

Micro Shell을 이용한 철기 문화재 복원용 충전제의 사용성 연구

A Study of Usability of Micro Shell as a Filler for Restoration of Iron Objects

이현지¹, 위광철^{2*}
국립해양문화재연구소 서해문화재과¹,
한서대학교 문화재보존학과^{2*}

Lee Hyunji¹, Wi Koangchul^{2*}
West Sea Cultural Heritage Division,
National Research Institute of Maritime
Cultural Heritage¹,
Department of Cultural Heritage
Conservation, Hanseo University²

* Corresponding Author :
Wi Koangchul

Tel : 82-41-660-1043
E-mail : kcwi@hanseo.ac.kr

요약

철기 문화재 복원에 사용되고 있는 실리카 계열의 무기질 충전제는 열팽창률감소, 흐름성 개선 등의 기능성 부여를 목적으로 사용되고 있다. 그러나 충전제의 양이 많을 수록 복원재의 물성저하 및 황변 현상 촉진의 원인이 되며, 결과적으로 재처리로 이어져 유물의 피로도를 상승시키는 결과를 초래한다. 따라서 복원제와 충전제의 혼합 정량화 및 황변성 연구 필요성이 강조될 수 밖에 없다. 이를 보완하기 위해 실리카계 경량 충전제인 Micro Shell을 비교군으로 물성연구를 진행하였다. 실험 결과 기존에 사용하던 충전제에 비해 Micro Shell이 황변도 발생 수치가 최대 34% 낮았으며, 충전제의 배합양에 따라서 공통적으로 접착력과 비중의 물성 수치값이 좋은 것을 확인하였다. 본 연구 결과 Micro Shell의 사용 가능성에 대해 확인하였다.

주제어 : 철기 문화재, 충전제, 접착제, 복원제, Micro Shell

Abstract

Silica-based inorganic fillers for restoration of iron objects have been used for the reduction of thermal expansivity and the improvement of melt flow index. However, the higher the amount of filler is applied, the more degradation of mechanical properties and the yellowing occur, which could cause retreatment of the objects with adding stress to them. Thus, research on not only the quantification of a mixture of resin and filler but also the yellowing should be emphasized. Experiments on mechanical properties were carried out with a silica-based light filler, Micro Shell as a comparison group.

The results of the experiment showed Micro Shell reduced the number of occurrences of the yellowing by 34% compared to existing fillers. The value of adhesion and specific gravity was also improved depending on the filler amount. The results of this research indicate the possibility of using Micro Shell as a new filler.

Keywords : Iron Objects, Filler, Adhesive, Restoration Material, Micro Shell

투고일: 2022.03.31. 심사(수정)일: 2022.04.18. 게재확정일: 2022.04.25.

1. 서론

문화재는 시간과 환경이 변화됨에 따라 일부분 또는 전체가 손상, 변질되어 파손이 발생하게 된다^[1]. 그 중 금속 문화재는 산소와 염화물에 의하여 부식 현상이 발생되며, 금을 제외한 철제, 청동 등의 문화재는 부식으로 인하여 손상과 손실이 발생하게 된다. 이러한 금속 문화재는 보존처리를 통하여 복원 및 현재 상태를 유지 시켜 주는데, 금속 문화재의 보존처리 과정은 일반적으로 상태 조사, 녹 제거, 탈염 처리, 방청 처리, 강화 처리, 접합 및 복원, 색맞춤, 마무리 작업 순서로 진행된다^[5].

금속 문화재의 보존처리에 있어 접합 및 복원에 사용되고 있는 에폭시 수지는 다양한 무기질 충전제를 첨가해 가공성 용이, 열팽창률감소, 흐름성 개선, 경화 시 발열성 제어 등의 기능성 부여와 물성 증진을 목적으로 혼합되고 있다. 그러나 일정량 이상의 충전제 사용은 복원재의 물성저하와 배합공정에 어려움을 초래하며, 자외선에 의한 황변현상 촉진, 접착력 저하 등의 문제점을 유발하기도 한다.

이러한 문제점들은 유물의 재처리 기간을 단축시키는 주요 원인이 되며, 궁극적으로 유물의 피로도를 증대시키는 결과로 나타난다.

현재 문화재 보존처리에 사용되고 있는 에폭시수지의 충전제로는 Micro-balloon, Talc, Kaolin 등이 사용된다. 이 중 금속문화재 보존처리시에는 Micro-balloon이 가장 널리 사용 중이다. Micro-balloon의 색상은 Brown과 White 2 종류가 사용되는데, 대상 금속의 재질 및 색상에 따른 적합한 충전제의 제안 및 사용량 등에 관한 연구는 현재 미미한 수준이다.

이에 본 연구에서는 금속문화재 보존처리에 가장 많이 사용되고 있는 충전제 Micro-balloon 2 종과 실리카 계통의 Micro Shell을 대상으로 충전제 혼합비에 따른 물리적 특성과 색상변화 등을 실험을 통해 확인하고자 하였고, 특히 기존 철기 문화재 보존처리에 사용하지 않았던 Micro Shell의 충전제 사용 가능성을 검토해 보고자 하였다.

2. 연구재료

철기 문화재 보존처리에 사용되는 에폭시 수지는 주제와 경화제를 혼합하여 사용하며, 이때의 혼합비는 제품별로 고유한 비율이 안내되고 있다. 에폭시 수지의 특성 중 하나는 주제와 경화제 외에 다양한 충전제를 혼합하여 사용할 수 있다는 점이다. 그런데 이때 사용되는 충전제의 양은 권고 기준이 없으며, 사용자의 주관적 판단으로 결정된다는 경향성을 가지고 있다. 문제는 충전제의 과다 사용 시에는 수지 경화에 어려움을 일으키기도하고, 소량 사용 시에는 에폭시 수지 원액의 혼합량과 물성

실험 변화의 값이 크게 나타나지 않아 충전제의 혼합목적은 충족시키지 못한다는 점이다.

본 연구에서는 철기 문화재 복원에 사용되는 대표적인 에폭시 수지를 대상으로 적정 충전제의 비율에 따른 물성 변화 실험을 진행하였다.

2.1. 복원제

문화재 보존처리 시 복원 과정에서 내수성, 내마모성 등의 물리적, 화학적 우수성을 지니고 있는 합성수지를 사용하는데, 주로 에폭시 수지가 사용되고 있다. 철기 문화재 보존처리 시 접착제, 복원제로서 사용되는 에폭시 수지는 Araldite Rapid Type[®], Devcon[®] 등이 주로 사용되고 있다. 본 실험에서는 복원제로 현장에서 응급처리 시 쉽게 사용이 가능하고 빠르게 경화되는 수지를 선택하였으며 비교 대상으로 Araldite rapid type[®], Devcon[®] 2 가지를 선택하였다. Araldite rapid type[®]은 Huntsman Advanced Materials사를 선정하였으며 Devcon[®]은 Devcon[®]home사 제품을 선정하여 3 종의 충전제와 혼합하여 사용하였다.

2.2. 충전제

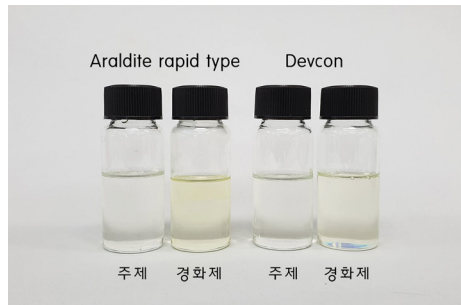
문화재 보존처리 시 충전제를 사용하는 것은 복원제와 혼합하였을 때 유물의 접합면, 복원부와의 손상을 최소화 하고 복원 부위와 유물 표면간의 색상적 이질감이 발생되지 않으며, 추후 표면 정리 작업 시 용이하게 해주기 위하여 유의하여 선정하여야 한다.

현재 문화재 보존처리 시 주로 사용되는 충전제는 Micro-balloon이다. Micro-balloon은 색상이 Brown과 White 2 가지로 나뉘어지며, 특정 유물의 재질에 따라 분류되지 않고 유기질을 제외한 무기질 유물의 복원 작업 시 혼합되어 사용되고 있다. Micro-balloon은 경량 충전제로 문화재 보존처리만이 아닌 건축, 자동차 등 다른 분야에도 사용되고 있어, 문화재 보존처리 시 사용되는 충전제에 대한 기준이 정립되어 있지 않은 실정이다.

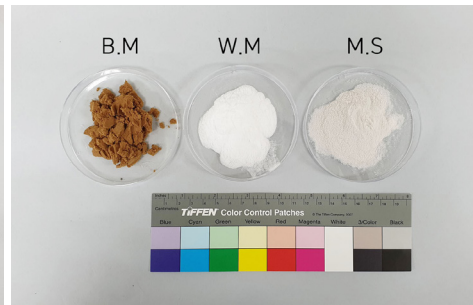
또한 Micro-balloon은 페놀과 실리카 성분으로 나누어 구성되어 있다. Brown은 페놀계통으로 바탕색이 어두워 복원 작업시 어두운 색상에 맞게 한정적으로 사용되고 있으며, White는 실리카계통으로 바탕색 자체는 밝아서 다양하게 사용될 수 있지만 장기간 자외선에 노출되어 있을 시 표면에 황변도가 나타나기 때문에 추후 표면에 처리되어 있는 색상에 영향을 줄 수 있기 때문에 추가적인 보존처리를 해야하는 단점이 발생된다. 이에 비교 군으로 선정한 충전제인 실리카 계열의 Micro Shell은 화산 폭발로 생성된 특수 화성암을 정밀한 입자로 가공하여 특화된 열처리 방식으

로 고온 발포시킨 초경량 미소중공구체이며 경량플라스틱 제조, 건축 시공재료, 단열재료 등에 사용되고 있다.

본 연구에서는 Brown Micro-balloon(B.M)은 Malayan Adhesive & Chemicals Sdn Bhd사의 충전제를 선정하였으며, White Micro-balloon(W.M)은 3M사를 선정하였다. 비교를 위하여 선정한 충전제인 Micro Shell(M.S)은 (주)서경CMT사의 충전제를 실험에 사용하였다.



도1. 에폭시 수지



도2. 충전제

3. 실험방법

3.1. 광학적 조사 방법

충전제에 대한 입자의 크기를 측정하기 위하여 레이저 회절 입도 분석기 (Sympatec GmbH, HELOS&RODOS, Germany)를 통한 입도 분석을 실시하였다. 자외선 열화 실험은 KS M ISO 16474-3 도료와 바니시-실험실 광원에 의한 폭로 실험방법-형광 UV 램프를 참고하여 제작된 자외선 시험기(UV tester, Exposure to Man-made Ultraviolet Light Test Chamber, Korea)를 사용하였으며, 시간은 상온에서 총 96 시간 노출시켜주었다. 자외선 열화 실험 시편의 크기는 710 × 50 × 3 mm 로 제작하였으며, 측정기기는 분광측색계(CM-2600d, KONICA MINOLTA, Japan)와 색채 관리 소프트웨어 프로그램(Spectra Magic NX CM-S100w, KONICA MINOLTA, Japan)을 활용하여 자외선 열화에 따른 황변도 발생을 비교하였다.

3.2. 물성 실험

선정한 에폭시 수지 2 종과 혼합할 충전제 3 종을 각 에폭시 수지 대비 5, 10wt.% 비율로 혼합하였다. 시편의 크기는 각 물성 실험에 해당하는 규격으로 제작하였으며, 상온에서 48 시간 이상 자연 경화 후 실험을 진행하였다. 모든 실험은 각 5 회씩 실시하였으며, 최댓값과 최솟값을 제외한 3 회의 평균값을 나타내었다.

3.2.1. 압축 강도

압축 강도는 시편의 규격을 $5 \times 5 \times 10$ mm 기준으로 제작하였다. 실험 기기인 만능재료시험기(AGS-X 10kNX, Shmadzu, Japan)를 이용하여 시험기의 크로스헤드 이동 속도 1 mm/min으로 하중을 가해 시험편이 20% 손상되었을 때의 하중을 측정하였다.

3.2.2. 인장 강도

인장 강도는 KS M ISO 527-2 플라스틱 - 인장성의 측정에 의거하여 시편을 제작하였으며, 만능재료시험기(AGSX 5kNX, Shmadzu, Japan)의 크로스헤드 이동 속도 5 mm/min 으로 하중을 가해 시험편이 파괴되었을 때의 최대값을 측정하였다.

3.2.3. 표면 경도

색도 측정을 위한 시편의 크기와 동일하게 제작하였으며, 사용 기기는 Showa 경도기(GS-720G, TECLOCK, Japan)를 이용하여 시편과 경도기가 수직인 상태에서 측정을 진행하였다.

3.2.4. 접착력

접착력 측정은 KS M ISO 4624 도료와 바니시 - 부착 박리 시험을 이용하여 코팅 접착력 테스트기(PosiTesrt AT-A Automatic, DeFelsko, USA)를 사용하였다. 직경 20 mm의 Dolly에 0.2 g 씩 도포한 후 200×200 mm 로 제작한 철 시편과 부착하여 Dolly가 떨어졌을 때의 결과 값을 측정하였다.

3.2.5. 마모율

마모율은 KS M ISO 5470-1 고무 또는 플라스틱 피복 직물 - 내마모성 측정 방법 - 제1부: 테이버 마모 시험기에 의거하여 테이버 마모 시험기(COAD.101, Ocean Science, Korea)를 이용하였다. 실험 조건은 속도 70 rpm, 압력 1000 g, 회전수 500 회, 마모륵은 지름 75 mm, 두께 15 mm인 WA 연마석을 사용하여, 마모 실험 전 · 후의 중량 차이를 % 비율로 산출하였다.

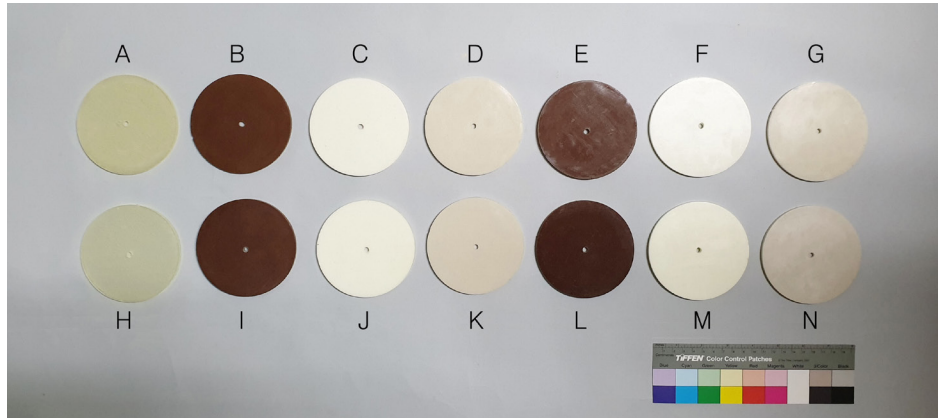
3.2.6. 비중

비중 실험은 KS M 0602 고체 비중 측정 방법에 의거하여 전자 비중계(Electronic Densimeter MD-300S, AlfaMirage, Japan)를 이용하여 비중 값을 측정하였다. 측정 방법은 KS M 0602 에서 규정하는 방법을 참고하여 아래의 식을 통해 겉보기 비중

을 측정하여 평균값을 산출하였다.

$$\text{겉보기 비중} = W1 / (W1 - W2)$$

(W1 = 건조 상태의 질량, W2 = 액체 상태의 질량)



도3. 물성 실험 시편

(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)
Aral 원액	Aral + B.M 5 wt.%	Aral + W.M 5%	Aral + M.S 5wt.%	Aral + B.M 10wt.%	Aral + W.M 10wt.%	Aral + M.S 10wt.%
(H)	(I)	(J)	(K)	(L)	(M)	(N)
Dev 원액	Dev + B.M 5wt.%	Dev + W.M 5wt.%	Dev + M.S 5wt.%	Dev + B.M 10wt.%	Dev + W.M 10wt.%	Dev + M.S 10wt.%

4. 실험 결과

4.1. 광학적 조사 결과

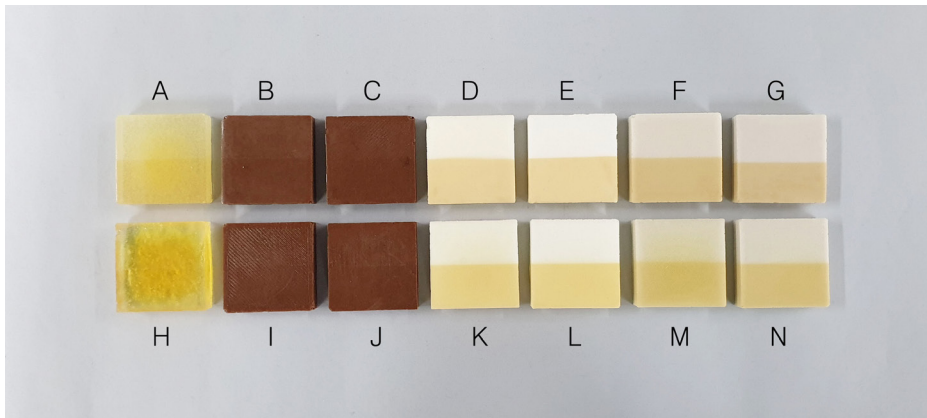
광학적 조사를 통한 입도 분석 결과는 다음과 같다^(표1). 충전제의 누적분포 50%를 기준으로 입도 크기가 큰 순서대로 나열하면 White Micro-balloon > Micro Shell > Brown Micro-balloon 순으로 확인된다. 기존의 재료인 B.M는 79.34 μm로 입도 크기가 가장 작으며, M.S는 43.64 μm, W.M는 37.4 μm 순으로 확인된다. M.S는 기존의 B.M 보다 약 45% 무겁고 W.M보다 약 17% 가벼운 소재로 확인된다. 입도가 클수록 입자가 작기때문에 일반 충전제에 비하여 중량대비 함량이 많이 첨가되며, 에폭시 수지와 균일성 있게 교반되어 사용할 수 있다는 것으로 Micro Shell이 충전제로서 사용이 가능한 것을 확인하였다.

자외선 열화 실험 측정 결과는 다음과 같다^(표2). 황변도를 알 수 있는 색차 값인 b* 값의 변화량을 중점으로 수치값을 비교하였다. 황변도 발생의 기준점이 될수 있는 Araldite와 Devcon 두 에폭시 수지 원액에서는 Araldite의 황변도 발생이 Devcon보다 약 18.95%가 높은 것을 확인하였다. 충전제 자체 황변도 발생은 3 종 모두 변화

값이 - 값으로 Blue 색상에 가깝다는 것으로 황변 현상이 크게 발생되지 않았으며, 충전제 본연의 색상인 갈색과 백색이 b* 값에 영향을 주었을 것으로 판단된다.

에폭시 수지에 충전제를 혼합 시 결과 값은 B.M의 황변도가 가장 적게 발생하였으며, 기존의 W.M보다 M.S의 황변도가 적게 나타나는 것을 확인 할 수 있었다. Araldite에서는 W.M보다 M.S가 5wt.%에서 약 29%, 10wt.%에서 약 27.18%가 낮은 것을 확인하였으며, Devcon에서는 W.M보다 M.S가 5wt.%에서 약 31.38%, 10wt.%에서 약 34.79%가 낮은 것을 확인하였다. 원액과의 비교시 B.M 충전제는 b* 값이 감소되었으며, 다른 2 가지 충전제인 W.M과 M.S의 경우 최대 약 2 배의 b* 값이 증가되는 것을 알 수 있다.

에폭시 원액 자체에서는 Devcon의 황변도가 낮게 나타나지만 충전제와 혼합하였을 경우 Araldite가 Devcon보다 황변도가 약 27.18 ~ 34.79% 낮게 나타나는 것을 확인 할 수 있다. 자외선 열화 실험을 통하여 황변도 발생 수치를 비교하였을 경우 기존의 B.M 충전제의 황변도 발생이 가장 낮게 나타났지만, 이는 충전제 자체의 색상인 어두운색으로 인하여 수치가 낮게 나타난 것을 알 수 있다. 어두운 색상인 B.M은 갈색 색상이 바탕인 철기 유물에 적용하여 사용하기 적합하다. W.M은 금속 재질 중 청동, 은 재질의 바탕색이 밝은 유물 복원에 적용하여 사용하고 있지만 W.M과 M.S를 비교하였을 경우 최소 27% 황변도 발생률을 낮춰주는 것으로 M.S의 사용 가능성을 확인 할 수 있다.



도4. 자외선 열화 실험 측정 시편

(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)
Aral 원액	Aral + B.M 5wt.%	Aral + B.M 10wt.%	Aral + W.M 5wt.%	Aral + W.M 10wt.%	Aral + M.S 5wt.%	Aral + M.S 10wt.%
(H)	(I)	(J)	(K)	(L)	(M)	(N)
Dev 원액	Dev + B.M 5wt.%	Dev + B.M 10wt.%	Dev + W.M 5wt.%	Dev + W.M 10wt.%	Dev + M.S 5wt.%	Dev + M.S 10wt.%

표1. 충전제의 입도 분석 결과

충전제 (μm) 누적함량 (%)	Brown Micro-balloon	White Micro-balloon	Micro Shell MSD-601
10	24.65	14.63	9.78
50	79.34	37.41	43.64

표2. Araldite Rapid Type®, Devcon® 의 색도 측정 결과

시편	색도 시간	Filler powder		wt. %	Araldite rapid type®		Devcon®	
		b*	ΔE*ab		b*	ΔE*ab	b*	ΔE*ab
Epoxy Resin 원액	0				-4.79	0.09	2.56	0.31
	96				7.32	12.66	12.88	10.44
	변화값				12.11	-12.57	10.18	-10.13
B.M 충전제	0	28.4	0.21	5	13.35	0.06	14.12	0.41
				10	12.76	0.24	12.78	0.08
	96	22.52	10.67	5	14.32	1.85	13.35	2.24
				10	13.61	1.64	12.93	1.87
	변화값	-5.88	10.46	5	0.97	-1.79	-0.77	1.83
				10	0.85	1.4	0.15	1.79
W.M 충전제	0	0.93	0.08	5	4.44	0.05	9.49	0.05
				10	8.51	0.08	6.05	0.05
	96	0.84	1.08	5	26.99	23.69	33.14	26.67
				10	34.57	26.83	36.74	31.7
	변화값	-0.09	1	5	22.55	23.64	23.65	26.62
				10	26.06	26.75	30.69	31.65
M.S 충전제	0	5.44	0.06	5	8.02	0.03	10.61	0.06
				10	10.23	0.28	9.5	0.06
	96	5.02	3.21	5	24.03	17.48	27.83	19.12
				10	28.11	18.5	29.51	21.09
	변화값	-0.42	3.15	5	16.01	17.45	17.22	19.06
				10	17.88	18.22	20.01	21.03

4.2. 물성 실험 결과

물성 실험 결과^(표3) 에폭시 수지 원액 자체의 수치값과 충전제 혼합 결과를 비교하였을 때 충전제가 혼합되어 있지 않은 에폭시 수지 원액의 수치값이 대체적으로 높게 나타내는 것을 확인하였다. 에폭시 수지 원액을 비교하였을 경우 Araldite는 압축강도, 마모율, 접착력, 비중의 수치가 높게 나왔으며, Devcon은 인장강도, 경도의 수치가 높게 측정되었다.

Araldite Rapid Type에서는 M.S를 혼합하였을 때 2 가지 색상의 Micro-balloon보다 접착력과 비중의 수치가 높게 측정되었으며, 원액보다 10wt.% 마모율의 수치가 높으며, 비중의 수치는 원액보다 가벼운 것으로 나타난다.

Devcon에서는 M.S을 혼합하였을 때 경도, 접착력, 비중의 수치가 높게 측정되었으며, 원액보다 마모율 5wt.% 에서 B.M, W.M이 경도에서는 원액보다 M.S이, 접착력에서는 3 종의 충전제 모두 높게 나타난다. 10wt.% 에서는 마모율에서 3 종 충전제 모두, 접착력에서 B.M, M.S가 결과값이 원액보다 더 좋게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

표3. Araldite Rapid Type®, Devcon® 의 물성실험 결과

	충전제 함량 (wt.%)	Araldite 원액	Araldite (B.M)	Araldite (W.M)	Araldite (M.S)	Devcon 원액	Devcon (B.M)	Devcon (W.M)	Devcon (M.S)
압축 강도 (kgf)	5	112.64	68.43	85.44	68.17	100.76	84.84	86.23	72.47
	10		49.96	68.43	60.15		64.89	70.59	59.18
인장 강도 (kgf)	5	141.26	100.95	144.09	100.09	188.12	109.77	106.02	98.61
	10		94.45	94.24	80.86		86.33	75.60	72.10
마모율 (%)	5	1.14	0.77	0.76	0.62	0.44	0.46	0.53	0.36
	10		1.68	1.14	1.46		0.97	0.70	0.68
경도 (Hs)	5	70	68.66	69	68.66	71	68	69	71.66
	10		58.66	63	61.66		66	66.33	69.33
접착력 (MPa)	5	1.51	1.39	1.40	1.44	0.92	1.01	1.13	1.14
	10		1.30	1.31	1.40		0.95	0.85	1.06
비중	5	1.21	0.94	0.94	0.98	1.20	0.95	0.89	0.99
	10		0.83	0.81	0.92		0.85	0.76	0.87

두 에폭시 수지의 물성 실험 결과 Micro Shell를 혼합하였을 때 기존의 충전제와 수치가 크게 차이하지 않았으며, 접착력과 비중 2 가지가 공통적으로 기존의 충전제보다 Micro Shell의 물성이 우수하게 나타는 것으로 충전제로써의 사용 가능성을 확

인하였다. M.S은 이전에 사용되고 있던 B.M, W.M 보다 물성 실험에서 높은 수치를 나타내었는데 그 중 마모율의 수치 값이 높게 나타나는 것으로 복원 후 성형 작업에서 수월하게 할 수 있을 것으로 확인된다. 또한 충전제의 혼합 비율이 높아질수록 접착력 수치는 떨어지지만 복원제의 가공성은 우수해 지는 것을 확인하였다.

5. 결론

본 연구는 금속 문화재 중 철기 문화재 보존처리 시 복원제와 함께 사용되는 충전제에 대하여 광학적 조사와 물성 실험을 실시 한 뒤, 복원 과정에서 사용되는 충전제에 대한 단점 보완과 함께 복원제와 함께 사용되는 충전제로서의 사용 가능성에 대하여 비교 연구를 실시하였다.

기준에 사용되는 충전제는 경량 충전제인 Micro-balloon이며 2 가지 색상으로 분류된다. Brown색상의 Micro-balloon은 철기 유물과 같은 어두운 색상에 사용되고 있으며, White색상의 Micro-balloon은 바탕색이 밝아 복원하는 부위의 색상에 제한 받지 않고 사용이 가능하지만 White Micro-balloon 충전제에 대한 자외선 실험 결과 복원제와 혼합하여 사용 시 추후 황변 현상이 나타나 장기적인 시간의 흐름에 따라 추가적인 보존처리 과정이 필요한 단점이 발생된다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 Micro-balloon과 같이 경량 충전제이며, 단점을 보완할 수 있는 충전제의 사용 가능성을 제시하고자 하였다.

실험 결과 Brown 색상의 Micro-balloon은 물성 실험에서 강도가 우수한 것을 확인하였으며 이는 하중이 실리거나 강도가 필요한 유물에 다양하게 활용할 수 있을 것이라 판단된다. White 색상의 Micro-balloon은 바탕 색상이 백색이어서 복원 후 고색처리의 용이함이 있지만 장기적인 관찰 시 황변 현상이 발생된다. 바탕 색상이 밝은 White Micro-balloon이 복원제와 함께 사용하기 용이하지만 황변도 발생이 Brown Micro-balloon보다 최대 5 배 이상 발생함으로써 추가적인 보존처리의 원인이 된다. 이에 Micro Shell 은 White Micro-balloon 과 비슷한 실리카 성분으로 구성되어 있으며, White Micro-balloon 의 황변도 발생보다 최대 34% 낮게 발생하는 것을 확인하였다. Micro Shell이 기준에 사용되고 있는 White Micro-balloon 보다 황변도 수치가 낮은 점으로 보아 철기 문화재 보존처리 시 복원제와 함께 사용하는 충전제로써 대체되어 사용이 가능하다는 점을 알 수 있다.

본 연구에서는 실험에 사용된 충전제의 흡유량에 따른 예폭시 수지의 변화 양상에 대해서는 세밀하게 이루어지지 않았지만 추후 흡유량에 따른 최적의 배합 비율에 대하여 평가가 이루어져야 할 것이다. 또한 실제 현장에서 보존처리 후 발생하는 황변도에 따라서 장기적인 변화 값에 대해 추가적인 실험이 이루어진다면 그에 따

라 발생하는 보완작업에 대한 대체방안을 제시할 수 있을 것이라 사료된다. 합성수지에 비하여 문화재 보존처리 시 활용되고 있는 충전제에 대한 연구는 현재 부족한 실정인 만큼 본 연구가 기초 자료로 활용될 수 있기를 기대한다.

참고문헌

1. 국립문화재연구소, *문화재 보존처리 접착제*, p40-63, 국립문화재연구소, 대전, (2016).
2. 국립문화재연구소, *도자기·토기 복원용 저항변·저수축 가역수지 개발 I*, p50-59, 국립문화재연구소, 대전, (2013).
3. 국립문화재연구소, *도자기·토기 복원용 저항변·저수축 가역수지 개발 II*, p41-62, 국립문화재연구소, 대전, (2014).
4. 김신희, 문화재 접합·복원재료 중 Epoxy 수지의 자외선 노화 거동에 관한 연구, 한서대학교 문화예술학과, 석사학위논문, p1-9, (2005).
5. 김희진, 고민정, 임수경, 이태진, 황현성, 도자기 복원을 위한 소성점토와 에폭시터피 혼합비 연구-조선백자를 중심으로-, *박물관 보존과학* **14**, p29-35, (2013).
6. 나아영, 황현성, 보물 제1925호 금강산 출토 이성계 발원 사리장엄구 내 유리제사리병의 복원 및 안정성 연구, *박물관 보존과학* **26**, p25-34, (2021).

7. 이현지, 금속 문화재 복원제에 사용되는 필러의 적용성 연구, 한서대학교 문화재보존학과, 석사학위논문, p1-25, (2020).
8. 이해순, 나아영, 유리제 문화재 복원용 광경화성 수지의 물성 연구 및 적용, *박물관 보존과학* **21**, p1-16, (2019).
9. 위광철, 오승준, 개발된 Bisphenol-A계 Epoxy putty의 충전제 배합에 따른 물성 및 적용성에 관한 연구, *보존과학회지* **32(4)**, p459-469, (2016).
10. 정다솜, 위광철, Rapid type Epoxy 수지의 Microballoon 함량에 따른 물성 변화에 관한 연구, *문화재 보존연구* **10**, p108-121, (2013).