

敬天寺 10層 石塔 龜裂 및
破損部位 保存處理에 對한 研究
Study on Conservation Treatment of Cracks and
Damaged parts
of Kyoung Chun-Sa 10-Story Pagodas

金思憲, 金炳虎, 金昌石*

Kim, Sa Dug, Byoung Ho Kim and Suk Kim*

□ **ABSTRACT** : In this resesrch, many effects were examined by testing of adhesive intensity and accelerated weathering with synthetic resins for the conservation treatment of cracks and damaged parts of Kyoung Chun-Sa 10-story Pagodas, the National Treasure No. 86.

It was tested with two kinds of Epoxy resins, Acrylic, Silicone resin, and five kinds of Acetics vinyl resins, and then which was ensured a successful result with Epoxy resins. According to these consequences, they are determined to treat damaged parts with Epoxy resin.

I. 서 언

문화재는 오랜 세월이 경과해 오는 동안 환경에 따라서 재질의 일부가 변형, 손상, 훼손되는 경우가 많으며 그중 하나가 국립문화재연구소 보존과학연구실에서 보존처리 중인 국보 제 86호 경천사 10층 석탑이다.

이 탑은 고려 29대 충목왕 4년 1348년 경기도 개풍군에 세워졌던 것을 일본인에 의해 1905년 일본으로 반출되었다. 이후 일정 말기에 회수하여 경복궁 회랑에 두었던 것을 1960년에 손상 및 결실된 부재를 시멘트로 보충하여 복원하였다.

그러나 그 동안 자연적인 풍화, 산성비, 대기오염 등에 의하여 시멘트 표면이 풍화되면서 접착면이 이탈되어 탈락되고 또한 균열이 많이 되어 붕괴될 위험이 있었으므로 이를 보존 처리한 후 복원하기 위하여 1995년 완전 해체하였다.

본고는 국보 제80호 경천사 10층 석탑의 균열 및 파손부위 보존처리에 사용할 합성수지 선정을 위하여 실험한 내용을 기술하였다.

*國立文化財研究所 保存科學研究室

Conservation Science Dept. National Research Institute of Cultural Properties

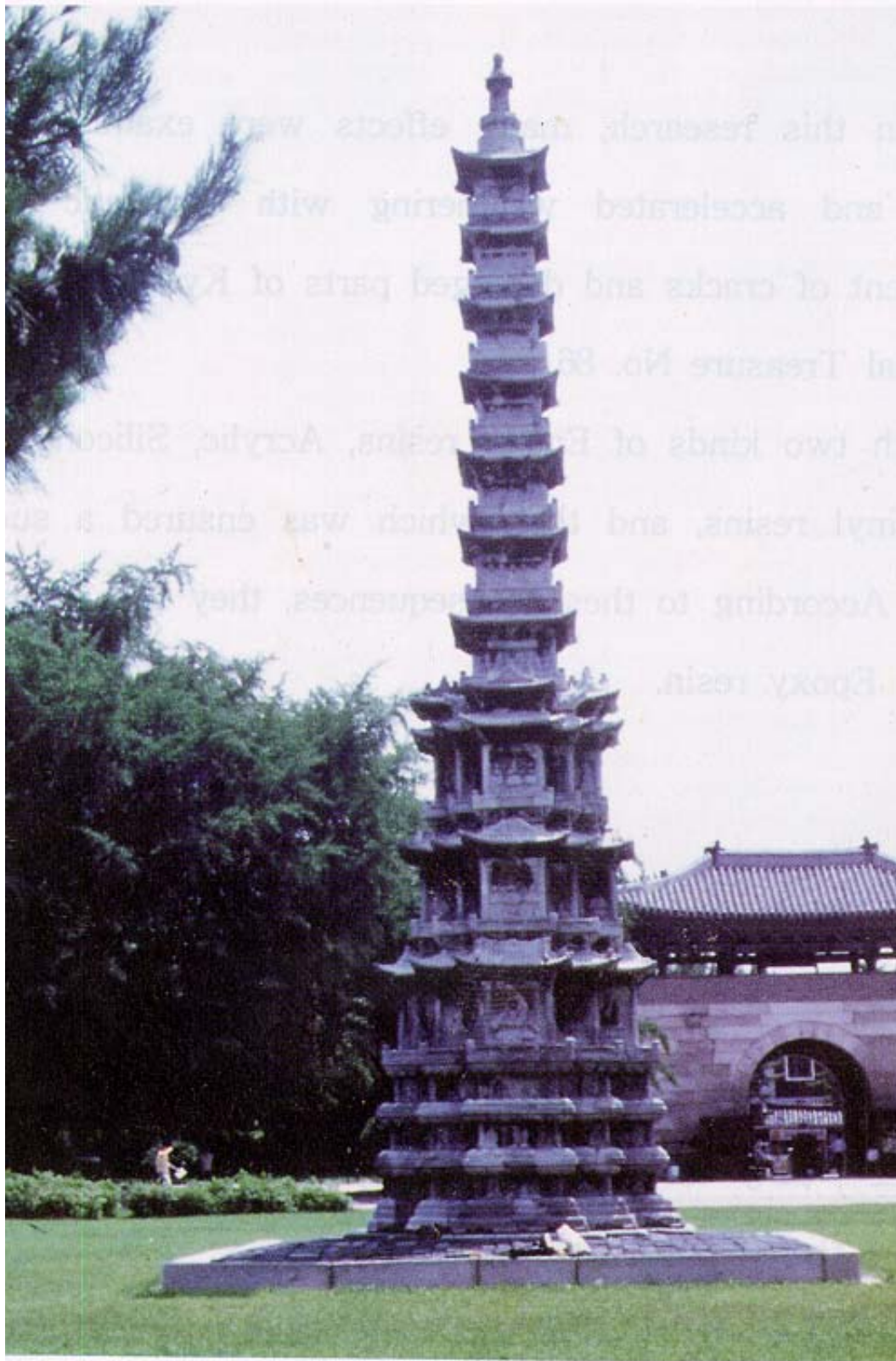


Photo 1. 경천사 10층 석탑 해체전 모습

II. 합성수지 선정 실험

석조물의 균열부위 충전 및 파손부위 접착 보강을 위하여 일반적으로 많이 사용되는 합성수지로는 에폭시 수지가 주로 사용되지만 경천사 10층 석탑은 많은 부분이 손상되었고 먼 훗날에 지금보다 더 좋은 약품이 개발되었을 때 이를 제거하고 재수리할 수 있도록 가역성 수지를 선정 사용하는 것이 원칙이지만 제일 중요한 것은 접착강도, 수축, 팽창, 각종 물성시험에서 안전성이 있어야 한다는 점이다.

본 실험에서는 본 석탑과 유사한 암석을 시편으로 제작하여 여러 가지 실험을 하였다.

1. 실험시편

실험에 사용한 시편의 종류와 크기 및 중량은 아래의 Table 1과 같으며 접착강도시험편은 2개를 합성수지로 접착하여 각 실험에 3개씩 사용하였다.

시편의 종류	크기(cm)	평균중량(g)	비 고
경천사 10층석탑과 유사한 대리석 (요봉층석회암 : 강원도 평창군 주변분포)	3×3×3	72.5	물성실험용
	4×4×2	-	접착강도용
원각사지 10층석탑과 유사한 대리석 (결정질석회암 : 강원도 영월군 주변분포)	3×3×3	73.1	물성실험용
	4×4×2	-	접착강도용

2. 실험약품(합성수지)

실험시편의 접착에는 에폭시수지 2종, 아크릴수지, 실리콘수지, 초산비닐수지 5종을 사용하였다.

가. 에폭시수지

스위스 CIBA사 제품으로 아랄다이트 AW106, HY953u, HY837을 사용하였다. AW106(주제)과 HY963u(경화제)를 100 : 80(중량비)으로 배합하여 사용한 수지는 연분홍색을 나타냈으며 경화시간은 20℃에서 5시간 정도 소요되는 연질이고, AW106(주제)과 HY837(경화제)을 100 : 35(중량비)로 배합하여 사용한 수지는 색상이 투명하며 경화시간은 20℃에서 1시간 정도 소요되는 경질이다.

나. 아크릴수지

일본 아즈에나 본드사 제품 JENA-Bond M-890을 사용하였으며 이 수지의

특징은 주제와 경화제를 1 : 1의 비율로 혼합함으로써 경화되는 수지로 색상은 연분홍색을 나타내고 경화시간은 20℃에서 5분 정도이며 경화될 때 부피가 늘어나는 경향이 있다.

다. 실리콘수지

미국 Chemical사 제품 G17을 사용하였으며 이 수지의 특징은 주제와 경화제를 1 : 1의 비율로 혼합함으로써 강화되는 수지로 색상은 연분홍색을 나타내고 경화시간은 20℃에서 30분 정도 소요되었다.

라. 초산비닐수지

미국제품 WELDON717을 사용하였으며 색상은 검은 회색을 띠고 경화 시간은 20℃에서 10분 정도 소요되었다.

3. 실험 방법

가. 비중 및 흡수율 측정

비중과 흡수율은 한국공업규격 중 “석재의 흡수율 및 시험방법(KSF-2518)”에 준하여 실험하였다.

석재의 비중은 체적 비중으로서 $105 \pm 5^\circ\text{C}$ 로 유지되는 건조로에서 24시간 건조시킨 시험편을 $\pm 0.01\text{g}$ 의 정밀도로 중량을 측정하고 이를 시험편의 체적으로 나누어 구하였으며 흡수율은 상온의 증류수 속에 48시간 침수시킨 수분포화 시험편의 중량과 상기 건조중량에 대한 백분율로 표시하였다.

나. 기기를 이용한 실험

1) 촉진 내후성 실험

촉진 내후성 실험은 KSM-5000-1990의 시험방법 3231에 의하였으며, Atlas Electric Devices회사의 Model Ci 65AW를 사용하였다.

실험기간은 2시간을 1주기로 하여 102분 동안 물을 분무하지 않고 Xenon Arc 방전을 시료에 노출시키고 18분 동안은 물을 분무하면서 Xenon Arc 방전을 시료에 노출하는 방법으로 100회 실시하였으며 실험조건은 온도 63 ± 5 자외선 340nm, 물의 분사압 12~17psi로 하였다.

2) 자비조반 - 한열 반복 실험

시험편을 끓는 물속에 5시간동안 침적한 후 105°C 건조기내에 18시간동안 방치하였다.

이 과정을 2회 반복한 다음 다시 2시간 동안 105°C 건조기내에 방치한 후 -30°C 의 냉동기내에 2시간 동안 방치하는 과정을 5회 반복하였다.

3) 동결 용해 실험

수분 포화된 시험편을 수분 증발 억제제를 위하여 랩과 알루미늄 호일을 사용하여 밀봉시킨 후 국내에서 제작한 초저온항온항습기를 사용하여 -20°C 에서 3시간 얼린 후 20°C 에서 3시간 녹이는 과정을 20회 반복하였다.

4) 산성수 분무실험

산성수 분무실험은 국내에서 제작한 산성비시험기로 pH3의 인공산성비를

200시간 분무하였다.

인공산성비의 화학 조성비는 국립환경연구원에서 사용한 것(우리 나라 자연 강우의 화학조성)을 근거로 탈이온수에 염을 녹여 고농도 원액을 만들고 (Table 2 참조) 하루 전에 원액을 탈이온수로 200배 희석한 후 진한 황산과 진한 질산 혼합액($\text{SO}_4^{2-} : \text{NO}_3^- = 3 : 1$ W/W)을 가하여 pH 3.0으로 만들었다.

Table 2. 인공 산성비의 화학 조성비(g/l)

염	NH_4OH	Na_2SO_4	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	KNO_3	$\text{Mg}(\text{NO}_3) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
농도	0.94	0.96	0.71	0.54	0.44	1.44

다. 접착제의 압축전단강도 측정

압축 전단강도의 측정은 만능강도시험기(기종 : INSTRON-4204)를 사용하였고 고 시험시 압축속도는 0.5mm/min로 하였다.

측정은 시험편을 판단할 때까지의 최대하중을 구하고 이것을 실시한 전단면적으로 나눈 것이 접착 강도이다.

$$\text{압축전단강도} = P/A \text{ kg/cm}^2$$

P : 최대하중 (kg)

A : 단면적 (cm^2)

4. 결과 및 고찰

가. 비중 및 흡수율

비중은 두 대리석이 비슷하였으며 원각사지 10층 석탑과 유사한 대리석이 경천사 10층 석탑과 유사한 대리석보다 많은 양의 물을 흡수하였다.

이는 공극율이 높기 때문으로 판단된다(Table 3 참조).

Table 3. 암석별 비중, 흡수율, 공극율 측정결과

종 류 \ 암 석	비 중	흡 수 율	공 극 율	비 고
경천사 10층 석탑과 유사한 대리석	2.66	0.077	0.212	
원각사 10층석탑과 유사한 대리석	2.7	0.131	0.377	

나. 압축전단 강도

실험전 압축전단강도는 접착제로 접착하지 않은 원석의 경우 경천사 10층 석탑과 유사한 대리석이 92.3kg/cm^2 이고 원각사지 10층 석탑과 유사한 대리석은

122.4kg/cm²로 원각사지대리석이 강하였다.

합성수지로 접착한 시험편은 에폭시 수지계의 아랄다아트 AW106과 HY837을 100 : 35(중량비)로 배합하여 접착한 것이 원석의 경우보다 강하게 나타났으며 기타 실리콘 수지, PVC수지, 아크릴수지들은 접착력이 매우 약하게 나타났다.

기기를 이용한 내후성 실험결과에서 에폭시수지의 접착력은 실험전과 큰 차이가 없으나 다른 합성수지의 경우는 접착력이 매우 약하여 자연 탈락되는 것이 많았다.

에폭시 수지 아랄다이트 AW106과 HY837로 접착시킨 시험편들은 내후성 실험 전·후 시편에서 모두 압축전단 강도 측정결과 접착면이 이탈되지 않고 대리석 면이 100% 파손되었으며 경화제 HY953u를 사용하여 접착시킨 것은 90% 이상 대리석면이 파손되었다.

실험결과(Table 4 참조)에 나타났듯이 국보 제86호 경천사 10층 석탑을 비롯한 대리석 석탑의 균열부위접착에 사용되는 합성수지로서는 에폭시에 아랄다이트 AW106(주제)과 HY837(경화제)을 100 : 35(중량비)로 배합하여 접착 복원하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

Ⅲ. 향후 보존처리

국보 제 86호 경천사 10층 석탑의 균열 및 파손부위 보존처리에 있어서 균열부위가 미세한 부분은 저점도의 에폭시수지 아랄다이트 AY103과 HY956을 100 : 20(중량비)으로 배합한 수지를 주사기 등으로 침투시켜 접착보강하고 균열부위가 넓은 부분은 정도가 약간 높은 아랄다이트AW106과 HY953u를 100 : 80(중량비)으로 배합한 수지를 균열부 내부에 침투시켜 접착 보강할 계획이다.

또한 부재들이 외부에 노출된 부분 중 시멘트로 조각한 부위는 기존의 시멘트를 경화 처리하여 보강조치하고 조각면이 없이 시멘트로 보강된 부위는 완전히 제거하고 에폭시수지에 대리석분을 혼합수지 몰탈을 만들어 충전보강한 후 당초의 상태대로 조각면을 만들어 주고 표면 처리한 후 고색 처리할 것이다.

1996년부터 보존처리를 시작한 국보 제 86호 경천사 10층 석탑은 국립문화재연구소 보존과학 연구실에서 실험과 연구를 바탕으로 전문가의 자문을 받아 보존처리를 완료하여 모든 국민들이 볼 수 있도록 할 계획이다.

Table 4. 집착제의 압축전단응력

단위 : Kg/cm²

시험별 합성수지	실험전		동결융해 실험		인공풍화 실험		자비조반 실험		산성수분 모 실험		내후성 실험		비 고
	K	G	K	G	K	G	K	G	K	G	K	G	
원품 (대리석)	92.3	122.4	66.4	134.8	110.4	102.0	70.0	105.1	76.6	133	81.35	118.7	
실리콘 수 지	24.1	26.7	37.2	29.4	7.7	26.5	18.3	13	18.8	18.4	20.5	21.8	대리석 파손율 0%
예폭시 수 지 HY 953u	103.1	105.8	75.2	55.35	76.8	76.6	30.7	42.6	47.6	75.5	57.57	62.51	대리석 파손율 90%
예폭시 수 지 HY 837u	96.7	136.3	94.0	101.1	111.7	142.9	67.4	66.9	117.4	147.1	97.62	114.5	대리석 파손율 100%
아크릴 수 지	68.3	54.5	29.6	6.2	89.8	100.1	73.4	32.8	41.1	30.5	58.47	42.4	대리석 파손율 50%
PVC 수 지	12.7	10.2	7.4	16.9	9.7	19.0	5.7	자연 탈락	10.8	15.9	8.4	12.95	대리석 파손율 0%

"원품"은 집착제로 집착하지 않은 것임.
 (주) K : 경천사 10층 석탑과 유사 대리석
 G : 원각사지 10층 석탑과 유사 대리석

□參考文獻□

1. 이용희 : 고기와와 보존을 위한 연구, 문화재 제25호, p.283. 1992
2. 송재섭 : 축진 내후성 시험기기(Weather-Ometer), 1992
3. 김병호 : 합성수지의 문화재 적용(III), 1883
4. 한국표준협회 : KSM-5000-1990의 시험방법 3231, 1990
5. 국립환경연구원 : 대기오염과 산성비에 의한 피해조사 및 평가에 관한 연구(II), p155~156, 1992
6. 장충석 : 한국의 탑, p.164~170, 1992



Photo 2. 균열이 심한 부분(해체중)



Photo 3. 균열되고 시멘트로 보강한 부분(해체중)



Photo 4. 압축전단 강도 측정전 상태 (원석)



Photo 5. 압축전단강도 측정 후 상태 (원석)



Photo 6. 에폭시 수지(AW103+HY953u)로 접착한 상태



Photo 7. 대리석이 파손된 상태(에폭시 수지로 접착)



Photo 8. 초산비닐수지로 접착한 상태

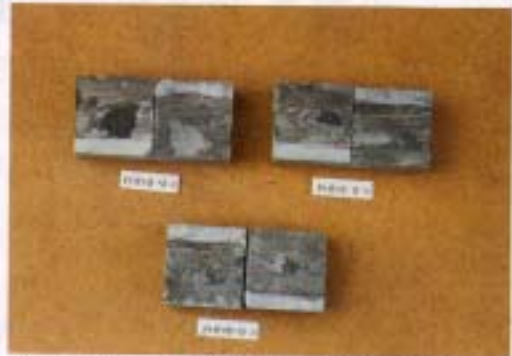


Photo 9. 접착면이 파손된 상태(초산비닐수지로 접착)



Photo 10. 에폭시수지(AW103+HY837)로 접착한 상태



Photo 11. 대리석이 파손된 상태