

석조문화재가 위치한 진전사지 주변의 사면재해 가능성 분석

김경수^{1*} · 송영석¹ · 조용찬¹ · 정교철²

¹한국지질자원연구원 지질환경재해연구부, ²안동대학교 지구환경과학과

Analysis of Slope Hazard Probability around Jinjeon-saji Area located in Stone Relics

Kyeong-Su Kim^{1*}, Young-Suk Song¹, Yong-Chan Cho¹, and Gyo-Cheol Jeong²

¹Geological & Environmental Hazards Div., Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

²Department of Earth and Environmental Sciences, Andong National University

중요 석조문화재가 위치하고 있는 강원도 양양군 소재 진전사지 주변지역에 대한 사면재해 가능성을 예측하였다. 연구지역에 대한 현장조사, 실내시험, 지질 및 지형자료 분석을 통해 산사태에 유의한 영향요소를 평가하고 그 자료들을 예측모델에 적용하여 산사태예측도를 작성하였다. 그리고 산사태예측도에 의해 발생확률을 등급별로 분류함으로써 산사태로 인한 석조문화재의 피해가능성을 검토하였다. 산사태예측도에 의하면, 발생확률 70% 이상으로 산사태가 발생할 가능성이 높은 지역은 대상면적의 10.1%인 3,489 m² 정도로 비교적 넓은 면적비율을 나타내었다. 피해영향권에 속한 높은 고도의 산사면에서 산사태가 발생할 경우 국보 제122호인 진전사지삼층석탑과 보물 제439호인 진전사지부도에 사태물질로 인한 피해가능성이 예상된다.

주요어 : 석조문화재, 산사태예측도, 사면재해

A probability of slope hazards was predicted at a natural terrain around the stone relics of Jinjeon-saji area, which is located in Yangyang, Kangwon Province. As the analyzing results of field investigation, laboratory test and geology and geomorphology data, the effect factors of landslides occurrence were evaluated. Also, the landslides prediction map was made up using the prediction model by the effect factors. The landslide susceptibility of stone relics was investigated as the grading classification of occurrence probability. In the landslides prediction map, the high probability area was 3,489 m² and it was 10.1% of total prediction area. The high probability area has over 70% of occurrence probability. If landslides are occurred at the predicted area, the three stories stone pagoda of Jinjeon-saji(National treasure No. 122) and the stone lantern of Jinjeon-saji(Treasure No. 439) will be collapsed by debris flow.

Key words : stone relics, landslides prediction map, slope hazard

서 론

석조문화재 주변의 환경적인 요인들이 복잡하게 작용하여 석조문화재에 손상이 발생된다. 따라서 석조문화재의 손상을 야기하는 외적 요인 즉, 산사태, 지진 등과 같은 자연재해에 대한 위험성예측과 평가가 수행되어야 할 것이다. 우리나라의 석조문화재 대다수는 별다른 보호시설 없이 야외에 노출상태로 있고 이들 중 상당수는

산지에 분포되어 있다. 이처럼 산지에 분포되어 있는 석조문화재는 산사태가 발생할 경우 큰 피해가 발생할 수 있다. 따라서 석조문화재의 효율적인 관리와 보존을 위해서는 석조문화재 주변의 자연사면에 대한 재해가능성을 예측하는 것이 반드시 필요하다. 그리고 사면재해 발생가능성이 높은 경우에는 그에 따른 대응방안이 강구되어야 할 것이다.

이 연구에서는 중요 석조문화재가 위치하고 있는 강

*Corresponding author: kks@kigam.re.kr

원도 양양군 소재 진전사지 주변에 대한 사면재해 가능성을 분석하였다. 석조문화재 주변 자연사면에 대한 산사태예측은 기 제안된 조사 및 분석기법과 통계적 방법인 로지스틱회귀분석을 적용하여 이루어졌다. 이 연구에서 적용된 조사 및 분석기법은 김경수 외(2007)에 의해 개발되었으며, 산사태예측모델은 김원영 외(2003)에 의해 개발되었다. 사면재해 가능성 분석은 연구대상지역에 대한 현장조사와 실내시험 및 분석과정을 통해 산사태에 유의한 영향요소를 평가하고 그 자료들을 예측모델에 적용하여 산사태예측도를 작성하였다. 그리고 산사태예측도에 의해 발생확률을 등급별로 분류함으로써 산사태로 인한 석조문화재의 사면재해 가능성을 검토하였다.

문화재 사면재해 연구사례

Canuti *et al.*(2001)의 연구에 따르면, 산사태와 같은 지형 및 지질학적 특성에 의한 재해로부터 문화유산을 보호하기 위해 IGCP-425에 동참하고 있는 이탈리아, 그리스, 이집트, 호주, 러시아, 슬로바키아, 체코, 불가리아 및 루마니아 등은 문화유적지에서의 자연재해 중 산사태에 의한 피해가 가장 많은 것으로 조사되었으며, 특히 낙석, 전도파괴, 그리고 슬라이드 형태의 산사태가 주요 재해원인으로 분석되었다. 그리고 대상지반의 암석학적 조건과 주변 암반의 지질공학적 조건인 단층과 절리 등에 의해 사면재해가 발생하는 것으로 보고되었다.

이중윤과 박형동(2004)은 경주 남산 냉골에 위치한 지방유형문화재 제158호인 마애여래대좌상을 대상으로 현장조사와 시뮬레이션을 통하여 낙석 및 붕괴위험성을 정량적으로 판단한 바 있다. 그 결과 불상의 두부에는 최대 23kJ이, 그리고 제단의 중앙에는 최대 69kJ의 충돌에너지가 발생되었는데, 이는 불상이나 인명에 피해를 줄 수 있을 정도의 크기로 향후 이를 방지하기 위한 대책마련이 시급하다고 보고한 바 있다.

Grief *et al.*(2006)은 일본 중부지방에 위치한 중세시대의 Bitchu-Matsuyama Castle에 대한 정밀계측 및 안정성분석을 수행한 바 있다. 수직절리가 잘 발달되고 높은 절벽을 이루는 지형특성을 지니고 있는 지역에 대한 계측결과 절리들의 간격이 점진적으로 증가되었으며 성이 위치한 상부지점에서의 변위가 가장 큰 것으로 나타났다. 그리고 낙석 내지 전도파괴의 잠재성과 완만한 경사지점에서는 퇴적 침식된 풍화토 및 돌덩어리들에 의해 토석류산사태가 발생할 가능성이 있는 것으로 보고하였다.

김경수 외(2007)는 석조문화재 및 주변지역의 산사태예측을 위한 연구체계를 정립하였으며, 국보급 석조문화재가 위치한 실상사 백장암주변에 대해 로지스틱회귀모델에 의한 산사태예측도를 작성하여 사면재해 가능성을 분석한 바 있다. 그 결과 백장암의 상부지역은 발생확률 70% 이상으로 산사태 발생가능성이 예측되어 집중호우시 지속적인 주의 관찰이 필요할 뿐만 아니라 보다 근본적인 사면재해 예방대책의 시행이 필요한 것으로 보고한 바 있다.

연구대상지역

연구대상지역은 강원도 양양군 강현면 둔전리 100-2의 진전사지가 위치해 있는 곳으로서 경위도상으로는 동경 128°32'41.5"~128°33'24.3", 북위 38°07'02.8"~35°07'29.7"의 범위에 해당한다. 진전사지에는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 국보 제122호인 진전사지삼층석탑과 보물 제439호인 진전사지부도가 위치해 있는 곳이다. 진전사지삼층석탑은 높은 지대석 위에 이중기단을 설치하고 삼층의 탑신을 조성한 통일신라 8세기 후반의 석조문화재이다. 그리고 진전사지부도는 팔각형의 탑신부를 구성하고 있으나 기단부가 석탑에서와 같이 방형 이중기단이라는 점이 특이한 점이다. 이들 두 석조문화재는 약 300미터의 거리를 두고 위치해 있다. 석탑은 부도보다 더 아래쪽에 위치해 있는데, 석탑과 바로 접하여 고도가 높고 경사 또한 비교적 가파른 산사면이 형성되어 있다.

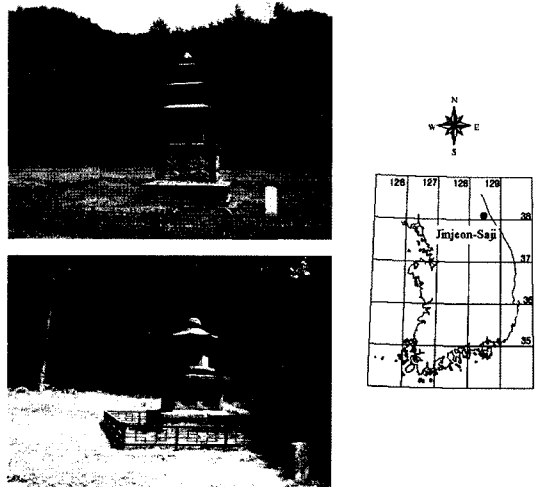


Fig. 1. The three-stories stone pagoda and stupa remains located in Jinjeon-Saji.

한편, 부도는 고도상으로 석탑보다 50여미터 높은 지점의 사면 내에 위치하고 있다. 이 연구에서 사면재해 가능성 분석을 위해 정밀조사를 실시한 곳은 진전사지지역으로서 진전사지삼층석탑과 진전사지부도를 포함하고 있으며, 이들 석조문화재가 산사태로 인해 직접적인 피해가능성이 있는지를 검토하였다.

산사태 예측기법 적용

Rid & Liang(1978)은 산사태를 조사할 때 4개의 기본적인 지표에 대하여 참고자료가 마련되어야 한다고 제안한 바 있는데, 그 4개의 기본적인 지표는 다음과 같다. 첫째는, 만약 적절한 시기에 적합한 조사가 진행되었다면 대부분의 산사태 혹은 잠재적인 사면활동은 예측이 가능하다는 것이다. 둘째는, 산사태를 예방하는데 소요되는 비용은 복구하는데 소요되는 비용보다 적다는 것이다. 셋째는, 대규모 산사태인 경우는 구조물의 피해 예방을 위해 소비하는 비용보다 매우 많은 복구비용이 소요될 것이다. 그리고 넷째는, 초기의 사면붕괴는 부가적인 불안정조건과 활동에 의해 일어난다는 것이다. 산사태는 지속적으로 변화되는 현상이기 때문에 현장조사만으로 모두를 알 수 없을 뿐만 아니라 쉽게 정의할 수도 없다. Johnson and DeGraff(1988)는 산사태를 조사할 때 조사의 체계화, 자료의 선별, 자료의 분석, 해석기법의 적용 및 결과토의의 5개 요소가 포함되어야 한다고 제안한 바 있다. 따라서 이들 5개 요소들을 포함하여 문화재 주변 자연사면의 산사태예측에 활용할 수 있는 산사태 조사 및 분석기법을 수립하였다. 한편, 이 기법은 이 연구의 궁극적인 목표라고 할 수 있는 문화재 주변의 산사태예측에 이용될 수 있을 것이다.

조사분석기법

산사태 조사, 분석 및 예측은 오랜 기간동안 산사태와 그 발생지역에 대한 연구에서 매우 중요한 부분으로 알려져 왔다(Philbrick & Cleaves, 1958; Sowers & Royster, 1978). 산사태를 조사할 경우에는 사면붕괴의 원인 및 형태의 확인이 직접적으로 이루어져야 하며, 실제 혹은 산사태에 대한 잠재적 예측이 필요하다. 산사태의 원인규명과 형태분류 및 예측 등은 산사태의 예방이나 복구를 위해 적합한 방안을 수립하는데 매우 중요하기 때문이다.

김경수 외(2007)는 산사태를 야기하는 여러 요소들을 반영하여 산사태를 조사, 분석 및 예측하는 과정을 체계

적인 현장조사단계, 현장특성 평가 및 분석단계, 산사태 예측기법 적용단계의 3단계로 구분하여 석조문화재 주변지역에 대한 산사태를 예측하고 평가하는 기법을 개발한 바 있다. 이 연구에서는 김경수 외(2007)에 의해 제안된 석조문화재 주변의 산사태 조사 및 해석기법을 적용하였다.

산사태예측모델

과거의 산사태예측은 대부분 연구자의 주관이 반영된 결정론적 방법에 의존하여 왔다. 그러나 산사태를 발생시키는 인자들이 매우 복잡할 뿐만 아니라 각 지역마다 산사태 발생원인과 인자들이 서로 다르게 나타남으로 인해 결정론적 방법에 의존한 산사태예측은 점차 줄어들게 되었다. 따라서 복잡한 산사태 발생인자들을 최대한 이용하고 이들 상호간의 특성을 고려한 확률론적 산사태예측모델을 적용하여 석조문화재 주변에 대한 산사태를 확률로써 예측하고, 사면재해 가능성을 등급별로 분류하였다.

이 연구에서 석조문화재 주변의 산사태예측을 위해 김원영 외(2003)에 의해 개발된 확률론적 산사태예측모델을 적용하였다. 이 모델은 화강암 및 편마암 지질조건에서 이틀간 누적강우량이 약 250 mm일 때 산사태가 집중적으로 발생된 지역을 대상으로 하여 개발된 것이다. 이 모델에서는 암질, 입도, 간극율, 단위중량, 투수계수, 고도 및 사면경사의 7개변수를 이용하여 산사태 발생확률을 계산하게 된다.

연구대상지역으로부터 수집한 지질자료, 지형자료 및 토질자료를 이용하여 각각의 변수들에 대한 주제도를 작성하고 이를 중첩시켜 산사태예측도를 작성하고 발생가능성을 확률로 표현하였으며, 발생확률 70% 이상인 지역은 산사태 발생가능성이 높은 지역으로 간주하였다.

산사태 영향요소 분석

지형지질

연구대상지역은 양양군 강현면 둔전리의 서측에 위치한 설악산자락의 송암산(767.4 m)으로부터 동남방향으로 이어지는 능선의 남서측 하부에 자리하고 있다. 지형은 매우 험준하여 고도가 높고 사면경사 또한 급한 편이다. 지질은 이 지역일대에 폭넓게 분포하는 조립질 내지 중립질의 흑운모화강암으로서 반상변정 화강암질편마암과 호상편마암이 서로 경계를 이루고 있다.

Fig. 2는 연구대상지역의 사면경사와 고도를 나타낸

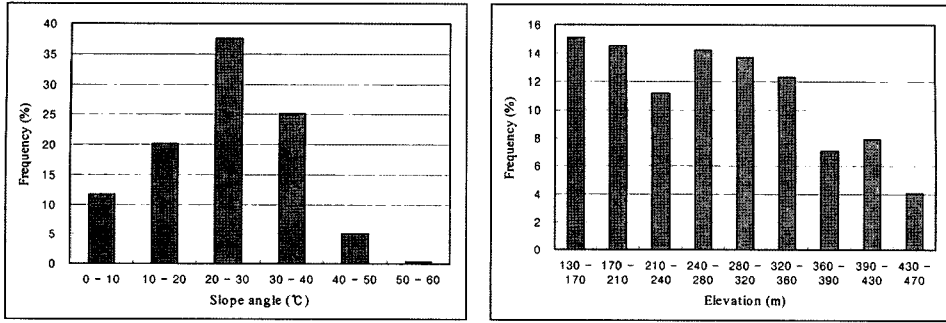


Fig. 2. The distribution of slope angle and elevation in the study area.

것이다. 그림에서 보는 바와 같이 연구대상지역 내 자연 사면을 구성하는 사면경사는 0~20° 범위의 낮은 경사도를 갖는 사면이 전체사면 34,569 m²의 약 31.80%인 10,979 m² 정도를 차지하였다. 산사태의 주요 대상이 되는 20~40°의 사면경사는 62.80%인 21,694 m²로서 넓은 면적분포비율을 보였다. 그리고 높은 경사도인 40° 이상의 사면경사는 전체면적의 5.4%로서 약 1,896 m² 정도인 것으로 분석되어 대체적으로 급한 경사도를 가지는 사면지역임을 알 수 있다. 사면고도의 경우 해발고도는 130 m 이상으로서 최고 470 m에 이르기까지 경사도에 따른 분포비율이 거의 유사하였으나 높은 고도에 이를 수록 면적분포비율이 낮아지는 것으로 분석되었다. 그리고 전체적으로 볼 때 지형고도가 대체로 높은 지역임을 알 수 있다.

토질특성

자연사면 토층의 물리적 및 공학적 특성을 파악하기 위하여 총 10개소에서 토층시료를 채취하였다. 시료는 연구대상지역에 분포하고 있는 지질과 지형조건 및 토층분포 등을 반영하고 가급적 단위면적당의 밀도비를 고려함으로써 토층의 특성이 균등하게 반영될 수 있도록 하였다. 원지반의 토층시료는 표도를 제거한 후 40~60 cm 정도의 깊이에서 스테인레스로 제작된 원통형 샘플러 (stainless ring sampler)를 이용하여 채취하였으며, 실내시험을 통해 밀도, 함수비, 입도분석, 액성한계, 소성한계, 단위중량, 간극비, 간극율, 포화도 및 투수계수를 산정하였다.

Fig. 3은 통일분류법에 의한 연구대상지역 자연사면 토층에 대한 토질분류를 그림으로 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 연구대상지역의 토층시료는 모두 모래질토로 구성되어 있음을 알 수 있는데, 전체시료의 60% 정도는 SW로서 입도가 양호하고 20% 정도는 SP

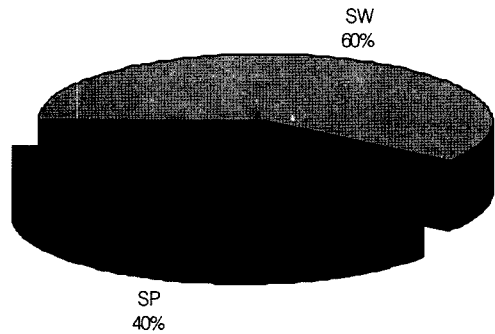


Fig. 3. Unified soil classification system of soils in the study area.

로서 불량한 입도조성을 보이는 것으로 나타났다. 한편, 밀도는 2.61~2.64의 범위로서 평균 2.63인 것으로 나타났는데, 이는 일반적인 모래의 비중과도 유사하다.

Fig. 4는 연구대상지역 자연사면 토층시료에 대한 간극율과 건조단위중량을 나타낸 것으로, 간극율은 38.28~59.81% 범위로서 평균 49.88%, 간극비는 0.62~1.49의 범위로서 평균 1.10이며, 건조단위중량은 1.04~1.63 t/m³의 범위로서 평균 1.28 t/m³의 값을 갖는다. 이들 결과로 보아 연구대상지역 자연사면의 토층은 비교적 조밀한 상태에 있음을 알 수 있다. 액성한계는 26.65~37.82%의 범위로서 평균 30.45%이고 소성지수는 16.38~23.14%의 범위로서 평균 18.67%인 것으로 나타났다.

한편, 입도분석결과에 의하면 모래크기 입자의 함유비율은 80.16~97.54%의 범위에 있으며, 평균 86.12%로서 토층사면은 거의 대부분이 모래질로 구성되어 있음을 알 수 있다. 그리고 자갈크기 입자의 함유비율은 평균 10.72%로서 비교적 높은 함유비율이며, 실트 및 점토크기 입자의 함유비율은 평균 3.17%인 것으로 나타나 전반적으로 조립질의 입도특성을 보이는 것으로 분석되었다.

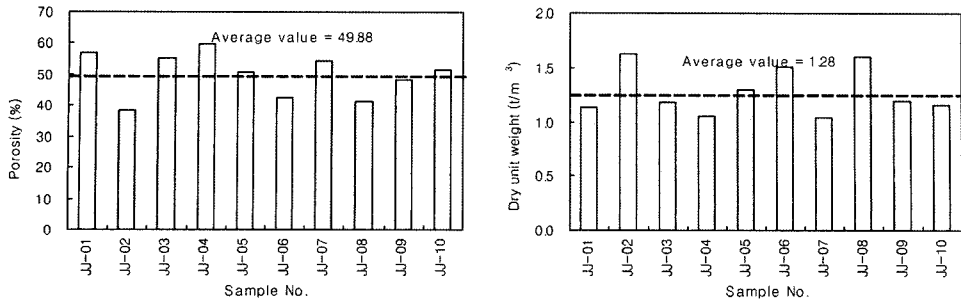


Fig. 4. Porosity and dry unit weight of soils in the study area.

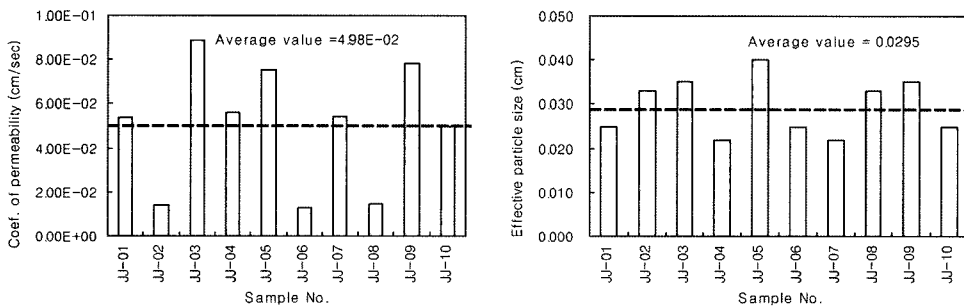


Fig. 5. Coefficient of permeability and effective particle size of soils in the study area.

Fig. 5는 각 위치별 토층시료의 투수계수와 유효경을 나타낸 것으로, 투수계수는 $1.28 \times 10^{-2} \sim 8.88 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ 범위로서 평균 $4.98 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ 의 값을 갖는다. 투수계수 시험결과에 의한 평균치를 근거로 하였을 경우 연구대상지역 자연사면 토층은 Braja(1983)에 의해 제안된 굵은 모래지반의 투수계수에 해당된다. 유효경은 0.02~0.04 mm 범위로서 평균 0.03 mm의 값을 갖는다. 그리고 투수계수와 비교하였을 경우 대체적으로 유효경이

크게 측정된 토층시료가 투수계수 또한 크게 나타나는 경향성을 보였다.

사면재해 가능성 분석

연구대상지역에서 획득한 자료를 토대로 산사태예측도를 작성하여 산사태 발생확률을 산정하고 사면재해 가능성을 분석하였다. 연구대상지역은 총 34,569 m²로서 각 주제도를 연산하여 작성된 최종 산사태예측도는 Fig. 6과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 연구대상지역은 총적층



Fig. 6. The landslide probability map in the study area.

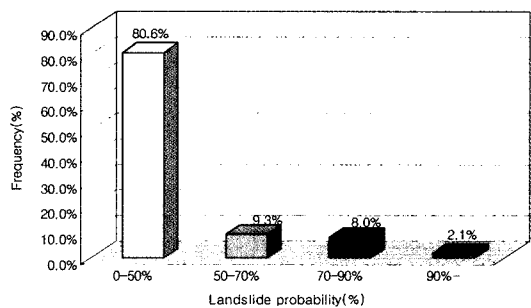


Fig. 7. The grading distribution according to the probability of landslides in the study area.

Table 1. The distribution of area according to the probability of landslides in the study area.

Probability of landslides(%)	Area(m ²)	Ratio(%)
0~50	27,865	80.6
51~70	3,215	9.3
71~90	2,779	8.0
91~100	710	2.1
계	34,569	100

을 제외한 전체면적의 80.60%가 산사태 발생확률 50% 미만인 것으로 예측되었다. 또한, 51~70%의 발생확률을 갖는 면적은 9.3%로서 3,215 m² 정도이고, 발생확률 70% 이상으로 산사태가 발생할 가능성이 높은 지역은 대상면적의 10.1%인 3,489 m² 정도로 비교적 넓은 면적비율을 나타내었다(Fig. 7 및 Table 1).

진전사지삼층석탑과 진전사지부도에 영향을 미칠 수 있는 지역은 80.6%가 산사태 발생확률 50% 이상인 지역에 해당된다. 진전사지부도의 상부사면은 발생확률 50% 미만으로 분류되는 곳이 대부분이나 발생확률 70% 이상으로 분류되는 높은 고도의 산사면에서 산사태가 발생할 경우에는 진전사지부도에 사태물질로 인한 피해가능성이 예상된다. 또한, 진전사지삼층석탑의 상부사면은 산사태 발생가능성이 있는 영역으로 분류되는 발생확률 70% 이상지역의 분포비율이 높을 뿐만 아니라 지형적으로도 비교적 급경사면을 이루고 있어 산사태가 발생할 경우에 사태물질로 인한 피해가능성이 있는 지역으로 분류된다. 이처럼 연구대상지역은 산사태로 인한 피해가능성이 예상되는 지역으로 분류되기 때문에 이에 대한 대비가 필요함에도 석조문화재가 특별한 보호시설 없이 산지에 방치되어 있는 실정이다. 따라서 산사태로 인한 피해가능성이 예측되는 석조문화재에 대해서는 항구적인 보존방안이 필요하며 특히, 진전사지삼층석탑에 대해서는 상부 산사면에서 산사태가 발생할 경우를 대비하여 적절한 보호대책이 강구되어야 할 것으로 사료된다.

결 론

이 연구에서는 석조문화재인 국보 제122호 진전사지삼층석탑과 보물 제439호 진전사지부도가 위치에 있는 진전사지 주변에 대한 사면재해 가능성을 분석하였다. 석조문화재 및 그 주변지역에서의 산사태사례, 지질분포, 지형특성 및 토질특성 등 수집된 자료들을 산사태 조사 및 해석기법과 예측모델에 적용하여 산사태 발생가능성을 예측하였다. 조사 및 해석기법에 의한 결과와 로지스

틱회귀모델에 의해 작성된 산사태예측도를 토대로 산사태에 취약한 지역을 등급별로 분류하고 산사태발생시 석조문화재와 그 주변의 사면재해 가능성을 분석하였다.

1) 연구대상지역에서 층적층을 제외한 전체면적의 10.1%인 3,489 m² 정도는 발생확률 70% 이상으로서 산사태가 발생할 가능성이 높은 지역으로 분류되었다.

2) 진전사지부도의 상부사면은 대부분 산사태 발생확률이 50% 미만이나 발생확률 70% 이상으로 분류되는 높은 고도의 산사면에서 산사태가 발생할 경우 사태물질로 인해 진전사지부도에 피해가능성이 예상된다.

3) 진전사지삼층석탑의 상부사면은 산사태 발생확률 70% 이상의 분포비율이 높을 뿐만 아니라 지형적으로도 비교적 급경사면을 이루고 있어 산사태가 발생할 경우에 사태물질로 인한 피해가능성이 있는 지역으로 분류된다.

4) 따라서 집중호우시 연구대상지역에 대한 지속적인 주의 관찰이 필요하며 특히, 진전사지삼층석탑에 대해서는 적절한 보호대책과 함께 근본적인 사면재해 예방대책의 시행 등을 통한 중요 석조문화재의 항구적 유지보존의 필요성이 요구된다.

사 사

이 연구는 소방방재청 “자연재해저감기술개발사업(과제명: 산사태 피해규모 정량화 및 최적 피해저감 기술개발)” 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 김경수, 이춘오, 송영석, 조용찬, 김만일, 채병곤, 2007, 산사태예측도에 의한 석조문화재 주변의 산사태재해 가능성 분석, *지질공학*, 17(3), 411-418.
- 김원영, 채병곤, 김경수, 조용찬, 최영섭, 이춘오, 이철우, 김구영, 2003, 산사태 예측 및 방지기술 연구, *과학기술부*, 326p.
- 이종윤, 박형동, 2004, 경주 남산 냉골 상선암 마애여래 대좌상부 암반사면 낙석의 위험성 분석, *한국지구시스템공학회지*, 41(1), 26-38.
- Braja M. D., 1983, *Advanced Soil Mechanics*, The University of Texas at El Paso, 1-69.
- Canuti, P., Casagli, N., Falorni, G. and Fanti, R., 2001, *The IGCP-425 Project on Landslide Hazard in Cultural Heritage Sites: General Framework and European Experiences*, 1-8.
- Grief, V., Sassa, K. and Fukuoka, H., 2006, Failure mechanism in an extremely slow rock slide at Bitchu-Matsuyama castle site (Japan), *Landslides*, 3(1), 22-38.

Johnson, R. B. and DeGraff, J. V., 1988, Principle of Engineering Geology, John Wiley and Sons, New York, 497p.

Philbrick, S. S. and Cleaves, A. B., 1958, Field and laboratory investigations, in Special Report 29: Landslide and Engineering Practice, HRB(now TRB), National Research Council, Washington D.C., 93-111.

Rid, H. T. and Liang, T., 1978, Recognition and Identification, in Special Report 176: Landslide: Analysis and Control, TRB, National Research Council, Washington D.C., 34-80.

Sowers, G. F. and Royster, D. L., 1978, Field investigation, in Special Report 176: Landslide: Analysis and Control, TRB, National Research Council, Washington D.C., 81-111.

2008년 8월 10일 원고접수, 2008년 9월 16일 게재승인

김경수

한국지질자원연구원 지질환경재해연구부
305-350 대전광역시 유성구 과학로 92
Tel: 042-868-3054
Fax: 042-861-9723
E-mail: kks@kigam.re.kr

송영석

한국지질자원연구원 지질환경재해연구부
305-350 대전광역시 유성구 과학로 92
Tel: 042-868-3035
Fax: 042-861-9723
E-mail: yssong@kigam.re.kr

조용찬

한국지질자원연구원 지질환경재해연구부
305-350 대전광역시 유성구 과학로 92
Tel: 042-868-3059
Fax: 042-861-9723
E-mail: choych@kigam.re.kr

정교철

안동대학교 지구환경과학과
760-749 경북 안동시 송촌동 388번지
Tel: 054-820-5753
Fax: 054-822-5467
E-mail: jeong@andong.ac.kr