Journal of RADIATION INDUSTRY
Vol. 18, No. 1, pp. 53-61, 2024
https://doi.org/10.23042/radin.2024.18.1.53

Original article

X-선 조사 후 고온 열화된 치자 염직물에서 추출한 색소 변이 연구

윤다영[1] · 박혜진[2] · 박세은[1] · 허선홍[1] · 임수빈[3] · 정용재[1,*]
[1]한국전통문화대학교 문화유산전문대학원 문화재수리기술학과
[2]한국전통문화대학교 문화유산예방보존연구소
[3]한국전통문화대학교 기술과학대학 문화재보존과학과

A Study on Dye Variation Extracted from Dyed Textile with Gardenia degraded at HIgh temperature after X-ray Irradiation

Da Young Youn[1], Hae Jin Park[2], Se Eun Park[1], Seon Hong Heo[1], Su Bin Lim[3], and Yong Jae Chung[1,*]
[1]Department of Heritage Conservation and Restoration, Graduate School of Cultural Heritage, Korea National University of Cultural Heritage, 367, Baekjemun-ro, Gyuam-myeon, Buyeo-gun, Chungcheongnam-do 33115, Republic of Korea
[2]Institute of Preventive Conservation for Cultural Heritage, Korea National University of Cultural Heritage, 367, Baekjemun-ro, Gyuam-myeon, Buyeo-gun, Chungcheongnam-do 33115, Republic of Korea
[3]Department of Conservation Science, University of Science and Technology, Korea National University of Cultural Heritage, Korea National University of Cultural Heritage, 367, Baekjemun-ro, Gyuam-myeon, Buyeo-gun, Chungcheongnam-do 33115, Republic of Korea

ABSTRACT This study explores the effects of X-ray irradiation for biological control and high-temperature degradation on dye stability in dyed textiles with Gardenia. To evaluate this study, optimal extraction solvents for these textiles were identified by comparing them with a crocin standard solution. Extraction using pyridine closely matched crocin. The study then assessed the stability of X-ray irradiation and high-temperature degradation on these textiles. Transparent yellow dyes were observed in all samples. Color differences were found to increase at higher irradiation doses and longer degradation periods. While UV spectroscopy spectra showed broadening and lowering trends with higher irradiation doses and longer degradation periods, suggesting a reduction in colorant transition, mass spectrometry revealed minimal chemical changes. In conclusion, both X-ray irradiation and high-temperature degradation induced spectral changes without complete dye decomposition. Major colorants were consistently detected.

Key words: Dyed textiles with Gardenia, Dye analysis, Extraction of dye, X-ray irradiation, High-temperature degradation

1. 서 론

예로부터 우리나라는 원하는 대상물에 색을 내기 위해 홍화, 쪽 등의 천연물에서 추출한 천연염료를 이용해왔다. 황색 계통으로 색을 낼 때는 치자(*Gardenia Jasminoides* Ellis)가 대표적으로 사용되었다. 치자는 꼭두서니과의 상록활엽관목으로 열매를 염재로 이용하며, 고문헌인 『임원경제지(林園經濟志)』, 『천공개물(天工開物)』 등에 염색법이 언급될 정도로 선조들이 즐겨 사용한 염료 중 하나이다[1].

염색의 대상물로는 섬유, 종이, 가죽 등이 있으며, 그중에서도 견(絹) 섬유가 높은 비율을 차지한다. 견 섬유는 누에가 뽑아낸 동물성 섬유로 세리신이 두 가닥의 피브로인을 둘러싸고 있는 형태이다. 세리신은 견섬유를 보호하는 기능이 있으나 뻣뻣하고 광택이 좋지 않아 세리신과 불순물을 정련하여 제거한 정련견으로 염색한 염직물이 직물 문화유산의 대부분을 차지하고 있다[2-4].

직물 문화유산은 유기재료라는 특성상 고온다습한 환경에서 곤충류와 미생물로 인해 변색이나 유실 등과 같은 생물학적 손상이 급속도로 발생할 수 있다[4]. 이를 방지하고자 최근 친환경적인 방법으로 방사선 조사 방제법이 활용되고 있다. ARC-nu-

ISSN 1976-2402 http://www.ksri.kr/
Copyright© 2024 by Korean Society of Radiation Industry
*Corresponding author: Yong Jae Chung
Tel: +82-41-830-7367, Fax: +82-41-830-4769, E-mail: iamchung@nuch.ac.kr
Received 15 March 2024 Revised 20 March 2024 Accepted 20 March 2024

cleart 연구소에서는 람세스 2세 미이라에 감마선을 조사하였으며, 이는 방사선을 이용한 문화유산 살충살균처리의 첫 시도로서 상징적인 사례이다. 그 외에도 튀니지의 National Centre for Nuclear Science and Technology에서는 관복에 감마선을 조사한 바 있다[5,6].

감마선은 방사선 중 매우 짧은 초단파장으로 투과력이 뛰어나고, 에너지 소비가 월등히 적어 문화유산 분야에서 주로 사용해왔다. 최근에는 기술 발전으로 인해 감마선과 유사하게 높은 에너지 효율을 가지면서도, 감마선과 달리 전원을 제어할 수 있는 X-선에 대한 활용도가 높아질 것으로 기대되고 있다[7].

문화유산에 X-선 적용을 위해서는 문화유산 내 손상을 방지하기 위해 재질 영향 평가가 요구된다. 특히 염직물은 정련견 직물에 천연염료가 결합된 복합적 형태로 염료, 직물에 관한 개별적인 영향 연구가 필요하다[8]. 선행연구에 따르면 직물이 높은 선량에서도 비교적 안정적이라는 연구 결과가 다수 존재한다[9-11]. Park et al.은 견직물을 0, 25, 50, 100 kGy로 방사선을 조사했으며, 폴리펩타이드 1차 구조 내 특이적인 변화가 거의 없어 견직물이 높은 흡수선량에서도 비교적 안정적이라고 보고하였다[4].

반면에 방사선 조사 시 직물 내 염료에 미치는 영향에 관한 연구는 미비한 실정이다. 천연 염료로 염색한 염직물은 염료별로 다른 발색단을 갖고 있어 염료에 따라 전처리 과정이 각기 다르기 때문이다[12]. 따라서 본 연구에서는 치자 염직물의 염료 성분을 분석하는 데 적합한 최적의 추출 조건을 찾고, X-선 조사 후 치자 염직물 내 염료의 변화를 확인하고자 한다. 또한, 고온 열화를 통해 장기 보관 시, X-선 조사가 치자 염직물 내 염료에 미치는 영향 평가를 수행하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구재료

치자의 주염료 성분은 카로티노이드(carotinoid)의 일종으로 크로세틴(crocetin)의 배당체인 크로신(crocin)이다(Fig. 1). 크로신은 수용성 염료로 매염제 없이도 염색이 가능하여 본 연구에서는 치자만을 이용하여 염색한 치자 염직물을 사용하였다[1]. 이후 본 연구에서는 황색계열 중 치자 염직물에서 추출한 염료 추출물을 연구대상으로 선정하였다.

2.2. 염료 추출

염료를 추출하는데 적합한 조건을 확인하고자 선행연구를 참고하여 총 4가지의 조건을 선정하였다. 사용한 4가지의 추출 조건은 주로 사용된 용제와 동일하게 명명하였다.

2.2.1. 피리딘(Pyridine)

피리딘, 증류수, 0.50 M 옥살산이 9:9:2의 부피비로 혼합된

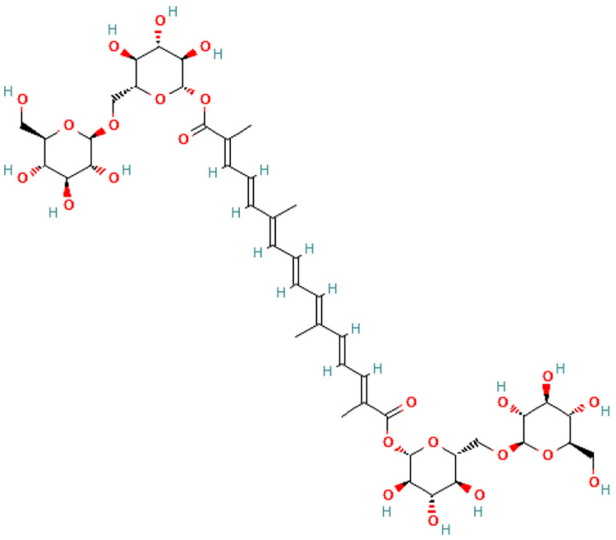

Fig. 1. Crocin (https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov).

4.00 mL 용액에 한 올씩 분리하여 0.50 cm로 자른 치자 염직물 20.00±0.01 mg와 혼합시킨 뒤, 100°C에서 15분간 가열하여 색소를 추출하였다[13].

2.2.2. 메탄올(Methanol)

메탄올, 6.00 N 염화수소, 증류수가 1:1:2의 부피로 혼합된 2.00 mL 용액에 치자 염직물 20.00±0.01 mg와 혼합시킨 뒤, 100°C에서 15분간 가열하여 색소를 추출하였다[14].

2.2.3. 아세톤(Acetone)

아세톤, 메탄올, 0.21 M 옥살산이 30:30:40:1로 혼합된 8.08 mL의 용액에 치자 염직물 20.00±0.01 mg와 혼합시킨 뒤, 60°C에서 30분간 가열하여 색소를 추출하였다[15].

2.2.4. 염화수소(HCl)

37% HCl, 증류수, 메탄올이 2:2:1로 혼합된 8.00 mL의 용액에 치자 염직물 20.00±0.01 mg와 혼합시킨 뒤, 100°C에서 15분간 가열하여 색소를 추출하였다[12].

추출된 용매는 질소 가스로 완전히 증발시켰다. 그 후 잔여물을 메탄올 2.00 mL에 용해시킨 후, 실린지 필터(0.45 mm, PTFE-H filter)로 여과하였다. 대조군으로는 치자 표준물질인 crocin (PhyotoLab, DEU)을 메탄올과 증류수(1:1, v:v)로 혼합한 용액에 50°C에서 180분간 추출한 후, 실린지 필터에 여과하였다(Fig. 2).

2.3. X-선 조사 및 고온 열화

생물방제를 위한 방사선 조사 시 흡수선량이 최대 2 kGy일 때는 곤충이, 최대 10 kGy에서는 곰팡이가 사멸된다는 선행연구

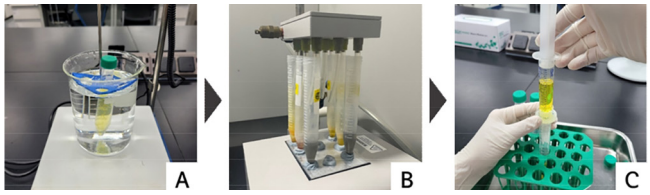

Fig. 2. Extraction process from dyed textiles: (A) Dyeing extraction, (B) Evaporation and (C) Filtering.

가 있다[9]. 따라서 본 연구에서는 곤충과 곰팡이가 사멸될 수 있는 최대 흡수선량인 2 kGy와 10 kGy에서 치자 염직물 내 염료에 미치는 영향을 확인하였다.

X-선 조사는 한국원자력연구원 첨단방사선연구소에서 이루어졌으며 10 MeV 전자가속기(Max. 3 mA, 30 kW)에 X-ray converter를 장착하여 이용하였다. 목표 흡수선량은 2, 10 kGy로 설정하였다.

시편은 X-선 조사 후 고온 열화를 진행하였다. 고온 열화는 열풍건조기(SH-D0-550FG, 삼명에너지, KOR)를 사용하여 80°C로 0주, 2주(14일, 336시간), 4주(28일, 672시간) 동안 진행하였다.

2.4. 평가 방법

2.4.1. 색도 분석

색도 분석은 분광측색계(Colormate, Sciono, KOR)를 이용하여 색도를 측정하였다. 측정 조건은 투과모드로 D65 광원, 관찰 각도 10°, SCI 모드로 측정하였다. 측정값은 명도지수 L*, 색좌표 지수 a*, b*값으로 나타내었다. 시료가 액체 상태이므로 장비에 투과용 셀 홀더를 장착한 후, 플라스틱 셀에 피펫을 사용하여 염료 추출물을 1.5 mL씩 담아 5회 측정하여 평균값을 계산하였다.

2.4.2. 자외선-가시광선 분광 분석

염료 추출물별 분광학적 특성을 평가하기 위해 자외-가시광선 분광분석기(8453-UV-Vis, Agilent Technologies, USA)를 사용하였다. 쿼츠 셀에 0.70 mL의 염료 추출물을 담아 5회 반복 측정하였고, 300 nm에서 700 nm 사이에서의 분광곡선을 구하였다.

2.4.3. 액체 크로마토그래피-질량 분석

추출물의 화학적 성분을 확인하기 위하여 액체 크로마토그래피(Ultimate 3000 RS system, Tehrmo fisher Inc., USA) 및 질량분석기(LTQ, Thermo fisther Scientic Inc., USA)로 분석하였다. 액체 크로마토그래피 및 질량분석(Liquid Chromatography-Mass Spectrometry, LC-MS)의 세부조건은 Table 1과 같다.

3. 연구 결과

3.1. 염료 추출 방법 별 비교

3.1.1. 색도 분석

대조군과 피리딘, 메탄올 및 아세톤 추출물은 투명한 황색으로 관찰되었다. 메탄올 추출물이 가장 옅은 황색으로 나타났으며 다른 추출물들의 경우 차이를 확인하기 어려웠다. 염화수소 추출물은 투명한 회색으로 전혀 다른 색상을 띠었다(Fig. 3).

Table 2는 추출한 염료의 색 지수를 나타낸 것이다. 대조군, 피리딘, 아세톤 추출물의 b*값이 60.64 이상으로 비교적 강한 노란색이었으며, a*값은 –9.05 이하로 나타나 약한 녹색을 띠고 있음을 확인하였다. 메탄올 추출물의 경우, b*값은 25.03, a*값은 –6.41로 다른 추출물에 비해 상대적으로 약한 노란색으로 나타났다. 염화수소 추출물의 경우, L*값이 73.92로 다른 추출물에 비해 매우 낮았으며, a*값과 b*값이 –2.04와 4.84로 0에 가까워 무채색을 띠었다.

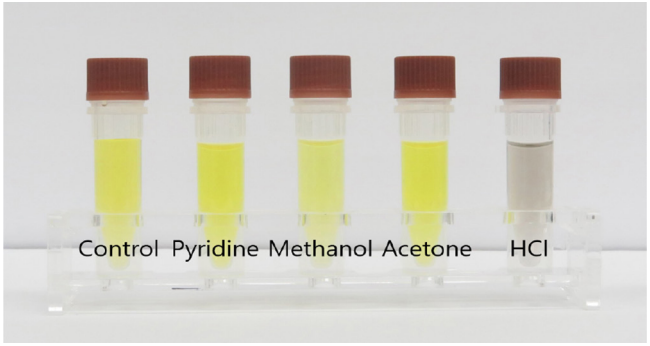

Fig. 3. Result of visual observation for different extraction solvents.

Table 1. Analytical conditions of LC-MS

LC	Column	Water cortecs C18 1.6 μm 2.1×150 mm	MS	Capillary temperature	300°C
	Run Time	45 min		Source voltage	3.5 kV (Positive/Negative)
	Injection Volume	10 mL		Ionization mode	Electrospray ionization (ESI)
	Oven temp	40°C		Scan mode	Full MS
	Mobile phase	A : water (0.1% Formic acid) B : Methanol (0.1% Formic acid)		Scan range	100~2,000
				Ce (normalized collion energy)	35 eV

Table 2. Result of color measurement and color difference with solvent extracts

Solvents	L*	a*	b*	ΔE^*
Control	96.99	-9.05	60.64	-
Pyridine	96.74	-11.40	62.22	2.85
Methanol	95.91	-6.41	25.03	35.72
Acetone	96.69	-11.18	62.78	3.05
HCl	73.92	-2.04	4.84	60.79

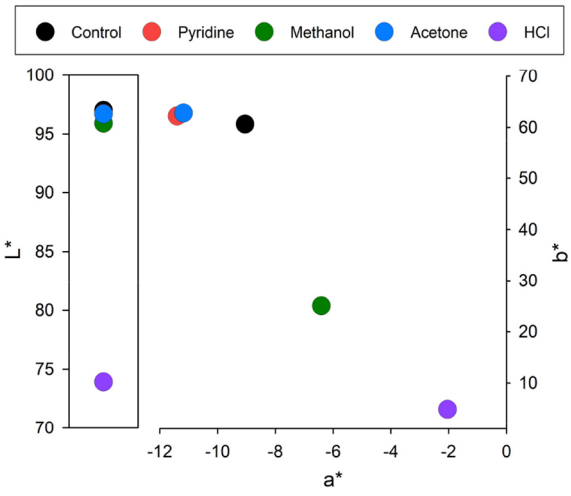

Fig. 4. Color information (L*, a*, b*) graph for different extraction solvents.

해당 색도 분석 결과에 따라 대조군을 기준으로 하여 색차(ΔE*)를 산출한 결과, 피리딘과 아세톤 추출물이 각각 2.85, 3.05로 대조군과 유사한 색으로 나타났다. 메탄올과 염화수소 추출물은 각각 35.72와 60.72로 다른 계통의 색상으로 확인되었다(Fig. 4, Table 2).

3.1.2. 자외선-가시광선 분광 분석

피리딘과 아세톤 추출물이 대조군과 동일하게 가시광 영역 내인 438, 462 nm에서 흡수피크가 확인되었다. 이 중에서 피리딘 추출물의 스펙트럼 피크가 가장 폭이 좁고 높게 나타났으며, 아세톤 추출물의 스펙트럼 피크가 그 다음으로 높게 나타났다. 메탄올 추출물의 경우 429, 455 nm에서 흡수피크가 검출되어 피크가 단파장으로 이동한 것을 확인하였다. 염화수소 추출물은 스펙트럼에서 흡수피크가 검출되지 않았다(Fig. 5).

3.1.3. 액체 크로마토그래피-질량 분석

대조군의 경우 머무름 시간(Relation Time, RT)이 27분에서 색소 crocin (m z^{-1} 975)이 검출되었고, 부수적인 피크로 m z^{-1} 1159, 1090, 1022, 698가 나타났다. 피리딘과 아세톤 추출물에서도 동일한 머무름 시간에 crocin (m z^{-1} 975)이 검출되었으며,

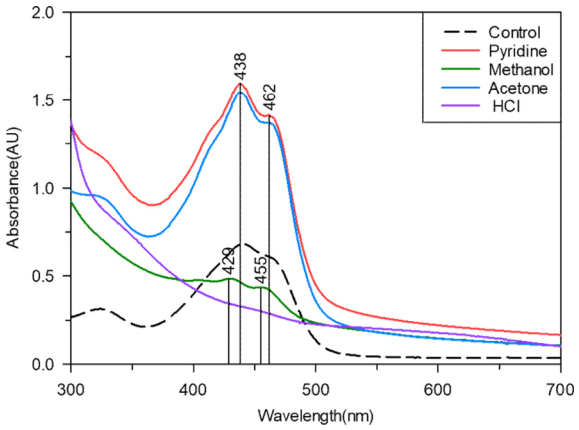

Fig. 5. UV-Vis spectrum for different extraction solvents.

부수적인 피크 또한 대조군과 동일하게 나타났다. 메탄올과 염화수소 추출물에서는 머무름 시간 2분에서 crocin이 검출되지 않았으며, 분자량 스펙트럼을 확인할 수 없었다.

Crocin이 검출된 피리딘과 아세톤 추출물의 액체 크로마토그래피 스펙트럼 내 27분 지점의 피크를 비교했을 때, 피리딘 추출물이 아세톤 추출물보다 더 좁고 높은 형태의 피크로 나타났다(Fig. 6).

3.2. X-선 조사 후 고온 열화에 의한 영향 평가

3.2.1. 색도 분석

X-선 조사 후 견직물의 염료 추출물은 모두 투명한 황색이었으며, 조사 선량 및 열화 기간에 따라 색채 특성의 차이가 나타났다(Figs. 7, 8). X-선 조사 전 견직물에서 추출했을 때의 색채값은 96.20 (L*), −11.76 (a*), 68.57 (b*)로 비교적 붉고 강한 노란색의 추출물이었다. X-선을 2, 10 kGy 조사했을 때, 선량이 증가함에 따라 L*값은 증가하고, a*, b*값은 감소하는 경향을 보여 약간 밝아지면서 노란색이 옅어지는 것을 확인할 수 있었다. 조사 전 시편 추출물을 기준으로 색차를 산출한 결과, 2 kGy 추출물은 0.30, 10 kGy 추출물은 9.98로 10 kGy 추출물에서 차이가 나타났다(Fig. 9).

방사선 조사 후 고온 열화에 따른 변화를 비교해보면, X-선 조사 시편을 열화하였을 때는 L*값은 증가하고 a*, b*값은 감소하였으나 차이가 1.50 내외로 적게 나타났다. 색차를 산출하였을 때에도 4주차 열화에서 1.85 이하로 나타나 고온 열화에 따른 염료의 변화가 거의 없음을 확인하였다.

X-선 2 kGy를 조사한 시편의 경우에는 고온 열화 전 색채값이 96.26 (L*), −11.78 (a*), 68.27 (b*)로 조사 전 시편과 유사하여 붉고 강한 노란색의 추출물을 확인할 수 있었다. 고온 열화 기간이 길어질수록 L*값은 증가하고, a*, b*값은 감소하였으며 조사 전 시편과 비교했을 때 차이가 크게 나타났다. 색차의 경우

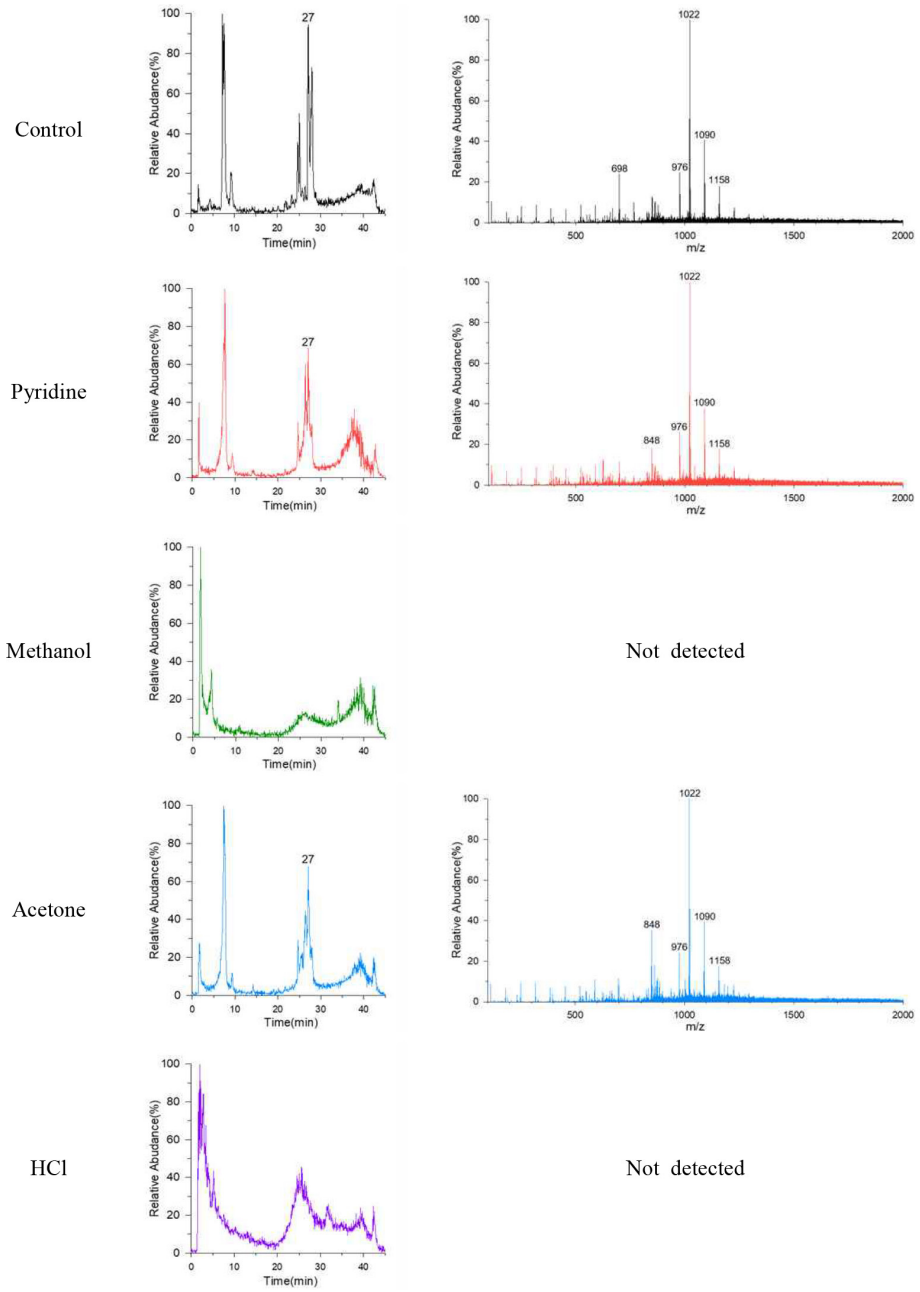

Fig. 6. LC and MS spectrum for different extraction solvents: (left) LC spectrum, and (right) MS spectrum at 27.

2주차 열화 시편이 3.29, 4주차 열화시편이 4.23으로 증가하는 것을 확인하였다.

10 kGy 시편의 경우 색채값이 97.40 (L*), –13.34 (a*), 58.79 (b*)로 조사 전 시편과 확연히 다른 색의 추출물로 나타났다. 열화기간이 길어질수록 L*, a*값이 증가하고, b*값은 감소하여 다른 경향이 확인되었다. 색차 또한 11.44 (2주차 열화시편), 17.27 (4주차 열화시편)으로 차이가 크게 나타났다.

3.2.2. 자외선-가시광선 분광 분석

자외선-가시광선 분광 분석 결과, 모든 추출물은 가시광선 영역 범위에 있는 438, 462 nm에서 흡수 피크가 나타났으며, 이는 대조군의 결과와 유사했다.

X-선 조사 전 시편의 흡수 피크가 가장 높고 선명하게 나타났다. 흡수 선량이 높아짐에 따라 스펙트럼의 전체적인 흡광도는 낮아지면서 완만해졌으나 흡수 피크는 438, 462 nm로 동일하게

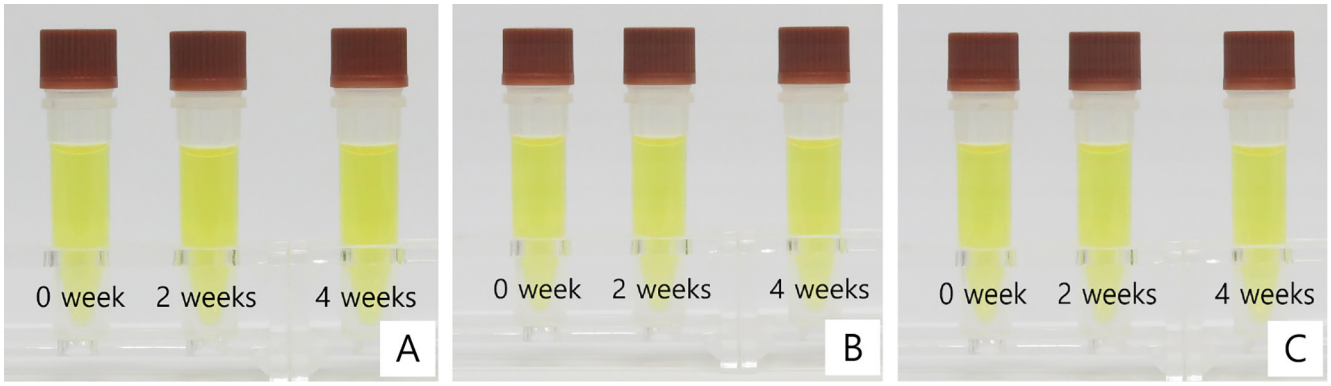

Fig. 7. Result of visual observation after X-ray irradiation and high temperature degradation: (A) 0 kGy, (B) 2 kGy, and (C) 10 kGy.

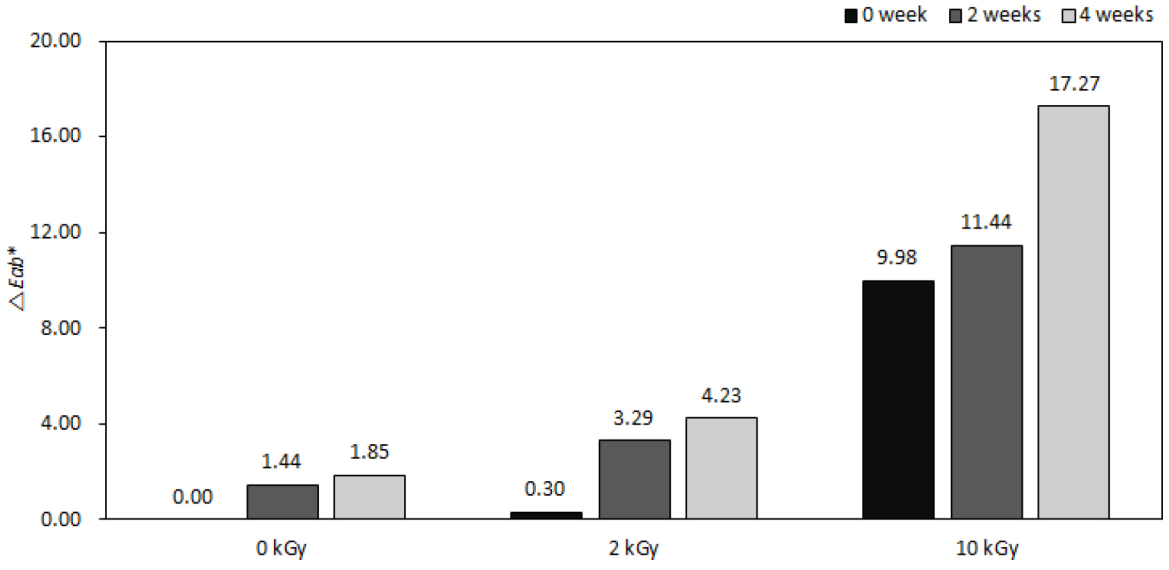

Fig. 8. Color difference graph after X-ray irradiation and high temperature degradation.

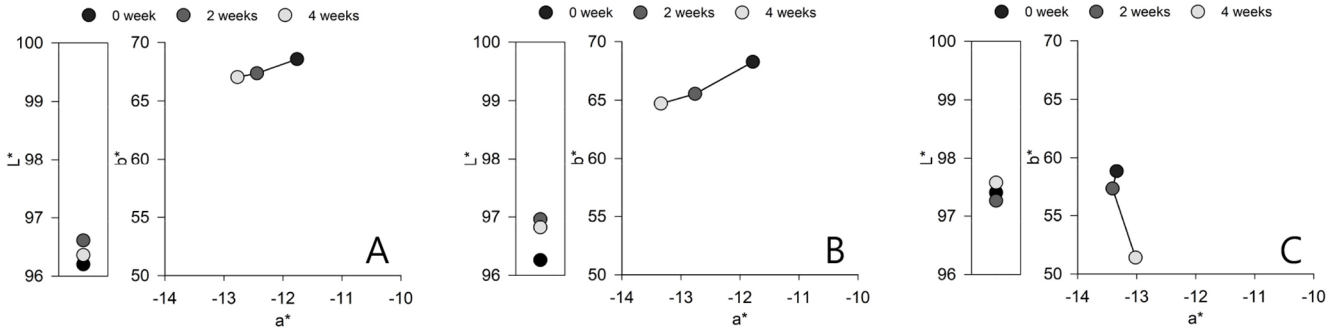

Fig. 9. Graph of L*, a*, b* after X-ray irradiation and high temperature degradation: (A) 0 kGy, (B) 2 kGy, and (C) 10 kGy.

관찰되었다. 그중 10 kGy 조사 후, 고온 열화한 시편들의 스펙트럼이 가장 낮게 나타났다. X-선 조사 후 고온 열화에 따른 변화를 비교해보면 열화 기간이 길어질수록 스펙트럼의 전체적인 흡광도가 낮아지고, 완만해지는 것을 확인할 수 있다(Fig. 10).

3.2.3. 액체 크로마토그래피-질량 분석

모든 시편에서 m z^{-1} 975가 RT 27에서 검출되었으며, 이는 대조군과 동일하게 나타나 치자의 주색소인 crocin을 확인하였다(Figs. 11, 12).

Table 3. Result of color measurement and color difference after X-ray irradiation and high temperature degradation

Absorbed Dose	Deterioration period	L*	a*	b*	Δ*E**
0 kGy	0 week	96.20	-11.76	68.57	0
	2 weeks	96.61	-12.44	67.36	1.44
	4 weeks	96.36	-12.77	67.03	1.85
2 kGy	0 week	96.26	-11.78	68.27	0.30
	2 weeks	96.96	-12.76	65.53	3.29
	4 weeks	96.82	-13.34	64.70	4.23
10 kGy	0 week	97.40	-13.34	58.79	9.98
	2 weeks	97.26	-13.41	57.30	11.44
	4 weeks	97.57	-13.02	51.40	17.27

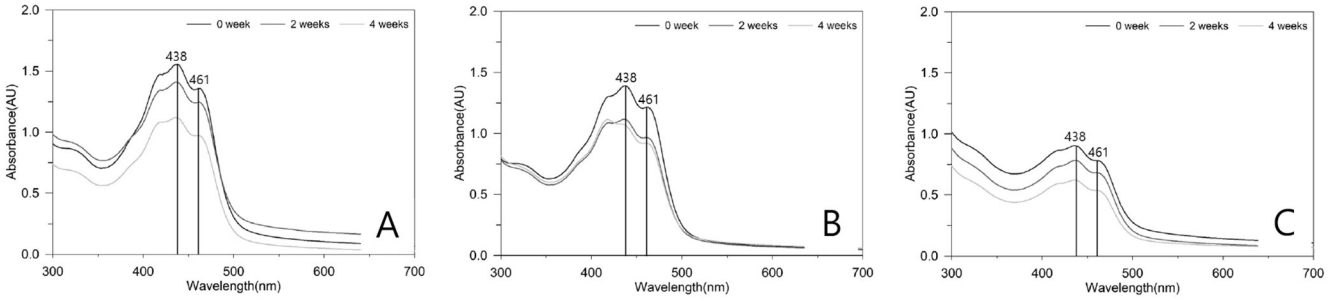

Fig. 10. UV-Vis spectrum after X-ray irradiation and high temperature degradation: (A) 0 kGy, (B) 2 kGy, and (C) 10 kGy.

X-선 조사 전 시편에서는 RT 27에서 m z^{-1} 975 외에도 851, 975, 1089, 1158의 부수적인 피크가 확인되었다. X-선 흡수 선량이 높아질수록 액체 크로마토그래피 결과 내에서 RT 27의 피크가 낮아졌으며, 질량 분석 결과 부수적인 피크로 m z^{-1} 1021, 1089 피크만이 검출되었다.

X-선 조사 후 고온 열화에 따른 변화를 비교해보았을 때에도 0, 2 kGy 시편의 경우, 열화 기간이 증가함에 따라 액체 크로마토그래피 스펙트럼 내 RT 27의 피크가 낮아졌다. 10 kGy 시편의 경우, 열화 기간에 따른 차이를 확인하기 어려웠다.

4. 고찰 및 결론

염직물의 색에 따라 사용된 염료는 각기 다르며, 염료별로 발색단과 화학구조가 다르다. 이에 따라 염직물에서 염료를 추출하기에 적합한 방법을 찾는 연구가 다수 진행되었으나, 이를 활용하여 방사선 조사 시 염직물 내 염료의 안정성 평가에 대한 연구는 미비하다[12-15]. 따라서 본 연구에서는 치자 염료의 안정성 평가를 위해 크로신을 주 색소로 하는 치자 염직물에 적합한 추출용매를 탐색하였다. 이후 치자 염직물의 X-선 조사 후 고온 열화 통해 염직물 내 치자 염료의 안정성을 평가하여 방사선의 문화유산 생물 방제 적용 가능성을 확인하고자 하였다.

크로신 표준 용액과 가장 유사한 추출물은 피리딘 추출물이었다. 피리딘 추출물은 색차가 가장 작았고, 자외선 분광분석에서도 동일한 피크(438, 462 nm)가 확인되었다. 화학성분 및 구조를 확인할 수 있는 액체 크로마토그래피-질량분석에서는 m z^{-1} 975 피크가 가장 높고 좁게 검출되었다. 이 또한 대조군과 유사한 특징 중 하나이다. 관련 선행연구에 따르면 m z^{-1} 975, 813의 분자량을 갖는 *trans*-4GG-crocin를 치자의 동정 물질 중 하나로 언급된 바 있다[14]. 해당 물질은 크로신의 이성질체 중 하나로 추출물에서 해당 물질이 검출된 것으로 판단된다. 따라서 피리딘을 이용한 추출 조건을 이용하여 염직물 문화유산에 대한 X-선 적용의 안정성 평가를 진행하였다.

X-선 조사 시 2, 10 kGy에서 모두 동일하게 투명한 노란색 염료가 추출되었으나, 선량이 증가함에 따라 b*값이 낮아지면서 색차가 9.98까지 증가하였다. 자외선-가시광선 스펙트럼에서도 선량에 따른 차이가 나타났다. 조사 전 추출물에서는 비교적 폭이 좁았던 자외선-가시광선 스펙트럼이 X-선 조사 후 완만해졌으며 이는 빛이 투과됨에 따라 전자 전이가 감소하여 염료 내 발색단이 감소한 것이다[16]. 그럼에도 불구하고, 액체크로마토그래피-질량분석에서 크로신의 이성질체가 나타날 수 있는 분자량인 m z^{-1} 975가 확인되어 색소성분이 완전히 분해되지 않고 검출되는 것을 확인할 수 있다.

80°C의 조건에서 0, 2, 4주간 열화를 통해 X-선 조사 후 치자 염직물에 미치는 장기적인 영향을 확인하였다. 모든 시편이 투

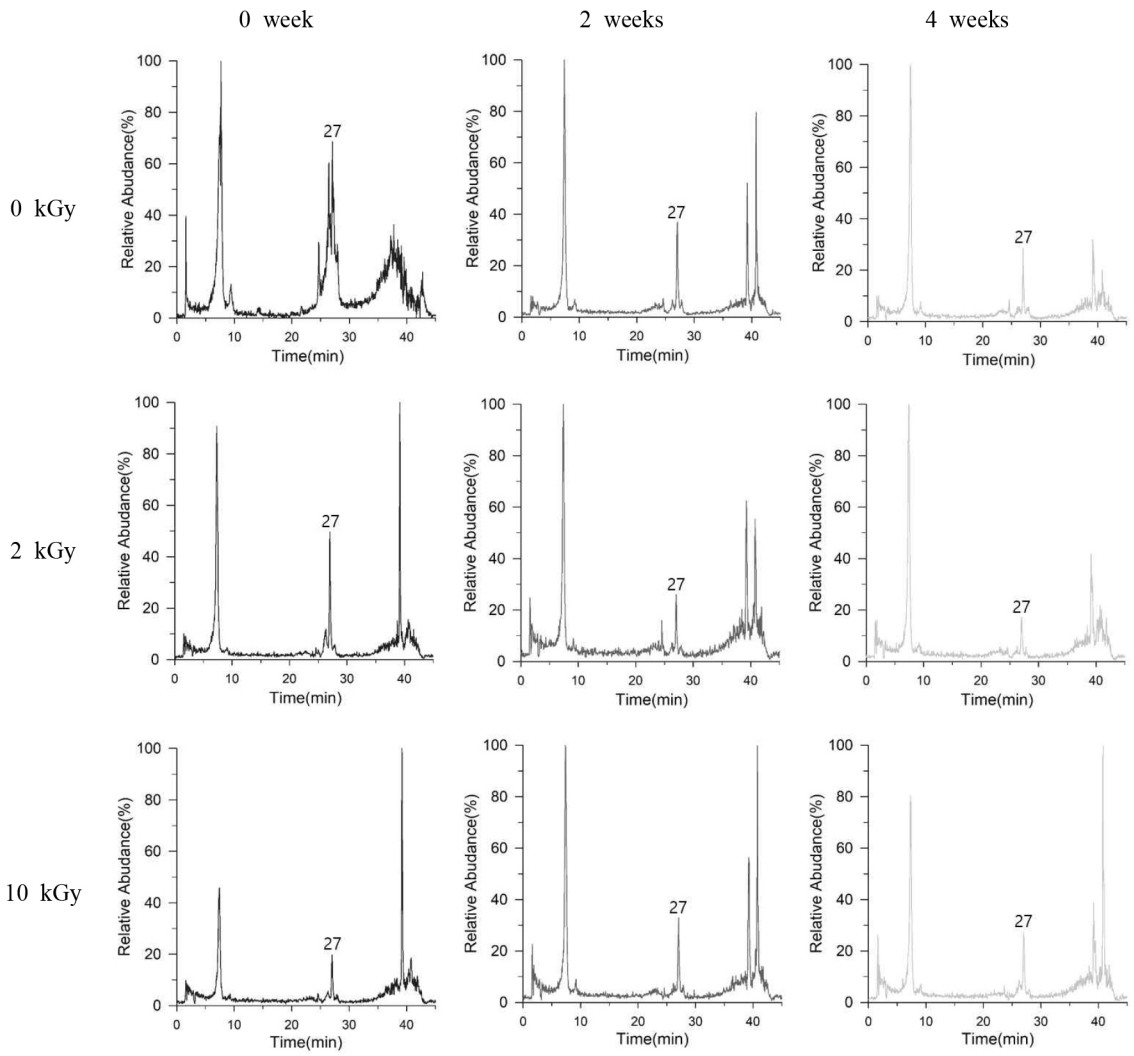

Fig. 11. LC spectrum after X-ray irradiation and high temperature

명한 노란색의 염료가 추출되었으나, 10 kGy 조사 후 고온 열화한 시편의 경우 4주차에 17.27까지 색차가 높게 나타났다. 자외선-분광분석 스펙트럼의 흡광도에서도 유사한 변화를 확인하였다. 특히 10 kGy의 고선량 조사 시, 변화가 가장 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 방사선 조사 후의 고온 열화가 분광학적인 변화를 일으킬 수 있으나, 주 색소는 완전히 분해되지 않고 검출되는 것을 확인하였다.

해당 연구에서는 X-선을 10 kGy 조사한 뒤, 80°C에서 최대 4주까지 열화한 뒤 염직물 내 염료의 변화를 비교하였다. 연구에서 진행된 고온 열화는 고온 상에서 산소에 의한 유기물의 산화를 촉진시켜 변화를 확인할 수 있는 대표적인 안정성 평가 방법이다[17]. 다만 염직물은 열보다 빛과 상대습도에 민감하다[18]. 따라서 X-선 조사의 안정성을 평가하기 위해서는 더 높은 선량과 가혹한 환경에서의 열화를 통한 평가가 요구된다. 추가적으로 치자 외의 다른 염직물에도 적용하여 해당 실험을 진행함으로써 염직물에 대하여 X-선의 가해 생물에 대한 제어력을 파악한다면 다양한 색의 염직물로 구성된 문화유산의 생물 방제를 위해 X-선을 활용할 수 있을 것이다.

사 사

이 논문은 문화재청의 문화유산 스마트 보존·활용 기술 개발의 지원을 받아 수행된 연구임(동산문화재 재해·재난 대응 응급 보존처리를 위한 방사선 활용 훈증 대체기술 개발, 사업번호: 2023A01D07-001, 기여율: 100%)

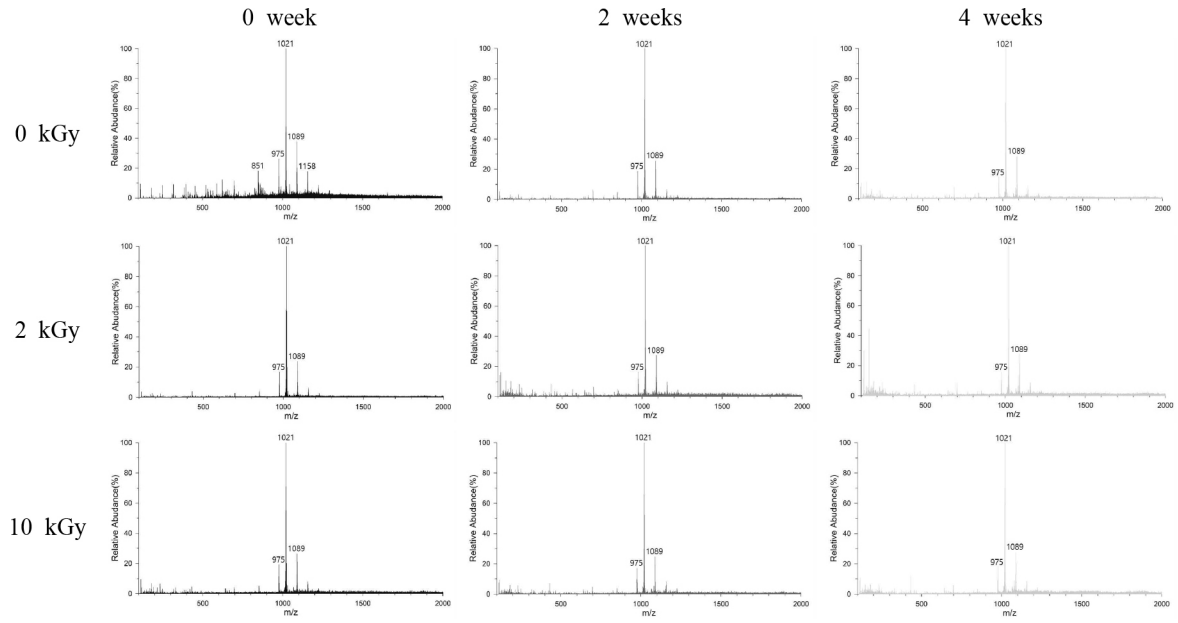

Fig. 12. MS spectrum after X-ray irradiation and high temperature degradation

References

1. Moon EB. 2012. Korea traditional color. AG book. 230.
2. The National Folk Museum of Korea. 2005. Identification of natural fiber & fur. 11-13.
3. Ahmed HE, Darwish SS. 2012. Effect of museum conditions on historical dyed silk fabric with madder dye. *Journal of Polymers and the Environment* **20**:596-606. https://doi.org/10.1007/s10924-012-0421-x.
4. Park HJ, Choi JS, Hong CY, Lee NR, Youn DY, OH SM and Chung YJ. 2022. Changes of physico-chemical properties of the raw and degummed silk under the wet conditions by gamma-ray irradiation, *Journal of Radiation Industry* **16**(3):261-269. https://doi.org/10.23042/radin.2022.16.3.261.
5. IAEA. 2017. Users of ionizing research for tangilble cultural heritage conservation.
6. IAEA. 2009. Nuclear techniques for preservation of cultural heritage artefacts.
7. Kim JK, Song BS, Kim JH, Park JH, Byun EB and Lee JW. 2013. Sterilization characteristics of ionizing irradiation and its industrial application. *Journal of Korea Musculoskelet Transplant Society* **13**(2):49-57.
8. Oh SM, Park HJ, Choi JS, Lee NR, and Chung YJ. 2022. Variation in colourants of the dyes by gamma-ray irradiation, *Journal of Conservation Science* **38**(6):595-607. https://doi.org/10.12654/JCS.2022.38.6.03.
9. Cortella L, Albino C, Tran Q and Froment K. 2020. 50 years of French experience in using gamma rays as a tool for cultural heritage remedial conservation. *Radiation Physics and Chemistry* **171**:108726. https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2020.108726.
10. Yao W, Liu Z, Yi H, and Wang J. 2011. Structure and mechanical property of silk fiber under gamma radiation. *Advance Material Research* **175-176**:85-89. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.175-176.85.
11. Vujcic I, Masic S, Medic M, Milicevic B and Dramicanin M. The influence of gamma irradiation on the color change of wool, linen, silk, and cotton fabrics used in cultural heritage artifacts. *Radiation Physics and Chemistry* **156**:307-313. https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2018.12.001.
12. Vailanou L, Karapanagiotis I and Chryssoulakis Y. 2009. Comparison of extracdtion methods for the analysis of natural dyes in historical textiles by high-performace liquid chromatography. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* **395**:2175-2189. https://doi.org/10.1007/s00216-009-3137-6.
13. Laursen R. Mouri. C. 2021. Pseudoindirubin: a marker Woad-dyed textiles?. *Dyes in History and Archaeology* **33/34**.
14. Han J, Wanrooij J, Bommel M and Quye A. 2017. Characterisation of chemical components for identifying historical chinese textile dyes by ultra high performance liquid chromatography-photodiode array-electro spray ionisation mass spectrometer. *Journal of Chromatography A.* **1479**:87-96. https://doi.org/10.1016/j.chroma.2016.11.044.
15. Wouters J, Ceily M, Grzywacz and Claro A. 2010. Markers for identification of faded Safflower (*Carthamus thictorius* L.) colorants by HPLC-PDA-MS. *Studies in Conservation* **55**:186-203. https://doi.org/10.1179/sic.2010.55.3.18610.1179/sic.2010.55.3.186.
16. Oh SM. 2022. Analysis of dyes in textiles dyed with Sappan Wood and Indigo using Surface-enhace Raman Spectroscopy (SERS) [master's thesis]. Korea National University of Cultrual Heritage.
17. Ahn CS. 2011. Analysis of Amur cork tree extract and dyed silk upon thermal degradation treatment. *Journal of the Korean Society of clothing and Textiles* **35**(10):1228-1241. https://doi.org/10.5850/JKSCT.2011.35.10.1228.
18. Kim JS. 2023. A study on the impacts and challenges of climate change anad conservation of paper and textile heritage. *Journal of the Society of Cultural Heritage Disaster Prevention* **8**(2):113-126.