

석조문화재 보존관리 연구

- 광주, 전남북 및 제주지역 석조문화재 현황조사
- 석조문화재 보존과학 응용연구

2002. 12

문 화 재 청

연구기관: 한국문화재 보존과학회

제 출 문

문화재청장 귀하

이 보고서를 “석조문화재 보존관리 연구용역”의
최종보고서로 제출합니다.

2002년 12월

한국문화재보존과학회

회장 김 은 영

목 차

1. 서론	
1.1. 서언	9
1.2. 연구목적	10
1.3. 연구범위	
1.3.1. 석조문화재 현황 진단	10
1.3.2. 석조문화재 보존과학 응용연구	13
1.3.3. 석조문화재 현황분석 및 보존관리 방안연구	13
1.4. 연구진 구성	
1.4.1. 연구진	14
1.4.2. 연구 추진 체계	14
1.4.3. 연구기획위원회	16
1.4.4. 총괄관리팀	16
1.4.5. 석조문화재현황진단팀	16
1.4.6. 석조문화재보존과학응용연구팀	17
1.4.7. 석조문화재보존관리방안연구팀	17
1.4.8. 문헌자료조사팀	17
2. 연구방법 및 연구내용	
2.1. 연구 방법	
2.1.1. 석조문화재 현황 진단사	21
2.1.2. 석조문화재 보존과학응용연구	23
2.1.3. 석조문화재 보존관리 방안연구	23
2.2. 연구 내용	
2.2.1. 석조문화재 현황 진단	23
2.2.2. 석조문화재 보존 응용연구	33
2.2.3. 석조문화재 현황 종합분석	33
2.2.4. 석조문화재 보존관리 방안연구	34
3. 석조문화재 보존과학 응용연구 (석재에 따른 실리콘계 발수제의 특성분석)	
3.1. 서언	37
3.2. 풍화된 석재의 풍화특성 연구	
3.2.1. 풍화된 석재의 공극율 측정	37
3.2.2. 풍화된 감은사지삼층석탑 주변 석재의 공극율 측정	44
3.2.3. 경주 남산 주변 풍화 석재의 특성 연구	48

3.3. 실리콘계 발수강화제 처리 연구	
3.3.1. 배경	50
3.3.2. 실험 준비	52
3.3.3. 시험 시편의 상태 측정	53
3.3.4. 시험 방법	53
3.4. 실리콘계 수지 처리 실험 결과 및 고찰	
3.4.1. 발수 경화 처리	54
3.4.2. 각 시료의 기본 특성	56
3.4.3. 처리된 석재의 특성 분석	58
3.5. 풍화된 석재의 실리콘계 강화제 효과	62
3.6. 결론	67
4. 석조문화재 현황 종합분석	
4.1. 석조문화재의 건조유형	71
4.2. 석조문화재 건조에 사용된 석재	71
4.3. 석조문화재의 사이트환경	73
4.4. 석조문화재의 보존관리 현황	75
4.5. 석조문화재의 보존상태	
4.5.1. 석조문화재의 보존상태 등급	77
4.5.2. 석조문화재의 상태등급별 목록	82
4.5.3. 석조문화재의 종합상태 등급	85
4.5.3. 긴급 보존관리가 필요한 석조문화재	86
5. 석조문화재 보존관리 방안	
5.1. 서언	91
5.2. 석조문화재 훼손요인과 훼손현상	91
5.3. 우리나라 석조문화재의 보존관리상의 특수성	92
5.4. 석조문화재 보존 관리상의 문제점과 대책	94
5.5. 석조문화재 보존관리 방안	98
6. 결과 및 결론	103
7. 석조문화재 보존관리 대책 건의	113
8. 석조문화재 현황 진단기록	
8.1. 서언	117
8.2. 국보 석조문화재	119
8.3. 보물 석조문화재	309
9. 사사	

요 약 문

요 약 문

- 1) 이 연구는 광주, 전남북 및 제주지역의 국가지정 석조문화재 (국보 및 보물) 109건(국보 11호는 보수 중이므로 제외)에 대한 현황 진단을 통하여 석조문화재의 훼손상태와 그 원인을 밝히고 동시에 석조문화재의 보존관리상의 문제점과 대책 및 전반적인 보존관리 방안을 제시하는 것을 목적으로 하는 용역연구이다.
- 2) 109건의 석조문화재 각각에 대하여 현황진단을 실시하여 (1) 석조문화재 현황 진단요약표, (2) 석조문화재 풍화상태 진단기록표, (3) 석조문화재 생물분포상태 진단기록표, (4) 석조문화재 구조상태 진단기록표, (5) 석조문화재 훼손상태 도면, (6) 석조문화재 훼손부위 사진 등을 작성하였다.
- 3) 109건의 석조문화재에 대한 현황진단조사 결과 밝혀진 종합상태등급 5(정밀진단 필요)와 상태등급 4(정기점검 필요)의 목록은 다음과 같다.

종합상태등급 5 및 4의 목록

지정번호	문화재명	종합상태 등급
국보 35	화엄사사자삼층석탑	5
보물 24	금산사혜덕왕사진응답비	5
보물 37	실상사삼층석탑	5
보물 50	나주북문 외삼층석탑	5
보물 298	월남사지삼층석탑	5
보물 300	화엄사원통전전사자탑	5
보물 301	대흥사북미륵암삼층석탑	5
보물 943	보성우천리삼층석탑	5
보물 945	금둔사지삼층석탑	5
국보 289	익산왕궁리오층석탑	4
보물 25	금산사오층석탑	4
보물 30	만복사지오층석탑	4
보물 49	나주동문 외석당간	4
보물 156	보림사서부도	4
보물 167	정읍은선리삼층석탑	4
보물 267	임실용암리석등	4
보물 309	천곡사지칠층석탑	4

지정번호	문화재명	종합상태 등급
보물 320	대흥사응진전전삼층석탑	4
보물 395	선암사삼층석탑	4
보물 506	담양읍오층석탑	4
보물 509	구례논곡리삼층석탑	4
보물 529	금골산오층석탑	4
보물 797	운주사석조불감	4
보물 798	운주사원형다층석탑	4
보물 829	금곡사삼층석탑	4
보물 831	동화사삼층석탑	4
보물 1123	개령암지마애불상군	4
보물 1184	선암사북부도	4
보물 1185	선암사동부도	4
보물 1283	월출산용암사지삼층석탑	4
보물 1322	곡성가곡리오층석탑	4

4) 긴급 보존관리가 필요한 석조문화재는 다음과 같다.

- ① 이전 또는 개축 필요: 보물 525호
- ② 복원처리 필요: 보물 1184호, 보물 1185호
- ③ 사이트환경 관리 필요: 국보 57호, 보물 29호, 보물 34호, 보물 151호,
보물 170호, 보물 276호, 보물 298호, 보물 301호, 보물 309호,
보물 1116호

5) 석조문화재 보존과학 응용연구에서는 신선한 화강암 및 풍화된 화강암 시료의 특성 측정을 하였으며 또한 이들 시료에 대하여 실리콘계 발수제 및 경화제 처리실험을 실시하여 실험전과 실험후의 물성을 비교하였다.

6) 석조문화재 현황 종합분석에서는 (1) 석조문화재의 건조유형, (2) 석조문화재 건조에 사용된 석재, (3) 석조문화재의 사이트환경, (4) 석재문화재의 보존관리 현황, (5) 석조문화재의 보존상태 등이 분석되었다.

7) 석조문화재 보존관리 방안연구에서는 (1) 석조문화재의 훼손현상과 훼손원인 분석, (2) 우리나라 석조문화재의 보존관리상의 특수성, (3) 석조문화재의 보존관리상의 문제점과 대책, (4) 석조문화재 보존관리 방안연구, (5) 석조문화재 보존관리 대책 건의사항 등이 연구되었다.

8) 석조문화재의 보존관리상의 문제점과 대책연구에서는 (1) 사이트환경, (2) 빗물 배수문제, (3) 빗물 침투문제, (4) 지형과 수문환경 문제, (5) 지반수분 침투 문제, (6) 수목 식재 문제, (7) 보호철책 내 지표환경 문제, (8) 보호시설 문제, (9) 보수상태와 문제점, (10) 석재종류와 보존상태, (11) 표면착색 및 퇴색현상, (12) 표면박리 및 균열현상, (13) 백화현상 등이 검토되었다.

이 연구결과 사이트환경과 빗물이 석조문화재의 훼손의 주된 요인이라는 것이 밝혀졌다. 따라서 이와 같은 훼손요인을 제거하여 석조문화재를 보존하기 위해서는 다음과 같은 조치가 필요하다.

① “석조문화재 사이트환경 정비지침”을 제정하여 이에 따른 사이트환경의 철저한 관리.

② 빗물을 완전히 차단할 수 있는 새로운 형태의 보호구조물의 연차적 건립.

9) 옥외에 위치해 있는 석조문화재에 적용되는 다음과 같은 “석조문화재 보존관리 연구프로그램”에 따라 우리나라 석조문화재의 보존관리연구가 이루어져야 하며 이러한 절차를 무시한 단편적 보존처리는 엄금시켜야한다.

① 사이트환경 정밀 진단조사

② 정밀 훼손진단 연구

③ 석재 물성 연구

④ 훼손요인 제거방안 연구

⑤ 발수보강 및 보수방안 연구

⑥ 보존관리 시공

10) 이번 보존현황 진단조사결과로 나타난 상태등급 5(정밀진단 필요)의 석조문화재에 대해서는 (1) 사이트환경 정밀 진단과 (2) 정밀 훼손진단 연구가 조속히 실시되어야 할 것이며 “긴급 보존관리가 필요한 석조문화재”는 조속히 보수 처리되어야 할 것이다.

1. 서론

1.1. 서언

1.2. 연구목적

1.3. 연구범위

1.3.1. 석조문화재 현황 진단

1.3.2. 석조문화재 보존과학 응용연구

1.3.3. 석조문화재 현황분석 및 보존관리 방안연구

1.4. 연구진 구성

1.4.1. 연구진

1.4.2. 연구 추진 체계

1.4.3. 연구기획위원회

1.4.4. 총괄관리팀

1.4.5. 석조문화재현황진단팀

1.4.6. 석조문화재보존과학응용연구팀

1.4.7. 석조문화재보존관리방안연구팀

1.4.8. 문헌자료조사팀

1. 서 론

1.1. 서언

우리나라의 탑, 석불, 비석 등, 많은 수의 국보 및 보물급의 석조문화재는 축조시기가 선사시대로부터 조선 말기에 이르기까지 다양하다. 그러나 이들 석조문화재는 대부분 축조시기가 천년이 넘는데다가 풍화를 심하게 받고 있어서 원래의 모습과 강도가 크게 훼손되어 있다. 석조문화재는 그 특성상 급격한 변화 없이 장기간 동안 안전하다고 생각하여 방치하고 있는 것이 사실이다. 내구성 면에서 석조문화재가 우수하기는 하나 영구적으로 안전한 것은 아니다.

석조문화재는 거의 대부분 옥외에 위치해 있기 때문에 눈, 빗물(더욱이 근년에 와서 환경오염으로 인한 산성비), 대기, 이끼, 미생물 등에 직접 노출되어 있어서 이들의 영향으로 인하여 대부분의 석조문화재들이 심하게 훼손되어 있다. 이러한 환경적 영향은 우리들이 쉽게 규제하거나 조절할 수 있는 것이 아니기 때문에 보존을 위한 조치를 강구하는 것이 중요한 과제이다. 또한 오늘날 산업화사회의 부산물인 환경오염물들은 이들 석조문화재의 손상(풍화, 오염, 훼손, 붕괴 등)을 급속하게 진행시키고 있어서 석조문화재 보존을 위한 체계적이고 항구적인 방안이 요구되고 있다.

석조문화재는 우리나라의 문화재에 있어서 큰 비중을 차지하고 있기 때문에 석조문화재의 보존은 우리민족의 긍지와 자존심을 세우는 일인 만큼 석조문화재의 영구적인 보존대책을 강구하는 것이 오늘을 사는 우리들의 사명이라고 생각된다.

다행하게도 정부가 석조문화재 보존의 시급성을 인식하고 작년부터 연차적으로 전국에 산재해 있는 국가지정 석조문화재의 현황조사와 보존관리 방안연구를 할 수 있도록 연구용역사업을 시행하게 된 것은 우리나라의 석조문화재의 보존을 위하여 획기적인 정책으로 인정되어 우리 한국문화재보존과학회로서는 크게 환영하여 마지않는 바이다.

이번 연구대상은 광주, 전남북 및 제주지역에 있는 국가지정 석조문화재 109건으로서 이 중 석탑 46건, 부도 10건, 석등 9건, 불상 8건, 석비 7건, 탑비 6건, 마애불상 6건, 당간 5건, 교량 3건, 불감 1건, 석불비상 1건, 노주 1건, 석련대 1건, 계단 1건, 석좌 1건, 매향명 1건, 부도비 1건, 석상 1건이다.

이번에 시행한 국가지정 석조문화재에 대한 보존관리 연구는 석조문화재의 풍화상태, 생물분포 및 구조안정성 현황에 대한 현지 진단조사로서 앞으로 석조문화재에 대한 보존대책을 강구하는데 있어서 기본적인 자료가 될 것이다.

이번 연구는 (사)한국문화재보존과학회가 문화재청과의 계약에 의하여 수행된 연구용역으로서 용역기간은 2002년 9월 17일부터 2002년 12월 30일까지였다.

1.2. 연구목적

우리나라의 문화유산 중에서 가장 큰 비중을 차지하고 있는 석조문화재는 대부분 옥외에 위치해 있어서 오랜 세월동안 풍화에 시달려 왔으며 근래 들어 산업화로 인한 대기오염 및 산성비에 의하여 훼손이 가속화되고 있다. 그래서 광주, 전남북 및 제주지역의 국가지정 석조문화재(국보 및 보물)의 훼손상태와 그 원인을 파악하고, 나아가 석조문화재의 영구적 보존 방안을 제시하는 것이 연구의 목적이다.

이러한 연구목적을 달성하기 위하여 2002년도에는 광주, 전남북 및 제주지역에 소재하는 국보 및 보물 석조문화재 109건을 대상으로 하여 보존현황 진단을 실시하는 한편, 석조문화재의 보존처리 방안에 대한 응용연구를 수행하였으며 진단조사 결과와 그리고 별도로 실시한 훼손현황 및 훼손요인 분석을 종합하여 보존 관리 방안을 도출하였다.

1.3. 연구범위

1.3.1. 석조문화재 현황 진단

광주, 전남북 및 제주지역에 소재하는 국가지정 석조문화재(국보 및 보물) 109건에 대하여 연구하였다. 연구 대상 석조문화재 목록은 다음과 같다.

1) 광주지역 석조문화재 (4건)

지정별	문화재명	소재지
국보 103	증흥산성쌍사자석등	광주 북구 매곡동 산83-3 국립광주박물관
보물 109	광주서오층석탑	광주 남구 구동 16-2
보물 110	광주동오층석탑	광주 동구 지산동 438-2
보물 600	광주약사암석조여래좌상	광주 동구 운림동 약사암

2) 전남지역 석조문화재 (67건)

지정별	문화재명	소재지
국보 12	화엄사각황전앞석등	전남 구례군 마산면 황전리 12 화엄사
국보 35	화엄사사자삼층석탑	전남 구례군 마산면 황전리 12 화엄사
국보 44	보림사삼층석탑및석등	전남 장흥군 유치면 봉덕리 45 보림사
국보 53	연곡사동부도	전남 구례군 토지면 내동리 산54-1 연곡사
국보 54	연곡사북부도	전남 구례군 토지면 내동리 산54-1 연곡사
국보 57	쌍봉사철감선사탑	전남 화순군 이양면 증리 195-1 쌍봉사
국보 144	월출산마애여래좌상	전남 영암군 영암읍 회문리 산26-3

보물 48	대홍사북미륵암 마애여래좌상	전남 해남군 삼산면 구림리 산9 대홍사
보물 49	나주동문외석당간	전남 나주시 성북동 108-1
보물 50	나주북문외삼층석탑	전남 나주시 과원동 109-5
보물 89	도갑사석조여래좌상	전남 영암군 군서면 도갑리 8 도갑사
보물 111	개선사지석등	전남 담양군 남면 학선리 593
보물 112	중흥산성삼층석탑	전남 광양시 옥룡면 운평리 산23
보물 132	화엄사동오층석탑	전남 구례군 마산면 황전리 12 화엄사
보물 133	화엄사서오층석탑	전남 구례군 마산면 황전리 12 화엄사
보물 151	연곡사삼층석탑	전남 구례군 토지면 내동리 산54-1 연곡사
보물 152	연곡사현각선사탑비	전남 구례군 토지면 내동리 산54-1 연곡사
보물 153	연곡사동부도비	전남 구례군 토지면 내동리 산54-1 연곡사
보물 154	연곡사서부도	전남 구례군 토지면 내동리 산54-1 연곡사
보물 155	보림사동부도	전남 장흥군 유치면 봉덕리 산10-2 보림사
보물 156	보림사서부도	전남 장흥군 유치면 봉덕리 산10-2 보림사
보물 157	보림사보조선사창성탑	전남 장흥군 유치면 봉덕리 산10-2 보림사
보물 158	보림사보조선사창성탑비	전남 장흥군 유치면 봉덕리 산10-2 보림사
보물 170	쌍봉사철감선사탑비	전남 화순군 이양면 증리 195-1 쌍봉사
보물 273	대안사적인선사 조륜청정탑	전남 곡성군 죽곡면 원달리 20 태안사
보물 274	대안사광자대사탑	전남 곡성군 죽곡면 원달리 20 태안사
보물 275	대안사광자대사비	전남 곡성군 죽곡면 원달리 20 태안사
보물 298	월남사지삼층석탑	전남 강진군 성전면 월남리 854
보물 300	화엄사원통전전사자탑	전남 구례군 마산면 황전리 12 화엄사
보물 301	대홍사북미륵암 삼층석탑	전남 해남군 삼산면 구림리 산9 대홍사
보물 304	별교홍교	전남 보성군 별교읍 별교리 153
보물 313	월남사지진각국사비	전남 강진군 성전면 월남리 813
보물 320	대홍사웅진전전 삼층석탑	전남 해남군 삼산면 구림리 799 대홍사
보물 395	선암사삼층석탑	전남 순천시 승주읍 죽학리 802 선암사
보물 400	선암사승선교	전남 순천시 승주읍 죽학리 802 선암사
보물 461	나주철천리칠불석상	전남 나주시 봉황면 철천리 산124-2
보물 462	나주철천리석불입상	전남 나주시 봉황면 철천리 산124-2
보물 503	명량대첩비	전남 해남군 문내면 학동리 1186-7
보물 504	영광신천리삼층석탑	전남 영광군 묘량면 신천리 1226

보물 505	담양읍석당간	전남 담양군 담양읍 객사리 45
보물 506	담양읍오층석탑	전남 담양군 담양읍 지침리 4
보물 507	무위사선각대사 편광탑비	전남 강진군 성전면 월하리 274 무위사
보물 509	구례논곡리삼층석탑	전남 구례군 구례읍 논곡리 산51
보물 529	금골산오층석탑	전남 진도군 군내면 둔전리 산389
보물 563	홍국사홍교	전남 여수시 중흥동 17 홍국사
보물 571	좌수영대첩비	전남 여수시 고소동 620
보물 584	윤문효공신도비	전남 구례군 산동면 이평리 산191-1
보물 795	천관사삼층석탑	전남 장흥군 관산읍 농안리 740 천관사
보물 796	운주사구층석탑	전남 화순군 도암면 대초리 22 운주사
보물 797	운주사석조불감	전남 화순군 도암면 대초리 22 운주사
보물 798	운주사원형다층석탑	전남 화순군 도암면 대초리 22 운주사
보물 829	금곡사삼층석탑	전남 강진군 군동면 파산리 산143-1 금곡사
보물 831	동화사삼층석탑	전남 순천시 별량면 대룡리 282 동화사
보물 943	보성우천리삼층석탑	전남 보성군 조성면 우천리 325-3
보물 944	보성유신리 마애여래좌상	전남 보성군 울어면 유신리 125
보물 945	금둔사지삼층석탑	전남 순천시 낙안면 상송리 산2-1 금둔사
보물 946	금둔사지석불비상	전남 순천시 낙안면 상송리 산2-1
보물 1115	보성봉천리오층석탑	전남 보성군 북내면 봉천리 767
보물 1116	유마사해련부도	전남 화순군 남면 유마리 421-1 유마사
보물 1117	선암사대각암부도	전남 순천시 승주읍 죽학리 802 선암사
보물 1118	성풍사지오층석탑	전남 영암군 영암읍 용흥리 533-1
보물 1184	선암사북부도	전남 순천시 승주읍 죽학리 802 선암사
보물 1185	선암사동부도	전남 순천시 승주읍 죽학리 802 선암사
보물 1283	월출산용암사지 삼층석탑	전남 영암군 영암읍 회문리 산26-8
보물 1288	타루비	전남 여수시 고소동 620
보물 1309	영암읍길리암각매향명	전남 영암군 서호면 엄길리 85
보물 1322	곡성가곡리오층석탑	전남 곡성군 오산면 가곡리 2

(3) 전북지역 석조문화재 (37점)

지정별	문화재명	소재지
국보 10	실상사백장암삼층석탑	전북 남원시 산내면 대정리 974 백장암
국보 11	미륵사지석탑	전북 익산시 금마면 기양리 97
국보 289	익산왕궁리오층석탑	전북 익산시 왕궁면 왕궁리 산80

보물 22	금산사노주	전북 김제시 금산면 금산리 39 금산사
보물 23	금산사석련대	전북 김제시 금산면 금산리 39 금산사
보물 24	금산사혜덕왕사 진응탑비	전북 김제시 금산면 금산리 39 금산사
보물 25	금산사오층석탑	전북 김제시 금산면 금산리 39 금산사
보물 26	금산사방등계단	전북 김제시 금산면 금산리 39 금산사
보물 27	금산사육각다층석탑	전북 김제시 금산면 금산리 39 금산사
보물 28	금산사당간지주	전북 김제시 금산면 금산리 39 금산사
보물 29	금산사심원암북강 삼층석탑	전북 김제시 금산면 금산리 39 금산사
보물 30	만복사지오층석탑	전북 남원시 왕정동 481
보물 31	만복사지석좌	전북 남원시 왕정동 481
보물 32	만복사지당간지주	전북 남원시 왕정동 481
보물 33	실상사수철화상 능가보월탑	전북 남원시 산내면 입석리 50 실상사
보물 34	실상사수철화상 능가보월탑비	전북 남원시 산내면 입석리 50 실상사
보물 35	실상사석등	전북 남원시 산내면 입석리 50 실상사
보물 36	실상사부도	전북 남원시 산내면 입석리 50 실상사
보물 37	실상사삼층석탑	전북 남원시 산내면 입석리 50 실상사
보물 38	실상사증각대사응료탑	전북 남원시 산내면 입석리 50 실상사
보물 39	실상사증각대사 응료탑비	전북 남원시 산내면 입석리 50 실상사
보물 40	실상사백장암석등	전북 남원시 산내면 대정리 975 백장암
보물 42	용담사지석불입상	전북 남원시 주천면 용담리 292
보물 43	만복사지석불입상	전북 남원시 왕정동 482
보물 45	익산연동리석불좌상	전북 익산시 삼기면 연동리 산220-2
보물 46	익산고도리석불입상	전북 익산시 금마면 동고도리 400-2
보물 167	정읍은선리삼층석탑	전북 정읍시 영원면 은선리 43
보물 234	옥구발산리석등	전북 군산시 개정면 발산리 45-1
보물 236	미륵사지당간지주	전북 익산시 금마면 기양리 79-93
보물 267	임실용암리석등	전북 임실군 신평면 용암리 189
보물 276	발산리오층석탑	전북 군산시 개정면 발산리 45-1
보물 309	천곡사지칠층석탑	전북 정읍시 망제동 산10
보물 423	남원신계리마애여래좌상	전북 남원시 대산면 신계리 산18
보물 828	금산사석등	전북 김제시 금산면 금산리 39 금산사
보물 914	정읍보화리석불입상	전북 정읍시 소성면 보화리 110-6
보물 1123	개령암지마애불상군	전북 남원시 산내면 덕동리 산215
보물 1200	선운사도솔암마애불	전북 고창군 아산면 삼인리 618 선운사

(4) 제주지역 석조문화재 (1점)

지정별	문화재명	소재지
보물1187	불탑사오층석탑	제주 제주시 삼양1동 696 불탑사

1.3.2. 석조문화재 보존과학 응용연구

- ① 석재종류별 보존과학 응용연구
- ② 실리콘계 발수제 처리 연구
- ③ 발수제 처리 석재의 특성 연구
- ④ 석재의 보존방안 제시

1.3.3. 석조문화재 현황분석 및 보존관리 방안연구

현황 진단조사를 실시한 광주, 전남북 및 제주지역의 석조문화재에 대하여 보존 현황을 종합분석하였으며 이 지역의 석조문화재의 보존상의 문제점 검토와 함께 보존관리 방안을 연구하였다.

1.4. 연구진 구성

1.4.1. 연구진

연구책임자: 김은영(한국문화재보존과학회 회장, 문화재위원)

책임연구원: 김수진(서울대학교 지구환경과학부 교수, 문화재위원)

민경희(숙명여자대학교 생물학과 교수)

이상현(강원대학교 지구과학부 교수)

서만철(공주대학교 지질환경과학과 교수)

원종욱(세종대학교 응용화학과 교수)

안병찬(경주대학교 문화재학부 교수)

연구원: 도진영(서울대학교 석조문화재보존과학연구회 연구원)

윤윤경(숙명여자대학교 생물학과 연구원)

장세정(서울대학교 대학원 박사과정 수료)

최기주(강원대학교 지구환경과학부 박사과정 수료)

최희수(공주대학교 문화재보존과학연구소 연구부장)

연구보조원: 이승엽(서울대학교 지구환경과학부 연구원)

이범한(서울대학교 지구환경과학부 석박사과정)

성소영(서울대학교 지구환경과학부 석박사과정)

류제라(공주대학교 문화재보존과학연구소 연구원)

진세화(공주대학교 문화재보존과학연구소 연구원)

한정식(공주대학교 문화재보존과학연구소 연구원)

최영윤(숙명여자대학교 생물학과 석사과정)

오수경(숙명여자대학교 생물학과 석사과정)

이명진(숙명여자대학교 생물학과 석사과정)

고보균(강원대학교 지구환경과학부 박사과정 수료)

신중섭(강원대학교 지구환경과학부 학사과정)

최범규(강원대학교 지구환경과학부 학사과정)

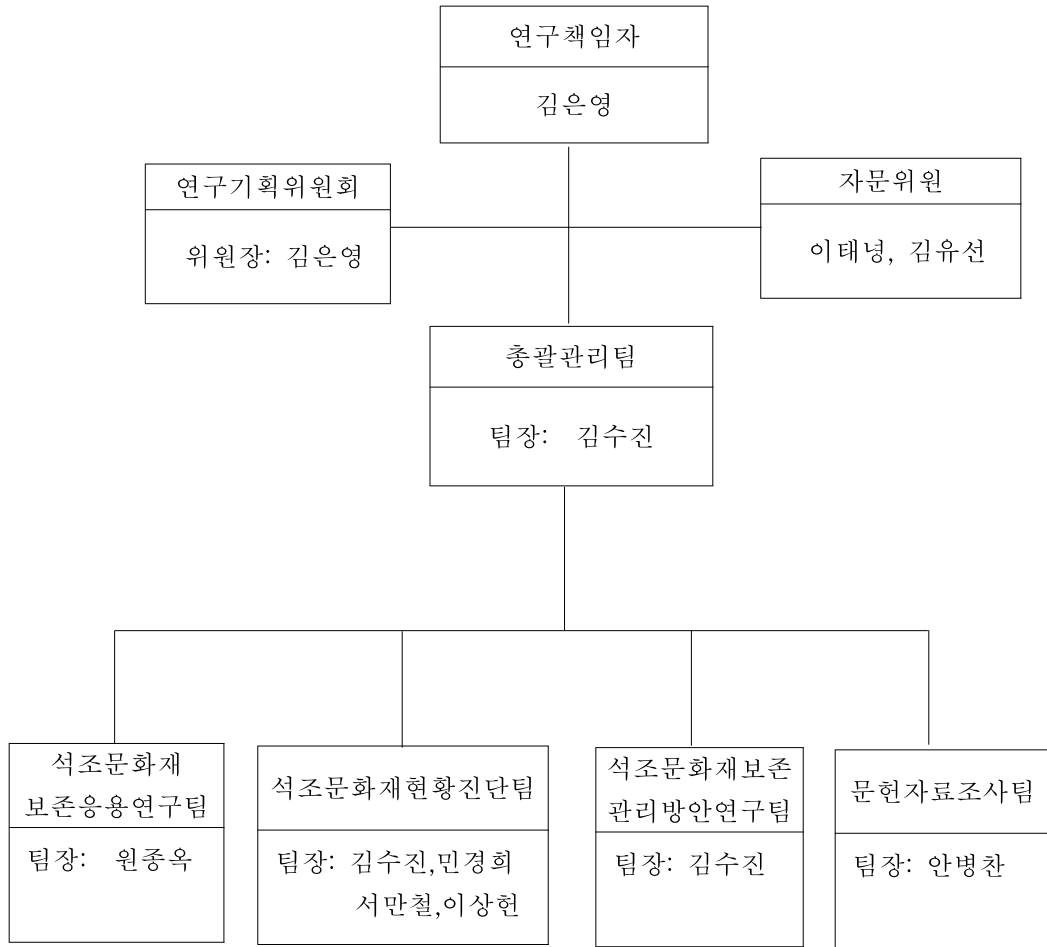
박수미(세종대학교 응용화학과 석사과정)

1.4.2. 연구추진 체계

석조문화재 보존관리 연구용역을 원활하게 추진하기 위하여 다음과 같이 연구기획위원회, 총괄관리팀, 조사 연구팀 및 자문위원회를 구성하였다.

- ① 자문위원회
- ② 연구기획위원회
- ③ 총괄관리팀
- ④ 석조문화재현황진단팀
- ⑤ 석조문화재보존과학응용연구팀
- ⑥ 석조문화재보존관리방안연구팀
- ⑦ 문헌자료조사팀

연구추진 체계를 도표로 표시하면 다음과 같다.



1.4.3. 연구기획위원회

석조문화재 보존관리 연구용역 업무를 원활하게 추진시키기 위하여 연구의 기획, 진행, 정보교류, 협력, 종합 등의 제반 업무를 총괄하는 기구이다. 연구기획위원회의 구성은 다음과 같다.

위원장	김은영 (한국문화재보존과학회장)
위원	김수진 (서울대학교 지구환경과학부 교수)
위원	민경희 (숙명여자대학교 생물학과 교수)
위원	이상헌 (강원대학교 지구과학부 교수)
위원	서만철 (공주대학교 지질환경과학과 교수)
위원	안병찬 (경주대학교 문화재학부 교수)
총무	도진영 (석조문화재보존과학연구회 연구원)

연구기획위원회에서는 용역기간 동안 10여 차례 회의를 소집하여 연구업무와 관련된 과제에 대하여 논의하였다.

1.4.4. 총괄관리팀

용역업무의 총괄관리와 최종보고서 편집을 담당하며 구성은 다음과 같다.

팀장	김수진 (서울대학교 지구환경과학부 교수)
연구원	도진영 (석조문화재보존과학연구회 연구원)

1.4.5. 석조문화재현황진단팀

광주, 전남북 및 제주지역 109개 석조문화재 보존현황에 대한 현지 진단을 담당하는 팀으로서 책임연구원 7명, 연구원 5명, 연구보조원 13명으로 구성되었다. 석조문화재현황진단조사팀의 구성과 업무는 다음과 같다.

풍화상태 진단조사 1팀	팀장: 김수진 연구원: 장세정, 이승엽, 이범한, 성소영
풍화상태 진단조사 2팀	팀장: 이상헌 연구원: 최기주, 고보균, 신종섭, 최범규
생물분포상태 진단조사팀	팀장: 민경희 연구원: 윤윤경, 최영윤, 오수경, 이명진
구조안정성 진단조사팀	팀장: 서만철 연구원: 최희수, 류제라, 진세화, 한정식

1.4.6. 석조문화재보존과학응용연구팀

실리콘계 발수제의 처리실험을 주로 하는 보존과학 응용연구팀으로서 구성은 다음과 같다.

팀장	원종옥(세종대학교 응용화학과 교수)
연구보조원	박수미(세종대학교 응용화학과 대학원생)

1.4.7. 석조문화재보존관리방안연구팀

석조문화재 보존현황의 종합분석과 함께 보존관리방안 연구를 담당하는 팀으로서 구성은 다음과 같다.

팀장	김수진 (서울대학교 지구환경과학부 교수)
연구원	도진영 (석조문화재보존과학연구회 연구원)

1.4.8. 문헌자료조사팀

연구대상 석조문화재에 관한 일반자료와 보존처리 현황 자료수집을 담당하는 팀으로서 구성은 다음과 같다.

팀장	안병찬 (경주대학교 문화재학부 교수)
연구원	유경숙 (경기대학교 연구원)

2. 연구방법 및 연구내용

2.1. 연구 방법

- 2.1.1. 석조문화재 현황 진단
- 2.1.2. 석조문화재 보존과학 응용연구
- 2.1.3. 석조문화재 보존관리 방안연구

2.2. 연구 내용

- 2.2.1. 석조문화재 현황 진단
- 2.2.2. 석조문화재 보존 응용연구
- 2.2.3. 석조문화재 현황 종합분석
- 2.2.4. 석조문화재 보존관리 방안연구

2. 연구추진 방법 및 내용

2.1. 연구방법

2.1.1. 석조문화재 현황 진단

1) 현황 진단조사 일반지침

석조문화재 현황조사에 필요한 사전준비 및 관리체제를 정립하기 위하여 다음과 같은 지침을 마련하였다.

- ① 석조문화재 현황에 대한 진단기록표를 사전에 작성 확정하여 모든 연구진이 해당 분야의 내용을 숙지한 후 진단조사에 임한다.
- ② 도면은 기존 보고서의 도면을 가능한 한 이용하고 기존도면이 없는 경우에는 scale을 넣고 사진 촬영한 사진도면을 이용한다.
- ③ 원도 작성은 CORREL software를 활용하는 것을 원칙으로 한다.
- ④ 대상 문화재에 대한 진단조사는 비파괴 분석을 원칙으로 한다. 그러나 현존 생물 시료 및 문화재 손상에 관계없는 2차 생성물 시료에 대해서는 최소량으로 채취하여 정밀조사 및 조치방안 수립 등에 활용할 수 있도록 한다.
- ⑤ 기록은 과학적 및 객관적으로 상세히 하며 기술용어는 가능한 한 통일성을 기하도록 하고, 문화재 관련 용어는 문화재 전문용어를 사용한다.

2) 현지조사 사항

- ① 자연환경 조사
- ② 사진촬영 : 전체 원형, 전면, 측면 및 후면 사진 촬영
- ③ 부위별 훼손현상 육안 관찰 : 훼손 양상과 강도를 분석한다.
- ④ 훼손도면 작성 : 훼손현상과 강도를 도면에 기입한다.

3) 현지 현황진단 조사 요령

- ① 석조문화재 각각의 전면, 측면, 후면 실측도를 준비한다.
- ② 각 분야별로 진단결과를 진단기록표에 기록한다.
- ③ 각 부위별 상태를 전면, 좌면, 후면 및 우면 실측도에 표시되 상태표시부위 일련 번호를 도면상에서 기입한다. 풍화상태 진단, 생물분포상태 진단 및 구조안정성 진단에 있어서 훼손부위에 부여하는 번호의 혼동을 방지하기 위하여 생물분포상태 진단번호와 구조안정성 진단번호는 각각 번호 앞에 B 및 S를 붙인다.

- ④ 상태표시 번호는 석조물 왼쪽에서 오른쪽 그리고 아래쪽에서 위쪽의 순으로 일련번호를 붙이되, 같은 부위의 서로 다른 부재에 대하여는 전면, 좌면, 후면, 우면의 순으로 붙인다.
- ⑤ 전면, 후면을 구별하기 어려운 경우에는 국가지정 문화재 표지석이 향한 방향을 전면으로 인정한다.
- ⑥ 전면, 좌면, 후면 및 우면에 대하여 흑백사진, 칼라네거, 슬라이드 3종을 유물별 5매 이상 원경과 전경 그리고 특기할 부위 사진을 촬영한다.
- ⑦ 기록을 요하는 부위의 특징을 진단기록표에 기입한다.
- ⑧ 이상의 조사 자료는 후일 연구실에서 체계적인 자료 정리 시에 이용할 수 있도록 한다.

4) 현황 진단 결과의 실내분석 정리요령

석조문화재 부위명칭 및 부재번호 붙이는 요령

- ① 석조물이 여러 부위로 구성되어 있는 경우에는 각 부위에 대하여 그 부재명을 기입하고 그 부재에 속하는 상태기록번호에 기술한다.
- ② 석조물이 불상처럼 한 개 또는 소수의 부재로 구성되어 있는 경우에는 부위에 대하여 부위명칭을 기입하고 그것에 속하는 상태기록번호에 풍화상태, 생물분포양상 등을 기술한다.
- ③ 불상, 비석에서와 같이 전면의 방향이 명확한 경우에는 전면, 좌면, 후면, 우면의 순으로 기록한다.
- ④ 다각형의 석탑이나 석등에서와 같이 전면, 후면이 불확실한 경우에는 국가지정 문화재 표지석이 향한 쪽을 전면으로 인정하고 역시 전면, 좌면, 후면, 우면의 순으로 부위 및 부재명을 붙인다. 필요하면 동,서,남,북 방향을 함께 표시한다.
- ⑤ 다각형 또는 원형의 부도에서와 같이 전면, 후면이 없는 경우에는 국가지정 문화재 표지석이 향한 쪽을 전면으로 인정하고, 역시 전면, 좌면, 후면, 우면의 순으로 부위 및 부재명을 붙인다. 단, 국가지정문화재 표지석이 바로 옆에 없는 경우에는 정남향을 전면으로 인정하고 전면(S), 좌면(E), 후면(N), 우면(W) 순으로 표기한다.
- ⑥ 석탑, 부도 등이 보호각 내에 있는 경우에는 보호각의 향을 보아 전면, 후면을 결정한다.
- ⑦ 마애석불에서처럼 불상 주변 암석의 상태를 표시할 필요가 있는 경우에는 이를 (R)로 표시하고 하, 좌, 상, 우의 순으로 부위번호를 붙인다 (예: R1, R2.).

- ⑧ 당간지주는 접근로로 향한 방향 또는 남쪽에 가까운 쪽을 앞면으로 본다.
- ⑨ 하나의 명칭하에 여러 개의 석조물이 있는 경우에는 우측에서 좌측의 순으로 (A), (B), (C) · · · 와 같이 부호를 부여한다. 또 4면에 석조물이 있는 경우에는 주위 환경 (지형, 경사, 주변 조형물)을 고려하여 전면을 지정한 후 전면, 좌면, 후면, 우면의 순으로 (A), (B), (C), (D)와 같이 부호를 부여한다.

2.1.2. 석조문화재 보존과학 응용연구

- ① 석재 종류별 특성을 연구한다.
- ② 석재 종류별 발수재 반응실험을 실시한다.
- ③ 발수재 처리 후의 암석의 물성을 분석한다.

2.1.3 석조문화재 보존관리 방안연구

- ① 석조문화재 현황 진단결과를 종합적으로 분석한다.
- ② 석조문화재 보존상의 문제점을 찾아내어 그 원인을 밝힌다.
- ③ 석조문화재 보존관리방안을 수립한다.

2.2 연구내용

2.2.1. 석조문화재 현황 진단

1) 기초 조사연구

- 가. 문헌조사 : 국내외 관계 자료수집 및 분석
- 나. 현지조사 : 시군 단위의 권역으로 나누어 계획에 따라 실시
- 다. 기술교류 : 국내외의 석조문화재 보존처리 전문가 등을 초청하여 기술교류를 실시

2) 현지 진단연구

가. 사이트 환경조사

- ① 지형 환경
- ② 지반 환경
- ③ 수문 환경
- ④ 주변 환경

나. 풍화상태 진단

- ① 석재의 종류
- ② 구성광물
- ③ 풍화양상과 정도

다. 생물분포 진단

- ① 지의류 서식현황 조사
- ② 곰팡이, 세균, 조류 서식현황 조사
- ③ 생물학적 요인에 의한 훼손현상 조사

라. 구조안정성 진단

- ① 구조 자체의 안정성 조사
- ② 부재 안정성 조사
- ③ 지반 안정성 조사

3) 보존상태 진단기록표 작성

현장에서 석조문화재의 현황을 진단하여 그 결과를 기록으로 남기기 위하여 다음과 같이 4가지 진단기록표를 작성한다.

- ① 석조문화재 현황진단 요약표
- ② 석조문화재 풍화상태 진단기록표
- ③ 석조문화재 생물분포현황 진단기록표
- ④ 석조문화재 구조안정성 진단기록표

가. 석조문화재 현황 진단요약표 (표 1)의 기록내용

풍화상태 진단기록표, 생물분포현황 진단기록표 및 구조안정성 진단기록표를 종합하여 "석조문화재 현황 진단요약표"를 작성하였다.

- ① 지정번호, 문화재명칭, 소재지, 시대
- ② 석재 : 주석재, 부석재 및 대체석의 암석명
- ③ 사이트환경
- ④ 풍화상태
 - ㄱ. 주 풍화부위
 - ㄴ. 주 풍화현상
 - ㄷ. 보존대책

- ⑤ 생물영향
 - ㄱ. 주 영향부위
 - ㄴ. 주 영향 생물
 - ㄷ. 보존대책
- ⑥ 구조상태
 - ㄱ. 불안정 부위
 - ㄴ. 불안정 현상
 - ㄷ. 보존대책
- ⑦ 종합진단 결과
 - ㄱ. 사이트환경
 - ㄴ. 풍화상태
 - ㄷ. 생물영향
 - ㄹ. 구조상태
- ⑧ 종합 대책

나. 석조문화재 풍화상태 진단기록표 (표 2)의 기록내용

- ① 지정번호, 문화재명칭, 소재지
- ② 석재재질 : 주석재, 부석재의 암석명, 조직, 원석 또는 대체석에 대해
기록
- ③ 사이트환경 :
 - ㄱ) 지형환경 : 석조문화재가 위치한 곳의 자연환경을 기록한다.
평지, 산턱, 산기슭, 산등성, 산밑, 둔덕, 산배, 밭,
논, 강, 암벽, 산중턱, 산정상부 등.
 - ㄴ) 지반환경 : 석조문화재가 건립된 지반의 지질 및 상태를 기록한다.
충적층, 풍화토, 암반, 지질
 - ㄷ) 수리환경 : 바다, 호수, 강, 개울과의 관계, 지하수 침투, 배수환경
 - ㄹ) 주변환경 : 석조문화재가 위치한 곳의 주변환경을 기록한다.
관광지 평지, 사찰 내, 사찰옥 내, 강가, 보호각, 주변 식생,
논, 밭, 주택지 내, 관공서 마당, 개방상태 등.
- ④ 부재별 풍화상태를 아래의 범주에서 기록한다.
 - ㄱ) 표면유실형
 - 표면유실 풍화(back weathering) : 단순박리 유실, 구조박리 유실,
외피 유실

- 요철 풍화(relief)

만곡/홈형 요철, 벌집형 요철, 공극상 요철, 건열상 요철, 구멍 요철

- 파손 이탈(break-out) : 자연 이탈, 원인불명 이탈

ㄴ) 변색 - 침착형

- 변색(discoloration) : 착색, 탈색

- 오염물 침착(soiling): 대기 오염물 침착, 지반수 오염물 침착

- 염분 침착(salt deposition) : 표면 백화, 피각밑 백화

- 외피(crust)

흑색 균일 외피, 표면 변형 흑색 외피, 담색 균일 외피, 표면 변형

담색 외피, 유색 균일 외피, 표면 변형 유색 외피

- 생물 서식(biological colonization) : 미생물 서식, 고등생물 서식

- 변색 ~ 외피

- 오염물 ~ 외피

ㄷ) 표면 분리형

- 입상 분해(granular disintegration): 분말상 분해, 사질상 분해

- 괴상 파손(crumbling)

- 박리(flaking): 단일박리, 다중박리, 구조박리

- 외피 ~ 내부 분리

- 입상분해 ~ 박리

- 박리 ~ 표피 분리

- 박리 ~ 괴상 분리

- 입상 ~ 괴상 분리

- 괴상 ~ 파편 분리

- 괴상 ~ 표피 분리

- 파편 ~ 표피 분리

ㄹ) 열극 - 변형형

- 열극(fissures) : 단순 열극, 구조 열극

- 구조 열극(structural fissures)

- 변형(deformation)

- ⑤ 기록된 부재별 풍화상태를 분석하여 부위별 풍화상태 등급, 주 풍화양상의 순위를 기록한다. 풍화상태 등급은 다음과 같다.

(1) : 대단히 미약

(2) : 미약

- (3) : 보통
- (4) : 심함
- (5) : 대단히 심함
- ⑥ 대략적인 보존방안을 기술한다.

다. 석조문화재 생물분포현황 진단기록표 (표 3)의 기록내용

- ① 지정번호, 문화재명칭, 소재지
- ② 부재별 생물서식양상을 기록한다.
- ③ 이를 분석하여 부위별 생물영향 등급을 기록한다.
생물분포현황 등급은 다음과 같다.
 - (1) : 대단히 미약
 - (2) : 미약
 - (3) : 보통
 - (4) : 심함
 - (5) : 대단히 심함
- ④ 대략적인 보존방안을 기술한다.

라. 석조문화재 구조안전성 진단기록표 (표 4)의 기록내용

- ① 지정번호, 문화재명칭, 소재지
- ② 구조안전성을 아래의 관점에서 기록한다.
 - ㄱ. 기울기의 방향, 각도, 위험도
 - ㄴ. 절리의 주향, 경사, 위험도
 - ㄷ. 지대석의 어긋남, 위험도
 - ㄹ. 중심침하 정도, 위험도
 - ㅁ. 갑석열극의 정도, 위험도
 - ㅂ. 블록이탈의 정도, 위험도
 - ㅅ. 부재간의 접촉의 점접촉정도
 - ㅇ. 응력전달 경로상의 부재 안정성
 - ㅈ. 위험 이상의 부재
 - ㅊ. 상부구조의 안정성
 - ㅌ. 정밀구조진단의 필요성
- ③ 지반상태를 아래의 범주에서 기록한다.
 - ㄱ. 지반의 구성
 - ㄴ. 인접지형의 경사도

ㄷ. 수평토압의 존재가능성

ㄹ. 우기시 지반 안정성

ㅁ. 지하침하 여부

ㅂ. 토양유실 가능성

ㅅ. 인접하천과의 거리

ㅇ. 정밀 지반조사 필요성

ㅈ. 정밀지반 진단의 필요정도

④ 구조안정성과 지반상태를 종합하여 부위별 등급, 평균등급을 기록한다.

구조안정성(정밀진단 필요정도) 등급은 다음과 같다.

(1) : 아주 안전

(2) : 안전

(3) : 보통

(4) : 위험

(5) : 아주 위험

⑤ 대략적인 보존방안을 기술한다.

4) 석조문화재 훼손상태 도면작성

석조문화재 보존현황 진단기록표에 표시된 각 사항들이 나타나는 위치를 석조문화재의 전면, 측면 및 후면 사진 상에 표시한 도면을 작성하여 훼손현상을 정확하게 파악할 수 있게 하였다.

훼손상태 도면 상에 표시된 번호 중 단순번호는 풍화상태에 대한 것이고, 번호 앞에 B자가 적힌 것은 생물분포상태에 대한 번호이다.

표 1. 석조문화재 현황 진단요약표

지정번호		명칭	
소재지		시대	
석재	주 석재		부 석재 대 체석
사이트환경	지형환경		지반환경
	수리환경		주변환경
	보호시설		문제점
풍화상태	주 풍화부위		
	주 풍화현상		
	보존 대책		
생물영향	주 영향부위		
	주 영향생물		
	보존 대책		
구조상태	불안정부위		
	불안정현상		
	보존 대책		
종합 진단 결과			
사이트환경			
풍화상태			
생물영향			
구조상태			
종합대책			

표 2. 석조문화재 풍화상태 진단기록표

문화재(CULTURAL PROPERTY)			
지정번호		명칭	
소재지			
석재 재질(LITHOLOGY)			
	암석명	조직	원석 또는 대체석
주석재			
부석재	-		
사이트 환경(SITE ENVIRONMENT)			
사이트 지형		지질	
전면 방향		바다와의 거리	
지반상태		보호시설	
개방상태		수계 상태	
식생		인근 취락 유무	
풍화상태(DAMAGE BY WEATHERING)			
전 면			
부재	번호	풍화 양상	
좌 면			
부재	번호	풍화 양상	
종합(SUMMARY)			
풍화상태등급			
<u>풍화양상 및 순위</u>			
1)	2)	3)	
<u>보존 대책</u>			
1)	2)	3)	
기타 정보(ADDITIONAL INFORMATION)			
실측도 유무 :			
석조물의 크기			
참고			

인위적인 훼손현상에는 훼손번호 뒤에 *를 추가한다

표 3. 석조문화재 생물분포현황 진단기록표

문화재(CULTURAL PROPERTY)			
지정번호		문화재명칭	
소재지			
전 면			
부재	번호	서식 양상	
좌 면			
부재	번호	서식 양상	
후 면			
부재	번호	서식 양상	
우 면			
부재	번호	서식 양상	
종합 진단			
부위별 생물영향 등급			
보존 대책			

표 4. 석조문화재 구조안정성 진단기록표

문화재(CULTURAL PROPERTY)											
문화재번호				명칭							
소재지											
구조 안정성(STRUCTURAL STABILITY)											
기울기	방향		각도		위험도	0	1	2	3	4	5
절리	주향		경사		위험도	0	1	2	3	4	5
지대석	어긋남				위험도	0	1	2	3	4	5
중심침하	정도				위험도	0	1	2	3	4	5
갑석열극	정도				위험도	0	1	2	3	4	5
블록이탈	정도				위험도	0	1	2	3	4	5
부재간의 접촉	점접촉	5%	10%	15%	20%	25%	30%이상				
응력전달 경로상의 부재 안정성		아주 안전(1), 안전(2), 보통(3), 위험(4), 아주 위험(5)									
위험이상의 부재		부재번호				측정방법					
		암석의 종류				풍화 지수		교체 필요성			
상부구조의 안정성			0 1 2 3 4 5								
정밀구조진단의 필요성			0 1 2 3 4 5								
지반 상태(GROUND STABILITY)											
지반의 구성				인접지형의 경사도							
수평 토압의 존재가능성		0 1 2 3 4 5		우기시 지반 안정성		0 1 2 3 4 5					
지반침하 여부		0 1 2 3 4 5		토양유실가능성		0 1 2 3 4 5					
인접하천과의 거리		m		정밀 지반조사 필요성		0 1 2 3 4 5					
정밀지반진단 의 필요 정도		0 1 2 3 4 5									
종합 진단											

2.2.2. 석조문화재 보존과학 응용연구

석재에 따른 실리콘계 발수제의 특성연구를 위하여 한국의 중요 및 대표 석재인 화강암을 중심으로 실리콘계 발수제의 특성에 대해 연구하였다.

1) 신선한 석재 연구

가. 신선한 화강암의 특성 연구

나. 사진촬영 및 특징 관찰

다. 실리콘계 발수제 처리

① 처리 방법에 따른 특성 분석

② 처리제의 종류에 따른 특성 분석

2) 풍화된 석재 연구

가. 풍화된 석재 구입 및 특성분석

나. 사진촬영 및 특징 관찰

다. 실리콘계 발수제 처리

3) 처리된 석재의 특성 연구

가. 처리된 석재의 내염성 실험을 통해 염에 의한 부식 검토

나. 발수 처리된 석재의 수지 침투 정도 및 특성 분석

2.2.3 석조문화재 현황 종합분석

석조문화재 현황 진단결과와 그리고 전체 석조문화재에 대한 보존관리 측면에서의 현지 조사결과를 토대로하여 다음 사항에 대하여 종합 분석하였다.

1) 석조문화재의 건조유형

2) 석조문화재 건조에 사용된 석재

3) 석조문화재의 사이트환경

가. 지형환경

나. 지반환경

다. 수리환경

라. 주변환경

4) 석조문화재의 보존관리 현황

가. 보호시설

나. 보수현황

5) 석조문화재의 보존상태

가. 풍화상태 등급

나. 생물분포상태 등급

다. 구조안정성 등급

2.2.4. 석조문화재 보존관리 방안연구

석조문화재 보존관리 방안을 도출하기 위하여 각 석조문화재에 대하여 현지 조사를 실시하였으며 다음과 같은 사항에 대하여 연구하였다.

- 1) 석조문화재의 훼손현상과 훼손요인 분석
- 2) 우리나라 석조문화재의 보존관리상의 특수성
- 3) 석조문화재의 보존관리상의 문제점과 대책
 - ① 사이트 환경
 - ② 빗물 배수문제
 - ③ 빗물 침투문제
 - ④ 지형과 수문환경 문제
 - ⑤ 지반수분 침투문제
 - ⑥ 수목 식재 문제
 - ⑦ 보호철책 내 지표환경 문제
 - ⑧ 보호시설 문제
 - ⑨ 보수상태와 문제점
 - ⑩ 석재종류와 보존상태
 - ⑪ 표면착색 및 퇴색현상
 - ⑫ 표면박리 및 균열현상
 - ⑬ 백화현상
- 4) 석조문화재의 보존관리 방안연구
 - ① 사이트환경 분석
 - ② 정밀 훼손진단 연구
 - ③ 석재 물성 연구
 - ④ 훼손요인 제거방안 연구
 - ⑤ 발수보강 및 보수방안 연구 및 평가
 - ⑥ 보존관리 시공 및 평가
- 5) 석조문화재 보존관리 대책 건의사항 연구

3. 보존과학 응용연구

(석재에 따른 실리콘계 발수제의 특성분석)

3.1. 서언

3.2. 풍화된 석재의 풍화특성 연구

3.2.1. 풍화된 석재의 공극율 측정

3.2.2. 풍화된 감은사지삼층석탑 주변 석재의 공극율 측정

3.2.3. 경주 남산 주변 풍화 석재의 특성 연구

3.3. 실리콘계 발수강화제 처리 연구

3.3.1. 배경

3.3.2. 실험 준비

3.3.3. 시험 시편의 상태 측정

3.3.4. 시험 방법

3.4. 실리콘계 수지 처리 실험 결과 및 고찰

3.4.1. 발수 경화 처리

3.4.2. 각 시료의 기본 특성

3.4.3. 처리된 석재의 특성 분석

3.5. 풍화 석재의 실리콘계 강화제 효과

3.6. 결론

3. 석조문화재 보존과학 응용연구 (석재에 따른 실리콘계 발수제의 특성분석)

3.1. 서언

석조문화재 보존에 관한 2차년도 연구로는 석조물 및 석조문화재 보존에 대한 기존 연구들의 고찰 필요성을 인식하여, 외국의 연구사례에 대한 문헌을 찾고, 석조물 및 석조문화재 연구에 대한 연구 동향 및 소재, 분석 방법들에 대한 자료를 수집, 정리하였다.

석재물 및 석조문화재 보존에 대한 외국의 연구 사례들은 외국의 특성에 맞는 석재에 대한 연구가 주로 이루어졌고 우리나라 대표석재인 화강암에 대한 연구사례는 극히 드물었다. 그러나 석재 특성 분석 방법이나, 석재 보존, 보강 등에 대한 연구 결과 및 연구 방향에 대한 자료로부터, 우리나라 석조물이나 석조문화재 보존에 대한 방향을 정하는 데 도움이 될 것이다.

또한 1차년도에 이어서 신선한 화강암의 다른 종류에 따른 실리콘계 발수제 및 발수 강화제의 특성에 대하여 연구하였다. 본 연구에서는 1차년도에서도 사용한 석재 처리제로, 기존의 석조문화재 보존에 많이 사용되고 있는 실리콘계 고분자 수지를 이용해 신선한 화강암에 처리하여 석재 처리제로서의 특성에 대하여 연구하였다.

또한 경주 지역 및 감은사지삼층석탑 주변의 풍화된 화강암을 채취하여, 석재의 풍화도를 공극율 및 공극 크기 분석을 통해 연구하였고, 이들을 실리콘계 강화제로 처리하여, 공극율에 따른 실리콘계 강화제의 특성을 측정하였다.

풍화된 석재에서는 신선한 화강암에서 볼 수 없는 높은 공극율을 보였고, 매우 낮은 기계적 강도를 보였다. 결국은 이러한 낮은 접착력에 의한 석조물의 붕괴가 일어나는 것으로 생각되고, 풍화된 석재의 강화가 필요한 것으로 보인다. 이를 위해 화강암에 적절한 강화제 및 석재의 풍화를 막을 수 있는 발수제의 검증 및 개선이 필요한 것으로 보인다.

3.2. 풍화된 석재의 특성 연구

3.2.1. 풍화된 석재의 공극율(porosity) 측정

1) 공극율(porosity) 측정 원리

일정한 용량의 용기 속에서는 고체 표면의 분자 충돌에 의한 가스의 압력이 압력 sensor로 측정되어질 수 있다. 따라서 밀폐된 용기 내에서 다른 조건의 변

화 없이 온도의 변화로 인하여 가스가 고체 즉 용기의 내부 표면 또는 기타의 고체에 흡착, 탈착이 될 경우 이는 주어진 일정량의 가스 중 일부 분자들이 흡착, 또는 탈착된 것이며 압력의 측정으로 이러한 현상이 감지된다. 이 압력의 측정으로부터 흡착된 기체 부피를 계산할 수 있으며 따라서 분자의 개수를 산정해 낼 수 있고 또한 원하는 고체의 표면적 나아가 공극 크기 등 여러 가지로 응용 가능하다.

2) 흡착원리

가스 분자들이 다양한 방향과 속도로 고체의 표면과 충돌할 시 고체의 표면은 내부보다 불안정 상태에 있으며 이를 만족시키기 위하여 가스분자는 고체의 표면에 달라붙거나 분리되거나하며 압력, 온도 등의 변화를 주었을 때 고체의 표면에 가스가 응축하는 현상을 볼 수 있으며 이는 van der Waals 힘에 의한 것이며 차가운 창문에 수증기가 응축하는 현상과 유사한 현상이고 이 현상을 흡착(adsorption)이라 한다. 또한 응축된 즉 흡착된 분자들이 표면으로부터 분리(증발)되는 현상을 탈착(desorption)이라 하며 이러한 흡착, 탈착은 고체표면의 온도, 가스의 특성, 주어진 압력 등에 의하여 결정된다.

가스의 압력은 고체 등의 표면에 분자의 충돌에 의하여 일정한 용량의 용기 속에서 압력 sensor로 이들 변화들이 측정되어 질 수 있다. 따라서 밀폐된 용기 내에서 다른 조건의 변화 없이 온도의 변화로 인하여 가스가 고체 즉 용기의 내부 표면 또는 기타의 고체에 흡착, 탈착이 될 경우 이는 주어진 일정량의 가스 중 일부 분자들이 흡착, 또는 탈착된 것이며 압력의 측정으로 이러한 현상이 감지되며 이는 곧 흡착용량법의 원리이다.

이 압력의 측정으로부터 흡착된 기체 부피를 계산할 수 있으며 따라서 분자의 개수를 산정해 낼 수 있고 또한 원하는 고체의 표면적, 나아가 공극 등에까지 응용 가능하다.

흡착 현상을 이용해 얻을 수 있는 다공질 물질의 해석은 표면적(surface area), 공극 체적(total pore volume), 공극 형태(pore shapes), 공극크기 분포(pore size distribution)등이 있다. 흡착 실험을 이해하기 위해서는 흡착의 mechanism에 대한 이해가 중요하다. 흡착은 주로 상호 인력의 종류에 따라 나뉘지는데, 화학 결합이 관계가 되는 화학적 흡착과 분자간 상호 인력이 작용되어 일어나는 물리적 흡착으로 크게 나눌 수 있다.

화학적 흡착과 물리적 흡착의 차이에 대해서는 다음의 표 3-1에 나타내었다.

표 3-1. 화학적 흡착과 물리적 흡착의 차이

parameter	chemical adsorption	physical adsorption
coverage	monolayer	multilayer
adsorbent	some solids	all solids
adsorbate	chemically reactive vapor	all gases below critical temperature
reversibility	may be reversible or irreversible	readily reversible
rate	may be fast or slow	rapid
bonding force	chemical bonding	van der Waals force
temp. dependence	may be complex	decreases with increasing temperature
heat effect	usually exothermic, similar to heat of reaction	always exothermic, similar to heat of condensation
heat of adsorption	> 20 kcal/mol	2~6 kcal/mol

표 3-2. 흡착 평형에 대한 이론 식 정리

Name	Isotherm equation	Applicability
Langmuir	$\frac{v}{v_m} = \theta = \frac{b p}{1 + b p}$	chemisorption and Physical adsorption
Freundlich	$v = k p^{1/n}, (n > 1)$	Chemisorption and Physical adsorption
Henry	$v = k' p$	Chemisorption and Physical adsorption
Temkin	$\frac{v}{v_m} = \theta = \frac{1}{a} \ln C_0 P$	Chemisorption
BET	$\frac{P}{v(P_0 - P)} = \frac{1}{v_m C} + \frac{(C - 1)}{v_m C} \frac{P}{P_0}$	Multilayer physical adsorption

흡착의 종류에 따라 평형을 이루는 여러 이론식들이 전개되었다. 흡착 실험에 많이 사용되는 이론식들을 표 3-2에 정리하였다. 표 3-2에는 adsorption isotherm에 대한 각 이론식들을 정리하였다.

흡착 실험을 통해 공극율을 측정하는데 있어서, 가장 중요한 것은 흡착에 사용한 기체의 특성이다. 다음에는 일반적으로 사용되는 기체들의 특성을 표 3-3으로 정리하였다.

표 3-3. 흡착 실험에 사용되는 기체들의 특성

Gas	Typical adsorption temperature K	P _o , Saturated vapor pressure at adsorption temperation P _a	a _m , Area per adsorbed molecule in monolayer nm ² molecule ⁻¹	
			Range	Common
Nitrogen	77	1.013×10 ⁻⁵ at 77.4K(liquid)	0.13~0.20	0.162
Argon	77	2.78×10 ⁻⁴ at 77.4K(solid)	0.13~0.17	0.15
	87	1.013×10 ⁻⁵ at 87.3K(liquid)		
Krypton	77	239 at 77.4K(solid)	0.17~0.22	0.20
	77	338 at 77.4K(liquid)	0.17~0.22	0.20
	90	2.74×10 ⁻³ at 90.2K(solid)	0.17~0.22	0.20
Xenon	90	8.25 at 90.2K(solid)	0.18~0.27	0.23
Methane	90	1.08×10 ⁻⁴ at 90.2K(solid)	0.15~0.17	0.16
n-Butane	273	1.013×10 ⁻⁵ at 272.7K(liquid)	0.32~0.57	0.44
CO ₂	195	1.013×10 ⁻⁵ at 174.7K(solid)	0.14~0.20	0.20

표면적을 측정하는 일반적인 방법으로는 Langmuir isotherm과 BET isotherm을 이용하여 결정한다. 이에 대한 기본 식을 다음에 표시하였다.

(1) Langmuir Surface Area

rate of adsorption = rate of desorption, at equilibrium

$$k_1 p (1 - \theta) = k_{-1} \theta$$

$$\theta = \frac{v}{v_m}$$

$$\frac{\theta}{1 - \theta} = \frac{k_1}{k_{-1}} p = b p$$

$$\frac{v}{v_m} = \theta = \frac{b p}{1 + b p}$$

$$\rightarrow \frac{1}{v} = \frac{1}{b v_m} \cdot \frac{1}{p} + \frac{1}{v_m}$$

(2) BET Surface Area → Multilayer Physical Adsorption
(Brunauer-Emmett-Teller)

◇ BET equation

$$\frac{P}{V_{ads} (P_0 - P)} = \frac{1}{C V_m} + \frac{C - 1}{C V_m} \frac{P}{P_0}$$

$$\text{Slope : } \frac{C - 1}{C V_m}, \quad \text{Intercept : } \frac{1}{C V_m}$$

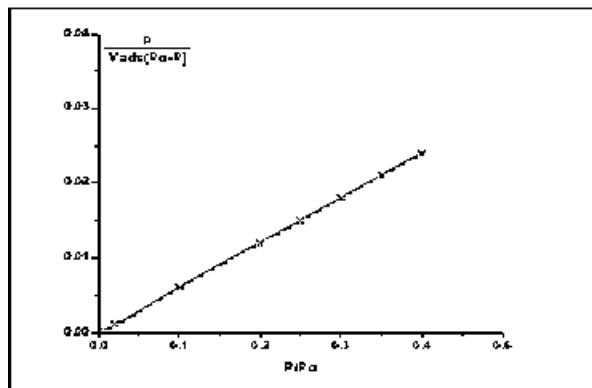


그림 3-1. BET plot

표면적(surface area)은 다음과 같은 식에 의해서 얻어진다.

$$S_{\text{BET}} = \frac{V_m}{22414 \text{ cm}^3/\text{mole}} \times 6.023 \times 10^{23} \frac{\text{molecules}}{\text{mole}} \times 16.2 \times 10^{-20} \frac{\text{m}^2}{\text{molecule}}$$

$$= 4.35 V_m (\text{m}^2)$$

총 공극 부피는 다음의 조건에서부터 계산될 수 있다.

When $P/P_0 = 1$, volume adsorbed at STP

$$V_p = V_{\text{ads}} \times \frac{\text{the molar volume of liquid } N_2}{\text{the molar volume of gaseous } N_2}$$

$$= 1.5468 \times 10^{-3} \times V_{\text{ads}} \text{ at STP}$$

평균 공극 크기는 실린더 모양이나, 구 모양으로 가정하고 다음의 식에 의해 얻어진다.

Average Pore Diameter

$$= \frac{4 \times \text{Total Pore Volume}}{\text{Surface Area}}$$

for cylindrical or spherical type

다음에는 일반적으로 실제 실험에서 얻어지는 isotherm의 형태에 대하여 나타내었다. 각각의 isotherm 형태에 따라 공극에 대한 기본 가정 및 해석이 달라진다.

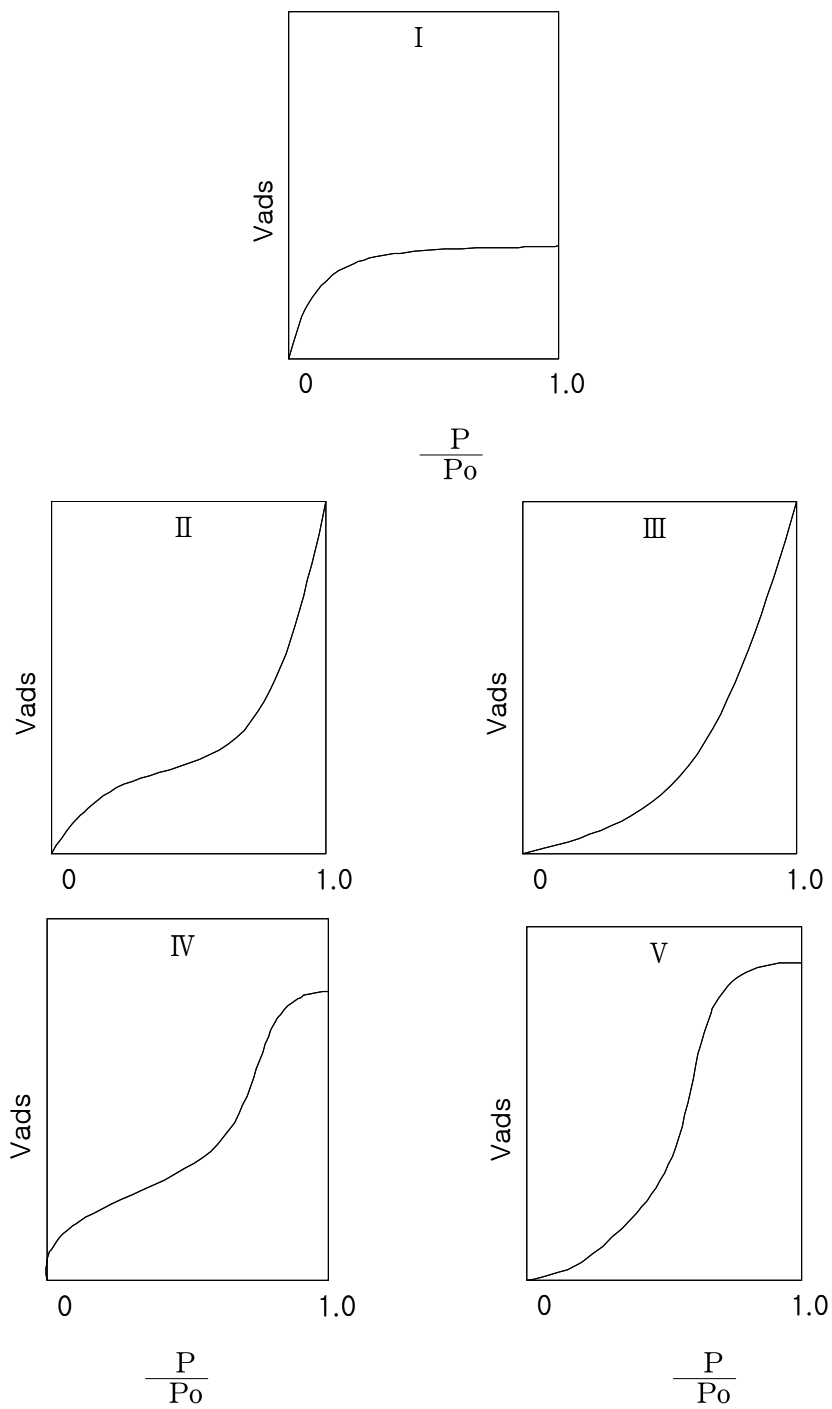


그림 3-2. 흡착에 따른 isotherm 형태의 종류

3.2.2. 풍화된 감은사지삼층석탑 주변 석재의 공극율(porosity) 측정

1) 개요

감은사지삼층석탑은 경주시 양북면 용당리에 소재한 탑으로, 국보 제112호로 지정되어 있는 대표적인 석조문화재이다.



그림 3-3. 국보 제112호 감은사지삼층석탑

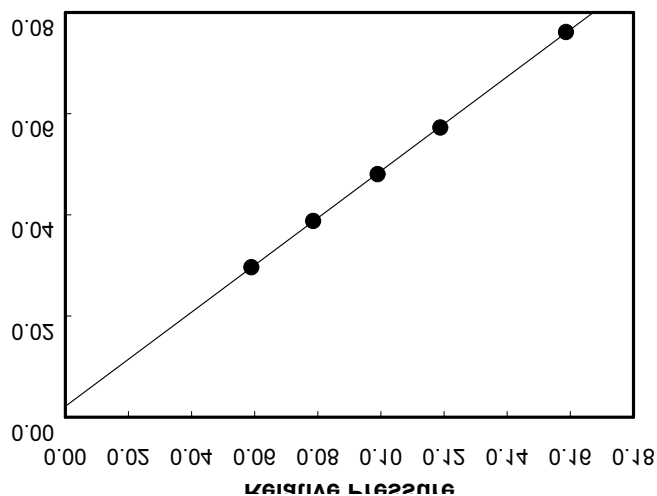
동서로 마주 서 있는 이 탑은 신라 신문왕(神文王) 2년(682)에 세워진 석탑이다. 화강암 이중기단 위에 세워진 방형(方形) 중층(重層)의 이 탑은 동서 양탑이 같은 규모와 구조를 보인다. 상층기단은 면석을 12매로, 갑석(甲石)은 8매로 구성하였다. 탕주는 하층기단에 3주, 상층기단에 2주를 세웠다. 1층옥신(初層屋身)은 각 우주(隅柱)와 면석을 따로 세웠으며, 2층은 각면이 한돌, 3층은 전체가 한돌로 되었다. 목조가구(木造架構)를 모방한 형적을 보이며 옥개석 받침을 층단식으로 한 수법은 전탑(塼塔)의 전단계 모습을 추정케 한다. 기단을 이중으로 하는 형식은 새로운 형식으로 이와 같은 양식은 이후로 한국 석탑의 규범을 이루는 것이 되었다. 또한 1960년 석탑을 해체 보수할 때 3층탑신에서 창건당시 설치하였던 매우 정교하고 귀중한 사리장치(舍利裝置)가 발견되었으며, 보물 제366호로 지정되어 국립중앙박물관에 보관전시 중이다. 탑의 전체 높이는 13.4m이다.

2) 시료 선정

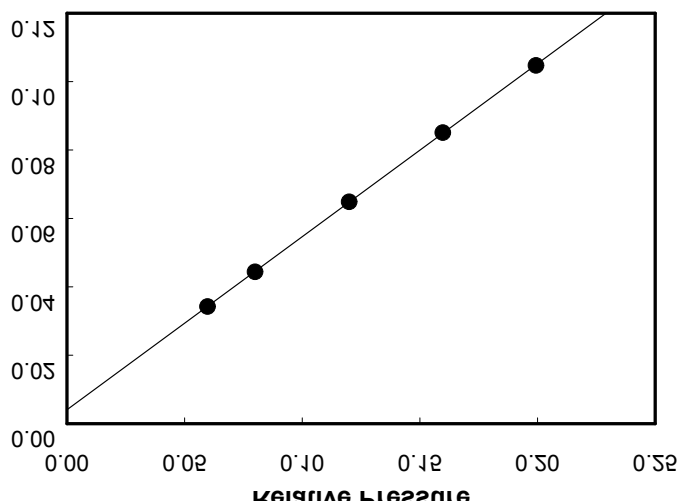
석탑의 1층 기단 밑에 떨어져 있는 석재 (약 0.5 cm x 0.5 cm x 0.5 cm)를 채취하였다. 신선한 석재의 경우와 같이 건조 오븐에서 건조하여 그 특성을 측정하였다.

3) BET 표면적 및 공극 특성

감은사지삼층석탑 주변 풍화된 석재의 BET surface area를 구하기 위해, relative pressure, P/P_0 , 에 따른 BET transformation, $P/(V_{adv}(P_0-P))$, 값으로부터 다음 그림 3-4에 나타내었다. 2개의 다른 시료를 측정하였고, 모두 $r^2 > 0.9999$ 이상의 직선성을 보이고 있다.



시료 1



시료 2

그림 3-4. 감은사지삼층석탑 주변 석재의 BET 실험

평균적으로 감은사지삼층석탑 주변의 풍화된 석재의 표면적은 $9.3\text{m}^2/\text{g}$ 이었다. 앞의 식으로부터 구한 total pore volume은 $P/P_0 = 0.99$ 일때, $0.0146\text{cm}^3/\text{g}$ 이고, 평균 pore diameter는 6.3nm 이었다.

4) 공극의 균일성

공극의 균일성을 측정하기 위해, 압력을 증가시키면서 질소의 흡착 실험을 수행하였고, 이어 압력을 낮추면서 탈착 실험을 통해 흡착-탈착시의 반응기구의 변화를 측정하였다.

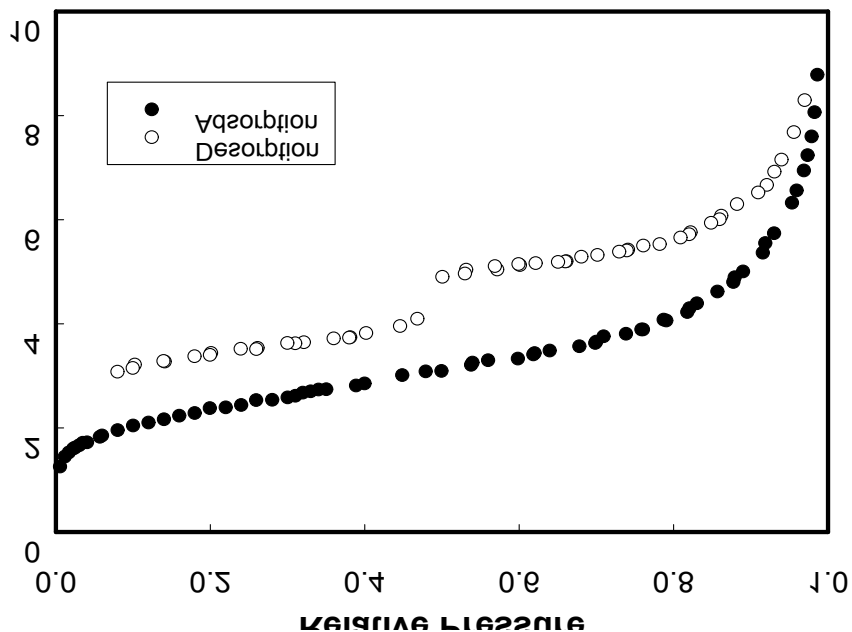


그림 3-5. 압력에 따른 흡-탈착 거동

그림 3-5에서 볼 수 있듯이 압력의 증가에 따라 흡착 거동을 보이고, 압력의 감소에 따라 탈착 거동이 보인다. 그러나 흡착-탈착 거동에 있어서 hysteresis를 보이고 있다. 이러한 흡착-탈착의 다른 mechanism은 일반적으로 surface area가 작은 물질일때 얻어지는 현상이고, 이는 또한 공극 형태의 불균일성을 의미하고 있다.

5) 공극 크기의 분포

공극 크기의 분포는 흡착 실험을 통해 공극 크기와 $dV/d\log(D)$ 로부터 공극의 크기 분포를 추정하였고, 다음 그림3-6에 나타내었다. 흡착-탈착 실험으로부터 이미 공극의 불균일성에 대해 예상했듯이 상당히 넓은 공극 크기 분포로들 보이고 있다.

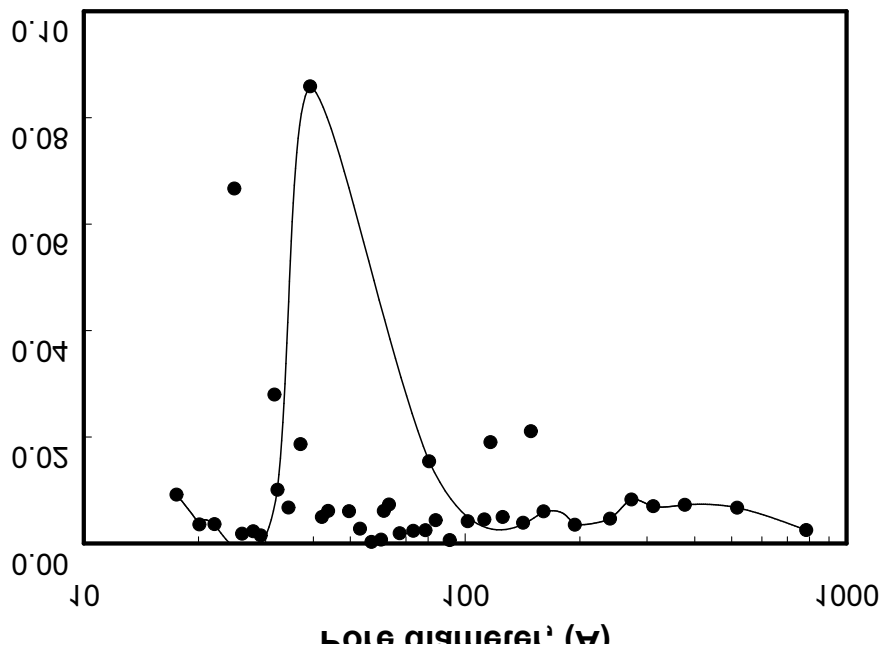


그림 3-6. 공극 크기의 분포도

3.2.3. 경주 남산 주변 풍화 석재의 특성 연구

1) 시료 채취

경주 남산 주변의 시료 채취는 경주 남산의 삼릉 계곡을 중심으로 주요 문화재 주변 석재를 시료로 채취하였다. 삼릉계곡 시료 (삼릉계곡) 및 복원이 잘못된 문화재 주변의 석재를 채취하였다.(그림 3-7)

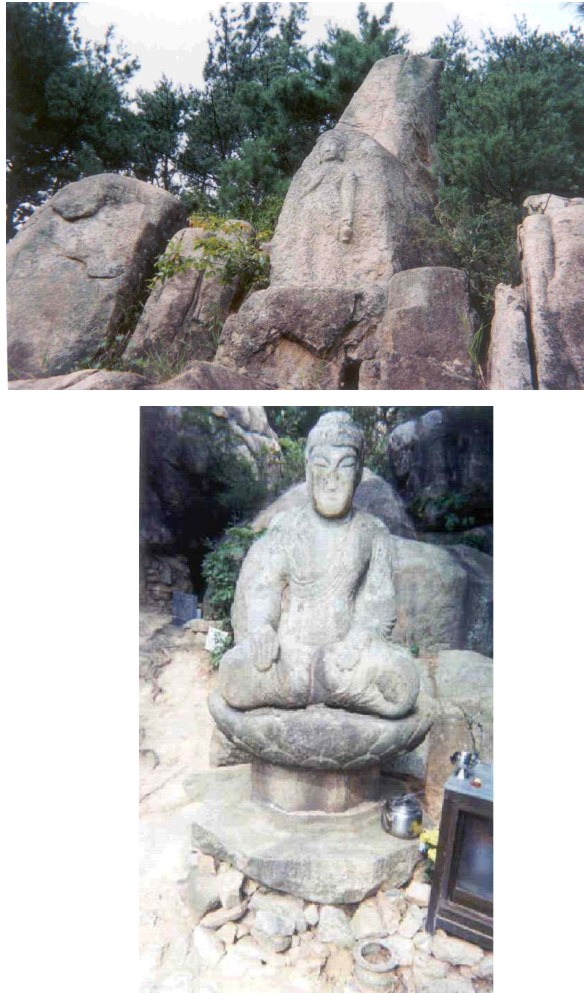


그림 3-7. 경주 남산 삼릉계곡 풍화 석재 채취 주변 문화재

각 시료들의 BET 분석을 통해 풍화된 석재의 풍화도를 측정하였다.(그림 3-8)

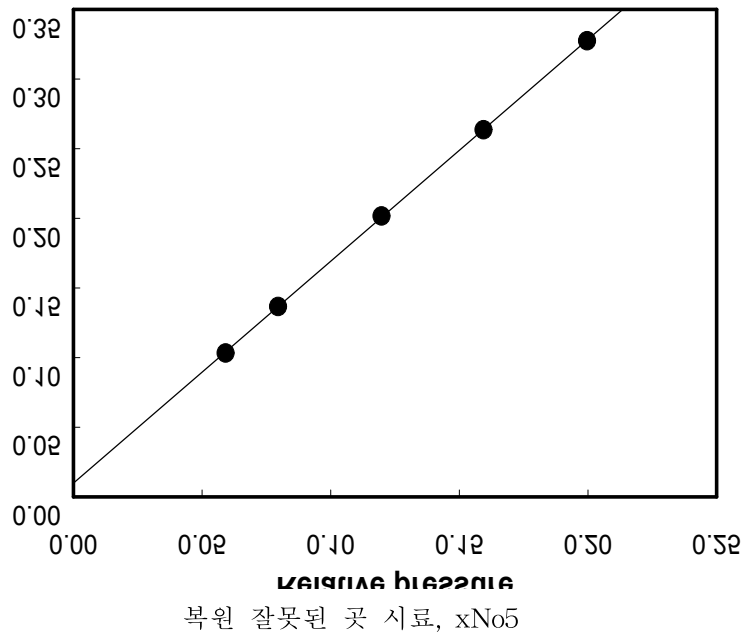
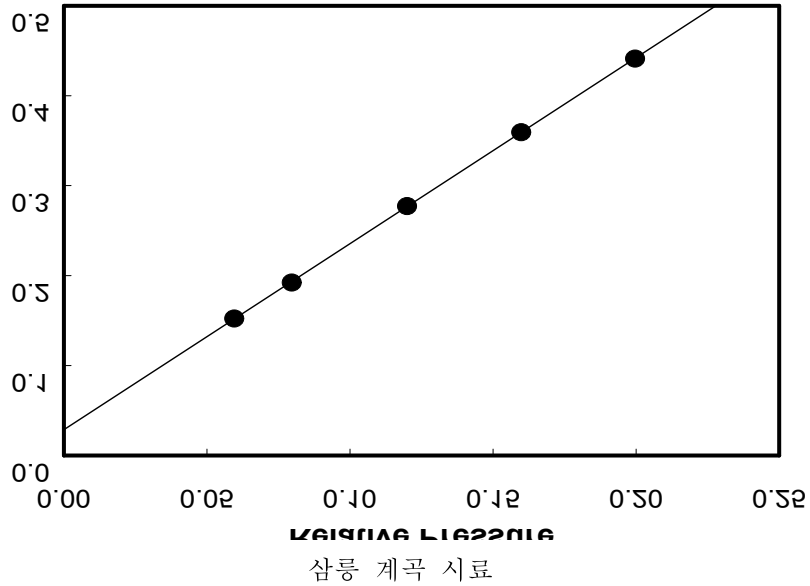
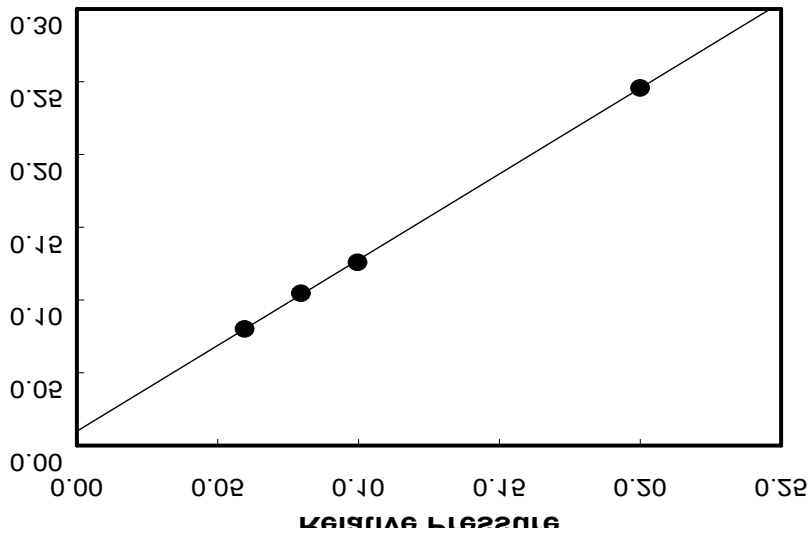


그림 3-8. 경주 남산 삼릉계곡 풍화 석재의 BET plot



석불 복원 잘못 된 시료, xxNo5

그림 3-8. (계속)

위의 그림 모두 상대 압력 대 BET transformation값과의 $r^2 > 0.9999$ 이상의 좋은 직선성을 보이고 있다.

삼릉계곡 석재의 경우, BET 표면적은 $2.1\text{m}^2/\text{g}$ 이고, $P/P_0 = 0.99$ 일 때, 총 공극 부피는 $0.0048\text{cm}^3/\text{g}$, 평균 공극 크기는 9.3nm 이다.

서남산 석불 중 복원이 잘못된 문화재 주변의 석재 경우, BET 표면적은 각각 2.7 과 $3.7\text{m}^2/\text{g}$ 이고, $P/P_0 = 0.99$ 일 때, 총 공극 부피는 0.0060 , $0.0063\text{cm}^3/\text{g}$, 평균 공극 크기는 각각 8.9 와 7.4nm 이다.

3.3. 실리콘계 발수 강화제 처리 연구

3.3.1. 배경

석재의 특성 측정인 석재의 흡수율 및 비중 시험 방법 (KS F 2518)법과 염 테스트 방법 (DIN 52111)에 의해 측정하였다. 각각의 방법은 다음과 같다.

- 1) 석재의 흡수율 및 비중 시험 방법 (KS F 2518)

흡수율 및 비중 실험을 위한 석재 공시체는 대표적인 것을 채취해야 하며 공시체의 치수 5~8cm의 육면체, 프리즘, 원기둥 또는 다른 규칙적인 형태의 것으로 준비하며 표면적에 대한 부피의 비율이 0.8~1.4 인 것이어야 한다. 흡수율 시험을 위해서는 공시체를 통기 장치가 된 건조기 속에서 $105 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 의 온도로 24시간 동안 건조시켜야 한다. 건조 후 공시체를 실내에서 30분 동안 식힌 후 무게를 단다. 공시체를 식힌 후 즉시 달 수 없을 때는 데시케이터 속에 보관해야 한다. 무게는 0.1g의 정밀도로 측정해야 한다.

공시체를 온도 $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 의 증류수나 여과수 속에 48시간 동안 침수시킨다. 이 시간이 지난 후 공시체를 수조에서 동시에 꺼내어 표면을 젖은 헝겊으로 닦아내고 0.1g의 정밀도로 측정한다. 각 공시체의 흡수율은 다음 식에 따라 계산한다.

$$\text{흡수율 (\%)} = (B-A)/A \times 100$$

여기에서

A: 건조 공시체의 무게 (g)

B: 침수 후의 공시체의 무게 (g)

비중은 흡수율 시험에 사용하였던 공시체를 비중 시험에 사용할 경우에는 흡수율 시험을 끝낸 직후 포화된 공시체를 온도 $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 의 여과수나 증류수속에 매달고 0.1g의 정밀도로 측정하여야 한다. 새로운 공시체로 비중을 측정할 경우, 건조 무게를 측정한다. 공시체를 온도 $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 로 유지된 여과수나 증류수 속에 기포가 생기지 않을 때까지 1시간 이상 침수 시킨다. 공시체를 수조에 넣고 공시체의 물속 무게를 5분 이내에 측정한다. 표면 건조 포화 상태의 비중은 다음 식에 따라 계산한다.

$$\text{표면 건조 포화 상태의 비중} = A/(B-C)$$

여기에서

A: 공시체의 건조 무게 (g)

B: 공시체의 침수 후 표면 건조 포화 상태의 공시체의 무게 (g)

C: 공시체의 물속 무게 (g)

2) Testing of natural stone and mineral aggregates: crystallization test with sodium sulfate (DIN 52111)

응용 범위 및 목적은 자연석의 풍화에 대한 저항을 평가하는 것이다.

방법의 요약은 결정화 실험으로 시료는 결정화 압력으로 내부 tension을 받게 된다. Na_2SO_4 는 32.4°C 이상에서 결정화되며 낮은 온도에서는 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 로 바뀌며 상당한 부피의 증가가 일어나게 된다.

시료는 실온에서 Na_2SO_4 용액에 함침 한 후 계속해서 110°C 에서 건조되고, 다시 실온으로 냉각한 후 다시 Na_2SO_4 용액에 함침된다. 보통 시료는 이와 같이 10번 교대로 처리해서 매번 무게를 달아 질량변화를 측정한다.

시료는 주사기 모양으로 한번 길이가 $50 \pm 2\text{mm}$, 혹은 직경 50 ± 2 , 높이 $50 \pm 2\text{mm}$ 의 실린더 모양으로 준비한다. Na_2SO_4 포화 용액은 순수한 증류수 1000ml에 750g Na_2SO_4 를 넣고 최소 40°C 까지 가열하여 제조하고, 곧 23°C 로 냉각하여 밑에 염이 석출되는가 확인하여 포화용액을 제조한다. 시료를 담은 망을 유리, 염 용액에 절반정도 1시간 동안 담그고 나서 다시 완전히 잠기게 한 후 16시간 방치한다. 온도는 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 유지한다. 망을 유리 용액에서 꺼내고 15분 동안 용액 방울이 떨어지게 한 후 $110 \pm 5^\circ\text{C}$ 로 유지된 건조로에 넣는다. 약 6시간 건조한 후 진공 데시케이터에서 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 냉각한다. 시료에 붙은 것을 제거하고 무게 측정하는 공정을 10회 이상 반복하여, 시료의 균열 및 기타 훼손 상태를 육안으로 확인하고 각 교대 실험마다 무게를 측정하여 도표화한다.

3.3.2. 실험 준비

본 시험에서 사용한 석재 시편은 황등석, 문경석을 선정하여 다음과 같이 시편을 제작하였다. (DIN 52111; $5\text{cm} \times 5\text{cm} \times 5\text{cm}$)

사용한 실리콘계 수지는 발수제로 Wacker 290과 경화제로 Wacker Strengthener OH 100을 사용하였다. 각 수지의 특성에 대하여 다음 표 3-4에 나타내었다.

표 3-4. 사용한 수지의 특성

	Wacker 290	Wacker Strengthener OH 100
content (%)	100, siloxane	100, ethyl silicate
colour	colourless to yellowish opalescent, cloudy	colourless to yellowish
density at 25°C	1.05 ± 0.01	1.0
flash point ($^\circ\text{C}$)	ca. + 50	40
active ingredient content, solid %	81 ± 2	-
catalyst	-	neutral

3.3.3. 시험 시편의 상태 측정

- 1) 무게 및 비중 측정: 비중은 체적 비중으로 110℃로 유지되는 건조기에서 16시간 건조시킨 시편의 무게를 측정하여 이를 체적으로 나눈다.
- 2) 흡수율 측정: 시편을 110℃ 건조기에서 16시간 동안 건조 후 실온까지 냉각한 다음 중량을 측정하고 바로 증류수에 24시간 함침시켜 수분을 포화시킨 후 무게를 측정하여 건조시편의 무게와의 차이를 건조시편의 무게로 나누어 얻는다.
- 3) 발수 경화제 수지 함침 처리
 - Wacker 290처리: Wacker 290 발수제를 간이 분무기로 도포하여 상온에서 하루 풍건시킨 후 같은 방법을 3차례 반복하여 발수제를 도포한다. 발수제가 도포된 시료는 상온에서 7일간 풍건 시킨 후 건조기 내에서 96시간 건조시킨다.
 - Wacker OH + Wacker 290처리: Wacker OH 100에 석재시편을 모두 3일간 함침 시킨 후 꺼내어 7일간 풍건하고 건조기내에서 96시간 건조시킨다.
 - Wacker OH 100으로 함침 처리한 시편은 Wacker 290 발수제를 간이 분무기로 도포하여 상온에서 7일간 풍건 시킨 후 건조기 내에서 96시간 건조시킨다.

3.3.4. 시험 방법

- 1) 내염성 시험

국제 규격 DIN 52111대로 Na_2SO_4 포화염 용액 (1000ml 순수에 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 혹은 Na_2SO_4) 을 준비하고 완전히 잠기도록 한 다음 16시간 방치, 물기를 없앤 후 110℃로 유지된 건조로에 6시간 넣어 건조하고 실온에서 냉각 후 겉에 붙은 염을 제거하고 무게 변화 및 외관 상태를 관찰한다.
- 2) 표면 장력 시험

수지 처리한 시편 표면에 일정량의 물방울을 침적하여 물방울의 모양과 흡수 여부를 측정하였다.

3.4. 실리콘계 처리 실험 결과 및 고찰

3.4.1. 발수 경화 처리

Wacker 290으로 처리된 문경석 및 황등석의 경우, 투명한 코팅층이 표면에 형성이 되었다. 처리 전후의 풍화된 석재의 그림은 다음 그림 3-9에 나타내었다. 코팅층이 형성되었고, 고분자 형성에 따른 코팅층에 의한 석재 표면 밝기가 매우 밝아지고 광택이 나는 등 외관의 변화를 관찰할 수 있었다.



그림 3-9. Wacker OH 100으로 표면 처리된 황등석과 문경석

또한 실리콘 발수 경화제 처리에 사용 된, 앞장에서 공극을 측정에 사용된, 경주 지역 풍화된 석재에 대한 시료는 그림 3-10과 같다.



그림 3-10. 풍화된 석재 3개

3.4.2. 각 시료의 기본 특성

다음의 표 3-5에 실험에 사용한 신선한 석재 시료의 특성을 나타내었다.

표 3-5. 시료 특성

	시료 번호	부피(cm ³)	무게(g)	비중(g/cm ³)
문경석	1	4.9 x 4.8 x 4.9	298.50	2.59
	2	4.9 x 4.9 x 4.9	303.48	2.58
	3	4.9 x 4.8 x 4.8	299.86	2.66
	4	4.9 x 4.8 x 4.8	299.23	2.65
	5	4.8 x 4.9 x 4.8	299.52	2.65
	1'	4.9 x 4.8 x 4.8	300.04	2.66
	2'	4.9 x 4.9 x 4.8	300.84	2.61
	3'	4.8 x 4.9 x 4.8	300.77	2.66
	4'	4.8 x 4.8 x 4.85	294.25	2.63
	5'	4.85 x 4.8 x 4.9	299.82	2.63
황등석	1	5.1 x 4.8 x 4.8	327.40	2.79
	2	4.8 x 5.1 x 4.9	323.90	2.70
	3	4.9 x 4.8 x 5.1	320.28	2.67
	4	4.9 x 4.8 x 5.0	322.93	2.75
	5	4.9 x 5.1 x 4.9	327.33	2.67
	1'	5.15 x 4.8 x 4.8	321.36	2.71
	2'	4.85 x 4.75 x 5.1	320.22	2.73
	3'	5.1 x 4.8 x 4.9	326.54	2.72
	4'	4.85 x 4.9 x 5.1	323.85	2.67
	5'	5.1 x 4.8 x 4.9	324.52	2.71

평균 비중은 문경석인 경우 2.63g/cm³, 황등석인 경우 2.71g/cm³로 비중의 차이가 크게 나지 않음을 보이고 있다.

다음에는 풍화가 되지 않은 신선한 석재의 공극율은, 매우 낮을 것으로 기대되고 실제 기체 흡착에 의한 공극율 측정은 공극율이 너무 낮아 측정한계에 부딪혀

공극율을 직접 측정하지 못하였다. 따라서 석재 공극율을 간접적으로 측정하는 방법으로 석재의 수분 흡수율을 측정하였고 그 결과를 다음의 표 3-6에 나타내었다.

표 3-6. 신선한 석재의 수분 흡수율

	건조 시 무게 (g)	수분흡수 무게 (g)	흡수율 (%)
문경석	299.45	300.31	0.29
	300.34	301.29	0.32
	301.46	302.38	0.30
	300.31	301.24	0.31
	300.57	301.43	0.29
황등석	324.59	325.28	0.21
	327.64	328.32	0.21
	326.99	327.67	0.21
	323.66	324.33	0.21
	325.47	326.17	0.21

신선한 석재인 문경석과 황등석의 석재의 수분 흡수율은 각각 0.30, 0.21%로 매우 낮은 수분 흡수율을 보이고 있고, 이 결과로 석재 내부의 기공이 무척 작음을 알 수 있다. 표 3-7에는 풍화된 석재의 수분 흡수율을 나타내었다.

표 3-7. 풍화된 화강암의 수분 흡수율

	건조 무게(g)	수분 흡수 무게(g)	흡수율(%)
서남산 석불 (xNo5)	0.203	0.216	6.76
서남산 (xxNo5)	0.406	0.427	5.25
삼릉계곡	0.547	0.580	6.03

표 3-7에서 볼 수 있듯이 신선한 석재에 비해 20~30배 정도의 높은 증류수 흡수율을 보이고 있다. 이는 앞의 공극율 측정에서도 볼 수 있듯이, 신선한 석재에서는 측정이 되지 않는 공극율을 풍화된 석재에서 보이는 결과와 일치함을 보이고 있다.

3.4.3. 처리 석재의 특성 분석

신선한 석재인 황등석과 문경석을 발수제인 Wacker 290을 스프레이로 처리하였다. 얻어진 각각의 시료에 도입된 Wacker 290의 양은 아래 표 3-8에 나타내었다.

표 3-8. Wacker 290 스프레이 처리된 석재의 특성

	시료 번호	처리 후 무게 (g)	처리된 양 (g)
문경석	1	299.65	1.15
	2	303.97	0.49
	3	301.26	1.5
	4	299.45	0.22
	5	301.19	1.67
황등석	1	328.55	1.15
	2	325.64	1.74
	3	321.29	1.01
	4	323.78	0.85
	5	328.33	1

각각의 시료를 선정하여 강화제인 Wacker OH 용액에 석재를 함침시켜 Wacker OH가 석재 내부에 침투하도록 하고 hood에서 3일 동안 건조시킨 후 Wacker 290을 위의 방법으로 도포시켜 시료를 제작하였다. 각 시료에 대해 처리된 양을 다음의 표 3-9에 정리하였다.

Wacker OH 100은 실리콘계 강화제로 시료를 강화제 내부에 함침하여 처리하므로 Wacker OH 100이 석재 내부까지 침투하여 시료의 강화를 이루기 위해서는 석재 시료 내부로의 확산이 중요하다. 강화제가 확산을 통해 석재 내부에 침투하기 위해서는 석재의 공극율이 매우 중요한 역할을 할 것으로 기대된다. 따라서 다음의 표 3-10에 신선한 석재와 풍화된 석재 각각의 강화제인 Wacker OH 100의 흡수율을 정리하였다.

표 3-10에서 알 수 있듯이 신선한 석재인 경우, Wacker OH 100의 흡수율은 같은 조건에서 풍화된 석재의 경우에 비해 현저히 낮은 흡수율을 보이고 있다.

표 3-9. Wacker OH 100처리 후 Wacker 290으로 처리된 시편의 특성

	시료 번호	OH처리 후 무게 (g)	OH처리 된 양 (g)	290처리 후 무게 (g)	290처리된 양 (g)
문경석	1	301.48	1.44	301.84	1.58
	2	301.61	0.77	301.31	0.02
	3	302.30	1.53	301.63	0.26
	4	295.60	1.35	295.52	0.38
	5	301.16	1.34	301.89	1.25
황등석	1	322.02	0.66	322.28	0.83
	2	320.56	0.34	321.84	1.65
	3	327.46	0.92	327.29	0.42
	4	324.78	0.93	325.03	0.7
	5	324.99	0.47	326.55	2.08

표 3-10. Wacker OH 100의 흡수율 비교표

	건조시 무게(g)	OH 흡수량(g)	OH 흡수율(%)
문경석	301.48	1.44	0.48
	301.61	0.77	0.26
	302.3	1.53	0.51
	295.6	1.35	0.46
	301.16	1.34	0.44
황등석	322.02	0.66	0.20
	320.56	0.34	0.11
	327.46	0.92	0.28
	324.78	0.93	0.28
	324.99	0.47	0.14
서남산 석불	0.202	0.208	2.97
서남산	0.405	0.419	3.46
삼릉 계곡	0.544	0.584	7.35

1) 표면 장력 실험

처리된 석재의 발수 효과를 알아보는데 가장 좋은 특성인 표면 장력을 알아보기 위해 물방울 실험을 수행하였다. 다음의 그림 3-11, 3-12에 각 석재의 수지 처리 전과 처리 후의 물방울 침적 시 형성된 물방울의 모양을 나타내었다.

수지 처리 전에는 물방울들이 바로 석재 표면에 분산이 되는 것으로 보아, 발수 효과가 거의 없음을 알 수 있었다. 그러나 처리된 모든 시료에 있어서, 발수제 처리 후에 물방울의 형태 유지모양으로부터 발수 효과가 현저히 증진되었음을 명확히 알 수 있었다.



그림 3-11. 문경석의 표면 장력 실험



그림 3-12. 황등석의 표면 장력 실험

2) 내염성 실험

Wacker 290, Wacker OH 및 Wacker 290 발수제로 처리한 석재 시편을 염 용액에 함침시켜 관찰한 결과, Wacker 290만 단독 처리한 석재의 경우 표면 부식 및 균열이 일어났으며, Wacker OH 처리 후 Wacker 290을 처리한 경우에도 역시 표면 균열이 일어났으나 Wacker 290만 단독 처리했을 경우보다 그 정도는 미미하였다. 다음 그림 3-13에 염 실험 후 표면 부식 및 균열이 일어난 시료의 형태를 나타내었다.

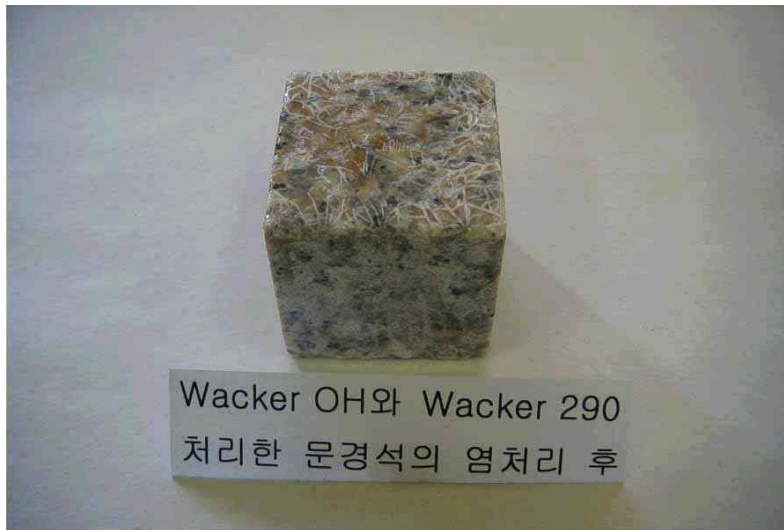


그림 3-13. 염 실험 21일 후의 표면 부식 및 균열 형성

각 시편을 시간별로 그 풍화정도를 무게의 변화를 측정하여 관찰하였고 결과를 다음 그림 3-14에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 염 용액에 담그는 시간이 증가할수록 시료의 중량이 감소함을 보이고 있다. 그러나 수지 처리를 하지 않은 석재 시편의 경우 15일이 지나도 중량의 변화는 감소하지 않고 평균 0.07% 증가하는 결과를 보이고 있다. 이는 아마도 수지 처리가 되지 않은 시료의 경우 염이 석재 내부로 침투하여 침적되는 것으로 생각된다. 석재에 미치는 염의 효과를 보기 위해서는 보다 더 긴 시간이 필요한 것으로 보인다.

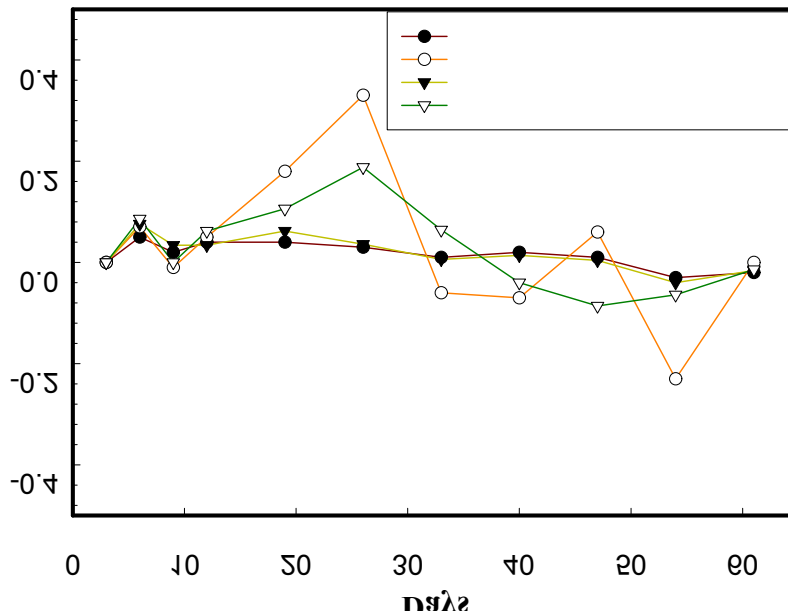


그림 3-14. 수지 처리한 석재의 열 영향 측정 그림

3.5. 풍화 석재의 실리콘계 강화제 효과

풍화 석재가 공극율이 크다는 것은 앞의 실험에서 확인하였다. 이러한 공극율이 공극적으로는 풍화된 석재의 기계적 강도를 낮추어 석조문화재의 붕괴를 일으키는 것으로 생각된다. 따라서, 공극율이 높은 풍화 석재의 강화를 위해 강화제 처리를 하였을 때의 효과를 보기 위하여 경주 남산지역에서 채집한 풍화된 석재에 Wacker OH 100 강화제를 처리하여 그 효과를 관찰하였다.

선택한 시료는 공극율 측정에 사용된 경주 남산의 복원이 잘못된 문화재 주변의 석재를 선택하였다.(공극율은 시료 xNo5 또는 xxNo5의 특성값으로 가정된다.) 실험 방법은 각각의 시료를 충분히 건조시킨 후 무게를 측정하고 Wacker OH 100 용액에 시간을 달리하면서 함침하고, 정해진 시간이 되면 시료를 꺼내 여분을 제거하고 잘 말린 후 그 무게 변화를 측정하였다. 다음의 표 3-11에 무게 변화에 대해 표로 정리하였고, 시간별 그림으로 그림 3-15에 흡수량을 나타내었다.

표 3-11. 시간에 따른 경주 남산 풍화 석재의 Wacker OH 100 흡수량

	건조 무게(g)	처리 후 무게(g)	흡수량(g)	흡수 %	함침 시간
시료 1	7.63	7.84	0.21	2.75	1
시료 2	5.1	5.3	0.2	3.92	10
시료 3	21.21	21.65	0.44	2.07	20
시료 4	17.47	17.89	0.42	2.40	30
시료 5	15.51	15.89	0.38	2.45	48

그림 3-15 및 표 3-11에서 볼 수 있듯이, Wacker OH 100에의 흡수량은 함침 시간에 따른 특별한 경향성을 보이지 않음을 알 수 있다. 원인은 아마도 각 석재마다 공극율이 달라서 얻어지는 비경향성으로 보인다. 즉 시료내부의 공극율이 현저히 큰 경우, 적용되는 강화제는 확산에 의한 영향보다는 큰 공극율에 기인하는 빠른 확산으로 시료 전체에 수지가 퍼져서 얻는 결과인 것으로 생각된다. 수지 처리하기 전과 후의 석재 시편의 외관 사진을 그림 3-16에 나타내었다.

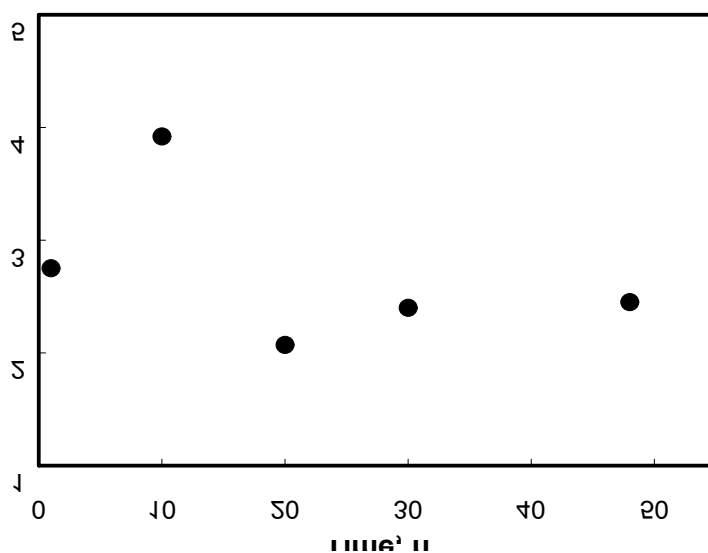


그림 3-15. 시간에 따른 Wacker OH 100 함침 양 %



시료 1. 수지 처리 전과 후



시료 2. 수지 처리 전과 후



시료 3. 수지 처리 전과 후

그림 3-16. 경주 남산의 풍화 석재의 Wacker OH 100 처리 전과 후의 사진



시료 4. 수지 처리 전과 후



시료 5. 수지 처리 전과 후

그림 3-16. (계속)

수지 처리를 함으로서 석재의 표면은 광택이 생기고 특히 강도가 수지 처리를 하지 않은 시료에 비해 현저히 증가하였다. (손힘에 의한 절단 실험 결과)

수지 처리한 시료를 망치로 절단 내어 그 내부를 확인하여 보았으나 공극율이 높아서인지 특정한 확산 현상을 이해할 수 있는 동력학적인 고찰을 수행할 수는 없었고 거의 내부까지 수지가 침투한 흔적을 보이고 있다. 다음 그림 3-17에는 각 석재의 절단면의 그림을 나타내었다.



시료 1



시료 2



시료 3



시료 4



시료 5

그림 3-17. Wacker OH 100을 시간별로 처리한 풍화된 석재의 단면

그림 3-17에서 볼 수 있듯이, 전체적으로 석재 내부까지 수지가 침투된 것으로 보인다. 이는 현저히 강화된 석재의 기계적 강도의 증가의 결과를 보이는 것과 일치한다.

3.6. 결론

2차년도 연구 결과로 화강암에 적절한 실리콘계인 Wacker 290발수제 및 Wacker OH 100 강화제를 선정하여 신선한 석재 및 풍화 석재에 수지 처리를 하여 그 특성을 분석하였다. 경주 지역 풍화된 석재를 채취하여 기체 흡착 실험을 통해 풍화된 석재의 공극율 및 기공 크기, 그리고 공극 분포 등에 대한 연구를 통해, 신선한 석재에서 측정되지 않은 높은 공극율 값을 얻었다. 이러한 공극율이 결국 석재의 기계적 강도를 낮춤과 동시에 수지 처리에 있어서 큰 영향을 미치는 것으로 생각된다.

풍화된 석재에 시간에 따른 Wacker OH 100 강화제의 함침양을 측정하였다. 이미 풍화가 많이 진행된 경주 남산 지역 석재를 선정했으므로, 시료 내의 공극율이 높았고, 따라서 시간에 따른 확산의 영향을 볼 수 없었다. 즉 시험 시간 내에 시료 내부까지 강화제의 함침이 진행됨을 사진으로 확인하였고 이는 또한 증가된 기계적 강도로부터 알 수 있었다.

4. 석조문화재 현황 종합분석

- 4.1. 석조문화재의 건조유형
- 4.2. 석조문화재 건조에 사용된 석재
- 4.3. 석조문화재의 사이트환경
- 4.4. 석조문화재의 보존관리 현황
- 4.5. 석조문화재의 보존상태
 - 4.5.1. 석조문화재의 보존상태 등급
 - 4.5.2. 석조문화재의 상태등급별 목록
 - 4.5.3. 석조문화재의 종합상태 등급
 - 4.5.4. 긴급 보존관리가 필요한 석조문화재

4. 석조문화재 현황 종합분석

4.1. 석조문화재의 건조유형

광주, 전남북 및 제주지역에 분포하는 국가지정 석조문화재 109건의 건조유형과 그 빈도는 표 4-1과 같다.

표 4-1. 광주, 전남북 및 제주지역의 국가지정 석조문화재의 건조유형과 빈도

석조문화재 종류	건수	%	석조문화재 종류	건수	%
석탑	46	42.2	불감	1	0.9
부도	10	9.2	석불비상	1	0.9
석등	9	8.3	노주	1	0.9
불상	8	7.4	석련대	1	0.9
석비	7	6.4	계단	1	0.9
탑비	6	5.5	석좌	1	0.9
마애불	6	5.5	매향명	1	0.9
당간	5	4.6	부도비	1	0.9
교량	3	2.8	석상	1	0.9
합 계				109	100

4.2. 석조문화재 건조에 사용된 석재

광주, 전남북 및 제주지역의 국가지정 석조문화재의 건조에 사용된 석재의 종류와 그 빈도는 표 4-2와 같다.

표 4-2. 광주, 전남북 및 제주지역의 국가지정 석조문화재의 건조에 사용된 석재

· 단일 석재로 건조된 석조문화재

암석명	건수	%	암석명	건수	%
흑운모화강암	36	33.0	화강암질편마암	2	1.8
각섬석화강암	20	18.4	사암	2	1.8
우백질화강암	8	7.4	페그마타이트	1	0.9
유문암질응회암	7	6.4	조면암	1	0.9
각섬암	6	5.5	유문암	1	0.9
섬록암	4	3.7	현무암	1	0.9
유문암질각력암	4	3.7	안산암	1	0.9
합 계				94	86.2

· 2 종류의 석재로 건조된 석조문화재: 15건 (13.8%)

국보 54호 : 램프로화이어 + 사암
 보물 24호 : 천매암 + 흑운모화강암
 보물 27호 : 점판암 + 애플라이트질화강암
 보물 30호 : 복운모화강암 + 각섬석화강암
 보물 35호 : 각섬석화강암 + 섬록암
 보물 38호 : 흑운모화강암 + 각섬암
 보물 152호 : 화강암질편마암 + 사암
 보물 153호 : 화강암질편마암 + 램프로화이어
 보물 234호 : 각섬석화강암 + 흑운모화강암
 보물 313호 : 점판암 + 우백질화강암
 보물 503호 : 유문암질응회암 + 흑운모화강암
 보물 507호 : 용결응회암 + 조면암
 보물 571호 : 대리암 + 화강섬록암
 보물 584호 : 대리암 + 흑운모화강암
 보물 946호 : 각섬석화강암 + 우백질화강암

4.3. 석조문화재의 사이트환경

광주, 전남북 및 제주지역의 석조문화재가 위치해 있는 지점 및 주변환경을 지형환경, 지반환경, 수문환경, 주변환경 등의 관점에서 살펴보면 다음과 같다.

1) 지형환경 (표 4-3)

표 4-3. 광주, 전남북 및 제주지역의 국가지정 석조문화재의 지형환경

지형환경	건수	%	지형환경	건수	%
평지	27	24.8	산배	5	4.5
산기슭	26	23.8	밭	3	2.8
산턱	16	14.7	논	3	2.8
산등성	11	10.1	강	3	2.8
산밑	7	6.4	암벽	3	2.8
둔덕	5	4.5			
합 계				109	100.0

2) 지반환경 (표 4-4)

표 4-4. 광주, 전남북 및 제주지역의 국가지정 석조문화재의 지반환경

지반환경	건수	%
층적토	55	50.5
풍화토	41	37.6
암반	8	7.3
옥내	5	4.6
합계	109	100.0

3) 수문환경 (표 4-5)

표 4-5. 광주, 전남북 및 제주지역의 국가지정 석조문화재의 수문환경

바다와의 이격거리별 석조문화재 건수		큰 저수지 인근 석조문화재 건수	
< 0.2km	1	나주호 부근	4
0.2 - 1km	2		
1 - 2km	2		
2 - 5km	4	주암호 부근	5
5 - 10km	17		
10 - 20km	18		
20 - 30km	23	옥정호 부근	6
30 - 40km	18		
40 - 50km	15		
50 - 70km	9		
합 계	109	합계	15

• 지반으로부터 수분의 침투여하

수분침투				
높음	보통	낮음	거의 없음	합 계
14건	39건	44건	12건	109건
12.8 %	35.8 %	40.4 %	11.0 %	100.0 %

4) 주변환경 (표 4-6)

표 4-6. 광주, 전남북 및 제주지역의 국가지정 석조문화재의 주변환경

보호대책 내 주변환경	건수	%
잔디	57	52.2
흙	20	18.3
자갈	10	9.2
기반암	7	6.4
옥내	4	3.7
점토	3	2.8
암석판재	3	2.8
하천	3	2.8
시멘트	2	1.8
합계	109	100.0

석조문화재 주변환경		거리별 건수				
주변식생		< 5m	5-10m	10-15m	15-20m	20-30m
	수풀	15	10	2	3	
	수목	9	12	1		
건물		1	3	4	4	
돌담		1	6	2		
도로		1			1	
밭		1		1		
논		1				
흙(공터)		31				
합계		109				

4.4. 석조문화재 보존관리 현황

1) 보호시설 (표 4-7)

표 4-7. 광주, 전남북 및 제주지역 국가지정 석조문화재의 보호시설
(해체수리 중인 국보 11호는 제외)

보호시설	건수	%
옥내	5	4.6
보호각	7	6.5
보호철책	89	82.4
없음	7	6.5
합 계	108	100.0

2) 보수현황 (표 4-8)

표 4-8. 광주, 전남북 및 제주지역 국가지정 석조문화재의 보수현황

국보 11호 :	해체수리 중
국보 44호 :	옥개석 접합처리
보물 25호 :	비신착색 제거 처리
보물 37호 :	상륜부 해체 조립
보물 43호 :	광배 균열 시멘트접합 처리
보물 45호 :	머리부위 제작
보물 74호 :	전체 세척
보물 109호 :	옥개석 접합 처리
보물 110호 :	해체 수리
보물 111호 :	해체 조립 및 수리
보물 133호 :	해체 조립
보물 158호 :	귀부의 균열부위 접합 처리
보물 274호 :	귀꽃 접합
보물 276호 :	상륜부 해체 조립
보물 304호 :	해체복원 및 균열부위 접합 처리
보물 309호 :	석축 및 배수로 정비
보물 503호 :	지반 판석 시공
보물 504호 :	해체복원
보물 563호 :	지표면 도로공사

보물 797호: 해체복원 및 균열부위 접합 처리
 보물 798호: 옥개석 균열부위 접합처리
 보물 831호: 해체복원
 보물 914호: 보호각 건립 및 지반 정비
 보물 1115호: 해체 재축조
 보물 1117호: 주변 지형 정비
 보물 1118호: 주변 정비
 보물 1184호: 귀꽃 접합 처리, 재탈락

4.5. 석조문화재의 보존상태

4.5.1. 석조문화재의 보존상태 등급 (표 4-9)

표 4-9. 광주, 전남북 및 제주지역의 국가지정 석조문화재의 상태

풍화상태 등급		
등급	건수	%
1(대단히 미약)	0	0
2(미약)	19	17.6
3(보통)	56	51.9
4(정기점검 필요)	25	23.1
5(정밀진단 필요)	8	7.4
합 계	108	100

생물분포상태 등급		
등급	건수	%
1(대단히 미약)	18	16.7
2(미약)	18	16.7
3(보통)	46	42.6
4(정기점검 필요)	18	16.7
5(정밀진단 필요)	8	7.4
합 계	108	100

구조상태 등급		
등급	건수	%
1(안전)	0	0
2(비교적 안전)	14	13.0
3(보통)	65	60.2
4(정기점검 필요)	26	24.1
5(정밀진단 필요)	3	2.8
합 계	108	100

* 국보 11호가 현재 해체보수 중이어서 제외되었음

현황진단된 108건 석조문화재의 풍화상태, 생물분포상태 및 구조상태 등급의 목록은 표 4-10과 같다.

표 4-10. 현황진단된 108건 석조문화재의 상태등급

· 국보 석조문화재

지정번호	문화재명	풍화등급	생물등급	구조등급
국보 10	실상사백장암삼층석탑	4	1	4
국보 12	화엄사각황전앞석등	3	2	3
국보 35	화엄사사사자삼층석탑	3	4	4
국보 44	보림사삼층석탑및석등	4	4	3
국보 53	연곡사동부도	2	1	3
국보 54	연곡사북부도	2	1	3
국보 57	쌍봉사철감선사탑	2	3	3
국보 103	중흥산성쌍사자석등	2	2	2
국보 144	월출산마애여래좌상	3	3	3
국보 289	익산왕궁리오층석탑	4	1	3
소 계	국보 10건			

· 보물 석조문화재

지정번호	문화재명	풍화등급	생물등급	구조등급
보물 22	금산사노주	3	3	3
보물 23	금산사석연대	3	5	2
보물 24	금산사혜덕왕사진응탑비	5	3	3
보물 25	금산사오층석탑	4	5	4
보물 26	금산사방등계단	3	5	2
보물 27	금산사육각다층석탑	3	3	3
보물 28	금산사당간지주	2	4	3
보물 29	금산사심원암북강삼층석탑	2	3	3
보물 30	만복사지오층석탑	3	4	3
보물 31	만복사지석좌	3	1	2
보물 32	만복사지당간지주	3	1	2
보물 33	실상사수철화상능가보월탑	3	3	3
보물 34	실상사수철화상능가보월탑비	3	2	3
보물 35	실상사석등	3	2	3
보물 36	실상사부도	4	3	3
보물 37	실상사삼층석탑	4	4	4
보물 38	실상사증각대사응료탑	3	3	3
보물 39	실상사증각대사응료탑비	3	4	3
보물 40	실상사백장암석등	3	1	3
보물 42	용담사지석불입상	4	1	3
보물 43	만복사지석불입상	2	1	3
보물 45	익산연동리석불좌상	2	1	3
보물 46	익산고도리석불입상	3	3	3
보물 48	대흥사북미륵암마애여래좌상	3	3	3
보물 49	나주동문외석당간	4	3	4
보물 50	나주북문외삼층석탑	5	3	4
보물 89	도갑사석조여래좌상	2	2	2
보물 109	광주서오층석탑	3	2	3
보물 110	광주동오층석탑	3	2	3
보물 111	개천사지석등	2	3	3
보물 112	중흥산성삼층석탑	3	4	3
보물 132	화엄사동오층석탑	3	3	3
보물 133	화엄사서오층석탑	3	2	3
보물 151	연곡사삼층석탑	3	1	4
보물 152	연곡사현각선사탑비	3	1	3
보물 153	연곡사동부도비	3	1	2
보물 154	연곡사서부도	2	1	2

지정번호	문화재명	풍화등급	생물등급	구조등급
보물 155	보림사동부도	2	3	3
보물 156	보림사서부도	3	3	4
보물 157	보림사보조선사창성탑	3	3	3
보물 158	보림사보조선사창성탑비	3	3	3
보물 167	정읍은선리삼층석탑	5	3	3
보물 170	쌍봉사철감선사탑비	3	5	3
보물 234	옥구발산리석등	3	3	3
보물 236	미륵사지당간지주	3	3	3
보물 267	임실용암리석등	4	3	3
보물 273	대안사적인선사조륜청정탑	2	4	3
보물 274	대안사광자대사탑	3	3	3
보물 275	대안사광자대사비	3	1	3
보물 276	발산리오층석탑	3	2	4
보물 298	월남사지삼층석탑	5	4	4
보물 300	화엄사원통전전사자탑	3	4	4
보물 301	대흥사북미륵암삼층석탑	4	5	5
보물 304	별교홍교	4	2	3
보물 309	천곡사지칠층석탑	3	3	4
보물 313	월남사지진각국사비	4	2	3
보물 320	대흥사응진전전삼층석탑	3	3	4
보물 395	선암사삼층석탑	3	2	3
보물 400	선암사승선교	5	4	3
보물 423	남원신계리마애여래좌상	3	5	3
보물 461	나주철천리철불석상	3	4	2
보물 462	나주철천리석불입상	3	3	2
보물 503	명량대첩비	2	2	2
보물 504	영광신천리삼층석탑	2	3	3
보물 505	담양읍석당간	3	3	3
보물 506	담양읍오층석탑	4	3	4
보물 507	무위사선각대사편광탑비	2	3	2
보물 509	구례논곡리삼층석탑	3	3	5
보물 529	금골산오층석탑	4	3	4

지정번호	문화재명	풍화등급	생물등급	구조등급
보물 563	홍국사홍교	4	2	3
보물 571	좌수영대첩비	3	1	3
보물 584	윤문 효공신도비	2	4	3
보물 600	광주약사암석조여래좌상	2	2	2
보물 795	천관사삼층석탑	2	3	3
보물 796	운주사구층석탑	3	3	4
보물 797	운주사석조불감	4	3	4
보물 798	운주사원형다층석탑	4	3	4
보물 828	금산사석등	3	3	3
보물 829	금곡사삼층석탑	4	3	4
보물 831	동화사삼층석탑	5	2	4
보물 914	징읍보화리석불입상	3	1	3
보물 943	보성우천리삼층석탑	4	2	4
보물 944	보성유신리마애여래좌상	4	5	3
보물 945	금둔사지삼층석탑	4	4	5
보물 946	금둔사지석불비상	3	2	4
보물 1115	보성봉천리오층석탑	4	3	4
보물 1116	유마사해련부도	3	3	3
보물 1117	선암사대각암부도	4	4	3
보물 1118	성풍사지오층석탑	3	3	3
보물 1123	개령암지마애불상군	5	4	3
보물 1184	선암사북부도	4	5	3
보물 1185	선암사동부도	4	4	3
보물 1187	불탑사오층석탑	3	3	4
보물 1200	선운사도솔암마애불	3	3	3
보물 1283	월출산용암사지삼층석탑	3	3	4
보물 1288	타루비	3	1	2
보물 1309	영암엄길리암각매향명	3	3	3
보물 1322	곡성가곡리오층석탑	5	4	4
소계	98건			
총 108건				

4.5.2. 석조문화재의 상태 등급별 목록 (표 4-11 및 표 4-12)

표 4-11. 상태등급 5(정밀진단 필요) 석조문화재

지정번호	문화재명	풍화등급	
보물 24	금산사혜덕왕사진응탑비	5	
보물 50	나주북문의삼층석탑	5	
보물 167	정읍은선리삼층석탑	5	
보물 298	월남사지삼층석탑	5	
보물 400	선암사승선교	5	
보물 831	동화사삼층석탑	5	
보물 1123	개령암지마애불상군	5	
보물 1322	곡성가곡리오층석탑	5	8건
지정번호	문화재명	생물등급	
보물 23	금산사석연대	5	
보물 25	금산사오층석탑	5	
보물 26	금산사방등계단	5	
보물 170	쌍봉사철감선사탑비	5	
보물 301	대흥사북미륵암삼층석탑	5	
보물 423	남원신계리마애여래좌상	5	
보물 944	보성유신리마애여래좌상	5	
보물 1184	선암사북부도	5	8건
지정번호	문화재명	구조등급	
보물 301	대흥사북미륵암삼층석탑	5	
보물 509	구례논곡리삼층석탑	5	
보물 945	금둔사지삼층석탑	5	3건

표 4-12. 상태등급 4(정기점검 필요)의 석조문화재

지정번호	문화재명	풍화등급	
국보 10	실상사백장암삼층석탑	4	
국보 44	보림사삼층석탑및석등	4	
국보 289	익산왕궁리오층석탑	4	
보물 25	금산사오층석탑	4	
보물 36	실상사부도	4	
보물 37	실상사삼층석탑	4	
보물 42	용담사지석불입상	4	
보물 49	나주동문외석당간	4	
보물 267	임실용암리석등	4	
보물 301	대흥사북미륵암삼층석탑	4	
보물 304	별교홍교	4	
보물 313	월남사지진각국사비	4	
보물 506	담양읍오층석탑	4	
보물 529	금골산오층석탑	4	
보물 563	흥국사홍교	4	
보물 797	운주사석조불감	4	
보물 798	운주사원형다층석탑	4	
보물 829	금곡사삼층석탑	4	
보물 943	보성우천리삼층석탑	4	
보물 944	보성유신리마애여래좌상	4	
보물 945	금둔사지삼층석탑	4	
보물 1115	보성봉천리오층석탑	4	
보물 1117	선암사대각암부도	4	
보물 1184	선암사북부도	4	
보물 1185	선암사동부도	4	25건

지정번호	문화재명	생물등급	
국보 35	화엄사사사자삼층석탑	4	
국보 44	보림사삼층석탑및석등	4	
보물 28	금산사당간지주	4	
보물 30	만복사지오층석탑	4	
보물 37	실상사삼층석탑	4	
보물 39	실상사증각대사응료탑비	4	
보물 112	중흥산성삼층석탑	4	
보물 273	대안사적인선사조륜청정탑	4	
보물 298	월남사지삼층석탑	4	
보물 300	화엄사원통전전사자탑	4	
보물 400	선암사승전교	4	
보물 461	나주철천리칠불석상	4	
보물 584	윤문효공신도비	4	
보물 945	금둔사지삼층석탑	4	
보물 1117	선암사대각암부도	4	
보물 1123	개령암지마애불상군	4	
보물 1185	선암사동부도	4	
보물 1322	곡성가곡리오층석탑	4	18건

지정번호	문화재명	구조등급	
국보 10	실상사백장암삼층석탑	4	
보물 25	금산사오층석탑	4	
국보 35	화엄사사사자삼층석탑	4	
보물 37	실상사삼층석탑	4	
보물 49	나주동문의석당간	4	
보물 50	나주북문의삼층석탑	4	
보물 151	연곡사삼층석탑	4	
보물 156	보림사서부도	4	
보물 276	발산리오층석탑	4	
보물 298	월남사지삼층석탑	4	
보물 300	화엄사원통전전사자탑	4	
보물 309	천곡사지칠층석탑	4	

보물 320	대흥사응진전진삼층석탑	4	
보물 506	담양읍오층석탑	4	
보물 529	금골산오층석탑	4	
보물 796	운주사구층석탑	4	
보물 797	운주사석조불감	4	
보물 798	운주사원형다층석탑	4	
보물 829	금곡사삼층석탑	4	
보물 831	동화사삼층석탑	4	
보물 943	보성우천리삼층석탑	4	
보물 946	금둔사지석불비상	4	
보물 1115	보성봉천리오층석탑	4	
보물 1187	불탑사오층석탑	4	
보물 1283	월출산용암사지삼층석탑	4	
보물 1322	곡성가곡리오층석탑	4	26건

4.5.3. 석조문화재의 종합상태 등급

풍화상태, 생물분포상태 및 구조상태 등급 4 및 5 중에서 종합적 관점에서 선정된 상태 등급 5(정밀진단 필요)와 4(정기점검 필요)의 석조문화재 목록은 표 4-13과 같다.

표 4-13. 종합상태 등급 5(정밀진단 필요)와 4(정기점검 필요)의 석조문화재

지정번호	문화재명	종합상태 등급	
국보 35	화엄사사사자삼층석탑	5	
보물 24	금산사혜덕왕사진응탑	5	
보물 37	실상사삼층석탑	5	
보물 50	나주북문외삼층석탑	5	
보물 298	월남사지삼층석탑	5	
보물 300	화엄사원통전전사자탑	5	
보물 301	대흥사북미륵암삼층석탑	5	
보물 943	보성우천리삼층석탑	5	
보물 945	금둔사지삼층석탑	5	
5등급			9건

지정번호	문화재명	종합상태 등급	
국보 289	익산왕궁리오층석탑	4	
보물 25	금산사오층석탑	4	
보물 30	만복사지오층석탑	4	
보물 49	나주동문외석당간	4	
보물 156	보림사서부도	4	
보물 167	정읍은선리삼층석탑	4	
보물 267	임실용암리석등	4	
보물 309	천곡사지칠층석탑	4	
보물 320	대흥사웅진전전삼층석탑	4	
보물 395	선암사삼층석탑	4	
보물 506	담양읍오층석탑	4	
보물 509	구례논곡리삼층석탑	4	
보물 529	금골산오층석탑	4	
보물 797	운주사석조불감	4	
보물 798	운주사원형다층석탑	4	
보물 829	금곡사삼층석탑	4	
보물 831	동화사삼층석탑	4	
보물 1123	개령암지마애불상군	4	
보물 1184	선암사북부도	4	
보물 1185	선암사동부도	4	
보물 1283	월출산용암사지삼층석탑	4	
보물 1322	곡성가곡리오층석탑	4	
4등급		22건	

4.5.4. 긴급 보존관리가 필요한 석조문화재

석조문화재 중에서 특히 보존관리측면에서 시급하게 처리되어야 할 대상과 그 내용을 열거하면 다음과 같다.

1) 이전 또는 개축이 필요한 석조문화재

- ① 보물 505호 단양읍석당간

: 도로변 논 가장자리에 위치

2) 복원처리가 시급한 석조문화재

- ① 보물 1184호 선암사북부도
: 귀꽃 8개 중 3개가 탈락되어 지상에 방치
- ② 보물 1185호 선암사동부도
: 접합처리한 귀꽃이 다시 탈락되어 지상에 방치

3) 사이트환경 관리상 주변 수목 제거 필요

- ① 국보 57호 쌍봉사철감선사탑
- ② 보물 29호 금산사심원암북강삼층석탑
- ③ 보물 34호 실상사수철화상능가보월탑비
- ④ 보물 151호 연곡사삼층석탑
- ⑤ 보물 170호 쌍봉사철감선사탑비
- ⑥ 보물 276호 발산리오층석탑
- ⑦ 보물 298호 월남사지삼층석탑
- ⑧ 보물 301호 대흥사북미륵암삼층석탑
- ⑨ 보물 309호 천곡사지칠층석탑
- ⑩ 보물 1116호 유마사해련교부도

5. 보존관리 방안 연구

- 5.1. 서언
- 5.2. 석조문화재 훼손요인과 훼손현상
- 5.3. 우리나라 석조문화재의 보존 관리상의 특수성
- 5.4. 석조문화재 보존 관리상의 문제점과 대책
- 5.5. 석조문화재 보존관리 방안

5. 석조문화재 보존관리 방안 연구

5.1. 서언

문화재의 보존과 관리는 서로 별개의 개념이 아니라 서로 분리될 수 없는 개념이다. 보존을 잘하고 있으면 동시에 관리를 잘하고 있는 것이 되며 관리를 잘 한다는 것은 보존도 잘하고 있다는 이야기가 된다. 그러나, 일반적으로 “석조문화재 보존”이라고 하면 석조문화재가 환경 등 각종 훼손요인에 의하여 더 이상 훼손되지 않도록 필요한 과학적 및 기술적 조치를 하는 것을 의미하며, “석조문화재 관리”라고 하면 석조문화재가 환경적 및 인위적요인에 의하여 더 이상의 피해를 입지 않도록 하는 기술적 및 행정적 보호행위를 의미한다.

새로이 건조된 석조물인 경우에는 주로 관리에 역점이 주어지게 되지만 우리나라의 석조문화재처럼 대부분 건조년대가 오래되어 정도의 차이는 있지만 여러 가지 원인에 의하여 상당히 훼손되어 있는 경우에는 보존과 관리가 똑같이 중요하다.

석조문화재를 올바르게 보존 관리하는 방안을 찾기 위해서는 석조문화재가 위치해 있는 곳의 사이트환경과 석조물의 훼손상태에 대한 정밀진단이 우선되어야 하며 이것을 기초로 하여 자세한 보존관리 방안이 강구되어야 한다. 풍화훼손이 심한 석조문화재를 보존하는데 있어서 보강제와 발수제를 사용하여 보존처리만하면 된다는 생각은 절대 금물이다. 반드시 보존과학적 보존연구 프로그램에 따라 이루어져야 한다. 석조문화재에 관한 한 보존문제는 단순한 기술이 아니라 하나의 연구과정이어야 한다. 그래서 선진국에서도 하나의 석조문화재에 대한 프로젝트가 보통 수년이 소요된다. 계속적으로 시험과 평가를 하면서 진행되기 때문이다.

5.2. 석조문화재 훼손요인과 훼손현황

이번 광주, 전남북 및 제주지역의 국가지정 석조문화재에 대한 현지에서의 풍화상태, 생물서식 및 구조안전성 진단을 통하여 석조문화재들이 처해있는 환경과 훼손상태 및 훼손요인이 상당히 밝혀지게 되었다.

석조문화재들은 대부분 옥외의 자연환경에 노출되어 있어서 주로 자연환경적 요인에 의하여 훼손되고 있다는 것이 밝혀졌으며 이들 훼손요인을 요약하면 다음과 같다.

- ① 빗물에 의한 풍화작용
- ② 대기오염물에 의한 풍화작용
- ③ 수분의 동결작용에 의한 풍화작용

- ④ 기반습기침투 및 염분석출에 의한 풍화작용
- ⑤ 생물서식에 의한 훼손작용
- ⑥ 석재 부재간 결합상태 불안정
- ⑦ 기반 불안정에 의한 구조결합
- ⑧ 인위적 요인

이상의 요인들은 단독 또는 복합적으로 작용하여 석조문화재를 다양한 형태로 훼손시킨다. 석조문화재의 훼손현상 중 가장 현저한 것은 다음과 같다.

- ① 점토광물의 생성에 의한 석재의 강도 저하
- ② 석재의 조직이완 및 조직과열
- ③ 석재의 균열생성
- ④ 석재표면에 피각 및 박리생성 및 이들의 탈락
- ⑤ 석재표면의 요철현상
- ⑥ 석재표면의 오염물 침착
- ⑦ 석재표면의 생물서식
- ⑧ 구조 불안정

5.3. 우리나라 석조문화재의 보존관리상의 특수성

석조문화재의 훼손현상은 석조문화재가 위치한 사이트의 각종 환경요인과의 반응에 의하여 일어난다. 특히 우리나라의 석조문화재들은 극히 소수를 제외하고 대부분 옥외의 자연환경에 위치해 있어서 자연환경 요인들이 석조물의 훼손에 주된 역할을 하고 있다.

같은 시대의 동일 석재로 건조된 석조문화재라고 하더라도 그것이 위치해있는 사이트 환경의 차이에 의하여 서로 다른 양상과 다른 정도로 풍화된다는 것을 이해하는 것이 중요하다. 석재의 재질과 풍화현상에 대하여 이해가 부족한 분들은 석재의 상태에 대한 정밀진단을 하지 않고 풍화훼손된 석조문화재를 발수보강제를 사용하여 처리하면 되는 것으로 알고 있으나, 이러한 생각은 석조문화재 보존에 있어서 가장 피해야 할 사항이다. 왜냐하면 석재의 훼손상태에 대한 지식이 없이 보존처리하는 것은 보존상태를 오히려 악화시키는 결과를 초래하기 때문이다. 선진국에서도 과거에 이러한 오류를 많이 범하였으며 10~20년 지난 후에 보니 보존처리한 것이 보존처리하지 않은 것보다 문제가 더 많다는 사실이 밝혀지고 있다. 이러한 결과는 석재의 재질과 풍화훼손상태에 대한 연구가 이루어지지 않은 상태에서 보존처리가 이루어졌기 때문이다.

우리나라 석조문화재의 환경적 특수성을 고려할 때, 반드시 석조문화재의 보존관

리를 올바르게 하기 위해서는 다음과 같은 "보존과학적 석조문화재 연구프로그램"에 따라 연구가 이루어져야 한다.

- ① 사이트환경 정밀분석
- ② 정밀훼손 진단조사
- ③ 물성 연구
- ④ 훼손요인 제거방안 연구
- ⑤ 발수보강 및 보수방안 연구 및 평가
- ⑥ 보존관리 공사 시공 및 평가

석조문화재가 위치해있는 지점의 사이트환경은 석조문화재의 상태를 좌우하는 기본적인 면서 또한 근본적인 요인이기 때문에 석조문화재 보존관리에 있어서 일차적으로 고려해야 할 사항이다. 사이트환경분석에 있어서 주로 고려할 사항은 지형환경, 지반환경, 수문환경, 주변환경(식생, 건물, 주거), 기후 등이다. 지형환경과 지반환경은 석조문화재의 구조적 안정에 직접적으로 관계가 있으며 수문환경은 석조문화재의 풍화훼손과 직접적인 관계가 있기 때문에 자세히 검토되어야 한다. 특히 우리나라 석조문화재들은 호수, 강, 골짜기, 개울에 인접하여 있는 경우가 많아서 물의 영향을 크게 받고 있다.

지하수의 침투와 빗물침투 여하를 판단하기 위해서는 지반환경에 대한 이해가 절대적으로 필요하다. 바다로 둘러싸여 있는 우리나라의 지형환경을 고려할 때, 바다에 인접해있는 지역의 석조문화재는 해수분무에 의하여 큰 영향을 받는다.

석조문화재의 주변환경도 석조문화재의 보존에 있어서 고려해야 할 사항이다. 우리나라 석조문화재가 있는 곳에는 일반적으로 경관 조성을 위하여 석조문화재 근처에 나무를 많이 식재하고 있는데 이것도 석조문화재를 크게 훼손하는 요인이다. 주거지가 근처에 있는 경우에는 사람들의 부주의로 인한 훼손도 대단히 많다.

기후는 우리나라와 같이 사계절이 뚜렷한 곳에서는 석조문화재의 가장 큰 훼손요인 중의 하나이다. 겨울에 자주 나타나는 영하기온은 빗물의 동결현상을 일으키며 산성비와 해수분무는 건조시 염분의 정출현상을 일으켜 석조문화재를 크게 훼손시킨다. 큰 저수지 인근지역에 위치해 있는 석조문화재는 자주 발생하는 안개와 높은 습도로 인하여 훼손이 다른 지역에 비하여 촉진된다.

이상에서 살펴본 바와 같이 우리나라의 석조문화재는 사이트환경과 그리고 이의 관리여하가 그 보존에 큰 영향을 준다. 따라서 우리나라의 석조문화재 보존관리는 일차적으로 사이트환경의 정밀분석과 훼손요인 제거에 중점을 두어야 할 것이다.

5.4. 석조문화재의 보존관리상의 문제점과 대책

1) 사이트 환경

석조문화재의 사이트환경에 있어서 가장 중요한 것이 지반환경, 수문환경, 주변환경이다. 일부 석조문화재는 논 가운데(보물 506호) 또는 논 가장자리(보물 505호)에 위치해 있어서 수분의 침투가 용이하여 훼손을 가속시키고 있을 뿐만 아니라 보존적 및 경관적 측면에서도 좋지 않아서 이를 적절한 장소로 이전하는 것이 바람직하다.

2) 빗물 배수문제

석조문화재 중 다수는 풍화토 및 충적토 지반에 건조되어 있는데 지반의 빗물배수가 잘 되지 않아서 지반의 수분이 침투하고 있는 곳이 14건이며 수분침투가 염려되지 않는 곳은 12건에 지나지 않고 있어서 빗물 배수 시설 설치 및 관리에 관심을 가져야 할 것이다. 어떤 곳은 주위에 배수 도랑을 설치하고 있어서 그 바깥쪽에서 흘러 들어오는 물은 배수되지만 그 안쪽의 빗물은 배수가 좋지 않은 경우도 있다.

새로 지반 개수공사를 한 곳(보물 505호)에서는 지반에 판석을 깔아 놓아서 보기는 좋으나 지면의 경사를 고려하지 않아서 빗물이 보호각 내 석조문화재 쪽으로 스며들어가 염분을 함유한 빗물이 석조문화재 하단에 백화현상을 일으키고 있다.

3) 빗물 침투 문제

빗물 침투현상은 석조문화재의 부재간 이음새 또는 부재자체를 통하여 빗물이 옆쪽으로부터 아랫쪽으로 흘러내리는 것으로서 대부분의 석조문화재에 있어서 정도의 차이는 있지만 흔히 나타난다.

빗물침투는 빗물이 부재의 틈사이로 흘러내려가 버리는 것이 아니라 빗물이 암석의 조직속으로 스며들어가서 오랫동안 암석과 반응하면서 서서히 암석을 풍화시킨다. 특히 최근에 자주 내리는 산성비는 암석을 용해시킬 뿐만 아니라 용해된 물질들이 아래로 흘러내리다가 전각, 갑석의 아랫쪽에서 산성비에 용해된 오염물(염분)이 점토광물과 함께 침전되어 석조문화재의 외관을 훼손할 뿐만 아니라 암석 속 및 표면에서 염분들을 정출시키면서 암석에 박리 또는 균열현상이 일어나게 하고 있다. 따라서 빗물침투는 석조물의 파손을 촉진하는 가장 큰 요인이다.

빗물 침투현상이 현저한 석조문화재는 국보 35호, 국보 289호, 보물 25호, 보물 48호, 보물 132호, 보물 133호, 보물 167호, 보물 289호, 보물 298호, 보물 506호 등으로서 물길에 따라 흑색, 백색, 갈색의 피각이 형성되어 있고 곳에 따라 피각이 탈락되기도 한다. 보물 48호의 경우에는 암석 조직을 통하여 빗물이 스며 내리고 있어서 대책이 요망된다.

4) 지형과 수문환경 문제

우리나라 석조문화재들은 대부분 산턱, 산기슭, 산등성, 산밑, 평지 등에 위치해 있지만 대개 골짜기 계곡 근처이기 때문에 계곡을 흐르는 계류의 영향을 다소 받고 있다. 특히 큰 저수지 인근 지역의 석조문화재는 높은 습기로 인하여 다른 지역과는 차이가 있는 풍화현상, 예를 들면 백화현상, 흑색 피각현상, 박리현상, 균열현상을 보여준다. 또한 바다로부터 이격거리가 짧은 지역의 석조문화재는 바다로부터 불어오는 해수분무에 의하여 염화손현상을 보여준다.

5) 지반수분 침투 문제

지반으로부터 수분이 윗쪽으로 침투하여 석조문화재의 기단석들을 풍화훼손시키는 현상은 정도의 차이는 있지만 거의 모든 석조문화재에서 나타난다. 그러나 가장 현저하게 지반수분이 침투하여 기단을 훼손시키는 경우는 국보 44호, 보물 27호, 보물 30호, 보물 35호, 보물 36호, 보물 37호, 보물 89호, 보물 133호, 보물 155호, 보물 276호, 보물 298호, 보물 301호, 보물 309호, 보물 509호, 보물 571호, 보물 829호, 보물 1288호 등이다. 석조문화재 중 지반수분 침투가 심한곳 14건, 보통 39건, 약한곳 44건, 거의 없는 곳 12건이다.

지반으로부터 수분이 침투할 때에는 물이 석재와 반응하면서 광물들을 풍화시키기도 하고 또 토양에 들어 있던 염분들이 물에 녹아서 함께 상승하다가 건조되어 염광물들이 정출될 때 석재에 박리를 생기게 한다. 수분이 침투된 부위에는 동시에 습기로 인하여 생물서식이 왕성하게 된다.

지반수분 침투문제는 지반환경에서 언급한 바이지만 빗물배수와 밀접하게 관련되어 있기 때문에 사이트환경 관리 면에서 각별한 노력이 필요하다.

6) 수목 식재 문제

석조문화재 근처 5-10m에 일반적으로 수목이 자연적 또는 인공적으로 서식하고 있으며 심지어 어떤 곳은 5m 이내에도 수목이 자라고 있어서 경관상으로는 아름답지 몰라도 석조문화재의 보존에는 도움이 되지 않는다. 석조문화재는 비가 오면 빗물이 곧바로 흘러내려 건조되어야 한다. 심지어 석조문화재 위쪽으로 나무가지가 뻗어 나가 있어서 거기서 흘러내린 빗물이 석조문화재에 떨어지면서 극심한 생물서식을 초래하고 있는 경우도 있다. 석조문화재에 인접해 있는 수목과 수풀은 석조물에 생물서식을 증가시키기 때문에 석조문화재 근처에는 수목과 수풀을 제거해야 할 것이다.

7) 보호철책 내 지표환경

석조문화재 주위에는 일반적으로 낮은 철책을 설치하여 일반 사람들의 접근을 막고 있다. 철책 안쪽 지표면에는 보호 잔디를 심고 있지만 자갈 또는 흙으로 되어

있는 곳도 있다. 특히 잔디가 키가 큰 수종인 경우에는 오랫동안 기단석 주위를 둘러싸고 있어서 비가 올 경우 뿐만 아니라 보통 때도 다습하여 기단부를 크게 훼손시키고 있다(보물 156호, 보물 139호). 따라서 석조문화재 주위에는 잔디보다는 작은 자갈이 도움이 될 것으로 보인다. 석조문화재 주변 지반에 잔디를 심지 않고 경사를 두어 빗물이 쉽게 바깥으로 흘러내리게 한 곳(보물 273)도 있다. 이 석조문화재는 보존상태가 극히 양호하다.

8) 보호시설

석조문화재의 보호시설로는 옥내(5건), 보호각(7건), 보호철책(89건)이 있으며, 보호철책이 없는 곳도(7건) 있다.

보호각은 주로 빗물을 막기 위하여 건조되어 있지만 구조상으로 볼 때 옆쪽으로 바람에 불려서 들어오는 빗물은 막지 못하는 경우가 대부분이며 석조문화재 자체는 빗물을 맞지 않는다 하더라도 비바람이 보호각 지반을 젖게하여 이 곳의 습기가 석조문화재를 타고 상승하면서 지대석, 기단을 훼손시키고 있다. 또한 보호각 주위의 배수로가 잘 정비되어 있지 않은 곳도 있다. 보물 301호는 불상이 보호각 내에 있지만 보호각의 지붕의 피복면적이 적절치 않아서 빗물이 아래로 침투해 들어가고 있다.

9) 보수상태와 문제점

국보 11호는 현재 해체수리 중에 있으며, 과거에 완전해체 복원한 것(보물 304, 504)도 있으나 다른 석조문화재는 대체로 원래의 상태대로 있다. 그러나 보물 25호는 비신에 갈색착색이 심하여 이를 제거하지 않고 그 위를 백색으로 도색하여 있으며 보물 274와 보물 154호는 세척을 한 것으로 보인다.

그 외에 부분적으로 탈락되거나 균열이 있는 부분을 시멘트 또는 접합체로 접합한 경우도 수개처에 있다. 그러나 적합한 귀꽃부위가 다시 탈락하여 지면에 굴러다니고 있는 곳도 있다(보물 1184호). 보물 304호는 거의 완전(80%)히 대체석으로 사용하여 재건조하였다. 석조문화재의 부재가 탈락되어 있는 경우에는 이를 조속히 재접합하여 복원시켜야 할 것이다.

10) 석재의 종류와 보존상태

광주, 전남북 및 제주지역의 국가지정 석조문화재의 건조에 사용된 석재의 종류는 대단히 다양하여 일반 암석명으로 10여 종이나 되며 자세하게 명명하면 20종이나 된다. 이 중에서 가장 많이 사용된 석재는 화강암이지만 화강암은 구성광물 종류에 따라 여러 가지로 분류되며 그 각각의 석질도 또한 조직의 여하에 따라 다르기 때문에 화강암이라고 하여 똑같이 취급해서는 안된다.

풍화훼손상태가 가장 양호한 석재는 각섬암(국보 10호, 보물 40호, 보물 53호)과

섬록암(국보 57호, 보물 112호)이고 그 다음으로 각섬석화강암(국보 103호)이라는 사실이 밝혀졌다. 각섬석화강암은 대체로 풍화훼손 상태가 비교적 좋은 편이다. 분홍색 장식을 함유하고 있는 우백질화강암(보물 946호)도 비교적 양호하다. 보존상태가 양호한 각섬암, 섬록암, 각섬석화강암은 다 같이 각섬석을 함유하고 있는 것이 특징이다. 보물 946호는 유색광물의 함유가 거의 없어서 석영과 칼리장석으로만 구성되어 있다.

석조문화재 중 풍화훼손현상이 뚜렷한 석재는 세립질흑운모화강암(보물 42호, 보물 234호, 보물 829호, 보물 914호) 및 복운모화강암(보물 30호)으로서 사립화현상과 조직이완현상이 뚜렷하다.

부재의 표면의 요철현상과 모서리 조직이탈 현상은 흑운모화강암(보물 36호, 보물 1117호, 보물 1184호), 각섬석화강암(보물 50호)과 섬록암(보물 1115호), 우백질화강암(보물 298호)에서 뚜렷이 관찰된다.

11) 부재 표면 착색 및 피각현상

석조문화재의 부재표면의 착색현상은 석조문화재의 외관을 보기 싫게하는 요소이다. 현저한 착색현상은 갈색, 흑색 또는 백색이다. 갈색은 암석에 존재하던 함철광물이 산화되면서 발생하는 경우 (국보 12호, 국보 289호, 보물 152호, 보물 153호, 보물 831호, 보물 1200호)와 부재와 부재사이에 균형을 위하여 끼워놓은 철심의 산화에 의한 경우(국보 54호, 보물 151호, 보물 395호)가 있다. 이들 착색현상은 주로 빗물이 흘러내리는 부위와 그 주변에 나타난다.

암석의 구성광물로 들어있던 황화철광물의 풍화에 의하여 발생하는 갈색, 황갈색 착색현상은 수산화철 광물의 침전에 기인하기 때문에 그 근원을 제거할 수 없다. 철심의 산화에 의한 갈색 또는 갈흑색 착색현상은 철심만 제거하면 더 이상 발생하지 않을 것이므로 이를 다른 소재로 교체하여야 할 것이다.

흑색 착색현상은 산화망간광물의 침전(국보 12호, 국보 289호, 보물 298호, 보물 524호, 보물 891호, 보물 1118호) 또는 박테리아 등 미생물의 서식(보물 33호, 보물 34호, 보물 37호, 보물 155호, 보물 309호, 보물 584호)에 기인한다.

산화망간광물의 침전에 의한 흑색현상은 암석의 구성광물 중에 함유되어 있던 망간성분이 빗물과 반응하여 생성된 것이다. 미생물의 서식에 의한 흑색현상은 습기의 존재와 밀접히 연관되어 있다.

백색 내지 크림색 착색현상은 특히 장식의 풍화작용에 의하여 점토광물이 침전된

것으로서 백색 침전물 중에는 석고와 같은 대기오염물도 함유된다.

경우에 따라서는 빗물이 닿지 못하는 옥개석 또는 이수 밑부분에 흑색 또는 크림색, 백색 피각이 관찰된다. 이 흑색 피각은 대기오염물(국보 35호, 국보 158호, 보물 167호, 보물 267호, 보물 506호)이 대기 중의 습기와 함께 침착된 것이다.

12) 표면 박리 및 균열현상

석조문화재의 표면의 박리현상은 여러 석조문화재(국보 54호, 국보 289호, 보물 23호, 보물 24호, 보물 25호, 보물 30호, 보물 31호, 보물 32호, 보물 39호, 보물 45호, 보물 54호, 보물 152호, 보물 153호, 보물 154호, 보물 167호, 보물 236호, 보물 267호, 보물 395호, 보물 423호, 보물 461호, 보물 529호, 보물 563호, 보물 794호, 보물 797호, 보물 798호, 보물 828호, 보물 914호, 보물 1115호, 보물 1184호, 보물 1185호, 보물 1288호, 보물 1322호)에서 나타난다. 이 중에서 일부 석조문화재(보물 25호, 보물 267호, 보물 156호, 보물 395호, 보물 1184호, 보물 1185호)에서는 박리의 일부가 탈락되어 있다.

부재 표면의 균열현상은 대기오염물, 염분의 정출작용 및 수분의 동결작용에 의하여 나타난다. 부재 표면의 균열현상은 암석의 평행구조에 평행하게 발생하는 경우(보물 24호, 보물 34호)가 있으나 균일한 조직을 가진 암석에서는 수평균열(보물 309호, 보물 395호, 보물 943호, 보물 1115호) 또는 수직균열(국보 12호, 보물 35호, 보물 831호, 보물 395호, 보물 1115호)이 관찰된다. 이러한 균열은 대기오염물 또는 염분침투와 관련이 크다.

13) 백화현상

석조문화재 표면에 나타나는 백화현상은 풍화생성물인 점토광물의 침전(보물 132호, 보물 133호)에 기인한 경우도 있지만 보통 흑색 피각(국보 289호, 보물 506호), 갈색 착색부(보물 35호) 또는 흑색 미생물피각 내부(보물 31호)에 나타난다. 백화현상은 빗물에 녹아 있던 대기오염물의 정출산물이거나 또는 물에 녹아 있던 소금의 정출산물이다.

5.5. 석조문화재 보존관리 방안

전남북 및 제주지역 국가지정 석조문화재의 현황분석을 통하여 보존관리상의 문제점들이 도출되었는 바 이들 문제점을 해결하는 노력이 바로 보존관리 방안이 될 것이다.

석조문화재 보존관리 방안은 바로 우리나라의 석조문화재의 특수성을 고려한 것

이어야 할 것이다. 그래서 훼손상태가 심하거나 또는 불량한 사이트 환경에 놓여 있는 것부터 위에서 밝힌 바와 같이 다음과 같은 석조문화재 연구 프로그램에 따라 보존관리 연구가 이루어져야 할 것이다.

(1) 사이트 환경 분석

사이트 환경은 석조문화재의 훼손을 가속시키는 첫째 요인이기 때문에 석조문화재의 훼손현상을 기초로 하여 석조문화재가 위치한 지점에 대하여 지형, 지반, 수문, 주변 환경을 정밀 조사하여 사이트 환경상의 문제점을 정확히 밝힘으로서 이를 제거하는 방안이 강구될 수 있을 것이다.

(2) 정밀 훼손진단 연구

훼손된 석조문화재를 더 이상 훼손되지 않게 보존하려면 그것이 어떤 형태의 훼손이든 간에 훼손현상과 그 원인을 하나 하나 밝혀 그 원인을 제거하는 조치를 함으로써 더 이상 훼손되지 않도록 하여야 하며 이렇게 하는 것이 보존과학적 보존원리이다. 따라서 석조물에 대한 정밀 훼손진단은 의사가 중환자를 각종 시험을 거쳐 진단하여 처방을 내리듯이 석조문화재의 보존을 위하여 절대적으로 필요한 절차이다.

정밀 훼손진단에서는 석재의 성질, 훼손상태, 훼손과정, 훼손요인 등이 정밀하게 측정분석된다. 훼손현상은 풍화, 생물, 구조 등의 측면에서 연구되며 진단결과에 따라 보존대책의 필요와 긴급성이 결정된다. 정밀 훼손진단은 주로 도면화, 정량화로 나타내게 된다. 정밀 훼손진단은 현장조사 및 실내 연구로 이루어진다.

(3) 석재 물성 연구

풍화 훼손 부위의 풍화상태, 풍화깊이 및 그 분포, 광물조성과 조직 변화, 원암과 풍화부위의 화학조성, 물흡수성, 팽창성, 압축강도, 열적 성질, 공극률, 오염물 분포 등에 대한 자료가 필요하다.

(4) 훼손요인 제거방안 연구

위에서 밝힌 훼손요인들을 제거하는 조치가 석조문화재를 보존하는 방안이다. 즉, 빗물과 대기오염의 방지 방안, 수분침투 방지 방안, 생물서식 방지, 구조안정성 유지방안 등이 연구되어야 할 것이다.

(5) 보존처리 연구 및 평가

보존처리 대상 석조물에 대하여 실험평가 부위를 선정하여 세척시험, 탈염시험, 접합시험, 복원시험, 강화시험, 발수시험 등을 실시한 후 그 결과를 엄격하게 평가한다.

(6) 보존관리 시공 및 평가

보존관리 관련시공은 이상의 연구실험 결과에 따라 가장 효과적인 방법과 소재를 사용하여 실시한다. 보존시공은 석조문화재의 훼손요인에 따라 그 요인들을 제거할 수 있는 조치로서 다음 중 필요한 것을 선택하여 시공하게 된다.

- ① 지반 기초공사, 해체 복원 공사 및 평가
- ② 방수 공사 및 평가
- ③ 보호시설 설치 및 평가
- ④ 보강 발수 처리 및 평가

6. 결과 및 결론

6. 결과 및 결론

광주, 전남북 및 제주지역의 국가지정 석조문화재(국보 및 보물)에 대한 보존관리 연구용역으로부터 얻어진 중요 결과와 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 이 연구용역은 광주, 전남북 및 제주지역의 국가지정 석조문화재에 대한 보존현황 진단을 통하여 석조문화재의 보존관리방안을 도출하고 동시에 석조문화재의 발수보강 처리방법을 연구하는 것이 주목적이었다.
- 2) 석조문화재의 보존현황 진단은 석조문화재의 재질, 사이트환경, 풍화상태, 생물분포상태 및 구조안정성 등에 대한 현지 진단에 의하여 수행되었으며 이를 통하여 석조문화재의 훼손현상과 그 원인이 밝혀졌다. 석조문화재를 훼손시키는 요인은 빗물, 대기오염물, 수분동결, 수분침투, 생물서식, 부재간 불안정, 구조결함 및 인위적 요인 등이다. 그러나 석조문화재의 훼손현상들은 이들 중 몇가지 요인들의 결합에 의하여 이루어진다.
- 3) 석조문화재를 건조한 석재의 종류는 흑운모화강암(33.0%), 각섬석화강암(18.4%), 우백질화강암(7.4%), 유문암질응회암(6.4%), 각섬암(5.5%), 섬록암(3.7%), 유문암질각력암(3.7%), 화강암질편마암(1.8%), 사암(1.8%)이고 페그마타이트, 조면암, 유문암, 현무암 및 암산암은 각각 0.9%이다. 그리고 대리암, 애플라이트질화강암, 점판암, 복운모화강암, 및 천매암, 램프로화이어 및 복운모화강암 등은 다른 종류의 암석과 함께 각각 한 기의 석조문화재의 구성 부재로 건조되어 있다. 이 지역에는 특히 각섬석을 함유하고 있는 암석들이 석재로 많이 사용된 것이 특징이며 이는 이 지역에 이러한 암석들이 산출되어서 이 암석들을 이용했기 때문이다.
- 4) 석조문화재의 훼손현상과 훼손정도는 건조년대와도 관련이 있지만 그것보다는 석재의 재질(암석의 종류와 조직)과 사이트환경에 크게 지배를 받는다는 것이 밝혀졌다. 석재들 중에서 보존상태가 가장 양호한 암석은 각섬석을 함유하고 있는 각섬암, 섬록암, 각섬석화강암 등이고 보존상태가 불량한 암석은 세립질 흑운모화강암 및 복운모화강암이다.
- 5) 옥외에 있는 석조문화재의 기단부는 지반으로부터의 수분침투에 의하여 일반적으로 심하게 풍화훼손되어 있다. 이것은 우리나라 석조문화재들의 특수한 사이트환경과 관련이 있는 것으로 분석되었다. 따라서 석조문화재들을 올바르게 보존관리하기 위해서는 지반으로부터의 수분침투를 방지하는 등, 석조문화재의 사이트환경 연구와 관리에 특별한 관심을 가져야 할 것이다.

- 6) 옥외에 있는 석조문화재들의 기반부 윗쪽의 부재들의 훼손현상은 주로 빗물과 대기오염물에 기인하며 특히 옥개석과 갑석의 부재간 접합면이 빗물의 하향 유입통로가 되고 있어서 이 부위의 훼손이 심하다. 따라서 훼손상태가 심한 석조문화재에 대하여 빗물을 방지할 수 있는 보호시설이 연차적으로 건립되어야 한다.
- 7) 석조문화재 근처에 자연적 또는 인공적으로 수목과 수풀이 서식되고 있는 경우에는 석조문화재의 훼손이 심하게 나타나고 있다. 이는 수목과 수풀로 인하여 석조문화재 주변에 그늘이 생기고 다습하여 이끼, 조류 및 박테리아의 서식이 증가되기 때문이다. 따라서 석조문화재 근처에는 수목과 수풀이 자라지 못하도록 사이트관리를 철저히 하여야 할 것이다.
- 8) 석조문화재를 빗물로부터 보호하기 위하여 보호각이 건립되어 있는 곳이 수개 처 있으나 보호각의 형태와 구조상 빗물을 완전히 차단하지 못하고 있어서 석조물의 훼손이 부분적으로 계속되고 있다. 따라서 앞으로 보호각을 건립할 시에는 보존과학적으로 합당한 구조를 가지도록 설계되어야 할 것이다.
- 9) 광주, 전남북 및 제주지역 국가지정 석조문화재의 현황에 대한 현지 진단 조사를 통하여 문화재 별 풍화상태, 생물분포상태 및 구조안정상태가 밝혀졌다. 그러나 이번에 실시한 현황 진단은 개략적인 육안 진단이므로 진단결과로 밝혀진 5등급(정밀진단 필요) 및 4등급(정기점검 필요)의 석조문화재에 대하여는 발수보강 처리에 의한 실내 석조물 보존개념을 탈피하고 우리나라 석조문화재의 특수한 사이트환경을 고려한 다음과 같은 보존과학적 연구프로그램에 따라 연차적으로 연구와 시공이 이루어져야 할 것이다.
- ① 사이트환경 정밀진단
 - ② 정밀 훼손진단 연구
 - ③ 석재 물성연구
 - ④ 훼손요인 제거방안 연구
 - ⑤ 발수보강 및 보수방안 연구 및 평가
 - ⑥ 보존관리 공사 시공 및 평가
- 10) 이번 석조문화재 현황 진단조사로 나타난 풍화상태, 생물분포상태 및 구조안정상태 등급 5(정밀진단 필요) 및 등급 4(정기점검 필요)의 분포는 다음과 같다.

풍화상태 등급	5 (정밀진단 필요)	8 건
	4 (정기점검 필요)	25 건

생물분포 상태	5 (정밀진단 필요)	8 건
	4 (정기점검 필요)	18 건
구조상태 등급	5 (정밀진단 필요)	3 건
	4 (정기점검 필요)	26 건

* 국보 11호가 현재 해체보수 중이어서 제외되었음.

상태등급 5(정밀진단 필요) 및 상태등급 4(정기점검 필요)의 석조문화재 목록은 다음과 같다.

· 정밀진단이 필요한 상태등급 5의 석조문화재

지정번호	문화재명	풍화등급	
보물 24	금산사혜덕왕사진응탑비	5	
보물 50	나주북문외삼층석탑	5	
보물 167	정읍은선리삼층석탑	5	
보물 298	월남사지삼층석탑	5	
보물 400	선암사승선교	5	
보물 831	동화사삼층석탑	5	
보물 1123	개령암지마애불상군	5	
보물 1322	곡성가곡리오층석탑	5	8점

지정번호	문화재명	생물등급	
보물 23	금산사석연대	5	
보물 25	금산사오층석탑	5	
보물 26	금산사방등계단	5	
보물 170	쌍봉사칠감선사탑비	5	
보물 301	대흥사북미륵암삼층석탑	5	
보물 423	남원신계리마애여래좌상	5	
보물 944	보성유신리마애여래좌상	5	
보물 1184	선암사북부도	5	8건

지정번호	문화재명	구조등급	
보물 301	대흥사북미륵암삼층석탑	5	
보물 509	구례논곡리삼층석탑	5	
보물 945	금둔사지삼층석탑	5	3건

· 정기점검이 필요한 상태등급 4의 석조문화재

지정번호	문화재명	풍화등급	
국보 10	실상사백장암삼층석탑	4	
국보 44	보림사삼층석탑및석등	4	
국보 289	익산왕궁리오층석탑	4	
보물 25	금산사오층석탑	4	
보물 36	실상사부도	4	
보물 37	실상사삼층석탑	4	
보물 42	용담사지석불입상	4	
보물 49	나주동문외석당간	4	
보물 267	임실용암리석등	4	
보물 301	대흥사북미륵암삼층석탑	4	
보물 304	별교홍교	4	
보물 313	월남사지진각국사비	4	
보물 506	담양읍오층석탑	4	
보물 529	금골산오층석탑	4	
보물 563	홍국사홍교	4	
보물 797	운주사석조불감	4	
보물 798	운주사원형다층석탑	4	
보물 829	금곡사삼층석탑	4	
보물 943	보성우천리삼층석탑	4	
보물 944	보성유신리마애여래좌상	4	
보물 945	금둔사지삼층석탑	4	
보물 1115	보성봉천리오층석탑	4	
보물 1117	선암사대각암부도	4	
보물 1184	선암사북부도	4	
보물 1185	선암사동부도	4	25건

지정번호	문화재명	생물등급	
국보 35	화엄사사사자삼층석탑	4	
국보 44	보림사삼층석탑및석등	4	
보물 28	금산사당간지주	4	
보물 30	만복사지오층석탑	4	
보물 37	실상사삼층석탑	4	
보물 39	실상사증각대사응료탑비	4	
보물 112	중흥산성삼층석탑	4	
보물 273	대안사적인선사조륜청정탑	4	
보물 298	월남사지삼층석탑	4	
보물 300	화엄사원통전전사자탑	4	
보물 400	선암사승선교	4	
보물 461	나주철천리칠불석상	4	
보물 584	윤문효공신도비	4	
보물 945	금둔사지삼층석탑	4	
보물 1117	선암사대각암부도	4	
보물 1123	개령암지마애불상군	4	
보물 1185	선암사동부도	4	
보물 1322	곡성가곡리오층석탑	4	18건

지정번호	문화재명	구조등급	
국보 10	실상사백장암삼층석탑	4	
보물 25	금산사오층석탑	4	
국보 35	화엄사사사자삼층석탑	4	
보물 37	실상사삼층석탑	4	
보물 49	나주동문의석당간	4	
보물 50	나주북문의삼층석탑	4	
보물 151	연곡사삼층석탑	4	
보물 156	보림사서부도	4	
보물 276	발산리오층석탑	4	
보물 298	월남사지삼층석탑	4	
보물 300	화엄사원통전전사자탑	4	
보물 309	천곡사지칠층석탑	4	

보물 320	대흥사응진전진삼층석탑	4	
보물 506	담양읍오층석탑	4	
보물 529	금골산오층석탑	4	
보물 796	운주사구층석탑	4	
보물 797	운주사석조불감	4	
보물 798	운주사원형다층석탑	4	
보물 829	금곡사삼층석탑	4	
보물 831	동화사삼층석탑	4	
보물 943	보성우천리삼층석탑	4	
보물 946	금둔사지석불비상	4	
보물 1115	보성봉천리오층석탑	4	
보물 1187	불탑사오층석탑	4	
보물 1283	월출산용암사지삼층석탑	4	
보물 1322	곡성가곡리오층석탑	4	26건

11) 석조문화재의 풍화상태, 생물분포상태 및 구조안정성상태 등급을 종합하여 종합상태 등급을 선정하였다. 종합상태 등급 5 및 4의 목록은 다음과 같다.

지정번호	문화재명	종합상태 등급	
국보 35	화엄사사사자삼층석탑	5	
보물 24	금산사혜덕왕사진응탑비	5	
보물 37	실상사삼층석탑	5	
보물 50	나주북문외삼층석탑	5	
보물 298	월남사지삼층석탑	5	
보물 300	화엄사원통전전사자탑	5	
보물 301	대흥사북미륵암삼층석탑	5	
보물 943	보성우천리삼층석탑	5	
보물 945	금둔사지삼층석탑	5	
종합상태등급 5의 석조문화재			9건

지정번호	문화재명	종합상태 등급	
국보 289	익산왕궁리오층석탑	4	
보물 25	금산사오층석탑	4	
보물 30	만복사지오층석탑	4	
보물 49	나주동문외석당간	4	
보물 156	보림사서부도	4	
보물 167	정읍은선리삼층석탑	4	
보물 267	임실용암리석등	4	
보물 309	천곡사지칠층석탑	4	
보물 320	대흥사웅진전전삼층석탑	4	
보물 395	선암사삼층석탑	4	
보물 506	담양읍오층석탑	4	
보물 509	구례논곡리삼층석탑	4	
보물 529	금골산오층석탑	4	
보물 797	운주사석조불감	4	
보물 798	운주사원형다층석탑	4	
보물 829	금곡사삼층석탑	4	
보물 831	동화사삼층석탑	4	
보물 1123	개령암지마애불상군	4	
보물 1184	선암사북부도	4	
보물 1185	선암사동부도	4	
보물 1283	월출산용암사지삼층석탑	4	
보물 1322	곡성가곡리오층석탑	4	
종합상태등급 4의 석조문화재			22건

12) 국가지정 석조문화재의 품위유지 및 보존적 측면에서 긴급 보존관리가 필요한 석조문화재는 다음과 같다.

(1) 이전 또는 개축이 필요한 석조문화재

① 보물 505호 단양읍석당간

: 도로변 논 가장자리에 위치

(2) 복원처리가 시급한 석조문화재

- ① 보물 1184호 선암사북부도
: 귀꽃 8개 중 3개가 탈락되어 지상에 방치
- ② 보물 1185호 선암사동부도
: 접합처리한 귀꽃이 다시 탈락되어 지상에 방치

(3) 사이트환경관리상 주변 수목 제거 필요

- ① 국보 57호 쌍봉사철감선사탑
- ② 보물 29호 금산사심원암북강삼층석탑
- ③ 보물 34호 실상사수철화상능가보월탑비
- ④ 보물 151호 연곡사삼층석탑
- ⑤ 보물 170호 쌍봉사철감선사탑비
- ⑥ 보물 276호 발산리오층석탑
- ⑦ 보물 298호 월남사지삼층석탑
- ⑧ 보물 301호 대흥사북미륵암삼층석탑
- ⑨ 보물 309호 천곡사지칠층석탑
- ⑩ 보물 1116호 유마사해련부도

7. 석조문화재 보존 관리 대책 건의

7. 석조문화재 보존관리 대책 건의

- 1) 광주, 전남북 및 제주지역의 석조문화재 보존현황 진단결과로 나타난 상태등급 5(정밀진단 필요)의 석조문화재에 대하여는 일차적으로, 1) 사이트환경 정밀 진단과, 2) 정밀훼손 진단연구를 실시하여 그 결과에 따라 다음 단계의 보존관리 방안을 강구해야 할 것이다.
- 2) "긴급 보존관리가 필요한 석조문화재"는 국가지정 문화재의 품위유지 및 보존차원에서 조속히 조치하여야 할 것이다.
- 3) 옥외에 위치한 우리나라의 석조문화재들의 훼손현상의 주 요인은 빗물(대기오염물을 함유한 산성비), 지반수분 침투 및 생물 서식이므로 이들 요인들을 제거하기 위해서는 훼손상태가 심한 석조문화재부터 다음 사항을 우선적으로 시행하여야 할 것이다.
 - (1) "석조문화재 사이트환경 정비지침"을 제정하여 이에 따른 사이트 환경의 철저한 관리.
 - (2) 빗물을 완전히 차단할 수 있는 새로운 형태의 보호구조물의 연차적 건립.

"석조문화재 사이트환경 정비지침"에 포함될 사항은 보호철책의 형태와 크기, 주위 지반조성 형태와 크기, 배수시설, 식생허용범위 등이며 종래의 전통적 보호각은 보호 역할을 다하지 못하고 있다고 판단되기 때문에 새로운 형태의 보호구조물의 건립이 요망된다.
- 4) 우리나라의 대부분의 석조문화재들이 옥외의 자연환경에 위치해 있기 때문에 석조문화재를 올바르게 보존관리하기 위해서는 사이트환경을 고려한 다음과 같은 "석조문화재 보존관리 연구 프로그램"에 따라 연구가 시행되도록 하여야 할 것이며 절차를 무시한 보존처리는 엄금시켜야 할 것이다.
 - (1) 사이트환경 정밀 진단
 - (2) 정밀 훼손진단 연구
 - (3) 석재 물성 연구
 - (4) 훼손요인 제거방안 연구
 - (5) 발수보강 및 보수방안 연구 및 평가
 - (6) 보존관리 공사 시공 및 평가
- 5) 훼손상태가 대단히 심하여 조속히 보존대책을 강구해야 하는 석조문화재를 장차 우리 손으로 보존관리하기 위해서는 국내 인력의 기술기반과 연구역량을 고양시

킬 필요가 시급하다고 생각된다. 그래서 지금부터라도 부족한 국내 인력확보를 위하여 다음과 같은 보존과학 분야에 대한 연구를 정부에서 정책적으로 조성하기를 건의하는 바이다.

- (1) 석조문화재 사이트환경 진단방법 연구
- (2) 석조문화재의 정밀훼손 진단방법 연구
- (3) 석조문화재의 안전한 세척방법 연구
- (4) 석조문화재의 보존과학적 발수보강 처리방법 연구

8. 석조문화재 현황 진단기록

8.1. 서언	117
8.2. 국보 석조문화재	119
8.3. 보물 석조문화재	309

8. 석조문화재 현황 진단기록

8.1 서언

석조문화재 현황 진단기록은 다음과 같이 구성되어 있다.

- 1) 광주, 전남북 및 제주지역의 국가지정 석조문화재 (국보 및 보물) 109건(국보 11호 익산미륵사지석탑은 현재 해체보수 중이어서 제외하였음)에 대한 현황 진단 결과를 “석조문화재 현황 진단기록”으로 종합 정리하였다.
- 2) “석조문화재 현황 진단기록”은 각 석조문화재에 대하여 각각 다음과 같이 각각 6개 부분으로 구분되어 있다.
 - ① “석조문화재 현황 진단기록” 제목 하에 석조문화재 안내 내용 기재
 - ② 석조문화재 현황 진단요약표
 - ③ 석조문화재 풍화상태 진단기록표
 - ④ 석조문화재 생물분포현황 진단기록표
 - ⑤ 석조문화재 구조안정성 진단기록표
 - ⑥ 석조문화재 훼손상태 도면
 - ⑦ 석조문화재 훼손부위 사진
- 3) 이번 진단 대상이었던 109건의 석조문화재에 대한 현황 진단기록은 지정번호순으로 나열하되 국보를 먼저 그 다음으로 보물의 순으로 나열하여 놓았으므로 찾아보기 쉽게하였다. 또한 책 뒷쪽에 색인표를 넣어 석조문화재를 명칭별로 찾아볼 수 있게 하였다.
- 4) “석조문화재 현황 진단기록”이라는 제목 하에 석조문화재마다 다음과 같은 일반 사항을 게재하였다.
 - ① 지정번호
 - ② 문화재 명칭
 - ③ 문화재의 위치
 - ④ 문화재 규모
 - ⑤ 문화재의 건조년대
 - ⑥ 문화재의 원경사진
 - ⑦ 문화재 위치도

8.2 국보 석조문화재 현황진단 기록

국보 10	실상사백장암삼층석탑	119
국보 11	미륵사지석탑	135
국보 12	화엄사각황전앞석등	137
국보 35	화엄사사사자삼층석탑	153
국보 44	보림사삼층석탑및석등	177
국보 53	연곡사동부도	223
국보 54	연곡사북부도	237
국보 57	쌍봉사철감선사탑	253
국보 103	중흥산성쌍사자석등	269
국보 144	월출산마애여래좌상	281
국보 289	익산왕궁리오층석탑	289

8.3. 보물 석조문화재

보물 22	금산사노주	309
보물 23	금산사석연대	323
보물 24	금산사혜덕왕사진웅담비	335
보물 25	금산사오층석탑	349
보물 26	금산사방등계단	373
보물 27	금산사육각다층석탑	397
보물 28	금산사당간지주	415
보물 29	금산사심원암북강삼층석탑	427
보물 30	만복사지오층석탑	445
보물 31	만복사지석좌	465
보물 32	만복사지당간지주	477
보물 33	실상사수철화상능가보월탑	487
보물 34	실상사수철화상능가보월탑비	501
보물 35	실상사석등	513
보물 36	실상사부도	527
보물 37	실상사삼층석탑	539
보물 38	실상사증각대사용료탑	569
보물 39	실상사증각대사용료탑비	581
보물 40	실상사백장암석등	591
보물 42	용담사지석불입상	603
보물 43	만복사지석불입상	615
보물 45	익산연동리석불좌상	627
보물 46	익산고도리석불입상	637
보물 48	대흥사북미륵암마애여래좌상	651
보물 49	나주동문외석당간	661
보물 50	나주북문외삼층석탑	673
보물 89	도갑사석조여래좌상	689

보물 109	광주서오층석탑	699
보물 110	광주동오층석탑	715
보물 111	개천사지석등	731
보물 112	증흥산성삼층석탑	745
보물 132	화엄사동오층석탑	765
보물 133	화엄사서오층석탑	785
보물 151	연곡사삼층석탑	803
보물 152	연곡사현각선사탑비	821
보물 153	연곡사동부도비	833
보물 154	연곡사서부도	843
보물 155	보림사동부도	855
보물 156	보림사서부도	869
보물 157	보림사보조선사창성탑	889
보물 158	보림사보조선사창성탑비	907