

# 1991년 용인 - 안성 지역 산사태 연구

A Study on Yongin - Ansong Landslides in 1991

박 용 원\*1  
Park, Yong - Won  
김 감 래\*2  
Kim, Kam - Lae  
여 운 광\*3  
Yeo, Woon - Kwang

---

## Abstract

This paper presents the results of investigation of the rainstorm induced landslides occurred in the districts of Yongin, Ansong and Osan on July 21st 1991. More than two thousand and six hundred landslides took place during or after a 3-4 hours heavy rainfall and about 466 ha mountain slopes were affected by slope failures. The result of study on the effect of rainfall on landslides shows that landslides began to occur where daily and maximum hourly rainfall exceeded 114mm and 40mm respectively, and all districts(myun) where maximum hourly rainfall exceeded 62mm were affected by landslides.

The morphological study on landslides on Talbongsan area reveals that, by Walker's classification using D/L(failure depth ratio), 50% of the landslides were classified as flows, 20% of them as translational slides, and 30% were between flow and slide and there were few rotational slides. Over 90% of landslides tookplace at slopes of 20° - 40° in slope and 50m or shorter in length. And more than 50% of the crown of slides locates at higher than 0.7 times of slope height. Any differences between the kinds of tree in landslide resisting effects are shown in this case.

## 요 지

이 논문은 1991년 7월 21일에 경기도 용인군과 안성군 일부 지역에 집중호우에 의하여 발생한 산사태에 대한 자료 및 현장조사 결과를 토대로 작성한 것이다. 이 지역의 산사태 발생규모는 2600여 개소에 산사태 면적이 466ha 이상이었다. 조사 결과 밝혀진 바에 의하면 이 지역에 발생한 산사태는 단시간의 집중호우에 의하여 유발된 것으로서, 당일우량이 114mm이상이고 최대시

---

\*1 정희원, 명지대학교 공과대학 토목공학과 교수

\*2 명지대학교 공과대학 토목공학과 교수

\*3 명지대학교 공과대학 토목공학과 부교수

우량이 40mm 이상인 지역(면단위)에서 산사태가 발생하였으며 최대시우량이 62mm 이상인 지역은 모두 산사태가 발생했음을 알 수 있다.

달봉산 일대에 대한 현장조사에 의한 형태학적 검토에 의하면, 활동깊이비(D/L)를 사용하는 Walker의 분류법을 사용했을 때, 20%가 평행활동, 50%가 유동 형태로 분류되었으며 30%는 유동과 활동의 중간형태였고 회전활동으로 분류되는 것은 거의 없었다. 산사태의 90% 이상이 사면 경사 20°-40°, 활동사면길이 50m이하에서 발생하였고, 사면활동시발점은 50%가 7부 능선 이상에 위치하고 있었다. 이 지역에서는 수중에 따르는 삼림의 산사태 억제효과상 차이를 볼 수 없었다.

## 1. 서 론

우리나라의 자연재해의 특징은 화산이나 지진과 같은 현상이 적는데 비하여 대부분의 재해가 기상현상에 기인한 풍수해라는 점이다. 그리고 전국토의 3/4이상이 산지이고, 산지 경사면이 급경사면이 많고 표토층 두께가 얇아서 산사태 발생의 잠재적 요인을 많이 가지고 있기 때문에 풍수해 피해의 상당한 부분을 산사태가 차지하고 있다. <sup>崔<sup>13, 14)</sup></sup>는 10년간의 산사태 발생 통계를 근거로 하여 우리나라에 네 지역의 산사태 상습발생지역을 제시하고, 우리나라에 연평균 230ha의 산사태와 50여명의 인명피해가 발생한다고 보고하였다.

1991년 7월 21일에 수원, 오산, 용인, 안성 지역에 오전 10시부터 오후 4시 사이에 150-218mm의 집중호우가 내렸다. 이 집중호우로 경기지역에 총 2,644곳의 산사태와 6,915.6정보의 침수피해, 136명의 인명피해를 포함한 1천 여원을 넘는 막대한 재해가 불과 3-4시간 동안에 용인군과 안성군의 경계를 따라 좁은 지역에 집중되어 발생하였다. 이 지역은 <sup>崔</sup>가 제시한 우리나라 산사태 상습발생지역에 포함되지 않는 지역이다. 그러나 건설부에서 1988년에 발행한 방재종합대책 중장기계획 조사보고서(3권)<sup>4)</sup>에서는 과거에 우리나라에서 발생한 산사태 통계를 분석하여 지역별로 강우량자료, 지질자료 그리고 과거의 산사태 발생빈도에 가중치를 주어 전국을 3개 등급으로 나누었는

데 용인군과 수원시는 위험도 1급지에, 안성군과 화성군 그리고 오산시는 2급지로 분류되었다. 이와 같이 산사태 발생은 예측하기 매우 어려운 기상 이변(호우)과 그 지역의 자연 지반조건이 복합적으로 작용하기 때문에 이에 대한 예측과 대비책을 강구하기 위해서는 많은 산사태 발생사례에 대한 면밀한 연구와 자료의 축적이 필요하다. 이 연구에서는 산사태가 집중적으로 발생한 용인과 안성 지역의 지형, 지질 및 토질 조건과 임상을 조사하고 당시의 기상자료를 토대로 강우형태를 분석하여 산사태 발생의 일반적인 내적, 외적 요인을 분석하고, 산사태의 원인과 그 형태적 특징을 밝히기 위하여 용인군 이동면 원덕성리와 남사면 창리와 완장리에 걸쳐있는 달봉산(204m)일대를 현장조사지역으로 선정하여 산사태 발생 현장의 지형을 측량하고 토질과 임상을 조사 분석하였다.

## 2. 용인-안성 지역 산사태 발생상황 및 요인분석

### 2.1 용인-안성 지역 산사태 발생상황 (1991년 7월 21일)

1991년 7월 21일 오전 10시부터 오후 4시 사이에 경기남부내륙지방에 내린 150-218mm의 집중호우로 이 지역에 발생한 산사태는 경기도 치산사업소와 해당 군청의 자료에 의하면 표 1과 같다. 이 표를 보면 두 기관의 자료에 차이

가 있는 것을 볼 수 있는데, 이는 이 자료가 복구공사 계획을 위한 자료로서 산사태 개수를 셀 때 여러개의 인접한 소규모 산사태를 합쳐서 하나로 센 곳이 많기 때문이며, 따라서 발생면적에는 큰 차이가 보이지 않는다. 결과적으로 실제의 산사태 발생 개수는 표 1에 나타난 수보다 많다고 봐야 할 것이다. 이 호우로 인한

인명피해는 1991년 재해년보에 의하면 용인군에서는 사망자 32명, 부상자 24명, 안성군에서는 사망자 7명, 부상자 3명이었다. 이상과 같은 산사태 피해지역을 1:50,000 지형도에 표시한 것이 그림 1이다. 이 그림에서 보면 산사태 피해지역은 화성군의 동남부 일부와 오산시 일부를 포함하고 용인군과 안성군의 경계지역을 따라 길게 평행사변형을 이루고 있다. 이 평행사변형의 장변은 32km, 단변은 12km이고 방향은 WNW-ESE이다.

표 1 경기 남부 지역 산사태 발생 현황(1991. 7. 21)

발생지	경기도치산사업소자료		해당 군청 자료		
	면/읍	개소	면적(ha)	개소	면적(ha)
수원	권선	5	2.56		
오산		71	9.70		
평택	동천	13	3.20		
화성	(군계)	205	47.98		
	동탄	202	47.82		
	정남	1	0.07		
용인	봉담	2	0.09		
	(군계)	1166	225.34	1152	225.94
	이동	378	53.73	483	60.00
	외사	95	35.60	89	31.60
	구성	8	0.40	6	0.40
안성	남사	378	68.87	317	71.05
	원삼	307	62.74	257	62.89
	(군계)	1168	181.45	1969	157.43
계	보개	140	16.08	62	49.83
	원곡	1	0.14		
	고삼	446	69.14	160	17.10
	양성	445	59.15	1699	54.90
	이죽	25	5.75	3	0.60
	삼죽	111	31.19	45	35.00
	계	2628	466.23		

## 2.2 산사태 발생요인 분석

### 2.2.1 산사태 발생요인

山沙汰(landslide)는 사면활동의 한 형태이다. 사면활동에는 매우 다양한 형태가 있는데, 비탈의 종류(자연, 인공), 구성 또는 이동물질, 이동속도와 형태, 유발원인 등에 따라서 여러 나라와 학자 사이에 그 분류법을 달리하고 있다.<sup>16, 17, 20, 21)</sup> 산사태에 대한 국내학자 몇사람<sup>4, 11, 12, 13, 14)</sup>의 정의를 참조하여, “산사태는 자연사면(일부가 인공적으로 변형된 사면을 포함하여)에서 지진, 강우, 또는 중력작용으로 사면붕괴(slope failure), 지반침식(surface erosion) 또는 碎屑流(debris flow)가 발생하여 한꺼번에 많은 흙과 돌이 빠른 속도로 아래로 이동하는 현상이다.”라고 정의할 수 있다.

산사태 발생원인은 내적요인과 외적요인으로 구분된다. 내적요인은 대상사면의 지형, 지질, 토질 및 임상등에 잠재된 요인으로서 진행성과, 풍화작용, 침식에 의하여 사면구성물질의 전단저항을 감소시키는 원인이 되며, 외적요인은 지형의 변화, 토피하중의 감소, 하중의 증가, 진동과 충격, 지하수위 변동 등에 의하여 사면내에 전단응력을 증가시켜 내적요인과 결합하여 산사태를 始動시키는 지진, 강우, 벌목, 절성토 등이다. Cooke와 Doornkamp(1974)는 사면 안정성 평가에 다음과 같은 항목을 이용하기를 제안하였다.<sup>24)</sup> 즉, 지형, 수리, 기반암, 표층토, 지진대, 구지형 및 지질, 기후,

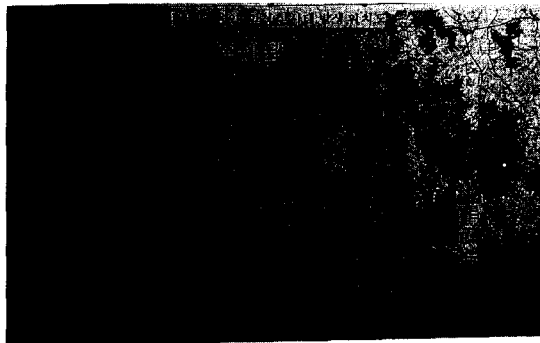


그림 1 용인·안성지역 산사태 발생위치도 (1991. 7. 21)

식생, 인공적변형 등이다.

지형은 지표수와 지중수의 행태에 큰 영향을 주기 때문에 표면침식과 산사태 발생에 가장 중요한 요인이다. 검토대상지역이 넓을 때와 한 지점을 대상으로 할 때는 고려하는 지형 조건이 다르다. 지역이 대상일 때에는 지반고, 계곡의 깊이, 사면의 경사, 벼랑의 존재, 계곡간 표고차 등이 주 고려대상이고 지점이 대상일 때에는 경사, 사면길이, 사면의 종횡단형상, 경사변환대, 방위 등이 고려사항이 된다. 지형과 아울러 수리(배수)조건이 산사태 발생에 중요한 역할을 한다. 수계, 수로밀도, 하천경사, 계안침식, 침투수 집중, 물 웅덩이, 새 절개지, 간극수압 등이 고려사항이다.

지질 및 토질조건으로서는 기반암의 종류와 상태로서 절리와 불연속면의 밀도, 크기, 채움재, 주향과 경사각의 사면경사와 이루는 각, 그리고 인장균열, 풍화도 등이 기반암에 대한 검토사항이 되고 표층토에 대해서는 토층의 깊이, 입도, 전단강도, 소성지수, 액성한계, 활성도, 투수성, 건조균열, 이질지층, 기반암과의 접촉상태, 지중 배수통로등이 고려대상이다. 기반암에 따른 산사태 발생빈도가 높은 순서대로 화강편마암, 점판암 및 사질암, 천매암, 석회암의 순서로 산사태 위험도 판정에 이용되고 있다.<sup>2, 14)</sup>

임상(식생)은 산사태를 억제하는 효과와 촉진하는 효과를 동시에 가지고 있다. 억제효과로서는 나무잎의 차양막(canopy)효과, 수분흡수 증발에 의한 유효강우 감소 효과, 뿌리의 보강토 효과, 뿌리의 수분흡수에 의한 지반함수비 감소 효과, 뿌리에 의한 조립입자 탈락방지 효과등이고, 산사태 촉진효과로서는 태풍시 지중 침투를 도와서 흙의 수분흡입력(soil suction)을 감소시킴, 지하수위 상승, 암사면에서의 뿌리의 썩기작용, 강풍에 의해 지반을 교란시켜 침투로를 형성하고 전단강도를 저하시킴 등이 있으며,<sup>4)</sup> 나무 무계에 의한 상재압의 증가는 활동력 증가효과와 저항력 증가효과를 함께 가지고 있으나 강풍이 불어 큰 수평하중이 발생하면 주로 활동력을 증가시켜서 산사태 촉진

효과로 작용할 것이다. 임상이 산사태 억제 기능을 충분히 하려면 뿌리가 산사태 활동면깊이보다 충분히 깊고 튼튼히 박혀서 보강토의 기능을 할 수 있어야 한다. 이상과 같은 요인들을 고려하여 산사태 발생 확률이 큰 지역으로서 다음과 같은 조건 중에서 몇개가 겹친 지역을 들고 있다.<sup>4, 10, 14)</sup>

- 경사 30-40도의 급경사면
- 사면의 종횡단 형상이 각각 하강사면-凹형 사면인 곳
- 경사변환대
- 사면하부가 침식받기 쉬운 곳
- 강우시 사면에서 물이 솟아 나오는 곳
- 암석이 많은 사면의 하부
- 표토층 아래 암반이나 굳은 지층이 얇게 있는 곳
- 모암의 절리 방향이 사면경사와 같은 방향인 곳
- 사면에 성질이 아주 다른 지층이 겹쳐 있는 곳
- 변성암, 강풍화 화강암, 분출화성암, 팽창성 혈암지대
- 사방지로서 토심이 깊은凹형지형
- 과수원, 초지 조성으로 인한 벌채지

## 2.2.2 용인-안성 지역의 지형, 지질, 토질 및 임상조건

국가기본지형도(1:50,000)<sup>5)</sup> 도엽번호 NJ52-9-26(용인)과 NJ52-9-27(안성)에 포함된 이 지역은 광주산맥의 남쪽 끝을 이루는 해발 400-500m대의 산들이 지역의 중앙부를 차지하고 있고 그 주위는 한반도 특유의 晩壯年期의 낮은 구릉지대를 형성하고 있으며 서쪽과 남쪽 그리고 동북쪽에는 넓은 충적평야가 발달되어 있다. 이 지역내에서 해발 500m가 넘는 산은 514m의 시궁산과 502m의 쌍령산이다. 능선과 계곡의 표고차는 크지 않다. 그러나 사면의 경사는 비교적 급경사(30도 이상)를 이룬 지역이 많은데 이는 이 지역에 발달된 용인단층구조(남북 방향)를 비롯한 여러개의 단

층구조와 관련이 있을 것이다. 산맥의 방향은 주로 남-북 내지 북동-남서 방향이 우세하다. 그러나 작은 능선방향은 지역전체에 걸쳐서 불규칙한 방향을 나타내고 있다. 이 지역의 수계는 진위천 수계와 안성천 수계로 구분되는데 진위천 상류수계는 용인군 이동면과 남사면을 흐르는 북류와 안성군 양성면 미리내를 흐르는 남류로 나뉜다. 그런데 진위천 북류계는 격자상 수류계를 보이며 그 외에는 수지상 수류계를 보인다. 하상은 높고 넓으며 토사의 유입이 많아서 하류에 충적평야를 이루고 있다. 이는 이 지역이 강우에 의한 침식으로 많은 토사 이동이 발생하고 있음을 나타내는 것으로 보인다.

한국지질도<sup>6)</sup>(수원, 오산, 이천, 안성)를 참조하면 이 지역의 기반암은 선캄브리아기의 퇴적기원의 변성암류와 이를 관입한 화강편마암 그리고 이보다 후기인 화성관입암류로 대별되는데 지역 중앙의 쌍령산 동쪽 계곡을 경계로 하여 서반부는 주로 퇴적기원의 변성암체가 주류이고 동반부는 화성암질 편마암류가 큰 폭의 띠로 북북동-남남서 방향으로 형성되어 있다. 선캄브리아 변성암체는 장기간의 광역변성작용을 받아서 지질구조가 교란되고 화성활동도 겪어서 암석 성분도 많이 변했다. 많이 나타나는 암석으로는 흑운모 편마암, 반상변정 편마암, 규장편마암, 함진기석편마암 등의 편마암류와 우백색편암 및 석영운모편암 등의 편암류가 있다. 화강암류는 편마상 각섬석흑운모화강암, 세립질화강암, 중립질흑운모화강암 및 조립질화강암이 있다. 이 지역의 현장조사 결과 잡다한 종류의 편마암과 편암류가 불규칙하게 나타나고 노두는 계곡 바닥과 계안을 제외하고는 거의 보이지 않으며 또 심하게 풍화되고 밀도가 매우 높은 불연속면이 불규칙하게 관찰되고 있다.

이 지역의 토질은 편마암류와 화강암을 기원으로 하는 적색 또는 담회색의 모래, 실트질 모래가 주류이다. 대표적인 시료에 대한 분류시험결과 세립분 함량은 10% 내외이고 비소성으로서 통일분류법으로서 SM, SW-SM으로 분

류되었다. 투수계수가 커서 배수가 잘된다. 경사면의 토층 두께는 대부분 0.5-1.0m로서 그 밑에는 강풍화된 기반암층이 나타나며 표토는 10-20cm였고 표토 밑의 풍화잔류토는 밀도가 상당히 커서 삽으로 굴착하기 어려운 정도였다. 깊이에 따라 밀도와 강도가 증가하고 30cm 정도 깊이에서 미풍화된 암편이 나타난다. 토층에 모암의 파쇄대와 절리의 흔적이 나타나는 곳이 많이 관찰되었다. 이 지역은 투수성이 크고 보수력이 작은 얇은 두께의 토층이 산지를 덮고 있기 때문에 강우가 토층내에 오래 머무르지 못하고 계곡과 하천으로 단시간내에 흘러든다.

1992년의 산림청 임업연구원에서 발행한 임상도(1:25,000)<sup>7)</sup>를 보면 이 지역은 표고가 높은 지역은 침활혼효의 자연림이, 표고가 낮거나 동네에 가까운 지역은 리기다 소나무, 잣나무, 아카시아, 밤나무 등이 조립된 식재림으로 되어 있다. 그런데, 이 지역도 우리나라의 다른 지역과 마찬가지로 1950년대까지 땔나무와 목재용으로 남벌되어 산림이 황폐되었다가 60년대부터 산림복원 정책을 강력히 시행한 이후에 조성된 2차림으로서 산림의 齡級이 I, II, III 급이고 莖級이 稚樹 내지 小莖木이 대부분을 차지하고 있다. 疎密度는 中 또는 密로서 植被率은 높은 편이다. 문제는 이 지역이 표토층의 두께가 얇아서 나무의 뿌리가 直根으로 깊이 박히지 못하고 지표면과 평행하게 뻗는 平根으로 발달되어 있어서 표면침식방지(砂防)효과는 좋으나 사면붕괴시의 보강토 기능은 기대하기 어려운 실정이다.

이상에서 검토해 본 이 지역의 지형, 지질, 토질 및 임상 조건이 산사태 발생에 어떻게 작용했는가를 알아보기 위하여 이들 산사태 발생의 내적요인에 대해서 산사태가 발생한 지역과 그 인근 지역의 차이점을 살펴보았으나 별다른 점을 찾을 수가 없었다. 그림 1에 도시된 산사태 발생위치를 보면 표고 100m이하인 평야지의 언덕에서부터 표고 400m이상의 높은 산지까지 골고루 분포되었고, 지질적으로는 퇴적기원의 변성암 지대인 지역의 서반부나 화강편마

암류가 주류인 동반부에서 골고루 분포하고 있음을 알 수 있다. 또한 임상에 관해서도 자연림과 인공림, 침엽수림과 활엽수림에 구별없이 산사태가 고루 발생하였다. 다만 산사태 피해 지역인 큰 평행사변형지역이 그림 2에 보이는 동우선도의 강우량 최다지역과 비슷하게 일치함을 알 수 있었다.

### 2.2.3 1991.7.21 호우의 특성과 산사태의 관계

#### 가. 강우와 산사태

산사태를 일으키는 요인으로서 강우를 고려할 때에 강우지표로서는 累加雨量(연속강우량), 日雨量 그리고 時雨量이 사용되고 있다. 이 지표중에 어느 것이 산사태 발생에 직접적인 원인이 되는지는 여러 학자들의 연구가 이루어졌다. 누적강우량이 산사태 발생에 주도적인 영향요인이라는 견해로는 홍콩의 Lumb<sup>22)</sup>와 일본의 村野(1966), 打荻(1971), 大村(1983) 등<sup>16)</sup>과 그리고 田中<sup>19)</sup>이 있고 우리나라의 金<sup>11)</sup>, 李<sup>13)</sup>와 崔<sup>14)</sup>가 있다. 李는 24시간내에 연속강우량이 200mm 이상이거나 10mm 이상의 평균시우량으로 24시간 이상 연속해서 비가 올 때에 산사태발생의 위험이 높다하였고, 崔는 작은 양의 강우라도 연속적으로 내려서 연속강우량이 200mm 이상이 되면 산사태가 발생한다고 하였다. 일강우량이 산사태 발생과 밀접한 관계가 있다는 연구는 일본의 難波(1970)와 林(1985) 등과<sup>16)</sup> 홍콩의 Brand(1984)가 있으며, 건설부의 연구보고서<sup>4)</sup>에서는 당일우량이 산사태발생의 주요지표라 하였다. 洪<sup>12)</sup>은 우리나라의 산사태 발생지역을 크게 중서부지역, 남부지역 그리고 영동지역으로 삼분하여 중서부지역은 누적강우량, 남부지역은 당일강우량, 그리고 영동지역은 누적강우량과 당일강우량이 비슷하게 각각 산사태 발생에 큰 영향을 준다고 하였다. 이와 같이 나라와 지역에 따라 산사태를 유발하는 강우의 형태가 다르다. 지형과 임상조건, 그리고 토층의 두께와 투수성, 기반암의 종류와 절리상태 등에 의하여 결정되는 지반의 흡수량, 침투량, 지반내의 집수량

태등과 같은 지질 및 토질조건 등에 따라서, 지반침투 속도가 느리고 표토층이 두꺼운 곳은 누가우량이 지배적 요소가 되고 지반내 침투속도가 빠르고 토층이 얇은 곳은 큰 일우량이 지배요소가 될 것이다. 이에 따라 강우에 의한 산사태가 많이 발생하는 홍콩과 일본에서는 지반 조건과 기후조건에 따라 각각 자국의 실정에 맞는 산사태 예보와 경보체계를 운영하고 있고, 우리나라도 산림청에서 과거에 발생한 산사태와 당시의 강우조건을 토대로 표. 2와 같은 산사태 경보체계를 운영하고 있고 건설부 연구보고서<sup>4)</sup>에서는 같은 보고서에서 분류한 산사태 위험 등급지역에 따라서 표 3과 같은 산사태 예보발령 강우량(당일우량) 기준치를 제안하였다.

표 2 산사태 예보 강우량 기준치, 산림청<sup>2)</sup>

단위 : mm		
	산사태 주의보	산사태 경보
연속강우량	100-200	200이상
시 우 량	20- 30	30이상
일 강 우 량	80-150	150이상

표 3 산사태 예보발령 강우량 기준치, 건설부<sup>4)</sup>

단위 : mm			
지역	예보	산사태 주의보	산사태 경보
I 지 역		90	105
II 지 역		75	90
III 지 역		55	75

#### 나. 강우특성 분석

기상청의 1991년 예보사례분석<sup>3)</sup>에 의하면 1991년 7월 21일의 경기남부지방 호우는 수원 측후소에서 관측한 일강우량이 218mm로 7월 중 최대였고 시간강우량은 80mm로 관측개시 이래 최대를 기록했으며 시간규모로 3-4시간, 수평공간규모 60km, 에코탑(echo top)은 9km를 기록했다. 이 때에 한반도에는 장마전선이 북부지방에 걸친 가운데 북태평양 고기압의 연변에 놓이게 되었고 고온다습한 남서류가 강하게 유입되어 장마전선이 활성화되면서 심한 대류불안정 상태가 형성되므로써 이 지역에 심한

뇌전현상을 동반한 국지성 집중호우가 발생했던 것이다. 이 호우의 특성을 분석하기 위하여 이 지역일대에 있는 기상청 산하 측후소(수원, 이천, 양평, 은양, 청주)와 건설부에서 관리하는 TM우량관측소(이천, 여주, 삼죽, 용인1, 양평, 청운, 모현, 양지, 포곡, 원삼, 진위), 그리고 각 지방자치체(시, 읍, 면)에서 측정된 강우관측자료를 수집하여 이용하였다.

표 4에 지역별 일강우량과 최대시우량이 정리되었다. 강우와 함께 동반한 심한 뇌전현상에 의한 낙뢰로 정전이 되어 자동강우기록기에 의한 강우측정자료를 얻을 수 없어서 지역별 강우기록에 빠진 곳이 많다. 표 4에서 보면 이 지역의 최대 일우량은 안성군 이죽면의 284mm(7월 21일)이었고, 최대 시우량은 화성군 동탄면의 105mm(7월 21일 13:00-14:00)이었다. 건설부(1988)에서 발간한 '수자원관리기법개

발 연구조사 보고서' 제 2권 별책부록 한국 확률강우량도에 의하면 우심지역인 용인군과 안성군의 빈도별 강우지속시간별 확률강우량은 표 5와 같다.

표 4와 표 5에서 보는 바와 같이 이 지역은 선행강우가 50mm정도 내린 상태에서 평균적으로 시우량은 10년-50년 빈도의 강우가 내렸고 일우량은 5년-10년 빈도의 강우가 내렸다.

표 5 빈도별 강우지속시간별 확률강우량(mm)

빈도 (년)	용인군			안성군		
	1시간	3시간	24시간	1시간	3시간	24시간
2	39	66	140	38	63	130
5	51	85	210	51	80	185
10	60	102	250	57	96	225
20	68	112	290	65	105	260
50	76	135	350	74	125	300
100	85	150	390	82	135	330
200	95	160	420	90	155	370

표 4 지역별 강우량(7/20-7/21), 단위 mm

지역	일 강 우 량			최 대 시 우 량		측 정 기 관	산 사 태 발생여부
	7/20	7/21	누계	일 시	시 우 량		
수원	58.8	218.2	277.0	7/21 13:00-14:00	64.5	기상청	○
이천	51.9	89.9	141.8	7/21 16:00-17:00	54.0	기상청	×
양평	120.6	54.2	175.0	7/21 16:00-17:00	18.8	기상청	×
청운	142.0	69.0	231.0	7/21 18:00-19:00	22.0	건설부	×
여주	86.0	40.0	126.0	7/21 17:00-18:00	18.0	건설부	×
생극	74.0	120.0	194.0	7/21 14:00-15:00	56.0	건설부	×
설성	67.0	108.0	175.0	7/21 16:00-17:00	37.0	건설부	×
팔당	74.0	73.0	147.0	7/21 16:00-17:00	38.0	건설부	×
안양	28.0	81.0	109.0	7/21 12:00-13:00	28.0	건설부	×
낙생	72.0	105.0	177.0	7/21 12:00-13:00	43.0	건설부	×
삼죽	54.0	152.0	106.0	7/21 15:00-16:00	78.0	건설부	○
용인1	57.0	172.0	229.0	7/21 13:00-14:00	70.0	건설부	○
모현	70.9	108.3	179.2	7/21 11:00-12:00	37.1	건설부	×
양지	56.0	194.3	250.3	7/21 15:00-16:00	59.9	건설부	×
포곡	45.1	122.7	167.8	7/21 16:00-17:00	48.1	건설부	×
원삼	59.5	179.4	238.9	7/21 14:00-15:00	44.9	건설부	○
내사	54.0	226.0	280.0	7/21 13:00-14:00	85.0	지자체	○
외사	68.0	145.0	213.0			지자체	○
원삼	67.0	159.0	226.0		54.0	지자체	○
이동	54.0	165.0	215.0			지자체	○
남사	62.0	165.0	227.0			지자체	○
오산	25.0	208.0	233.0	7/21 13:00-14:00	86.0	지자체	○
동탄	14.0	241.0	255.0	7/21 13:00-14:00	105.0	지자체	○
고삼	50.0	192.0	242.0	7/21 13:00-14:00	90.0	지자체	○
양성	16.0	114.0	130.0	7/21 14:00-15:00	40.0	지자체	○
일죽		180.0		7/21 13:00-14:00	55.0	지자체	○
삼죽		172.0		7/21 13:00-14:00	64.0	지자체	○
보개		172.0		7/21 13:00-14:00	81.0	지자체	○

그러나 국지적으로 최대시우량 100mm 이상으로 200년 빈도가 넘는 비가 내린 곳이 있으며 일우량의 90% 이상이 3시간 정도에 집중되었기 때문에 3시간 강우로는 100년-200년 빈도

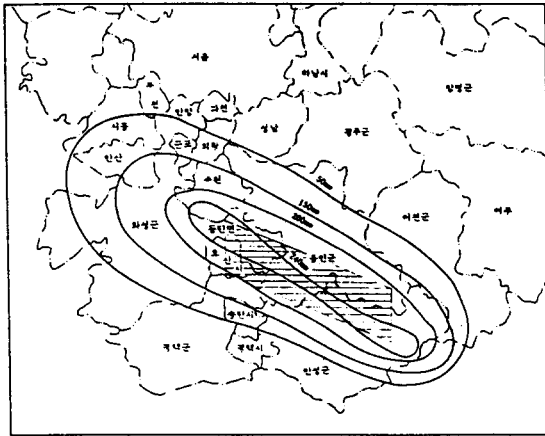


그림 2 1991. 7. 21의 일강우량 분포도

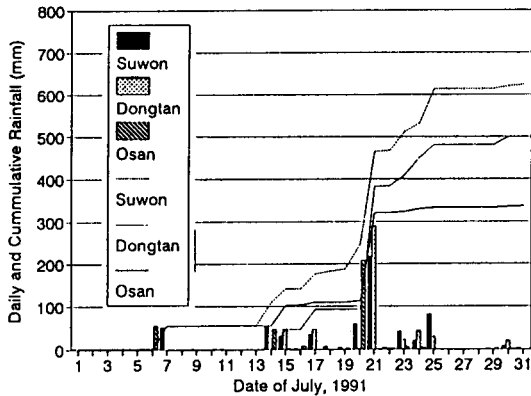
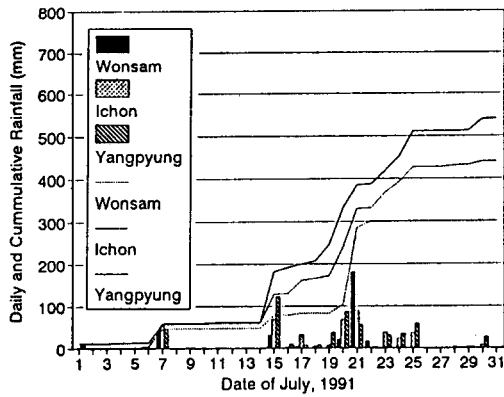


그림 3 7월중 일강우량과 누적강우량(mm)

의 강우가 내린 것이다. 표 4에 정리한 강우량을 이용하여 7월 21일의 이 지역 일대의 강우량 분포를 등우선도로 그린 것이 그림 2이다.

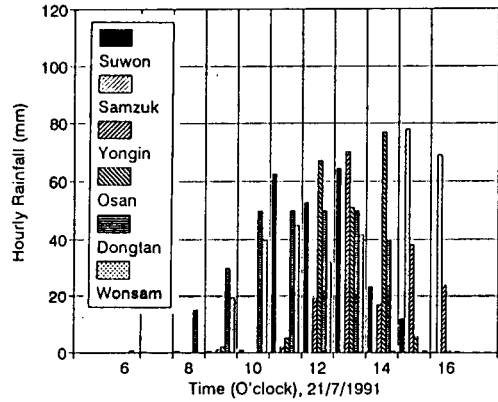


그림 4 7월 21일의 시우량(mm)

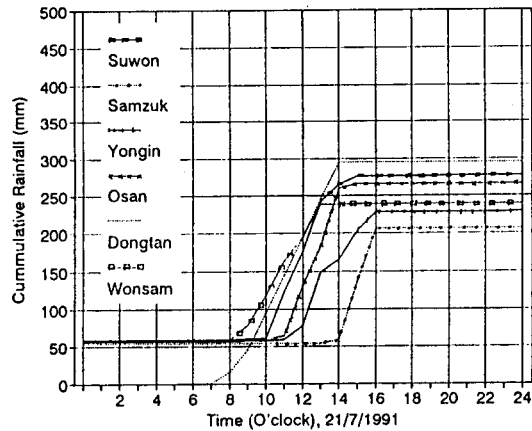


그림 5 7월 21일의 2일 누적강우량(mm)

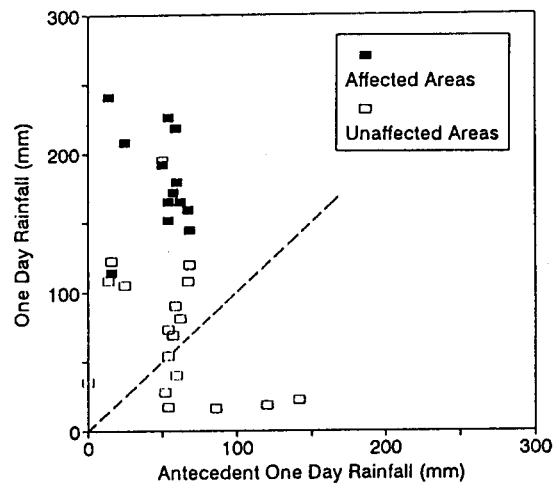


그림 6 前日 강우량과 당일강우량 대비



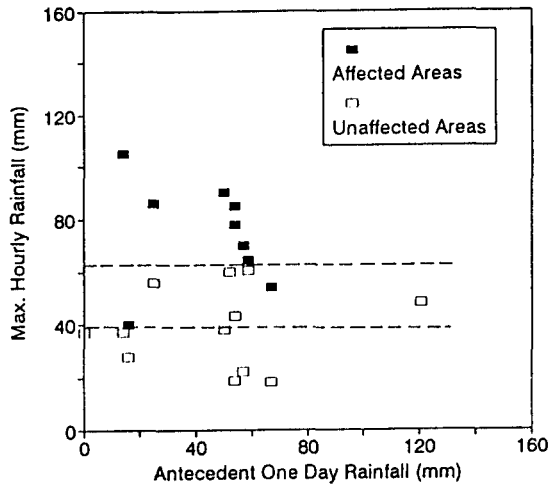


그림 7 前日강우량과 최대시우량

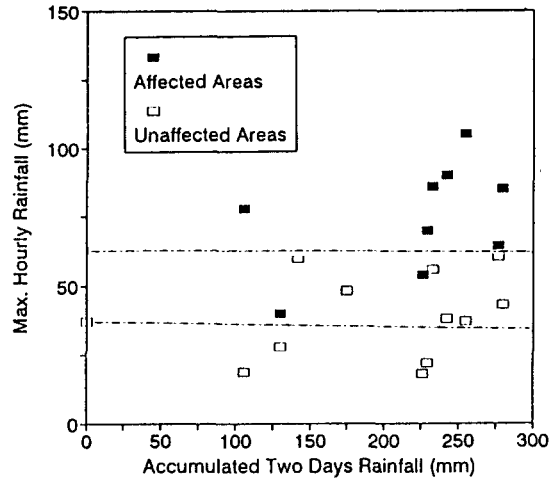


그림 8 2일 누적강우량과 최대시우량

이 그림에서 가장 강우량이 많은 지역과 그림 1에 도시된 산사태 발생지역이 비슷하다는 것을 볼 수 있다. 그림 3에는 주요지역의 7월중 강우량을, 그림 4에는 7월 21일의 시우량을, 그림 5에는 누적 강우량을 그렸다. 그림 3(b)에 보면 산사태가 일어난 21일 산사태 발생시의 이천과 양평의 누적강우량이 원삼보다 훨씬 크다. 그런데, 그 지역에서는 산사태가 발생하지 않았고 21의 일우량이 큰 원삼에는 많은 산사태가 발생하였다. 그리고 나머지 수원, 동탄, 오산 등 누적강우량 곡선이 21일에 급히 증가한 지역에서는 산사태가 모두 발생하였다. 이는 중부지역에서는 누적강우량의 영향이 우세하다는 홍<sup>12)</sup>의 연구 결과와는 다른 사례라 하겠다. 그림 6에는 산사태 발생전의 하루 동안의 선행강우량과 산사태 당일의 일강우량을 도시하였다. 그림 6에서 보면 산사태는 선행강우량과는 무관하게 당일의 일강우량이 114mm 이상인 지역에서만 발생했음을 알 수 있다. 그림 7에는 前日降雨量과 當日의 최대시우량을 도시했고, 그림 8에는 2일 누적강우량과 최대시우량을 그렸다. 그림 6과 그림 7, 8로부터 이 지역의 산사태는 당일우량이 114mm 이상으로

(1) 최대시우량이 62mm 이상인 곳에는 전 지

- 역에서 산사태가 발생했고,  
 (2) 최대시우량이 40mm-62mm인 곳에는 산사태 발생지역과 미발생지역이 병존하며,  
 (3) 최대시우량이 40mm 미만인 곳에는 산사태 발생지역이 없다는 것을 알 수 있다.

이 결과로 보면 선행강우량이 1991년 7월의 용인-안성 지역 산사태에는 영향요소가 아니었고, 강도높은 시우량이 3시간 정도 계속되어 200년 확률 강우량을 넘는 3시간의 호우가 산사태 발생의 주요인이었다고 볼 수 있다.

### 3. 달봉산 지역 산사태 조사결과 및 고찰

#### 3.1 달봉산 지역의 지형, 지질, 토질 및 임상

용인-안성 지역에 하루동안에 발생한 산사태 개수가 표 1에서 보듯이 2600개가 넘는 막대한 수이고 항공사진을 이용하지 않고는 조사하기 어려운 넓은 지역에 걸쳐있다. 산사태의 형태적 특성을 조사하기 위하여 지역의 중앙에 위치하고 지형도 구릉지와 산악지의 중간 정도인 달봉산 일대를 선정하여 현장조사를 실시하였다. 달봉산은 용인군 이동면 원덕성리와 남사면 창리와 완장리의 경계에 위치한 해발 표고 204m인 낮은 산이다. 산 동쪽으로는 진위

천이 이동저수지로 흘러들고 있으며 이 진위천을 따라서 용인단층이 남북방향으로 지나고 있다. 주 능선은 산정에서 하나는 북쪽으로 뻗어 있고 또 하나는 남동쪽으로 달리다가 진위천을 만나 절벽과 급경사를 이루고 있다. 산의 동쪽은 평지의 지반표고가 80m 정도이고 남, 서, 북쪽은 평지의 지반고가 100m 정도이다. 진위천과 이동저수지 쪽의 급경사를 제외하고는 계곡과 능선의 표고차는 50m를 넘는 곳이 거의 없으나 동쪽 원덕성리 지역과 서쪽의 창리 지역의 일부에는 40°-50°의 급경사가 형성되어 있다. 이 지역은 선캠브리아기의 퇴적기원의 변성암체를 기원으로하는 우백색편암과 규장편마암이 기반암을 이루고 있다. 이 편암과 편마암이 풍화된 잔류토와 산기슭의 붕적토가 표층토를 구성하고 있는데, 건조단위중량이 1.2-1.3 t/m<sup>3</sup>, 비중은 2.65-2.67, 세립함량이 10% 내외이며 대체로 비소성으로서 통일분류법으로 SM, SW-SM, SP-SM으로 분류된다. 그림 9는 대표적인 입도분포를 보이고 있다.

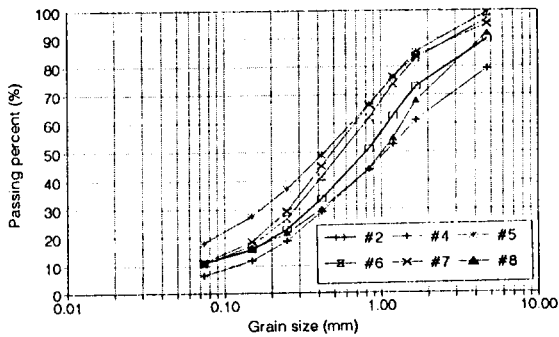


그림 9 대표지점의 토질입도분포

임상은 針闊混淆의 이차림이 지배적이거나 일부는 리기다소나무와 잣나무로 이루어진 식재림을 이루고 있다. 자연 2차림의 주요 수종은 신

갈나무, 굴참나무, 상수리나무, 소나무 등이다. 樹齡은 I, II 급이고 莖級은 稚樹 내지 小莖木, 疎密度는 中密을 나타내고 있다. 이 지역의 강우량은 전일우량이 이동면 54mm, 남사면 62mm이고 당일우량은 이동면과 남사면이 모두 165mm였다. 산사태로 원덕성리에서 3명의 사망과 220여개소 이상의 산사태가 발생하였다.

### 3.2 산사태 형태 분석

달봉산 일대의 220여개의 산사태 중에서 132곳에 대하여 트랜싯과 토탈스테이션을 사용하여 활동사면의 길이, 폭, 경사, 파괴깊이(주변 지형을 참조하여 추정)를 측량하고 주변 임상을 조사하였다. 그림 10은 달봉산 일대의 발생 현황을 지형도에 그린 것이다. 측량 조사된 산사태의 사면길기와 폭, 경사, 활동깊이, 면적, 토량, 활동깊이 비의 평균값이 표 6과 같다.

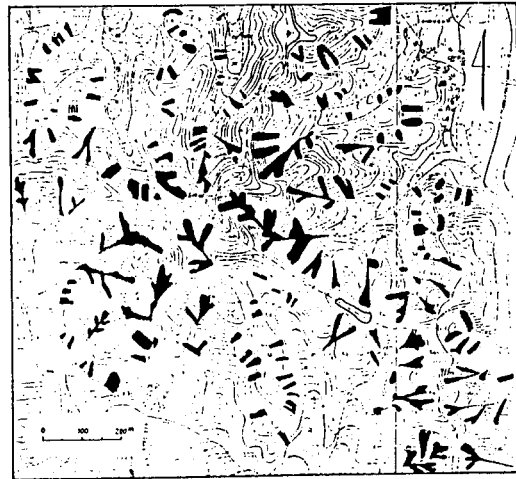


그림 10 달봉산 기슭에 발생한 산사태 위치도

표 6 산사태 형태 지표의 평균값

형태지표	경사각(도)	사면길이(m)	활동폭(m)			활동깊이(m)			면적(ha)	토량(m <sup>3</sup> )	활동깊이비(D/L)
			상	중	하	상	중	하			
평균값	30.8	29.7	12.0	14.5	12.7	0.68	0.83	0.64	4.1	305	3.9%

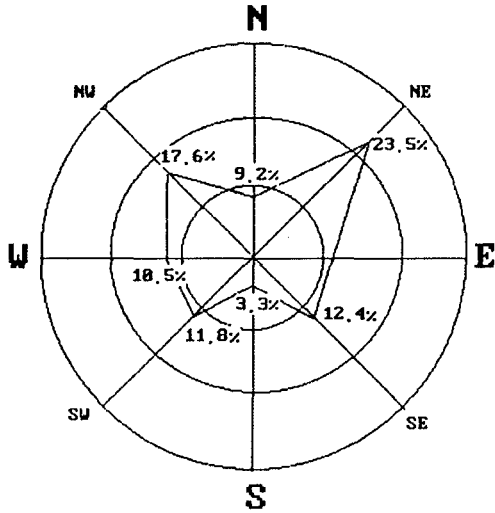


그림 11 붕괴사면의 방위분포

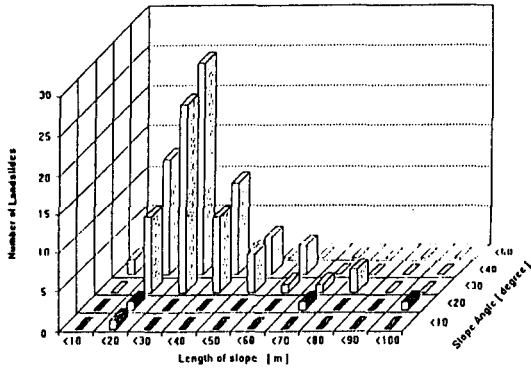


그림 12 붕괴사면의 길이와 경사도

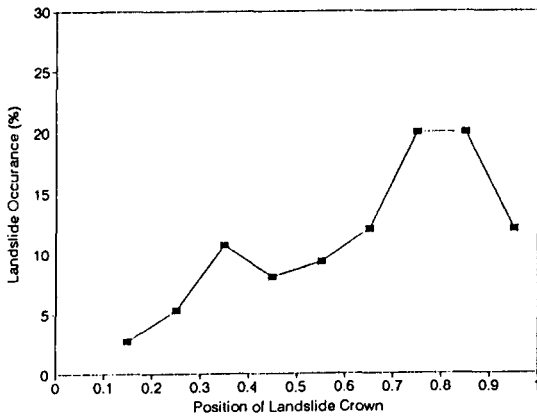


그림 13 활동면 시발점의 위치에 따른 발생률

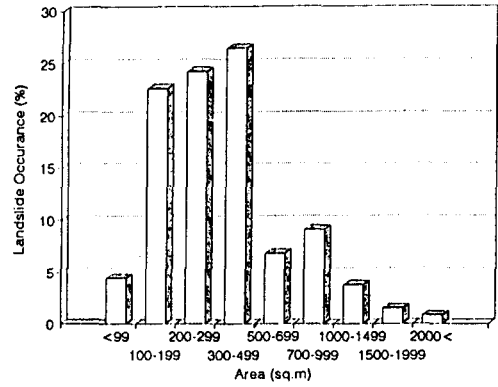


그림 14 면적별 활동사면의 발생률

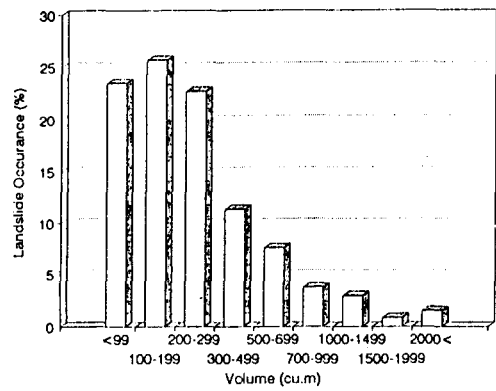


그림 15 활동 토량별 발생률

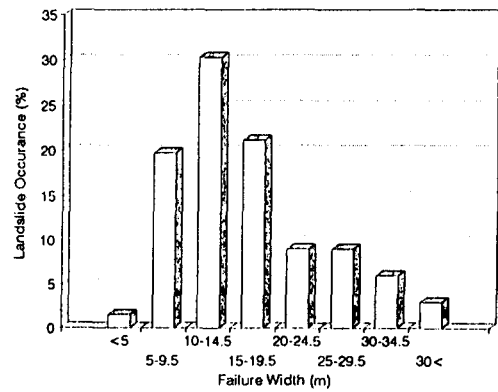


그림 16 활동사면 폭별 발생률

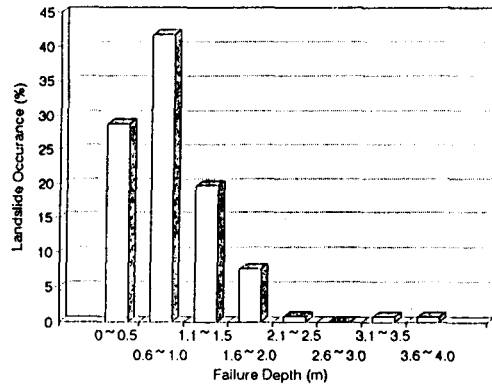


그림 17 활동 깊이별 발생률

그림 11은 활동사면의 방위 분포를 그린 것인데 이 지역의 주 능선 방향이 남동과 북쪽으로 달리고 있고 동쪽과 북서쪽에 급경사면이 많은 까닭에 활동사면의 방향이 북동과 북서 방향이 우세하게 나타난 것으로 보인다. 표 7은 활동사면의 길이와 경사의 분포를 정리한 것이고 그림 12는 이것을 그린 것이다. 활동사면의 길이는 20-30m에서 41.6%이고 50m가 전체의 92%이다. 사면 경사는 30°-40°에서 50.0%, 20°-30°에서 41.7%로서 경사 20-40°에서 90% 이상이 발생하였다. 결과적으로 이 지역 산사태는 경사가 20°-40° 범위인 사면에서 활동깊이 50m 이하에 집중되었다. 사면활동이 시작되는 위치는 그림 13에서 보다시피 7부 능선 이상에서 발생한 것이 전체의 50% 이상으로서 사면의 상부경사변환점에서 활동이 시작되고 있음을 알 수 있다. 낮은 위치에서 발생하는 산사태는 관찰결과 주로 계안침식에 의하여 사면하부가 침식되었던가 상승사면에서 사면하부가 붕괴된 경우 그리고 사면하부에 위치한 집수부와 지하수 용출부에서 발생한 경우로 나눌 수 있다. 그림 14에서 그림 17까지는 활동 면적, 활동 토량, 활동 폭, 활동 깊이에 따른 산사태 발생비율을 각각 그렸다. 이 그림들을 보면, 활동 면적은 5ha 이하가 전체의 75% 이상을 차지하고 있고, 활동 토량은 300m<sup>3</sup> 이하가 75% 정도이며, 활동면의 폭은 10-15m 범위가 30%, 5-20m 범위가 70% 정

도를 점하고 있다. 활동 깊이는 0.5-1.0m 범위가 42%로서 제일 많고 대부분이 2.0m 이하의 활동 깊이를 보였다. 그림 18에는 활동깊이비 D/L에 대한 산사태 발생률이 그려있다. Walker(1987)에 의하면 D/L값이 15-30%이면 회전 활동, 5-10%이면 평행활동, 0.5-3%이면 유동으로 분류되는데<sup>11)</sup> 이에 따르면 이 지역에서 발생한 산사태는 회전활동은 거의 없으며, 20%가 평행활동으로, 50%가 유동으로, 그리고 D/L이 3-5%인 30%는 평행활동과 유동이 섞여서 발생한 것으로 보인다. 그림 19에는 활동깊이비와 활동면적의 관계를 그렸는데 깊이비가 큰 활동일수록 활동면적은 작게 일어났고 깊이비가 작은 유동성 사태가 활동면적이 크게 나타남을 볼 수 있다. 사면활동이 발생한 모양에 따라 川口의 분류법을 따라 분류하면 그림 20과 같다. 그림에서 線모양으로 분류된 것은 길이에 비하여 폭이 아주 작은 것들이고, 나무가지모양에는 가지를 각기 하나의 활동으로 세었다. 판형에 속하는 것들은 주로 얇은 토층 아래 암반이나 굳은 풍화층이 있어서 두 토층 경계면에서 활동이 발생한 경우가 많다. 수종별 사태 발생비율은 그림 21과 같다. 이 비율은 각 수종별 임지면적이 고려된 것이 아니어서 수종에 따른 산사태 역지력의 차이를 나타낸 것이 아니다. 현장 관찰 결과에 의하면 이 지역의 산사태는 수종에 따른 차이가 별로 없었다. 다만 침엽수 식재림 지역에는 교목층 아래에 아교목이나 진달래와 철쭉 등 관목층의 형성이 부족하여 뿌리의 지표토사구속력이 자연림지역보다 작았다. 수풀이 산사태 발생을 억제했다는 증거는 별로 찾을 수 없었다. 오히려 강풍에 의하여 나무가 뿌리채 뽑힌 곳이 많아서 우수의 지중침투를 촉진하여 사태 발생을 도와준 사례가 관찰되었고 휩쓸려 내려와 계곡을 메운 나무가지와 뿌리로 계곡수가 범람하고 계안을 침식하여 사태와 침수피해를 크게하는 등 부정적인 효과도 있었음을 볼 수 있었다.

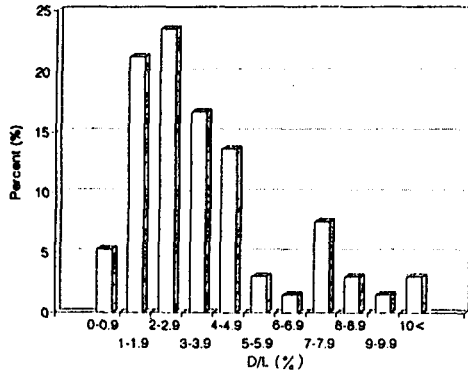


그림 18 활동사면의 (깊이/길이)비에 따른 발생률

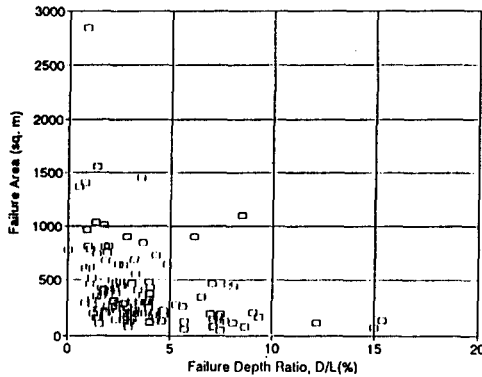


그림 19 활동 깊이비와 활동면적 상관도

#### 4. 요약 및 결론

1991년 7월 21일에 용인군과 안성군의 경계 지역을 중심으로한 경기도 남부지역에 내린 집중호우로 이 지역에 2600곳 이상의 산사태가 발생하였다. 이 산사태의 발생규모와 강우기록, 지형 및 지질, 임상조건을 조사하고 달봉산 일대의 현장측량 및 지반조사를 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

산사태가 발생한 지역의 지형과 지질 토질, 임상 등 산사태 발생의 내적 조건은 발생지 인근 지역과 별다른 차이가 보이지 않았다. 이 지역의 강우기록을 분석한 결과 산사태 발생지역은 21일 당일 강우량이 114mm 이상인 지역에

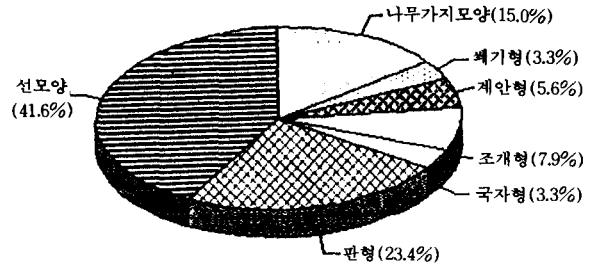


그림 20 산사태 모양에 따른 분류

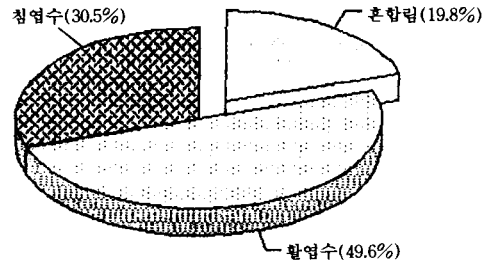


그림 21 수종별 산사태 분포

속하고 있었다.

산사태 발생은 선형강우량보다는 당일강우량에 의하여 유발되었으며, 특히 최대시우량 40mm 이상인 지역에서 산사태 발생지가 나타났으며 62mm 이상인 지역전체에서 산사태가 발생하였다.(지역구분은 읍, 면, 시 단위)

달봉산 지역 산사태에 대하여: 이 지역의 활동사면의 평균길이는 29.7m, 평균 사면경사는 30.8°, 평균 활동면적은 4.1ha, 평균 활동토량은 305m<sup>3</sup> 그리고 활동깊이비 D/L의 평균치는 3.9였다.

사면경사 20°-40° 범위에 90% 이상의 산사태가 속하고, 30°-40° 경사에서 50%의 산사태가 발생하였다. 활동사면의 길이는 50m 이하가 90%이고 20-30m에서 42%의 산사태가 발생하였다.

활동깊이비 D/L에 의하여 분류하면 회전 활동은 거의 없고, 20%가 평행활동, 50%가 유동으로 분류되며, 30%는 유동과 평행활동이 병행하였다.

이 지역의 삼림은 산사태발생 억지효과가 크지 않았으며, 산사태 발생 후에는 계곡과 하천수로를 막아서 하천범람과 제안침식 등의 피해를 증가시켰을 것으로 관찰되었다.

### 감사의 말씀

이 연구는 1992년 교육부 학술진흥재단 자유연구과제 연구지원금에 의하여 이루어졌기에 이에 재단에 감사드립니다. 이 연구를 수행하는 동안에 자료제공으로 도와주신 용인군청, 안성군청, 경기도 치산사업소, 산림청 임업연구소의 여러분께 감사드립니다. 그리고 현장조사에 함께 애써준 우리 학생들에게도 이자리를 빌어 고마움을 표한다.

### 참고 문헌

1. 내무부 중앙재해대책본부, (1991), 재해년보
2. 산림청(1993), 산사태 위험지 조사판정요령
3. 기상청(1991), 예보사례분석집, 경기남부지방(수원, 용인)집중호우, 1991년 7월 21일 pp.73-109
4. 건설부(1988), 방재종합대책 중장기계획 보고서(3권), 5.산사태 피해, pp.359-701
5. (a)국립지리원(1987) 국가기본지형도(1:50,000) 용인(도엽번호, NJ52-9-26-038)  
(b)국립지리원(1988) 국가기본지형도(1:50,000) 용인(도엽번호, NJ52-9-26-039)
6. (a)과학기술처 국립지질조사소(1972), 한국지질도(1:50,000), 수원도폭  
(b)국립지질광물연구소(1974) 한국지질도(1:50,000), 이천도폭  
(c)국립지질광물연구소(1973) 한국지질도(1:50,000), 오산도폭  
(d)한국동력자원연구소(1989) 한국지질도(1:50,000), 안성도폭
7. 산림청 임업연구원(1992), 임상도(1:25,000) No.176-4, 용인(NJ52-9-26-2)

8. 안성균, (1992), '91 온 국민이 함께한 수난 극복사
9. 건설기술연구원, (1989), 사면의 안전진단 및 보호공법, 연구보고서, 건기연 89-GE-111
10. 한국골프장사업협회, (1991), 용인지역 골프장 수해발생원인 조사 및 피해분석
11. 김상규(1988), "사면안정(I)", 대한토질공학회지, 4(1), pp.90-101
12. 홍원표(1990), "사면안정(VIII)", 대한토질공학회지, 6(3), pp.88-98
13. 이영남(1991), "산사태, 지반공학과 자연재해(II)", 대한토질공학회지, 7(1), pp.105-113
14. 최경(1989), 한국의 산사태 발생요인과 예지에 관한 연구, 박사학위논문, 강원대학교
15. 최경(1989), "산사태 예지방법과 예방대책", 임업연구원 연구정보, No.27, pp.1-3
16. 砂防學會(日)(1992), 斜面の土砂移動現象, 第2章 斜面崩壊, 山海堂, 東京, pp.86-192
17. 土質工學會(日)(1985), 土質基礎工學土ライブラリ-27 土砂災害の豫知と對策, 第4章, pp.155-244
18. 小橋 澄治(1977), "のり面の安定度 危険度の制定方法", 總合土木研究所 刊, 地すべり防止・斜面安定 ①, pp.49-55
19. 田中 茂(1977), "集中豪雨にと斜面崩壊の本質", 總合土木研究所刊, 地すべり防止・斜面安定 ①, pp.36-48
20. Sassa, K.(1985), "The Geotechnical Classification of Landslides", proc. 9th int. Conf. and Field Workshop on Landslides, Tokyo, pp. 31-40
21. Hansen, M, J.,(1984), "Strategies for Classification of Landslides", Slope Instability, ed. by D. B. Prior, John Wiley & Sons, New York, pp.1-23
22. Lumb, P.(1975), "Slope failures in Hong Kong", Quarterly Journal of Engineering Geology, London, 8, pp.31-65
23. Broms, B. B.(1975), "Landslides", chap. 11 of Foundation Engineering Handbook, ed. by Winterkorn and Fang, Van Nostrand Reinhold co., New York, pp.373-401
24. Crozier, M. J.(1984), "Field Assesment of Slope Instability", chap. 4 of Slope Instability, ed. by Brunnsden and Prior, John Wiley & Sons Ltd., pp.103-169

(접수일자 1993. 11. 6)