

열분해/GC/MS와 IR을 이용한 사찰 벽화 시편 교착제 분석

박중서¹ | 이정원*

국립문화재연구소 문화재보존과학센터, *(전)국립문화재연구소 보존과학연구실

Analysis of Binding Media Used in Mural Painting of Temple Wall by Pyrolysis/GC/MS and IR

Jongseo Park¹ | Jeong Won Lee*

Cultural Heritage Conservation Science Center, National Research Institute of Cultural Heritage,
Daejeon 34122, Korea

*Conservation Science Division, National Research Institute of Cultural Heritage,
Daejeon 34122, Korea (previous address)

¹Corresponding Author: jongseo71@korea.kr, +82-42-860-9371

초록 전남 진도군 소재 사찰의 보수 공사 중 벽화가 발견되어 제작기법 파악을 위해 교착제로 사용된 물질을 확인하고자 하였다. 이에 해당 벽화 시편에 대해 열분해/GC/MS와 IR 분석을 실시하였으며, 열분해/GC/MS분석은 직접 열분해와 온라인 메틸화법을 도입하였다. IR 분석에서 아교, 옷, 황칠 등 전통 교착제와 초산아크릴계 수지의 스펙트럼을 벽화시편과 비교했을 때 유사하지 않았으며, 건성유인 아마인유와 비교했을 때 유사도가 낮았다. 벽화시편의 열분해/GC/MS 분석 결과를 옷, 황칠, 아교, 초산아크릴수지와 비교했을 때 이들 물질이 아닌 것으로 나타났다. 한편, 벽화시편에서 팔미트산, 옥타데칸산, nonanedioic acid, 옥타데센산 등 건성유에 특징적인 물질이 검출되었고, 경화 건성유와 유사한 열분해/GC/MS 크로마토그램이 관찰되었다. 따라서, 벽화는 건성유를 교착제로 사용하여 제작된 것으로 판단되었다.

중심어: 벽화, 교착제, 열분해/GC/MS, 적외선 스펙트럼

ABSTRACT A mural was discovered in the Ssanggyesa temple located in Jindo island, during repair of the Daeungjeon Hall. A study was conducted to determine the binding medium used for preparing the mural. Pyrolysis/GC/MS and IR spectrometry were used to analyze a painting specimen. Direct approach and on-line methylation approach were attempted for the pyrolysis/GC/MS. In IR analysis, the spectra of the specimen were found to be different from those of Asian lacquer, yellow lacquer, animal glue, and acrylic emulsion resin. They were also not identical to the standard IR spectra of drying oils such as linseed oil. Pyrolysis/GC/MS results of the specimen were different from those of Asian lacquer, yellow lacquer, animal glue, and acrylic emulsion resin. In the mean time, palmitic acid, octadecanoic acid, nonanedioic acid, and octadecenoic acid, which are characteristic pyrolysis products of dried drying oil, were detected. In addition, the pyrolysis/GC/MS chromatograms of the specimen and dried drying oil were also very similar. Therefore, it was concluded that the painting was prepared using drying oil as a binding medium.

Key Words: Mural painting, Binding medium, Pyrolysis/GC/MS, IR spectrum

1. 서론

우리나라의 사찰벽화는 흙벽에 제작되었으며, 벽체를 조성함에 있어 흙반죽에 짚을 혼합하여 바르는 방식은 아주 오랜 전통을 가지고 있다. 사찰벽화 제작에 사용되는 재료는 크게 유기물과 무기물로 구분되며, 벽화의 각 층을 구성하는 재료들로 세분할 수 있다. 먼저 목재를 사용하여 조립한 중깃과 외가지가 벽의 골격이며, 진흙과 모래, 섬유보강제 그리고 흙반죽에 혼합되는 풀 등이 벽체의 구성요소이다. 채색층은 천연 안료와 매제로 이루어진다(Lee *et al.*, 2015). 여기서 매제(교착제, medium)는 안료의 고착이 가능하도록 하는 역할을 하며 단백질과 당류 성분을 가진 접착제가 많이 사용되는데, 아교, 어교가 대표적인 교착제이다.

하지만, 우리나라에서도 20세기 초에 서양화가 그려지기 시작하고 20세기 중반에 서양화를 대표하는 기법인 유화와 추상화 모더니즘 양식이 활발히 나타나게 되었다. 서양의 경우 16세기에 유화의 재료와 기법이 충분히 개발되었고 이탈리아 회화의 거장들이 발전시켜 17세기에는 보편적으로 사용되었다. 유화에는 건성유가 사용되는데, 아마인유(linseed oil), 양귀비유(poppy oil), 호두기름(walnut oil), 콩기름(soy bean oil), 들깨기름(perilla oil), 동유(tung oil), 해바라기씨유(sunflower seed oil), 대마씨유(hempseed oil) 등이 건성유이다(Mayer, 1991).

회화작품에서 수집된 회화재료의 시료를 화학적으로 분석하는 것은 작가가 사용한 회화기법을 평가하고 올바른 보존과 복원을 위해서 필요하다. 또한, 공급자, 페인트 형태, 화학조성, 열화과정 규명을 통해 화가에 의해 사용된 원래 페인트 물질을 조사하는 것은 화가의 기법을 더 잘 이해하고, 작품을 더 잘 보존하기 위한 매우 가치 있는 작업

이다. 아울러, 스튜디오 재료와 작품의 재료를 비교함으로써 연대와 진위를 추정하는데 이용할 수도 있다(Nasa *et al.*, 2015).

회화에서 교착제를 분석하는 방법은 IR(Casadio and Toniolo, 2001; Cappitelli and Koussiaki, 2006), GC/MS(Casoli *et al.*, 1996; Casadio *et al.*, 2004), 열분해/GC/MS(Chiavari and Prati, 2003; Sobeih *et al.*, 2008; Colombini and Modugno, 2009), Raman(Bitossi *et al.*, 2005; Vandenabeele *et al.*, 2007; Das and Agrawal, 2011), HPLC(Nasa *et al.*, 2015) 등이 사용되고 있다. 국내의 경우 김재 금산사 미륵전 벽화를 IR로 분석하여 접착제로써 cyanoacrylate와 Paraloid B72를 확인한 사례(Kang, 2010), FT-IR을 이용하여 조선시대 사찰벽화에 사용된 풀을 분석한 사례(Park, 2013)가 있다. 또한, 완주 위봉사 보광명전 백의관음벽화에서 IR을 이용하여 접착매질을 검출하려는 연구가 있었는데, 벽화의 채색층이 벽체 토양, 회반죽, 안료 등으로 이루어져 있어 FT-IR 피크가 서로 간섭현상을 나타내 접착매질에 대한 확인과 검증이 매우 어렵다고 밝히고 있다(Kim *et al.*, 2014).

여기서는 전남 진도군 소재 진도 쌍계사 대웅전(시도 유형문화재 제121호) 보수 공사 중 발견된 벽화에 대한 교착제 분석 결과를 정리하였다. 진도 쌍계사는 857년(통일신라) 도선국사가 창건하였으며, 1648년(인조26)에 중건되었고, 현존 건물로 대웅전, 명부전, 요사채, 시왕전 등이 있다. 쌍계사 대웅전은 1697년 건립되었고 대웅전의 단청은 6회의 개채가 있었을 것으로 추정되며, 내부단청의 벽체는 공사 당시 토육색으로 단색가칠되어 있었다. 내부 서측 벽 5개소 등에서 표하층 벽화가 육안으로 확인 가능하였다(Figure 1).

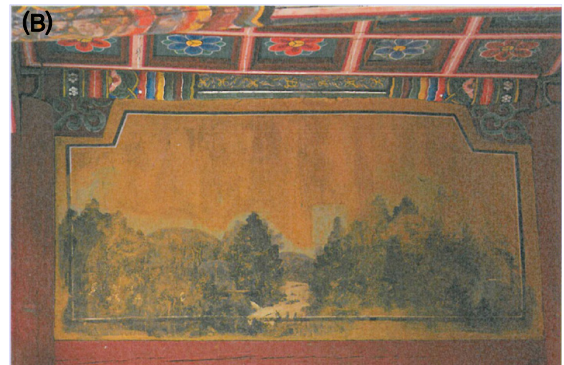


Figure 1. Pictures of the inside of Daeungjeon hall of Ssanggyesa temple (Jindo island). (A) Western wall, (B) Mural painting of upper middle part of the western wall.

과학적 조사는 주로 벽화 채색에 사용된 교착제의 성분을 파악하는 것이었다. 앞에서 살펴본 바와 같이 벽화 채색층의 교착제 성분을 파악하기 위해서 주로 IR방법이 사용되는데, 특징적인 흡수밴드의 존재 여부로 교착제의 성분을 비파괴적으로 추정할 수 있기 때문이다. 이와 함께 시편의 채취가 가능하여 파괴적인 분석이 가능할 경우 열분해/GC/MS분석도 중요한 분석 수단이 될 수 있다. 여기서는 IR과 열분해/GC/MS법을 도입하여 벽화에 사용된 교착제의 종류를 알고자 하였다. 우선, 옛날부터 교착제로 주로 쓰인 옷, 아교, 황칠 등의 표준품을 분석하여 벽화시료와 비교함으로써 벽화시료에 이들 전통재료가 쓰였는지 검토하였다. 또한, 벽화시료의 분석결과를 대표적인 건성유인 아마인유 표준품과 비교하여 건성유 사용여부를 확인하였으며, 이 때 신선한 건성유와 일정시간 경과한 건성유를 함께 분석하여 건성유가 경화되면서 나타나는 화학적 변화를 벽화시료 분석결과와 해석에 참고하였다. 마지막으로, 이들 교착제 분석결과로부터 진도 쌍계사 벽화의 제작기법에 따른 구분을 시도하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 재료

아교는 작은 덩어리 형태의 아교(Nakagawa 알아교, 0.20 mg)를, 옷은 원주산 생칠을 건조시킨 것(0.49 mg)을, 황칠은 완도산 황칠을 건조시킨 것(0.47 mg)을 사용하였으며, 초산아크릴 수지(대양화학 포리졸 506, 0.40 mg)는 상온 건조하여 시료로 사용하였다. 아마인유는 대정화금에서 구입하였으며, 굴절지수 1.478~1.485, 비중(15/15°C) 0.932~

0.936, 요오드값 178~195 값을 가진다. 건조 아마인유는 아마인유 2 ml를 직경 90 mm 사알레에 도포하여 RH 45%, 20°C에서 30일 동안 자연 건조시켜 준비하였다. 열분해시 on-line methylation에는 TMAH(tetramethylammonium hydroxide solution, 25 wt.% in water, Sigma-Aldrich) 5 ul를 사용하였다.

2.2. 시편 채취

시편은 진도쌍계사 대웅전 북측 벽화에서 청색, 녹색, 주황색 시편을, 서측벽화에서 청색, 적색 시편을 채취하였으며 채취한 위치는 다음과 같다(Figure 2).

2.3. 분석 방법

2.3.1. 열분해/GC/MS

열분해장치(pyrolyzer)는 PY-3030D(Frontier Lab, Japan)을, 가스크로마토그래프/질량분석기(GC/MS)는 7890A GC/5975C MSD(Agilent, USA)를 사용하였다. 일정량의 시료(약 0.5 mg)를 취하여 특별한 전처리 없이 열분해용 컵에 담은 후 미리 가열되어 있는 열분해장치 속에 투입하여 400°C와 500°C에서 0.2분간 열분해하였다. 열분해 산물은 GC/MS를 이용하여 온라인으로 분석하였으며, 분석 조건은 다음과 같다. 분석칼럼은 DB-1HT column(100% dimethylpolysiloxane, 30 m*0.25 mm id, 0.10 µm film thickness)을 사용하였고, 50°C에서 3분 유지 후 300°C까지 10°C/min의 속도로 승온한 후 10분간 유지하여 총 38분 동안 분석하였다. 이동상 기체는 헬륨(0.5 ml/min)을 사용하였고 검출은 질량분석기(MSD)를 사용하였으며, 데이터의

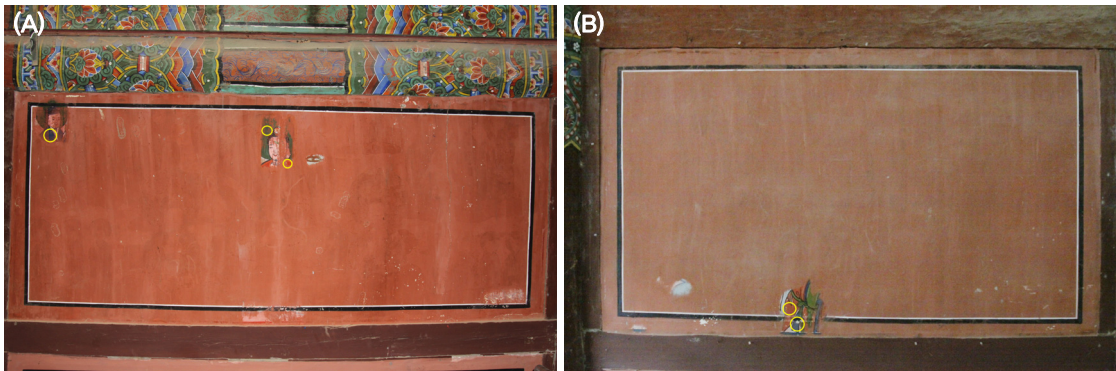


Figure 2. Sampling points of the mural painting. (A) Northern wall(blue, green, orange color from left to right), (B) Western wall(red, blue color from left to right).

획득과 해석은 ChemStation software(Agilent Technologies, USA)와 Wiley mass spectral library를 사용하여 이루어졌다.

2.3.2. FT-IR

시편과 비교시료(표준품)의 IR분석은 ATR법(attenuated total reflection)을 사용하였다. diamond crystal이 갖춰진 Nicolet iS5(Thermo Fisher Scientific, USA)을 사용하여 4000~550 cm^{-1} 범위에서 분해능 4 cm^{-1} 로 16회 스캔하여 측정하였다. 한편, 건조전후 아마인유의 IR분석은 IFS 66V/S & Hyperion 3000(Bruker optics, Germany)을 사용하여 KBr pellet법으로 분석하였다. 분해능은 4 cm^{-1} 로 4000~400 cm^{-1} 범위에서 64회 스캔하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 시료의 IR 분석

Figure 3에 서벽 및 북벽에서 채취한 시편의 IR스펙트럼을 나타냈다. 대체적으로 유사한 스펙트럼을 보이고 있어 이들 시편에 유사한 작용기를 갖는 유기물 또는 무기물이 포함되었음을 알 수 있다. 880 cm^{-1} 근처의 C=C-H bending, 1400 cm^{-1} 근처의 CH_2 and CH_3 bending, 1750

cm^{-1} 근처의 C=O, 2800~2900 cm^{-1} 근처의 CH_2 , 3400 cm^{-1} 근처의 OH 등이 공통적으로 관찰되는 peak이다. 특히, 1400 cm^{-1} 근처의 band는 무기안료인 lead white에서도 크게 관찰되는 흡수 peak여서 유기물 교착제로부터 기인하는 peak이 아닐 수도 있다. 또한, (A), (B), (D)의 경우 2100 cm^{-1} 근처에서 prussian blue(2072 cm^{-1})일 가능성이 있는 peak이 관찰되었다. 하지만, 벽화시편의 IR 스펙트럼만으로 특정 교착제 존재 여부를 확인하기는 어려웠다.

다음으로 벽화시편에 황칠, 옷, 아교와 같은 전통교착제, 그리고, 단청 현장에서 많이 사용되고 있는 건조 초산 아크릴 수지를 함유하고 있는지 알기 위해 이들 비교 표준품의 IR 스펙트럼과 서벽 적색시편의 IR 스펙트럼을 Figure 4에 나타냈다. (A), (B), (C), (D), (E)에서 2800~2900 cm^{-1} 의 CH_2 가 나타나고, (C)와 (E)에서 1545 cm^{-1} 에서 흡수대가 나타나는 등 일부 일치하는 peak이 있으나 (E)와 유사한 IR 패턴을 가지는 비교표준품은 없는 것으로 나타났다.

한편, 현대 유화에서 쓰이는 아마인유 가능성을 검토하기 위해 시편과 건조전 아마인유의 IR 스펙트럼을 비교하였다(Figure 5). 시편과 아마인유에서 3400, 2920, 2850, 1740, 980 cm^{-1} 부근에서 흡수 band가 관찰되고 있어 시편에 아마인유와 같은 건성유가 포함되어 있을 가능성이 있어 보인다. 하지만, 다양한 물질을 포함하는 시편에서 IR스

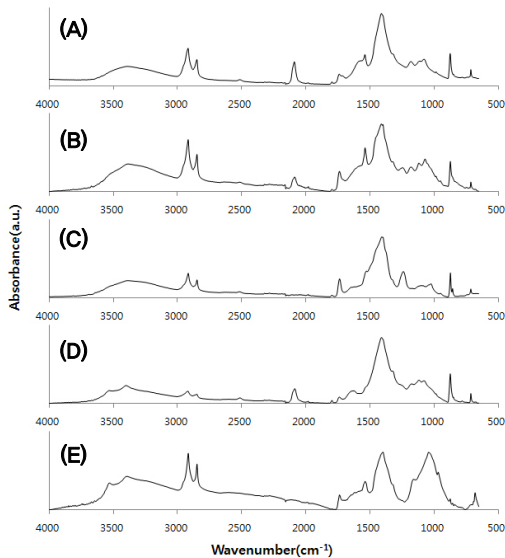


Figure 3. IR spectra of the specimens from western and northern wall. (A) Blue from northern wall, (B) Green from northern wall, (C) Orange from northern wall, (D) Blue from western wall, (E) Red from western wall.

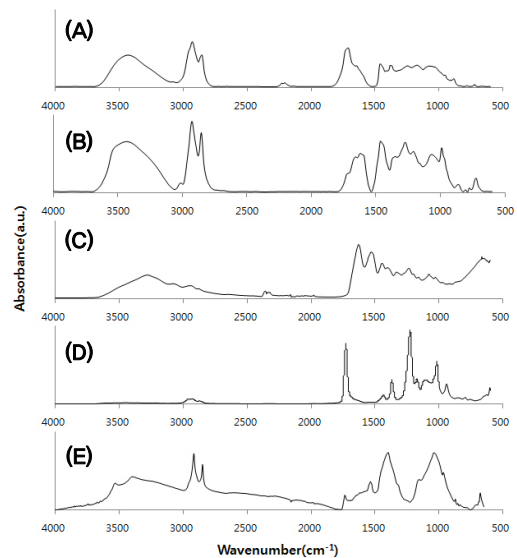


Figure 4. IR spectra of reference and paniting specimen. (A) Dried yellow lacquer, (B) Dried Asian lacquer, (C) Dried animal glue, (D) Dried acrylic emulsion, (E) Red specimen from western wall.

펙트럼만으로 특정물질 존재 여부를 확인하기는 매우 어렵다. 따라서, 구성물질에 대한 정보 획득이 가능한 열분해/GC/MS 분석법을 추가적으로 도입하였다.

3.2. 시편과 교착재료의 열분해/GC/MS 분석

3.2.1. 시편, 전통교착제, 초산아크릴 수지의 열분해/GC/MS 분석

벽화 시편과 전통교착제, 초산아크릴 수지의 열분해/GC/

MS크로마토그램을 Figure 6에 나타냈다. 열분해/GC/MS 분석은 시편을 가열하여 분해해 분석하는 방법으로 물질이 같을 경우 매우 유사한 열분해 크로마토그램 패턴을 보인다. 또한, 여러 물질이 섞여 있다 하더라도 해당 물질에서 분해되어 나오는 화합물이 검출되기 때문에 그 물질의 존재여부 확인도 가능하다. 그림에서 볼 수 있듯이 시편과 초산아크릴수지, 황칠, 아교, 옷은 크로마토그램이 상이하 다. 아울러, 동일한 시간대에 나타나는 peak들의 화합물을 비교했을 때에도 동일하지 않음을 확인할 수 있었다. 시편

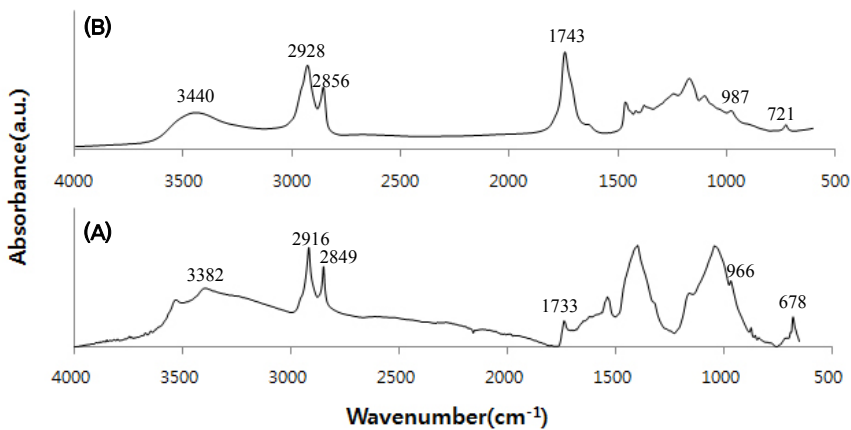


Figure 5. IR spectra of painting specimen and linseed oil. (A) Red specimen from western wall, (B) Fresh linseed oil.

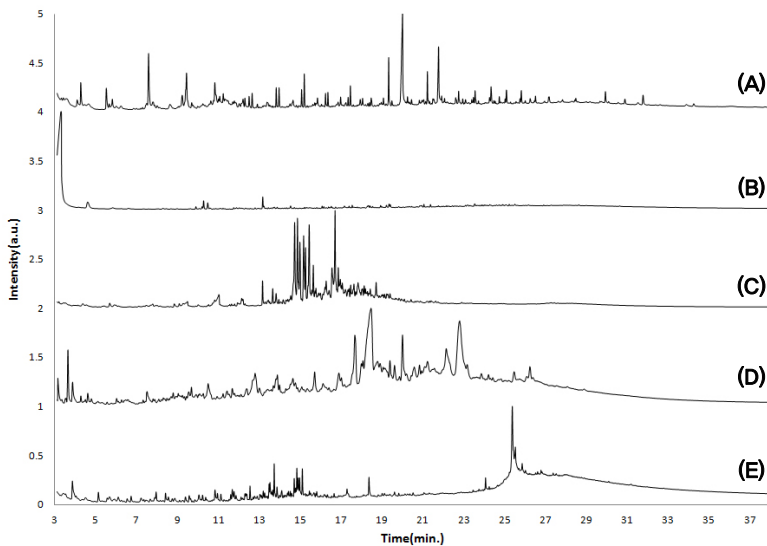


Figure 6. Py/GC/MS chromatograms of reference and painting specimen. (A) Red specimen from western wall, (B) Dried acrylic emulsion, (C) Dried yellow lacquer, (D) Dried animal glue, (E) Dried Asian lacquer.

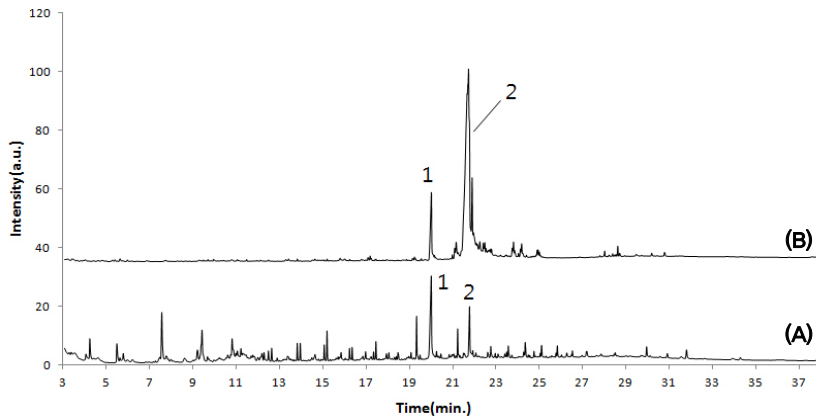


Figure 7. Py/GC/MS chromatograms of painting specimen and linseed oil. (A) Red specimen from western wall, (B) Fresh linseed oil.

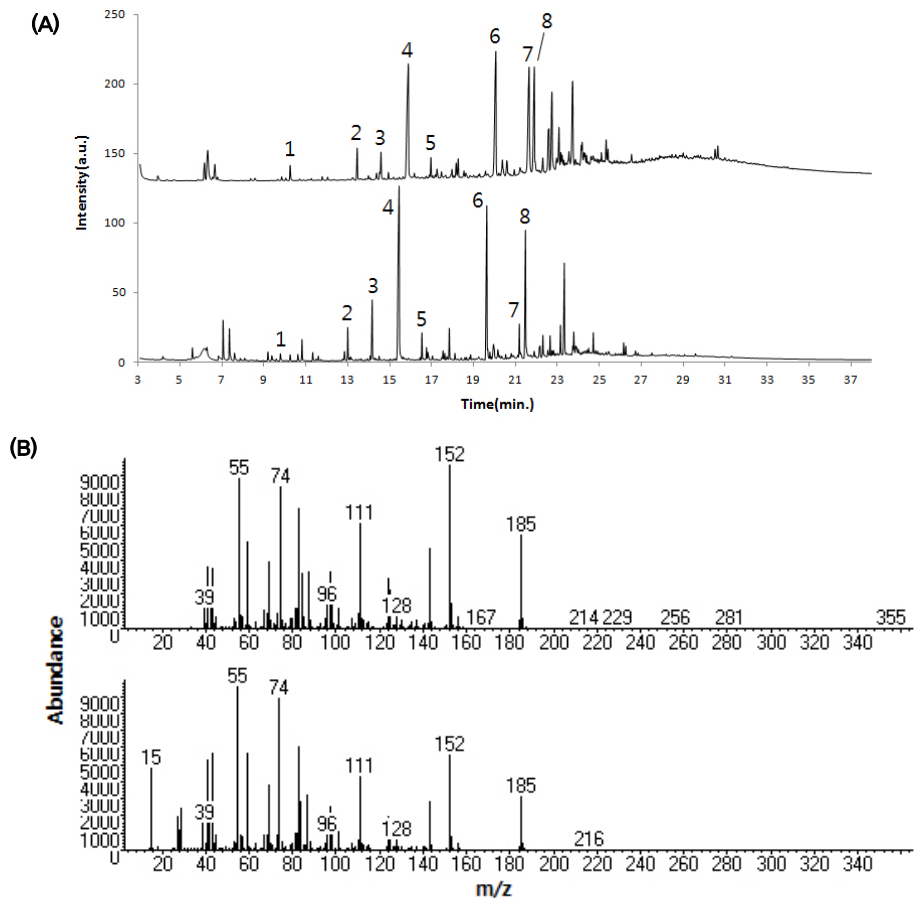


Figure 8. (A) Py/GC/MS chromatograms of red painting specimen from western wall(lower chromatogram) and dried linseed oil. The chromatograms were obtained after on-line methylation. (B) Mass spectrum of peak No. 4 in the chromatogram of red specimen(upper) and that of nonanedioic acid dimethyl ester in Wiley library.

에 이들 물질이 들어있지 않음을 알 수 있었고, 이 결과는 IR 분석결과와 일치한다.

3.2.2. 시편, 아마인유의 열분해/GC/MS 크로마토그램

Figure 7에 시편과 건조 전 아마인유의 열분해/GC/MS 크로마토그램을 나타냈다. 크로마토그램의 패턴을 비교했을 때 시편은 크로마토그램이 매우 복잡한 반면, 건조 전 아마인유는 20분과 22분 사이에 주요한 peak 3개가 나타나는 단순한 크로마토그램을 보이고 있다. 하지만, 20.01분과 21.78분에 검출되는 hexadecanoic acid와 octadecanoic acid는 건성유의 주요 성분으로 시편과 아마인유에서 공통적으로 관찰되고 있다. 건성유는 자동산화(autoxidation)를 거쳐 고분자화된다. 이 과정에서 새로운 결합이 생성되고 이렇게 고분자화된 건성유를 열분해하게 되면 건조 전과 다른 양상으로 열분해가 일어나 열분해/GC/MS 크로마토그램이 건조 전과 달라진다. 시편과 아마인유(건조 전)의 크로마토그램이 다를 수 있는 이유이다.

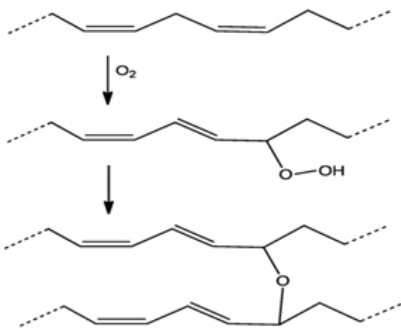


Figure 9. Polymerization process of drying oil(Wikimedia Foundation, 2017).

쌍계사의 외부단청은 1984년에 마지막으로 시행되었고, 내부단청과의 시간차는 2회 이상의 개체가 있을 것으로 보여 지고 있다(Cultural Heritage Administration of Korea, 2015). 따라서, 내부단청은 최소 30년 이상 경과했기 때문에 건성유로 채색을 했을 경우 고분자화가 됐을 것으로 생각된다. 이를 확인하기 위해 아마인유를 건조시킨 후 열분해/GC/MS 크로마토그램을 얻어 시편과 비교하였다(Figure 8).

Figure 8A에서 보듯이 시편과 건조 후 아마인유의 열분해/GC/MS 크로마토그램 패턴이 매우 유사함을 볼 수 있다. 또한, 검출되는 성분들도 octanoic acid methyl ester(1), 8-methoxy octanoic acid methyl ester(2), octanedioic acid dimethyl ester(3), nonanedioic acid dimethyl ester(4), decanedioic acid dimethyl ester(5), hexadecanoic acid methyl ester(6), 9-octadecenoic acid methyl ester(7), octadecanoic acid methyl ester(8) 등이 유사한 머무름 시간(retention time)에 공통적으로 검출되고 있다. 여기서 각각의 peak에 대한 Wiley library와의 스펙트럼 matching quality는 91 이상(8-methoxy octanoic acid methyl ester의 경우 83)으로 해당물질과의 일치도가 높았으며, 그 중 시편의 4번 peak 스펙트럼과 Wiley library의 nonanedioic acid dimethyl ester 스펙트럼을 Figure 8B에 비교하여 나타냈다. 한편, nonanedioic acid(azelaic acid, 4)는 건성유의 전형적인 열화산물로 알려져 있어(Wang *et al.*, 2015) 벽화시편에 건성유가 포함되어 있음을 뒷받침한다.

3.3. 건조에 따른 아마인유의 성분 변화

건성유는 시간의 경과와 함께 건조하면서 공기 중의 산

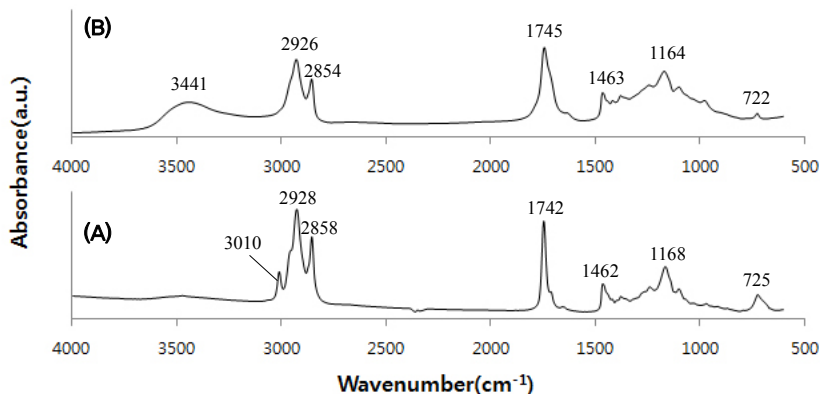


Figure 10. IR spectra of linseed oil before(A) and after(B) drying.

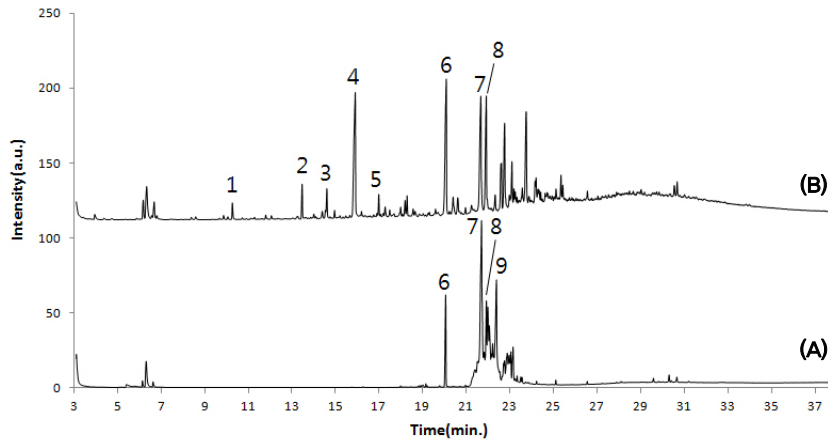


Figure 11. Py/GC/MS chromatograms of linseed oil before(A) and after(B) drying. The chromatograms were obtained after on-line methylation.

소와 반응하여 새로운 결합을 형성하여 고분자가 된다 (Figure 9).

이러한 건조에 따른 경화 현상은 우선 IR에서 그 변화를 관찰할 수 있다(Figure 10). 그림에서 band assign은 3441 (O-H stretch), 3010(=C-H stretch), 2926, 2854(-C-H stretch), 1745(C=O stretch), 1463(CH₂ and CH₃ bend), 1164(C-O stretch), 722 cm⁻¹(CH₂ and CH₃ bend 또는 C-H out of plane bend)로 할 수 있다.

Lazzari and Chiantore(1999)는 아마인유를 80°C에서 5~6시간 처리해서 지축건조 필름이 형성되었을 때 IR 스펙트럼에서 나타나는 변화를 다음과 같이 정리하였다.

- 고립 이중결합에 해당하는 3011, 1654 cm⁻¹ peak이 거의 완전히 사라지고 723 cm⁻¹에서의 흡수가 감소한다.
- hydroxyl group에서 기인하는 3430 cm⁻¹에 중심을 갖는 넓은 흡수대가 나타난다. 또한 공액 이중결합의 형성과 관련된 1633 cm⁻¹에서의 약한 흡수도 나타난다.
- carbonyl 흡수대가 넓어진다.
- 지문 영역(the region of skeletal vibration)에서 복잡한 변화가 나타난다.

이번 실험에서도 건조가 됨에 따라 3010 cm⁻¹(=C-H stretch)가 사라지고, 3441 cm⁻¹(O-H stretch)가 증가함을 볼 수 있다. 이는 이중결합에서 일어나는 autoxidation의 결과로 cross-linking이 일어나 이중결합에 해당하는 peak은 사라지고 산화의 결과로 ether linkage와 -OH가 증가하면서 이에 해당하는 peak이 증가하기 때문이다. 아울러, 1745 cm⁻¹의 carbonyl 흡수가 넓어졌고 722 cm⁻¹에서의 흡

수가 상대적으로 감소하는 것도 관찰되었다.

아마인유가 고분자로 뒀을 때 화학성분에 어떤 변화가 있는지 알기 위해 열분해/GC/MS분석을 실시했다(Figure 11).

건조 전에는 hexadecanoic acid methyl ester(6), 9-octadecenoic acid methyl ester(7), octadecanoic acid methyl ester(8), (E,E)-9,12-octadecadienoic acid methyl ester(9)가 주요 성분으로 검출되었다. 하지만, 건조 후에는 (E,E)-9,12-octadecadienoic acid methyl ester(9)이 사라진 반면, octanoic acid methyl ester(1), 8-methoxyoctanoic acid methyl ester(2), octanedioic acid dimethyl ester(3), nonanedioic acid dimethyl ester(4), decanedioic acid dimethyl ester(5) 등이 새롭게 검출되었다. 이들은 아마인유가 고분자화하면서 생겨난 새로운 결합에 기인하는 것으로서 오래된 변화 등에 건조유가 사용되었는지 확인하는데 중요한 지표가 된다.

4. 결론

진도 쌍계사 벽화시편을 IR과 열분해/GC/MS로 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. IR로부터 시편은 CH, OH, C=O 등 다양한 결합을 가진 화합물로 구성됨을 알 수 있었다. 하지만, 전통 고분자재료와 차이가 있었으며, 유화에 쓰이는 건성유와 동일한 흡수대를 보이기도 하였으나 대체적으로 유사하지 않은 패턴을 보였다. 이로부터, 건성유의 존재를 확인하기는 어려웠다.

2. 시편의 열분해/GC/MS 크로마토그램을 건조옷, 아교, 건조황칠, 건조초산아크릴수지와 비교했을 때 시편은 이들 물질이 아닌 것으로 판단되었다. 시편의 열분해/GC/MS 크로마토그램에서 hexadecanoic acid(palmitic acid), octadecanoic acid(stearic acid), nonanedioic acid 등 건성유에서 검출되는 성분들이 주요 성분으로 검출되고 크로마토그램이 건성유와 유사한 것으로 보아 시편은 건성유를 포함하는 것으로 판단할 수 있었다. 따라서, 벽화는 건성유를 이용하여 제작된 것으로 보인다.

3. 한편, 건성유의 경우 건조 전후에 IR과 열분해/GC/MS 크로마토그램의 차이가 있으므로 오래된 시편과의 비교를 위해서는 건조시킨 건성유 표준품을 사용해야 할 것으로 사료된다. 아울러, 미지의 고분자물질을 확인하는데 있어 비파괴적인 IR 분석만으로는 어려움이 있으므로 시편의 채취가 가능한 경우 파괴적이지만 식별력이 뛰어난 열분해/GC/MS 등의 추가적인 방법을 적용해야 할 것으로 보인다.

REFERENCES

- Bitossi, G., Giorgi, R., Mauro, M., Salvadori, B. and Dei, L., 2005, Spectroscopic techniques in cultural heritage conservation: a survey. *Applied Spectroscopy Reviews*, 40, 187-228.
- Cappitelli, F. and Koussiaki, F., 2006, THM-GCMS and FTIR for the investigation of paints in Picasso's Still Life, weeping woman and nude woman in a red armchair from the Tate collection, London. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 75, 200-204.
- Casoli, A., Musini, P.C., and Palla, G., 1996, Gas chromatographic-mass spectrometric approach to the problem of characterizing binding media in paintings. *Journal of Chromatography A*, 731, 237-246.
- Casadio, F., Gianguialano, I. and Pique, F., 2004, Organic materials in wall paintings: the historical and analytical literature. *Studies in Conservation*, 49(1), 63-80.
- Casadio, F. and Toniolo, L., 2001, The analysis of polychrome works of art: 40 years of infrared spectroscopic investigations. *Journal of Cultural Heritage*, 2, 71-78.
- Chiavari, G. and Prati, S., 2003, Analytical pyrolysis as diagnostic tool in the investigation of works of art. *Chromatographia*, 58, 543-554.
- Colombini, M.P. and Modugno, F., 2009, *Organic mass spectrometry in art and archaeology*. John Wiley & Sons, West Sussex, 303-326.
- Cultural Heritage Administration of Korea, 2015, Request on the assistance in the examination of Dancheong and mural painting at Ssanggye-sa temple in Jin-do island (an official document).
- Das, R.S. and Agrawal, Y.K., 2011, Raman spectroscopy: recent advancements, techniques and applications. *Vibrational Spectroscopy*, 57, 163-176.
- Kang, J.E., 2010, An estimation of the characteristics and the analytical component on the mural pigments of Mireukjeon Geumsansa Gimje, Korea. Master's thesis, Kongju National University, Gongju, 44-55. (in Korean with English abstract)
- Kim, Y.S., Lee, S.J., Choi, I.S., Jin, B.H. and Lee, H.S., 2014, Study on the material characteristic of Baekeuikwaneum (the White-robed Buddhist Goddess of Mercy) wall-painting of Bogwangmyungjun in Wibongsa, Wanju. *Journal of Conservation Science*, 30(1), 55-65. (in Korean with English abstract)
- Lazzari, M. and Chiantore, O., 1999, Drying and oxidative degradation of linseed oil. *Polymer Degradation and Stability*, 65, 303-313.
- Lee, H.S., Han, K.S. and Chung, Y.J. 2015, *Introduction to conservation of mural painting*. Jeongjin Publishing, Gwangju, 138.
- Mayer, R., 1991, *The artist's handbook*, Viking, 5th edition, New York.
- Nasa, J.L., Zanaboni, M., Uldanck, D., Degano, I., Modugno, F., Kutzke, H., Tveit, E.S., Topalova-Casadio, B. and Colombini, M.P., 2015, Novel application of liquid chromatography/mass spectrometry for the characterization of drying oils in art: Elucidation on the composition of original paint materials used by Edvard Munch (1863-1944), *Analytica Chimica Acta*, 896, 177-189.
- Park, J.Y., 2013, A scientific analysis of glue in Chosun murals of temples by using FT-IR. Master's thesis, Konkuk University, Seoul, 44-47. (in Korean with English abstract)

Sobeih, K.L., Baron, M. and Gonzalez-Rodriguez, J., 2008, Recent trends and developments in pyrolysis-gas chromatography. *Journal of Chromatography A*, 1186, 51-66.

Vandenabeele, P., Edwards, H.G.M. and Moens, L., 2007, A decade of Raman spectroscopy in art and archaeology. *Chemical Reviews*, 107, 675-686.

Wang, N., He, L., Zhao, X. and Simon, S., 2015, Comparative analysis of eastern and western drying-oil binding media used in polychromic artworks by pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry under the influence of pigments. *Microchemical Journal*, 123, 201-210.

Wikimedia Foundation, 2017, Drying oil. https://en.wikipedia.org/wiki/Drying_oil (July 21, 2017)
