

석조문화재의 자연재해 피해양상 예비분석

양 동 윤¹, 김 주 용¹, 김 진 관¹, 이 진 영¹, 김 민 석¹, 이 상 현¹, 김 정 천¹, 남 옥 현¹, 양 윤 석²

¹한국지질자원연구원 지질환경재해연구부

²(재)한울문화재연구원

The Preliminary Analyses on Damage Types of Stone Heritage induced by Natural Hazard, Korea

Dong-Yoon Yang¹, Ju-Yong Kim¹, Jin-Kwan Kim¹, Jin-Young Lee¹, Min-Seok Kim¹, Sangheon Yi¹, Jeong-Chan Kim¹, Wook-Hyun Nahm¹, Yun-Sik Yang²

¹Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, ²Haneul Institute of Cultural Heritage

요약 : '90년대 이후 세계적으로 집중호우와 같은 자연재해에 문화재가 극심한 피해를 입고 있다. '05년도 문화재 보수건수는 '86년 건수 대비 거의 6배에 달하고, 특히 경상도와 전라도의 보수실적이 전국의 63%를 차지하였다. 이는 90년대 이후 발생한 태풍이 대개 남해안으로 상륙하여 북상하는 형태였고 경로에 해당하는 전남 및 경남 지역에 막대한 피해를 주었기 때문인 것으로 판단된다.

석조문화재 보수자료를 기반으로 현지조사를 거쳐 자연재해 발생 가능성이 높은 석조문화재를 예비 분석하였다. 이의 분포현황을 보면 토사재해와 사면 붕괴 등 사면과 관련된 재해가 58% 이상을 차지하였는데, 이는 석조문화재 중 사면에 분포하는 것이 59%로 다수를 차지하고 이들은 집중호우가 발생하면 산사태나 토사이동으로 인한 재해에 대해 매우 취약하기 때문이다. 집중호우 하에서는 산사면 표층수 또한 높은 에너지를 가지고 흐르면서 석조문화재 지반의 토양을 침식시킬 수 있다. 마애불과 같이 자연상태의 암석을 이용한 석조문화재 중, 전석상태의 것은 침식이나 지반침하 등의 지반변화에 매우 민감하게 반응하여 지반에 변화가 오면 기울음이나 전도 등의 피해를 볼 수 있다.

자연재해가 발생할 수 있는 석조문화재의 분포는 '90년대 이후의 5대 태풍의 전체 강우분포와 관련성이 보여 2등급 정도의 범주 안에 들어온다. 특히 태안반도와 경기의 일부 문화재는 전체 강우분포도 보다는 태풍올가 등의 강우분포와 관련성이 높은 것으로 판단된다.

주요어 : 자연재해, 석조문화재, 태풍

Abstract : The severe damage of cultural heritages induced by natural hazards like heavy rain has been dramatically increased since 1990.

The number of the repair works of stone heritage of 2005 was six times as many as those of 1986 year. Especially the ratio of the repair works of Gyeongsang Province and Jeolla Province stood 63% of those of all over the country. Since 1990, the typhoons usually struck the southern part of Korea and went northward. The heavy damage of stone heritages in two provinces was caused by them.

We made a preliminary survey the stone heritages that exposed to the natural hazards on the basis of repair works of them and a field survey. The analysis results indicate that the natural hazards such as landslide and soil disaster of the stone heritages related to a sloping surface stood 58% of all kind of natural hazards. The reasons are caused by the 59% of all the stone heritages distributed in a sloping surface resulted in natural hazards like landslide and soil disaster. The bases of stone heritages can be easily eroded by the surface water with high energy induced by heavy rainfall. Most of the stone heritages like Maebul were engraved on a natural rock wall(outcrop). But some of them engraved on rolling stones are very vulnerable in a change of a base condition caused by erosion and ground subsidence and they can be tilted or fell down.

The distribution of the stone heritages vulnerable in natural hazard is related to that of the rainfall distribution compounded five typhoons after 1990. Most of them are included in level two on the rainfall distribution map except those of Taean peninsula and some of Gyeonggi Province. They seem to be rather related to the rainfall distribution of the Typhoon Olga.

Key Words : natural hazards, stone heritage, typhoon

*Corresponding author: Dong-Yoon Yang, Tel. 042-868-3031, E-mail. ydy@kigam.re.kr

1. 서론

급변하는 기후로 인해 세계적으로 폭우와 집중호우와 같은 자연재해가 발생하여 인간에게 뿐만 아니라 문화재에도 극심한 피해를 주고 있다. 2002년 8월 유럽을 강타한 200년 빈도의 홍수로 체코, 독일, 헝가리, 오스트리아 등에서 막대한 문화재 훼손이 발생하여 이의 복구비는 17조 6400억원(147억달러)에 달했다.

우리나라의 경우, 2002년에 발생한 태풍 루사로 인해 전국의 문화유적지 71곳에 심각한 피해가 발생하였다 (조선일보, '02/9). 2003년 감사원자료에서는 지정문화재 8,478건 중 60%인 5,871건이 자연재해에 직접피해의 위험성이 있는 것으로 밝혀졌고, 경기도내 지정문화재의 경우, 51%(366건)가 자연재해 피해 위험에 노출되어 있는 것으로 밝혀졌다 (경인일보, 2003, 7월).

이러한 자연재해로부터 세계유산(미국, 중국, 러시아 등을 포함한 12건)을 보존하기 위해 1998년 UNESCO가 주관한 IGCP-425 project가 수행된 바 있다. 교토대학 방재연구소에서는 지반의 침식, 액상화 등 지반의 안정성을 평가하여 석조구조물의 전도 및 붕괴위험성을 판정하는 기술개발을 수행하고 있다.

2003년 감사원에서는 자연재해 피해를 예방하기 위한 예산 마련과 특별정비기간, 관계기관 네트워크 시스템을 두는 등의 제도적인 장치를 조속히 마련해야 한다고 지적한 바 있고, 문화재청 “2002 문화재 중장기 비전”에서는 환경오염, 자연재해로부터 석조문화재의 훼손을 방지하기 위한 기초조사와 연구를 실시하는 것으로 되어 있다.

석조문화재에 관한 연구로는, 최근 수년간 석조문화재 자체의 풍화와 이의 처리 및 보존에 관한 연구가 활발하게 이뤄져 왔다 (Lee et al., 2003; Lee et al., 2005; Lee et al., 2006; Lee and Yi, 2007; Nesbitt and Young, 1984). 그러나 물리탐사 등을 이용한 지반진단 등에 관한 일부 연구(류제라 등, 2001; 서만철, 2004)를 제외하고, 석조문화재에 발생할 수 있는 자연재해를 대상으로 한 연구는 거의 없는

실정이다. 따라서 이에 대한 연구의 필요성이 높아진 가운데, 2006년부터 시작된 국립문화재연구소의 “석조문화재 손상제어기술” 중 소과제로 “석조문화재 재해예방시스템 구축 사업”이 진행되면서 본격적인 연구가 시작되었다. 2006년도 기초연구 결과, 석조문화재에 피해를 줄 수 있는 방대한 자연재해 범주 중, 주로 산사태와 토사유출, 강풍, 침수, 지진 등이 주로 연구되어야 할 대상으로 결론지어졌다. 이 논문에서는 이러한 기초연구과정에서, 과거의 문화재 보수이력(문화재청) 분석자료와 현지답사의 자료를 이용해, 자연재해에 취약할 것으로 예상되는 석조문화재를 분석하고, 최근 5년간 한반도에 피해를 많이 준 대형태풍의 총강우량 분석결과와 비교해 보고자 한다.

II. 석조문화재의 보수이력분석과 자연재해 취약성 예비분석

1. 석조문화재 보수이력 분석

이 결과는 문화재청에서 공개하는 자료 중, 1986년부터 2005년까지의 석조문화재 보수현황실적을 분석한 것이다. 표 1 및 그림 1에서 나타나듯이, 1986년에는 74건에 불과하지만 90년부터 해마다 급증하여 2005년도에는 433건을 기록하고 있으며, 총 보수실적은 약 4,900여건에 이르고 있다.

Table 1. The state of repair works by year (1986-2005)

연도	보수 실적(건)	보수 실적(%)	연도	보수 실적(건)	보수 실적(%)
1986	74	1.5	1996	241	4.9
1987	76	1.5	1997	290	5.9
1988	97	2.0	1998	288	5.8
1989	83	1.7	1999	333	6.8
1990	110	2.2	2000	435	8.8
1991	104	2.1	2001	398	8.1
1992	155	3.1	2002	429	8.7
1993	193	3.9	2003	400	8.1
1994	196	4.0	2004	387	7.9
1995	204	4.1	2005	433	8.8
-	-	-	합계	4,926	100

Table 2. The state of repair works by damage type (1986~2005)

구분	균열	누수	배부름	부등침하	붕괴	오손	유실	이격	이탈	지반유실	침수	토사매몰	주변정비	계
1986	1			1									1	3
1987	1												4	5
1988													8	8
1989	1								1	3	1	7	13	
1990				2					2				8	12
1991			1	1							2	1	13	18
1992										1	1		9	11
1993	1				1			2				1	21	26
1994	1				1			3				1	16	22
1995	1	2			1			1	1				12	19
1996	8							2	4			3	11	28
1997	2				2								36	40
1998	4	1			1				2				20	28
1999	9	1		4					1				43	58
2000	14		1	1				3	1	1	2		77	100
2001	2								1		1		59	63
2002	5	1			1	2		1	1	1	1		80	93
2003	2				1				1				81	85
2004	1								1				59	61
2005	2			2	1					2			83	90
계	53	4	5	11	9	2	1	13	15	5	11	6	648	783

이는 우리나라 전체 문화재 약 9,500여건의 50%에 이르고 있어 매우 높은 비중을 보이고 있다. 또한 1986년에 비해 2005년 보수실적은 약 6배 정도 증가하고 있다. 이는 자연재해 피해가 90년을 전후로 하여 본격적으로 증가하는 것과 맥락을 같이하는 것으로 보인다.

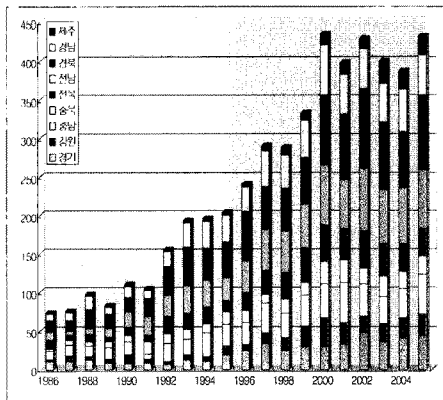


Fig. 1. The state of repair works by year & district (1986~2005)

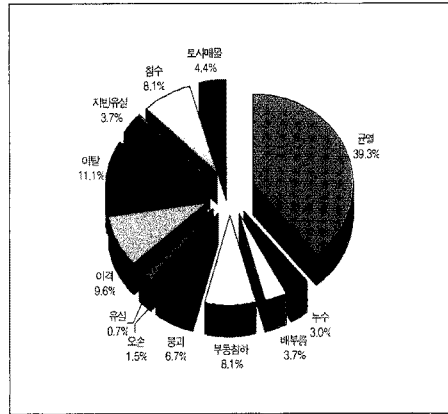


Fig. 2. The state of repair works by damage type (except the environs repair)

또한 경상도와 전라도의 보수실적이 63%를 차지하여 이는 물론 각 지역별 문화재의 분포수와와도 관련이 있겠지만, 이러한 지역의 문화재가 자연재해에 취약했을 것으로 판단된다. 문화재 보수실적 4,900여건 중에서 석조문화재는 783건으로 전체 문화재보수실적의 약 16%에 달한다.

석조문화재의 보수실적을 지정상황별로 보면 국보가 140건, 보물이 624건으로 보물이 약 70%로 압도적으로 많다. 연도별로 보면 1986년부터 1988년까지는 보수실적이 매년 10건 미만이었으나 89년부터 증가하기 시작하여 2005년에는 86건으로 10배의 증가율을 나타내고 있다.

석조문화재의 보수실적을 피해양상별로 나누어 보면, 균열, 누수, 배부름, 부등침하, 붕괴, 오손, 유실, 이격, 이탈, 지반유실, 침수, 토사매몰, 주변정비 등 13가지로 구분하여 정리할 수 있다. 이들 양상 중에서 주변정비를 제외한 나머지 12가지 양상은 직접 석조문화재에 피해를 주는 현상들이다. 평상시와 다른 집중호우가 발생하면, 표층수는 지면을 침식시키고, 일부는 스며들어 토양을 포화시키는데 매질이 균질하지 않으면 부분적으로 과포화가 발생하여 지중에서 지중수 흐름이 발생된다. 이러한 지표수와 지중수의 흐름과 관련하여 토사매몰, 침수, 지반유실, 부등침하, 붕괴 등이 발생하므로 집중호우는 석

조문화재에 침수와 같은 직접적인 피해뿐만 아니라 집중호우가 다른 형태의 피해를 발생키는 간접적 피해의 원인이 된다. 그 외의 요인들 중 석조문화재의 하부에서부터 상부로 발생하는 균열은 집중호우로 인한 지반의 불안정에서 오는 경우가 많다. 주변정비 보수실적 648건을 제외한 135건 중에서 균열이 39%로 가장 높은 비율을 차지하며 붕괴나 지반유실 등 재해로 발생된 보수실적도 약 30%에 달할 정도로 높은 비율을 차지한다.

보수실적 기록으로 보아서는 석조문화재의 훼손은 135건이지만 2003년도 국정감사 자료로 본 자연재해로 인한 문화재 피해현황을 보면 1997년부터 2002년까지의 6년간 약 390건에 달하고 있다. 2003년의 태풍 메미에 의한 피해도 국보 3건, 보물 22건, 사적 28건 천연기념물 11건 등 국가지정문화재가 72건이며, 문화재자료, 시도지정문화재 등 137건이 파손 또는 유실되는 피해를 입기도 하는 등 총 209건의 문화재가 단 한번의 태풍으로 피해를 입을 정도로 자연재해에 의한 피해는 넓은 지역에 걸쳐 광범위하게, 대형화되는 특성이 있으며 그리고 특히, 단순히 부재의 균열이나 풍화와 같은 국부적인 손상보다 문화재 자체에 치명적인 손상을 입히는 경우가 대부분으로 석조문화재의 복원이나 복구 자체가 불가능하게 되는 사례가 많다. 그러므로 통계적으로 본 피해 사례는 단순 부재 손상과 같은 피해보다는 적지만 자연재해에 대한 사전 예방과 대책의 마련은 시급한 실정이다.

2. 석조문화재의 자연재해 취약성에 대한 예비 진단

옥외에 분포하는 석조문화재는, 석탑 등과 같이 석재를 가공하여 정비된 지반에 쌓아 올린 것과 마애불과 같이 자연상태의 암석에 불상을 새겨 넣은 것 등으로 나눌 수 있고 후자는 다시 재료가 되는 암석이 암체의 일부 즉 노두(露頭)인 경우와 전석(轉石)인 경우로 나눌 수 있다. 석조문화재의 재료가 전석 상태인 경우, 석조문화재가 완성될 당시에는 안정된 지반이었을 지라도 지속적인 강우현상으로 침식이나 부등침하와 같이 지반에 변화가 생기면 언제든지 전도

될 수 있기 때문에 자연재해에 매우 취약하다고 할 수 있다. 한편 전자의 경우, 암석 자체에 발달한 미세한 절리 등에 수분이 들어가면 동결융해 현상 등의 기계적 풍화가 가속화되어 지반과는 상관없이 석조문화재가 훼손되는 경우이며 여기서는 제외시켰다.

전국에 분포하는 석조문화재 중 우선적으로 376개소의 석조문화재에 대하여 현지조사를 통해 자연재해 취약성에 대한 예비 진단을 하였다. 현지조사에서는 일정한 구격의 조사 양식(field sheet)을 만들어 사용하였다. 보수 이력에 대한 기록에서 토사매물, 지반유실 등은 토사의 이동과 관련되는 토사재해, 붕괴, 배부름 현상 등은 사면붕괴, 부등침하는 지반침하, 누수는 침수에 해당될 것으로 추정되나, 균열의 경우 발생 원인이 기록되어 있지 않으므로 부등침하에 의한 것인지 순수한 기계적 풍화에 의한 것인지 구별하기는 어렵다. 그러나 구분이 가능한 항목들은 비교가 가능하도록 현지조사에서의 재해의 항목을, 지반침식과 토사매물 등을 포함한 토사재해, 산사태 등의 사면붕괴, 부등침하 등의 지반침하, 석조문화재 주변의 천근성 장대(長丈) 식생 등이 존재할 경우의 나무의 전도에 의한 강풍피해 그리고 범람, 침수 등으로 구분하였다.

2.1. 석조문화재 분포 특성

석조문화재가 분포하는 지반 지질은 대부분 화강암 계통의 암상이 약 60%에 이르며 다음으로 변성암이 많았다.

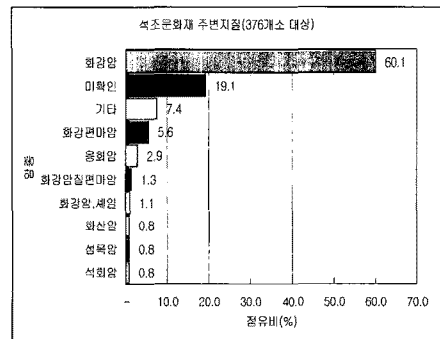


Fig. 3. Geology of the basis of stone heritages

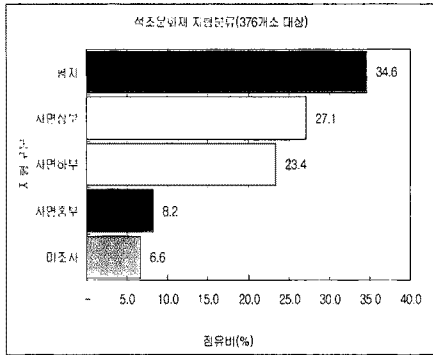


Fig. 4. Geomorphology of the basis of stone heritages

또한 석조문화재의 70%이상의 석조문화재가 중풍화 이상의 풍화정도를 나타내며 신선한 상태를 유지하고 있는 종류는 7% 정도에 그치는 것으로 나타났다. 석조문화재는 376개 조사지점 중에서 약 34%가 평지에 분포하고 있으며, 사면상부와 사면하부에 분포하는 것을 합치면 사면에 분포하는 석조문화재는 59%로 다수를 차지하였다.

석조문화재가 위치하는 지점의 기반재로는 평지의 경우 매립토이고, 사면에 분포하는 경우, 사면이 붕괴되거나 흘러내려 이뤄진 사면붕괴토가 60% 이상을 차지하며, 하천작용으로 이뤄진 충적토, 암반 순으로 나타났다. 약 13.6%의 암반에 분포하는 석조문화재는 사면에서 발생하는 자연재해 피해 발생확률은 매우 낮을 것으로 보인다.

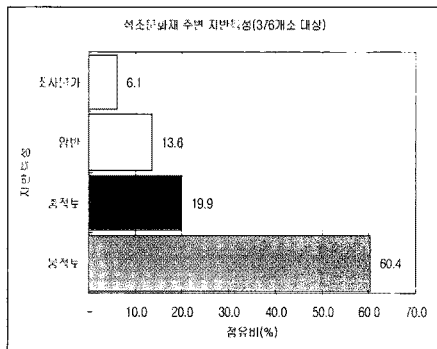


Fig. 5. Materials of the basis of stone heritages

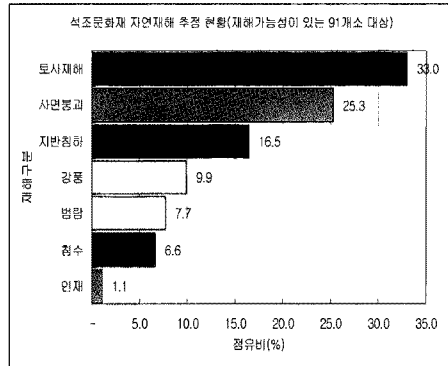


Fig. 6. The preliminary analysis of the natural hazard vulnerability

2.2. 재해 취약성 예비분석 결과

석조문화재가 자연재해 피해를 입을 수 있는 가능성이 있는 지역과 자연재해 발생이 확인된 지역의 재해현황(Fig. 6)은 토사와 관련된 재해가 가장 많은 30%를 차지하였다.

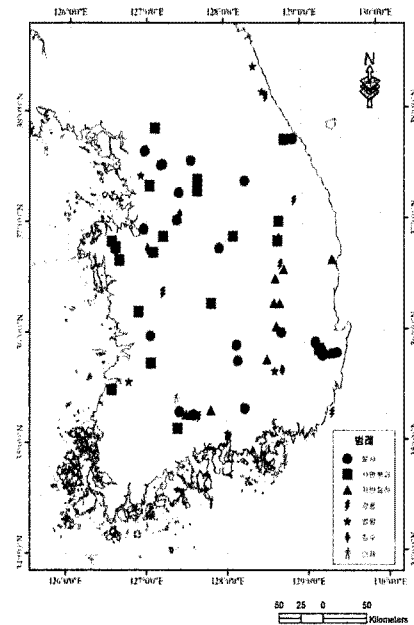


Fig. 7. The distribution of the stone heritages vulnerable in natural hazard

그 다음으로 사면의 안정성과 관련하여 산사태나 암반붕괴 등 사면붕괴 요인이 25%로 나타났다. 지반침하에 의한 재해가 예상되는 곳도 16.5%이며, 강풍에 의해 나무가 쓰러지거나 주변 식생에 의해 재해의 가능성이 있는 지역은 약 10% 정도로 나타났다. 그밖에 홍수와 같은 강우에 의한 자연재해요인으로 범람(7.7%)과 침수(6.6%)가 있었다. 석조문화재 현황조사를 통해 통계에 활용된 376개소 가운데 재해의 가능성이 거의 없거나 안정되어 보이는 지역은 260개소로 전체의 77.1%를 차지한다. 상당수의 석조문화재는 자연재해로부터 비교적 안전한 상태로 나타나지만, 88개소의 석조문화재는 재해 발생 가능성이 있는 것으로 나타났으며, 그 중에서 약 6%에 해당하는 22개소에서는 과거에 재해가 발생했던 흔적을 찾아 볼 수 있었다.

Ⅲ. 최근 5대 태풍의 총강우량 공간적 분포특성

1990년대 이후의 태풍 중 재산피해를 가장 많이 준 순서로 5개 태풍에 대한 강우분포에 대해 분석하였다(김진관 등, 2007). 5대 태풍은 2002년에 발생한 루사, 2003년 매미, 1999년 올라, 1995년 재니스, 1998년 야니이다. 각각의 태풍에 대하여 한반도 관측지역 60개소의 시간당 강우량을 입력한 후 이를 누적하여 각각의 태풍에 해당하는 전체 강우량을 산정하였다. 루사와 매미는 남해상으로 진입한 후 한반도에 영향을 미친 태풍이며, 올라는 남해-서해를 거쳐 북으로 진행하였으며, 재니스는 중국을 거쳐 서해로 진입하여 한반도를 관통한 태풍이다. 태풍 루사와 매미는 한반도 주변에서의 진로형태도 유사하였고, 또한 강우분포도 매우 비슷하다. 태풍 루사는 강릉일대에 가장 많은 강우를 나타냈으며, 그 다음으로는 강원도 일대, 보성, 구례 일대의 남부 중앙부에 많은 강우를 보였다(Fig. 8). 태풍 매미는 강릉일대를 중심으로 한 강원도 지역과 순천, 광양부근의 남부 중앙부에 많은 강우를 나타냈다. 태풍 올라는 인천, 김포, 고양, 연천일대

인 경기도 서북부와 갈말, 화천 일대인 경기도 동북부 지역에 많은 강우를 보였으며, 그 다음으로는 경기도와 강원도 전반에 많은 강우를 나타냈다(Fig. 9). 태풍 재니스는 천수만 일대를 중심으로 안면도, 서산, 홍성, 보령 등의 충청남도 서해안과 진천, 괴산 일대인 충청북도 북부를 중심으로 많은 강우를 기록하였다. 전반적으로는 경기도, 충청남도, 충청북도, 강원도 영동지역에 많은 강우를 나타냈다(Fig. 11). 태풍 야니는 포항에 집중적인 강우를 기록하였으며, 포항일대와 전라남도 남부해안을 중심으로 많은 강우를 나타냈다(Fig. 12). 이와 같이 태풍의 이동경로에 따라 그 강우분포가 다르게 나타나고 있으며, 주로 강우가 집중되었던 분포는 강릉일대 및 포항일대, 태풍이 육지에 상륙하는 일대 그리고 태풍의 진로에 따라 나타나는 것으로 보인다.

1990년대 이후, 국내에 많은 재산상 피해를 입혔던 5개의 태풍에 대한 총강우를 나타낸 그림은 Fig. 13 이다. 각각의 태풍의 총강우량 분포를 합한 후 \log_2 를 취하여 계급을 구분하였다. 가장 많은 강우분포 지역은 강릉시, 고성군, 곡성군, 광양시, 구례군, 단양군, 동해시, 보성군, 봉화군, 산청군, 삼척시, 속초시, 순천시, 양양군, 영월군, 영주시, 인제군, 정선군, 진주시, 태백시, 평창군, 하동군, 홍천군, 횡성군에 해당하고 있다. 이와 같은 강우분포의 형태는 태풍 루사나 매미와 같은 태풍의 진로를 갖는 강우분포와 유사하게 나타났다.

물론 더 많은 태풍의 자료를 통한 분석이 요구되나, 1990년대 이후 한반도에 피해를 준 태풍의 강우분포는 1990년대 이후 증가한 태풍의 진로(박종길 외, 2006)와 유사하다.

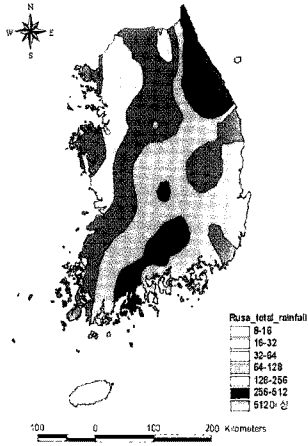


Fig. 8. The rainfall distribution map of Typhoon Rusa(2002)

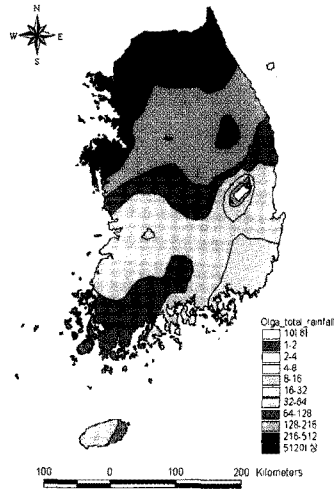


Fig. 10. The rainfall distribution map of Typhoon Olga(1999)

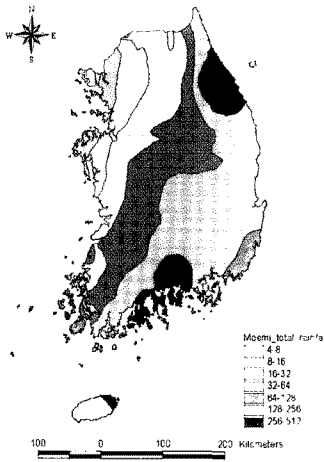


Fig. 9. The rainfall distribution map of Typhoon Maemi (2003)

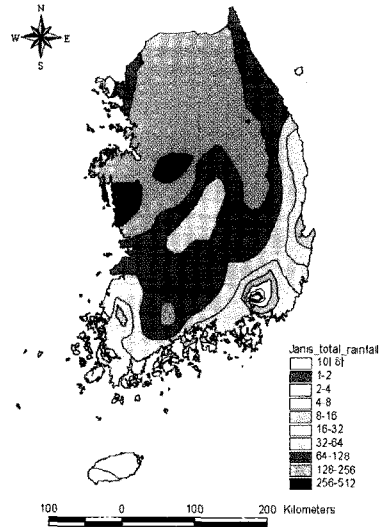


Fig. 11. The rainfall distribution map of Typhoon Janis(1995)

IV. 고찰 및 결론

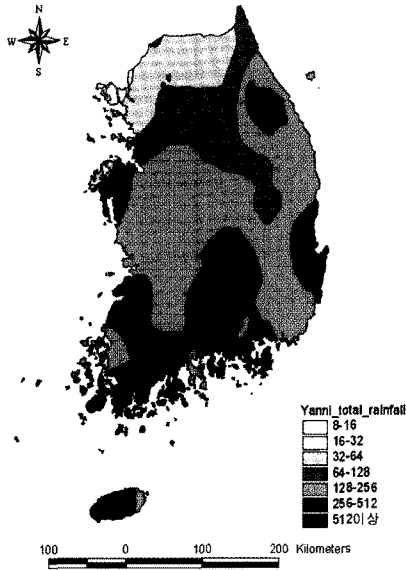


Fig. 12. The rainfall distribution map of Typhoon Yanni (1998)

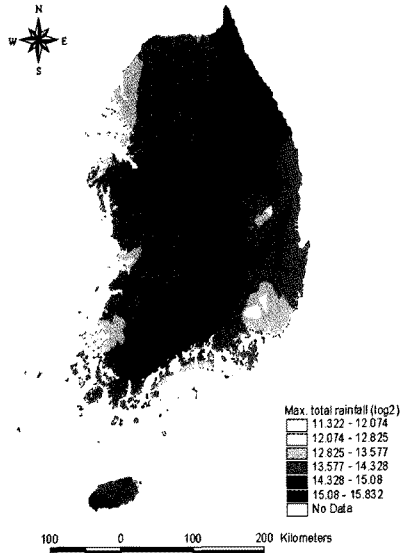


Fig. 13. The total rainfall distribution map compounded 5 typhoons

급변하는 기후로 인해 세계적으로 폭우와 집중호우와 같은 자연재해가 발생하여 인간에게 뿐만 아니라 문화재에도 극심한 피해를 주고 있다. 문화재 보수이력은 '86년에는 74건에 불과하지만 '90년부터 해마다 급증하여 '05년도에는 433건을 기록하고 있다. 이러한 증가 추세는 우리나라의 경계가 문화재에 좀 더 관심을 가질 수 있을 정도로 성장한 측면도 약간의 고려될 수 있지만, 실제로 '90년 이후의 자연재해 급증하면서 문화재의 피해건수도 증가하였기 때문인 것으로 보는 것이 타당할 것이다. 강우의 형태가 집중호우 형태로 바뀌면서 산지에서는 산사태나 토사이동으로 인한 재해, 저지대는 침수 등이 급증하고 있다.

자연재해 발생 가능성이 높은 지역의 재해현황(Fig. 6)을 보면 토사재해와 사면 붕괴 등 사면과 관련된 재해가 58% 이상을 차지하고 있다. 이는 석조문화재 중 사면에 분포하는 것이 59%로 다수를 차지하고 이들은 집중호우가 발생하면 산사태나 토사이동으로 인한 재해에 대해 매우 취약하기 때문이다. 강우강도가 커지면서 사면에서 지표흐름과 지중수 흐름의 증가가 발생한다. 우리나라 산사면의 토양층 두께는 비교적 얇은 편이며, 많은 강수가 지중에 흘러들면 토양층과 기반암 경계는 미끄러지기 쉬운 상태로 바뀌어 산사태 혹은 토사류(earth flow)가 쉽게 발생한다. 또한 계류에서는 일시에 대량으로 불어난 유출로 인해 매우 높은 에너지의 흐름이 발생하기 때문에 계류 양안과 바닥의 침식이 크게 증가하여 대량의 토사를 저지대로 이동시킨다. 이때 다량의 유목도 함께 발생하여 다리 등과 같은 구조물에 도달하면 이를 파괴하거나 범람하여 많은 피해를 일으킨다. 만약 사찰이 이러한 곳에 위치하면 큰 피해를 볼 수도 있다. 집중호우 하에서는 산사면 표층수 또한 높은 에너지를 가지고 흐르면서 석조문화재 지반의 토양을 침식시킬 수 있다. '02년 8월말에 발생한 태풍 루사는 인명피해 246명(사망 213, 실종 33), 재산피해액 5조1천479억원이라는 사상 초유의

참 고 문 헌

김진관·김민석·양동윤·입규호. 2007. 한국에서의 태풍피해에 따른 태풍의 이동경로 및 강우분포에 대한 연구, 한국지형학회지, 14권, p. 77-85.

류제라·서만철. 2001. 익산미륵사지 지반특성에 대한 지구물리학적 연구. 대한지구물리학회, 지구물리, 4권, p.1-10.

박종길·김병수·정우식·김은별·이대근, 2006. 한반도에 영향을 주는 태풍의 통계적 특성변화, 대기, 16(1), pp. 1-17.

서만철·오진용·서희수, 2002. 불국사 석탑의 지반 특성에 대한 지구물리 탐사, 지구물리 5(2), p. 143-151

Lee, C.H., Choi, S.W. and Suh, M., 2003, Natural deterioration and conservation treatment for the granite standing Buddha of Daejosa Temple, Republic of Korea. Geotechnical and Geological Engineering, v. 21, p. 63-77.

Lee, C.H., Lee, M.S., Suh, M. and Choi, S.W., 2005, Weathering and deterioration of rock properties of the Dabotap pagoda (World Cultural Heritage), Republic of Korea. Environmental Geology, v. 47, p. 547-557.

Lee, C.H., Lee, M.S., Kim, Y.T. and Kim, J., 2006, Deterioration assessment and conservation of heavily degraded Korean stone Buddha from the ninth century. Studies in Conservation, v. 51, p. 305-316.

Lee, C.H. and Yi, J.E., 2007, Weathering damage evaluation of rock properties in the Bunhwangsa temple stone pagoda, Gyeongju, Republic of Korea. Environmental Geology, v. 52, p. 1193-1205.

Nesbitt, H.W. and Young, G.M., 1984, Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on

thermodynamic and kinetic considerations. *Geochemica et Cosmochemica Acta*, v. 48, p. 1523-1534.

투 고 일: 2007. 6. 7.

심 사 일: 2007. 6. 8.

심사완료일: 2007. 6. 20.

양동윤, 김주용, 김진관, 김민석, 이상현, 김정찬, 남욱현

305-350, 대전광역시 유성구 가정동 30 한국지질자원연구원 지질환경재해연구부 (Geological and environmental hazard division, Korea Institute of Geology and Mineral Resources, Deajeon, Korea, 30 Gajeong-dong, Yuseong-gu, Daejeon, 305-350, Korea)

양윤식

440-853 경기도 수원시 장안구 파장동 577-2 영림프라자 2층 (재)한울문화재연구원