

국립현대미술관 보존과학 연구지

미술작품의 보존

Conservation of Art

6



국립현대미술관
National Museum of
Modern and Contemporary Art, Korea

목차 |

논문

비디오 장비의 손상유형과 보존처리 방법 연구 / 5

– 강금만, 권인철

국내·외 보존과학 분야에서 활용되고 있는 3차원 디지털 기록 현황 / 19

– 이슬, 이지선, 윤보경

국립현대미술관 소장 작가 미상 병풍연구 / 31

– 최혜송, 유다영, 최남선, 최점복, 유은실

미술품 분석·연구를 위한 Micro XRF 스캔의 적용성 조사 / 45

– 정참희, 박영아, 김정흠, 임성진

유화 작품에 사용되는 바니시의 노화 및 제거 실험을 통한 보존성 연구 / 69

– 권현주

비디오 장비의 손상유형과 보존처리 방법 연구 – 육태진 作 ‘보행자’를 중심으로

강금만, 권인철¹

국립현대미술관 작품보존미술은행관리과

A Study on Damage Types and Conservation Methods
of Video device – YOOK’s ‘Walking man’

Kang Geumman, Kwon Incheol¹

Department of Conservation and Art Bank, National Museum of Modern and Contemporary Art, Korea

¹Corresponding Author: kic0050@korea.kr, +82-043-261-1474

초록 미디어 매체의 기술발전과 함께 발달해 온 미디어 아트는 기술의 빠른 발전과 구성품의 노후로 인해 작품 특성에 맞는 보존처리가 요구되고 있다. 그러나 미디어 아트에서 발생할 수 있는 손상유형과 보존처리방법 연구는 미비한 실정이다. 이에 본 연구에서는 비디오 장비에서 발생할 수 있는 손상유형을 정리하고 육태진 作 ‘보행자’의 보존처리 사례를 제시하였다. 비디오 장비의 손상유형을 디스플레이장치의 손상유형과 기록·재생장치의 손상유형으로 나누어 나열하고, 손상요인에 대해 정리하였다. 디스플레이장치의 손상유형에는 변색, 국소적인 변색, 일그러짐, 작동불능 등이 있으며, 기록·재생장치의 손상은 소프트웨어의 노이즈 발생, 세대손실, 변색, 일그러짐 손상을 야기할 수 있다. 육태진 作 ‘보행자’에 사용된 CRT 흑백 모니터의 보존처리를 위해 색채휘도계로 측정한 결과 모니터의 휘도가 낮고 화면의 위치가 치우친 문제점이 있었고, 모니터 관리를 위한 휘도 기준치와 비교하여 모니터 휘도를 상향시키고 위치를 보정하였다. 향후 미디어 아트의 보존 전략과 손상유형에 따른 다양한 보존처리방법과 휘도, 명암비, 색도 처리기준에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

주제어: 미디어 아트, 비디오 장비, 손상유형, 작품보존, 처리방법

Abstract Media art, which has developed along with the technological development of media, is required to be conserved according to the characteristics of works due to rapid development of technology and aging of components. However, studies on the types

of damage and conservation methods that can occur in media art are insufficient. Therefore, this study aims to suggest damage types that can occur in video devices and conservation methods of YOOK's 'walking man'. The damage types of video devices are categorized into display damage and storage/playback device damage. The damage types of the display device include discoloration, local discoloration, distortion, inoperation, and the like, and damage to the storage/playback device can cause software noise generation, generation loss, discoloration, and distortion. As a result of measuring with a color luminance meter for conservation of the monitor of 'walking man', there was a problem that brightness of the monitor was low and the screen position was biased. In the future, it is necessary to study various conservation methods and treatment standards according to the media art preservation strategy and damage type.

Keyword: Media Art, Video device, Damage type, Conservation of Art, Conservation method

1. 서론

20세기 중반 이후로 새로운 기술을 기반으로 한 새로운 미술경향으로서 미디어 아트가 등장하였다(Ahn, 2005). 미디어 아트의 정의 혹은 출발점에 대해 논의 할 때, 20세기 중반의 플럭서스(Fluxus) 그룹의 설치예술, 행위예술과 같은 실험적 예술과, 포스텔(Vostel)과 백남준을 중심으로 한 비디오 아트를 기점으로 하는 것이 일반적인 견해이다. 미디어아트는 디지털 매체의 발달에 따라 더욱 심화되고 분류되어 최근 뉴미디어 아트라는 큰 틀로 통칭되고 있다(Song, Jung, 2011). 미디어 기술과 함께 탄생하고 발전하여 영상(映像)을 작품에 활용한 비디오 아트와 컴퓨터 아트, CD-ROM, 넷아트, 상호적인 설치 미술 등 폭넓은 범위를 포함하고 있고, 다양한 양상으로 발전하고 범위를 넓혀가고 있다.

미디어 아트의 구성요소들은 기술의 급격한 변화로 매체가 빠르게 구형이 되거나 생산이 중단되고 매체 자체의 물리적 노화, 재생 소프트웨어의 소멸 등으로 인해 보존의 필요성이 부각되고 있다(KOFIC, 2014). 미디어 아트 보존을 위한 다니엘 랭글로와 예술·과학·기술 재단과 구겐하임 미술관의 프로젝트인 '가변적 미디어 네트워크(Variable Media Network, 이하 VNM)'는 작품 보존에 앞서 매체를 파악하여 속성을 분류하는 기준을 제시하였고, VNM과 도감연구협회(DOCAM Research Alliance / DOCAM)프로젝트에서는 미디어

아트의 장기적 보존을 위한 보존전략을 '저장(Storage)', '에뮬레이션(Emulation)', '마이그레이션(Migration)', '재해석(Reinterpretation)'으로 나누어 제시한 바 있다(Lee, 2018). 이러한 보존전략은 미디어 작품을 보존처리하기 위한 보존개념의 토대를 제공하였고, 이를 바탕으로 각 전략에 알맞은 보존처리 방법과 보존처리를 위한 작품의 손상유형 연구가 필요한 상황이다. 특히 아날로그 신호를 사용하는 영상과 음향을 재생하기 위한 디스플레이, 저장, 재생장치 등 비디오 장비(이하 비디오 장비)를 포함하는 작품들의 경우 작품의 구동에 따른 장비의 노후와 손상을 피할 수 없으며 전통적인 재료가 사용된 작품과는 다른 손상유형이 발현하고, 손상장비의 단종에 따른 교체와 부품 공급이 어려워 이에 맞는 보존처리방법이 요구되고 있다.

미디어 아트에 사용된 비디오 장비는 크게 영상을 투사하는 디스플레이장치(Display device)와 소프트웨어를 기록하고 재생하는 기록·재생장치(Storage/Playback device)로 나누어 볼 수 있고, 각종 요인에 따라 화면의 일그러짐, 색상의 변화, 작동불능 등의 손상을 겪고 있으나 완전히 작동을 멈출 때까지 손상 여부를 파악하지 못하고 있는 실정이다. 또한 비디오 장비는 생산시에도 각 제조사의 기준에 따라 색상, 휘도 등이 결정되어 생산되고, 전시와 보존을 위한 처리 방법 및 기준도 연구가 부족하여 작품에 사용된 장비가 손상될 경우 대처가 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 비디오 장비에서 발생할 수 있는 손상유형과 손상이 발생하는 요인에 대해 정리하였다. 더불어 육태진 作 '보행자'에 사용된 비디오 장비를 보존처리하여 보존처리에 대한 사례를 제시하고 작품의 조사 및 처리방법에 대해 논의하고자 하여 향후 미디어 아트의 보존처리에 있어 기초자료가 되고자 한다.

2. 연구방법

2.1. 비디오 장비의 손상유형

비디오 장비의 손상유형은 크게 CRT모니터 등 디스플레이장치의 손상과 영상·사진 등의 소프트웨어 손상으로 야기 될 수 있는 기록·재생장치의 손상으로 나누어 볼 수 있다. 다시 세분하여 손상유형을 나열해보면 디스플레이장치의 손상에는 전체적인 화면변색과 국소적인 화면변색, 일그러짐, 작동불능 등이 있고 기록·재생장치의 손상으로 야기되는

소프트웨어 손상에는 영상 끊김, 노이즈 발생, 영상 손실 등의 손상이 있다. 또한, 비디오 장비에 대한 이물질의 축적은 누전, 합선, 화재의 위험이 될 수 있고 부품의 오작동을 유발할 수 있다.

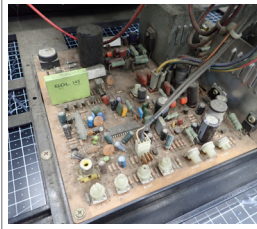
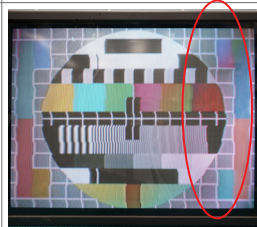
디스플레이 장치의 손상은 주로 모니터 패널의 손상과 모니터 패널을 구동시키는 회로의 손상에서 야기된다. CRT모니터에서 화면변색은 RED, GREEN, BLUE(이하 RGB) 색상 회로상의 부품 이상 또는 접촉불량, RGB조절 가변저항의 변화에 따라 발생할 수 있다. 이 외에도 칼라 CRT 모니터에서 RGB 전자총 3개 중 한 개라도 이상이 발생하거나 새도마스크(Shadow mask-전자빔에 형광체에 정확히 입사될 수 있도록 돕는 부품)의 위치가 변형된 경우에도 화면의 변색이 발생할 수 있다. 국소적인 변색은 특히 CRT 모니터에서 발생하며 주로 수상관(受像管) 내부부품(새도마스크, 새도마스크 및 형광체 등의 부품 고정 프레임, 금속성 부품 등)의 자화(磁化)에서 비롯된다. 자화된 부품은 전자총에서 발생한 전자빔의 올바른 경로를 방해하여 국소적인 변색을 발생시킨다. 자화의 요인은 강한 자기장의 접근, 지구의 자계(磁界) 필드에 의한 자화, 주변 기기에서 발생하는 자기장에 의한 자화 등 다양하다. 이 외에도 강한 충격으로 인해 새도마스크의 변형이 발생하였을 때도 국소적인 변색이 발생할 수 있다. 일그러짐은 화면이 오목렌즈나 볼록렌즈처럼 보여지거나 화면의 일정 축으로 정렬되지 않는 현상 등을 말한다. 이러한 손상은 편향코일의 손상이나 편향코일을 동작시키는 회로의 손상에서 야기될 수 있다. 또한 수상관의 접지(接地, Earth grounding) 상태가 올바르지 않은 경우에도 축방향으로 정렬되지 않는 일그러짐 현상이 발생할 수 있다. 작동불능 손상은 모니터가 화면을 송출하지 못하는 현상으로 CRT모니터에서는 전자총과 전자총 히터의 손상, 이물질 누적으로 인한 전자총 히터의 작동불능, 수상관의 파손, 회로부의 손상, 합선 등 요인이 다양하다(Grob al, 1999).

비디오 장치에서 기록·재생장치의 손상은 소프트웨어의 손상으로 이어진다. 특히 파손, 이물질 축적, 화학적 손상 등 손상된 아날로그 저장매체(필름, 디스크 등)를 그대로 재생하거나 아날로그-아날로그 저장매체로 복제·변환할 때 또는 디지털로 변환하는 과정에서 영상의 제거되거나 손상되는 세대손실(Generation loss)이 발생할 수 있고, 저장매체와 재생장치의 재생헤드(Playback head)에 축적된 이물질 등에 의해 노이즈(먼지, 이물질 포함) 발생과 변색, 영상의 일그러짐 등의 소프트웨어 손상이 발생할 수 있다(Jung, 2018 and Kown, 2018 b). 재생장치의 캡스턴(Capstan)의 손상은 영상 늘어짐의

원인이 될 수 있으며, 재생헤드의 손상은 변색, 일그러짐, 손실 등의 불안정한 영상 재생의 원인이 될 수 있다.

비디오 장비에서 발생할 수 있는 손상은 장치의 종류와 구조, 특성에 따라 다른 유형으로 발현된다. 따라서 작품의 보존을 위해 사용된 장치의 특성을 파악하고 발생할 수 있는 손상을 막기 위한 예방조치를 취하는 것이 가장 선행되어야 할 것이다. 상기한 비디오 장비에서 발생할 수 있는 손상유형과 요인을 Table 1에 정리하였다.

Table 1. Types of damage and factors of Newmedia artworks

Part	Type	Case	Damage factor
Display device	Foreign substance		- Foreign substance is easily accumulated by static electricity. Foreign matter accumulated in media devices can be a threat of malfunction and fire due to leakage. - In case of CRT monitor using high voltage current, the accumulation of foreign material is prominent.
	Discoloration		Damage to the electron gun, damage to the circuit components supplying the current to the electron gun. Position change of the RGB control variable resistor, and poor contact of the components may cause discoloration.
	Local discoloration		- The local discoloration of the screen is mainly caused by the magnetization of the components inside the CRT panel - The magnetization vary with the factors such as the approach of a strong magnetic field, the earth's magnetic field, and the magnetic field generated by nearby devices.
	Distortion		Distortions can result from damage or malfunction of the deflection coils, damage to circuit components that supply current to the deflection coils, and poor contact. It can also be caused by a change in the deflection coil control variable resistor.

Display device	Inoperability		Typical factors of inoperability include accumulated foreign matter, fuse damage, short circuit, damage to circuit components, damage to wires, and screen breakage.
Storage & player	Software damage	 (Jung, 2018)	- Image noise, generation loss, and discoloration. - Damage is caused by careless handling of storage media, and by inappropriate storage. - In addition, damage to the capstan and the playback head of the playback device may cause image damage.

2.2. 비디오 장비의 보존처리

2.2.1. 처리 전 상태

1996년에 제작된 육태진 作 ‘보행자’는 국립현대미술관에서 소장하고 있는 작품으로 크기는 72 ×100 ×100cm이다. 육태진이 90년대 중후반 이후에 발표된 작품들 중 하나로 대중사회 속에서 같은 패턴으로 살아가는 인간의 대표적이고 무기력한 행위를 반복적인 영상을 자신만의 독특한 조형언어로 구성한 작품이다(Min, 2012). 회전하는 원형의 좌대 위에 모니터 4대와 빔프로젝터가 설치되며, 일정 공간에 설치된 흰 천과 모니터를 통해 걸어가고 있는 남자의 모습을 움직이는 영상으로 투사한 작품이다. VNM이 제시한 뉴미디어작품의 속성분류와 분류기준(Table 2, Lee, 2018)에 따라 분류하면 ‘포함한(Contained)’과 ‘설치한(Installed)’으로 분류될 수 있다. 모니터는 흑백의 CRT 모니터(12인치 흑백 TV, 대우전자 社, 110V 및 220 겸용)이다. 좌대 상부에는 모니터 4대, 4채널 입력·10채널 출력 영상분배기, 영상플레이어, 변압기, 110V 전용 6구 멀티탭, 빔프로젝터가 모두 설치된다. 현재 국립현대미술관에서 소장하는 구성품에는 빔프로젝터와 영상플레이어는 제외되어 전시시에 별도 설치된다. 좌대와 구동부는 금속으로 제작되었으며 모터와 기어, 동력 전달 벨트로 이루어져 있다.

Table 2. Characteristic and Standard classification of Newmedia work

Characteristic	Standard of classification
Contained	Is there a device surrounding the work such as glass, frame, acrylic plate or panel?
Installed	When artwork is installed in front of exhibition space or in large space such as square or building.

본 작품에 사용된 비디오 장비에는 CRT모니터와 빔프로젝터가 포함되며 별도로 영상을 재생시킬 수 있는 플레이어 및 영상분배기가 설치된다. CRT모니터의 보존처리 전 상태는 각 모니터마다 정도의 차이는 있지만, 전반적으로 화면의 밝기가 낮고 좌측으로 치우쳐 있는 문제가 있었으며 이물질이 축적되어 있었다.



Figure 1. 'walking man' Exhibition Status



Figure 2. Front of Artwork

2.2.2. 비디오 장비의 처리 과정

본 작품의 상태조사를 실시하고 전체 및 세부 사진촬영을 실시하였다. 모니터의 작동은 정상적으로 이루어지고 있기 때문에 VNM과 도감연구협회가 제시한 보존전략 중 ‘저장(Storage)’의 전략을 취하기로 하였다. ‘저장’전략은 기존의 구성요소들이 정상작동할 수 있도록 관리하며, 향후를 대비하여 동일사양과 기종의 제품을 구비해두는 것을 의미한다. 세부적으로 비디오 장비의 보존처리를 위해 이물질을 건식·습식클리닝을 사용하여 제거하고, 모니터의 밝기의 상향과 화면의 위치를 바로 잡는 것으로 보존처리의 방향을 정하였다.

모니터에 축적된 이물질은 에어컴프레셔와 붓을 이용하여 건식클리닝을 실시한 후 제거되지 않은 이물질은 초순수와 면봉, 와이퍼를 사용하여 습식클리닝으로 제거하였다.

외부뿐만 아니라 케이스를 해체하여 내부의 이물질도 제거하였다. 내부의 이물질은 정상적인 전류의 흐름을 방해하여 장치의 오작동을 유발할 수 있고 누전, 합선시에는 화재의 원인이 될 수도 있기 때문에 제거를 위한 주기적인 관리가 필요하다.

모니터는 110V와 220V 겸용이지만 작품의 전체적인 정격전압은 110V로 제작되었기 때문에 변압기(HIT-500D, 한일트랜스 社)를 사용하여 전원을 연결하고 작동상태를 점검하였다. 처리 전후의 휘도와 색도를 기록하기 위해 화면에 필립스 패턴 PM5544를 투사하고 색채휘도계(CS-200, KONICA MINOLTA 社, JP)를 사용하여 기록하였다. 색채휘도계 측정은 암실환경에서 실시하였으며, 본 모니터는 모두 흑백 TV이므로 측정포인트는 패턴의 그레이스케일 부분에서 Peak 및 Black luminescence를 측정할 수 있는 부분을 포함하여 4곳으로 한정하였으며 3회 측정하여 평균값을 기록하였다.

측정결과 모니터의 피크휘도(Peak luminescence, Lmax, 디스플레이가 표현할 수 있는 가장 높은 휘도)는 약 35cd/m²~105cd/m²까지 불규칙했고, 이는 디스플레이의 정도관리에서 가장 많이 사용되고 있는 미국의 AAPM의 TG18에서 권고하는 휘도관련 기준치(Table 3 America Association of Physicists Medicine Task Group 18, Imaging informatics subcommittee, Assessment of display performance for medical imaging system, Version 9.)에 현저히 떨어지는 수준이었다. 또한 U.K. Royal College of Radiologists(RCR)과 American College of Radiology(ACR)에서 제정한 Teleradiology 지침과 기준에 따르면 CRT모니터의 휘도는 적어도 50 foot-lamberts(=170cd/m²) 이상이어야 한다고 권고한바 있다(Board of Faculty of Clinical radiology et al, 1999).

Table 3. Standard recommendation of Luminescence response(AAPM)

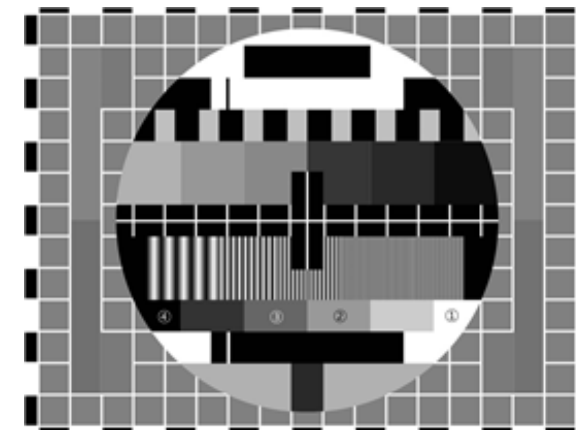
Categories	Evaluation criteria	Standard
Luminescence response	Lmax	≥170cd/m ²
	LR(Luminescence Ratio)	≥150cd/m ²
	ΔLmax	≤5%

각 모니터의 낮은 휘도를 보정하기 위해 모니터 후면의 외부로 돌출되어 있는 밝기(Bright), 명암(Contrast) 조절 버튼을 조정하였다. 이때 화면의 초점 정렬 여부와

빛 번짐(Blooming) 현상의 발생여부를 육안으로 관찰하며 보정을 실시하였다. 보정 후에는 처리 전과 동일한 방법으로 휘도와 색도값을 기록하였다(Table 4). 보정 후 피크휘도는 약 150±cd/m²로 측정되었다. 밝기를 더 높일 경우 화면의 초점이 정렬되지 않고 빛 번짐(Blooming) 현상이 발생하는 등 불안정한 모습을 보여 AAPM의 권고 기준치보다 낮게 조정하고 밝기 보정을 마무리 하였다.

모든 모니터는 왼쪽으로 치우친 경향을 보였는데 이를 보정하기위해 전자총의 위치조정 키를 조절하였다(Fig 8). 위치조정 키는 초점코일과 편향코일의 위치를 조정하여 화면에 입사되는 전자빔의 위치를 조정하는 부품이다. 대부분 수상관의 전자총부분에 위치하고 있으며 돌려서 조정이 가능하도록 되어 있다. 육안으로 확인하여 보정이 완료되면 위치 조정키에 아크릴물감으로 위치를 표시하고 케이스를 다시 조립하였다. 작품의 보존처리 후 작동을 검사하고 전체와 세부 사진촬영을 실시하였다.

Table 4. Measuring position and Measures of color luminance meter



↑ Measuring position

Serial No.	208M100199		208M100200	
	Before	After	Before	After
Point	Lv (cd/m ²)	Lv (cd/m ²)	Lv (cd/m ²)	Lv (cd/m ²)
①	107.43	157.92	34.39	146.18
②	40.46	44.30	3.43	66.42
③	19.58	11.24	0.65	36.68
④	1.45	1.46	0.13	3.36

Serial No.	208M100103		208M100250	
	Before	After	Before	After
Point	Lv (cd/m ²)	Lv (cd/m ²)	Lv (cd/m ²)	Lv (cd/m ²)
①	81.82	156.60	49.08	145.45
②	26.90	20.86	12.31	34.38
③	15.49	7.53	3.53	10.88
④	4.35	0.72	0.40	0.98

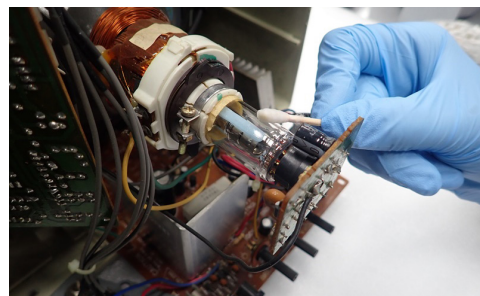


Figure 7. Wet cleaning for monitor

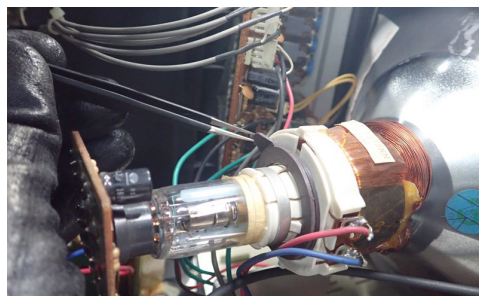


Figure 8. Positioning key adjustment



Figure 9. Screen before processing

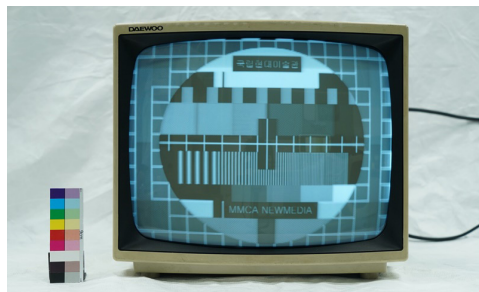


Figure 10. Screen after processing

3. 고찰 및 결론

본 연구에서는 비디오 장비의 주요 손상유형에 대해 알아보고 육태진 作 ‘보행자’에 사용된 비디오 장비를 보존처리하여 사례를 제시하였다. 비디오 장비의 손상유형은 디스플레이장치의 손상과 기록·저장장치의 손상으로 야기되는 소프트웨어 손상으로 나누어 볼 수 있다. 디스플레이장치의 손상에는 변색, 국소적인 변색, 일그러짐, 작동 불능 등의 손상유형이 있고, 기록·저장장치의 손상에는 저장장치와 재생헤드에 대한 파손, 이물질 축적, 화학적 손상,

캡스틴 손상이 있으며 이러한 손상은 소프트웨어의 노이즈 발생, 영상 끊김, 영상 손실, 세대 손실, 변색, 일그러짐 등의 손상으로 발현될 수 있다. 이러한 손상들은 사용된 장치의 특성과 구조에 따라 각기 다른 유형이 나타난다. 따라서 작품을 보존하기 위해 가장 먼저 사용된 장치의 종류와 특성을 파악하고, 장치에 발생할 수 있는 손상유형에 대해 알맞은 관리 및 처리 방법으로 대처하는 것이 중요하다. 육태진 ‘보행자’에 사용된 비디오 장비를 예로 들면 CRT모니터에서 발생할 수 있는 국소적인 변색을 막기 위해 자기장을 가진 물체의 접근을 막고 주기적인 이물질의 클리닝으로 오작동을 예방해야 할 것이다. 본 연구와 같이 화면의 휘도 저하, 변색에 대한 기준을 수립하기 위해 색채휘도계를 사용하여 모니터의 처리 전, 후 데이터를 작성해두는 것도 효과적인 방법일 것이라고 판단된다. 추가적으로 소프트웨어의 손상을 예방하고 장기적인 보존을 위해 저장매체에 대한 주기적인 클리닝과 디지털화를 병행하여 손상이나 손실을 예방하며 영상신호분석기 등으로 영상의 색상분포 등을 기록해 향후의 영상 보존처리의 기준을 마련하는 것이 필요하다고 판단된다.

이번 연구에서는 작품에 사용된 모니터의 작동상태를 점검하고 ‘저장’의 보존전략을 선택하여 보존처리를 실시하였다. ‘저장’은 작품의 원형유지를 위한 가장 기본적인 전략으로 장치의 작동이 비교적 양호하고 대체품의 수급이 가능할 때 선택할 수 있는 방법이다. 작품에 사용된 재료가 빠르게 단종되고 부품과 기술의 수급이 어려워지는 경우도 발생할 수 있는 미디어 아트의 특성상 작품의 속성과 특성, 손상유형에 따른 전략의 선택이 필요하고, 향후 전략에 따른 세부적인 처리방법 연구가 필요할 것으로 판단된다.

모니터의 보존처리 과정에서 밝기 문제를 해결하기 위해 조절장치의 조작을 실시하여 휘도를 상승시켰고, 모니터 내부의 이물질 제거와 화면의 수상관의 위치조정 키를 조절하여 화면의 위치조정을 실시하였다. RCR과 ACR에서 제정한 권고사항과 APPM의 TG18의 권고사항을 참고하여 170cd/m²까지 휘도 상승을 시도하였으나 화면 초점의 손실과 Blooming 현상의 발생으로 기준치를 완전히 만족시킬 수 없었는데, 이는 제품의 특성과 수명에 따라 보정에 한계가 있음을 확인한 것이라고 판단된다. 또한 이러한 기준치들은 육안으로 화면을 관찰하였을 때 피로도와 함께 최대한의 작업효율을 고려한 기준치이므로 작품 전시환경과는 거리가 있음을 고려해야 한다. 향후 이러한 비디오 장비의 보존처리를 위해 낮은 조명이 주로 사용되는 미술품 전시장에 알맞은 휘도에 관한 연구가 필요하며, 더 나아가 관람객과 전시환경, 작품의 보존을 아우를 수 있는 알맞은 화질을 위해 휘도, 명암비, 색도 조건에 대한 기준 연구가 필요할 것으로 판단된다.

REFERENCES

Ahn, W.H., 2005, Some Aesthetic Significance of Media Art, Division of Fine art, Silla University

Bae, S.B., Han, K.S., 2018, A Study on the Conservation of New Media Art – Focusing on collections of domestic museums, KOREA SCIENCE & ART FORUM 33, 2018.3, 137–147(in Korean with English abstract)

Kwon, I.C., Kwon, H.H., 2018a, Conservation Methods of New Media Art based on Conservation Strategies, Journal of the National Museum of Contemporary Art, Korea Vol.9, National Museum of Contemporary Art, Korea(in English abstract)

Kwon, I.C., Kwon, H.H., 2018b, A Study on Management Method of Multimedia Devices and Recording Media for Conserving New Media Art, Conservation of Art Vol.4, 85–113, National Museum of Contemporary Art, Korea(in Korean with English abstract)

KOFIC(Korean Film Council), 2014, The Digital Dilemma : Strategic Issues in Archiving and Accessing Digital Motion Picture Materials, The Science and Technology Council of the Academy of Motion Picture Arts and Science

Lee, S.B., 2017, A study of documentation and technical preservation strategies for new media art conservation : focused on Variable Media Network, DOCAM Research Alliance and Matters in Media Art, Master thesis, Kyung Hee University(in Korean with English abstract)

Matters in Media Art, 2019, Documenting Media Art, <http://mattersinmediaart.org/> Variable Media Network, 2019, Conservation Strategy of New Media Arts <http://www.variablemedia.net/e/index.html>

Yi, W.K., 2015, CRT(Cathode Ray Tube) and Media Art –Focusing on 〈Exposition of Music – Electronic Television〉(1963) by Nam June Paik–, Bulletin of Korean society of basic design & art, vol.16 no.6, pp.407–418, Korea Society of Basic Design & Art(in Korean with English abstract)

Grob and Herdon, 2012, Basic Television and video systems, 132–170, 179–213, Glencoe /McGraw–Hill

Rolf R., Oliver, 2011, Display : Fundamentals and applications, 155–176, Taylor & Francis Group, LLC.

AAPM TG18 : Assessment of display performance for medical imaging system, AAPM task group, pre–print Draft(version 9.0)

Lee, C.Y., 2006, Comparison of Changing the Luminance by Display Device Quality Control, Master thesis, Korea University

Choi, J.Y. 2003, Effect of luminance of Cathode Ray tube monitor and ambient light on observer performance in soft–copy reading of digital chest radio graphs, Master thesis, Seoul University

Kim, E.S. et al., 2005, Chromatic adaptation model for the variations of the luminance of the same chromaticity illuminants, Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea vol.42, no.4, pp. 445–452, The Institute of Electronics Engineers of Korea

Min, H.J., 2012, A study about Korean Media Arts from 1969 to 1999 based on Visual Media, Master thesis, Kookmin University

Jung, H.J., 2018, The process and technique of digital restoration of movies,
Master thesis, Chung-Ang University

Song, E.J., Jung, H.K., 2011, Aesthetic Concept Changes and Characteristics of
New Media Art, Journal Korea Society of Visual Design Forum, vol., no.33, pp.
417-426, Korea Society of Design trend

국내·외 보존과학 분야에서 활용되고 있는 3차원 디지털 기록 현황

이 슬¹, 이지선, 윤보경

국립현대미술관 작품보존미술은행관리과

A study on the current status of three-dimensional(3D)
digital records for artwork conservation

Lee Seul¹, Lee Gi Sun, Yoon Bo Kyung

Department of Conservation and Art Bank, National Museum of Modern and Contemporary Art, Korea

Corresponding Author: dltmf5472@korea.kr; +82-43-261-1476

초록 최근 국내·외적으로 유물의 디지털화를 통한 3D 디지털 데이터베이스 구축, 보존 및 복원, 교육 분야의 연구가 활발히 이루어지고 있다. 디지털 기록을 위한 3D 스캐닝은 비접촉으로 대상의 형태, 크기, 두께 등 물리적 정보를 시각적으로 형상화할 수 있는 강점을 가지고 있지만, 재질의 다양성에 따른 한계성, 작업자의 숙련도 등 많은 단점도 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 연구의 동향을 파악하기 위해 국내·외에서 연구되고 있는 디지털 기록물의 사례를 알아보았다. 조사 결과, 2000년대를 기점으로 연구가 활발히 진행되어 왔으며 문화재와 미술품을 비롯하여 다양한 대상물에 대해 3D 디지털 데이터베이스를 구축하고 있다. 또한 스캐닝 뿐만 아니라 프린팅의 활용 예시까지 찾아볼 수 있었다.

주제어: 디지털 기록, 3차원, 보존, 기록, 복제

Abstract Research in the field of 3D digital database construction, conservation and restoration and education has been actively conducted in Korea and overseas. 3D scanning for digital recording has the strength to visualize physical information, such as the shape, size and thickness of the target with no contact, but it also has many disadvantages, such as limitations of various materials and worker perceived skill. Therefore, this study survey at the case of digital records being studied at home and abroad in order to understand the trends of research. The research found cases of conservation treatment using printing as well as scanning.

Keyword: Digital record, Three-dimensions, Conservation, Record, Reproduction

접수 2020.02.10. / 심사종료 2020.02.28. / 게재승인 2020.03.02.

1. 서론

보존과학에서 말하는 ‘보존(保存)’은 단지 유물에 직접적으로 손을 대는 보존처리 작업에만 국한되는 것이 아닌 문화유산을 후손에 물려주기 위해 원형의 모습을 유지하고 찾아내는 노력과 활동을 모두 포함하는 포괄적인 의미를 내포하고 있다(Kang, 2008). 대상물의 원형을 기록하는 데이터베이스화도 노력의 범주에 속하는 중요한 요소이다. 하지만 기존의 방법처럼 사진이나 수작업에 의한 데이터화는 정확성, 수치화 등의 한계를 넘지 못하였다. 그 대안으로 역설계(Reverse Engineering) 및 계측(Inspection)분야에서 사용되던 3차원 측정기를 활용하여 대상의 원형을 디지털화 시키는 작업이 시도되었다(Jang, 2004).

3D(Three-dimensions 이하 3D) 스캔과 프린팅 기술의 시작은 모형, 시제품 제작 등이었으나, 최근 의료용 장기제작, 권총과 같은 무기 제조에 까지 활용되고 있으며 미술품 복제로도 영역을 넓혔다. 보존과학분야에서의 3D 디지털 기록은 데이터를 기반으로 제작기법 연구, 위작식별, 구조 및 안정성 분석 모니터링 등 다양한 업무에 활용되고 있다. 더 나아가 단순한 기록에서 그치는 것이 아닌 전시·교육 등 문화콘텐츠 영역에서도 다양하게 활용하고 있다. 본 연구에서는 국내·외 보존과학분야의 3D 디지털 기록의 활용 사례를 조사해 보고자 한다.

2. 보존과학과 3D 디지털 기록

보존과학에서 말하는 ‘보존’과 기록학에서 말하는 ‘보존기록(Archives)’을 구분 지을 필요가 있다. 기록학 학문에서의 보존기록은 개인이나 집단이 자신의 존재 또는 행위와 관련하여 공적 또는 사적으로 생산·입수한 기록으로서, 생산·입수된 직접적인 목적 이상으로 지속적인 가치가 있거나 생산자의 기능이나 책임을 입증 해 주는데 있어 의미를 지닌 자료를 말한다. 보존기록은 오래되었거나 역사적인 문서라는 의미로 사용되기도 하는데, 이런 점에서는 일반적인 영구 보존기록과 구별되지 않는다. 그렇지만 보존기록에는 출처에 해당되는 개인이나 집단의 일상적 활동을 담은 기록이 축적되는 과정에서 비롯된 유기적 특성이 추가되며, 업무 과정 중 자연적으로 쌓인다는 점에서 인위적 컬렉션과도 구별되는 의미를 담고 있다(Yang, 2012). 본 연구에서는 기록학에서 말하는 ‘보존기록’이 아닌, 구조·안정성 분석·모니터링 등의 보존업무에 활용할 수 있는 디지털 기록을 다루어 볼 것이다.

3D 디지털화 방법은 대상의 실존여부에 따라 크게 두 가지로 나뉜다. 첫째, 기술장비로 대상을 측정해 취득한 물리적 데이터를 기반으로 디지털 기록을 생산하는 사실·원형기반 모델링이다. 사실·원형기반 모델링은 유물의 물리적인 훼손 없이, 구조·분석·모니터링 등의 보존업무를 가능하게 해 준다. 둘째, 실존하지 않는 문화유산의 증거·가설을 기반으로 한 수동 모델링으로 디지털 기록을 생산하는 가공 모델링이다.

3D 기술의 활용분야로는 기록화·형상분석 및 가시화·디지털 복원·콘텐츠 제작 및 활용 등이 대표적이며, 소프트웨어와 하드웨어 기술이 발전하면서 적용범위가 넓어지고 있다(Hong, 2019). 국내·외에서는 2000년대 초부터 기술을 접목시킨 디지털 기록화의 중요성에 주목하고 있으며, 문화재뿐만 아니라 유화·조각 등 다양한 미술품 분야에도 활용되었다. 최근 3D 스캔과 프린팅 기술을 상업, 학술, 공익적 목적으로 미술품 복제에 응용하는 사례가 다수 등장하고 있다.

대표적인 예로서 2009년 미국의 스탠포드대학교(Stanford University)의 연구진과 이탈리아의 사회학자가 주축이 되어 미켈란젤로작 ‘다비드(David, 1501~1504)’, ‘피에타(Florentine Pieta, 1547~1553)’ 등의 디지털화를 통한 3차원 디지털 문화재 구축 연구가 이루어졌다. 또한 미국의 스미스소니언(Smithsonian) 연구소는 2014년 유물의 디지털화에 관심을 갖고 스캔을 시작했으며, 시민들이 데이터를 자유롭게 열람 및 다운로드 할 수 있도록 정보를 개방하였다.

국내에서는 2012년부터 본격적인 움직임이 나타났으며, ‘문화유산 3차원 스캔데이터 구축 가이드라인(문화재청)’의 초안이 작성되었다. 이 가이드라인은 문화유산의 3차원 스캐닝데이터를 확보하기 위한 전문적 안내를 제공하고 3차원 스캐닝기술을 문화유산 분야에서 활용할 수 있는 전문가들의 역할을 대체하고 있다. 더 나아가 문화유산의 원형을 복원하고 보존하기 위한 데이터 구축과 그것의 활용 계획 등을 수립하는 데 있어 가장 적절한 기술, 절차와 방법 등을 결정할 수 있도록 작업 과정 및 성과물의 품질관리를 위한 조연자로서의 역할을 하는 것을 목표로 한다. 또한 표준화된 데이터베이스를 구축할 수 있는 기반을 조성하는데 중요한 역할을 담당하고 있다(문화재청, 2018).

이처럼 다방면으로 활용되고 있는 3D 스캐닝도 많은 단점을 포함하고 있다. 첫째, 대리석과 같은 광택이 많은 석재, 반사율이 높거나 도금되어있는 표면, 솜털이나 모피, 깃털 등에는 적합하지 않기 때문에 복합재질로 이루어진 미술품들의 스캐닝 작업에는 고려해야할 요소가

많다.

둘째, 데이터의 정확도에 영향을 미치는 요인인 오차, 계수조정, 작업자의 전문성 수준 등에 따라 오차범위를 가질 수 있다는 한계성을 가진다. 소프트웨어와 하드웨어가 발전됨에 따라 그에 맞는 용량, 포맷, 구동방법의 문제도 빠르게 보완 해 나가야 시대에 맞는 데이터로 재가공할 수 있을 것이다. 또한 현재 많은 소프트웨어들이 개발되고 있지만, 3D 스캐닝 후 데이터의 사후 처리와 더불어 3D 스캐닝의 결과물은 전적으로 작업자의 능력에 비례한다.

셋째, 충분한 작업환경과 대상물의 특징에 맞는 적절한 기기선택이 필요하다. 3D 스캔은 비접촉 방식이지만, 스캔 당시의 대상물의 이동방향과 그에 맞는 공간 확보가 필요하다. 또한 카메라 플래시가 미술품에 미치는 위험요소 중 하나인 것처럼(Marzo, 2009) 3D 레이저 스캐너로 생성된 강한 빛은 대상물에 위협이 될 수 있다. 때문에 대상에 적절한 조명과 레이저 강도를 선택해야 할 것이다(Jones, 2007).

위와 더불어 현재는 단순한 3D 스캐닝만으로는 실물과 동일한 색상재현이 불가능하다. 이러한 단점을 극복하기 위해 2015년부터 한국콘텐츠진흥원은 ‘미술품 원색 기록 보존 및 복원을 위한 Multi-spectral 이미징 기술 개발’이라는 문화기술 연구개발사업을 진행 중이다.

3. 국내·외 디지털 기록 활용 사례

3.1. 국내

3.1.1. 권진규 ‘여인좌상’

2015년 국립현대미술관에서는 권진규(1922~1973) 테라코타 ‘여인좌상’ 2점을 3D 스캐닝 하였다(Figure 1). 두 작품은 외관상 매우 비슷한 형태를 가지고 있었고, 3D 스캔을 통해 형태·치수를 비교하고 데이터를 제작기법 연구에 활용하였다. 작품 외형이 매우 비슷한 두 작품을 각각 3D 스캐너로 스캔 후 데이터를 정렬 및 오버랩 방식으로 맵핑하여 비교 분석하였다. 비교 결과 두 작품의 머리, 오른 팔, 다리의 위치가 상당한 차이를 보이고 있는 반면, 몸통과 왼쪽 팔의 위치는 균일하게 일치하였다. 이는 몸통과 왼쪽팔을 한 번에 제작 후 마무리하였다는 가설을 뒷받침하고 있다(Kwon, 2015).

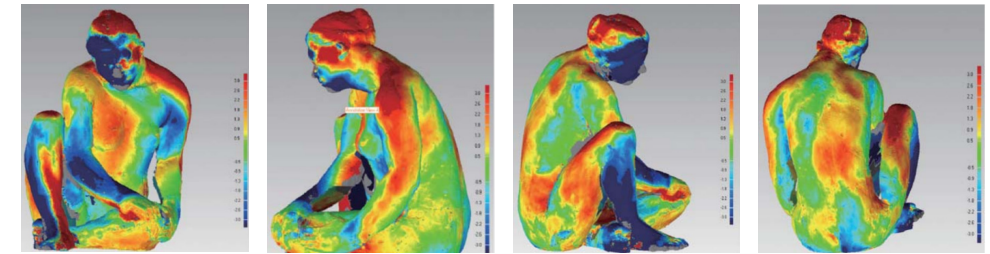
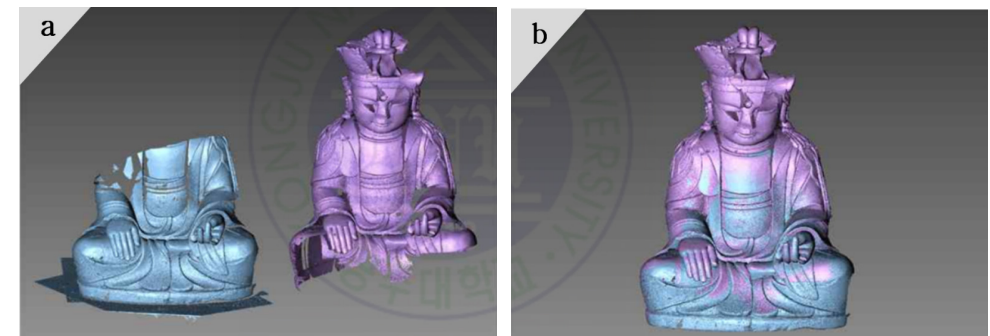


Figure 1. Photo mapping after 3D scan. (Kwon et al., 2015)

3.1.2. 춘천박물관소장 ‘석조보살좌상’

대상물은 춘천박물관 소장 ‘석조보살좌상’이다. 불석으로 이루어진 조선시대 불상이며, 곳곳에서 탈락부가 확인되었다. 3D 고정밀스캐닝을 실시하여 원형 기반의 디지털 기록을 수행했다(Figure 2). 또한 3D 측각모델링시스템을 이용하여 탈락부의 디지털 형상복원을 실시하였고, 이 결과를 3D 프린터로 출력하여 실물 복원에 적용하였다. 특히 디지털 가상 재조립과 디자인목업 단계를 체계화하여 디지털-아날로그기술의 융합성을 높이는데 주력했으며, 이를 통해 디지털 기술을 활용한 문화재 복원의 새로운 방법론을 제시하였다. 지속적인 가조립을 통해 복원 계획을 수정 및 개선할 수 있었으며, 조립 결과를 직관적으로 확인할 수 있어 복원 과정의 신뢰도를 높였다(Hong, 2019).



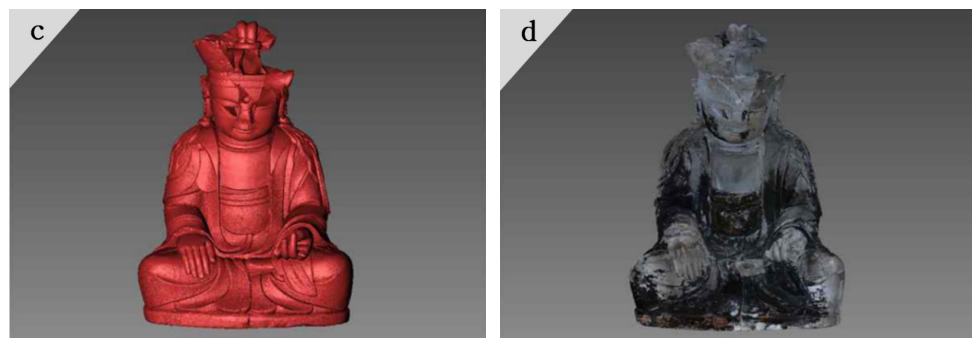


Figure 2. The process of high-precision 3D scanning.
(a) Individual data, Matching(b) and merging(c) scan data.
(d) Results of RGB color mapping. (Hong, 2019)

3.2. 국외

3.2.1. 빈센트 반 고흐(Vincent van Gogh)

네덜란드 반 고흐 미술관(Van Gogh Museum)에서는 2013년 일본 후지필름(Fujifilm)과 협력하여 3D 스캔·프린팅을 이용해 반 고흐(Vincent van Gogh, 1853~1890)의 '해바라기(Sunflowers 16, 1889)', '별이 빛나는 밤(The Starry Night, 1889)', '꽃피는 아몬드 나무(Almond blossom 17, 1890)' 등 작품에 사용된 채색기법을 완벽히 재현해 냈다(Figure 3). 반 고흐미술관은 3D 프린팅 결과물을 '릴리보스(Relievos)'라고 칭했다. '릴리보스'는 작품의 전면 뿐 아니라 후면까지도 완벽히 재현되어 있으며 큐레이터가 대상물에 고유번호를 부여했다. 이는 '릴리보스'도 단순한 복제품이 아닌 작품으로서의 가치를 부여한다는 의미이다.

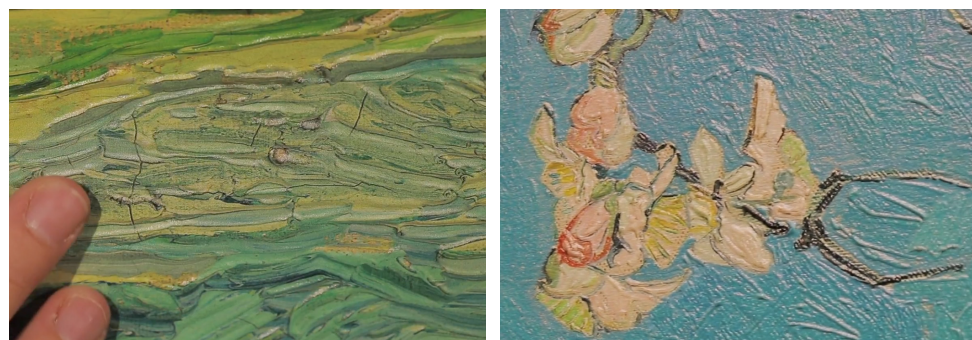


Figure 3. Detail of the 'Relievos'(https://static.vangoghmuseum.nl)

후지필름은 3D 작업을 위해 미술관과 함께 약 7년동안 연구를 해 왔으며, 스캔뿐 아니라 실제와 가까운 색감과 질감을 찾아내기 위해 '릴리보스'와 실제 작품을 비교하는 작업을 무수히 반복했다. 디지털 기록물은 작가가 사용한 붓의 크기와 표현기법까지도 기록화되어 향후 위작 식별자료로서 활용될 수 있다. 이와 더불어 상업적으로도 활용되어 미술관의 수익을 창출하고 있으며, 시각장애인들을 위한 교육 자료로서 사용되어 미술품의 예술적 가치를 뛰어넘어 사회적 가치로 환원하는데 기여했다.

위와 같이 작가의 습관에 따른 행동패턴·작품의 방향성·사용한 붓의 크기 등을 담은 3D 스캐닝 자료는 보존처리에도 활용되고 있다(Figure 4). 2002년 도난당했던 고흐의 '슈베닝겐의 바다풍경(View of the Sea at Scheveningen, 1882)'은 2016년 회수당시 왼쪽 모서리에 약 7×2 cm 크기의 물감층이 박락되어있었다. 박락은 도난 당시 발생한 것으로 보여진다. 연구진은 작가의 붓자국과 같은 섬세한 기법표현을 위해 3D 스캐닝 자료를 기반으로 3D 프린터를 사용해 주형(mould)을 제작하였다. 주형 제작 후, 9개월간의 재료실험을 통해 메움제 재료를 선정하고 메움작업을 하였으며, 메움제 위 색맞춤을 하여 보존처리를 마무리했다.

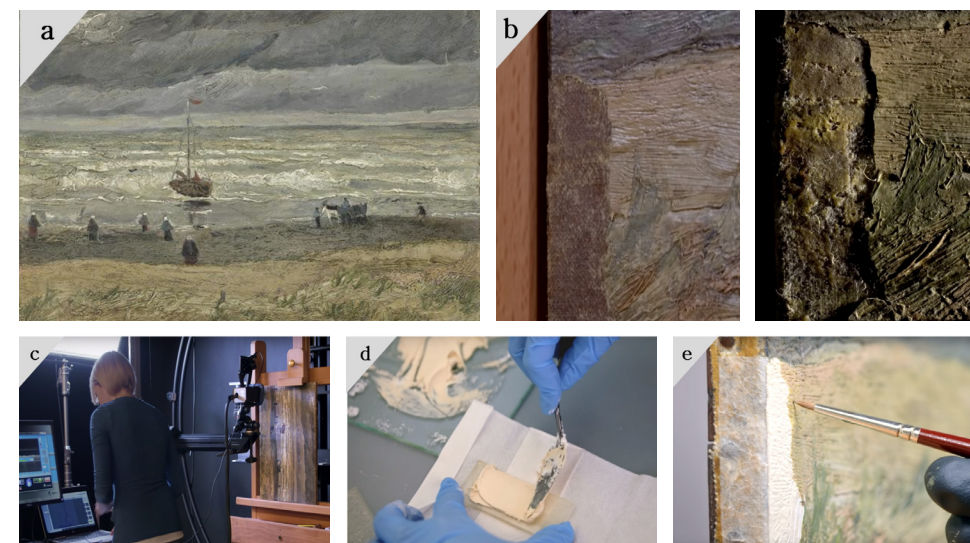


Figure 4. (a) 'View of the Sea at Scheveningen'.
(b) Damage is on the bottom of left-hand corner.
(c) 3D scanner operating.
(d) Filling the mould with the filling paste.
(e) Retouching over filler. (https://www.vangoghmuseum.com/recovered)

3.2.2. 미켈란젤로(Michelangelo di Lodovico Buonarroti Simoni)

2009년 미국 스탠포드대학교(Stanford University)에서는 미켈란젤로(Michelangelo di Lodovico Buonarroti Simoni, 1475~1564)의 ‘다비드(David, 1501~1504)’, ‘피에타(Florentine Pieta, 1547~1553)’ 등의 3차원 디지털 구축 연구가 이루어졌다. ‘다비드’를 포함하여 총 10개의 대상을 디지털화 했으며, ‘다비드’는 1997년 1월에 스캐닝을 시작하여 총 10년에 걸쳐 고화질의 3D 모델을 완성하였다. 이 모델은 전체 5m 동상의 0.25mm VRIP(Virtual Reality and Image Processing) 모델로 총 10억 개의 폴리곤(Polygon)으로 구성되어 있으며, 이 프로젝트는 3D 스캐닝의 기술발전과 중요 유물에 대한 장기적인 디지털 아카이브를 만들었다는데 의의가 있다.

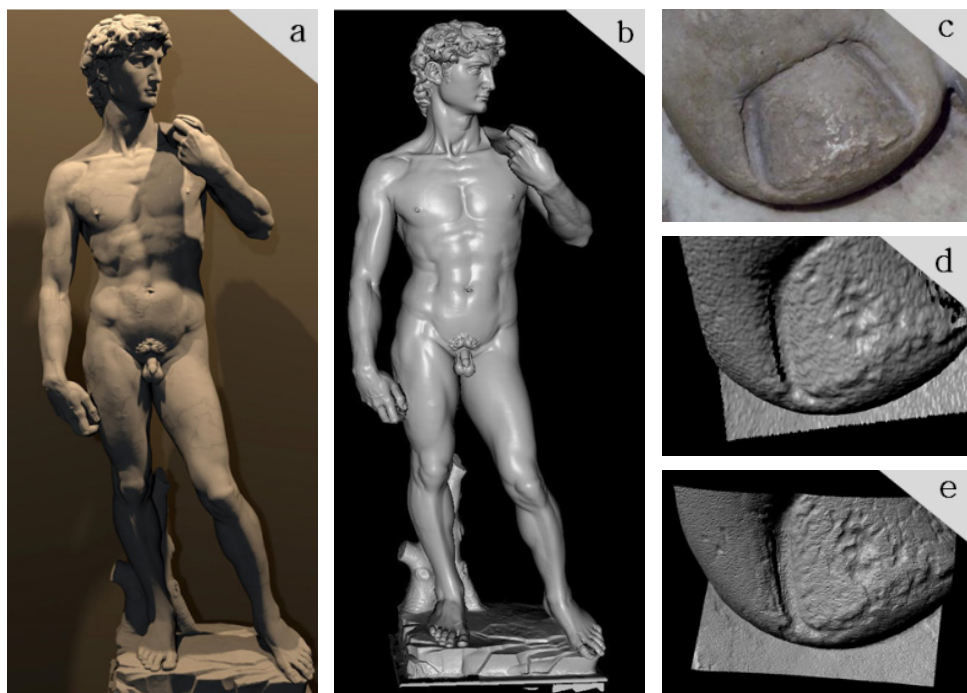


Figure 6. (a) David image. (b) 3D Modelled of David. (c) Photograph for comparison. (d) Shows one scan of the middle toe of David's right foot. (e) Shows a corresponding scan acquired by the National Research Council of Canada's ultra-high-resolution laser triangulation scanner. (<https://graphics.stanford.edu/data/mich/>)

4. 고찰

본고에서는 국내·외에서 활용되고 있는 3차원 디지털 기록물의 현황에 대해 알아보았다. 2000년대를 기점으로 국내·외에서 3차원 디지털 기록에 대해 많은 연구가 진행되었음을 알 수 있었다. 현재 국외는 꾸준히 하드·소프트웨어의 개발을 진행 중이며, 평면·입체 등 다양한 분야로 영역을 넓히고 프린팅 된 결과물이 단순한 ‘복제품’이 아닌, 하나의 대상물로서 인정받는 경우도 곳곳에서 생겨나고 있다. 국내에서도 마찬가지로 단청과 같은 단순한 도상의 기록화부터 문화재까지 영역을 넓혀가고 있으며, 최근 국내에서도 3D 프린팅을 이용한 보존처리 사례도 찾아 볼 수 있었다.

대상물에 대한 기록의 흐름은 인쇄기술의 일종인 ‘리소그래피(Lithography)’로 시작해 사진영역으로 넘어왔으며, 현재 2D를 넘어 3D 디지털 기록물의 시대가 왔다. 디지털 기록을 위한 3D 스캐닝은 직접 그린 도면보다 객관적인 물리적 수치정보를 제공한다. 또한 대상의 형태, 크기, 두께 등 물리적 정보를 시각적으로 형상화 하였으며, 새로운 유형의 유산으로 보존해야 할 기록정보임은 분명하다. 하지만 동시에 다양한 재료의 한계성, 작업자의 전문성, 자료의 신빙성 등 아직 완벽히 극복하지 못한 단점도 가지고 있다. 따라서 디지털 데이터의 맹목적 수용이 아닌, 물리적 대상물의 이해와 추측의 근거 등을 함께 남겨 수용자의 능동적인 선택이 뒷받침 될 수 있도록 해야 한다.

REFERENCES

Cultural Heritage Administration, 2018, Guidelines for the establishment of 3D scan data for cultural heritage. Daejeon, 5.

Designboom, 2013, <https://www.designboom.com/art/oce-3d-printer-creates-identical-reproductions-of-fine-art-paintings-09-30-2013>.

English heritage, 2007, 3D Laser Scanning for Heritage. 10-11.

Hong, S.H., 2019, A study on Restoration for Missing Parts of Stone Seated Bohisattva Sculpture Using Haptic Modeling Systems and Three-Dimensional Printing Technology. Kongju National University, Kongju, 1. (in Korean with English abstract)

Jang, G.S., 2004, A study on digital restorology of cultural assets using 3D scanning system. Master, Sungkyunkwan University, Seoul. (in Korean)

Kwon, H.H., Kim, Y.S., Park H.S., and Lee J.H., 2005, A Study on the Manufacturing techniques Terracotta Edition of Kwon Jinkyu : Seated Woman. Conservation of art, 2, 46.

Kang, D.I., 2009, Concept and Theoretical Issues of Conservation of Cultural Heritage. Journal of Conservation Science, 19, 103. (in Korean with English abstract)

Pearce M., 2005, A Glossary of archival and records terminology. The society of american archivists, 30-32.

Roberto Scopigno, 2015, <http://vcg.isti.cnr.it/alchemy/>

Stanford computer graphics laboraroty, 2009, <https://graphics.stanford.edu/data/mich/>

Van Gogh Museum, 2015, <https://static.vangoghmuseum.nl/en/business>

Yang, S.M., 2012, A study on management and use of conservation records and archives of cultural heritage. Master, Hankuk University of Foreign studies, Seoul, 8. (in Korean with English abstract)

국립현대미술관 소장 작가 미상 병풍연구

최혜송, 유다영, 최남선, 최점복, 유은실¹

국립현대미술관 작품보존미술은행관리과

A study on the Folding screen of unknown artist

: A Collection of National Museum of Modern and Contemporary Art

Choi Hye Song, Yoo Da Young, Choi Nam Seon, Choi Jeom Bok, Yu Eun Sil¹

Department of Conservation and Art Bank, National Museum of Modern and Contemporary Art, Korea

Corresponding Author: ariel@korea.kr; +82-043-261-1507

초록 국립현대미술관 소장 6폭 병풍은 작가, 연도 미상의 작품으로 한국의 집에서 수집된 사실과 작품의 화제가 서예가 김충현(金忠顯, 1921-2006)의 필체라는 작품 배경에 대한 정보만 알려져 있다. 국립현대미술관 전시에 출품하기에 상태가 양호하지 못해 보존처리 계획을 수립하였다. 이에 보존처리 전, 작품의 상황형태, 화제 그리고 그림의 내용 등을 조사함으로써 작가와 연도 미상의 병풍에 대한 자료조사 및 연구를 진행하고자 한다. 자료조사 결과, 이 병풍은 오륜행실도(五倫行實圖)에 기록되어 있는 효자들의 효행을 모사한 작품으로, 화제는 그림의 내용을 간략히 서술하고 있다.

주제어: 김충현, 작가미상, 효자도, 병풍, 한국의 집

Abstract The 6-panel folding screen of National Museum of Moern and Contemporary Art, which is the subject of the study, is known only for information on the background of the work. This work was collected from Korea House and unidentified production year and artist. The calligraphy of work was known as Kim Choong-hyun's handwriting. We thought that work is not good conditional for display during the exhibition, so devise a conservation treatment plan. Prior to consevation treatment, we will conduct a data survey and research on the folding screen's form, calligraphy and painting. According to the data for reasearch, the folding screen represents the Hyeojado(孝子圖) recorded in Oryunhaengshildo(五倫行實圖), and the subject briefly describes the content of the painting.

Keyword: Kim Choong-hyun, Unidentified artist, Hyojado(孝子圖), Folding screen, Korea House

1. 작품의 배경

1.1. 수집 배경

국립현대미술관 소장 작가 미상 병풍 작품은 12폭의 그림과 화제(畫題)로 이루어져 있는 병풍으로 각 6폭씩 2개의 병풍으로 구성되어 있다. 서울시 중구에 위치한 한국의 집에서 수집된 것으로 알려져 있으며, 작품 화면 상단의 화제의 인장(印章)으로 한국 근현대 서예가인 일중(一中) 김충현(金忠顯, 1921-2006)의 작품으로 추정했으나, 그림의 작가는 미상인 것으로 밝혀졌다.



Figure 1. The picture of painters in Korea house(1958).

한국의 집은 조선시대 세종대왕 때 집현적 학자이자 사육신의 하나였던 박팽년(朴彭年, 1417~1456)의 사저(私邸)였다가, 대한민국 정부 수립 후에는 내외 귀빈 들을 위한 영빈관으로 활용되었다. 이후, 이승만 대통령 등 정부의 고위간부들이 즐겨 찾기 시작하면서 내부장식을 바꾸기 위해 국내 최고의 서화가들을 초청하여, 직접 산수화를 그리고 글씨를 쓰게 했다

(Figure 1). 1981년 2월에는 토지와 건물을 비롯한 모든 재산과 관리운영권을 문화재 보호협회(현 한국문화재단)에 위임하여 지금의 한국의 집을 형성하였다(Korea Cultural Heritage Foundation, 2018). 국립현대미술관에서는 한국의 집에 있는 작품들의 보존 관리를 위해 여러 차례에 걸쳐 수집활동을 하였고, 본고의 대상작품 또한 그 중 하나이다.

1.2. 서예가 김충현

본 작품의 화제는 김충현의 공체로, 일중(一中) 김충현(1921-2006)은 대표적인 한국 현대 서예가로서 현대 한국 서예 발전에 지대한 영향을 미쳤다(Figure 2). 김충현은 7세부터 안진경체(顔眞卿體)를 익혔고 《제7회 전국조선남녀학생 작품 전람회》(1938)에서 중등습작부 특상 수상을 계기로 서예가가 되었다. 한글 서예에 큰 관심을 가지고 1942년 『우리 글씨 쓰는 법』을 저술하였으며 이 책은 일제의 탄압으로 빛을 보지 못하다 해방 후에



Figure 2. Portrait of Kim, Choong-Hyun, Limb Eung-sik, National museum of modern and contemporary art, 1981

발간되었다. 이후, 문교부의 예술위원으로 임명되어 〈제1회 대한민국미술전람회〉(1949) 개최를 준비하였다. 또한 다수의 저서를 출판하고, 서예학원의 효시라고 할 수 있는 '동방연서회'를 1958년에 창립하여 근현대 서예교육의 기틀을 다졌다. 이어서 경희대, 서울대, 성신여사대, 동덕여대, 연세대학교 등 여러 교육기관에서 서예 강의를 통해 많은 후학들을 양성하여 한국서예의 확산에 기여했다(Kim, 2016).

2. 작품의 연구

2.1. 상황

병풍은 총 12폭의 그림과 화제로 이루어져 있으며, 각 그림과 화제를 6폭씩 나누어 2개의 병풍으로 만들었다. 작품의 상황은 그림의 상단에 화제를 붙이고 청색 윤선과 미색 비단으로 회장을 둘렀다. 상·하 회장비단은 청색바탕에 무늬가 들어간 비단을 배치했으며, 사방에 병풍 띠로 붉은색 윤선과 갈색 무늬 비단을 둘렀다(Figure 3-a). 병풍의 겉표지는 청색의 면으로 감싸고 병풍 뒷면에 태지(苔紙)를 붙여 마감하였다(Figure 3-c). 병풍의 양식은 조선시대에 주로 보이는 병풍 발(Figure 4-b) 대신 사방 테두리에 나무 테가 덧대어진 양식의 병풍으로 제작되어 있다(Figure 4-a, b). 이러한 형식은 주로 일본의 병풍에서 쓰이는 장황형태로(Figure 5), 이를 통해 본 연구대상인 작가 미상 병풍의 장황형태는 한국과 일본의 방식이 혼용되는 근현대에 제작된 것으로 추정된다(Park, 2018).



Figure 3. Folding screen with wooden frame : Unknown, 'folding screen of unknown', National Museum of Modern and Contemporary Art.



Figure 4. Joseon Dynasty style folding screen with legs : Unknown, 'Painting of Birds and Flower', National Folk Museum of Korea, Joseon Dynasty.

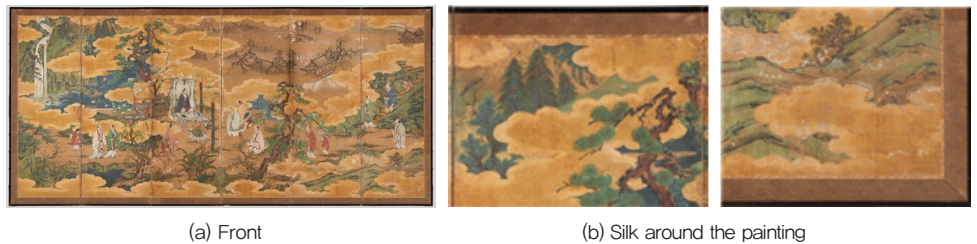


Figure 5. Japanese style Folding screen with wooden frame : Unknown, 'Painting of a Historical Fact', National Museum of Korea.

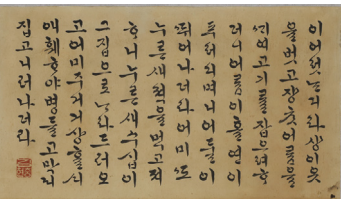
2.2. 화제

각 병풍 화면 상단에 화제(畫題)가 궁체(宮體)로 묵서(墨書)되어있다(Table 1). 궁체는 조선시대 궁중에서 쓰기 시작하여 발전해 온 전통적 한글 서체이다. 한글 창제 이후 한글 판본체(板本體)가 읽기는 쉬우나 쓰기에 어려워, 점점 편리한 필사체로 변화, 발전하여 궁체를 형성하였다는 것이 궁체의 일반적인 기원이다(Park, 1983). 화제의 낙관으로 보아 김충현의 필체로 추정된다. 김충현의 한글 궁체는 고전적인 궁체의 형태에서 벗어난 자신만의 것으로, 정자나 흘림 모두 가장 가독성이 높다고 평가되고 있다(Rue, 2001).

화제의 내용은 <오륜행실도(五倫行實圖) 권1>에 기록된 효자에 대한 이야기를 궁체로 필사하였다. 오륜행실도는 유교의 기본 윤리의 덕목을 민간에 보급하기 위해 삼강행실도(三綱行實圖)와 이륜행실도(二倫行實圖)를 합쳐 편찬한 수양서이다. 화제의 궁체를 해석한 결과, 왕천익수(王薦益壽), 설포쇄소(薛包洒掃), 민손단의(閔損單衣), 왕상부빙(王祥剖氷)과 같은 4명의 효자에 대한 이야기가 쓰여 있다(Tabel 1).

Table 1. Interpretation of Korean Calligraphy of Work.

No.	Picture	Text
1st		<왕천익수> 왕천은 일찍이 아버지 병이 중함에 하늘에 빌어 내 나이를 감하고 아버지 수명을 더하였다 하니 아버지께서 기절하였다가 다시 깨어 그 벗에게 일러 말하기를 아까(꿈에) 신인이 나에게 이르되 네 아들의 효행이 있으니 그에 대한 보답으로 명하기를 너의 나이 열둘을 더하노라.
2nd		라고 하고 병이 드디어 나아서 그 후 열두 해 만에 죽었느니라. <설포쇄소> 설포의 아버지가 후처를 얻음에 설포를 미워하여 내치거늘, 설포가 밤낮으로 부르짖어 울며 가지 아니하더니 매를 맞기에 이르러서는, 마지못해 집밖에 움막을 의지하고 있어서, 일찍이 들어와 쓰레질을
3rd		하니, 아버지가 노하여 또 쫓아내므로, 동네 입구에 막을 의지하고 신흠(부모께 아침저녁으로 뵈는 예)을 폐하지 아니하여 한 해 남짓이 되니, 부모가 부끄러워 도로 데려왔느니라. <민손단의> 민손은 일찍 어머니가 죽고, 아버지가 후처를 얻어, 두 아들을 낳으니, 민손의 계모가 민손을 미워하여, (후처가) 낳은 아들은
4th		옷에 솜을 두어서 입히고, 민손에게는 아직 덜 핀 갈꽃을 두어 입히더니, 겨울에 그 아버지가 민손으로 하여금 수레를 모는데, 추워서 말고삐를 놓아 버리니, 아버지가 살펴서 알고, 후처를 내치고자 하므로, 민손이 말하여 가로되, '어머니가 있으면 한 아들이 춥고, 어머니가 없으면 세 아들이 추울 것입니다'하니
5th		아버지가 그 말을 어질게 여겨 (후처를) 아니 내치니, 계모가 또한 감동하고 뉘우쳐, 드디어 자애로운 어머니가 되었다. <왕상부빙> 왕상이 일찍이 죽은 어머니를 여의고 계모가 흘겨보며 사랑치 아니하여 자주 참소(거짓으로 죄를 꾸며서 헐뜯음)하여 아버지께 또한 사랑을 잃더니 계모는 산고기(잉어)를 먹고자하매 날이 추워 어름이

6th		얼었느니라. 상의옷을 벗고 장축으로 어름을 깨어 고기를 잡으려했더니, 어름이 홀연히 갈라진 틈에 잉어 둘이 뛰어나오더라. 어미가 누른새(참새) 구이를 먹고저하니 누른새 수십이 그 집으로 날아 들어오고, 어미가 죽어 상을 거행할 때 슬퍼하다 야취어 병들어서 막대잡고 일어나더라.
-----	---	---

2.3 화면

2.3.1. 효자도

국립현대미술관 소장 6폭 병풍은 효행고사(孝行古事)를 그림으로 묘사한 작품으로 이와같이 효행을 그린 교훈적인 고사인물화(古事人物畵)를 효자도(孝子圖)라 한다. 조선 시대의 효는 국가통치의 가장 기본적인 중요가치로 인식하고 있어 윤리서의 편찬보급 작업에 집중하였으며 이러한 배경에서 제작된 것이 효자도이다. 효행고사를 도해(圖解)하여 교훈적 성격의 고사인물인 ‘왕상부빙’, ‘황향침선’, ‘자로부미’ 등 중국 고대부터 전해 내려온 이야기들이 소재가 되었다. 일반적으로 병풍으로 제작된 효자도(孝子圖)는 정교하고 화려한 색채의 왕실과 일반 사대부의 자제를 위한 것과 일반 서민들이 소비하였을 민화 효자도 병풍으로 구분된다. 주로 8폭, 10폭의 병풍으로 구성되며, 그림의 내용은 오륜행실도(五倫行實圖)에 기록된 효자 및 인물에 대한 이야기가 묘사되어 있다.

우리나라에서는 고려 충목왕 때 제작된 『효행록(孝行錄)(1346년)』에 24효도(二十四孝圖)를 그렸다는 기록이 있어, 고려시대부터 효자도가 제작되었음을 알 수 있다. 또한 조선 초기 학자인 서거정(徐居正, 1420~1488)이 효자도 병풍을 보고 쓴 「효자도십영(孝子圖十詠)」의 기록으로 보아, 삼강행실도(三綱行實圖) 제작 이전에도 효자도가 제작되었음을 추측할 수 있다.

효자도는 삼강행실도, 속삼강행실도, 동국신속삼강행실도, 오륜행실도 등에 포함되었는데 우리나라와 중국의 효행고사를 그린 행실도류 효자도는 주로 판화(版畵)로 제작되었고, 백성들을 교육시키고자 왕실의 주관하에 출판되었다. 조선 초기부터 말기 까지 꾸준히 제작되었기에 다양한 화풍과 양식의 시대적인 흐름을 살펴볼 수 있다. 초기에는 이야기의 상세한 전달을 위해 한 화면에 많은 사건들이 그려졌으나 후대로 갈수록 효행고사의 내용도 짧아지고 화면에 그려지는 사건의 수도 줄어들게 되면서

한 장면 당 공간이 넓어져 산수배경이 증가하게 되었다. 배경의 산수 표현은 시대에 따른 화풍을 반영하고 있으며, 인물표현도 점점 정교해지는 것을 볼 수 있다(Lee, 2001).

2.3.2. 그림 내용

병풍의 그림은 다음과 같이 총 6폭으로 구성되어 있으며, 매 폭마다 각기 다른 효자들에 대한 이야기가 그려져 있다(Table 2). 현재 각 박물관에서 소장하고 있는 오륜행실도 및 효자에 관련된 소재의 병풍들을 조사한 결과, 국립현대미술관 소장 6폭 병풍과 그림 전개가 비슷한 작품은 다음의 표와 같았다(Table 3). <오륜행실도 권1 효자>와 화제의 해석내용을 참고하여 각 폭 화면의 내용을 조사한 결과 제1폭은 화제의 내용과 같은 왕천익수, 제2폭은 석진단지(石珍斷指), 제3폭은 설포쇄소, 제4폭은 숙경방약(叔謙訪藥), 제5폭은 민손단의 그리고 제6폭은 왕상부빙 또는 왕상득리의 내용이 묘사되어 있다(Table 4). 이는 화제에서 왕천익수, 설포쇄소, 민손단의, 왕상부빙 등 4개의 이야기만 서술되어 있던 것과 달리, 그림은 총 6폭이다. 이는 같이 수집되었던 또 다른 6폭 병풍과 관련이 있으며, 병풍의 내용에 대한 완벽한 해석을 위해서는 다른 병풍의 조사연구 또한 실시되어야 한다.

Table 2. The painting of folding screen.

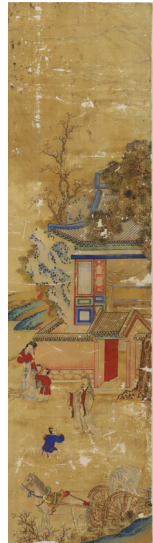
6th	5th	4th	3rd	2nd	1st
					

Table 3. Similar themes of folding screen in museum.

No.	Title	Artist	Year	Type	Institution	Similarity
1	행실도십곡병풍	미상	조선	지본채색 (紙本彩色)	국립중앙박물관	민손단의, 설포쇄소
2	효자도 10폭병풍			저본채색 (苧本彩色)	국립민속박물관	제4폭 설포쇄소 제6폭 석진단지
3	효자도 8폭병풍		—	지본채색		제4폭 설포쇄소 제6폭 왕천익수 제8폭 왕상부빙
4	설화도 10폭병풍		—	면본채색 (綿本彩色)		제2폭 설포쇄소 제4폭 왕상부빙 제5폭 왕천익수
5	오륜행실도 8폭병풍		—			제7폭 왕상부빙
6	오륜행실도 10폭병풍		—			제2폭 왕상득리
7	효자도 병풍		19세기	지본채색	부산박물관	제1폭 왕상부빙

Table 4. The figuer in Oryunhaengshildo(五倫行實圖).

왕천익수	석진단지	설포쇄소
		

숙경방약	왕상부빙	민손단의
		

2.3.3. 그림의 기법

효자도는 조선시대 궁중에서 유행하던 작품으로 궁중회화에서 사용하던 기법의 특징과 부합한 점이 많다. 궁중회화는 궁중에서 제작, 감상, 배포된 그림으로 왕실과 국가, 관청이 주관하여 제작되었다. 화원이 궁중에서 그린 그림을 궁중회화라 하고, 이들이 구사한 화풍을 원체화풍(院體畵風)이라고 한다. 이 작품 역시 깊은 공간구성에 안정된 구도, 세련된 필치 등으로 보아 궁중화풍으로 추정된다(Park, 2009).

연구대상과 비슷한 기법적 특징을 가지고 있는 궁중회화 양식으로는 금벽산수화(金碧山水畵)가 있으며, 금벽(金碧) 또는 청록산수화(靑綠山水畵)라고도 한다. 금벽 중에서 금은 노랑·분홍·빨강 등의 색, 벽은 초록·파랑·보라 등의 색을 말하며 금색으로 실제 금을 사용하기도 하였다. 장식성이 짙고 고전적이며 화려한 그림으로 주로 비단에 그려지며, 바위나 산의 생김새와 양감을 나타내는 준법(皴法)을 쓰지 않고 농채(濃彩)를 그대로 사용하는 화원체(畵院體)의 장식산수화(裝飾山水畵)이다(Heo, 1996).

국립현대미술관 소장의 작가미상 병풍 또한 배경이나 인물 묘사 기법을 살펴보면 농채를 사용하여 색채를 화려하게 표현했음을 확인할 수 있다. 이는 주로 궁중과 귀족들이 주문제작하는 경우가 많기 때문에 장식적이고 기교주의에 충실한 그림으로

제작한 것으로 추정된다. 중국은 수나라 때부터 그려졌으며, 우리 나라에서는 당나라와의 빈번한 문화 교섭을 통하여 궁정 취미의 청록 산수화가 발달하였을 것으로 추측된다 (Table 2).

금벽산수화 중 하나인 국립중앙박물관 소장 〈신라 김알지(金閼智)의 탄생설화〉 작품은 병풍형식의 그림은 아니지만 금벽산수의 기법적 특징을 잘 보여주고 있어 참고하였으며, 아래의 표로 연구 대상과 기법적 특징을 비교한 내용을 정리했다(Table 5). 두 작품 모두 농채로 산수 및 인물을 표현하였으며, 금박을 사용하여 화려함을 더하고 있음을 확인할 수 있다. 채색 기법 뿐 아니라 구름이나 산수의 도상적 특징 또한 유사함을 보이고 있다.

Table 5. The Technological Characteristics of Geumbyeoksansuhwa(金碧山水畫) Used in the painting of folding screen.

characteristics	'folding screen of unknown', National Museum of Modern and Contemporary Art.	'The Birth of Kim Al-ji of Silla', National Museum of Korea
Deep-color pigment (濃彩) expression		
gilt		

국립현대미술관 소장 작가미상 병풍과 비슷한 화풍으로 제작된 병풍은 삼성미술관 리움 소장 〈효자도 10폭 병풍〉, 아산 온양민속박물관 소장 〈윤리행실병풍〉 그리고

국립민속박물관 소장 〈효자도 10폭 병풍〉이 있다(Table 6).

국립민속박물관 소장 〈효자도 10폭 병풍〉은 조선시대에 제작되었으며, 배경 및 인물묘사 등이 기법적으로 매우 유사한 형식을 띄고 있다. 19세기 말 작품으로 알려진 아산 온양민속박물관 소장의 〈윤리행실병풍〉은 궁궐을 방불케하는 건물에 청록 계통의 산수화풍, 장식적인 구름 등 궁중화풍의 효자도이다. 배경의 비중이 높고 고급스러운 건물의 표현에서 궁중취향을 엿볼 수 있다(Table 6).

Table 6. The folding screen which a similar style of painting.

Institution	National Museum of Modern and Contemporary Art	Leeum, Samsung Museum of Art
Title	Unkown artist folding screen	Hyejado 10-panel foding screen
Picture		
Institution	Onyang Folk Museum	National Folk Museum of Korea
Title	Yunlijaengsil(倫理行實) folding screen	Hyejado 10-panel foding screen
Picture		

3. 연구결과 및 고찰

본고에서는 국립현대미술관 소장 작가 미상 병풍작품의 수집 배경과 작품에 대한 미술사적 의의를 조사하여 작품에 대한 연구를 실시하였다. 수집 배경 및 화제 작가의 조사를 통해 기본적인 시대상을 파악하고, 병풍 장황형식과 작품의 시대적 특징을 통해 연구를 진행하였다.

첫번째로 작품 화제의 작가인 일중 김충현에 대해서 조사하였다. 김충현은 대표적인 한국 근대 서예가로 한글 서예 작품 활동을 주로 하였다. 작가미상 병풍작품의 화제는 궁체로 추정되며, 그는 궁체가 한글서예의 근간이라고 생각하여 생전에 많은 궁체연구를 진행하였다.

두번째로 연구 대상의 장황을 살펴봤을 때 한국 병풍 장황 형태인 병풍 발을 사용하지 않고, 일본 병풍에 사용되는 나무 프레임 형식의 병풍을 마무리하였다. 이러한 점으로 미루어 보아 이 병풍의 장황 시기는 한국과 일본의 제작 방식이 혼용되던 조선 후기인 근·현대 시기임을 추정할 수 있었다.

세번째로 연구 대상의 작품 형식에 대해서 조사하였으며, 화제 내용과 그림 속 상황으로 추측해보았을 때, 작품의 내용은 효자의 효행을 담은 효행고사를 고해한 효자도라는 것으로 판단되었다. 이 작품에 포함된 내용은 ‘왕천익수’, ‘석진단지’, ‘설포쇄소’, ‘숙경방약’, ‘민손단의’, ‘왕상부병’이라는 것을 작품의 화제와 국립중앙박물관, 국립민속박물관, 부산박물관에 소장된 유사한 효자도 병풍들로 확인되었다. 화제의 내용은 4개의 이야기인데 반해, 그림은 6개의 효행이 모사되어 있다.

네 번째로는 위의 연구 결과를 토대로 비슷한 효자도 형식의 작품들에 대한 자료 조사를 진행하였다. 수집한 자료들의 작품 기법을 조사하여 연구 대상의 그림 기법이 궁중회화 양식 중 하나인 금벽산수화와 유사하다고 추정하였다. 특히 금벽산수화의 특징 중 하나인 농채 기법이 많이 쓰인 것으로 보아 위 작품은 화려한 색상의 물감을 많이 사용하며, 장식적인 기법의 그림을 주로 즐기던 왕실이나 귀족을 위한 그림이라고 추측된다.

본 연구를 통해 작가 미상 작품의 미술사적 배경을 알 수 있었고, 이를 통해 앞으로 보존처리에도 도움이 될 자료로 활용할 수 있을 것이라고 생각한다. 위 연구 작품은 12폭의 그림과 화제를 6폭 씩 2개의 병풍으로 나누어 제작한 것으로, 이번 연구에서 다루지 않은 나머지 병풍도 연구를 진행하여 작품의 정보에 대해 더 조사 할 예정이다. 또한 향후 작품의 바탕재료인 견 섬유분석과 안료의 추가적인 과학분석을 진행하여 작가 미상 작품의 연대 추정이 가능할 것으로 판단되며 이는 미술사적 기초자료로서 활용되기를 기대한다.

REFERENCES

Lee, Su. Kyung., 2001, Xiaozhi-tu of the Choson period, Master's thesis, Seoul National University, Seoul, p1. (in Korean with English abstract)

The Academy of Korean Studies, Korean National Cultural Encyclopedia, “Gungche(宮體)”, <https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=525656&cid=46658&categoryId=46658>, 2020.02.05.

Rue, Yeon. Ok., 2005, Research of Kim Choong-Hyun's Hangeul Calligraphy, Master's thesis, Kyonggi Universtity, Suwon, p27. (in Korean with English abstract)

Korea Cultural Heritage Foundation, 2018, The birth of a Korea House - From the reception hall(迎賓館) to the Korea House, no.12.

Kim, su. chun., 2016, The Family Study Background and the Contribution to the History of Calligraphy of Iljung, Journal of Studies in Bibliography 68, p95-123.

Park, eun. soun., Duksung women's University Newspaper, “GongJunghoehwa(宮中繪畫)”, <http://www.dspress.org/news/articleView.html?idxno=2629>, 2020. 02. 05.

Heo, Young. Hwan., 1996, Encyclopedia of Korean Culture, “Geumbyeoksansuhwa(金碧山水畫)”, <https://encykorea.aks.ac.kr/Contents/SearchNavi?keyword=금벽산수화&ridx=0&tot=1>, 2020. 02. 05.

Park, so, hyun., 2018, A Study on the Conservation and Manufacturing technique of Modern and Contemporary Folding Screen: Focused on Lee Seo-ji's 'Pungsogdo', Conservation of Art no. 4., p23-40.

미술품 분석 · 연구를 위한 Micro XRF 스캔의 적용성 조사

정참희, 박영아, 김정흠, 임성진¹

국립현대미술관 작품보존미술은행관리과

A Study on Applicability of Micro XRF for Analysis and

Investigation of Works of Arts

Chamhee Jung, Yeonga Park, Jungheum Kim, Sungjin Lim,¹

Department of Conservation and Art Bank, National Museum of Modern and Contemporary Art, Korea

¹Corresponding Author: lsjrt@korea.kr +82-43-261-1505

초록 XRF(X-ray Fluorescence Spectrometer)는 미지 시료의 원소 및 함량을 분석하는 장비로 현재 미술품, 문화재 연구 등에 가장 보편적으로 사용되고 있다. 하지만 기존의 Handheld형 XRF(p-XRF) 기기는 측정 면적(spot size)이 크고 포인트(point) 분석만 가능하여 극히 일부분에 대한 데이터 획득이 가능하므로 선택한 위치에 따라 정확한 해석이 어렵다는 한계가 있다. 또한 작품 표면에 대한 접촉이 불가피하여 미술품 손상이 야기 될 수 있다는 단점이 있다.

이러한 한계점을 보완하기 위하여, 최근 미술품 및 문화재 분석 분야에서는 비접촉식 μ -XRF(Micro X-ray Fluorescence Spectrometer) 스캐너를 도입하여 적용하고 있다. 이 분석법은 기존 p-XRF에 비하여 측정 면적이 μm 단위로 매우 세밀하며, X, Y축 방향의 스캔이 가능하여 전체 분석 영역의 원소 분포도를 가시적으로 확인할 수 있다는 장점이 있다. 또한, 이를 바탕으로 밀그림, 수정 흔적 등 작품의 제작기법 및 구조 파악에 용이하여 최근 문화재 및 미술품의 과학적 분석에 적극적으로 활용되고 있는 추세이다.

국립현대미술관에서는 이러한 연구 동향에 맞춰 미술품 분석 연구에 활용할 수 있는 μ -XRF 스캐너를 도입하였다. 본 연구에서는 본격적인 소장품 분석에 앞서 μ -XRF 스캔 기술의 발전과 해외 적용 사례에 대하여 조사하였다. 또한 작품분석의 적용성을 파악하기 위해 μ -XRF와 p-XRF 간의 데이터 특성 및 해석방법의 차이를 비교하였다.

주제어: μ -XRF, μ -XRF 스캔, 원소 맵핑, 회화작품 분석

Abstract XRF(X-ray Fluorescence Spectrometer) is an instrument for analyzing elements or components from samples, and it is the most commonly used tool in scientific researches on works of art and cultural heritage. For their property characteristics and environmental limitations such as outdoor installations, it is fundamental that an analysis method for works of art requires to be a Non-destructive and In-situ analysis method. For this reason, Handheld-type p-XRF(portable-XRF) instruments have been mainly applied in this field. However, this application is only limited as point analysis, which can lead to miss interpretation due to its narrow measurement areas and give false information about the multi-layered surface. Furthermore, p-XRF instruments inevitably make direct contact on the surface of objects.

To compensate these limitations, many research institutes are recently introducing and applying the μ -XRF(Micro XRF) scan technique, a novel method that is capable of Non-invasive microanalysis in μ m range without making any contacts on the surface. This analysis method is advantageous for not only detecting elements in the entire measuring range but also visually verifying their distributions. Also, it is efficient for revealing the manufacturing process and structure of the object such as under-layered paintings, pentimenti or restoration parts.

In this context, the National Museum of Modern and Contemporary Art in Korea (MMCA) have recently introduced a μ -XRF scanner to proceed deeper researches on their collections. Prior to practical application, this study investigated the development of μ -XRF scanning technology and advance researches about their applications on works of arts. Base on this, one of the collections were investigated by conventional p-XRF and μ -XRF scanner, to compare their properties and capabilities.

Keyword: μ -XRF, μ -XRF scan, Element mapping, Painting analysis

1. XRF 분석 원리 및 특성

X선 형광분석 즉, XRF(X-ray Fluorescence Spectroscopy)는 미술품의 재료 및 재질의 과학적 분석에 있어 가장 널리 적용되어 온 분석법 중 하나이다. X선이 물질에 조사(照射, irradiated)되었을 때 원자 내의 전자가 낮은 에너지준위에서 높은 에너지준위로 여기되었다가 본래의 낮은 에너지준위로 되돌아가면서 방출되는 특성 X선의 에너지를 기준으로

원소 분석이 가능하므로 주로 무기질 분석에 사용된다(Jenkins, 1999).

시료 채취가 어려운 미술품의 특성상 주로 Handheld형의 장비가 주로 사용되고 있다. 하지만 기존의 장비로는 포인트(point) 분석만 가능하고 분석 면적이 비교적 넓기 때문에 선정하는 분석 위치에 따라 결과와 해석이 달라질 여지가 있다. 특히 X선원의 투과 성질로 인해 회화작품에서 표면 물감층의 성분뿐만 아니라 눈으로 보이지 않는 하부 층위의 성분까지 함께 검출되기 때문에 여러 겹의 채색층이 존재할 경우 정확한 물질 해석에 어려움이 있다(McGlinchey, 2013; Shugar and Mass, 2013). 또한, 정확한 데이터 획득을 위해서는 측정 표면에 대한 접촉이 불가피하여 분석과정에서 작품의 손상을 일으킬 위험이 있다.

위에서 언급한 한계점을 보완하기 위하여 최근 미술품 및 문화재 분석 분야에서는 비접촉식으로 국소 부위 분석이 가능한 μ -XRF(Micro XRF)를 도입하여 활용되고 있는 추세이다.

2. μ -XRF(Micro-XRF) 특성

2.1. μ -XRF 정의

μ -XRF는 X선 광원에서 방출되는 X선 빔을 집광(Focused)시키거나 평행하게 시준(Collimated)시켜 μ m단위로 축소하고, 이로 인해 방출되는 형광 X선을 검출하는 것으로(Bronk *et al.*, 2001; Alfeld *et al.*, 2011), 빔의 크기에 따라 측정대상의 매우 미세한 부분도 분석이 가능한 기술이다. 이러한 μ -XRF를 X, Y축 방향으로 이동 및 래스터 스캔(Raster scan)이 가능하게 개선하여 점 분석뿐만 아니라 선, 면 단위로 연속 분석 및 이미지화가 가능하게 한 것을 μ -XRF 스캔(μ -XRF scan) 또는 MA-XRF(Macro-XRF)라고 한다. 많은 연구에서 μ -XRF 스캔과 MA-XRF 스캔이라는 용어가 통용되는 듯하나, 2011년 Alfeld 등의 연구에 따르면 이러한 구분은 각각의 연구나 분석에서 사용된 공간 분해능의 차이에 따라 용어선택이 달라지며, 임의적으로 약 100 μ m 수준의 공간분해능을 기준으로 구분한다고 보고 있다. 하지만 이후에 진행된 연구들과 개발된 장비들을 임의로 MA-XRF라고 지칭하거나 구분 기준이 모호한 경우가 많은 것으로 보인다(Alberti *et al.*, 2017; Alfeld *et al.*, 2013b). 따라서 본 연구에서는 혼동을 막기 위해 μ -XRF 스캔으로 용어를 통일하고자 한다. μ -XRF 스캔은 기존의 포인트 분석에서 벗어나 X, Y축 방향으로

μm 단위의 스캐닝이 가능하므로 측정 영역에 대하여 원소별 분포도를 가시적으로 확인할 수 있는 원소 맵핑(Mapping)이 가능하다. 특히 투과하는 성질을 지닌 X선의 특성상, 표면의 원소 분포뿐만 아니라 눈으로 보이지 않는 하부 층위의 원소 분포 또한 어느 정도 파악이 가능하여 특히 회화 등의 작품에서 표면 채색층 하부의 이미지를 조사하는데 적용되고 있다(Dik *et al.*, 2008; Alfeld *et al.*, 2013a; 2013c).

2.2 $\mu\text{-XRF}$ 의 기술적 특성

기존 미술품 분석에 사용되는 p-XRF와 $\mu\text{-XRF}$ 의 가장 큰 차이점은 방사된 X선이 집광, 혹은 시준되어 매우 미세한 면적으로 조사된다는 점이다(Bronk *et al.*, 2001). X선 빔의 축소를 위해 사용되는 집광 장치로는 슬릿(Slit) 또는 콜리메터(Collimator)가 사용되나, 최근에는 X선을 더욱 작은 면적으로 집광시킬 수 있는 폴리카필러리 렌즈(Polycapillary lens)도 함께 적용되고 있다(Alfeld *et al.*, 2011). 폴리카필러리 집광 장치는 1986년 Kumakhov 등의 연구에 처음 소개되기 시작했으며, X선을 아주 작은 μm 단위로 집광시켜 높은 X선 강도(Intensity)와 FWHM(Full Width at Half Maximum) 분해능을 높이는 기술이다. X선 폴리카필러리 집광 장치 내부에는 nm 단위의 모세관과 같은 미세한 구멍 수십 개가 결합 되어 있어 X선 광원으로부터 방출된 1차 X선이 이 집광 장치를 통과하면 볼록렌즈 형태로 증폭되어 평행 빔으로 만들어져 시료에 조사되게 된다(Kumakhov, 1990; MacDonald, 2010). 다음 Figure 1은 각각 다른 집광장치를 사용했을 때 표면에 조사되는 빔의 형태를 모식도화 한 것이다.

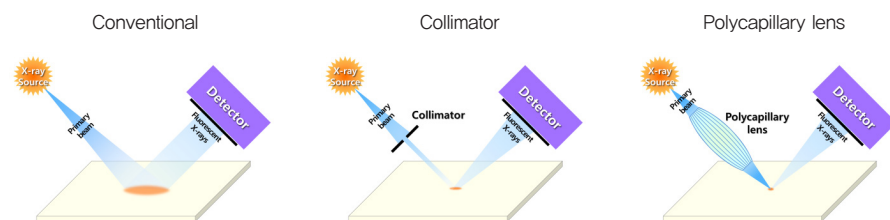


Figure 1. Schematic images of X-ray irradiation by different optics.

2011년 Alfeld 등의 연구에서는 이동형 $\mu\text{-XRF}$ 스캐너의 세 가지 실험 모델을 제시함과 동시에 폴리카필러리 렌즈와 Pb-핀홀 콜리메터[Pb(lead)-Pinhole collimator] 집광

장치를 사용했을 때의 장단점을 비교하였다. 해당 연구에 따르면 핀홀 콜리메터의 경우 높은 에너지 영역에서는 비교적 높은 감도를 나타내며, 이는 Ag(silver), Sn(tin), Sb(antimony), Ba(barium)과 같이 높은 K-line 에너지를 가진 원소들을 여기 시키기에 적합하다. 또한 폴리카필러리 렌즈에 비하여 빔의 확산 정도가 낮아 빔 크기가 측정대상까지의 거리에 따라 크게 구애받지 않는다는 장점이 있다. 하지만 1차 광원으로부터 방출되는 빔의 강도가 감소되므로 측정 시 충분한 체류 시간(Dwell time)을 두어야 한다는 단점이 있다(Romano *et al.*, 2017). 반면 폴리카필러리 렌즈의 경우 빔을 렌즈 형태로 집광시키기 때문에 집광 장치로부터 측정대상까지의 거리와 1차 방사선의 에너지에 따라서 측정대상에 닿는 빔 크기가 달라질 수 있다는 단점이 있다. 하지만 10keV 이하의 에너지 영역에서 폴리카필러리 렌즈의 효율성이 현저히 뛰어난 것으로 확인되었으며, 높은 에너지의 방사선을 폴리카필러리 렌즈가 흡수하지 않아 방사선 투과율의 에너지 의존도가 높고, 집광 능력이 확연히 높다는 장점을 확인하였다(Alfeld *et al.*, 2011).

3. $\mu\text{-XRF}$ 미술품 적용사례

3.1. 초기 $\mu\text{-XRF}$ 분석

미술품이나 고고 유물의 과학적 분석에 $\mu\text{-XRF}$ 가 적용되기 시작한 것은 1990년대 초 Mantler 등의 연구와 Scheiner 등의 연구로부터 시작되었다. 동일 연구진에 의해 이루어진 위 연구들에서는 기존의 X선 관(X-ray tube)에서 방출되는 X선 빔을 약 0.8mm^2 크기로 모아주는 핀홀 콜리메터와 Si(Li) 검출기를 장착한 장치를 실험적으로 개발하였고, 이를 17세기 Indian Miniature Painting에 적용하여 픽셀(Pixel) 좌표를 기반으로 각 측정 포인트의 형광 X선 스펙트럼을 획득하고 특정 원소의 분포를 이미지화하는데 성공하였다(Mantler *et al.*, 1992; Scheiner *et al.*, 1992).

이후 2000년대 초 미술품 분석을 위해 이동형, 비접촉식 $\mu\text{-XRF}$ 인 ArTAX system(Rontec GmbH, Germany, now Bruker Nano GmbH, Germany)이 연구 개발되었다(Bronk *et al.*, 2001). 해당 기기의 초기 모델은 저전력(low-power) Mo (molybdenum)-target의 X선 관을 광원으로 하며 집광 장치로는 폴리카필러리 렌즈를 사용하였다. 검출기로는 SDD(Silicon Drift Detector)가 사용되었으며, 분석 위치의

파악을 위해 CCD 카메라(Charge Coupled Device camera)를 적용하였다. 추가적으로 낮은 에너지 영역의 특성 스펙트럼을 파악할 수 있도록 He(helium) 가스 주입 시스템(Gas purging system)을 장착할 수 있었다. 이후 2008년 Hocquet 외, 그리고 2010년 Trentlman 등에 의해 진행된 연구를 거쳐 기존의 Mo-target X선 관(20keV 이하)과 W(tungsten)-target X선 관(20keV 이상)을 교체로 사용할 수 있게 되었으며, 집광 장치 또한 기존 폴리카필러리 렌즈의 한계점을 보완하기 위하여 핀홀 콜리메타가 함께 적용될 수 있게 개선되었다. 또한 Hocquet 등의 연구를 필두로 기기의 XYZ 모터 스테이지를 이용해 X, Y축 방향으로 μm 단위의 빔을 움직여 선(1D) 및 면적(2D)에 대한 스펙트럼과 원소 분포 이미지를 획득하는 것이 가능해졌으나 스캔 범위가 $5 \times 5 \text{cm}^2$ 로 비교적 국소 부위에 제한되었다.

3.2. $\mu\text{-XRF}$ 스캔 기술 개발

문화재와 미술품에 대해 넓은 면적의 $\mu\text{-XRF}$ 스캔 및 이미징(Imaging) 분석이 본격적으로 적용된 것은 2008년 Dik 등의 연구를 선두로 시작되었다. 이 시기에는 $\mu\text{-XRF}$ 의 낮은 에너지 효율을 극복하기 위해 싱크로트론 입자가속기(Synchrotron-type particle accelerator) 등에서 비롯한 강한 에너지 광원을 적용하는 방향의 연구가 이루어졌다. 이 연구에서는 Van Gogh가 파리에 머무를 당시 제작했던 작품에 싱크로트론 입자가속기 기반 광원을(Beamline) 이용한 SR- $\mu\text{-XRF}$ (Synchrotron- $\mu\text{-XRF}$) 스캔을 적용하여 표면 채색층 아래에 이전 그림인 소작농의 초상화가 존재하는 것을 확인하였다. 해당 연구에서는 하부 도상의 피부색 표현에 사용된 황색 안료(Naples Yellow 등)에 포함된 Sb가 하부 도상의 이미지를 도출하는데 가장 뚜렷하게 기여 하는 것으로 확인되었다.

이 이후로 2013년 Alfeld 등, 2009년 Van der Snickt 등, 2013년 Janssens 등, 그리고 2019년 Smieska 등의 많은 연구들을 통해 각국의 여러 입자가속기 시설과 연구소에서 싱크로트론 에너지 광원을 이용한 $\mu\text{-XRF}$ 스캔 기술이 연구 및 개발되었으며, 미술품의 $\mu\text{-XRF}$ 맵핑에 활발히 시도되고 이용되고 있다(Alfeld *et al.*, 2013a; Van der Snickt *et al.*, 2009; Janssens *et al.*, 2013; Smieska *et al.*, 2019).

하지만 싱크로트론 입자가속기와 같이 연구시설에 기반한 설치형 $\mu\text{-XRF}$ 분석의 경우, 시설의 위치와 수가 매우 제한적이며 측정 대상물을 입자가속기가 있는 시설까지 운반해야

한다는 위험 요소가 동반된다. 따라서 이러한 한계를 극복하기 위해 이동형 $\mu\text{-XRF}$ 스캐닝 기기가 꾸준히 개발 및 적용되고 있다.

3.3 이동형 $\mu\text{-XRF}$ 스캔 개발

2013년 Alfeld 등은 연구에서 캔버스, 혹은 패널등의 지지체에 제작된 회화작품의 분석을 위한 이동형 $\mu\text{-XRF}$ 스캐닝 장비에 요구되는 필요조건을 제시하였다(Alfeld *et al.*, 2013a).

- (a) 1초 이하의 포인트(픽셀) 당 체류 시간으로 낮은 질량 퍼센트로 존재하는 원소의 분포 이미지를 획득할 수 있는가?
- (b) 개인차량 등의 운송 수단으로 측정 장소까지 쉽게 운반 가능한가?
- (c) 집광 장치를 교체하지 않고 빔 크기를 가변적으로 조절할 수 있는가?
- (d) 훈련된 분석자에 의해 쉽게 조작할 수 있는 소프트웨어를 구축했는가?

최근 몇 년간 위의 조건을 충족하기 위한 이동형 $\mu\text{-XRF}$ 스캔 장비가 꾸준히 개발되어오고 있다. 특히 2011년 Alfeld 등의 연구에서는 이동형 $\mu\text{-XRF}$ 스캐너의 세 가지 실험 모델을 개발, 제시하였으며, 표준시료와 미술품 적용을 통해 각각의 성능과 효율성을 확인하였다. 또한 이어진 2013년의 연구들에서 실험의 실험 모델에서 개선된 장비들과 SR- $\mu\text{-XRF}$ 스캐너와의 성능 비교를 통해 이동형 $\mu\text{-XRF}$ 스캐너의 개발 및 적용 가능성을 검증하였다(Alfeld *et al.*, 2011; 2013a; 2013b). 이 외에도 많은 연구에서 실험실 단계의 시제품 장비가 개발되기 시작하였으며(Ravaud *et al.*, 2016; Romano *et al.*, 2017), 최근에는 미술품 분석에 적용할 수 있는 몇몇 상용화 모델이 출시되었다. 아래에는 상용화된 이동형 $\mu\text{-XRF}$ 스캐너 기기들을 제시하였으며, 앞선 실험실 개발 장비들과 함께 이들의 기술적 특성을 Table 1과 Table 2에 정리하였다.

3.3.1. M6 Jetstream

2013년, Alfeld 등은 이동형 $\mu\text{-XRF}$ 스캐너 M6 Jetstream(Bruker Nano GmbH, Germany)을 소개하였다. 이전의 진공 챔버를 장착한 탁상형 $\mu\text{-XRF}$ 스캐너 M4 Tornado(Bruker Nano GmbH, Germany)의 기술을 바탕으로 측정부를 대기 개방형으로 개선하고 스캔 범위를 넓혀 미술품에 더욱 효율적으로 활용할 수 있도록

개발된 기기로 최근 여러 연구에서 활용되고 있는 추세이다. M6 Jetstream은 30W Rh(rhodium)-target micro-focus X선 관을 사용하며 5개의 필터를 이용해 1차 방사선의 에너지 영역대를 조절할 수 있다. 집광 장치로 폴리카필러 렌즈가 사용되어 측정 거리에 따라 빔 크기를 조절할 수 있으며, 2개의 CCD 카메라를 통해 측정 위치 확인과 모자이크 이미지의 획득이 가능하다. XYZ 모터 스캔 스테이지를 통해 $80 \times 60 \text{cm}^2$ 의 면적을 측정 할 수 있다(Alfeld *et al.*, 2013b).

M6 jetstream은 폴리카필러 집광장치의 특성 상 Rh($z=45$)보다 무거운 원소, 예를 들어 Cd(cadmium, $z=48$), Sn($z=50$) Sb($z=51$)의 K-line 에너지 감도는 현저히 떨어진다. 따라서 이러한 원소들은 K-line 대신 낮은 에너지 영역대의 L-line의 에너지를 이용하여 맵핑할 수 있으나, 낮은 에너지의 형광 방사선은 쉽게 흡수되어 표면 아래의 이미지를 도출하기 어렵다는 맹점이 있다. 하지만 이러한 단점은 가속 전압(Acceleration voltage) 등의 분석조건 조정과 다른 분석방법과의 교차적용으로 어느 정도 보완될 수 있다.

2015년 Trentelman 등이 진행한 연구에서는 이전에 2013년 Alfeld 등에 의해 싱크로트론 기반 μ -XRF 스캔으로 조사되었던 17세기 Rembrandt의 작품, 'Portrait of an Old man'에 대하여 해당 기기를 사용해 다시 원소별 맵핑 이미지를 도출하였다. 이를 중성자 활성화 자동 방사선 촬영(NAAR, Neutron Activation Autoradiography)의 결과와 비교하여 표면에서 보이는 노인 초상 아래에 다른 인물의 초상이 위아래로 뒤집힌 상태로 존재하는 것을 확인하였다(Alfeld *et al.*, 2013c; Trentelman *et al.*, 2015). Hoffmann 등은 2018년 연구에서 14세기 초에 제작된 Altenberg 제단화에 해당 기기를 적용하여, 1609년 덧칠된 현재의 채색층 문양 아래에 기존의 중세 기독교 성인(聖人) 도상을 확인하였다. 이 연구에서는 K(potassium, $z=19$) 부터 Bi(bismuth, $z=83$)까지의 원소 중 약 20가지 원소들을 검출해 내었으며, 특히 Ca(calcium), Fe(iron), Co(cobalt), Cu(copper), Zn(zinc), As(arsenic), Hg(mercury), Pb 등의 원소들을 주로 이용하여 기존의 성인 도상을 도출해 내었다(Hoffmann *et al.*, 2018). 또한 2019년 MacLennan 등은 14~15세기 이탈리아에서 제작된 금박장식 패넬화에 이 기기를 적용하여 각각의 금박이 부착될 때 겹친 부분을 가시적으로 확인해 해당 작품의 제작기법을 조사한 바 있다(MacLennan *et al.*, 2019). 이 외에도 해당 기기는

현재 암스테르담 레이크스 미술관(Rijksmuseum)에서 진행 중인 Rembrandt의 작품 'Night Watch'에 대한 연구 및 보존 프로젝트, 'Operation Night Watch'에도 이용되는 등 현재까지 문화재 및 미술품의 μ -XRF 스캔을 위해 실험실, 현장분석에서 적극적으로 활용되고 있다.

3.3.2. ELIO

ELIO(XGlab S.R.L., Italy, now Bruker Nano GmbH, Germany)는 광원으로 Rh-target micro-focus X선 관을 적용하였으며, 필터 적용에 따라 검출하는 원소의 범위를 조절할 수 있다. 17mm^2 의 SDD가 검출기로 내장되어 있으며, 집광 장치로는 1mm의 핀홀 콜리메터를 사용하였다. 또한 삼각대에 설치 가능한 XYZ 모터 스테이지로 $10 \times 10 \text{cm}^2$ 면적의 1D, 2D 맵핑이 가능해 현장 적용이 더욱 용이하다(Bruker Nano GmbH, 2018). 이 장비의 효용성은 2016년 Mosca 등의 연구를 통해 검증되었다. 해당 연구에서는 15세기 르네상스 시대의 Salterium 채색 필사본 문서(Illuminated manuscripts)와 채색 시험편에 μ -XRF 스캔과 적외선 촬영, Raman 분석을 포함한 현장 분석을 실시하여 육안상 보이는 문장(Coats of arms) 아래에 다른 가문의 문장이 존재함을 확인하였다(Mosca *et al.*, 2016).

3.3.3. CRONO

CRONO(XGlab S.R.L., Italy, now Bruker Nano GmbH, Germany)는 현장 적용이 가능한 대면적(Large area) μ -XRF 스캐너로 문화재 분석 분야에서 요구되는 이동성을 갖추기 위해 측정 시마다 분해와 재조립이 가능하게 제작되었다. Rh-target 10W X-ray tube를 선원으로 사용하며, CUBE 전치증폭기(Preamplifier)가 장착된 SDD 검출기를 사용한다. 0.5, 1, 2mm의 핀홀 콜리메터로 빔의 크기를 조절할 수 있다. 0.5mm 핀홀 콜리메터는 순수한 Zr(zirconium)으로 제작되었으며, 1, 2mm 핀홀 콜리메터는 황동 재질로, 동시에 Cu와 Zn에서 방출되는 형광을 흡수하기 위한 경원소로 제작된 필터로 구성되어 있다. 또한 특정 에너지 영역대의 미량원소의 검출을 위해 다층의 순수한 재질(Al, Ti, Cu 등)로 제작된 4개의 에너지 필터가 내장되어 있어 선택적으로 사용가능하다.

Na(sodium, $z=11$)부터 U(uranium, $z=92$)까지 해당하는 원소를 효율적으로

검출할 수 있으며, 1~2keV 영역과 25keV이상의 에너지 영역에 해당하는 원소 또한 검출할 수 있다. 모터 스테이지는 XY 축으로 60×45cm² 이동 가능하며, 포커싱을 위해 Z축 스테이지를 약 7.5cm가량 이동 할 수 있다. 측정과 동시에 스펙트럼 획득이 가능하여 최대 45m/s의 속도로 움직일 수 있으며, 포인트 당 채류 시간이 30ms 이하로 조절 가능해 빠르고 공간 분해능이 높은 측정이 가능하다. 핀홀 콜리메터를 사용함으로써 낮은 에너지 영역을 포함해 35keV까지 감도가 높으며, 측정대상의 표면에서 빔의 확산 정도가 낮게 유지할 수 있다. 또한 비용 효율성이 높으며 추후 더욱 이동성이 좋은 장비의 개발 가능하다는 장점이 있다(Alberti *et al.*, 2017).

또한 해당 장비는 앞서 언급한 ELIO 장비와 함께 유럽 연합에서 문화재 분석을 위한 첨단 기술의 다각적 활용 시스템 구축을 목표로 진행 중인 합동 연구 프로젝트를, IPERION-CH(Integrated Platform for the European Research Infrastructure ON Cultural Heritage)에서 문화재 및 미술품의 현장분석 체제, MOLAB(Mobile LABoratory)을 위한 장비로 활발히 사용되고 있으며, (Alberti *et al.*, 2017; Manca *et al.*, 2019), 빈 미술사 박물관(Kunsthistorisches Museum Wien) 등의 기관에서 활발히 사용되고 있다.

Table 1. Technical properties of Mobile μ-XRF scanners – Laboratory built instruments

Technical Properties of Mobile μ-XRF Scanners – Laboratory built instruments						
Paper		Alfeld <i>et al.</i> , 2011			Ravaud <i>et al.</i> , 2016	Romano <i>et al.</i> , 2017
Instrument		Laboratory built – Instrument A	Laboratory built – Instrument B	Laboratory built – Instrument C	Laboratory built	Laboratory built
Description in original text		mobile scanning MAXRF	mobile scanning MAXRF	mobile scanning MAXRF	MA-XRF	mobile MA-XRF scanner
X-ray source	Source	Micro-focus X-ray tube	X-ray tube	X-ray tube	X-ray tube	microfocus X-ray tube
	Target	Mo	Rh	Mo	Mo	Rh
	Max power	60W	10W	50W	50W	30W
	Max voltage	60kV	50kV	50kV	50kV	?
	Max current	1mA	0.2mA	1mA	0.6mA	?
	Filter	–	–	–	–	–

Beam Optics	Optics	Polycapillary lens	Pb-pinhole collimator	Pb-pinhole collimator	Polycapillary lens	Mo-pinhole collimator	Polycapillary lens
	Beam size	50μm	700μm	800μm	not mentioned	650μm, 1000μm	26μm
Detector	Electronics	SDD		SDD	SDD (50mm ²)	SDD (25mm ²)	SDD (50mm ²)
	Number of	1		4	4	1	2
Travel range of motors		10 x 10cm ²		65 x 25cm ²	65 x 25cm ²	30 x 30cm ²	110 x 70cm ²

Table 2. Technical properties of Mobile μ-XRF scanners – Commercial instruments

Technical Properties of Mobile μ-XRF Scanners – Commercial instruments						
Paper		Alfeld <i>et al.</i> , 2013b		XGlab S.R.L., 2017		Alberti <i>et al.</i> , 2017
Instrument		M6 Jetstream		ELIO		CRONO
Description in original text		mobile MA-XRF scanner		micro-XRF Spectrometer		reconfigurable MA-XRF scanner
X-ray source	Source	Rh-target microfocus-X-ray tube		Rh-target microfocus-X-ray tube		Rh-target microfocus-X-ray tube
	Target	Rh		Rh		Rh
	Max power	30W		4W		10W
	Max voltage	50kV		50kV		50kV
	Max current	0.6mA		0.2mA		0.2mA
	Filter	5 (internal wheel)		5 (manually selectable)		4 (selectable)
Beam Optics	Optics	Polycapillary lens		Pinhole collimator		Zr-Pinhole collimator Brass-Pinhole collimator with light element filter
	Beam size	approx. 100~500μm		1000μm		500μm 1000μm 2000μm
Detector	Electronics	SDD (30mm ²)		SDD (17mm ²) with CUBE preamplifier		SDD (50mm ²) with CUBE preamplifier
	Number of	1		1		1
Travel range of motors		80 x 60 x 7.5cm ²		10 x 10cm ²		60 x 45cm ²

4. μ -XRF 스캔 기술의 활용

앞서 조사한 바와 같이 미술품 및 문화재 분석에 있어 μ -XRF 스캔은 기존 p-XRF의 단점을 보완하는 특성으로 새롭게 도입되고 연구가 활발하게 진행되는 추세이다. 국립현대미술관에서는 선행연구를 기반으로 회화작품 분석 및 DB 구축 등 미술품 보존·연구에 기여하고자 본 분석 장비를 도입하였으며, 기존 p-XRF와의 직접적인 비교를 통해 해당 장비의 활용을 계획하고자 한다.

본 분석에서는 정성근 작가의 ‘파도’(1992)를 분석대상으로 선정하여, p-XRF와 μ -XRF 스캔 데이터 해석의 결과를 비교하였다. p-XRF(DPO-2000, Olympus SSA, U.S.A.)는 기존에 연구된 회화작품 분석과 동일하게 육안관찰로 구분되는 색상을 정하여 각각 포인트 분석하였다. μ -XRF(M6 Jetstream, Bruker Nano GmbH, Germany)스캔은 특정 영역을 분석위치로 설정하여, 전체 스캔(Full-scan)을 통해 스펙트럼 및 맵핑 이미지를 획득하였다. 분석 조건은 Table 3에서 제시된 바와 같으며, p-XRF 분석법은 바탕층에서 검출된 원소의 함량과 비교하여 물감층의 주요성분을 해석하였다. p-XRF 분석법의 선정 위치는 Figure 2A와 같으며 바탕층은 캔버스 측면에서 실시하였다. μ -XRF 스캔 분석 영역은 Figure 2B의 적색 테두리 영역과 동일하다.

Table 1. Technical properties of Mobile μ -XRF scanners - Laboratory built instruments

Parameter	p-XRF		μ -XRF
Acceleration voltage	40 kV	10 kV	50 kV
Current	99.8999 μ A	200 μ A	599 μ A
Filter	Al	—	Empty
Target (anode)	Rh		Rh
Pixel time	—		15 ms/pixel
Spot size	2000 μ m		550 μ m
Step size	—		800 μ m

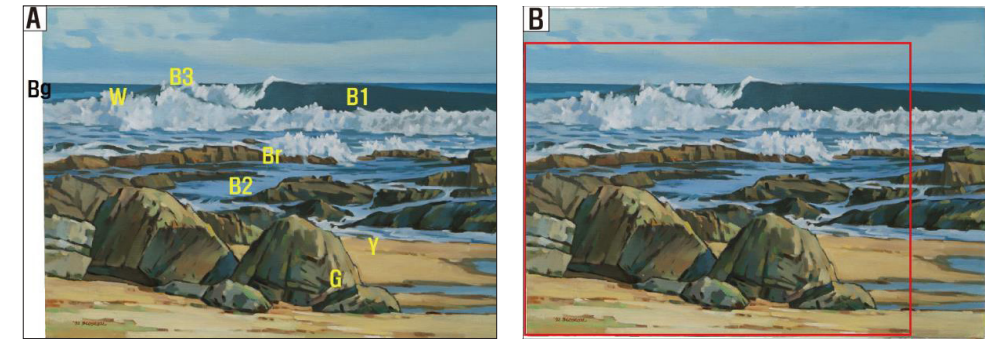


Figure 2. Image of 'Wave' by Jung Sung Keun with indication of analyzed areas : (A)p-XRF (B) μ -XRF.

4.1. p-XRF 분석결과

먼저 p-XRF 분석결과 바탕층에서는 Si(silicon), Ti(titanium), Ca, Al(aluminium) 등의 원소가 검출된다(Figure 3). 백색 물감층은 Ti, Zn(zinc)이 높게 측정되며, 황색은 백색 안료의 무기질 성분(Ca, Ti, Zn) 이외에 Fe, Ni(nickel)이 검출되는 특성을 보인다.

육안관찰을 통해 확인되는 청색은 3가지 색상으로 구분되며 각각의 분석 위치 B1, B2, B3에서 모두 Al, Si, S, Ca, Ti, Zn 등의 성분이 동일하게 검출된다. Co는 B3에서만 단독으로 확인되는 차이를 보인다. 녹색 물감층은 Al, Si, S, Ca, Fe, Zn 등 청색 물감층과 유사한 성분이 확인되며, 갈색은 Fe의 함량이 상대적으로 높게 측정되는 특성을 보인다.

p-XRF는 분석위치 선정과정에서 측정 면적이 좁은 부분은 대표성을 보이는 색상이라도 객관적인 해석을 위해 제외할 수 밖에 없는 애로사항이 있었다. 또한 청색의 분석위치 선정 기준은 측정자의 주관성이 개입하여, 경우에 따라서 B3의 특성을 놓칠 수 있는 가능성도 있다고 판단된다. 또한 Ti, Zn 등의 백색 안료 성분은 표면 물감층에 기인하는 성분인지 표면층 아래에 또 다른 물감층 성분인지 정확한 해석이 어려웠다.

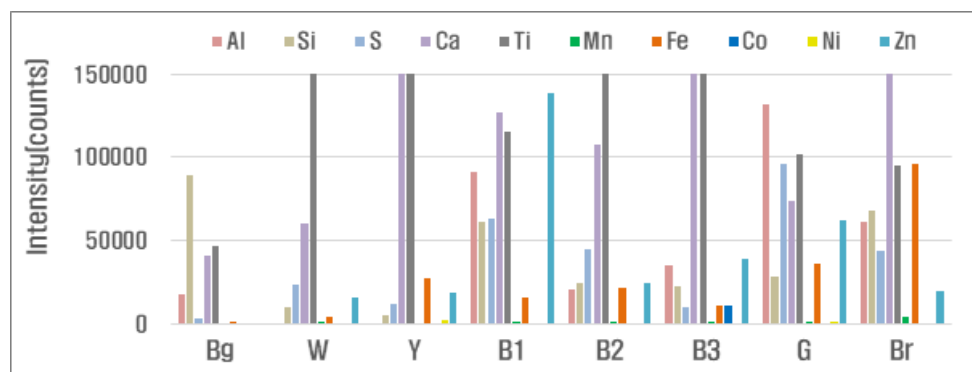


Figure 3. Elements detected from p-XRF analysis of 'Wave' by Jung Sung Keun.

4.2. μ -XRF 데이터 해석 및 활용

μ -XRF 스캔 결과는 다음 Figure 4A에서 제시된 바와 같이 원소별 맵핑 이미지로 도출된다. 각각의 픽셀은 분석 포인트를 의미하며, 각 픽셀의 색 농도(Color density)는 해당 원소의 상대적 농도 및 검출 강도에 기반 한다.

Figure 4A는 대상 작품의 Ti 맵핑 이미지로, 흑색 배경을 바탕으로 Ti원소의 범례를 백색으로 설정하여 나타낸 것이다. 즉, 이미지에서 나타나는 백색은 Ti 원소가 존재하는 부분이다. 작품의 표면 채색층에 Titanium White 등 많은 양의 Ti계 안료가 사용되었기 때문에 작품 표면의 이미지와 거의 유사하게 나타난다. 하지만 원소 맵핑 이미지에서 색상의 농도 차이는 해당 원소의 농도와 검출 강도 차이를 의미한다. 해당 이미지에서는 Ti 함량이 높을수록 색상이 더 진하게 표현된다. Figure 4B는 Ti 맵핑 이미지(Figure 4A)에서 색상의 농도가 다른 세 영역에서 동일한 크기의 면적을 설정하여 각각에 대한 스펙트럼을 추출한 것이다. Figure 4B에서 볼 수 있듯, 가장 백색이 진한 Area 1에서 Ti 피크($\text{Ti-K}\alpha$ 4.51keV, $\text{Ti-K}\beta$ 4.93keV)의 검출 강도가 높으며, 백색이 옅어 상대적으로 어둡게 나타나는 Area 3의 경우 Ti 피크 검출 강도가 낮다. 이처럼 μ -XRF 스캔은 전체, 혹은 부분에서 원소의 분포를 비교하기 용이하며, 이를 가시적으로 확인할 수 있어 차후 세세한 분석 포인트를 설정하는데 용이하다. 하지만 이러한 색 농도 차이는 지정한 분석 영역 안에서 상대적인 분포 정도를 의미하는 것으로 해당 원소의 검출강도가 상대적으로 낮은 부분이 어둡게 표현될 뿐, 완전히 존재하지 않는 것은 아니므로 스펙트럼을 함께 확인할 필요가 있다.

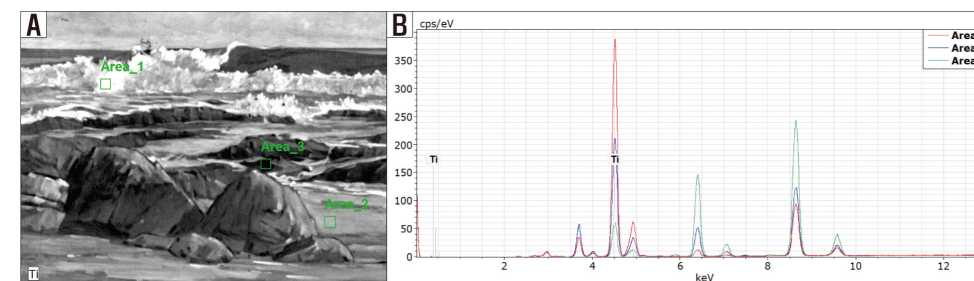


Figure 4. Intensity comparison of Ti peaks by different color density region in Ti element map acquired from μ -XRF scan: (A) Ti element map, (B) Spectra comparison of Area 1, 2, 3.

다음으로 μ -XRF 스캔 결과 획득된 원소별 분포도를 Figure 5에 나타내었다. Figure 5A는 맵핑 전 분석면적을 설정하기 위해 카메라로 촬영한 모자이크 이미지이다. 분석결과인 Figure 5B~L의 원소별 분포도의 색상은 분석자가 임의로 설정하였다.

첫 번째로 두드러지는 점은 Ca의 검출 이미지에서 작품 오른쪽 상단부와 함께 여러 곳에서 국소적으로 발견되는 부분이다(Figure 5B). 작품의 도상과 연결되지 않는 것으로 보아 이는 이전에 시행된 작품 보존처리 과정에서 박락된 부분의 복원을 위해 Ca 계열의 매움제를 사용한 흔적으로 판단된다. 또한 이 위치에서 유사하게 Co가 함께 확인되는 것으로 보아 Co가 함유된 안료를 복원부 색맞춤에 사용한 것으로 추정된다(Figure 5C). 본 분석 결과와 같이 작품의 보존처리 이력이 정확히 확인되지 않은 경우 일반적인 포인트 분석으로는 육안으로 드러나지 않는 보존처리 부위를 놓칠 수 있다. 또한 p-XRF 분석결과인 원소의 함량만으로는 작가가 사용한 원재료와 보존처리의 재료를 구별해내기 어렵다. 하지만 μ -XRF 스캔을 통해 이러한 부분을 가시적으로 확인할 수 있어 분석에 정확성을 더할 수 있다.

다음으로 Ti와 Zn의 분석결과에서 Ti의 원소 분포는 작품 표면에서 보이는 파도, 바위 등의 형상이 그대로 나타난다(Figure 5D). 반면, Zn의 맵핑 결과 Ti와 유사하게 작품 전체에서 Zn의 분포가 확인되지만 나타나는 이미지는 전혀 다른 그림을 보여준다(Figure 5E). 이는 '파도' 작품이 그려지기 이전에 작가가 높은 함량의 Zn가 함유된 물감과 안료를 주로 이용하여 작품을 그렸으며, 이후 해당 작품을 성분이 다른 물감으로 덮어 '파도'의 그림을 그린 것으로 판단된다. 이러한 점은 Fe 분석 결과에서도 확인된다. 바위 등을 표현한 부분은 현재 그림과 유사하게 나타나지만, 작품 좌측 상단부에서 나타난 부분은 표면에서 보이는 그림과 전혀 다른 도상을 보여준다(Figure 5F). 확인 결과 뒤집힌 배

(Boat)의 형상으로 보이며, 이를 통해 작가가 배가 있는 그림을 그린 후 새 작업을 위해 캔버스를 위아래로 뒤집어 물감층으로 덮고 새 그림을 그렸음을 알 수 있다.

통상 작품에 사용되는 물감은 한두 개 이상의 매우 많은 층으로 이루어지기 때문에 p-XRF로 분석한 경우 특정 원소가 겹으로 드러난 색상에서 검출되는 것인지, 아니면 하부 층위의 물감이나 바탕층에 의한 것인지 판별하기 어렵다. 특히 그것이 소량으로 검출되는 원소라면 색상별로 비교한다고 하더라도 판단 기준이 모호하다. 하지만 본 실험에서 μ -XRF로 Mn, Ni, S의 분포를 확인한 것과 같이 각각의 원소가 검출되는 위치를 가시적으로 확인할 수 있기 때문에 겹으로 드러난 색상과 같은 위치에서 검출되는지를 비교하면 원소가 존재하는 층위를 구분할 수 있다(Figure 5G, H, I). 예를 들어 Mn의 경우 육안상 진한 녹색이 있는 위치에서 주로 검출되며, Ni은 황색, S는 청색 물감으로 칠해진 곳에서 나타나기 때문에 이들은 겹으로 드러난 물감층에서 기인한 성분임을 알 수 있다. 기존에는 X선 투과 촬영(X-ray radiography) 등의 방법을 통하여 많은 작가들의 캔버스 재활용 흔적을 찾을 수 있었다. 하지만 이번 분석 결과와 같이 먼저 그린 그림과 이후에 그린 그림의 성분이 다르다면, 이는 μ -XRF 스캔을 통한 원소 맵핑을 통해서도 충분히 파악할 수 있는 정보임을 알 수 있다.

μ -XRF에서 검출되는 무기성분은 p-XRF의 결과와 상응하는 결과를 보이지만, Al($z=13$), Si($z=14$)와 같은 일부 경원소는 낮은 검출 강도로 인해 맵핑 결과에서 뚜렷이 확인되지 않는다(Figure 5J, K). 이는 두 장비의 서로 다른 가속 전압과 전류, 집광 장치의 특성으로 인한 것으로 향후 이러한 점을 보완하기 위해서는 μ -XRF 스캔 시 경원소의 검출 강도를 높일 수 있도록 가속 전압을 낮추거나 포인트당 체류 시간을 늘이는 등 적절한 분석 조건을 정립하는 것이 필요할 것으로 보인다.

마지막으로 μ -XRF의 분석 프로그램에서 특정 원소의 스펙트럼이 아니라 에너지 범위를 임의로 설정하면 총 검출 강도(Total intensity)의 분포도를 도출할 수 있다. Figure 5L은 35keV에서 40keV의 높은 에너지 범위의 총 검출 강도 분포도로, 상대적으로 두께가 두껍고 밀도가 높은 캔버스 틀은 캔버스에 비하여 X선의 투과율이 낮기 때문에 전체 검출 강도가 높아져 밝은 명도로 관찰되는 것이다. 이러한 원리를 이용하면 X선 투과촬영과 같이 대략적인 작품의 구조를 파악할 수도 있다.

본 연구에서 제시한 바와 같이 μ -XRF 스캔은 기존 p-XRF 기기와 비교 하였을 때

전체 측정 면적에 대한 원소의 분포를 가시적으로 알 수 있다는 것뿐만 아니라 포인트 분석 시 정확히 알 수 없는 물감 층위에 대한 정보를 파악할 수 있다는 장점을 지닌다. 이는 작품의 제작 과정과 구조, 그리고 보존처리 여부를 파악하는데 매우 효율적이다. 본 분석결과를 통해 국립현대미술관에서는 향후 μ -XRF 스캔의 적극적 활용과 심도 깊은 연구를 실시하여, 미술품의 과학적 분석 수준을 높이는데 기여하고자 하는 바이다.

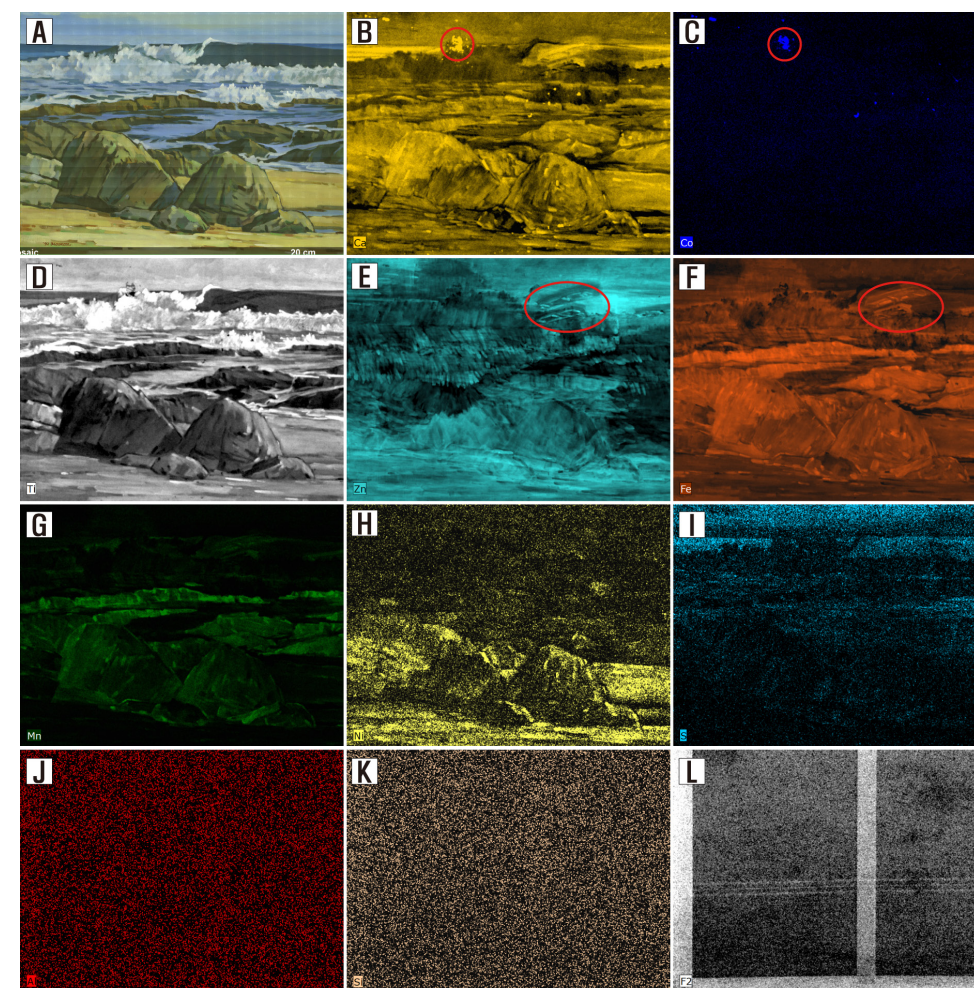


Figure 5. Element maps of 'Wave' by Jung Sung Keun: (A)Mosaic image, (B)Ca, (C)Co, (D)Ti, (E)Zn, (F)Fe, (G)Mn, (H)Ni, (I)S, (J)Al, (K)Si, (L)High energy total intensity.

REFERENCES

Alberti, R., Frizzi, T., Bombelli, L., Girona, M., Aresi, N., Rosi, F., Miliani, C., Tranquilli, G., Talarico, F. and Cartechini, L., 2017, CRONO: a fast and reconfigurable macro X-ray fluorescence scanner for in-situ investigations of polychrome surfaces. *X-Ray Spectrometry*, vol.46(5), p297–302.

Alfeld, M., Janssens, K., Dik, J., de Nolf, W. and van der Snickt, G., 2011, Optimization of mobile scanning macro-XRF systems for the in situ investigation of historical paintings. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, vol.26(5), p899–1100.

Alfeld, M., Snickt, G., Vanmeert, F., Janssens, K., Dik, J., Appel, K., van der Loeff, L., Chavannes, M., Meedendorp, T. and Hendriks, E., 2013, Scanning XRF investigation of a Flower Still Life and its underlying composition from the collection of the Kröller-Müller Museum. *Applied Physics A Material Science & Processing*, vol.111(1), p165–175.

Alfeld, M., Pedroso, J. V., van Eikema Hommes, M., Van der Snickt, G., Tauber, G., Blaas, J., Haschke, M., Erler, K., Dik, J., Janssens, K., 2013, A mobile instrument for in situ scanning macro-XRF investigation of historical paintings. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, vol.28(5), p760–767

Alfeld, M., Siddons, D. P., Janssens, K., Dik, J., Woll, A., Kirkham, R. and Wetering, E., 2012, Visualizing the 17th century underpainting in Portrait of an Old Man by Rembrandt van Rijn using synchrotron-based scanning macro-XRF. *Applied Physics A Material Science & Processing*, vol.111(1), p157–164.

Bronk, H., Röhrs, S., Bjeoumikhov, A., Langhoff, N., Schmalz, J., Wedell, R., Gorny, H. E., Herold, A. and Waldschläger, U., 2001, ArtTAX – a new mobile spectrometer for energy-dispersive micro X-ray fluorescence spectrometry on art and archaeological objects. *Fresenius' Journal of Analytical Chemistry*, vo.371(3), p307–316.

Cartechini, L., Doherty, B., Grazia, C., Paolantoni, Marco., Rosi, F., Barucci, M., Fontana, R., Tournie, A., Andraud, C. and Michelin, A., 2019, Scientific analysis underpinning the multidisciplinary project “The Leman Album: an Enhanced Facsimile.” *The European Physical Journal Plus*, vol.134(6), 267

Dik, J., Janssens, K., Van der Snickt, G., Loeff, L., Appel, K. and Cotte, M., 2008, Visualization of Lost Painting by Vincent van Gogh Using Synchrotron Radiation Based X-ray Fluorescence Elemental Mapping, *Analytical chemistry*, vol.80(16), p6436–6442.

Hocquet, F.P., Garnir, H.P., Marchal, A., Clar, M., Oger, C. and Strivay, D., 2008, A remote controlled XRF system for field analysis of cultural heritage objects. *X-Ray Spectrometry*, vol. 37(4), p304–308.

Hoffmann, P., Flege, S., Ensinger, W., Wolf, F., Weber, C., Seeberg, S., Sander, J., Schultz, J., Krekel, C., Tagele, R. and Wittkopp, A., 2018, MA-XRF investigation of the Altenberg Retable from 1330. *X-Ray Spectrometry*, vol.47(3), p215–222.

Howard, D. L., de Jonge, M. D., Lau, D., Hay, D., Varcoe-Cocks, M., Ryan, C. G., Krikham, R., Moohead, G., Paterson, D. and Thurrowgood, D., 2012, High-Definition X-ray Fluorescence Elemental Mapping of Paintings. *Analytical Chemistry*, vol.84(7), p3278–3286.

Janssens, K., Alfeld, M., Van der Snickt, G., De Nolf, W., Vanmeert, F., Radepon, M., Monico, L., Dik, J., Cotte, M., Falkenberg, G., Miliani, C. and Brunetti, B. G., 2013, The Use of Synchrotron Radiation for the Characterization of Artists' Pigments and Paintings, *Annual Review of Analytical Chemistry*, vol.6(1), p399–425.

Jenkins, R., 1999, *X-Ray Fluorescence Spectrometry – 2nd Edition*, John Wiley & Sons, United States.

Kumakhov, M. A., 1990, Channeling of photons and new X-ray optics, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, vol. 48(1–4), p283–286.

MacDonald, C. A., 2010, Focusing Polycapillary Optics and Their Applications, *X-Ray Optics and Instrumentation*, vol.2010, p1–17.

MacLennan, D., Llewellyn, L., Delaney, J. K., Dooley, K. A., Patterson, G. S., Szafran, Y. and Trentelman,., 2019, Visualizing and measuring gold leaf in fourteenth– and fifteenth–century Italian gold ground paintings using scanning macro X-ray fluorescence spectroscopy: a new tool for advancing art historical research, *Heritage Science* vol.7, no.25.

Manca, R., Burgio, L., Button, V., Browne, C., Horsfall Turner, O., Rutherford, J., Cartechini, L., Doherty, B., Grazia, C., Paolantoni, Marco., Rosi, F., Barucci, M., Fontana, R., Tournie, A., Andraud, C. and Michelin, A., 2019, Scientific analysis underpinning the multidisciplinary project “The Leman Album: an Enhanced Facsimile.” *The European Physical Journal Plus*, vol.134(6), 267.

Mantler, M., Schreiner, M., Weber, F., Ebner, R. and Mairinger, F., 1991, An X-Ray Spectrometer for Pixel Analysis of Art Objects, *Advances in X-ray Analysis*, vol. 35(B), p987–993.

Martins, A., Albertson, C., McGlinchey, C. and Dik, J., 2016, Piet Mondrian's Broadway Boogie Woogie: non invasive analysis using macro X-ray fluorescence mapping(MA–XRF) and multivariate curve resolution–alternating least square(MCR–ALS), *Heritage Science* vol.4(1), no.22.

McGlinchey, C., 2013, *Handheld XRF for the examination of paintings: proper use and limitations*, Shugar, A. N. and Mass, J. L., 2013, *Handheld XRF for Art and Archaeology*, ch.4, p131–158, Leuven University Press, Project MUSE, Leuven, Belgium

Mosca, S., Frizzi, T., Pontone, M., Alberti, R., Bombelli, L., Capogrosso, V., Nevin, A., Valentini, G. and Comelli, D., 2016, Identification of pigments in different layers of illuminated manuscripts by X-ray fluorescence mapping and Raman spectroscopy, *Microchemical Journal*, vol. 124, p775–784.

Ravaud, E., Pichon, L., Laval, E., Gonzalez, V., Eveno, M. and Calligaro, T., 2015, Development of a versatile XRF scanner for the elemental imaging of paintworks, *Applied Physics A Material Science & Processing*, vol.122(1), no.17.

Romano, F. P., Caliri, C., Nicotra, P., Di Martino, S., Pappalardo, L., Rizzo, F. and Santos, H. C., 2017, Real-time elemental imaging of large dimension paintings with a novel mobile macro X-ray fluorescence (MA–XRF) scanning technique, *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, vol.32(4), p773–781.

Schreiner, M., Mantler, M., Weber, F., Ebner, R. and Mairinger, F., 1991, A New Instrument for the Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Analysis of Objects of Art and Archaeology, *Advances in X-ray Analysis*, vol.35(B), p1157–1163.

Shugar, A. N. and Mass, J. L., 2013, *Handheld XRF for Art and Archaeology*, Leuven University Press, Project MUSE, Leuven, Belgium

Smieska, L., Twilley, J., Woll, A. Schafer, M. and DeGalan, A. M., 2019 Energy-optimized synchrotron XRF mapping of an obscured painting beneath Exit from the Theater, attributed to Honoré Daumier. Microchemical Journal. vol.146, p679-691.

Trentelman, K., Bouchard, M., Ganio, M., Namowicz, C., Patterson, C. S. and Walton, M., 2010, The examination of works of art using in situ XRF line and area scans. X-Ray Spectrometry, vol.39(3), p159-166.

Trentelman, K., Janssens, K., van der Snickt, G., Szafran, Y., Woollett, A. T. and Dik, J., 2015, Rembrandt's An Old Man in Military Costume: the underlying image re-examined. Applied Physics A Material Science & Processing, vol.121(3), p801-811.

Van der Snickt, G., Dik, J., Cotte, M., Janssens, K., Jaroszewicz, J., De Nolf, W., Groenewegen, J., Van der Loeff, L., 2009, Characterization of a Degraded Cadmium Yellow (CdS) Pigment in an Oil Painting by Means of Synchrotron Radiation Based X-ray Techniques. Analytical Chemistry, vol.81(7), p2600-2610.

XGlab S.R.L., 2017, ELIO-Product brochure and technical specifications, Milano, Italy

Bruker Nano GmbH., 2018, ELIO-Product brochure and technical specifications, Berlin, Germany

<https://cafe.naver.com/xrf2800/101>

<https://www.bruker.com/products/x-ray-diffraction-and-elemental-analysis/micro-xrf-and-txrf/m6-jetstream/applications/the-night-watch.html>

https://www.freenoisepod.com/english/newsshow_224.html

<https://www.khm.at/en/learn/research/forschungsprojekte/naturwissenschaftlich-technologische-projekte/implementation-of-the-cronoma-xrf-scanner-at-the-kunsthistorisches-museum/>

<https://www.nationalgallery.org.uk/exhibitions/past/leonardo-experience-a-masterpiece/unlocking-leonardo>

유화 작품에 사용되는 바니시의 노화 및 제거 실험을 통한 보존성 연구

권현주

art C&R

Conservation study on oil painting varnish through aging and removal test

Kweon HyeonJu

Art C&R, Korea

Corresponding Author: kweonhju@naver.com, +82-10-9768-1031

초록 유화에서 많이 사용되고 있는 바니시는 그러나 바니시 고유의 문제점인 황변을 비롯해 노화로 인한 여러 문제점들이 지속적으로 발생되고 있다. 특히 유화 작품에 있어서 황변이 심하게 된 바니시를 제거하고 재도포하는 것이 작품을 오랫동안 보존하는 처리 과정의 하나이다. 이때 사용되는 유기용제가 제거하고자 하는 바니시뿐만 아니라 채색층을 손상시키는 결과를 초래할 수 있다는 위험성도 있다. 이에 본 연구에서는 바니시의 노화에 따른 변화를 관찰하기 위해 임의로 선정한 4가지 종류의 바니시를 도포한 시편을 제작하여 인공 가속 노화 실험 전후의 yellowness를 비교하였다. 또한 실험에 사용하였던 시편을 이용하여 바니시 제거 실험을 진행함으로써 바니시의 가역성 여부와 사용되는 용제에 따른 손상 여부의 실상을 파악하였다.

주제어: 유화, 바니시, 노화, 제거, 보존성

Abstract Varnish is used in painting, especially in oil painting by painters to make the color look vivid, control the glossiness and to protect their art. Especially in oil painting, eliminating highly yellowed varnish and repositioning is one of the process for preserving a work. But there is also riskiness for the organic solvent can not only remove the varnish, but also harm the color layer. In this study, to observe change of varnish followed by deteriorating, produced specimens with four types of varnish with the same name but from different manufacturer. And yellowness were measured before and after artificial accelerated aging process. Removed varnish of specimens to investigate reversibility of varnish and degree of damage with solvent used to elimination.

Keyword: Oil painting, Varnish, Aging, Removal

접수 2020.02.10. / 심사종료 2020.02.28. / 게재승인 2020.03.02.

1. 서론

바니시(Varnish)란 일반적으로 목제품이나 금속제품 및 유채화 등의 표면에 칠하여 수지피막을 형성하고 광택을 주거나 보호하기 위한 도료의 일종이다(한국사전연구사편집부, 1998). 회화, 특히 유화에서 사용되는 바니시는 채색층을 보호하는 용도 외에도 물감의 물성에 따라 다른 표면 광택도 조절, 작품 효과 증진 등의 장점이 있다. 작품의 보존적인 측면에서도 도움을 주기 때문에 작가들뿐만 아니라 복원가들도 많이 사용하고 있다. 바니시의 보존적인 측면은 중세시대에 그려진 회화 작품의 색상이 현재까지도 변색되지 않고 잘 나타나고 있음을 통해서도 알 수 있다.

그런데 바니시는 먼지나 이물질, 자외선 등 외부환경으로부터 오염물질이나 바니시를 칠한 공간의 온·습도 등으로 인해 손상, 산화, 변색 등이 일어난다. 이는 작품 감상에 악영향을 준다. 손상된 바니시는 제거한 후 새롭게 칠해주어야 하는데, 바니시는 시간이 지날수록 단단해져 용해도가 낮은 용제로는 제대로 제거 되지 않는다. 바니시를 제거할 때 사용되는 용제의 용해도가 높을수록 채색층을 손상시키는 위험성이 크다. 따라서 바니시를 칠하거나 제거할 때 각별한 주의가 필요하다.

바니시는 채색층을 손상시키지 않도록 제거가 용이하며 채색층과 분리되지 않을 정도의 유연성을 가져야 한다. 또한 외부의 손상요인으로부터 보호를 할 수 있을 정도의 경도를 가지고 있고, 시간이 지나도 습기, 온도, 이물질 및 자연광 등에 의한 변화가 적은 것이 좋다. 그러나 우리나라 유화의 역사가 짧은 만큼 현재 바니시에 관한 연구가 전무한 실정이며, 제조사에서 제공해주는 한정적인 자료 외에는 참고 자료 또한 매우 부족한 것이 현실이다.

이에 본 연구에서는 유화 작품에서 사용되는 바니시의 노화에 따른 변화를 관찰하기 위해 임의로 선정한 4가지 종류의 바니시를 도포한 시편을 제작하였다. 인공 가속 노화 실험 전후의 yellowness를 비교하였다. 또한 실험에 사용하였던 시편을 이용하여 바니시 제거 실험을 진행함으로써 바니시의 가역성 여부와 사용되는 용제에 따른 손상 여부의 실상을 파악하였다. 위 실험을 통해 얻은 결과를 토대로 바니시를 사용할 때 주의해야 할 바니시와 용제를 인식하고 작품 제작뿐만 아니라 실제 보존 현장에서 적용 가능한 기초자료로써 활용하고자 한다.

2. 연구방법

2.1. 분석대상

2.1.1. 다마르 바니시(Dammar varnish)

다마르란 동남아시아에서 자라는 나무의 수피(樹皮)에서 채취하는 천연수지다. 다른 수지들에 비해 다마르 수지 자체가 색을 거의 띄지 않아 일반적인 다른 바니시보다 다마르 바니시는 무색의 외관을 더 오래 유지하지만, 과도한 양을 사용했을 경우에는 쉽게 갈변하기도 한다. 또한 다마르 바니시는 다른 종류의 바니시보다 표면 광택이 사라지며 백화되는 블루밍(Blooming) 현상이 적게 나타나는 경향이 있다. 다마르 수지가 들어간 바니시에서 나타나는 블루밍 현상은 보통 바니시 표면에만 발생되기 때문에 제거가 비교적 쉽다. 시편 제작에 사용된 바니시는 아래와 같다.

Table 1. Information of Dammar varnish samples

No.	Sample	Maker
A-1	Dammar Varnish	Daler Roney
A-2	Dammar Varnish	W&N
A-3	Extra-Fine Dammar Picture Varnish	Lefranc
A-4	Dammar Varnish	Maimeri
A-5	Dammar varnish	Pebeo

2.1.2. 매트 바니시(Matt varnish)

매트 바니시는 완성된 작품을 보호하면서도 광택을 제거하여 작품에 차분한 느낌을 제공함과 동시에 인공 광선에서도 자유로운 각도에서 회화를 감상하기 위해 화면 반사를 최소화시킬 목적으로 사용되는 바니시다(Kim, 2005). 주로 아크릴 수지에 광택을 줄이기 위해 밀랍이나 실리카가 같이 첨가되어있어 작품 표면에서 난반사를 일으켜 무광택 효과를 낸다. 바니시를 장시간 가만히 두면 용액과 첨가제의 층이 분리되기 때문에 사용 전 충분히 흔들어주어야 한다. 과도한 양을 사용하여 바니시층이 두꺼워지면 표면이 광택이 나거나 뿌옇게 보일 수 있다. 시편 제작에 사용된 바니시는 아래와 같다.

Table 2. Information of Matt UV varnish samples

No.	Sample	Maker
B-1	Artists'MATT Varnish	W&N
B-2	Matt Acrylic picture Varnish (Anti-UV)	Lefranc

2.1.3. 글로스 바니시(Gloss varnish)

글로스 바니시는 작품을 보호하고 특히 표면의 광택을 증가시킬 목적으로 사용된다. 너무 많은 양을 한꺼번에 사용하게 되면 바니시 속의 휘발성유로 인하여 화면이 손상되므로 얇게 칠하여 말린 다음 다시 뿌리거나 붓으로 칠하는 것이 바람직하다 (Sim, 2000). 아크릴 수지나 케톤 수지가 주로 사용되며 자외선 차단제가 추가로 첨가되기도 한다. 시편 제작에 사용된 바니시는 아래와 같다.

Table 3. Information of Gloss varnish samples

No.	Sample	Maker
C-1	Gloss Varnish	Daler Roney
C-2	Artists'Gloss Varnish	W&N
C-3	Gloss Picture Varnish	Lefranc
C-4	Gloss Picture Varnish	Maimeri
C-5	Gloss Varnish	Alpha
C-6	Gloss Varnish	Shield

2.1.4. 리터칭 바니시(Retouching Varnish)

무색투명하며 사틴 바니시와 비슷한 정도의 광택을 보이는 리터칭 바니시는 작품 보호 목적 뿐만 아니라 작품 제작 도중이나 복원 작업 중에도 사용된다. 채색층의 광택이 고르지 않을 경우에 리터칭 바니시를 바르면 물감이 마르기 전의 젖은 색 상태와 같게 보여준다. 도포 후 건조되는 속도도 다른 바니시에 비해 빠르다. 이러한 특징 때문에 작품을 복원하는 과정, 특히 색맞춤 과정에서 많이 사용된다. 또한 오랜 시간 채색층이 건조된 작품 위에 다시 물감으로 덧칠을 할 때에 물감이 잘 칠해지지 않는 현상이 일어난다. 물감이 가지고 있는 고착력이 노화되는 과정에서 감소했기

때문인데, 리터칭 바니시를 사용하면 물감의 고착력이 높아져서 덧칠이 쉬워진다 (Shinhanart, 1999). 다른 바니시들에 비해 수지의 양이 적고 용해유의 양이 많아 과도한 양을 사용할 경우에는 용해유로 인해 채색층이 산화될 위험이 있다. 시편 제작에 사용된 바니시는 아래와 같다.

Table 4. Information of Retouching varnish samples

No.	Sample	Maker
D-1	Retouching Varnish	Daler Roney
D-2	Artists'Retouch Varnish	W&N
D-3	J.G Vibert Retouching Varnish	Lefranc
D-4	Retouching Varnish	Maimeri
D-5	Retouching Varnish	Pebeo

2.2. 분석방법

2.2.1. 인공 가속 노화

Drying oven(HANBAEK Scientific Technology)을 사용하여 인공적으로 시편의 노화를 촉진시키고자 하였다. 인공 가속 노화 실험은 인공적으로 온도를 조절시켜 시편의 물성변화를 일으킴으로써, 단기간의 실험으로 몇 개월 또는 몇 년에 걸친 노화를 재현할 수 있다. 실험 온도는 $105 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 로 설정하였으며 총 실험 시간은 192 시간이다.

실험 전·후 시편의 변화를 알아보기 위해 분광 분석기(Elrepho type spectrophotometer, L&W)를 이용하여 yellowness를 측정하였다. 인공 가속 노화 실험 중 24시간마다 분광 분석기를 사용하여 측정하였다. 시편의 다른 지점을 5회 측정하여 평균을 도출한 후 평균값을 구하였다.

2.2.2. 노화된 바니시 제거

앞선 인공 가속 노화 실험으로 인한 시편의 바니시 노화를 관찰한 뒤 유기용제를 사용하여 제거하고자 하였다. 연구에 사용된 용제는 화이트 스피릿(white spirit, Bartoline), 테라핀(turpentine, LEFRANC), 자일렌(xylene, DAEJUNG), 납사

(naphtha, DAEJUNG)이다. 용제 선정은 벨기에 연방의 왕립 문화재 연구소에서 출판한 Liliane Masschelein-Kleiner의 책 ‘Les solvants’를 참고하였다. (Masschelein-Kleiner, 1991) 테라핀은 여러 제조사에서 바니시 제거 방안으로 제시하고 있고, 납사는 회화 복원에서 표면 클리닝 및 접착제 제거, 리터칭 바니시 제거 등에 자주 사용되는 용제이다. 바니시 제거는 면봉이나 막대의 끝에 탈지면을 말아 용제를 충분히 적셔 표면 위에서 한 번씩 굴리는 것이 가장 많이 이용되는 방법이다. 본 연구에서는 3회 실시하였다.

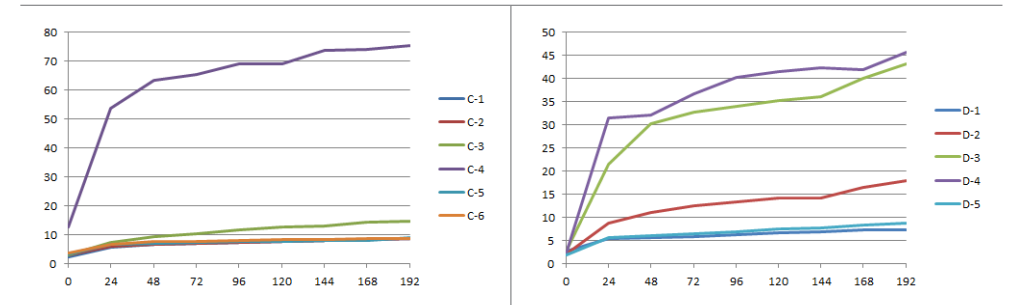
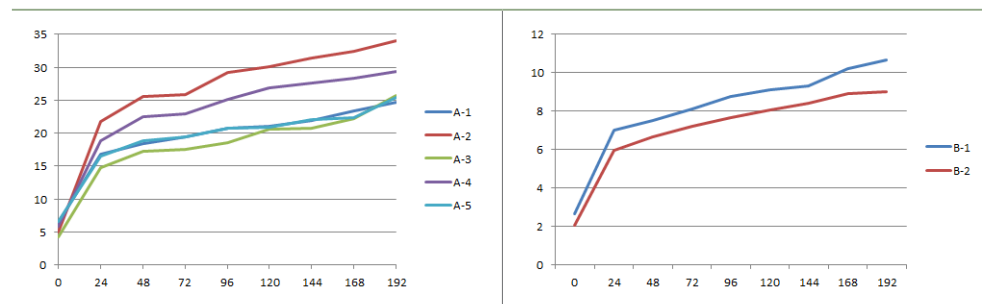
바니시 제거 실험 전·후 시편의 광학적 특성 변화를 알아보기 위해 분광 분석기 (Elrepho type spectrophotometr, L&W)를 이용하여 yellowness를 측정하였다. 시편의 다른 지점을 5회 측정하여 평균값을 구해 비교하였다. 또한 시편의 표면 변화를 관찰하기 위해 디지털 현미경(HS-300U, Hi-SCOPE)으로 100배 확대하여 촬영, 관찰 하였다.

3. 연구결과

3.1. 인공 가속 노화 결과

인공 가속 노화 실험을 진행한 시편의 바탕색은 블랙과 화이트 두 가지다. 그러나 분광 분석기를 통한 블랙 시편의 yellowness의 변화가 관찰되지 않아 아래의 Table에서 제외하였다. 제품명과 제조사 대신 Table 1. ~ 4.에 작성한 번호를 사용하였다.

Table 5. Effect of accelerated aging on yellowness of varnish (White sample)

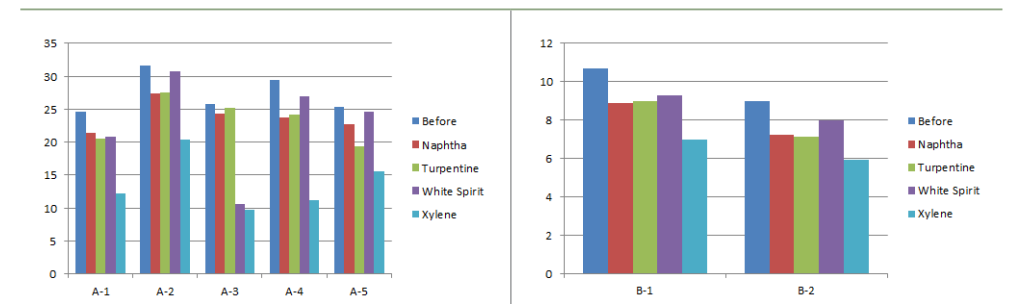


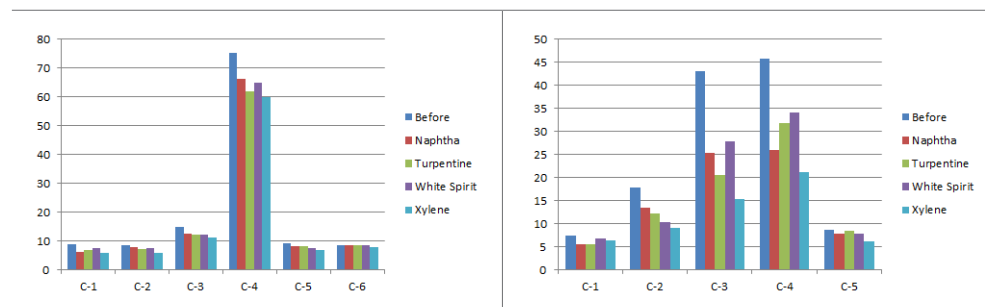
3.2. 노화된 바니시 제거 결과

3.2.1 광학적 특성 비교

바니시 제거에 사용된 용제에 따른 yellowness의 차이를 관찰하였다. 시편은 192 시간의 인공 가속 노화 실험에 사용되었던 것을 사용하였다. 탈지면에 용제를 적셔 3회 굴려 제거를 실험을 진행하였다. 용제의 종류에 관계없이 전체 시편들이 실험 전보다 실험 후의 yellowness가 감소하는 양상을 보였다. 그러나 분광 분석기를 통한 블랙 시편의 yellowness의 변화가 크지 않아 아래의 Table에서 제외하였다. 대부분의 바니시가 자일렌을 사용하였을 때 큰 변화를 나타냈다.

Table 6. Yellowness of White sample after removal varnish with each solvent





3.2.2 표면 관찰

바니시 제거에 사용된 용제에 따른 제거 후 잔여물 확인 및 손상 여부를 관찰하고자 하였다. 바니시 제거 과정에서 용제에 부푼 바니시가 탈지면에 닳여나가지 않고 표면 위에 남은 것으로 사료되는 시편이 일부 관찰되었다. 표면 위에 남은 바니시의 모습은 대체로 광택이 줄어들고 균열이 가있으며 용제에 부푼 바니시가 불투명하게 변하는 양상을 보인다.

대부분의 제조사에서 바니시 제거 용제로 추천하는 테라핀은 자일렌보다는 제거 정도가 적어보이지만 바니시의 균열이나 광택도 감소가 관찰되었다. 전반적으로 자일렌을 사용하였을 때 바니시의 제거 정도가 가장 높으나, 채색층의 손상이 의심되는 시편이 다수 보였다.

Table 7. ~ 8.는 다마르 바니시의 실험 전·후의 변화를 나타냈다. 앞선 실험에서 A-4 Black을 제외한 나머지 시편이 자일렌을 사용했을 때 큰 변화를 보였었는데, 디지털 현미경으로 관찰하였을 때는 납사를 사용했을 때와 자일렌을 사용했을 때가 큰 차이를 보이지 않았다.

Table 9. ~ 10.은 매트 바니시의 실험 전·후의 변화를 나타냈다. 자일렌을 사용하였을 때 도막의 균열이 비교적 선명하고 백색이 관찰되는 것으로 보아 채색층이 손상된 것으로 사료된다. 자일렌을 제외한 용제를 사용한 시편에서는 약간의 광택이 관찰되었는데, 매트 바니시가 제거되면서 채색층이 본래 가지고 있던 광택이 드러난 것으로 추측된다.

Table 11. ~ 12.는 글로스 바니시의 실험 전·후의 변화를 나타냈다. Yellowiness

가 가장 높았던 C-4의 경우 육안으로 관찰하였을 때는 큰 차이를 확인할 수 없었으나, 디지털 현미경을 통해 관찰한 결과 바니시가 부풀고 균열이 생겨있음을 관찰할 수 있었다. C-5, C-6는 제거 실험 전·후가 큰 차이를 보이지 않았는데, 이는 해당 바니시에 사용된 수지가 아크릴 수지가 사용되어 다른 수지에 비해 내약품성이 높기 때문인 것으로 사료된다.

Table 13. ~ 14.는 리터칭 바니시의 실험 전·후의 변화를 나타냈다. 리터칭 바니시는 복원에 있어서 다방면으로 사용하는 만큼 대부분의 용제에 반응하였다.

Table 7. Surface of specimen A-1 to A-5 Black after removing varnish on each solvent (accelerated 192 hours, tried 3 times)

No.	Before	White Spirit	Naphtha	Turpentine	Xylene
A-1					
A-2					
A-3					
A-4					
A-5					

Table 8. Surface of specimen A-1 to A-5 White after removing varnish on each solvent (accelerated 192 hours, tried 3 times)

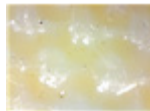
No.	Before	White Spirit	Naphtha	Turpentine	Xylene
A-1					
A-2					
A-3					
A-4					
A-5					

Table 9. Surface of specimen B-1 to B-2 White after removing varnish on each solvent (accelerated 192 hours, tried 3 times)

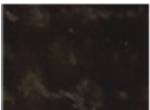
No.	Before	White Spirit	Naphtha	Turpentine	Xylene
B-1					
B-2					

Table 10. Surface of specimen B-1 to B-2 White after removing varnish on each solvent (accelerated 192 hours, tried 3 times)

No.	Before	White Spirit	Naphtha	Turpentine	Xylene
B-1					
B-2					

Table 11. Surface of specimen C-1 to C-6 Black after removing varnish on each solvent (accelerated 192 hours, tried 3 times)

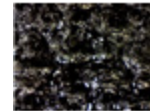
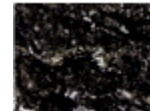
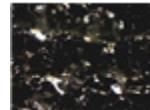
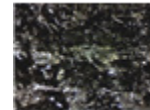
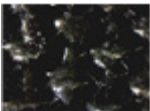
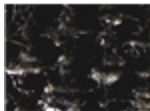
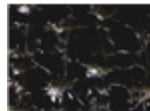
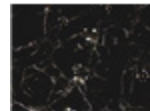
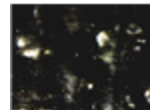
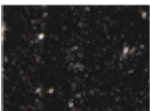
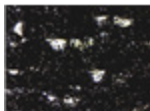
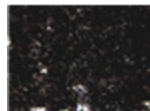
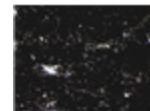
No.	Before	White Spirit	Naphtha	Turpentine	Xylene
C-1					
C-2					
C-3					
C-4					
C-5					
C-6					

Table 12, Surface of specimen C-1 to C-6 White after removing varnish on each solvent (accelerated 192 hours, tried 3 times)

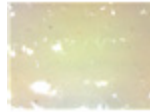
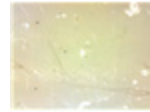
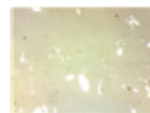
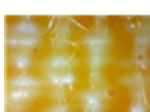
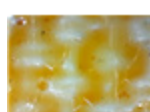
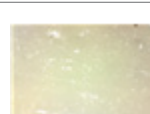
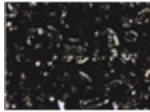
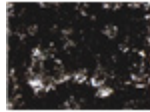
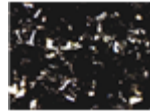
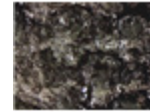
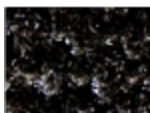
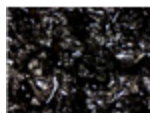
No.	Before	White Spirit	Naphtha	Turpentine	Xylene
C-1					
C-2					
C-3					
C-4					
C-5					
C-6					

Table 13, Surface of specimen D-1 to D-5 Black after removing varnish on each solvent (accelerated 192 hours, tried 3 times)

No.	Before	White Spirit	Naphtha	Turpentine	Xylene
D-1					
D-2					

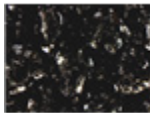
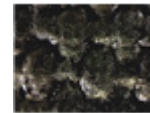
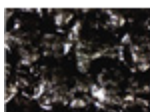
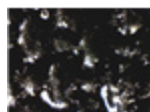
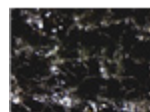
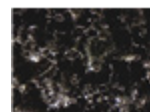
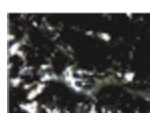
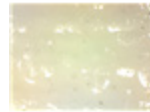
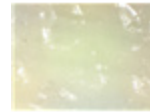
D-3					
D-4					
D-5					

Table 14, Surface of specimen D-1 to D-5 White after removing varnish on each solvent (accelerated 192 hours, tried 3 times)

No.	Before	White Spirit	Naphtha	Turpentine	Xylene
D-1					
D-2					
D-3					
D-4					
D-5					

4. 결론

본 연구에서는 유화 작품에 사용되는 바니시의 역할과 보존성에 대해 알아보고자 하였다. 바니시 역할과 특징 등에 대한 연구 및 바니시의 인공 가속 노화 실험과 노화된 바니시 제거 실험을 실시하였다. 4 종류의 바니시를 사용하여 시편을 제작하였다. 바니시의 노화에 따른 변화와 노화된 바니시 제거를 진행함으로써 바니시의 가역성 여부와 제거에 사용되는 용제에 따른 손상 여부를 알아보고자 하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

작품 제작에 사용하고자 하며 바니시의 황변을 유도한 경우가 아니라면, 노화 24시간부터 모든 시편에서 상당한 정도의 색차와 황변이 관찰된 실험에 사용된 모든 다마르 바니시의 사용은 적절하지 않다고 사료된다. 매트 바니시의 경우 노화 24시간부터 모든 시편에서 황변이 확인되었으나, 작품 제작에 사용해도 바니시의 황변으로 인한 악영향은 적을 것이라고 사료된다. 글로스 바니시의 경우 Maimeri사와 Lefranc사의 바니시를 제외한 모든 바니시의 사용에 문제가 없다고 사료된다. 리터칭 바니시의 경우 Daler Rowney사와 Pebeo사의 바니시만 사용을 권장한다. Winsor&Newton사의 바니시는 Lefranc사와 Maimeri사의 바니시보다는 덜하지만 황변이 육안으로 관찰되었다.

보존 목적으로 사용하고자 할 때, 자일렌을 제외하고 큰 변화가 관찰되지 않은 다마르 바니시의 사용은 적절하지 않다고 사료된다. 매트 자외선 차단 바니시의 경우 모든 용제에 용해되는 모습이 보였으나, 채색층의 손상이 관찰되었다. 특히 자일렌의 경우 균열이 생기면서 바탕층이 드러난 모습을 확인하였으며, 바니시를 제거할 때 용제 사용에 주의가 필요하다. 글로스 바니시의 경우 Maimeri사의 바니시는 황변이 심하고 자일렌을 사용했을 때만 약간의 균열과 바니시가 부풀 모습이 관찰되었으나 제거로 이어지지 않았다. 제조사에서는 해당 바니시의 경우 채색층의 손상이 우려되며 제거 가능한 용제가 없을 것 같으나 차선택으로 테라핀을 추천하였다. 그러나 테라핀을 사용한 실험 전·후의 차이가 크지 않았다. Alpha사와 Shield사의 글로시 바니시의 경우 황변은 적었으나 가역성이 낮아 보존 목적의 사용은 적절하지 않다고 사료된다. 리터칭 바니시의 경우 Daler Rowney사와 Pebeo사의 바니시가 황변은 적으나 가역성이 낮다고 판단된다. Maimeri사의 바니시는 심각한 정도의 황변을 보였으며, 자일렌을 사용했을 때만 변화를 보였다. 그러나 채색층 손상이 우려되며 바니시를 제거할 때 용제 사용에 주의가 필요하다.

REFERENCES

- Kim MoonJung, 2005,, A methodological research on cleaning of oil painting surfaces and a case study of cleaning upon removed subjects : Focused on varnish removal, A master's thesis of chung-Ang University, p.84.
- Sim SangChul, 2000, Art Material and Expression, Mijinsa p.163.
- Shinhanart, 1999, The science of paint, Yekyong Ppublishing Co, p.89.
- Liliane Masschelein-Kleiner, 1991, Les solvants, IRPA/KIK, p.112.

국립현대미술관 보존과학 연구지

미술작품의 보존 6

Conservation of Art

발행일 2020년 3월 31일

발행처 국립현대미술관

발행인 윤범모

총괄 윤양수

기획 임성진

진행 김영석, 조인애

편집·디자인 한국장애인문화콘텐츠협회

국립현대미술관 청주

(28501) 충북 청주시 청원구 상당로 314

전화 : 043-261-1400

* 이책에 실린 내용은 필자 및 국립현대미술관의 동의 없이
무단 전재할 수 없습니다.

발간등록번호 11-1371033-000007-10

ISSN 2288-7539