

미래 통합 유역홍수 대응기술개발 연구성과 - 3세부 연구과제 -



한 건 연 ▶▶▶

차세대홍수방어기술개발 연구단장
경북대학교 교수
kshanj@knu.ac.kr



전 경 수 ▶▶▶

성균관대학교 사회환경시스템공학과 교수
ksjun@skku.edu



정 관 수 ▶▶▶

충남대학교 토목공학과 교수
ksjung@cnu.ac.kr



김 규 호 ▶▶▶

한국건설기술연구원(KICT) 위원
khkim1@kict.re.kr



최 성 욱 ▶▶▶

연세대학교 토목환경공학과 교수
schoi@yonsei.ac.kr

1. 3세부 연구과제 소개

3세부과제는 유역 홍수에 대응하기 위한 최적화된 기술 개발, 공간홍수를 예보하기 위한 실시간 홍수예측 및 수공구조물 붕괴에 대한 극한홍수 대처기술, 하천내의 환경 변화에 따른 하도의 안정화를 위한 기술, 유역 치수안전도 평가 및 치수계획 수립기술, 그리고 수치모형을 이용한 퇴사 및 배사 예측기술을 개발함으로써, 첨단 실시간 홍수예보 관리시스템을 적용하고 선진화된 유역종합 치수계획 수립을 통하여 홍수재해 예방능력을 강화함으로써 재난 피해의 발생을 최소화하고자 한다.

이에 따른 주요연구내용은 위험도 기반의 통합홍수 관리 기술, 유역 치수안전도 평가 및 치수계획 수립기술, 비구조적 홍수대책 대응능력 제고 및 홍수방어 대책의 조합기술, 강우레이더를 이용한 강우 산정 및 예측기술, (5) 유역 수리/수문 통합 모델링 기술, 극한홍수 전파에 대한 하천유역 고정확도 해석 기술, 극한홍수 전파에 대한 해안지역 고정확도 해석 기술, 수공구조물 붕괴 수리실험 및 검증 기술, 실시간 침수해석 및 Flood Risk Mapping 기술, 유역대응 토양유실 취약성 평가기술, 보 설치 및 준설 이후 하상 안정화 확보기술, 수치모형을 이용한 퇴사 및 배사예측 기술개발 등이다.



그림 1. 3세부 연구 조직도

3세부는 5개 기관(대학4, 연구원1)으로 구성되어 있으며 연구조직도는 <그림 1>과 같다.

련하는 것을 목표로 하여 본 3-1과제에서는 (1) 위험도 기반의 통합홍수관리 기술, (2)비구조적 홍수 대책 대응능력 제고 및 홍수방어 대책의 조합기술의 두 개의 단위과제로 나누어 연구를 수행하였다.

2. 공동과제별 연구내용 및 기대효과

2.1 유역 홍수 대응 최적 기술 개발(3-1 공동과제)

통합홍수관리를 위한 기술적, 제도적 기반을 마련

(1) 위험도 기반의 통합홍수관리 기술

통합 홍수 관리에서 하천 유역은 육지와 수역 사이에서 다양한 상호 작용과 변화가 생기는 동적 시스템으로 보며, 이러한 인식하에 하천 유역이 어떠해야 하는가를 생각하는 데에서 출발한다. 지속 가능한 생활의 개념을 도입하고자 하면, 하천 유역 시스템의 능력을 전체적으로 높이는 방법을 찾는 방향으로 접근해야 할 것이다. 이러한 통합 수자원 관리의 관점에서 하천유역 내의 토지자원과 수자원의 개발을 통합하고, 범람원에서 얻을 수 있는 편익을 최대화 하면서 홍수에 의한 인명의 손실을 최소화 하기위한 기술이 필요하다. 본 연구에서는 통합홍수관리를 위한 요소기술 개

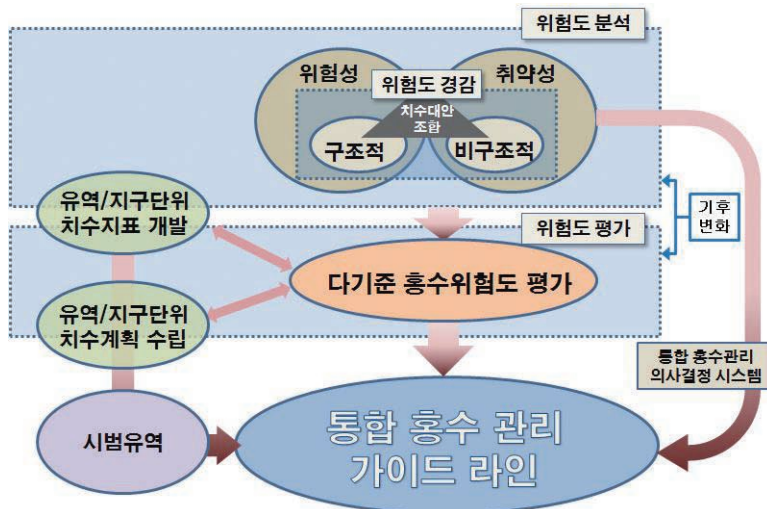


그림 2. 유역홍수대응 최적 기술 개발 연구의 구성

발을 목표로 하여, (1) 대하천 홍수위험성 산정 기법, (2) 홍수위험도 평가기법, (3) 한국형 통합홍수관리 의사결정 모형 개발, (4) 도시홍수 방어를 위한 비구조물적 대책 수립 등을 세부연구과제로 설정하였다. 각 세부연구과제의 연구결과는 지침서와 법률안 제안서로 작성되었다.

(2) 비구조적 홍수대책 대응능력 제고 및 홍수방어 대책의 조합기술

현재 홍수대책 수립시, 주로 구조적 홍수대책에 대한 보완 및 대안으로 비구조적인 대책을 일부 병행하고 있는 실정으로, 단시간에 특정지역에 집중되는 국지성 집중호우의 경우 방재시설의 설계용량의 상향 등 구조적 홍수대책을 고려할 수 있으나, 설계용량을 빈번히 초과하는 국지성 집중호우의 자체 특성상 시설용량을 늘이는 것만으로는 한계가 있으며, 경제성 또한 확보하기 어렵다. 본 연구의 목적은 대표적인 비구조적인 홍수대책의 특성을 분석하여 국내 적용시 고려하여야 할 정책제안을 제시함으로써, 종합적이고 근원적인 홍수방어대책을 수립하기 위한 자료로 활용하는데 있다. 또한 효율적인 제도 개선을 바탕으로 홍수대책 수립시 지역·기관 연계 통합 홍수방어기술의 효율적이고 신속한 업무수행능력을 향상시켜 반복적인 재해의 방지 및 근원적인 홍수방어체계를 도모하고자 한다. 연구결과는 지침서로 작성하였다.

2.2 공간홍수예보 및 극한홍수 해석기술개발

본 연구과제인 “공간홍수예보 및 극한홍수 해석 기술개발”과제는 크게 공간홍수예보, 극한홍수 해석, Flood Risk Mapping 기술로 이루어져 있다. 공간홍수예보 분야는 유역의 홍수예측 기술을 실시간으로 적용할 수 있는 한국형 AHPS 구축을 위한 기본 모듈 및 모형, 데이터베이스 등의 구축을 목표로 하는 과제로서 “강우레이더를 이용한 강우산정 및 예측기술”과 “유역 수리/수문 통합 모델링 기술”, 그리고 “실시간 침수해석기술”로 이루어져 있고, 강우산정 및 예측과 수리·수문 과정을 통합한 모형을 개발하고, 모형을 통해 도출한 유량을 통해 실시간으로 하천의 수위를 예측한 후 실시간 침수해석을 통해 범람 시뮬레이션을 구현하고자 한다.

극한홍수해석 분야는 댐/제방 등의 수공구조물 붕괴 등으로 인해 발생할 수 있는 극한홍수에 대한 대비/대응/대책 등을 제시하기 위한 연구분야로서 “극한홍수 전파에 대한 하천유역 고정확도 해석기술”과 “극한홍수 전파에 대한 해안지역 고정확도 해석기술”, 그리고 “수공구조물 붕괴 수리실험 및 검증기술”로 구분된다. 극한홍수 전파 양상을 하천홍수와 해안홍수를 해석하기 위한 고정확도 기법을 적용한 모형을 개발하고, 수리실험을 통해 산출한 데이터를 모형의 검증을 위한 자료로 활용하고

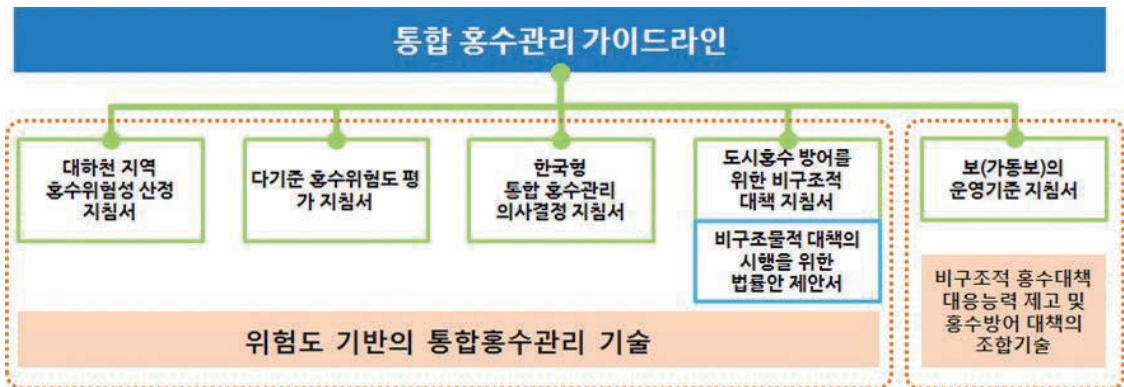


그림 3. 연구의 산출물

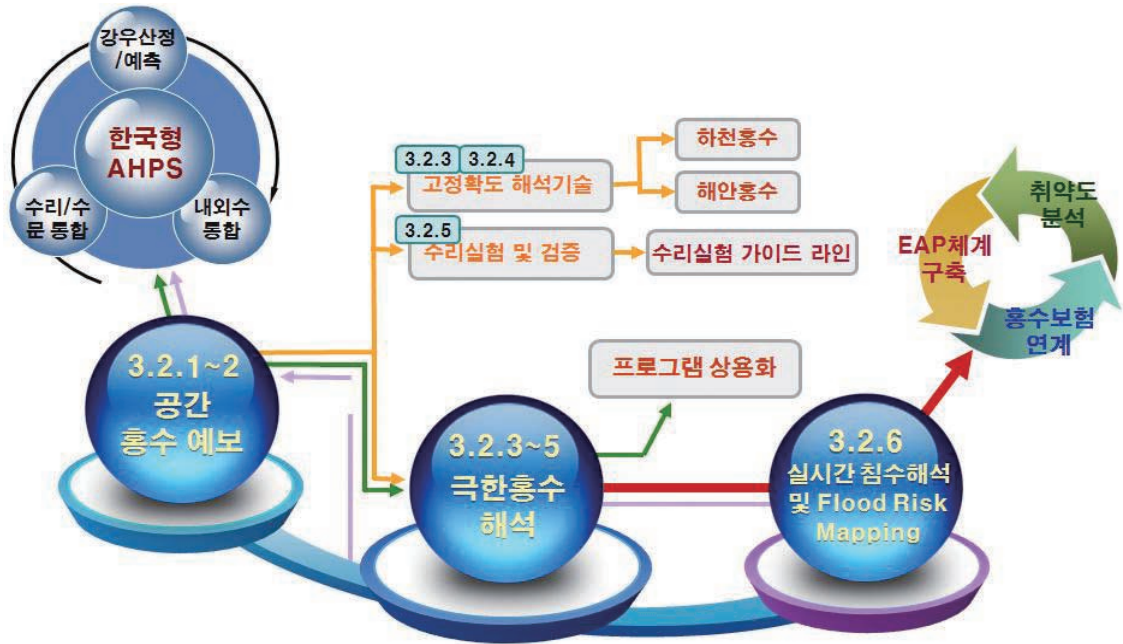


그림 4. 공간홍수예보 및 극한홍수 해석기술개발 연구의 구성

자 한다. 또한 수리실험을 통해 산출된 메커니즘 등의 결과를 통해 수리실험에 대한 가이드라인을 제시하고자 한다.

Flood Risk Mapping 분야는 홍수에 대한 물리적, 사회적 취약도까지 포함하는 Risk 기반의 홍수위험지도 제작기법을 제시하기 위해, Flood Hazard Map 제작에 필요한 2차원 유한체적모형을 개발하고, 홍수취약도를 산정하기 위해 정량적 분석기법을 도입하고자 한다.

2.3 미래 하천환경 변화에 따른 하도 안정화 기술(3-3 공동과제)

최근 4대강 살리기 사업에 따른 하도 정비 및 다기능보 설치 이후 하도의 수리학적 특성을 변화시킬 것으로 예상됨에 따라 이로 인해 발생할 수 있는 현상들을 예측하고 발생하는 각종 재난을 예방하기 위한 구조적 대책수립이 절실히 요구되는 실정이다. 따라서 본 1-1과제에서는 (1)유역대응 토양유실 취약성 평가기술, (2)보 설치 및 준설 이후

하상 안정화 확보 기술에 대한 두 개의 단위과제로 나누어 연구를 수행하였다.

(1) 유역대응 토양유실 취약성 평가기술

장마와 태풍, 국지성 집중호우에 의한 토양유실을 저감시키기 위해서는 토양유실예측과 저감기술에 대한 연구 및 실용화가 필요하다. 또한 토양유실량 정보를 활용하여 하천의 자연적, 인위적 환경변화에 대비한 안정하도 설계기술의 확보가 요구된다. 이를 위하여 본 연구에서는 GUI를 기반으로 한 통합 유역유사 모의시스템 개발을 주 목표로 한다.

분포형 강우-유사-유출 모형을 금강수계 세종보 상류구간의 주요 지류유역인 미호천 및 갑천 유역에 적용하여 모형의 타당성을 검증하고 GUI를 기반으로 한 통합유역유사모의시스템으로 확장하였다. 주요 매개변수의 추정에는 전역 최적화기법 중의 하나인 SCE-UA 방법을 적용하였고 강우장의 형성에는 지상관측소를 이용한 방법을 적용하였다. 주요한 결과로 강우로 인한 유역침식의 시간

별 공간분포도를 도시할 수 있었고 본류구간으로의 시간별 토사유입량을 산정할 수 있었다.

본 연구에서는 유역규모의 유사모의시스템을 사용자 편의를 고려한 GUI를 기반으로 제시함으로써 효율적인 하천관리를 위한 기초자료를 제공할 수 있을 것으로 기대된다. 지류유역의 유역침식에 따른 본류구간으로의 유사유입량 산정과 함께 침식과정의 공간분포도를 제공함으로써 하도 안정화 및 토사로 인한 재해방재 등 다양한 분야에서 활용이 기대된다.

(2) 보 설치 및 준설 이후 하상 안정화 확보 기술

준설로 인한 하천 단면의 변화로 인하여 하도의 수리학적 특성 및 하천환경의 변화가 있을 것으로 예상된다. 따라서 하도 변화에 대해 정성적, 정량적 해석을 통한 재난 대책 수립이 필요하다. 본 연구에서는 대상유역을 선정하여 수제를 이용한 하도의 안정성을 평가하여 체계적인 수제 설계를 위한 기초자료 제공한다.

수제 수리모형 실험을 통해 획득한 자료를 2차원 수치모의 프로그램인 SMS에 적용하여 본 실험의 타당성을 검증하였다. 임의구간을 선정하여 수제를 설치하여 적정성을 검토하였다. 대상구간을 선정한 후 수제 설치에 있어 지배인자들을 검토하여 각각의 특성에 맞게 적용을 하여 수치해석을 하였다. 본 연구에서 수치모의 통해 각각의 지배인자들이 세굴과 퇴적에 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 실제 하천에 적용하기 위해 충분한 자료 조사를 해야하며 지형조건에 맞는 지배인자를 구성해야 한다.

본 연구는 수공구조물(수제) 주변에서 발생하는 흐름 및 유사 이송 특성 메커니즘을 실험을 통하여 분석하고 수제의 설계기법을 제시함으로써 하도 안정화를 위한 설계 요소기술의 개발에 활용이 가능할 것이며 본 연구를 통해 제시된 수제 설계기법을 통하여 하도 안정화 뿐만 아니라 생태 서식처 제공 등 다양한 분야에서 활용이 가능할 것으로 기대된다.

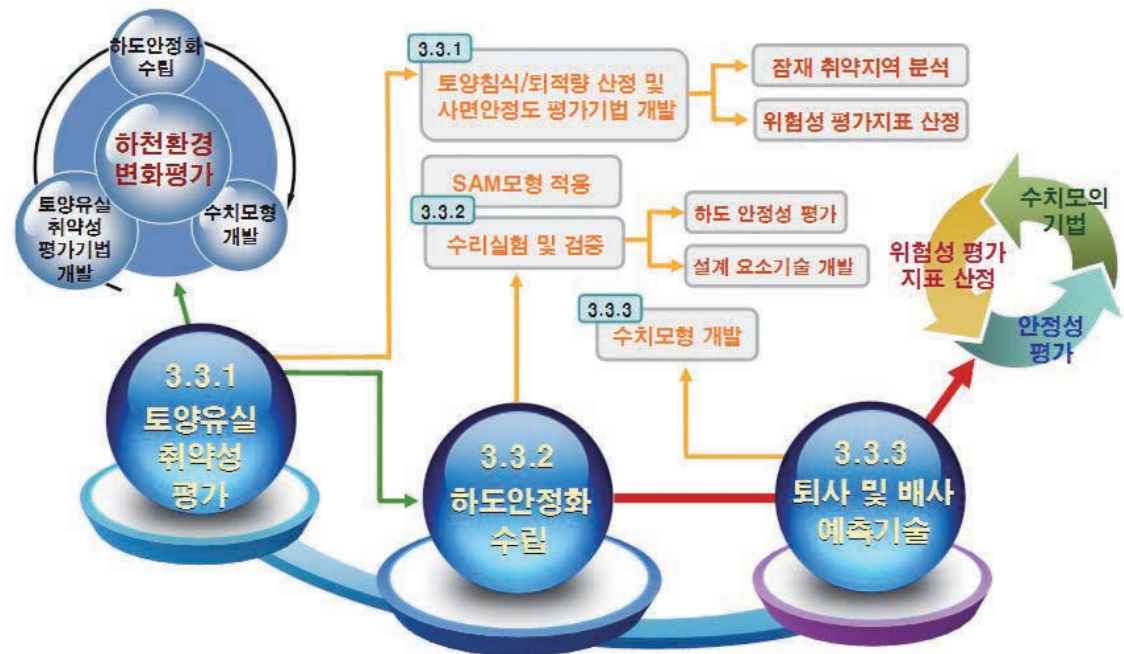


그림 5. '미래 하천환경 변화에 따른 하도 안정화 기술' 연구개요도

2.4 유역 치수안전도 평가 및 치수계획 수립기술 (3-4 공동과제)

최근 기후변화에 따른 빈번한 태풍과 집중호우로 인해 홍수에 의한 피해규모가 대형화 추세에 있으며 이에 따라 효과적인 홍수 대응 기술이 필요하다. 또한 국내 홍수 피해는 침수면적이 감소하는 반면 침수면적당 재산피해액이 증가하고 있는 특성을 보이고 있으며, 이는 하천유역 토지개발 및 이용, 산업 및 도시의 고도화 등에 따라 기존 하천 중심의 치수대책에 따른 결과로 판단된다. 따라서 기존 하도 홍수방어에서 벗어나 유역을 총괄하는 계획에 의해 지역별, 치수단위구역별 중요도를 고려하여 단위구역별로 홍수방어 수준과 치수계획 규모에 따라 최적화 또는 맞춤형 치수계획이 필요하다. 본 3-4과제에서는 유역 단위 치수계획 평가 기술 개발 및 유역 단위 맞춤형 치수계획 표준화

기술 개발을 목표로 연구를 수행하였으며, 연구의 주요 내용은 (1) 치수계획 검토 및 평가, (2) 유역 치수안전도 평가 및 치수계획 수립기술이다.

- (1) 치수계획 검토 및 평가에서는 국내 주요 치수계획(수자원장기종합계획, 유역종합치수계획, 하천기본계획)의 방향을 알아보고 각 계획에 대한 비교를 하였으며, 국내 치수계획의 한계를 알아보았다. 또한 국외 치수계획(미국, 일본, 영국, 프랑스, 네덜란드, 독일, 호주)의 현황을 알아보고 우리가 나아가야 할 방향을 제시하였다.
- (2) 유역 치수안전도 평가 및 치수계획 수립 기술에서는 유역단위 치수계획의 개념을 정립하고, GIS/RS 기반의 유역단위 치수계획 방법론 제시 및 시범적용을 수행하였으며 이에 대한 지침을 작성하였다.

본 3-4과제의 유역 치수안전도 평가 및 치수계획

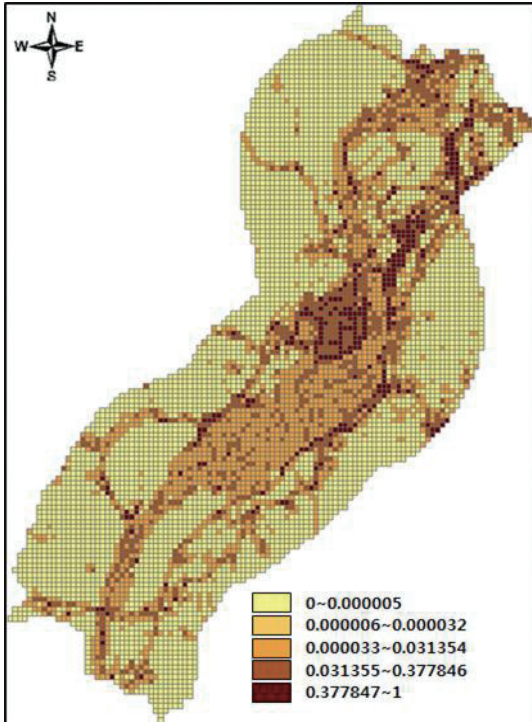


그림 6. TOPSIS방법을 이용한 중요도 산정

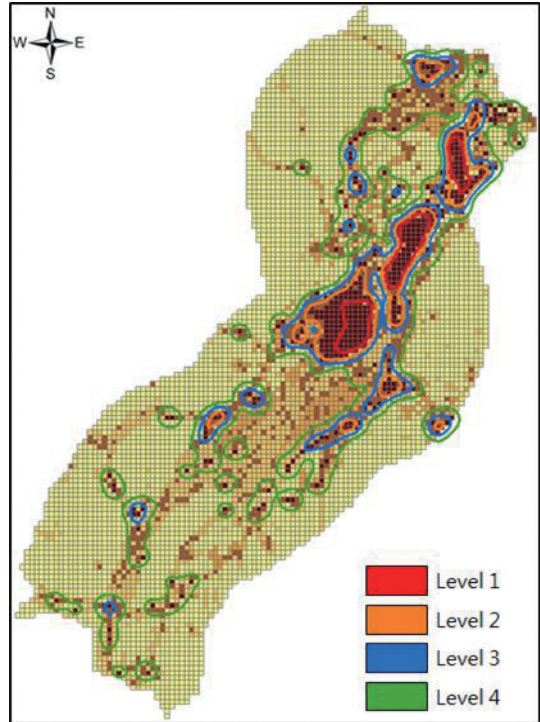


그림 7. Kernel 밀도분석에 의한 최적 zoning 방안 (중요도 결과와의 중첩)

획 수립기술 연구 결과를 활용하여 유역내 지역 특성을 고려한 유역단위 맞춤형 홍수방어 계획 수립이 가능하며, 유역내 주요 사회기반시설 및 토지이용 등에 따른 중요 지역 홍수방어를 위한 선택적 홍수방어 계획 수립에 활용이 가능하다. 또한 기존 유역종합치수계획과 하천기본계획에서 반영되지 못하는 공간계획 수립 문제를 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

2.5 수치모형을 이용한 퇴사 및 배사예측 기술 (3-5 공동과제)

저수지 퇴사현상으로 저수 용량이 감소하는 등의 문제점이 대두되면서 저수지 퇴사현상을 적절히 예측하고, 저감시키는 것에 대한 연구가 요구되고 있다. 따라서 본 3-5과제에서는 (1)수치모형을 활용한 저수지 퇴사량 예측, (2) 수치모형을 활용한 저수지 배사 관리 기법 제시, (3)저수지 퇴사 및 배사 관리 기술 제시에 대한 세 개의 단위과제로 나누어 연구를 수행하였다.

(1) 수치모형을 활용한 저수지 퇴사량 예측

수치모형을 활용한 저수지 퇴사량 예측 연구는 저수지에서 발생하는 퇴사현상에 대해 준정류 모형인 수치모형을 이용하여 저수지 퇴사량을 예측하고자 하였다. 국내 하천에 대한 조사가 많지 않아 하천에 따른 유량-유사량 관계식의 정립이 부족한 상황이며, 국내하천에 대한 퇴사를 수치모의할 수 있는 자료 또한 부족한 상황이다. 따라서, 본 연구에서는 국내하천의 특성을 고려하여 유사량을 예측·검정하고, 유사량 실측치와 유사량 공식의 결과값을 비교 및 분석하여 알맞은 유사량 공식을 선정하도록 하였다. 그리고 국내하천의 퇴사를 예측할 수 있는 수치모형을 통하여 퇴사현상을 모의하였으며, 실무자들이 다양한 하천특성에 따른 국내하천 저수지의 정량적인 퇴사현상을 분석 가능할 것으로 판단된다.

(2) 수치모형을 활용한 저수지 배사 관리 기법 제시

수치모형을 활용한 저수지 배사 관리 기법 제시 연구는 하천 저수지의 퇴사현상이 문제가 되기 시작하면서 퇴사현상의 저감 방법으로 배사 기법을 이용하는 것을 제시하며 수치모형을 통하여 배사 기법을 모의하고 하천 저수지에 따른 최적 배사관리기법을 제시하는 것을 목적으로 하고 있다. 본 연구에서는 하천 저수지에서 수리학적인 배사방법인 세정 등을 준정류 모형으로 개발된 수치모형을 통해서 수치모의를 하였다. 그리고 수치모의의 모의조건을 통해 배사의 효율의 분석하였다. 그리고 실무자가 수치모형을 이용하여 다양한 국내하천 저수지 배사 기법의 적합성을 분석할 수 있을 것이며, 최적 배사 관리 기법을 선정할 수 있을 것으로 판단된다.

(3) 저수지 퇴사 및 배사 관리 기술 제시

저수지 퇴사 및 배사 관리 기술 제시 연구는 국내하천의 저수지에서 퇴사 및 배사에 관한 관리를 수치모형과 실측을 통하여 시행할 수 있도록 제시하는 것을 목적으로 하고 있다. 국내하천 저수지를 관리하기 위해서는 정확한 유입 유사량의 예측이 필요하며, 수치모형을 통한 저수지의 퇴사량을 예측하는 것이 중요하다. 또한, 하천의 특성과 조건에 알맞은 퇴사 저감방안을 선정할 수 있어야하며, 수치모형을 통한 저수지 배사 관리 모의와 실제 측량을 통하여 하천 저수지의 모니터링을 하는 것을 제시하였다. 저수지 퇴사 및 배사의 통합관리기법을 제시하는 ‘저수지 퇴사 및 배사관리 기술 매뉴얼’을 작성하였으며 실무자들이 저수지 운영방안을 선정하고 검토하는 것에 도움이 될 것으로 판단된다.

본 3-5과제의 수치모형을 이용한 퇴사 및 배사 예측 기술 연구는 국내하천조건에 알맞은 유사량 공식의 선정 및 수치모형을 이용한 국내하천 저수지에 대한 정량적인 퇴·배사 분석 등을 통하여 저

수지의 운영기법 및 저수지 퇴사 및 배사 관리에 대한 가이드라인을 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

3. 연구성과 및 활용

본 3세부과제는 <표 1>과 같이 다양한 형태의 연구 성과를 도출하였다. 기초 및 응용연구를 충실히 수행하여 SCI 22편, KCI 67편 등 총 79편의 논문을 게재하였으며, 국·내외 학술회의에서 261회 논문을 발표하여 연구성과를 많은 전문가에게 홍보하였다. 또한 많은 연구를 통해 기술을 개발하여 ‘유한체적법에 의한 보존변수 구성 방법 및 이를 이용한 2차원 유체 흐름 해석방법’ 외 10건의

특허를 출원 및 등록하였다. 실제 실무자들이 쉽게 활용할 수 있게 프로그램 및 소프트웨어 24건을 개발하였고, 이를 상세히 기술한 매뉴얼과 관련 사용자들이 다양한 분야에서 기술적, 법·제도적으로 도움을 줄 수 있는 지침서를 작성하였다.

4. 맺음말

미래 통합 유역홍수 대응기술개발의 연구를 위해서 공동 및 협동연구기관은 최대한의 역량을 집중하여 왔다. 이제까지의 연구성과중 법·제도반영은 최종정리하여 하천설계기준에 포함하고, 실무 적용에 확장성을 위해 노력할 계획이다. 개발된

표 1. 제3세부과제의 정량적 연구 성과

성과물 명칭	실적	실적명 및 예시
학술지 게재 논문건수	79편	<ul style="list-style-type: none"> • SCI(E) 논문 : 22편 • KCI 논문 : 57편
학술회의 발표 논문건수	261편	<ul style="list-style-type: none"> • 국내외 다양한 학술대회 참가/발표(예정포함)
특허 출원 및 등록	11건	<ul style="list-style-type: none"> • 위험기상과 관련된 반사도 셀의 추적 방법(등록번호: 제10-1221793호) • 유한체적법에 의한 보존변수 구성 방법 및 이를 이용한 2차원 유체 흐름 해석방법(등록번호: 제10-1135307호) • 이중편파 레이더를 이용한 기상 및 비기상 에코 분류 방법(등록번호: 제10-1221773호) • 부분 피복사면 및 사면수로를 이용한 월류 파괴 방지형 필댐(등록번호: 제10-1262094호) 외 7건
프로그램 및 소프트웨어 등록	24건	<ul style="list-style-type: none"> • 이중편파레이더의 차등반사도 보정 알고리즘 • 우적크기분포를 이용한 보정관계식 산출 • 하천흐름적용 분포형 강우-유출모형 • SNS-DAMBRK ver 3.0 • HYCEL-GSCS • 2차원 하천범람해석모형 • 토지이용별 침수심 산정(Landuse_Inundation Depth) • FloCon Infosystem 외 16건
매뉴얼 및 지침 작성	16건	<ul style="list-style-type: none"> • 다기준 홍수위험도 평가 지침서 • 통합홍수위험지도 작성 지침서 • 유역단위 치수계획 표준화 지침서(Version 2.0) • 저수지 퇴사 및 배사관리 기술 매뉴얼 외 12건
기 타		기술이전 및 연구홍보, 인력양성 등 연구 성과 다수

프로그램은 실무자 교육을 통해서 사용의 편의성을 증대시키며, 매뉴얼 및 지침서는 적절한 절차를 거친후 관련 산·학·연에 배포할 계획이다. 그간 연구된 성과가 우리나라의 치수계획의 수립, 공간홍수예보 및 하천유역의 종합적인 유사관리 등을 위해서 크게 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 건설기술혁신사업(08기술혁신F01)에 의한 차세대홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 