

感恩寺址 西塔出土 步段側面石의 保存處理

김종우* · 정태화 · 정수연

국립경주박물관 보존과학실

Conservation Treatment of Stairway-side Stone Panels Taken Out from West Pagoda of Gameunsa-site

Jongwoo Kim, Taehwa Jeong and Suyeon Jeong

Conservation Science Laboratory, Gyeongju National Museum

요약 국립경주박물관 옥외전시장에 전시되고 있었던 보단측면석은 과거 접합·복원부분의 풍화로 인하여 박리 및 박락이 진행되었다. 따라서 풍화된 암석에 대한 편광현미경 관찰 및 분석을 통한 암석 내의 팽윤성광물의 확인, Schmidt Hammer 반발경도 측정 및 Karsten Tube를 사용하여 모세관물흡수율을 조사하였다.

Abstract At platform-reinforcing side stone plate having been exhibited in outdoor exhibition space of Gyeongju National Museum, split and exfoliation were proceeding due to weathering at joined·restored parts. Accordingly we checked imbibitional minerals in the stone through observation and analysis with polarized microscope, and studied capillary water absorption rate using Schmidt Hammer rebound hardness measurement and Karsten Tube.

1. 머리말

석재는 우수한 물성과 다른 재료에 비해 공급이 용이하여 많은 문화재에 적용되었으며, 금속이나 목재와 같은 다른 재질의 유물들에 비해 풍화반응의 진행 속도가 느린 것으로 알려져 있다. 그러나 산업화에 따른 많은 풍화요인으로 인해 그 훼손속도는 점차적으로 빠르게 진행되고 있다. 박물관 소장품 중 석조품들은 대부분 옥외에 전시되고 있으며,

옥외전시환경은 풍화의 진행속도 및 다양한 풍화요인들에 직접적으로 노출되어 있어 옥내에 전시되는 유물에 비해 많은 문제점들이 나타나게 된다.

본 연구의 대상인 감은사지 서탑출토 보단측면석은 접합 재료의 노후 및 내부 접합보조물(철심)의 부식으로 인해 전시 중 박락되었으며, 따라서 긴급보존처리를 실시하였다. 또한 풍화된 암석의 강화처리를 위한 예비실험 실시 및 실험 결과를 통해 가장 안정적이고 적합한 강화제를 선정하여

* Corresponding Author : Conservation Science Lab., Gyeongju National Museum
Tel : 054)740-7615 | Fax : 054)740-7612 | E-mail : kjw4891@museum.go.kr

처리하였다.

II. 현황 및 연구방법

보단측면석은 1959년 국립박물관에서 실시한 사지발굴(1959년~1960년)조사 이후 경주박물관으로 이동된 것으로 판단된다. 유물에 관한 보존처리에 관련된 기록은 남아 있지 않지만, 전체 4개의 편을 접합·복원처리 하였으며, 과거 측면 무늬부분을 시멘트로 복원 처리하였다(Photo 1). 현재 상태는 과거 접합에 사용하였던 내부보조물(철심)의 부식, 팽창으로 인해 접합면이 박락되어 부분 파손되어 있으며, 파손단면에서는 내부의 접합보조물(철심)을 육안으로 확인할 수 있다. 또한 표면에는 지의류(엽상) 및 녹조류가 분포하며, 접합재료의 노후로 인해 접합부분을 따라 균열이 진행 중에 있다. 보단측면석은 갑은사지 서탑 적심 안에서 발견되었으며, 양 측면에 기하학적인 문양이 조각되어 있는데 이 문양은 中國 北魏時代의 石窟양식에서 발견된다¹⁾. 보단측면석은 서탑(Photo 1)과 동탑(Photo 2) 모두에서 발견되었는데, 동탑출토 보단측면석은 1979년~1980년에 걸친 2차 발굴조사 중 확인되었으며 형태 및 양식, 크기가 서로 유사하다. 단면은 『工』字 모양을 하고 있으며, 양측면의 무늬는 5cm크기의 띠 모양이다. 안잡지에서 출토된 바 있는 목제 난간살대와 유사한 빗완자문으로

돋을새김되어 있으며, 일명 卍崩무늬라고도 칭한다.²⁾

보단측면석은 내부 접합보조물(철심)의 부식으로 인해 부분 파손되어 있는 상태이며 표면의 생물서식과 접합면 및 접합재료의 박락이 진행되고 있다. 또한 암석성분의 용해로 인한 표면변색이 확인된다. 따라서 X-선회절분석(Model:X'Pert APD system, Philips)을 실시하여 암석 조성광물의 결정상과 풍화에 의해 형성된 변질광물의 생성여부를 관찰하였으며, 암석을 구성하는 화학성분은 X-선형광분석(Mode:PW 2400, Philips)을 이용한 정량분석을 실시하였다. 분석결과를 통해 암석의 광물조성 및 풍화 요인을 확인하였으며, 강화제 사용을 위한 물흡수 계수 및 강도측정을 실시하여 강화처리의 기초 자료로 활용하였다.

III. 분석조사

3.1. 분석 및 결과

시료는 암석 해체 시 박락된 편으로 암석표면의 2~3곳에서 채취하였다. 암석은 반상조직을 보이며, 반정은 사장석, 흑운모, 그리고 각섬석으로 구성되어 있다(Photo 3). 바탕은 미정질 내지 유리질로 구성되어 있으며, 사장석 반정은 육안으로 볼 때 그 크기가 대체로



Photo 1. Three-story stone pagoda(west) of Gameunsa temple site and platform-reinforcing side stone excavated from Jeoksim of west pagoda

Photo 2. Platform-reinforcing side stone excavated from east pagoda

1) 『感恩寺』, 1961, 국립박물관 특별조사보고 제2책, p.64.

2) 『感恩寺』, 1997, 발굴조사보고서, 문화재청, p.220.

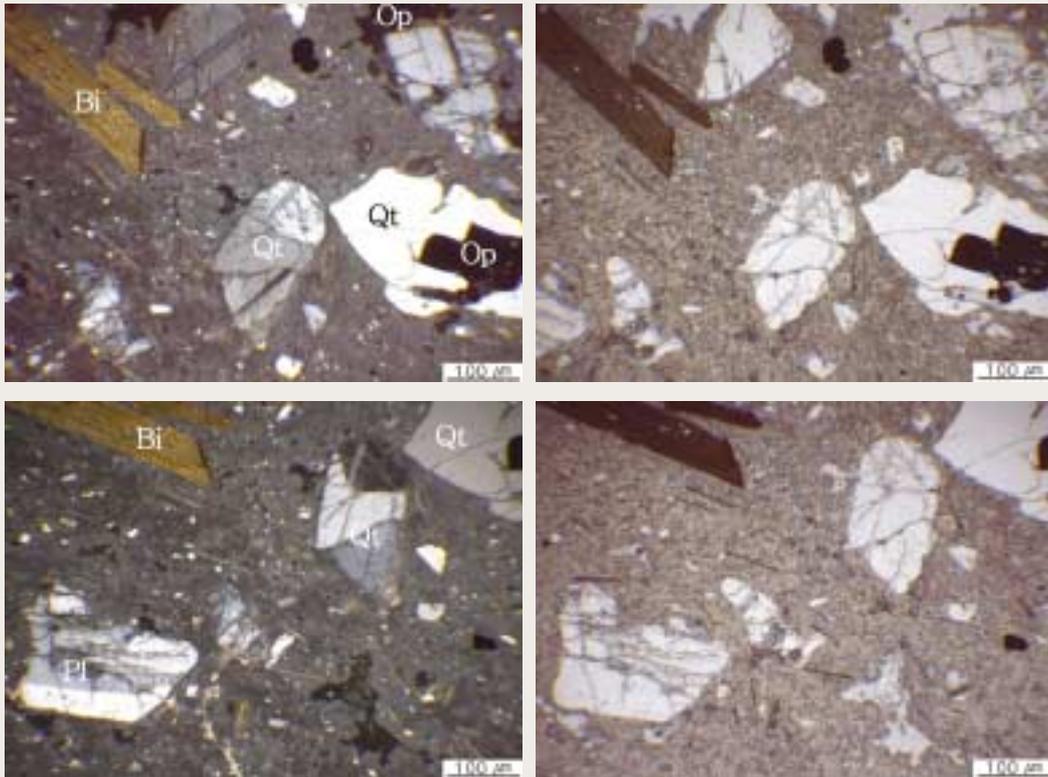


Photo 3. Picture of sample part taken by polarized-light microscope (qt : quartz, pl : plagioclase, bi : biotite, op : opaque mineral)

1~6mm이며 흑운모는 판상의 반자형 결정으로 산출된다. 풍화가 심한 표면부위의 시편에서는 반정과 바탕이 모두 변질되어 있다(Photo 3). 특히 사장석 반정은 가장자리와 벽개를 따라 불규칙한 망목상으로 변질되어 나타난다.

분말화된 시료의 X-선 회절분석 결과, 광물조성은 사장석, 석영, 흑운모 그리고 스멕타이트 성분이 검출되었다 (Fig 1). 그리고 X-선 형광분석 결과에서는 SiO₂와 Al₂O₃의 함량이 주성분으로 검출되었으며, 미량성분으로서

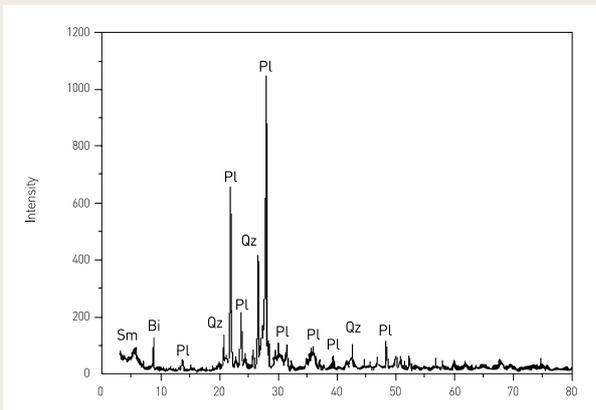


Fig 1. Result of XRD analysis (Sm:Smectite, Bi: Biotite, Pl: Plagioclase, Qz: Quartz)

Table 1. Result of XRF analysis(wt%)

Na ₂ O	3.28
MgO	1.25
Al ₂ O ₃	15.57
SiO ₂	68.26
P ₂ O ₅	0.40
SO ₃	0.59
K ₂ O	2.94
CaO	4.89
TiO ₂	0.34
MnO	.
Fe ₂ O ₃	2.34
LOI	0.08
Total	99.99

Na₂O, K₂O, 그리고 CaO가 검출되었는데, 이와 같은 성분들은 화강암을 구성하는 주성분 광물인 석영과 장석류의 영향인 것으로 판단된다(Table 1).

X-선 회절분석에서 검출된 스파타이트는 대표적인 팽윤성 점토광물이다. 팽윤성 점토광물을 함유하고 있는 경우는

강화제의 적용에 의해 결정격자 구조내의 층간 간격 변화를 가져와 부피변화를 야기함으로써 오히려 풍화된 암석의 상태를 훼손시킬 수 있다. 따라서 보단측면석의 강화처리 시 강화제의 선택 및 적용에 있어 예비실험을 통해 층간 간격의 변화정도를 확인한 후 실시하여야 한다.



Photo 4. Position of measuring Schmidt Hammer and distribution chart of estimated strength

Table 2. Estimated hardness tested by Schmidt Hammer

(Rebound hardness of normal and fresh granitie shows value of about 40~60kgf/cm²)

Position	No.	Rebound hardness		Schmidt Hammer estimated hardness(kgf/cm ²)	
		before treatment	after treatment	before treatment	after treatment
Front	1	30	32	239	263
	2	29	31	227	249
	3	24	28	168	214
	4	35	41	299	373
	5	35	40	299	362
	6	37	43	324	398
	7	40	43	322	398
	8	30	36	239	313
	9	38	45	338	422
	10	30	35	239	299
	11	31	36	249	313
	12	35	39	299	348
	13	42	42	385	385
	14	37	37	324	324
	15	39.5	42	355	385
Side (Damaged side)	1	23	26	157	192
	2	28	33	214	274
	3	38	43	338	398
	4	41	42	373	385
Top	1	29	33	227	274
	2	23	33	157	274
	3	23	29	157	227
Back	1	27	32	203	263
	2	17.5	27	63.5	203
	3	17	25	60	179
	4	34	35	288	299
	5	36	36	313	313
	6	37	43	324	398
	7	28	37	214	324
	8	25	26	179	192
	9	32	32	263	263
	10	42	46	385	436
	11	24	32	168	263
	12	30	36	239	313
	13	29	36	227	313
	14	41	41	373	373
	15	37	42	324	385
	16	37	42	324	385
Side	1	36	43	276	398
	2	31	43	249	398
	3	40	46	362	436
Bottom	1	34	41	288	373
	2	34	40	288	362
	3	42	47	385	447

3.2. 위치별 강도 측정

부재에 대한 강도측정은 슈미트해머(Schmidt Hammer)를 사용하여 압축강도를 측정하였다. 측정방법은 암석표면을 Schmidt Hammer로 타격하여 측정되는 반발경도값을 압축강도로 환산하여 계산하였다(Photo 4). Schmidt Hammer 측정방법은 내부의 강도까지 정확히 측정할 수는 없지만, 측정이 간편하고 짧은 시간에 강도 추정이 가능하다. 부재는 구역별로 구분하여 측정하였으며, 2~3회 측정값의 평균값으로 나타내었다. 측정횟수가 많을수록 가장 근접한 측정값이라 할 수 있으나, 표면손상이 우려 되는 곳을 제외하고 2~3회로 제한하여 측정, 평균값으로 계산하였다(Table 2).

측정 전 신선한 동종암석에 대한 반발경도를 우선적으로 측정하여야 하나 신선한 동종의 암석을 구할 수 없어, 실험 과정에서 제외하였다. 부재 위치별 반발경도 측정결과,

부재의 상면(123~189 kgf/cm²) 및 전(130~189 kgf/cm²)·후면의 상부(32~161 kgf/cm²)와 내부 기하학적 문양 부분(140~177 kgf/cm²)의 강도가 약하게 나타났다. 이 결과에서 후면 상부(32 kgf/cm²)가 가장 취약한 것으로 확인되었으며 낙수면 상면부터 시작하여 하단으로 내려갈수록 반발경도 측정값이 높게 나타났다(Photo 4).

3.3. 물흡수계수 측정

암석에 대한 물흡수율은 Karsten Tube를 이용하여 부재표면에 직접 부착하여 측정(Photo 5)하였으며, 구역별로 모세관물흡수량을 측정하여 모세관물흡수계수를 계산하였다(Table 3). 모세관물흡수계수(ω)의 계산식은 다음과 같다.

$$\omega = W / t^{1/2}, W = \omega \cdot t^{1/2}$$

[W:표면적으로 흡수된 모세관 물흡수량 kg/m², t:시간(hour)]

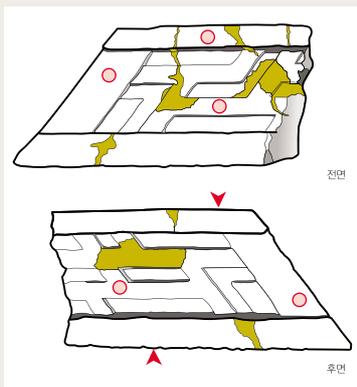


Fig 2. Position of Karsten tube measurement

Photo 5. Karsten tube measurement

Table 3. Capillary absorption coefficient(kg/m²t^{1/2})

	Before treatment	After treatment
Front	0.91	0.71
Back	1.12	0.81
Top	13.87	0.97
Bottom	0.67	0.57
Inside of front	15.91	2.55
Top of front	15.3	14.28
Inside of back	20.61	12.85

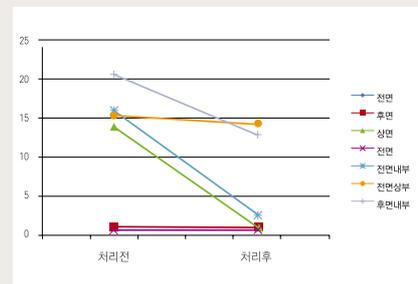
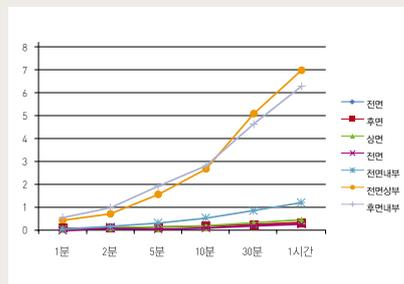
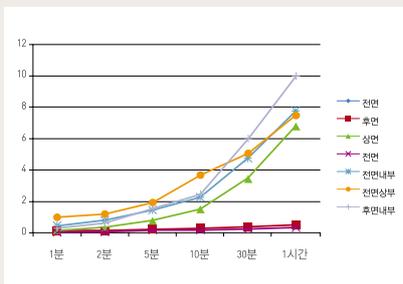


Fig 3. Karsten measurement value over time (before treatment, after treatment)

Fig 4. Capillary absorption coefficient(kg/m²t^{1/2})

물흡수율은 1분·2분·5분·10분·30분·1시간 간격으로 측정하였으며, 측정위치는 복원부분(시멘트부분)을 제외한 암석표면을 대상으로 前·後·上·下·側面을 포함 하여 총 7곳에서 실시(Fig 2)하여 그 결과 값을 Fig 3에 나타내었다.

측정결과, 後面 內部 측정값이 가장 높게 측정되었으며, 前面 內部와 上面 순으로 측정값이 높았다. 이것은 압축강도 측정결과와도 비례하였다. 물흡수량이 높게 나타나는 이유로는 암석의 풍화와 박리 및 오염물층 등 여러 요인들이 있겠지만, 측정값이 높게 나타난 위치는 미세균열의 발생이 많은 곳으로 암석의 표면과 내부풍화에 직접적인 연관이 있다고 판단된다.

IV. 보단측면석 보존처리

4.1. 상태조사

야외정원에서의 부식으로 인해 파손된 상태로 들어온 보단측면석은 두 편으로 분리되어있다. 접합부분의 균열과 측면 내부의 기하학적 무늬는 부분적으로 시멘트로 복원되어 있으며 시멘트 접합면을 따라 박락이 진행되고 있다. 박락면에서는 접합에 사용하였던 보조물(철심)이 노출되어 육안으로 확인 할 수 있는 상태이다(Photo 6-2). 측면 내부 문양의 암석표면은 풍화가 심하고 부분적으로 입상분해 현상이 일고 있으며 그 위에 지의류 및 녹조류가 분포

(Photo 6-1,3)하고 있다. 면석 표면에는 부분적으로 미세균열들을 확인할 수 있으며 특히 상면에 분포 진행되어 있다. 유물상태 및 실측은 Fig 5, Photo 6과 같다.

4.2. 해체·세척 및 복원작업

2편으로 파손된 보단측면석은 과거 접합 및 복원부분에서 박리·박락이 진행되어 전체적인 해체를 실시하게 되었다. 내부의 접합보조물(철심)을 확인하기 위한 X-ray 촬영은 실시하지 못하였으나 해체 시 접합면의 수지부분이 노화된 상태로 쉽게 분리되었으며 내부구조를 확인할 수 있었다. 보단측면석은 전체 5편(해체 전 1편 포함)으로 분리(Photo 7)되었으며 접합보조물(철심)은 총 3개가 사용되었다.

또한 보조물(철심)을 사용하지 않고 매움작업을 실시한 보조물(철심) 구멍(Photo 7-3)도 확인 할 수 있었으며, 접합보조물(철심)의 제거는 1개만 실시하였다. 제거된 접합보조물은 Ø 2cm의 철근으로 판단되나, 제거된 철근은 표면 부식으로 인해 형태가 거의 남아 있지 않은 상태이므로 두께 및 길이를 정확히 확인할 수 없었다. 남아 있는 접합보조물(철심)은 암석의 풍화상태가 매우 심하고 미세균열이 전체적으로 진행되어 있어 제거 시에 나타날 수 있는 물리적 충격이 동반되므로 제거하지 않았다(Photo 7-2). 또한 균열로 인해 박락되는 것을 방지하기 위해 해체작업 중 지속적으로 수지(L-30/풍립산업)를 주입하여 보강작업을 병행하였다.

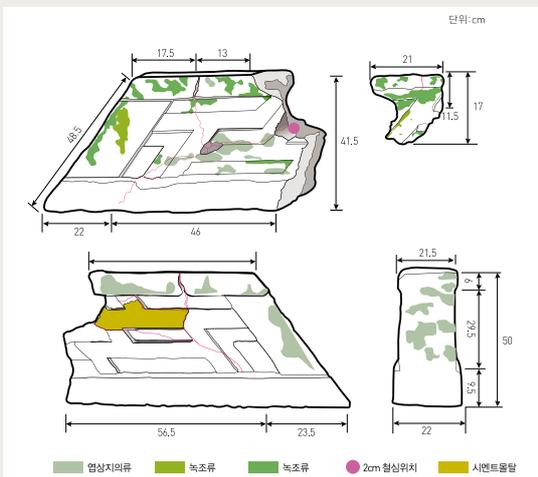


Fig 5. Measured drawing before treatment



Photo 6. State of relics before treatment



Photo 7. Process of disassembly and partial joining

표면의 오염물은 대부분 엽상지의류 및 녹조류의 미생물과 무기질 오염이므로 1차로 부드러운 솔을 이용한 건식 세척 후 2차로 증류수를 사용한 습식세척을 실시하였다. 표면 오염의 정도가 심하지 않아 오염물은 쉽게 제거 되었다. 내부의 기하학적 무늬는 시멘트로 복원처리 되어 있었으나 풍화 및 균열로 인해 박락되어 해당 부분에 대한 몰딩작업 후 수지(Photo 8-3)로 복원하였다. 제거하지 못한 접합 보조물(철심)은 최대한 절단하고 절단면의 재부식을 막기 위해 수지를 이용하여 공기와 접촉을 차단하였다. 전체적으로 분포하고 있는 미세균열부분(Photo. 8-2)에 대해서는 점도가 낮은 에폭시 수지(L-30)를 사용하여 주사기로 주입하였으나 균열부가 미세하고 그 범위가 광범위하여 접합·복원 처리 후 유물 전체에 대한 강화처리를 실시 하였다.

4.3. 강화처리

미세균열의 진행은 암석풍화를 가속화 시키고 수분을 통한 균열내부의 세균 및 지의류의 생성이 용이해질 수 있다. 따라서 일차적으로 균열부분에 대한 내부 강화 및 메움작업(photo 8)을 실시하여 보완하였고 마지막 과정으로 전체적인 강화처리를 실시하였다. 강화처리 전 암석의 팽윤성 점토광물의 함유와 강화제에 따른 점토광물의 영향 등에 대해 분석 및 실험을 실시하였다. 층간 간격 변화량의 분석 결과, 팽윤성 점토광물인 스멕타이트 성분이 일부 검출되었으나, 강화제에 대한 팽윤성 점토광물의 영향은 크게 나타나지 않았다. 따라서 강화처리에 사용한 약품은 문화재보존처리 분야에서 석조물에 가장 많이 적용하고 있는



Photo 8. Process of reinforcement and restoration

Wacker사의 Silres BS OH 100을 사용하였다. 일반적으로 Silres BS OH 100은 적용 공극의 크기가 미세한 부분부터 큰 부분까지의 넓은 범위에 적용할 수 있으며 ethyl silicate 함량이 90~100%이고 다른 강화제보다 점도가 낮아서 석조물의 공극 내부로의 침투력이 좋은 것으로 알려져 있다. 강화처리를 위해 표면의 세척작업(Photo 9)을 재실시한 후 수분제거를 위해 충분히 건조시켰다. 임시 함침조를 제작하여 실내온도 20~25℃에서 24시간동안 자연함침 처리(Photo 10)하였으며, 자연건조 이후 물흡수율 및 강도를 재측정하였다.

강화처리 후 재측정된 카르스텐 튜브 측정값은 前面上部와 後面内部를 제외하고는 모든 측정위치에서 1시간동안 1.25ml 이하의 흡수도를 나타내었다. 전체적으로 흡수율이 낮아졌고, 특히 前面内部의 측정값은 처리전과 비교하여 6.55ml가 감소되었다. 강화처리 후 측정된 강도측정 결과 또한 처리전의 상태보다 기준강도 0~10의 수치상승을 보였으며 평균 4.7 정도 높아졌고 Schmidt Hammer

추정강도는 17~171 kgf/cm²의 범위로 평균 70 kgf/cm² 가량 높은 값으로 나타났다.

V. 맺음말

이 연구에서는 암석의 성분분석 및 상태조사와 함께, 처리 전·후의 물흡수율측정 및 강도측정을 병행 실시하였다. 강화처리 후 강도측정 결과, 처리전의 상태보다 기준강도 0~10의 수치상승을 보였으며 평균 4.7정도 높아졌고 Schmidt Hammer 추정강도는 17~171 kgf/cm²의 범위로 평균 70 kgf/cm² 높은 값을 보였다. 또한 모세관흡수계수도 0.2~13.36 kg/m² · t^{1/2}의 감소량을 나타내었다. 실험의 방법 및 종류의 다양성에서는 다소 부족한 부분이 없지 않으나 이러한 변화값은 내부균열 및 공극부에 침투하여 보강된 결과라고 판단된다. 풍화된 석재의 강화처리는 환경조건에 의하여 강화효과의 기간이 결정된다. 따라서 처리가 끝난 보단측면석은 옥외전시장에 다시 재전시되지 않고 석조수장고로 격납할 예정이다.



Photo 9. Washing work before reinforcement



Photo 10. Temporary dipping tank

VI. 참고문헌

1. 『감은사지삼층석탑(서탑) 강화처리제 선정 및 신석 제작용 석재 연구』, 2006, 국립문화재연구소.
2. 『感恩寺』, 1961, 국립박물관 특별조사보고 제2책
3. 『感恩寺』, 1997, 발굴조사보고서, 문화재청.
4. 『국립경주박물관 안압지(월지)관』, 2002, 국립경주박물관
5. 조연태 외, 2001, 『회암사지 선각왕사비 보존』, 국립문화재 연구소.
6. 이상진 외, 2006, 『에틸실리케이트계 강화제의 석재강화 메커니즘 연구』, 한국문화재보존과학회 제23회 학술대회 발표 논문집, 한국문화재보존과학회.
7. 김은영 외, 2007, 『알콕시 실란계 석재 보존 및 강화제 개발』, 한국문화재보존과학회 통권21, 한국문화재보존과학회.