

산지하천 수충부 방재
기술 실용화기술 개발
기획연구 최종보고서

2016.12

Infrastructure
R&D Report

주관연구기관 / 강원대학교

제출문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

‘강원권 국토교통 지역특성화 기술개발’ (강원권 국토교통기술지역거점센터) 과제의 기획 연구 최종보고서로 제출합니다.

2016.12

주관연구기관명 :	강원대학교
주관연구책임자 :	윤 경 구
자 문 위 원 :	박 상 덕
	신 승 숙
	권 재 종
	김 호 섭

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

< 목 차 >

제1장 기술의 정의 및 필요성	1
1절 기술의 정의 및 분류체계	1
2절 기술개발의 필요성	3
제2장 국내외 동향 및 환경분석	5
1절 국내외 정책동향	5
2절 국내외 시장현황 및 전망	11
3절 기술(특허, 논문 등) 동향	14
제3장 연구개발과제 구성 및 추진전략	23
1절 비전 및 목표	23
2절 추진전략 체계	27
3절 자원 투입계획	29
제4장 실용화 전략	32
1절 현황 분석	32
2절 거점 내 수요처 분석	36
3절 시장진출전략	37
4절 기대효과	39
제5장 과제 제안요구서(RFP)	40

제 1 장 기술의 정의 및 필요성

1절 기술의 정의 및 분류체계

□ 산지하천 만곡부 유속저감 옹벽호안 기술 실용화

- 본 기술은 산지하천의 만곡수층부 안정 호안설계를 위해 줄눈옹벽 호안공법에 관한 것으로 급경사 산지하천 수층부의 매끄러운 콘크리트 옹벽호안에 일정간격의 돌출줄눈을 설치하여 흐름저항을 증가시키고 최대유속 발생위치를 수로의 횡단면 중앙방향으로 이동시켜 궁극적으로 만곡부에 작용하는 충격력을 저감키는 기술이다.
- 돌출줄눈의 간격에 따른 흐름저항의 최대치를 파악하기 위해 수리실험을 수행한 결과 세로돌출줄눈 폭의 9~12배의 설치 간격이 최대의 흐름저항을 일으키며, 돌출줄눈의 형상은 충격하중에 의한 에너지 흡수력이 가장 큰 사다리꼴이 가장 적합하다.
- 본 기술은 만곡부 흐름의 수직방향으로 돌출줄눈을 옹벽에 설치하는 흐름저항을 증가시키고 유속을 저감시킴으로써 만곡부 호안의 안정을 도모하고 수층부의 홍수피해를 저감하기 위한 기술로서 기술분류체계는 EI-11-05(자연재해저감기술)이다.

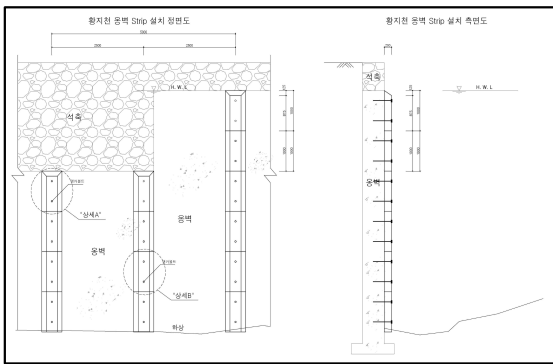


그림 6 유속저감 옹벽호안 설치개념도

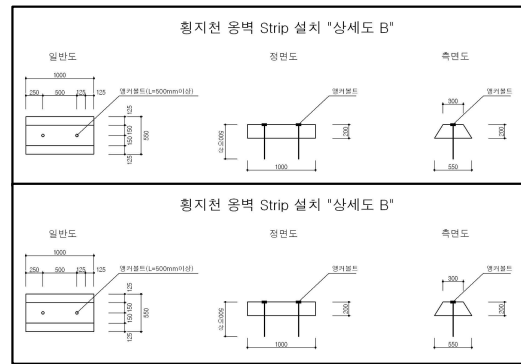


그림 7 돌출줄눈 저감장치 상세도

□ 산지하천 하안 세굴방지를 위한 수제공법 개발

- 본 기술은 하천 만곡부의 흐름을 제어하는 하천 만곡부 국소세굴 및 하안침식을 위한 수제공법에 관한 것으로서, 하천 만곡부의 내안과 외안 사이에 위치한 강바닥에 다수 개의 수제블록을 장착하여 하천 만곡부에 위치하는 외측 기슭의 세굴과 내안의 퇴적을 경감시킬 수 있도록 한 것이다.
- 본 기술에 관한 수리적 안정성 검증을 위하여 수치해석을 수행하며, 공법의 현장 적용성 검토를 위한 시범 구축, 모니터링을 통한 문제점 분석 및 보완을 통한 실용화를 목적으로 한다.
- 기술분류체계는 EI-11-05(자연재해저감기술)이며, 하천 만곡부에서는 원심력에 의한 2차류와 유수의 집중·발산 등에 의해, 외안부근의 강바닥이 세굴되고 내안기슭에서는 토사가 퇴적된다. 외안 부근의 강바닥 세굴은, 외안에 흐름의 집중과 유속의 증대를 초래하고 하안 침식의 원인이 된다. 이를 해결하기 위해, 만곡부에서의 흐름을 제어하는 수제를 설치하여 외안 강바닥의 밑다짐공 규모 및 내안 강바닥의 퇴적고를 모두 작게 하여, 안전한 하도를 형성하게 한다.

- 날개형태의 수제균을 외안을 향하여 강바닥에 설치해, 수제 자체에 걸리는 유체력(양력)을 적극적으로 이용하고, 원심력에 의한 2차류에 역방향의 회전을 가지는 2차류를 발생시켜, 만곡부 외측기슭의 세굴과 내안의 퇴적을 경감시킨다. 하안에 직접 시공하지 않고 하안에의 침식력을 완화하여, 강바닥 세굴을 경감하기 때문에 하안의 수변환경을 보전하는데 있어서도 유효한 방법이다. 또한, 세굴영역인 외안을 보호하기 때문에 호안 등에 설치하는 밑다짐공 블록의 규모를 줄일 수 있다.

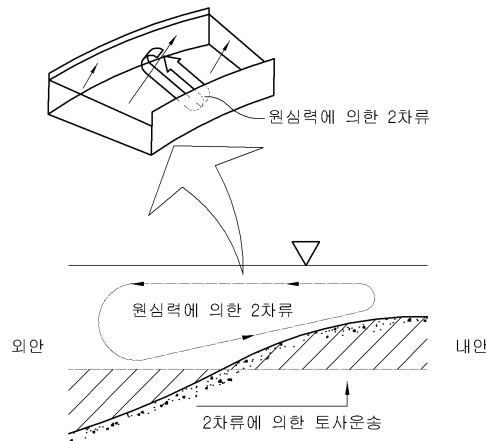


그림 8 그림 만곡부의 원심력
2차류에 의한 하상 세굴

□ 토석류 제어공법 실용화

- 본 기술은 투과형 사방시설이며, 유목 및 부유잡물의 차단 효과와 더불어 산사태 토석류 발생시 자연적으로 지하수위 조절이 되는 중력식 사방댐이 될 수 있는 공법이다.
- 상류부에 설치시 산사태 및 지반붕괴로 인한 토사가 토석류로 발달하기 전에 에너지 감소 및 주요 토석류 발생 요인 제어를 통해 토석류 발생을 억제함을 목적으로 개발하였으며, 지반, 연결부, 구조체로 모듈화하여 시공 및 교체 등의 유지관리가 용이하도록 고안하였으며, 적용대상지의 환경에 따라 배치 열, 행의 수를 조절하여 효과적으로 토석류의 에너지를 감소토록 하였다.
- 산사태 토석류에 의해 발생하는 토사재해를 저감시키기 위한 기술로써 기술분류체계는 EI-11-05(자연재해저감기술)이다.



그림 9 실규모 토석류실험 공법 적용

2절 기술개발의 필요성

□ 산지하천 만곡부 유속저감 옹벽호안 기술 실용화의 필요성

- 시험구역에서 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 기술이 필요하다.
- 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. 이러한 산지하천 만곡부수층부의 대부분은 내구성이 뛰어난 매끄러운 표면의 콘크리트 옹벽 호안을 사용하여 흐름유속을 증가시키는 결과를 초래한다. 따라서 돌출줄눈과 같은 유속저감 기술을 접목한 옹벽호안 기술이 필요하다.
- 수리실험을 통해 돌출줄눈의 흐름저항 증가폭은 돌출줄눈 설치간격이 줄눈폭 길이의 9~12배의 범위에서 상대적으로 크다는 사실을 확인되었다. 세로돌출줄눈에 의한 흐름저항은 대부분 형상저항에 의한 것이며 측벽의 세로돌출줄눈은 흐름저항을 증가시키고 최대유속의 발생위치를 수로의 횡단면 중앙방향으로 이동시키는 수단으로 사용될 수 있을 것이다.
- 유속저감 기술을 접목한 옹벽호안 기술인 돌출줄눈 옹벽호안 공법은 강릉원주대학교 (2013)에 의해 제시되었고, 현재 만곡부수층부 수해 피해 지역인 태백황지천에 시범 설치되어 있는 상태이다. 그러나 현장에 설치한 돌출줄눈 옹벽의 설치효과와 성능분석이 이루어지지 않은 상태이다. 따라서 유속저감 옹벽호안 공법을 실용화하기 위해 재료와 규모의 정량화가 이루어져야 한다.

□ 산지하천 하안 세굴방지를 위한 수제공법 개발

- 2000년대 들어 이상기후 및 집중호우 등에 의한 단시간의 홍수집중에 의한 피해가 반복되고 있으며, 대하천을 중심으로 제방보강 등 사업이 꾸준히 이루어지고 있다. 그러나, 산지하천에 대해서는 그 피해빈도나 규모에 비해 치수사업이 잘 이루어지지 않고 있다.
- 특히, 강원도 지역은 전체 면적의 89%가 산지로 되어 있으며, 주요 도로가 산지하천에 접하여 있는 경우가 많고, 만곡부가 많아 하천 및 도로, 인근 주거지에 피해가 발생하고 있어 보다 적은 비용으로 선제적인 치수사업이 필요한 실정이다.
- 일반적으로 하천 만곡부에서는 하천 흐름의 원심력에 의한 2차류와 유수의 집중 · 발산 등에 의해, 외안 부근의 강바닥이 세굴되어 내안기슭 부근에서는 토사가 퇴적되며, 하천 만곡부의 외안 부근의 강바닥의 세굴은 외안에 흐름의 집중과 유속의 증대에 따른 하안 침식의 원인이 된다.
- 이를 경감하기 위해 제방이나 하안에 주로 호안이나 밀다짐공법 등이 시공되어 왔으나, 시설물의 설치 전 · 후를 비교하여 하도의 상황이 심하게 변화되고 있어, 시설 호안의 안전성의 저하 및 수제공의 효과 저감이 나타나고 있다.
- 이러한 과제를 해결하기 위해 확실한 역학 원리에 근거한 합리적이고 안전하며 비용대

비 효과가 뛰어난 방법에 의한 효율적인 정비가 요구되고 있는 실정이다.

- 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 하천 만곡부의 외안과 내안 사이에 위치한 강바닥에 다수 개의 수제블록을 날개형으로 장착하여 외측 기슭의 세굴과 내안의 퇴적을 경감시킬 수 있도록 하는데 본 기술의 목적이 있다.
- 또한, 외안 강바닥의 밑다짐공 규모 및 내안 강바닥의 퇴적고를 작게 하여 안전한 하도를 만들 수 있는 효과가 있을 뿐만 아니라 여울 및 소가 하도의 중앙에 모이도록 하여 물고기 등의 수생 생물이나 강의 생태계에 수역을 만들 수 있는 효과가 있다.
- 또한, 호안이나 밑다짐 블록보다 저렴하고, 수제를 이용하여 세굴심을 제어하며 호안에 미치는 부담을 줄임으로써 시공비를 작게 할 수 있어 경제적으로 유리한 효과가 있다.
- 한편, 국토교통부 소관 지역기술혁신사업의 ‘산지하천도로 후우피해 방지를 위한 수충부 및 토석류 방재설계 선진화 기술개발’ 과제에서 “하천 만곡부 국소세굴 및 하안침식방지 수제블록과 이를 이용한 날개형 수제공법(2010, 한국종합기술)”으로 특허를 취득하였으나, 현장에 시범적용이 이루어지지 않아 실용화되지 못한 바 있다.

□ 토석류 제어공법 실용화

- 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, 중력식 사방댐 건설과 같이 토석류 흐름 저감 공법 및 토사유출을 통한 하류 농지피해 방지에만 치우쳐 있는 국내 방재 산업의 영역도 확대될 것으로 기대된다.

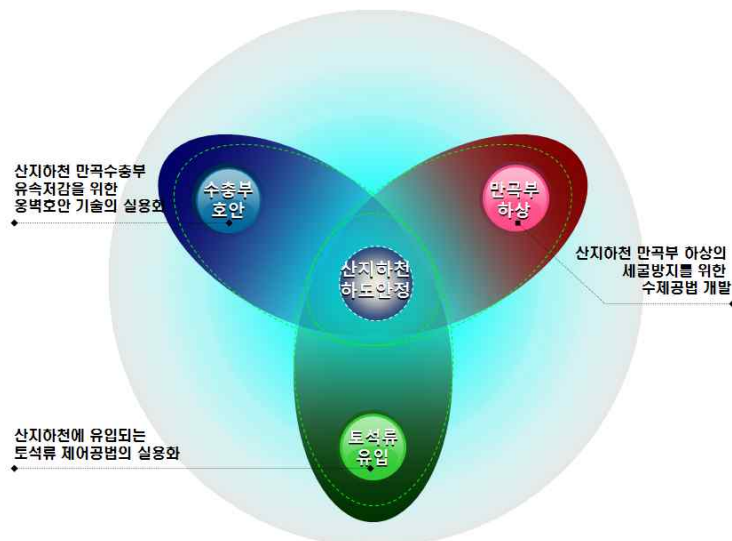


그림 10 산지하천 하도안정을 위한 실용화기술 개발의 필요성

제 2 장 국내외 동향 및 환경분석

1절 국내외 정책동향

□ 국내외 산지하천 호안 및 하안 기술 정책동향

- 일본은 우리나라보다 산세가 험하고 지각활동이 매우 빈번하게 발생하여 산사태 및 토석류가 다발적으로 발생되고 있어 그에 대한 사방 및 호안설계에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 호안 및 수제설치에 관한 객관적인 방법을 제시하고 있으며, 설치에 의한 다양한 사례를 보유하고 있다.
- 일본에서는 최근에는 수리학적 개선 효과 뿐 아니라 환경적인 개선효과를 동시에 고려한 설계기술이 개발되고 있으며, 중국 또한 다양한 설치사례 분석 및 실험을 통해 수제설계 기술에 관한 이론이 잘 정립되어 있는 것으로 알려져 있다.
- 조현국 등(2009)에 의하면 미국은 수제의 한 형태인 베인을 설치함으로 인해 발생하는 2차류를 이용하여 양안에 토사퇴적을 유도하는 등의 방법이 많이 사용되고 있으며, 호주에서는 수제설치를 위한 구체적인 현장조사 방법 및 인자별 가이드라인이 발간되어 있다.
- 국내에서는 국립건설시험소(1987)에서 수제를 이용한 세굴방지에 관한 실내실험을 실시한 이래로 강준구 등(2006)에 의해 건설기술연구원에서 수제 주변의 흐름특성에 관한 실험을 실시한 바 있으며, 강준구 등(2009)에 의해 수제 주변의 2차원 수치해석 등을 다수 시행한 바 있으나, 이들 결과를 바탕으로 한 수제 설계기술 등이 설계기준 등으로 체계화되어 있지는 않다.
- 하천설계기준(2009, 한국수자원학회)에서는 제25장에 수제편을 수록하여 수제의 기능, 종류, 설치위치, 설계방법, 수제공법 등을 소개하고 있으나, 대부분 수제에 관한 일반사항을 설명하고 있으나, 수제의 설치 목적에 따른 적절한 설계방법을 포함하고 있지 않으며, 그 외에도 수제와 관련한 현장 설치사례, 모니터링 결과 등에 관한 논문, 지침 등의 국내에서는 부족한 실정이다.

□ 국내외 토석류 대책공법 정책동향

가. 일본의 토석류 대책에 관한 설계법

① 토석류 대책공법

- 일본에서는 토석류 대비책으로 토석류 발생이 예상되는 구간에 사방댐을 설치하여 피해를 예방하고 있으며, 그 설계방법은 그림# 과 같다. 크게 계획규모의 설정, 토석류·유목의 처리계획 책정 및 제석계획으로 나누어 검토하고 있으며, 일본의 토석류 대책공법을 보면 향후 퇴적된 퇴석류를 제거하기 위한 방법까지 검토하여 사후 정책에 대해서도 고려하고 있다(國土交通省, 2007).

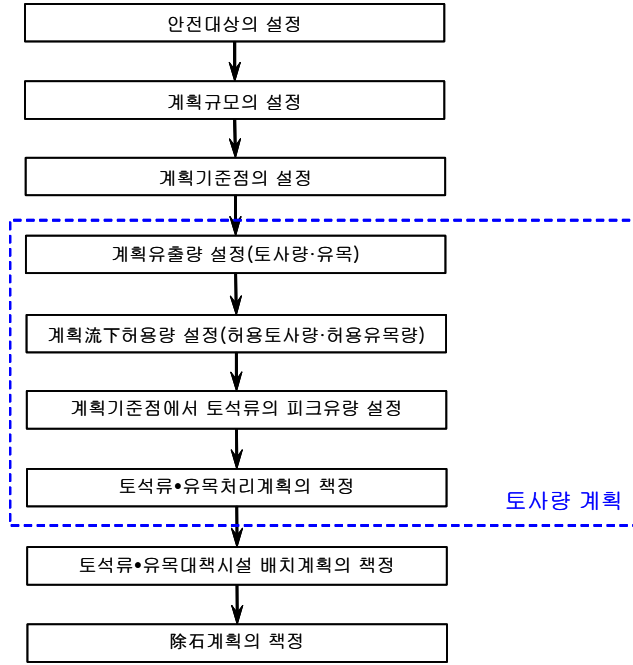


그림 11 일본의 토석류·유목대책계획
(國土交通省, 2007)

② 계상구배 기준에 따른 토사이동 형태

- 토사이동 형태에 영향을 미치는 계곡 하상의 경사를 기준으로 그림 7과 같이 토석류의 농도 적용한계를 고려한다. 계상퇴적토사의 내부마찰각 이 30~40°에서 분포할 경우 계상구배의 실질적 분포 범위는 17~24°의 범위이다. 계상구배 기준에 따른 토사이동 형태를 살펴보면(그림 8) 토석류의 발생구간은 15°~24°이며, 유하구간은 10°~20°이며, 퇴적구간은 10°이하인 것을 알 수 있다.

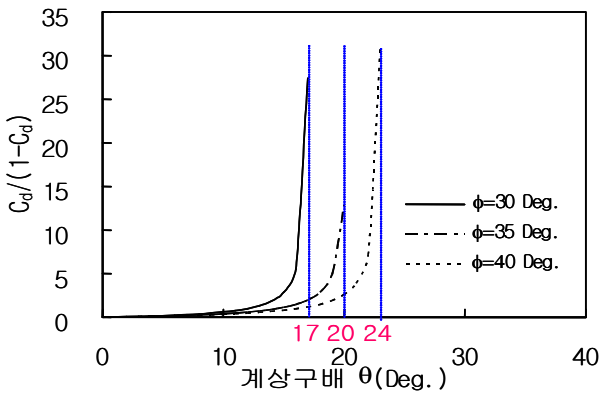


그림 12 계상구배의 증가에 따른 토석류 농도의 적용한계

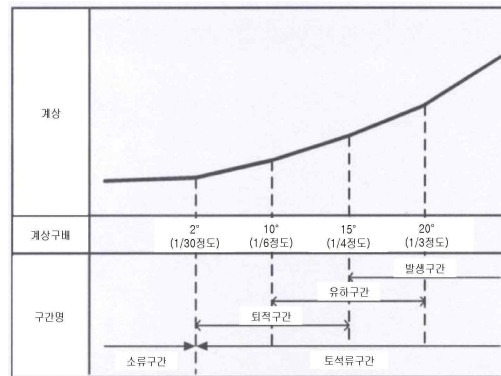


그림 13 계상구배 기준에 따른 토사이동 형태

- 토석류의 흐름은 물과 흙 흐름의 중간적 거동을 하는 것으로, 일본에서 토석류·유목 대책에 관한 설계법을 분석하여 보면 매우 많은 입력인자들이 사용되고 있지만 아직까지 정확한 분석이 수행되지 못하여 경험에 의존하여 설계를 하고 있음을 알 수 있었다. 향후 이에 대한 분석을 수행하여 좀 더 합리적인 설계가 이루어질 필요가 있다.

나. 불투과형 사방댐에 대한 설계기준 분석

○ 토석류 설계기법 분석

- 토석류에 의한 인적, 재산상의 피해를 방지 혹은 최소화 하는 일반적인 방법의 하나로 토석류 흐름 진행방향에 대한 인공 사방댐을 설치하는 방안이 있다. 국내외 사방댐 설계를 위한 순서를 살펴보면 계획규모의 설정, 토석류·유목의 처리계획 책정 및 제석계획으로 대별할 수 있으나(그림 9), 우리나라의 경우 선진국에서 고려하고 있는 퇴적된 토사를 제거하기 위한 방법까지는 아직 포함하고 있지 못하는 현실이다. 참고로 일본에서 사용되고 있는 토석류 발생구간에 따른 사방댐 선정기준은 다음과 같다(國土交通省, 2007).

㉔ 계상구배 15°이상인 토석류 발생구간 : 토석류 및 유목 발생 억제

㉕ 계상구배 10~20°인 토석류 발생구간 및 계상구배 2~15°인 퇴적구간 : 토석류 및 토사, 유목 포착 / 제석 / 평상시 계상유지관리

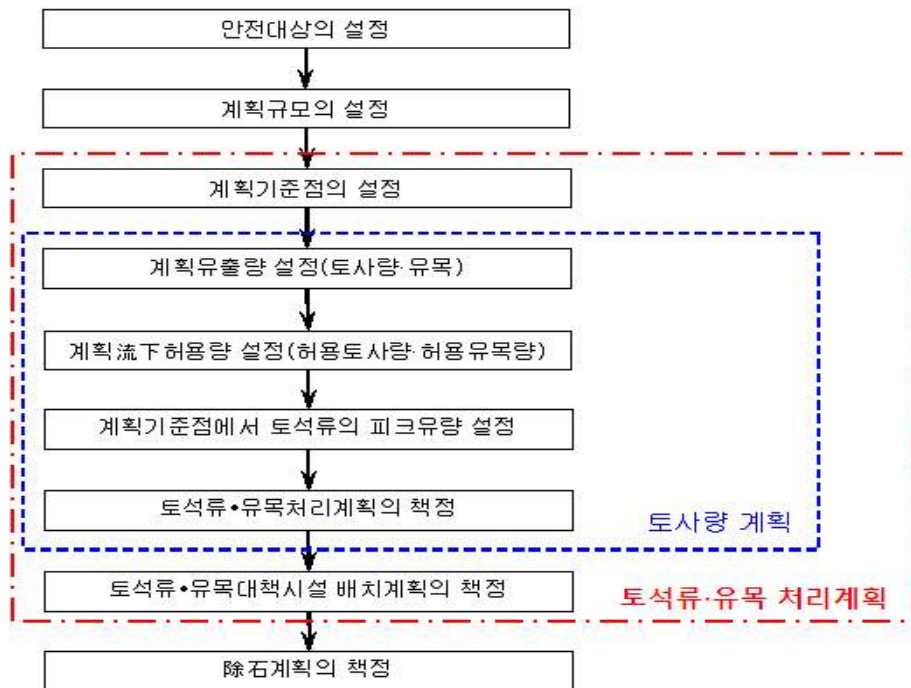


그림 14 일본의 토석류·유목대책계획(國土交通省, 2007)

○ 불투과형 사방댐 설계 방법에 대하여 국내 설계 수준을 향상시키고자 일본의 최신의 설계 자료를 분석 비교, 검토하여 보았다. 불투과형 사방댐 설계방법 분석 결과, 계획 유출토사량 산정 방법도 결국 추정된 토석류 발달 사면의 면적에 토석류 발달 예상 구간 (연장)을 곱하고 그 체적값에 보정치를 적용하여 사용하고 있으며, 토석류 피크유량도 토석류 총유량의 1%로 추정하는 등 토석류의 역학적 거동 분석보다 경험에 의존한 설계를 수행하고 있는 실정이다. 향후 개선 사항으로서는 선진국에서 시행하고 있는 제석계획을 우리나라도 설계기준에 반영하여 퇴적 토석류에 대한 보다 섬세한 사후관리를 시행해야 할 것으로 사료된다. 또한, 불투과형 사방댐 설계기준 적용시 구체적이

고 상세한 계산식에 의한 토석류 산정 및 사방댐 설계에 국한시키기 보다는 합리적인 설계를 통한 효과적인 토석류 관리가 시급한 것으로 판단된다.

다. 투과형 사방댐의 설계법과 국내현황

○ 투과부의 구조검토

- 투과부 부재는 설계외력에 대해서 안전해야 함으로 일부 부재가 파손된 경우에도 사방댐 전체가 붕괴되지 않도록 설계하여야 하며 가능한 한 충분한 여유가 있는 구조가 좋다. 이와 관련하여 다음과 같은 항목에 대하여 검토하여야 한다. 한편, 토석류 포착의 목적으로 배치된 기능부재 중에서 구조물의 변형을 막기 위한 구조부재가 아닌 것은 토석류 포착이 가능하다면 소성변형을 허용할 수도 있다.
 - ㉠ 토석류 유체력 및 퇴사압에 대하여 각 부재강도의 검토
 - ㉡ 온도변화에 의한 온도응력에 대한 각 부재강도의 검토
 - ㉢ ㉠ 및 ㉡에 대한 접합부 강도의 검토
 - ㉣ 암석·유목의 충돌에 의한 각 부재강도의 검토
- 투과형 사방댐의 설계 방법과 국내외 시공사례를 살펴보면, 국내에서도 다양하고 많은 사방댐이 시공되고 있음에도 불구하고 설계방법에서 불분명한 점이 많이 나타나고 있다. 해외의 선진 기술자료 및 국내의 토석류 피해 사례, 사방댐 설계자료 등을 좀 더 비교 분석하여 보다 합리적인 사방댐 설계방법을 제시할 필요가 있다.

라. 사방댐 설계방법의 문제점과 대책방안

- 국내 사방댐 설계 및 유지관리에 관한 현황 및 문제점을 살펴보면 다음과 같다.
 - ① 사방댐 좌표가 상이하여 현장 조사 시 사방댐의 위치를 확인하는 점이 매우 곤란하였다. 이러한 점은 향후 유지관리측면을 고려할 때 시급히 개선되어야 할 부분이다.
 - ② 사방댐 배면에 토석류가 퇴적된 지역이 많았으며 이에 대한 처리가 미흡한 것으로 보였다. 향후 추가적인 토석류 유입으로 인한 overflow하거나 사방댐 붕괴 등과 같은 구조물 위험이 발생할 수 있다.
 - ③ 현장조사 시 옹벽 전면부에 침투수 발생지역이 있으며, 이는 옹벽의 구조적 안정성에 문제를 발생시킬 수 있으며, 이에 대한 대책으로 침투수량의 감소나 우회 시키는 방안, 차수 대책 등과 같은 개선책이 필요하다.
 - ④ 퇴적된 토석류의 제거, 사방댐의 보수·보강과 같은 지속적인 유지관리가 필요하며, 이를 위한 장비 투입용 도로확보 등도 마련해야 한다.

표 1 사방댐의 문제점 및 개선사항

문제점	개선방향
GPS 좌표가 상이(위치 확인 곤란)	⇒ 좌표 재정리 필요
퇴사물의 축적으로 인한 사방댐 기능저하	⇒ 퇴사처리 필요
사방댐 전면부에서 침투수 발생	⇒ 침투수량 저감, 우회, 차수 등 대책 수립
유지관리 필요	⇒ 퇴사처리 및 보수보강용 방안 필요



그림 15 퇴적토사 축척된 사방댐

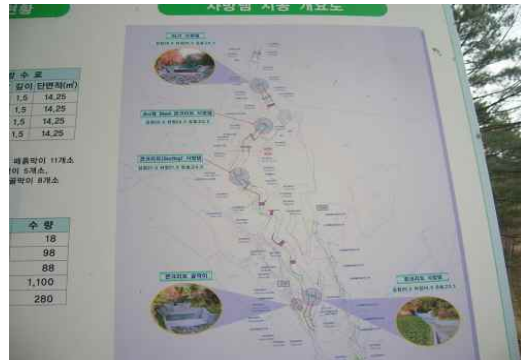


그림 16 중복 설치된 사방댐 현황

- 문헌조사 및 국내 강원권내 사방시설을 살펴보면, 설치된 사방댐 위치 불분명, 퇴적된 토석 유송잡물 제거 미비, 사방댐 전면부 침투수 발생 및 유지관리 도로 시설 미비 등과 같은 문제점을 가지고 있으며 이에 대한 대책이 필요하다.
- 지구온난화로 인하여 우기시 강우강도가 더욱 커지고 강우빈도도 증가하고 있으므로, 체계화된 신기술 사방공법이 필요하다. 또한 사방댐 설계 및 유지관리에 관한 지속적인 연구를 통하여 국가적 피해를 예방할 수 있는 설계 자료가 구축되어야한다.

마. 국내외 산사태 재해저감 전략

- 자연사면에서 유발되는 산사태 및 토석류에 대한 관련기술은 주로 재해평가와 관련되어 있으며 교육과학기술부, 산림청, 소방방재청 발주 연구과제 및 한국지질자원연구원, 산림과학원, 국립방재연구원 등의 연구기관을 중심으로 연구개발이 이루어지고 있다. 절개사면 및 도로사면 등의 인공사면의 경우 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원에서 발주하는 연구개발사업을 통해 상지대학교, 한국시설안전공단, 한국건설기술연구원, 한국도로공사, LH연구원 등에서 연구개발이 수행되고 있다.
- 특히, 자연재해방재기술개발사업을 통하여 확률론적 산사태 예측기술과 산사태 예측도 작성기술 개발에 주력하고 있으며, IT분야 기술 통합화를 위한 기본적인 전략에 따라 관련 자연재해를 포괄하는 IT분야도 통합화를 위해 필요한 부분에 대한 연구개발에 주력하고 있다.

- 미국에서는 미지질조사소(USGS)를 주관기관으로 산사태 재해 프로그램을 수행하고 있으며, 국가산사태 재해 저감전략을 수립하여 예측기술연구, 각종 산사태재해도 작성 및 평가, 실시간 경보시스템 구축, 위험도 평가, 자료 배포·확산 시스템 구축 등에 관한 연구를 수행하였음. 또한 ‘지질재해 평가’ 프로그램 중 산사태재해 연구수행, 미국 전역을 대상으로 광역적인 산사태 취약성 평가 및 산사태 발생 가능지역 지도 작성 연구 수행, 세부 기술개발 단계로 산사태발생 가능지역을 상시 감시하고 산사태에 대한 조기경보 체계를 구축하였음. 사면을 설계할 경우 표준경사를 적용하지 않고 비탈면의 안정성 분석을 실시하여 그 결과에 따라 사면을 설계하도록 규정하고 있다.
- 일본에서는 교토대 방재연구소(DPRI)를 주축으로 UNESCO와 공동으로 국제 산사태 컨소시엄(ILC)을 주도하여 세계문화유산지역의 산사태 피해예측 및 예방을 위한 국제공동연구(IPL)를 수행 중에 있으며, 방재과학기술연구소(NIED)는 연간 약 150억원의 예산으로 산사태 지형분포도 작성, 강우강도에 따른 산사태 발생특성 규명을 위한 대형 실내 모형실험 연구, 토사재해 위험성 평가 및 피해영역 예측연구 수행 중에 있다.
- 홍콩에서는 지리적 특성상 자치구내에 많이 분포하는 정부소유 및 개인소유 사면에 대하여 홍콩정부 토목공정처(GEO)가 주도하여 1995년부터 2005년까지 총 24조원의 예산으로 국가차원의 “산사태방지대책(LPM)”을 수행하여 홍콩 내 59,500개 사면의 정보 DB를 구축하고 사면붕괴 방지를 위한 대책을 시행하고 있다. 또한 토목공정처(GEO)는 산사태 위험등급도를 작성하였고, 사면경보시스템(Landslides Warning System)을 가동 운영하고 있으며, 사면 붕괴에 의한 인명과 재산상 손실저감, 한정된 영역에서 도시개발 극대화를 위한 지반 안정성 확보, 사면 안정성 평가 및 보강을 위한 방법 등의 표준화에 앞장서고 있다.
- 대만은 1983년부터 1997년까지 4년 간격으로 3단계에 걸친 재해저감프로그램을 수행하였고, 1999년부터 2007년까지 2단계에 걸쳐 국가과학위원회(NSC)의 예산으로 정부주도의 재해경감을 위한 국가 과학기술 프로그램(NAPHM)을 수행하고 있다. 특히, 2003년 7월 대만 정부주도의 자연재해 경감을 위한 국가과학 기술프로그램(NCDR)을 개설하고 대만 전역에 대한 각종 지질재해 연구와 대책을 수립하였다. NCDR은 산사태 재해저감을 위해 전국을 485개 토석류 하천의 권역을 나누어 등급을 부여하여, 이들에 대한 DB구축과 산사태 발생가능성 평가에 대한 GIS 시스템을 완성, 산사태 취약성 평가 단계에서 벗어나 산사태에 의한 위험성 평가 기술을 개발하였다.
- 캐나다에서는 정량적 산사태 예측을 위한 산사태 발생 모델을 개발하고, 확률론적 산사태 가능성을 연구로부터 시공간적 산사태 발생확률을 예측하고 있다.

2절 국내의 시장현황 및 전망

□ 하천정비 및 호안공법 시장현황 및 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.
- 강원도는 약 89%가 산지로 이루어져 있으며, 대부분의 하천이 경사가 급하고 만곡수충부가 많이 발달되어 있는 지형과 지질적인 특성을 갖는다. 따라서 홍수 시 유속이 매우 빠르며, 만곡수충부의 수위상승이 크고, 하상변화가 심하다.
- 강원도 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.
- 국립방재연구소(2004)는 하천 만곡부 안전설계를 위하여 소하천의 홍수피해가 발생된 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 유수량 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 설계 시 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 2 하천정비 및 호안공법 관련 연간 시장규모(국토교통부, 2013) (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
하천정비및 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
하천유동 분석 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

□ 토석류 대책공법 시장현황 및 전망

- 현재 국내에서의 토석류 방지대책인 사방댐은 설치 및 유지관리 비용이 많이 소요되며, 충격에 의한 파손이 많아 장기적으로 내구성이 약한 문제점이 있다. 본 연구를 통해 특히 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 통한 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 억제하기위한 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.
- 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 기역에 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.

- 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 전문업체들이 실험의뢰를 문의해오고 있다.
- 향후 본 장비를 연구목적으로 사용시 국내 토석류 연구에 활력을 불어 넣을 수 있을 것으로 예상된다.
- 해외의 다양한 사례에 비해 국내에서는 수제와 관련한 설계기준 및 가이드라인 등이 부족하며, 설치사례 또한 많지 않다. 따라서 수제 설치시 수제에 의한 수위상승영향 외에 별다른 수리검토를 실시하고 있지 않으며, 정형화된 설계기준을 따르고 있지 않아 설계자, 시공자에 따라 수제의 완성도에 차이가 있다.
- 주요 기업에서 생산하는 제품은 자연재료를 이용한 생태서식지 제공 등에 초점이 맞추어져 있으며, 수제의 본연의 기능인 국소세굴 및 하안침식을 위한 수제공법, 또한 이를 검증하기 위한 수리검토 등이 수반되지 않고 있다. 따라서 만곡부의 특성을 반영한 수제 설치공법을 개발하고, 이를 수치해석 및 현장 설치, 모니터링을 통해 적용성을 검토하고, 결과를 바탕으로 실용화한다면 특히, 산지하천에서의 수리적 안정성 확보 및 환경친화적인 하천 조성에 널리 사용될 수 있을 것으로 기대된다.
- 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. 하지만 실제 산지에 설치되고 있는 사방댐은 토사유출 방지를 목적으로 한 중력식 사방댐 과 슬릿형 사방댐 또는 두가지를 결합한 사방댐이 대다수이며, 보편적으로 사용되는 제품으로 신공법 적용이 거의 전무한 실정이다.
- 최근 강재틀 사방댐과 같은 투과형 사방댐의 시범적 적용이 점차 늘어나고 있어, 본 공법의 적용성도 충분히 고려될 여지가 있으며, 향후 사방댐의 설치 목적이 토사유출 방지 목적보다 토석류 제어용 사방댐으로 거듭 발전할 수 있을 것으로 판단된다.

3절 기술(특허, 논문 등) 동향

□ 산지하천 만곡부 유속저감 기술 동향

○ 논문동향

(가) 신승숙, 박상덕, 이승규, 지민규 (2012), 만곡하천의 자갈하상재료 분포에 따른 한계수류력 평가, 한국수자원학회논문집

- 만곡부에 대한 평균입경은 상류 유입수의 1차 수충지점에서 가장 컸으며, 반사흐름에 의한 2차 수충지점에서 두 번째로 큰 입경을 보였다. 수충 직하류 지점들에서 상대적으로 작은 평균입경을 보였다. 만곡부의 평균한계유속 범위는 0.77~2.60m/s의 범위이며, 한계단위수류력은 경사가 급한 1차 수충부에서는 상당히 컸다. 한계수류력의 분포는 7~171W/m²의 범위로 하천 횡단보다는 종단에 따른 변화가 뚜렷했고, 만곡 외측 1차 수충지점과 반사흐름 2차 수충지점에서 크게 작용하는 것으로 평가되었다.

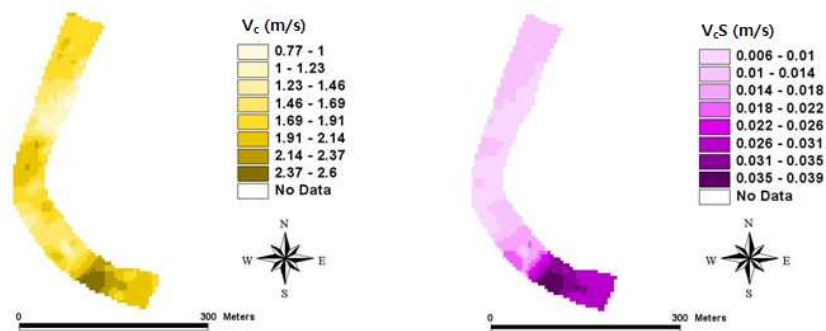


그림 17 산지하천 만곡수충부 평균한계유속과 한계단위수류력 분포도

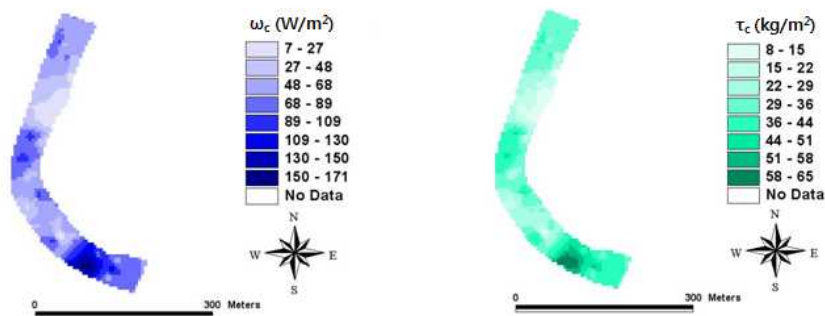


그림 18 산지하천 만곡수충부 한계수류력과 한계소류력 분포도

(나) 박상덕, 지민규, 남아름, 우태영, 신승숙 (2013). 개수로 측벽 세로돌출줄눈의 흐름저항, 한국수자원학회논문집

- 흐름저항의 증가폭은 돌출줄눈 설치간격이 줄눈폭 길이의 9~12배의 범위에서 상대적으로 더 크게 나타났다. 세로돌출줄눈에 의한 흐름저항은 대부분 형상저항에 의한 것이며 그 등가조도높이는 수심규모로 발생할 수 있고 흐름저항에 미치는 영향이 매우 크다. 측벽의 세로돌출줄눈은 흐름저항을 증가시키고 최대유속의 발생위치를 수로의 횡단면 중앙방향으로 이동시키는 수단으로 사용될 수 있을 것이다.

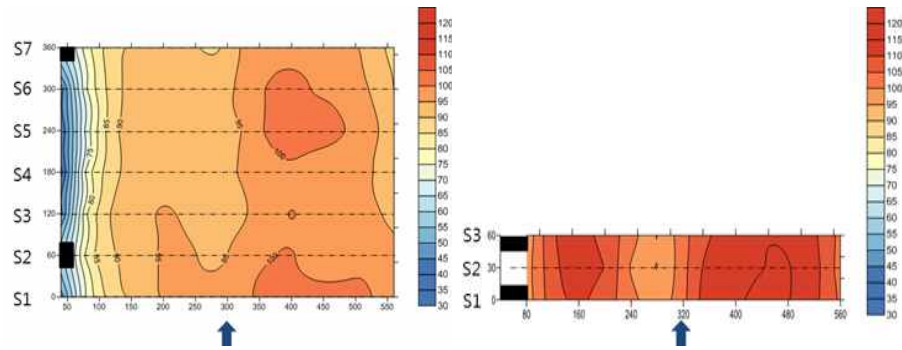


그림 19 유속저감장치 수리실험 결과 (평면 및 횡단면 유속분포)

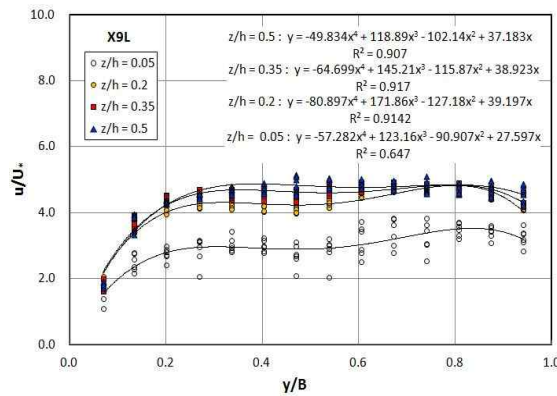


그림 20 돌출줄눈 설치 간격 줄눈폭 길이의 9배 일 때 무차원 유속분포

(다) 박상덕, 이승규, 신승숙, 조재웅 (2015), 산지하천 만곡부의 편수위 산정, 한국수자원학회논문집

- 산지하천 만곡부의 편수위를 산정할 수 있는 기법을 제안하고, 편수인자들의 곱으로 편수위계수를 정의하였다. 양양남대천 만곡부에서 측정된 편수위와 90° 만곡 자갈하상에 대한 수리실험에서 측정된 편수위를 이용하여 편수인자별 영향인자 값을 제시하였다. 또한 내린천 만곡부에서 측정된 편수위를 이용하여 편수위 산정기법의 적용성을 검증하였다.

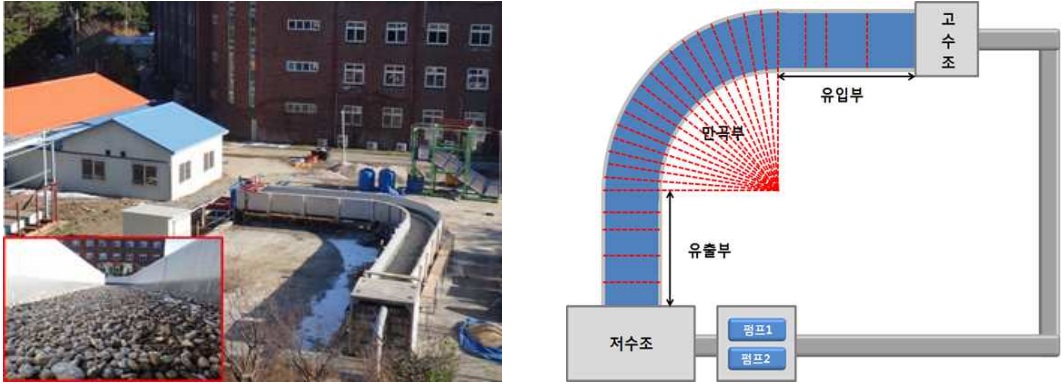


그림 21 만곡부 편수위 수리모형 실험장비

표 3 산지하천 만곡부 편수위 계수 영향인자

Factors	Influence factor	Range	Value
Trans-factor (Cs)	Cross Section (Csc)	$C_s = 1 + \frac{\tan\theta}{(W_a + W_o)/2 - \tan\theta}$	-
Bed factor (Cb)	Approach Channel Slope (Cbsa)	< 0.002	2.10
		0.002 ~ 0.005	2.00
		0.005 ~ 0.01	1.50
		0.01 ~ 0.02	1.00
		> 0.02	0.60
	Bed Material Size (Cbm; d_{84} (m))	< 0.032	0.85
		0.032 ~ 0.064	1.00
0.064 ~ 0.128		1.25	
	0.128 ~ 0.256	1.75	
	> 0.256	-	
Plane factor (Cp)	Bend Angle (Cpc; °)	< 30	0.30
		30 ~ 70	0.60
		70 ~ 110	1.00
		110 ~ 150	1.10
		> 150	1.20
	Width Ratio (Cpw; W_o/W_i)	< 0.8	3
0.8 ~ 1.2		2	
	> 1.2	1	
Flow factor (Ct)	Approach Channel Froude Number (Ctf; Fr No.)	< 0.2	5.00
		0.2 ~ 0.4	3.00
		0.4 ~ 0.6	1.50
		0.6 ~ 0.8	1.20
		0.8 ~ 1.0	1.00
		1.0 ~ 1.1	0.90
		1.1 ~ 1.2	0.8
> 1.2	0.5		

○ 특허 및 기술 실시 동향

- 박상덕, 양은익 (2013) 하천용 옹벽1, 특허등록
- 박상덕, 양은익 (2013) 하천용 옹벽2, 특허등록
- 기술 시범 적용 유속저감시설, 태백황지천 만곡수충부 수해 피해 현장 (2012)

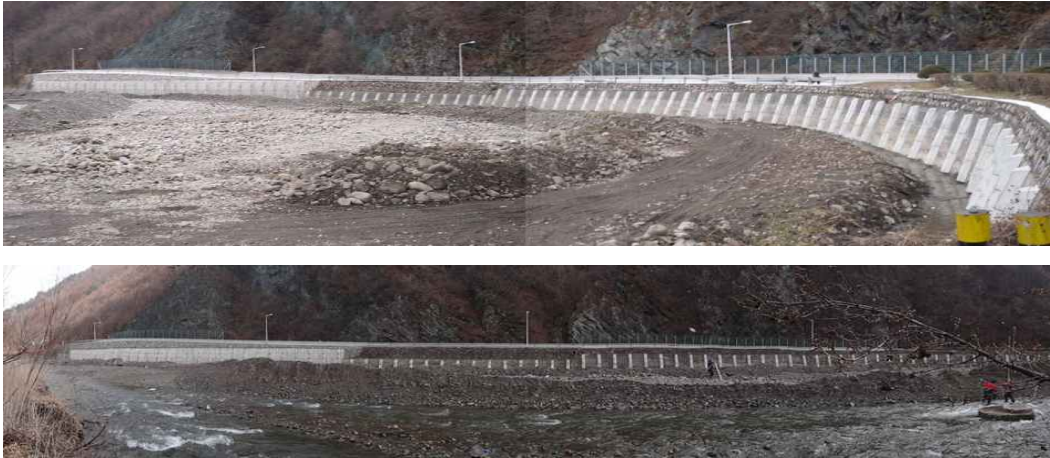


그림 22 유속저감시설 시범설치 전경(태백황지천 수해피해 복구현장)

□ 하천 만곡부 하안 세굴 방지를 위한 수제공법 개발기술 동향

○ 특허 및 기술 실시 동향

- 기술적 성과: S/W 등록 RD-RAS (호안 설계 및 평가 프로그램, 2013), 한국종합기술
- 하천만곡부 국소세굴 및 하안침식방지 수제블록과 이를 이용한 날개형 수제공법(이지원, 박병제, 권재중, 최재복)
- 기술서적
 - ① 이지원, 최재복외 (2012), 호안설계기법
 - ② 이지원, 최재복외, RD-RAS 사용자설명서
- 수제는 하천설계기준(2009, 한국수자원학회)에서 “흐름방향과 유속을 제어하여 하안 또는 제방을 유수에 의한 침식작용으로부터 보호하기 위해 호안 또는 하안 전면부에 설치하는 구조물”로 정의되어 있으며, 유로 제어기능, 하상 세굴방지 기능, 토사 최적 기능, 수위 상승 기능 등 여러 수리학적 기능을 가지고 있으나, 이러한 전통적인 목적의 수제의 설치를 쉽게 찾아 볼 수는 없었다.
- 그러나 최근 하천환경에 대한 요구가 늘어나면서 수리학적 기능 외에 환경개선 등의 목적으로 수제의 설치에 관심이 늘어나는 추세이다.
 최근의 기술동향을 살펴보면, 10년간 출원된 수제 관련 특허의 대부분이 “목재 수제 (2010, 국립산림과학원)”, “웅덩이형 수제의 시공 방법(2010, 한국건설기술연구원)”, “여울·수제 등에 적용 가능한 지하 매립형 인공 어초(2010, 한국건설기술연구원)”, “자연형 여울-소 조성을 위한 다공질 수제 구조물 및 이를 이용한 여울-소 조성방법(2013, 한국건설기술연구원)”, “투수성 수제공을 이용한 수제공 구조물과 생태호 조성 구조물 (2013, 한국건설기술연구원)” 등 자연재료를 이용한 생태서식지 제공 등에 초점이 맞추어져 있다.
- 한편, 국토교통부 소관 지역기술혁신사업의 ‘산지하천도로 후우피해 방지를 위한 수충부 및 토석류 방재설계 선진화 기술개발’ 과제에서 “하천 만곡부 국소세굴 및 하안침식방지 수제블록과 이를 이용한 날개형 수제공법(2010, 한국종합기술)”으로 특허를 취득하였으나, 현장에 시범적용이 이루어지지 않아 실용화되지 못한 바 있다.

○ 논문 동향

- 연구논문으로는 “충적하천의 수충부에서 수제에 의한 저수로 유도기법(2009, 전도석)”, “수제 주변 하상변동 특성에 대한 실험적 연구(2012, 강용구)”, “수제를 이용한 생태하천 창출기법(2009, 김근영)”, “자연형 수제의 공법 개발 - 중규모 하천을 대상으로 - (2003, 김진홍)” 등 수리학적 및 환경적인 기능으로 접근한 다양한 연구가 있으나, 공법의 현장 적용성 검토를 위한 시범 구축, 모니터링 및 실용화 사례는 거의 없는 것으로 조사되었다.

□ 토석류 발생부, 유하부, 퇴적부에 적합한 제어공법 동향

○ 토석류 제어공법 동향

(가) 토석류 제어공법 : 사방댐 구조물

- 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 제시하였다.

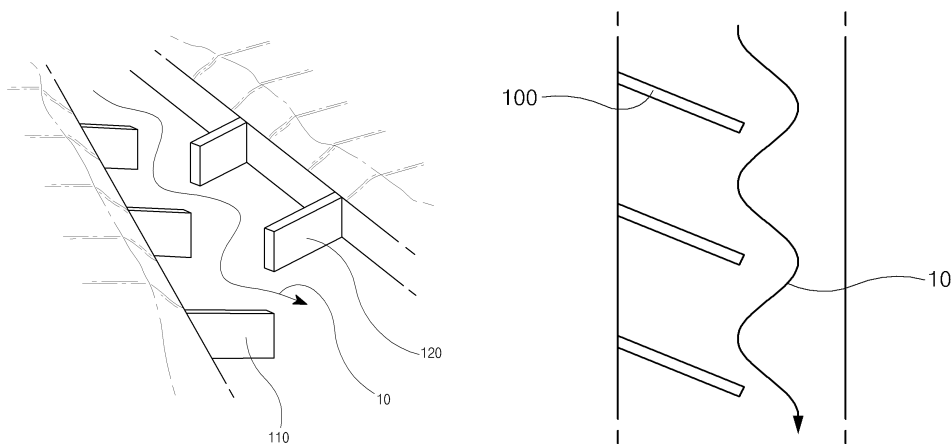


그림 23 제안된 사방댐 구조물 도면

(나) 복수의 중공형 구조체를 갖는 사방댐 구조물

- 토석류는 계곡을 따라 흘러내리는 과정에서 토사와 큰 암석 그리고 다량의 유목을 포함하게 되며, 흐름의 선단부에 이러한 큰 암괴와 유목이 집중되어 있으므로 큰 파괴력

을 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 제공하였다.

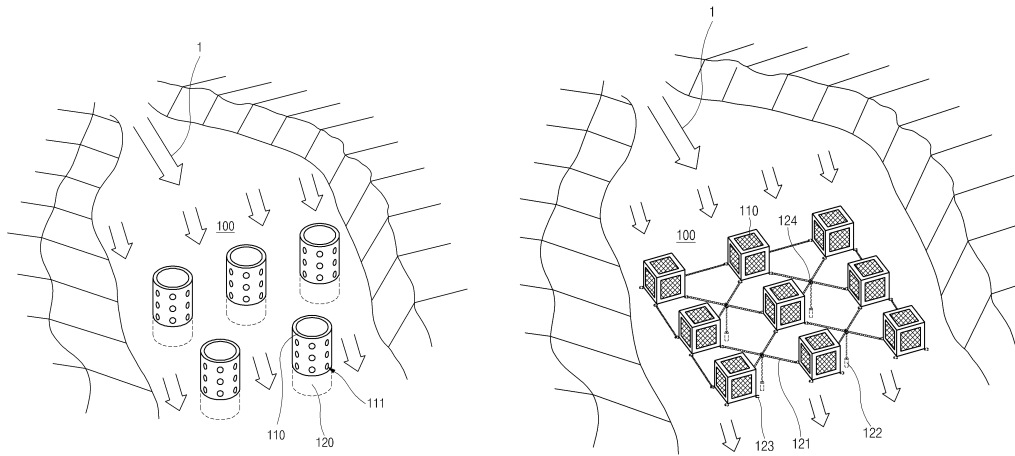


그림 24 복수 중공형 구조체를 갖는 사방댐 구조물 도면

(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.
- 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 제시하였다.

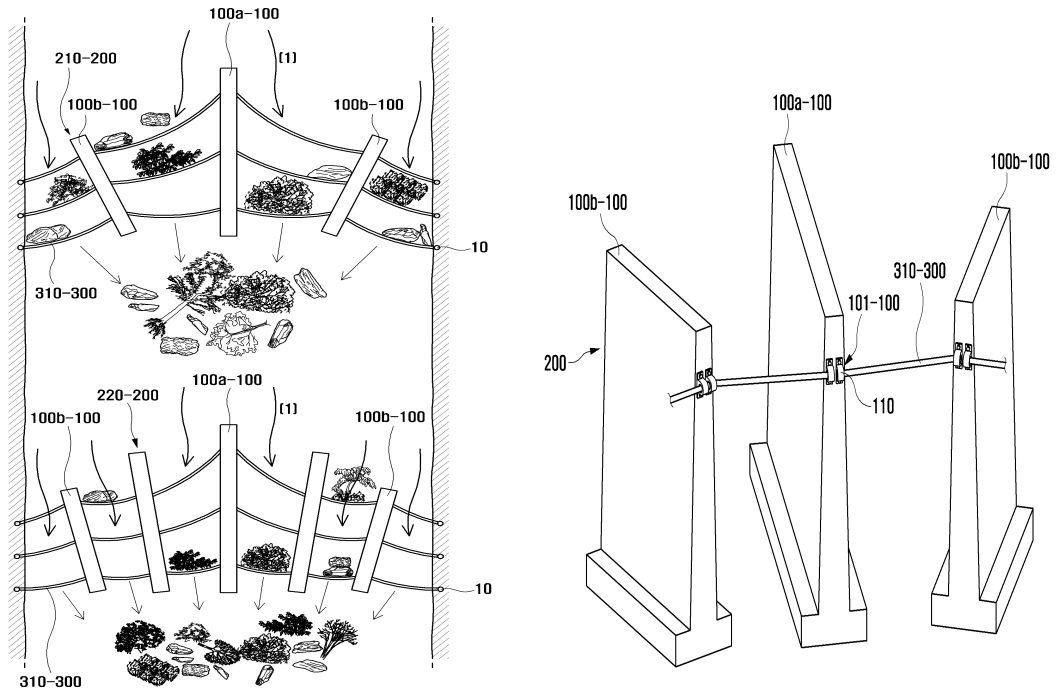


그림 25 종방향 사방댐 구조물 도면

(라) 다기능 스크린 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. 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 방해로 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 하였다.

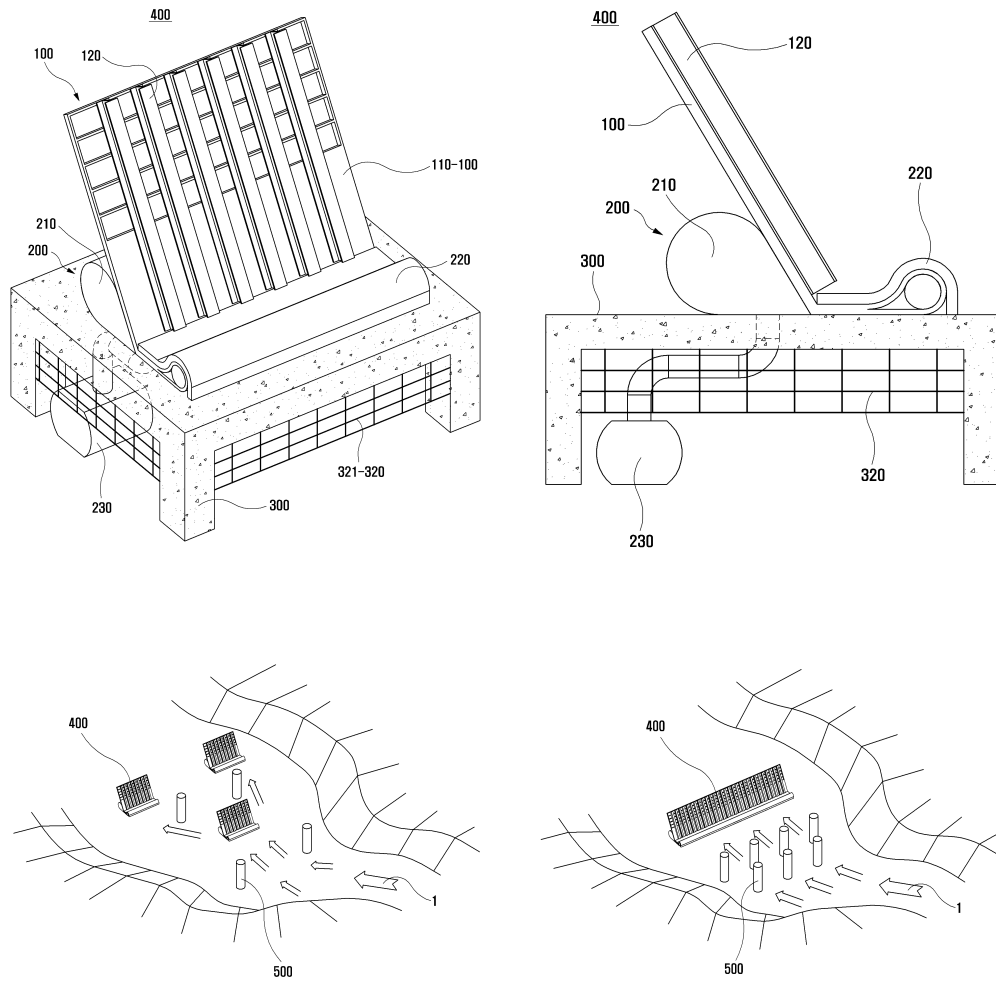


그림 26 다기능 스크린 사방댐 구조물 도면

(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 보호하여 재해를 최소화 한다.

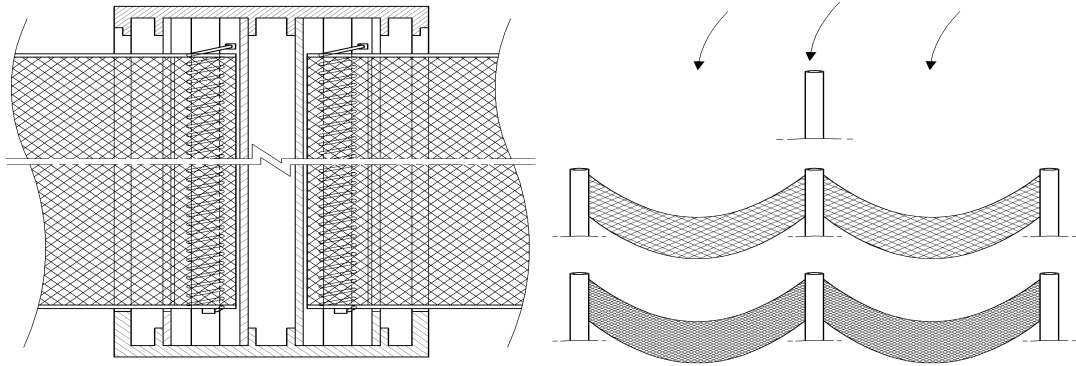


그림 27 그물 지지말뚝 토석류 방지 구조물

(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.

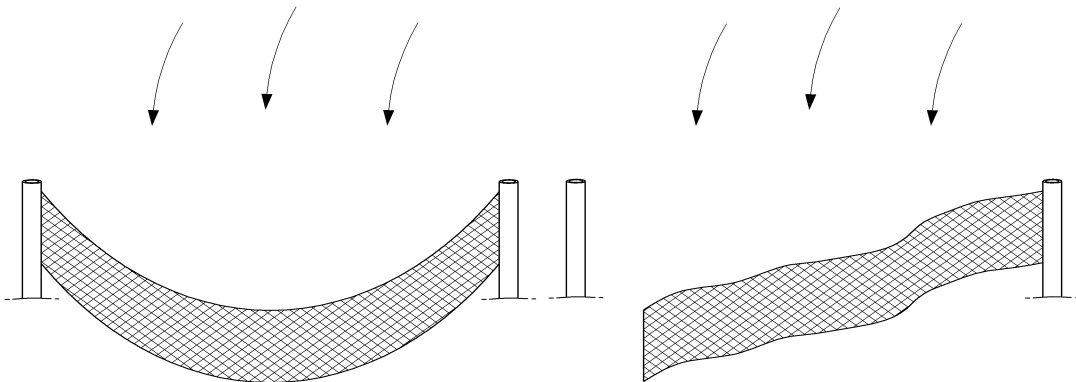


그림 28 그물 펼침 말뚝 토석류 방지 구조물

○ 특허 및 기술 실시 동향

(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]

(나) 기술 실시 및 적용사례

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

제 3 장 연구개발과제 구성 및 추진전략

1절 비전 및 목표

□ 연구개발 목표

- 강원 산간지역의 집중 호우로 인한 산지하천의 홍수 및 토사재해로부터 하도안정을 도모하기 위하여 산지하천 만곡부 유속저감 옹벽호안 기술, 하천 만곡부 하안 세굴 방지를 위한 수제공법 그리고 토석류 제어공법을 실무에 적용하기 위한 실용기술을 개발하고자 한다.
- 산지하천의 만곡수충부 안정 호안설계를 위해 줄눈옹벽 호안공법에 관한 것으로 급경사 산지하천 수충부의 매끄러운 콘크리트 옹벽호안에 일정간격의 돌출줄눈을 설치하여 흐름저항을 증가시키고 최대유속 발생위치를 수로의 횡단면 중앙방향으로 이동시켜 궁극적으로 만곡부에 작용하는 충격력을 저감키는 기술이다. 기존 연구개발에서 돌출줄눈의 간격과 형상을 결정하였으며, 만곡수충부 피해 현장에 시범 적용하였다. 그러나 현장에 설치한 돌출줄눈 옹벽의 설치효과와 성능분석이 이루어지지 않은 상태이다. 또한 실용화 단계에 있어서 재료와 규모의 정량화가 이루어지지 않았다. 따라서 본 연구에서는 하천에 설치되어 있는 줄눈옹벽의 설치효과 성능을 분석하고 수치모형실험을 통해 실용적용 가능한 돌출줄눈의 재료와 규모를 결정하여 실용 가능한 기술로 발전시키고자 한다.
- 하천 만곡부의 흐름을 제어하는 하천 만곡부 국소세굴 및 하안침식방지를 위한 수제공법에 관한 것으로서, 공법에 관한 수리적 안정성 검증을 위하여 수치해석을 수행하며, 공법의 현장 적용성 검토를 위한 시범 구축, 모니터링을 통한 문제점 분석 및 보완을 통한 실용화를 목적으로 한다.
- 강원 산지의 토석류의 피해를 저감시키기 위하여 공법개발 및 실용화까지 포함한다. 이를 위하여 토석류의 발생거동을 이해하고 토석류의 발생을 억제할 수 있는 공법을 개발해야하며, 하류 또는 인접 도로에 직접적인 피해를 발생시킬 수 있는 토석류의 흐름을 제어하고 인명, 재산을 보호할 수 있는 공법 개발 및 실제 현장적용을 통하여 그 성능을 분석해야 한다.
- 산지하천 만곡부 유속저감 옹벽호안 기술 실용화, 하천 만곡부 하안 세굴 방지를 위한 수제공법 개발, 토석류 제어공법 실용화의 전략과제별 연구개발 목표에 대한 주요연구내용을 정리하면 표 4와 같다.

표 4 연구개발 목표 및 연구내용

전략과제	연구목표	주요 연구내용
1. 산지하천 만곡부 유속 저감 옹벽호안 기술 실용화	<ul style="list-style-type: none"> ■ 시범 설치 돌출줄눈 옹벽 성능평가 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 시범 적용한 돌출줄눈 옹벽 현황 조사 ▪ 설치 전후의 하상변화와 수리학적 특성 파악 ▪ 줄눈옹벽의 설치효과 성능을 분석
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 수치모형을 통한 돌출줄눈의 제품화 재료와 규모 결정 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 돌출줄눈의 재료에 따른 충격완화 능력 평가 ▪ 수치모형을 이용한 돌출줄눈의 최적 두께와 폭의 결정 ▪ 설계지침 작성 및 시제품 출시
2. 하천 만곡부 하안 세굴 방지를 위한 수제공법 개발	<ul style="list-style-type: none"> ■ 신공법 제시 및 신공법 모형 Test 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 수제공법 제시 및 기능성 검증 ▪ 수치해석을 통한 검토항목 및 문제점 보완 ▪ Test Bed 구축 ▪ Field Test를 통한 신공법 보완 및 수정
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 신공법 현장 적용성 검토 및 보완을 통한 실용화 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 신공법 현장 모니터링을 통한 적용성 검토 ▪ 전문가자문 실시 ▪ 적용기술의 문제점 분석 및 보완 ▪ 기술 이전 및 실용화
3. 토석류 제어공법 실용화	<ul style="list-style-type: none"> ■ 구조계산 및 수치해석을 통한 제원결정 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 문헌 및 자료조사 ▪ 구조계산 및 수치해석을 통한 제원결정 ▪ 실내모형실험(제원, 구조물 배치 등)
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 확정 제원의 시방서와 설계지침 작성 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 확정 제원의 구조계산 및 수치해석 ▪ 시방서 및 설계지침 등 작성

□ 개발 세부 내용

- 산지하천 만곡부 유속저감 옹벽호안 기술 실용화를 위해 시범 설치 돌출줄눈 옹벽 성능평가를 위해 황지천의 현장을 조사하고 설치전후의 수리학적 특성을 파악한다. 돌출줄눈의 제품화 재료와 규모 결정하기 위하여 수치모형을 수행한다.
- 하천 만곡부 하안 세굴 방지를 위한 수제공법을 개발하기 위하여 신공법에 대한 유속, 하상경사, 입사각 등의 설계기준에 따른 수치해석을 검토하고, 신공법 현장적용의 문제점을 도출하고 해결책을 모색한다. 검토된 문제점, 설계사례, 해외기준 등을 종합적으로 검토하여 기술이전과 실용화시킨다.
- 토석류 제어공법의 구조계산 및 수치해석을 통한 제원결정하고, 모형실험을 통해 공법 제원을 확정하여 설계지침 작성하는 등 실용화한다.
- 주요연구내용에 대한 세부추진 계획 및 방법을 정리하면 표 5와 같다.

표 5 연구개발 내용 세부추진 계획 및 방법

일련 번호	주요연구내용	세부추진 계획 및 방법	수행기간
1세세부 -1차년도	■ 시범 적용한 돌출줄눈 옹벽 현황 조사	- 돌출줄눈 옹벽 시범 적용한 황지천의 조사 - 하상재료 및 하천단면 조사	6개월
	■ 설치 전후의 하상변화와 수리학적 특성 파악	- 설치 전후의 하상재료와 하도변화 분석 - 수리실험을 통한 수리학적 특성 파악	6개월
	■ 줄눈옹벽의 설치효과 성능을 분석	- 하천 시범적용 결과와 수리실험 결과를 분석하여 줄눈옹벽의 설치효과와 성능분석	6개월
1세세부 -2차년도	■ 돌출줄눈의 재료에 따른 충격완화 능력 평가	- 연성재료와 강성재료에 따른 충격완화 능력 평가 - 최적 충격완화 재료 선정	8개월
	■ 수치모형을 이용한 돌출줄눈의 최적 두께와 폭의 결정	- 수치모형을 이용하여 흐름저항과 내구성을 높이는 돌출줄눈의 최적 두께와 폭을 결정	6개월
	■ 설계지침 작성 및 시제품 출시	- 설계지침을 작성하고 시제품 출시	4개월
2세세부 -1차년도	■ 수제공법 제시 및 기능성 검증	- 신공법 제시 - 검토된 문제점, 설계사례, 해외기준 등을 종합하여 신공법의 기능성 검증	6개월
	■ 수치해석을 통한 검토항목 및 문제점 보완	- 유속, 하상경사, 입사각 등의 설계기준에 따른 수치해석 검토 - 수충부 피해사례를 재현하여 검토항목 추가	6개월
	■ Test Bed 구축	- 신공법 적용성 검토를 위한 Test Bed 구축	8개월
	■ Field Test를 통한 신공법 보완 및 수정	- 신공법 현장적용의 문제점을 도출하고 해결책을 모색	6개월
2세세부 -2차년도	■ 신공법 현장 모니터링을 통한 적용성 검토	- 현장 모니터링을 통해 수충부 호안 설계시 검토항목 도출	6개월
	■ 적용기술의 문제점 분석 및 보완	- 검토된 문제점, 설계사례, 해외기준 등을 종합적으로 검토하여 신공법 제시	6개월
	■ 기술 이전 및 실용화	- 신공법 기술 이전 및 실용화	4개월
3세세부 -1차년도	■ 실용 가능한 토석류 제어 공법 선택	- 문헌 및 연구자료 조사 - 실용 가능한 제어공법 선택	6개월
	■ 구조계산 및 수치해석을 통한 제원결정	- 토석류 제어 공법의 구조계산 - 공법의 수치해석을 통한 제원결정	6개월
	■ 실내모형실험	- 제원과 구조물 배치에 따른 실내모형실험 - 모형실험을 통해 공법 제원을 확정	8개월
3세세부 -2차년도	■ 확정 제원의 구조계산 및 수치해석	- 확정 제원의 구조계산 - 확정 제원의 수치해석	8개월
	■ 시방서 및 설계지침 등 작성	- 시방서 작성 - 설계지침 작성 및 실용화	4개월

□ 로드맵

- 강원 산간지역의 집중 호우로 인한 산지하천의 홍수 및 토사재해로부터 하도안정을 도모하기 위하여 산지하천 만곡부 유속저감 옹벽호안 기술, 하천 만곡부 하안 세굴 방지를 위한 수제공법 그리고 토석류 제어공법을 실무에 적용하기 위한 실용기술은 각 기관별로 그림 24의 로드맵처럼 독립적으로 연구가 이루어진다. 산지하천 하안안정을 위한 우수한 실용화 공법 및 기술을 제품화하고 판매 실적 높이기 위해 최종적으로 협력하여 산지하천의 하도안정 실용화기술의 완성도를 높이고자 한다.



그림 29 산지하천의 하도안정 실용화기술 개발을 위한 로드맵

2절 추진전략 체계

□ 연구 추진전략 체계도

- 산지하천 하도안정 실용화기술은 크게 3가지의 최종적인 기술을 제시하고자 하며, 연구 기간 총 1년 10개월 동안 각 3개의 공동연구 기관별로 독립적인 연구추진과 성과를 제시한다. 산지하천 만족부의 유속저감 웅벽호안 기술, 하안세굴방지 수제공법, 토석류 제어공법 모두 산지하천의 하도를 안정화시키는 기술로써 강원도 산지하천의 홍수 및 토사재해로부터 위험을 저감할 수 있는 실용적인 기술이다. 연구의 최종적인 목표는 시방서와 설계지침을 작성하고, 업체에 기술이전을 하여 시제품을 출시하거나 현장시공에 사용가능하도록 실용화시키고자 한다.

산지하천의 하도안정 실용화기술 개발	우선 순위	1차년도 (2017.05~2018.04)	2차년도 (2018.05~2019.02)
1세세부: 산지하천 만족부 유속저감 웅벽호 안 기술 실용화	1	- 시범 설치 돌출줄눈 웅벽 성능 평가	
	2	- 수치모형을 통한 돌출줄눈의 제품화 재료와 규모 결정	
2세세부: 하천 만족부 하안 세굴 방지를 위한 수제공법 개발	1	- 신공법 제시 및 신공법 모형 Test	
	2	- 신공법 현장 적용성 검토 및 보완을 통한 실용화	
3세세부: 토석류 제어공법 실용화	1	- 구조계산 및 수치해석을 통한 제원결정	
	2	- 확정 제원의 시방서와 설계지침 작성	

산지하천하도안정실용화기술제시

그림 30 산지하천 하도안정 실용화기술 개발의 연구 추진전략 체계도

□ 주요 추진 일정

- 연구기간 2017년 5월부터 2019년 2월까지 총 1년 10개월 동안 이루어진다. 1차년도는 2017년 5월부터 2018년 4월까지로 1년을 기준으로 하며, 2차년도는 2018년 5월부터 2019년 2월까지로 10개월을 기준으로 한다. 각 세세부별 공법 실용화 개발은 독립적으로 이루어지지만, 연구기간은 표 6에 연구개발 주요내용 추진일정에서 보는 것처럼 1차년도와 2차년도 연구는 연계해서 체계적으로 이루어진다.

표 6 연구개발 주요내용 추진일정

연도	연구개발 내용	추진일정								비고			
		1차년도				2차년도							
		2	4	6	8	10	12	2	4		6	8	
4-1	▪ 시범 적용한 돌출줄눈 용벽 현황 조사												
	▪ 설치 전후의 하상변화와 수리학적 특성 파악												
	▪ 줄눈용벽의 설치효과 성능을 분석												
	▪ 돌출줄눈의 재료에 따른 충격완화 능력 평가												
	▪ 수치모형을 이용한 돌출줄눈의 최적 두께와 폭의 결정												
	▪ 설계지침 작성 및 제품화된 돌출줄눈의 실용화												
4-2	▪ 수제설계 공법 제시												
	▪ 수치해석을 통한 검토항목 및 문제점 보완												
	▪ Test Bed 구축												
	▪ Field Test를 통한 신공법 보완 및 수정												
	▪ 신공법 현장 모니터링을 통한 적용성 검토												
	▪ 적용기술의 문제점 분석 및 보완												
	▪ 기술 이전 및 실용화												
4-3	▪ 문헌 및 자료조사												
	▪ 구조계산 및 수치해석을 통한 제원결정												
	▪ 실내모형실험(제원, 구조물 배치 등)												
	▪ 확정 제원의 구조계산 및 수치해석												
	▪ 시방서 및 설계지침 등 작성												

3절 자원 투입계획

□ 인력투입계획

- 본 연구를 수행하기 위해 총 연구기간 1년 10개월 동안 41명의 연구진이 투입되어 수행할 계획이다. 산지하천 만족부 유속저감 웅벽호안 기술 실용화에서는 2년간 책임급 2명, 수석급 4명과 연구원급 9명으로 총 15명의 연구인력이 투입될 계획이다. 하천 만족부 하안 세굴 방지를 위한 수제공법 개발을 위해 책임급 2명, 수석급 3명과 연구원급 8명으로 총 12명의 연구인력을 투입할 계획이며, 토석류 발생부, 유하부, 퇴적부에 적합한 제어공법 실용화를 위해서는 책임급 2명, 수석급 4명과 연구원급 8명으로 총 14명의 연구인력을 투입될 계획이다. 각 세세부별 공법 실용화 개발은 독립적으로 이루어지지만, 산지하천 하안안정을 위한 우수한 실용화 공법 및 기술을 제품화하고 판매 실적 높이기 위해 다각도로 협력하여 성공적인 연구 성과를 만들어 낼 수 있도록 노력한다.

표 7 과제별 인력투입 계획

세부기술명	연 차	연차별 투입 인원(명)		
		1차년	2차년	합계
1. 산지하천 만족부 유속저감 웅벽호안 기술 실용화 - 시범 설치 돌출줄눈 웅벽 성능평가 - 수치모형을 통한 돌출줄눈의 제품화 재료와 규모 결정		7 (책임급: 1명 수석급: 2명 연구원급:4명)	8 (책임급: 1명 수석급: 2명 연구원급:5명)	15
2. 하천 만족부 하안 세굴 방지를 위한 수제공법 개발 - 신공법 제시 및 신공법 모형 Test - 신공법 현장 적용성 검토 및 보완을 통한 실용화		6 (책임급: 1명 수석급: 1명 연구원급:4명)	6 (책임급: 1명 수석급: 2명 연구원급:4명)	12
3. 토석류 발생부, 유하부, 퇴적부에 적합한 제어공법 실용화 - 구조계산 및 수치해석을 통한 제원결정 - 확정 제원의 시방서와 설계지침 작성		7 (책임급: 1명 수석급: 2명 연구원급:4명)	7 (책임급: 1명 수석급: 2명 연구원급:4명)	14
산지하천 하도안정 실용화기술 개발		20	21	41

□ 소요예산 산정

- 강원도 산지하천의 하도안정을 도모하고자 실용화기술을 개발하는 연구인만큼 강원도의 지형적인 특성을 제대로 이해하고, 숙련된 기술을 확보하고 있는 강원권 내의 연구기관 및 기업을 50%이상 참여도록 한다. 특히 강원권 내 중소기업 또는 중견기업을 2/3이상 참여도록 하여 강원권 건설기업의 연구 참여를 활성화 시킨다. 강원권 내에 업체가 2/3이상 참여할 경우 기업부담금은 25%로 부담을 줄일 수 있다. 이를 감안하여 정부출연금 10억에 대한 기업부담금 33%로 소요예산 총연구개발비를 산정한 결과는 표 8과 같다. 정부출연금에 대한 각 연구주제별 소요예산을 산정한 결과는 표 9와 같다. 총 책임연구를 맡는 산지하천 만곡부 유속저감 웅벽호안 기술 실용화 연구기관은 연간 2억원의 연구비를 필요로 하며, 하천 만곡부 하안 세굴 방지를 위한 수제공법 개발의 공동연구기관은 연간 1.5억원을 소요할 것으로 예상되며, 토석류 발생부, 유하부, 퇴적부에 적합한 제어공법 실용화하는 공동연구기관도 연간 1.5억원을 필요로 할 것으로 예산 편성하였다.

표 8 소요예산 총연구개발비

(단위: 천원)

총연구개발비 내역							
구분	연도		정부 출연금	기업부담금			합계
				현금	현물	계	
4-1	1차 연도	금액	200,000	20,000	20,000	40,000	240,000
		비율		10%	10%	20%	100%
	2차 연도	금액	200,000	25,000	25,000	50,000	250,000
		비율		12.5%	12.5%	25%	100%
	총계		400,000	45,000	45,000	90,000	490,000
4-2	1차 연도	금액	150,000	30,000	30,000	60,000	210,000
		비율		20%	20%	40%	100%
	2차 연도	금액	150,000	30,000	30,000	60,000	210,000
		비율		20%	20%	40%	100%
	총계		300,000	50,000	50,000	120,000	420,000
4-3	1차 연도	금액	150,000	30,000	30,000	60,000	210,000
		비율		20%	20%	40%	100%
	2차 연도	금액	150,000	30,000	30,000	60,000	210,000
		비율		20%	20%	40%	100%
	총계		300,000	50,000	50,000	120,000	420,000
합계			1,000,000	145,000	145,000	330,000	1,330,000

표 9 정부출연금 연구주제별 소요예산

연구목표	구 분 연구주제	연차별 예산 (천원)		
		1차년	2차년	합계
1. 산지하천 만곡부 유속저감 옹벽 호안 기술 실용화	■ 시범 적용한 돌출줄눈 옹벽 현황 조사	30,000		30,000
	■ 설치 전후의 하상변화와 수리학적 특성 파악	100,000		100,000
	■ 줄눈옹벽의 설치효과 성능을 분석	70,000		70,000
	■ 돌출줄눈의 재료에 따른 충격 완화 능력 평가		40,000	40,000
	■ 수치모형을 이용한 돌출줄눈의 최적 두께와 폭의 결정		50,000	50,000
	■ 설계지침 작성 및 제품화된 돌출줄눈의 실용화		110,000	110,000
	합계	200,000	200,000	400,000
2. 하천 만곡부 하안 세굴 방지를 위한 수제공법 개발	■ 수제공법 제시 및 기능성 검증	20,000		20,000
	■ 수치해석을 통한 검토항목 및 문제점 보완	50,000		50,000
	■ Test Bed 구축	30,000		30,000
	■ Field Test를 통한 신공법 보완 및 수정	50,000		50,000
	■ 신공법 현장 모니터링을 통한 적용성 검토		60,000	70,000
	■ 적용기술의 문제점 분석 및 보완		40,000	40,000
	■ 기술 이전 및 실용화		50,000	50,000
합계	150,000	150,000	300,000	
3. 토석류 발생부, 유하부, 퇴적부에 적합한 제어공법 실용화	■ 모형실험을 위한 제원 결정	30,000		30,000
	■ 모형실험	120,000		120,000
	■ 실험결과를 통한 제원 확정		90,000	90,000
	■ 시방서, 지침서 작성		60,000	60,000
	합계	150,000	150,000	300,000
합 계		500,000	500,000	1,000,000

제 4 장 실용화 전략

1절 현황 분석

□ 기술수준

- 경사가 급하고 유속이 빠른 산지하천의 만곡수충부는 홍수 시 편수위와 하상의 국부세굴에 의한 제방유실과 도로피해가 집중되는 곳이기 때문에 이를 위한 대책으로서 호안공법을 도입해야 한다. 산지가 89%에 이르는 강원지역의 하천에 시공되어 있는 호안공법은 망태형, 붙임형, 블록형, 쌓기형, 옹벽형으로 구분될 수 있다. 유속이 빠르고 편수위와 국부세굴에 따른 하천피해의 위험이 높은 만곡수충부에는 대부분 콘크리트 옹벽호안이 설치되어 있다.
- 앞서 언급한 바와 같이 일본, 중국, 미국 등 해외에서는 만곡부의 세굴방지를 위한 수제 설치 등에 관한 다양한 연구 및 설치사례, 객관적인 방법 등이 정립되어 있으나, 국내에서는 만곡부 수제의 설치사례, 모니터링 자료에 근거한 정형화된 설계, 시공방법 등 기준이 제시되어 있지 않는 현실이다.
- 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.
- 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.

□ 지역의 현안

- 강원도 산지하천의 만곡수충부의 대부분은 유속이 빠르고 편수위와 국부세굴에 따른 하천피해의 위험이 높은 만곡수충부에는 대부분 콘크리트 옹벽호안이 설치되어 있다. 콘크리트 옹벽호안은 돌붙임이나 돌쌓기 호안보다 하상세굴에 대한 구조적 안정성이 매우 높으나 표면이 매끈하여 유속에 대한 표면저항이 작기 때문에 편수위를 가중시킬 수 있다. 따라서 산지하천 만곡수충부의 홍수 시 방재안전설계는 편수위 및 세굴을 억제하고 호안파괴에 대비한 호안공법이 시행되어야 한다.

표 10 강원지역 하천의 주요 호안공법 (강원도, 2008)

구분	점유율(%)			특징
	영동	영서	전체	
망태형	31.6	24.8	27.1	<ul style="list-style-type: none"> ○ 하상세굴이 적은 경우 수리적인 안정성이 우수하다. ○ 침수빈도가 크거나 하상재료가 작은 경우 식생의 다양성이 우수하다. ○ 하상세굴이 큰 경우 안정성이 낮다. ○ 침수빈도가 낮고 하상재료가 큰 경우 식생도입이 늦다.
붙임형	8.9	3.0	4.9	<ul style="list-style-type: none"> ○ 식생도입이 매우 늦다. ○ 식생의 다양성이 낮다. ○ 호안 및 하상의 세굴에 대한 안정성성이 낮다.
블록형	11.0	8.3	9.2	<ul style="list-style-type: none"> ○ 식생호안블록의 경우 식생의 조기정착으로 인한 피복도가 높다. ○ 호안 및 하상의 세굴에 대한 안정성이 매우 낮다. ○ 식생의 다양성이 낮다. ○ 식생호안블록이 아닌 경우 식생도입이 늦다.
쌓기형	23.1	42.5	36.1	<ul style="list-style-type: none"> ○ 호안식생 도입이 늦다. ○ 식생의 다양성이 낮다. ○ 호안 및 하상의 세굴에 대한 안정성성이 낮다.
옹벽형	25.4	21.4	22.7	<ul style="list-style-type: none"> ○ 콘크리트옹벽의 경우 하상세굴에 대한 안정성이 매우 높다. ○ 호안식생 도입이 매우 늦다. ○ 식생의 다양성이 낮다.

표 11 산지하천의 만곡수충부 유속저감기법

구분	개념	유속저감기법	산지하천	
			적용성	적용공법
하상고변경법	하천 종방향 평균 하상고 변화를 완화하여 유속저감	<ul style="list-style-type: none"> ① 만곡수충부 하류부 하상고 조정 ② 만곡수충부 상류부 하상고 조정 	<ul style="list-style-type: none"> ◎ ◎ 	만곡부 하류보
유수단면변경법	하천의 통수단면적을 증가시켜 유속저감	<ul style="list-style-type: none"> ① 수심을 유지하면서 하폭 확장 ② 하폭을 유지하면서 하상 굴착 ③ 만곡부 하류에 댐 설치로 저수지 조성 	<ul style="list-style-type: none"> × × × 	
유수저항조절법	유수에 대한 하천저항을 증가시켜 유속저감	<ul style="list-style-type: none"> ① 하상 및 호안의 조도높이 조정 ② 하천 횡단면 형상 조정 ③ 하천 평면형상 조정 ④ 하도에 인공장애물 설치 ⑤ 하상과 발달을 위해 하상재료 변경 	<ul style="list-style-type: none"> ○ ◎ × ◎ × 	거대조도 콘크리트 옹벽 호안 수제형 인공장애물

주) ◎ : 높음, ○ : 보통, × : 낮음

○ 유속저감 방안들의 특징을 제대로 파악하고, 산지하천에 대한 적용가능성을 평가하는 것이 무엇보다 중요하다. 만곡수충부 콘크리트 호안의 조도를 증가시켜 유속을 저감하는 방안, 보를 설치하여 유속을 저감하는 방안, 거석이나 수제 등을 이용한 장애물을

설치하여 유속을 저감하는 방안이 급경사 산지하천에서 현실적인 것으로 평가된다.

- 거대조도 옹벽호안은 호안표면의 조도를 키워 유수저항을 증가시키는 유속저감공법이다. 대표적인 공법으로서는 돌출줄눈 콘크리트 옹벽호안이 있다. 돌출줄눈 콘크리트 옹벽호안은 표면이 매끄러운 콘크리트 옹벽에 돌출줄눈을 설치한 호안이며 신설호안의 경우에는 돌출줄눈을 옹벽과 동시에 설치하고 기 설치호안에는 블록돌출줄눈을 설치할 수 있다.

○ 태백 황지천 수충부 옹벽피해 사례

① 피해 현황

- 강원도 태백시 구문소동 황지천 하류 만곡 수충부에서 2011년 6월 26일 태풍 메아리에 의한 홍수피해가 발생하였다. 피해의 원인은 외측 하상의 국부 세굴에 따른 도로(구 국도 31호선)유실이다. 호안 파괴 구간은 약 60m이며, 개량복구 필요 구간은 약 130m이다. 그림 26은 산지하천 만곡 수충부의 옹벽과 도로가 유실된 모습이다.



그림 31 산지하천 수충부 옹벽 피해 현황

② 피해 특성

- 태백 황지천 수충부 도로피해는 만곡수충부의 국부세굴에 의한 호안기초공 파괴에 따른 도로 유실이 가장 큰 원인이다. 과거에도(2002년 이전) 유사한 형태의 피해가 발생하였으며, 원상복구를 할 경우 유사한 호안피해 재발 가능성이 크다.
- 만곡수충부 피해를 입은 황지천의 기본홍수량 및 계획홍수량은 $830m^3/sec$ 이다(강원도, 2003). 황지천 수충부 도로피해가 발생했을 시의 최대 유량은 $227.55m^3/sec$ 으로 기본홍수량 및 계획홍수량의 27.4% 유량에서 호안파괴가 발생하였음을 알 수 있다.

○ 강원권 내 토석류 대책공법 시공 사례 분석

- 강원도내 설치된 사방댐 중 2006년~2008년까지 시공된 사방댐 623개소 중 사방댐 현식과 규모를 분류하여 39개소를 선택하여 현장조사를 수행하였다.

- 2006년부터 2008년 사이에 강원권 내에 설치된 사방댐 설치 지역과 개수를 나타낸 것이 그림 27이며, 그림 28은 사방댐 형식과 형식별로 구분하여 조사한 지역이다. 현장 조사 결과 일부지역에 편중되어 사방댐이 많이 설치되어있으며, 토석류 발생지역에 상류부터 몇 개의 사방댐이 하류까지 중복되어 설치되어 있었다.

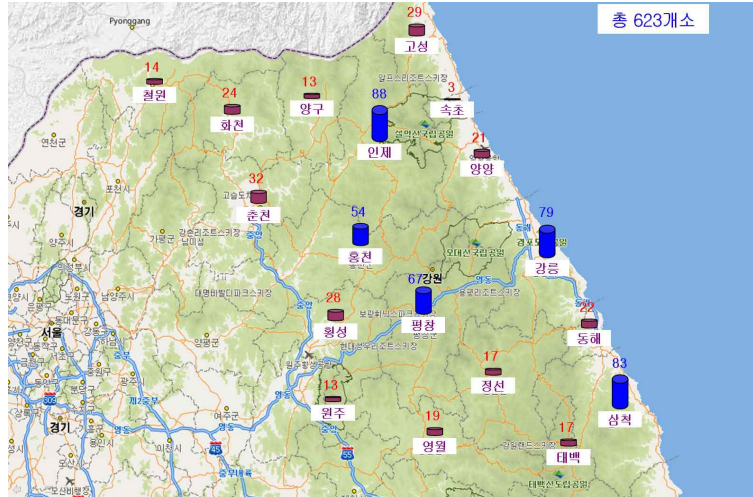


그림 32 2006-2008 사방댐 시공현황

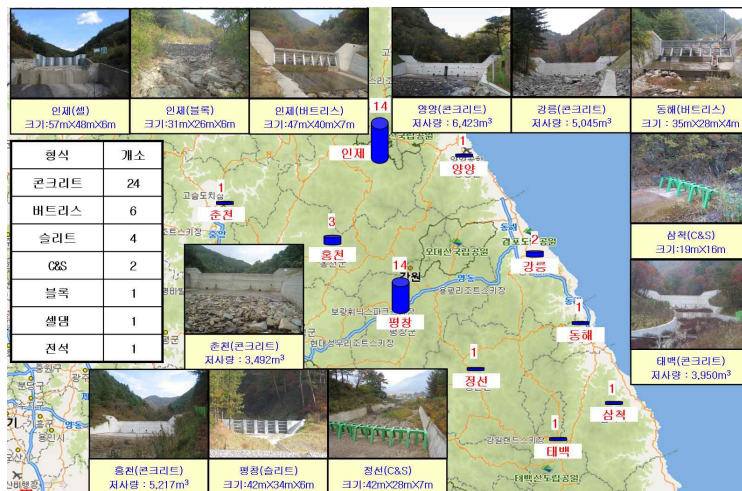


그림 33 구조물 형식별 종류

- 토석류의 흐름은 물과 흙 흐름의 중간적 거동을 하는 것을 알 수 있었으며 일본에서 토석류 대책에 관한 설계법을 분석하여 보면 매우 많은 입력인자들이 사용되고 있지만 아직까지 정확한 분석이 수행되지 못하여 경험에 의존하여 설계를 하고 있음을 알 수 있었다. 향후 이에 대한 분석을 수행하여 좀 더 합리적인 설계가 이루어 질 수 있도록 노력해야 할 것이다.
- 국내에는 2000년 이후로 강원권역내 토석류 피해가 많이 발생하여, 사방댐이 집중적으로 시공되어 있으며, 그 형식이나 위치 선정에 관련된 사방댐 설계법과 설계기준이 모호한 상태이며, 다수에 사방댐이 시공되었음에도 불구하고, 설계에 있어서 필요한 설계인자에 대한 자료가 부족한 실정이다.

2절 거점 내 수요처 분석

□ 하천 호안 및 수제공법 수요처 및 활용주체

- 하천정비 사업은 국가가 하천에 대한 효율적인 보전 관리를 위해 하천에 관한 종합적인 계획을 수립하고 시행하는 사업으로 하천유역의 수자원개발과 이용의 적정화, 하천경개선, 홍수예방 및 홍수발생 시 피해의 최소화 등을 위하여 필요한 사항을 10년 단위 유역종합치수 계획을 수립하여 시행하는 것이다. 하천관리청은 하천의 이용과 자연친화적 관리에 필요한 기본적인 사항 등을 내용으로 하는 10년 단위의 하천기본계획을 권역별로 수립해야 한다. 유역종합치수계획과의 연계가 필요하다고 인정되는 경우 광역자치단체에서 하천관리청과의 협의 후에 하천에 대하여 하천기본계획을 수립할 수 있다. 하천공사 시행에 있어서 기본 홍수량 및 계획 홍수량에 대한 계획 하폭과 경계 그리고 하도와 유황을 개선시켜야 하며 자연친화적 하천 조성을 고려해야 한다.
- 하천 정비사업의 시행에 따라 홍수 피해 취약지역에서 특히 제방이나 호안의 안전성 검토에 따라 새로운 축조나 보강을 계획하여 정비를 이행해야 한다. 특히 호안은 치수 목적뿐만 아니라 자연하천으로서의 환경관리측면도 동시에 만족시킬 수 있는 구조로 계획해야 한다. 하천의 연속적인 홍수통수능력을 확보하기 위해 하도정비계획도 수립한다. 하상토사의 퇴적이나 세굴에 의한 문제가 발생하거나 하상의 유지관리에 문제가 발생할 것을 예상되는 구간에 대해서는 안정하도 유지를 위해 대책을 수립해야 한다. 따라서 하천 호안 및 하안 정비 사업을 필요로 하는 구간에 대해서는 광역자치단체에서 담당기관이 사업을 계획하고 수행해야 하는 수요처이며 활용주체가 된다. 발주공사의 성격에 따라 하천관리기관이 직접 공사를 담당하는 민간 설계 및 시공사와 서브 계약을 체결하여 이루어진다.

□ 토석류 제어공법 수요처 및 활용주체

- 산사태 및 토석류 등의 산림재해의 사전 예방을 위한 사방댐 사업은 대부분 산림청에서 관리한다. 수요처 및 활용주체 모두 산림청 산하 기관에서 산지가 많은 강원권에서는 대풍 및 집중호우에 의한 피해가 발생할 때마다 피해복구를 위해 지속적으로 사방댐 사업이 시행되었다. 그러나 최근 집중호우로 인한 산사태 및 토석류 피해가 우면산 산사태처럼 대도시 공원지역 산지에서도 발생함에 따라 특별시 및 광역시 그리고 지자체 방재관련 기관에서도 사업을 수행하고 있는 상황이다. 이러한 피해가 최근 빈번하게 발생하면서 과거 산사태 및 토석류 복구사업에서 예방사업으로 전환되는 추세이다. 특히 강원도권은 산림면적이 크고 급경사에 따른 산사태 및 토석류 발생 위험이 매우 높기 때문에 정밀한 산사태 및 토석류 재해발생 위험 평가를 시행하여 사전 예방사업이 활성화하여야 한다.

3절 시장진출전략

□ 하천 호안 및 수제공법의 시장진출

- 소방장재청이 2007년에 발표한 자료에 의하면 국가하천 본류의 97.3%는 이미 정비가 끝나 홍수에 대해 상대적으로 안정하지만 실질적으로 홍수 피해를 줄이려면 지방하천과 소하천을 대상으로 하는 정비사업이 이루어져야 한다.

표 12 홍수피해의 본류와 지류 구분(1999~2003)

구분	국가하천	지방하천	소하천	계
피해액(원)	1358억	2조264억	1조2451억	3조4073억
비율	4%	59.5%	36.5%	100%

자료: 소방방재청, 하천재해 예방을 위한 하천관리 효율화 방안, 2004

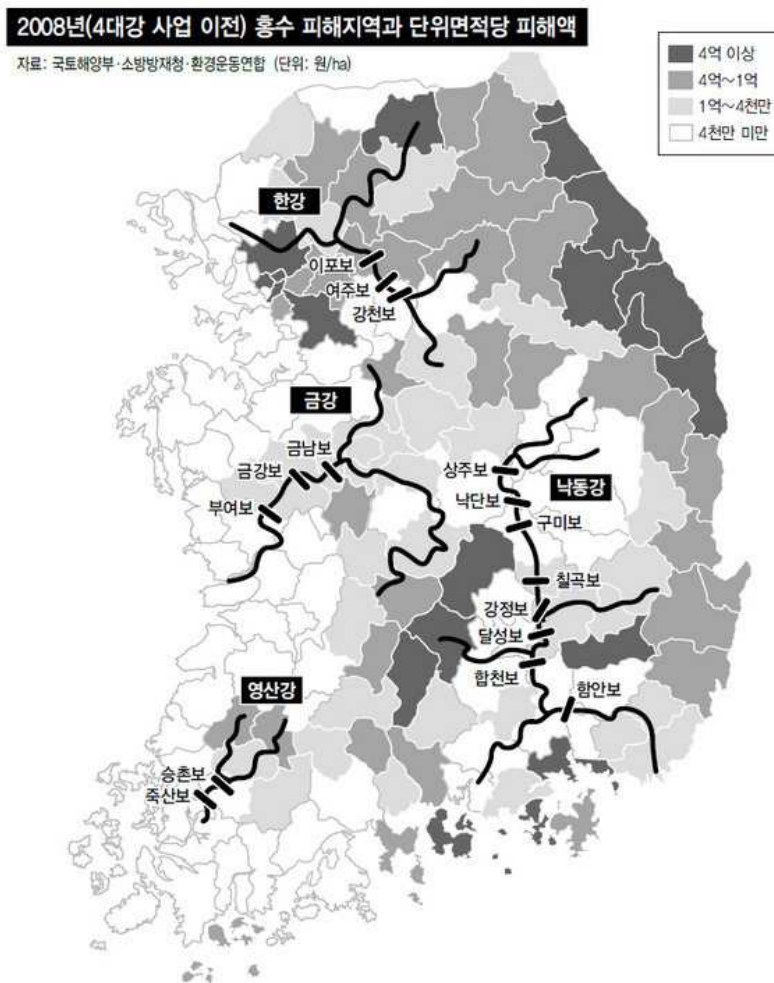


그림 34 2008년 홍수 피해지역과 단위면적당 피해액

- 2008년 전국의 홍수피해지역과 단위면적당 홍수 피해액을 조사한 자료를 그림 29(한겨레 2011년)에서 보여준다. 자료에서도 보면 알 수 있듯이 단위면적당 홍수피해액이 상대적으로 큰 지역이 강원도이며 특히 영동지역의 경우 면적당 4억 이상의 피해액을 보여 전국에서 가장 큰 피해액을 보인다. 2011년 시민공동조사단의 조사 결과에 따르면 홍수 피해지역이 주로 지방하천과 소하천 지대에 집중되어 있음을 시사했다.
- 강원도 내에 18개 시군에서는 하천 및 소하천 정비사업을 추진하기 위해 2011년을 기점으로 2013년도 지방하천정비사업에 1천3백30억원을 투입해 하천재해예방에 적극 대처하였다. 사업유형별로 하천재해예방사업에 팔미천을 비롯한 34개소 44.3km 1천 65억원, 생태하천 조성사업에 평창강을 비롯 6개소 6.6km 1백50억원, 고향의 강 정비사업에 경포천을 비롯 6개소 3.1km 1백15억원 등 총 46개소 54km를 대상으로 하였다.
- 강원도 평창군은 2019년까지 4년간 75억원을 투자해 소하천 정비종합계획을 재수립했다. 소하천 정비종합계획 재수립 용역은 평창군 전지역을 2개 권역(남부, 북부)으로 나눠 2019년까지 동시에 추진할 계획이며 연도별 투자계획은 2016년 9억원, 2017년부터 매년 22억원을 투자해 2019년 마무리한다는 방침이다. 이번 사업은 관내 소하천은 총 204개소로 소하천 정비종합계획을 수립한지 10년이 경과됨에 따라 유로의 변경, 환경변화, 현지와 지형도면의 불일치 등을 해결하고자 시행될 예정이다.
- 강원도 양양군이 관내 소하천에 대한 종합정비계획을 수립했다. 양양군은 지형 및 기상여건 변화 등에 대응하고 소하천의 체계적인 유지·관리를 통해 재해 예방과 효율적 관리를 도모하기 위해 소하천 정비 종합계획을 수립하기로 했다. 지난 2005년도에 40개소 71km 소하천에 대한 종합정비계획을 수립한 바 있다. 양양군은 기존계획 수립 후 10년이 경과한데다 그동안 소하천 개수사업 및 각종 개발사업 등으로 인한 하도 및 수문·수리 특성 변화와 소하천 관리·운영의 미비점 보완이 시급한 과제로 부각됨에 따라 이번에 새로운 종합계획을 수립하게 되었다. 양양군은 관내 전체 소하천에 대해 관리와 이용, 개발·치수경제, 수질 등 보전에 관련된 사항을 종합적으로 조사하고 분석해 지정·변경 및 폐지 여부를 결정하고, 향후 관리 및 정비하도록 할 계획이다.
- 따라서 이번 연구에서 개발되는 산지하천 안정하도를 도모하기 위한 실용화기술을 민간 설계 및 시공사에게 기술이전하고 시제품을 만들어 시장진출이 가능할 것으로 기대한다. 특히 하천 재해예방과 환경개선에 관한 사항을 종합적으로 수립해 향후 강원도 하천 정비공사의 기본방향이 되는 지침으로 활용 가능할 계획이다.

□ 토석류 제어공법의 시장진출

- 태풍피해가 급증함에 따라 사방댐 수요가 급증하여 사방댐 설치는 활발히 이루어졌으나 대부분 하천 또는 계곡 하류부에 설치되어 발달된 토석류를 막는 역할을 하고 있다. 이는 피해는 감소시킬 수 있으나 토석류 발생 자체를 감소시킬 수는 없는 방법이다. 본 과제에서 제안한 공법은 토석류 발달을 줄이기 위해 개발된 사방시설로서 발달이 억제되기 때문에 계곡을 벗어난 토석류는 이미 에너지가 대폭 감소되어 하천변 농지, 마을, 도로에 영향을 미칠 수 있는 영향이 적으며, 설치 및 유지 관리가 용이하도록 모듈 형식으로 고안되었다. 시범적용을 통해 점차 성능을 입증해 입증된다면 수요처는

점차 늘어날 것으로 예상된다.

- 본 연구에서 개발되는 “토석류 재해저감을 위한 시설기준 및 제도개선”과 관련한 연구 성과물을 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.

4절 기대효과

□ 하천 호안 및 수제공법의 경제적 파급효과

- 본 연구를 통해 현재 하천 만족부(특히 산지하천)의 설계실무 문제점의 개선방향을 제시할 것이며, 이는 향후 각종 설계기준의 수정을 위한 연구에 활용이 가능할 것이며, 산지하천 및 신설도로의 설계에 반영할 경우 재해의 사전방지 개념이 도입되어 장기적인 측면에서 인명 및 재산 피해를 저감하고 유지관리비용을 저감하여 경제적 파급효과가 클 것으로 예상되며, 이로 인해 획득된 기술력과 현장경험을 바탕으로 유사한 지형 조건에 놓여있는 국내 및 해외 시장에 진출할 수 있는 계기를 마련할 수 있을 것이다.
- 하안에 직접 시공하지 않고 침식력을 완화하여 강바닥세굴을 경감하기 때문에, 하안의 수변 환경을 보전하는데 있어서도 유효한 방법으로, 산지하천의 수리적 안정성 확보뿐만 아니라 환경친화적 하천의 조성에도 널리 사용될 것으로 기대된다.

□ 토석류 제어공법 실용화 경제적 파급효과

- 계곡의 위치별 특성을 고려한 공법을 개발하고, 신공법 도입으로 인한 토목기술의 질적 향상 도모할 것이다. 또한 토석류 재해예방을 위한 국내 기술 개선 효과를 가져올 것이며, 독자적인 국내기술의 개발을 통한 외국기술 도입비 절감효과를 기대할 수 있다.
- 토석류 제어를 통한 인명손실과 재산피해 저감을 기대할 수 있으며, 토석류로 인한 도로 차단 방지 효과로 강원권의 관광산업 위축을 방지하며, 산지가 많은 강원도의 특성을 반영한 효율적인 토지이용을 가능하게 한다.
- 토석류 분야의 산업성장 및 일자리를 창출하며, 각 도로의 특성을 반영한 최적의 피해저감 공법을 표준화하여 설계 및 시공 비용 절감과 토석류 재해예방으로 복구에 소요되는 비용 및 시간 절감을 기대할 수 있을 것이다.

제 5 장 과제 제안요구서(RFP) 작성

□ 총괄 제안요구서

과제명	산지하천 하도안정 실용화기술 개발
1. 연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 산지하천은 하상경사가 급하여 유속이 빠르기 때문에 만곡부에서는 원심력의 작용으로 만곡외측에서 수위가 상승한다. 홍수 시에는 유속이 크게 증가하므로 만곡부의 수위 상승은 더욱 심화된다. 이는 산지하천에서는 만곡부의 홍수위 상승이 하천제방의 여유고를 초과할 수 있어서 홍수피해의 주요 원인된다. ○ 본 연구의 지하천의 만곡수층부 안정 호안설계를 위해 줄눈옹벽 호안공법에 관한 것으로 급경사 산지하천 수층부의 매끄러운 콘크리트 옹벽호안에 일정간격의 돌출줄눈을 설치하여 흐름저항을 증가시키고 최대유속 발생위치를 수로의 횡단면 중앙방향으로 이동시켜 궁극적으로 만곡부에 작용하는 충격력을 저감키는 기술이다. ○ 기존 연구개발에서 돌출줄눈의 간격과 형상을 결정하였으며, 만곡수층부 피해 현장에 시범 적용하였다. 그러나 현장에 설치한 돌출줄눈 옹벽의 설치효과와 성능분석이 이루어지지 않은 상태이다. 또한 실용화 단계에 있어서 재료와 규모의 정량화가 이루어지지 않았다. 따라서 본 연구에서는 하천에 설치되어 있는 줄눈옹벽의 설치효과 성능을 분석하고 수치모형실험을 통해 실용 적용 가능한 돌출줄눈의 재료와 규모를 결정하여 실용 가능한 기술로 발전시키고자 한다. ○ 본 연구의 수제공법 기술은 하천 만곡부의 흐름을 제어하는 하천 만곡부 국소세굴 및 하안침식을 위한 수제공법에 관한 것으로서, 하천 만곡부의 내안과 외안 사이에 위치한 강바닥에 다수개의 수제블록을 장착하여 하천 만곡부에 위치하는 외측 기슭의 세굴과 내안의 퇴적을 경감시킬 수 있도록 한 것이다. ○ 수리적 안정성 검증을 위하여 수치해석을 수행하며, 공법의 현장 적용성 검토를 위한 시범 구축, 모니터링을 통한 문제점 분석 및 보완을 통한 실용화를 목적으로 한다. ○ 본 연구의 토석류 제어공법 기술은 투과형 사방시설이며, 유목 및 부유잡물의 차단 효과와 더불어 산사태 토석류 발생시 자연적으로 지하수위 조절이 되는 중력식 사방댐이 되는 공법이다. ○ 상류부에 설치 시 산사태 및 지반붕괴로 인한 토사가 토석류로

발달하기 전에 에너지 감소 및 주요 토석류 발생 요인 제어를 통해 토석류 발생을 억제함을 목적으로 개발하였으며, 구조계산 및 수치해석을 통해 제원을 결정하고 확정 제역에 대한 시방서와 설계지침 작성을 통해 기술의 실용화를 추구하고자 한다.

- 궁극적으로 강원 산간지역의 집중 호우로 인한 산지하천의 홍수 및 토사재해로부터 하도안정을 도모하기 위하여 산지하천 만곡부 유속저감 옹벽호안 기술, 하천 만곡부 하안 세굴 방지를 위한 수제공법 그리고 토석류 제어공법을 실무에 적용하기 위한 실용 기술을 개발하고자 한다.

2. 기술개발 및 산업/시장동향

□ 기술개발의 필요성

- 2000년대 들어 이상기후 및 집중호우 등에 의한 단시간의 홍수 집중에 의한 피해가 반복되고 있으며, 대하천을 중심으로 제방보강 등 사업이 꾸준히 이루어지고 있다. 그러나 산지하천에 대해서는 그 피해빈도나 규모에 비해 치수사업이 잘 이루어지지 않고 있다. 특히, 강원도 지역은 전체 면적의 89%가 산지로 되어 있으며, 주요 도로가 산지하천에 접하여 있는 경우가 많고, 만곡부가 많아 하천 및 도로, 인근 주거지에 피해가 발생하고 있어 보다 적은 비용으로 선제적인 치수사업이 필요한 실정이다.
- 산지하천 만곡수층부의 대부분은 내구성이 뛰어난 매끄러운 표면의 콘크리트 옹벽 호안이 설치되어 있어 흐름유속을 증가시키는 결과를 초래한다. 이러한 문제를 해결하고자 유속저감 기술을 접목한 옹벽호안 기술인 돌출줄눈 옹벽호안 공법이 강릉원주대학교(2013)에 의해 제시되었고, 현재 만곡수층부 수해 피해지역인 태백황지천에 시범 설치되어 있는 상태이다. 그러나 현장에 설치한 돌출줄눈 옹벽의 설치효과와 성능분석이 이루어지지 않은 상태이다. 따라서 유속저감 옹벽호안 공법을 실용화하기 위해 재료와 규모의 정량화가 이루어져야 한다.
- 일반적으로 하천 만곡부에서는 하천 흐름의 원심력에 의한 2차류와 유수의 집중·발산 등에 의해, 외안 부근의 강바닥이 세굴되어 내안기슭 부근에서는 토사가 퇴적되며, 하천 만곡부의 외안 부근의 강바닥의 세굴은 외안에 흐름의 집중과 유속의 증대에 따른 하안 침식의 원인이 된다. 이를 경감하기 위해 제방이나 하안에 주로 호안이나 밑다짐공법 등이 시공되어 왔으나, 시설물의 설치 전·후를 비교하여 하도의 상황이 심하게 변화되고 있어, 시설 호안의 안전성의 저하 및 수제공의 효과 저감이 나타나고 있다.
- 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 하천 만곡부의 외안과

내안 사이에 위치한 강바닥에 다수 개의 수제블록을 날개형으로 장착하여 외측 기슭의 세굴과 내안의 퇴적을 경감시킬 수 있도록 하는데 수제공법 기술이 필요하다.

- 한편, 국토교통부 소관 지역기술혁신사업의 ‘산지하천도로 후우 피해 방지를 위한 수충부 및 토석류 방재설계 선진화 기술개발’ 과제에서 “하천 만곡부 국소세굴 및 하안침식방지 수제블록과 이를 이용한 날개형 수제공법(2010, 한국종합기술)”으로 특허를 취득하였으나, 현장에 시범적용이 이루어지지 않아 실용화되지 못한 바 있다.
- 또한, 본 연구에서는 하천 만곡부(특히 산지하천)의 설계실무 문제점의 개선방향이 제시할 것이며, 이는 향후 산지하천 및 신설도로 설계기준의 수정을 위한 연구를 통해 재해의 사전 방지 측면에서 인명 및 재산 피해를 저감하고 유지관리비용을 저감하여 경제적으로 큰 파급효과를 유발할 것으로 예상된다.
- 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, 중력식 사방댐 건설과 같이 토석류 흐름 저감공법 및 토사유출을 통한 하류 농지피해 방지에만 치우쳐 있는 국내 방재 산업의 영역도 확대될 것으로 기대된다.

□ 기술동향

- 논문 및 기술서적 동향
 - 신승숙, 박상덕, 이승규, 지민규 (2012), 만곡하천의 자갈하상 재료 분포에 따른 한계수류력 평가, 한국수자원학회논문집
 - 박상덕, 지민규, 남아름, 우태영, 신승숙 (2013). 개수로 측벽 세로돌출출주의 흐름저항, 한국수자원학회논문집
 - 박상덕, 신승숙 (2011), 산지하천 만곡수충부의 특성과 편수위 저감방안, 한국수자원학회지 물과 미래

- 이지원, 최재복외 (2012), 호안설계기법
- 이지원, 최재복외, RD-RAS 사용자설명서
- 특허 및 기술 실시 동향
 - 하천용 옹벽 특허 및 기술 실시 (2013)
 - 유속저감시설 시범 적용: 태백 황지천 수해 피해 현장 (2012)
 - 기술적 성과: S/W 등록 RD-RAS (호안 설계 및 평가 프로그램, 2013), 한국종합기술
 - 하천만곡부 국소세굴 및 하안침식방지 수제블록과 이를 이용한 날개형 수제공법(이지원, 박병제, 권재종, 최재복)
 - 현재 출원된 사방댐 관련 특허는 약850여건 사방과 관련된 특허는 약 90000건이 출원. 2013년 까지는 활발하게 특허 출원이 발생하였으나. 최근 3년 이내 사방댐 관련 특허출원은 그 수가 많지 않다. 아래 특허 목록은 “수충부 및 토석류 방재기술연구단”에서 출원한 토석류 제어 사방시설물이다.
 - 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]

3. 연구개발 내용

산지하천 하도안정 실용화기술 개발

- 산지하천 만곡부 유속저감 옹벽호안 기술 실용화
 - 시범 적용한 돌출줄눈 옹벽 현황 조사
 - 설치 전후의 하상변화와 수리학적 특성 파악
 - 4-1 - 줄눈옹벽의 설치효과 성능을 분석
 - 돌출줄눈의 재료에 따른 충격완화 능력 평가
 - 수치모형을 이용한 돌출줄눈의 최적 두께와 폭의 결정
 - 설계지침 작성 및 시제품 출시

	<ul style="list-style-type: none"> ○ 하천 만족부 하안 세굴 방지를 위한 수제공법 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 수제공법 제시 및 기능성 검증 - 수치해석을 통한 검토항목 및 문제점 보완 - Test Bed 구축 4-2 <ul style="list-style-type: none"> - Field Test를 통한 신공법 보완 및 수정 - 신공법 현장 모니터링을 통한 적용성 검토 - 전문가자문 실시 - 적용기술의 문제점 분석 및 보완 - 기술 이전 및 실용화 ○ 토석류 제어공법 실용화 <ul style="list-style-type: none"> - 기초자료 수집 - 모형실험을 위한 제원결정 4-3 <ul style="list-style-type: none"> - 모형실험 - 실험결과 분석을 통한 제원확정 - 시방서 및 설계지침 작성 - 실용화
4. 최종성과물	<ul style="list-style-type: none"> □ 주요 최종성과물 <ul style="list-style-type: none"> ○ 돌출줄눈 옹벽호안 공법의 규격화 ○ 돌출줄눈 옹벽호안 공법 설계지침 작성 및 시제품 출시 ○ 수제 신공법 제시 및 현장 시험 ○ 수제 신공법의 기술이전 및 실용화 ○ 토석류 제어공법 제원결정 ○ 확정제원의 시방서 및 설계지침 작성
5. 연구기간 및 지원예산	<ul style="list-style-type: none"> □ 전 체 <ul style="list-style-type: none"> ○ 총 연구기간: 2년 ○ 총 연구비: 1,330,000 천원(정부 1,000,000천원, 민간 330,000천원)
6. 기 타	

참 고 문 헌

1. 국립방재연구소(2004) 하천만곡부의 개략설계 값 산정에 관한 연구, 연구보고서
2. 강준구, 여홍구, 노영신(2006) 수제 설치간격에 따른 수제주변 흐름특성에 관한 실험 연구, 대한토목학회논문집
3. 강준구, 김성중, 여홍구(2009) 경사수제 주변 흐름특성 분석에 관한 실험연구, 한국수자원학회논문집
4. 강용구, 손교창, 손광익(2012) 수제 주변 하상변동 특성에 대한 실험적 연구, 한국수자원학회 학술발표회
5. 김진홍, 우효섭, 안성식, 위용민(2003) 자연형 수제의 공법 개발 - 중규모 하천을 대상으로, 한국수자원학회 학술발표회
6. 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
7. 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)
8. 박상덕, 지민규, 남아름, 우태영, 신승숙 (2013). 개수로 측벽 세로돌출줄눈의 흐름저항, 한국수자원학회논문집
9. 박상덕, 양은익 (2013) 하천용 옹벽1, 특허등록
10. 박상덕, 양은익 (2013) 하천용 옹벽2, 특허등록
11. 박상덕, 이승규, 신승숙, 조재웅 (2015), 산지하천 만곡부의 편수위 산정, 한국수자원학회논문집
12. 신승숙, 박상덕, 이승규, 지민규 (2012), 만곡하천의 자갈하상재료 분포에 따른 한계수류력 평가, 한국수자원학회논문집
13. 윤찬영, 한광두, 이상돈, 김운형, 여인석, 김성태, 문강국 (2012) 복수의 중공형 구조체를 갖는 사방댐 구조물 [특허출원번호 10-2012-0134648]
14. 윤찬영, 한광두, 이상돈, 김운형, 여인석, 김성태,(2012) 사방댐 구조물 [특허출원번호 10-2012-0116584]
15. 이지원, 박병제, 권재중, 최재복(2010) 하천만곡부 국소세굴 및 하안침식방지 수제블록과 이를 이용한 날개형 수제공법, 특허등록
16. 이지원, 최재복 외 (2012), 호안설계기법
17. 이지원, 최재복 외, RD-RAS 사용자설명서
18. 이지원, 최재복, 박병제, 권재중, 강정훈 (2008), 산지하천의 호안피해 요인분석과 설계기준

정립에 관한 고찰, 토목학회 강원지회

19. 이지원, 최재복, 박상덕 (2012), 산지하천 호안의 역학적 설계를 위한 평가기준 및 프로그램 개발, 한국수자원학회학술발표회
20. 전도석, 김근영, 박효길, 지흥기(2009) 층적하천의 수충부에서 수제에 의한 저수로 유도기법, 한국수자원학회 학술발표회
21. 최재순, 권정호(2012) 토석류에 의한 재해 방지 구조물 [특허출원번호 10-2012-0131056]
22. 최재순, 한광두, 이상돈, 김운형, 여인석, 김성태 (2013) 재해방지 구조물용 지지말뚝 [특허출원번호 10-2013-0000498]
23. 한광두, 이상돈, 윤찬영, 김운형, 여인석, 김성태(2012) 종방향 사방댐 구조물 [특허출원번호 10-2012-0116114]
24. 한광두, 이상돈 홍계운(2012) 사방댐 구조물 [특허출원번호 10-2012-0095822]
25. 國土交通省(2007), 土砂災害警戒區域等における土砂災害防止對策の推進に關する法律施行規則