

石造文化財의 保存

金炳虎 · 李容喜

目 次

I. 머리말	1. 石材의 接着
II. 石造文化財의 材質	2. 에폭시 수지의 선정
III. 石造文化財의 破損原因	3. 접착제의 점도조성과 보강
1. 물리적 요인	4. 수지의식(樹脂擬石)
2. 화학적 요인	5. 石材의 수지함침 경화처리
3. 생물학적 요인	V. 石造文化財의 保存處理 現況
IV. 石造文化財의 修理 · 復原	VI. 參考文獻

I. 머리말

우리나라에는 石塔, 石佛, 石碑 등 다양한 石造文化財들이 전국에 걸쳐 광범위하게 산재되어 있으며 현존하고 있는 각종 文化財중에서도 石造文化財가 차지하고 있는 비중은 매우 크다.

이와같은 많은 양의 石造文化財가 현재까지 남아있을 수 있었던 것은 잦은 戰禍로 인하여 수많은 文化財들이 소실되는 상황에서도 石造物들은 그 특성상 파괴나 방화를 피할 수 있었기 때문인 것으로 생각할 수 있으며 또 다른 측면에서 본다면 우리 조상들의 종교적 열성에서도 그 이유를 찾아 볼 수 있다. 이는 상당수의 石造文化財가 불교와 깊이 연관된 것들이고 우리 주변에서 흔히 볼 수 있는 묘지의 망부석, 묘비, 그 밖에 선돌 등의 석조물 조차도 유교나 원시종교의 색채가 강한 것이라는 사실만으로도 쉽게 짐작할 수 있다.

따라서 우리의 石造文化財들은 선조들의 혼이 담겨져 있고 다른 외국의 石造物에 비하여 결코 뒤지지 않는 미적 감각과 역사성을 지니고 있는 소중한 문화유산들이다.

그러나 이와같은 石造文化財들도 오랜 세월이 경과됨에 따라 자연적인 풍화, 대기오염, 인위적인 훼손 등으로 본래의 모습을 잃어가고 있는 실정이기 때문에 이들 石造文化財들의 保存, 復元을 위한 대책이 마련되어야 할 것이다.

본고는 그동안 당실에서 시행한 각종 석조물들의 복원 및 보존작업과정에서 얻어진 경험과 국내·외의 문헌자료를 토대로 석조문화재가 파손되는 원인을 규명하고 이에 따른 수리복원 방안을 제시한 것이다.

II. 石造文化財의 材質

石造文化財를 구성하고 있는 암석의 종류에는 경옥(硬玉), 벽옥(碧玉), 안산암(安山岩), 화강암(花崗巖), 사암(砂岩), 석회암(石灰岩), 편암(片岩) 등 그 종류가 매우 다양하나 우리나라의

石佛이나, 石塔, 石碑등은 주로 화강암으로 많이 만들어 졌다. 화강암은 화성암(火成巖)에 속하는 암석으로 그 구성은 석영, 사장석, 흑운모가 주류를 이루는 흑운모화강암과 석영, 사장석, 마사장석, 정장석 흑운모 및 해섬암등이 주류를 이루는 각섬석화강암으로 분류되며 이 각섬석화강암은 풍화에 약하며 거위가 낮은 구릉이나 저지대에 형성되어 있다.

화강암 이외에 사암, 응회암등도 사용되는 경우가 있으나 이는 상대적으로 매우 적은 수이다.

석재의 자연풍화에 대한 내구성은 동일한 종류의 암석이라도 석재의 입도 즉 중립질, 세립질, 조립질 등에 의해 달라짐으로 보존관리에 있어 고려하여야 할 중요한 요소가 된다.

III. 石造文化財의 破損原因

석조문화재를 파손시키는 요인은 인위적으로 파손된 경우를 제외하고는 풍화작용에 의한 것으로 이는 물리적 작용에 의한 것과 화학적인 변화에 의한 것 이외에도 생물학적인 것이 있는데 생물학적인 요인에 의한 풍화는 결과적으로 물리적 또는 화학적 풍화를 촉진시키는 원인이 되는 것이다.

자연계에 있어서는 대개 물리적인 풍화와 화학적인 풍화는 동시에 일어난다.

石材의 풍화작용은 돌 표면의 모양, 화학적인 성분과 구조, 돌의 결(texture), 공극율(Porosity)에 따라 다르며 석조물을 만들었을 때 그 구조와 모양에 따라서도 다르다. 石造物의 옥외에 있을 경우에는 놓여있는 방향과 그 지방의 환경, 및 기후에 따라 풍화의 속도는 달라진다.

다음은 돌의 풍화에 미치는 각종 영향과 작용들을 설명하겠으나 그 어느 한가지 요인도 단독적으로 일어나는 것이 드물고 한가지 한가지 요인 그 자체는 미약하더라도 여러 개의 요인이 동시에 작용하여 개개의 영향을 가속 증가시키게 된다.

일기가 춥고 건조한 지방에서는 물리적 풍화작용이 발생되고 무덥고 습기가 많은 지방에서는 생물학적 풍화작용과 조합을 이룬 화학적 풍화작용이 일어나게된다.

1. 물리적 요인

물리적 풍화작용은 구성광물의 비열(比熱)과 팽창계수의 차이로 인하여 급격하게 온도가 변화할 때 발생하는 석재의 분해, 또는 동결기에 많이 발생하는 동결과 융해의 반복에 따른 파손 등을 예로 들 수 있다. 동파는 석재를 구성하는 광물사이에 미세한 틈으로 물이 침투되어 물 자체가 가지는 모세관압에 의해 틈이 벌어지고 기온의 강화로 침투된 물이 결빙될 때 그 부피가 (약 9%) 증가되면서 일어나는 석재의 파손현상이며 이때 밖으로 미는 압력의 크기는 -22°C 에서 약 2000기압이나 된다. 여기서 2000기압이라고 하면 1cm^2 에 약2톤의 무게를 올려 놓을 때 받는 압력과 같다. 물의 결빙작용으로 석재가 떨어져 나가는 동파는 물이 많이 침투되고 외부의 기온 변화에 민감한 석재표면이 내부보다 심하게 일어나는 것은 물론이고 이 현상의 정도는 공극률(porosity)에 크게 영향을 받는다.

또한 물리적 풍화요인으로서는 박리작용을 들 수 있다. 이 현상은 암석의 표면부피가 침식으로 제거되면 안쪽으로 누르던 압력이 감소하므로 그 안쪽에 있던 암석이 바깥쪽으로 팽창하여 얼마간의 두께를 가진 외각이 생기게 되며 내부와의 사이에는 틈이 생기게 된다. 이와같은 현상이 반복되면 석재표면은 한겹 한겹 떨어져나가 곡면상의 피각을 이루게 된다.

이밖에 중요한 물리적 풍화작용으로 염류풍화를 들 수 있는데 이것은 암석내부의 수분에 함유되어 있는 가용성 염류가 수분이 증발함에 따라 암석의 표면층 부분까지 도달한 후 표면층 공극(孔隙)에서 결정화되고 그 이후 결정이 성장되면서 암석을 기계적으로 파괴하는 현상이다.

물리적 풍화작용의 또 한가지 예로서 빗물과 바람으로 인한 원인을 들 수 있다.

빗물의 작용은 빗물중에 녹아있는 물질의 화학적 작용과 석재 자체의 용매역할 외에 빗물이 떨어질 때 풍화로 결합력이 약해진 부분을 물리적인 힘에 의하여 떼어내는 역할을 한다. 이것은 빗방울의 크기, 속도, 구름과의 거리 등에 따라 영향의 정도가 결정될 수 있다.

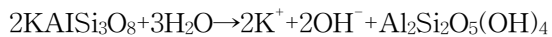
바람의 작용은 바람과 함께 모래, 먼지, 매연 등이 돌이 표면을 때려 풍화가 일어나게 되고 풍속이 강할 때 더 커지며 지면에서 가까운 부분이 윗부분보다 훼손상태가 더 심하다.

기타 물리적 풍화작용의 예로서 석조물의 지반이 견고하지 못하여 밑면에 동등한 압력을 주지 않을 때 내려앉는 영향으로 석조물이 파손되는 경우가 있고 또한 주위에 차량, 증기 등의 진동에 의한 영향도 있다.

2. 화학적 요인

岩石의 화학적 풍화현상은 주로 조성광물의 용해, 산화, 환원, 가수분해, 이온교환, 탄산염화 등에 의하여 발생되며 산화, 환원은 일종의 화학반응으로 대기중의 산소와 석재 내부의 광물이 화학반응을 일으키면서 산화되어 녹을 형성하고 석재표면이 다갈색으로 변화한다.

가수분해는 H^+ , OH^- , 물의 이온, 광물, 암석의 이온사이에 반응으로서 규산염 광물과 특히 장석의 가수분해 반응이 무엇보다도 전형적이다.



이 반응에서 결정적인 역할을 가하는 것은 수소이온(H^+)으로서 수소이온은 알루미늄규산염으로부터 금속[칼륨(K), 나트륨(Na), 칼슘(Ca)]을 몰아내어 알루미늄규산염의 결정구조를 파괴한다.

화학적 풍화의 예로는 대개, 비, 지하수 등에 녹아있는 물질이 돌의 어느 성분과 반응하여 생성되는 물질이 물에 더 잘 녹는 물질로 되는 경우와 몰부피(molar volume)가 더 커진 상태로 되어 돌에 압력을 주는 경우와 결정구조가 무정형(Amorphous)으로 되어 파괴되는 경우로 크게 나눌 수 있다. 화학적 풍화에 있어서 암석 입자의 크기와 공극율은 풍화되는 속도에 큰 영향을 미친다. 대기, 비, 지하수 등에 녹아있는 물질이 화학적인 반응을 일으키려면 암석의 표면에 접촉할 때 접촉면적이 클수록 반응은 빨리 일어나기 때문이다.

그밖에 화학적 요인으로 공기의 오염을 들 수 있다. 즉 이산화탄소(탄산가스), 황의 산화물, 염화물 등에 의한 화학적인 풍화와 빗물 속의 이산화탄소, 황의 산화물, 산(酸) 등에 의한 화학작용을 들 수 있다.

여기서 이산화탄소는 석재의 표면에 있는 것이 물에 녹아 석재 내부로 들어가서 탄산염 암석이나 규질암 등과 반응하게 되며 탄산염 암석에 대해서는 좋은 용매가 되고 규질암에 대해서는 분해를 이끈다.

황의 산화물은 공기중에 SO_2 , SO_3 로서 존재하는데 이것은 돌의 표면에 있는 물에 녹아들어가서 물에 녹기 힘든 탄산염을 황산염으로 바꾸어 물에 더 잘녹게 하며 또 황산마그네슘($MgSO_4 \cdot nH_2O$)이 생성되면 이것은 조해성이 커서 공기중의 수분을 흡수하게 된다.

황산염은 탄산염보다 몰부피가 커서 돌이 얇은 조각으로 떨어져 나가게 된다.

염화물은 염소이온으로서 공기중에 일부 HCl, HOCl의 모양으로 존재하며 HOCl도 강한 산화제 역할을 한다. 이들은 금속들의 강한 부식제이고 탄산염을 물에 잘 녹게 만든다.

빗물과 지하수에 의한 풍화는 석조물이 옥외에 있는 경우 비를 맞게 되고 지반에서 부터 모세관 현상에 의하여 지하수가 올라와 돌이 수분을 함유하게 된다. 표면에서 수분의 증발이 일어나면 지하수는 계속 공급되고 땅속 물에 녹아있던 물질이 상승하여 돌과 반응하거나 축적되어 그 농도가 진하게 됨으로서 풍화는 가속화되게 된다.

3. 생물학적 풍화

石造文化財들의 돌과 돌 사이에 흙, 먼지 등이 바람에 날려와 집적되고 여기에 잡초류나 녁쿨植物들이 생육함으로써 自生植物의 뿌리의 압력에 의하여 돌의 틈이 벌어지고 또한 이러한 식물들은 주위에 습기를 보지함으로써 다른 지의류나 이끼류의 생육을 도와주게 된다.

지의류에 의하여 암석이 부식되는 상태를 살펴보면 지의류에는 가상지의류, 엽상지의류 및 목상지의류가 있는데 지의류의 암석에 대한 부식작용은 근압과 유기산에 의한 것이며 또한 수분 보지에 의한 간접적인 작용도 있으나 부식은 대단히 미약하다. 가상지의류는 토양이 없는 바위표면에서 부착생육이 가능하며 이들의 생육은 수분의 보지와 먼지의 집적을 촉진 함으로서 차후에 엽상지의류나 목상지의류 및 이끼류의 생육을 가능케 한다. 또한 선대류의 작용을 살펴보면 선대류는 일반적으로 건조한 바위 표면에는 생육이 곤란하고 습기가 많고 먼지의 집적이 많은 돌틈이나 오래된 지의류 고엽이 집적된 곳에 생육한다.

이들은 석재면의 직접풍화보다는 화학적 물리적 풍화를 촉진하게 하는 간접적인 영향이 더 크다.

다음 동물류에 의한 침식을 살펴보면 조류에 의한 직접적인 침식은 해변가에서 흔이 많이 발생되며 조류들의 분비물에 의하여 세균이나 기타 식물류의 생육을 촉진시키는 역할을 한다.

다음 세균에 의한 암석의 부식은 여러 생물학적인 요인들 중 가장 심각한 것이 부후균에 의한 풍화작용이다.

이들에 의한 부식 현상은 암석의 표면이 조각조각 떨어지거나 푸석푸석한 가루가 되거나 돌의 표면이 부풀고 갈색이나 백색의 딱지가 생기는 현상으로 나타난다.

IV. 石造文化財의 修理・復元

文化財의 수리 복원의 원칙은 그것이 제작되었을 때와 동일한 기법과 재료를 사용하여야 한다. 그러나 石造文化財의 수리 복원에 있어서는 이탈된 석재편들을 접착하거나 풍화가 심한 石材들을 표면강화시키는 것이 대부분이기 때문에 전통적인 기술은 없었던 것으로 생각된다.

과거 石造文化財들을 수리 복원한 예를 살펴보면 균열된 석재를 보존하기 위해서는 균열 부위 양면에 나비장()모양으로 흙을 관후 무쇠를 박아 더 이상의 균열을 방지시켰거나(예 : 국보 64호 법주사 석연지의 흔적) 또한 접착부위에 철심을 박아넣고 유향을 끓여붙는 방법이 이용되었다. 최근까지도 시멘트나 석고 등을 석재 접착에 사용하였으나 이들중 어느것도 石造文化財의 보존에는 적합하지 않은 것이다.

시멘트나 석고는 오히려 접합부위에 풍화를 촉진시켜 석질을 약화시키고 철심을 사용한

경우 철심에서 발생하는 녹으로 인하여 석재가 오염되는 등의 부작용이 있고 유황(硫黃)을 사용하였을 경우 접착부위가 검게 오염되어 외관을 해친 경우가 많았다.

따라서 현재에는 화학공업기술의 발전과 더불어 에폭시(Epoxy)계통의 새로운 합성수지가 개발되어 석조문화재 수리 복원에 사용되고 있다.

1. 石材의 接着

石造文化財들을 接着시키는데 있어 현재로서는 에폭시(Epoxy)수지가 주로 사용되고 있지만 그 성능을 충분히 발휘하기 위해서는 주제(主劑)나 경화제(硬化劑)의 첨가량을 조정하지 않으면 안된다. 예를들면 동절기와 하절기의 온도 차이에 따라 경화제의 사용이 달라지고 또한 접착층의 두께 및 石質에 따라서 변성제(變性劑)의 종류나 배합량이 달라짐으로 樹脂의 배합비율도 반드시 일정한 것은 아니다.

石材를 접착시켜 복원하였을 경우 石材들의 강도 특성을 고려할 필요가 있다. 즉 石材의 압축강도는 硬石인 경우 $500\text{kg}/\text{cm}^2$ 이고 軟石인 경우는 $10\sim 100\text{kg}/\text{cm}^2$ 으로서 비교적 강하나 인장강도는 압축강도의 $1/10\sim 1/30$ 정도로 약하다.

우리 연구소에서 절단된 石材片을 에폭시수지로 접착시키고 이것을 곡파괴시험한 결과 접착시킨 부분이 절단되지 않고 石質部位가 절단되는 것을 확인하였다.

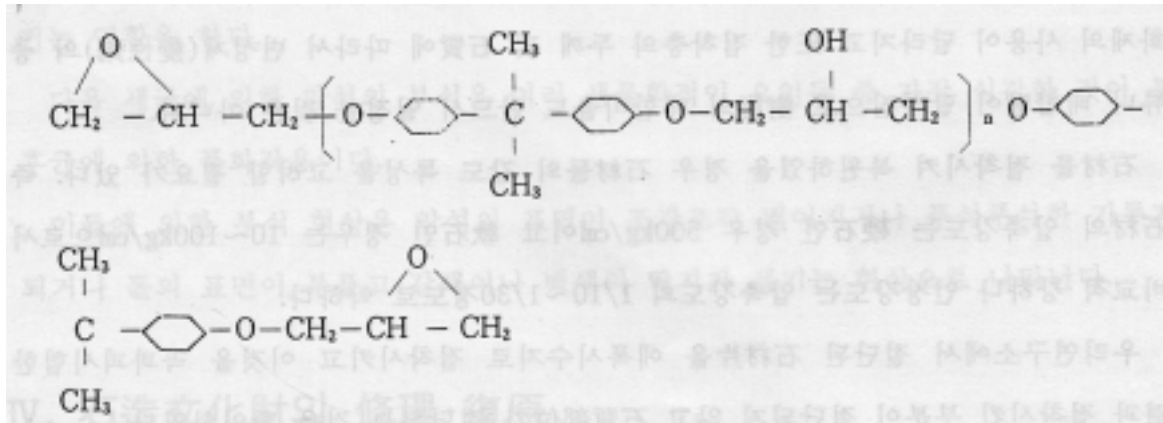
에폭시합성수지의 기계적 강도를 살펴보면 수지의 종류나 배합비율에 따라서 크게 차이가 있으나 인조고분자 화합물인 프라스틱(plastic)의 대체적인 강도는 다음과 같다.

압축강도 $70\sim 2800\text{kg}/\text{cm}^2$, 인장강도 $280\sim 2100\text{kg}/\text{cm}^2$, 곡파괴강도 $70\sim 4220\text{kg}/\text{cm}^2$ 이며 내충격 강도는 石材보다도 강한 반면 탄성계수가 石材보다 낮은 것이 단점이다.

또한 인장전단접착강도는 상온(常溫)에서 $70\sim 190\text{kg}/\text{cm}^2$ 이다. 특히 온도가 높아지면 탄성계수는 적어지므로 만일 접착층이 두꺼워질 때에는 금속제 봉이나 유리섬유등으로 보강할 필요가 있다.

石造文化財 수리, 복원에 사용되는 에폭시수지들의 특성은 1)다른수지들과 비교하여 접착성이 우수하며, 2) 무용제 형으로서 100% 고화(固化)하며 경화된 후에 수축이나 균열되는 일이 거의 없다. 3) 접착시 압축이 필요치 않으며, 상온에서 경화가 된다. 4) 기계적 성질과 수축현상의 안전성이 특히 우수하다. 5) 내수성, 내약품성을 비롯한 화학적 저항력과 가소성(可塑性), 내마모성(耐磨耗性), 內油性 등이 우수하다. 6) 에폭시수지 사용시 각종 충전제를 다량 첨가할 수 있으며 7) 온도변화에 있어 -60°C 로부터 200°C 까지 안전하며 8) 저장성이 좋으므로 경화제를 첨가하지 않으면 기후나 온도에 관계없이 장기간 보관이 가능하다.

이상과 같은 특성을 지닌 에폭시수지의 구조를 살펴보면 에폭시수지는 분자내에 2개이상의 반응성 에폭시기를 가진 수지상물의 총칭이고 비스페놀A($\text{C}_{15}\text{H}_{16}\text{O}_2$: Bisphenol A)와 에피클로로하이드린($\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_2\text{Cl}$: Epichlorohydrin)의 반응으로부터 유도되는 축합물이며 일반적으로 다음과 같은 화학구조로 표시된다.



여기서 n은 보통 9이상의 것이 많고 외관상으로 볼 때 n의 수에 따라 저점도액상의 것으로부터 조청과 같은 상태 또는 고형상의 것까지 종류가 다양하다. 우리가 石造文化財의 접착에 사용되는 것은 분자량이 350~470내의 것을 많이 사용하고 있으나 때에 따라서는 그 이상의 것을 사용할 때도 있다.

경화제(硬化劑)에 있어서도 여러 가지 종류가 있으나 石造文化財 수리 복원에 사용되는 것은 상온에서 경화가 되고 비교적 독성이 적은 폴리아미드아민(Polyamide Amine)계의 경화제가 제일 많이 사용되고 있다. 그러나 처리장소의 온도 및 경화후의 강도 등을 고려하여 적당한 경화제를 임의로 선별하여 사용할 수 있으며 또한 희석재(稀釋材), 가소성 첨가재, 점도 조정제, 충전제 등을 첨가하여 목적에 따라 변성시켜 사용하고 있다.

2. 에폭시수지의 선정

현재 우리들이 石造文化財의 수리 복원에 있어 접착이나 인조석 제작에 많이 사용하고 있는 에폭시수지의 주제는 적당한 점성을 가지고 있는 아랄다이트AW106과 경화제 HY837로서 배합배율은 100:35(중량비)이다.

이것의 특징은

가) 주제인 아랄다이트 AW106은 경화제를 혼합함에 따라 경화가 시작되고 액체상태의 에폭시 수지로서 용제나 휘발성분은 함유하고 있지 않다.

나) 경화제를 혼합한 아랄다이트 AW106은 실온 또는 약간의 가온상태에서 경화가 되며 또한 가열함에 따라 경화시간을 단축할 수 있다.

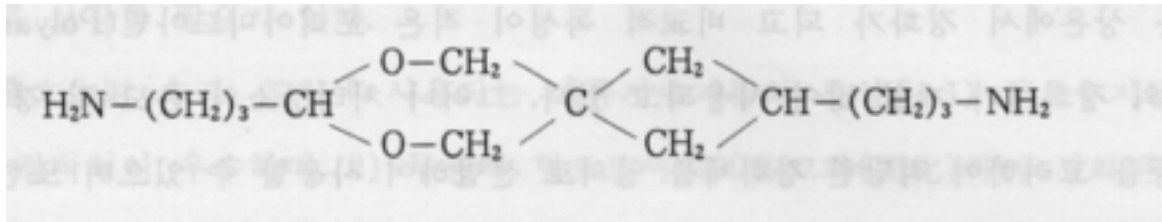
다) 경화도중에 체적의 변화가 없으며 구부러지거나 균열을 발생하는 일도 없다.

4) 경화후에는 적당한 강도를 가지므로 내충격성 내진동성이 우수하며 양호한 기계적 및 전기적 성질을 가지므로 온도변화에도 안정하다.

라) 경화후에는 무취, 무독성이며 석분, 탈크, 그라스마이크로 바룬, 안료등 충전제를 임의의 비율로 혼합 사용할 수가 있다.

여기에 경화제로 사용되는 아랄다이트 HY837은 변성 폴리아민으로서 저온에서 경화가 양호하며 흐름성, 색안전성 등이 우수하고 환상 지방족 아민의 경화촉진제로도 사용한다.

이것 이외에 석재 접착이나 인조석 제조에 사용되는 에폭시 수지로는 주제인 아랄다이트 CY230과 경화제인 에포메트B002(배합비 10 : 4~5)가 있는데 경화제인 에포메트 B002는 다음의 구조식으로 나타나는 복소환상아민을 기본으로 한 변성아민 경화제로서 수분으로 인한



경화장애가 적어 습한 면에서의 접착특성이 우수하고 저점도여서 비교적 많은 양의 변성제를 혼합하여 사용할 수 있다. 다만 저온 경화성이 나쁘므로 10℃이상의 기온에서만 사용이 가능하다.

3. 접착제의 점도조정과 보강.

石造文化財들의 파손, 절단된 部位를 살펴보면 절단된지 오랜 기간이 경과됨에 따라 절단된 표면이 외적인 충격에 의해 마모되어 접착시킬 때에 잘 밀착되지 않고 빈 공간이 생기게 된다.

따라서 이를 접착 보강하기 위해서는 수지나 경화제 만으로는 점도가 낮기 때문에 접착이 불가능하므로 그라스 마이크로바룬, 탈크, 동질의 석분 또는 규산 미분말(硅酸微粉末) 등을 혼합하여 적당히 점도를 조절하여 사용하지 않으면 안된다.

그러나 이와같은 점도 조절제를 다량 첨가 하였을 때 수지의 응집력이 저하되고 접착불량이 발생할 염려가 있으므로 이 경우에는 사전에 접착시킬 양면을 점도가 낮은 에폭시수지로 칠하여 준다음 앞에서 언급한 점도 조절제를 첨가시킨 수지몰탈로 접착 충전하여야 한다.

이때에 접착면의 보강을 위하여 금속제 봉을 박아 고정시키는 방법이 이용되고 있으나 이때에는 보강용 금속 봉을 수지로 완전히 피복하여 접착후에 금속봉에서 발생하는 녹의 분출을 막아주어야 한다.

4. 수지의석(樹脂擬石)

수지의석은 石造文化財의 수리복원시 결손부위를 충전 보강할 필요가 있을 때 자주 적용되는데 우리나라에서는 1980年度 국보제13호인 실상사 백장암 삼층석탑을 수리복원할 때에 처음으로 적용되었다.

수지의석은 에폭시 수지에 동질의 석분을 혼입하여 비교적 적은 결손부위를 충전보강하는데 사용되며 석재와의 접착이 양호하고 압축강도가 높은 것이 특징이지만 수지의 점도성(粘度性)을 조절하기 위한 석분의 혼입이 제한되어 있기 때문에 응회암과 같은 다공질岩石의 질감을 얻는다는 것은 매우 어려운 일이다.

또한 수지의석은 다소 흡습성을 가지고 있으므로 얇은 수지의석층의 장기간 비바람에 노출되는 경우 건습의 반복과 수축 팽창의 반복으로 접착부위가 다시 떨어질 우려가 있으므로 수지 의석을 사용할 때 주의가 필요하다. 또 한가지 단점을 장기간 외부에 노출되었을 때에 풍우에 의한 색상변화가 문제점이다.

현재 石造文化財 수리 복원에 실제로 사용되고 있는 수지의석은 에폭시수지 접착제인 아

탈라이트 AW106(주제)과 아랄다이트 HY837(경화제)을 100 : 35(중량비)로 배합한후 여기에 石材와 동일한 질감을 보유하도록 석분, 탈크 그라스 마이크로 바룬, 안료 등을 혼합하여 수지의석을 만들어 사용한다.

그러나 석분과 수지의 혼합물이 경화하면서 색상이 약간 검게 변화하여 실제의 석재와 동일한 색상을 나타낼 수 없게된다. 이때에는 수지의석이 완전히 경과된후 표면을 깎아내고 고색처리 함으로써 기존 석재와 동일한 질감을 얻을 수 있다.

따라서 결손부위를 수지의석으로 충전 복원할 때에는 충전부위를 다른 석제면보다 조금 높게 만들어준 후 수지의석이 경화되면 처리한 면의 높이를 당초의 석제면과 동일하게 연마한 후 고색처리 한다.

5. 石材의 수지함침 경화처리

석재의 함침경화처리는 합성수지를 석재 내부에 침투시켜 약화된 석재조직의 응집력을 회복시켜 줌으로서 석질을 경화하고 물의 침투로 인하여 발생될 수 있는 석재의 풍화나 손상을 방지하려는 것이다.

石材를 경화시키기 위하여 사용되는 합성수지가 갖추어야 할 조건은 1) 점도가 낮은 수지로서 도포시 용액이 석재내부로 침투가 잘되어야 하며 2) 용제의 증발이 상온에서 쉽게 되어 경화가 빨리 되어야 하며 3) 처리후에 석재내부의 수분이 외부로 증발하는 것을 방해하지 않아야 하고 4) 우수한 발수효과와 자연환경에 대한 지속적인 내구성을 지녀야 하며 5) 처리후 석재의 색상을 변화시키지 않아야 한다.

현재 石材의 경화처리에는 에칠실리케이트(Ethylsilicate)계의 합성수지와 알킬알콕시실란(Alkyl Alkoxy Silane)계의 합성수지를 주로 사용하고 있다.

그러나 위의 합성수지로 石材를 경화처리 하였을 때 나타나는 문제점은 접착력이 약하기 때문에 미세하게 균열된 부위를 접착 충전시킨다는 것은 거의 불가능하며 풍화가 심하게 되어 石材面이 푸실 푸실하게 약화된 곳을 경화처리 하였을 때 石材표면의 색상이 검게 변화하기 때문에 충전량의 수지를 함침시킬수 없다는 점이다.

또한 알킬 알콕시 실란(Alkyl Alkoxy Silane)계의 수지는 발수성이기 때문에 외부로부터 침투하는 수분을 어느정도 저지할 수 있으므로 보존상 유리한 점도 있지만 암석의 내부로부터 상승하는 가용성 염류를 함유한 물이 돌 표면에서 발수층의 방해로 돌 표면에 도달하지 못하고 발수층 내측에서 염분이 결정화 되면서 암석의 표면을 균열발락시킬 우려가 있다.

石材의 경화처리를 위하여 합성수지로 함침 하였을 때 그효과는 함침하는 수지의 량(量)과 함침후 수지가 침투된 깊이가 중요한 인자이나 실질적인 함침처리에 있어 소요된 수지의 량을 계산하여 침투 깊이를 산정(算定)한다는 것은 매우 어려운 일이다.

현재 국내에서도 석재의 경화처리제로 D.W.R(상품명)이 개발 생산되어 시험실시중이지만 이 수지도 역시 에칠실리케이트(Ethyl Silicate)계통의 합성수지로서 알킬알콕시실란(Alkyl Alkoxy Silane)과 비슷한 특성을 지니고 있으며 알킬알콕시실란에 비하여 점도가 조금 높아 침투성이 떨어지는 것이 흠이기는 하나 발수 효과는 매우 우수한 것으로 나타났다.

석재의 함침강화처리에 사용되는 합성수지는 석재표면에 형성된 발수층이 외부의 수분을 석재내부로 침투되지 않도록 하는 동시에 지반으로부터 석재 내부로 유입된 수분과 가용성 염류가 석재 표면 쪽으로 상승할 때 수분의 증발과 가용성염류의 용출을 방해하는 요인으

로 작용하지 않아야 하지만 이 들을 모두 충족시키는 것은 매우 어려운 문제이다. 따라서 최근에 진행되고 있는 석재의 함침 강화처리에 관한 연구는 수지발수층이 극단적으로 석재 표면쪽에 집중되는 현상을 방지하는 방안 (예 : 감압함침에 의한 심부침투)의 연구 및 침투성이 우수하고 석재의 기공을 패쇄시키지 않으면서도 적절한 발수성을 지니는 합성 수지의 개발과 지반으로부터 석재내부로 유입되는 수분을 차단하는 방안의 연구에 역점을 두고 있다.

V. 石造文化財의 保存處理 現況

본 보존처리는 文化財研究所의 현장기술 지도하에 현재까지 이루어진 내용을 간략하게 도표로 표시한 것이다.

지정번호	대 상	처리년도	처 리 내 용
사적 195호	여주영능호석	1977	석재 표면의 하등식물 및 오염물 제거
사적 194호	헌인능내태종비	1980	이수의 균열이탈 부위와 비좌의 균열부위를 접착보강
사적 195호	여주영능 세종대왕비	1980	비신의 탄흔부위 21개소를 성형하여 복원
국보 13호	실상사 백장암 3층석탑	1980	인위적으로 파손된 곳을 수리복원함 접착부위 : 27개소 균열부위충진 : 44개소 결실부위 : 성형제작 19개소
국보 198호	단양신라적성비	1980	비신이 2개로 분리된것을 접착복원
사적 26호	병산서원 석등잔	1980	풍화로 인하여 약화된 석질의 경화처리와 파손부위 접착복원
유형문화재 74호	행주대첩비	1980	충탄에 의한 비신의 균열 부위를 수지로 충진보강하고 탄흔부위를 성형복원

지정번호	대상	처리년도	처리내용
국보 224호	경희루 석주	1980	탄흔 부위 200여곳을 성형복원
유형문화재 145호	사명대사비	1980	시멘트 몰탈제거후 파손부위 18개소 접착복원
보물 499호	낙산사 7층 석탑	1980	육개석의 균열이탈부위 4개소, 옥신 의 균열부위 4개소 접착복원
보물 40호	실상사 백장암 석등	1980	지대석과 중대석의 파손부위 성형제 작 2개소 육개석의 이탈 및 균열 부 위접착 충전보강 11개소
보물 197호	청양 석조 3존불 입상	1981	본존불과 우불(右佛)의 흉부 절단부 위 및 좌불(左佛)의 머리와 목의 균 열이탈부위 접착 부원
유형문화재 4호	제원 신록사 3층 석탑	1981	노반 1개, 보륵부재 2개가 파손이탈 부위 접착복원
	창경궁 통명전 옆 연목의 석난간	1981	시멘트 몰탈제거 및 파손되어 절단 된 부위 접착 복원
	한산대첩 기념비	1981	거북 좌대와 기단에 누적된 탄산칼 슌제거 및 대첩비표면의 철녹제거
보물 49호	나주동문의 석당 간	1982	석재표면 경화처리 및 4단 상부와 5 단 하부의 당간석 파손부위 접착 복원
보물 33호	실상사 수철화상 능가 보월탑	1983	육개석 1면과 상, 중대석 4개소가 균 열이 탈된곳 접착복원
보물 37호	실상사 3층 석탑	1983	갑석이 3등분으로 분리된것 접착복 원
보물 682호	지보사 3층 석탑	1983	1층 육개석의 절단부위를 스텐레스 봉을 넣어 접착복원

지정번호	대상	처리년도	처리내용
보물 87호	신복사지 3층 석탑	1983	보문 2개와 노반 1개가 파손된것을 접착복원
보물 73호	단속사지서 3층 석탑	1984	하대석이 3등분으로 파손이탈된곳 접착복원
	단속사지 당간지주	1984	동, 서 양면의 것이 각각 3등분으로 파손이탈된것을 접착복원
보물 137호	봉암사 지증대사 적조탑	1984	육개석이 3등분으로 파손이탈된것을 접착복원
사적 105호	일군순의비	1984	비신의 시멘트물탈 제거후 합성수지로 성형제작
지반기념물 55호	청평사지 대웅전 앞 석계단 우석	1985	좌, 우측의 우석이 각각 균열 이탈된것을 접착복원
보물 846호	창경궁 풍기대	1985	시멘트물탈 제거후 합성수지로 접착복원
보물 7호	고달사지 원종 대사 해진탑	1986	육개석 귀꽃 1개가 이탈된것 접착복원
보물 581호	골굴암 마애여래 좌상	1986	표면의 불순물제거 및 균열 박락부위 충전보강
보물 386호	창경궁육천교	1986	판석, 난간 발침석, 난간석주 등 파손부위 접착복원
	경주 사천왕사지 당간지주	1986	우측 당간석 1개소 좌측 당간석 2개소 절단부위 접착복원
	중령 보국사지 석불입상	1986	불상이 3등분된것을 접착복원 및 연화좌대의 손실부위 성형제작

지정번호	대상	처리년도	처리내용
보물 395호	선암사 3층 석탑	1986	동탑은 하대석, 상대감석, 1층육개석의 파손부위 접착 복원하고 서탑은 주초석, 하대감석, 상대면석, 상대감석, 1, 2, 3층 육개석, 1, 2층 육신석의 파손부위를 각각 접착복원
보물 499호	낙산사 7층 석탑	1986	본 탑은 일본에서 기증 반환된 것으로 난간석이 파손절단된 곳 접착복원, (59개소) 하엽동자 등 모형제작(2원)하였음
국보 54호	법천사 지팡국사 현모탑비	1987	비신 하부의 균열부위 경화처리, 비신과 비좌의 이음부위를 합성수지로 충전보강
국보 12호	화엄사 각황전 앞 석등	1988	육개석의 귀꽃 1개와 중대석 받침 2개소 접착복원
보물 829호	강진 금곡사 3층 석탑	1988	기단석 2개소, 감석 3개소, 1층육개석 3개소, 2층육개석과 육신이 각각 1개소 파손이탈부위 접착 복원
보물 1021호	석남염수 비로자나불 좌상	1988	불상의 목과 손부위가 이탈되고 좌대 일부 파손부위 접착복원
보물 465호	영천 신월동 3층 석탑	1988	1층 육개석이 3등분으로 파손된 곳을 접착복원
보물 219호	개태사지 석불입상	1983	발굴작업에 의해 출토된 불두접착복원 시멘트물탈 제거후 합성수지로 성형제작

지정번호	대상	처리년도	처리내용
유형문화재 30호	대원사 9층 석탑	1989	1, 2, 3층의 육개석 절단부위 접착복원 및 1층육개석의 소실부위 성형제작
국보 30호	분황사 석탑	1989	감실 석문의 중앙부 절단된곳 접착복원
국보 64호	법주사석연지	1989	시멘트 물탈 제거후 합성수지로 충전보강
유형문화재 38호	법주사 회견보살상		표면 경화처리 및 시멘트 물탈 제거후 합성수지로 결실위 성형제작
보물 45호	익산연동리 석불좌상	1989	광배 및 좌대의 시멘트물탈을 제거하고 합성수지로 재접착한 후 없어진 부위 성형제작
문화재자료 107호	삼척소공대비	1991	비신의 중앙부위와 비좌의 절단부위를 접착복원
보물 679호	금릉 관덕동 석조보살입상	1991	중앙부위가 2개의 편으로 절단 분리된것을 접착하고 좌대의 없어진부분을 성형제작 하였음
유형문화재 136호	조현전장 기적비	1991	비신의 균열 박락 부위를 접착시키고 표면을 경화처리 하였음
보물 111호	개선사지 석등	1991	하부 간주(間柱)의 시멘트물탈을 제거하고 합성수지로 새로 성형제작하고 상대석, 화사석 등 부재들의 균열부위를 충전보강시켰음.

VI. 參 考 文 獻

- (1) 문화재의 과학적 보존에 관한 연구(한국과학기술처) 1972년
- (2) 석굴암의 과학적 보존을 위한 연구(한국과학기술처) 1974년
- (3) 석조문화재의 보존과 수복(동경국립문화재 연구소) 1985년



사진 1. 국보 13호 실상사 백장암 3층석탑이 인위적인 요인으로 파손된 상태



사진 2. 에폭시계의 한성수지로 파손된 면을 복원하여 조립하여 놓은 상태



사진 3. 국보 198호 단양신라적성비를 접착시키고 용액이 흘러 나오는 것을 비칠에 칠케톤으로 씻어주는 상태

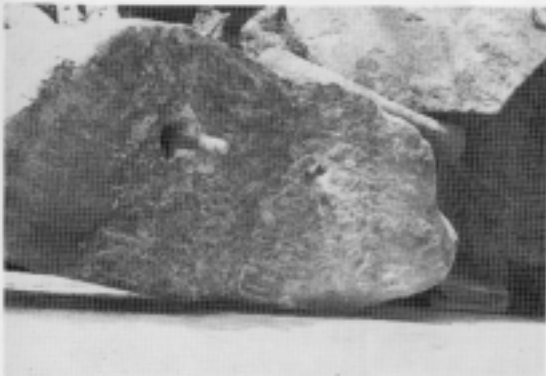


사진 4. 보물 197호 청양석조 3존불입상을 파손부위를 접착할 때 접착력 보강을 위해 박아 놓은 스테인레스봉



사진 5. 보물 581호 골굴암 마에여래좌상의 표면이 균열되어 이탈되고 있는 상태



사진 6. 균열된 부위를 주사기를 사용하여
예폭시 수지를 침투시켜 집착시키는
상태



사진 7. 보물 395호 선암사 3층석탑의
파손부위를 집착시키기 위해
수지를 접착면에 바르는 상태



사진 8. 예폭시 수지로 집착시키고
고무로프로 잡아매어
고정시켜 놓은 상태



사진 9. 보물 219호 개태사지
석불입상의 불두를
집착시키고 철축을
녹여내는 상태