실상사 백장암 주변 자연사면에 대한 산사태 예측

송영석[1)]* · 김경수[1)] · 조용찬[1)] · 이춘오[1)]

1. 서 론

석조문화재 주변의 환경적인 요인들이 복잡하게 작용하여 석조문화재에 대한 손상이 발생된다(Riederer, 1973). 따라서 석조문화재의 손상을 일으키는 외적요인 즉, 산사태, 지진 등과 같은 자연재해에 대한 위험성 예측 및 평가가 반드시 수행되어야 한다.

우리나라의 석조문화재는 대부분 산지에 분포하고 있으며, 이러한 석조문화재의 경우 산사태 발생시 막대한 피해가 발생될 수 있다. 따라서 석조문화재 주변 자연사면에 대하여 산사태로 인한 위험성을 예측하는 것이 반드시 필요하다. 그리고 산사태로 인한 위험성이 크다고 판단될 경우 이에 대한 대책공법이 마련되어야 할 것이다.

본 연구에서는 석조문화재가 존재하고 있는 실상사 백장암 주변에 대한 산사태 발생가능성을 예측하고자 한다. 자연사면에 대한 산사태 발생예측은 통계적 방법 가운데 하나인 로지스틱 회귀분석을 통하여 수행한다. 로지스틱 회귀분석을 통한 산사태 예측방법은 김원영 외 7인(2003)에 의하여 개발되었다. 이를 위하여 현장조사를 실시하고, 시료를 채취하여 각종 토질시험을 실시하였다. 이를 토대로 로지스틱 회귀분석을 실시하여 산사태 발생위치를 예측하고, 이에 대한 산사태 예측도를 작성하고자 한다.

2. 사례현장

본 연구의 사례현장은 전북 남원시 산내면 대정리에 위치한 실상사 백장암지역으로서 그림 1에서 보는 바와 같이 석조문화재로는 국보 제10호인 실상사 백장암 3층석탑과 보물 제40호인 실상사 백장암 석등이 있다.

이 지역은 전북 남원시 산내면 중황리 및 대정리 북측에 위치한 삼봉산(1,185.7m)으로부터 바래봉(1,165m)으로 이어지는 능선의 772.5m 봉우리의 동남방향에 위치하고 있다. 지형은 매우 험준하여 고도가 높고 사면경사가 급하다. 대상지역의 사면고도는 해발고도를 기준으로 약 370m이상에 해당하며, 사면경사는 20~40° 범위의 경사가 전체사면의 약 75%를 차지하는 것으로 나타났다. 지질은 삼봉산을 중심으로 거의 동서방향으로 흑운모편마암이 분포하고 있으며 엽리가 잘 발달되어 있다.

이 지역에서는 2002년 8월 31일~9월 1일 사이에 태풍 '루사'의 영향으로 최대일강우량 651mm 및 누적강우량 702mm의 집중호우가 발생되었으며, 이로 인하여 많은 산사태가 발생되었다. 현장조사결과 백장암 주변에서 총 47개 산사태가 발생한 것으로 확인되었다. 전반적으로 사면고도 70% 이상인 높은 고도의 토층사면에서 원호형, 준원호형, 또는 전이형 산사태로 시작되었으며, 사태물질들이 하부로 이동되면서 유동성 산사태로 변화되는 양상을 보였다.

백장암 삼층석탑과 석등에 피해를 입혔던 칠성각 뒤편의 산사태는 2002년 8월 31일 17시경에 발생되었다. 이 산사태는 길이 약 100m, 폭 20m 정도이고 깊이는 1m 이내로 추정되어 중간정도 규모의 산사태인 것으로 조사되었다. 이 산사태로 인하여 최소 100㎥ 이상의 사태물질이 삼층석탑 및 석등의 하부까지 이동하여 큰 피해가 발생되었다. 피해상황으로는 선원건물

주요어 : 석조문화재, 백장암, 산사태 예측도, 로지스틱 회귀분석, 토질특성

1) 한국지질자원연구원 지질환경재해연구부 산사태재해연구팀 (yssong@kigam.re.kr)

1동, 칠성각 1동, 요사채 1동이 전파되었고 축대 및 담장 100m 가량이 붕괴되었다. 그림 2은 칠성각 뒤편사면에서 발생된 산사태로 인해 백장암 내 건물들과 석조문화재 주변의 피해상황을 나타낸 것이다.

그림 1. 백장암 삼층석탑(우) 및 석등(좌)

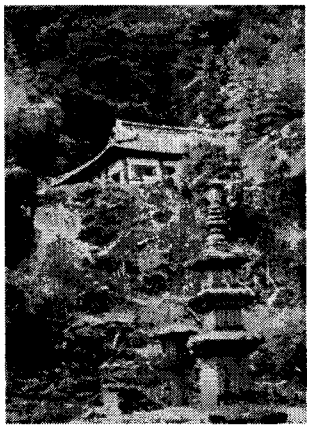

그림 2. 산사태 발생모습

3. 토질특성

본 연구에서는 백장암지역 주변 자연사면을 대상으로 토질의 물리적 및 공학적 특성을 파악하기 위하여 총 15개소에서 시료를 채취하였다. 원지반의 토층시료는 표토를 제거한 후 40~60㎝정도의 깊이에서 불교란 및 교란시료로 구분하여 채취하였다. 이와 같이 채취된 토질시료를 대상으로 각종 토질시험을 실시하였다.

백장암지역의 토층시료에 대한 입도분석결과에 의하면 모래의 함유비는 평균 82.9%로서 토층시료의 거의 대부분이 모래질로 구성되어 있음을 알 수 있다. 그리고 자갈크기 입자의 함유비는 평균 10.6%로서 매우 높은 편이며, 실트 및 점토의 함유량은 평균 6.5%인 것으로 나타났다. 대상지역의 토층은 통일분류법에서 SW 혹은 SP로 분류되며, 이중기호로 SC를 같이 표기할 수 있다. 대상지역 토층시료의 비중은 2.59~2.65범위에 있으며, 평균 2.62인 것으로 나타났다. 그리고 건조단위중량은 1.10~1.32t/㎥ 범위에 있으며, 평균 1.21t/㎥이므로 대체로 느슨한 상태에 있음을 알 수 있다. 토층시료의 투수계수는 2.78×10^{-3}~2.77×10^{-2} cm/sec범위이고, 평균 1.17×10^{-2}cm/sec의 값을 갖는다. 평균치를 근거로 하였을 경우 Das(1990)에 의해 제안된 굵은 모래의 투수계수에 해당된다.

4. 산사태 예측

대상지역에 대한 산사태 예측을 위하여 김원영 외 7인(2003)에 의해 개발된 산사태 예측모델을 적용하였다. 이 모델에서는 암질, 건조단위중량, 입도분포, 투수계수, 공극률, 고도, 사면경사의 7개 변수를 이용하여 산사태 발생확률을 계산하게 된다. 대상지역에서 획득한 토질특성, 지형분석 자료를 이용하여 각각의 변수에 대한 주제도를 작성하고 이를 중첩시켜 산사태 예측도를 작성하였다. 작성된 산사태 예측도에서 발생확률 70% 이상인 지역은 산사태 발생가능성이 높은 지역으로 간주할 수 있다.

그림 3은 실상사 백장암 주변 자연사면에 대한 산사태 예측도를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 백장암 지역은 전체면적의 97%가 산사태 발생확률이 50% 미만인 것으로 예측되어 전체적으로 산사태에 안정적인 지역으로 분류된다. 또한, 50~70%의 발생확률을 갖는 면적은 1.9%이고, 발생확률 70% 이상으로 산사태가 발생될 가능성이 높은 지역은 대상면적

의 1.1%로 비교적 적은 면적을 나타내었다. 그러나 산사태 발생확률 70%이상으로 산사태 발생가능성이 높은 지역은 모두 석조문화재가 위치한 백장암 상부지역에 밀집되어 있어 산사태로 인한 피해가 발생될 가능성이 높은 것으로 나타났다. 그리고 2002년 태풍 '루사'에 의한 집중호우로 인하여 백장암 주변에 많은 산사태가 발생된 바 있으며, 백장암에 직접적인 산사태 피해가 발생된 바 있다. 따라서 강우시 대상지역에 대한 지속적인 주의관찰이 요망되며, 보다 근본적인 산사태 보강대책이 마련되어야 할 것이다.

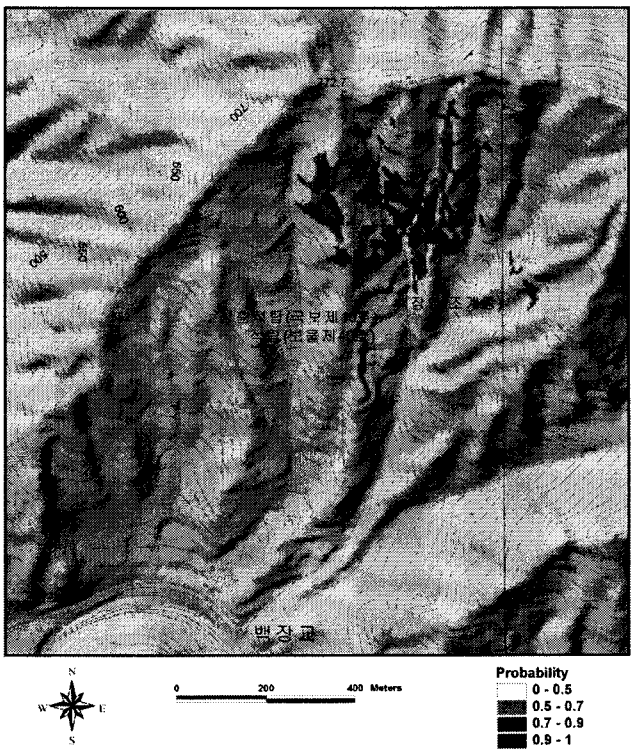

그림 3. 실상사 백장암 주변 산사태 예측도

5. 결 론

본 연구에서는 석조문화재인 국보 제10호 실상사 백장암 3층석탑과 보물 제40호 석등을 보유하고 있는 실상사 백장암 주변에 대한 산사태 발생가능성을 예측하였다. 대상지역에서 획득한 토질특성, 지형분석 자료를 이용하여 로지스틱 회귀분석을 통한 산사태 예측을 실시하였다. 산사태 예측결과 발생확률 70% 이상으로 산사태가 발생될 가능성이 높은 지역은 대상면적의 1.1%로 비교적 적은 면적을 나타내었다. 그러나 산사태 발생확률 70%이상으로 산사태 발생가능성이 높은 지역은 백장암 상부지역에 밀집되어 있으므로 산사태 발생시 이로 인한 피해가 높을 것으로 판단된다. 따라서 강우시 대상지역에 대한 지속적인 주의관찰이 요망되며, 보다 근본적인 산사태 보강대책이 마련되어야 할 것이다.

6. 감사의 글

본 연구는 국립문화재연구소에서 지원하는 "석조문화재 재해예방시스템 구축" 연구의 일환으로 수행되었습니다.

7. 참고문헌

김원영, 채병곤, 김경수, 조용찬, 최영섭, 이춘오, 이철우, 김구영, 2003, 산사태 예측 및 방지 기술 연구, 과학기술부, p.339.

Das, B.M., 1990, Principles of geotechnical engineering, PWS-KENT, Boston.

Riederer, J., 1973, Staub-Reinhart, Luft, 33, 5.