

익산 미륵사지석탑의 생물침해 방지를 위한 보존처리제 적용실험

—K201 생물처리제를 중심으로—

A study on the chemical treatment of
biodeterioration about stone pagoda of Iksan Mireuksaji
—Focusing on bio-treatment using K201—

梁熙堤 · 鄭容在 · 金思惠 · 金光勳*

Hee Jae Yang, Yong Jae Chung, Sa Dug Kim and Gwaoung Hun Kim*

ABSTRACT

The biodeterioration on Iksan Mireuksaji pagoda has been studied with focus on application of K201 as a chemical treatment. Total of 39 species, including 10 algae, 16 lichens, 6 mosses and 7 unidentified bacteria and fungi, were collected and identified on the surface of the pagoda. Most of them caused serious discoloration on the surface. The effectiveness and stability of K201 was examined by applying it on some part of the pagoda. A mild spraying of solution diluted to half of original reagent was good enough to eliminate all the deteriorating species on the surface. Most of discoloration disappeared after the treatment except the red color caused by iron substance. The effectiveness of the reagent was compared with water wash. The stone was first washed with water and the dirt on the surface was scrubbed off from the surface. The initial surface of the stone was clearer in water wash. However, many of the deteriorating species reappear in 4 weeks after water wash. Although spraying of the reagent K201 could not eliminate all the remnant of dead organisms as good as scrubbing the surface, no deteriorating algae or lichen was observed until two month

* 국립공주대학교 생물학과(The Kongju National University)

after treatment. Therefore, spraying method with chemicals seems more stable and reliable way to remove the biodeterioration than physical scrubbing of the surface.

I. 서론

국보 제11호인 익산 미륵사지석탑은 1915년경에 콘크리트로 보수된 후 6층만이 현존하다 1998년 안전진단을 실시하고 2001년 10월부터 본격적인 해체가 시작되었다. 국립문화재연구소 보존과학연구실에서는 석탑의 과학적 보존방안을 모색하기 위해 해체 부재에 대한 현황을 정밀조사하고 있다. 석탑의 훼손에는 여러 인자가 복합적으로 작용하며 이중 생물로 인한 석조문화재 훼손에 대하여 국내에선 「민경희, 1985」와 「김광훈, 2000」에 의하여 활발히 진행되고 있다. 미륵사지석탑에서도 침해생물에 대하여 효과적인 처리방안을 수립하고자 공주대학교 문화재비파괴진단연구소의 협조 하에 기초조사와 침해생물처리에 효과적인 약제를 조사하였다.

침해생물의 기초조사에서는 생물종이 조류 10종, 지의류 16종, 선태류 6종, 균류 7종으로 총 41종이 동정되었고 전체 피도는 85%로 조사되었다. 수근식물에 의한 침해는 적은 편이었으나 하등생물은 이미 생물막(Bio Film)을 형성하여 2차 천이가 일어났다. 이는 석조문화재 생물침해 단계에서 생물에 의한 본격적인 훼손을 의미하는 것이다. 이러한 침해 생물의 효과적인 제거를 위해 석조문화재에 사용할 수 있는 5종의 약제를 선택하여 생물의 제거와 포자의 재발생 여부에 대한 시험을 진행하였다. 비교시험 약제 중 K201은 암석에 영향이 없고 여러 생물에 대하여 효용성이 높은 것으로 조사되었다. K201은 국내 석조문화재에 발생된 생물 제거를 위해 제조된 약제로 이미 일부 석조문화재에 사용된바 있다(김광훈, 2003).

현재 석조문화재 생물 처리에는 물리적인 방법을 병행하여 처리하기에 처리 후 문화재가 지니는 심미적인 부분을 고려하여야 한다는 주장이 있는데 이는 화학적인

생물제거 방법이 부재의 세척과 관련하여 나타나는 현상이다. 이에 본 연구에서는 침해생물의 억제 효과가 높았던 K201약제를 사용하여 화학적인 처리에서 암석의 변화 여부를 조사하고 물리적인 방법을 사용하지 않고도 효과적인 제거가 가능한지를 확인하고자 하였다.

II. 시험부재 및 시험방법

1. 시험부재

석탑의 총 부재는 적심재를 포함하여 약 2,000여개일 것으로 추측되고 있으며 석탑의 외면을 구성하는 주요 부재는 500여개에 달한다. 기초조사에서는 생물학적 mapping을 수행하여 생물피도가 탑의 전사면에 평균 85%의 정도인 것으로 조사되었다. 탑의 상단부는 mapping을 수행하기 어려울 정도로 많이 혼생하고 있었으며 주로 미소토양이 축적되기 쉬운 수평적인 부재에서 다양한 생물층을 형성하였다. 이에 탑의 상단부에 위치한 3개 부재를 시험부재로 선택하고 엽상지의류의 변화를 관찰하고자 탑의 주변에서 수습된 2개 부재를 선택하였다. Table 1은 시험부재 현황이며 암석상태의 육안판정 부분은 석조문화재관리연구집(문화재청, 2001)의 분류기준을 참고한 것이다.

2. 시험방법

생물제거 방법을 조사하기 위하여 일개의 부재를 3부분으로 구분하고 처리를 달리하여 상호비교하는 방법으로 조사하였다. Photo 1에서 부재의 중앙은 증류수를 사용하여 물리적인 방법의 단순세척한 부분이고 좌측은 세척을 실시하지 않은 부분이며 우측은 약제로 처리한 부분이다. 각 부분의 암석 표면은 디지털 사진촬영이 가

Table 1. 시험 부재 현황

시험부재	부재명	크기(mm)	암석상태	생물과 점유율		현황
①	6층 귀옥개석	1360 × 1560 × 360	S-1 (Very Strong)	고착상지의류	90%	
				엽상지의류	10%	
②	6층 탐신반침석	1800 × 1160 × 330	S-2 (Strong)	고착상지의류	80%	
				엽상지의류	20%	
③	5층 귀옥개석	1530 × 1530 × 380	S-1 (Very Strong)	고착상지의류	60%	
				엽상지의류	40%	
④	수습부재 I	750 × 700 × 150	S-4 (Weak)	엽상지의류	상면 일부	
⑤	수습부재 II	1000 × 400 × 250	S-3 (Moderately Strong)	엽상지의류	상면 일부	
				녹조류	하면 70%	

능한 컴퓨터로된 실체현미경(Sometech vision)을 사용하여 40배로 촬영하여 전, 후 상태를 비교하였다. 이 실체현미경은 대물렌즈만을 사용하기에 배율에서 광학실체현미경과는 다소 차이가 난다. 단순세척 부분의 경우는 세척수를 수거하여 잔류물질과 pH(Orion, IQ 150)를 조사하였다.

약제의 효과적인 농도를 검토하고자 1차 K201 1/5 희석제와 2차 K201 1/2 희석

Table 2. 시험요약

시험	부재	환경	세부	처리 구분	처리방법
암석변화	6층 귀옥개석	실외	처리 전, 후 암석비교	· 부재 좌측-처리 무 · 부재 중앙-단순세척 · 부재 우측-약제처리	· 단순세척 프라스틱 솔, 증류수 · 약제처리 분무
	6층 탑신반침석				
	5층 귀옥개석	실내	열화부재 비교	전체약제처리	분무
	수습부재 I				
	수습부재 II				
생물제거	6층 귀옥개석	실외	다양한 생물층	K201 1/5 희석제	분무
	6층 탑신반침석			K201 1/2 희석제	
	5층 귀옥개석	실내	엽상지의류 변화 관찰	K201 1/2 희석제	
	수습부재 I			K201 1/5 희석제	
	수습부재 II			K201 1/2 희석제	
	실외	엽상지의류, 녹조류 변화 관찰	K201 1/2 희석제		

*시험기간 2003년 6월 10일 ~ 8월 30일

· 1차 시험 : K201 1/5 희석제(6월10일) · 2차 시험 : K201 1/2 희석제(7월 8일)

제로 농도를 달리하여 시험하였다. 처리 후 생물 억제력을 확인하기 위하여 각각의 부분에서 균주를 채취하여 배양 실험을 실시하였다. 또한 약제로 고사시킨 후 자연환경에서 어느 정도 제거가 가능한지와 약제 처리 후 외부환경으로 인한 약제의 효과를 파악하고자 실외와 실내로도 구분하였다. 시험기간은 생물활동이 활발한 6월 10일부터 8월 30일까지 80일간 실시하였다(Table 2).

3. 실험과정

Photo 1의 실험과정에서 단순세척 부분은 플라스틱 솔과 증류수(10 l)를 사용하여 표면을 부드럽게 마찰하는 방법으로 제거하였다. 600×1500mm 정도의 면적을 제거하는데 약 30분 정도가 소요되었으며 세척수는 수거하여 잔류물질과 pH를 조사하였다. 약제처리 부분은 다른 부분에 영향을 주지 않도록 비닐로 포장하였다. 약제

1	6층 귀옥개석	2	시험부 구분	3	처리 구분
					
다양한 생물층이 옥개석 상면에 기생		· 좌: 처리 무 · 중앙: 단순세척 · 우: 약제처리		약제 처리시 영향을 주지 않도록 비닐 포장	
4	약제 도포	5	균주 채취	6	시험 완료
					
· 1차 - 1/5 희석제 · 2차 - 1/2 희석제		약제도포 3주 후		2003년 6월10일~8월30일	

Photo 1.
시험과정

의 처리농도 실험에서는 1차 K201을 1/5로 희석하고 2차에는 1/2로 희석하였다. 스프레이건을 사용한 분무는 4HP 콤프레샤에서 8Kgf/cm²가 유지되는 것으로 분무 시 압력은 자동차 세차 압력의 약 1/4 정도이다.

실험부재의 각각 부분에서는 실험 실시 3주 후에 균주를 채취하고 배양하여 균주가 제거되었는지를 확인하였다. 시험부재 중 2개는 실내로 이동하고 3개는 외부에 노출시켜 환경적으로도 구분하였다. 실내로 이동한 부재는 직접적인 태양광선의 영향을 받지 않는 가설뒤킵 내의 보존처리실에서 보관하였다.

Ⅲ. 시험결과

1. 세척방법에 따른 표면 오염물의 제거 효과 및 석재의 안전성 실험

Photo 2에서 시험부재 ①, ②, ③번의 암석 표면은 풍화로 마모되어 신선한 표면층이 노출되어 있는 상태로 신선암 처럼 광택이 있었으며 입자의 균열과 요철은 심한 편이 아니었다. 시험부재 ①, ②, ③번에서 단순세척 부분은 피복된 물질이 완전히 제거되지 않아 잔류된 지의류와 축적된 미소토양이 관찰되었다. Photo 2의 시험부재 ③번의 단순세척 사진부분은 각상지의류가 제거되지 않은 부분의 사진이다. 표면물질이 제거된 경우에는 약간 붉은 빛이 나고 신선암과 같이 광택이 낮으며 암석 표면입자의 균열은 관찰되지 않았다.

약제처리 부분의 경우에는 단순세척 보다 표면물질의 제거가 용이하였으며 시험부재 ①, ②번에서 요철이 심한 부분에서만 잔류 물질이 조금씩 관찰되었다. 시험부재 ①번의 경우는 생물로 피복되었던 부분이었으나 암석의 원색이 보존되어 있었으며 시험부재 ②, ③번의 표면은 약간 붉은 빛으로 나타났는데 육안관찰에는 약간의 얼룩으로 보이는 정도였다.

Photo 3의 시험부재 ④번은 풍화가 심한 부재를 처리하고자 시험한 것으로 부재는 풍화로 인한 표면층의 입자 균열과 약 2~3mm의 요철이 있는 상태였다. 시험부재 ⑤번은 암석이 붉게 오염된 경우에 약제를 사용한 세척에서 제거가 가능한지를 알아보려고 한 것이다.

시험부재 ④번은 약제 처리시 암석 표면 이물질이 거의 제거되어 입자 균열부분이 뚜렷하게 관찰되었으며 그 이상의 다른 변화는 찾아볼 수 없었다. 암석은 단순히 표면 이물질이 제거되면서 밝게 보이는 정도였다. 시험부재 ⑤번에서는 표면에 축적된 미소토양은 제거되었으나 산화철로 인한 반점들이 남아 있었으며 암석은 전체적으로 붉은 색을 띠었다. 이는 약제를 사용한 세척에서 산화철로 인한 변색 부분은 세척효과를 기대할 수 없는 것이다.

구분	시험부재 ①	시험부재 ②	시험부재 ③
처리 무			
단순 세척			
약제 처리			

Photo 2.
암석변화 I

단순세척한 부분에서 물리적인 세척으로 인한 부재의 훼손에 대해 알아보고자 세척수를 수거하였다. 세척수의 부유 물질은 끝이 뾰족한 10ml 스포이드에 침전시키고 세척수에 침전된 물질은 채(Mash #200)로 걸러 암석입자를 확인하였다. Photo 4는 침전된 모습으로 좌측부터 시험부재 ①, ②, ③번이며 사진에서 중간 이상의 부분은 세척시 지의류가 파쇄된 유기물층이며 하단의 침전물에는 대부분 미소토양이거나 파쇄 입자가 굵은 지의류였다.

침전물을 채로 걸러 확인하는 과정에서는 작은 알갱이들이 지의류에 부착되어 잘 떨어지지 않았으나 최종 잔류물질로 3mm이하의 작은 알갱이가 시험부재 ①, ②번에서 관찰되었고 시험부재 ③번에서 만이 5mm이하 암석알갱이가 확인되었다. 이는 물리적인 세척을 실시했음에도 시험부재의 상태가 양호하였기에 비교적 암석에 영향을 주지 않은 것으로 판단된다.

구분	시험부재 ④	시험부재 ⑤
처리 전		
약제 처리 후		

Photo 3.
암석변화 II

세척방법에 의한 암석변화에 대하여 종합적으로 Table 3을 작성하였다. 단순세척 부분과 K201 약제처리 부분에서 뚜렷한 암석 변화는 관찰되지 않았다. 생물이 기생하였던 부분에서 약하게 나타난 붉은 빛은 생물을 제거한 다른 부분에서도 원색

구분	시험부재 ①	시험부재 ②	시험부재 ③
부유물 침전			
	파쇄된 지의류와 미소토양	파쇄된 지의류와 미소토양	약간 굵은 입자의 지의류
최종 잔류물			
	2mm 이하	3mm 이하	5mm이하

Photo 4.
세척수 침전

확인이 가능하였기에 생물로 인한 변색은 아니라고 판단된다. 다만 미소토양이 축적되면서 약하게 변색한 것이거나 암석이 이미 변질한 것으로 판단된다. 생물이 기생했던 부분에서 오히려 밝게 보이는 부분이 있었는데 이는 고착상지의류가 암석 표면을 녹여낸 것으로 판단되는 부분이다.

세척방법에서 암석의 상태가 양호하면 물리적인 방법을 사용해도 거의 영향이 없음을 단순세척 부분의 세척수에 포함된 잔류물질 조사결과로 확인할 수 있었다. 암석 표면에 축적되는 물질은 거의 미소토양과 지의류였으며 피복물질의 제거방법은 단순세척 방법보다 약제를 사용한 고압분무 방법이 효과적이었고 열화부재의 경우는 물리적 작용으로 인한 훼손이 있을 수 있기에 분무압을 조정하면서 주의를 기울여야 할 것이다.

약제를 사용한 세척에서 산화철로 인한 오염부분은 표면에 축적된 미소토양은 쉽게 제거 되었지만 산화철로 인한 오염부분은 약제를 사용해도 제거되거나 탈색되지 않았다. 또한 표면에 약하게 나타난 붉은 빛도 생물제거시에 회복이 가능하지 않았다. 따라서 K201약제는 암석에 영향을 줄 수 없는 것으로 판단된다.

2. 약제의 사용법에 따른 살균 및 지속 효과 실험

약제의 효과적인 처리농도를 조사하기 위한 실험으로는 약제처리 후 지의류 고사와 자연적인 제거가 어느 정도 가능한지를 확인하는 과정으로 실시하였다. 실험은 1차와 2차로 나누어 1차 시험에서는 K201약제를 1/5로 희석하여 시험부재 ①, ③, ④번에 실시하였다. 시험부재 ④번은 엽상지의류 변화에 대하여 관찰을 위한 것이다. Photo 5는 1차 시험을 정리한 것으로 시험부재 ①, ③번에서는 약제 도포 시 표면에 기생하는 고착상지의류가 약간 변화하는 것을 확인할 수 있었으며 제거되거나 더 이상의 변화는 없었다. 시험부재 ④번의 엽상지의류는 도포 시에 탈색되었고 완료 후에는 갈색으로 고사하였다.

약제의 농도를 달리한 2차 시험에서는 시험부재 ②, ⑤번에 대하여 실시하고 1차

Table 3. 암석변화 시험결과 (ND : Not detected)

시험 부재	암석 상태	처리 구분	약제 농도 및 사용량 (l)	처리 면적 (mm)	소요 시간 (분)	암석변화				
						처리부 조사		물리적 훼손	세척수 pH	
									초기 평균	최종 평균
시험 부재 ①	S-1	단순 세척부	증류수 10	500 × 1500	30	암석 상태 생물 제거	전, 후 변화 없으며 암석은 윤기가 남 잔류물질이 관찰됨	2mm 이하 잔류물	6.41	7.02
		약제 처리부	1/5 희석제 8	500 × 1500	20	암석 상태 생물 제거	전, 후 변화는 없으며 암석은 윤기가 남 약간은 색이 변하였으나 처리시 제거되지 않음	ND	ND	
시험 부재 ②	S-2	단순 세척부	증류수 5	500 × 600	10	암석 상태 생물 제거	전, 후 변화는 없으며 암석은 윤기가 남 잔류물질이 관찰됨	3mm 이하 잔류물	5.62	6.82
		약제 처리부	1/2 희석제 6	800 × 900	10	암석 상태 생물 제거	전, 후 변화 없으며 암석은 윤기가 남 처리시에 고착상의류가 제거되고 세척효과가 높음	ND	ND	
시험 부재 ③	S-1	단순 세척부	증류수 10	500 × 1500	30	암석 상태 생물 제거	전, 후 변화 없으며 암석은 윤기가 남 고착지의류가 잘 제거되지 않음	5mm 이하 잔류물	5.55	6.25
		약제 처리부	1/5 희석제 8	500 × 1500	20	암석 상태 생물 제거	전, 후 변화 없으며 암석은 윤기가 남 약간은 색이 변하였으나 처리시 제거되지 않음	ND	ND	
시험 부재 ④	S-4	전체 고압분무	1/5 희석제 4	750 × 700	10	전, 후 변화 없으며 표면물질만 제거되었기에 암석이 밝게 보임		ND	ND	
시험 부재 ⑤	S-3	전체 고압분무	1/2 희석제 2	400 × 1000	6	전, 후 변화 없으며 축적된 미소토양은 제거되었으나 산화철 부분은 제거되지 않음		ND	ND	

※ pH는 세척 후 5일 간을 연속하여 측정하고 그 후 10일과 15일 간격으로 2회를 추가하여 총 7회를 측정하였으며 1회의 측정값은 10회 측정의 평균값이다.

시험부재 ①		
		
처리 전	약제도포	처리 후 고착상지의류 약간 변화
시험부재 ②		
		
처리 전	약제도포	처리 후 고착상지의류 약간 변화
시험부재 ③		
		
처리 전	약제도포	처리 후 변화

Photo 5.
1차 K201 1/5희석제(6월10일)

시험을 실시한 시험부재 ①번은 부분적으로 재실시 하였다. Photo 6의 시험부재 ①번은 1차 시험부분에 재실시한 것으로 고착상지의류가 1/2 희석제에서 제거됨을 확인하였다. 시험부재 ②번에서도 고착상지의류가 처리시에 제거되었으며 시험부재 ⑤번의 염상지의류는 1차 시험 때와 같이 처리시에 탈색되었는데 좀더 빠르고 많이 탈색되었다.

Photo 7은 조류가 기생했던 부재의 처리사진으로 좌측은 시험부재 ⑤번에서 약

시험부재 ①		
		
1차 시험 부분 재도포	고착상지의류 제거	완료
시험부재 ②		
		
처리 전	고착상지의류 처리시 제거	완료
시험부재 ③		
		
처리 전	세척제 도포	완료

Photo 6.
2차 K201 1/2회석제(7월8일)

제가 다른 부분에 흘러내리면서 조류가 제거된 것을 촬영한 것이다. 우측사진은 석탑에서 해체되어 외부에 적치한 석탑 내부 적심석으로 시험 기간 중에 새로이 조류가 발생한 것이다. 이는 장시간 외부 적치시 생물침해의 기초가 되는 조류가 발생될 수 있음이 예측되며, 이 두 사진을 비교하면 약제의 효과로 인하여 조류가 제거되고 억제됨을 확인할 수 있고 좌측사진을 통하여 세척 효과도 가늠할 수 있다.

약제를 사용하여 고사시킨 후 물리적인 방법을 사용하지 않고도 자연적인 환경에

Photo 7.
녹조 제거

시험부재 ⑤	외부환경에 적치된 석탑 적심재
	
<p>• 상면 처리시 약제가 흘러내린 부분으로 녹조의 재발생이 억제(1/2회석제)</p>	<p>시험기간 중 새로이 발생한 녹조</p>

서 어느 정도 제거되는지 확인하고자 하였다. 시험부재 ①, ②, ⑤번은 실외에 적치하고 시험부재 ③, ④번은 실내에 보관하였다. Photo 8과 같이 약제로 고사시킨 후 물리적인 방법을 사용하지 않고도 실외환경에서 자연스럽게 제거됨을 확인할 수 있었다.

1차, 2차 시험의 생물제거 상태를 확인하고자 약제처리 3주 후에 1차 시험부재에서 균주를 24개 채취하였으며 2차 시험부재에서는 15개를 채취하여 균주배양을 실

Photo 8.
실내와 실외환경

실 외	실 내
<p>시험부재 ①</p>	<p>시험부재③</p>
	
<p>2차 시험 처리 후</p>	<p>처리 전</p>
	
<p>시험 종료</p>	<p>시험 종료</p>

시하였다. Table 4는 약제처리의 1차, 2차 시험을 정리하고 균주의 배양시험 결과를 종합한 것이다. 1/5 희석제를 사용한 실험에서 뚜렷한 암색 변화는 관찰되지 않았으며 실시 3주 후에 잔류생물이 남아 있는 부분에서 채취한 균주를 배양 실험한 결과 일부의 조류 만이 확인되고 대부분 억제되었기에 1/5 희석제를 사용해도 생물의 고사가 가능하다고 판단된다.

1/2 희석제를 사용한 실험에서는 고착상지의류가 처리시에 제거되었고 균주배양에서 균주는 발견되지 않았다. 따라서 약제의 농도는 생물의 분포 상황에 따라 1/5로 희석시켜 사용해도 생물의 고사가 가능한 것이다. 물을 사용한 단순세척의 경우에는 지의류와 선태류의 재발생이 관찰되지 않았으나 조류는 거의 대부분이 4주 후에 재발생 되었다. 반면 1/5 희석제를 사용한 경우에는 Microcystis 와 Chroococcus의 두 종이 부재에 따라 약간씩 재발생 이 있었으나 지의류와 선태류는 완전히 죽은 것을 알 수 있었다.

이상의 결과로 석재의 훼손은 조류의 부착에 의해 시작되며 단순한 물 세척을으로는 부착 조류를 효과적으로 제거와 억제를 할 수 없는 것을 의미한다. 1/5 희석제 처리에서 약간의 재발생이 관찰된 두 종류의 남조류는 매우 많은 습기가 보존된 곳에서만 서식이 가능한 종들로서 이는 조사 시기에 계속하여 비가 내린 관계로 주변의 토양으로부터 유입되어온 것으로 사료된다. 그러나 1/2 희석제 처리에서는 같은 기상 조건이었음에도 이들 종의 재유입이 전혀 이루어지지 않는 것으로 볼 때 약제의 처리 효과가 비가 내리는 환경에서도 오래 지속될 수 있음을 나타내는 것이다.

따라서 제거가 쉽지 않고 일부 조류가 발견된 고착지의류의 경우는 처리시에 일부 제거해서 보습 효과를 약화시킬 필요성이 있으며 보습 효과가 약화되면 조류의 발생이 지연되고 2차, 3차로 이어질 수 있는 생물처리 시간도 지연하는 효과가 있는 것이다. 또한 실외 환경에 있는 부재는 외부조건으로 인하여 고사된 부분이 빠르게 제거될 수도 있기에 처리자는 생물을 제거할 때 생물분포 상황에 맞게 농도를 조절하여야 한다.

Table 4. 약제처리에 따른 살균지속력 측정 결과

구분	시험부재	기생 생물	약제 처리 구분	처리 면적	사용량 (l)	소요 시간 (분)	처리시 생물 변화	균주	
								처리부분	재발생종수
1차	① 6층 귀옥개석	다양한 생물층	약제 처리부	500 × 1500	8	20	약간	처리 무	13
								단순세척	6
								약제처리	1
1/5 회석제	③ 5층 귀옥개석	다양한 생물층	약제 처리부	500 × 1500	8	20	약간	처리 무	9
								단순세척	6
								약제처리	2
	④ 수습부재 I	엽상지의류	전체 도포	750 × 700	4	10	탈색	전체도포	1
2차	① 6층 귀옥개석	다양한 생물층	약제 처리부	500 × 700 (재처리)	6	10	제거	처리 무	15
								단순세척	7
								약제처리	0
1/2 회석제	② 6층 탑신받침석	다양한 생물층	약제 처리부	600 × 800	6	20	제거	처리 무	17
								단순세척	8
								약제처리	0
	⑤ 수습부재 II	엽상지의류 녹조류	전체 도포	400 × 1000	4	6	완전 탈색	전체도포	0

IV. 결론

이상의 시험결과로 암석의 상태가 양호하면 물리적인 작용으로 인하여 발생할 수 있는 암석의 훼손은 극히 작으며 K201 약제를 사용한 분무식 방법이 석탑에 발생한 생물을 처리하는데 충분히 효과적임을 알 수 있었다. 물을 사용한 단순 세척의 경우 처리 직후에는 약제를 사용한 방법과 마찬가지로 암석 표면의 생물훼손종이 제거되었으나 상당수의 조류가 4주 후에는 재발생 되는 것으로 조사되었다.

생물훼손의 시작이 부착조류의 침입과 더불어 일어난다는 점을 고려할 때 단순한 물 세척으로는 부착 조류를 효과적으로 제거 할 수 없을 것으로 판단되었다. 반면 약제를 사용한 경우 1/5 희석제에서는 두 종의 남조류가 부재에 따라 약간씩 재발생 되는 것을 알 수 있었다. 따라서, 부재의 생물훼손이 심한 부재에서는 1/5이상의 농도를 사용함이 적절할 것으로 사료된다.

1/2 희석제를 사용할 경우에는 처리시에 지의류와 선대류가 완전히 제거되었으며 실험 기간이 장마철이기에 주변의 토양으로부터 조류의 유입이 매우 쉽게 일어날 수 있는 조건임에도 처리 후 조류의 재유입이 전혀 이루어지지 않았다. 이 점으로 미루어 보아 약제의 농도에 따라 재발생을 억제하는 효과가 달라짐을 알 수 있었다. 따라서 생물 처리 후 상당 기간 비를 맞지 않는 환경이라면 1/5 희석제를 사용해도 충분히 효과가 있을 것으로 사료되나 확실한 처리와 재발생을 억제하기 위해서는 1/3 희석제 처리가 모든 환경에서 가장 적합할 것으로 사료된다.

화학제의 처리 방법으로는 분무와 도포 그리고 세척 후 도포 등 처리 강도에 따라 다양한 방법을 적용할 수 있으나 본 조사에서는 석재에 대한 물리적 부하가 적은 평압 분무식으로 약제를 처리하였으며 충분히 효과적인 방법임을 알 수 있었다. 분무식에 의한 처리 방법은 물리적 세척과는 달리 표면의 지의류나 선대류 등의 잔해를 남겨 놓은 상태로도 고사가 가능하였고 처리전과 외관상 큰 차이가 없으므로 고품적 미를 유지한다. 이는 문화재 처리에 따른 미학적인 문제를 어느 정도 완충시킬 수 있다고 판단되는 부분이다.

앞으로 약제의 효과가 어느 정도 지속되는지는 자료를 구축하고자 하며 장기적인 함침실험을 실시하여 암석 변화여부도 면밀히 관찰하고자 한다. 그리고 이번 연구에서는 화학적인 방법을 사용한 생물처리 방법의 고찰이었으나 앞으로 좀 더 물리적인 부하가 적은 건식 방법도 연구되어야 할 것으로 본다.

참고문헌

1. 김광훈, 2003, 익산미륵사지석탑 생물침해현황 및 보존처리제 조사 보고서.
2. 김진형, 김사덕, 2003, 경천사10층석탑 오염물제거 방안연구, *보존과학연구*, 23 : 41-57.
3. 한국문화재보존과학회, 2001, 석조문화재관리방안연구.
4. 민경희, 1985, 하등식물이 석조문화재에 미치는 영향, *보존과학연구*, 6 : 1-11.