

용인, 안성지역의 산사태 발생예측도 작성에 관한 연구

정자혜	한국건설기술연구원 지반연구부
김교원	경북대학교 지질학과
김원영	한국지질자원연구원 지질환경재해연구부
채병곤	한국지질자원연구원 지질환경재해연구부
백 용	한국건설기술연구원 지반연구부

1. 서 론

산사태는 중력의 영향으로 암반이나 토사 등의 사면을 구성하는 물질이 사면을 따라 아래로 미끄러져 내려오는 것을 말한다. 이러한 산사태는 인간생활권역에 많은 피해를 야기할 수 있다.

1991년 7월 21일 용인과 오산지역에서 2,600여개의 산사태가 집중호우 중에 혹은 집중 호우 3~4시간 후에 발생하였다. 매년 여름철 집중강우로 인한 산사태의 발생으로 인명적, 재산적 피해를 받고 있지만 자연 사면에서 산사태의 발생을 인지하기는 어렵기 때문에 산사태발생에 대한 예측기술을 개발해야한다. 본 연구지역은 용인과 안성으로 1991년 여름 집중호우로 산사태가 집중적으로 발생한 곳이다.

본 연구에서는 산사태 발생과 관련이 있는 인자들을 이용하여 주제도를 작성하고 작성된 주제도를 로지스틱 회귀분석에 의하여 얻어진 회귀식으로 연산하여 산사태 발생예측도를 작성하였다. 그리고 현장 조사시 산사태의 형태를 1/5,000 수치지형도에 도시하여 Isopleth map을 작성한 후, 산사태 발생 예측도와 중첩하여 비교하였다. 본 연구에서 사용한 주제도는 1/5,000 축척의 수치지형도를 5m×5m로 격자분할을 한 것이다.

2. 지형 및 지질

본 연구 대상지역의 지형은 그림 1의 지질도에 의하면 비교적 산지로 구성된 높은 고도를 보이는 지형이고 화강암이 분포하는 지역은 고삼저수지등의 저수지들을 포함한 낮은 구릉지를 이루고 있다. 그러나 대부분 지형고도는 500m이하로 비교적 낮은 지형을 보이고 있다.

본 지역을 지질학적으로 살펴보면 경기 육괴에 속하여, 각종의 편마암류, 편암류와 시대미상 또는 쥘라기의 화강암들이 분포하고 있다. 이 지역은 양지와 안성을 잇는 남북선을 기준으로 하여 서쪽에는 경기 편마암 복합체의 변성암류가 주로 분포하며, 동쪽으로는 쥘라기 화강암등 화성암이 주로 분포하고 있다. 이 외에 화강암 및 변성암류를 관입하고 있는 맥암류들이 발달하고 있다. 변성암류는 엽리 또는 편리와 같은 층상 구조가 발달한 흑운모 호상 편마암, 반상변정 편마암, 안구상 편마암, 규암 그리고 편암류들과 엽리 또는 편리가 발달하지 않은 괴상의 화강암질 편마암, 석영 장식질 편마암으로 구성되어 있다. 이 지역에서 선캠브리아 누대의 편마암류들은 습곡작용이나 단층의 영향으로 주향 방향에 많은 변화를 보여 주고 있지만, 일반적으로 N10° W-N35° E의 주향 방향을 보인다. 경사각은 25°-75°의 범위로, 우세한 경사각은 35°-55°의 범위를 보여주고 있다. 본 지역의 동쪽에는 편마암상 각섬석-흑운모화강암체가 산출된다.

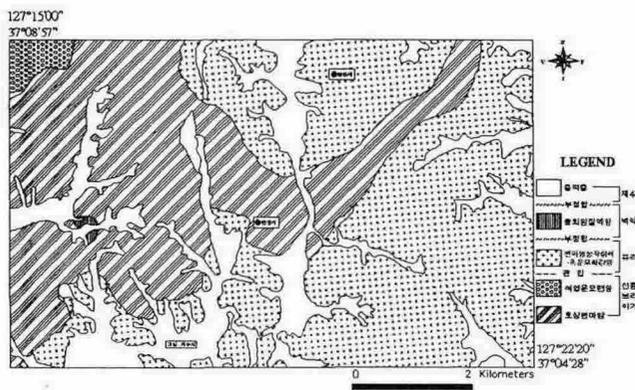


그림 1. 연구지역의 지질도

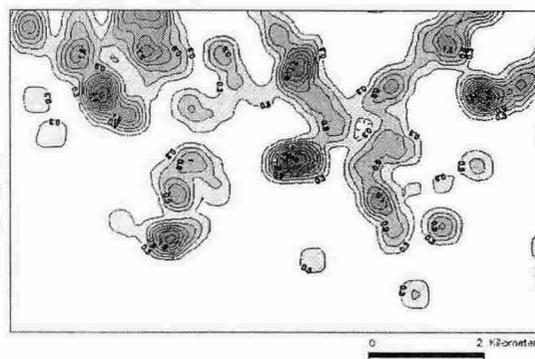


그림 2. 연구지역의 산사태 등치선도

3. Isopleth map 작성

산사태 등치선도(Isopleth map)는 산사태의 분포도를 이용하여 특정단위로 연구지역을 나누어 동일면적에서 산사태 피해를 받은 면적을 알아보기 위해 등고선을 그리는 것을 말하며(Wright 외, 1974, F. Bulut 외, 2000), 시간적 차이에 따라 작성하여 대상지역에 대한 산사태 활동성분석이 가능하다.

산사태의 연구에 있어 등치선도를 작성하는 이유는 산사태 발생위치가 정량화되지 않아 다른 목적으로 만들어진 자료들과 쉽게 조합을 이룰 수가 없기 때문에 산사태 발생지의 공간적인 분포를 객관화하기 위해서이다. 보통 동일 지역에 대하여 시기를 달리해 등치선도를 작성하여 산사태 발생빈도의 조사 자료나 산사태에 의한 피해평가의 기초적 수단, 산사태의 활동성을 분석하는 방법으로 사용된다. 또한, 등고선의 보간에 의하여 산사태 발생지의 배열과, 분포도 작성시 무시되었거나 생략된 부분들의 재확인도 가능하며, 부분적인 시험자료 및 기하학적 요소의 부정확성 등과 같이 사면 안정성과 관계되는 여러 요소가 비효용성을 보일 때, 등치선도는 산사태 활동 인지에 대한 일반적인 지침으로써 이용되어질 수 있다(Degraff 외, 1988, 김윤중, 1989).

본 연구에서는 산사태 발생 예측도를 작성하는데 앞서 실제 산사태가 발생한 지역의 비교를 위해 1991년 이 지역에서 발생한 산사태의 분포도를 이용하여 산사태의 등치선도를 작성하였다(그림 2). 이를 위해 사용된 자료는 지형도와 야외조사를 통한 산사태의 분포도이다.

4. 산사태 발생예측도

4.1. 토질특성 분석

변성암 및 화강암지역의 사태물질 토질특성을 파악하기 위한 토질시험 항목 중 주성분분석에 의해서 간극율, 건조밀도, 흙의 분류(USCS) 및 투수계수가 산사태에 유의한 영향인자로 선정되었다. 이들과 산사태의 상관성을 검토하기 위하여 토질시험을 실시하고 분석하였다.

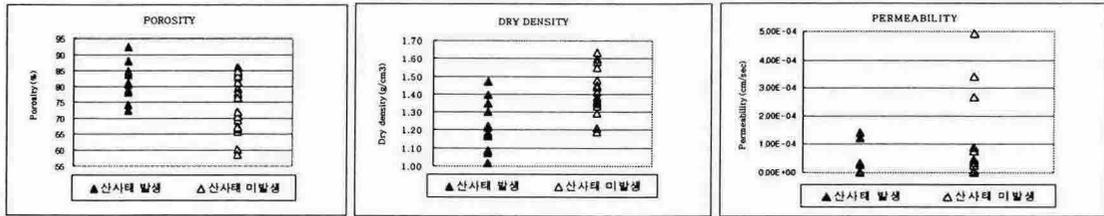


그림 3. 산사태 발생 지점과 미발생 지점의 실내 토질 시험 결과
(a)간극율, (b)건조밀도, (c)투수계수

그림 3의 (a)는 간극율 시험결과를 나타낸 그림이다. 시험결과 산사태가 발생한 지역의 경우 최소값 72.37%, 최대값 92.4%로서 평균치는 80.96%이고, 산사태 미 발생 지역의 경우 최소값 60.16%, 최대값 85.87%이고 평균치는 74.12%이다. 산사태가 발생한 지역이 발생하지 않은 지역 보다 높은 간극율을 보이는 것을 시험결과를 통해 알 수 있었다. 그림 3의 (b)는 건조밀도 시험결과를 나타낸 그림이다. 시험결과 산사태가 발생한 지역의 건조밀도는 1.017g/cm³ ~ 1.470g/cm³ 사이의 분포값을 보이고 평균은 1.220g/cm³ 이다. 산사태 미발생 지역의 건조밀도는 1.188g/cm³ ~ 1.634g/cm³ 사이의 분포값을 보이며, 평균은 1.419g/cm³로 산사태 발생지역보다 높은 값을 보인다. 그림 3의 (c)는 투수계수의 결과로 산사태 발생지역은 1.04×10⁻⁶ ~ 1.42×10⁻⁴cm/sec이고, 반면 산사태 미발생 지역의 투수계수는 1.08×10⁻⁶ ~ 4.92×10⁻⁴cm/sec의 범위를 보인다. 투수계수의 평균값은 산사태 발생지역은 3.07×10⁻⁵cm/sec 으로 7.48×10⁻⁵cm/sec 의 산사태 미발생 지역보다 다소 낮게 나타났다. 이 상의 결과를 보면 암질이 같을 때 간극율이 작을수록, 건조밀도와 투수계수가 클수록 산사태의 발생에 대해 안정한 것을 알 수 있다.

4.2. 산사태 발생예측도 작성

산사태 발생 예측모델(그림 4)은 기존 김원영 외(2000)에 의하여 제시된 바 있으며 본 연구에서는 이를 토대로 용인, 안성지역의 산사태 발생예측도를 작성하였다. 먼저 산사태 발생 예측모델을 이용하여 산사태 발생 요인의 주제도를 작성하고 작성된, 주제도를 로지스틱 회귀분석에 의하여 얻어진 회귀식으로 연산하여 용인-안성 지역에 대한 산사태 발생 예측도(그림 5)를 작성하였다.

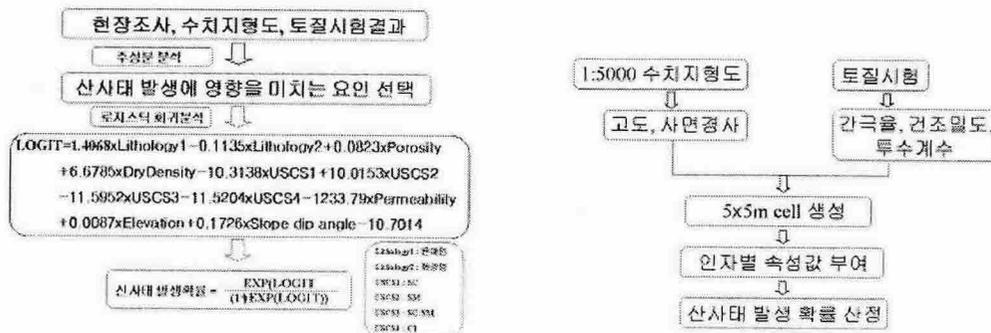


그림 4. 산사태 발생의 예측모델과 주제도 작성의 흐름도

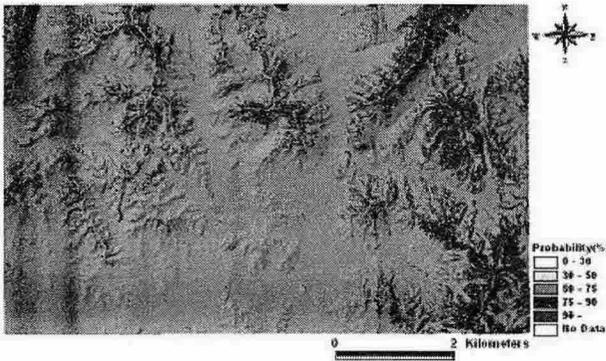


그림 5. 연구지역의 산사태 발생 예측도

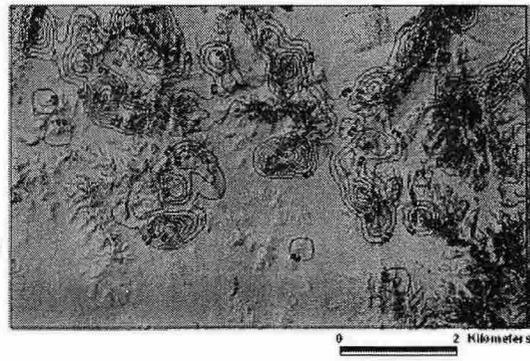


그림 6. 산사태 등치선도와 산사태 발생 예측도를 중첩하여 나타낸 그림

산사태 발생예측도 결과 위험하다고 판단되는 산사태의 발생확률이 75%이상인 지역인 산사태 위험 예상지역이 전체 면적이 약 50km²중 5.5km²로 11%에 해당된다. 이들의 분포면적을 산사태 발생 인자별로 분석해 보면 산사태 위험 예상지역 5.5km² 중 지형고도는 200~400m에서 3.68km², 사면 경사는 20~40°에서 4.75km², 간극율은 70~90%에서 4.18km²를 각각 차지하고 이러한 지역들이 산사태에 취약한 것을 알 수 있다. 건조밀도와 투수계수는 토질특성 분석결과 산사태 발생 지점의 시료가 산사태 미발생 지점의 시료보다 낮은 값을 보이는 것을 알 수 있었다.

표 1. 산사태의 발생확률에 따른 면적

산사태 발생확률(%)	0~30	30~50	50~75	75~90	90이상
면적(km ²)	33.94	4.82	5.07	3.18	2.31

그림 6은 기 발생된 산사태를 조사하여 작성된 산사태 등치선도와 산사태 발생 예측도를 중첩하여 비교한 그림이다. 북동부 지역은 등치선의 밀도가 높은 곳과 산사태의 발생확률이 75%이상인 지역이 일치하고 있음을 알 수 있다. 반면 남동부 지역은 예측도에서는 산사태 발생확률이 90%이상인 지역이 넓은 면적을 차지하지만 등치선은 거의 나타나지 않고 있다. 이는 실제 산사태가 일어났지만 현장에서 직접 조사한 산사태 발생자료를 이용하여 작성된 등치선도가 현장 여건상 연구지역에서 발생한 모든 산사태를 조사하지 못하여 누락된 자료가 있기 때문이다.

5. 결 론

본 연구에서는 산사태 발생과 관련하여 자연재해를 미연에 방지하기 위하여 산사태 발생예측도를 작성하였다. 기 개발된 산사태 발생의 예측모델을 토대로 1991년 발생한 용인, 안성 산사태의 현장적용성 검토를 수행하였다. 본 연구를 수행하고 얻은 결론은 다음과 같다.

- 용인, 안성 지역을 대상으로 검토한 결과 산사태 발생 확률이 75%이상인 지역은 약 11%에 해당된다.
- 토질특성을 분석한 결과 건조밀도, 투수계수는 산사태 발생지역의 값들이 산사태가 발생하지 않은 지역보다 상대적으로 낮게 나타났다.

-등치선도를 작성한 결과 등치선의 밀도가 높은 지역이 산사태 발생확률이 75% 이상인 지역과 일치한다.

참고문헌

- 김원영, 채병곤, 김경수, 기원서, 조용찬, 최영섭, 이사로, 이봉주, 2000, 산사태 예측 및 방지기술 연구, 과학기술부.
- 김원영, 채병곤, 김경수, 조용찬, 최영섭, 이춘오, 이철우, 김구영, 2003, 산사태 예측 및 방지기술 연구, 과학기술부.
- 김윤중, 유일현, 1989, Isopleth Mapping 기법에 의한 봉계지역의 Landslide 활동성 연구, Journal of Korean Society of Remote Sensing, vol. 5, no. 2, 123-132.
- Degraff, J.V. and Canuti, P., 1988, Using isopleth mapping to evaluate landslide activity in relation to agricultural practices, Bull. Int. Engineering Geology, no. 38, 61-71.
- F. Bulut, S. Boynukalin, F. Tarhan and E. Ataoglu, 2000, Reliability of landslide isopleth maps, Bulletin of Environmental Geology and the Environment, vol. 58, 95-98.
- Wright, R. H., and Nilsen, T. H., 1974, Isopleth map of landslide deposits, southern San Francisco Bay region, california; U.S. Geol. Survey Misc. Field Studies Map MF-550.