

제 3 장 최종 연구성과 및 적용실적

제 1 절 산악지 도로 선형/배수 설계 및 재해예측지도개발

1. 산사태 및 토석류 Database 구축

가. 개별 연구성과 설명

산사태 Database는 전국단위로 455개의 산사태 발생 Data가 구축되었으며 토석류 Database는 전국단위의 160개 유역단위별 Data가 구축되었다.

나. 핵심요소기술(Critical Technology Elements)별 성과물

구축된 산사태 및 토석류 Database는 산사태 및 토석류 위험도 평가 모델 개발 및 산사태 및 토석류 위험도 평가 시스템 개발의 기본자료로 사용되었다. 수충부 및 토석류 방재 기술연구단 HOMEPAGE를 통해 사용자들에게 제공될 것이다.



그림 3.1 수충부 및 토석류 방재기술연구단 산사태 및 토석류DB제공서비스

(1) 산사태 및 토석류 Database 제공양식

[illegible]

그림 3.2 산사태 Database 제공양식

토성류 상세 현장조사 D8				No.
위치(주소)	강원도 횡성군 진부면 수합리	관위도좌표	N 37.56227	
피해일시	2006년 7월	(WGS 84)	E 128.54994	
현장조사기관	강릉원주대학교	조사일자	2011. 7. 20	
발생부 번호	1	발생형태	사면파괴	

유각부 특성									
경사	경사각	면		폭	지각심도		특징	나뭇물터	
		상	중		하	상		중	하
38	NW	21	8						
40	W	20	7						
40	NW	25	6						
38	NW	21	5						
33	NW	27	6						
34	NW	24	7						
29	NW	23	4						
35	NW	26	10						
26	NW	30	6						
20	NW	25	7						

회전부 특성									
경사	경사각	면		회전높이		깊이			
		상	중	하	상		중	하	

비고:

배수구조물 및 사방시설									
구조물종류		배수구조물				사방구조물			
배수	사방	폭	깊이	경사	폭	깊이	용량		
○	○	3.5	2	7.2	10	2	140		

비고:

일상지질특성 및 산출물유									
일상	경금	영금	일도	기반암	산출물유				
D	4	3							무

토양 특성									
파괴형태	사면경사	면			심도		깊이	경사각	
		상	중	하	상	중			하
일도	38	10	12	15	3	3.5	3.8	34	NW

비고: 활석의 함량이 높고 불성광인산염류로 인한 토성류

토성류 규모예측									
이송율	서충율	집기율	순진성	최병구	현장조사자	결론			
3.5	2	3.5		3.5	3	3.08			

그림 3.3 토석류 Database 제공양식

다. 주요 연구성과

(1) 학술적 성과

(가) 국내외 학술논문

- ① 김기홍, 원상연, 윤준희, 송영선 (2008), “강릉지역 국도의 재해위험성 평가”, 한국지형공간정보학회 제16권 제4호, pp.33-39.
- ② 김기홍, (2010), “DB구축을 통한 강원지역 사면재해 유발강우 특성 분석”, 한국지반공학회, 제26권 10호, pp.27-38.
- ③ 유건선, 김덕경, 유남재 (2009), 다짐 화강풍화토의 균등계수 변화에 따른 함수특성 곡선에 관한 연구, 강원대학교 산업기술연구소 논문집, 제 29권, A호, pp. 145-153.
- ④ 유남재, 최영준, 이철주(2009), 현장조사를 통한 토석류 특성 분석, 강원대학교 산업기술연구소 논문집, 제 29권, A호, pp. 135-143.
- ⑤ 윤찬영, 전경재, 김경석, 김기홍, 이승우 (2010), “DB구축을 통한 강원지역 사면재해 유발강우특성 분석”, 한국지반공학회논문집, 제26권 10호.
- ⑥ 이철주, 유남재 (2009), 2006년 강원도 인제지역의 토석류 산사태 수해 및 복구에 관한 연구, 한국방재학회논문집, 제9권 제1호, pp. 99-105.
- ⑦ 이철주 (2009), 압밀해석을 통한 부마찰이 작용하는 단독말뚝의 거동분석, 한국지반환경공학회논문집, 제10권, 제2호, pp. 29-36.
- ⑧ 이철주, 박은수, 유남재 (2009), 2006년 발생한 강원도 인제군의 산사태 피해 및 복구에 관한 연구, 강원대학교 산업기술연구소 논문집, 제 29권, A호, pp. 9-17.
- ⑨ 임영규, 윤찬영, 이승우 (2010), “수치해석을 활용한 산지도로의 상향 침투수압으로 인한 포장파손방지를 위한 포장기층종류 및 배수형태의 고찰”, 한국도로학회논문집 제12권 1호 pp. 1-8.
- ⑩ 황제선, 김기홍, 박하진 (2010), “인제 지역의 산사태 발생 위치 추출”, 한국지형공간정보학회, 제16권 4호 pp. 33-39.

(나) 국내외 학술발표

- ① 전경재, 윤찬영, 박판중, 이승우 (2008), 토석류 거동분석을 위한 HSDPA 방식의 USN 모니터링 시스템, 대학토목학회 정기학술대회, pp. 3025-3028.
- ② 전경재, 이승우, 윤찬영 (2009), 강원지역 산사태발생지의 산불이력과 강우특성에 관한 분석, 한국지반공학회 봄학술발표회, pp. 1020-1025.
- ③ 전경재, 윤찬영, 서홍석(2009), 진부지역 토석류발생 사면에 대한 침투 및 사면안정 연계해석, 2009 한국지반공학회 가을학술발표회, pp. 369-376.
- ④ 서홍석, 윤찬영, 전경재(2009), 2006년 집중호우로 발생된 강원도 진부지역의 토석류 특징 분석, 2009 한국지반공학회 가을학술발표회, pp. 1041-1050.

- ⑤ 최준식 외(2010), 2009년 집중호우에 의한 인제군 상남리 토석류 현장 분석, 지반공학회 봄학술발표회
- ⑥ 김호진 외(2010), 2006년 집중호우에 의한 홍천지역의 산사태 발생 사례 연구, 지반공학회 봄학술발표회
- ⑦ 전계원 외(2009), “토석류 수치모의를 위한 일차원 모형 개발에 대한 연구”, 한국방재학회 09 학술발표회 논문집, pp. 525-528.
- ⑧ 전경재, 윤찬영, 김경석, 유남재, 서홍석 (2011). “DB구축을 통한 강원지역 토석류 재해특성 분석”, 한국지반공학회
- ⑨ 윤찬영, 전경재 (2010), “침투해석을 통한 토석류 발생사면의 지하수위 변화거동 분석”, 2010 지반환경 및 사면안정 기술 학술발표회
- ⑩ 박철수, 김규진, 유남재 (2010), “집중호우 시 화천군 사면피해 지역 조사 및 상관관계 분석”, 지반환경공학회
- ⑪ 이동원, 변인호, 유남재 (2010), “국지성 집중호우로 인한 인제군 산사태 발생 특성 및 원인 분석”, 한국지반공학회
- ⑫ 최준식, 김종환, 유남재 (2010), “호우피해에 따른 유역별 산사태 발생 특성 - 원주, 횡성을 중심으로”, 제36회 대한토목학회 정기학술대회
- ⑬ 김호진, 이용원, 유남재 (2010), “2006년 춘천지역 산사태 유발 강우와 사면의 기하특성에 관한 연구”, 산업기술연구
- ⑭ 최준식, 김종환, 유남재 (2011.01), “2006년 원주지역 산사태 발생특성”, 산업기술연구
- ⑮ 조한기, 전상현, 유남재, 박병수 (2010.06.), “사면안전성 영향인자의 민감도 분석”, 한국방재학회
- ⑯ 황제선, 김기홍, 박하진 (2010), “인제 지역의 산사태 발생 위치 추출”, 한국지형공간정보학회 추계학술대회
- ⑰ 유남재, 이철주, 최영준, 이한솔 (2009), “A study on disaster and restoration of debris flow landslides at Inje, Kangwon Province, Korea,” 17th ICSMG
- ⑱ 윤찬영, 서홍석, 전경재 (2010), “Seepage and Slope Stability Analysis on the Occurrence of debris Flow at Jinbu, Korea”, The 17th Southeast Asian Geotechnical Conference

(다) 연구개발 홍보

- ① 소방방재신문 (2008. 10), 강릉대 방재기술개발연구단 방재설계 선진화 추진
- ② 윤찬영, 김경석, 이재웅 (2009), “토석류의 정의와 분류”, 한국지반공학회지 제 25권 제 4호
- ③ 서홍석, 윤찬영 (2009), “토석류 현장조사기법 개발 및 현장적용사례 소개”, 방재연

구지

라. 기술 실시 및 적용사례

다음 표 3.1은 강원도 정선군 북평면 나전리에 대한 산사태 Database 구축 예이다.

표 3.1-1 산사태 Database 구축 예(계속)

위치			강우정보											
주소	좌표		최대 시우 량	연속 강우	3 시간 강우 량	6 시간 강우 량	9 시간 강우 량	12시 간강 우량	일누 적강 우량	3 일누 적강 우량	7 일누 적강 우량	14일 누적 강우 량	21일 누적 강우 량	28일 누적 강우 량
강원도 정선군 북평면 나전리	37.4 5303	128. 6307 5	44	240	105.5	111	119	128	143.5	152	242	315	332	334
강원도 정선군 북평면 나전리	37.4 5312	128. 6299 9	44	240	105.5	111	119	128	143.5	152	242	315	332	334
강원도 정선군 북평면 나전리	37.4 5312	128. 6299 9	44	240	105.5	111	119	128	143.5	152	242	315	332	334
강원도 정선군 북평면 나전리	37.4 5283	128. 6298 6	44	240	105.5	111	119	128	143.5	152	242	315	332	334
강원도 정선군 북평면 나전리	37.4 5297	128. 6290 4	44	240	105.5	111	119	128	143.5	152	242	315	332	334

표 3.1-2 산사태 Database 구축 예

토양정보				입상정보				지질 및 지형정보										
토피	표토 토성	배수 등급	침식 등급	Fore st	kyu ng	you ng	밀도	경사	경사 향	표토 의모 암	심도	폭	경사 길이	면적	부피	고도	파괴 형태	산불 유무
<20	미사 질양 토	매우 양호	있음	침활 혼호 립	중경 목	3	중밀 도	50	S	홍점 통	1	22.6	13.0 4	294. 7	294. 7	400	평면	무
<20	미사 질양 토	매우 양호	있음	소나 무립	대경 목	4	중밀 도	36.9 5	S	홍점 통	0.5	24.0	10	240	120	416	평면	무
<20	미사 질양 토	매우 양호	있음	소나 무립	대경 목	4	중밀 도	46.1	S	홍점 통	0.5	24.0	21.7 1	521. 04	260. 52	416	평면	무
<20	미사 질양 토	매우 양호	있음	소나 무립	대경 목	4	중밀 도	46.2 5	S	홍점 통	0.5	20.0	31.4	628	314	423	평면	무
<20	미사 질양 토	매우 양호	있음	소나 무립	대경 목	4	중밀 도	44.7	S	홍점 통	0.5	12.1	14.0 6	169. 7	84.8 5	448	평면	무

다음 표 3.2는 88고속도로 산사태 및 토석류 발생현장에 대한 산사태 Database 구축 예이다

표 3.2-1 토석류 Database 구축 예(계속)

No	유역명	발생번호	피해일시	발생부						유하부					
				파괴형태	사면경사	폭	심도	길이	경사향	유하거리	경사	경사향	폭	심도	나무들
1	유역 1번	1	2012. 09	원호	19.5	12.1	1.5	7.5	SW	252.4	12.4	NW	3.9	1.8	36.8
		2		-	12	-	-	-	-	252.4	12.4	NW	3.9	1.8	36.8
2	유역 4번	1	2012. 09	복합	52	6.3	1.3	13.5	NE	162.5	16.9	NW	38.18	0.7	-
3	유역 6번	1	2012. 09	원호	35	5.7	1	15.7	NE	793.1	15	NW	29	1.4	66.6
		2		평면	19.5	15	1.5	25	NE	485.1	12.4	NW	45.2	1.6	-
		3		복합	37.5	15	1.5	40	NW	448.8	12.3	NW	47.4	1.7	-
		4		-	38	21.7	2.7	53	NW	399.3	12.1	NW	47.9	2.1	-
		5		원호	31.6	10.1	1.6	19.1	NW	522.9	17.9	NW	16.7	4.1	46.8
		6		-	-	-	-	-	-	355.3	16.1	NW	16.9	4.5	46.7
		7		원호	19.5	14.1	1.2	15.4	NW	279	15.1	N	13.89	4.6	44.5
		8		원호	20.1	10.3	1.4	14.4	NW	242.3	14.9	N	13.2	4.4	43.9
4	유역 7번	1	2012. 09	원호	32.2	6.5	4.4	8.3	N	87.8	24.6	N	7.8	1.5	31.7
		2		평면	31	3.4	0.8	-	N	87.8	24.6	N	7.8	1.5	31.7
5	유역 9번	1	2012. 09	원호	28.3	11.2	0.9	20	NE	59.6	21.5	N	13.6	1.5	81
		2		원호	30.2	6.3	1.5	18.1	NW	-	-	-	-	-	-
6	유역 10번	1	2012. 09	원호	28.4	8.4	2.7	9.2	NW	287	21.3	N	13.6	2.3	40.2
		2		원호	36.1	8.6	2.1	7.1	SW	205.8	18.9	N	13.1	2.7	38.3
		3		원호	27.4	4.7	1.4	7.3	SW	134.3	19.8	N	16.6	2.2	38.3
		4		원호	29.7	6.9	1.3	9.2	SW	110	21.5	NW	18.5	1.7	39
7	유역 11번	1	2012. 09	평면	26.2	3.7	1.1	6.8	SE	97.5	14.7	SE	6.9	2	-
		2		평면	34.9	4.1	-	13.1	SE	97.5	14.7	SE	6.9	2	-

표 3.2-2 토석류 Database 구축 예

퇴적부					임상특성				토양특성								지질	산불	유역 면적 (km ²)	유역 평균 경사	유도평균 경사	
경사	경사 향	폭	퇴적 높이	길이	임상	경급	영급	밀도	토양 모래	심토 자갈	침식 등급	유효 토심	심토 토성	표토 토성	배수 등급	기반 암	산불 유무			현장	DEM	
-	-	-	-	-	활엽 수림	소경 목	3영 급	중밀 도			없음	20-50		사양 토	약간 양호		무	8.1	18.94	12.4	13.79	
-	-	-	-	-	활엽 수림	소경 목	3영 급	중밀 도			없음	20-50		사양 토	약간 불량		무	3.64	18.92	12.4	15.04	
-	-	-	-	-	침엽 혼효 림	소경 목	3영 급	고밀 도			있음	20-50		사양 토	매우 양호		무	39.52	20.78	15	13.88	
-	-	-	-	-																12.4	12.66	
-	-	-	-	-																12.3	12.76	
-	-	-	-	-																12.1	13.8	
-	-	-	-	-																17.9	13.74	
-	-	-	-	-																16.1	14.02	
-	-	-	-	-																15.1	13.61	
-	-	-	-	-																14.9	12.91	
23	N	-	-	-	활엽 수림	소경 목	3영 급	중밀 도			있음	20-50		사양 토	매우 양호		무	3.1	18.38	24.6	18.22	
23	N	-	-	-	활엽 수림	소경 목	3영 급	중밀 도			있음	20-50		사양 토	매우 양호		무	2.89	15.93	24.6	18.13	
-	-	-	-	-	활엽 수림	소경 목	3영 급	중밀 도			있음	20-50		사양 토	매우 양호		무	2.89	15.93	21.5	18.91	
-	-	-	-	-																-	18.95	
-	-	16.1	-	20.1	소나 무림	소경 목	3영 급	중밀 도			없음	20-50		사양 토	약간 양호		무	9.55	19.63	21.3	17.4	
-	-	16.1	-	20.1																18.9	18.21	
-	-	16.1	-	20.1																19.8	18.72	
-	-	16.1	-	20.1																21.5	19.64	
-	-	-	-	-	소나 무림	소경 목	3영 급	중밀 도			없음	20-50		사양 토	약간 불량		무	5.78	20.9	14.7	14.28	
-	-	-	-	-																		14.7

마. 기술개발 성과의 국내외 시장 전망

본 연구를 통하여 도로인접 사면의 우기시 산사태 및 토석류 발생 가능성에 대한 정량적이고, 객관적인 평가방법 구축 및 Database 구축으로 우기 시에도 도로를 안정적으로 사용할 수 있게 되어 지역의 관광산업 육성에 매우 큰 도움이 될 것으로 기대된다.

2. 산사태 및 토석류 위험도 분석 시스템

가. 개별 연구성과 설명

산사태 및 토석류 위험도 분석 시스템은 GIS기반으로 개발되었으며, 산사태 및 토석류 위험도 분석을 위한 로지스틱 회귀식 모형을 적용하여 산사태 및 토석류 위험도 분석 시스템을 개발하였다. 주요기능으로 산사태발생확률지도 작성, 소유역추출, 유역단위 토석류 위험도 분석이다. 산사태 및 토석류 위험도 분석 시스템은 크게 산사태발생확률지도 작성, 소유역 추출, 유역단위 토석류 위험도 분석 등 크게 3가지 기능과 Fill 보정을 한 DEM생성 등 영향인자 생성과 같은 세부 기능으로 나누어 분석한다. 우선 사용자들이 산사태발생확률지도를 작성하기 위한 영향인자를 생성하기 위하여 레이어 혹은 레스터를 입력하여 하고 그다음 영향인자별 생성, 또한 소유역을 추출하기 위하여 대상지역에 지형자료를 이용하여 하천망 생성 및 유역출구 생성 등을 우선 분석해야 한다. 마지막 유역추출 후 유역단위 토석류 위험도 분석을 실행한다.



그림 3.4 산사태 및 토석류 위험도 분석 시스템 흐름도

나. 핵심요소기술

(1) 산사태 발생확률지도 작성 기능

본 보고서의 2장 1절의 산사태 위험도 예측 모델을 기반으로 한 GIS을 활용한 산사태 발생확률 지도 작성 기능이다.

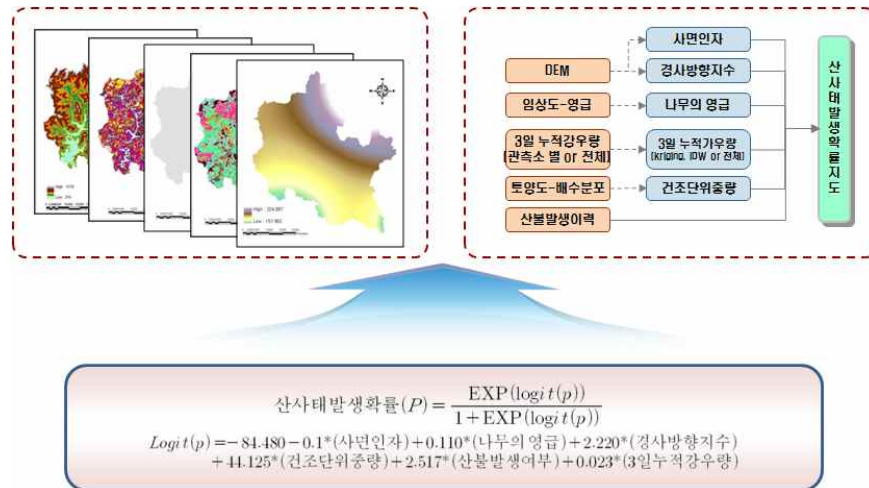


그림 3.5 산사태 발생 확률지도 작성 흐름도

(2) 소유역 자동 추출 기능

GIS기반의 지형분석을 통한 하천망 생성, 사용자 유역출구 지정 및 생성, 소유역 추출 등 유역추출을 자동화한 기술로 국내 산사태 및 토석류 관련 시스템 중에서는 최초로 적용된 기술이다.

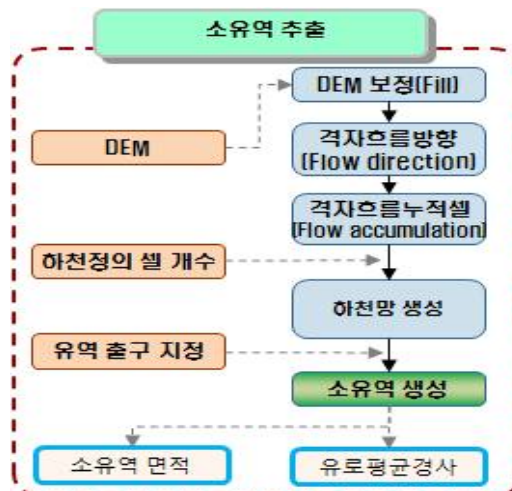


그림 3.6 소유역 추출 흐름도

(3) 유역단위 토석류 위험도 분석 기능

본 보고서의 2장 1절의 강릉원주대 토석류 위험도 평가 모델식을 적용하였으며, 회귀식에 포함된 영향인자들을 손쉽게 구할수 있는 Rawdata를 입력하여 분석할 수 있도록 기능개발을 함으로써 사용자가 쉽게 이용할 수 있다.

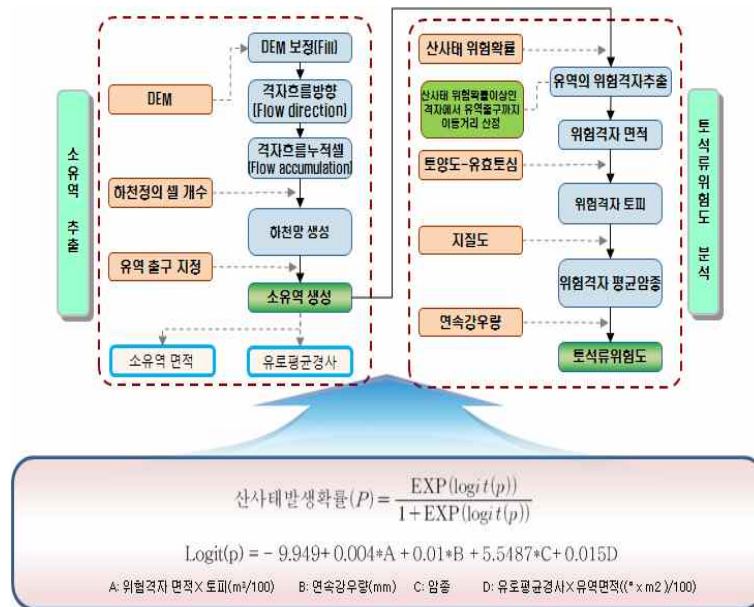


그림 3.7 유역단위 토석류위험도 분석 흐름도

다. 주요 연구성과

(1) 학술적 성과

(가) 국내외 학술논문

- ① 장대원, 장동민, 김기홍 (2009), “산지하천도로재해지도 작성을 위한 SW 개발”, 한국재난관리표준학회논문집 제2권 1호 pp. 75-80.
- ② 전경재, 김기홍, 윤찬영 (2013), “DB구축을 통한 강원지역 토석류 유형 분석”, 대한토목학회, 제33권 제1호 pp.33-39.
- ③ 김기홍, 윤찬영, 이환길, 황제선 (2011), “GIS를 이용한 인제 산사태발생지역의 토석류 분석”, 한국측량학회지 제29권 1호 pp. 47-53.
- ④ 김기홍, 이환길 (2012), “수량화 2종법을 이용한 GIS 기반의 인제지역 산사태 영향인자 분석”, 한국공간정보학회, 제20권 제3호, pp. 57-66.
- ⑤ 이승우, 김기홍, 윤찬영, 유한중, 홍성재 (2012), “데이터베이스 구축을 통한 산사태 위험도 예측식 개발”, 한국지반공학학회논문집, 제28권 4호 pp. 23-33.
- ⑥ 이환길, 고석민, 모세환, 김기홍, 이승우 (2012), “로지스틱 회귀분석을 이용한 토석류 재해예측”, 한국측량학회, pp. 375-376.
- ⑦ 임영규, 김영규, 윤찬영, 이승우 (2011), “산지도로의 상향침투수압으로 인한 포장과 손 방지 배수성 기층재료의 적정입도 연구”, 한국도로학회논문집 제13권 제2호 pp. 21-29.
- ⑧ 유한중, 신종환, 서홍석, 김기홍, 이승우 (2012), “유역별 토석류 위험도 평가 모델”, 한국방재학회논문집 제12권 4호 pp. 67-76.
- ⑨ 윤찬영, 채윤기, 백중철, 김기홍, 이승우, 서홍석 (2012) “Debris Flow in

Metropolitan Area-2011 Seoul Debris Flow”, JOURNAL OF MOUNTAIN SCIENCE 10(2), pp. 199-206.

(나) 국내외 학술발표

① 이승우 “도로 선형 설계를 위한 사면 재해 발생 확률 예측모델 개발”, 2011년도 봄학술대회 논문집

② 이승우, 김기홍, 윤찬영, 서홍석 (2011), “산사태 및 토석류 재해 위험도 평가시스템 개발”, 2011 한국도로학회 학술대회 논문집 pp. 659-675

③ 신종환, 홍성재, 이승우 (2013), “강원권 국도 대안노선 산지재해 위험도 평가”, 한국도로학회 2013년도 봄학술대회 논문집

④ 이승우, 김기홍, 윤찬영, 서홍석 (2011), “산악지 도로의 산사태 및 토석류 재해 - 산사태 및 토석류 재해 위험도 평가시스템 개발”, 한국도로학회 제13회 학술대회 pp. 659-675.

⑤ 이환길, 고석민, 모세환, 김기홍, 이승우 (2012), “로지스틱 회귀분석을 이용한 토석류 재해예측”, 2012 한국측량학회 춘계학술발표회 논문집 pp. 375-376.

⑥ 황제선, 박초롱, 윤찬영, 김기홍, (2011), “토석류 현장조사기법의 표준화”, 2011 한국지형공간정보학회 추계학술대회 논문발표집 pp. 215-216.

⑦ 이승우, 윤찬영, 백중철, 김기홍 (2012), “Development of Landslide Prediction

⑧ Model Based on Hazard Database of Gangwon Province in Korea”, 34th International Geological Congress, 34th International Geological Congress abstracts book

⑨ 윤찬영, 채윤기, 백중철, 김기홍, 이승우, 서홍석 (2012), “Debris Flow in Metropolitan Area-2011 Seoul Debris Flow”, 2012 International Debris-Flow Workshop

(다) 연구개발 홍보

① ‘아열대의 습격... 방재정책 전환 시급’. 건설경제신문 (2011)

② ‘우면산 12곳 산사태 가능성 더 커졌다’. 조선일보 (2011)

③ ‘우면산 산사태 재발할수 있다.’ 환경TV경제 (2011)

④ ‘우면산, 산사태 가능성 더 커져’ 매일경제 (2011)

⑤ ‘우면산, 저수지 보강 시급.. 위험요인 아직 상존’ 연합뉴스 (2011)

⑥ ‘우면산 산사태 유역 12개...저수지 위험’ ytn (2011)

⑦ ‘산사태 전후 정밀 항공사진... 이렇게 바뀌었다!. ytn. (2011)

⑧ ‘우면산, 저수지 보강시급... 위험요인 아직 상존’ 한국경제신문 (2011)

⑨ ‘우면산 산사태’. ytn 인터뷰 (2011)

- ⑩ ‘우면산 산사태’. KBS9시 뉴스 (2011)
- ⑪ ‘최명길의 세계는 그리고 우리는’ MBC라디오 인터뷰 (2012)
- ⑫ ‘YTN 뉴스! 정면승부’ ytn 인터뷰 (2012)
- ⑬ ‘영동포커스’ KBS 강릉방송국라디오 (2013)

(2) 기술적 성과(소프트웨어 개발)

① LDFAS(Landlide&Deris Flow Analysis System) 산사태 및 토석류 분석시스템
등록번호 : C-2012-015446

라. 기술 실시 및 적용사례

(1) 강원권 국도 59호선, 35호선, 31호선 위험도 분석

원주지방국토관리청과 협의를 통하여 현재 강원도 지역의 국도 59호선 35호선 31호선의 산악지 도로선형 설계에 분석 결과가 반영되었다.

(가) 59호선 유역평가 및 분석

유역 6번 : 대규모 토석류 발생시 토석류가 도로로 유입되 유실 또는 손상될 가능성이 높다고 판단되어 이에 따른 대비시설이 필요할 것으로 사료된다.

유역11번 : 상류 토석류 양에 비해 사방댐 아래의 배수구의 size가 작은 편이었으며 사방댐내 또한 토사유출 및 토석류가 심한지역이라 사방시설에 많은 양의 토사가 퇴적되어 있었다. 추후 많은 관리가 필요할 것으로 보인다.

유역 12번 : 사방 시설이 존재 하지 않았고 배수구의 크기는 큰 편이나 이전처럼 많은 양의 토석류 발생시 사방시설이 존재 하지 않아 수목과 바위들이 배수구를 막아 버릴 가능성이 크다.

표 3.3 59호선 유역별 분석표

도로 구간	유역 번호	유역 면적 (m^2)	80%이상 확률 개수 (N)	L/H<4.3 개수(N)	토석류 규모 (m^3)	유목 규모 (m^3)	재해 발생 확률(%)
국도 59호선	1	472,100	16	16	4,928	36,000	17.0
	2	242,800	177	175	5,244	740,250	99.6
	3	1,357,100	34	34	15,371	76,500	16.3
	4	3,724,100	758	119	27,232	267,750	90.8
	5	402,800	176	176	3,842	396,000	65.8
	6	489,800	248	248	3,883	870,480	84.3
	7	462,800	250	81	1,292	306,180	14.1
	8	75,600	61	61	86	181,170	2.6
	9	50,400	19	19	379	44,460	1.5
	10	107,100	71	71	590	172,530	4.6
	11	895,254	337	337	10,518	849,240	100.0
	12	2,434,157	834	230	14,243	600,300	99.6

(나) 35호선 유역평가 및 분석

유역 4번 : 사방시설은 물론 배수 시설과 유하부 중간에 유속 저감시설, 그리고 간이 사방시설들이 설치되어 있었고 배수시설이 암거+흙관의 형태로 되어있는 특이한 경우 였는데 토석류가 다시 발생할시 유송잡물과 상당량의 토사나 큰 바위들이 이러한 형태의 배수구를 막아버릴 가능성이 높은 것으로 판단되며 이에 따라 보수 및 재시공 이 불가피 할 것으로 보여 진다.

표 3.4 35호선 유역별 분석표

도로 구간	유역번호	유역 면적	80%이상 확률 개수 (N)	L/H<4.3 개수(N)	토석류 규모 (m^3)	유목 규모 (m^3)	재해 발생 확률(%)
국도 35호선	1	129,600	0	0	417	0	2.0
	2	248,000	28	28	57	63,000	1.9
	3	491,400	219	66	2,248	148,500	14.0
	4	711,000	361	206	4,855	463,500	96.5
	5	638,100	75	58	5,134	130,500	1.1

(다) 31호선 유역평가 및 분석

유역 10번 : 사방시설과 배수 시설은 잘 갖추어져 있었으나 사방시설은 이미 포화상태 이고 배수구 유로에 상당량의 수목과 토사 유출물들이 쌓여 있었다. 대상 지역의 사방 시설 및 배수시설들을 지속적으로 관리해야 할 것으로 보인다.

표 3.5 31호선 유역별 분석표

도로 구간	유역번호	유역 면적	80%이상 확률 개수 (N)	L/H<4.3 개수(N)	토석류 규모 (m^3)	유목 규모 (m^3)	재해 발생 확률(%)
국도 31호선	1	108,900	43	33	601	74,250	1.8
	2	348,300	43	2	3,141	4,500	1.9
	3	979,200	200	43	4,450	96,750	0.1
	4	640,800	88	16	4,219	36,000	0.4
	5	425,700	126	27	2,989	60,750	6.5
	6	1,031,400	145	7	9,002	15,750	7.3
	7	252,600	173	0	608	0	11.9
	8	1,203,300	128	0	1,526	0	0
	9	105,300	73	67	631	150,750	5.3
	10	252,900	204	183	1,615	592,920	63.6
	11	100,800	76	76	669	225,720	6.6

(2) 우면산 산사태 및 토석류 위험도 분석

서울시 우면산 산사태 원인조사 추가 및 보완조사의 일환으로 이루어진 연구결과이다.

(가) 우면산 유역 분류

우면산의 산사태 및 토석류 위험도 평가를 위해 크고 작은 31개의 유역으로 분류하여 위험도 분석을 실시하였다. 31개 유역에 발생부 149개소가 존재하고 그림 3.8과 같이 우면산 전체 유역이 산사태 위험도가 높은 것을 알 수 있다.

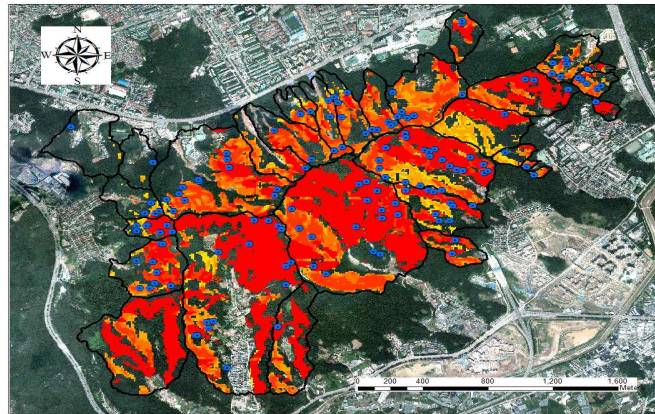


그림 3.8 우면산 전체유역 및 산사태 위험지도

(나) 우면산 유역별 분석 실시결과 종합

2011년 강우에 대한 우면산의 산사태 및 토석류 위험도 분석결과 표 3.6에서 볼 수 있듯이 우면산 전체 유역에 대하여 토석류 위험도가 높게 나왔으며, 우면산이 인근 지역(청계산, 구룡산, 관악산)에 비해 산사태 및 토석류 발생 위험도가 높은 원인은 표토의 모암(호상 편마암)이 산사태 및 토석류에 취약하기 때문인 것으로 판단된다.

선바위 유역의 경우 표토의 모암이 다른 유역의 호상편마암과는 달리 화강암이기 때문에 토석류의 위험도가 상당히 낮게 나왔으며 이 분석결과와는 선바위 유역에 실제로 산사태 및 토석류가 발생하지 않은 사실과 일치한다.

표 3.6 우면산 전체 유역의 토석류 위험도

유역	소유역	토석류 위험도	유역	소유역	토석류 위험도
래미안 APT	래미안 APT	84%	EBS	EBS-1	77%
	임광 APT-1	72%		EBS-2	70%
	임광 APT-2	76%		EBS-3	71%
신동아 APT	신동아 APT-1	87%	관문사	관문사-1	96%
	신동아 APT-2	87%		관문사-2	97%
형촌마을	형촌마을-1	100%	강남교회	암산마을	73%
	형촌마을-2	92%		강남교회-1	71%
전원마을	전원마을-1	94%	예술의 전당	강남교회-2	79%
	전원마을-2	80%		양재자동차학원	84%
	전원마을-3	75%		대성사	79%
보덕사	보덕사	99%	뒷골	예술의 전당	96%
	앞윗마을	69%		국립국악원	87%
	한국외교협회	73%		뒷골	100%
송동마을	송동마을	100%	선바위	안골	90%
우면산 터널	우면산 터널	83%		선바위	17%
덕우암	덕우암	85%			

표 3.7 토석류 위험도에 따른 분류표

위험도	비고
90~100%	매우위험
70~90%	위험
50~70%	다소위험
50~0%	안전

(다) LiDAR측량을 통한 우면산 유역 토사유출량 산정

본 조사에서는 우면산 산사태 및 토석류 피해 전후의 LiDAR DEM, 항공사진 등을 종합적으로 분석하여 비교적 큰 피해가 발생한 몇 개의 유역에 대해 피해가 발생했을 당시의 산사태 및 토석류 진행상황을 평가하고 종횡단 profile을 추출하여 피해 전후의 지형적 변화량을 관측하였다. 유하부의 종단은 발생부로부터 유역출구까지 유하부를 따라 20m 간격으로 관측하였으며, 횡단은 각각의 종단점에서 유하부에 수직인 단면을 구한 후 유역 폭 내에서 1m 간격으로 관측하였다.

① 래미안·임광APT 지구

대규모의 토사가 다량의 물, 유목과 함께 남부순환로를 가로질러 래미안APT 3층 높이 까지 피해를 주었으며, 3명의 사망자가 발생하였다. 래미안·임광APT 지구는 래미안, 임광1, 임광2의 총 3개의 유역으로 구분하였고, 크게 5개이 유하부가 존재하였으며, 유역출구는 3개로 관측되었다.



그림 3.9 래미안·임광APT 지구 피해 전후 유하부 3차원 모식도



그림 3.10 래미안·임광APT 지구 피해 전후 종횡단 모식도

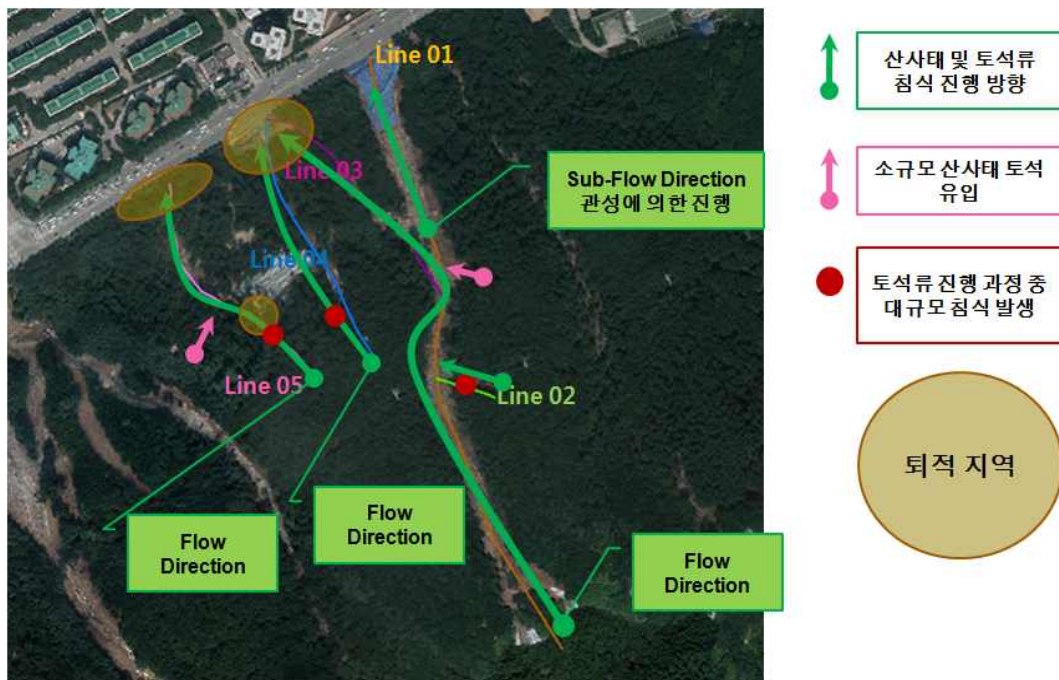


그림 3.11 래미안·임광APT 지구 토석류 진행 종합 평가

래미안·임광APT 지구는 토석류를 유발한 4개의 큰 산사태가 발생하였으며, 토석류의 진행과정에서 유하부1의 우안과 유하부5의 좌안에서 소규모의 토석이 유입되었다. 유역 출구별 토사 유출·퇴적량을 추정해 본 결과 래미안APT 방향의 토사유출량은 $13,500\text{m}^3$ 으로 추정되며, 임광1 유역은 유역출구에서 $4,000\text{m}^3$ 의 토사가 유출되었으며, 임광2 유역은 유역출구 부근에서 대부분의 토사가 퇴적된 것으로 추정된다.

② 송동마을 지구

우면산 유역 중 전체적으로 두 번째로 큰 유역면적을 갖고 있다. 송동마을 지구는 하나의 출구를 가지며, 크게 11개의 유하부가 존재한다.

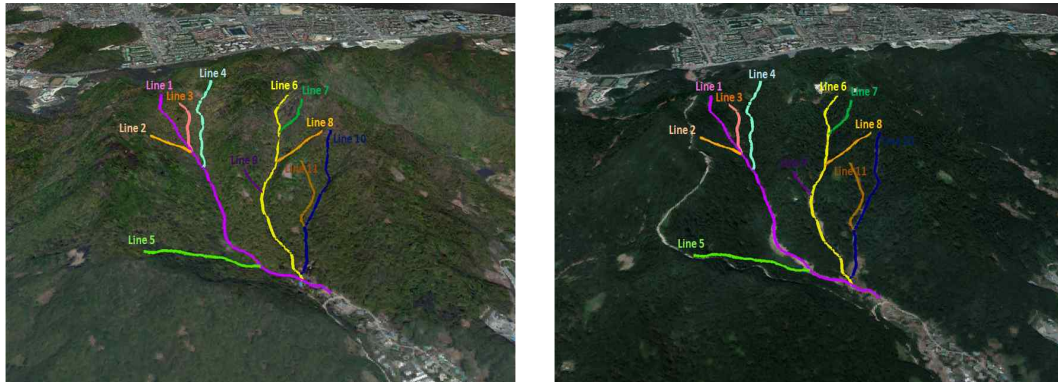


그림 3.12 송동마을 지구 피해 전후 유하부 3차원 모식도

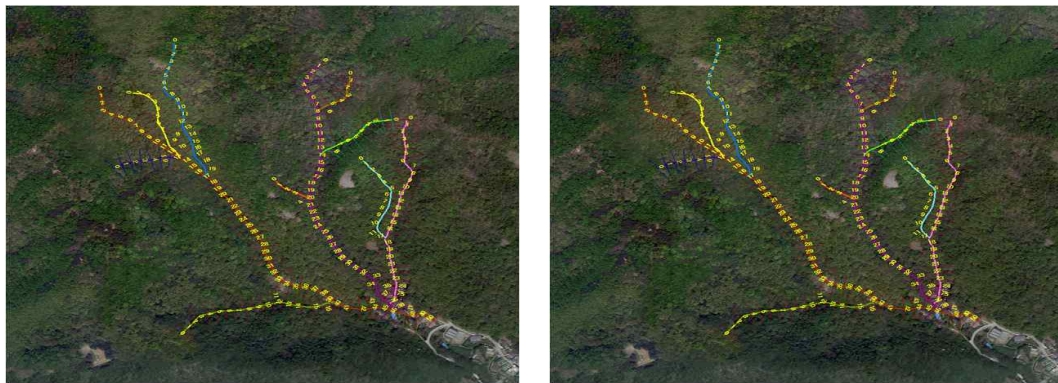


그림 3.13 송동마을 지구 유하부 종횡단 모식도

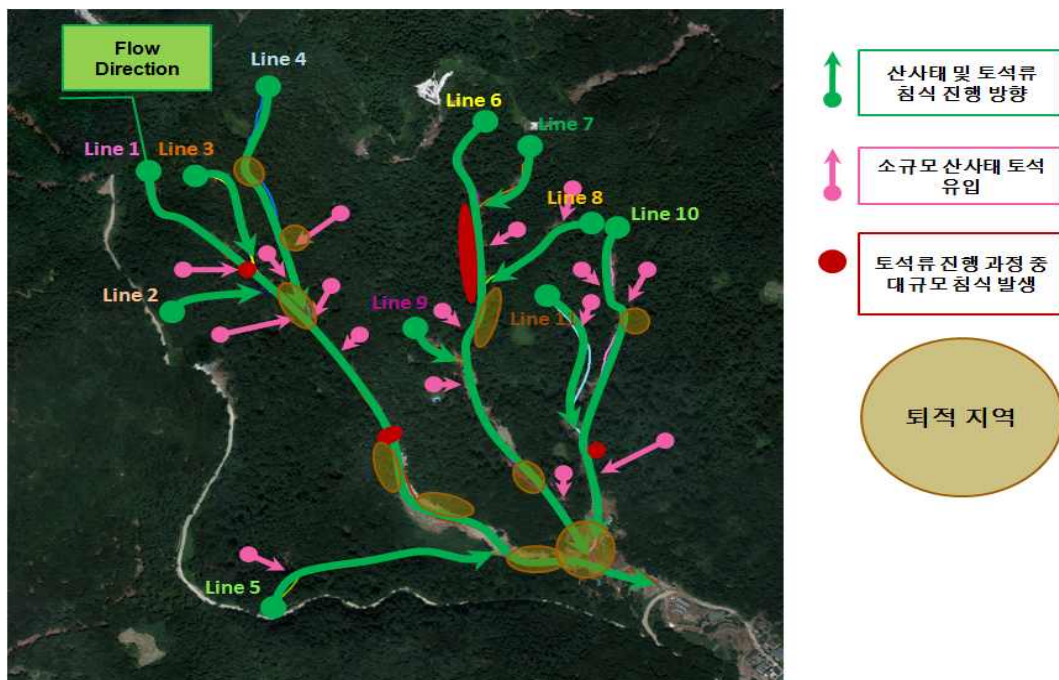


그림 3.14 송동마을 지구 토석류 진행 종합 평가

송동마을 지구는 토석류를 유발한 11개의 큰 산사태가 발생하였고, 진행과정에서 16개 전후의 소규모 산사태를 인한 각 유하부로의 토석 유입과 다수 유하부 인근 사면붕

괴로 인한 토석의 유입이 관측 되었다. 중형단분석을 통한 송동마을 지구의 유역출구 토사 유출·퇴적량을 추정해 본 결과 유역출구에서의 토사 유출량은 23,300m³ 정도로 추정된다. 전체 유역의 면적이 다른 유역에 비하여 넓은 편이며, 다수의 산사태가 다발적으로 발생하였으므로 다량의 토사가 송동마을 방향으로 토사의 유출이 매우 많았을 것으로 해석된다.

마. 기술개발 성과의 국내외 시장 전망

평가 기술의 참신성보다는 기존 자료의 활용 측면 및 예방 및 대비 단계의 방재측면에서 그 활용성이 크다고 볼 수 있으며, 개발된 기술에서 기본적으로 사용되는 공통 자료 및 표출 기법에 대해서는 시장 점유의 가능성이 있다고 판단된다.

3. GIS기반의 강원도 지역 재해지도

가. 개별 연구성과 설명

산사태 및 토석류 위험도 분석 시스템을 적용하여 강원도 지역의 재해지도(산사태발생확률지도)를 작성하였다. 재해지도를 작성하기 위하여 3일누적강우량은 강원도 지역 및 인근 지역의 관측기간이 30년 이상인 관측소를 선택하여 시강우량을 이용하여 빈도별(3년, 5년, 10년) 지속시간 72시간에 대한 확률강우량을 산정하였다. 확률강우량에 따른 재해지도는 강원도 지역의 시군구(18개)단위로 지도첩을 작성하였다.

나. 핵심요소기술(Critical Technology Elements)별 성과물

산사태 및 토석류 위험도 분석 시스템과 동일하며, 이를 활용하여 재해지도를 빈도별로 작성하였다.

다. 주요 연구성과(학술적 성과 및 기술적 성과)

기술적 성과(지도첩 작성) : 강원도 지역 재해지도 지도첩 작성

라. 기술 실시 및 적용사례

강원도 내의 주요 시, 군, 구 및 지자체에 재해 빈도별(3년, 5년, 10년) 재해지도를 배포할 예정이다.

마. 기술개발 성과의 국내외 시장 전망

강원 지역의 도로포장 및 철도 건설시 산사태 및 토석류에 대한 재해가능성 예측이

가능하게 될 것이며 이에 따른 방재대책 및 대비책 마련에 효율적인 가이드 라인을 제시하게 될 것이다.

4. 산사태 대안노선 평가 시스템

가. 개별 연구성과 설명

산사태 대안노선 평가시스템은 도로선형 설계시 산사태나 토석류에 의한 위험도와 경제적 비용의 분석으로 최적의 노선을 선정하기 위한 프로그램으로 앞장에서 언급하였던 GIS 기반의 산사태 발생확률지도를 기반으로 도로노선의 산사태위험도의 분석이 이루어진다.

본 시스템은 도로노선 산사태위험도 분석과 경제성 분석 등 크게 2가지 기능을 가지고 있다. 산사태 위험도 분석은 산사태발생확률도를 기반으로 도로노선의 전체위험도를 분석하는 기능을 수행하며 경제성 분석기능은 LCC(Life Cycle Cost) 분석을 통한 도로노선의 총비용을 분석하는 기능을 수행한다. 이렇게 분석된 도로노선의 산사태 위험도와 경제성 분석은 비교 노선선정의 의사결정 수단으로 활용된다.

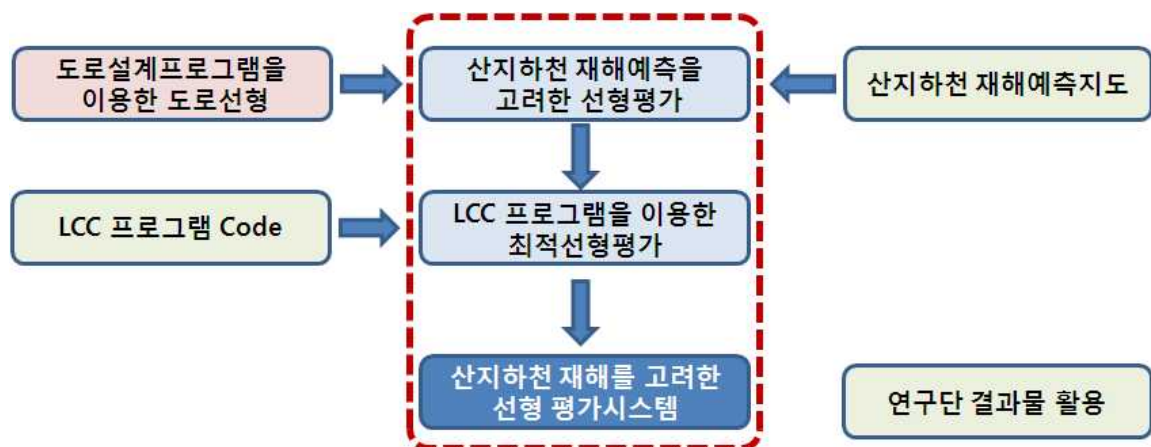


그림 3.15 대안노선 평가시스템 개요

나. 핵심요소 기술(Critical Technology Elements)별 성과물

(1) 산사태 발생확률 지도

산사태 발생확률 지도는 강릉원주대에서 개발된 로지스틱회귀식 최종모형을 기반으로 작성되었으며 분석단위는 강원도 전체지역으로 필요시 시군구 단위로 변경될 수 있다.

산사태 발생확률 지도 작성 알고리즘은 다음과 같다.

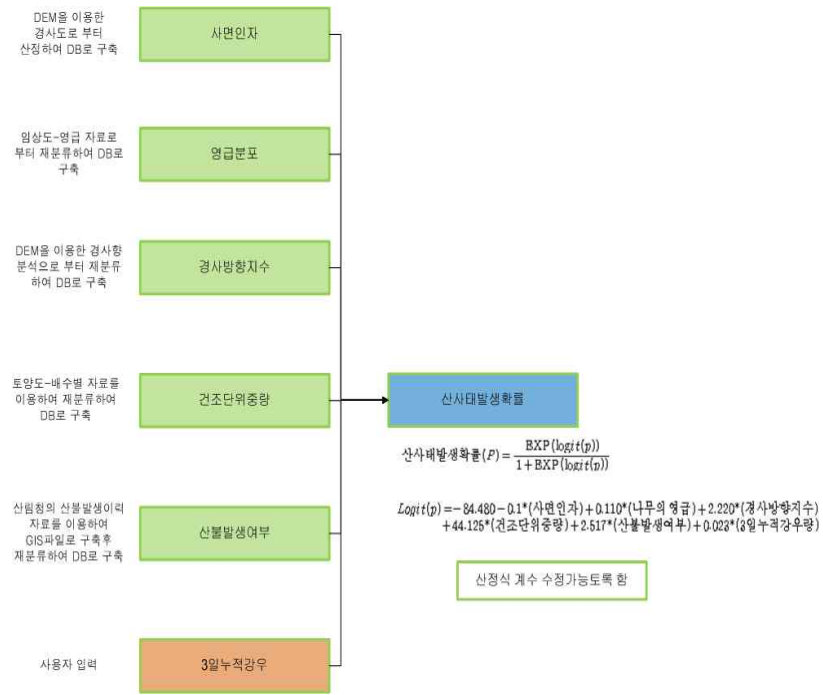


그림 3.16 산사태 발생확률지도 작성 알고리즘

(2) 산사태 위험도 분석 알고리즘

산사태 위험도 분석 기능은 산사태발생확률지도를 기반으로 실행되는 것으로 시스템 화면상에서 산사태 발생확률지도를 GIS화면으로 표출이 된다. 또한 화면의 확대 및 축소 등 기본 화면의 도구모음들이 있어 지도를 확인할 경우 편리하다. 위험도 분석 기능은 산사태발생확률지도(Raster 파일)와 도로 및 구조물위치 파일(Cad 파일)을 입력받아 대안노선에 해당되는 확률값들의 합을 추출함으로써 위험도 분석을 실행한다.

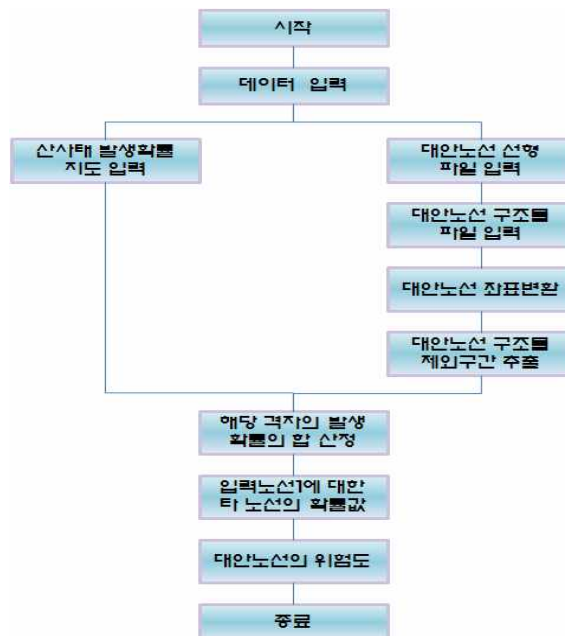


그림 3.17 대안노선 산사태 위험도 분석 알고리즘

(3) LCC 경제성분석 알고리즘

경제성 분석기능은 도로노선의 초기비용과 분석기간년 동안의 유지비용을 산정하는 기능으로서 도로노선의 공사정보, 공사비용, 교통량정보, 경제지표 등 인자들을 입력받아 분석이 실행된다.

도로노선의 초기비용은 기존 도로설계 상용프로그램(RP, RD 등)을 이용하거나 설계자들이 각 공종별로 직접 산출한 개략공사비가 입력되며 유지비용은 본 연구단의 중앙대학교에서 개발한 LCC 모형을 사용하였다.

LCC 모형은 의사결정자의 최적대안 선택을 위한 경제성분석 모형으로 생애주기비용을 산출한다. 이때, 생애주기비용을 구성하는 항목으로 설계 구조에 따라 구조물의 생애주기비용, 도로 포장의 생애주기비용으로 구분한다. 또한 공사 시점에 따라 초기비용 및 유지보수비용으로 구분하여 계산한다. 재해를 고려한 산지하천도로 경제성 모델의 비용계산 로직 및 대안노선 경제성 분석 알고리즘은 다음과 같다.



그림 3.18 산지도로 경제성 모델의 비용계산 로직

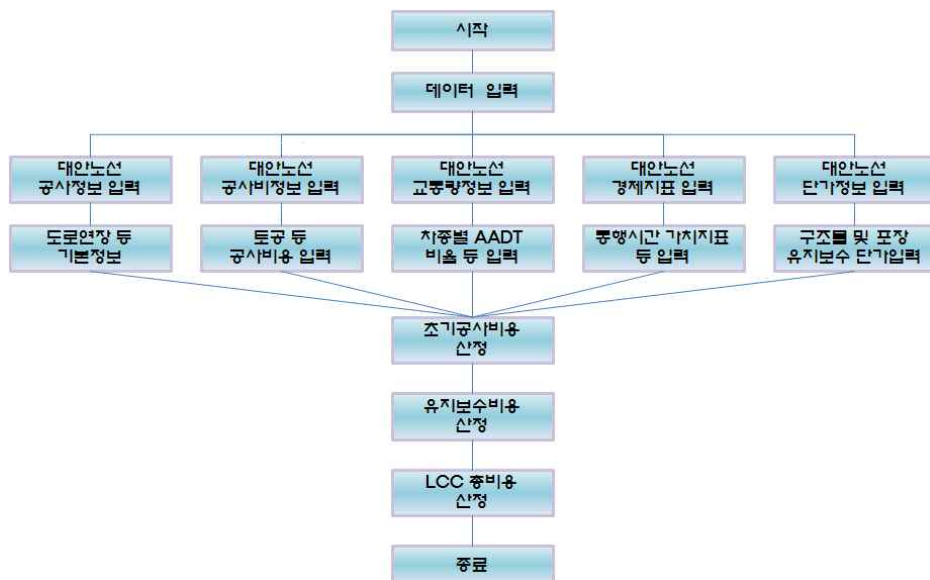


그림 3.19 대안노선 경제성 분석 알고리즘

다. 주요 연구성과

(1) 학술적 성과

(가) 논문

① 송민태, 강호근, 김홍래, 이태옥, 이한주 (2012), “친환경 도로노선의 재해위험도 평가시스템 개발”, 한국도로학회 논문집, 제14권 제5호, pp. 123-132.

(나) 국내외 학술발표

① 송민태 (2011), “산지하천도로 재해를 고려한 대안노선 평가 시스템”, 한국도로학회 2011년도 학술대회 논문집, pp. 723-738.

다. 연구개발 홍보

① 송민태, 김홍래 (2012), “산지 하천도로의 재해위험도 분석 시스템 개발”, 제1회 기술사 컨퍼런스 발표, 2012년 5월, 코엑스 컨퍼런스룸

(2) 기술적 성과

(가) 지적재산권

① 대안노선 평가 시스템 S/W

라. 기술 실시 및 적용사례

(1) 산사태 대안노선 평가시스템 시범노선 적용사례

본 시스템의 시범적용을 위한 대상지역은 국도 59호선이 위치한 강원도의 평창군과 정선군으로 선정하였다. 이 구간은 2006.7.14~18 집중호우로 대부분의 도로가 유실되었으며, 기존도로의 선형이 불량하여 사고위험이 상존한 지역이다. 산사태발생확률지도는 2006년 7월 집중호우시의 3일누적강우량을 적용하여 추출된 지도를 적용하였으며 대안노선 1, 2, 3의 공사정보 등 입력정보는 다음과 같다.

표 3.8 대안노선 입력정보

분류	세부정보	대안노선1	대안노선2	대안노선3
기본정보	도로위치	0	0	0
	프로젝트명	경제성노선	우회노선	구조물대체
	구간정보	산지부	산지부	산지부
	차로수	2	2	2
	도로연장(km)	5.94	6.19	5.94
	교량연장(km)	0.660	0.605	0.915
	터널연장(km)	1.800	1.910	2.250
초기공사비	토공	30억	23억	32억
	배수공	23억	28억	23억
	교량공	175억	174억	249억
	터널공	250억	265억	320억
	기타공	265억	288억	280억
	초기공사비 합계	743억	778억	904억
교통량정보	개통년의 AADT(대/일) 양방향		7,839	
	년간 교통량 증가율(%)		0.9	
	차종별 AADT 비율 (%)	승용차	58.8	
		소형버스	0.9	
		대형버스	2.2	
		소형트럭	33.7	
		중형트럭	4.2	
		대형트럭	0.2	
경제지표	분석기간(년)		20년	
	할인율 (%)		5.5	
	통행시간 가치지표 (2007년기준)	승용차	17,547	
		소형버스	120,825	
		대형버스	120,825	
		소형트럭	16,864	
		중형트럭	16,864	
		대형트럭	16,864	
단가정보	교량		500,803,000	
	교량포장		7,414,430	
	터널		58,547,000	
	터널포장		7,414,430	
	아스팔트 덧씌우기		15,210,900	

시범적용 구간의 각 노선별 재해 위험도와 LCC 결과는 다음과 같다.

표 3.9 노선별 산사태 재해위험도

노선명	위험물의 합 ($R_{total-50\%}$)		노선셀 개수 (C_{count})	위험도(R_{route}) (%)
	노선전체구간	구조물 구간		
대안1 (경제성 노선)	159.87	83.07	216	35.55
대안2 (우회노선)	57.84	34.74	83	27.84
대안3 (구조물 대체)	159.87	89.64	216	32.51

표 3.10 노선별 LCC 결과 비교

노선명	초기공사비	유지보수비	LCC 총비용
대안1 (경제성 노선)	743억	4.6억	747.6억
대안2 (우회노선)	778억	4.8억	782.8억
대안3 (구조물 대체)	904억	4.3억	908.3억

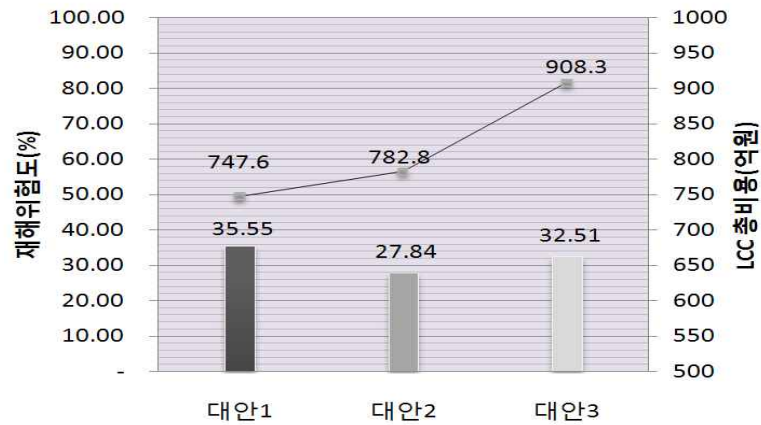


그림 3.20 대안노선 재해위험도, LCC 총비용 비교

각각의 노선안에 대한 재해위험도를 분석한 결과 노선안 1의 재해위험도는 35.6%로 산출되었으며, 노선안 2는 27.9%, 노선안 3은 32.5%로 산출되었다.

재해위험도 측면에서 볼 때 재해위험지역을 우회해서 계획한 노선인 노선안 2가 재해위험을 최소화시킬 수 있을 것으로 사료되며 노선안 3의 경우 노선안 1에 비해 재해위험도는 낮았지만 재해위험지역을 터널 및 교량 구조물로 계획하여 LCC 총비용이 많이 증가함을 알 수 있었다. 이는 노선선정 결정자의 의사결정시 참고자료로 활용될 수 있다.

도로의 노선선정의 경우 공사비를 비롯한 다양한 항목의 장단점 분석을 통하여 결정되므로 노선의 최종결정은 사용자가 판단하여 결정하는 것이 타당할 것으로 사료되며 본 시스템은 그러한 의사결정의 보조수단으로서 매우 유용할 것으로 판단된다.

마. 기술개발 성과의 국내외 시장 전망

현재의 산지하천도로 계획 및 설계는 도로관련 기술자들의 지형 및 지질조건 등을 고려하는 개념적인 수준에 머무르는 실정이었다. 하지만, 매년 반복되는 산지와 하천을 형성하는 구간에 계획되는 도로는 피해를 저감할 수 있는 기법 및 기준이 제시되어 향후 직접적으로 제도화된다면 산지하천도로의 피해를 저감할 수 있는 안전한 도로가 건설될 것으로 판단된다.

산사태 대안노선 평가시스템은 노선계획 및 설계단계에서 다양하게 활용될 수 있으며 또한 시공중이거나 공용중인 도로에서도 다음과 같이 활용이 가능하다.

표 3.11 산사태 대안노선 평가시스템 활용방안 예시

도로계획		활용방안	
		산사태 재해발생 확률지도	산사태를 고려한 대안노선 선정
계획 단계	예비타당성조사	노선대 선정시 작성 지원	산사태 위험도 평가
	타당성조사		
	사전환경성 검토		
설계 단계	기본설계	비교노선 선정시 작성 지원	산사태 위험도 평가 LCC 평가
	실시설계		
	전략환경영향평가		
	사전재해영향성평가		
시공 및 공용중인 도로		위험구간 확인	산사태 위험도 평가

(1) 재해확률지도를 이용한 도로선형계획

산지하천 대안노선 평가시스템의 재해확률지도의 제공을 통하여 도로노선계획시 Control Point 조건으로 활용할 수 있다(재해지도 출력 기능 및 이미지 제공).

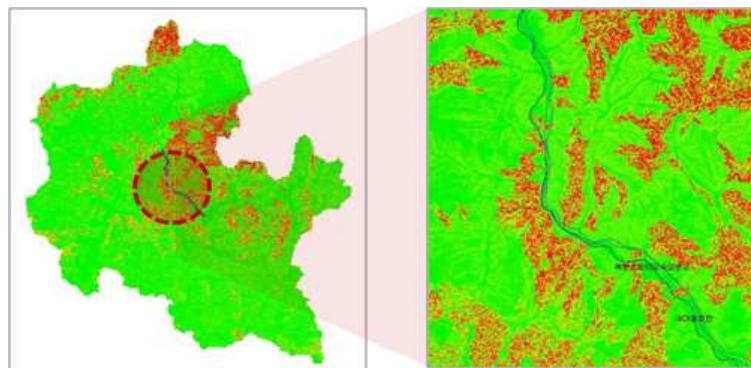


그림 3.21 산사태 재해확률지도를 활용한 노선계획

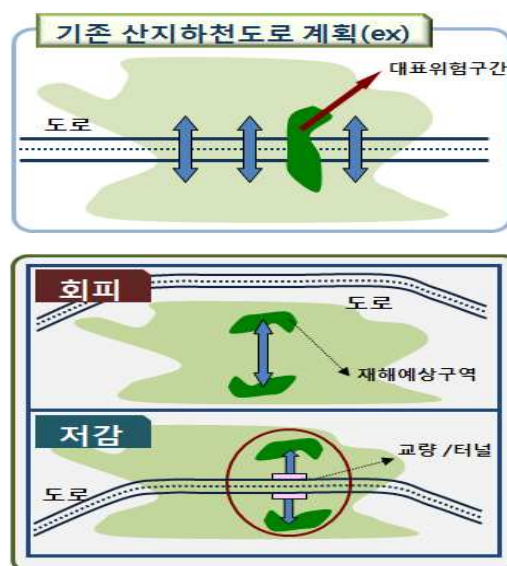


그림 3.22 재해를 고려한 선형계획(예시)

(2) 재해위험도 및 LCC를 고려한 대안노선 비교

산사태 및 토석류 재해위험 측면에서 대안 노선을 포함한 계획 노선을 결정하기 위하여 본 시스템을 활용할 수 있다. 노선별 산사태, 토석류 재해위험도 평가, LCC분석을 통한 경제성을 고려하여 사용자가 최적 대안노선 결정에 이용이 가능하다.

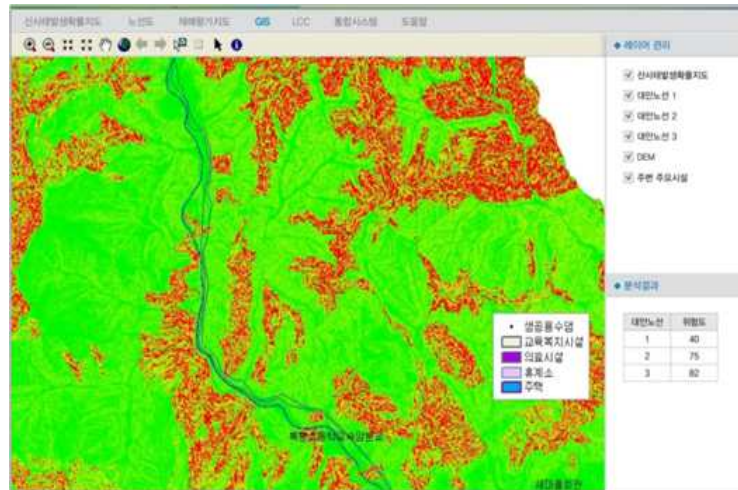


그림 3.23 대안노선 선정 프로그램 활용



구분	대안 1	대안 2	대안 3
재해위험도			
LCC 분석			

그림 3.24 대안노선 선정 프로그램을 이용한 최적의 대안노선 결정

5. 산지도로 대안노선 평가시스템

가. 개별 연구성과 설명

산지도로 대안노선 평가시스템은 도로선형 계획시 산사태나 토석류에 의한 위험도를 고려하고 각 대안노선의 경제적 비용의 분석을 토대로 최적의 노선을 선정하기 위한 프로그램으로 기 개발되었던 산사태 대안노선 평가시스템과 토석류 위험도 평가시스템을 통합한 프로그램이다.

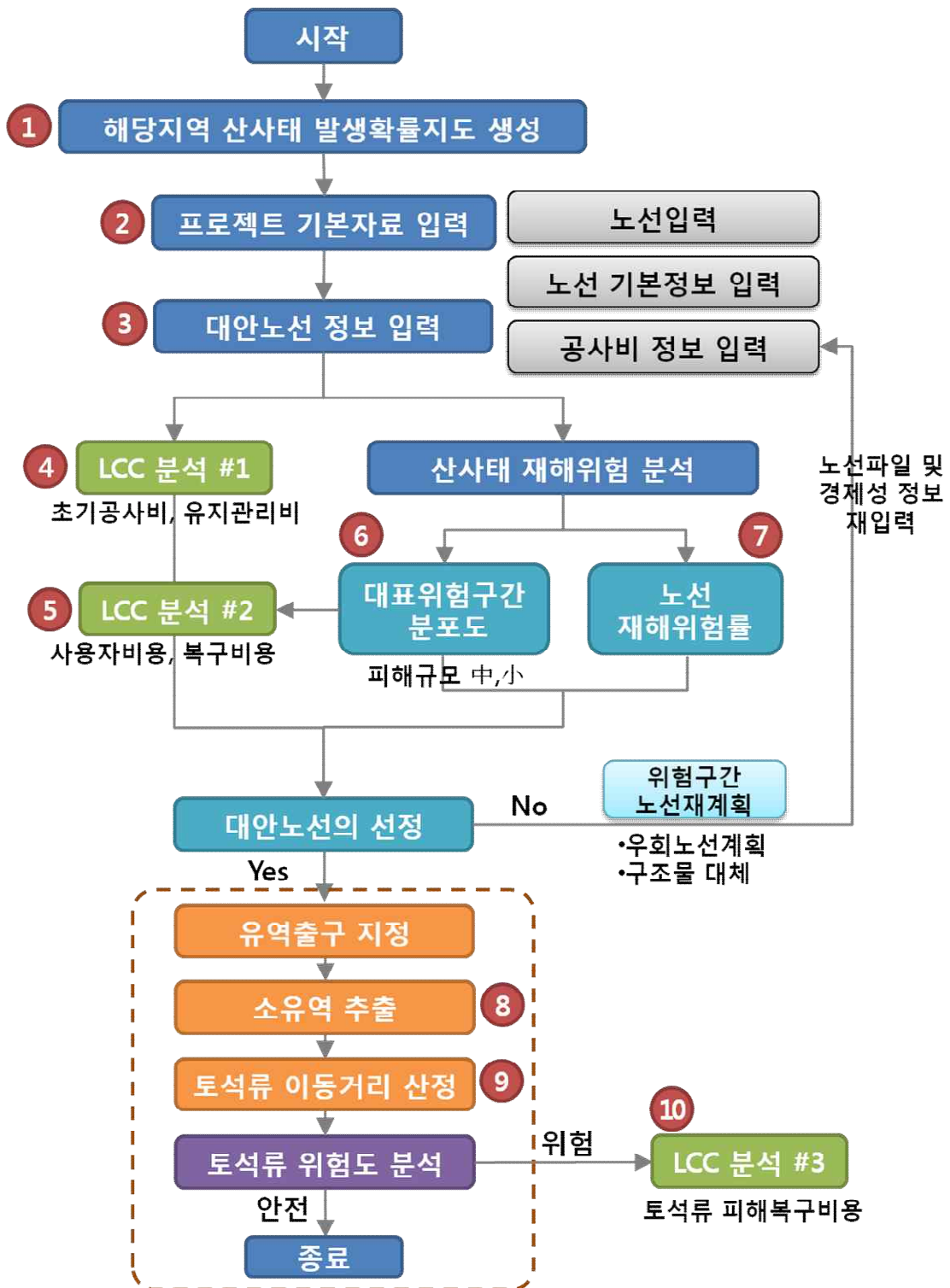


그림 3.25 산지도로 대안노선 평가시스템 알고리즘

나. 핵심요소기술

(1) 대안노선 산사태 재해위험도 분석 알고리즘

산사태 재해위험도 분석 기능은 산사태발생확률지도(Raster 파일)와 도로 및 구조물 위치 파일(Cad 파일)을 입력한 후 대안노선에 해당되는 확률 값들의 합을 추출함으로써 위험도 분석을 실행한다.

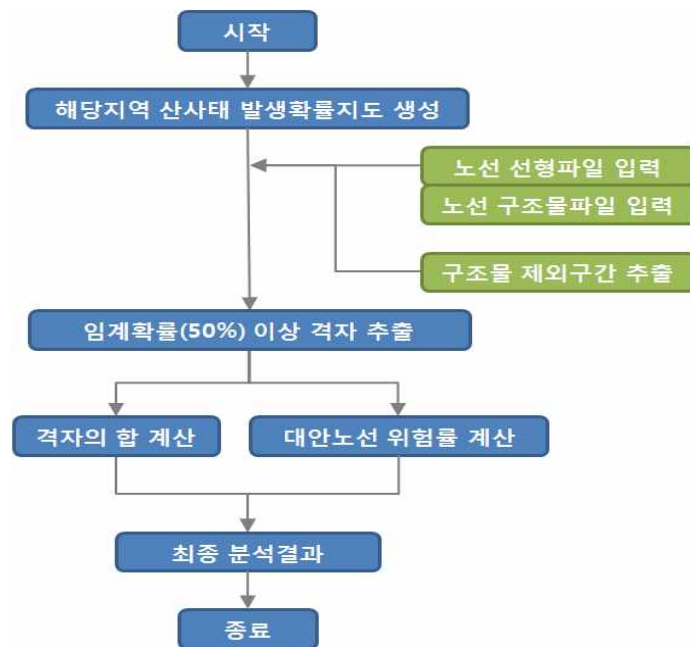


그림 3.26 노선 재해위험률 분석 알고리즘

(2) 대안노선 산사태 고(高) 위험도 구간 도출 알고리즘

대안노선의 산사태 고(高) 위험도 구간¹⁾ 도출 알고리즘은 다음과 같다.

- (가) 발생확률 50%이상의 연속된 3개 이상의 격자 구간 추출
- (나) 구조물 구간은 위험구간에서 제외
- (다) 추출된 고(高) 위험도 구간의 평균산사태 재해확률 계산

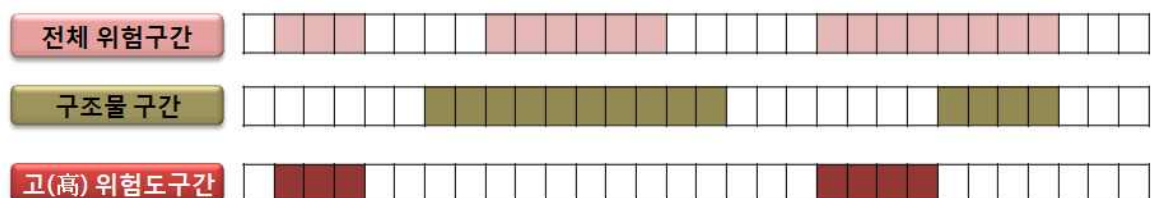


그림 3.27 고(高) 위험도 구간 도출 개요도

1) 대표위험구간은 연구단 회의 결과 고(高) 위험도 구간으로 명칭 변경하였음

(3) 경제성 분석 알고리즘

(가) 산사태 복구비용

산사태 피해발생 단위 복구비용의 산정은 2006년 재해대장을 바탕으로 작성되었다. 산사태 피해 비용에 따라 그림 1.3.21과 같이 대, 중, 소로 분류하여 산정하였으며 누적 피해비용의 66%이상을 피해규모 대, 33~66%를 피해규모 중, 33%이하를 피해규모 소로 구분하였다.

단, 재해대장 자료 중 피해규모 대(大)에 해당하는 복구금액은 산사태로 발생한 단일 피해라기 보다는 하천수충부나 교량 파괴 등 복합적인 요인이 작용한 경우라 판단되어 프로그램 적용시에는 피해규모 대(大)에 해당하는 비용은 제외하였다.

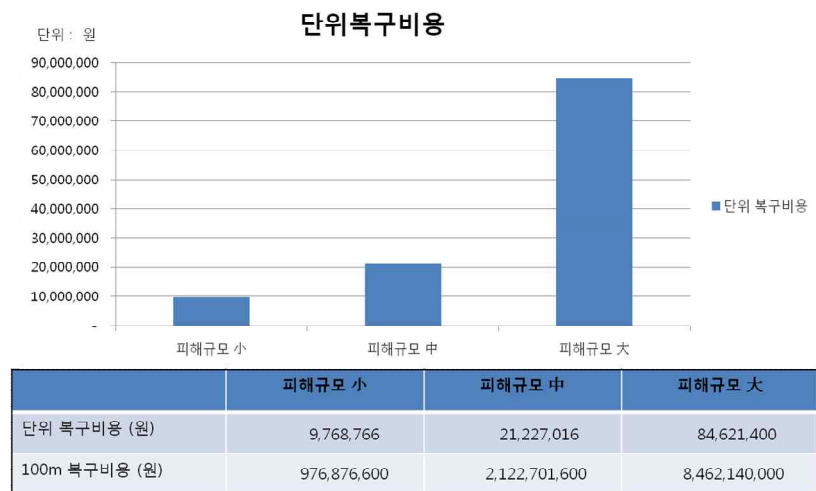


그림 3.28 피해규모에 따른 산사태 복구비용

표 3.12 대표위험구간 피해규모에 따른 재해빈도 적용 및 복구비용 반영

구분	피해규모 中	피해규모 小	비고
대표위험구간 길이 (m)	150m	30m	프로그램에서 추출
재해 빈도(년)	30	30	30년
재해 발생 크기 (피해구간 대상 구간 중 피해 길이)	0.5	0.3	中 50% 小 30%

(나) 토석류 피해발생 복구비용

토석류 복구비용의 산정은 유역단위의 토석류 평가 후 위험도 값에 따른 등급을 지정하고 등급에 따른 복구비용을 산정하였으며 등급에 따른 복구비용은 2002~2006년 재해대장을 바탕으로 과거 토석류 발생지역의 피해복구비용을 근거로 하였다.

위험도에 따른 등급은 4등급으로 구분하였으며 위험도 50이하는 4등급(안전), 51~70%는 3등급(다소 위험), 71~90%는 2등급(위험), 91~100%는 1등급(매우 위험)으로

구분하였다.

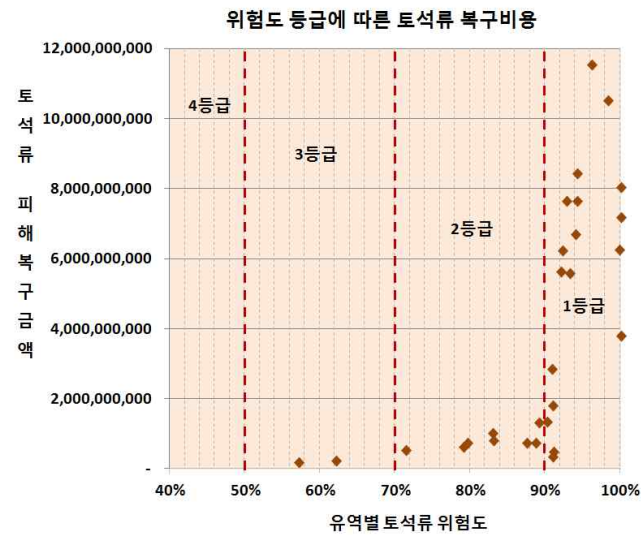


그림 3.29 토석류 위험도 등급에 따른 토석류 복구비용

과거 피해복구비용을 조사한 결과 토석류 위험도에 따른 복구비용은 다음과 같이 산정되었다.

표 3.13 토석류 위험도 등급에 따른 토석류 복구비용

구분	위험도 51~70%	위험도 71~90%	위험도 91~100%
유역당 평균 단위복구비용(원)	193,877,711	864,812,711	5,920,251,500

(4) 소유역 추출 기능 알고리즘

소유역 추출기능은 GIS기반으로 하천망 생성 및 사용자 출구점 지정 등 분석으로 최종 유역이 추출되며 출구점은 사용자가 직접 마우스로 클릭하여 지정하는 방법과 좌표 입력으로 지정할 수 있는 방법 2가지 기능으로 구성된다.

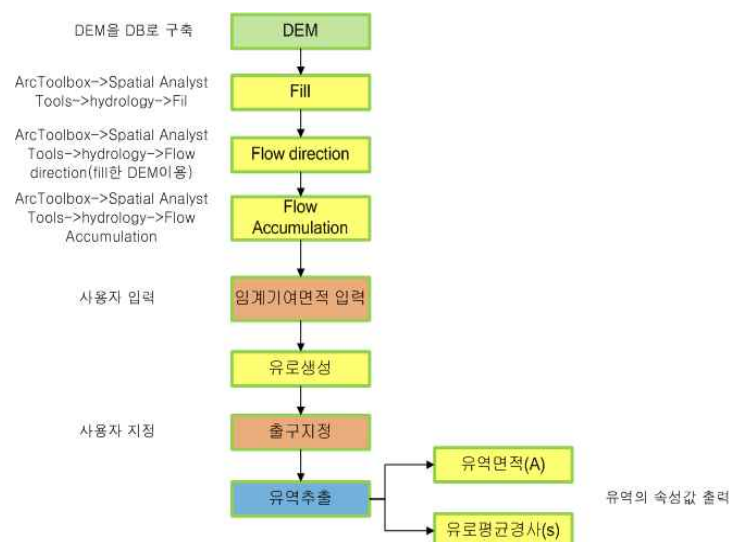


그림 3.30 소유역 추출 기능 알고리즘

(5) 토석류 위험도 평가 알고리즘

위에서 추출된 대상유역내의 산사태 발생확률지도를 이용하여 산사태 발생확률이 임계확률을 초과한 지점에서 유역출구까지의 이동거리를 산정하여 위험한 격자 선정한다. 위험한 격자 선정 후, 토석류 위험도 평가 회귀식(강릉원주대 최종본)을 이용하여 유역내 포함된 이 격자들로 인한 토석류 위험도를 분석한다. 토석류 위험도 분석결과 50%이상 위험도가 나올 경우 피해규모에 해당하는 단위 복구비용 반영한다.

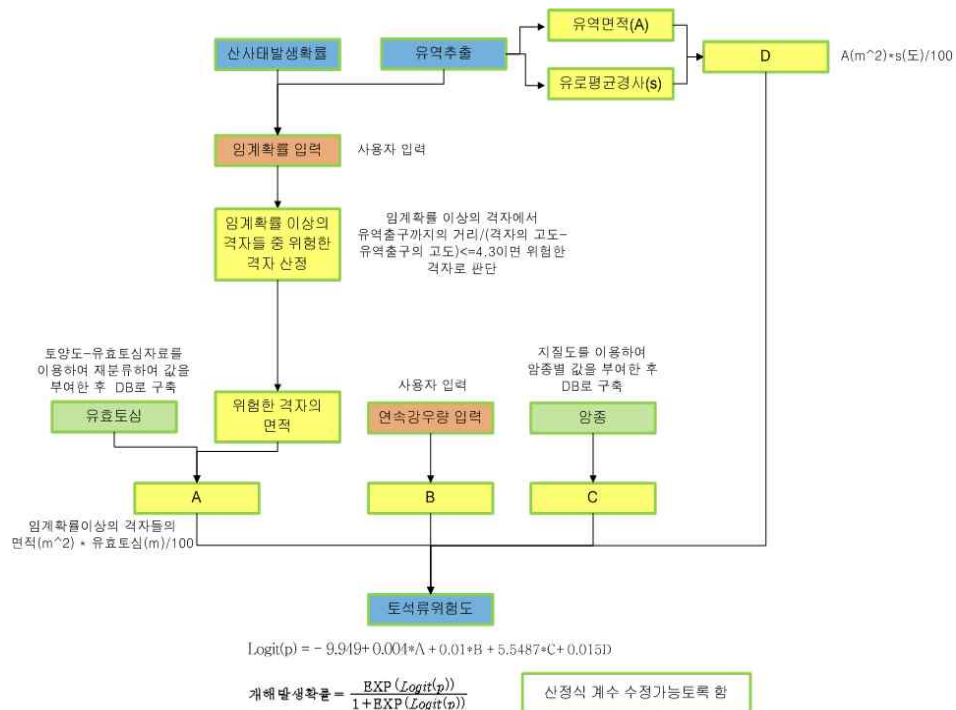


그림 3.31 토석류 위험도 평가 알고리즘

다. 주요 연구성과

(1) 학술적 성과

(가) 논문

① 송민태, 강호근, 김홍래, 이태옥, 이한주 (2012), “친환경 도로노선의 재해위험도 평가시스템 개발”, 한국도로학회 논문집, 제14권 제5호, pp. 123-132.

(나) 국내외 학술발표

① 송민태 (2011), “산지하천도로 재해를 고려한 대안노선 평가 시스템”, 한국도로학회 2011년도 학술대회 논문집, pp. 723-738.

(다) 연구개발 홍보

① 송민태, 김홍래 (2012), “산지 하천도로의 재해위험도 분석 시스템 개발”, 제1회 기술사 컨퍼런스 발표, 2012년 5월, 코엑스 컨퍼런스룸

(2) 기술적 성과

(가) 지적재산권

① 산지도로 대안노선 평가시스템 S/W

라. 기술 실시 및 적용사례

(1) 산지도로 대안노선 평가시스템 시범노선 검증결과

수정된 대표위험구간 알고리즘 및 복구비용 산정 알고리즘을 검증하기 위해 국도59호선을 시범적용하였다. 대안노선 3개를 시스템을 통해 검증하였으며 각 노선의 대표위험구간 및 대표위험구간에 따른 산사태 복구비용은 다음과 같다.

표 3.14 대안노선 1 분석결과

구분	해당격자	평균 확률	최소값	최대값	피해규모	복구비용	위험률(%)
1-1	3개	0.58	0.5	0.68	小	83,108,894	
1-2	6개	0.71	0.55	0.89	中	636,810,480	
1-3	8개	0.74	0.54	0.91	中	849,080,640	
1-4	17개	0.80	0.66	0.92	中	1,804,296,360	
1-5	15개	0.92	0.89	0.95	中	1,592,026,200	
합계						4,965,322,574	21.58

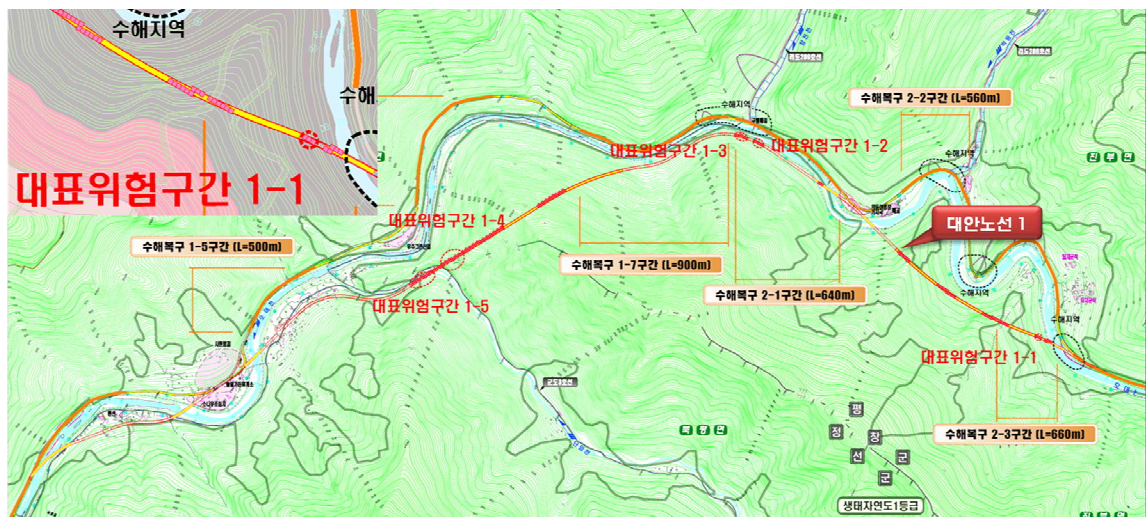


그림 3.32 대안노선 1 대표위험구간 분포도

표 3.15 대안노선 2 분석결과

구분	해당격자	평균확률	최소값	최대값	피해규모	복구비용	위험률
2-1	4개	0.56	0.53	0.59	小	117,225,192	
2-2	6개	0.71	0.55	0.89	中	636,810,480	
2-3	8개	0.74	0.54	0.91	中	849,080,640	
2-4	7개	0.52	0.51	0.54	小	205,144,086	
2-5	3개	0.72	0.68	0.74	中	318,405,240	
2-6	6개	0.52	0.50	0.54	小	175,837,788	
합계						2,302,503,426	24.16%

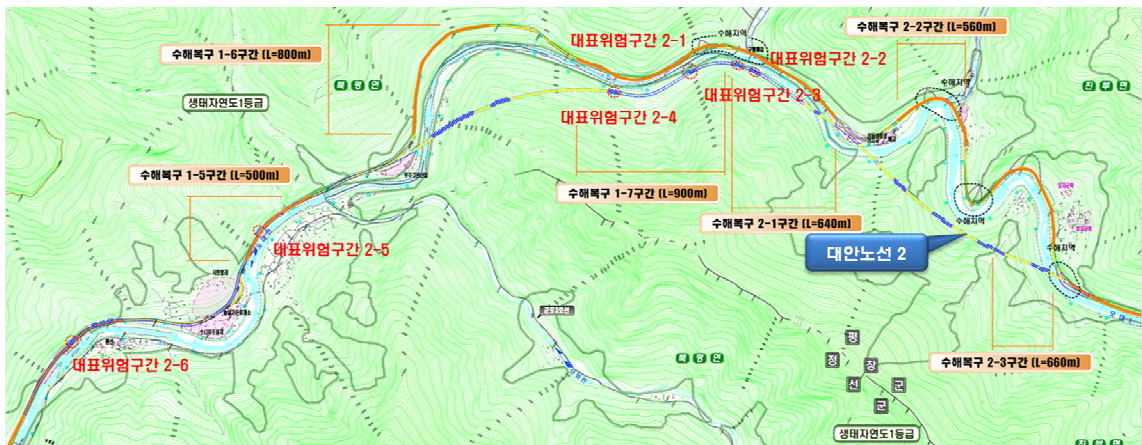


그림 3.33 대안노선 2 대표위험구간 분포도

표 3.16 대안노선 3 분석결과

구분	해당격자	평균확률	최소값	최대값	피해규모	복구비용	위험률(%)
2-1	6개	0.71	0.55	0.89	中	636,810,480	
2-2	8개	0.74	0.54	0.91	中	849,080,640	
2-3	3개	0.90	0.88	0.92	中	318,405,240	
2-4	12개	0.92	0.89	0.95	中	1,273,620,960	
합계						3,077,917,320	14.70



그림 3.34 대안노선 3 대표위험구간 분포도

(2) 산지도로 대안노선 평가시스템 화면설계

(가) 자료등록(벡터데이터, 레스터데이터, 대안노선, 단가정보)

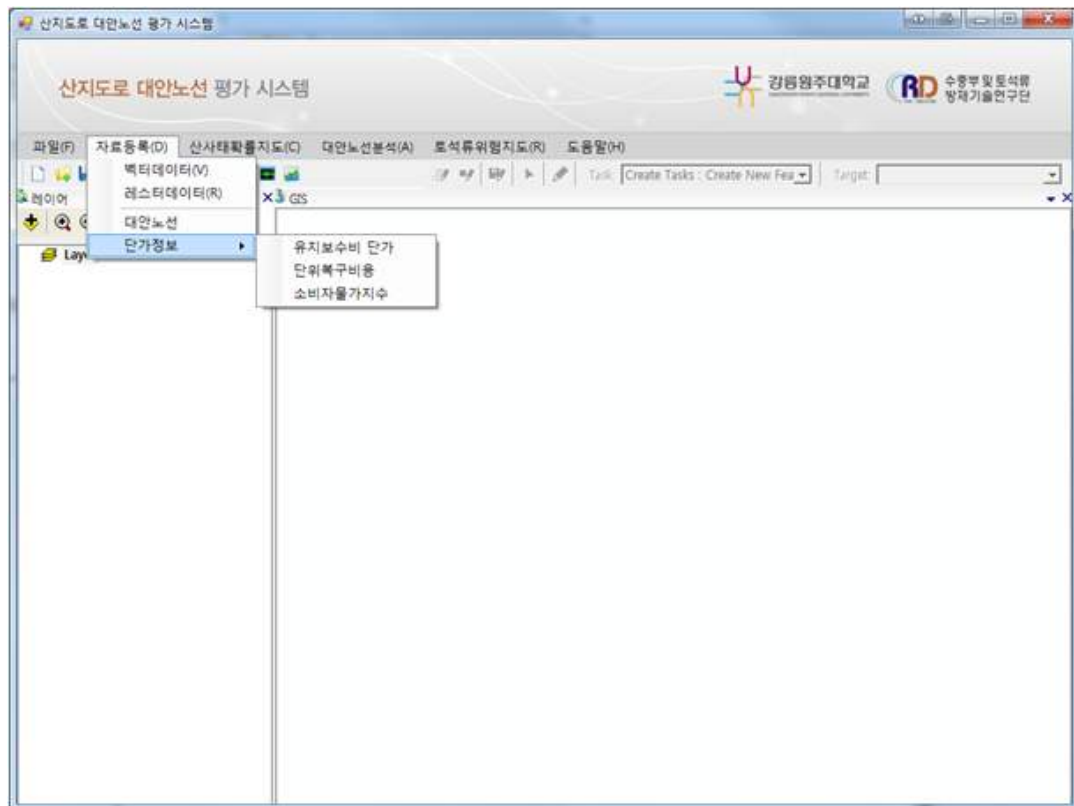


그림 3.35 자료등록(벡터데이터, 레스터데이터, 대안노선, 단가정보)

(나) 산사태확률지도(영향인자 생성, 산사태발생확률지도 생성)

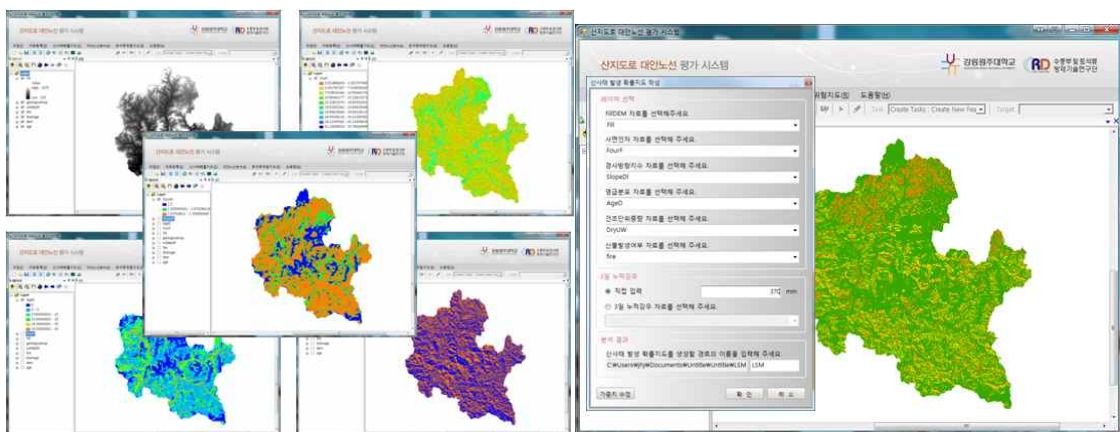


그림 3.36 산사태확률지도 생성

(다) 자료등록(단가정보, 대안노선 정보)

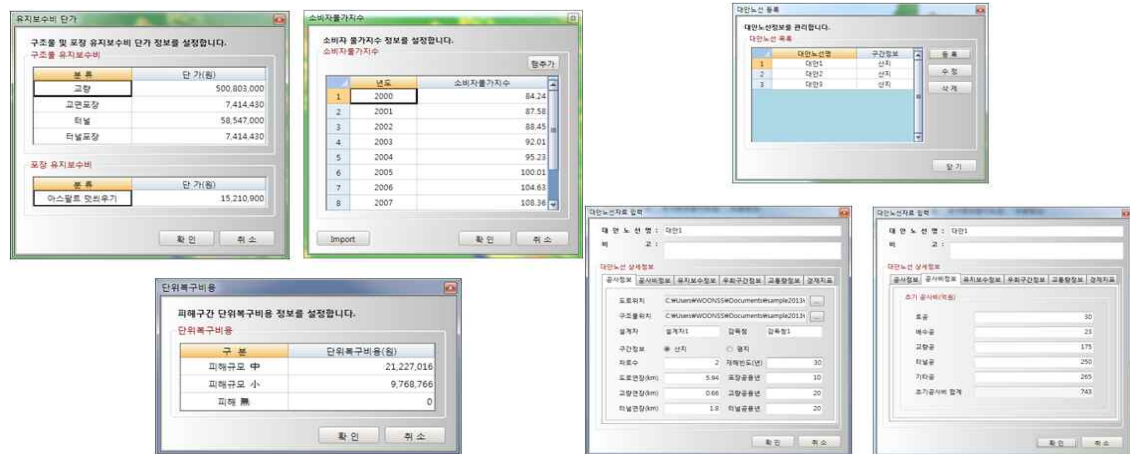


그림 3.37 자료등록(단가정보, 대안노선 정보)

(라) 대안노선분석(대안노선 분석, 대안노선 분석 결과보기)



그림 3.38 대안노선분석(대안노선 분석, 대안노선 분석 결과보기)

(마) 토석류 위험평가

① 영향인자 생성

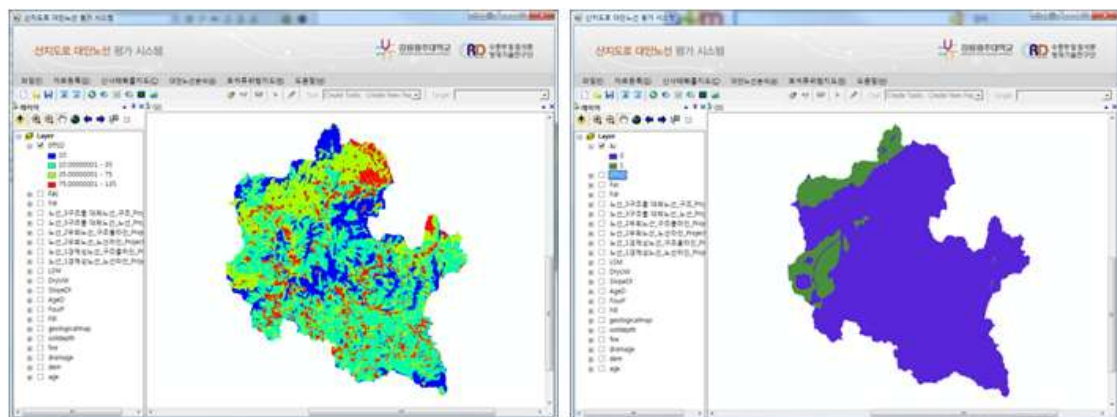


그림 3.39 토석류 영향인자 생성

② 유역생성 및 유역출구점 지정

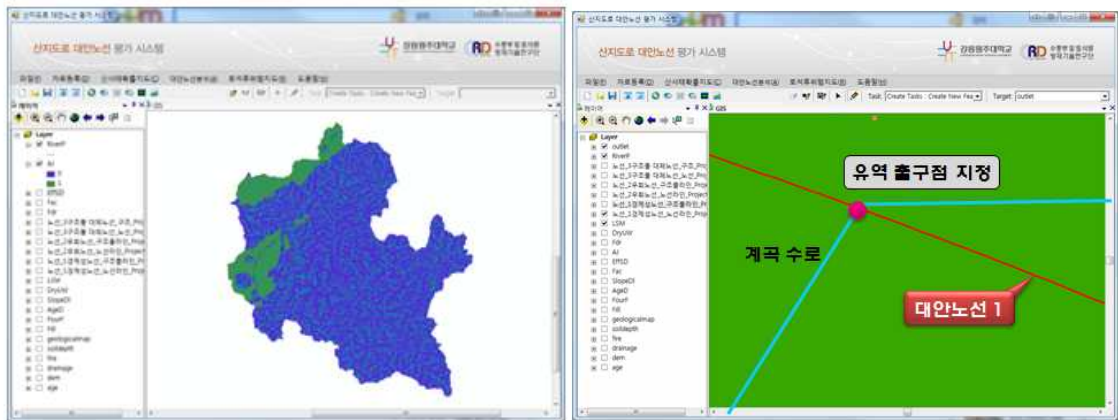


그림 3.40 유역생성 및 유역출구점 지정

③ 토석류 위험도 분석 및 결과보기

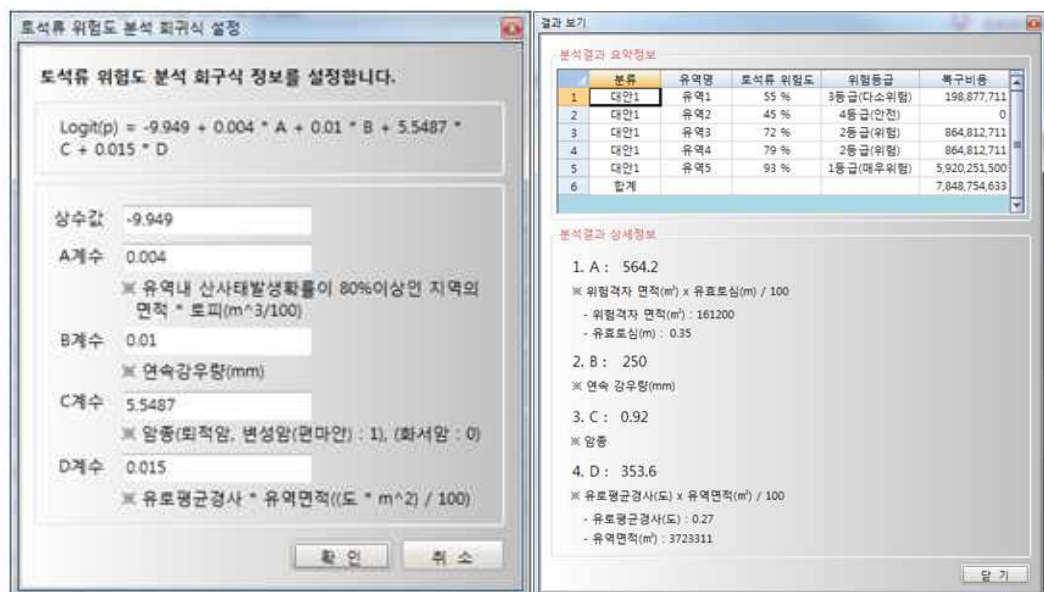


그림 3.41 토석류 위험도 분석결과

마. 기술개발 성과의 국내외 시장 전망

현재의 산지하천도로 계획 및 설계는 도로관련 기술자들의 지형 및 지질조건 등을 고려하는 개념적인 수준에 머무르는 실정이었다. 본 연구과제의 기술개발 성과인 산지도로 대안노선 평가시스템을 실무에 적용하게 되면 도로계획 단계에서부터 산사태에 대한 위험도를 고려할 수 있으며 또한 토석류 위험도 평가를 통해 유역단위의 토석류를 예측함으로써 산지하천도로의 피해를 사전에 저감할 수 있는 안전한 도로의 건설이 가능할 것으로 판단된다.

본 시스템은 노선계획 및 설계단계에서 다양하게 활용될 수 있으며 또한 시공중이거

나 공용중인 도로에서도 다음과 같이 활용이 가능하다.

표 3.17 산지도로 대안노선 평가시스템 활용방안 예시

도로계획		활용방안		
		산사태 발생확률지도	재해를 고려한 대안노선 선정	유역단위 토석류 위험도 평가
계획 단계	예비타당성조사	노선대 선정시 작성 지원	산사태 위험도 평가	-
	타당성조사			
	사전환경성 검토			
설계 단계	기본설계	비교노선 선정시 작성 지원	• 통합프로그램 - 산사태 위험도 평가 - 토석류 위험도 평가 - LCC 평가	토석류 위험도 평가를 고려한 사방시설 및 배수구조물 설치
	실시설계			
	환경영향평가			
	사전재해영향성평가			
시공 및 공용중인 도로				

(1) 재해확률지도를 이용한 도로선형계획

산지하천 대안노선 평가시스템의 재해확률지도의 제공을 통하여 도로노선계획시 Control Point 조건으로 활용할 수 있다(재해지도 출력 기능 및 이미지 제공).

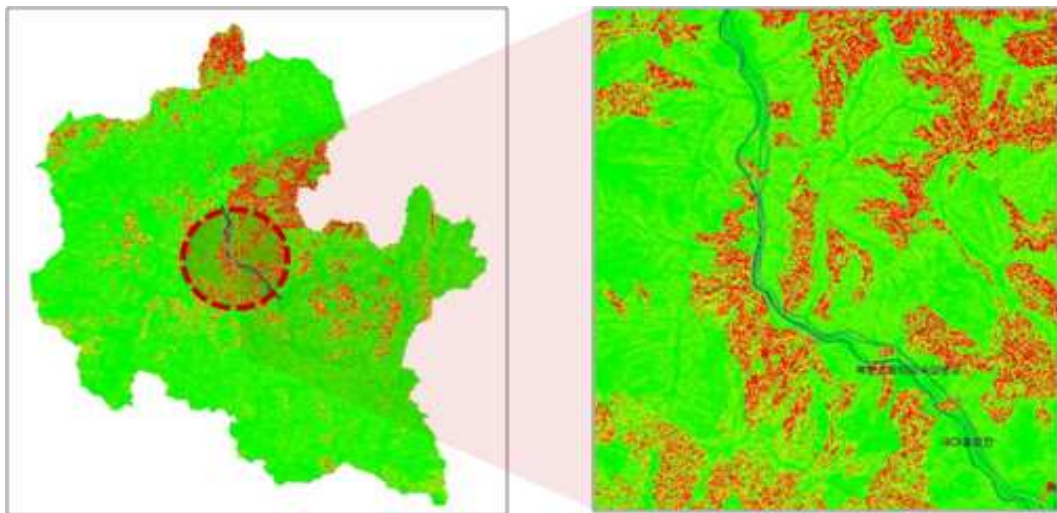


그림 3.42 산사태 재해확률지도를 활용한 노선계획

(2) 재해위험도 및 LCC를 고려한 대안노선 비교

산사태 및 토석류 재해위험 측면에서 대안 노선을 포함한 계획 노선을 결정하기 위하여 본 시스템을 활용할 수 있다. 노선별 산사태, 토석류 재해위험도 평가, LCC분석을 통한 경제성을 고려하여 사용자가 최적 대안노선 결정에 이용이 가능하다.

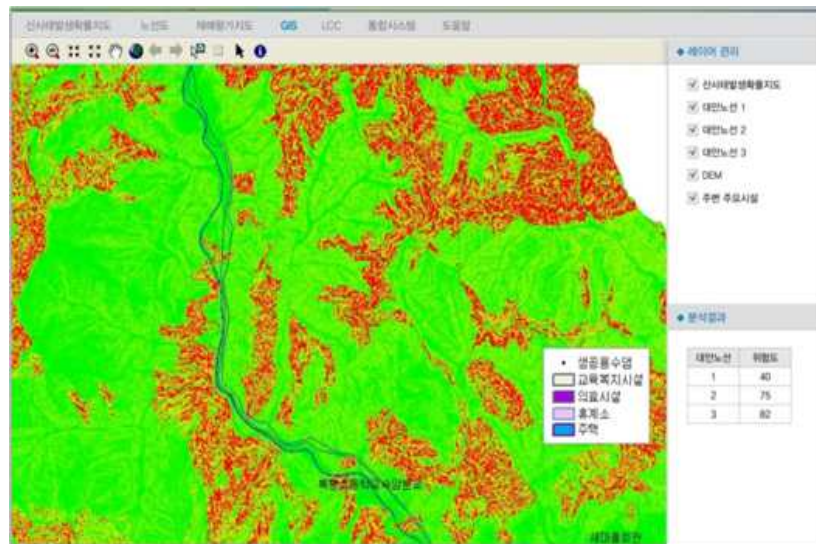


그림 3.43 대안노선 선정 프로그램 활용

(3) 토석류 위험평가 활용방안

토석류 위험평가는 계획 노선 구역에 대한 토석류 위험여부를 파악할 수 있으며 시공 중인 노선이나 공용중인 노선에도 적용할 수 있다.

노선의 각 구역별로 토석류 위험도를 파악한 후 대책 필요 여부 및 경제성 등을 고려하여 노선 결정에 이용할 수 있다.

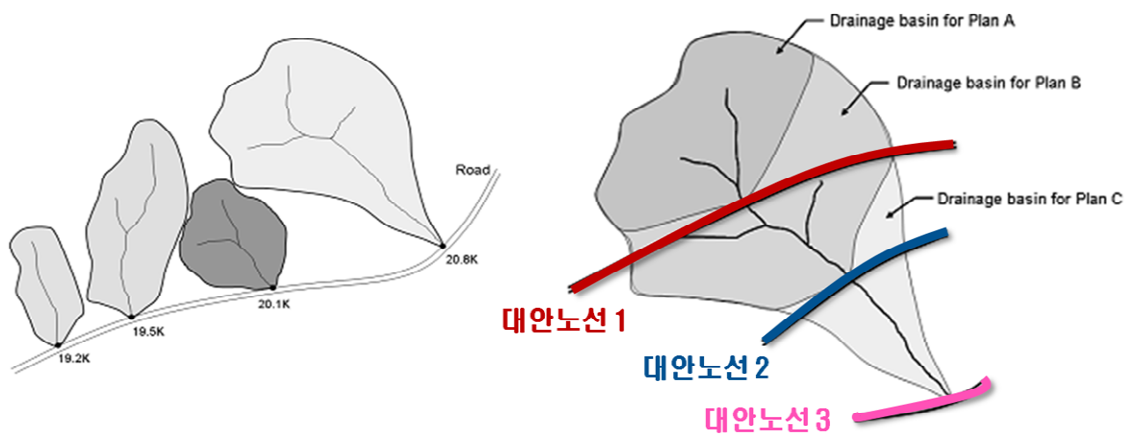


그림 3.44 토석류 위험평가 활용방안

6. 토석류 유동 해석을 위한 실험 및 실험모 토석류 실험

가. 개별 연구성과 설명

수리실험과 수치모의를 통해 배수구조물 내에서 토석류의 퇴적 특성을 파악하고 재현할 수 있었다. 수리실험 결과로 토석류 퇴적에 영향을 주는 주된 인자를 파악했고, 그 결과를 이용하여 수치모델의 타당성을 검증했다. 또한 설계 기준 보안을 위한 설계인자를 산정했다. 수리실험과 수치해석 결과를 토대로 로지스틱회기 모델을 적용하여 배수구조물 내에서 토석류의 퇴적을 방지하기 위한 설계식을 개발하였다.

나. 핵심요소기술(Critical Technology Elements)별 성과물

(1) 배수구조물 내 토석류 유동 해석을 위한 수리 실험

배수 암거로 유입된 토석류가 구조물 내부에서 퇴적되지 않고 하류부로 원활히 소통되도록 하기 위하여, 토석류 유입을 고려한 배수 암거의 설계 기술을 과학적 근거에 의해 선진화 시키기 위하여 토석류 수리 실험 장치에서 배수구조물의 유동 및 퇴적 거동을 관찰 하였다.

(2) 토석류 유동 특성 해석을 위한 수치 실험

토석류의 거동을 해석하기 위하여 유동학적 모델이 고려되어야 하지만, 점성이나 항복 응력 등의 변수 설정에 어려움을 겪는다. 그러므로 배수 구조물 내 토석류 유동 해석을 위한 수리 실험을 통하여 검증된 대표 모의 값을 통하여 수치 해석을 진행하였다.

(3) 배수구조물 설계 기준 개선

과거 토석류 발생으로 인해 피해를 입은 지역과 잠재적인 토석류 발생 지역을 선정하여 배수구조물 현장 조사를 실시하였다. 선정구역은 44번 구역이었으며, 배수구조물에 적정 경사를 적용하여 유입된 토석류를 퇴적 없이 원활하게 하류부로 배출할 설계 기준을 작성 하였다.

다. 주요 연구성과(학술적 성과 및 기술적 성과)

(1) 학술적 성과

(가) 논문

① 최두영, 백중철 (2012), "한국 토석류의 이동거리 특성". 대한토목학회논문집 제32권 제3b호, pp. 193-201.

② 김영일, 백중철 (2011), "횡단 배수로에서 토석류 퇴적에 대한 유사농도와 바닥경사 영향 실험연구", 대한토목학회 논문집 제 31권 제5B호, pp. 467-474.

(나) 국내외 학술발표

① 김승은, 백중철, 김정석 (2012), "수치모형을 이용한 우면산 토석류 유동해석", 제37회 대한토목학회 정기 학술 대회, pp. 236-239.

② 손신혜, 최병구, 백중철 (2012), "우면산 소유역의 강우-지하수위 특성", 제 37회 대한토목학회 정기 학술대회, pp. 769-772.

③ 김승은, 백중철, 김정석 (2012), "FLO-2D 모형을 이용한 우면산 토석류 수치모델링", 한국수자원학회 2012년도 학술발표회, pp. 44.

④ 백중철, 최두영, 양승관 (2011), "Sled 모형에 근거한 국내 토석류의 영향범위", 제 36회 대한토목학회 정기 학술대회, pp. 1973-1976.

⑤ 김영일, 백중철 (2011), "사각형 수로에서 입도 분포 변화에 따른 큰 토석류 퇴적 특성", 37회 대한토목학회 정기 학술대회, pp. 343-346.

⑥ 백중철, 김영일 (2011), "산악지대로 배수설계 개선을 위한 수리 및 수치해석 연구", 한국도로학회 학술발표회 논문집, pp. 709-721.

⑦ 김영일, 백중철 (2011), "배수로 내 토석류 퇴적 양상의 실험 연구", 한국수자원학회 2011년도 학술발표회 논문집, p. 39.

⑧ 김영일, 백중철 (2010), "사각형 수로에서 토석류 흐름 수리모형 실험", 36회 대한토목학회 정기 학술대회, pp. 279-282.

⑨ 최두영, 류권규, 백중철 (2010), "실험수로에서 토석류 표면유속 측정을 위한 LSPIV 기법", 제36회 대한토목학회 정기 학술대회, pp. 864-867.

⑩ 백중철, 박상덕 (2009), "토석류 흐름의 1차원 수치모의 및 현장관측", 제35회 대한토목학회 정기 학술대회, pp. 698-701.

(다) S/W 등록

① RDF 1D, 등록번호: 141171-0003780

(2) 기술적 성과

(가) 제안서

도로배수시설 설계 및 유지관리 지침 개정안 (2012)

라. 기술 실시 및 적용 사례

(1) 도로비탈면 배수시설 유지관리 매뉴얼

도로 비탈면 배수시설 바닥경사의 최소 기준은 4.5° 이상으로 설계하는 것이 바람직하다. 하류부 수로의 바닥경사가 4.5° 이상일 경우, 하류부 배수구에서의 토석류 퇴적 유무는 접근 수로 경사에 상관없이 배수구의 바닥경사와 토석류의 유사체적 농도의 함수로 결정되는 것으로 나타나기 때문에 배수 구조물의 토석류 피해 저감과 시공성 및 경제적 측면에 합리적인 것으로 보인다.

마. 기술개발 성과의 국내외 시장 전망

주로 일본과 유럽을 중심으로 많은 연구가 이루어지고 있으며 토석류 거동 해석을 위한 모델과 대책공법 등이 개발되어지고 있다. 또한 홍콩, 대만, 필리핀, 중국 등 우리나라와 지리적·경제적으로 가까운 아시아 국가들에서 이상기온과 여름철 집중호우로 인한 토석류 피해가 증가함에 따라 토석류재해 저감을 위하여 많은 관심을 갖고 예산을 투자하고 있어 향후 관련시장이 증가할 것으로 예상된다.

7. 실제규모 토석류 실험

가. 개별 연구성과 설명

토석류로 인한 피해를 절감하고 방재대책을 세우기 위한 여러 연구가 수행되고 있으나, 토석류의 발생위치를 사전에 예측하는 것은 어려울 뿐만 아니라, 발생위치를 예측한다 해도, 실제 토석류의 영향범위와 충격력 등은 유사농도와 강우 특성에 따라 다르기 때문에 예측이 어렵다. 따라서 토석류 거동에 대한 과학적 이해를 구하고, 그간 축적한 지식 및 개발된 토석류 저감 기법의 적용성 평가를 수행하여 세계적 수준의 실제규모(realscale) 토석류 실험을 진행하였다.

나. 핵심요소기술(Critical Technology Elements)별 성과물

(1) 이동성 분석

실규모 토석류 실험 촬영 동영상 내에 녹음된 토수조의 문을 개방하는 소리를 시작 기준으로 하여 각 영상에 위치한 측량 기준점까지의 도달 시간을 통하여 센서 설치위치, 배수구조물, 만곡부 등의 유속을 산정하였다.

(2) 지형변화 분석

실제규모 토석류 실험 전후의 지형 변화를 관측하기 위하여 LiDAR를 이용한 측량을 수행하였다. 지상 LiDAR측량을 통해 토석류 발생장치인 토수조 지점부터 배수구조물 설치 지점 까지 측량하였다. 이 값을 이용하여 실제규모 토석류 실험 전후의 지형 변화를 관측하였으며, 토석류 발생부로부터 80m지점부터 190m 지점까지 1m 이상의 큰 지형변화가 발생함을 관측하였다.

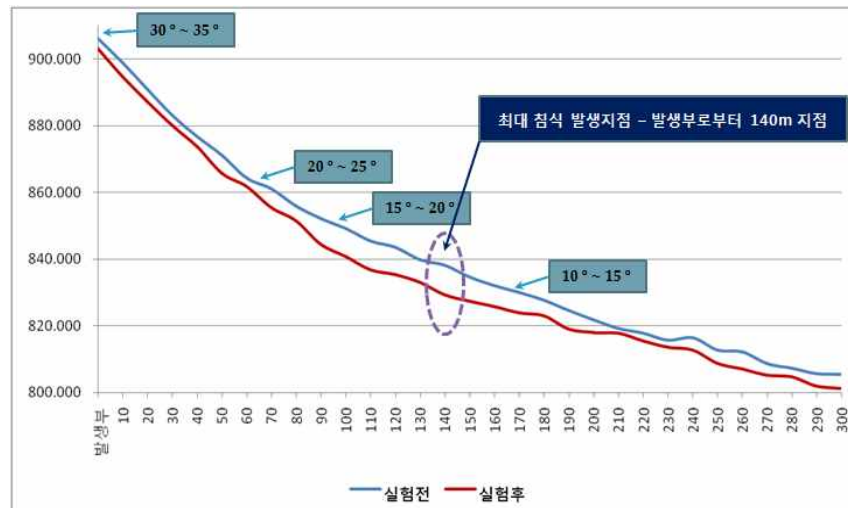


그림 3.45 1차 실험 전후 종단 프로파일

다. 주요 연구성과

(1) 학술적 성과

(가) 국내외 학술발표

① Joongcheol Paik, Sang-deog Park (2012), Monitoring studies to investigate rheology of debris flows in Korea. MONITORING BEDLOAD AND DEBRIS FLOWS IN MOUNTAIN BASINS, 2012.

② Joongcheol Paik, Shinye Son, Taeyong Kim, Seungeun Kim (2012), A real-scale field experiment of debris flow for investigating its deposition and entrainment, 2012 AGU FALL MEETING, EP53A-1010.

(나) 학술기사

① 김승은, 백중철, 이상돈, 한광두 (2012), 실제규모 토석류 실험을 위한 현장연구시설 소개, 한국수자원학회논문집, 제45권 제5호, pp. 66-73.

(다) 연구개발 홍보

- ① 세계 최초 토석류 방재기술 개발 성공, 강원일보, 2012.09.22.
- ② 국내 토석류 빠르고 파괴력 커, YTN, 2012.09.21.
- ③ 날아가고 떠내려가고...토석류 파괴력 '엄청나네', 연합뉴스, 2012.09.21.
- ④ 강릉원주대 세계 첫 토석류 실험 성공, 강원도민일보, 2012.09.24.
- ⑤ 실제 규모 토석류 현장실험에 산림청 헬기 지원, 환경일보, 2012.09.19.
- ⑥ 산사태 첫 실증 실험...맞춤형 사방시설 활용, KBS 뉴스9, 2012.09.21.
- ⑦ '산사태' 첫 실증 실험...맞춤형 사방시설 활용, KBS 뉴스광장, 2012.09.22

라. 기술 실시 및 적용 사례

1차 실제규모 토석류 실험을 2012년 9월 18일에 실행하였으며, 2차 실험을 2012년 11월 09일에 실행하여 두 번의 실험 모두 성공적으로 마무리 하였으며, 실제 토석류 발생, 이동, 퇴적 등과 유사한 조건에서 다양한 결과 값을 얻을 수 있었다.

마. 기술개발 성과의 국내외 시장 전망

토석류의 특성상 실제로 토석류를 예측하여, 관측하기가 매우 어렵다. 그런 의미에서 실제 규모 토석류 실험은 그 규모가 국내외에서 이례적으로 큰 실험이었으며, 실제 자연에서 발생하는 토석류의 양상과 거의 유사하다. 또한, 실제로 예측하여 관측하기 어려운 토석류의 특성상 실제규모의 토석류는 국내외에서 다양한 분야로 응용될 기초 자료가 되어 줄 것으로 본다.

제 2 절 산지하천 수충부 방재기술 개발

1. 산지하천 특성자료 구축

가. 개별 연구성과 설명

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.

나. 핵심요소기술(Critical Technology Elements)별 성과물

다. 주요 연구성과(학술적 성과 및 기술적 성과)

(1) 학술적 성과

(가) 논문

① 신승숙, 박상덕, 이승규, 지민규 (2012), 만곡하천의 자갈하상재료 분포에 따른 한계 수류력 평가, 한국수자원학회논문집

② 박상덕, 지민규, 남아름, 우태영, 신승숙 (2013). 개수로 측벽 세로돌출줄눈의 흐름 저항, 한국수자원학회논문집

(나) 국내외 학술발표

① 김호섭, 박상덕, 김건태, 신승숙, 이종국 (2009), 초고속 카메라를 이용한 유속측정, 대한토목학회 학술발표회

② 박상덕, 이승규, 김호섭, 김건태, 신승숙 (2009), 산지하천 수충부 연구를 위한 시험 구역 운영, 대한토목학회 학술발표회

③ 김호섭, 박상덕, 신승숙, 김건태 (2010), 디지털영상을 이용한 산지하천의 홍수유속 측정, 한국방재학회 학술발표회

④ 박상덕, 이승규, 홍종선, 김호섭, 신승숙(2009), 산지하천의 면적 - 고도곡선에 관한 연구, 한국수자원학회 학술발표회

⑤ 박상덕, 김건태, 신승숙, 김선정 (2011), 수위측정 방식이 산지하천 수위관측에 미치는 영향, 한국방재학회 학술발표회

⑥ 김호섭, 박상덕, 신승숙, 김선정, 김건태 (2010), 개수로에서 디지털 동영상을 이용한 부자의 이동거리 측정, 한국수자원학회 학술발표회

⑦ 박상덕, 지민규, 이승규, 김선정, 당중안 (2011), 산지하천 만곡부의 조도계수 산정, 대한토목학회 정기학술대회

⑧ 김상호, 민상기, 황신범 (2010), 2009년 영서지역 산지하천 시험구역의 운영, 한국수자원학회 학술발표회

⑨ 김상호, 한건연, 최승용, 오현욱 (2009), RAM-2 모형을 이용한 2차원 동수역학 해석, 한국수자원학회 학술발표회

⑩ 김상호, 조아라, 황신범, 민상기 (2011), 지류 합류부 해석을 위한 CCHE2D 모형의 적용, 한국방재학회 학술발표회

⑪ 김상호, 민상기, 황신범, 최홍식 (2011), 2010 평창강 상류 시험구역의 운영, 한국방재학회 학술발표회

⑫ 김상호, 민상기, 황신범 (2011), RAMS 모형을 이용한 편수위 특성 분석, 한국방재학회 학술발표회

⑬ 김상호, 민상기, 조아라 (2011), 편수위 산정을 위한 만곡수로의 적용, 한국수자원학회 학술발표회

⑭ 김상호, 황신범, 현진섭 (2012), 평창강에 대한 제방 취약도 평가 기법의 적용, 한국

방재학회 학술발표회

- ⑮ 현진섭, 김상호 (2012), 교각밀집하천에 대한 수리특성분석, 대한토목학회 학술발표회
- ⑯ 현진섭, 김상호 (2012), RMA-2 모형의 수리특성인자에 대한 민감도 분석, 대한토목학회 학술발표회
- ⑰ 김상호, 오현욱, 최승용, 한건연 (2012), 초기수위해석을 이용한 2차원 유한요소모형의 개선, 한국방재학회논문집
- ⑱ 윤문상, 이창훈, 최홍식 (2009), 2009년 산지하천 시험유역 운영, 대한토목학회 정기학술대회
- ⑲ 이창훈, 윤문상, 최홍식 (2009), 산지하천 시험유역 운영, 한국수자원학회 학술발표회
- ⑳ 최홍식, 김시훈 (2011), 산지하천 조도계수 추정, 대한토목학회 강원지회 정기심포지움
- ㉑ 최홍식, 이승규, 지민규, 김시훈 (2011), 산지하천 시험유역 운영(영동·영서), 한국수자원학회지
- ㉒ 김시훈, 박지훈, 최홍식 (2011), 산지하천 시험유역 운영, 한국수자원학회 학술발표회
- ㉓ 박지훈, 최홍식 (2012), SWAT-CUP을 이용한 속사천의 매개변수 분석 및 유출량 모의, 대한토목학회 정기학술대회
- ㉔ 최홍식 (2013), 섬강시험유역에서 SWAT-CUP을 이용한 SWAT모형 매개변수 추정, 대한토목학회논문집

(2) 기술적 성과

- (가) 특허등록, 유속측정시스템 (박상덕, 김호섭, 신승숙)
- (나) 특허등록, 유속측정 보조장치 및 이를 이용한 유속측정방법 (박상덕, 이승규)
- (다) 국제특허출원, 다중 전도형 우량계 (박상덕)
- (라) 시험유역 수리수문 특성자료 구축 (D/B구축: 강우, 수위)
- (마) 시험유역 내 6개소 수위-유량 곡선식 개발

라. 기술 실시 및 적용사례

(가) 기술 실시 계약

- ① 유속측정시스템 (2012)
- ② 하천용 옹벽 (2013)

2. 산지하천 하상변동 실무를 위한 설계가이드라인 개발

가. 개별 연구성과 설명

본 연구과제의 최종 성과는 산지하천의 하천계획 수립에 필수불가결한 하천하상변동 모형의 개발하는 것으로, 이는 수자원 설계시에 반드시 필요로 하는 안정하상 설계를 위한 수치모형의 개발 및 실용화를 위주로 하는 핵심기술개발이다.

최종 연구성과물로 “산지하천 1차원 하상변동모형”을 개발하였으며, 본 모형의 차별성 및 주요 특징은 ① 혼합자갈 하상변동기법 개발, ② 수치기법으로 MacCormack의 양해적 2단계 차분법, ③ 사용자 편의를 위한 GUI 구현으로 볼 수 있다.

나. 핵심요소기술(Critical Technology Elements)별 성과물

(1) 하상변동 계산모델

본 연구에서는 일정자갈모형을 기초로, 그 구조와 계산법을 결정하였고 여기에 혼합자갈모형의 특성을 도입하는 것으로 하였다. 일정자갈모형은 ① 흐름의 운동방정식과 연속식에 의한 흐름, ② 유사량식에 의한 유사량 계산, ③ 유사의 운동량방정식에 의한 하상변동계산으로 구성되며 혼합자갈모형은 여기에 ④ 입경분포 변화계산이 필요하게 된다.

①~③에 관해서는 특히 흐름에 상·사류 구간이 혼재하는 경우에 대한 대응법에 중점을 두어 개발하고, ②~③에 대해서는 기암의 노출과 재피복이 반복되는 경우의 계산법을 도입하였다.

(2) 수치기법

하상변동이라는 비정상적인 현상의 계산에서는 본래 흐름도 비정상적으로 취급하는 게 적합하다고 할 수 있다. 물론 부정류의 추적에는 대량의 계산노력이 필요하게 되므로 장기예측 등에는 적합하지 않다거나 안정적인 계산을 위해서는 하천단면을 매우 짧게 취해야 하는 등의 몇몇 난점이 있기는 하지만 취급하는 문제의 종류에 있어서 표준측차법을 능가하는 이용가치가 있다고 판단되므로 MacCormack의 양해적 2단계 차분법을 활용하였다.

다. 주요 연구성과(학술적 성과 및 기술적 성과)

산지하천의 주요 하천재해인 하상세굴 및 퇴적에 대한 예측을 위한 설계기법 및 연구는 거의 진행되지 않은 상황이며, 주로 외국의 연구 및 설계기법을 이용하고 있다. 따라서, 학술적으로는 본 연구가 산지하천 특성을 고려한 흐름의 예측 및 이에 따른 하상변

동 예측기술을 한단계 발전 할 수 있는 계기가 될 수 있을 것으로 판단되며, 기술적으로는 하천관련 계획시 국내실정에 맞는 모형의 활용으로 하상변동에 의해 유발되는 시설물 재해를 예방하여 그에 따른 재해복구비용 경감 등 경제적 편익을 창출 할 수 있을 것으로 판단된다.

라. 기술 실시 및 적용사례

본 연구에서는 산지하천의 주요 특성인 상·사류 혼재모의, 단차, 장갑화 하상 등에 대한 모의가 가능한 산지하천의“산지하천 1차원 하상변동모형”에 대한 소프트웨어 등록을 실시하였다.

마. 기술개발 성과의 국내외 시장 전망

현재 기후변화 등에 의한 하천관련 피해는 해가 갈수록 증가하고 있으며, 하천이 다수 분포한 국내의 특성상 2011년도에는 국내에서 발생한 총 피해액(974,200백만원) 중 하천에서 발생한 피해액(226,577백만원)이 23%에 달할 정도로 높은 실정이다.

이에 따라 하천재해를 예방하기 위하여 하천설계의 기술의 중요도가 높아지고 있으며, 이에 따라 하천설계의 주요 기술중 하나인 하상변동해석 기술의 요구도 또한 높아지고 있다.

국내 하천설계 기술 중 하상변동해석 기술은 현재 까지 그 내용면에서 사각지대나 다름없었으며, 실제로 각종 수공구조물 재해와 연관된 하상변동해석모형의 개발이 매우 시급한 실정이다. 세굴 및 퇴적 등 정량적 분석에 의한 하천계획 수립으로 관련 재해의 예방이 필요시 되고 있는 현 시점에서, 본 연구결과의 활용 전망은 매우 좋다고 볼 수 있다.

3. 만곡부 흐름 모의

가. 개별 연구성과 설명

이 연구는 낙동강의 중상류 구간인 안동조정지댐 직하류부터 하회마을 직하류에 위치한 광덕교 지점까지의 하도구간에 일차원 하상변동 수치모형인 HEC6 모형을 적용하여 하회마을 앞의 점사주에 영향을 미치는 토사수리학적 특성의 일차원적 변화를 규명하고, 평면 이차원 하상변동 및 수질예측 수치모형인 KU-RLMS 모형을 하회마을 인근에 적용하여 이차원적 변화 특성을 규명하며, 수치모의 결과를 통해 이동상 수리모형실험에 대한 기초자료를 제공할 목적으로 수행하였다.

평면 이차원 수치모형을 이용한 흐름모의 조건은 고정상 수리모형실험의 실험조건에 대하여 수행하였다. 수치모의 결과 하회마을을 지나면서 부용대 앞의 좌안측에서 흐름

이 가속되는 현상이 나타났고, 하회마을 직하류의 우안측에서는 순환이 발생하는 것으로 예측되었다. 이는 수리모형실험 결과와도 일치하는 경향이다. F-I 흐름조건의 경우 순환현상이 발생하는 하회마을 직하류의 우안측은 유속이 빠른 좌안측보다 약 1 m 이상 수위가 상승하는 것으로 예측되었으며, 이 역시 수리모형실험 결과와도 일치하는 결과이다.

나. 핵심요소기술(Critical Technology Elements)별 성과물

다. 주요 연구성과(학술적 성과 및 기술적 성과)

(1) 학술적 성과

(가) 국내외 학술발표

① 이남주, 이해균 (2013), 이차원 수치모형을 이용한 사행하도 흐름모의, 한국콘텐츠학회논문지 (심사중)

(나) 국내외 학술발표

① 이해균, 이남주, (2011), “만곡부흐름에 대한 수심적분 유한요소모형의 적용.” 2011년도 대한토목학회 정기학술대회, CD version, 대한토목학회, pp.1900-1903.

② Lee, H. and Lee, N.-J. (2012), Application of depth-averaged shallow water model to bend flow, The 18th Congress of the Asia & Pacific Division of the International Association for Hydro-Environment Engineering and Research (IAHR-APD 2012), August 19-23, ICC Jeju, Korea.

(2) 기술적 성과

(가) S/W 등록

① KU-RLMS-grid 모형 알고리즘 (2012), 이남주

라. 기술 실시 및 적용사례

산지하천 흐름모의에 대한 연구는 연구개발 단계(TRL에 근거)에 따르면 2단계(기술적 개념정립 단계)에 해당하여 기술 실시 및 적용사례가 없음

마. 기술개발 성과의 국내외 시장 전망

산지하천 흐름모의에 대한 연구는 연구개발 단계(TRL에 근거)에 따르면 2단계(기술적 개념정립 단계)에 해당하여 기술개발 성과가 없음

4. 불연속 갤러킨 기법을 이용한 천이류 흐름 모의

가. 개별 연구성과 설명

현재 하천에서 발생하는 일반적인 흐름은 기존에 개발된 여러 형태의 천수방정식을 지배방정식으로 하는 수치기법에 의해 해석되고 있으나, 연속적이지 않은 형태의 흐름을 해석하거나 매우 정확한 해석을 필요로 하는 경우에는 기존의 수치해석기법은 많은 한계를 보여 주고 있다. 본 연구에서는 불연속 갤러킨 기법 기반의 흐름 모델을 개발하고, 이를 이용하여 전통적으로 1차원 천이류로 분류되는, 댐 붕괴파, 둔덕위 흐름 모의에 적용하여 기존의 수치해와 대체로 잘 일치함을 확인하였다.

나. 핵심요소기술(Critical Technology Elements)별 성과물

다. 주요 연구성과(학술적 성과 및 기술적 성과)

(1) 학술적 성과

(가) 논문

① Lee, H. Application of Runge-Kutta Discontinuous Galerkin Finite Element Method to Shallow Water Flow, KSCE Journal of Civil Engineering (심사중)

② 이해균, 이남주. 불연속 갤러킨 유한요소법을 이용한 1차원 천이류 모의 (2013), 한국콘텐츠학회논문지.

(나) 국내외 학술발표

① 이해균, 이남주 (2012), 불연속 갤러킨 유한요소법을 이용한 천이류 모의, 제38회 대한토목학회 정기학술대회

(2) 기술적 성과

(가) S/W 등록

① DKU-MPI-Solver (2012), 이해균

라. 기술 실시 및 적용사례

산지하천 흐름모의에 대한 연구는 연구개발 단계(TRL에 근거)에 따르면 2단계(기술적 개념정립 단계)에 해당하여 기술 실시 및 적용사례가 없음

마. 기술개발 성과의 국내외 시장 전망

산지하천 흐름모의에 대한 연구는 연구개발 단계(TRL에 근거)에 따르면 2단계(기술적 개념정립 단계)에 해당하여 기술개발 성과가 없음

5. 산지하천 유사량 산정공식 및 만족부 하상변동 모델

가. 개별 연구성과 설명

하천경사가 급하고 유속이 빠른 산지하천은 유사이송 특성과 하천특성을 소류사가 좌우하기 때문에 소류하천이라고 한다. 기존 유사량 산정공식들이 양양남대천과 같은 산지하천의 유사량 산정에 적합하지 못한 원인이 하상표면 재료분포의 특성에 기인한 것으로 생각된다. 본 연구에서는 양양남대천과 속사천에서 측정한 유사량 측정자료에 기초하여 총유사량, 부유사량, 소류사량으로 구분하여 유사량 산정공식을 개발한다.

Marker and Cell 유한차분기법을 적용하여 연속방정식, 천수방정식, 유사연속방정식에 대한 2차원 수치모형을 구축하고 산지하천 유사량 산정공식을 이용하여 하상변동 예측 개발하였다. 이를 위하여 실험자료와 양양남대천 지남교에서 용탄교사이의 하상변동 자료에 적용하여 적용성을 검증하였다.

나. 핵심요소기술(Critical Technology Elements)별 성과물

다. 주요 연구성과(학술적 성과 및 기술적 성과)

(1) 학술적 성과

(가) 논문

① 신승숙, 박상덕, 이승규, 지민규 (2012), 만족하천의 자갈하상재료 분포에 따른 한계 수류력 평가, 한국수자원학회논문집

② Truong An, Dang and Sang Deog, Park. (2013). Simulation of Bed Level Variation in Open Channels with Steep Slopes. Journal of Hydro-environment Research (Submitted).

③ Truong An, Dang and Sang Deog, Park. (2013). Numerical Simulation of Bed Level Variation in Open Channel under Steady Flow Condition. Journal of Computing in Civil Engineering (Submitted).

④ Truong An, Dang and Sang Deog, Park. (2013). A Depth-Averaged Two-Dimensional Numerical Modeling in Open Channels Using the Finite Difference Method on a Staggered Grid. Journal of Hydraulic Engineering (Submitted).

(나) 국내외 학술발표

① 박상덕, 김건태, 김호섭, 이승규, 신승숙 (2010), 산지하천 하상재료와 소류사의 크기, 한국수자원학회 학술발표회

② 당중안, 박상덕, 남아름, 이승규, 지민규 (2011), 엇갈림격자 유한차분법을 이용한 개수로 수심적분 2차원 수치모의, 대한토목학회 학술발표회

③ Dang Truong An, Park Sang Deog, Woo Tae Young, Nam Areum. (2013). Numerical Modeling of River bed Variation in Open Channels. Proceedings of the IAHR World Congress.

④ Dang Truong An, Sang Deog Park. (2010). Construction of the Numerical Solution for the Two Dimensional Shallow Flow Equations by the Finite Differences Method. The 7th Scientific Conference of the University of Natural Sciences-VNU.HCM.

6. 산지하천 호안공법

가. 개별 연구성과 설명

본 연구에서는 계획된 주요 연구목표는 호안설계기법의 제안과 평가소프트웨어의 개발, 산지하천에 적합한 호안공법의 제시이며, 공법과 소프트웨어는 각각 등록을 완료하였고, 호안설계기법은 기술서적발간으로 목표를 달성하였다. 또한, 연구와 관련하여 논문과 학술발표, 연구개발홍보 등도 다음과 같이 완료하였으며, 구체적인 실적 증빙자료는 부록에 수록하였다.

나. 핵심요소기술(Critical Technology Elements)별 성과물

다. 주요 연구성과(학술적 성과 및 기술적 성과)

(1) 학술적 성과

(가) 국내외 학술발표

① 박동진, 矢野眞一郎, 田辺智子, 齋田倫範, 大八木豊, 이지원 (2009), 有明海の全流域における環境変化が流出量に与える影響の評価, 수공학논문집

② 박동진, 이지원, 坂本洋, 宮田昇平, 權在鍾 (2010), 韓國山地河川を對象として準3次元河床變動計算による最深河床高評価, 일본토목학회(서부지구)

③ 이지원, 최재복, 박병재, 권재중, 강정훈 (2008), 산지하천의 호안피해 요인분석과 설계기준 정립에 관한 고찰, 토목학회 강원지회

④ 이지원, 최재복, 박상덕 (2012), 산지하천 호안의 역학적 설계를 위한 평가기준 및

프로그램 개발, 한국수자원학회학술발표회

(2) 기술적 성과

(가) S/W 등록

- ① RD-RAS (호안 설계 및 평가 프로그램, 2013), 한국종합기술

(나) 특허 등록

- ① 하천만곡부 국소세굴 및 하안침식방지 수제블록과 이를 이용한 날개형 수제공법 (이지원, 박병제, 권재중, 최재복)

(다) 기술서적

- ① 이지원, 최재복외 (2012), 호안설계기법
- ② 이지원, 최재복외, RD-RAS 사용자설명서

7. 산지하천 홍수위 산정 기법

가. 개별 연구성과 설명

산지하천은 하상경사가 급하여 유속이 빠르기 때문에 만곡부에서는 원심력의 작용으로 만곡외측에서 수위가 상승한다. 홍수시에는 유속이 크게 증가하므로 만곡부의 수위 상승은 더욱 심화된다. 이는 산지하천을 발달된 도로피해를 가중하는 요인이 된다. 산지하천에서는 만곡부의 홍수위 상승이 하천제방의 여유고를 초과할 수 있어서 홍수피해의 주요 원인이 될 수 있다. 특히 만곡부 하도 내에 암초와 같은 자연장애물은 만곡수충부에서 홍수위 상승에 의한 홍수피해 위험을 현저히 증가시키는 원인이 되고 있다. 본 연구에서는 이와 같은 산지하천 특성을 고려한 만곡수충부 홍수위 산정기법을 개발하였다.

나. 핵심요소기술(Critical Technology Elements)별 성과물

다. 주요 연구성과(학술적 성과 및 기술적 성과)

(1) 학술적 성과

(가) 논문

- ① 박상덕, 신승숙 (2011), 산지하천 만곡수충부의 특성과 편수위 저감방안, 한국수자원학회지 물과 미래

② 박상덕, 신승숙 (2011), 산지하천 만곡수충부의 특성과 편수위 저감방안, 한국수자원학회지 물과 미래

(나) 국내외 학술발표

① 박상덕, 이승규, 김건태, 김호섭, 신승숙 (2010), 산지하천 만곡수충부 수리모형실험, 한국수자원학회 학술발표회

② 박상덕 (2011), 산지하천 수충부 편수위 산정방안, 한국수자원학회 강원지회 정기심포지움

③ 박상덕, 이승규, 지민규, 김건태, 김선정 (2011), 산지하천 만곡수충부의 하류수위 조절에 따른 편수위 변화, 한국수자원학회 학술발표회

④ 박상덕, 김건태, 김선정, 당중안, 신승숙 (2011), 산지하천 만곡부의 홍수시 편수위 조사, 한국수자원학회 학술발표회

(2) 기술적 성과

(가) 기술제안

① 산지하천 만곡수충부 편수위 산정기법 및 결정계수 제안

8. 유속저감시설 개발

가. 개별 연구성과 설명

산지하천은 하상경사가 급하여 유속이 빠르기 때문에 만곡부에서는 원심력의 작용으로 만곡외측에서 수위가 상승한다. 홍수시에는 유속이 크게 증가하므로 만곡부의 수위 상승은 더욱 심화된다. 이는 산지하천을 발달된 도로피해를 가중하는 요인이 된다. 산지하천에서는 만곡부의 홍수위 상승이 하천제방의 여유고를 초과할 수 있어서 홍수피해의 주요 원인이 될 수 있다. 특히 만곡부 하도 내에 암초와 같은 자연장애물은 만곡수충부에서 홍수위 상승에 의한 홍수피해 위험을 현저히 증가시키는 원인이 되고 있다. 본 연구에서는 이와 같은 산지하천 특성을 고려한 만곡수충부 홍수위 산정기법을 개발하였다.

나. 핵심요소기술(Critical Technology Elements)별 성과물

다. 주요 연구성과(학술적 성과 및 기술적 성과)

(1) 학술적 성과

(가) 논문

① 박상덕, 지민규, 남아름, 우태영, 신승숙 (2013), 개수로 측벽 세로돌출줄눈의 흐름 저항, 한국수자원학회논문집 (심사중)

② 박상덕, 신승숙 (2011), 산지하천 만곡수충부의 특성과 편수위 저감방안, 한국수자원학회지 물과 미래 20

(나) 국내외 학술발표

① 박상덕, 이승규, 지민규, 김건태, 김선정 (2011), 산지하천 만곡수충부의 하류수위 조절에 따른 편수위 변화, 한국수자원학회 학술발표회

② 박상덕, 지민규, 이승규, 남아름, 신승숙 (2011), 급경사 만곡수로의 Manning 조도 계수에 대한 외측벽면의 영향, 한국수자원학회 학술발표회

③ 이승규, 남아름, 박상덕 (2011), 산지하천 만곡부 유수저항에 미치는 하류수위 조절의 영향, 대한토목학회 강원지회 정기심포지엄

④ 박상덕, 지민규, 남아름, 우태영, 양은익 (2012), 개수로 흐름에서 측벽 수직줄눈의 수리효과, 한국수자원학회 학술발표회

(2) 기술적 성과

(가) 특허 등록

① 하천용 옹벽1 (박상덕, 양은익)

② 특허등록, 하천용 옹벽2 (박상덕, 양은익)

라. 기술 실시 및 적용사례

(가) 기술 실시 계약

① 유속측정시스템 (2012)

② 하천용 옹벽 (2013)

(나) 기술 시범 적용

① 유속저감시설, 태백황지천 만곡수충부 수해 피해 현장 (2012)

9. 산지유역 설계강우량 제공 시스템 구축

가. 개별 연구성과 설명

본 연구에서는 산지지역에 적합한 면적강우량 산정기법을 제시하고, 지점 자료수가 부족한 산지유역의 설계강우량 생성을 위해 지역빈도해석을 적용해 보고 산지유역의 설

계 강수량 산정에 보편 타당한 기법을 제안하고자 한다.

나. 핵심요소기술(Critical Technology Elements)별 성과물

다. 주요 연구성과(학술적 성과 및 기술적 성과)

(1) 기술적 성과

(가) S/W 등록

- ① Spatial Analysis of Rainfall v1.0 (정참삼, 엄명진)

(나) 특허 등록

- ① 하천용 옹벽2 (박상덕, 양은익)

라. 기술 실시 및 적용사례

(가) 기술 실시 계약

- ① 하천용 옹벽 (2013)

(나) 기술 시범 적용

- ① 유속저감시설, 태백황지천 만곡수충부 수해 피해 현장 (2012)

10. 산지유역 홍수유출 해석시스템 개발

가. 개별 연구성과 설명

총 5년 동안 최종 성과로서 산지하천 유역에서 적용할 수 있는 홍수량 산정 프로그램을 개발하였다. 개발된 홍수량 산정 프로그램의 주된 기능은 특정지점의 유역면적, 하도 경사, 빈도 확률강우량, 이미 산정된 설계홍수량을 입력 자료로 하여 지역회귀분석기법과 fuzzy regression 기법을 결합하여 임의 지점의 불확실도를 정량화한 홍수유출량을 산정하는 것이다. 개발된 프로그램은 사용자의 편리함을 도모하기 위한 사용자시스템과 사용자매뉴얼이 첨부되어 있으므로 향후 실무에서 일반사용자들이 손쉽게 임의 지점의 홍수유출량을 산정하는데 기여할 것이다.

나. 핵심요소기술(Critical Technology Elements)별 성과물

다. 주요 연구성과(학술적 성과 및 기술적 성과)

(1) 학술적 성과

(가) 논문

① 이재웅 (2008), 도시하천의 홍수에·경보를 위한 의사결정시스템 개발, 대한토목학회논문집

② 이재웅, 김승주, 이태근, 지정원 (2012), Fuzzy 회귀분석기법을 이용한 평창강 유역의 설계홍수량 산정, 한국수자원학회논문집

(나) 국내외 학술발표

① 최창원, 김승주, 이재웅 (2009), GIS를 이용한 산지유역의 집중시간 산정, 한국수자원학회학술발표회 2009

② 김승주, 최창원, 이재웅 (2010), 산지하천 유역에서의 분포형 유출모형을 통한 홍수해석, 한국수자원학회학술발표회

③ 김승주, 최창원, 이재웅 (2010), Fuzzy Regression 기법을 이용한 산지하천 유역 홍수량 산정, 한국수자원학회학술발표회

④ 이태근, 최창원, 이재웅 (2012), Fuzzy 회귀분석 기법을 이용한 산지하천 홍수유출산정 시스템 개발, 한국수자원학회학술발표회

⑤ 이태근, 지정원, 이재웅 (2012), 퍼지회귀분석 기법을 이용한 산지하천 홍수유출산정 시스템 적용 및 평가, 대한토목학회정기학술대회

제 3 절 토석류 제어기법 개발

1. 토석류 제어기법 개발

가. 개별 연구성과 설명

현재 국내의 토석류 제어공법들은 이미 발생한 토석류에 대하여 이를 퇴적시키거나 유속을 저감시키는 등의 흐름 저감 대책이 주를 이루고 있으며, 토석류를 발생부터 적극적으로 억제하고자하는 대책은 매우 부족한 상황이다. 따라서 토석류를 발생부에서부터 억제할 수 있는 효율적인 토석류 발생 저감공법 개발이 필요하다. 이러한 토석류 발생저감 기법이 개발되면 관련 기술의 발전은 물론, 토석류의 피해가 예상되는 현장에도 적용이 가능할 것으로 기대되며, 토석류로 인해 많은 피해를 입고 있는 국가 시설물의 안전성을 높일 수 있을 뿐만 아니라 인명 및 재산피해의 저감으로 인한 경제적 효과도 매우 클 것으로 예상된다. 또한, 사방댐 건설과 같이 토석류 흐름 저감공법에만 치우쳐 있는 국내 방재 산업의 영역도 확대될 것으로 기대된다.

나. 핵심요소기술(Critical Technology Elements)별 성과물

(1) 토석류 제어공법(특허)

(가) 사방댐 구조물

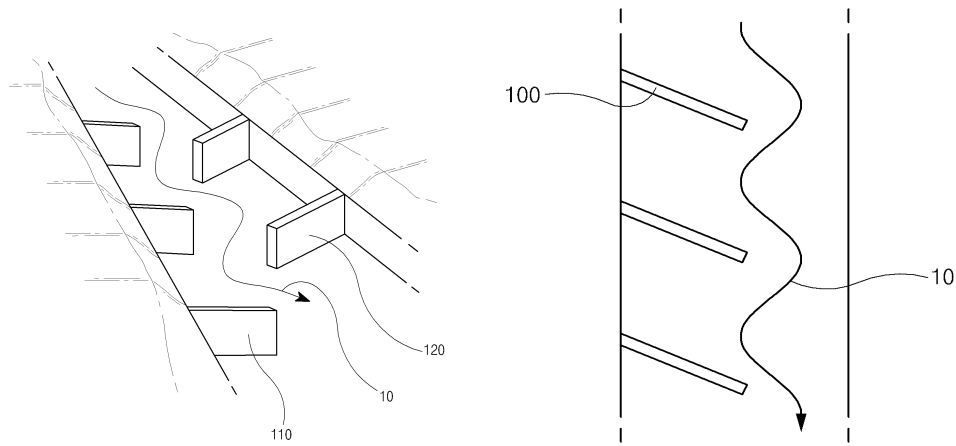


그림 3.46 제안된 사방댐 구조물 도면

종래의 사방댐은 토석류의 예상유로를 일정 위치에서 폐쇄하는 댐 구조로 설치되는 것이 일반적이었다. 그런데 이러한 종래의 사방댐은 다음과 같은 문제가 있었다.

사방댐의 배후에는 토석류가 발생하지 않더라도, 강우 시 산지 토사의 유출에 의해 상당한 양의 토사가 퇴적하게 되는데, 이는 토석류의 발생 시 방어 성능을 저하하는 요인이 된다. 종래의 폐쇄형 사방댐은 자연적인 토사 유출을 억제하는데, 이는 댐 하류의 생태계에 좋지 않은 영향을 미친다. 그러나 본 발명은 토석류의 발생 시 충분한 방어 성능을 발휘할 수 있고, 하류의 생태계에 대한 악영향을 방지할 수 있도록 하는 사방댐 구조물을 제시한다.

(나) 복수의 중공형 구조체를 갖는 사방댐 구조물

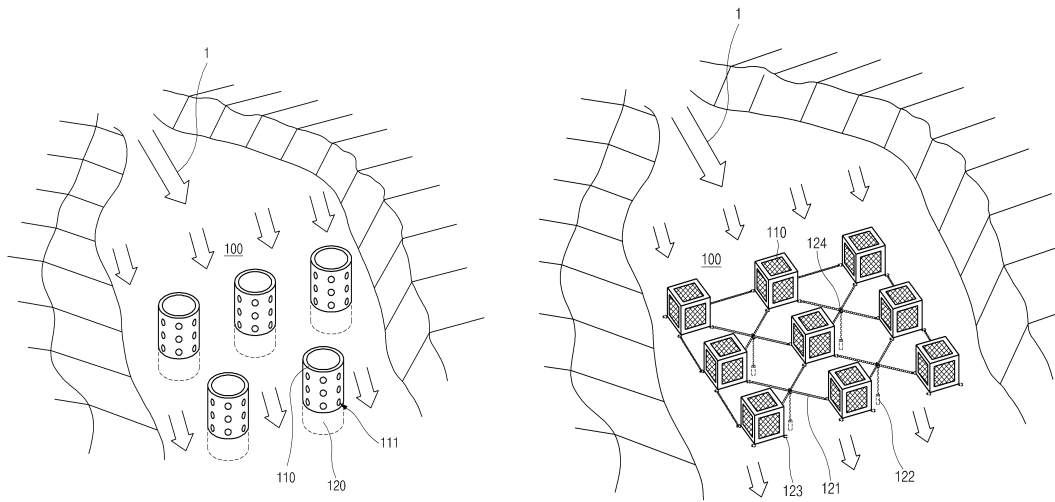


그림 3.47 제안된 복수의 중공형 구조체를 갖는 사방댐 구조물 도면

토석류는 계곡을 따라 흘러내리는 과정에서 토사와 큰 암석 그리고 다량의 유목을 포함하게 되며, 흐름의 선단부에 이러한 큰 암괴와 유목이 집중되어 있으므로 큰 파괴력을 지니게 된다. 이를 방지하기 하여 종래에는 산사태가 우려되는 산의 계곡이나 토사 및 토석의 유실이 심한 강의 상류에는 사방댐, 스크린댐을 설치하여 저사가 이루어지도록 함으로써 토석류에 의한 피해를 방지하였다. 하지만 이 기술들은 다음과 같은 단점이 있다. 첫째, 콘크리트 기초에 근입되는 형식으로서 기초부의 굴착과 콘크리트 양생 등에 소요되는 시공기간과 설치 및 유지관리 비용이 많이 소요된다는 단점이 있다. 둘째, 충격에 의한 파손이 많아 장기적으로 내구성이 약하기 때문에 토석류 방지에 효율적이지 못하며, 향후 파손시 유지보수를 위한 작업이 거의 불가능하다는 단점이 있다. 셋째, 토석류의 발생 후, 댐 주변에 퇴적된 토사 등의 퇴적물들을 제거하는 작업이 필요하기 때문에 비용과 시간이 추가적으로 소요된다는 단점이 있다. 그러나, 본 발명은 중공형 구조체 복수가 서로 간격을 두고 설치되어 토석류의 유동성을 감소시키고, 시공성이 뛰어나며, 락볼트시공을 통한 결합 및 개체간의 사슬결합을 통해 향후 유지보수가 용이하도록 구성된 사방댐 구조물을 제공한다.

(다) 종방향 사방댐 구조물

토석류는 산지 하측에 위치한 거주지 및 토목구조물(도로 등)에 치명적인 악영향을 미칠 뿐만 아니라, 한번 토석류가 발생한 곳에서는 바닥의 암반이 나타나서 새로운 토양이 되어 식물이 무성해질 때까지 오랜 시간이 걸린다는 문제가 있다.

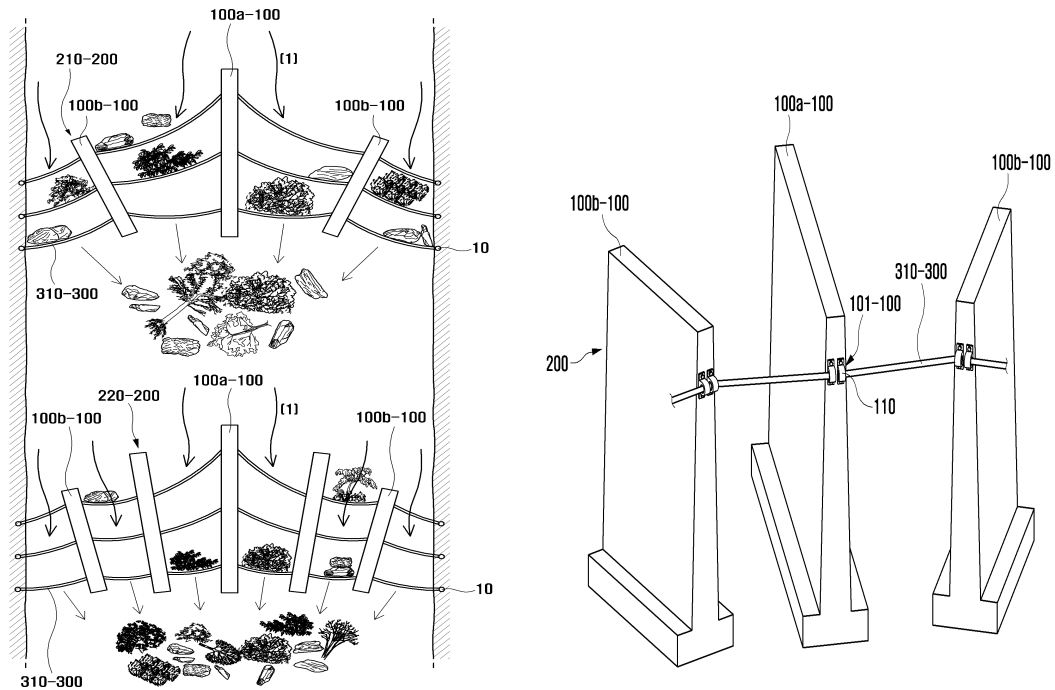


그림 3.48 제안된 종방향 사방댐 구조물 도면

이러한 문제점을 방지하기 위한 종래의 기술로는 '다기능 사방댐 및 그 시공방법' '버트러스 강재 사방댐' 등이 있으며, 사방댐, 스크린댐은 하상구배가 큰 계곡에 설치되어 급류가 강바닥을 파고 양쪽 산기슭을 깎아서 산사태를 일으키는 현상과 토사가 흘러 내려가는 것을 방지하는 기능을 하였다. 하지만 이 기술들은 하천에만 적용이 가능하고, 충격에 의한 파손이 많아 장기적으로 내구성이 약하기 때문에 토석류 방지에 효율적이지 못한 단점이 있다. 또한, 설치비용이 많이 소요되고, 향후 파손 시 유지보수를 위한 작업이 거의 불가능하다는 단점이 있다. 본 발명은 시공성이 뛰어나고, 향후 유지보수가 용이하며, 토석류의 퇴적을 유도하여 토석류에 의한 재해를 최소화하는 종방향 사방댐 구조물을 제시한다.

(라) 사방댐 구조물

토석류는 장년기지형 산사면에서 때때로 일어나는 산사태의 일종이라 할 수 있다.

이러한 토석류는 산지 하측에 위치한 거주지 및 구조물에 치명적인 악영향을 미칠 뿐만 아니라, 한번 토석류가 발생한 곳에서는 바닥의 암반이 나타나서 새로운 토양이 되어 식물이 무성해질 때까지 오랜 시간이 걸린다는 문제가 있다. 이러한 문제점을 방지하기 위한 종래의 기술로는 '다기능 사방댐 및 그 시공방법'(한국특허 등록번호 10-0560986, 2006.03.08), '버트러스 강재 사방댐'(한국특허 등록번호 10-0491444, 2005.05.17) 등이 있으며, 사방댐, 스크린댐은 하상구배가 큰 계곡에 설치되어 급류가 강바닥을 파고 양쪽 산기슭을 깎아서 산사태를 일으키는 현상과 토사가 흘러 내려가는 것을 방지하는 기능을 하였다.

하지만 이 기술들은 하천에만 적용이 가능하고, 설치비용이 많이 소요되며, 장기적으로 충격에 의한 내구성이 약하고 파손 시 유지보수 작업이 거의 불가능하기 때문에 토석류 방지에 효율적이지 못하며, 평소 흐름의 방해를 유발하기 때문에 하천오염을 유발하는 단점이 있다. 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 도출된 것으로서, 평상 시 하천의 흐름을 방해하지 않으며, 토석류의 유동성을 감소시켜 토석류에 의한 재해를 최소화하는 사방댐 구조물을 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

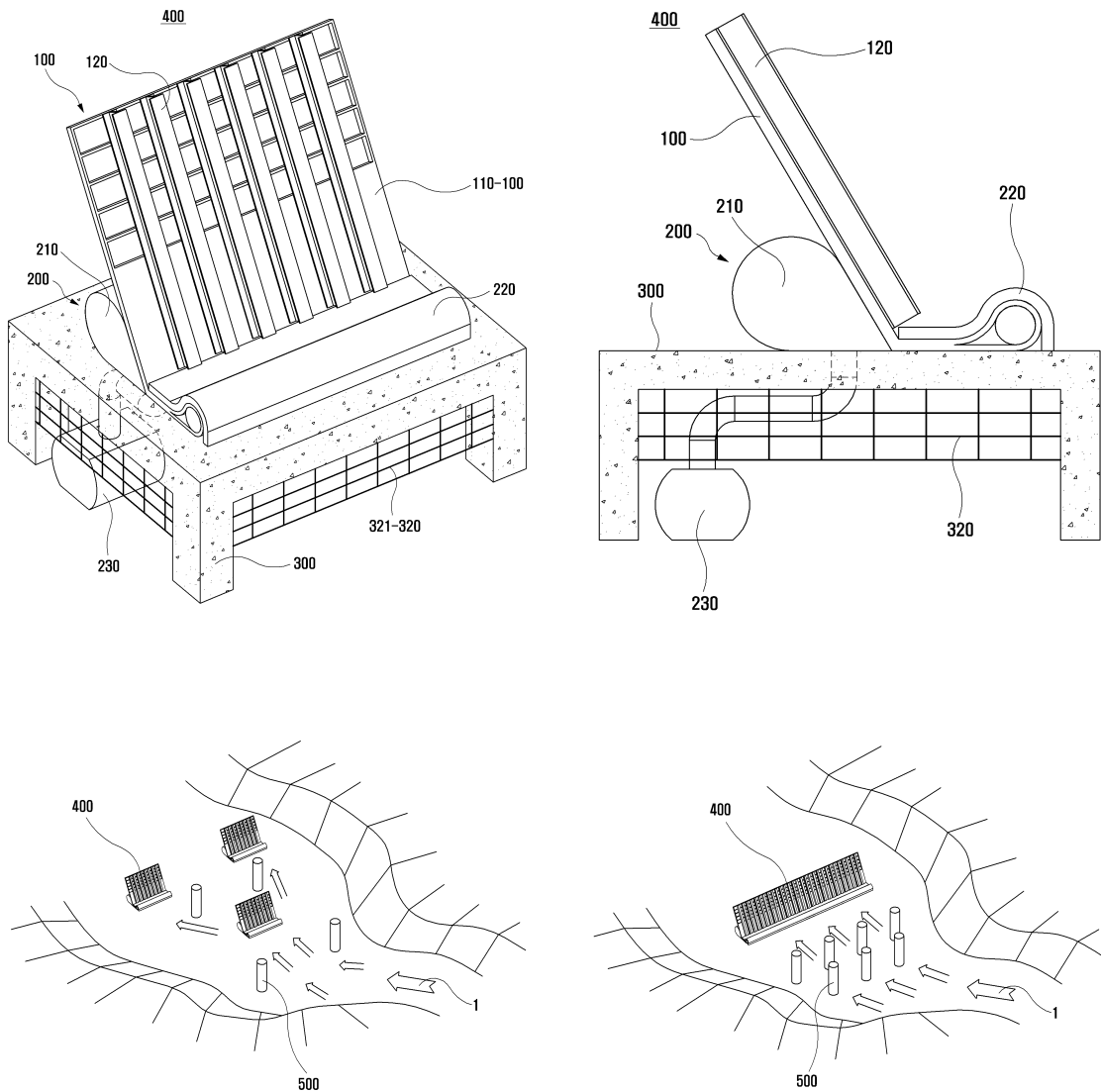


그림 3.49 제안된 사방댐 구조물 도면

(마) 토석류에 의한 재해 방지 구조물

본 발명은 토석류의 흐름을 전환하도록 지면에 설치된 제어말뚝과 복수의 지지말뚝에 토석류 중 일부가 걸리도록, 복수의 지지말뚝에 결합한 그물부재를 포함하는 것을 특징으로 하는 재해 방지 구조물이다. 토석류로부터 산지 하측의 거주지 및 구조물을 보호하

여 재해를 최소화 한다.

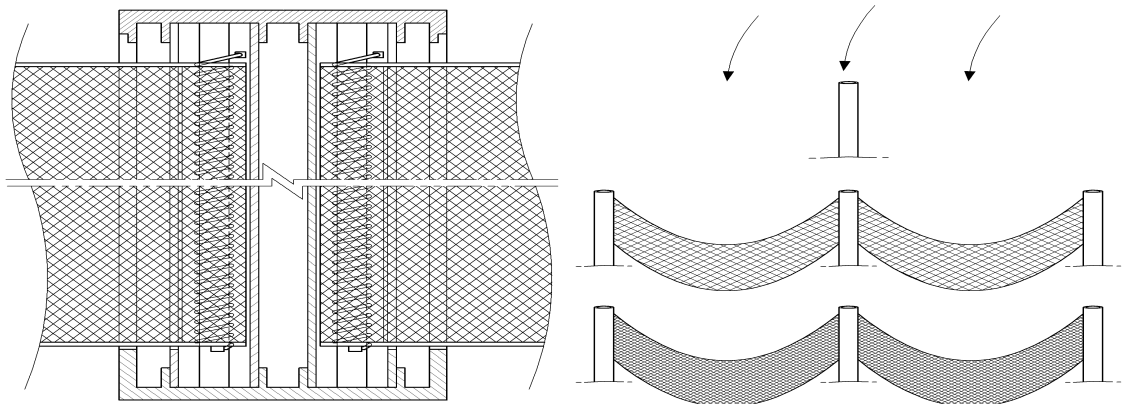


그림 3.50 제안된 사방댐 구조물 도면

(바) 재해방지 구조물용 지지말뚝

본 발명은 그물부재의 일단에 결합하여 토석류에 의한 상기 그물부재의 펼침을 제한적으로 허용하는 펼침 허용수단을 포함하는 것을 특징으로 하는 재해방지 구조물용 지지말뚝이다. 토석류로부터 산지 하층의 거주지 및 구조물을 보호한다.

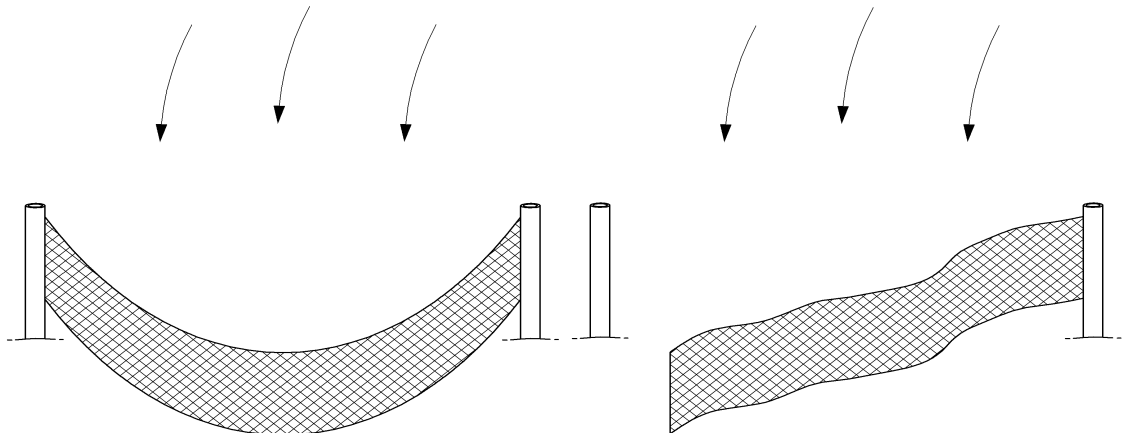


그림 3.51 제안된 사방댐 구조물 도면

(2) 토석류 해석모형(DFAM 1D) 개발

본 프로그램은 토석류 흐름 뿐 아니라 침식작용과 퇴적작용의 모의가 가능하며 토석류 저감구조물 설계 시 필요한 토석류 유출량과 농도 분석이 가능한 모델로써 Takahashi(1991)의 경험식을 사용하고 있다. 본 프로그램은 현재 소프트웨어 등록중에 있으며 5월중 등록 될 예정이다.

아래 그림 3.52는 토석류 발생 위험지역에 대한 해석모형의 적용결과를 나타낸 그래프이며, 프로그램의 사용자 환경 및 인터페이스는 사용자 편의성을 고려해 그림 3.53과 같

이 구성되어 있다.

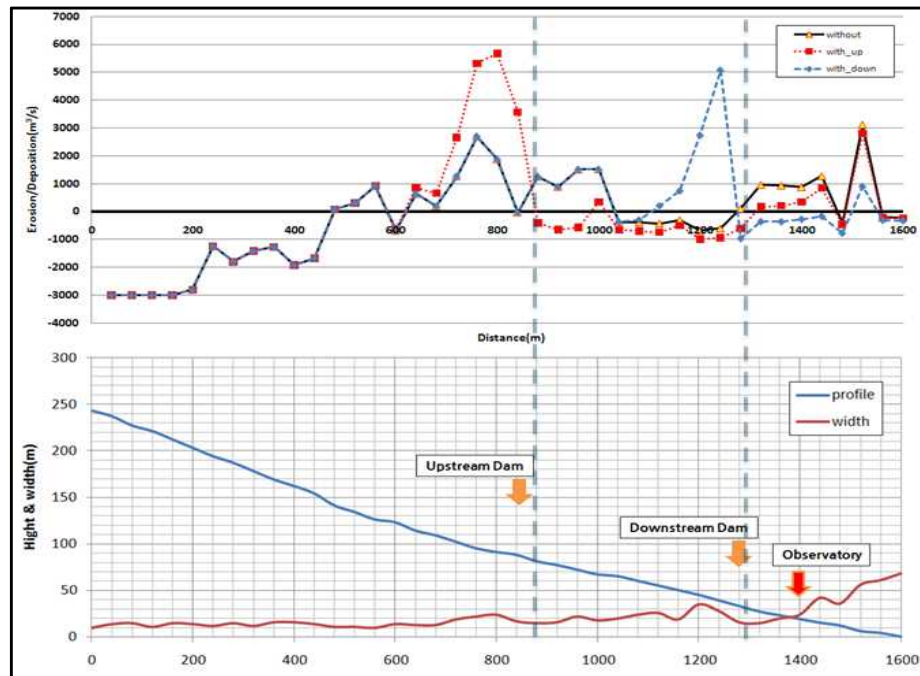


그림 3.52 토석류 발생 위험지역에 대한 해석모형의 적용

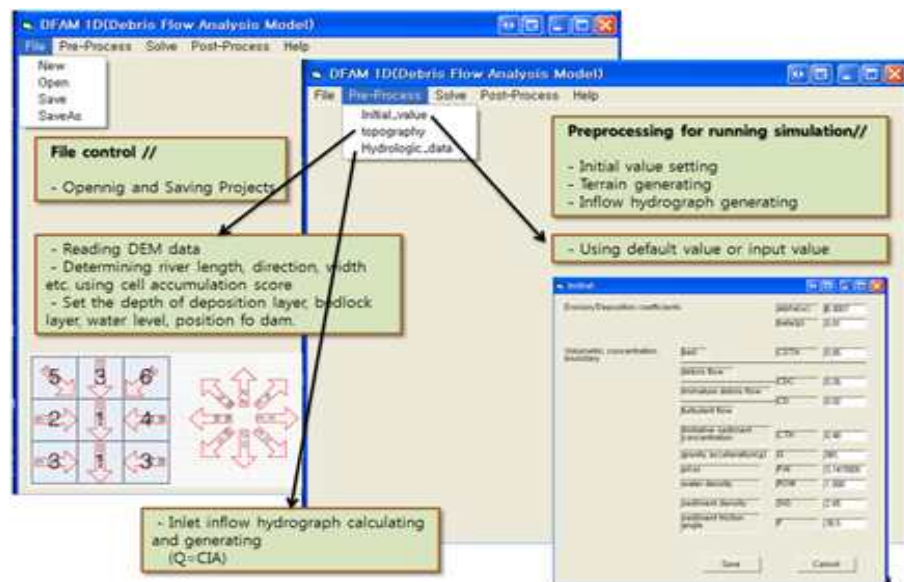


그림 3.53 토석류 해석모형 DFAM 1D 사용자 환경

그리고 본 프로그램은 아래와 같은 특징이 있다.

- 전처리 및 초기조건에는 초기조건, 지형조건, 유입조건으로 구분하고 입력자료는 파일 또는 직접입력 형식을 취함
- 토석류 해석부분은 모형의 구동에 필요한 시간간격, 모의기간, 모의조건 및 결과자료의 출력부분으로 구성

- 모의결과는 텍스트파일 형태로 출력되며 프로그램 상에서 확인할 수 있음

(3) 기타(실규모 토석류 실험사이트 구축)

국내·외 토석류 연구는 수치해석이나 모형실험 및 현장실험, 계측과 관련된 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 그러나 초기에 사면붕괴로 발생된 이 후 비교적 빠른 속도로 하부를 침식시키면서 발생 당시의 부피보다 더 많은 양이 하부에 퇴적되는 토석류의 이러한 복잡한 메커니즘 연구하기 위해서는 실제 현장에서 토석류를 재현하는 실험적 연구가 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 산림청과 국립산림과학원의 협조를 통해 강원도 진부면 봉산리 산 1번지 계곡 상부에 실규모 토석류 실험장치를 구축하였다. 실규모 토석류 실험장소는 전체 이동거리 824.4m, 발생부와 유하부의 평균경사는 각각 34.9°와 9.74°의 지형적 조건을 가지고 있으며, 총 12개소의 골막이와 퇴적부에 1개소의 사방댐이 설치되어 있다. 실험장치는 다음 그림 3.1.9와 같이 346.28m³의 토조와 267.48m³의 수조로 구성되어 있으며, 토조와 수조의 하부가 연결되도록 하여 수조에 물을 채움으로써 토조의 흙이 포화되도록 설계하였다. 또한, 토조 앞에 가로 12m 높이 6.8m의 게이트를 달아 게이트가 열림과 동시에 토조의 포화된 흙과 수조의 물이 유입되면서 토석류가 발생되도록 하였다.

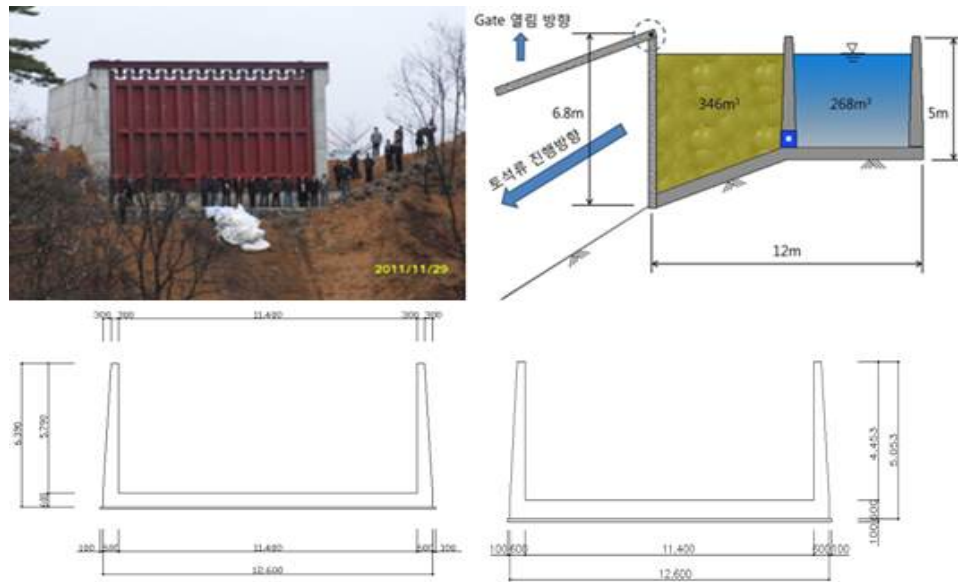


그림 3.54 실규모 토석류 발생장치 전경 및 제원

다. 주요 연구성과

(1) 학술적 성과

(가) 실규모 토석류 실험을 통한 저감공법의 성능분석

(2) 기술적 성과

(가) 특허

- ① 사방댐 구조물 [특허출원번호 10-2012-0095822]
- ② 종방향 사방댐 구조물 [특허출원번호 10-2012-0116114]
- ③ 복수의 중공형 구조체를 갖는 사방댐 구조물 [특허출원번호 10-2012-0134648]
- ④ 사방댐 구조물 [특허출원번호 10-2012-0116584]
- ⑤ 토석류에 의한 재해 방지 구조물 [특허출원번호 10-2012-0131056]
- ⑥ 재해방지 구조물용 지지말뚝 [특허출원번호 10-2013-0000498]

라. 기술 실시 및 적용사례

(1) 기술 적용

(가) 공법별로 소규모 실내실험을 통해 개발되었지만 여러 가지 문제로 실제 현장에 적용은 어려웠다. 이에 본연구단의 실체규모 토석류 실험에 ‘복수의 중공형 구조체를 갖는 사방댐 구조물’ 공법 적용



그림 3.55 실규모 토석류실험 공법 적용

마. 기술개발 성과의 국내외 시장 전망

현재 국내에서의 토석류 방지대책인 사방댐은 설치 및 유지관리 비용이 많이 소요되며, 충격에 의한 파손이 많아 장기적으로 내구성이 약한 문제점이 있다. 본 연구를 통해 특허 출원한 구조물들은 기존 공법들보다 유지보수의 용이성 및 시공성에 중점을 두고 개발되었으며 기존공법들의 단점을 보완한 공법들로서 시장 활성화시 폭 넓은 사용이 예상된다. 특히, 날개벽을 이용한 사방댐구조물과 가동보의 원리를 이용한 구조물을 통

한 흐름부 제어, 중공형 사방댐과 격자망, 제어말뚝을 통한 상류부 제어를 통한 토석류의 효과적인 제어가 기대된다.

국내·외적으로 토석류 저감공법들은 유하부에서의 유속저감이나 퇴적을 유도하는 공법이 대부분이기 때문에 발생부에서 적극적으로 토석류의 발생을 억제하기 위한 목적으로 개발된 본 연구의 저감공법은 희소성을 가지고 있다. 또한, 기존의 사방댐들은 많은 비용과 재료를 운반하기 위한 길을 필요로 하며 제작에 비교적 오랜 시간이 걸리는 반면에 본 연구에서 개발된 저감공법은 모두 운반 및 설치가 용이하며, 비교적 적은 비용으로 기존의 사방댐들보다 공기를 단축할 수 있어 경쟁력을 가질 것으로 판단된다.

또한, 1981년 31개소를 처음 설치하면서 시작된 국내 사방댐은 2000년 이전 까지 설치 개소수가 약 800여개에 불과하였다. 그러나 2000년 이후부터 사방댐 건설이 활성화 되고 2002년의 태풍‘루사’와 2003년의 태풍‘매미’를 겪으면서 사방댐의 효과를 확인하게 되어 사방댐 설치가 본격화되었다. 서울시 및 경기도는 2012년까지 서울·경기 지역에 100개의 사방댐을 추가 건설하고 2021년까지 692개의 사방댐을 추가 설치하여 10년 안에 사방댐 수를 1000개로 늘리고자 하는 계획을 발표하였다. 또한 산림청에서도 2017년까지 매년 500개소의 사방댐을 꾸준히 설치할 예정이다.

그리고 강원도 강릉시 진부면 봉산리 산1번지에 설치된 ‘실제규모 토석류 실험장치’는 12m × 6.8m의 게이트(토석류 발생부)와 총용량 600m³(토조 : 346.28m³, 수조 : 267.48m³)를 갖는 국외에서도 찾아보기 힘든 대규모 토석류 실험사이트이다. 본 실험장비를 이용한 실험은 국내에서 3개 방송사를 통해 방송될 정도로 획기적인 실험이었고 국내 많은 연구진들이 관심을 갖고 있다. 2013년 현재 국외에서도 사방구조물 관련 전문 업체들이 실험의뢰를 문의해오고 있다.

향후 본 장비를 연구목적으로 사용시 국내 토석류 연구에 활력을 불어 넣을 수 있을 것으로 예상된다.

2. 토석류 재해저감 시설기준 및 제도개선

가. 개별 연구성과 설명

본 연구는 토석류 발생가능 지역에 대한 조사 기준, 재해저감시설에 대한 제도적인 문제점 등을 도출하고, 보다 개선된 조사기준 및 방법과 대책공법의 설계·시공 방안 및 이에 대한 유지관리 방안을 정립하여 기술지도서적 및 매뉴얼 발간 혹은 설계기준/시방서/지침 반영 등으로 제시하는 연구이다.

나. 핵심요소기술(Critical Technology Elements)별 성과물

(1) 기술서적 발간

(가) 토석류 재해 조사법

“토석류 재해 조사법” 기술서적 발간을 위해 「토석류 관련 기준 및 제도에 대한 조사 및 분석 연구」, 「토석류 대책수립을 위한 조사구역 설정에 대한 제도적 연구」를 수행하였으며, 세부 연구내용은 다음과 같다.

① 토석류 관련 기준 및 제도에 대한 조사 및 분석 연구

토석류 관련기준 및 제도에 대한 연구를 위해 「급경사지 재해예방에 관한 법률(소방방재청)」, 「자연재해 대책법(소방방재청)」, 「산지관리법(산림청)」, 「사방사업법(산림청)」, 「산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률(산림청)」, 「산림청 사방기술 교본(산림청)」, 「산불 피해지의 사방복구계획 표준화(강원발전 연구원)」, 「재해취약시설 점검기준(국립방재연구소)」, 「건설공사 비탈면 설계기준(건설교통부)」, 「도로배수시설 설계 및 유지관리 지침(건설교통부)」, 「하천설계기준(국토해양부)」, 「하천공사 표준시방서(국토해양부)」 등의 국내 14개 관련기준 및 법령을 분석하였으며, 국외로는 일본, 미국, 캐나다, 홍콩, 스위스, 대만 등에서 토석류와 관련된 각종 자료를 분석 하였다. 여기서는 「하천설계기준(국토해양부)」, 「사방사업법, 시행령, 시행규칙(산림청)」, 「산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률, 시행령, 시행규칙(산림청)」, 「산림조합법, 시행령(산림청)」, 「산지관리법, 시행령, 시행규칙(산림청)」, 「토사재해 경계구역 등에 대한 토사재해 방지대책 추진에 관한 법률(일본 국토교통성)」 등을 토대로 토석류와 유송잡물 재해를 저감하기 위한 사방사업 및 사방시설에 대한 사항을 중심으로 자료를 분석하였다.

② 토석류 대책수립을 위한 조사구역 설정에 대한 제도적 연구

토석류 대책수립을 위한 조사구역 설정에 대한 제도적 연구를 위해 「건설성하천사방기술기준(안) 동해설[계획편]」, 「국토 교통성 하천사방기술기준」, 「사방기본계획 책정지침(토석류·유목대책편) 및 동해설」, 「사방사업기술교본(산림청)」, 「토석류 대책수립요령 사례」, 「수해예방을 위한 산악지 도로설계 매뉴얼」, 「야계사방공사 시공지침서」 등을 토대로 유역조사, 유역면적 조사, 주요 지질조사, 지형조건 조사, 계류장 조사에 대한 사항을 중심으로 자료를 분석하였다.

이외에도 각 연구소, 기관 및 학교 등에서도 자체적으로 마련한 기준에 따라 현장조사를 실시하고 있지만 대부분 붕괴발생 후에 붕괴발생 지점 위주로만 조사가 진행되고 있다. 이들 자료도 붕괴 발생원인 규명과 발생특성 해석, 사방시설물을 설치하기 위한 설계인자 등으로 활용 가능하지만, 한 지점 또는 한 구역에 국한된 것으로서 향후 체계적인 사방 계획 수립을 위해서는 합리적인 조사구역 설정 및 방법이 필요하다.

(나) “토사유출현상과 토사재해 대책”과 “유목과 재해”

“토사유출현상과 토사재해 대책”과 “유목과 재해” 기술서적 발간을 위해 「국내 실정에 맞는 토석류 재해조사 기술서적 발간을 위한 연구」, 「토석류 피해사례 및 대책공법 조사 및 분석 연구」, 「토석류 처리계획 수립 및 재해구역 설정에 대한 제도적 연구」를 수행하였으며, 세부 연구내용은 다음과 같다.

① 국내 실정에 맞는 토석류 재해조사 기술서적 발간을 위한 연구

과거에는 토석류 관련 연구가 활발히 이루어지지 않았기 때문에 토석류의 발생 메커니즘이나 토석류 재해를 예측하기 위한 해석이 거의 불가능한 상황이었다. 이러한 이론적 취약성으로 인해 토석류 방호시설의 설계, 시공, 유지관리 등의 모든 측면에서 효율적인 적용이 되지 않는 현실적인 문제가 있었다.

특히, 토석류 재해저감을 위한 시설물의 설계를 위해서는 시설물의 설치 위치에 따라 토석류의 유량, 유속, 체적이 서로 다르기 때문에 주변의 지형, 지질, 지반, 식생 등의 다양한 항목에 대해 검토가 필요하다. 이를 위해서는 토석류의 발생 예상지역의 현황(지형, 지질, 표층구성, 경사도, 사태범위, 사태물질의 세립분 농도, 지형정보, 흐름속도 등)에 대한 분석을 통해 파악해야 한다.

편역 출간한 “토사유출현상과 토사재해대책”과 “유목과 재해”는 산지와 하천의 침식·퇴적현상을 종합적으로 분석하여 지형 및 수계 특성에 따른 토사유출과 토사재해에 관한 연구 성과를 집대성하여 발간한 기술서적이다.

본 연구과제의 목적과 부합되도록 토석류·유송잡물의 이동 및 퇴적특성을 현상과 대책의 관점에서 접근함으로써 토석류 재해관련 실무자에게 전문지식과 기술을 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

② 토석류 피해사례 및 대책공법 조사 및 분석 연구

산지토사재해는 일반적으로 산사태와 토석류로 구분하여 나타낼 수 있으며, 산사태는 흙의 결속을 줄이는 비나 지진에 의하여 흙이나 암석이 균형을 잃고 중력작용에 의하여 일시에 발생지점에서 지형경사를 따라 하류부로 무너져 내리는 것을 말한다. 토석류는 산사태 등과 같은 붕괴로 인하여 무너진 흙, 또는 계류 바닥에 쌓인 흙, 돌, 바위가 물과 섞여 흘러내려오는 것으로서, 암괴, 유목 및 흙 등의 양이 물의 양보다 많고 고형물 자체의 중량에 의하여 밀도류 형태로 흘러내려오는 것을 말한다.

산사태가 산자락에서 발생하여 계곡을 거치지 않을 경우에는 단순히 산사태 피해라 할 수 있고, 산의 중턱에서 산사태가 발생하여 계곡을 거쳐 하류에 피해를 미치는 경우를 토석류 피해라 정의할 수 있다. 따라서 산사태와 토석류 등과 같이 산자락에서 토사가 흘러 내려와 하류에 피해를 입히는 것을 포괄적으로 산지토사재해로 정의할 수 있다.

토석류의 특성은 토석과 유목 등이 물과 일체화되어 유하하며, 암괴와 큰 돌, 유목 등을 포함하는 경우가 많고 그 중에서 커다란 암괴가 선두에 있으며 회전 및 활동하면서

유하하는 것으로 알려져 있다. 유하하는 토석류 본체의 횡단형은 중앙부가凸형을 하고, 종단부는 선두부가 부풀어 오른 것처럼 위쪽으로凸형을 하고 있는 것으로 보고되어 있다. 침식력이 매우 강하고 발생시에는 소규모였던 것이 유하운동에 의하여 계상과 계안의 퇴적 토사를 깊게 세굴하여 합쳐져 토석류의 체적이 크게 증대되어 피해의 범위를 확대시키는 특징을 가지고 있다.

③ 토석류 처리계획 수립 및 재해구역 설정에 대한 제도적 연구

토석류 처리계획 수립 및 재해구역 설정에 대한 제도적 연구를 위해 「사방기본계획 책정지침(토석류·유목대책 편) 및 동해설」, 「국토 교통성 하천사방기술기준」, 「토석류 재해조사법(일본 사방·산사태 기술협회, 1980. 10)」, 「수해예방을 위한 산악지 도로설계매뉴얼(건설교통부, 2007)」, 「하천설계기준(2009)」, 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」을 분석하였다.



그림 3.56 본 연구를 통해 발간한 기술지도서적

그러나 국내에는 최근까지도 토석류에 대한 정보 부족으로 정확한 이론적 이해 없이 경험적이며 주관적인 방재대책이 적용되고 있는 실정으로 2000년 이후 매년 발생 되고 있는 대규모의 토석류로 인한 도로 및 농지, 주택 등의 손실로 사방댐에 대한 필요성이 부각되고 있으나 확실적인 대책안과 재해구역설정이 매년 반복되고 있는 현실이다.

따라서, 토석류 및 유송잡물 처리계획 수립과 재해구역설정에 관한 관련제도를 추가 조사 및 분석 하였다.

(2) 설계기준, 시방서, 지침 반영

(가) 건설공사 비탈면 설계기준 및 표준시방서

「건설공사 비탈면 설계기준」에 연구결과를 반영하기 위해 「토석류 대책공법 관련기준 정립을 위한 제도적 연구」, 「환경친화적인 토석류 대책공법의 설계·시공 사례조사

연구」를 수행하였으며, 세부 연구내용은 다음과 같다.

① 토석류 대책공법 관련기준 정립을 위한 제도적 연구

토석류 대책공법 관련기준 정립을 위한 제도적 연구를 위하여 선정기준, 설계기준, 시공기준, 유지관리 4가지 측면으로 구분하여 관련된 법, 기준, 지침 등을 분석하였다. 국내에는 「사방사업법」, 「하천설계기준」, 「하천공사 표준시방서」, 「수해 예방을 위한 산악지 도로설계 매뉴얼」, 「사방공사 설계 및 시공관리 시공지침서」, 국외에는 「토석류 유하대책설계 지침서」 등을 조사 및 분석하였다. 관련기준 정립을 위한 연구 결과는 4가지로 구분하여 정리하면 다음과 같다.

첫째로, 국내·외 토석류 대책공법 선정기준을 종합적으로 분석한 결과, 대부분의 선정방법의 흐름은 비슷하지만, 각각의 용어정리와 공법의 분류체계 및 선정기준은 상이하였다.

둘째로, 토석류 대책공법 설계기준 정립을 위한 제도적 연구를 수행하기 위해 국내·외 토석류 대책공법 설계기준 관련 자료를 종합 분석한 결과, (1) 기본자료의 부족으로 방재설비의 설계시 어느 장소에서나 동일한 공법과 동일한 설계안이 적용되는 상황, (2) 자료획득을 위한 조사항목이 명확하게 제시되어 있지 않아 조사된 자료의 실무적으로 사용이 불가능한 경우가 많음, (3) 사방시설물은 수압, 수중토압, 토압 및 토사압, 토석류 충격압 등 여러 현장여건을 고려하여 설계가 수행되어야 하지만 이에 대한 명확한 설계방법이 부족한 실정, (4) 대부분의 지침 및 설계 자료에서는 불투과 형식에 대한 설계방법만을 수록 하고 있을 뿐 투과형식에 대한 설계방법에 대해서는 명확하게 언급이 되어있지 않음 등의 문제점이 있는 것으로 분석되었다.

셋째로, 토석류 대책공법 시공기준 정립을 위한 제도적 연구를 수행하기 위해 국내·외 토석류 대책공법 시공기준 관련 자료를 종합 분석한 결과, (1) 기본자료의 부족으로 방재설비의 설계시 어느 장소에서나 동일한 공법과 동일한 설계안이 반복적으로 적용, (2) 부분적으로 설계와 시공의 괴리가 상존, (3) 부토 지역등 연약지반에 공작물 설치하는 사례가 발생, (4) 최근 사방의 양적 팽창은 괄목할 수준이나 질적완성도는 미흡한 실정, (5) 눈에 안보이는 터파기, 뒷채움, 양안 어깨넣기 등이 눈에 보이는 것보다 중요함에도 형식적으로 처리하는 문제점이 있는 것으로 분석되었다.

넷째로, 토석류 대책공법 설계기준 정립을 위한 제도적 연구를 수행하기 위해 국내·외 토석류 대책공법 설계기준 관련 자료를 종합 분석한 결과, (1) 모니터링에 관련된 명확한 관리기준을 확인할 수 없음, (2) 점검 및 안전진단의 경우 점검 대상, 점검 횟수 및 점검 방법에 대해서는 기술되어 있으나 조사 및 평가를 위한 구체적인 방법은 규정되어 있지 않음, (3) 심각한 결함이 있거나 결함이 우려되는 개소에 대해서 안전진단 및 안전조치를 하도록 규정되어 있으나, 이 역시 구체적인 내용이 없어 점검자는 적정한 점검의 수행하기 어렵고, 사방시설 관리자가 적절한 안전조치를 취하기 어려울 것으로 판

단, (4) 점검 기준이나 방법이 제시되지 않았으므로 점검자의 주관적인 판단에 따라 점검을 수행조사 결과의 편차가 매우 클 것으로 예상, (5) 사방댐에 대한 정밀안전진단은 「시설물의안전관리에관한특별법」에서 정한 안전진단 전문기관에서 실시토록 되어있으나 이에 대한 정밀안전진단 세부지침 미정립 등의 문제점이 있는 것으로 분석되었다.

② 환경친화적인 토석류 대책공법의 설계·시공 사례조사 연구

환경친화적인 토석류 대책공법은 기존 토석류 대책공법에 대한 장점을 적절한 조합을 통해 이들을 융합 및 조화할 수 있는 새로운 개념의 환경창조적 측면에서 접근하는 것이다. 이를 공간적 분석측면을 부각시켜 보면 토사이동상황 기능분석, 경관분석, 생태분석으로 크게 구분할 수 있다. 토사이동상황 기능분석은 토사이동상황 파악 및 기능성 측면에서 사방시설의 방재기능 분석이 해당되며, 경관분석은 사방시설을 경관 조성요소로서 평가하는 것이다. 마지막으로 생태분석은 사방시설이 주변 생태계에 미치는 영향을 평가하는 것이다.

자연환경의 적절한 보전, 개선, 이용을 위한 환경친화적인 대책공법은 주변 경관과의 조화를 고려해 친근감 있는 수변이나 녹지 등의 자연공간을 확보하여 주민이 쉽게 접할 수 있도록 환경보전 정비계획 측면을 부각시키는 것이다.

최근의 사방댐은 저사저유 겸용의 다목적댐으로 활용하고 있다. 일반적인 사방댐이라 함은 골막이, 바닥막이와 같은 횡시설물을 대표하는 계간처리 공사로 상류지역의 계상이 고정되지 않은 황폐계류에 시공하여 산지와 하류지역의 보전에 그 목적이 있다. 또한 수질정화시설 공사는 강제틀 형식의 수질정화댐을 설치하여 상류지역에서 오염된 수질을 정화하여 하류지역에 깨끗한 물을 공급하기 위한 목적으로도 적용되고 있다.

(나) 도로비탈면 배수시설 유지관리 매뉴얼 및 토석류·유송잡물 재해저감 시설물 유지관리 매뉴얼(안)

“토석류·유송잡물 재해저감 시설물 유지관리 매뉴얼(안)”에 연구결과를 반영하기 위해 「토석류 방지시설 관리실태 분석 연구」, 「사방시설물의 안전점검 및 정밀안전진단에 대한 연구」를 수행하였으며, 세부 연구내용은 다음과 같다.

① 토석류 방지시설 관리실태 분석 연구

토석류 재해저감을 위한 시설기준 및 제도개선 연구를 수행하면서 국내 토석류와 관련한 사방시설에 대한 법령과 기준, 현업에서 활용하고 있는 자료를 통해 토석류 방지시설 관리실태를 분석하였다. 그 결과 토석류와 유송잡물 재해저감을 위한 체계적인 유지관리가 미흡한 것으로 조사되었으며, 이에 대한 사항은 크게 세 가지로 요약해 보면 다음과 같다.

첫째로, 토석류 및 유송잡물 재해와 관련된 유관기관의 제도적 대응체계 미흡을 들 수 있다. 국내에서는 사방사업이 관련법규에 의해 각 정부부처의 소관업무로 구분되어 있어 토석류와 유송잡물 재해에 대하여 적극적인 대책과 대응이 불가능한 실정이다. 이를 극복하기 위해서는 시설물과 도로 주변의 비탈면을 포함하는 시설물관리주체도 토석류 및 유송잡물 대책공법의 실시가 가능하도록 제도적 틀 내에서 법제화가 필요할 것으로 판단된다.

둘째로, 토석류 및 유송잡물 재해와 관련된 관련법규의 연계성 미흡을 들 수 있다. 현재 「자연재해대책법」과 「사방사업법」에서는 사방시설의 관리를 위해 점검 또는 안전진단을 「시설물 안전에 관한 특별법」에 따라 안전진단전문기관에 의뢰하여 수행하도록 명시되어 있다. 하지만 「시설물 안전에 관한 특별법」에서는 사방댐에 대한 점검 또는 안전진단을 실시하기 위한 지침 및 세부지침 등이 마련되어 있지 않았으나 “안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(댐편)”을 일부 개정하여 사방시설물의 점검을 댐 기준에 준용할 수 있도록 하였다. 이로써 사방시설과 관련하여 일부 사방시설의 점검과 진단을 수행할 수 있도록 제도적으로 실시방법을 수립하였다.

셋째로, 토석류 관련 시설물 유지관리기준 미비로 인해 사방시설의 사후관리 실태현장 점검결과(감사원 감사보고서, 2008. 7)에서 사방시설물의 균열 발생, 배수면 옹벽기초의 세굴현상 등 본체 손상 및 미준설 등의 사방시설에 대한 유지관리가 이루어지지 않았다. 또한 사방시설에 대한 안전점검 혹은 정밀안전진단 등 미실시와 실시 후 적절한 보수·보강의 미이행 등으로 인해 집중호우 시 사방댐의 기능 발휘가 불가능하거나 손상된 상태에서 방치되어 있었다. 이러한 원인으로 사방시설에 대한 적절한 유지관리지침 등이 마련되어 있지 않았기 때문이며, 이에 대한 보완 및 개선이 필요한 상황이다.

② 사방시설물의 안전점검 및 정밀안전진단에 대한 연구

사방시설물에 대한 안전점검은 「자연재해대책법」 제3조의 규정에 따르면 재난관리 책임기관의 장은 자연재해예방을 위한 점검대상 시설 및 지역에 대한 점검 또는 안전진단을 실시하고, 그 결과에 따른 안전대책을 강구하도록 되어 있다.

또한, 「사방사업법 시행령」에서는 사방시설의 관리에 대하여 점검결과 심각한 결함이 있거나 결함이 우려되는 사방댐에 대하여는 안전진단을 실시하도록 되어 있으며, 「시설물의 안전관리에 관한 특별법」 제8조에 따르면 “정밀안전진단의 실시기관에 의뢰하여 실시한다.” 라고 규정되어있다.

그러나, 현재 교량, 터널, 댐, 제방, 건축물, 옹벽, 절토사면 등의 시설물의 경우 「시설물의 안전관리에 관한 특별법」 제13조 및 동법 시행령 제13조에 따라 「시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 지침」(국토해양부 고시 제2010-1037호)에서 정하는 안전점검 및 정밀안전진단의 실시방법·절차 등에 관한 필요사항을 시설물별로 보다 상세히 제시하고 있으나, 사방시설에 대하여 점검 또는 안전진단 실시에 대한 규정은 없는 실정이다.

따라서 토석류·유송잡물 재해저감 시설물에 내재되어 있는 위험 요인이나 시설물 기능 및 성능저하, 상태 등을 신속·정확하게 조사·평가하고, 그에 대한 적절한 안전조치를 취하여 재해 및 재난을 예방하며, 사방시설물의 안전성 및 기능성을 보완·보전케 함으로써 시설물의 효용성을 증진시킴과 더불어 과학적 유지관리를 체계화하기 위하여 “토석류·유송잡물 재해저감 유지관리 매뉴얼(가칭)” 작성을 통한 사방시설물점검 또는 안전진단 실시기준 및 방법 등에 대한 기초연구를 수행하였다. 주요 연구내용은 시설물의 체계적인 유지관리를 위하여 “일반사항”, “시설물의 손상 종류 및 원인”, “시설물의 점검”, “안전조치 및 대책” 등으로 구분하였다.



그림 3.57 본 연구를 통해 발간한 설계기준, 시방서, 매뉴얼

③ 고속도로 토석류 대책설계 매뉴얼

토석류 대책공법은 유역과 계곡의 상황 및 토석류 발생 여건, 계획지점에서의 토석류 규모, 토석류의 흐름특성, 계획지점의 지형 및 구조물 설치여건, 보호하고자 하는 대상 지역과 시설물의 종류, 기능 및 중요성 등을 감안하여 선정하여야 한다. 국내에서 적용되고 있는 토석류 대책공법의 종류는 매우 많지만 본 매뉴얼에서는 문헌조사를 통해 가장 널리 사용되고 있는 콘크리트 사방댐과 투과형 사방댐, 링넷 공법에 대해서 설계(예)를 제시하였다. 대책공법의 설계는 고속도로의 실제 토석류 발생현장을 조사한 후 각 위치별 대책공법을 조사에서 도출된 주요인자를 적용한 설계까지의 내용을 포함하여 제시하였다. 본 매뉴얼에 적용된 대책공법의 종류별 기능은 표 3.18과 같다.

표 3.18 토석류 차단시설물 종류별 기능

구 분	시공사진	특징
콘크리트 사방댐		○ 계곡바닥 경사를 완만하게 하여 토석류 퇴적을 유도시킴 ○ 사방댐 배면에 토사가 완전히 퇴적된 경우는 이후의 토석류가 부분적으로 월류되어 하류로 흐를 수도 있음
투과형 사방댐		○ 계곡 중에서 토석류에 포함된 큰 암석이나 유목을 차단시키고 작은 암석이나 세립분은 통과시킴
링네트		○ 토석류 발생 후에는 배면에 퇴적된 큰 암석과 유목을 제거하여 기능을 유지시킬 필요 있음

본 매뉴얼에 제시된 토석류 대책공법의 설계절차는 그림 3.58의 순서를 따른다.

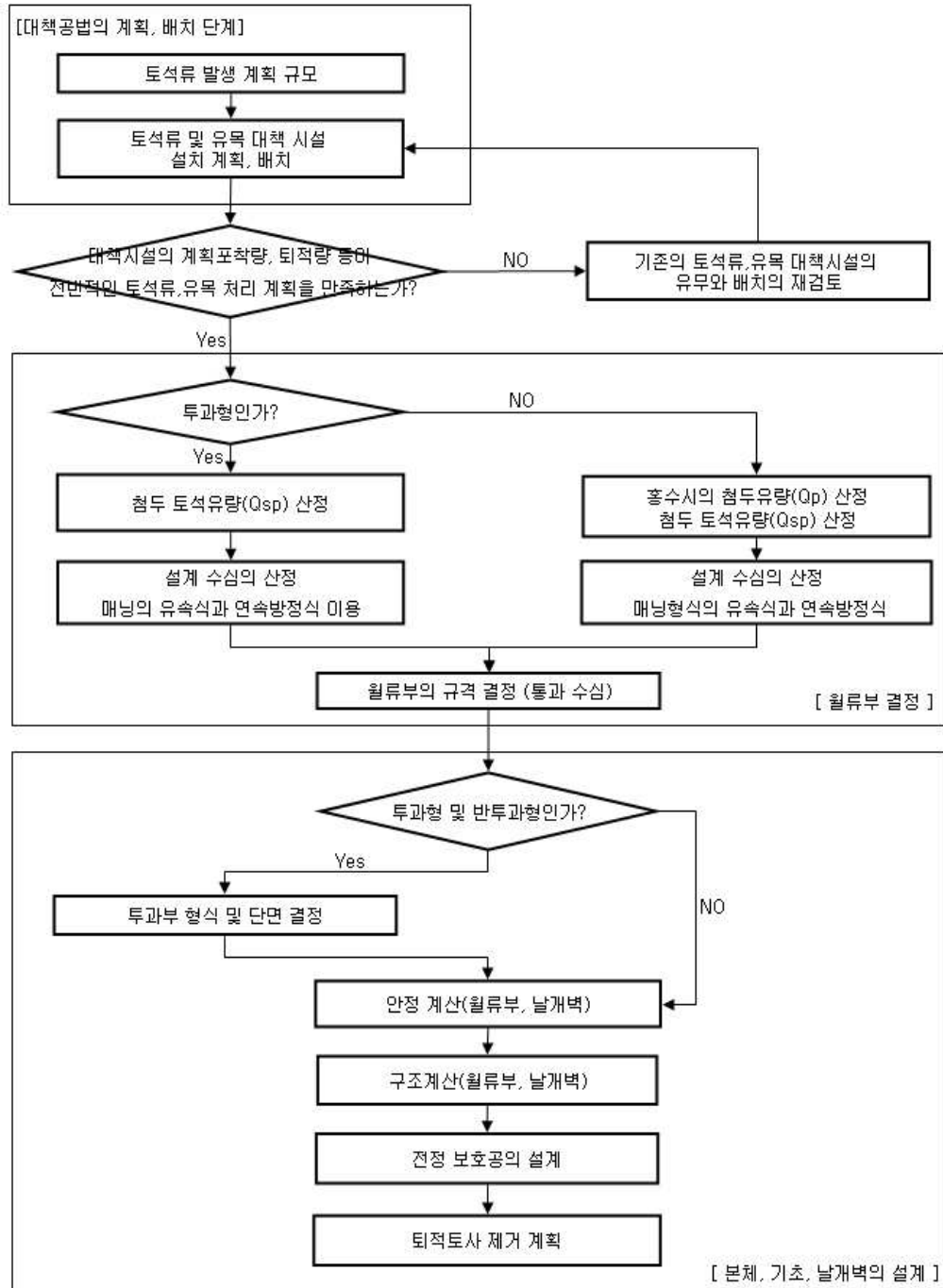


그림 3.58 토석류 대책공의 설계순서

(라) 고속도로 토석류 조사 및 대책설계지침(안)

고속도로 토석류 대책공법의 조사 및 대책설계지침의 주요내용은 토석류 발생구간 조사 및 문헌조사를 통한 토석류의 유형, 이동특성, 퇴적특성, 대책공법의 기능적 특성을 고려하여 적용하였고, 본 지침의 목표는 “시작억제”, “토석류방어”, “토석류 퇴적”, “토석류 범람방지 또는 우회”를 목표로 설정하였다. 토석류 조사 및 대책설계지침의 주된 내용을 표 3.19에 요약 정리하였다.

표 3.19 토석류 대책설계지침의 내용

지침의 방향	주요내용
토석류 대책계획	○ 토석류의 발생특성, 대책의 목표, 흐름특성의 변화 고려 ○ 도로시설물에 발생가능한 피해를 효과적으로 방지하도록 수립 ○ 계곡의 유출지점을 기준지점으로 산정 ○ 계획규모는 유출토석량과 유하허용토석량으로부터 산정
토석류 조사	○ 조사목표와 조사항목 및 수량, 조사방법을 결정하여 산지의 능선을 따른 유역 경계내부를 대상으로 함 ○ 주요조사항목은 붕괴원인, 토사량, 침식량, 퇴적요부, 퇴적량임
토석류 위험구간의 결정	○ 도로 및 도로시설물에 피해를 유발하는 토석류가 발생가능한 배수구역으로 정의 ○ 토석류 발생가능성과 도로의 피해가능성으로 구분하여 판정
토석류 규모와 설계인자 결정	○ 계획지점을 기준으로 토석류 위험구간에서 유출될 것으로 예상되는 유출량과 하류로 흘러 보내는 토석량을 통해 결정 ○ 첨두토석유량, 평균유속, 흐름수심, 충격력, 퇴적경사, 단위중량을 설계인자로 설정
대책공법의 선정	○ 계획지점에서의 토석류 규모, 흐름특성, 지형 및 구조물 설치여건, 대상지역 시설물의 종류, 기능 및 중요성을 감안하여 선정 ○ 대표적 대책공법은 파쇄시설, 사방댐, 투과형 차단시설, 퇴적지, 우회로, 배수 시설 기능보호 등임
대책공법의 설계	○ 본 지침의 대상은 토석류 사방댐, 투과형 사방댐, 토석류 퇴적지, 배수시설 보호공임 ○ 각 공법별 형식의 선정은 대책공법의 기능과 유역 및 계곡상황, 설치의 용이성을 고려하여 결정

(마) 산림청 지침제안(토석류 방제시설물 및 제도적 개선사항)

① 토석류 방제시설물

㉔ 기존 사방댐은 계류경사완화를 통한 토사유출 방지를 주목적으로 하여 산사태 및 토석류의 피해 방지 기능이 취약하다. 따라서 국내외 문헌조사를 통하여 산사태 및 토석류 저감을 위하여 토석류 유하방지, 토석류제어, 토석류 방지를 주목적으로 하는 토석류 방제 시설물을 제안하고자 한다.

새로운 토석류 방제 시설물은 현재 지침으로 작성이 되었으며, 올 하반기 산림청 시책건의로 제안할 예정이다.

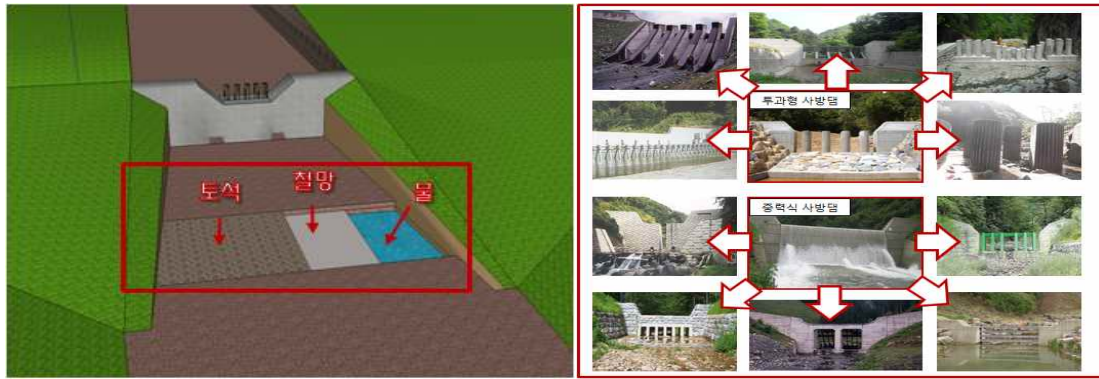


그림 3.59 토석류 방재시설물 개요도

㉔ 자연과 조화로운 사방구조물의 설계

자연과 조화로운 사방구조물을 설치하기 위해서는 자연과 조화로운 사방구조물의 형성을 위한 기본방침인 「기능미의 존중」 및 「주변 환경과의 조화」를 계획시에 요구사항에 추가한다. 이 요구사항이 만족되기 위해서 설계조건은 설계기술에 의해서 직접 평가할 수 있는 수치로 표현해야 한다.

(ㄱ) 설계조건 검토

- 자연과 조화로운 사방구조물의 형성에 있어서 요구사항이 설계조건 안에 부족함이 없이 포함되어 있는 가를 객관적으로 판단하는 것은 어렵다. 따라서 한사람의 기술자 독단에 빠지지 않기 위해 전문가 및 전문기관의 협조를 거쳐 다양한 관점에서의 의견이 반영되도록 회의를 개최하고 설계조건에 자연환경상 요구사항이 포함되어 있는 가를 확인한다.
- 설계조건 검토는 아래의 사항이 설계조건에 반영되고 있는 가 또는 반영할 필요가 있는 가 등을 확인한다.
 - 기능에 관한 확인사항 (요구되는 방재기능의 확인 등)
 - 장소의 환경에 관한 확인사항 (경관 이미지의 파악 등)
 - 새로운 경관에 관한 확인사항 (설계의도의 구축 등)

(ㄴ) 설계 타당성 검토

- 설계 대조를 할 때, 도면 등에 의해 표현되는 수치가 경관상의 요구사항을 만족한 가를 검증할 목적으로 전문가를 포함한 회의를 개최한다.
- 설계의 타당성 검토로는 아래의 사항이 도면 등에 반영되고 있는 가를 확인한다.
 - 기능을 만족하기 위한 확인사항(구조 형식의 결정 등)
 - 기능을 보완하기 위한 확인사항(부대시설의 결정 등)
 - 주변 환경과 조화를 이루기 위한 확인사항(적절한 스케일감, 생태계에 고려)

의 결정, 시간축의 고려 등)

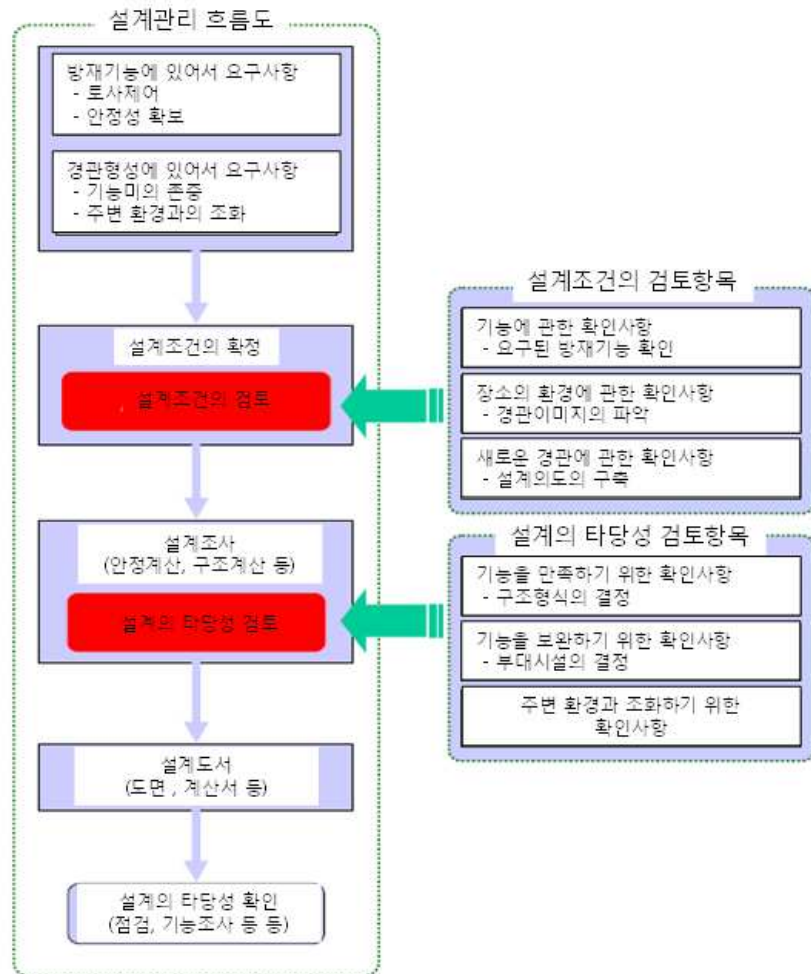


그림 3.60 경관형성을 위한 설계순서

② 제도적 개선사항

㉠ 사방댐의 설계

(ㄱ) 사방댐의 설계 시 고려사항

(a) 위치선정

사방댐 위치선정시 고려해야 할 것은 ① 암반이 노출된 곳 또는 기대할 수 있는 장소, ② 댐을 설치코자 하는 상류에는 가급적 많은 양의 토사력 유치가 가능한 곳으로 계상구배가 완만하고 상류 계곡 폭이 넓은 지역, ③ 가능하면 지류가 합류되는 하류지역, ④ 계곡이 좁은 곳, ⑤ 퇴적된 토사력의 유치, 고정이 가능한 곳, ⑥ 댐 시설지의 수문자료를 최대한 활용하고 기상, 지질, 토질 및 지형 등의 조건 등을 감안하며, ⑦ 자연경관(계곡)이 최대한 유지되고 진입로 개설 등 산림훼손이 적고 설치 후 준설사업 등 사후관리가 용이한 지역이다.

(b) 사방댐 형식과 계획을 선정할 때의 토사량

사방댐의 형식에는 투과형, 불투과형 및 일부 투과형이 있다. 사방댐에 기대하는 계획에서 취급하는 토사량은 형식에 따라 계획포착량, 계획퇴적량, 계획발생(유출)억제량이다.

사방댐이 가지는 계획에서 취급하는 토사량 등은 그림에 나타난 것과 같이 계획포착량, 계획퇴적량, 계획발생(유출)억제량이다. 보통 평상시 퇴적구배(기울기)에서 경사진 평면보다 아래에서 이동 가능토사량 또는 발생 유목량을 평가하고 있는 경우에만 계획 발생(유출)억제량을 기대한다.



그림 3.61 평상시 퇴사면이 있는 횡단면(불투과형, 일부 투과형)



그림 3.62 평상시 퇴사면이 없는 횡단면(투과형)

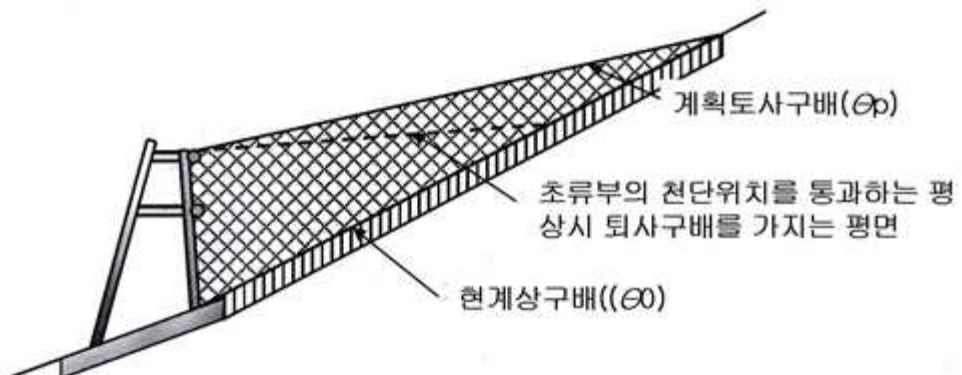


그림 3.63 투과형

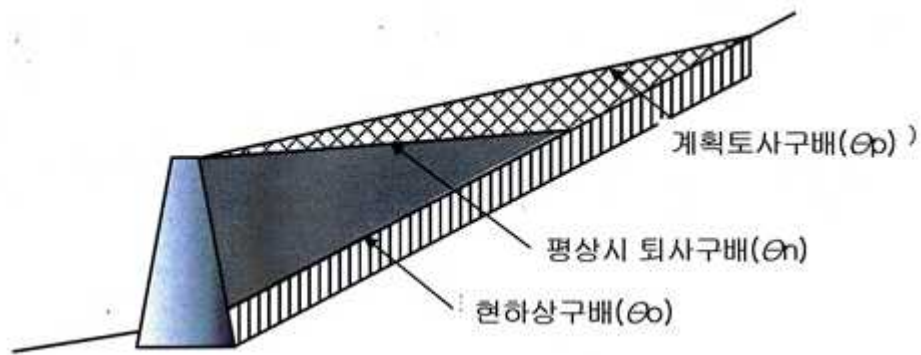


그림 3.64 불투과형

(토사의 퇴적공간에 있어서 준설에 의한 계획포착량 및 계획퇴적량의 공간확보가 가능한 경우)

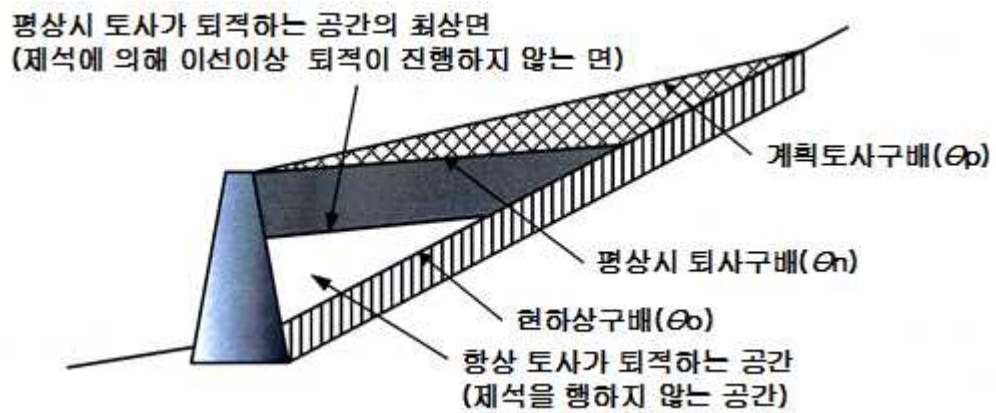


그림 3.65 불투과형

(토사의 퇴적공간에 있어서 준설에 의한 계획포착량 및 계획퇴적량의 일부 공간의 확보가 가능한 경우)

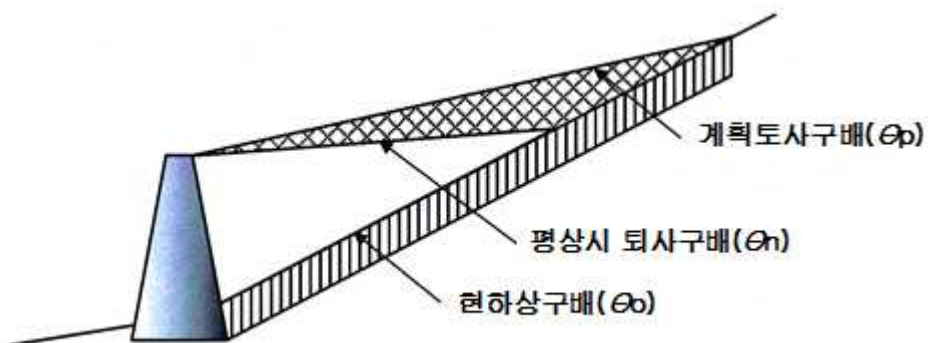


그림 3.66 불투과형

(토사퇴적공간에 있어서 준설하지 않는 경우)

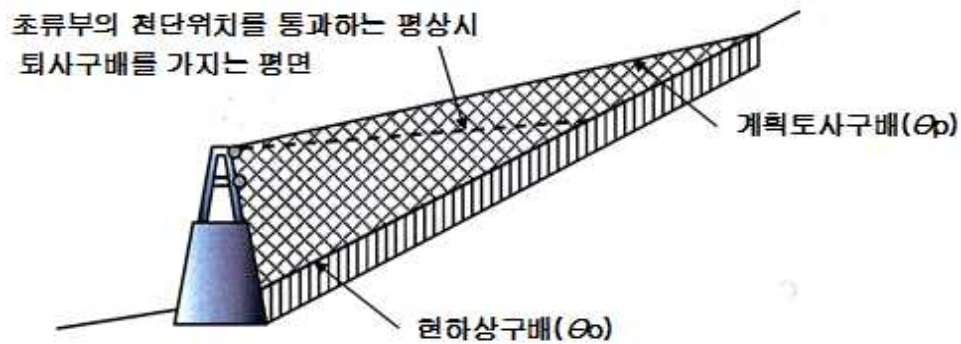


그림 3.67 일부투과형

(토사의 퇴적공간에 있어서 준설에 의한 계획포착량 및 계획퇴적량의 공간확보가 가능한 경우)

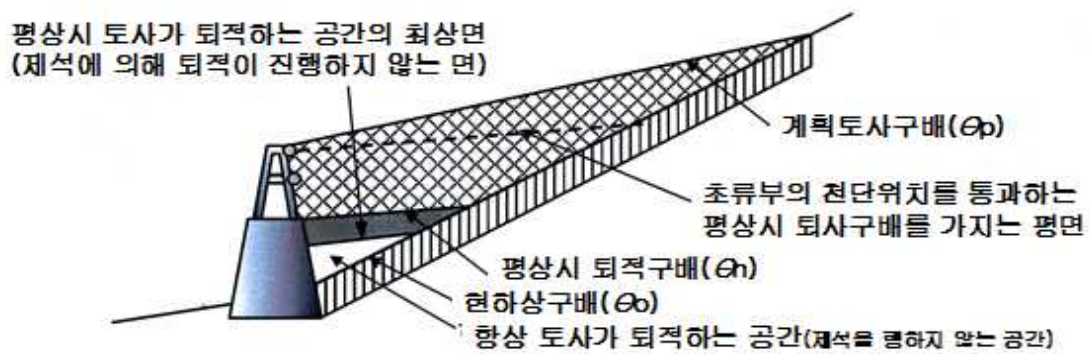


그림 3.68 일부투과형

(토사의 퇴적공간에 있어서 준설에 의한 계획포착량 및 계획퇴적량의 일부 공간의 확보가 가능한 경우)

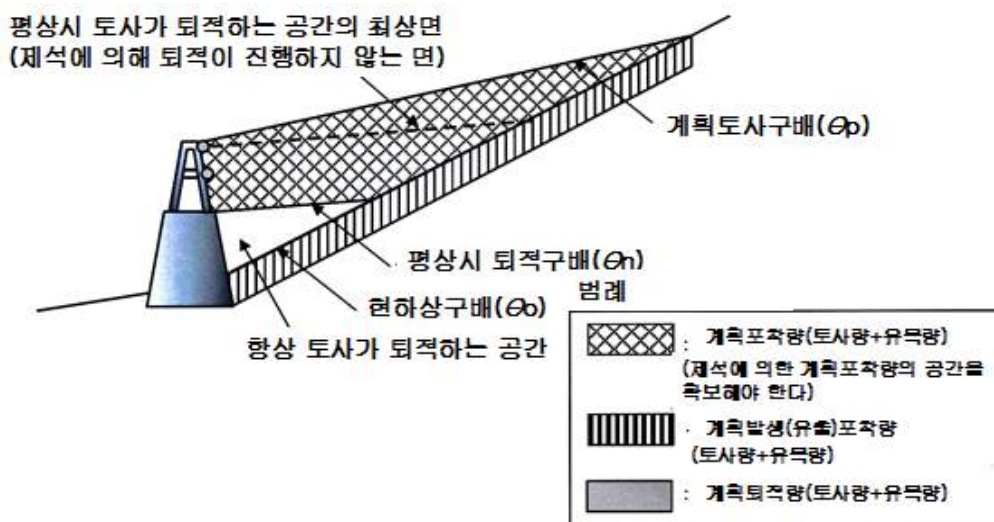


그림 3.69 일부투과형

(토사퇴적공간에 있어서 준설하지 않는 경우)

(c) 댐의 형식 및 종류 결정

댐의 형식 및 종류의 결정은 시공 대상지를 기준으로 하는 것을 원칙으로 하나 현장의 계상 구배(기울기)나 현지여건 등을 감안하여 설계한다. 사방댐을 배치할 때에는 대상 유역특성을 현지조사에 의해 충분히 파악한 후에, 준설실시의 가능성, 경제성, 지역 환경 및 역사·문화를 배려하여 형식을 선정한다.

○ 발생구간을 배려하는 사방댐에 요구되는 기능은, 주로 토석류나 유목의 발생을 억제하는 것이다.

○ 유하구간 및 퇴적구간을 배려하는 사방댐에는 주로 아래와 같은 기능이 요구된다.

- 토석류 및 토사와 함께 유출하는 유목 등의 포착
- 계획포착량에 해당하는 공간유지(준설의 용이성, 빈도)
- 평상시 계류환경(계상의 연속성)의 보전

토석류·유목포착공으로 사용하고 있는 투과형 및 일부 투과형사방댐은, 「계획규모의 토석류」를 포착하기 위해, 그 토석류를 포함하는 거석 등에 의한 투과부 단면을 확실하게 폐색(閉塞)시키게 계획해야 한다. 투과형 및 일부 투과형사방댐을 배치할 때에 있어서는 토석이동의 형태를 고려한다.

○ 투과형 및 일부 투과형의 배치에 관한 기본적 고려사항으로는, 투과형·일부 투과형은 토사를 포착 또는 조절하는 메커니즘으로부터 「토석류 포착을 위한 투과형 및 일부 투과형사방댐」과 「토사조절을 위한 투과형 또는 일부 투과형사방댐」이 있다. 토석류 포착을 위한 투과형 및 일부 투과형사방댐은 토석류를 포함한 거석 등에 의해 투과부 단면이 폐색하는 것에 의해 토석류를 포착한다. 또, 투과부 단면이 확실하게 폐색한 경우, 포착한 토사가 하류에 유출하는 위험성은 보통 없으므로 토석류 포착을 위한 투과형 및 일부 투과형사방댐을 토석류 구간에 배치한다.

○ 반면, 토사조절을 위한 투과형 또는 일부 투과형사방댐은 유수에 역류시키는 배수를 만드는 소류력을 저감시키는 것에 의해 유사를 일시적으로 퇴적시킨다. 토사조절을 위한 사방댐이 소정의 효과를 발휘하기 위해서는 투과부 단면의 폐색은 필요하지 않다. 그 때문에 토사조절을 위한 투과형 및 일부 투과형사방댐은 홍수 후반에 퇴적된 토사가 하류로 유출하는 위험성이 있기 때문에 토석류 구간에는 배치하지 않는다.

○ 또한, 토석류 포착을 위한 사방댐의 설계 및 배치상 투과형과 일부 투과형은 토석류 포착에 대해 이하의 조건을 만족하는 것이 필요하다.

첫째 개구부의 폭은 계류폭정도로 하며, 둘째, 「계획규모의 토석류」 및 토사와 함께 유출하는 유목에 의해 투과부 단면이 확실하게 폐색함과 동시에 그 구조가 토석류의 소류사에 의해 파괴하지 않게 유지하고, 셋째, 중소규모의 강우시의 유량에 의해 운

반되는 소류사보다 투과부 단면이 폐색하지 않을 것을 유의한다.

○ 투과형은 중소의 유수에서 퇴사하는 것은 없고, 계획포착량을 유지하는 것이 기대 가능한 형식이다. 투과형과 일부 투과형은 토석류 포착후에는 준설 등의 유지관리가 필요하게 되는 것에 유의한다.

○ 투과부 단면을 구성하는 강관이나 콘크리트 등은 구조물의 안정성을 유지하기 위한 부재(구조부재)와 토석류를 포착하는 목적으로 배치되는 부재(기능부재)로 나뉘어진다. 기능부재는 토석류 및 토사와 함께 유출하는 유목 등을 포착가능 하도록 소성변형(塑性變形, plastic deformation; 고체재료의 가소성(可塑性)을 이용해서 누르거나 두들겨서 모양을 바꾸는 일로서 영구변형과 같은 의미이다)을 허용하는 것이 가능하다.

○ 일부 투과형은 산각고정이나 토석류·유목의 발생억제가 요구되는 경우에 유목의 포착기능을 증대시키기 위해 사용한다. 또 평상시의 퇴사구배가 현 하상구배와 크게 변화하는 경우나 퇴사연장이 길게 되는 경우는 퇴사지에 있어서 토석류의 유사형태가 변화하는 것에 유의할 필요가 있다.

○ 보통, 퇴적구간에 투과형 또는 일부 투과형을 배치할 때, 투과부 단면전체를 사력에 의해 폐색될 수 있으므로 토석류의 유사형태의 변형을 고려하여 시설배치계획을 작성한다. 또, 복수의 투과형을 배치하는 경우에는 상류측의 투과형에 의해 토사이동의 형태가 변화하는 것에 유의한다.

i) 투과형

○ 시공 대상지 적지

투과형 사방댐의 시공대상지는 계곡에 상시 유수의 흐름이 있으며, 어류 및 수생생물이 서식하고 있는 곳으로 상류의 계상에 잠재적 이동토사 및 입경이 큰 토석이 분포하고 있는 곳이다. 또한 계곡의 상류부터 순차적으로 계통적 사방시설을 설치할 때 최상류부에 설치하며, 대상지의 상하류의 소통을 중시해야 하는 곳의 계상구배(기울기)가 완만한 곳을 선정한다.

○ 댐의 종류

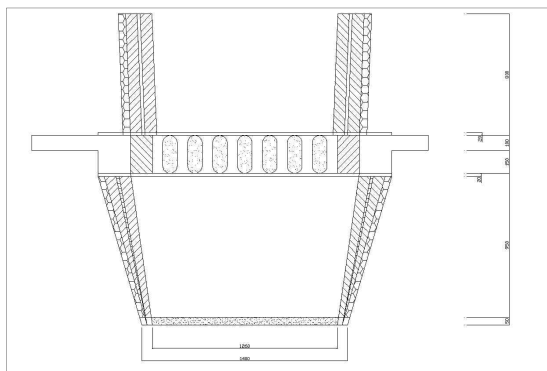


그림 3.70 슬리트형 사방댐(기동형)

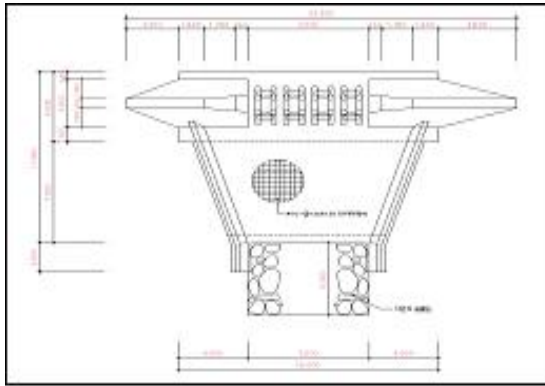


그림 3.71 슬리트형 사방댐(A형)

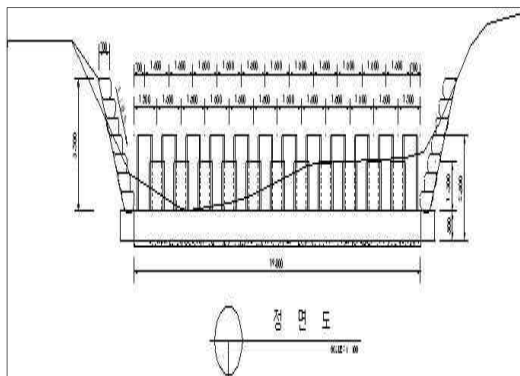


그림 3.72 슬리트형 사방댐 (에코필라 사방댐)

ii) 불투과형

○ 시공 대상지

- 불투과형 사방댐의 시공지는 계곡이 상시 건천 또는 유수량이 소수이며, 어류가 서식하지 않는 곳으로, 상류의 계상에 잠재적으로 이동할 수 있는 토석류가 많고 계간의 침식이 진행되고 있으며, 계곡의 상류부터 순차적으로 계통적 횡단공작물을 설치할 때 가장 상단부의 시설 위치일 때이다. 또한 계상의 구배가 급경사지이며, 산불 헬기취수장, 농업용, 상수원 취수 등 사업목적이 저수기능을 고려할 때 시공한다.

○ 댐의 종류

- 불투과형 사방댐은 중력식 콘크리트 사방댐, 전석불임 콘크리트 사방댐, 블록식 사방댐, 전석 사방댐, 철강재 사방댐, 흙댐 및 목재댐 등을 들 수 있다.

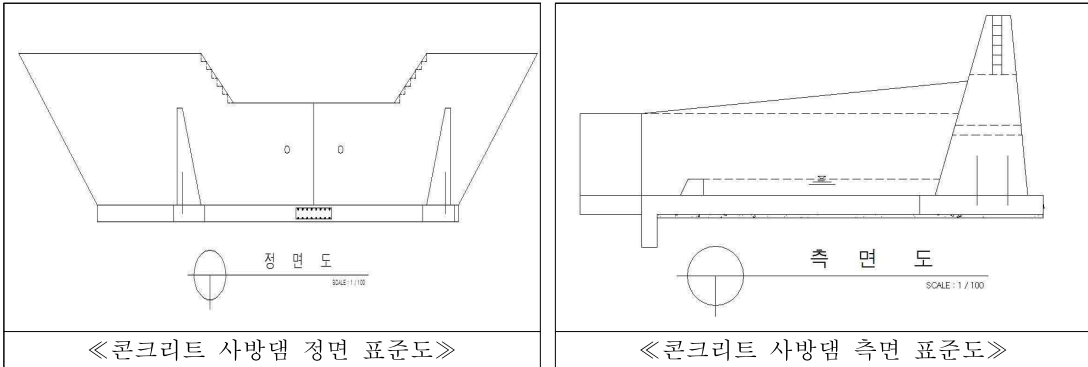


그림 3.73 중력식 콘크리트 사방댐

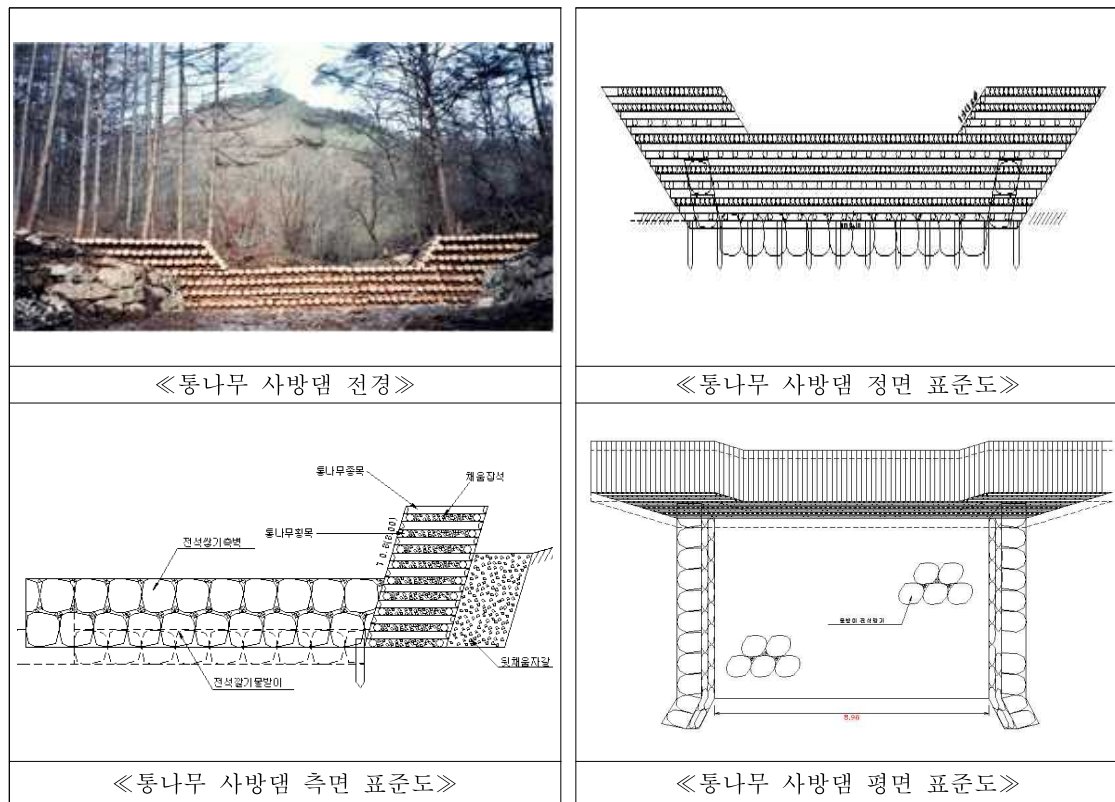


그림 3.74 통나무 사방댐

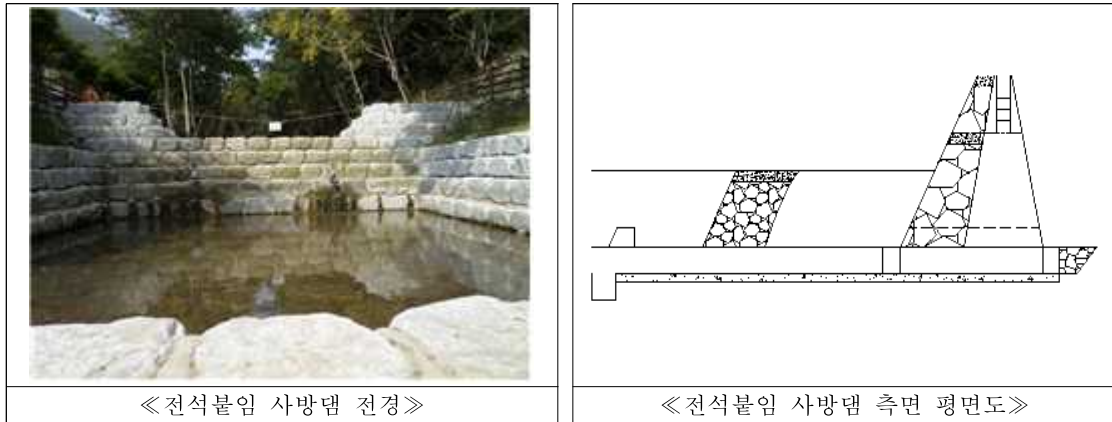


그림 3.75 전석불임 콘크리트 사방댐

iii) 일부 투과형

○ 시공 대상지

- 일부투과형 사방댐의 시공대상지는 상시 유수의 흐름이 있고 어류가 서식하지 않는 곳으로 계곡의 상류부터 순차적으로 계통적 횡단 공작물을 설치할 때 중간에 시설 위치할 때 상류의 계상에 잠재적으로 이동할 수 있는 유목, 토석류가 있고 계상의 침식이 진행되고 있는 곳을 대상으로 한다.

○ 댐의 종류

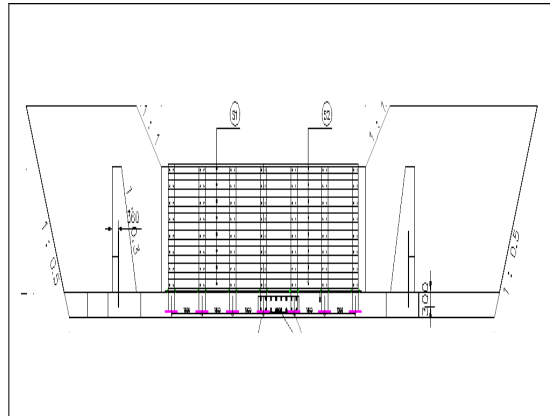
- 일부투과형 사방댐은 다기능사방댐과 버트리스 사방댐 등이 포함된다.



그림 3.76 다기능 사방댐



《버트리스 사방댐 전경》

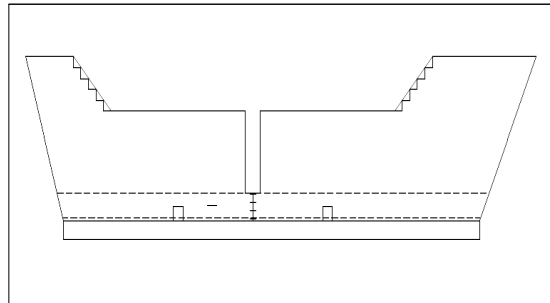


《버트리스 사방댐 정면 표준도》

그림 3.77 버트리스 사방댐



《도징 사방댐 전경》



《도징 사방댐 정면 표준도》

그림 3.78 도징 사방댐

(d) 댐의 방향 및 높이 결정

- 사방댐의 방향은 하류의 유수방향(유심선)에 직각방향으로 설치하는 것을 원칙으로 하며, 부득이 만곡부(彎曲部)에 설치하는 경우는 홍수시 유심선의 절선에 직각방향으로 한다. 또한 댐의 계획지점에서 상·하류의 한쪽 계안이 유수의 충격에 의하여 침식을 받을 우려가 있는 때에는 댐 방향이나 방수로의 위치변경 또는 기슭막이 공사로 보강한다.
- 댐의 높이는 시공목적, 지반의 상황, 계상기울기, 시공지점의 상태 등을 고려하여 결정하며, 토석류 방지용 댐은 충분한 여유를 갖는 높이로 하고 저사를 목적으로 할 경우에는 가급적 높게 한다. 특히 산지의 침식방지 목적으로 할 경우에는 일반적으로 현지여건을 감안하여 낮은 사방시설물을 설치하여 계단식의 계통적으로 계획하며, 댐의 형식이 투과형으로 계획할 경우에는 가능한 낮게 결정한다.

(e) 방수로 단면결정

- 방수로의 단면은 평상시 흐르는 유량에 비하여 홍수 후의 유수가 토석 및

토사를 함유하고 있어 유속이 떨어지고 수위가 높아질 뿐만 아니라 집중호우 시에 유출되는 유목과 토석류 등 장애요인으로 인해 방수로와 댐 어깨 부위를 월류하여 사방댐을 파괴할 우려가 있으므로 방수로의 크기는 200~500%로 충분히 여유를 갖도록 설계한다.

- 방수로의 크기는 시우량법, 합리식법, 홍수위흔적법 등에 의하여 산출할 수 있으나 일반적으로 최대홍수량(합리식)에 의하여 결정하며 될 수 있는 한 해당되는 계류의 홍수위흔적을 파악하여 결정하며, 유역면적 4km²(400ha)이 내인 경우가 많으므로, 합리식을 사용하는 것이 타당하다.
 - 최대 홍수량 산출 근거 (m³/sec) : $Q=0.278 A * f * h$
 [A: 집수구역면적(km²), f: 유출계수, h: 강우강도(mm/hr)]
- 집수구역의 면적계상은 댐 예정지 상단부 중 강우시 유량이 집수되어 댐에 정지로 흐르게 되는 구역의 넓이로 하고, 유출계수는 산림청 사방기술교본 사방사업에 필요한 자료편을 참조하여, 한계유속은 계상에 침식을 일으키지 않는 경우의 최대 유속으로 한다. 또한 계상의 최대역경은 하천내의 물 흐름에 영향을 주는 돌이나 흙, 모래 및 자갈 중 최대입자의 크기로 적용한다.
- 평균수심과 경심은 유수의 평균 깊이로 한다. 특히 최대시우량은 100년 빈도를 적용하나 그 대상지 주변 최대시우량과 비교하여 최대치를 적용하며, 방수로단면의 월류심은 1m 이상으로 하고, 방수로 하장은 최소한 3m 이상으로 하는 것이 안전하다. 방수로의 형상은 방수로 비탈 1:1을 표준(사다리꼴, 직사각형, 활꼴 등)으로 한다.

다. 주요 연구성과(학술적성과 및 기술적성과)

(1) 학술적 성과

- ① 토석류 재해저감 설계 매뉴얼 개발
- ② 토석류 재해저감 설계기준 및 지침 제안

(2) 기술적 성과

(가) 서적 발간

연번	발간기관	서적명	발간년도
1	한국시설안전공단	토석류 재해대책 조사법	2011
2	한국시설안전공단	토사유출현상과 토사재해 대책	2012
3	한국시설안전공단	유목과 재해	2013

(나) 매뉴얼 및 지침 발간

연번	제안처	매뉴얼 및 설계지침 명	발행일
1	국토해양부	건설공사 비탈면 설계기준	2011.12
2	국토해양부	건설공사 비탈면 표준시방서	2011.12
3	한국건설기술연구원, 한국시설안전공단	건설공사 비탈면 설계기준 및 해설서 개정안	2011.12
4	국토해양부	도로비탈면 배수시설 유지관리매뉴얼	2012.6
5	한국시설안전공단	토석류·유송잡물 재해저감 시설물 유지관리매뉴얼	2013.5

(다) 기타

- ① 고속도로 건설사업단(약 200개소/3개사업단)의 예방적 방재를 위한 토석류 발생구간 예측을 실시하여 위험구간에 대한 평가 및 대책공법을 적용하였고 공용중 고속도로(약 20개소/3개본부)에 대하여 집중호우 시 토석류가 발생구간에 대해 대책시설의 설치위치, 규모 및 공법에 대한 적용을 통하여 개발된 지침의 기술적 전파를 실시

라. 기술 실시 및 적용사례

(가) 기술 적용

- ① 고속도로 건설공사 105개소의 토석류 위험지역 조사 및 평가 사례

표 3.20 주요구간 현장조사결과

배수시설	토사퇴적공간 (m ³)	계곡상황	비고
D1200	약 500	경사급함	공사중
D1200	약 700	경사급함	소유역, 추정
D1000	약 100	경사급함	소유역, 추정
D1200	약 250	계곡급함, 유실가능	소유역
B2.5x2.5	약 2,100	경사완만	
D1200	약 3,600	고성토	
D1200	절토사이 계곡	계곡 뚜렷하지 않음	가능성 낮음
B3.0x3.0	약 900	고성토	
B2.0x2.0	약 675	경사급함, 토사많음	
B2.0x2.0	약 333	경사보통, 토사많음	
D1000	약 28	경사보통, 토사보통	소유역

- ㉠ 토석류 위험평가는 도로교통연구원에서 제안한 “토석류 가능구간 위험평가 및 등급화 방안(안)”을 토대로 수행하였다.

표 3.21 토석류 위험평가 결과

유역평균 경사 (°)	35°이상 구간 (%)	계곡평균 경사 (°)	15°이상 계곡비율 (°)	ΣH	퇴적공간 유무	배수시설 용량	ΣV	위험 등급
5	5	5	5	20	3	4	7	A
4	5	3	3	15	3	4	7	B
4	5	5	4	18	3	4	7	A
3	4	4	4	15	3	4	7	B
3	3	4	3	13	2	2	4	C
3	2	4	5	14	2	4	6	B
4	4	5	5	18	5	5	10	S
4	3	4	4	15	3	2	5	C
4	5	5	4	18	3	3	6	B
4	5	4	4	17	3	3	6	B
4	5	4	4	17	4	4	8	A

㉔ 위험평가 결과에서 제시된 위험등급 및 현장상황에 따라 각 위치별 대책방안을 다음 표3.22와 같이 제안한다.

표 3.22 위치별 대책방안

위험등급	대책방안
A	o 투과형 사방댐 또는 링넷
B	o 투과형 사방댐 또는 링넷
A	o 배수시설 입구에 강재틀 설치 또는 링넷 설치를 통한 방어
B	o 배수시설 입구에 강재틀 설치 또는 링넷 설치를 통한 방어
B	o 배수시설 입구에 강재틀 설치
S	o 링넷 설치를 통한 방어
B	o 배수시설 입구에 강재틀 설치 또는 링넷 설치를 통한 방어
B	o 투과형 사방댐
A	o 투과형 사방댐 or 배수시설 입구에 강재틀 설치 or 링넷 설치를 통한 방어

마. 기술개발 성과의 국내외 시장 전망

본 연구에서 개발되는 “토석류 재해저감을 위한 시설기준 및 제도개선”과 관련한 연구성과물을 적용한 해외 시장진출 전망은 각국의 기준이 상이하므로 일률적인 비교는 어렵다. 다만, 시장규모 측면에서는 일본, 오스트리아 등 선진국의 경우 오랜 기간 동안 많은 토석류 대책시설물을 적용하여 왔고 관련 기술이 발전하였기 때문에 우리나라에서 진출할 수 있는 시장규모가 크지는 않을 것으로 예상된다. 반면에 동남아의 개발도상국(인도, 인도네시아, 말레이시아, 베트남 등)은 최근 이상기온과 여름철 집중호우로 인한 토석류 피해가 증가함에 따라 토석류 재해저감을 위하여 많은 관심을 갖고 예산을 투자하고 있어 향후 관련시장이 증가할 것으로 예상된다. 또한 이들 나라에서는 아직까지도 토석류에 대한 방재의 측면을 고려하지 못하고 있으므로 향후 본 연구를 통해 보다 선진화된 토석류 재해 저감을 위한 시설기준 및 제도를 마련한다면 이러한 아시아 시장의 토석류 및 비탈면 재해에 대한 예방, 시공분야 및 유지관리 분야에 진출 할 수 있을 것으로 판단된다.