



급경사지 붕괴지역의 현장조사 및 원인분석



류 지 협
한려대학교 교수
chryu2@paran.com

1. 서론

2011년 7월에 발생한 밀양 산사태, 춘천 산사태 및 우면산 산사태 등은 최근의 기후변화에 따른 집중호우가 우리에게 어떠한 피해를 줄 수 있는지 여실히 보여주었다. 특히, 집중호우에 의한 산사태 및 급경사지 붕괴는 곧 바로 심각한 인명피해(58명, 2011년 7월)로 이어져 국가의 첫 번째 의무인 국민의 보호차원에서 급경사지에 대한 혁신적이고 정확한 새로운 방재정책의 도입을 요구하고 있다. 정부는 2007년 7월 ‘급경사지 재해예방에 관한 법률’을 제정하였고, 2007년 8월 사단법인 사면재해경감협회를 설립하여 급경사지의 피해를 줄이기 위해 지속적으로 노력하여 왔다. 또한 전국의 급경사지 대상지를 매년 조사하여 2011년 기준 13,027개소의 급경사지 대상지를 관리하고 있으며, 급경사지 붕괴가 발생하면 급경사지분야 재해경감대책협의회를 긴급 가동하여 전문가로 하여금 붕괴현장 조사 및 원인분석을 수행하여 급경사지 정책 및 제도적인 개선사항 등을 제시하는 제도를 운영하여 왔다.

본 글은 2011년 7월 2차례의 집중호우(1차: 7일~11일, 2차: 26일~29일)로 서울시, 경기도, 강원도, 경상남도, 전라남도, 전라북도 및 충청남도 지역 일대의 도로 및 주택 주변의 급경사지(인공비탈면, 자연비탈면, 산지)가 붕괴되어 58명의 인명 및 재산상의 피해가 발생함에 따라 피해지역 및 붕괴

지역에 대한 현지조사, 붕괴원인분석 및 급경사지 관리기준 적용 등에 대한 종합적인 조사·분석을 수행하여 급경사지의 재해경감을 위한 정책 및 제도개선 방안을 제시한 내용을 정리한 것이다.

2. 급경사지 분야 재해경감대책협의회 활동 내용

급경사지 분야 재해경감대책협의회는 급경사지 붕괴로 인한 피해가 발생하는 경우 가동되어 현장조사 활동이 수행되며, 급경사지 현장조사 결과보고서는 급경사지 담당공무원에 대한 교육교재 및 급경사지 정책의 제도개선에 사용되어 왔다. 급경사지 재해경감대책협의회 활동은 2007년부터 <표 1>과 같이 수행되어오고 있다.

3. 2011년 집중호우와 급경사지 붕괴 지역 현장조사

3.1. 7월 7일~11일 급경사지 붕괴지역 현장조사

2011년 7월 7일~11일 집중호우로 경상남도, 전라남도, 전라북도 및 충청남도 지역 급경사지 붕괴로 10명의 인명피해가 발생하였다. 집중호우로 발생한 급경사지 붕괴 및 산사태 피해지역 중 인명피해지역을 중심으로 총 7지구[경상남도(2지구), 전라남도(3지구), 전라북도(1지구) 충청남도(1지구)]

기획특집

표 1. 급경사지 분야 재해경감대책협의회(사면재해경감협회) 활동 내용

일시	급경사지 분야 재해경감대책협의회 활동
2007.12.15	강원, 인제, 평창 및 정선 급경사지 복구평가 실시
2008.06.23	급경사지 관리기준 연구 수행
2009.07.20	부산, 경남, 전남, 강원 및 충북 급경사지 붕괴지역 조사
2009.08.10	급경사지 중앙합동조사
2009.08.21	중앙민방위경보통제소 석축 안전점검 실시
2009.10.16	익산 재해위험지구 현지조사
2009.12.10	급경사지 재해경감대책협의회 간담회 개최
2009.12.16	급경사지 중앙합동표본점검 실시
2010.04.06	급경사지 시군구공무원 워크숍 개최
2010.04.19	우기철 사전대비 중앙합동점검 실시
2010.05.27	설악산 산사태 현장조사 실시
2010.08.24	경남, 전남 및 전북 급경사지 붕괴지역 조사
2010.09.30	서울, 인천 및 경기 급경사지 현장조사
2011.03.14	급경사지 실무교육 실시
2011.03.24	급경사지 공무원 집체교육 실시
2011.04.18	우기대비 급경사지 점검 실시
2011.05.25	영동군 급경사지 붕괴지역 조사
2011.07.11	경남, 전남, 전북 및 충남 급경사지 붕괴지역 조사
2011.07.28	서울, 경기 및 강원 급경사지 붕괴지역 조사"

급경사지를 조사대상으로 하였다. 급경사지 조사 대상지구의 현장조사 위치도 및 붕괴지역 주요현황은 <그림 1>와 <표 2>와 같다.

1. 강우특성

2011년 7월의 수해는 집중호우에 기인되며, 대부분의 급경사지 재해[급경사지 붕괴, 산사태, 임도 유실, 계곡매몰]는 7월 7~10일의 집중호우와 직접 또는 간접적으로 관련된다. 7월 7일~10일의 집중호우는 장마 이후에 경상남도, 전라남도, 전라북도 및 충청남도에 많은 비를 내렸다.

특히, 4명의 인명피해가 발생한 경상남도 밀양지구는 재해발생 13일~18일 전인 6월 22일~26일에는 166.5mm의 다소 많은 강우가 있었으며, 재해 발생 6일~7일 전인 7월 3일~4일에는 86.0mm

강우가 있었다. 또한 7월 7일에는 16.0mm, 8일에는 16.0mm, 9일(당일)에는 245.0mm의 강우량을 기록하였다. 그리고 재해발생 이전 5시간의 누적 강우량은 99.5mm(7월 9일 8:00~13:00)이었고, 재해발생 시점인 12:00~13:00의 시우량은



그림 1. 2011년 7월 7일~11일 급경사지 붕괴지역 현장조사 위치도

표 2. 2011년 7월 7일~11일 급경사지 붕괴지역의 주요현황

지역	위 치	피해일시	사면구분	피해유형	인명피해	
					사망	부상
경남 밀양 1지구	밀양시 상동면 신곡리	7월 9일 12:40	산지	-산지 임도붕괴 -계곡부 토석류 발생 -주택 매몰	4	4
경남 하동 1지구	하동군 옥종면 회신리 95-3	7월 10일 6:00 (붕괴발생 하루 후 7월 11일 발견 신고)	자연사면	-자연사면 9부능선 원호붕괴 -계곡부 토석류 발생 -농장 일부 매몰	2	-
전남 순천 2지구	순천시 황전면 죽내리 산133	7월 11일 16:45 (붕괴직후 신고일시)	자연사면	-뒤산 정상부 길이100m, 폭20cm 인장균열 발생 -도로 및 주택 등 균열, 변형발생 -주민 긴급 대피	-	-
	순천시 해룡면 신대리 119-2	7월 9일 12:00 ~20:30	자연사면	-주택 연접사면 토사붕괴 발생 -주택 2채 매몰 -마을 주민 긴급 대피	-	-
전남 보성 1지구	보성군 회천면 화죽리 574-3	7월 10일 09:30 (현지주민의 붕괴발견 시간)	자연사면 묘지조성	-주택연접 사면 상부에 묘지조성 -묘지앞 2단 석축유실 및 사면아래 주택 매몰 -묘지조성시 자연사면 정비	2	-
전북 군산 1지구	군산시 옥도면 개야도리	7월 10일 17:00	자연사면+보강토옹벽	-주택 뒤편 급경사 자연사면의 파괴 -재해위험지구 정비사업의 일환으로 축조된 보강토옹벽의 파괴 -주택 뒷벽 파손 및 주택내부 일부 매몰	1	-
충남 서천 1지구	서천시 장항읍 원수3리	7월 10일 16:08	자연사면	-주택 뒤편 급경사 자연사면의 표층 슬라이딩 파괴 -사면상부 거대수목 전도 및 주택 덮침 -주택 뒷벽 파손 및 주택 내부 일부 매몰	1	1
계	7지구				10명	5명

40mm/hr를 기록하였다.

2. 급경사지 붕괴지역 현장조사

가. 밀양시 지구는 피해지역 뒷산에 위치한 계곡

의 홍수량이 급격히 늘어나면서 계곡이 범람하고, 급경사를 이룬 계곡은 침식되어 토석류가 발생하였다. 5년 전인 2006년에 개설된 마을 뒷산의 임도 성토부가 붕괴되면서 토석류에 합류되었으며, 지속된 폭우는 수 천년간 산사태로 형성된 붕적층

기획특집

표 3. 각 지구별 강우발생 현황(AWS) 분석

구분 (관측소명)	최대 시우량		일강우량		1,2주간 누계강우량		
	강우량	발생일	강우량	발생일	강우량	발생일	
경상	밀양시	40	7.9	245	7.9	375.5	7.4-10
남도	하동군	42.5	7.1	254.5	7.1	450.5	7.4-10
전라	순천시(황전면)	41.5	7.1	25.5	7.1	475	7.4-10
	순천시(해룡면)	37.5	7.9	386	7.9	600	7.4-10
남도	보성군	31	7.9	260.5	7.9	385	7.4-10
전라	군산시	44	7.1	308.5	7.1	431.5	6.27-7.10
북도							
충청	서천군	43.5	7.1	245	7.1	375	6.27-7.10
남도							

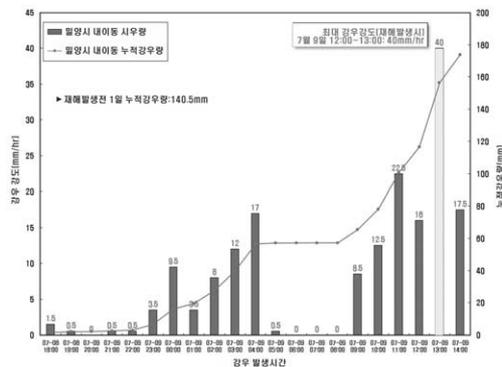


그림 3. 밀양시 재해발생시 강우량

을 침식시키므로써 대규모 토석류가 발생하였고 여기에 성장한 수목이 함께 유실되었다. 초기에 발생된 토석류와 수목은 하류부에 위치한 마을내의 구거로 유입되었고, 이들은 소형교량과 우수관을 막아 계곡에 퇴적되므로 인하여 지속된 폭우로 발생된 대규모 토석류와 수목은 계곡 양측의 농경지는 물론 주택을 매몰시킨 것으로 추정된다. 이렇게 발생된 토석류와 수목은 가옥을 덮쳐 총 8명(사망 4명, 부상 4명)의 인명피해와 더불어 과수원과 농경지, 건물의 유실 및 파손, 토사범람, 임도 및 수목 유실 등의 재산피해를 초래하였다.

나. 하동군 지구는 농장에 연접한 자연사면으로 지형상 계곡을 형성하고 있으며 약 50m 상부, 농

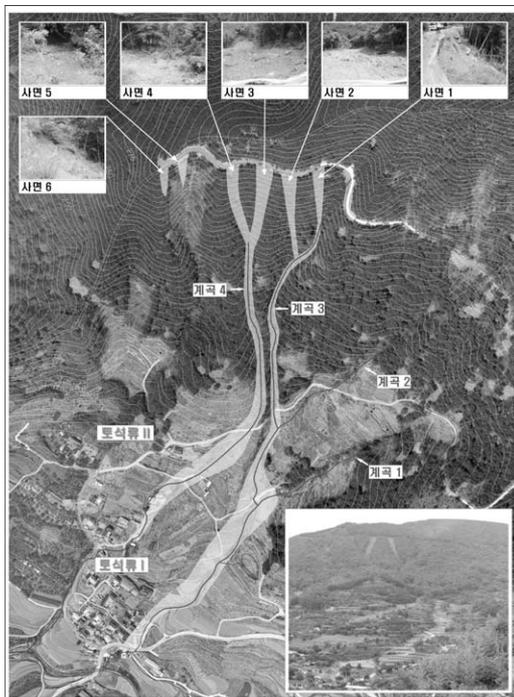


그림 4. 경남 밀양지구 토석류 발생 위치도 (옥치남와 이창섭, 2011)

장 배후사면 9부 능선에서 표토층이 원호활동 붕괴(길이 5m, 폭 4m)가 발생하여 사면하부에 토석류로 흘러내리며 농장에 피해를 준 경우이다. 사면 붕괴지역 상부는 바로 산지 정상부이며 모지와 농경지가 조성되어 있으며, 지형상 계곡을 형성하여



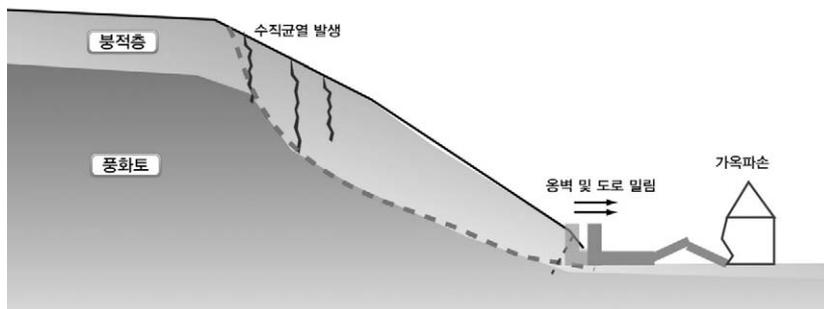
재해현장 개요도



묘지 능선부 인장균열 발생



옹벽 및 노면 밀림 발생



황전면 죽내지구 붕괴형상 모식도

그림 5. 전라남도 순천시 황전지구 피해현황(노병돈와 류지협, 2011)

표출수가 집수된다. 토석류에 의해 퇴적된 토사량이 적어 외부에서는 산사태 현장인지 분간할 수 없다. 주민이 새벽 집중호우로 농장을 둘러보며 배수

로 등 응급조치를 하던 중 토석류에 매몰된 것으로 추정된다. 사고후 집에 있던 아들(고등학생)은 내용을 모르고 출타하였으며, 하루가 지나고 월요일

기획특집

동네주민에 의하여 발견되었다.

다. 순천시 황전면 지구는 최대우량 42.5mm, 2일 누적강우량으로 407mm의 집중호우가 내렸으며, 인장균열이 발생한 마을 뒤산은 경사면을 개간하여 밤나무와 매실나무를 식재하면서 계단식으로 경사면이 정비되고 배수로는 제 역할을 하지 못하였으며, 정상부에 2009년 이후 모지가 새로 조성되었다. 산 정상부는 10일 강우 이후 11일까지 약 1일의 시간이 경과되고 나서 마을 도로방향과 지형상 계곡을 따라 길이 약 100m, 폭 20~30cm, 단차 40cm의 인장균열이 발생하였으며, 마을도로는 용기 및 밀립현상(약 20~25cm), 도로옹벽은 균열이 발생하였다. 옹벽균열은 11일 2곳, 12일 6곳, 15일 10곳, 18일 21곳에서 발견되어 밀립현상이 진행되고 있음을 알 수 있으며, 옹벽위토사도 일부 밀립현상이 진행되었다.

라. 해룡지구는 9일 386mm의 일강우량을 보였으며, 9일 12시경 마을 뒤산 경사면에서 토사유실이 시작되어 굴착기로 응급복구를 진행중에 우측으로 50m에서 토사유실이 재차 진행되었으며, 이후 해룡면장과 이장 등이 마을 주민을 긴급대피 시켰고, 7시 경 토사유실이 시작후 8시30분경 대규모 붕괴가 발생하여 주택 2채를 매몰하였다. 해룡지구는 산사태 발생을 초기에 인지하여 이후 적절한 응급조치를 시행하여 인명피해를 막을 수 있었다. 해룡지구는 지형상 오목한 복합지형을 보이며, 산 정상부는 개간되어 과수원으로 사용되고 있으며, 지질상 응회암지대로 토사가 강우가 침투하면 체적이 팽창하는 특성을 보이며, 세립질을 많이 포함하여 경사면에 강우가 침투하면 쉽게 무너져 내릴 수 있다. 해룡지구는 일부 2009년 산사태로 사방복구공사를 완료한 지역으로 이번에 보강지역에서 최초 붕괴가 시작되어 복구공법의 적용의 중요성을 보여주었다.

마. 보성군 회천지구는 개인소유 암자로 암자 연

접 비탈면은 경사가 40~60도를 나타내고 있으며, 상부 50m 위치에 새로 2010년 10월 모지를 조성하면서 모지앞 단을 만들기 위해 성토 및 석축을 2단으로 쌓은 지역이다. 비탈면은 모지조성시 나무 제거 등 정비를 하였으며, 지질은 풍화가 심한 편마암지대이며, 모암의 옅리방향은 사면방향과 45도이상 경사져 자연사면의 경사가 급하여도 잘 붕괴되지 않는 지역으로 판단된다. 붕괴는 모지조성 후 쌓은 석축에서 시작되었으며 자연사면의 경사가 급하여 석축을 사면에 붙여 2단으로 쌓았으나 이번 집중호우를 견디지 못하여 붕괴하면서 사면아래 요사체를 매몰하여 2명의 인명피해가 발생하였다.

바. 군산시 옥도면 개야도리의 주택 뒷편 자연사면은 약 20년전 사면붕괴가 발생되었다고 전해지고 있다. 그러나, 그 사면붕괴의 규모 및 그 후속조치에 대해서는 알려지고 있지는 않다. 다만, 2009년도에 재해위험지구 정비사업의 일환으로 보강토옹벽이 설치되기 이전까지는 뚜렷한 후속조치가 없었다는 점에서 20여년 전의 사면붕괴의 규모는 경미하였던 것으로 추측된다. 또한, 당초 2009년도 재해위험지구 정비사업시에는 본 조사대상 지역은 사업지역에 포함되어 있지 않았으나, 일부 인접주택 주민들의 요구사항으로 설계변경이 이루어져 보강토옹벽이 추가로 축조되었다. 본 조사 대상 지역의 급경사 자연사면과 보강토옹벽의 붕괴원인에 대하여는 우선, 이 지역에 발생한 붕괴시점까지의 일 강우량이 275.0mm에 달하고 있어 자연사면이 완전포화되고 또 침투수가 자연사면을 통해 보강토옹벽으로 유입되는 극한상황에 의한 것이 일차적인 원인인 것으로 판단되며, 향후 붕괴원인에 대한 정밀조사 및 보강토옹벽 전반에 대한 안정성 검토가 필요한 것으로 판단된다. 피해상황은 급경사 자연사면과 보강토옹벽이 붕괴되면서 토사 및 보강토 블록이 인접주택 뒷벽을 덮쳐, 주택 내

부로 유입되어 인명피해(사망 1명)가 발생되었다.

사. 서천시 장항읍 조사대상 사면은 급경사시 관리기준에 의한 재해위험지역 대상이 아닌 사면으로 사면의 경사는 52°로 급경사를 이루고 있으나 높이가 낮아 급경사지로 분류되지는 않고 있다. 현

장조사 결과 느슨한 풍화토층이 기반암 위에 존재하고 있었으며, 많은 수목이 사면에 분포되어 있으며, 7월 10일에 발생한 일 245.0mm의 집중호우에 따른 사면의 포화로 사면 표층부의 전단강도의 급속한 저하와 침투수압의 증가로 인해 사면 표층

재해현장 개요도



주택내부로 토사유입



사면상부 도로지반 붕괴

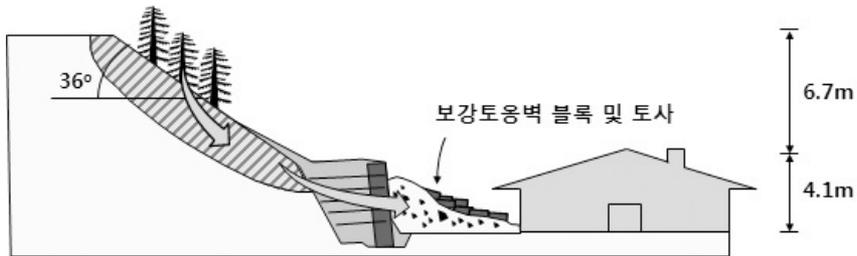


그림 6. 전라북도 군산시 개야도리 보강토옹벽 붕괴 개요도(김유성과 이광준, 2011)

기획특집

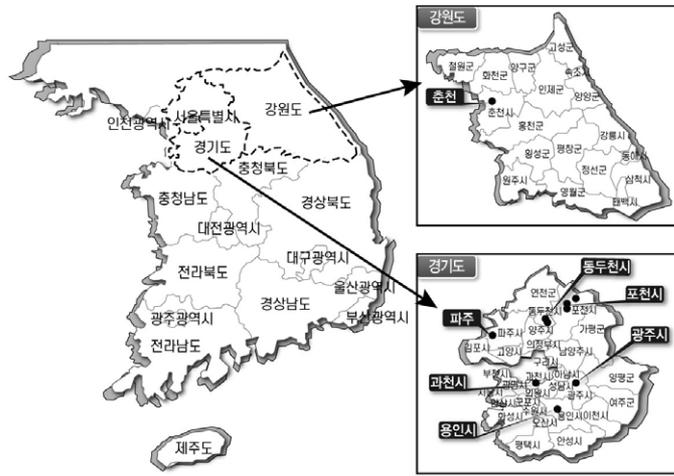


그림 7. 경기도 및 강원도 조사위치도

표 4. 경기도 및 강원도 급경사지 붕괴 주요현황

지역	위 치	피해일시	사면구분	피해유형	인명피해	
					사망	부상
경기 남부	경기도 과천시 과천동 산11(우면산)	7월27일 06:00~09:00	자연사면	-계곡부토석류 발생 -주택매몰(사망)	1	-
	경기도 광주시 오포읍 문형리 산64-18	7월27일 13:00	자연사면	-계곡부 토석류발생 -주택 매몰	-	-
	경기도 광주시 도척면 유정리 산31	7월27일 13:20	자연사면	-KT송신소옹벽 토석류발생 -주택 매몰	-	-
	경기도 용인시 모현면 능원리 255-1	7월27일 00:00	자연사면	-계곡부 토석류발생 -주택 매몰(사망)	1	-
경기 북부	탄현면 금산리 345 (주)ANG	7월 27일 18:30	인공사면	-공장부지 인공사면 붕괴 -공장 일부 매몰(사망) -건물 반파, 토사 범람	4	1
	탄현면 금산리 산30-1 모닝F&B	5월 31일	인공사면	-공장부지 인공사면 붕괴 -공장부지 낙석 피해	-	-
	경기도 포천시 일동면 기산리 78-1	7월 27일 23:30	자연사면	- 주택 뒷편 인공사면 붕괴 -주택 매몰(사망)	3	2
	경기도 포천시 신북면 금동리 534-1	7월 27일 21:15	자연사면	-택지 뒷편 산지붕괴 -펜션 매몰(사망)	3	7
	경기도 포천시 신북면 심곡리 729-7	7월 27일 21:50	자연사면	-펜션 배후 자연사면 붕괴 -펜션 파손(사망)	1	1
	경기도 동두천시 상봉암동 341	7월28일 10:15	자연사면	-계곡부 토석류발생 -주택 매몰(사망)	4	-
	경기도 동두천시 하봉암동	7월28일 9:45	자연사면	-사면 붕괴 및 배수로 월류 -공장 반파(사망)	1	-
강원도	강원도 춘천시 신북읍 천전리 산72-1	7월27일 00:10	자연사면	-펜션 배후 자연사면붕괴 -전파 6개동, 반파개동	13	24
계	12지구				31명	35명

부의 슬라이딩 붕괴가 발생한 것으로 판단된다. 사면의 붕괴 및 재해위험도 평가에 따라 재해위험지역으로 지정하여 지속적인 관리가 필요할 것으로 판단되며, 주변 주택지역의 유사한 사면에 대한 전수조사가 필요할 것으로 판단된다.

3.2. 7월 26일~29일 급경사지 붕괴지역 현장조사

7월 26일~29일 집중호우로 서울시, 경기도 및 강원도 지역 급경사지 붕괴로 48명의 인명피해가 발생하였다. 집중호우로 발생된 급경사지 붕괴 및 산사태 피해지역 중 인명피해지역을 중심으로 총 12지구(경기남부(4지구), 경기북부(7지구), 강원도(1지구)) 급경사지를 조사대상으로 하였다. 급경사지 조사대상지구의 현장조사 위치도 및 붕괴지역 주요현황은 아래와 같다.

1. 강우특성

2011년 7월의 수해는 집중호우에 기인되며, 대부분의 급경사지 재해[토석류발생, 급경사지 붕괴, 펜션붕괴, 계곡매몰]는 7월 26~29일의 집중호우와 직접 또는 간접적으로 관련된다.

특히, 우면산인 과천시지구는 재해발생일인 7월 27

일의 3일 전부터 강우가 시작되어 7월 24일 5.5mm, 7월 25일 20.0mm, 7월 26일 92.0mm, 7월 27일 241.5mm의 강우량을 기록하였다. 누계 강우량은 359.0mm였다. 재해발생 1일 전 누적강우량은 208.5mm이고 토석류 유출기간(7월 27일 06:00~09:00)의 시우량은 14.0~49.5mm/hr로서 최대 강우강도를 보인 시간과 토석류 발생시기는 일치한다.

2. 급경사지 붕괴지역 현장조사

가. 과천시 우면산 산사태 피해지역은 집중호우 기간 중 최대시우량을 기록한 7월 27일 06:00~09:00 사이에 피해지역의 상류에 위치하는 계곡의 홍수량이 급격히 늘어나면서 계곡이 범람하고 9부능선의 급경사 산지에서의 수목전도 및 사면붕괴로 형성된 유목댐의 형성-월류로 인한 에너지로 계곡부에서 대규모 토석류가 발생하였다. 토석류가 발생한 지역은 대규모 산사태가 발생한 우면산 산체의 과천측(남서측부)으로서 선캠브리아기의 경기편마암복합체에 속하는 호상흑운모편마암이 넓게 분포하는 지역이며, 호상흑운모편마암은 엽리의 발달로 엽리면을 따라 풍화가 심하게 진행되어 쉽게 분리 및 파쇄된다. 따라서 편마암이 분포하는 지역은 토사에 각상의 암편(자갈~호박돌 크기)이 혼입되어 표토 및 붕적토로 분포한다. 우면산 지역의 표토 및 붕적토의 두께는 0.5~3.0m 두께를 가지며 느슨하고 공극이 크며, 불균질한 토성을 보여준다.

본 피해지역의 토석류 발생은 6개의 소계곡에서 발생된(토석류 I~토석류 VI) 토석류가 본류로 합류하여 최종 토석류(본류)를 형성하였으며, 토석류가 발생된 주계곡의 연장은 450m에 이른다. 유목과 토석류가 주택을 휩쓸 시간은 우기기간 중 최대시우량을 기록한 시간은 7월 27일 06:00~09:00

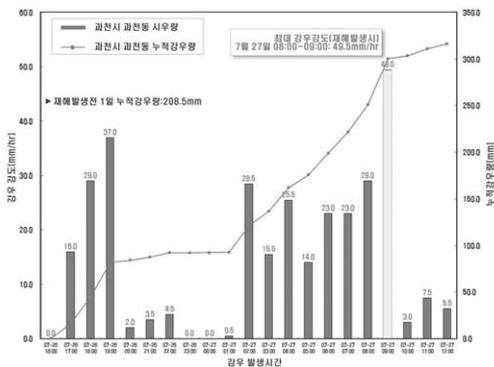


그림 8. 경기도 과천시(우면산) 재해발생시의 강우량

기 | 회 | 특 | 집

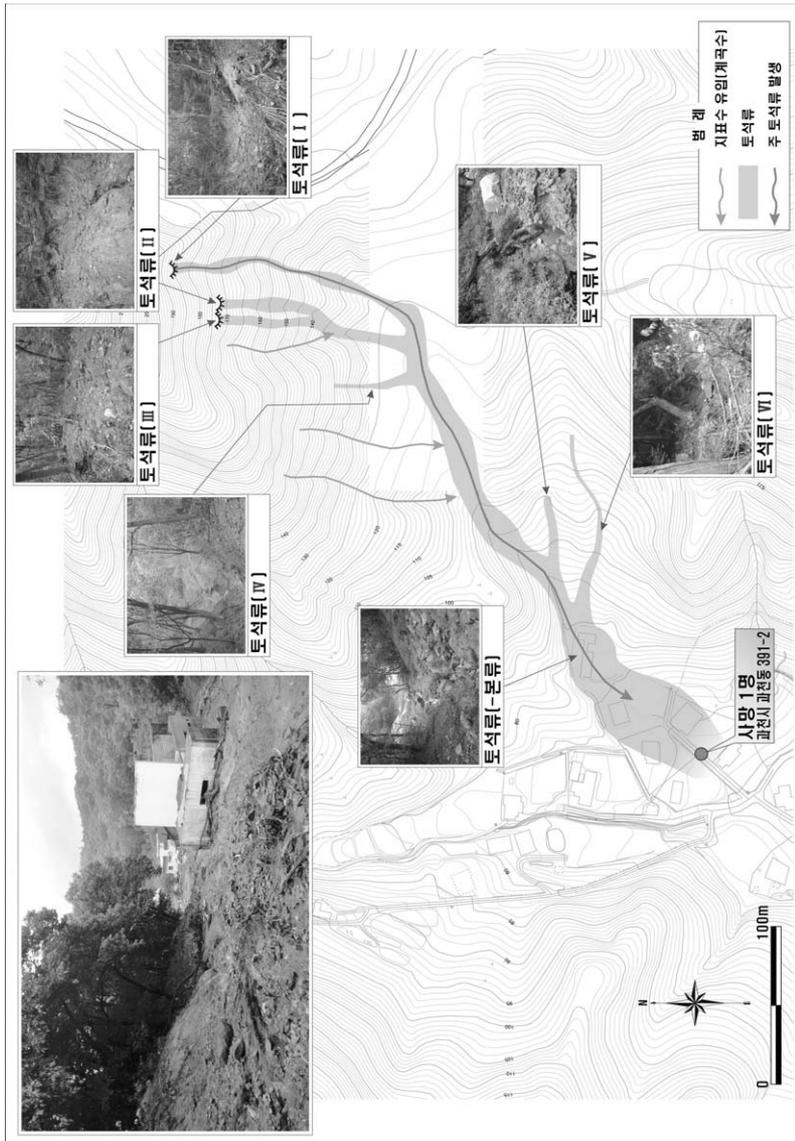


그림 9. 우면산 토석류 발생위치도(옥치남와 이창섭, 2011)

로 추정된다. 집중호우로 풍화대 또는 암반상부에 느슨하게 형성된 표토 및 붕적토가 포화되면서 강도정수와 유효응력은 감소하여 9부 능선의 급경사 산지(산책로, 참호위치 함)의 표토가 유실되고, 무성하게 성장된 수목이 전도되면서 토석류가 발생하기 시작한 것으로 추정된다. 유목과 토석류가 급

경사지를 따라 흘러내려 이들이 협곡을 막아 유목담을 형성하고, 지속된 홍수와 토석류 유입에 따라 홍수위가 급격하게 상승하였고, 중국에는 유목담을 월류하였던 것으로 추정된다. 사면이 유실된 지역은 대부분 계곡부로서 상대적으로 급경사를 이루는 지역으로 토석류 I의 발생지점은 32~48°(평

균 40°)로서 주변 사면의 평균경사(30°)보다 경사가 급하다. 우면산 전 지역에 자라는 수목은 높고 매우 무성한 상태이며, 토심(표토, 붕적토 및 계곡 퇴적물)이 작고 급경사지로서 뿌리는 수직으로 생육하지 못하고 수평으로 성장하였으며, 이 뿌리는 급경사의 특성으로 전도에 저항성이 낮은 하류방향으로 주로 성장한 상태였다. 이러한 특성 때문에 장기간우 또는 집중호우로 토사가 포화되고 지표수의 흐름이 지속되면서 쉽게 전도되어 토석류의 에너지가 증가되고 피해를 배가시킨다. 토석류 이외에 일부의 계곡에서는 계곡수가 빠르게 본 계곡부로 합류되면서 유속을 증가시키고 운반에너지를 증대시켜 운반되는 토석의 양을 증가시켜 토석류의 규모를 확대한 것으로 판단된다. 형성된 토석류는 하류로 이동하다가 최초의 피해가옥 직상부에서 지형구배가 완만해지고 넓어짐에 따라 운반하던 토석류를 일시에 퇴적시키므로 해서 하류의 가옥을 매몰·침수시킨 것으로 판단된다.

나. 파주시 피해현장은 파주시 보현산 자락에 위치한 곳으로 지형적으로 가파르고 석회암과 운모편마암이 구성암석으로 이루어져 지형적으로 불리한 조건을 가지고 있다. (주)ANG의 사면은 현 소유자가 산사태의 발생가능성에 대하여 민원을 제기하였던 곳이었다. 배후사면의 높이는 약 50m에 이르며 30m의 암반사면 위에 소단이 형성되어 있다. 소단부를 기준으로 상부에는 토사사면이 형성되어 암경계층에서 붕괴가 발생하였다. 붕괴된 사면은 토층이 깊고 편마암의 엽리조직이 잔존된 상태로 엽리의 방향은 45/290 방향으로 사면경사방향과 일치하며, 풍화대의 깊이가 대략 6m로 깊게 형성되었다. 파주시 모닝F&B의 사면은 5m 소단 5개로 이루어져 모닝F&B 공장부지 바닥으로부터 대략 30m 높이로 형성되어 있으며 공장건물과의 이격거리는 3m에 불과하였다. 피해지역은 장마기간이 아니었으나 사면방향과 일치하는 운모편마암

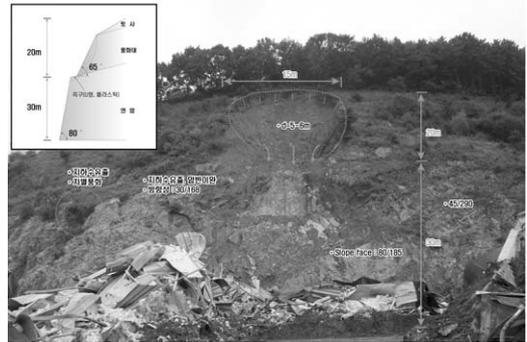


그림 10. 경기도 파주시 (주)ANG 급경사지 피해현황 (민경남와 송병웅, 2011)

엽리(30/290)를 따른 사면붕괴가 발생하였다.

다. 포천시 일동면 한승빌라 피해현장은 07월 27일 21시 최대강우(56.5mm/hr)가 발생 후 1시간 30분후 사고가 발생하였다. 빌라 배후사면 하부 식생밀도가 적은 구간에서 토사 유실이 1차 발생한 후 사면 상부까지 영향을 주었을 것으로 사료된다. 붕괴지역은 모지로 조성된 지역으로 강우시 집수지 역할을 하였을 것으로 판단되며 풍화토층이 10m 이상 깊어 강우침투에 의한 토압증가로 붕괴가 시작된 것으로 추론된다. 포천시 신북면 금동리 피해현장은 집중강우로 인하여 우수가 배후사면내 집수지(계곡부)에 집중되어 비탈면 상부에서 표토층 붕괴가 발생하였으며, 붕괴된 토석이 급경사 사면아래로 흘러내리면서 뿌리가 약한 잣나무를 전도시키고, 전도된 수목과 토석이 비탈면과 연결한 농원을 매몰시켜 인명피해를 발생시켰다. 포천시 신북면 심곡리 펜션 피해현장은 배후사면내에 최근 개설된 한진 철강 진입로의 성토부위에 우수가 집중되어 쌓기부 비탈면으로 월류되면서 다짐이 안된 토사를 유실시켜 전도된 수목과 함께 비탈면 하부의 펜션을 매몰하여 인명피해를 발생한 것으로 판단된다.

라. 동두천시 상봉암동 도솔암 피해현장은 강우는 07월 27일 20시에 최대 93mm/hr (07월 27의

기획특집



〈도솔암 배후 상부 비탈면 붕괴 전경〉



〈배후 비탈면 상부에서 내려다 본 전경〉



〈비탈면 배수로 파손 전경〉



〈도솔암 비탈면 붕괴 시점부〉

그림 11. 경기도 동두천시 도솔암 피해현황(노병돈와 류지협, 2011)

최대일강우량 385mm)이 발생하였으나 토석류 발생에 의한 피해는 07월 28일 오전 8시경(9mm/hr)에 발생하였다. 이는 전일 기록적인 폭우에 의하여 사면내 간극수압이 급격히 증가하여 임계점에 거의 도달한 후(사면 내 유효응력이 거의 0에 근접) 추가 강우에 의하여 간극수압이 사면 내 유효응력을 초과하여 토사가 물과 함께 급격히 쏟아져 내리면서 토석류로 발전한 것으로 판단된다. 동두천시 하봉암동 인덕물산 피해현황은 붕괴사면과 피해건물이 약 76m 정도 이격되어 있어 비탈면 붕괴가 피해의 직접적인 원인이라기보다는 기록적인 집중강우로 인하여 계곡부 배수로 통수단면이 부족하여 우수의 월류가 발생하였고 이 월류수가 인근에 적재되어 있던 벌목나무와 붕괴토사를 이동시켜 공장을 파손시킨 것으로 사료된다. 현장조사 결과, 모든 비탈면은

급경사지 대상으로 지정 관리되지 않았던 곳으로 향후 전문가에 의한 체계적인 급경사지 조사의 필요성이 대두되며, 금회 발생한 피해는 산사태 경보 기준의 약 2~3배에 이르는 기록적인 집중강우로 인하여 계곡부로 우수가 집중되어 발생한 것으로 사료되며, 진입도로, 묘지조성 등 인위적인 지형변화가 있는 곳에서 붕괴가 발생하였다.

마. 강원도 춘천 피해지역은 '쌔밭'이라는 지명에서도 알 수 있듯이 물이 흔하여 쌔이 많은 지역으로서 토질 또한 풍화된 편암(또는 편마암) 등이 혼재된 붕적토층으로 구성되어 있어 산사태 혹은 토석류에 취약한 지형임을 알 수 있었다. 그럼에도 불구하고 대상지역에 배수구조물이 잘 갖추어져 있지 않았고, 최근 20~30년 동안 산사태 혹은 토석류가 발생한 적이 없다는 현지 주민의 말에 기초



그림 12. 강원도 춘천시 펜션 배후사면 피해지역 전경(윤찬영와 서흥석, 2011)

하면 재해 위험성을 인식하지 못하고 있었던 것으로 판단된다. 토석류 1지역은 기반암을 두터운 봉적토층이 피복하고 있으며 유하부 상부의 용출지점이나 계곡부 집수시설물의 자취 등으로 볼 때 층간 경계부를 경계한 흐름이 있음을 추정할 수 있다. 토석류 2지역은 지형적으로 유역이 매우 작고 강우 유출이 집중되기 어려운 지형임에도 토석류가 발생하였으며, 발생부 상부에 옛 군사시설이 있고 마을 주민이 밭농사를 짓고 있으며, 배수로에서 발생부쪽으로의 유출이 발생한 흔적이 있어 외적인 유발요인이 있었을 가능성이 있다.

4. 결론

2011년 7월의 집중호우로 발생한 급경사지 피해지역 중 인명사고가 발생한 지역 등 주요 급경사지 붕괴지역에 대해 급경사지분야 재해경감대책협의회가 가동되어 현장조사를 실시하였으며, 강우특성, 붕괴원인을 조사·분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 2011년 7월의 집중호우로 발생한 재해지역 중 급경사지 붕괴지역에 대한 현장조사 및 붕괴원인 분석을 위하여 인명피해 발생지역 등 주요 조사 대상지구로 경상남도 2지구, 전라남도 3지구, 전

라북도 1지구, 충청남도 1지구, 경기도 11지구, 강원도 1지구 등 총 19지구를 선정하였다.

- (2) 2011년 7월의 급경사지 피해는 장마기간 내린 장기강우 이후의 집중호우에 기인되며, 본 과업의 대상인 급경사지 붕괴 및 산사태는 2011년 7월 7일~11일, 7월 26일~29일의 최대시우량 발생 및 장기강우와 급경사지 붕괴 직전의 최대시우량이 직접적인 원인이다. 또한, 급경사지에 대한 배수로의 미설치, 기능 상실 및 불량, 집중호우로 인한 홍수량을 통수할 수 없는 자연 계곡부의 미정비 등은 계곡 범람을 발생시켜 계곡부 토석류 발생을 유발하였다.
- (3) 임시도로(송전탑가설, 임도, 등산로 등)개설, 묘지조성 및 경작지 개간, 군참호 등 자연비탈면에 대한 인위적인 훼손은 지형변화에 따른 유출수의 집중과 성토부 생성, 표토층의 취약성을 증가시켜 급경사지 붕괴의 원인으로 작용하였다. 또한, 급경사지 지반상태를 고려하지 않은 사방공법 적용 등은 반복적인 급경사지 붕괴를 초래하였다.
- (4) 급경사지 관리기준에 따라 2008년부터 급경사지 대상지에 대한 현장조사를 실시해오고 있으나, 2011년 7월에 발생한 급경사지 붕괴지역 조사대상지는 급경사지 붕괴위험지역 지정 대상에서 제외된 지역이었다. 총 19개 비탈면 모두 급경사지 대상지로 지정되지 않은 비탈면이다. 향후 급경사지 전문가에 의해 급경사지 대상지를 조사하여 재해위험도를 평가하고, 피해저감공법 및 피해영향범위 등을 작성할 수 있도록 제도적 정비가 필요하다.

감사의 글 : 본 글은 2011년 급경사지분야 재해경감대책협의회 활동 보고서의 내용을 요약 정리한 것으로 급경사지 현장조사에 참여한 조사위원 여러분께 깊은 감사를 드립니다.