

제 1 장 연구개발과제 개요

제 1 절 연구개발의 목적 및 필요성

강원도는 약 89%가 산지로 구성되어 있기 때문에 강원지역 하천의 형태는 산지의 지형 및 지질구조에 큰 영향을 받고 있다. 산지하천은 경사가 급하고 만곡수충부가 많이 발달되어 있는 지형 및 지질적인 요인을 가지고 있기 때문에 홍수시 유속이 매우 빠르고 만곡 수충부에서 수위상승과 횡방향 수위변동이 심하다. 또한 지형적인 영향으로 강원지역 도로의 대부분은 산지하천을 끼고 건설되어 있어 하천과 도로의 상호 작용이 크고 직선 하천구간에 비하여 만곡 수충부는 홍수 시 급류에 의한 인접도로의 빈번한 파손을 초래한다. 이는 산지하천의 동적 거동이 일반하천에 비하여 제한되어 있어서 하천의 형태학적인 변화가 크지 않음에도 불구하고 하천을 따라 발달된 도로 등과 같은 사회간접 시설을 파괴시키는 직접적인 원인이 되고 있다. 산지하천은 집수면적이 작고 하상경사가 크며 홍수 도달시간이 짧은 특성이 있으므로 산지계곡부에 위치하고 있는 산지도로는 집중호우에 의해 산사태나 토석류 및 유목 등 유송잡물에 의해 도로 배수 체계가 파괴되는 등 인명과 재산피해가 매년 반복되고 있는 실정이다. 그러나 산지하천의 홍수특성을 규명하고 방재설계를 위한 연구개발이 매우 미흡한 실정이다.

강원지역에서는 대규모 태풍 혹은 국지성 집중 호우에 의해 발생하는 산사태와 토석류의 경우 광범위한 지역에서 그림 1.1과 같이 동시 다발적으로 발생하게 되는데, 그 발생 위치와 흐름특성을 예측하기 어렵고 특히 토석류의 경우에는 이동경로 상에 존재하는 지반을 침식, 세굴시켜 그 규모와 파괴력이 증가하는 특징을 가지고 있다.



그림 1.1 2006년 양양군 한계령 토석류 발생 현장



그림 1.2 2011년 강원도 춘천시 토석류 발생 현장



그림 1.3 2011년 집중호우에 의한 서울시 우면산 산사태 및 토석류 발생 현장

표 1.1 산사태 피해현황(중앙안전재난대책본부 피해복구계획서)

		2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
산림분야 총 복구비 (백만원)		99,195	117,353	319,212	20,436	19,342	69,594	49,585	157,961
피 해 현 황	산사태(ha)	233	469	1,597	73	102	250	206	824
	계류(km)	15	121	84	3	4	6	11	13
	임도(km)	76	75	227	45	18	39	44	43
	인명피해 [사망](명)	-	9	9	-	-	5	1	43

또한 토석류 발생이력이 있는 유역을 도로와 겹쳐서 도시한 그림 1.2에서 볼 수 있는 것과 같이 산지에 건설된 많은 도로 및 철도가 산사태에 의한 피해 가능성이 높으며, 피해 가능 지역이 광범위하여 산사태 및 토석류 피해저감에 많은 어려움이 따르고 있는 실정이다.



그림 1.4 2011년 서울시 서초구에서 발생한 집중호우에 의한 대규모 토석류 발생 현장 (연합뉴스, 2011)

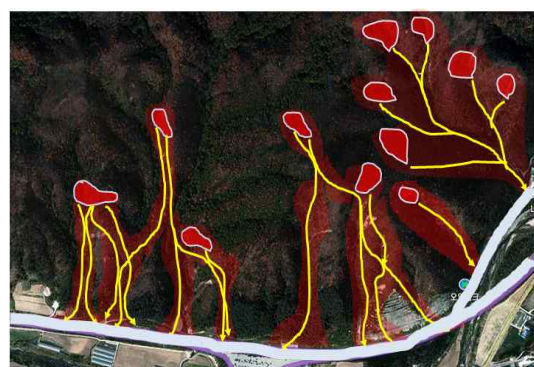


그림 1.5 강원도 평창군 지역을 대상으로 한 산지도로의 토석류 발생 가능 유역 (강원도 평창군, 2009년)

이러한 강원지역의 산지재해 중 대부분을 차지하는 토석류는 산지하천도로에 피해를 주는 가장 중요한 원인중의 하나이지만 그 원인 및 발생거동을 이해하고 이에 대한 대

책을 세우기 위한 연구는 현재 매우 부족한 실정이다. 특히 토석류에 의하여 피해를 받는 도로의 관리주체와 피해원인 제공지역의 관할권 문제로 원활한 업무협조가 이루어지지 않고 책임소재가 불분명하여 통합적인 유지, 관리 대책마련도 시급한 상황이다.

따라서 본 연구에서는 강원지역에서 빈번히 발생하는 산지하천의 홍수피해를 방지하기 위하여 산지하천 시험유역 운영을 통해 산지하천의 특성을 조사하고 홍수시 홍수량, 하상변동, 수충부의 수위변동 및 세굴을 예측하여 산지하천 시설물의 안전설계 기법을 개발하고자 한다.

또한, 강원지역 산지도로의 방재설계 기술 개발을 통하여 이를 지침화 함으로써 매년 반복되고 있는 호우로 인한 강원지역 도로 피해를 줄이기 위한 도로배수설계기술의 선진화를 추구하고자 한다.

마지막으로 집중호우시 산지하천도로에 큰 피해를 야기하는 토석류의 발생 및 흐름 거동을 파악하고 이를 제어, 저감시키기 위한 기법을 개발한다. 실제 현장적용을 통하여 그 효과를 분석하며 최종적으로 토석류 피해 저감을 위한 설계기법의 확립은 물론 이러한 시설물에 대한 유기적 관리를 위한 제도개선 사항까지 제안할 수 있도록 한다.

제 2 절 연구개발의 정의, 범위, 특징

1. 연구개발의 정의

본 연구는 강원지역 특성이 반영된 산지하천도로 방재설계 선진화 기술을 개발하여 그 성과의 활용과 연구역량 확충을 유도하고 지역 건설수요를 충족시킬 실용적인 지역 기반형 건설개발로서 산업의 활성화 및 자립화를 실현하여 국가의 균형발전을 도모하는 지역기술 혁신사업이다. 산지하천도로의 재해 피해방지를 위하여 재해발생지역을 예측하고, 개선된 배수구조물 지침안 작성을 통하여 도로설계에 반영하는 실용화 연구이다.

또한, 본 연구는 산지하천도로 호우피해 방지를 위한 수충부 방재기술 구축을 목표로 한다. 이를 위해 강원지역의 산지하천 시험유역 운영을 통해 산지하천 특성자료를 구축하여 산지유역의 홍수유출해석 사용자 시스템과 산지하천의 하상변동 예측모형, 산지하천 수충부 호안공법, 산지하천 수리시설물 안전설계 기법을 개발하는 것이다.

마지막으로 본 연구는 강원지역 토석류의 거동특성 및 토석류가 하천 및 도로에 가중시키는 재해특성을 연구하고 예측모형을 개발하여 토석류 위험지역 선정 방법을 제시하며, 토석류에 의한 피해를 효과적으로 저감하기 위한 시설물의 설계 및 시공기술을 제시하고 관련 설계지침 및 시방기준을 마련한다.

2. 연구개발의 범위 및 특징

- 산사태 및 토석류가 발생한 지점에 대한 현장조사를 통해 DB를 구축하였으며 이

를 토대로 산사태 및 토석류 위험도 분석 시스템을 개발하고 적용하여 강원도 지역에 대한 GIS기반의 재해지도를 작성하였다.

- 재해발생지에 대한 모니터링을 실시하고 산사태 및 토석류 물리실험과 수치해석을 통한 산사태 발생조건을 연구하였고 지형, 지질, 강우량과 같은 영향 요소에 지배되는 토석류의 발생과 이동범위를 규명한다.

- 산지도로 배수시설의 토석류 또는 유송잡물의 유입을 고려한 유량 산출 방안을 제시하여 도로배수시설의 단면규격을 결정하며 토석류 및 부유물 등이 유입되어 통수능력의 감소를 방지하기 위한 설계방안을 제시했다.

- 산지하천에 관한 기반기술은 시험유역 운영을 통한 산지하천의 특성 조사 및 분석 기술과 산지유역 홍수유출 해석기법이다.

- 시험유역 운영을 통한 산지하천의 특성 조사 및 분석 기술 : 시험유역에서 산지하천 특성을 파악하기 위한 수리 및 수문 조사와 분석기술은 본 연구의 기반이 된다. 산지하천의 조도계수와 하천의 평균유속 산정을 위한 에너지 경사 및 하상재료의 공간적인 분포 특성 등을 조사하고 분석하는 기술이다.

- 산지유역 홍수유출 해석기법 : 국지성이 강한 집중호우에 수반한 산지유역 홍수유출 해석기술이다. 최근 국지 호우가 빈발하고 그에 따른 홍수피해규모가 크게 증가하고 있다. 따라서 국지적으로 발생하는 호우를 설계에 반영하기 위한 설계정량화 방안이 필요하다. 지역성을 정의하기 위한 해석기법을 개발하고 사용자가 편리하게 다룰 수 있도록 하는 기법이다.

- 산지유역 설계강우 정량화 기법 : 관측자료가 충분하지 않은 산악지역에서 설계강우량 산정을 위한 지역빈도해석 적용 및 면적강우량 산정기법이다.

- 산지하천의 만곡수충부 및 수리시설물 방재설계의 핵심기술은 산지하천의 하상변동 예측모형 개발, 산지하천 수충부 호안 공법개발 및 방재설계를 위한 편람작성, 산지하천 수리시설물 안전설계이다.

- 하상변동 예측모형 개발 : 홍수시 급류가 많고 집중호우 시 산간계곡의 과대한 토석과 유목 등의 유입으로 하천흐름과 하상교란이 발생하는 산지하천 홍수추적 및 하상변동예측 기술이다. 산지하천의 하상변동을 예측하기 위해서는 토사유출량을 파악하여야 한다. 산지하천은 지형이 다양하고 흐름현상이 매우 복잡하다. 기존 일반하천을 대상으로 개발된 하상변동 예측모형은 산지하천에 적합하지 않을 수 있다. 산지하천은 폭이 작고 경사가 급하기 때문에 홍수추적 및 하상변동은 1차원을 기본으로 하고 하천 만곡부와 같이 하천횡단면 변화가 큰 지역에서는 이를 보완하는 하상변동예측 모형이다.

- 산지하천 수충부 호안 공법개발 및 방재설계를 위한 편람작성 : 강원지역 산지하천에 적용된 기존 호안형식 자료를 수집하고 정리하여 수충부에 적용된 기존 호안의 현황 및 문제점을 파악하며, 기존 호안이 1차원 수리분석에 따라 일률적으로 적용되었기 때문에 하도만곡 수충부 호안에 대한 보강이 필요하므로 이를 위한 역학설계법 도입을 검

토하는 기술이다. 현재 국내여건에 적절한 역학적 호안설계기법이 아직 정립되어 있지 않은 상황이므로 이에 대한 해외의 관련기술을 조사하고, 기존 호안에 대한 역학적 안정성 평가를 통한 문제점을 도출하고 역학설계법을 개선하며 이를 토대로 호안설계를 위한 편람을 작성한다.

- 수리시설물 안전설계 기법 : 산지하천은 평면적인 변동보다 하상변동을 통한 자기 조절작용이 더 크므로 수리시설물(수충부의 옹벽, 교량의 교각)의 세굴에 대한 안전과 홍수시 유입되는 거대 토석 등의 영향을 반영할 수 있는 하천수리시설물 안전에 관한 설계기술이다. 산지하천 수리시설물 보호를 위해서는 빠른 유속을 줄이는 기술과 흐름에 큰 영향을 받는 수리시설물에 대해서 그 규모와 구조적인 안전도를 증대시키는 기술이다.

- 토석류 발생거동 모사 시험장비 및 토석류 차단 시설물과 도로에 미치는 영향을 분석 가능한 시험장비를 구축한다.

- 토석류의 발생 및 이동거동에 대한 분석과 이론기반을 구축하고 토석류 대책구조물을 위한 설계정수를 도출한다.

- 토석류 발생 및 이동 거동해석을 위한 해석기법을 수립한다.

- 강원지역의 산지에 적합한 토석류 저감공법을 현장 적용 및 모니터링을 통해 개발한다.

- 강원지역 산지에 적합한 토석류 저감공법의 현장 적용 및 모니터링한다.

- 국내외의 토석류 제어대책 관련 설계 및 유지관리 기준을 조사분석한다.

- 시설물별 토석류 제어특성 및 효율적 관리방안을 연구한다.

- 토석류 방지시설 설계기준 마련, 유지관리 지침작성 및 제도개선방안을 제시한다.

제 3 절 국내외 기술개발 현황

1. 국내 기술개발 현황

- 강원도는 하천 만곡 수충부의 하천 및 도로 홍수피해가 대단히 많기 때문에 하천 및 도로 설계실무에서 이에 대한 방재설계기술 수요가 급증하고 있으나 이를 위한 홍수에 대비한 수충부 설계기술은 매우 미흡한 실정이다. 즉 하천 수충부 만곡외측에서 홍수위의 상승이 매우 크지만 현재 하천설계기술은 이를 반영하지 못하고 있는 실정이다.

- 강원지역 하천은 하상경사가 매우 급하기 때문에 큰 유속에 대해 안전한 호안공법의 개발과 적용이 활발하게 이루어지고 있으나 하천재해가 집중되고 있는 수충부의 호안 안전성에 대해서는 아직 연구가 미흡한 실정이며 호안 계획에서 수충부의 국부세굴이나 수위상승 영향이 충분히 반영되지 못하고 있는 실정이다.

▪ 국립방재연구소는(2003, 2004)는 하천 만곡부 안전설계를 위하여 소하천의 홍수피해가 발생한 만곡부와 미발생 만곡부에 대한 수리기하학적인 연구를 한 바 있다. 이 연구에서는 30년 빈도 홍수량과 만곡부의 기하특성간의 상관분석을 실시하여 하천 설계 실무자들이 만곡부 하천 설계시에 홍수피해가 발생되지 않는 가장 적합한 특성인자를 찾을 수 있도록 하였다. 이 연구 결과는 소하천에 대해서 현장조사를 한 결과를 바탕으로 하였으며 조사자료의 불충분과 홍수시 만곡부 하상저하현상이 반영되지 못한 한계를 지니고 있으나 만곡부의 피해예방을 위한 적정설계에 필요한 하도특성 관계를 현장조사를 바탕으로 분석한 점에서 의의가 있다.

▪ 산지하천으로 유입되고 있는 과도한 토사유출과 유목을 완화시키기 위한 사방댐이나 스크린댐 등의 설치가 태풍 루사 이후 급격히 증가하고 있으나 산지하천의 유량과 유사량 등에 대한 기초적인 자료가 없이 설치되고 외국의 기준에 맞추어 설치되고 있다.

건설기술연구원, 국립방재연구소 등 국책연구기관을 통한 정량적 유출특성 산정 방법 및 적용 사례에 대한 연구가 일부 있으며, 최근의 급격한 강우량 증가에 따른 집중호우 등에 대한 유출특성 변화 양상에 대한 연구가 진행되고 있다.

▪ 국립방재연구소에서는 설계강우량 산정을 위해 FARD2006이라는 프로그램을 개발하여 국내외 대다수의 업체와 학계에서 빈도분석을 위해 활용되고 있다. 국토의 70%가 산지이나 현재 수공구조물 설계에서는 인근 평지 유역의 설계강우량을 그대로 사용하는 경우가 대부분으로 일반적으로 그 크기가 큰 산지 강우의 특징을 반영하지 못하여 상류에 위치하는 계곡천과 소하천 유역에 많은 피해가 집중되어 왔다. 이렇듯, 산지유역에 대한 설계 강우량 산정과 관련된 직접적 연구는 매우 부족한 상황으로 본 연구를 통해 국내 산지유역의 설계강우에 대한 연구가 이루어질 경우 산지유역의 수공구조물 설계시 설계강우량 산정과 관련된 기술을 한 단계 격상시킬 수 있을 것으로 판단한다.

▪ 현재 국내에서는 급경사지 산지 하천의 홍수특성을 체계적으로 규명하고 있는 흐름모형에 대한 연구는 전무한 실정이며, 또한 이에 동반된 하상변동모형 기술도 찾아보기 힘들며, 게다가 이러한 모형을 정립하기 위한 유사량에 대한 연구는 매우 한정된 실정이다.

표 1.2 하천정비 및 호안공법 관련 연간 시장규모

(단위 : 억원)

구 분	연도별 시장 규모														
	2001년			2002년			2003년			2004년			2005년		
	수입	설계 및 시공	소계	수입	설계 및 시공	소계	수입	설계 및 시공	소계	수입	설계 및 시공	소계	수입	설계 및 시공	소계
하천정비 및 호안공법		6,179.1	6,179.1		30,073.8	30,073.8		21,915.0	21,915.0		5,766.9	5,766.9		4,945.8	4,945.8
하천유동분 석 및 하상변동 예측모형	1.9		1.9	9.0		9.0	6.6		6.6	1.7		1.7	1.5		1.5
합 계	1.9	6,179.1	6,181	9.0	30,073.8	30,082.8	6.6	21,915	21,921.6	1.7	5,766.9	5,768.6	1.5	4,945.8	4,947.3

- 하천정비 및 호안공법은 수해복구비의 30%를 적용
- 하천정비 및 호안공법은 수해복구 공사비의 0.03%를 적용
- 금액은 2005년도 기준으로 함

▪ 국내의 경우 산사태 방재 관련 기술의 연구가 외국에 비하여 많이 이루어지지 않았으나 최근에는 산사태 취약성 분석, 예측지역 분석 및 예측도 작성, 위험지역 분석 등에 관한 연구가 점차 증가하고 있으며 또한 관련 분야에서 GIS 및 원격탐사의 활용기술이 발전하고 있다. 국내에서는 몇몇 기관들이 업무 영역에 따라 독자적으로 사면에 대한 업무를 수행하고 있으며 크게 자연사면에 대한 연구와 절취사면에 대한 연구로 나눌 수 있다.

표 1.3 자연사면 및 절취사면 관련연구에 대한 기관별 연구/업무분야

구분 관	연구분야 / 업무분야	비고
한국지질자원연구원	산사태 및 절취사면 연구	산사태 발생예측 및 위험도사정(QRA) 기술, 토석류 산사태 모니터링 기술 개발, 유연성의 원리를 이용한 피해저감공법 적용
한국건설기술연구원	일반국도 절취사면의 안정성 해석 및 대책 연구와 유지관리시스템 개발	일반국도의 보강대상 사면에 대한 투자우선순위를 결정하여 국도유지사무소에 정보제공
국립산림과학원	산사태 재해의 예지 및 예방과 산림 훼손지의 자연친화적 복구,녹화기술개발 관련 연구 수행	GIS를 이용한 산사태 위험지도 작성 일부 수행
국립방재연구소	산사태 등의 지반재해에 대해서 국가적 차원의 종합대책 수립을 위한 연구수행	산불로 인한 사면붕괴조사, 산사태의 현장조사기법, 안정성 해석방법에 대한 기본적인 연구수행
건설교통부국토관리청	일반국도의 유지보수사업계획 수립 총괄	한국건설기술연구원의 연구결과로부터 얻어진 위험사면에 대한 투자우선 순위에 따라 절취사면에 대한 보강실시
한국도로공사	고속도로 구간 절취사면의 구매결정 기준확립 및 유지,관리시스템 구축을 위한 연구	암석특성에 따른 절취사면 구매결정 기준 및 암절토부 녹화방법 연구
소방방재청	산사태 및 사면붕괴를 포함한 국내 자연재해 전반에 대한 대책, 복구 등을 총괄	‘급경사지 안전관리 및 재해저감에 관한 법률’제정

▪ 기상이변에 따른 집중호우, 태풍 등과 함께 국내 산지지반의 특성으로 인하여 토석류 피해가 최근 증가하고 있다. 이러한 피해를 줄이기 위한 노력의 일환으로 비탈면 재해를 예방하기 위한 국가 예산 및 지방자치예산의 증가와 더불어 소방방재청에서 제정한 “급경사지 재해예방에 관한 법률”이 제정되고, 산림청에서는 토석류 발생위험지역에 대대적인 사방댐 건설을 계획하는 등 이로 인한 관련시장의 확대 및 관련 산업의 발달을 함께 기대할 수 있는 시점이라 판단된다. 또한 2006년에는 지금의 국토해양부인 건설교통부에서 건설공사 비탈면 즉 절·성토사면에 대한 설계기준 및 표준시방서 그리고 유지관리 지침이 개발·보급되었으며, 민간에서도 이에 부응하여 비탈면을 안정화 하기 위한 설계·시공 및 보수·보강 기술을 발전시키고 있다. 하지만 대부분의 연구 및 개발

기술은 인공사면 위주이고 아직까지는 자연사면 상에서 발생하여 많은 재산과 인명피해를 주고 있는 토석류를 예방하고 피해를 최소화하기 위한 기술이나 시설기준 및 제도 등은 미흡한 실정이다.

- 국내에서 토석류와 관련된 연구를 수행하고 있는 기관은 국립방재연구소, 한국건설기술연구원, 국립산림과학원, 지질자원연구원 등이 있다. 이 기관들은 각기 소속된 상위 기관의 특성에 좌우되며 역시 토석류보다는 주로 산사태에 관한 연구를 부분적으로 수행하고 있다. 국립방재연구소는 실제 기술적인 측면의 연구보다는 국가적 방재차원의 재해대책 수립에 연구의 초점을 두고 있고, 건설기술연구원은 인공사면을 중심으로 사면의 안전진단 및 유지관리의 효율적 기법을 주로 다룬다. 국립산림과학원은 산림자원 보존차원에서 산사태 조사연구를 수행하고 있으며, 지질자원연구원은 주로 산사태의 예측과 관련한 연구를 수행하고 있다. 이들 기관의 연구투자 예산은 매년 총 7-8억원 규모로 이루어지는데, 이들 연구는 주로 산사태에 대한 연구이고 토석류에 대한 연구는 아직까지도 매우 부족하다.

- 토석류 방재 산업의 측면에서 보면 사방댐의 경우 1986년 전국적으로 31개소에서 2005년 1,743개소가 설치되었으며 최근 재해 방지효과가 입증되어(강원도 인제읍, 2006년) 사방댐의 설치는 점점 증가하고 있는 추세이다. 향후 사방댐과 관련된 수요가 증가하면서 관련 산업의 발전이 이루어질 것으로 기대된다. 또한 현재 일반적으로 사용되고 있는 콘크리트 사방댐에서 최근 강재틀을 이용한 사방댐 공법이 개발되는 등 토석류 피해 억제를 위한 기술개발이 시도되고 있다. 다만, 당 기술과 관련하여 원인규명을 위한 체계적 기초연구가 미약하고 이를 활용하기 위한 산업기반 및 관리체계 등이 취약하여 아직까지 초기단계 수준을 벗어나지 못하고 있다.

- 현재 우리나라의 토석류 관련 연구는 외국에 비해 상당히 뒤쳐졌다고 할 수 있으나, 주로 토석류 수리실험 및 현장조사를 통해 연구를 진행하고 있다. GIS를 이용한 산사태 예측 기술을 바탕으로 자연과 인공사면 급경사지 모니터링, 토석류 이동감시센터를 이용한 경보시스템 등이 개발되고 있으며, 토석류 현황조사와 산사태 감지 및 관련연구, GIS를 이용한 토석류 피해범위 예측관련 연구도 수행하고 있으나, 경사도만을 고려한 초기단계의 예측모델로 아직 많은 연구를 통해 보완해야할 점이 많다.

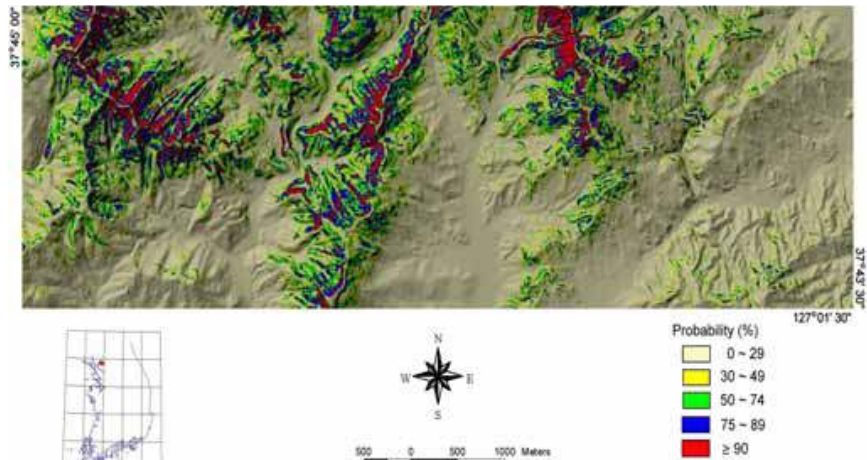


그림 1.6 지질자원연구원 산사태 위험지 예측 지도(채병곤, 2009)

토석류를 연구함에 있어 여러 가지 제약이 따르지만 특히 자연에서 발생하는 토석류는 규모가 매우 크기 때문에 실제 크기의 실험으로 모사하기는 쉽지 않다. 또한 토석류는 구성 입자의 종류 및 크기, 지형 조건, 강우량 등 매우 다양한 조건에 의해 영향을 받기 때문에 이를 모형 실험에 모두 반영하기란 현실적으로 어려움이 많다. 이런 이유로 최근 복잡한 조건을 단순화시켜 토석류 특징과 거동을 정량적으로 평가하기 위해 제한된 조건에서 토석류 모형실험에 대한 연구가 수행되고 있다. 토석류 발생 기작, 흐름 특성 및 충격력 산정 등을 정량적으로 평가하기 위해 연구자들에 의해 모형 실험 연구가 수행되었다.

- 김기한 등(2008)은 산사태 발생 시 토석류 확산 형태와 흐름 속도에 대한 실내모형 실험을 수행하였으며, 함수비에 비례하여 산사태의 확산범위가 넓게 퍼지고 확산속도 또한 빨라지는 것을 실험을 통해 확인하였다. 실험에 사용한 시설은 그림 1.7에서 보인 바와 같이 산사태가 발생하는 부분의 수로는 길이 0.65m로 제작하였으며, 확산관은 1.2m×0.9m로 제작하여 이용하였다.

- 김진환 등(2010)은 토석류 발생 시 나타나는 충격력의 특징을 파악하고자 2가지 자갈과 혼합시료를 이용하여 토석류 모형실험을 수행하여, 토석류에 의해 발생하는 충격력은 토석류의 양에 비례하여 나타나지 않으며, 토석류를 구성하는 입자의 크기에 따라 다양하게 나타남을 밝혔다. 그림 1.8에 보인 모형실험장치의 수로부분 길이는 5m이며, 수로폭은 0.1m, 높이는 0.2m이다. 수로는 경사조절이 가능하며, 토석류의 토압을 측정하기 위한 토압계는 수로의 최하단부에 부착하였다.

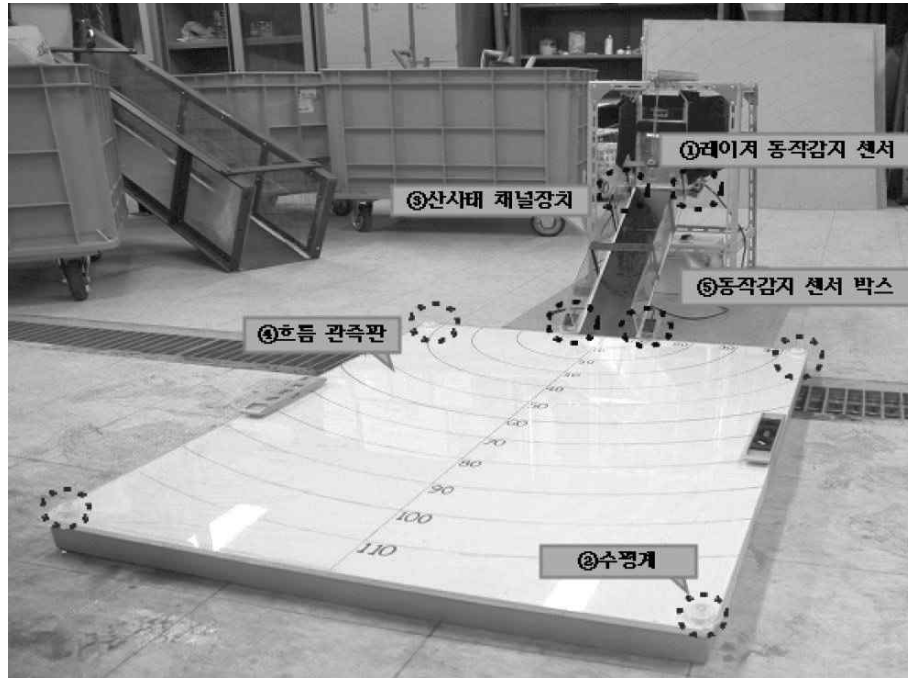


그림 1.7 실내 모형 산사태 흐름장치(김기환 등, 2008)



그림 1.8 토석류 충격력 모의실험 장치(김진환 등, 2010)

2. 국외 기술 및 산업 동향

- 일본의 경우, 우리나라보다 산세가 험하고 지각활동이 매우 빈번하게 발생하여 산사태 및 토석류가 다발적으로 발생되고 있어 그에 대한 사방연구가 매우 활발히 이루어

지고 있다. 산지계곡부에 거석 차단시설 및 토석류 방어, 완화시설이 많이 시공되어 있으며 해당 지역의 인문·사회학적 특성을 감안하여 친환경적인 사방 시설 설치, 사방 시설의 문화재화, 관광자원화 등이 이루어지고 있는 실정이다.



그림 1.9 일본의 사방시설

일본의 사방대책의 가장 큰 장점은 사방관련 정부기관간의 긴밀한 협조로 다양한 지침의 법령화를 통한 soft 정책과 재해위험도 및 형태에 따른 세분화된 사방공법 적용 및 친환경 사방시설의 적극 활용 등과 같은 hard 정책이 적절히 조화되어 있다는 점이다. 이를 토대로 현재 사방댐, 체크댐, 링네트 등 다양한 공법 및 목재 사방시설 등의 친환경 사방시설이 많이 활용되고 있으며 이러한 사방구조물을 관광자원, 문화재원으로 활용하는 등 다양한 활용대책을 가지고 있다.



그림 1.10 1916년에 시공된 일본의 사방 시설 시공 초기

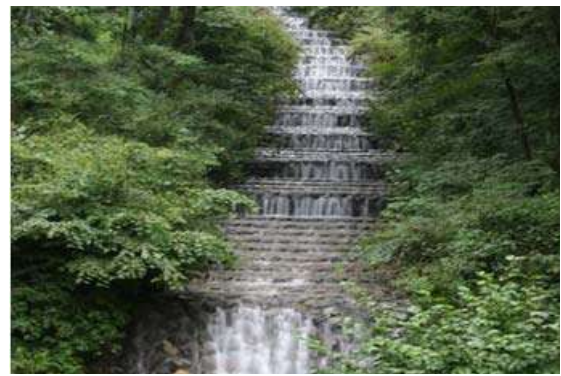


그림 1.11 1916년에 시공된 일본의 사방 시설 현재

또한 일본에서는 재해발생 시에 피해를 가능한 한 경감시킬 수 있도록 조사에 기초를 두고 위험지역을 미리 파악하여 재해위험 장소들에 대한 위험정도를 지도로 표시한 Hazard Map(재해위험지도)를 개발하여 대응하고 있다.

- 일본은 교토대학 방재연구소(DPRI), 일본지질조사소 그리고 방재과학기술연구소

(NIED)를 중심으로 일본 내 산사태 분포를 파악하고 이를 토대로 강우 및 지진에 의해 유발되는 산사태의 취약성 해석연구를 수행 중이다. 또한 일본 자국 내의 산사태 뿐만 아니라 UNESCO와 공동으로 IGCP-425 프로그램 및 국제 산사태 콘소시움(ILC)을 주도하여 산사태에 대한 국제공동 연구를 수행하고 있다.

- 미국에서는 미국지질조사소(USGS)를 중심으로 미국내 일부 대학에서 공동연구를 수행하고 있으며, Public Law 106-113에 근거하여 산사태 재해 프로그램(Landslide Hazard Program)을 수행하고 있다. 또한 USGS내 국립산사태 정보센터(NLIC)에서 “재해평가(Geologic Hazard Assessment”)프로그램 중 산사태 재해 과제를 지속적으로 수행하고 있다.

- 캐나다는 지질조사소 (GSC)에서 산사태 연구를 국가지질재해 프로그램의 일부로서 수행하고 있다. 1994년~2000년 이후로 지질재해 및 지질환경 프로그램 (Geological Hazards and Environmental Geoscience Program) 을 통하여 재해발생 원인이 되는 지질 및 지형적 특징, 재해에 민감한 지질물질의 거동에 대한 특성 파악, 캐나다 국민의 안전을 보장하기 위한 정책입안에 기여하였다.

- 홍콩은 홍콩자치정부 내 토목공정서 토력공정처(土木工程署 土力工程處 : CED)의 주관 하에 산사태 방지 대책(Landslip Preventive Measures;LPM) 프로그램을 수행하고 있다.

- 대만은 정부의 주도로 1983년부터 1997년까지 4년 간격으로 3단계에 걸친 재해저감프로그램을 수행하였고, 1999년부터 2007년까지 2단계에 걸쳐 재해저감국가과학기술 프로그램(NAPHM)을 실시하여 대만전역에서 발생하는 산사태 및 지진 등의 재해를 저감하기 위한 체계적인 연구개발 프로그램을 진행 중에 있다. 특히, 2003년 7월에는 대만 정부주도의 국가재해저감과학기술센터(NCDR, National Science and Technology Center for Disaster Reduction)을 개설하고 대만 전역에 대한 각종 지질재해에 대한 연구와 대책을 수립하고 있다.

- 스위스의 경우에는 유연성 원리를 이용한 토석류 방지 시스템과 함께 Geophone, CCTV, 링네트의 하중계 등을 이용하여 토석류 산사태를 감시하고 있다. 기상측정장치로는 강우량계, 풍향풍속계를 사용하고, Geophone은 토석류 발생 시 진동을 측정하여 비디오 카메라, 조명, Data 로거를 트리거링 시켜서 계측을 실시토록 한다. 토석류의 속도, 밀도, 하중을 측정하는 시스템을 적용하여 토석류의 거동 메카니즘을 규명하기 위한 연구자료로 활용하고 있고, 직접적인 토석류 발생을 육안으로 확인하기 위한 비디오 카메라를 설치하여 운영 중에 있다. 또한 모든 시스템은 자동화로 측정 및 관리될 수 있도록 하였다.

표 1.4 지질재해 선진국의 산사태 연구 내용

국가명	기관명	총기간 (부터 ~ 까지)	사업명 또는 주요내용	재원(정 부투자비 율)
미국	미국지질조사소 (USGS)	1990- 현재	-재해정보 네트워크 구축(DIN) 프로그램 ①지질재해 정보 네트워크 구축 ②지질재해 조기경보 체제 구축 -산사태 재해(LHA) 프로그램 ①산사태 재해 평가 연구 ②실시간 산사태 모니터링 연구 ③산사태 예측 기법 및 예측체제 확립 ④미국 전역의 산사태 재해 대응체제 구축 연구 -산사태 피해저감공법 연구 ①실물모형실험을 통한 다양한 방호시스템 효능 검증 ②토석류 산사태 방지를 위한 최적의 시스템 개 발 및 적용 ③토석류 위험평가기술의 현황파악 및 방호시스 템개발(미국해양대기관리처(NOAA)와 공동수행)	미국 정부 (100%) 미국 정부 (100%)
캐나다	캐나다 지질 조 사소(GSC)	1994- 현재	-지질재해 및 지질환경(GHEG) 프로그램 ①자연재해 종합 프로그램 ②주요산맥 지질재해 연구 ③캐나다 동부 산사태 연구 ④산사태 발생 예측 연구 ⑤영구동토재해연구	캐나다 정부 (100%)
홍콩	홍콩자치정부 (CED/GEO)	1995- 2010	-산사태 방지대책(LPM) 프로그램 ①홍콩 전역 사면분포 현황,조사 ②산사태 위험등급도 작성 ③주요 사면에 대한 산사태 상시 감시 및 사후 관리 ④분기별 사면조사 보고서 작성 및 DB 구축	홍콩 정부 (100%)
일본	방재과학기술연 구소(NIED)	1963- 현재	①종합방재 관련연구 ②방재기반 과학기술연구 ③설해방재 관련연구 ④방재연구정보센터	일본 정부 (100%)
	교토대 방재연 구소 (DPRI)	1951- 현재	①종합방재연구 ②지반재해연구 ③수재해연구	일본 정부 (100%)
호주	호주 지질조사 소 (AGSO)	1997- 현재	-도시지역 자연재해 취약성평가 과제 (NGVUC) ①도시주변 산사태 위험도 평가 연구 ②호주 전역 산사태 DB 구축 연구	호주 정부 (100%)
스위스	스위스연방연구 소 (WSL-SLF)	2005- 현재	-유연성 방호시스템의 수치해석 연구 ①유연성 방호시스템과 산사태의 상호작용 연구 ②토석류 방호시스템을 위한 수치해석 프로그램 개발	스위스 정부 (100%)
대만	NCDR	1983- 현재	①레이더 기반 정량적 강우예측을 통한 토석류 발생위험모델 및 조기경보 연구 ②산사태 위험수준 및 사회경제적 영향 조사 ③산사태 저감 정책 및 관리시스템 연구 ④응급대응 정보 및 지원시스템 연구	대만 정부 (100%)

▪ 하천 만곡부에 대한 국외의 연구로는 1950년대에 하천지형학자인 Leopold와 Wolman이 수리기하학적인 연구를 수행하여 만곡부의 하도기하특성을 조사하였으며, 만곡부의 이동속도와 같은 동적인 변화에 대한 주목할 만한 연구는 Odgaard(1989)에 의

한 2차원 정상류 이동상 수리모형실험 연구가 있다.

- Yeh와 Kennedy(1993)는 만곡부의 하상변동에 대한 이동상 수치모형실험을 통해서 만곡부하상의 거동을 연구하였으며, 이들은 1995년 만곡부의 하상재료 분리현상에 대한 수리실험을 통해서 연구한 바 있다.

- 또한 대하천의 수충부에서는 수제를 사용하여 유량을 조절하고 유속을 완화시키는 공법이 많이 사용되고 있으나, 이는 강원지역과 같이 하천경사가 급하고 하폭이 작은 경우에는 적합하지 않다. 일본의 경우, 우리나라보다 산세가 험하고 지각활동이 매우 빈번하게 발생하여 산사태 및 토석류가 다발적으로 발생하고 있어서 그에 대한 사방연구가 매우 활발히 이루어지고 있다.

- 산지유역의 면적강우량 산정분야에서 최근 미국에서는 PRISM (Parameter-elevation Regressions on Independent Slopes Model) 기법을 개발하여 적용하고 있다.

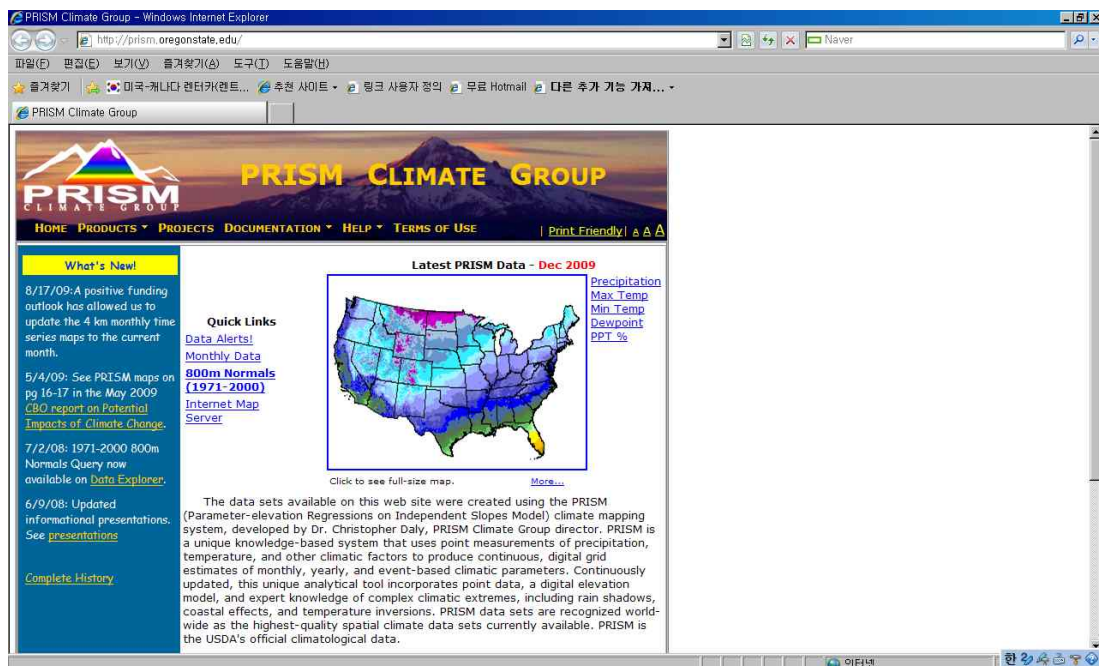


그림 1.12 미국 NWS의 면적강우량 제공 서비스 (PRISM)

제 4 절 연구개발결과가 관련분야에서 차지하는 위치

표 1.5 과제 완료시 국내 기술개발 수준

세부산업 또는 기술내용	현재 기술수준			과제 완료시 국내 기술수준		
	기술 수준 (%)	기술 격차 (년)	비고	기술 수준 (%)	기술 격차 (년)	비고
산사태 및 토석류 DB	80	5	경쟁	90	3	경쟁
산사태 및 토석류 위험도 평가	70	5	경쟁	90	2	경쟁
산악 도로 선형 및 배수	80	8	경쟁	90	3	경쟁
토석류 조사 기술	50	5	성숙	90	2	경쟁
토석류 해석 기술	20	15	도입	60	7	성숙
산지하천도로의 재해예측맵	70	10	경쟁	90	3	경쟁
하천만곡부 해석 및 호안공법	80	5	성숙	90	3	경쟁
홍수추적 및 하상 변동 예측	90	3	경쟁	90	3	경쟁
산지하천 만곡부 해석 및 호안공법	70	8	도입	90	3	경쟁
산지하천 홍수추적 및 하상변동 예측	50	15	도입	90	3	경쟁
토석류 방재 시설물 설치 기준	60	8	도입	85	3	경쟁
토석류 방재 시설물 설계 및 시공 매뉴얼	60	7	도입	90	2	경쟁
토석류 설계 기술	30	10	도입	80	5	성숙