

요 약 문

I. 제 목

산지하천도로 호우피해방지를 위한 수충부 및 토석류 방재설계 선진화 기술개발

II. 연구개발과제 개요

산지가 전체면적의 89%를 차지하고 있는 강원지역은 대부분 도로가 하천을 끼고 있으며, 집중호우 시 하천 수충부의 홍수위 상승 및 하상세굴과 같은 빈번한 하천 홍수피해가 도로를 파괴시키는 직접적인 원인이 되고 있다. 집중호우시 동일한 악천후 조건에서 타 지역에 비해 강원지역의 도로 피해가 상대적으로 크게 나타나고 있다.

산지하천은 지형 및 지질적인 요인으로 경사가 급하고 만곡수충부가 많이 발달되어 있기 때문에 홍수시 유속이 매우 빠르고 만곡 수충부에서 수위상승과 횡방향 수위변동이 심하다. 이는 산지하천의 동적 거동이 일반하천에 비하여 제한되어 있어서 하천의 형태학적인 변화가 크지 않음에도 불구하고 하천을 따라 발달된 도로 등과 같은 사회간접시설을 파괴시키는 직접적인 원인이 되고 있다. 그러나 산지하천의 홍수특성을 규명하고 방재설계를 위한 연구개발이 매우 미흡한 실정이다.

‘2006년 7월 호우로 인한 강원지역 도로피해 조사 및 분석(백경원)’에서 기타 공공시설의 피해보다 도로의 피해가 가장 크게 나타난 것으로 분석되어 강원지역의 집중호우시 산지하천도로 재해 예방을 위한 대책이 필요한 실정이다. 여기에 지역적 특성을 고려한 대책공법의 부족과 한정된 지방재정여건으로 인한 지역인프라의 구축 미흡, 토석류에 의하여 피해를 받는 관리주체와 관할권 문제로 원활한 업무협조가 이루어지지 않는 등의 문제가 더해져 집중호우에 의한 피해가 더욱 커지고 있는 실정이다.

본 연구는 도로의 계획과 설계시 강원지형의 특수조건을 고려한 설계기법을 적용하여 피해를 감소시키고, 최소한 교통 소통의 기능을 유지할 수 있는 도로를 제공하는데 필요한 설계기법과 기준을 제시하고 산악지 도로 선형/배수 설계 및 재해예측지도를 개발하는 것이다.

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

또한, 집중호우시 산지하천도로에 큰 피해를 야기하는 토석류의 발생 및 흐름 거동을 파악하고 이를 제어, 저감시키기 위한 기법을 개발하며, 또한 실제 현장적용을 통하여 그 효과를 분석하며 최종적으로 토석류 피해 저감을 위한 설계기법의 확립은 물론 이러한

시설물에 대한 유기적 관리를 위한 제도개선 사항까지 제안할 수 있도록 한다.

Ⅲ. 연구개발의 수행내용 및 결과

○ 산악지 도로 선형/배수 설계 및 재해예측지도개발

▶ 산사태 및 토석류 DB 구축

산사태 및 토석류의 DB는 전국단위의 산사태 및 토석류 피해 발생지를 대상으로 현장조사를 실시하였고, 산사태 및 토석류 영향인자들을 구축한 것이다. 산사태 DB는 전국단위로 455개의 산사태 발생 Data가 구축되었으며 토석류 DB는 전국단위의 160개 유역단위별 Data가 구축되었다.

▶ 산사태 및 토석류 위험도 평가모델개발

산사태 발생에 영향을 미칠 수 있는 지형학적 특성, 토질의 특성, 강우 정보, 나무의 종류 정보 등의 자료를 재해대장 분석, 항공사진 분석, 현장조사를 실시하여 구축한 423 지점의 산사태 Data에 대한 통계학적 분석을 수행하여 산사태 위험도 예측식을 제안하였다. 제안된 예측식으로 예측된 결과와 실제 산사태 발생여부를 비교해 본 결과 약 92%의 분류 정확도를 보였다. 예측식에 필요한 입력치들은 단 시간 내에 저비용으로 획득할 수 있도록 구성하였다. 또한 예측결과의 경우 재해지도 형식으로 표현하기 용이하기 때문에 제안된 산사태 위험도 예측식은 광범위한 지역의 산사태 발생 위험도를 산정하는데 효과적으로 활용될 수 있다고 판단된다.

유역별 토석류 위험도 평가모델을 개발하기 위하여 다양한 공간정보를 보유하고 있는 GIS시스템을 이용하였으며, 임의의 피해지역에 대해 도달 가능한 범위의 유역을 선정하였다. 또한 토석류 피해 발생에 영향을 미칠 수 있는 토석류 규모, 강우 정보, 표토의 모암, 토석류 이동거리 등의 자료를 재해대장과, 항공사진분석, 그리고 현장조사를 실시하였으며, 48개 유역의 토석류 피해 Data에 대한 통계적 분석을 수행하여 유역별 토석류 위험도 평가 모델을 제안하였다.

▶ 산사태 및 토석류 위험도 평가 시스템 개발

산사태 및 토석류 위험도 분석 시스템은 GIS기반으로 개발되었으며, 산사태 및 토석류 위험도 분석을 위한 로지스틱 회귀분석 모델을 적용하여 산사태 및 토석류 위험도 분석 시스템을 개발하였다. 산사태 발생 확률지도 작성하고 소유역을 추출하며 이를 유역단위 별로 토석류 위험도를 분석하는 시스템이다.

▶ 대안노선 평가시스템 개발

대안노선 평가시스템은 재해지도를 기반으로 하여 도로노선의 재해위험도와 LCC에 대한 평가를 나타낼 수 있도록 알고리즘을 작성하였다. 프로그램 모델 기반 구축을 위하여 도로선형 정보, 재해예측지도 시스템 입력 모듈 개발, LCC프로그램 코딩의 작업을 실시하였다. 국도 59호선을 대상으로 프로그램의 시범적용을 실시하여 각 대안노선에

대한 산사태 재해위험도와 LCC에 의한 경제성을 비교분석할 수 있었다.

- ▶ 대안노선 평가시스템 통합프로그램 개발

산사태 및 토석류 발생구간에 대한 단위 복구비용을 과거 피해 자료를 바탕으로 산정하였으며 이를 LCC 비용분석에 추가적으로 포함하였다. 고(高) 위험도구간 도출과정을 검증을 통해 수정하였으며 시범적용을 통해 해당 구간의 산사태 복구비용을 산정하였다. 산사태 재해위험도의 분석과 LCC 경제성분석, 유역단위 토석류 분석을 통합할 수 있는 알고리즘을 작성하였으며 이를 토대로 산지도로 대안노선 평가시스템을 개발하였다

- ▶ 토석류 유입을 고려한 산지하천도로 배수구조물 설계 기술 개발

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. 실제규모 토석류 실험을 위한 실험장치를 제작하였으며 간극수압계, 전수직응력계, 초음파수위계를, 배수구조물을 설치하여 그 결과를 관측하였다.

○ 산지하천 수충부 방재기술 개발

- ▶ 산지하천의 특성 조사 및 홍수유출 해석기법을 개발

강원지역 산지하천 시험유역 운영, 산지하천의 특성 및 조도계수를 조사, 산지유역 집중호우 특성을 반영할 수 있는 설계강우 정량화와 홍수유출 해석기법을 개발하고 사용자시스템을 구축하였다.

- ▶ 산지하천에 적합한 1차원 하상변동 예측모델 개발

산지하천에 적합한 1차원 하상변동 예측모델과 만곡수충부 하상변동 예측모델을 개발하였다.

- ▶ 산지하천 수충부 호안공법 개발

산지하천 만곡수충부의 홍수피해, 홍수위 특성, 하도변동의 관계를 조사하고 만곡수충부 세굴심, 홍수위 산정기법을 제시하며, 이를 통해 산지하천 수충부 호안공법 개발 및 호안 설계를 위한 편람작성 및 검토 프로그램을 개발하였다.

- ▶ 홍수유속 저감기법과 유속저감 수리시설물 안전설계 지침 개발

산지하천의 수리시설물 피해유형을 조사하고 이를 저감하기 위한 홍수유속 저감기법과 유속저감 수리시설물 안전설계 지침을 제시하였다.

- ▶ 토석류 특성 파악 및 기존의 공법, 설계법, 시설기준 분석

- ▶ 강원 산지지역 지형 및 지질 특성 분석

○ 토석류 제어기법 개발

- ▶ 토석류 제어공법의 개발 및 시험시공
- ▶ 토석류 발생 및 흐름 특성 분석 및 저감공법 개발
- ▶ 토석류 저감공법 거동특성 분석방안 실무지침서 작성
- ▶ 토석류 재해저감을 위한 시설기준 확립

IV. 최종 연구성과 및 적용실적

○ 산악지 도로 선형/배수 설계 및 재해예측지도개발

- ▶ 강원지역의 산사태 및 토석류에 대한 DB 구축
 - 산사태 발생지 DB 455건, 토석류 발생지 DB 160건
 - DB 서비스
- ▶ 산사태 및 토석류 위험도 예측모델 개발
- ▶ 산사태 및 토석류 위험도 분석 시스템 개발
 - 국도 59호선, 35호선, 31호선 산사태 및 토석류 위험도 평가
 - 서울시 우면산 산사태 및 토석류 위험도 평가
- ▶ GIS 기반의 강원지역 재해예측지도 제작
 - 강원도 재해예측지도 작성
- ▶ 대안노선 선정 평가시스템 개발
 - 국도 59호선 시범적용
- ▶ 산지도로 대안노선 평가시스템 통합프로그램 개발
 - 국도 59호선 시범적용
- ▶ 토석류 유입을 고려한 산지하천도로 배수구조물 설계 기술 개발.
 - 실제 규모 토석류 실험

○ 산지하천 수충부 방재기술 개발

- ▶ 산지하천 특성자료 구축, 홍수유출 해석시스템 개발
 - 영동과 영서지역을 대표하는 시험유역 선정, 시험유역의 하천 및 유역 특성과 유량, 유사량, 조도계수 등 조사, 산지유역의 집중호우 특성 조사, 설계강우 정량화 방안 제시, 산지유역의 유출특성 조사분석, 수문지형학적 방법 등에 의한 홍수량 예측기법 제시, 홍수유출 해석을 위한 사용자시스템 구축
- ▶ 산지하천 하상변동 모형 개발
 - 기존 모형의 산지하천에 대한 적용성 분석, 산지하천 토사유출량 조사 및 개발, 산지하천에 적합한 1차원 및 2차원 하상변동 예측모형 개발, 산지하천 하상변동 설계 실무를 위한 가이드라인 개발

- ▶ 산지하천 수충부 호안 공법 개발 및 편람작성
 - 수충부의 홍수위와 홍수피해 조사분석, 수충부의 홍수위 및 하상변동 관계 조사분석, 수충부 세굴심, 홍수위 산정기법 제시, 산지하천 수충부 호안공법 개발 및 보완을 위한 3차원 수치해석, 산지하천 수충부 호안의 객관적인 설계를 위한 편람 작성
- ▶ 하천 수리시설물 안전설계 기법 개발
 - 산지하천 수리시설물 피해유형 조사, 호안 및 하천 설계 현황 조사, 수리실험 및 현장적용을 통한 유속저감장치 개발, 유속저감 수리시설물 안전설계 지침을 제시
- 토석류 제어기법 개발
 - ▶ 토석류 제어기법 개발 및 토석류 발생과 흐름을 제어할 수 있는 6건의 새로운 공법들을 개발하여 특허로 출원
 - ▶ 토석류 재해저감 시설기준 및 제도 개선 관련 설계기준, 매뉴얼, 지침 개발 및 적용

V. 연구목표 달성 및 효과

○ 산악지 도로 선형/배수 설계 및 재해예측지도개발

본 연구에서는 강원지역에 산악지 도로 선형/배수 설계 및 재해예측지도 개발을 목표로 하고 있으며, 성공적인 연구수행을 하기 위해서 4개의 세세부로 나누어서 연구를 실시하였다.

- ▶ 강원 산지하천도로피해 DB 조사 및 분석
- ▶ 산지하천도로 재해예측지도 S/W개발
- ▶ 산지하천도로 방재를 위한 도로선형 설계기술개발
- ▶ 토석유입을 고려한 산지하천도로 배수 구조물설계 개선

이렇게 4개의 세세부에서 학술적성과인 학술지논문, 학술발표논문과 기술적인 성과인 지적재산권(특허,S/W)의 충분한 결과를 도출하였으며, 최종목표인 산악지 도로 선형/배수 설계 및 재해예측지도 개발을 정성적, 정량적 목표를 100% 달성하였다.

강원지역 수해에 의한 도로피해를 획기적으로 저감하여 반복되는 피해복구에 의해 소모되는 국가예산을 절감할 수 있으며, 산지하천도로의 도로시설물 성능 향상으로 LCC 및 물류, 관광비용의 부가적 서비스 효과는 물론 환경친화적인 편익 비용 등의 국가예산을 추가 절감할 수 있을 것으로 판단된다.

강원도 산지의 효율적인 개발을 유도하여 국토 활용을 극대화시킬 수 있으며, 소방방재청, 산림청, 지방자치단체 등에 개발된 시스템을 납품할 수 있을 것으로 기대된다. 이에 더하여 체계적이고 표준화된 피해저감기술 적용으로 지자체 자체적으로 토석류 발생에 대한 신속한 대응책을 마련할 수 있는 기반을 제공할 수 있으며 공동연구와 기술이전을 통한 참여기업의 산사태 재해관련 분야로의 사업영역 확대 및 매출 증대 또한 기

대한다.

GIS 기반의 재해 예측지도 제작 S/W는 산지하천도로의 선형설계 및 유지관리에 활용성이 기대되며, 산지 재해 상황관리 및 지자체 방재정책에 이용될 수 있다.

토석류 저감을 통한 인명손실, 재산피해 방지 및 토석류 재해예방으로 복구에 소요되는 비용 및 시간 절감하게 될 것이며 도로의 특성을 반영한 최적의 피해저감 공법을 표준화하여 설계 및 시공비용이 절감될 것이다.

○ 산지하천 수충부 방재기술 개발

산지하천 시험유역과 같은 산악지역에 대한 지속적인 고품질의 수문자료 수집이 지속되어야 하며, 이를 통한 강우-유출구조의 정확한 이해는 수문순환의 해석은 물론 유역 및 하도추적모형의 매개변수 추정에 사용되고, 수문/수리모형 개발의 경계조건, 검정 및 검증자료로 활용된다. 또한 개발된 모델의 적용성을 평가 할 수 있는 시험유역(Test bed) 운영으로 활용될 것이다.

산지하천 유역에 대한 자료 수집 증대, 산지하천 홍수에 대한 이해 향상, 산지하천 유역에 대한 홍수 유출해석 기법 개발에 따른 인적, 물적 피해가 경감될 것이다.

산지하천 만곡수충부에 적합한 이차원 흐름/하상변동 모형은 산지하천의 흐름 및 지형변화 예측에 적용할 수 있으며, 이 분야의 경우 국내 외 적으로 아직 초보적인 수준이지만 연구기반 구축의 효과가 있다. 국외의 적용사례가 거의 없는 분야로써 급경사 하천 모델링의 기술수준 제고가 기대된다.

산지하천도로 설계기술을 개발하는데 있어 도로선형 설계기술 및 배수설계 기술은 물론, 하천 만곡 수충부의 설계기술, 산지계곡부의 토석류 발생 제어 설계기술 등 다양한 요소기술을 개발할 수 있으며 또한 설계업무를 담당하는 엔지니어의 실무에 즉각 적용이 가능한 수준의 설계기술을 개발함과 동시에 재해 사전 방지 개념의 설계법 도입으로 인해 전체적인 관련 설계업무에서의 선진화를 가져 올 것으로 기대된다.

○ 토석류 제어기법 개발

최종목표는 크게 토석류 제어기법 개발과 토석류 재해저감 시설기준 및 제도 개선이다. 연구개발 기간 중 중간평가를 거치며 본래의 목표에 부합하도록 토석류 발생과 흐름을 제어할 수 있는 6건의 새로운 공법들을 개발하여 특허로 출원하였고, 6건의 토석류와 관련한 설계기준 및 매뉴얼, 지침을 개발 및 적용 중에 있다.

- ▶ 토석류 재해예방을 위한 조사기술의 진보
- ▶ 토석류 재해예방을 위한 설계업무의 효율성 및 신뢰성 제고
- ▶ 토석류 재해 저감 및 예측에 의한 재산 및 인명피해의 최소화
- ▶ 신 공법 및 지침의 도입으로 토목기술의 질적인 향상도모
- ▶ 토석류 재해예방으로 복구에 소요되는 비용 및 시간 절감

▶ 토석류대책구조물(사방댐)의 적극적인 활용이 가능해짐으로써 사회적 불안요소인 토석류로 인한 재해로부터의 위협을 줄일 수 있고 개발이 어려웠던 지역의 개발로 인하여 국토의 균형적인 발전 및 국민 복지의 증진이 가능해질 것이다. 또한, 정부의 녹색성장 및 친환경정책에 부합하여 더욱 큰 시너지효과를 기대할 수 있을 것이다.

VI. 연구성과 활용계획

○ 산악지 도로 선형/배수 설계 및 재해예측지도개발

강원지역의 산지하천도로는 향후 많은 부분을 차지하게 되므로, 본 연구의 주된 국도 뿐만 아니라 도로 등급에 상관없이 활용할 수 있도록 할 계획이다.

본 연구가 산지하천도로의 세부적이고 정량적인 기준을 제시하여 강원지역 뿐만 아니라 산지와 하천을 이루고 있는 지역의 도로를 계획하는데 활용할 수 있도록 제도화하여 도로 피해를 저감하고자 한다. 우리나라의 경제성장과 국가적인 지위를 고려할 때 도로의 양적인 팽창과 더불어 질적인 향상도 반드시 이루어져야 할 것이다. 물론 계획의 타당성과 설계의 수준향상이 국제적 위치에 도달되어야 한다.

현재 산지하천도로의 연구는 미국과 일본 등의 선진국에서도 미비한 실정임에도 불구하고 국내 연구가 진행되는 것은 그만큼 의미가 큰 것이고, 향후 재해저감으로 인한 이익뿐만 아니라 관련분야에서 앞장 설 수 있는 계기가 될 것이다.

○ 산지하천 수충부 방재기술 개발

산지하천 시험유역과 같은 산악지역에 대한 고품질의 수문자료 수집이 지속되어야 하며, 이를 통한 강우-유출구조의 정확한 이해는 수문순환의 해석은 물론 유역 및 하도추적모형의 매개변수 추정에 사용되고, 수문/수리모형 개발의 경계조건, 검정 및 검증자료로 활용된다. 또한 개발된 모델의 적용성을 평가 할 수 있는 시험유역(Test bed) 운영으로 활용될 것이다.

산지하천 유역은 수위관측소의 부재로 홍수유출해석에 필요한 자료 습득이 어렵다. 본 연구에서는 지리정보시스템을 이용하여 유역특성인자를 공간적으로 분석한 자료와 획득한 빈도별 강우자료 종합한 결과를 바탕으로 미계측 유역에서도 손쉽게 홍수량을 산정할 수 있는 기법을 개발하였다. 이러한 기법을 이용한다면 수문자료의 유무와 상관없이 임의의 지점에서 홍수량 산정이 용이해 질 것으로 판단된다. 이를 활용할 경우, 산지하천 유역의 유역특성을 바탕으로 산정된 홍수량을 수공구조물의 설계에 도입할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구결과 산지하천에 적합한 유사량 산정공식 및 소류사 측정기는 하상변동 예측 및 유사량 측정에 중요한 자료로 활용될 것이다.

지방하천 및 소하천 정비기본계획수립에 즉각적으로 활용할 것으로 예상되며, 이를 통해 산지하천이 대부분을 차지하는 국내하천의 하상설계를 선진화하고, 이를 통해 하상변동에 의해 유발되는 시설물 재해를 사전에 예방함에 있어 자연재해에 따른 재해복구비용의 경감 등, 관련 경제성 편익이 매우 클 것으로 예상된다.

자연하천의 하상변동 현상을 보다 잘 재현하기 위해서는 잠김/드러남 기법을 사용하고 비정상 흐름 조건을 사용한 수치모델링이 필요하다. 또한 수치모형을 사용한 3차원적 해석 역시 중요한 연구 주제가 될 것으로 판단된다.

기존 호안의 역학적 평가도 지속적으로 수행하여 국내여건에 맞는 호안의 역학적 설계기법을 정립하고, 평가 소프트웨어의 기본 계수값에 대한 검증을 통하여 실무에서의 활용성을 확대하고자 한다.

○ 토석류 제어기법 개발

현재 국내 외 토석류 연구는 선진국에서도 큰 이슈가 되고 있어, 본 연구에서 개발된 실규모 토석류 실험 사이트 또는 신 공법 개발, 그리고 제안된 지침, 설계기준 등은 향후 일선산업체와 국공기관에서 활발히 받아들일 경우 토석류 재해저감의 밑거름이 될 것이며, 앞으로 국내 외 연구, 실무에 많이 이용될 것으로 전망한다.

S U M M A R Y

I . Title

Development of Flow Impingement and Debris Flow Disaster Prevention Technology in Mountainous Riverside Roads

II. Overview of Research and Development

In Gangwon Province accounted for 89% of the mountainous, most of the road have been constructed along the river and destroyed by frequent flood damage such as scour of river bed, increase of flood water level from concentrated heavy rain in impingement. Since mountainous river has topography and geological factors which bed slope is high and river bend impingement is developed, flow velocity is very fast and a rise of water level and a fluctuation of water level at transverse is severe for flood. For this reason, roads of these regions have been damaged relatively more than other regions in case of equivalent torrential rain condition.

Damage of mountainous and riverside roads has been repeatedly occurred due to typhoon and localized torrential downpour, and is especially concentrated on Gangwon province. Also, a restoration work is a cause of recursive damages because that has been carried out as quick restoration on purpose of traffic control.

Although the mountainous river compared to the alluvial river is limited dynamic behavior and is not greatly changed by morphological characteristic of river, the flood cause directly the destruction of social infrastructures such as roads constructed following the rivers. However the investigates of flood characteristics and development researches for the design to prevent disaster was not enough. Therefore this study to prevent flood damage that occurs frequently in Gangwon may investigate the characteristics of a mountain river and develop the safety design techniques for facilities of the mountainous rivers as predicting flood rate, the river bed variation, scour, and water level changes.

Also, the Debris-flow in Korea have occurred at the summer season by rainy season and typhoon. Especially, these damages have occurred in Gangwon province where have many mountainous areas because extreme localized rainfall in a short

time have a effect on environmental condition which has short transportation area and sharp slope on river and valley. In addition to this, damages on extreme localized rainfall have increased by problems such as solution method of regional characteristics, construction of regional infrastructure by limited finance condition, management main agent and regional jurisdiction, etc.

Overall research objective was to develop flow impingement and debris flow disaster prevention technology in mountainous river and riverside roads.

First objective was to present necessary design techniques and standards of riverside roads to reduce damages and keep minimum traffic operation considering topographic characteristics of Gangwon province for these design techniques and developing a design technology of mountainous and riverside road alignment and drainage including disaster hazard and risk maps.

Second objective to prevent flood damage that occurs frequently in Gangwon may investigate the characteristics of a mountain river and develop the safety design techniques for facilities of the mountainous rivers as predicting flood rate, the river bed variation, scour, and water level changes.

Our last objective was to develop reduction technique by the debris-flow by investigating occurrence behavior of the debris-flow to influence damages in road mountain river and establish design technique for damage reduction of the debris-flow and improvement system for Mountainous riverside areas.

III. Contents and Results of Research and Development

○ Design technology development of mountainous and riverside road alignment/drainage for disaster prevention

- ▶ Construction of database for landslide and debris flow disaster

We investigated hazard regions of landslide and debris flow to construct the database at all over the country, and we analyzed influence factors of landslide and debris flow. Database of landslide is 455 sites and database of debris flow is 160 basins.

- ▶ Development of hazard assessment model for landslide and debris flow

Landslide-risk prediction equation is proposed based on the statistical analysis of 423 sites from landslide database acquired by analysis of disaster histories, aerial photograph, and field surveys. Each database includes geomorphologic characteristics, soil properties, rainfall conditions, forest properties. The comparison experiment

between results of proposed equation and actual occurrence of landslide has been conducted. It shows 92 percent in the accuracy of classification. Since the input for the equation can be provided within short period and low cost, and the result of equation can be easily implemented with landslide hazard map. Therefore, the proposed equation can be effectively applied to the analysis of landslide-risk for extensive mountainous regions.

An analysis method for the assessment of debris flow risk by the watershed based on GIS technology has been also proposed. The essence of system is a hazard assessment model to predict the risk of debris flow for any given location. The hazard assessment model has been developed based on the statistical analysis of 48 debris flow cases, which also acquired by field surveys, disaster histories, and digital maps of debris flow regions. Each set of data in the database includes size of debris flow, rainfall condition, types of bedrock, and runoff distance of the debris.

- Development of hazard assessment system for landslide and debris flow

The hazard assessment system for landslide and debris flow by using a logistic regression model has been developed based on GIS technology. This system can generate a probability map of landslide occurrence. Also, it can extract a small basin and analyze a risk of debris flow in an extracted basin.

- Development of assessment system for alternative routes selection

The assessment system of alternative route has been implemented based on disaster hazard maps. This system can present a hazard risk of disaster and a result of LCC evaluation for each road. In order to construct a foundation of this program, we conducted the work of road-shaped information, the development of input module for disaster hazard and risk map, and coding works of LCC program. This program has been verified by applied to the national highway 59 route, thus we compared and analyzed the landslide hazard risk and the economical efficiency by LCC for each alternative routes.

- Integration of assessment system for alternative routes selection

We calculated unit restoration costs for landslide and debris flow. In this calculation, we include disaster history and the result of LCC cost analysis. We improved this system with an application to extract high risk sections, and we evaluated the cost to restore the section of the landslide. The hazard risk analysis of landslide and the cost analysis of LCC are integrated by this program. Finally, based on this analysis algorithm, the integrated assessment system of alternative routes in a mountainous region has been developed.

- ▶ Development of design criteria of culvert in mountainous region considering inflow of debris flow

Based on the results from a series of laboratory experiments and numerical simulations, we reproduced a characteristics of debris flow deposition. Thus, we figured out some significant factors of debris flow deposition, and we introduced the logistic regression model using these factors. We verified the introduced numerical model in this research based on these results. The logistic regression model has been successfully developed for designing the culvert with inflow of debris flow in mountainous region. The experimental and numerical investigation conducted in this research elucidated the behavior and depositional features of debris flow in the culvert. Using the results, debris flow initiation parameters have been selected for real-scale field experiments.

○ Development of flow impingement disaster prevention technology in mountainous river

- ▶ The analysis techniques of flood runoff and quantify of designed rainfall is developed to reflect characteristics of concentrated rain in mountainous watershed as investigating roughness coefficient and characteristics of mountainous rivers and operating of experimental watersheds in mountainous river, Gangwon Province, and user system is established.

- ▶ One-dimensional model and other model for riverbed change prediction in meandering impingement are developed to simulate adequately the fluctuation of river bed for mountainous rivers.

- ▶ The flood damage, characteristic of flood water level, and the riverbed change prediction is investigated, and calculation techniques of flood water level and scoured depth in meandering impingements is presented. The handbook and program is developed to design the river bank and develop method to protect a bank in impingements of mountainous rivers based on observed data and presented techniques.

- ▶ The damage type of hydro-facilities in mountainous river is investigated and techniques to reduce flood velocity and a guide for safety design of hydro-facilities is presented to decrease the damage.

○ Development of debris flows control technique

- ▶ Understanding of the debris flow characteristics and analysis of existing construction method, design method and facility standards
- ▶ Analysis of the topography and geological characteristics in mountainous regions of Gangwon province
- ▶ Development and experimental construction of the debris flows control construction method
- ▶ Development of reduction construction method and analysis of the debris flows characteristics of the occurrence and flow
- ▶ Writing of job instructions by the analysis method of the behavior characteristics for the debris flows reduction construction method
- ▶ Establishment of the facility standards for the debris flows disaster reduction

IV. The Final Research Achievements and Applied Performance

○ Design technology development of mountainous and riverside road alignment/drainage for disaster prevention

- ▶ Construction of database for landslide and debris flow disaster regions in Gangwon province
 - Database construction of landslide disaster : 455 sites
 - Database construction of debris flow disaster : 160 basins
 - Database service
- ▶ Development of landslide and debris flow hazard and risk model
- ▶ Development of hazard and risk analysis system for landslide and debris flow
 - Hazard assessment of landslide and debris flow on national highway 59,35 and 31 route.
 - Hazard assessment of landslide and debris flow in Umyeon Mountain, Seoul
- ▶ Disaster hazard and risk map of Gangwon province base on GIS technology
 - Generation of disaster hazard and risk map for Gangwon province
- ▶ Development of assessment system for the alternative routes selection
 - A pilot application of National highway 59 routes
- ▶ Development of integrated system for the evaluation of alternative routes in mountainous region
 - A pilot application of National highway 59 routes
 - ▶ Development of design criteria of culvert in mountainous region considering

inflow of debris flow

- Real-scale debris flow field experiment

○ Development of flow impingement disaster prevention technology in mountainous river

▶ The development of analysis system for flood runoff and establishment of characteristic data for mountainous river

- Selection of experimental watersheds to represent Yeongdong and Yeongseo regions, Investigation for characteristics of river and basin of experimental watersheds, runoff and sediment, roughness, and etc, Investigation for characteristics of heavy rain in mountainous watershed, Presentation of a quantified plan for design rainfall, Analysis of runoff characteristic from mountainous watershed, Presentation of prediction technique of flood discharge from hydrogeomorphological method, Establishment of user system to analyze flood runoff

▶ The development of model for riverbed change prediction in mountainous river

- Analysis for application of existing models in mountainous rivers, Development and investigation of sediment yield in mountainous river, Development of one and two dimensional models of riverbed change prediction, The guideline to design practice of riverbed change in mountainous river

▶ To write a guide and develop the bank protection work for impingement of mountainous river

- Analysis of flood damage and water level of impingement, Investigation of relationship between flood water level and riverbed change of impingement, Evaluation of soured depth of impingement, Presentation of evaluation technique of flood water level, Computational analysis to revise and develop band protection work for mountainous rivers, Writing of guide to design objectively band protection of mountainous rivers

▶ The development of safety design techniques for hydro-facility in river

- Investigation of damage type for hydro-facilities in mountainous river, Survey of design situation for band protection and river, Development of devise to reduce flow velocity throughout hydraulic test and field application, Presentation of safety design manual for hydro-facilities to reduce flow velocity

○ Development of debris flows control technique

▶ Development of the debris flows control construction method

- ▶ Modification the facility standards for the debris flows disaster reduction

V. Research Objective and Effects

○ Design technology development of mountainous and riverside road alignment/drainage for disaster prevention

- ▶ Field investigation and analysis of disaster regions, and construction of database for roads in mountainous and riverside region of Gangwon province
- ▶ Development of disaster hazard and risk map S/W for mountainous and riverside road
- ▶ Design technology of road alignment for prevention of disaster in mountainous and riverside road
- ▶ Improvement of construction design for drainage in mountainous and riverside road considering inflow of debris flow

Four detailed studies concluded enough results of intellectual property rights(patent, S/W registration), articles in journals, final objective. And the development of disaster hazard and risk map, design technique of alignment and drainage in mountainous road has been achieved 100% completion.

Installation of construction for drainage can reduce road damages by disasters in Gangwon. In addition, these can reduce whole national budgets for restoration of damages. Also, the additional service can be improved by the cost reduction of LCC, touring cost, and logistics due to increasing performance of road facility in mountainous and riverside road.

Our results of this research can lead to an efficient development of mountain in Gangwon province, and it can maximize an application of land development. It is also expected to offer a developed system to National Emergency Management Agency, Korea Forest Service and local governments. In addition, an application of standardized damage reduction techniques can provide local governments with guides for preparation of countermeasure about landslide and debris flow disaster. We expect a sale rise and business area expansion on landslide hazard related field through R&D cooperation and technology transfer.

Disaster hazard and risk map S/W based on GIS will be expected to application of alignment design and maintenance of mountainous and riverside road, it can be also used for a status control of mountainous disaster and a prevention policy

establishment of local government.

Reduction of debris flow will reduce the cost and time of restoration, property damage and casualties by debris flow. An standardized damage reduction method of construction can reduce a design cost and an installation cost through an optimized method considering road characteristic.

○ Development of flow impingement disaster prevention technology in mountainous river

DB for hydraulic and hydrological data collected by real time transmission of hydrological observation data and regular site visit was established. The boundary condition for developing various models for analysis on erosion and sedimentation by avalanche of sand and stone, hydraulic characteristic in flow impingement section was provided and the foundation for qualification and verification data of model was established. For this, rainfall and water level was continuously observed, the hydraulic-flux curve formula was developed through flux observation, uncertainty for this accuracy was analyzed, discharge characteristic for understanding rainfall-discharge structure was analyzed and the hydraulic characteristic change in flow impingement section was analyzed.

The developed model can simulate the flow and river bed change in mountainous steep slope channel and, we believe, predict its behaviors. Though the present technological level is in infancy in Korea, the foundation for future study was established in this study. We expect the future growth in this field.

○ Development of debris flows control technique

The final objects were to develop the debris flows control construction method and modify the facility standards for the debris flows disaster reduction. Under research and development, the six debris flows control construction methods were developed for corresponding with original object. The methods applied for a patent thought the midterm evaluation. The six design standards and manuel of the debris flow were developed which were applied and appling.

- ▶ Advancement of investigation technique for debris flows disaster prevention
- ▶ Improve of Credibility and efficiency of design work for debris flows disaster prevention
- ▶ Minimization of casualties and property loss by debris flows disaster prediction and reduction
- ▶ Promotion of qualitative improvement of civil engineering technology with the

introduction by the New method and guideline

- ▶ The Reduction of the cost and time required for the repair from the debris flows disaster prevention

- ▶ The active use of the debris flows countermeasure structure(debris barrier) as possible to reduce the threat of social unrest due to debris flows from the disaster. The balanced development of the country and the promotion of the public welfare will be possible to developing difficult development area. Also, these results accord with government's green growth and eco-friendly policies and we can expected greater synergy effect.

VI. Applications

○ Design technology development of mountainous and riverside road alignment/drainage for disaster prevention

This research wishes to provide a detailed and quantitative standard of road design technique in mountainous and riverside region considering landslide and debris flow disaster. It can be applicable to reduce damages of mountainous and riverside roads as well as Gangwon province.

There are recursive typhoon and torrential rainfall disasters in our country due to topographic characteristics. These disasters induce damages of public facilities, and it leads to a loss of national budget and inconvenience of public life. A damage of road is the biggest cause of these losses. For this reason, an qualitative advance of road is surely necessary as well as a quantitative advance considering economic growth and national status of our country. A validity of design and improvement of standards should also compete against global standard.

In present, researches about mountainous and riverside road has not been studied enough in advanced nations such as United States of America and Japan. Therefore, in addition to a benefit from the damage reduction, the result of our research may become opportunity, leading the related filed about hazard reduction technology in the world.

○ Development of flow impingement disaster prevention technology in mountainous river

The collection of high quality hydrological data for mountainous region such as experimental watershed of mountainous river must be continued and the exact

understanding of rainfall–discharge structure through this is used for not only hydrological analysis but also assuming parameters of river basin and channel routing model and used as boundary condition, qualification and verification data for hydrological/hydraulic model development. Also, this will be used for monitoring experimental watershed which can evaluate applicability of developed model.

It is difficult to obtain water level and discharge data for mountainous stream. Frequency rainfall data and watershed characteristics are analyzed spatially using a GIS and a design flood estimated method is reviewed based on the result in this study. Using the developed method in this study, the design flood at a random location can be simulated easily if the location don't have hydrologic data. In addition, the developed method is able to assist to design water resources structures based on mountainous watershed characteristics.

The bed-load measurement instrument and the empirical sediment load formulas may be useful to predict the riverbed variation and to measure the sediment load in mountainous rivers.

Local streams and small river maintenance basic plan is expected to take immediate and This mountainous country that occupies most of the river bed of the river to the advancement of design. This bed caused by changes in advance of disaster prevention facilities, a natural disaster, as the cost of disaster recovery, according to the decreasing and related economic benefits are expected to be significant.

As future developments, the wet/dry treatment of flow boundary is under development for realistic reproduction of flooding of unsteady rivers. For the future increase in the use of three dimensional model, related work is planned.

By performing a continuous mechanical evaluation of the existing revetment, a mechanical design method of revetment, as deemed appropriate to domestic conditions was established and the aim is to expand the utilization in practice through the verification of basic coefficient of the evaluation software program.

○ Development of debris flows control techniques

Recently, internal and external debris flow research has become a big issue in advanced country. If developed real-scale experiment site, proposed guidance and design standard were applied in industry and national institution, it becomes foundation of the debris flows disaster reduction. It is expected to be widely used in internal and external research and business.