

석조문화재 보존과학의 세계적 연구동향과 우리의 과제

김 수 진

(서울대 명예교수, 대한민국학술원 회원)

석조문화재보존과학연구소

State of the Arts of the Conservation Science of Stone Monuments and Our Tasks

Soo-Jin KIM

Stone Conservation Science Laboratory

Abstract

World state of the arts of the conservation of stone monuments is reviewed and the modern conservation program based on conservation science is proposed for the scientific conservation of stone monuments in Korea. The conservation program suggests that the site environment diagnosis, decay diagnosis, petrophysical property analysis, and conservation experiment should always be carefully studied before conservation treatment. It is an up-to-date widely accepted concept in the world of stone conservation science.

Our urgent national tasks that should be accomplished for the scientific conservation of stone monuments in Korea are proposed in the following:

- 1) The stone monument conservation projects should be planned in accordance with "Conservation Concept of Stone Cultural Properties" and executed in accordance with the proposed "Conservation Program for Stone Cultural Property" based on conservation science.

- 2) It is proposed that "National Institute of Conservation Science for Cultural Properties" be established for systematic conservation research on the tangible cultural properties.
- 3) The conservation projects of stone monuments should be executed under the control of stone conservation specialist for their quality control.
- 4) Special national budget should be prepared for quick development of researches on conservation science in Korea.

1. 서언

우리나라의 국가지정(국보 및 보물) 석조문화재는 그 수가 2002년 현재 1,168 건이나 되며 주로 탑, 부도, 석불, 당간지주, 비석 등으로 구성되어 있으며 건조시기는 삼국시대로부터 조선말기에 이르기 까지 다양하다. 이 석조문화재들은 대부분 옥외의 자연환경에 위치해 있어서 오랫동안 지형, 지반, 수문, 식생, 주거 및 기후환경의 영향을 받아 왔기 때문에 정도의 차이는 있으나 그 원래의 모습과 형태가 상당히 훼손되어 있다.

최근에 와서 석조문화재의 보존에 대한 일반인들의 관심이 크게 높아지고 있고 정부에서도 석조문화재의 본존과 관리의 필요성을 인식하고 전국의 국가지정 석조문화재에 대하여 5개년 계획으로 그 보존상태에 대한 현황조사를 실시해 오고 있으며 훼손이 심한 것부터 보수와 사이트 환경 정비 등을 실시해 오고 있다. 그러나 현재 우리나라에는 석조문화재 보존과 관련된 보존과학 인력이 극히 제한되어 있으며, 이와 관련된 연구 역사도 극이 미천할 뿐만 아니라 관련전문분야에서도 보존과학에 대한 이해가 부족하고 보존처리를 하나의 기능으로만 생각하는 종래의 인식 때문에 올바른 보존처리가 이루어지지 못하고 있는 것이 현실이다.

석조문화재의 과학적 보존처리는 보존과학의 선진국인 유럽국가들에 있어서도 그 역사가 그리 오래되지 않으며 많은 시행착오를 거쳐, 과학적 보존처리가 정착되게 되었다.

1970-80년대에 석조문화재에 대한 세척 등 보존처리가 시작되었으나 초기에는 주로 기능에 의존하여 이루어졌다. 그러나 보존처리 후 10-20년 지나고 보니 보존처리한 것이 보존처리하지 않은 것보다 훼손이 훨씬 심하다는 사실이 근년에 밝혀지면서 지난 20-30년 동안에 체계적인 보존과학적 연구가 이

루어져서 훼손방지 보존법인 예방적 보존법 (preventive conservation)의 개념이 석조문화재 보존과학 분야에서 자리잡게 되었다. 예방적 보존방법은 훼손을 예방하거나 또는 훼손가능성을 감소시킬 수 있는 처리 방법으로서 과학적 보존처리 방법을 지칭한다.

석조문화재를 보존처리하려고 할 때 잘 알려진 보존처리제를 사용하여 숙련된 기능을 가진 사람이 처리한다고 하여 잘 처리되는 것이 아니라는 것을 이해하는 것이 중요하다. 반드시 보존과학의 기본개념을 이해하여 보존과학적 방법에 따라 암석의 훼손상태를 밝힌 후 적합한 처리제를 실험을 통하여 선정하고 이것을 사용하여 임상실험을 거쳐 검증한 후 보존처리를 하여야 올바른 보존처리가 될 수 있다. 이렇게 하는 것이 예방적 보존방법이다. 우리나라에서는 아직도 이러한 절차와 방법으로 석조문화재를 보존처리한 예가 없다.

우리나라와 같이 석조문화재 보존개념이 낙후한 국가에서는 올바른 보존개념 확립과 정착이 가장 중요하다고 생각되어 그동안 문화재 보존 선진국의 연구현황, 그리고 여러 회에 걸친 선진국 문화재 연구소에서의 방문 연구 및 교육을 통하여 습득한 지식을 토대로 하여, 석조문화재 보존 선진국에서 현재 통용되고 있는 석조문화재의 보존개념과 방법을 소개하여 앞으로 우리나라 석조문화재 보존정책과 보존방안 정립에 참고가 되게 하고자 한다.

2. 보존처리 동향

1) 세척

각종 요인에 의하여 오염된 석조문화재의 표면을 세척하는 일은 주로 외관적 관점에서 시작되었으며 초기에는 주로 물과 화학약품이 사용되었다. 그러나 1980년대 들어와서 화학약품을 사용하여 세척할 경우에는 잔류약품으로 인하여 위험한 것으로 인식되기 시작하면서 점차적으로 화학약품의 사용이 감소되었다가 지금은 보존적 및 환경적 측면에서 거의 사용되고 있지 않다.

화학물질에 의한 세척은 다음과 같은 이유로 이를 금하고 있다.

- a) 표면적을 증가시켜 풍화면적이 증가된다.
- b) 잔류 화학물질이 계속 광물을 용해시켜 훼손이 가중된다.
- c) 용해된 알칼리가 아래쪽으로 흘러내려와서 수분을 흡수하여 암석을 더욱 훼손 시킨다.

- d) 일부 화학약품은 생물서식의 영양분이 된다.
- e) 특히 점토질 및 석회질 사암은 잔류 화학물질에 의한 훼손이 심각하다.
- f) 처리하지 않은 암석보다 처리한 암석이 수십배 훼손이 심하게 된다.

화학물질에 의한 세척의 단점을 극복하기 위하여 여러 가지 물리적 세척 방법(솔질, 물세척, 모래 사출법)이 등장하게 되었으나 이것 또한 여러가지 문제점을 안고 있다.

물리적 세척 방법의 문제점을 요약하면 다음과 같다.

- a) 암석 표면의 위약부위가 박락되어 원형이 파괴된다.
- b) 충격에 의하여 훼손이 촉진된다.
- c) 표면증가로 풍화 면적이 넓어진다.
- d) 풍화생성물의 유실로 인하여 공극률이 증가한다.
- e) 세척한 것이 세척하지 않은 것보다 수십배 훼손이 심하게 된다.

이와 같은 물리적 세척방법의 단점을 제거하기 위하여 현재 미세사출법이 사용되고 있으며 1973년에 개발된 레이저 방법은 효과적으로 오염물을 제거할 수 있어서 가장 안전한 세척방법으로 인식되고 있으나 비싼 것이 흠이다. 그러나 레이저 방법도 암석에 변색현상을 일으키는 예가 보고되고 있어서 주의를 요한다. 레이저 세척시 발생하는 변색현상을 막기 위하여 UV+IR의 사용에 대한 연구가 이루어지고 있으며 UV에 의한 세척방법도 사용되고 있다.

석조문화재의 세척은 어떤 방법이든 간에 정도의 차이는 있지만 석조물을 훼손시키는 결과를 초래한다는 것을 인식해야 한다. 세척은 석조문화재의 보존처리의 첫 단계로서 이와 같이 석조물의 훼손에 직접적인 영향을 줄 뿐만 아니라 다음 단계의 보존처리를 위해서도 극히 조심스러운 겸손한 방법으로 이루어져야 한다.

여기서 꼭 염두에 두어야 할 것은 부득이 세척을 해야 할 경우에는 다음 상황이 반드시 지켜져야 한다.

- a) 세척방법을 자세히 기록으로 남길 것.
- b) 세척 후 관리 및 수리 상황을 자세한 기록으로 남길 것.
- c) 정기적인 상태점검 (monitoring)을 할 것.

석조물에 함유된 용해성 염분은 습포를 사용하여 제거되고 있으나 습포에 함유된 점토광물의 종류에 따라 그 효능이 다양하다. 벤토나이트를 사용한 것이 비교적 효능이 높다.

2) 석질강화 및 발수처리

석조물이 풍화작용에 의하여 그 구성광물들이 변질되고 조직이 이완된 경우에 풍화부위의 강도를 원암의 강도로 유지시키고 더 이상 풍화가 일어나지 않도록 하기 위하여 석질강화 및 발수처리를 한다. 이 경우에 석질강화제가 풍화부위 안쪽까지 침투할 수 있도록 하는 것이 중요하다. 석질강화제와 발수제는 단독 또는 겸용으로 사용될 수 있는 제품이 시판되고 있다.

과거 20년 동안 가장 많이 사용된 제품은 tetra-ethoxy-silane (TEOS) 및 이의 alkyl-alkoxy-silane 과의 혼합물이다. 미세 균열부위를 충진하기 위하여 실리카와 같은 광물질이 첨가된 제품이 사용되고 있으며 alkyl-alkoxy-silane에 불소를 첨가하여 화학적 안정성과 발수효과 및 발유효과를 높이고 있다. 또한 불소를 함유한 polymer 제품도 새롭게 사용되고 있다.

방수 및 방습용으로 과거 오랫동안 실리콘을 바탕으로 한 발수제가 사용되었으나 1980년대에 들어와서 silane과 siloxane을 액상으로 만든 silicon microemulsion이 개발되어 광범위하게 사용되어 오다가 최근에는 이것보다 여러 가지 장점을 가진 silane/siloxane cream이 개발되어 이를 대치하고 있다. pre-polymeric urethane은 방수효과가 크고 열 및 수분팽창이 낮은 것으로 알려져 있다.

특히 팽윤성 점토광물을 함유한 석조물의 팽윤효과를 줄이기 위하여 alkyl ammonium 화합물 또는 amino-alkyl-alkoxy-silane의 처리가 연구되고 있다. 팽윤성 광물과 각종 발수제의 반응에 대한 연구가 최근에 김수진 연구팀에 의하여 처음으로 수행되었는 바, 이 연구에 의하면 발수제라고 하여 모두 팽윤성 광물에 대하여 발수 효과가 나타나는 것이 아니라 어떤 발수제는 오히려 상태를 악화시키는 것도 있는 것으로 밝혀져서 팽윤성 광물을 함유하고 있는 풍화된 많은 석조물의 보존처리에 각별한 정밀 사전연구가 필요하다.

발수제를 사용하여 석조물의 표면을 처리하면 석조물이 더 이상 풍화되지 않을 것이라는 기대를 가지고 지금까지 발수제를 사용해 왔으나 과거 20년간의 발수제 사용의 결과를 보면 별 성과가 없는 것으로 밝혀지고 있다. 그것은 석조물의 풍화상태에 대한 정밀진단을 하지 않고 발수제를 사용하기 때문에 훼손을 가중시킨 결과가 된 것이다. 그래서 석질강화제 및 발수제를 사용하는 보존처리는 단순한 기능의 문제가 아니라 석조물의 상태에 대한 정밀진단과 함께 구성광물과 처리제와의 반응에 대한 연구를 통하여 올바른 보존방안이

연구되고 그 결과에 따라 보존처리가 이루어져야 한다는 인식이 선진국에서는 상식화되게 되었다.

어면 발수제는 30년 이상 효능이 있는 것으로 연구되었지만 일반적으로 처리한 후 5년 이상 지나면 효능이 없어지는 것으로 알려져, 유럽에서도 발수제를 그다지 흔하게 사용하고 있지 않다.

3) 시멘트 사용 문제

19세기 후반에 일어난 가장 두드러진 기술적 혁신은 훼손된 석조물을 수리하고 균열부위를 충진하고 부서지기 쉬운 구조를 보강하는 데 있어서 시멘트를 사용한 일이었다. 그러나 시멘트를 석조물의 수리에 사용할 경우 시멘트의 용해성 염분, 낮은 공극률, 낮은 경도 등으로 인하여 석조물에 훼손현상을 야기하기 때문에 현재에는 석조물의 수리에 사용되지 않는다.

3. 석조문화재의 보존과학적 처리와 보존개념

석조문화재 보존을 위하여 과거에 시행한 많은 보존처리들은 실은 보존과학적 연구를 거쳐 이루어진 것이 아니었기 때문에 진정한 의미의 보존처리가 아니었다. 보존처리제를 사용하여 보존처리를 하였다고 보존과학적 처리를 한 것은 아니다. 반드시 보존과학적 분석과 실험을 거쳐 검증된 방법으로 실시해야 올바른 보존처리라고 할 수 있다.

석조문화재 보존처리란 어디까지나 암석을 구성하고 있는 각종광물과 조직이 처리제와 조화로운 결합을 할 수 있게 하는 일이다. 따라서 석조문화재 보존처리 연구에서는 암석의 풍화원리와 풍화훼손 상태에 대한 정밀진단과 석조물의 물성에 대한 각종 연구가 우선적으로 이루어져야 한다. 그리고 나서 암석의 물성을 기준으로 이 암석에 가장 적절하게 조화를 이룰 수 있는 처리방법(세척, 탈염, 강화, 발수)을 실험을 통하여 찾아내게 된다. 이 과정을 거치고 나서도 견본부위에 대하여 최종적으로 실험을 한 후 실제 보존처리에 들어가게 된다.

과거에는 이러한 보존과학적 절차의 필요성에 대한 이해가 부족하여 각종 실험을 거치지 않고 바로 보존처리를 하였기 때문에 엄격히 말하면 보존처리가 아니라 오히려 암석의 상태를 악화시킨 결과를 초래하게 된 것이다. 한번

잘못된 보존처리는 암석을 복구불능의 상태로 만든다는 것을 이해해야 한다.

따라서 석조문화재에 대하여 올바른 보존처리를 하기 위해서는 대상 석조물의 상태와 물성에 대한 정밀 진단이 우선적으로 이루어져야 하기 때문에 암석과 광물의 성질과 풍화의 원리 및 물성에 대한 기본지식을 필요로 한다.

석조문화재는 성질이 서로 다른 각종 광물로 구성되어 있고 또 이들의 물성적 및 풍화양상의 다양성 때문에 이의 보존에 대한 기획, 실험 및 처리과정에 있어서 다음과 같은 보존과학적 기본개념, 즉, 석조문화재 보존개념(Conservation Concept for Stone Cultural Property)이 반드시 기억되고 지켜져야 한다.

- 1) 석조문화재 보존에 있어서 주된 과업내용은 대상 석조문화재의 보존처리 작업이다. 그러나 보존처리 작업은 석조물의 구조적 안정성, 풍화훼손 상태에 대한 정밀진단이 먼저 이루어지고 이 훼손진단 결과를 근거로 한 보존방안이 수립되기 전에는 시행되어서는 안 된다.
- 2) 정밀 훼손진단은 석조물의 대표적인 부위에 한정된 것이 아니라 석조물의 표면전체에 대하여 시행한 진단이어야 하며 그 결과는 석조물의 훼손상태를 3차원적으로 파악할 수 있어야 한다.
- 3) 정밀진단을 근거로 수립한 보존방안은 석조물에 대하여 측정한 각종 물성을 근거로 실험을 거쳐 수립한 처방이어야 하며 보존처리 시공은 반드시 보존방안에 근거하여 견본시료에 대한 임상실험을 거쳐 시행해야 한다. 석조문화재의 보존 과업수행에 있어서 이와 같은 절차와 방법을 준수하는 것이 석조문화재 보존의 기본이다. 절차를 무시하고 이루어지는 보존처리는 석조문화재를 영구히 보존 불가능으로 한 것으로 만든다.
- 4) 석조문화재의 보존과 복구는 항상 석조물과 보존처리 물질에 대한 철저한 실험연구를 거쳐 이루어져야 한다. 실험을 거치지 않은 처리물질 또는 방법의 사용은 석조물에 위험을 줄 수 있다. 보존처리는 반드시 전문가의 참여하에 숙련된 기술자에 의하여 수행되어야 하며 보존처리 후에는 정기적인 모니터링과 관리가 따라야 한다.
- 5) 보존과 복구방법은 항상 하나의 보존처리 대상에만 한정되는 것이지 그것

을 다른 비슷한 대상에 적용해서는 안 된다. 그것은 대상 석조물의 광물 조성, 조직, 물성 및 훼손상태가 서로 다르기 때문이다. 한 석조문화재에 대한 보존처리 방법을 이것과 육안으로 비슷한 다른 석조문화재에 대하여 적용하면 큰 위험을 가져오게 된다. 모든 석조물에 대하여 공통적으로 적용 가능한 보존방법은 없다.

- 6) 보존처리 및 복구와 관련하여 이루어지는 모든 절차와 방법은 차후에 참고가 될 뿐만 아니라 만일의 경우에 대비하여 자세하게 기록으로 남겨야 한다.

4. 석조문화재 보존 프로그램

석조문화재 보존개념과 그리고 우리나라의 사이트환경적 특성을 고려한 “석조문화재 보존 프로그램(Conservation Program for Stone Cultural Properties)”을 요약하여 열거하면 다음과 같다.

1. 석조문화재 구조안정 복구 프로그램

- 1) 지반구조 진단
- 2) 구조안전성 진단
- 3) 구조보강

2. 석조문화재 풍화훼손방지 프로그램

- 1) 사이트환경 진단
 - 지형환경
 - 지반환경
 - 수분환경
 - 기후 및 대기환경
- 2) 훼손진단
 - ① 풍화형태 및 풍화상태
 - ② 훼손지도 작성
 - ③ 표면 측정
 - ④ 강도분포측정
 - ⑤ 풍화깊이측정

- ⑥ 암석구성 광물과 조직분석
- ⑦ 풍화광물과 물성 연구
- ⑧ 용해성 염분 분포분석
- ⑨ 암석 물성 분석

3) 보존처리 연구

① 세척

: 암석의 훼손상태와 오염상태를 분석한 후 방법 결정

② 탈염

: 용해성 염분 함유 양상과 정도를 분석한 후 방법 결정

③ 생물오염 방지

: 위생 및 환경영향을 고려하여 방법 결정

④ 박리 접착

: 실험을 통하여 암석에 맞는 접착제를 선택한 후 사용

⑤ 수리

: 문화재의 석재와 동일한 석재를 사용한 몰탈을 제작하여 사용

⑥ 암석 교체

: 풍화상태가 극심한 경우에 한한다

⑦ 석질강화 처리

: 강화처리제의 적합성(침투깊이, 물흡수계수, 수증기 투과도 등)을 임상실험을 통하여 검증한 후 처리

⑧ 발수 처리

: 발수 처리제의 적합성(물흡수계수, 침투깊이, 점토광물 함유 등)을 임상실험을 통하여 검증한 후 처리

4) 보호시설 건설

: 빗물을 막을 필요가 있는 경우에

5) 보호시설 내 이전

: 보존적 측면에서 꼭 필요한 경우에

6) 관리 연구

: 전문가에 의한 정기적 사이트환경 관리가 보존에 필수 요건

5. 우리나라의 현황과 앞으로의 과제

1) 현황

우리나라의 석조문화재는 대부분 옥외에 위치해 있어서 우리나라의 특유한 기후, 지형 등 사이트환경적 및 건축학적 특성에 지배를 받고 풍화 훼손되고 있다. 이들 석조문화재의 훼손요인은 주로 수분, 대기오염, 결빙, 생물서식 등으로서 지역에 따라 풍화훼손요인의 상대적 강도 차이가 나타나고 있다.

지금까지 국내에서는 구조적 문제가 있는 일부 석조문화재에 대하여 구조 안전 진단, 해체복원을 실시해오고 있으며 사이트환경이 문제가 되는 것은 수목제거, 수로개설, 축대건설, 지반정비 등을 하고 있고, 빗물을 막기위하여 보호각을 건립해오고 있다. 또한 오염이 심한 석조문화재는 세척을 하고 있고 풍화훼손이 심한 것은 일부 석질강화 처리를 그리고 파손 석조문화재는 접합 처리로 해 왔다. 그러나 과거에 처리된 많은 보수처리 및 조치들이 외국에서 과거에 한 것처럼 대부분 보존과학적 방법과 절차를 거치지 않고 이루어졌기 때문에 많은 문제가 나타나고 있다.

현재 진행되고 있는 보존사업을 살펴보아도 최근의 전문지식을 갖추지 못한 비전문가에 의하여 시행되고 있어서 문제점을 안고 있다. 예를 들면 오염이 심한 석조 문화재를 화학물질로 사용하여 세척할 뿐만 아니라 풍화부위를 완전히 제거하는 등, 문제점이 나타나고 있어서 세척 시 전문가의 참여가 요망된다.

2) 앞으로의 과제

우리나라의 석조문화재들은 대부분 오래된 것이 많아서 대부분 훼손상태가 심할뿐만 아니라 최근의 극심한 대기오염, 산성비 등에 의하여 훼손이 기하급 수적으로 빠르게 진행되고 있어서 이들 석조문화재의 보존을 위한 특단의 대책이 필요한 단계에 와 있다. 또한 종래의 국내에서의 석조문화재 보존처리는 보존과학적 절차에 따라 이루어지지 못해 왔기 때문에 보존과학적 보존처리 방법의 보급과 정착도 시급한 단계에 와 있다.

우리나라에서는 지금까지 사이트환경이 열악하고 훼손이 심한 석조문화재에 대하여 환경정비, 세척, 보존처리를 정부기관 및 관련 사업체에서 실시해오

고 있으나 올바른 보존과학적 지식을 갖추고 있는 곳이 거의 없는 상태여서 석조문화재 보존측면에서 크게 우려되고 있다. 석조문화재 보존연구와 보존처리는 반드시 보존과학적문가들에 의하여 이루어져야 하며 그렇지 않을 경우 잘못된 결과 초래될 우려가 높다.

이와 같은 우리의 현실을 고려할 때 다음과 같은 정부시책이 시급히 시행될 수 있기를 바란다.

- 1) 정부 차원의 “문화재보존과학연구소”를 조속히 설립할 것
- 2) 석조문화재를 포함하여 분야별 보존과학전문가 양성 프로그램을 신설할 것
- 3) 석조문화재의 보존을 위한 기획과 시공에 있어서 반드시 보존과학에 근거를 둔 “석조문화재 보존 프로그램”的 적용이 의무적으로 이행될 수 있도록 규정화할 것
- 4) 석조문화재 보존프로젝트는 반드시 유능한 보존과학 전문가의 책임 하에 추진되도록 할 것
- 5) 석조문화재 보존과학 연구수준을 향상시키기 위하여 “보존과학 진흥 특별 기금”(예산)을 책정할 것

참고 문헌

- 김수진 (2000) 울산 암각화보존문제. 울산암각화 발견 30주년기념 암각화국제 학술대회 논문집, 83-96, 울산광역시.
- 김수진, 이정후, 노진환, 안중호, 최진범, 조현구, 최현수, 유재영, 정기영, 김강 주 (2000) 해남 공룡화석지 보존방안 학술연구. 271p., 전라남도 해남군.
- 김수진 (2000) 오래된 석조문화재 어떻게 복구할 것인가. 월간문화재, 6, 10-11.
- 김수진 (2000) 석조문화재 보존과학의 원리와 보존대책. 월간문화재, 12, 10-13.
- 김수진 (2000) 울산암각화 보존문제. 울산암각화 발견 30주년기념 암각화국제 학술대회 논문집, 83-96, 석조문화재보존과학연구회.
- 김수진, 여상진, 장세정, 성소영, 이범한 (2000) 불국사 다보탑의 훼손현황과 보존대책. 제12회 한국문화재보존과학회 추계학술대회 발표논문집, 19-26.

- 김수진, 박남서 등 (2001) 해남 공룡화석지 지하수 침투방지 학술연구 보고서. 352p., 전라남도 해남군.
- 김수진, 정학성, 조현구, 정기영, 도진영 (2001) 동굴 흑색오염 방지 및 제거방안연구 보고서. 151p., 문화재청.
- 김수진 (2001) 한국의 석조문화재 보존. 대한지질학회-대한자원환경학회 공동학술대회 발표논문집, 16-26.
- 김수진 (2001) 석조문화재 보존을 위한 국가적 과제 : 보존과학적 접근. 제13회 한국문화재보존과학회 학술대회 발표 논문집, 17-21.
- 김수진 (2002) 석조문화재의 현황과 보존대책. 대한민국학술원통신, 103, 4-6.
- 김수진, 민경희, 최병렬, 김진홍, 이석훈, 장석환, 도진영 (2002) 반구대암각화 보존 국제심포지움. 180p., 석조문화재보존과학연구회.
- 김수진 (2002) 반구대암각화의 사이트환경과 보존을 위한 과제. 반구대암각화 보존 국제심포지움 발표문, 1-12, 울산광역시.
- 김수진, 민경희, 최병렬, 김진홍, 이석훈, 장석환, 도진영, Fitzner, B., Heinrichs, K., La Bouchardiere, D. (2003) 반구대암각화 보존대책 연구. 275p., 울산광역시.
- 김수진 (2003) 옥외 석조문화재 보존에 있어서 사이트환경 관리의 중요성. 제18차 한국문화재보존과학회 추계학술대회 발표 논문집, 17-23.
- 여상진, 장세정, 김수진 (2001) 화강암의 풍화가 보존처리에 미치는 영향. 제13회 한국문화재보존과학회 춘계학술대회 발표논문집, 43-49.
- 조현구, 김수진, 장세정 (2002) 해남 공룡화석지 퇴적암의 물리적 성질 : 쳐트 함량과의 관계. 한국광물학회지, 15, 132-139.
- 장세정, 권기덕, 김수진 (2001) 팽윤성 광물(스멕타이트)에 대한 발수제의 영향. 제14회 한국문화재보존과학회 추계학술대회 발표논문집, 59-67.
- 장세정, 김수진, 정기영, 도진영 (2002) 석회동굴 흑색 오염물의 광물학적 특성연구. 한국문화재보존과학회 제15회 학술대회 발표 논문집, 8-11.
- Andrew, C., Young, M. and Tonge, K. (1994) Stonecleaning. A Guide for Practitioners. 122p., Historic Scotland.
- Cameron, S., Urquhart, D., Wakefield, R. and Young, M. (1997) Biological Growths on Sandstone Buildings. 40p., Historic Scotland
- Camuffo, D. (1998) Microclimate for Cultural Heritage. 415p., Elsevier.
- Chang, S.J., Kim, S.J. and Kwon, K. (2004) Effects of some water

repellents on the structure and water sorption of smectite. *Clays and Clay Minerals*, 52, 25–30.

Fitzner, B., Heinrichs, K. and Kowanatzki, R. (1995) Weathering forms – Classification and mapping. In: R. Snethlage, *Natursteinkonservierung in der Denkmalpflege*, 41–88.

Horie, C. (1987) Materials for Conservation. 281p., Architectural Press.

Jeong, G.Y., Kim, S.J. and Chang, S.J. (2003) Black carbon pollution of speleothems by fine urban aerosols in tourist caves. *American Mineralogist* 88, 1872–1878.

Kim, S.J. (2000) Deterioration of stone monuments in Korea and their conservation scheme. *Proceedings of New Millenium International Forum on Conservation of Cultural Property*, 188–191.

Kim, S.J., Lee, S.J. and Chang, S.J. (2000) Silicate mineral–water reactions and their environmental implication. In: D. Rammlmair et al. (Eds.) *Applied Mineralogy in Research, Economy, Technology, Ecology and Culture*. 583–586, A.A. Balkema, Rotterdam.

Kwiatkowski, D. and Lofvendahl, R. (Eds.) *Proccedings of 10th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, Vol. I and II, ICOMOS, Sweden.

Lee, S.Y. and Kim, S.J. (2002) Dehydration characters of cationic surfactant-modified montmorillonite. *Jour. Miner. Soc. Korea*, 15, 305–314.

Price, C.A. (1966) *Stone Conservation : An Overview of current research*. The Getty Conservation Institute.

Selwitz, C. (1992) *Epoxy Resins in Stone Conservation*. 112p., The Grtty Conservation Institute.

Snethlage, R. (1995) (Ed.) *Natursteinkonservierung in der Denkmalpflege*. Verlag Ernst & Sohn GmbH, Berlin.

Snethlage, R. (1997) *Leitfaden Steinkonservierung*. Fraunhofer IRB Verlag.

Snethlage, R. and Wendler, E. (1995) Methoden der Natursteinkonservierung in der Denkmalpflege – Anforderung

und Bewertungskriterien. In: R. Snethlage. Natursteinkonservierung in der Denkmalpflege, 3-40.

Urquhart, D., Young, M. and Cameron, S. (1997) Stonecleaning of Granite Buildings. 41p., Historic Scotland.

Young, M., Ball, J., Laing, R., Cordiner, P. and Hull, J (2003) The Consequences of Past Stonecleaning Intervention on Future Policy and Resources. 223p., Historic Scotland.

Young, M.F., Cordiner, P.E. and Murray, M. (2003) Chemical Consolidants and Water Repellents for Sandstones in Scotland. 266p., Historic Scotland.