resin)의 도료가 사용된 것으로 판단된다. 또한 #3에서는 질산염 셀룰로오스를 주성분으로 하는 NC 수지와 탄산칼슘 작용기로 확인할 수 있었으며, 따라서 해당 전시물 중 #3에 사용된 도료(외부)는 질산염 셀룰로오스를 주성분으로 하는 니트로셀룰로오스계 도료가 사용된 것으로 판단된다.

보존처리는 표면 샌딩 후 남은 이물질을 제거하기 위한 물 세척을 진행하였다. 그리고 하도 작업으로 프라이머를 도포하였고 폴리우레탄 계열의 도료로 페인팅 작업을 했다. 야외 전시물은 깨끗하게 유지하는 것이 매우 중요하다. 이때 물 세척은 향후 항공기의 보존상태를 유지하는 것과 깊은 관계가 있다. 이에 세척의 주기와 한 번에 세척하는 범위를 정하여 유물관리 매뉴얼에 포함하는 것을

조심스럽게 제시하고자 한다. 앞으로 관련 연구가 추가적으로 진행되어 근현대 대형유물 도료의 분석데이터를 바탕으로 야외 전시물에 대한 보존처리 및 복원에 활용되기를 기대한다.

참고문헌

1. 국토교통부, *항공정비 일반*, p6-2, 항공정비사 표준교재, 서울, (2016).
2. 국토교통부, *항공정비 일반*, p6-3, 항공정비사 표준교재, 서울, (2016).
3. 강현삼, *학술 심포지엄 발표논문집*, 야외 금속문화재 보존처리와 보존관리, p17-33, 국립문화재연구소 문화재보존과학센터, 대전, (2021).
4. 장인기, 김영진, 서현수, 전부일, 한국형 기동헬기 꼬리 날개 디페인팅 현상을 통한 도장 품질 향상에 관한 연구, *품질경영학회지* **42(3)**, p325-338, (2014).
5. 김수철, 최재완, 이지은, 근·현대 문화재 인력거 재질분석 연구, *보존과학회지* **32(1)**, p33-42, (2016).
6. 강현삼, 김수철, 박민수, 전쟁기념관 소장 6·25전쟁 방산장비의 도료 특성 분석, *보존과학회지* **32(2)**, p215-221, (2016).
7. 강현삼, 장한울, 김수철, 이의천, 등록문화재 제666호 F-51D 무스탕 전투기 과학적 분석, *박물관 보존과학* **23**, p71-90, (2020).

8. 권희홍, 권인철, 김영목, 한예빈, 정유준, 페인팅 조각의 보존처리: 니키드 생팔 '검은 나나', *미술작품의 보존* 5, p5-26, (2019).
9. 학술 심포지엄 발표논문집, 야외 금속문화재 보존처리와 보존관리, 국립문화재연구소 문화재보존과학센터, 대전, (2021).
10. 국토교통부, *항공정비 일반*, p6-17-6-18, 항공정비사 표준교재, 서울, (2016).
11. 국토교통부, *항공정비 일반*, p6-14, 항공정비사 표준교재, 서울, (2016).
12. 국토교통부, *항공정비 일반*, p6-5-6-6, 항공정비사 표준교재, 서울, (2016).
13. 김성길, 정경택, 박홍수, 2액형 폴리우레탄 도료에 관한 연구(Ⅱ): 폴리우레탄 도료의 제조와 도막 물성, *한국유화학회지* 12(1), p19-27, (1995).