

등록문화재 제666호 F-51D 무스탕 전투기 과학적 분석

Scientific Analysis of National Registered Cultural Heritage 666, Korea's First Fighters used during the Korean War (F-51D)

강현삼^{1,*}, 장한울¹, 김수철², 이의천²

¹전쟁기념관

²한국전통문화대학교 보존과학과

Kang Hyunsam^{1,*}, Jang Hanul¹, Kim Soochul², Lee Uicheon²

¹The War Memorial of Korea

²Department of Conservation Science, Korea National University of Cultural Heritage

* Corresponding Author:
Kang Hyunsam

Tel: 82-2-709-3210

E-mail: sam9417@warmemo.or.kr

요약

전쟁기념관에서 소장하고 있는 등록문화재 제666호 F-51D 무스탕 전투기의 과학적 분석을 진행하였다. F-51D 무스탕 전투기는 1950년 6월 25일 전쟁이 발발하자, 7월 2일 우리 공군이 미국으로부터 인수해 최초로 운용한 전투기이다. 전쟁기간 동안 북한군을 상대하여 끝목할 만한 작전을 펼친 한국 공군의 주력기이다. 본 연구 대상은 6·25전쟁 당시 직접 사용된 기체로 현재까지 과학적 조사·분석이 이루어지지 않았으며 차후 해체 및 복원을 계획하고 있다. 지속적인 옥외 전시로 인해 도료층 및 캐노피가 변색되었으며 도료의 박락 및 균열 또한 확인되었다. 비파괴 과학적 분석을 통해 대형유물의 해체 및 복원의 기초 자료로 활용하고자 한다.

P-XRF를 사용하여 적색, 청색, 황색, 백색, 흑색, 회색을 중심으로 안료 성분 분석을 진행하였고, 전투기에 사용된 도료의 수지 성분을 확인하기 위해 적외선 분광 분석(FT-IR-ATR)을 하였다. 몸체, 날개, 꼬리날개에 사용된 금속의 성분 분석도 함께 진행하였다. 안료 성분 분석은 적색 산화철인 벵가(Fe_2O_3), 프탈로시아닌 블루계 등의 유기안료, 황색의 황연($PbCrO_4$), 백색의 티타늄화이트(TiO_2), 흑색의 철흑(Fe_3O_4), 회색의 철흑(Fe_3O_4)+티타늄화이트(TiO_2)가 확인되었다. 전투기 외부 도장에 사용된 수지는 주로 Alkyd 수지를 사용한 것으로 확인되었으며 청색의 경우 Acryl 수지를 이용하여 도장 한 것으로 추정된다. 전투기 캐노피는 투명성과 내광성이 우수한 Poly methyl methacrylate(PMMA)로 확인되었다. 전투기 몸체, 날개, 꼬리날개에서 모두 알루미늄(Al)이 주성분으로 검출되었다. 꼬리날개부 후면부의 경우 철-아연 도금(합석)이 사용된 것을 보아 과거 복원부인 것으로 판단되었다.

주제어 : 등록문화재, F-51D, 무스탕 전투기, 6·25전쟁, 과학적 분석

Abstract

The scientific analysis of a 'F-51D Mustang Fighter'(Registered Cultural Heritage 666), one of the War Memorial of Korean collections, was carried out. The paint layer and canopy were discolored due to a constant outdoor exhibit. The results obtained through the scientific survey and analysis processes were intended to be used as basic data for the future dismantling and restoration of the fighter. The analysis results for the pigment components have confirmed red oxide of iron, Fe_2O_3 , organic pigments, such as Cobalt Blue, phthalocyanine blue, etc., yellow $PbCrO_4$, white TiO_2 , black Fe_3O_4 , and gray $Fe_3O_4 + TiO_2$. It has been also confirmed that Alkyd resin was mainly used for painting. The fighter's canopy was Poly methyl methacrylate(PMMA), and Al was detected as the main component of the fighter body, wings, and tails

Keywords : Registered cultural heritage, F-51D, Mustang, The Korean War, Scientific Analysis

투고일: 2020. 4. 6. 심사(수정)일: 2020. 5. 6. 게재확정일: 2020. 5. 10.

1. 머리말

6·25전쟁은 1950년 6월 25일, 북한이 북위 38도선 전역에 걸쳐 남한을 선전포고 없이 기습 침공하면서 발발한 전쟁이다. 개전 초기 한국 공군은 비전투 임무용 항공기(연락기, 훈련기)만 보유하고 있었다. 이후 1950년 7월 2일, 미군으로부터 F-51D 무스탕 전투기 최초 10기를 인수받게 되었다. F-51D 전투기는 대한민국 공군의 첫 전투기로서 활약하였으며 휴전까지 총 133기가 보급되었다. 휴전 후 제트엔진 전투기의 등장과 무스탕 기체의 노후화로 인해 국내에 거의 남아있지 않게 되었다. 현재 단 2기의 기체만 완형의 형태로 전쟁기념관과 공군박물관에 각각 보관되어 있다.

F-51D 무스탕 전투기는 오랜 기간 야외전시로 인해 태양광에 직접적으로 노출되었다. 그로 인해 도장표면의 열화가 발생하였고 손상이 확인되었다. 현재 전투기의 해체 및 복원이 예정되어 있으며, 이와 같은 야외전시로 인해 외부환경에 직접 노출되어 있는 대형 유물의 지속적인 보존 및 관리의 필요성이 대두되었다. 전쟁기념관 소장, 대형 항공 유물은 총 25기(전투기 7, 초계기 1, 수송기 4, 관측기 7, 훈련기 5, 전폭기 1)이며 지상 유물까지 포함한다면 상당한 수를 차지한다. 또한 지속적으로 육, 해, 공군의 퇴역 장비들이 유물로서 이관되기 때문에 앞으로도 추가 확보가 될 것이다.

본 연구에서는 F-51D 무스탕 전투기의 사용도료에 대한 과학적 분석을 진행하여 대형유물, 야외전시 유물의 복원과정에 참고할 수 있는 기초자료 획득과 도료의 비교분석을 위한 자료로 활용하고자 한다.

2. 분석 대상 및 방법

2.1 분석대상

F-51D 무스탕(Mustang)은 6·25전쟁 후 제트 전투기 F-86F가 도입될 때까지 운용되다가 1957년 6월에 퇴역한 것으로 알려져 있다. F-51D 전투기는 6·25전쟁사 및 대한민국 초기 공군 변천사 연구에 중요한 자료로서 그 가치가 높다고 할 수 있다.

전쟁기념관 소장 전투기는 1989년, 공군 제15 혼성비행단(현 제15특수임무비행단)을 통하여 입수되었다. 2016년 10월 22일 공군박물관 소장 기체 1기와 함께 등록문화재 제 666호로 지정되었으며, 현재 전투기의 해체 및 복원이 예정되어 있다.

기체에 새겨진 ‘信念의 鳥人(신념의 조인)’이라는 문구는 공군의 상징이다. 한국 공군의 조종교관으로 참전한 미군 딘 헤스 대령(1917~2015)의 좌우명인 ‘By faith, I fly(나는 신념으로 하늘을 난다)’를 우리말로 번역한 것이다. 기체에는 적색, 청색,

황색, 백색, 흑색, 회색의 도료가 사용된 것으로 육안상 확인된다. 금속, 플라스틱, 고무, 도료 등 근현대유물 특성의 다양한 재질이 사용되었다.



도1. F-51D 무스탕 전투기

2.2. 분석 방법

2.2.1. 안료 분석

F-51D 무스탕 전투기에 쓰인 안료를 파악하고자 분석을 실시하였다. 비파괴성분 분석법으로 진행하였으며, 정성·정량이 가능한 P-XRF 분석기(Olympus社 Portable XRF Vanta™)를 사용하였다. 분석 조건은 전압 0-40kV, 전류 10-50 μ A에서 Soil mode로 30초씩 두 번 측정하여 평균을 내었다. 분석 대상에서 분석 위치를 설정한 후 측정을 실시하였으며, 적색, 청색, 황색, 백색, 흑색, 회색 계열로 나누어 총 13지 점을 측정하였다.



(a) 프로펠러 및 스피너
(b) 날개부

c d

- (c) 동체 주변부 및 기체 번호
- (d) 공군 마킹



도2. 안료 분석 대상

2.2.2. 적외선분광분석(FT-IR)

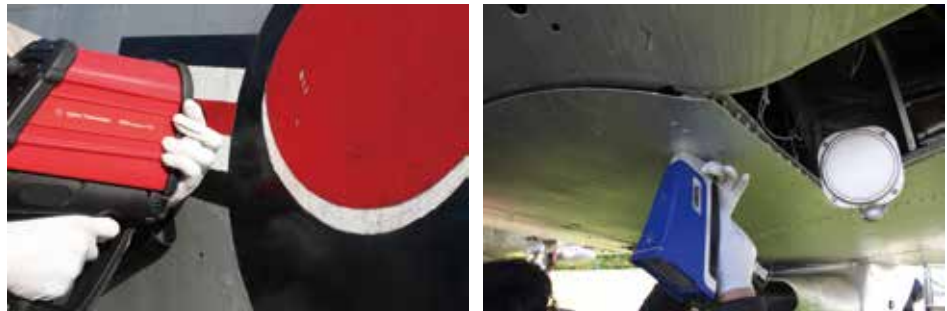
F-51D 무스탕 전투기에 사용된 수지 성분을 확인하고자 실시하였다. 적색, 청색, 황색, 백색, 흑색, 회색, 케노피를 중심으로 총 13지점을 측정했으며, FT-IR 분광분석은 ATR 방식으로 측정하고 Portable FT-IR(4100ExoScan, Agilent, USA)을 사용하였다. 분해능은 4cm^{-1} , 측정 범위는 $4000\sim 600\text{cm}^{-1}$ 에서 48회 스캔하였다. 측정된 스펙트럼은 Agilent Library 값과 대조하여 분석하였다.

2.2.3. 금속 성분 분석

F-51D 무스탕 전투기에 사용된 금속 성분을 알아보하고자 실시하였다. 비파괴성 분석법으로 진행하였으며, 정성·정량이 가능한 P-XRF 분석기로 Olympus사의 Portable XRF Vanta™를 사용하였다. 분석 조건은 전압 0-40kV, 전류 10-50 μA 에서 Alloy mode로 30초 씩 두 번 측정하여 평균을 내었다. 몸체부, 날개부, 꼬리날개부(전면부, 후면부)에서 금속이 노출된 부분을 설정한 후 측정을 실시하였다.

a b

- (a) 적외선분광분석 (FT-IR)
- (b) P-XRF 분석



도3. 분석 사진

3. 분석 결과

3.1. 안료 분석

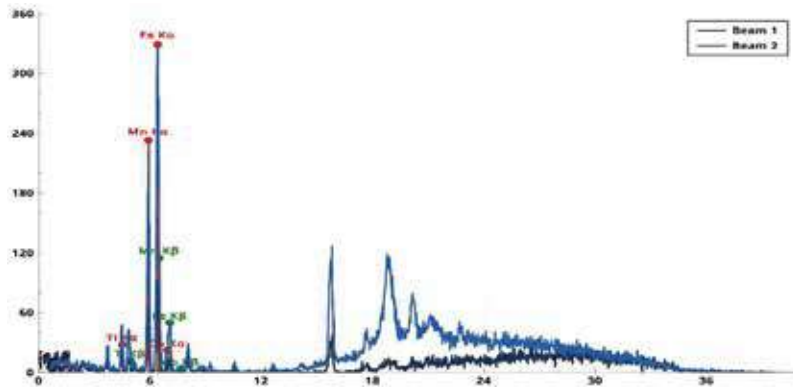
적색, 청색, 황색, 백색, 흑색, 회색 계열로 나누어 총 13지점을 측정된 결과는 아래 표와 같다.

3.1.1. 적색 안료(R)

F-51D 무스탕 전투기 적색 안료 성분 분석 결과, 주로 철(Fe)이 주성분으로 나타났다. 따라서 철(Fe)을 주성분으로 하는 적색 산화철 벵가(Fe_2O_3)를 사용한 것으로 추정된다.

표1. 적색 안료 분석 결과

색상	구분	위치	대상 사진	주원소(미량원소)
	R1	스피너		Fe(철)
	R2	날개부		Fe(철)
	R3	공군 마크		Fe(철)



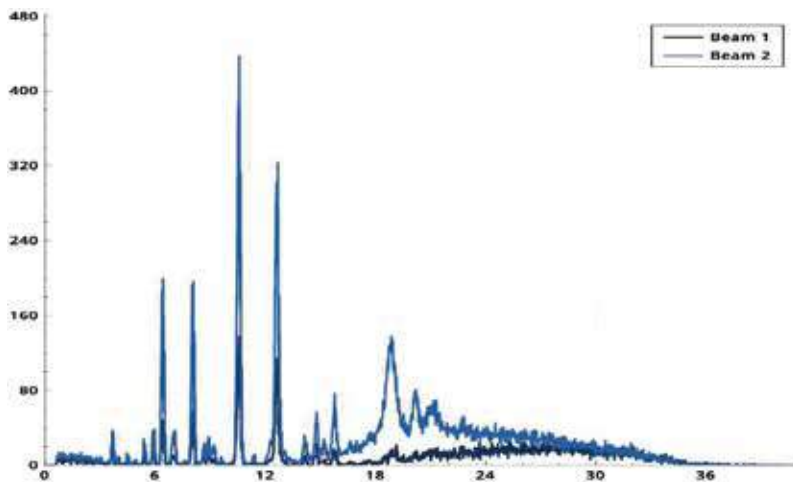
도4. R1(스피너) 안료 분석 결과

3.1.2. 청색 안료(B)

F-51D 무스탕 전투기 청색 안료 성분 분석 결과, 특정 성분이 검출되지 않았다. 따라서 프탈로시아닌 블루계 등의 유기 안료를 사용한 것으로 추정된다.

표2. 청색 안료 분석 결과

색상	구분	위치	대상 사진	주원소(미량원소)
	B1	스피너		-



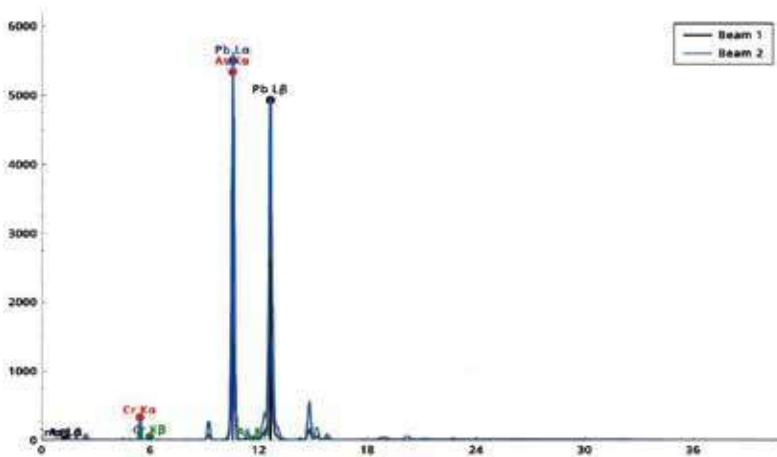
도5. B1(스피너) 안료 분석 결과

3.1.3. 황색 안료(Y)

F-51D 무스탕 전투기 황색 안료 성분 분석 결과, 납(Pb), 크롬(Cr)이 주성분으로 나타났다. 따라서 납(Pb), 크롬(Cr)을 주성분으로 하는 황연(PbCrO_4)을 사용한 것으로 추정된다.

표3. 황색 안료 분석 결과

색상	구분	위치	대상 사진	주원소(미량원소)
■	Y1	프로펠러		Pb(납) 크롬(Cr)
	Y2	스피너		Pb(납) 크롬(Cr)




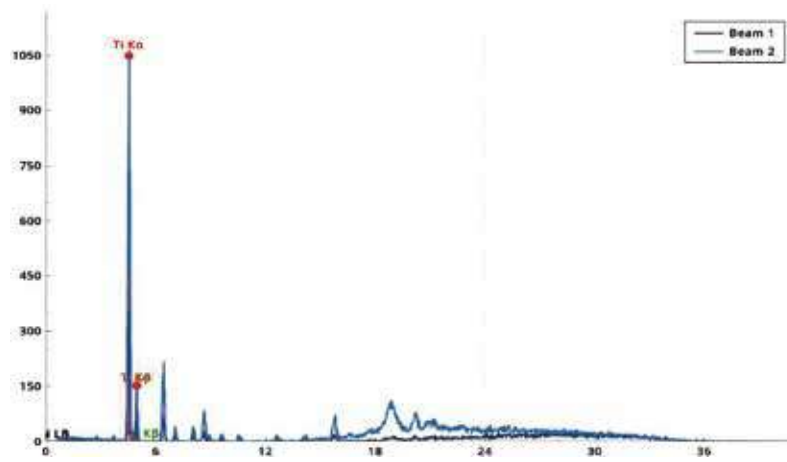
도6. Y1(프로펠러) 안료 분석 결과

3.1.4. 백색 안료(W)

F-51D 무스탕 전투기 백색 안료 성분 분석 결과, 티타늄(Ti)이 주성분으로 나타났다. 따라서 티타늄(Ti)을 주성분으로 하는 티타늄화이트(TiO_2)를 사용한 것으로 추정된다.

표4. 백색 안료 분석 결과

색상	구분	위치	대상 사진	주원소(미량원소)
	W1	공군 마크		Ti(티타늄)



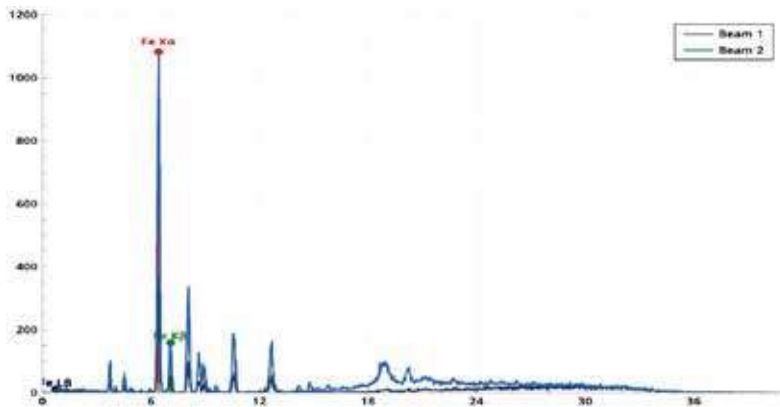
도7. W1(공군 마크) 안료 분석 결과

3.1.5. 흑색 안료(BL)

F-51D 무스탕 전투기 흑색 안료 성분 분석 결과, 철(Fe)이 주성분으로 나타났다. 따라서 철(Fe)을 주성분으로 하는 흑색 산화철 철흑(Fe_3O_4)을 사용한 것으로 추정된다.

표5. 흑색 안료 분석 결과

색상	구분	위치	대상 사진	주원소(미량원소)
■	RL1	프로펠러		Fe(철)
	RL2	기체번호		Fe(철)
	RL3	공군 마크		Fe(철)



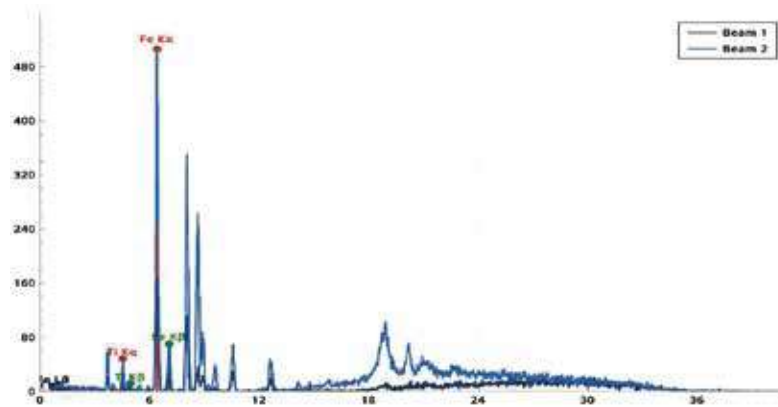
도8. RL1(프로펠러) 안료 분석 결과

3.1.6. 회색 안료(S)

F-51D 무스탕 전투기 회색 안료 성분 분석 결과, 철(Fe)과 티타늄(Ti)이 주성분으로 나타났다. 따라서 철(Fe)을 주성분으로 하는 흑색 산화철 철흑(Fe_3O_4)과 티타늄(Ti)을 주성분으로 하는 티타늄화이트(TiO_2)를 섞어서 사용한 것으로 추정된다.

표6. 회색 안료 분석 결과

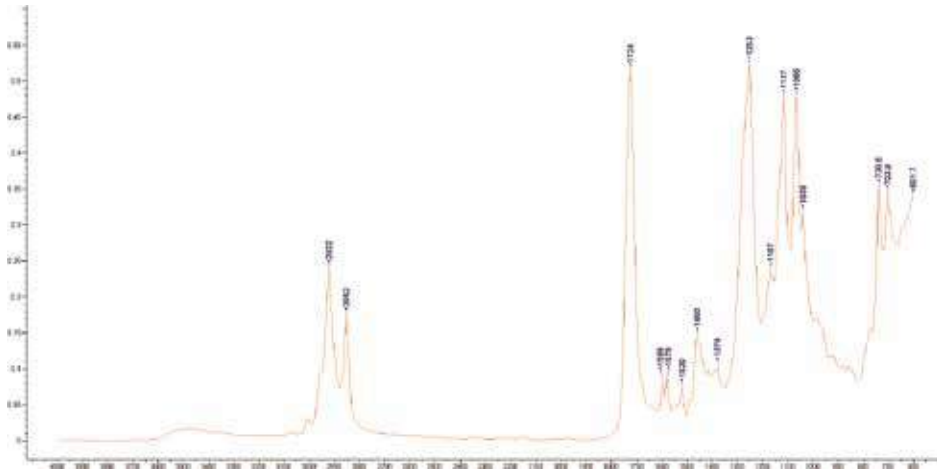
색상	구분	위치	대상 사진	주원소(미량원소)
	S1	날개부		Fe(철) Ti(티타늄)
	S2	동체 주변부		Fe(철) Ti(티타늄)
	S3	공군 마크		Fe(철) Ti(티타늄)



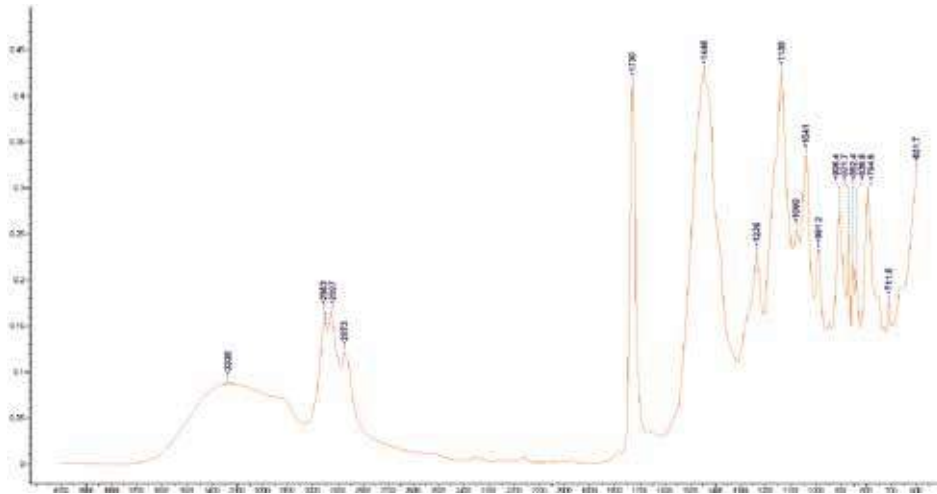
도9. S1(날개부) 안료 분석 결과

2. 적외선분광분석(FT-IR)

F-51D 무스탕 전투기에 사용된 수지 성분을 확인하고자 실시하였다. F-51D 무스탕 전투기의 적색, 청색, 황색, 백색, 흑색, 회색, 캐노피를 중심으로 총 14지점을 측정하였다. 14지점의 값과 비교하기 위한 Alkyd 수지 성분 그래프와 Acryl 수지 성분 그래프를 함께 첨부하였다.



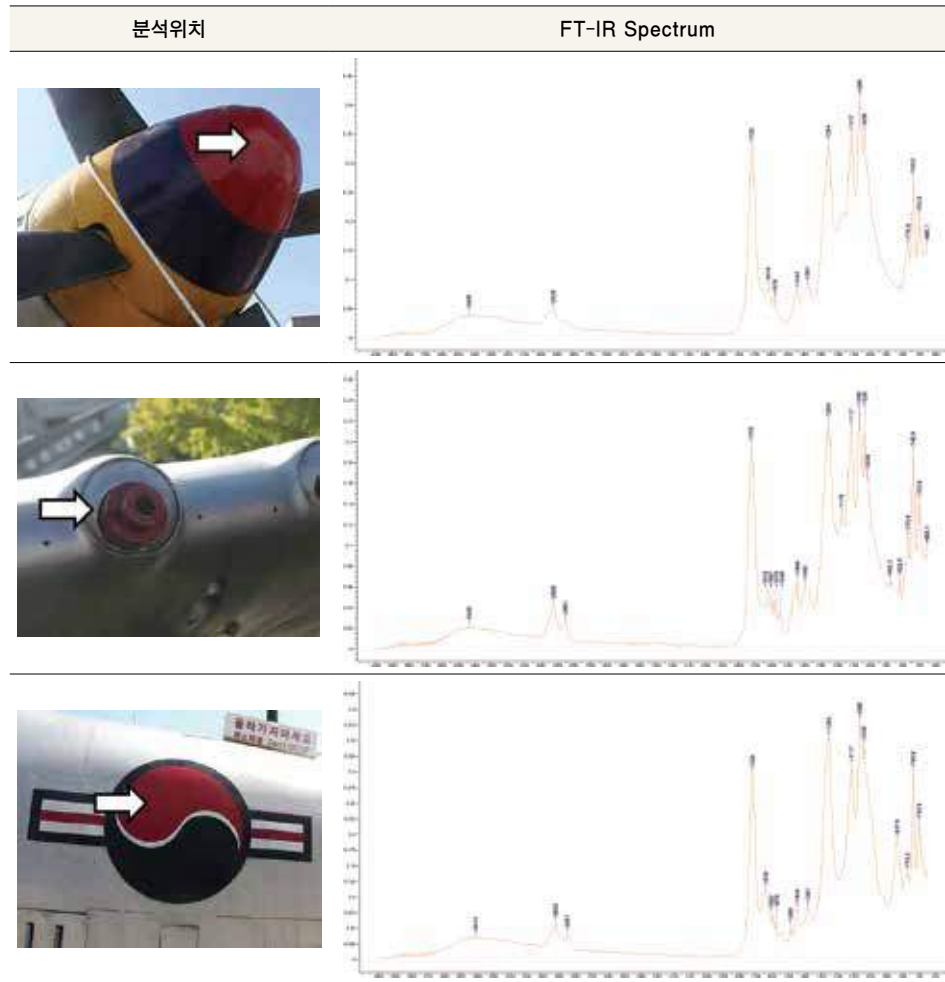
도10. FT-IR 성분 분석 그래프(Alkyd 수지)



도11. FT-IR 성분 분석 그래프(Acryl 수지)

3.2.1. 적색 수지

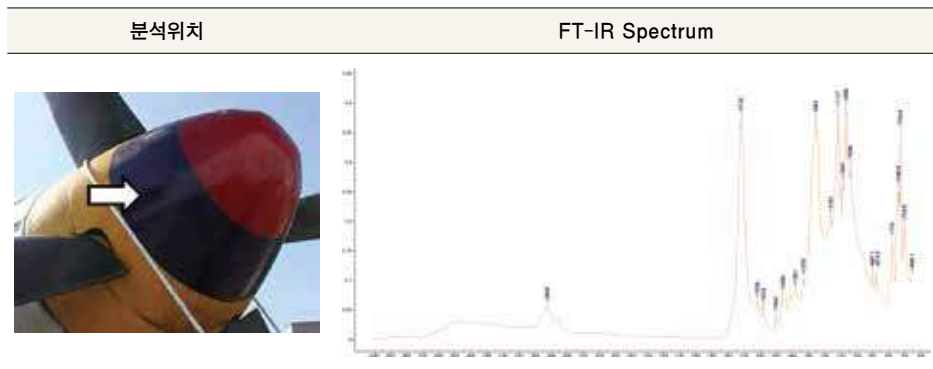
표7. FT-IR 성분 분석 그래프(적색 수지)



F-51D 무스탕 전투기 적색 수지에서는 1730cm^{-1} (C = O(이중 결합 신축 진동)), 1450cm^{-1} , 1380cm^{-1} (메틸 및 메틸렌 변형 구조), 1270cm^{-1} , 1130cm^{-1} , 1070cm^{-1} (프탈레이트 에스테르의 C-O 진동), 740cm^{-1} (방향족수소 밴딩 구조), 700cm^{-1} (방향족 밴딩 구조)에서의 예리한 peak가 관찰되었다. 이는 Alkyd 수지로 인한 성분이므로 적색 도색 수지는 Alkyd 수지를 이용한 것으로 판단된다.

3.2.2. 청색 수지

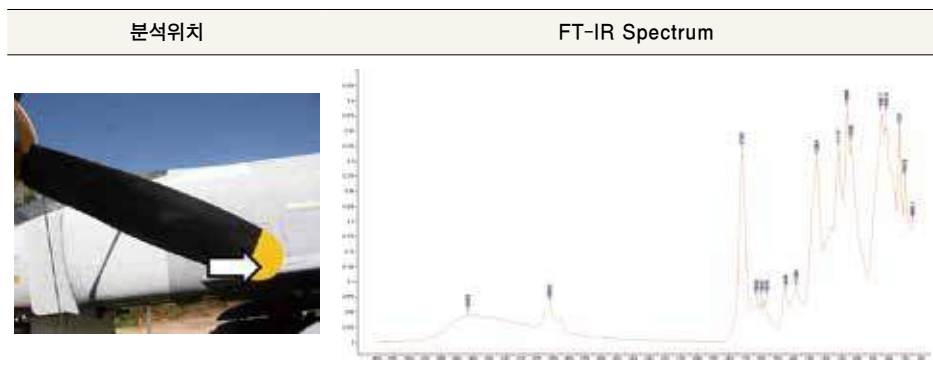
표8. FT-IR 성분 분석 그래프(청색 수지)

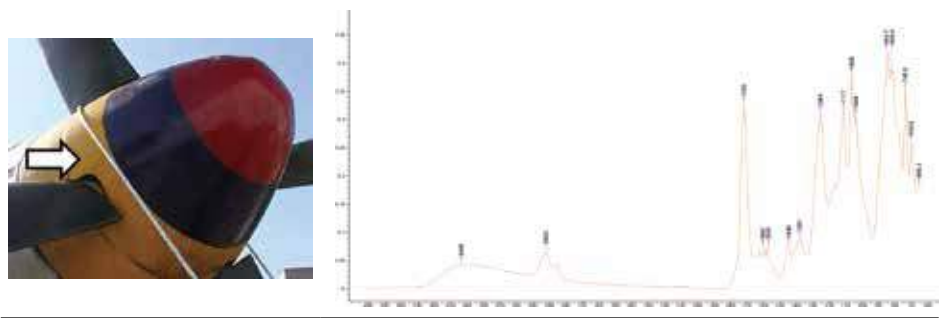


청색 수지에서는 1730cm^{-1} (C = O(이중 결합 신축 진동)), 1450cm^{-1} , 1380cm^{-1} (메틸 및 메틸렌 변형 구조), 1260cm^{-1} , 1150cm^{-1} , 1070cm^{-1} (아크릴산염의 에스테르 C-O 진동), 1595cm^{-1} , 1575cm^{-1} , 705cm^{-1} (방향성 성분)에서의 예리한 peak가 관찰되었으며, 이는 Acryl 수지로 인한 성분이므로 청색 도색 수지는 Acryl 수지를 이용한 것으로 판단된다.

3.2.3. 황색 수지

표9. FT-IR 성분 분석 그래프(황색 수지)

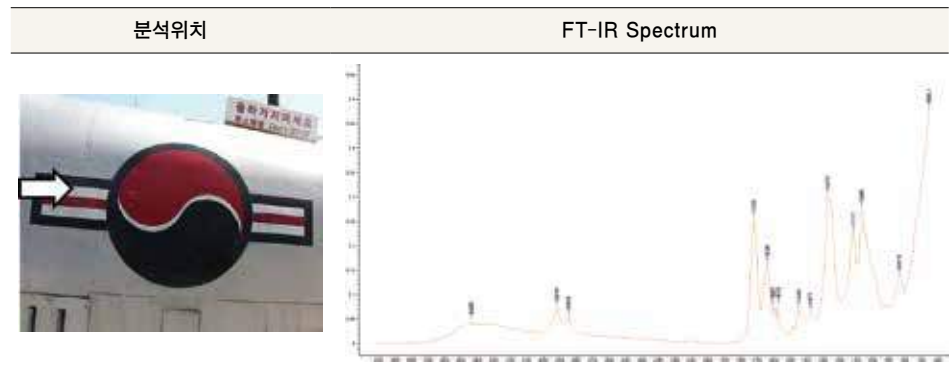




황색 수지에서는 1730cm^{-1} (C = O(이중 결합 신축 진동)), 1450cm^{-1} , 1380cm^{-1} (메틸 및 메틸렌 변형 구조), 1270cm^{-1} , 1130cm^{-1} , 1070cm^{-1} (프탈레이트 에스테르의 C-O 진동), 740cm^{-1} (방향족수소 밴딩 구조), 700cm^{-1} (방향족 밴딩 구조)에서의 예리한 peak가 관찰되었다. 이는 Alkyd 수지로 인한 성분이므로 황색 도색 수지는 Alkyd 수지를 이용한 것으로 판단된다.

3.2.4. 백색 수지

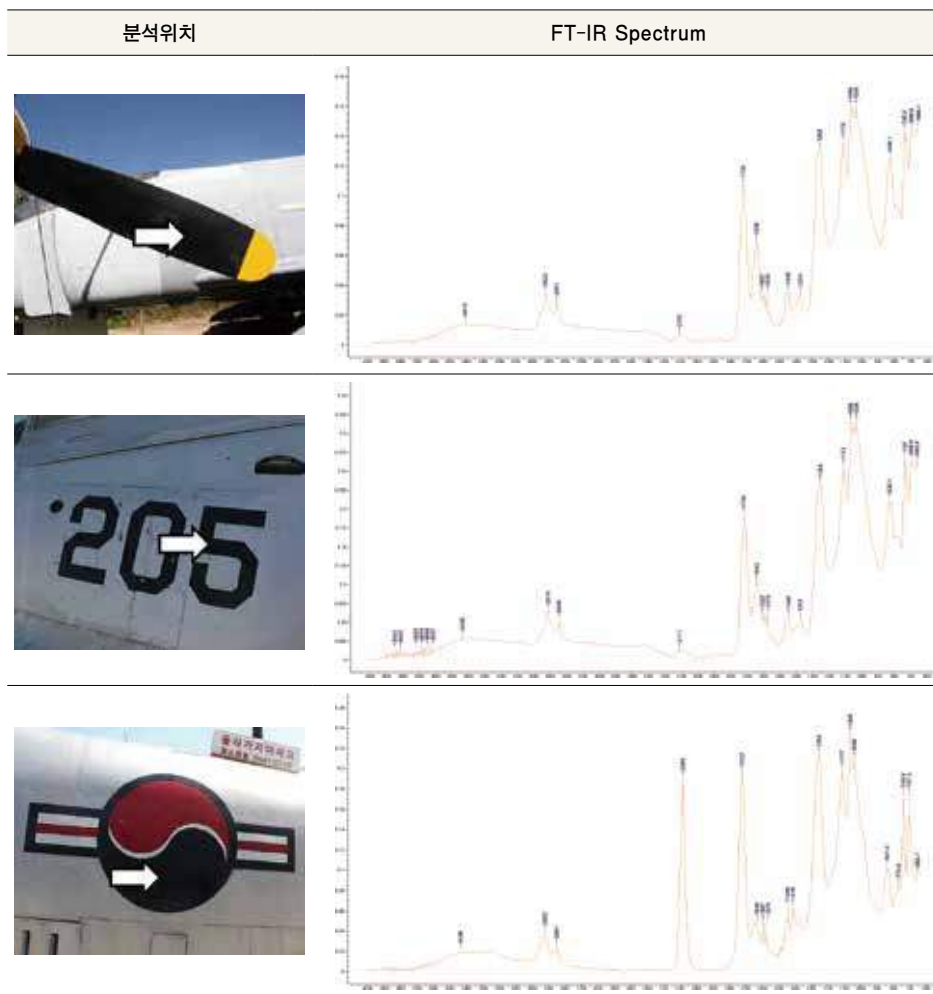
표10. FT-IR 성분 분석 그래프(백색 수지)



백색 수지에서는 1730cm^{-1} (C = O(이중 결합 신축 진동)), 1450cm^{-1} , 1380cm^{-1} (메틸 및 메틸렌 변형 구조), 1270cm^{-1} , 1130cm^{-1} , 1070cm^{-1} (프탈레이트 에스테르의 C-O 진동), 740cm^{-1} (방향족수소 밴딩 구조), 700cm^{-1} (방향족 밴딩 구조)에서의 예리한 peak가 관찰되었다. 이는 Alkyd 수지로 인한 성분이며, 또한 $800\sim 650\text{cm}^{-1}$ 에서의 완만한 흡수대는 TiO_2 에 의한 흡수밴드이다. 따라서 백색 도색 수지는 Alkyd 수지를 이용한 것으로 판단되었으며, TiO_2 가 함유되어 있음을 알 수 있었다.

3.2.5. 흑색 수지

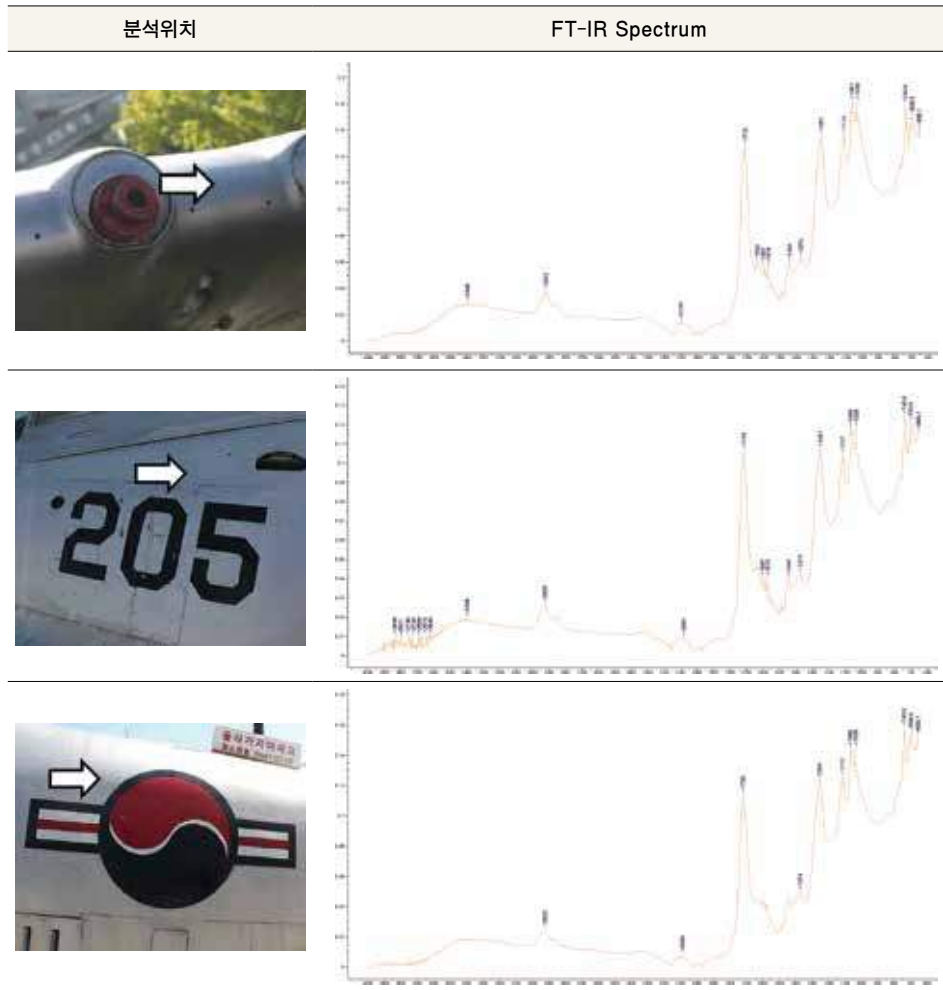
표 11. FT-IR 성분 분석 그래프(흑색 수지)



흑색 수지에서는 1730cm^{-1} (C = O(이중 결합 신축 진동)), 1450cm^{-1} , 1380cm^{-1} (메틸 및 메틸렌 변형 구조), 1270cm^{-1} , 1130cm^{-1} , 1070cm^{-1} (프탈레이트 에스테르의 C-O 진동), 740cm^{-1} (방향족수소 밴딩 구조), 700cm^{-1} (방향족 벤딩 구조)에서의 예리한 peak가 관찰되었다. 이는 Alkyd 수지로 인한 성분이므로 흑색 도색 수지는 Alkyd 수지를 이용한 것으로 판단된다.

3.2.6. 회색 수지

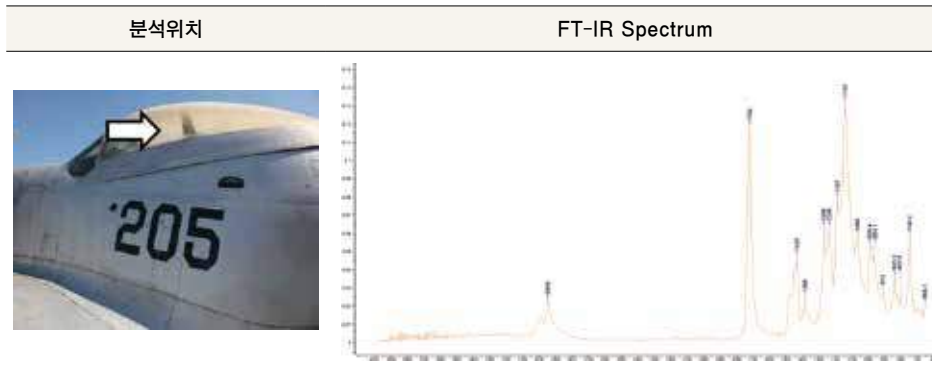
표12. FT-IR 성분 분석 그래프(회색 수지)



회색 수지에서는 1730cm^{-1} (C = O(이중 결합 신축 진동)), 1450cm^{-1} , 1380cm^{-1} (메틸 및 메틸렌 변형 구조), 1270cm^{-1} , 1130cm^{-1} , 1070cm^{-1} (프탈레이트 에스테르의 C-O 진동), 740cm^{-1} (방향족수소 밴딩 구조), 700cm^{-1} (방향족 밴딩 구조)에서의 예리한 peak가 관찰되었다. 이는 Alkyd 수지로 인한 성분이며, 또한 $800\sim 650\text{cm}^{-1}$ 에서의 완만한 흡수대는 TiO_2 에 의한 흡수밴드이다. 따라서 회색 도색 수지는 Alkyd 수지를 이용한 것으로 판단되었으며, TiO_2 가 함유된 것으로 판단된다.

3.2.7. 캐노피

표13. FT-IR 성분 분석 그래프(캐노피 수지)


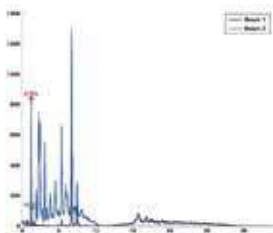

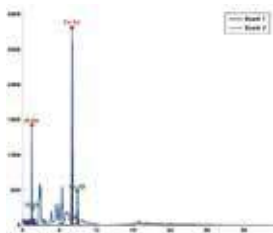

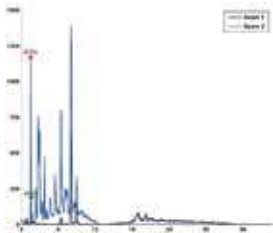

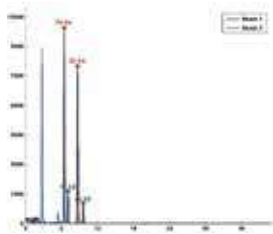


캐노피에서는 1730cm^{-1} (C = O(이중 결합 신축 진동)), 1450cm^{-1} (CH₃ CH₂ 변형 진동), $1260\text{cm}^{-1}\sim 1040\text{cm}^{-1}$ (COC 단일 결합 신축 진동), $880\text{cm}^{-1}\sim 960\text{cm}^{-1}$ (COC 단일 결합 변형 진동)에서의 예리한 peak가 관찰되었다. 이는 Poly methyl methacrylate(PMMA)로 투명성과 내광성이 우수한 플라스틱을 제조하는데 사용되는 수지이다. 따라서 F-51D 무스탕 전투기 캐노피는 PMMA 고분자로 이루어진 플라스틱 수지인 것으로 판단된다.

3. 금속 성분 분석

F-51D 무스탕 전투기에 사용된 금속 성분을 확인하고자 실시하였다. 안료가 탈락된 F-51D 무스탕 전투기의 몸체부, 날개부, 꼬리날개부(전면부, 후면부)를 측정했으며, 측정 결과는 다음 표와 같다.

표14. 금속 성분 분석(XRF) 결과

분석 번호 및 위치	스펙트럼	주원소	추정 재료
		Al	알루미늄 합금
		Al	알루미늄 합금
		Al	알루미늄 합금
		Zn, Fe	철-아연 도금 (합석)

XRF 분석 결과, F-51D 무스탕 전투기 몸통부, 날개부, 꼬리날개부 전면부에서 모두 알루미늄(Al) 성분이 주성분으로 검출되었다. 이외에도 구리(Cu), 철(Fe)이 검출되었다. 또한 꼬리날개부 후면부에서는 주성분으로 철(Fe), 아연(Zn)이 검출되었다. 이를 통해 F-51D 무스탕 전투기는 알루미늄(Al)을 주성분으로 하는 합금으로 구성되었으며, 꼬리날개부 후면부는 철판에 아연을 도금한 (합석) 것으로 보아 꼬리날개부 후면부는 과거 복원부인 것으로 판단되었다.

4. 고찰 및 결론

표 15. F-51D 무스탕 전투기 과학적 분석 결과(종합)

색상	착색 안료	수지	금속부
	벵가(Fe_2O_3)	Alkyd 수지	-
	유기안료	Acryl 수지	-
	황연(PbCrO_4)	Alkyd 수지	-
	티타늄화이트(TiO_2)	Alkyd 수지	-
	철흑(Fe_3O_4)	Alkyd 수지	-
	철흑(Fe_3O_4)+티타늄화이트(TiO_2)	Alkyd 수지	-
캐노피	-	PMMA	알루미늄 합금
몸체부	-	-	알루미늄 합금
날개부	-	-	알루미늄 합금
꼬리날개 (전면부)	-	-	알루미늄 합금
꼬리날개 (후면부)	-	-	철-아연 도금 함석

등록문화재 제666호 F-51D 무스탕 전투기에 대한 과학적 분석 결과, 무스탕에서 사용된 착색 안료는 적색은 적색 산화철인 벵가(Fe_2O_3), 청색은 프탈로시아닌 블루계 등의 유기안료, 황색은 황연(PbCrO_4), 백색은 티타늄화이트(TiO_2), 흑색은 흑색 산화철인 철흑(Fe_3O_4), 회색은 흑색 산화철인 철흑(Fe_3O_4)+티타늄화이트(TiO_2)를 혼합하여 사용 한 것으로 판단되었다^(표15).

FT-IR 분석 결과를 통해 도장에 사용된 수지는 주로 Alkyd 수지를 사용한 것으로 판단되며, 청색의 경우 Acryl 수지를 이용하여 도장 한 것으로 판단된다. 또한 전투기 캐노피는 투명성과 내광성이 우수한 플라스틱 성분인 Poly methyl methacrylate(PMMA)로 구성되었음을 확인 할 수 있었다.

XRF(금속부) 성분 분석 결과, F-51D 무스탕 전투기 몸체부, 날개부, 꼬리날개부 전면부에서 모두 알루미늄(Al)이 주 성분으로 검출되었으며, 그 외에 구리(Cu), 철(Fe)이 검출되었다. 또한 꼬리날개부 후면부에서는 철(Fe), 아연(Zn)이 검출되었다.

이를 통해 F-51D 무스탕 전투기는 알루미늄을 주 성분으로 하는 금속 합금을 사용하여 제조하였으며, 꼬리날개부 후면부의 경우 철-아연 도금(합석)이 사용된 것을 보아 과거 복원부인 것으로 판단되었다.

기존에 진행하였던 ‘등록문화재 전차381호의 도료분석’, ‘전쟁기념관 소장 6·25 전쟁 방산장비의 도료 특성 분석’의 결과처럼, 이번 분석을 통해서 등록문화재 제 666호 F-51D 무스탕 전투기의 도장에 사용된 수지는 주로 Alkyd 수지라는 것을 확인 할 수 있었다.

본 연구를 통해 등록문화재 제666호 F-51D 무스탕 전투기에 사용된 안료 성분을 확인하고 도료의 수지성분과 금속의 성분 분석 결과를 확인하였다. 선행 연구와의 비교, 분석을 통해 보존처리의 기초 자료를 확보하였으며 이를 바탕으로 ‘무스탕 전투기’ 복원 작업에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. R.J. Meilunas, Analysis of aged paint binders by FT-IR spectroscopy. *Studies in Conservation* **35**, p33-51, (1990).
2. T.J.S Learner, *The analysis of synthetic resins found in twentieth century paint media*. In Resins; Ancient and Modern SSCR conference, Edinburgh, (1995).
3. 방위사업청, *도료(페인트)규격 실무편람*, p1, (2008).
4. 김수철, 이광희, *철 기법 규명을 위한 철 도막의 현미경 관찰*. 목재공학 **36**, p99, (2008).
5. 서울역사박물관, *서울역사박물관 전차 381호 보존처리*, (주)비산문화재, p23-32, (2009).
6. 김수철, 박민수, 서정훈, “등록문화재 전차381호의 도료 분석”, *보존과학회지* **Vol.28** No.3, p277-283(2012).
7. 강현삼, 김수철, 박민수, “전쟁기념관 소장 6·25전쟁 방산장비의 도료 특성 분석”, *보존과학회지* **Vol.32** No.2, p215-221, (2016).
8. 권희홍, 김정흠, 한예빈, *야외 페인팅 조각의 보존처리를 위한 기초조사*, *보존과학회지* **Vol.32** No.3, p333-343, (2016).
9. 권희홍, 김예승, 김범준, 최남영, 박혜선, 김정석, 야외 청동 조각작품의 보존과 재질특성 연구, *보존과학회지* **Vol.33**, No.3, p155-165, (2017).
10. 문화재청, *(2016년도)등록문화재 등록조사보고서*, p137-150, (2017).