

강원지역 산사태발생지의 산불발생이력과 강우특성에 관한 분석

Analysis on the effect of the forest fire and rainfall on landslide in Gangwon area

전경재¹⁾, Kyoung-Jea Jun, 이승우²⁾, Seung-Woo Lee, 윤찬영³⁾, Chan-Young Yune

¹⁾ 강릉대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Kangnung National University

²⁾ 강릉대학교 토목공학과 부교수, Associate Professor, Dept. of Civil Engineering, Kangnung National University

³⁾ 강릉대학교 토목공학과 전임강사, Full-time Lecturer, Dept. of Civil Engineering, Kangnung National University

SYNOPSIS : Recently, unusual change of weather occurred in world wide region causes localized heavy rainfall and consequently disasters like landslide and debris flow in steep slope area. And the main factors of these disasters are rainfall and forest fire. To verify the existing landslide prediction and warning system, information about landslide and rainfall were collected for a data base system and analysed.

Keywords : landslide, rainfall, forest fire, data base, landslide prediction

1. 서론

국내의 사면붕괴 및 토석류는 주로 매년 7월~9월 태풍 및 집중호우가 발생하는 시기에 집중적으로 유발되며, 그 형태는 도로면에 인접한 절취사면의 붕괴, 자연사면에서의 산사태, 그리고 주택지의 축대 및 옹벽붕괴 등으로 대별될 수 있다. 그러나 최근의 전 세계적인 기상이변은 국지성 집중호우 등을 유발, 계절과 무관하게 강우지역을 중심으로 사면재난 피해를 발생시키고 있다.(국립방재연구소, 2004) 이러한 여름철에 집중된 사면재난 피해의 요인은 강우, 지진 등의 자연적인 활동과 산불, 벌목, 절·성토 사면의 생성 등의 인위적인 활동으로 인해 발생하지만 다른 어떤 요인보다 강우와 사면붕괴 및 토석류의 관계를 규명하는 것이 중요하다. 또한 산불은 사면의 불안정을 초래하여 사면붕괴 및 토석류를 발생시키는 것으로 알려져 있어 산불발생지역과 그렇지 않은 지역의 사면취약정도를 강우와 사면붕괴이력의 비교 분석을 통해 관계를 규명하는 것도 중요하다. 하지만 아직까지 국내에서 그 원인 및 발생거동에 대한 체계적인 연구는 부족한 실정이다.

본 연구에서는 2002년 이후의 강원 지역 500여개 도로재해대장 자료와 기존 문헌 및 보도자료 등을 근간으로 산사태 발생지역을 선정하고 산사태 발생지의 강우특성에 관한 분석을 실시하였다. 산사태 발생지의 산사태발생시우량-일강우 관계와 산사태발생이전 최대시우량-일강우 관계를 분석하였고, 제시된 시우량과 일강우 관계를 산불발생 이력이 있는 위치와 이력이 없는 위치로 나누어 분석하여 산사태를 유발하는 강우의 특성과 산불이력과의 관계를 파악하였다. 또한 이를 산림청의 산사태주의보 및 산사태경보 기준과 비교하여 산사태에 대한 지역별 강우 민감성을 분석하고 기존 산사태 예보기준의 합리성을 확인하였다.

2. 산사태발생지 선정 및 DB 구축

2002년 태풍 루사, 2003년 태풍 매미, 2006년 집중호우로 인하여 전국적으로 많은 사면붕괴 및 토석

류가 발생하였으며 그 피해는 특히 강원지방에 집중되어 나타났다. 이렇게 피해 규모가 컸던 2002년, 2003년, 2006년의 재해에 대하여 실제 인명과 재산에 직접적인 피해를 주었던 사례위주로 자료수집을 하기 위하여 강원지방의 도로재해대장 자료 500여개와 기존 문헌(국립방재연구소, 2002) 및 보도자료 중 사면붕괴에 관련된 발생일과 시간자료가 모두 기록된 자료만을 분석에 사용하였다. 이렇게 선택된 총 107개의 자료 중 발생당시 기상장비의 오류로 강우자료가 없거나, 기상청 강우자료의 관측소위치와 발생위치, 발생시간이 중복되는 32개의 자료를 제외한 2002년 6개, 2003년 26개, 2006년 43개, 총 75개의 사면붕괴자료의 발생위치를 근간으로 산사태발생지를 선정하였다.

산사태발생지로 선정된 75개 지역에 대하여 발생위치와 발생일시, 기상청의 관측소별 시우량 자료, 1998년~2007년 강원지역 산불발생 현황을 근간으로 표 1의 예와 같이 데이터 베이스를 구축하였다. 이때 산사태발생지의 강우량은 발생위치로부터 가장 가까운 기상청의 관측소를 선택하여 이로부터 시우량 자료를 수집하고, 수집된 자료를 분석하여 발생시 시우량, 발생시 일강우량, 발생이전 최대시우량 등의 데이터를 추출하였다.

표 1. 산사태 발생지의 산불발생이력과 강우 분석 자료 정리 예

| 발생위치 | 발생일시 | 발생시 시우량 | 발생시 일강우량 | 발생이전 최대시우량 | 산불이력 | 관측소 |
|-------------|---------------|---------|----------|------------|------|---------|
| 강릉시 강동면 임곡리 | 02.8.31 11:00 | 25.0 | 285.0 | 78.5 | '00 | 강릉(105) |

3. 산사태 발생지의 산불발생이력과 강우특성 분석

3.1 강우량 - 산사태 관계

국내 산사태 예보는 연속강우량, 2일연속강우량, 시우량, 일강우량을 근간으로 기준치를 정하여 사용되어 지고 있다. 홍원표(1990)는 2일 누적강우량이 40mm, 최대시간 강우강도가 10mm일 경우 소규모, 2일 누적강우량이 80mm이상, 최대시간 강우강도가 15mm일 경우 중규모, 2일 누적강우량이 140mm, 최대시간 강우강도가 35mm이상 일 경우 대규모 산사태가 발생확률이 높다고 하였다. 산림청에서는 표 2와 같이 시우량, 일강우량, 연속강우량 등을 종합하여 산사태 주의보 및 산사태 경보를 발령하고 있다.

표 2. 산림청의 산사태 예보 기준치

| 구분 | 시우량 | 일강우량 | 연속강우량 |
|---------|---------|----------|-----------|
| 산사태 주의보 | 20~30미만 | 80~100미만 | 100~200미만 |
| 산사태 경보 | 30이상 | 150이상 | 200이상 |

3.1.1 산사태 발생시 시우량 - 일강우량 관계

본 연구에서 구축된 자료를 토대로 산사태 발생시 시우량과 일강우량의 관계를 도시하면 그림 1과 같다. 이 그림에서 지역적 특색은 뚜렷이 관찰되지 않지만, 특이하게도 대부분의 지역(47개 지역, 62.7%)에서 산사태 발생시의 강우량이 산림청의 산사태 주의보 기준에도 미치지 못하는 것으로 나타난다. 이는 산사태 발생시의 강우량보다 그 이전의 선행강우량이 실제 산사태 발생에 더 큰 영향을 줄 수 있다는 의미이며, 이에 대한 분석을 위하여 산사태 발생이전 최대 시우량과 일강우량의 관계로 분석을 수행하여보았다.

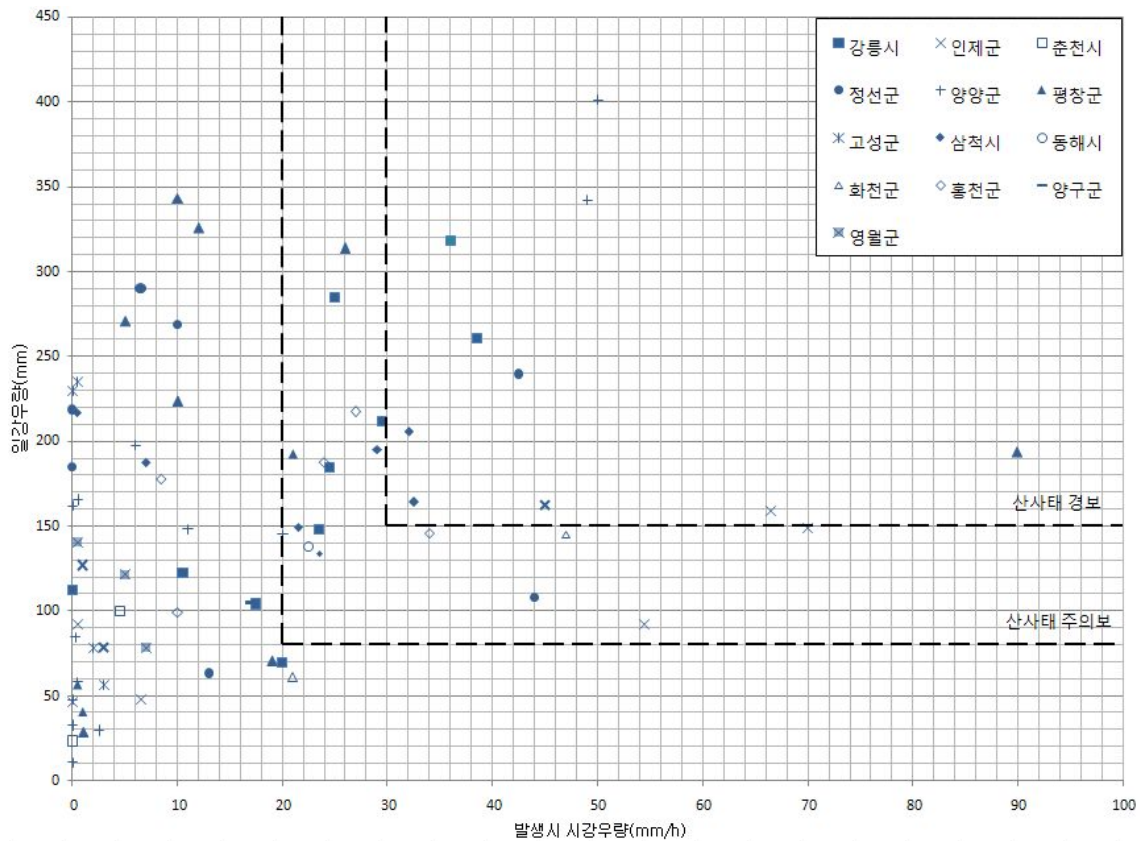


그림 1. 발생시시우량-일강우량 관계

3.1.2 산사태 발생이전 최대시우량 - 일강우량 관계

산사태 발생이전 최대시우량과 일강우량 관계를 정리한 결과는 그림 2와 같다. 이 그림에서 실제 산사태가 발생하였음에도 강우량은 산사태 주의보 기준에도 미치지 못하는 경우는 24개 지역(32.0%)으로 감소하여 나타났다. 즉 대부분의 지역(51개 지역, 68.0%)에서는 산사태 주의보 혹은 산사태 경보가 발령된 이후에 산사태가 발생한 것으로 파악할 수 있다. 단, 산사태 주의보나 경보가 발령되었을 때 이를 얼마동안 지속시켜야 하는가에 대해서는 앞으로 추가적 분석과 연구가 필요할 것으로 판단된다. 특히 그림 1의 결과를 보면 비록 선행강우로 인하여 산사태 주의보나 경보가 발령되었더라도 실제 산사태 발생 시에는 시강우량 2mm/hr이하로 거의 강우가 없는 경우가 많다. 즉, 산사태 예보로 인하여 대피하거나 주의태세를 갖추었다가 이후 비가 그치고 짐으로 돌아오거나 주의태세가 해제되었을 때 산사태 발생으로 큰 피해가 발생할 위험성이 높은 것으로 판단된다.

그림 2의 분석을 통하여 산림청의 산사태 예보 기준이 대부분의 지역에서 산사태를 예측할 수 있었지만 여전히 전체 발생지역의 32%에서는 산사태를 예보하지 못한다는 문제점을 확인할 수 있다. 이에 대한 깊이있는 분석을 위하여 3.2절에 산발발생이력을 고려한 분석을 추가적으로 실시하였다.

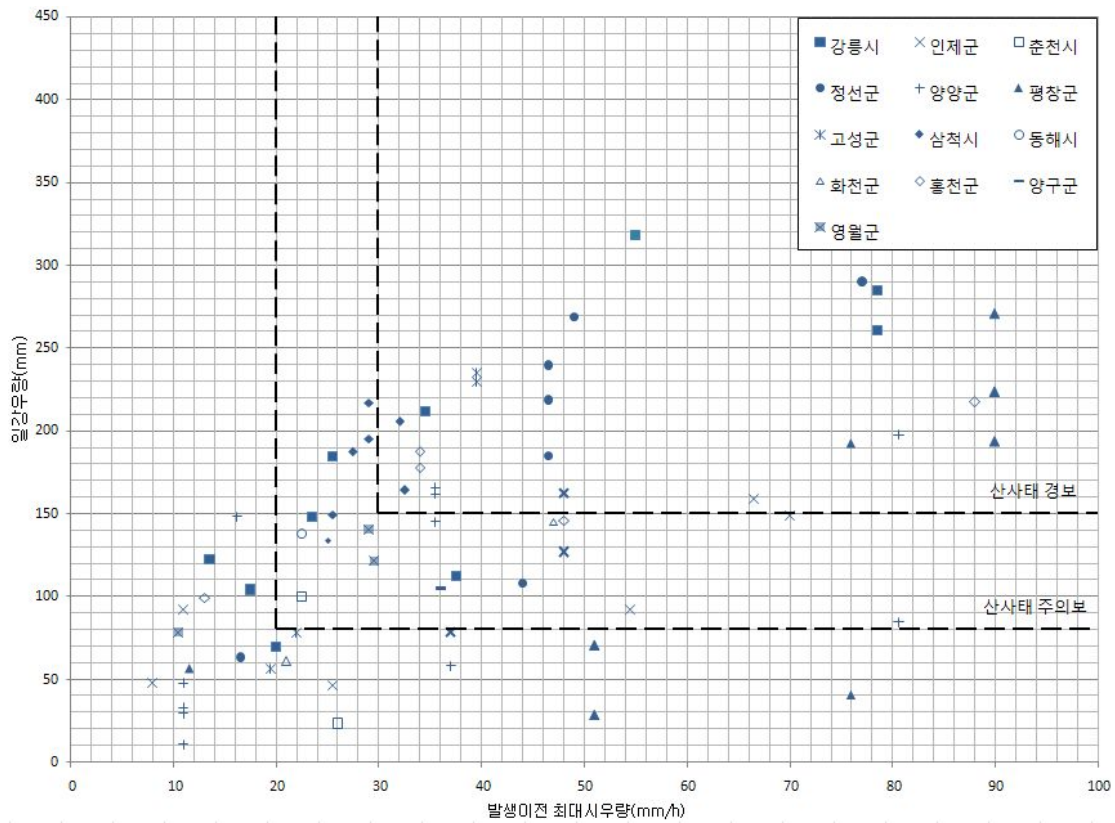


그림 2. 발생이전 최대시우량-일강우량 관계

3.2 산불발생지와 강우 관계

산불은 지표의 토양을 지지하는 수목을 유실시키고, 강한 열 때문에 지표 특성을 변화시켜 토사유출을 심화시키며 토석류 발생을 가중시키는 것으로 알려져 있으나(Pak, 2005), 국내에서 이에 대한 체계적 연구는 매우 부족한 실정이다. 그림 2의 결과에서 산불발생이력이 있는 위치를 선별하여 그림 3으로, 산불발생이력이 없었던 위치를 그림 4로 정리하였다.

그림 3에서 기존의 전체 75개 자료 중 산사태 발생이력이 있는 위치는 35개 지역이며 이 중 산사태주의보 기준에도 미치지 못하는 지역은 14개(40%)이다. 반면에 그림 4의 40개 지역 중 산사태주의보 기준에도 미치지 못하는 지역은 10개(25%)로 산불 발생이력에 따라 그 차이가 현저하게 나타난다. 또한 산불발생지역은 산사태 발생에 대하여 일강우량 및 최대 시우량이 모두 작은 것으로 나타난 반면 산불발생이력이 없는 지역은 비교적 산사태주의보 기준에 근접하여 나타난다. 따라서 만약 산사태주의보 기준을 일강우량 50mm, 최대시우량 15mm/hr로 한다면 산불발생이력이 없는 지역은 대부분의 지역(37개, 92.5%)이 산사태 주의보 기준에 들어가지만, 산불발생지역은 24개 지역(68.6%)만이 산사태주의보 기준에 포함되어 31.4%의 지역에 대해서는 여전히 산사태예보가 불가능한 것으로 나타났다.

이러한 연구결과를 바탕으로 보았을 때 산불발생이 산사태 재해에 미치는 영향이 매우 크며 따라서 산불지역에 대해서는 산사태, 토석류 재해에 대하여 차별적 연구가 필요하다. 또한 산불발생지역에 대해서는 향후 독립적인 예보기준 확립이 절실한 것으로 판단된다.

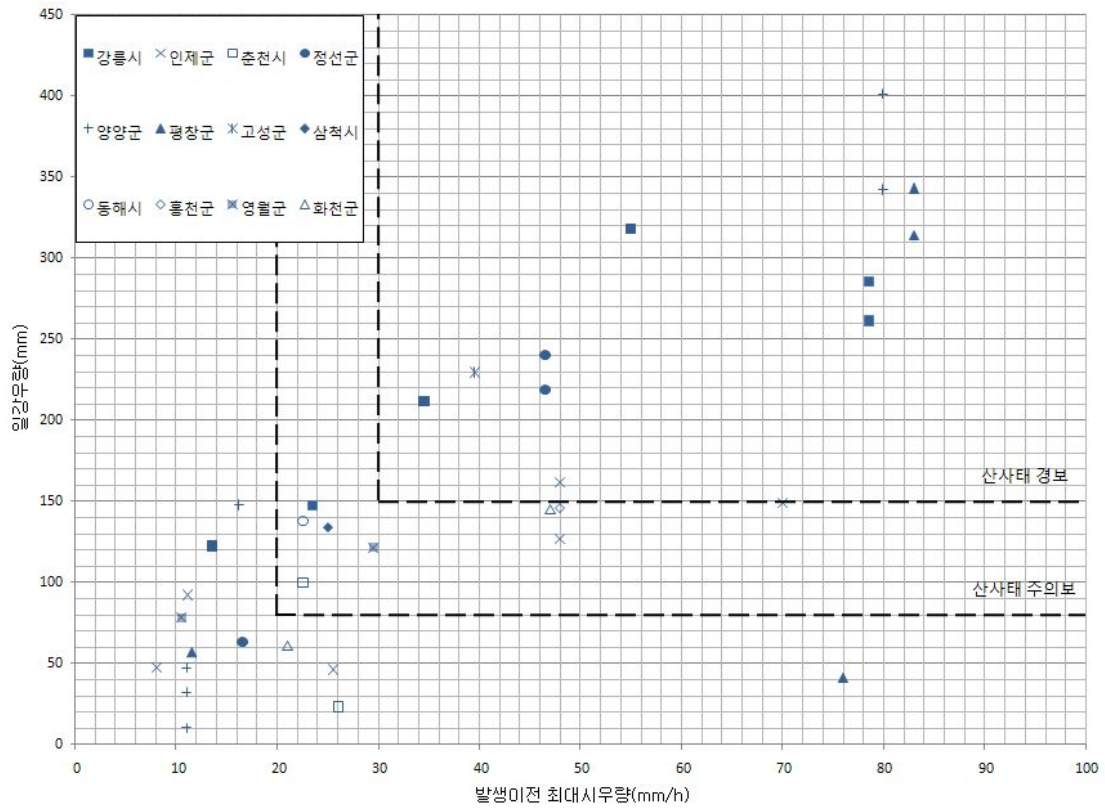


그림 3. 산불발생지의 발생이전 최대시우량-일강우량 관계

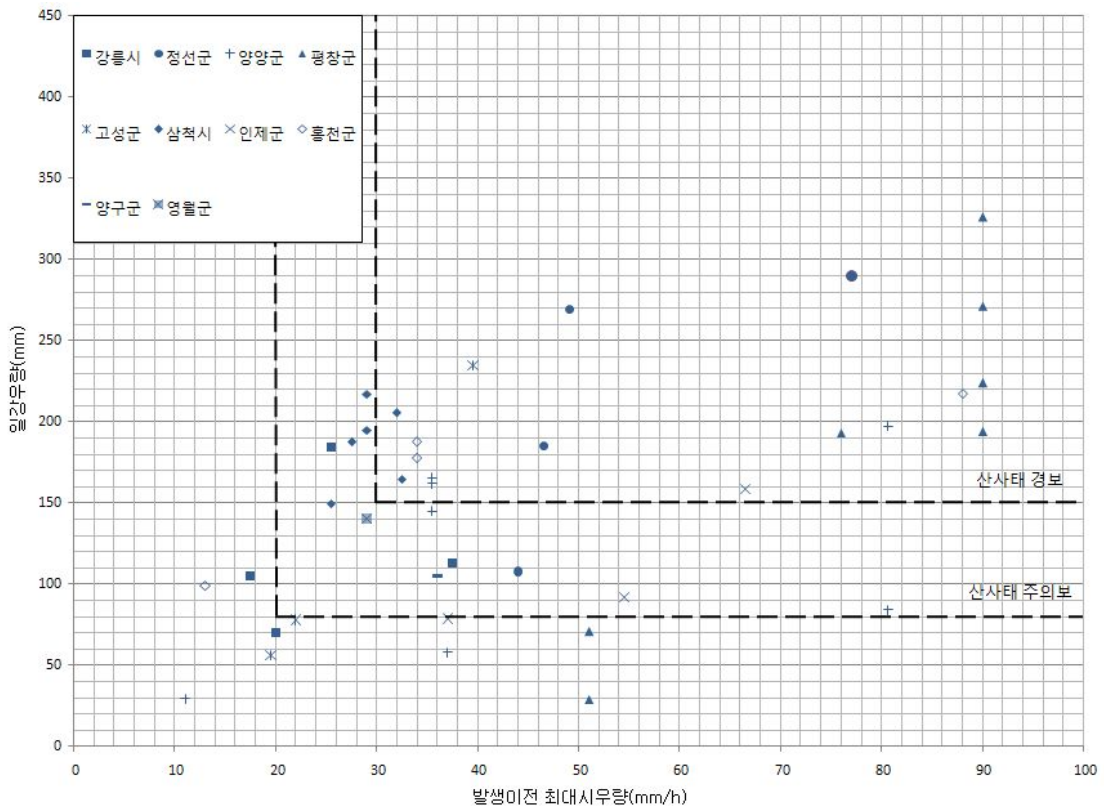


그림 4. 산불발생지 이외의 발생이전 최대시우량-일강우량 관계

4. 결론

강원지방 도로재해대장 자료 500여개와 기존 문헌 및 보도자료 중 사면붕괴에 관련된 발생일과 시간 자료가 모두 기록된 자료를 토대로 총 107개의 자료를 선택하였으며, 이 중 발생당시 기상장비의 오류로 강우자료가 없거나, 기상청 강우자료의 관측소위치와 발생위치, 발생시간이 중복되는 32개의 자료를 제외한 2002년 6개, 2003년 26개, 2006년 43개, 총 75개의 산사태발생지를 선정하고 그 당시의 강우자료 산불이력정보 등을 함께 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 산사태 발생시 시우량과 일강우량의 관계에서 대부분의 지역(47개 지역, 62.7%)에서 산사태 발생시의 강우량이 산림청의 산사태주의보 기준에도 미치지 못하는 것으로 나타났다.
2. 산사태 발생이전 최대시우량과 일강우량 관계에서 대부분의 지역(51개 지역, 68.0%)이 산사태주의보 기준에 포함되지만 여전히 많은 지역(24개 지역, 32.0%)에서 산사태 예보가 불가능한 것으로 나타났다.
3. 산불발생이력을 고려하여 분석을 수행한 결과, 산불발생지역에서는 산사태주의보 기준에 포함되지 않는 지역이 14개(40%)인 반면 산불발생이력이 없는 지역에서는 산사태주의보 기준에 포함되지 않는 지역이 10개(25%)로 산불 발생이력에 따라 그 차이가 현저하게 나타났다. 따라서 산불발생이 산사태 재해에 미치는 영향이 매우 크며 산불지역에 대해서는 산사태, 토석류 재해에 대하여 차별적 연구 및 향후 독립적인 예보기준 확립이 필요한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 지역기술혁신사업의 연구비 지원('08지역기술혁신 B01-01)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 국립방재연구소(2002), **사면붕괴의 유형별 원인과 저감대책연구**
2. 국립방재연구소(2004), **사면붕괴 감지 및 관측에 관한 연구(I) - 현장조사 및 국내외 사례를 중심으로 -**
3. 홍원표(1990), "사면안정(VIII)", **대한토질공학회지**, Vol.6, No.3, pp.88~98.
4. Pak, J. H.(2005), "A real-time debris prediction model (USCDPM) incorporating wildfire and subsequent storm events", *Ph.D. Dissertation*, University of Southern California