

2010-0768

제주도 수자원 관리기반 시스템 구축 기획연구보고서

국토해양부
한국건설교통기술평가원

Ministry of Land Transport and Maritime Affairs R&D Report

지역기술혁신사업 기획연구보고서

R&D / 2010-0768

제주도 수자원 관리기반 시스템 구축 연구기획 보고서

2010 . 11. 26.

주관연구기관 / 제주대학교

공동연구기관 / 한국건설기술연구원

위탁연구기관 / 이앤위즈(주)

국토해양부
한국건설교통기술평가원

제 출 문

국토해양부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하
이 보고서를 "제주도 수자원 관리기반 시스템 구축 연구기획" 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2010 . 11 .

주관연구기관명 : 제주대학교

주관연구책임자 : 김남형 교수

연 구 원 : 양성기 교수

" : 정우열 연구원

" : 한웅규 연구원

" : 이준호 연구원

공동연구기관명 : 한국건설기술연구원

공동연구책임자 : 정일문 연구위원

연 구 원 : 김남원 선임연구위원

" : 이정우 수석연구원

" : 김철겸 수석연구원

" : 김병식 수석연구원

" : 김지태 수석연구원

위탁연구기관명 : 이앤위즈(주)

위탁연구책임자 : 김재훈 연구소장

연 구 원 : 김경미 연구원

" : 고은주 연구원

요 약 문

I. 제 목

제주도 수자원 관리기반 시스템 구축 연구기획

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1) 연구개발 목적

제주도 지역특성에 적합한 수문학적 하천유출특성을 규명하고 맞춤형 측정기법개발을 통해 신뢰성 있는 관측유량을 제시하는 한편, 제주도 유역특성에 맞는 지표수-지하수 통합해석모형 개발 및 수자원 이용·관리 정보서비스 시스템을 개발

2) 연구개발의 필요성

- 제주도는 우리나라 최대의 다우지역임에도 불구하고 투수성이 좋은 다공질 화산암류 및 화산회토로 이루어져 있어, 강수가 지하로 침투함으로써 대부분 하천들이 건천을 이루고 있음.
- 지금까지 제주도 하천의 수문학적 유출특성에 관한 연구는 매우 미흡한 상태이며, 맞춤형 관측기법 및 정확한 유량환산 기술 개발이 필요함.
- 물산업을 성공적으로 추진하기 위해서는 가장 중요한 요소가 제주도 수자원의 안정적인 이용기반을 구축하는 것으로 통합 수자원관리 기술개발을 통한 장기적인 수자원 확보체계 마련이 요구됨

III. 연구개발의 내용 및 범위

- 제주도 물순환 해석 및 수자원 관리 기반구축 과제 공모를 위한 연구목표 및 연구 내용, 추진전략 수립
 - 국내외 기술환경 동향 및 시장분석
 - 제주도 물순환 해석 및 수자원 관리 기반구축을 위한 정량적 목표 설정
 - 모델 개발과 실증적 연구를 위한 구체적인 로드맵 작성
 - 선행연구과제 분석 및 신규 수요 도출
- 제주도 물순환 해석 및 수자원 관리 기반구축의 비전 및 추진전략 제시
- 세부과제 RFP 및 연구 예산 산출
 - 기획위원회에서 결정한 세부 과제의 RFP 및 예산안 작성
 - 작성된 세부과제 RFP 및 예산을 기획위원회 검토 및 수정·보완
 - 최종 세부과제의 RFP 및 연구예산 도출

IV. 연구개발결과

- 제주형 하천유출 조사 및 분석 시스템 구축
 - 제주지역 수문조사 현황 및 하천유출 관측망 현황을 조사하고 제주 하천의 유출특성분석을 통해 주요 하천별 홍수시 수위-유량관계곡선식을 산정
 - 하천유출 관측자료의 통계분석을 수행, 유출특성을 규명하고 수문관측의 정밀도를 향상시키는 제주형 하천유량 관측기법을 개발하고 이를 토대로 양질의 수문자료 DB를 구축
 - 제주도 수자원 관리의 효율화를 위한 수문자료 및 해석결과를 토대로 한 수자원 정보시스템을 개발
- 제주형 지표수-지하수 통합 수문해석 기술 개발
 - 지표수와 지하수의 거동을 동시에 해석할 수 있는 통합적 차원의 제주형 수문성분

- 해석 모형을 개발하여 제주 주요 유역에 대해 토지이용과 토양 특성을 고려한 강우, 증발산, 지표유출, 기저유출, 지하수 함양량의 시공간적 분포특성을 분석하고 관측치와 비교하여 모형의 정도를 파악
- 주요 유역별 하천유출발생한계 및 지하수 함양량의 시간적 지체현상을 규명함으로써 제주형 함양량 산정기법을 도출
 - 제주형 용수 관리 시스템 개발
 - 기존 제주도 용수관리 자료 및 이용특성을 분석, 효율적인 수자원 관리를 위한 개선점을 도출하기 위해 효율적인 용수이용량 산정 기법을 개발
 - 기후변화에 따른 수자원 이용의 효율화를 위해 가뭄에 대비한 제주형 용수수요 예측 프로그램을 개발, 단기 수요량을 예측하고, 제주 주요유역 지하수 양수량의 시공간적 자료를 구축, 통합 수문해석 모형과의 효율적인 결합

V. 연구개발결과의 활용계획

- 하천유출특성 해석 기술로 정밀한 수위-유량 관계곡선을 도출하여 제주지역 수자원 연구자 및 관련업체에서 중요한 기초자료로서 활용하고 최적 관측기법의 개발로 제주특별자치도 및 제주시에서 관측소 운영 및 관측기기를 선정할 자료로서 중요하게 활용
- 지표수-지하수 통합수문해석 및 용수 관리 시스템의 개발 결과를 수자원정보시스템으로 보급하여 제주권내 연구기관, 관제센터, 대학, 수자원 업계, 일반인들과의 교감을 위한 인터넷 기반의 사용자 인터페이스가 구성되어 제주도 물순환에 대한 전반적인 도민 의식 증대

Summary

I. Subject

Research Plan to Build the Water Resources Management Basis System of Jeju-do

II. Purpose and Necessity of Research and Development

1) Purpose of Research and Development

To examine the hydrologic river efflux characteristics suitable to the regional characteristics of Jeju-do and to present reliable observed flux through the development of customized measurement techniques and to develop integrated interpretation model of the surface water/underground water suitable to the characteristics of the basin of Jeju-do, and to develop the information service system for the use and management of water resources.

2) Necessity of the Research and Development

- Despite the fact that Jeju-do is the rainiest region in our country, it is made up of volcanic rocks and volcanic ash soil with good water permeability, and the river water is permeate into underground, so most rivers become dry streams.
- Researches on the characteristics of hydrologic efflux characteristics of Jeju-do rivers up to the present are minimal, and customized observation techniques and accurate flux conversion techniques need to be developed.
- The most important factor for promoting water industries successfully is to build the stable use basis of Jeju-do water resources, and the establishment of the long-term water resources securing system through the development of integrated water resources management technologies is required.

III. The Contents and Scope of Research and Development

- Establishment of research purpose, research contents, and promotion strategies to invite public participation in interpretation of Jeju-do water circulation and determining the tasks of establishing water resources management basis
- Analysis on the trends of technological environment and the market at home and abroad
- Interpretation of water circulation in Jeju-do and establishment of strategic goals to build water resources management basis
- Preparation of concrete roadmaps of model development and empirical study

- Interpretation of water circulation in Jeju-do and presentation of vision and promotion strategies to build water resources management basis
- Detailed tasks RFP and research budget estimation
- RFP of detailed tasks determined by the planning committee and preparation budget
- RFP of detailed tasks that are prepared and budget to be studied, revised and supplemented by the planning committee
- RFP of final detailed tasks and derivation of research budget

IV. Results of Research and Development

- Establishment of Jeju-type river efflux investigation and analysis system
- Estimation of water level-flux relation curve expression during the flood in major rivers through investigation of current conditions of hydrologic investigation and current conditions of river flow observation network and analysis on river flow characteristics of rivers in Jeju-do

- Conduct statistical analysis on the river flow observation data and examine river flow characteristics and develop observation techniques of Jeju-type river flux and based on this, build quality DB of hydrological data
 - Develop water resources information system based on hydrological data for efficient management of Jeju-do water resources management and the results of interpretation
- Development of Jeju-type surface water and underground water integrated hydrological interpretation technologies
 - Develop integrated Jeju-type hydrologic ingredients interpretation model that can interpret the behavior the surface water and underground water simultaneously and analyze the time and space distribution characteristics of rainfall, evaporation, surface efflux, base flow, groundwater recharge water, and grasp the degree of the model by comparing this with the observed values
 - Derive Jeju-type recharge estimation technique by examining river efflux occurring limitations of major basins and the delay phenomena of groundwater recharge
- Development of Jeju-type water management system
 - Develop water use volume estimation technology to derive improvement ways of efficient water resources management by analyzing the existing Jeju-do water management data and use characteristics
 - Develop the program for predicting Jeju-type water demand to cope with the drought for efficiency of the use of water resources caused by climate changes, and build the time and spatial data of underground water discharge amount in the major basins of Jeju-do

V. Utilization Plan of the Results of Research and Development

- Derive the water level-flux relation curve by river efflux characteristics interpretation techniques so that water resources researchers in the Jeju region and related enterprises can utilize this as important basic data, and develop optimal observation techniques to be utilized as important data by Jeju Special Autonomous Province and Jeju City to operate observatory and to choose observation apparatus
- Disseminate the results of the development of integrated hydrological interpretation of the surface water/underground water and water management system so that Internet-based user interface can be built for communication with research institutes, control centers, universities, water resources business circles, and general publics, and the consciousness about Jeju-do water circulation of the inhabitants of the Jeju-do can be enhanced.

차 례

제 1 장 연구의 개요	1
1절 연구배경 및 필요성	1
2절 연구 목표 및 내용	6
1. 연구목표	6
2. 연구내용	6
3절 연구 추진 절차	8
1. 기획연구 추진 Framework	8
2. 기획연구 추진 체계	9
제 2 장 환경분석	11
1절 선진사례 분석	11
1. 미국	11
2. 일본	15
3. EU	17
4. 한국	25
2절 기술동향분석	30
1. AHPs	30
2. 분포형 홍수유출 모의	30
3. 지표수-지하수 연계 해석	31
4. MODFLOW	32
5. GIS	33
6. 침수예측 및 지도화 기술	34
7. 지침	35
3절 정책동향 분석	36
1. 수자원 관리동향	36
2. 물산업 동향	43
3. 제주도 지하수관리 현황	48
4절 SWOT 분석	50
5절 시사점 종합	52

제 3 장 현황 분석	53
1절 선행연구과제 분석	53
1. 국내외 연구과제 분석	53
2. 제주도내 연구과제 분석	58
2절 과제 유사성 및 타당성 검토	62
1. 과제의 유사성 검토	62
2. 적합성과 타당성	65
3절 신규 수요 도출	66
1. 기획의 및 전문가 자문	66
2. 자문회의의 결과	68
제 4 장 비전 및 추진전략	70
제 5 장 세부과제 구성	72
1절 세부과제 내용 도출	72
2절 세부과제 상호연계 분석	74
3절 기대성과 및 활용방안	75
제 6 장 세부과제 도출	76
1절 세부과제별 연구달성 목표 설정	76
2절 세부과제 도출	77
제 7 장 세부과제 실행계획 수립	79
1절 세부과제별 기술로드맵	79
2절 연차별 목표 및 연구내용 설정	80
1. 1세부과제	80
2. 2세부과제	81
3. 3세부과제	82
3절 연차별 성과물 및 성과지표 설정	83
1. 연차별 성과물	83
1. 성과지표 설정	84
4절 세부과제별 실용화 방안 수립	87
5절 세부과제별 예산계획 수립	88

1. 연차별 세부과제별 예산	88
2. 예산산출근거	88
6절 연구단과제 및 세부과제별 RFP 도출	90
제 8 장 과제 적정성 검토	95
1절 기술적, 경제적, 정책적 타당성 검토	95
1. 기술적 타당성	95
2. 경제적 타당성	95
3. 정책적 타당성	95
2절 예산적정성 검토	96
1. 국내외 물산업 시장 현황	96
2. 정량적 기대효과 및 과제추진 타당성 분석	97
제 9 장 참고문헌	98
부 록	100

표 차례

<표 1-1> 자문위원회 구성	10
<표 1-2> 기술자문위원 구성	10
<표 2-1> NWIS의 시스템 구성요소	13
<표 2-2> 각 세부과제의 연계 및 통합	22
<표 2-3> 수자원관리정보시스템 구축현황	26
<표 2-4> 미국내 수자원 관련 조직 및 주요 업무기능	37
<표 2-5> 세계의 수자원 이용현황	44
<표 2-6> 음용수의 지하수 의존율	45
<표 2-7> 수자원 이용분포	45
<표 2-8> 지역별 지하수 개발가능량 대비 이용량	46
<표 2-9> 우리나라 주요 하천의 취수율	46
<표 2-10> 제주도 물관리 운영조직 연혁	48
<표 2-11> 제주도 주요 지하수관리 제도	49
<표 2-12> SWOT 분석 결과	50
<표 2-13> 시사점 종합 내용	52
<표 3-1> 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단 사업개요	53
<표 3-2> 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단 단계별 목표	54
<표 3-3> 국내 사업단/연구단 규모의 R&D 연구과제 주요내용	57
<표 3-4> 국내 부처별 연구과제 주요연구 내용	58
<표 3-5> 제주도 R&D 연구과제 주요내용	59
<표 3-6> 제주도 수자원 관련 연구	60
<표 3-7> 국내 연구과제의 유사성 검토	62
<표 3-8> 국내 부처별 연구과제와 유사성 검토	63
<표 3-9> 제주도내 주요 연구과제와 유사성 검토	64
<표 7-1> 1세부과제의 연차별 목표 및 연구내용	80
<표 7-2> 2세부과제의 연차별 목표 및 연구내용	81
<표 7-3> 3세부과제의 연차별 목표 및 연구내용	82
<표 7-4> 1세부과제 성과지표	84
<표 7-5> 2세부과제 성과지표	85

<표 7-6> 3세부과제 성과지표	86
<표 7-7> 세세부과제별 실용화 방안	87
<표 7-8> 연차별 세부과제별 예산	88
<표 7-9> 1세부과제 요소기술별 항목별 연구내용 및 연구비	88
<표 7-10> 2세부과제 요소기술별 항목별 연구내용 및 연구비	89
<표 7-11> 3세부과제 요소기술별 항목별 연구내용 및 연구비	89
<표 8-1> 2011년 기준 제주 물산업의 경제적 파급효과	96
<표 8-2> 정량적 기대효과 내용	97

그림 차례

<그림 1-1> 제주도의 하천분포	1
<그림 1-2> 제주도의 투수성 지질구조 분포도	2
<그림 1-3> 제주지역 수문성분 모식도	3
<그림 1-4> 제주도의 토지이용 변화(1975-2000)	4
<그림 1-5> 기획연구의 목표	6
<그림 1-6> 기획연구 추진 Framework	8
<그림 1-7> 연구추진체계도 및 구성	9
<그림 2-1> NWIS RFC 홈페이지 및 정보제공 예	12
<그림 2-2> USGS NWISWeb 자료검색 예시화면	14
<그림 2-3> NOAA 홍수 예보시스템	15
<그림 2-4> 하천유역종합시스템 데이터 흐름도	16
<그림 2-5> FRICS 2002의 실시간 제공 정보	17
<그림 2-6> 토양-유사-지하수-하천 시스템	17
<그림 2-7> 연구과제의 구성	19
<그림 2-8> 각 세부과제의 연계 및 통합	20
<그림 2-9> 모의대상 시스템	21
<그림 2-10> 다양한 시공간 스케일에 대한 모의 절차	23
<그림 2-11> 다양한 시공간 스케일에 지표수-지하수 상호작용 분석	24
<그림 2-12> 환경정보시스템(WIS)의 예	25
<그림 2-13> 국가재난정보센터 홈페이지 화면	27
<그림 2-14> 하천지리정보시스템 홈페이지 화면	28
<그림 2-15> 수자원관리종합정보시스템(WAMIS) 구성 개념도	29
<그림 2-16> MODFLOW 모의화면과 Visual MODFLOW 화면 예시	33
<그림 2-17> GIS기반 시스템 구성 개요	34
<그림 2-18> 침수예측 및 지도화	34
<그림 2-19> 미국내 수자원 관련 조직도	36
<그림 2-20> 미국의 지하수 관측망 분포도	38
<그림 2-21> 유럽연합의 유역분포	40
<그림 2-22> 우리나라의 물이용 현황	45

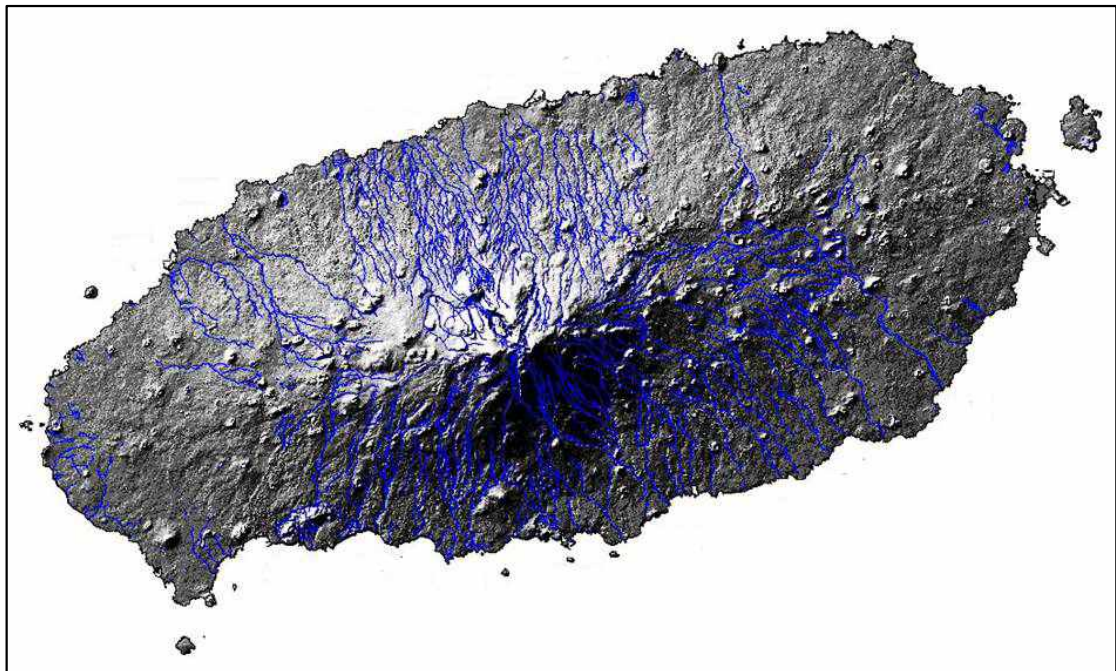
<그림 2-23> OECD 국가들의 취수율 비교	47
<그림 3-1> 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단 사업내용	54
<그림 3-2> 차세대홍수방어기술개발 연구단 비전	55
<그림 3-3> 차세대홍수방어기술개발 연구단 기술로드맵	56
<그림 4-1> 연구과제의 비전 및 추진전략	71
<그림 5-1> 연구의 추진방안	73
<그림 5-2> 세부과제간 연계방안	74
<그림 5-3> 관리기반 시스템의 운용 및 활용체계	75
<그림 6-1> 세부과제별 연구목표	76
<그림 6-2> 세부과제 도출	78
<그림 7-1> 연차별 성과물	83
<그림 8-1> 분야별 세계 물시장 규모	96
<그림 8-2> 타당성 분석 결과	97

제 1 장 연구의 개요

1절 연구배경 및 필요성

절해고도인 제주도는 탁월한 계절풍과 외해의 각종 기상·해상 현상으로부터 영향을 쉽게 받아 다양한 자연재해가 빈번히 발생하고 있다. 하계에는 상습적으로 태풍이 통과하는 길목에 위치하여 고조와 해일, 집중호우 등으로 인한 침수와 범람이 발생하며, 동계에는 강한 북서 계절풍에 의한 폭풍해일과 월파 등의 연안재해가 발생하고 있어 자연조건은 매우 가혹한 편이다.

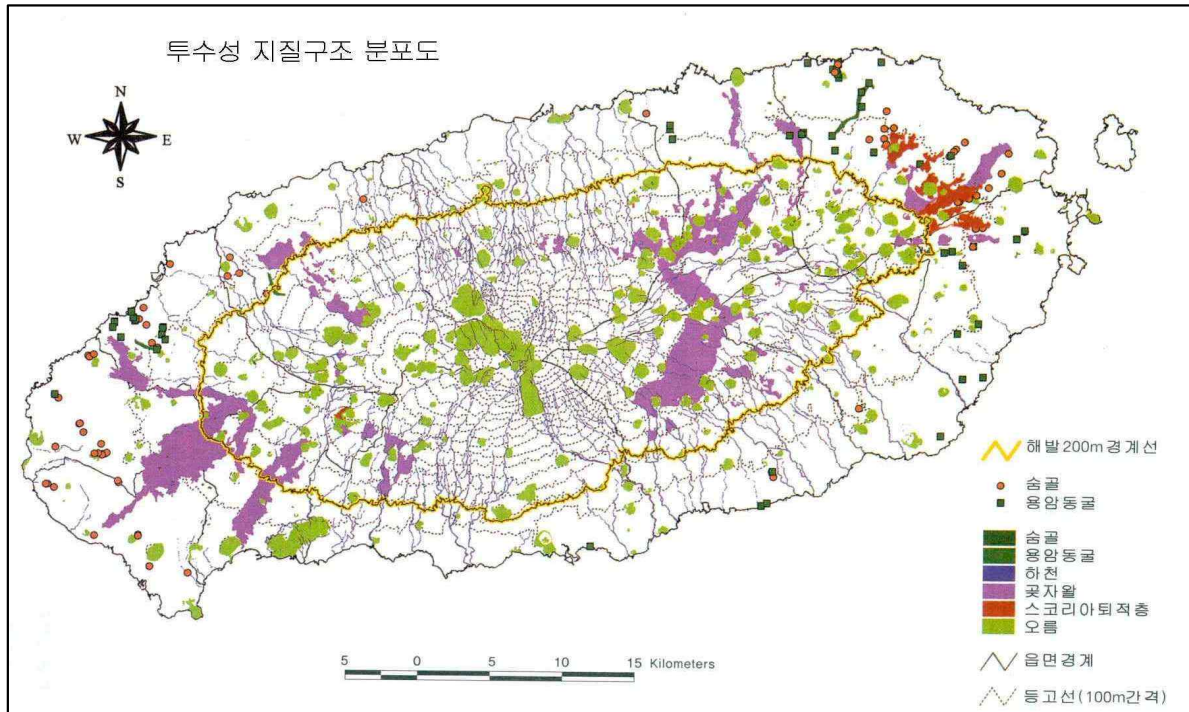
제주도는 연평균 강우량이 전국의 약 1.5배인 1,975mm에 달하는 우리나라 최대의 다우지역이며, 한라산 백록담을 중심으로 남·북사면에 발달해 있는 내륙의 하천보다 경사가 급할 뿐만 아니라, 20km 미만의 짧은 연장으로 인하여 강우에 의한 홍수유출 지속시간이 1~2일에 불과하고 강우 후에는 6개의 하천을 제외하고는 건천의 상태를 이루는 하천들이 대부분이다.



<그림 1-1> 제주도의 하천 분포도

건천의 하상특성이 상류부에서는 모래나 자갈 등으로 구성되어 우수한 투수성을 보이나 해안에 가까울수록 기반암이 노출되어 투수성이 불량하며 하류부에서는 인근 도

시지역 불투수층의 증가로 강우에 신속히 반응하여 유출을 보인다. 또한 건천의 특징은 강우에 의해서 점진적으로 홍수유출량이 증가되는 육지 하천과는 달리 투수성이 양호한 하상의 상태로 인하여 하천표층이 포화된 후 홍수가 갑작스럽게 일어나는 특징을 보이며, 건천의 유출형태는 특정 강우에 의해 의해서만 유출을 보이고 있다.



<그림 1-2> 제주도의 투수성 지질구조 분포도

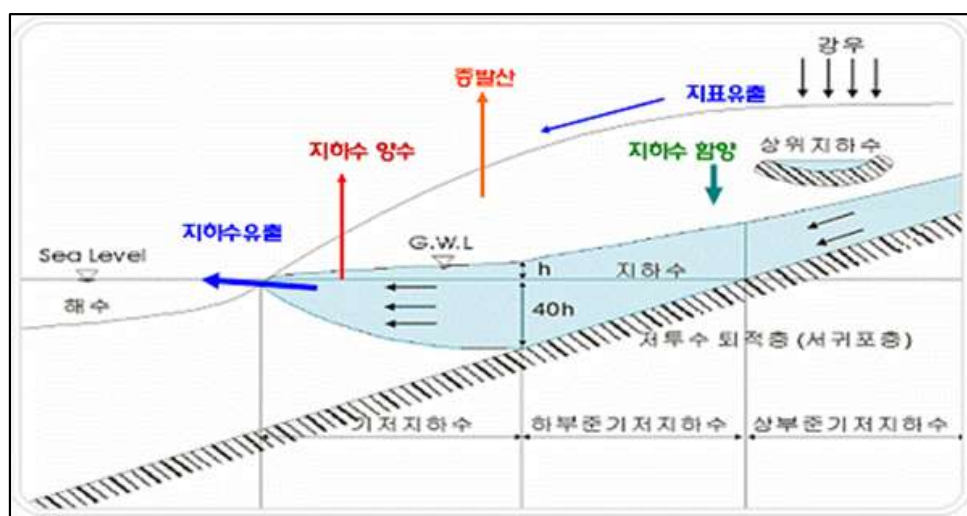
제주도의 143개 하천 중 6개의 하천을 제외한 전 하천들은 건천의 형태를 이루고 있어 지표수의 발달이 매우 빈약하다. 따라서 제주도민의 생활 및 산업활동에 필요한 용수는 전적으로 지하수에 의존하고 있다. 제주도의 지하수에 관한 조사·연구는 1960년대 초반부터 여러 연구기관과 개인 연구자들에 의해 진행되기 시작하였으며, 현재 제주도 내에 개발된 지하수량은 적정 개발량의 79.5%인 1일 $1,405m^3$ (4,971공)에 이르고 있어 지하수 개발량이 거의 한계에 다다르고 있다.

제주도는 고도성장과 개발에 따른 인구, 토지이용 등의 증가로 인하여 용수 수요가 날로 급증하고 있는 추세이다. 그러나 인구 밀집지역 및 농업지역 등 단지 수요에 편중된 무분별한 개발로 인하여 질산성 질소의 농도 증가와 같은 수질 악화 현상이 확산되는 등 지하수 개발의 난맥상이 노출되기 시작하였다. 제주도는 1991년에 제정한 「제주도개발특별법」에서 국내 최초로 지하수 보전·관리에 관한 조항을 명기하여 지하수 관리의 법적 근거를 마련한 이후 1995년과 2000년에 법을 전문 개정하여 지하수 관리에 필요한 법적·제도적 장치를 보완하여 지하수 개발을 제한하는 지하수관리 정책

을 시행하고 있다. 이같이 늘어나는 용수수요의 추세와 수자원을 확보하기 위해 제주도의 수자원 관리를 위한 시스템 구축이 필요하다.

향후 기후변화에 의해 강수량 및 강우강도의 증가로 인한 강우패턴 변화로 집중호우가 지속적으로 증가할 것으로 예측되고 있으나, 제주도에서는 이에 대한 수자원 관리 시스템은 전무하며, 가장 기초적인 수문자료의 확보조차 어려운 실정이다.

제주도의 지하수 함양은 총 강수량의 약 46%로 추정되나 이는 물수지에 의해 추정되어지고 있어 보다 정밀한 함양량의 산정이 필요하다. 또한 한라산 중심으로부터 방사상으로 형성되는 강우-유출 메커니즘은 지하로의 빠른 침투에 이어 대수층을 통한 유동, 하구부에서 집중된 유출로 집약된다. 따라서 제주의 수문성분 및 지하수 함양량을 정밀하게 산정하기 위해서는 상류부에서의 함양 및 하류부에서의 지하수유출량을 정확하게 해석하기 위한 지표수-지하수 통합 수문성분해석 기술이 필요하다.

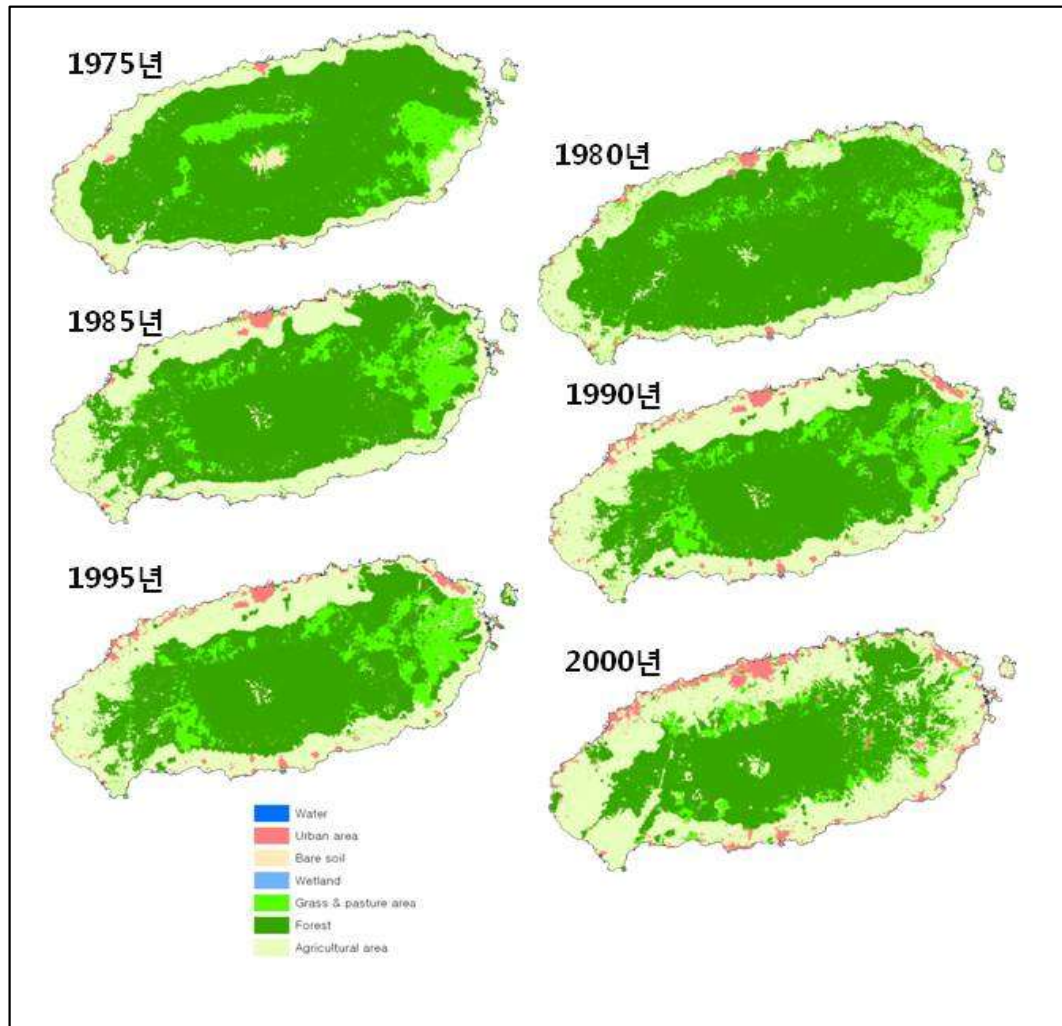


<그림 1-3> 제주지역 수문성분 모식도

이와 같이 타 지역과는 매우 상이한 제주도의 수문·지질학적 특성과 연계한 하천수의 확보 및 제주도의 수자원의 대부분을 차지하는 지하수의 안정적인 확보를 위하여 통합 수자원 관리기반 시스템을 구축하는 연구가 절실하게 필요한 실정이다.

각종 개발 사업으로 인해 도시지역의 확장, 농업기술의 발달로 인한 비닐하우스 시설면적의 증가 등 불투수성 면적은 점점 증가하고 있고, 이에 따라 지하수 함양면적은 점점 감소하고 있다. 그러나 현재 제주도에는 이러한 요소들은 기후변화로 인하여 집중강우에 의한 유출량을 증가시키고 지하수 함양량은 감소시키는 등 자연적인 물순환 시스템에 매우 위험한 영향을 주고 있다. 그러나 현재 제주도에는 이러한 영향에 대비

하여 기초조사 및 관리 시스템 계획수립이 전무한 실정이다



<그림 1-4> 제주도의 토지이용변화(1975-2000)

우리나라의 수자원 관리에 있어서 지표수-지하수의 통합관리는 아직까지 미흡하며 지표수 위주의 관리에 중점을 두고 있으나 제주도 지역은 내륙과는 판이한 수문성분의 분포 및 유출경향을 보임으로써 지표수-지하수의 통합관리가 매우 필요하며 유역별 실증을 통해 수자원 관리제도 개선이 필요한 시점이다.

제주도의 경우 특정 강우에 의해서만 유출이 발생하며 하천의 유출발생이 연간 10 회 미만에 이르는 경우가 대부분이다. 또한 강우사상별로 발생하는 유출형태가 상이하 다. 이러한 제주도의 수자원 기반구축을 위해서는 최소한 3년의 관측자료 수집하여 유출특성을 분석하고 그 결과를 모형개발에 접목하는 기간이 필요하며, 2년의 실증적용 이 필요하다.

본 기획 연구에서는 제주권 지역의 수자원 관리기반 시스템 구축을 위해 필요한 연구개발 내용을 도출하고 향후 본 과제에서 제주권 지역의 수자원 관리기반 시스템 구축기술을 확보한다면 우리나라 해안가에 위치한 타 지역으로의 확대 및 효율적 정책결정을 위한 자료로서 활용 가능할 것이다.

제주 지역에 있어서 수자원관리의 핵심요소인 대수층의 자연함양량은 개발 가능량 추정에 직결되는 수문량이며, 지하수 함양과 유출특성은 효율적 수자원 개발뿐 아니라 대수층과 연결된 하천으로의 오염위험을 최소화시키기 위한 지하수 관리에도 중요한 요소이다.

지하수 함양은 수문순환의 복잡한 과정으로, 강우의 빈도, 강도, 지속시간 뿐 아니라 온도, 습도, 풍속과 지하수위 상부에 존재하는 토양 및 암반층의 특성과 깊이, 지표의 지형과 식생분포 및 토지이용과도 관련되므로 전체적인 물순환의 체계에서 검토되어야 한다.

또한 점증하는 지역 지하수 개발 요구에 따른 지하수 관리 문제가 대두되고 있으며, 이를 위해서는 기존의 유역별 대표 함양량 값만으로는 적절히 대처하기 어려우며, 따라서 지표수와 지하수를 연계한 수문성분 해석을 통해 연단위 이하의 공간분포형 함양량의 산정과 이를 장기적인 계획에 반영하기 위한 기법개발이 시급한 실정이다.

이상적인 수자원 관리의 목적은 가능한 개발수량을 최대로 설정하되 유역내의 정해진 조건에 대해서 법적, 사회적, 정치적 제약조건과 수질, 개발 및 운영비용등을 고려하여 현재 혹은 미래의 수자원 문제(고갈, 수질악화)를 야기시키지 않도록 하는 데에 있다.

현재 제주도는 신성장 동력산업으로 물산업을 추진하고 있으며 물산업을 성공적으로 추진하기 위해서는 가장 중요한 요소가 제주도 수자원의 안정적인 이용기반을 구축하는 것이다.

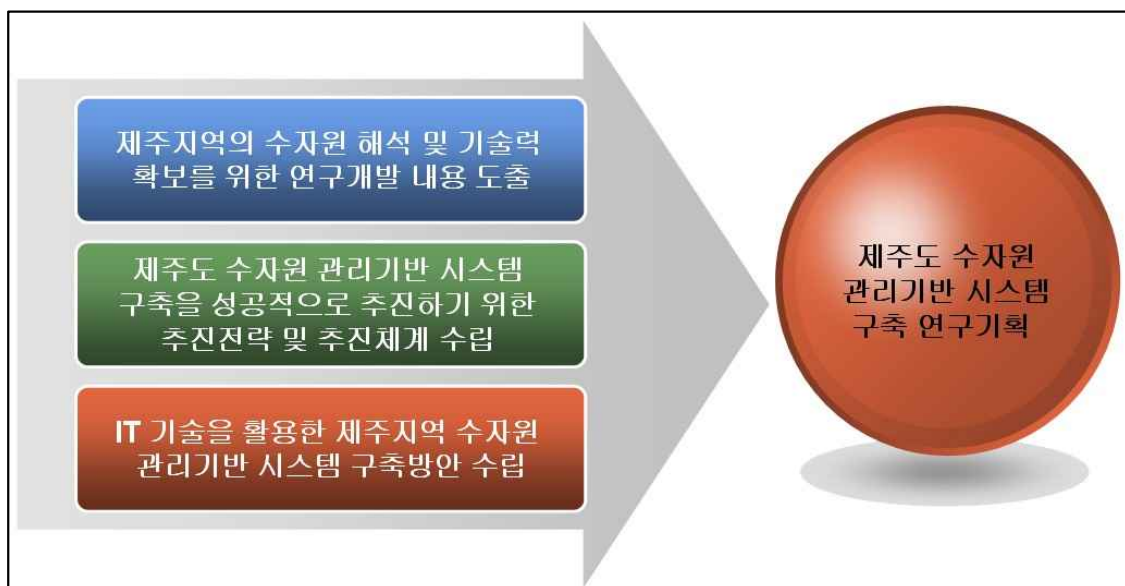
본 연구에서 제시하는 통합 수자원 관리 기술이 제주 전역에 확대될 경우 제주 물산업의 획기적인 전환점이 될 것으로 판단되며 제주 광천수(Mineral Water)의 세계적인 브랜드화·글로벌화 및 제주 물산업의 성공에도 큰 기여를 함으로써 막대한 경제적 효과가 발생할 것으로 판단된다.

2절 연구 목표 및 내용

1. 연구 목표

본 기획 연구의 최종목표는 제주도 수자원 관리기반 시스템 구축을 위하여 필요한 연구개발 내용을 도출해내고 현실적인 기술개발 범위 및 추진전략과 체계를 수립하는데 있다.

제주지역의 장기적인 수자원 관리 계획의 일환으로 지표수와 지하수의 통합관리를 포함한 지금까지 개발되지 않은 기술력 확보를 위해 연구개발 및 기존기술의 고도화 연구를 추진하고, 본격적인 연구 과제의 추진에 앞서 대규모 예산투입에 따른 예산 효율성과 연구개발 성공 가능성을 높이기 위한 연구과제의 추진전략과 실행 방안을 제시한다. 또한 제주지역의 수자원관리체계를 효과적으로 지원하기 위하여 IT 기술을 활용하여 수자원 정보를 관리하고 신속하게 모니터링하여 정책수립에 필요한 각종 지표와 통계를 제공하는 제주도 수자원 관리기반 시스템의 구축방안을 수립한다.



<그림 1-5> 기획연구의 목표

2. 연구 내용

- 제주권역 기술환경 및 수자원 관리 현황 분석
 - 제주도내 연구기관의 연구결과를 바탕으로 기술수준 및 기술환경을 분석하고 시

- 행중이거나 시행예정인 정책 및 연관 사업계획과 본 과제와의 연계성을 분석
- 국내외 기술환경·기술개발 동향 시장분석
 - 기술동향 분석을 통하여 국내외 원천기술 보유여부를 분석하고 본 과제와 유사한 연구과제 검토 및 분석
 - 연구목표 및 기술개발 범위 설정
 - 기술 수요기관의 의견수렴을 통하여 실용성을 확보하고 수자원 전문가 및 제주 지역 전문가 자문을 통하여 전문성 확보
 - 성과목표·지표 설정 및 근거 제시
 - 정량적·정성적 달성 목표를 구분하고 세부적이고 단계별로 구체적인 목표를 설정하고 지표를 수립
 - 연구성과의 파급효과 분석
 - 기술개발로 인한 논문출간, 기술이전, 특허출원 등 현실적 효과를 분석하고 개발된 기술 실용화를 통하여 수자원 관리 및 확보를 위한 목표 제시
 - 연구개발과제의 기술적·경제적 타당성 분석
 - 국내외 환경변화에 따른 선진국 대응방안 및 사업추진현황을 고려하여 사업추진의 타당성을 검토하고, 개발기술 실용화·상업화 가능성 분석과 시장에 미치는 파급효과 분석
 - 제주도 수자원 관리기반 시스템 구축을 위한 세부과제 도출
 - 본 과제를 성공시키기 위한 세부과제를 도출하여 세부과제별 연구 목표 및 기술로드맵을 작성하고 세부과제간 연계방안 수립 및 활용방안 제시
 - 연구성과물의 실용화 기본전략 수립
 - 연구성과 확산과 사업화·실용화하기 위한 기본적인 전략을 제시하고 정책적 제언 및 상업화 방안을 제시
 - 연구 추진전략 수립
 - 산학연 및 국내외 전문가 그룹을 포함한 기획자문위원회를 통한 추진전략을 수립하고 효율적 수자원 관리를 위한 관련 기술분야의 다학제적 공동연구 추진
 - 본 과제 공모를 위한 RFP 작성 및 평가기준 설정
 - 제주도 수자원 관리기반 시스템 구축을 위한 세부과제별 목표 내용 등을 포함한 RFP를 제안하고 세부과제별 평가기준 설정

3절 연구 추진 절차

1. 기획연구 추진 Framework

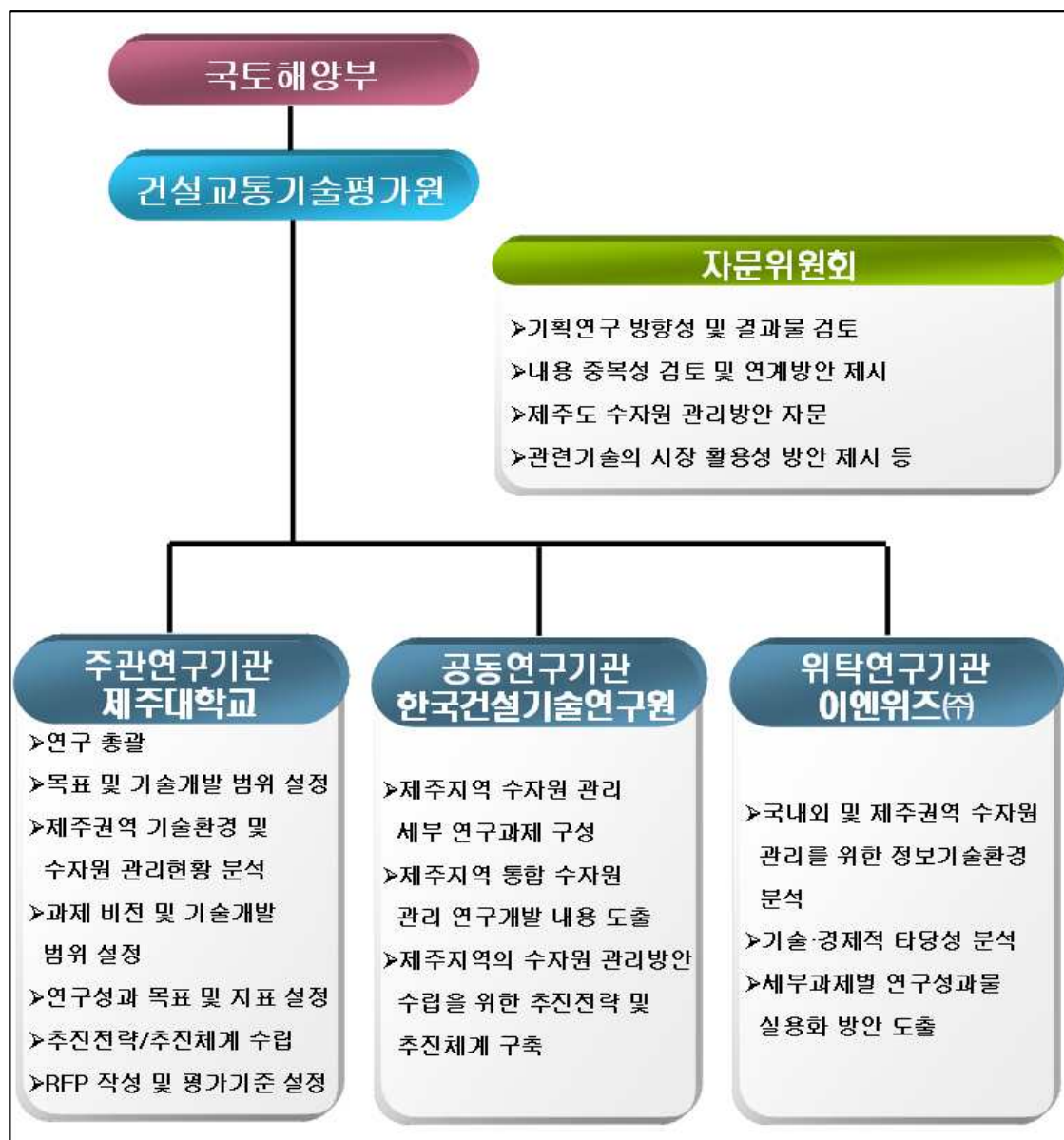
연구 내용 및 성과물을 도출하기 위하여 다음과 같이 크게 8가지 공정으로 구성하여 연구를 추진하였다.



<그림 1-6> 기획연구 추진 Framework

2. 기획연구 추진 체계

본 기획연구를 효과적으로 수행하기 위하여 주관연구기관, 공동연구기관, 위탁연구기관별 연구업무를 정확하게 구분하고 자문위원회를 구성하였으며, 각 기관에서는 본 연구의 방향성 및 세부과제별 주요연구내용을 구성하고 자문위원회와 함께 검토한 후, 연구추진 전략에 대한 수립을 계획하였다. 본 기획연구의 연구추진체계도는 다음과 같다.



<그림 1-7> 연구추진체계도 및 구성

<표 1-1> 자문위원회 구성

성명	소속
고기원	제주특별자치도 환경자원연구원
박원배	제주특별자치도 제주발전연구원
원종호	한국수자원공사 지하수지반사업팀장
김치영	한국건설기술연구원 유량조사사업단 유량조사실장
강부식	단국대학교 토목공학과 교수
이종설	국립방재연구소 연구기획팀장
이규상	한국농어촌공사 농어촌연구원
송성호	한국농어촌공사 농어촌연구원
이병철	제주특별자치도 상하수도본부
김동수	단국대학교 토목공학과 교수
박순진	한국농어촌공사 제주지역본부

<표 1-2> 기술자문위원 구성

성명	소속
박윤석	제주특별자치도 환경자원연구원
강봉래	제주특별자치도 환경자원연구원
문덕철	제주특별자치도 환경자원연구원
이병철	제주특별자치도 상하수도본부
김혜원	한국농어촌공사 제주지역본부
전병철	한국농어촌공사 제주지역본부
안중기	한국농어촌공사 환경지질처
서정진	한국농어촌공사 환경지질처
나한나	한국건설기술연구원 수자원연구실
이정은	한국건설기술연구원 수자원연구실

제 2 장 환경분석

1절 선진사례분석

1. 미국

가. NWS 하천예보센터(National Weather Service River Forecast Center)

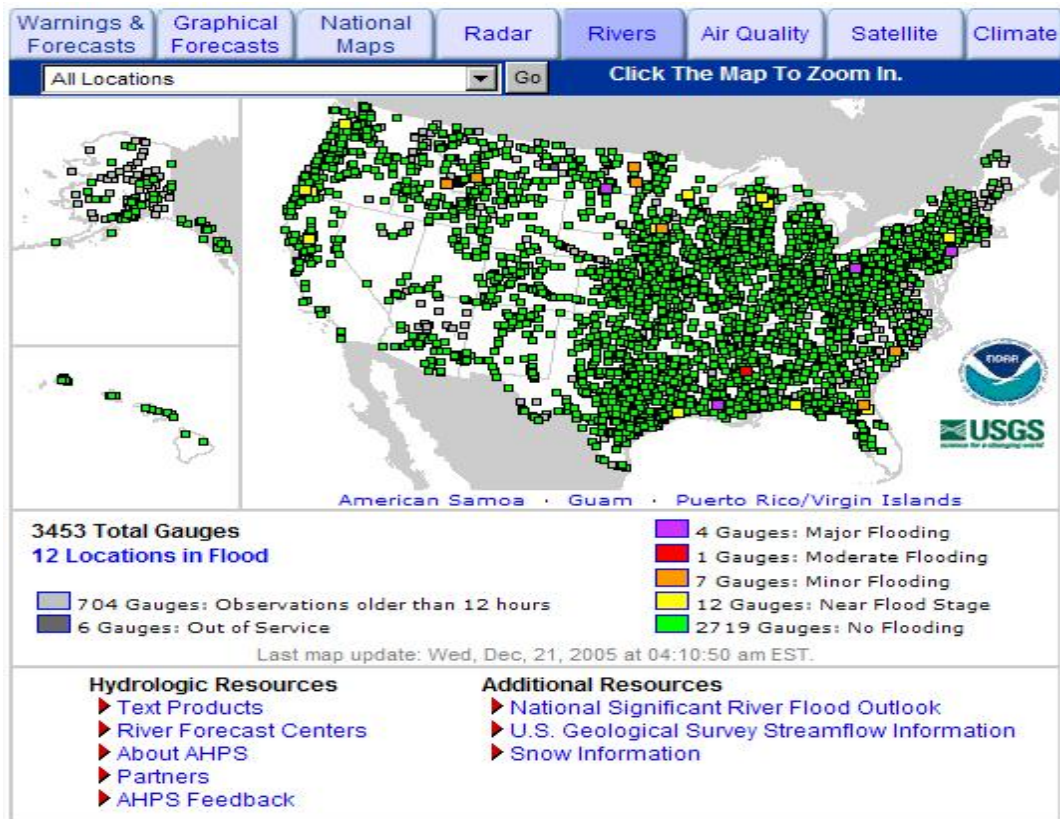
미국 기상청의 하천예보센터(RFC, River Forecast Center)에서는 수자원에 관한 정보를 제공하기 위하여 기상예보국과 협동하여 미국 내 모든 하천을 모니터링, 실시간 수문예측자료 및 경보자료를 제공하고 있다.

각 하천별 예보센터에서는 하나 혹은 그 이상의 주요 하천을 책임지고 관리하고 있으며 약 4,000여개 하천 지점별로 홍수예보와 시 관측 자료를 제공하고 있다. 각각의 RFC 역할은 조금씩 차이가 있으나 각기 특성을 지니고 있고, 이러한 이유는 지역별로 다양한 기후현상과, 홍수빈도, 유역의 크기 그리고 유역특성, 인구, 요구되는 프로그램 현황에 따른 결과이다. RFC 직원들은 1주일 예보를 위해 수위, 유량, 혹은 용설 관측 자료들을 항상 활용하고 있으며 특히 돌발홍수 및 수문예측과 관계된 일에 많은 투자를 하고 있다.

이러한 예보를 위하여 기본적으로 필요한 자료는 강우, 용설량, 하천 특성, 기온, 바람 및 증발산 등이 있다. 계절별 용설이나 연간 유출량 예보는 지역별로, 월별로 하천의 발원지부터 조사하여 이행되고 있다.

그리고 RFC는 실시간 수문기상자료 DB를 바탕으로 수문모델을 검·보정하고 있으며 다른 예보센터들과 서로 협력하여 수문예측 자료의 공유 및 관계부서간의 협력을 계획하여 하천예보를 수행하고 있다. NWS RFC에서는 관측 및 예보 자료들을 On-Offline으로 제공하고 있으며, 특히 각각의 RFC에서 생산되는 수자원 관련 정보들을 수자원 전문가뿐만 아니라 일반인들도 쉽게 확인, 활용할 수 있도록 웹사이트를 통하여 제공하고 있다.

또한 많은 정보들이 GIS를 기반으로 사용자가 원하는 지역 및 지점들에 대한 정보를 지형자료와 함께 제공함으로써 정보의 활용성이 매우 크다.



<그림 2-1> NWS RFC 홈페이지 및 제공정보 예

나. NWS 하천예보센터(National Weather Service River Forecast Center)

NWIS는 미지질조사국의 정보제공 프로그램의 일환으로 약 150만 지점(33.8만 지표수 및 지하수 수질 관측 지점, 212,000의 과거 및 현재 유량 관측 지점, 7,570의 하천, 호소, 지하수, 기상,의 실시간 관측 지점, 137만 우물 관측 지점)에서 얻어진 물 관련 자료의 저장 및 검색 분산형 데이터 처리방식의 컴퓨터와 파일서버를 미지질조사국의 수자원부(Water Resources Division)에서 운영하고 있다.

NWISWeb은 1994년부터 미지질조사국에서 운영하던 과거 및 실시간 유량자료 제공 웹 시스템과 다른 물 관련 시스템을 기반으로 개발된 새로운 정보제공 시스템이다. NWISWeb은 전국적으로 분산된 48개의 NWIS 데이터베이스에 보관된 물 관련 자료를 미지질조사국 직원들뿐만 아니라 일반사용자가 쉽게 접근할 수 있도록 단일의 국가 데이터베이스로 만들어 정보를 제공하고 있다.

NWISWeb의 데이터베이스는 정해진 스케줄에 따라 NWIS로부터 데이터 갱신이 이루어지며, 실시간자료의 경우 하루에 여러 차례 NWIS로부터 NWISWeb으로 전송되고 있다. NWISWeb은 인터넷을 통해 미지질국에서 수집된 자료를 제공하고 있지만, 일부 부가적인 수문자료 및 보고서등과 같은 기타 정보에 대해서는 미지질조사국의 홈페이지

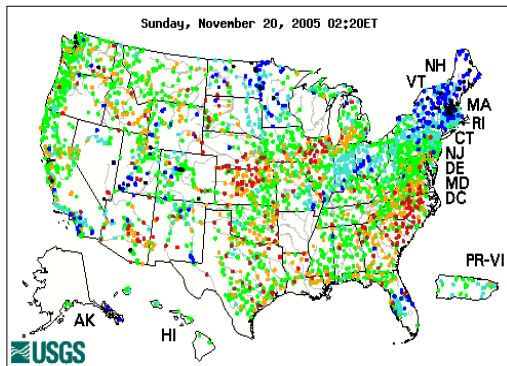
지를 통해서 요청하도록 하고 있다.

<표 2-1> NWIS의 시스템 구성요소

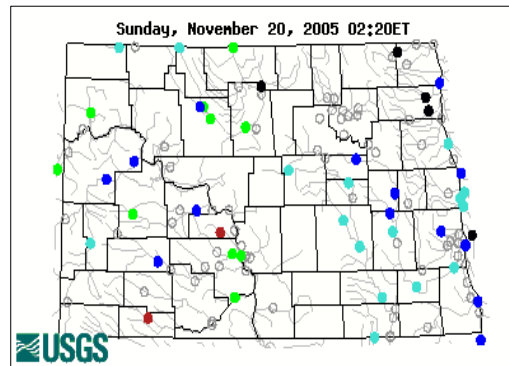
시스템 요소	개 요
관측소정보시스템 (Site-Inventory System)	수문 관측소의 위경도 위치, 행정구역, 수문단위 번호, 관측 장비 설명, 지점의 종류, 가용 자료 및 보유기간, 운영기관 및 정보의 저장 및 유통
지하수시스템 (Ground-Water Site-Inventory System)	하천구간, 우물, 호수, 저수지, 수리 시설물 등에 대한 목록 정보와 제공우물측조, 지하수위, 지하수 특성 등의 지하수 관련정보의 저장 및 유통
수질시스템 (Water-Quality System)	지표수 및 지하수의 수질 정보의 저장 및 유통
자동자료처리시스템 (Automated Data-Processing System)	측정 장치로부터 관측되거나 측정된 값 또는 자동기록 장치에 의해 수집된 자료의 품질관리, 저장 및 유통
용수이용자료시스템 (Water-Use System)	미전역에서 사용되는 용수에 관한 요약정보를 저장 및 유통

미지질조사국에서 제공하는 실시간 유량정보는 지도상에서 관측지점을 선택하면 본 토 50개주나 팜, 푸에르토리코 등을 선택하여 각 주별로 관측지점을 세부 선택할 수 있게 되어 있으며, 지점별로 그래프 및 3가지 종류의 테이블 형태로 하루치부터 한 달 치 자료까지 제공되며, 관측지점이 보유하고 있는 우량, 수질 등의 다른 자료까지 제공 하고 있다.

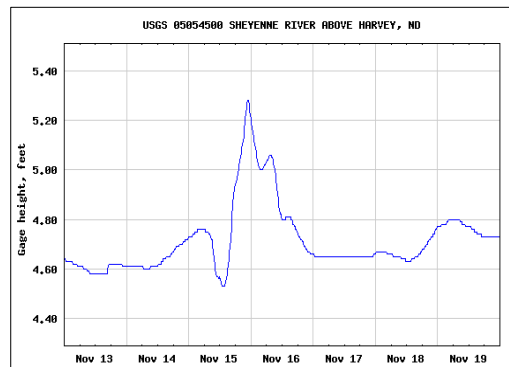
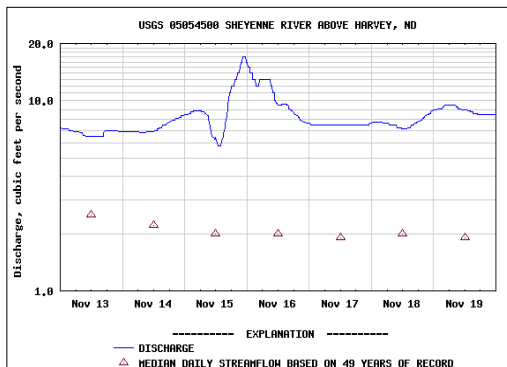
이 실시간 정보는 보통 15분에서 60분 간격으로 기록되어 각 관측소에 저장되며, 다시 미지질조사국 사무소에 데이터 전송방식(인공위성, 전화, 무전기 등)에 따라 1시간에서 4시간 간격으로 전송된다. 또한 중대한 사상에 대해서는 보다 잦은 간격으로 저장 및 전송되며 실시간 호소, 지하수, 수질, 우량자료의 경우는 관측소명 및 관리번호 등의 관측소 텍스트 형태의 지점정보 목록을 통해서 관측지점을 선택할 수 있게 되어 있다. 실시간 유량 자료의 경우도 지도로부터 검색뿐만 아니라 지점정보 목록으로부터 검색이 가능하다.



① 미 전역의 제공 위치 표시



② North Dakota 주 선택



③ 대상관측소 선택 시 실시간 유량 및 수위자료 제공

<그림 2-2> USGS NWISWeb 자료검색 예시화면

다. NOAA

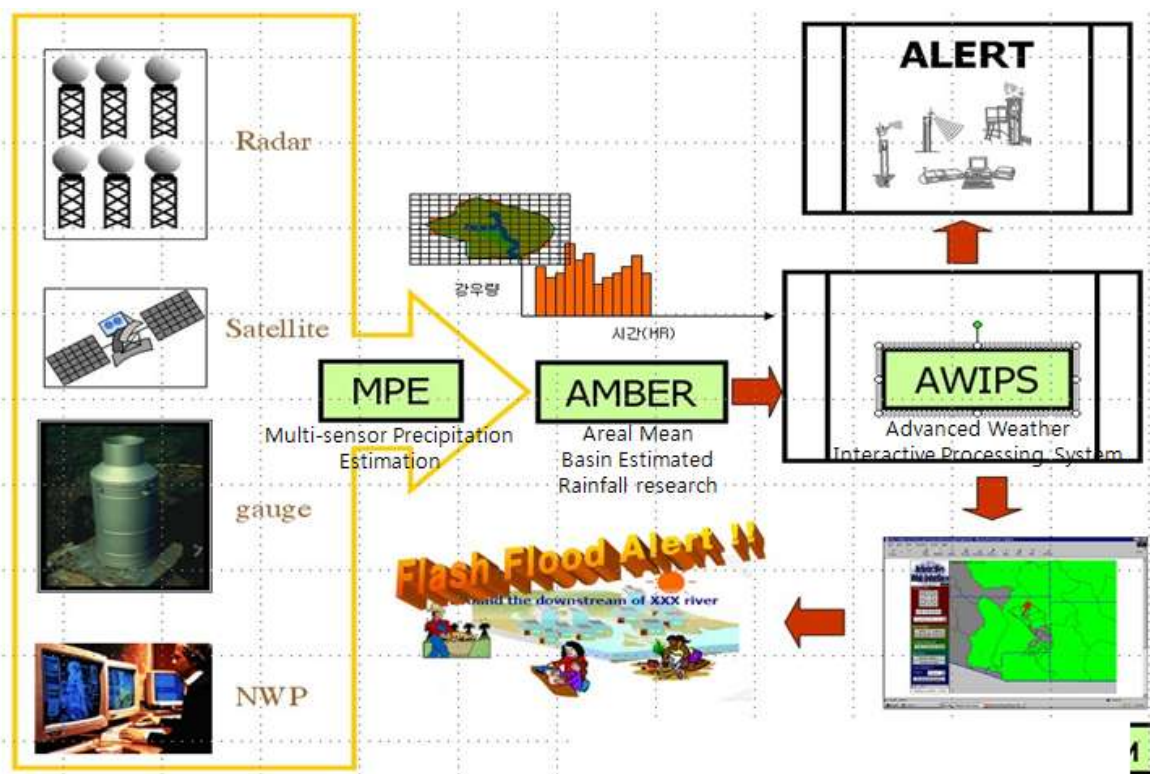
1993년 대홍수 피해를 입은 미국 중서부 지역의 모인스강 유역을 AHPs 시범지역으로 선정한 이후, 국립기상서비스(NWS)에서 위스콘신, 미네소타, 미시간, 아이오와, 미주리, 노스다코타 등 기타 지역으로 AHPs의 광범위한 시스템 수립을 위한 계획을 완성했다.

시스템 구축을 통해 홍수로 인한 경제적 손실을 최소화하고 보다 정확한 예측을 도모하며 광범위한 의사결정에 도움을 주고자 하고 있다.

6시간 이내에 발생하는 급격한 홍수위 증가를 의미하는 돌발홍수에 대해 그래픽 모니터링, 경고 형태로 정보를 제공하며, 고급 수리수문모델, 댐 분석도구, 고해상도 GIS 및 수리수문 데이터 처리 및 공간정보를 제공하고 있다. 예측정보는 단기(7일 이내), 중기(7일~14일), 장기(2주~3달 이상)로 나누어 애니메이션 기능 등을 활용하여 정보를 제공한다. 지도이미지를 통해 홍수위험지역도 표시하고 있다. 관측자료 등 기본 통계 데이터는 수리수문 예측시스템의 향후 수치화 개선을 위해 제공하고 있다.

미국지질조사국(USGS), 미국개간사업관리국(USBR), 미국육군공병대(USACE), 자연보존서비스(NRCS), 국립공원서비스(NPS), Alert Users Group(AUG), 원주민담당(BIA), 테네시계곡 기관(TVA), 국제경계 및 해상위원회(IBWC) 등에서 AHPs 시스템

개선을 위해 정보를 제공하거나 상호 긴밀한 협조관계를 유지하고 있다.



<그림 2-3> NOAA 홍수예보시스템

2. 일본

일본은 지속적인 수활용시스템 구축과 수환경의 보전과 정비, 수문회복과 육성을 위한 시책을 전개하기 위한 기본목표 및 전략을 가지고, 홍수 예·경보시스템 및 홍수관리시스템을 구축 운영하고 있다. 홍수 예·경보시스템의 경우, 전국레이더 우량계를 활용한 단기간 강우예측 모형을 개발하여 현업에 사용하고 있으며 공간단위 동적 홍수범람을 시험 적용 중에 있다. 홍수예보시스템은 레이더 강우예측과 연계하여 동적 하천범람모의를 추진하고 있다. 기상청에서는 VSRF(Very Short-Range Rainfall Forecast) 모형을 개발하여 실무에 활용하고 있으며, 이러한 모형은 우리나라에도 들여와 시험적용 중인 모형이다.

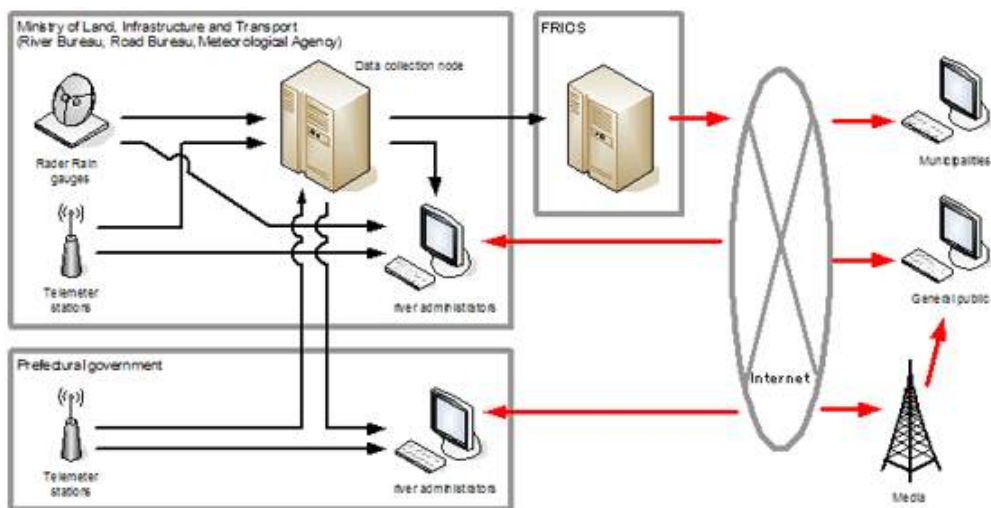
홍수관리시스템의 경우, 관·산·학·연의 협력으로 도시개발로 인해 증가하는 유출량을 사업지구 내에서 전량 처리하는 기술개발을 완료하였으며, 개발지역에 있어 각종 저류 및 침투시설 등 우수유출관리시설을 유역종합치수대책 및 자치단체조례를 통해 적극적으로 설치하여 운영 중에 있다. 하천제방붕괴에 따른 홍수위험지도를 제작하여 일선

행정관서에서 이를 일반주민에게 보급하고 있으며 사전모의대피훈련도 실시하고 있다.

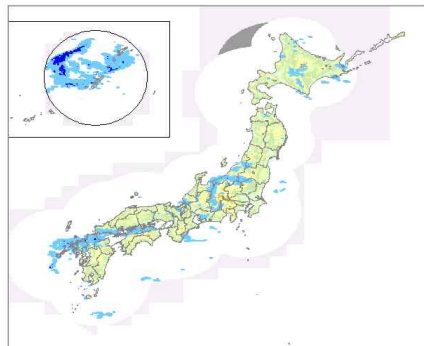
2005년 현재 전국 47개 광역지자체 가운데 38개 지자체에서 자체적으로 지역하천 정보시스템을 구축 운영 중에 있다.

가. 하천유역종합정보시스템

하천유역종합정보시스템(FRICS 2002, <http://www.river.go.jp>)은 하천정보센터 (Foundation of River&Basin Integrated Communication)에서 개발된 시스템으로 유역내의 하천, 지진재해, 환경에 관한 정보를 최첨단 기술을 활용하여 개략화면에서 상세화면, 장래(예측)~현재~과거까지 종합적으로 제공하고 있다. 일본 국토교통성 하천국, 기상청, 지자체 등이 소관하고 있는 우량, 수위, 댐, 해안, 기온 등의 다양한 정보를 Web 기반하에서 제공하고 있다.



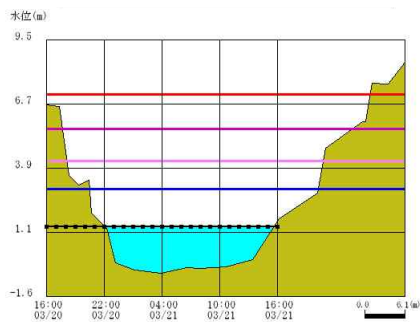
<그림 2-4> 하천유역종합시스템 데이터 흐름도



① 실시간 레이더 강우 현황



② 실시간 수위현황 및 예보



③ 특정 지점 실시간 수위

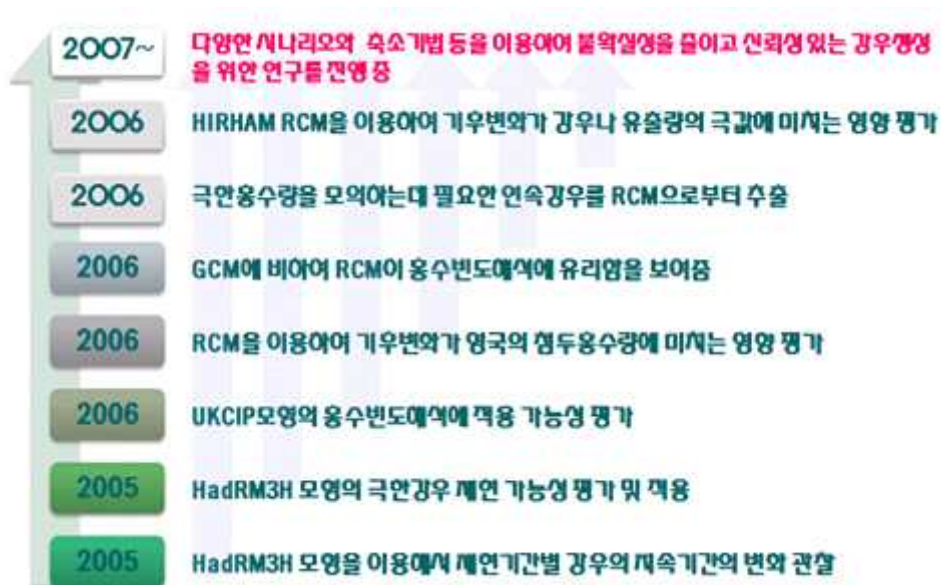


④ 실시간 수질 현황(DO)

<그림 2-5> FRICS 2002의 실시간 제공 정보

3. EU

시스템 개발에 중심을 두기보다 DB 공유에 중점을 두고 연구를 진행하고 있다.



EU의 연구개발은 공동투자형태로 유럽중기예보센터(ECMWF, European Centre for Medium-Range Weather Forecast)를 운영 중에 있으며, 센터에서는 3~10년 이상 기간에 대한 정확도 높은 중기예보가이드를 제공하여 신뢰성 있는 계절 예보 능력을 확립하는 것을 목표로 하고 있다.

기상위성 자료 등 포괄적 지구시스템의 자료동화체계와 통합된 고해상도의 지구시스템 모델링 기술, 중·장기 및 계절 예보를 위한 앙상블 예측 기술의 실용화를 통해 전세계적으로 최고 수준의 중·장기 예보기술을 보유하고 있다.

유럽공동체는 국가를 통과하는 하천에 대하여 유역 전체에 대하여 통합적인 예측이 가능한 유럽 홍수 조기경보 시스템(European Flood Early Warning System)을 개발하여 사용하고 있다.

또한 유럽공동체에서는 제6차 프레임워크 프로그램(FP6)의 세부 과제인 '전지구 변화 및 생태계(Global change and ecosystems)'에 포함된 연구과제 중 '하천-유사-토양-지하수 상호작용 연구'를 수행하고 있다(한국건설기술연구원, 2008). AquaTerra라는 제목의 이 연구사업은 하천관리 개선을 위한 과학적 기초를 제공하기 위한 목적, 즉 하천-유사-토양-지하수를 분리된 개별시스템이 아닌 상호작용이 이루어지고 있는 통합된 시스템으로 이해하고 이에 대한 다양한 시·공간적 스케일의 자연적·사회경제적 관점을 통합하는 것을 주요 목적으로 하고 있다. 이를 통해 기후 및 토지이용 변화, 토양 및 수질오염 등으로 발생하는 다양한 문제를 겪고 있는 유럽의 상황을 개선하고자 하는 목적으로 과제가 시작되었다.

효율적인 토양-물 관리를 위해서는 토양의 특성, 수량 및 수질을 분석할 수 있는 지하수-토양-유사-하천 시스템 해석 수치모형을 개발할 필요가 있으며, 각 개별 시스템 간의 상호작용 및 매개변수에 대한 정확한 이해와 정량화가 필요하다.

AquaTerra 연구과제에서 개발되는 모형들은 다양한 시·공간적 차원에 대한 생물지구화학적 작용 및 기후, 수문학적 작용 통합을 목적으로 하고 있다.

AquaTerra 연구과제는 단위 유역으로부터 광역에 이르는 범위에서 발생하는 특성 분석을 위해 지구과학으로부터 환경공학, 화학으로부터 사회경제과학에 이르는 다학제적 연구를 수행하고 유럽의 주요 하천유역에 대한 시범 운영을 통해 적용성을 제고하도록 계획되었다. 또한, 연구의 산출물을 관련 정책결정, 하천유역관리, 도시계획 담당자 등이 실무에서 사용할 수 있도록 실용성을 높이는 데 주력하였다.

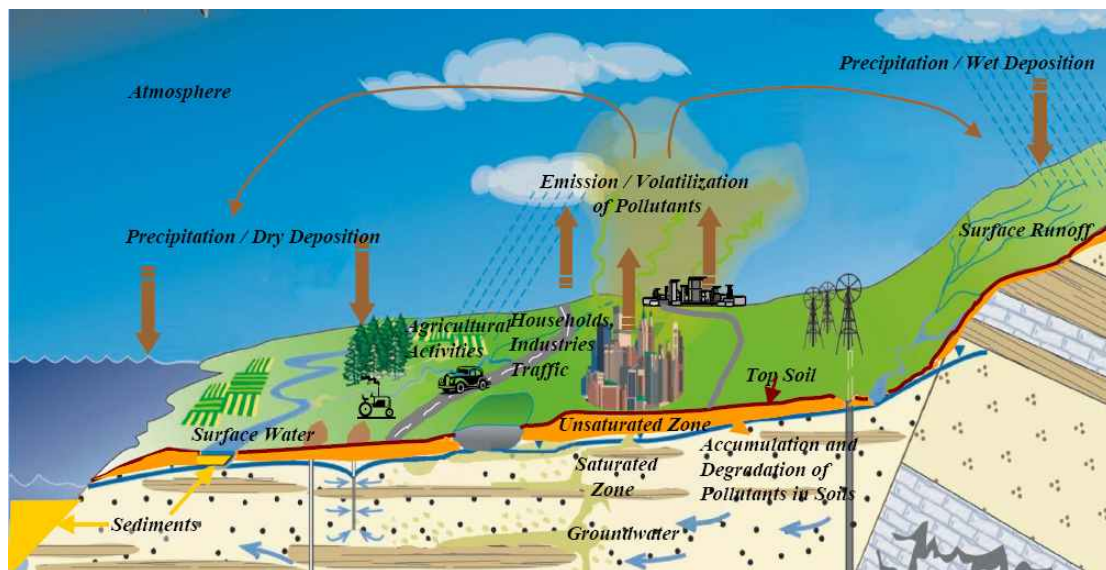
AquaTerra의 구체적인 목적은 다음과 같다.

- 다양한 시·공간적 특성의 하천-유사-토양 지하수 시스템에 대한 이해 제공
- 개선된 하천유역관리에 대한 과학적 기초 제공

·토양 및 수질 모니터링에 대한 과학적 기법 개발

·오염의 영향 평가, 기후 및 토지이용변화에 대한 통합 모델링 개발

AquaTerra는 2004년 6월 제6차 프레임워크 프로그램(2002~2006년)의 중반에 시작되어 제7차 프레임워크 프로그램(2007~2013년) 기간 중인 2009년 5월까지 총 5년(60개월)에 걸쳐 진행 중에 있으며, 과제의 전체 예산은 20,222,364유로이다. 과제는 다시 11개의 세부연구과제로 구성되어 있으며, 5개의 시험유역이 운영 중에 있다. 유럽연합의 12개 국가 45개 기구에서 참여하고 있으며, 이외에도 루마니아, 스위스, 세르비아 등 3개국, 대학, 중소기업, 환경보호기구 등에서 참여하고 있다.



<그림 2-6> 토양-유사-지하수-하천 시스템(한국건설기술연구원, 2008)

AquaTerra 과제는 HYDRO, BIOGEOCHEM, FLUX, COMPUTE, TREND, MONITOR, BASIN, EUPOL, INTEGRATOR, KNOWMAN, PROMAN 등의 11개의 세부과제로 구성되어 있다.

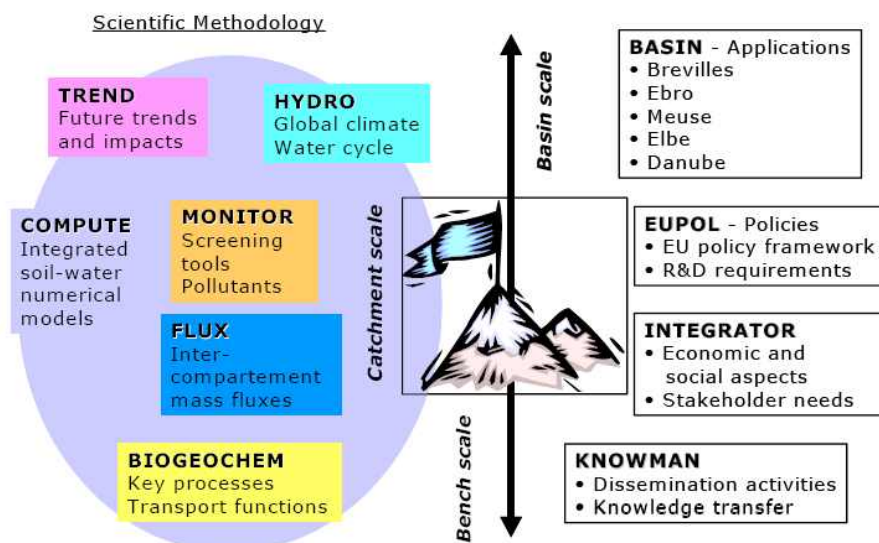
세부과제 BASIN에서는 5개 하천(Brévilles, Ebro, Meuse, Elbe, Danube) 유역을 시험유역으로 선정하여, 토양-지하수-하천 및 홍수터-유사-하천 상호작용에 관한 연구를 수행한다. 이에 기초하여 BIOGEOCHEM에서는 토양 및 유사에서의 오염물 거동이 수질에 미치는 영향을 연구한다.

FLUX에서는 토지이용변화의 영향을 평가하기 위해 유·무기질 고체 및 용질의 이동을 조사한다. HYDRO에서는 기후변화가 수문순환에 미치는 영향을 물수지 및 수질 분석을 통해 연구한다. TREND에서는 과거로부터 미래의 경향 분석을 통해 토양 및 수질 변화에 대하여 연구한다. MONITOR에서는 약품, 살충제와 같은 신종 화합물에 대

한 분석기법을 개발하고, 지금까지 규제되지 않고 있는 오염물에 대한 규제안을 제안한다.

위 세부과제의 결과를 적용하여 세부과제 COMPUTE에서는 다양한 규모에서의 오염물 거동을 모의한다. EUPOL과 INTEGRATOR에서는 각 세부과제의 결과를 통합·분석하고 유럽연합의 환경정책 추진방향에 대한 제안을 실시한다. KNOWMAN에서는 워크숍, 세미나, 책자출간, 교육 등을 통해 연구결과를 홍보한다.

이러한 방법으로, AquaTerra는 하천-유사-토양-지하수 시스템의 통합 모델링을 수행하고 유역관리를 위한 개선된 기법을 제안한다.



<그림 2-7> 연구과제의 구성
(<http://www.attempto-projects.de/aquaterra/>)

<그림 2-7>에는 11개의 세부과제 중 행정 및 관리를 담당하는 PROMAN을 제외한 10개의 세부과제가 도시되어 있다. TREND, HYDRO, COMPUTE, MONITOR, FLUX, BIOGEOCHEM 등 6개 세부과제는 과학적 방법론을 개발 또는 제시하며, BASIN에서는 시험적용, EUPOL은 정책 제안, INTEGRATOR는 과제결과 통합·분석 및 경제사회적 분석, KNOWMAN에서는 교육 및 홍보를 담당한다.

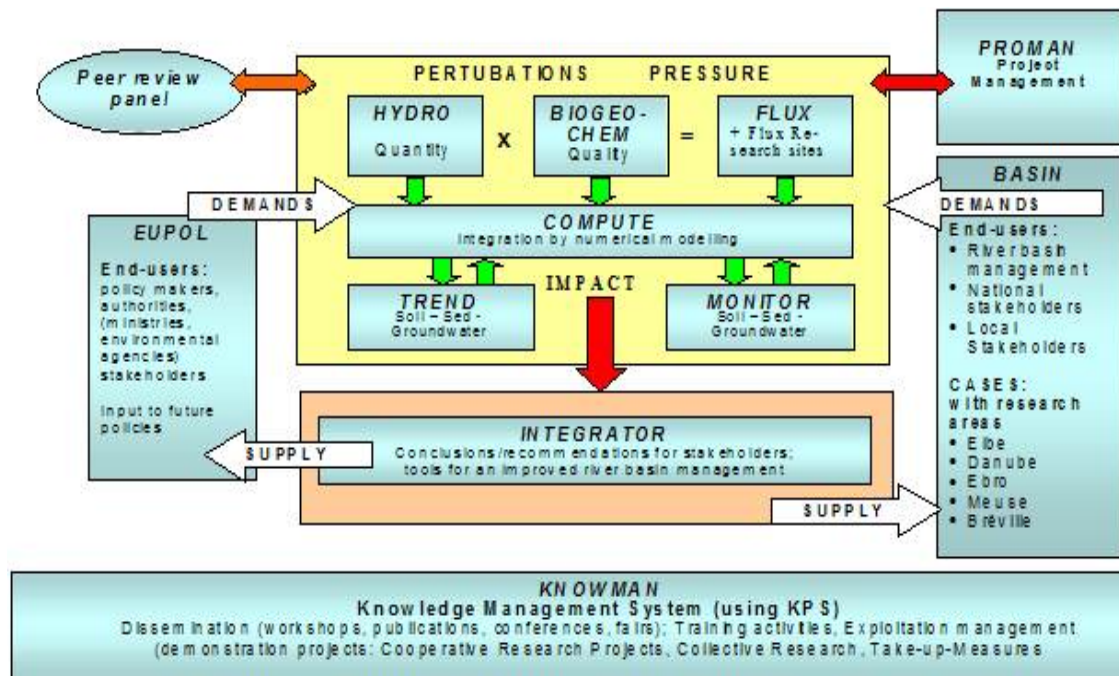
<그림 2-7>에 도시한 바와 같이 AquaTerra는 실험실규모에서 중소규모(catchment scale), 대규모(basin scale)에 이르는 다양한 규모에 대한 적용이 이루어지며, 이러한 결과는 수치모형으로 통합되어 유역관리 기법 개선에 활용된다.

<그림 2-8>에는 AquaTerra의 각 세부과제 간의 연계 및 통합에 관한 모식도를 수

록하였다. INTEGRATOR는 사회학적 측면에서 과제의 결과 통합을, COMPUTE는 모델링을 통한 과학적 결과의 통합을, EUPOL은 정책입안자의 관점에서의 결과 통합을 수행한다.

AquaTerra는 발생가능한 위험에 대한 사전 예방의 선상에서 유럽연합의 정책기조를 지원하며, 과학적 문제뿐만 아니라 사회경제적, 제도적 측면에 이르는 종합적인 유역관리 방안을 수립한다.

AquaTerra의 각 세부과제는 워크 패키지(Work Package)로 이루어져 있다(표 2-2).

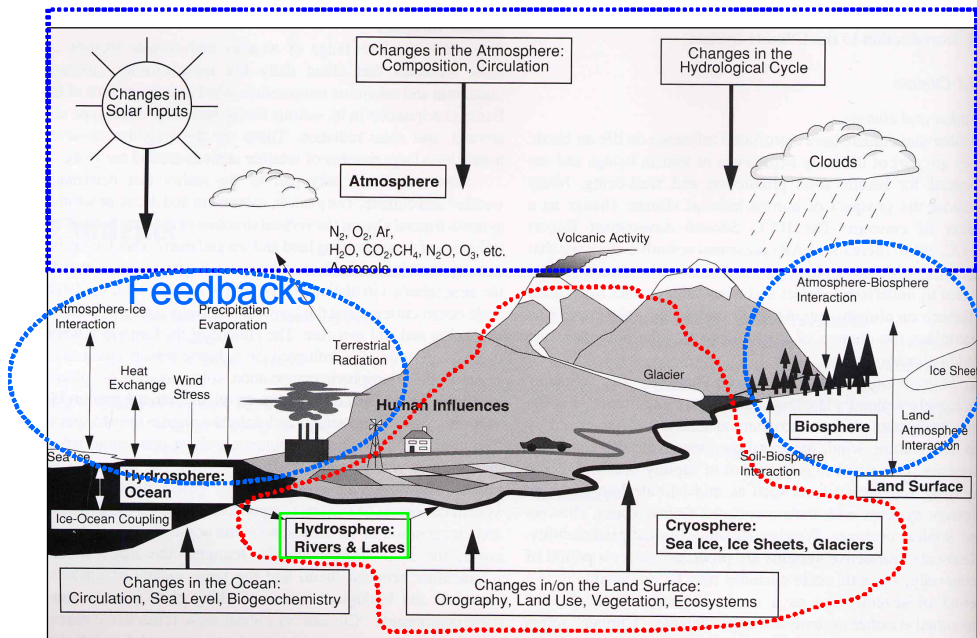


<그림 2-8> 각 세부과제의 연계 및 통합

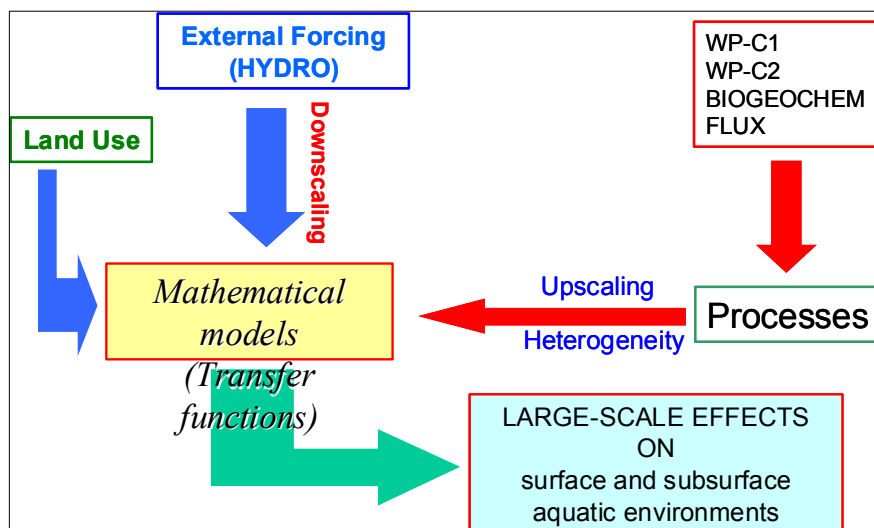
<표 2-2> 각 세부과제의 연계 및 통합

세부과제	워크 패키지
HYDRO	H1 : 기후변화 및 수문순환 H2 : 유역 물수지
BIOGEOCHEM	BCG1 : 토양 및 유사의 콜로이드 및 DOM 배출 메커니즘(오염이동에 미치는 영향) BCG2 : 유기오염물의 수착(sorption) 예측 BCG3 : 금속 오염물의 수착/탈착 예측 BCG4 : 하천유역 토양-유사 및 지하수 환경 변화 지표로서의 미생물 군 BCG5 : 화합물의 생물학적 분해
FLUX	F1 : 유입/유출 질량 평형 F2 : Intercompartment fluxes : 토양-지하수-지표수 상호작용 F3 : 하천유역의 유입/유출 질량 평형 : 용해물 및 고형물 부하
COMPUTE	C1 : 벤치스케일(bench scale) 모델링 C2 : 중소유역 스케일 모델링 C3 : 대유역 스케일 모델링 C4 : 소프트웨어 툴박스 통합
TREND	T1 : 토양 및 유사관련 동향 분석 T2 : 지하수 동향 분석 T3 : 유역규모별 경향 모델링 및 예측
MONITOR	M1 : 대상 화합물 검사 M2 : 분석 규약 M3 : 모니터링 및 샘플링 기법 혁신
BASIN	R1 : Bréville 시범유역(중소유역) R2 : Ebo 시범유역(대유역) R3 : Meuse 시범유역(대유역) R4 : Elbe 시범유역(대유역) R5 : Danube 시범유역(대유역)
EUPOL	E1 : 미래 유럽연합 정책의 과학적 기초
INTEGRATOR	I1 : 토양-수자원과 사회의 상호작용 개념모형에 대한 관련계층의 수요 분석 I2 : 사례연구 수행 I3 : 의사결정자를 위한 개념모형 개발 및 연구결과 통합
KNOWMAN	K1 : 훈련 K2 : 워크숍 K3 : Exploitation K4 : 전파/주민홍보
PROMAN	P1 : 총괄행정관리 P2 : 지식관리시스템 설치 및 운영 P3 : 법무 P4 : 위험관리

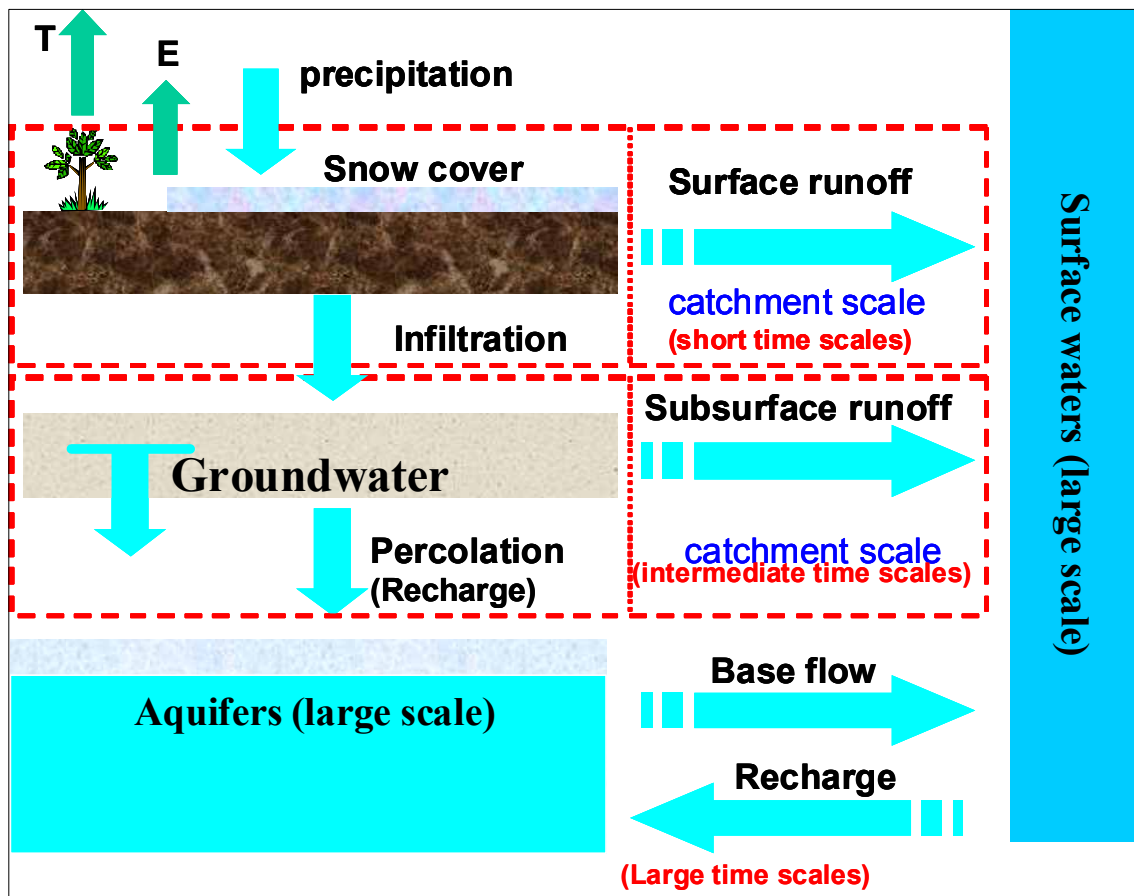
External forcing



<그림 2-9> 모의대상 시스템(<http://www.attempto-projects.de/aquaterra/>)



<그림 2-10> 다양한 시·공간 스케일에 대한 모의 절차
(<http://www.attempto-projects.de/aquaterra/>)



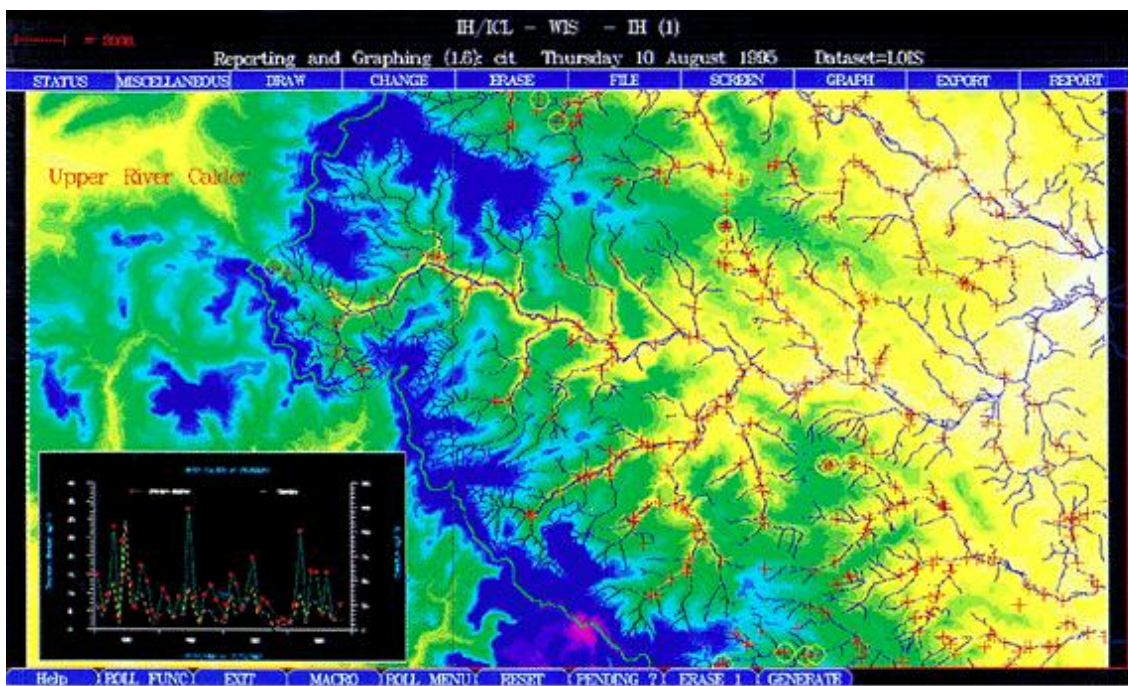
<그림 2-11> 다양한 시·공간 스케일에 지표수-지하수 상호작용 분석
[\(http://www.attempto-projects.de/aquaterra/\)](http://www.attempto-projects.de/aquaterra/)

네덜란드의 Delft Hydraulics에서는 레이더 자료를 구축하여 유역 및 하천 홍수추적, 범람해석, EAP 구축 등에 의한 내배수 재해를 포함한 통합홍수관리 시스템을 구축하여 운영 중에 있다.

독일의 쾰른 시는 강력한 위험경보 및 관리시스템에 대한 필요에 의하여 홍수방지센터를 중심으로 FLOod Management SYstem(FLOMASY)를 구성하였다. FLOMASY는 분포형 정보체계를 기반으로 설계된 시스템으로서 홍수예측, 데이터베이스, 비상대처 계획의 제공 등이 가능하다. 지하수와 관련하여서는 전국적으로 800여개의 국가 지하수 관측망을 갖추고 관측자료를 활용하여 해수침투 및 지하수 오염에 대한 대책을 수립하기 위한 근거자료로 활용하고 있다.

영국의 경우, 웰링포드 생태수문센터의 WIS (Water Information System)가 있는데, 수자원 관리 사업자와 폐기물 관리 사업자 및 수질 모니터링 기관 등 물 관련 분야에 필요한 정보를 종합적으로 제공하는 시스템이다. WIS는 자연환경에 대한 관측 자료를 기록하고 있으며, 자료를 검색 처리하여 일반 보고서 형태나 지리학적인 제시

능력(지리정보시스템이용)을 가지고 있다. WIS는 환경 규제기관이나 산업계의 요구를 모두 충족시킬 수 있게 설계되었고, 수문연구소 (Institute of Hydrology)가 생태수문 센터에 통합된 이후에 생태수문센터의 환경정보 과학프로그램(Environmental Informatics Programme)과 연계하여 웰링포드 생태수문 센터 (CEH Wallingford)에서 관리 되고 있다. WIS 지리정보시스템의 주요 기능은 크게 매핑, 조회, 테이블 및 그래프, 불러오기와 편집으로 나눌 수 있다. 이와 같은 기본적인 서비스 이외에 물정보시스템은 시스템 설치지원, 설치 및 사용 표준용어집, 실무교육, 헬프 데스크 등을 제공한다.



<그림 2-12> 환경정보시스템(WIS)의 예

4. 한국

국내에서도 이미 4대강 홍수통제소를 중심으로 하천의 현황을 모니터링하고, 각종 정보를 제공하기 위한 시스템을 구축하였으며, 한국수자원공사의 「국가수자원관리종합정보 시스템(WAMIS)」를 비롯하여 「물관리정보유통시스템(WINS)」, 「국가지하수정보센터(GIMS)」, 「하천관리지리정보시스템(RIMGIS)」, 「물환경정보시스템」 등의 각종 정보시스템이 구축되어 운영되고 있다.

국내 물 관련 기관의 수자원 정보는 각 기관의 담당업무와 고유의 특성에 맞도록 각 기관별로 개별적인 시스템이 구축되어 운영·관리되고 있다(표 2-3).

<표 2-3> 수자원관리정보시스템 구축현황

기관명	정보명	주요항목	구축완료
행안부	강우량 DB	우량 및 수위관리	1996. 6
국토해양부	수자원관리 종합정보시스템	수자원관련 기초자료 시스템, 분석 시스템, 의사결정지원시스템	
	지하수정보시스템	지하수계자료, 지하수자료	
환경부	수질관리시스템	배출업소, 상수원, 생활용수, 하천 등	
	수질측정망	측정지점(전국934개소, BOD, pH)	
	상하수도 관리시스템	정수장, 하수처리장, 상수도 수원	
기상청	기상정보 DB	기상현황 및 강수량	
국토지리정보 보원	수치지도관리 DB	수치지도	1998. 6
한강 홍수통제소	홍수예정보 DB	강우량, 수위, 댐자료	1996. 4
한국 농어촌공사	수리시설물정보	저수지, 양수장, 배수장, 지하댐, 시유량	
	저수관리정보	유효저수량, 가뭄빈도, 유출계수	
	농어촌용수정보	지표수, 지하수, 농업용수, 양수장, 하천, 측후소	
	지하수정보	지질, 수맥	
한국 수자원공사	수문정보 DB	수위·우량관측소·일수위 등	1993.12
	기상 DB	기온, 강수량, 풍향, 풍속, 습도, 증기압 등	1993.12
	용수이용현황 DB	상수도, 용수이용현황, 가압장, 배수지, 정수장, 취수장, 댐, 저수지 등	1994.12
	지하수정보 DB	지하수 개발·운영현황, 지하수 수질	1997. 6
	댐관리 DB	시간 수위, 시간 우량 및 댐 정보	1997. 3
	광역상수도 정보 DB	시설물 이력 등	1997. 5

홍수예보와 관련하여서는 지자체별로 홍수정보시스템을 구축하여 운영 중에 있으며, 홍수지도관리시스템, 통합홍수예보시스템 등을 운영하고 있으며, 하천 및 수자원 정보를 공유 및 연계 관리하기 위한 시스템도 운영 중에 있다. 통합홍수예보시스템에서는 지방홍수통제소별로 상이하게 개발된 홍수예정보시스템을 표준화함으로써 전국적 실시간 공동활용체계를 구축하고 전국 수위/우량관측소와 댐 자료를 관할 지역의 홍수통제소로부터 실시간으로 수신하여 홍수예보모형 개발의 기초자료로 활용하고 있음. 시스템을 통해, 우량, 수위, 댐관련 정보, 주요하천의 모니터링 상황 등에 관한 정보를

제공한다.

소방방재청에서는 태풍, 집중호우, 폭우 등 자연재해에 효율적으로 대처하기 위해 국가 재난관리 시스템(NDMS)을 구축하여 재난대응, 수습, 복구, 피해상황 집계를 대상으로 1단계(1996~2004)사업을 완료하였으며, 재해유형별 현장 대응체계, 위성통신 등 첨단기술을 활용하여 2단계(2005~2009)사업을 추진 중에 있다.



<그림 2-13> 국가재난정보센터 홈페이지 화면

국립방재연구소에서는 홍수범람 가능성이 높은 하도를 따라, 저지대, 구하도, 배후습지 등의 지형조건의 판독에 따른 수해지형 분류도를 작성한다. 수해지형 분류도를 기본 자료로 실제 발생한 홍수범람과 침수 지도를 반복적으로 대조 검토 후 지역적인 위험도 평가 후 주거 및 농경지 등을 위성데이터에서 정량적으로 파악 후 재해 가능성에 대한 종합적인 고려와 수문, 수리학적 해석 및 실시를 위한 기술을 제시한다.

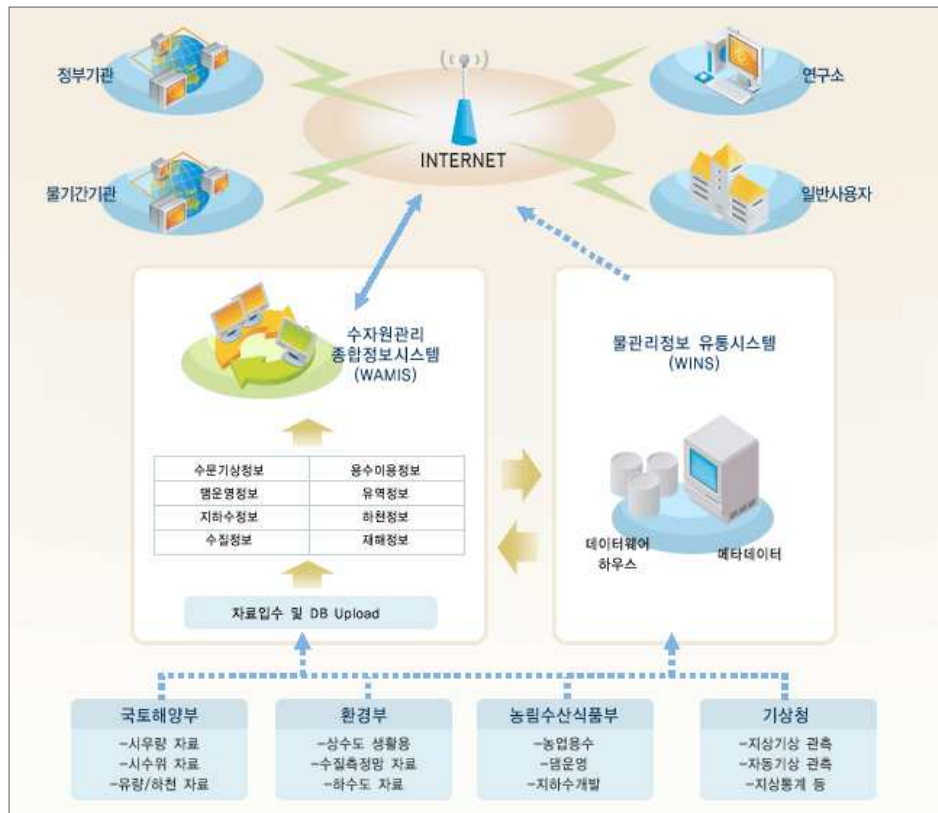
하천관리지리정보시스템에서는 하천관련 공간 및 속성정보 데이터베이스의 공동 활용을 위한 표준화하고 전국의 국가하천을 대상으로 하는 지리정보를 기반으로 하천공간 자료의 관리와 하천관련 인허가 업무지원(웹시스템 기반)하고 있다.



<그림 2-14> 하천지리정보시스템 홈페이지 화면

이밖에 웹기반으로 한강홍수통제소에서 중량천에 대해 운영 중인 주요지천홍수예보 시스템에서는 실시간 수문자료, 기상자료, 수치예보 자료를 이용, 수위예측을 수행한 후 하류예상 수위 및 하구반응시간 검토를 통하여 예경보시스템을 구성하고 주요지천 홍수예보 프로그램 수위예측모형 개발 중에 있다.

국가 수자원관리 종합정보시스템은 물 관련 기초정보의 체계적이며, 표준화된 수집, 분석, 관리 및 공동이용을 위한 DB를 구축하고, 물 관련 DB의 통합 연계운영으로 체계적이고, 유기적인 종합 정보시스템을 구축하는 것을 목표로 수자원관리 종합정보시스템을 주 시스템으로 하고, 산하기관 DB를 연계시켜 운영하여 수량·수질의 통합 유역도를 기반으로 하는 취득 및 관리의 일관성을 유지하고자 하고 있다. 일부 미완결 구축된 부분도 있지만 시스템을 통해 수문/기상, 유역, 하천, 댐, 지하수, 이수정보, 수도, 환경생태, 자연재해, 지형공간의 10가지 대분류 정보에 관하여 정보를 제공하고 있다.



<그림 2-15> 수자원관리종합정보시스템(WAMIS) 구성 개념도

그 밖에 공간정보 측면에서는 KLIS의 토지정보시스템을 통해 지적 및 지형에 관한 정보를 제공하고 있으며, 연안관리정보시스템에서는 수치해도를, 갯벌정보시스템에서는 해양보호구역 및 갯벌전자지도, 환경부에서는 국토환경성평가지도 및 생태자연도를, 산림청에서는 산림지리정보시스템을 통해 수치산림이용 구분도 등을 제공하고 있다.

그 외에도 환경매체별로 초점을 둔 공간정보시스템 등이 구축되어 운영 중에 있다. 그중 수자원과 관련하여서는 국가수자원관리종합정보시스템, 하천관리지리정보시스템, 물환경정보시스템, 토양지하수정보시스템, 지자체별 지하수정보관리시스템 등이 있다.

2절 기술동향분석

1. AHPs (Advanced Hydrologic Prediction Service)

AHPs는 지역적 강우 정도와 범람의 개연성을 묘사하면서 실시간 홍수예측을 제공함으로써 지역의 특성과 지류의 특성을 함께 사용하며, 기존 모델에 비해 정확성 측면에서 20%이상 향상되었다.

수문학적 모델링 기능을 유역 내에 강수량 및 강우량 변화에 적용하여 모델링으로 구현하며 분산 모델링 기능을 더 현실적으로 강수량 예측에 적용한다.

수리수문의 대규모 위기 발생의 크기와 확률을 표현하고 사용자에게 최악상황의 시나리오 제공이 가능함. 강물의 흐름, 수위, 범람 형태에 관한 정보, 범람위험지역 및 지속시간 등에 관한 정보를 제공한다.

AHPs 시스템에서는 수문학적 정보 및 강우유출 및 침수범위에 대한 정보를 그래픽이나 숫자 형식 혹은 지리정보시스템(GIS)을 활용하여 예측정보를 제공하며 제공하는 형태는 단일 시스템에서 웹기반을 통한 방식 등 다양하다.

AHPs는 국가단위, 지역단위 시스템과 DB에 액세스하는 연동 시스템으로 분류가능하다.

예측방법의 개선 및 발전으로 홍수발생이전에 대책마련을 위한 선행시간 확보를 가능케 한다. 침수위험지역의 주민을 대피시키거나 이에 따른 비용추정 등에 도움을 주며, 홍수가 하류지역에 위치하는 거주민과 사업체에 주는 영향을 최소화하기 위한 정보제공이 이루어지고 있다.

2. 분포형 홍수유출 모의

돌발홍수는 소유역 규모의 좁은 지역 및 급경사에서 짧은 지속시간과 집중적인 강우 강도에 의해 발생하고 빠른 유속과 토사를 동반하기 때문에 빠른 수문반응으로 홍수를 대비할 수 있는 시간이 부족한 것이 특징이다.

FFG는 현재의 토양수분 조건에서 특정시간 동안 하천의 제방을 월류하는 홍수가 발생할 때까지 앞으로 필요한 강우량을 의미하는 것으로, 특정 시간동안 FFG 값과 예측 강우량의 비교를 통해 돌발홍수 발생 가능성에 대한 경보를 사전에 발령할 수 있다.

돌발홍수예보 모형은 크게 강우예측을 위한 기상학적 부분과 한계유출량 계산 및 토양수분 모의를 위한 수문학적 부분으로 구성된다.

Kraiewski(1991)은 Monte Carb 방법을 이용하여 우량 관측소 밀도와 강우 샘플링 빈도를 이용하여 수문곡선 매개변수를 모의하여 강우량 예측 뿐 아니라 시공간적 예측

을 하는 것이 중요함을 강조하였다.

Enrica(2001)은 1992년 10월에 발생한 돌발홍수 우량 및 레이더 자료를 이용하여 수문학적 분포형 모델을 적용하여 소유역에 수지공식을 적용하여 토양변화에 따른 총 유출량을 산정함으로써 상대적으로 조밀한 강우자료라 하더라도 대류성 강우를 예측하고 공간적 범위와 깊이를 추정하는데 불충분하며, 강우예측 없이 경보의 신뢰도는 제한적임을 밝히고 있다.

일본에서는 VSRF를 통해 기상청의 현업용 초단시간 강수예보모델을 한반도 환경에 맞게 새롭게 구축하여 레이더 반사도 자료와 지상 AWS 자료를 이용하여 레이더-AWS 강우강도를 산출하는 강수분석과정과 분석된 강수량 자료와 중규모 수치예보장을 사용하여 외삽법에 의한 초단시간 강수예보를 수행하는 예보과정, 실시간으로 산출된 강수예보 자료를 검증하고 홈페이지에 제공하는 자료를 지원하고 있다.

캐나다 맥길대학교에서 개발한 초단기 예측모델로 MAPLE이 있으며, 현재 및 과거에 관측된 레이더 반사도 이미지를 이용하며 3시간 이내에서 높은 예측성을 가지고 있다.

3. 지표수-지하수 연계 해석

국내에서 지표수-지하수 통합 해석에 대한 연구는 모형 등 해석기법 개발과 적용 분야에 중점적으로 이루어지고 있으며 적용은 거의 내륙지역에서 수행되었다. 유동훈 등 (2001)은 하천 흐름방정식에 지표면으로부터의 측방유입량을 고려하는 방식으로 하천수와 지하수의 연계해석을 수행 하는 하천 및 지하수 유출 통합모형 SIRG를 개발하고 양양 남대천에 적용하여 모형의 적합성을 입증한 바 있다.

이동준 등 (2004)은 완전분포형 지표수-지하수 통합모형인 MIKE SHE 모형을 이용하여 보천천 유역의 장기유출 모의를 수행하였다.

Kim et al. (2008)은 지표수 수문해석 모형인 SWAT 모형과 3차원 지하수 해석 모형인 MODFLOW 모형을 완전연동형 방식으로 결합한 SWAT-MODFLOW 모형을 개발하였으며, 무심천 유역에 대하여 검증을 수행하였다.

노성진 등 (2005)은 물리적 개념의 공간 분포형 강우 유출 모형인 WEP 모형을 청계천 유역에 적용하여 지하수 흐름 교환을 고려한 물순환 해석을 수행하였으며, 김상준, 윤성용 (2005)과 윤성용, 김상준 (2005)은 장기유출모형인 TOPMODEL을 이용, 보천천 상류 삼성유역에 대하여 유역 물순환 해석을 수행하고 GFDS 모형을 개발하여 지하수 흐름을 모의하고 개발가능량을 산출하였다.

홍성훈과 김정곤 (2007)은 SWAT 모형을 적용하여 갑천 유역의 소유역별 지하수 함양

량을 산정하고 이를 MODFLOW 모형과 순차적으로 연계하여 지표수-지하수 상호작용을 고려한 광역 지하수 유동 특성을 평가하였다.

해외의 대표적인 결합모형으로는 덴마크의 DHI (Danish Hydraulic Institute, 1999) 에서 개발된 MIKE SHE 모형, 미국에서 개발된 MOD-HMS 모형, ISGW 모형 (SDI, 1997), SWATMOD 모형 (Sophocleous et al., 1997), 그리고 일본에서 개발된 WEP 모형 (Jia et al., 2001) 등의 여러 물리적 혹은 개념적 모형을 들 수 있다.

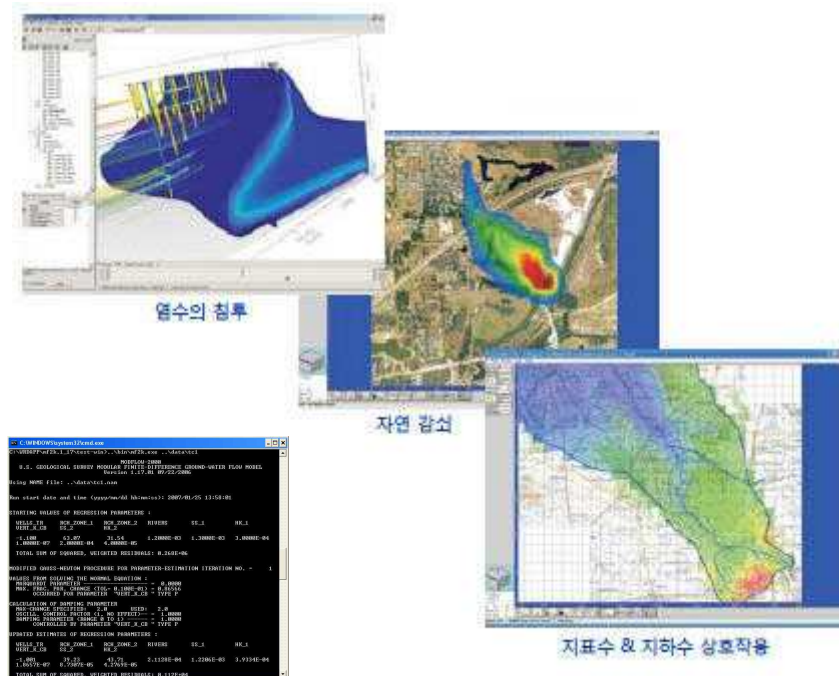
Downer와 Howington(2001)은 미국방성에서 개발한 지표수와 지하수의 상호작용을 고려하는 GSSHA 모형을 소개하였는데 이 모형은 물리적, 분포형 지표수 해석 모형인 CASC2D 모형에 지하수 해석을 추가한 모형으로 침투, 차단, 증발산, 하도추적 등의 지표수 해석과 토양 및 지하수 흐름 해석을 수행할 수 있다.

4. MODFLOW

MODFLOW는 1984년에 처음 출시된 USGS(U.S. Geological Survey)의 3차원 유한 차분 지하수 모델이다. 원래는 지하수흐름만을 모의하기 위한 것이었으나 지표-지하수 시스템, 물질이동, 다밀도 및 불포화층흐름이나 대수층과 함양, 변수추정, 지하수관리 등을 조합하여 연계모의하는 등 점차 통합 시뮬레이션 기능을 제공하는 방향으로 발달하고 있다.

최초 개발이후 주요 출시 모델로는 MODFLOW-88, MODFLOW-96, MODFLOW-2000, MODFLOW-2005가 있다. MODFLOW-88, MODFLOW-96은 지하수흐름모델로서 초기 프로그램에 기초한 것으로, 지하수흐름체계의 특정측면이 독립적으로 모의되었다. MODFLOW-2000는 주요방정식이나 관련 방정식을 풀기 위한 MODFLOW와 HYDMOD 등 같은 관련 프로세스가 통합되어 확장된 형태로 개선되었다. 가장 최근 출시된 MODFLOW-2005에서는 사용자가 모의단위인 단위격자를 지정할 수 있도록 함으로서 모의해상도를 조절할 수 있도록 했다. 개별 프로그램별로 오류 및 기능을 추가한 다양한 버전이 있으며 USGS 사이트를 통해 제공하고 있다.

이 밖에 다양한 그래픽인터페이스를 제공하고 있는데, USGS에서 만든 MODFLOW-GUI, 윈도우용 PMWIN, USGS의 MODFLOW-2005 사용자를 위한 ModelMuse 등은 교육용으로 무료로 배포되고 있으며, GMS, Visual MODFLOW, PMWIN Pro 등이 정부기관, 컨설턴트 등의 고급사용자를 대상으로 유료로 배포되고 있다.



<그림 2-16> MODFLOW 모의화면과 Visual MODFLOW 화면 예시

5. GIS

명확한 시설물관리 정책결정을 위한 정보화 사업에 대한 필요성과, 시설물관리업무의 능률개선, GIS 기반 자료구축요구 및 DB 연계방안 요구의 증가, 과학적이고 합리적인 모델의 필요와 새로운 관리기법의 도입이 요구됨에 따라 각종 시설물 및 정보수치지도화사업이 이루어 지고 있다.

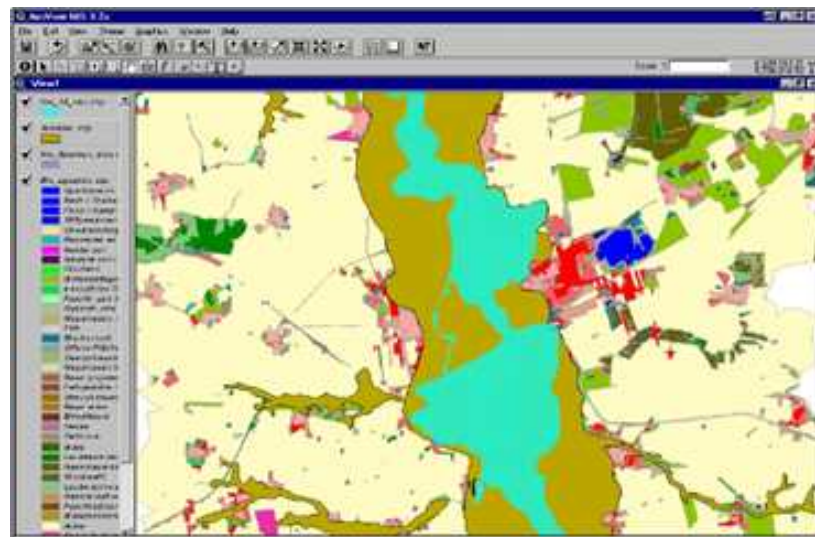
GIS 활용할 경우 기본 자료구축에 5~7년의 장기투자가 이루어져야 하므로 점진적으로 이루어지며, 관련 응용시스템이 개발되고 기존시스템과의 연계하는 작업이 필요하다.



<그림 2-17> GIS기반 시스템 구성 개요

6. 침수예측 및 지도화 기술

강우시 하천 홍수위 모의기술, 하천 홍수위 자료를 이용한 홍수범람용적 산정, 범람된 유량의 유역침수경로 추적 기술, 내·배수 침수해석을 통해 국지성 호우에 의한 하천 범람현황 모의 등을 바탕으로 공간자료를 구축하는 기술발달 및 지침 등의 가이드라인 등이 마련되고 있다.



<그림 2-18> 침수예측 및 지도화

출처 : 도시홍수재해관리기술연구사업, 2006

영국의 경우, PPS(Planning Policy Statement), PPG(Planning Policy Guidance)에서 지속가능성을 핵심가치로 토지이용의 방향과 의무사항에 대하여 언급하고 있으며, 환경보전 및 관리계획에 관한 내용도 포함되어 있다.

한편, 지역공간전략(RSS)에서는 10개 항목을 중심으로 공간계획을 수립하고 있으며, 그중 유역, 상하수도, 재해홍수를 포함하는 수자원도 포함되어 있다. 이를 기반으로 보호지역현황이나 홍수지도 등을 제작하였다.

7. 지침

영국에서는 지점 EMP도를 제공하고 있는데(Institute of Hydrology, 1999), 이를 이용하여 가능최대강수량을 산정하도록 하고 있으며, 가능최대홍수량의 산정절차도 자세히 기술하여 실무자들의 편의를 도모하고 있다

호주의 경우는 미국의 가능최대강수량 산정 절차를 개선하여 도입한 후, 호주의 지형과 기후 특성에 맞도록 면적 가능최대강수량 모형을 구축하여 제공하고 있는데, 지속기간이 6시간 이하, 소유역일 경우에는 GSDM(Generalized Short Duration Method)을 사용하고, 호주 남부 지방은 GSAM(Generalized Southesat Australia Method), 열대지방의 경우는 GTSM(Generalized Tropical Storm Method)을 사용하게 되며, 가능최대홍수량의 산정 절차는 「Australian rainfall and runoff(The institution of Engineers, 2001)」을 통해 제안하고 있다

영국은 Flood Studies Report(NERC, 1975)를 발간하여 방대한 양의 홍수빈도해석 기법에 대하여 기술하고 GEV(General Extreme Value) 분포형을 홍수빈도해석시 사용할 것을 추천하였다. GEV 분포는 세 개의 극치 분포를 하나의 형태로 조합한 것이며, NERC(1975)는 세 가지 종류의 GEV 분포에 대해서 연구한 바 있다

세계기상기구(World Meteorological Organization, WMO)에서는 「Operational Hydrology Report No.1 : Manual for estimation of probable maximum precipitation 2nd Ed.(WMO, 1986)」을 통해 HMR No.52의 가능최대강수량 산정절차를 일반적인 산정절차로 적용할 수 있도록 제시한 바 있다.

3절 정책동향분석

1. 수자원 관리동향

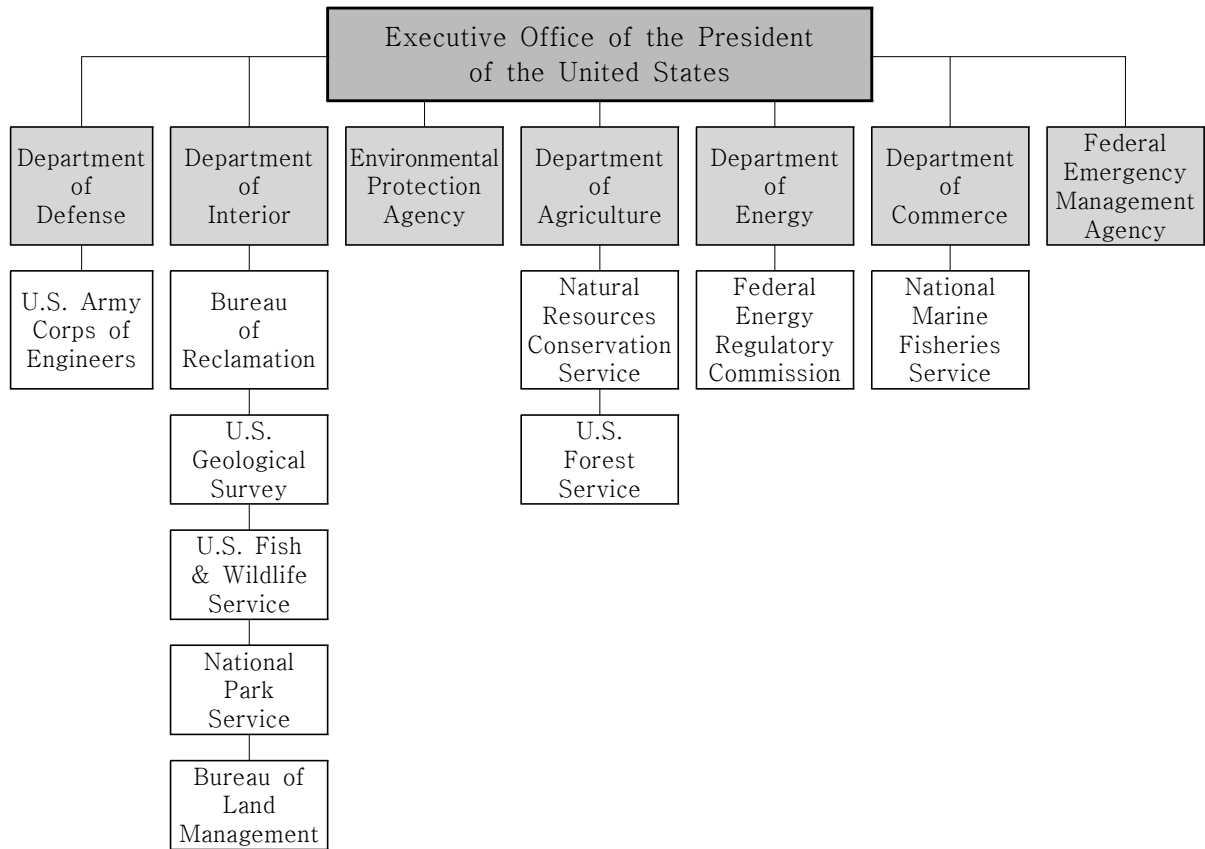
가. 미국

미국은 1933년에 미국 유역관리의 대표기구로 언급할 수 있는 테네시유역관리청(TVA, Tennessee Valley Authority)이 발족되면서 단순목적의 수자원개발이 아닌 유역종합개발이라는 측면에서 수자원을 개발하고 수자원정책을 추진하게 되었다.

현재 미국의 수자원관리는 크게 연방정부, 주정부, 그리고 전문기관인 미공병단, 개척국, 지질조사국, 환경청(EAP) 등으로 임무가 분할되어 있다고 볼 수 있다.

연방정부	최상위계획을 수립 및 물 배분
주정부	정책의 유연한 적용, 가뭄 및 홍수에 대비한 수자원정책수립
전문기관 (환경청, 지질조사국, 개척국, 공병단 등)	기술지원

미국의 수자원개발과 운영, 보호에 관련된 연방정부기관 및 관련조직도는 다음과 같다.



<그림 2-19> 미국내 수자원 관련 조직도

<표 2-4> 미국내 수자원 관련 조직 및 주요 업무기능

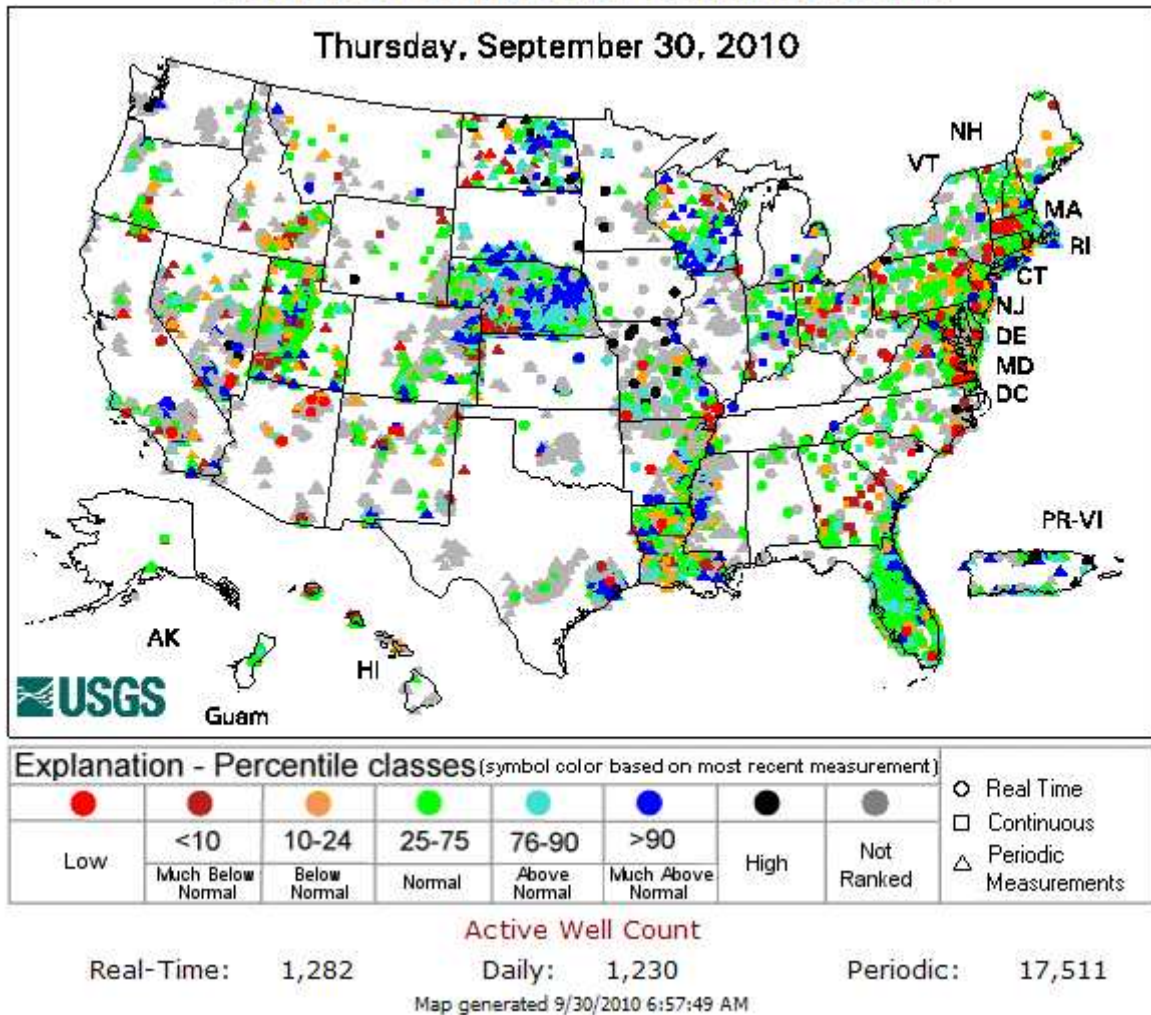
기관명	주요 기능
공병단 (U.S. Army Corps of Engineers)	댐 개발, 하천관리, 홍수피해규모예측, 기술적 지원
개척국 (U.S. Bureau of Reclamation, USBR)	수자원 및 자연자원의 관리 및 개발
지질조사국 (U.S. Geological Survey, USGS)	지표수·지하수 유량 및 수질 모니터링 및 보고, 지형조사 및 지형도 제작, 물이용 자료, 유역조사 및 유역정보제공, 기술개발
환경청 (U.S. Environmental Protection Agency, EPA)	미국 내 수자원 관리를 환경 측면에서 규제, 운영 및 연구
테네시유역관리청 (Tennessee Valley Authority)	홍수피해 예방을 위한 개발 계획수립, 통합적 유역개발업무
기상청 (Nation Weather Service)	강우예측 및 분석
자연자원보호청 (Natural Resources Conservation Service)	기상청과 함께 홍수예경보시스템의 운영
국립공원관리국 (National Park Service)	국립공원보호 및 홍수터내 피해최소화

지하수 관리의 경우, USGS에서 정책수립의 기초가 되는 지하수 조사 및 관리를 거의 전담하고 있으며, 1991년 이후 지하수 및 지표수의 수질조사를 위한 National Water Quality Assessment (NAWQA) 프로그램을 진행 중이다.

미국의 지하수 수질관리는 지표수-지하수를 연계한 수질관리 개념과 인간 뿐 아니라 수생태계에 미치는 영향을 함께 고려한 수질관리, 지하수 수질변화 경향성을 강조하는 예방적 차원의 수질관리, 관측에 의한 자료 축적 및 관리, 농업활동 지역의 지하수 관리에 초점을 두고 있다.

USGS는 지역단위로 분산 DB를 갖추고 있으며, 지하수의 경우 지난 100여년간 850,000개 관정의 수질자료를 축적하고 있다. 이렇게 축적된 자료는 검증을 통해 NWIS (the National Water Information System)를 통해 서비스되고 있으며, USGS의 groundwater watch 웹페이지를 통해서도 기초통계자료 및 수위자료를 제공하고 있다. 지하수 관측망은 기후변화대응을 위한 관측망, 장기모니터링망, 실시간측정망, 지역단위(state, local, regional) 측정망 등으로 구분할 수 있다.

Active Groundwater Level Network



<그림 2-20> 미국의 지하수 관측망 분포도

자료 : <http://groundwaterwatch.usgs.gov/>

2017 미국의 지하수 관련 미래 핵심기술개발방향 중 수자원 총조사(Water Census)에서는 생태계 유지유량 및 변화를 규명, 인간과 생물종의 수요추세자료, 토지이용 DB, 유역/지하수 모델 구축 등을 토대로 수자원관측의 통합운영 및 연계 분석 모델링을 통해 담수자원의 상태와 변화를 파악하고 수요량을 결정하고 물의 가용성과 수질 및 생태계의 건강성 등을 예측하고자 하고 있다. 이와 관련하여 미래의 핵심기술 개발 과제로 3차원 공간 매핑 및 관리, 개발적지, 양수량 확보, 오염평가 및 복원에 활용하기 위한 대수층의 이방성에 대한 명확한 규명, 지하수계로 함양되는 양의 정확한 산정, 지표-지하수 상호관계의 정량적 평가, 지하수-생태간의 상관성 이해, 현실적이고 적용성이 높은 전산 모델링 개발을 꼽고 있다.

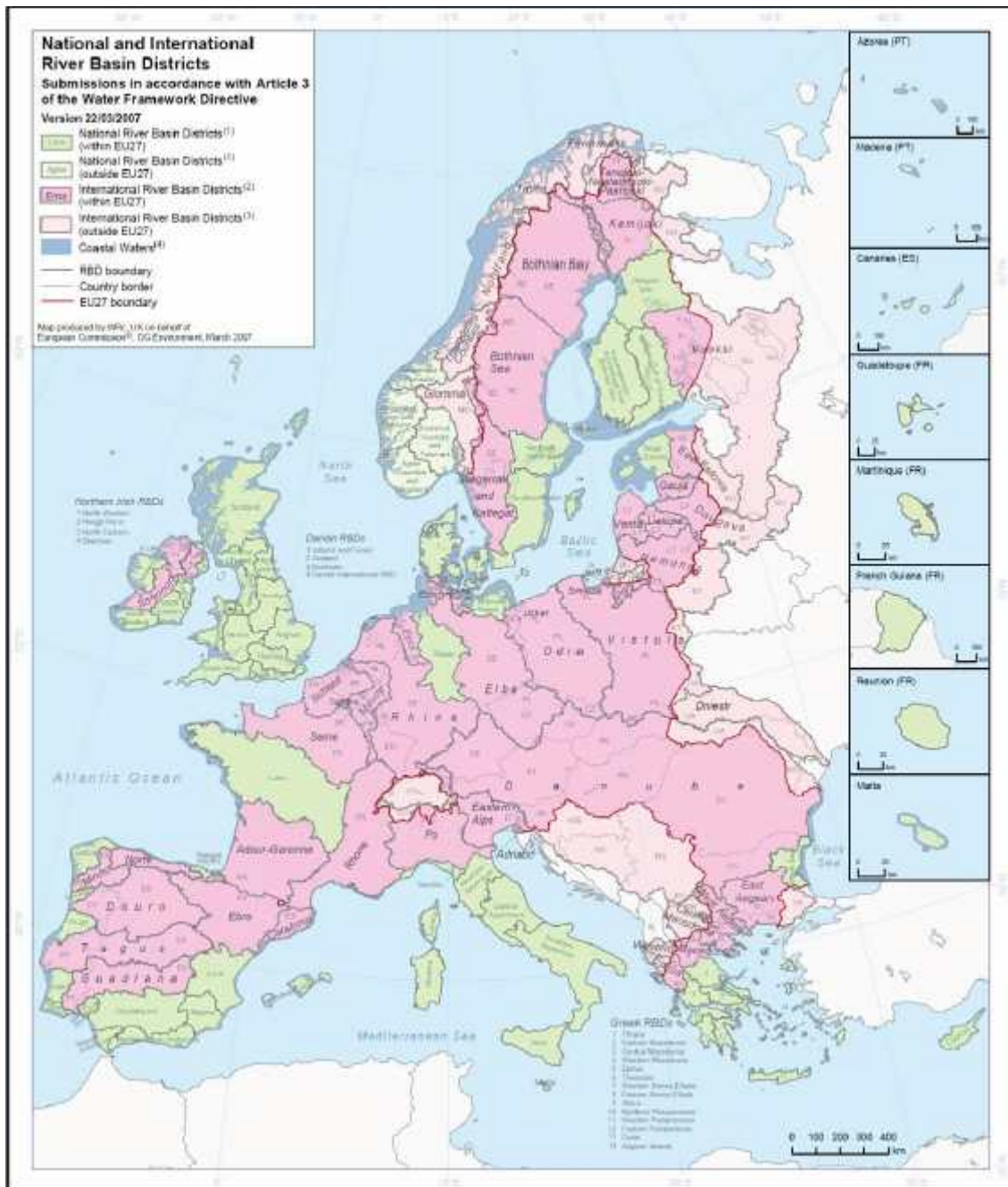
기후변화와 관련하여 미국 및 유럽 등 선진국 등에서 가장 큰 연구과제로 막대한 예산을 투입하고 있으나, 지난 30년간의 연구에도 뚜렷한 대응방안의 마련에는 실패하고 있는 상황이다. 현재 고밀도의 다차원 관측망을 통해 홍수재해를 예측하고 그 피해를 최소화 하려는 실시간 재해예보 시스템을 구축하고 있다.

나. EU

EU는 수자원기본지침(WFD, Water Framework Directive) (Directive 2000/60/EC)을 근간으로 지하수지침(Groundwater Directive), 환경질기준지침(Directive on Environment Quality Standards), 질소지침(Nitrates Directive), 도시하수처리지침(Urban Wastewater Treatment Directive), 사업장인허가에 관한 통합오염관리지침(IPPC Directive)이 하위 지침으로 있으며, 유역관리계획(River basin management plan), 보호구역(protected areas), 모니터링에 관한 규정, 음용수 취수원관리, 물공급 서비스에 대한 비용산정, 공공참여 및 정보제공 등에 대한 내용을 다루고 있다.

수자원기본지침(WFD) Article 17에 기초한 지하수오염방지지침(Directive 2006/118/EC)에서는 오염물질의 유입을 제한하여 수질저하를 방지하며, 양적인 측면에서 함양과 취수의 균형을 유지하며, 인간활동에 의한 지하수 오염을 미연에 방지하기 위하여 지속적이고 주요한 지하수 수질 지표의 저하 경향을 역전시키는 것을 환경적 목표로 하고 있다.

이를 위하여 유역 단위로 지하수 뿐 아니라 지표수, 해안수를 연계한 통합적 관리를 원칙으로 수질기준을 초과하지 않더라도 시간이 경과함에 따라 수질지표가 저하되는 경향이 뚜렷한 지하수까지를 정화관리대상으로 삼아 예방차원적 관리를 시도하고 있다. 이 밖에 물 이용에 있어 경제성 분석을 통해 효율적인 물이용 도모 및 원인행위자 부담금을 산정하고 있다.



<그림 2-21> 유럽연합의 유역분포

자료: EC 2007

지하수 관리의 기본단위인 유역의 분포는 그림과 같으며, 각 나라별로 2004-2005년에 유역특성, 인간활동 영향분석, 수자원 이용측면의 경제성 분석을 조사하여 유형별로 분류하여 유럽위원회(European Commission)에 보고하였다. 2013년까지 필요할 경우 지속적인 조사를 실시하며 2013년 이후 6년마다 갱신할 계획을 가지고 있다.

다. 일본

일본의 수자원 조직체계는 중앙정부의 국토교통성, 환경청, 후생노동성, 통상 산업성, 농림수산성, 내무성 및 수자원 개발공단, 지방건설국 등의 조직체제로 구성된다. 국토교통성에서는 이수, 치수, 생태환경 업무를 주로 담당하며, 환경청은 수질규제를, 후생노동성에서는 상수도 관리를, 통상산업성은 공업용수와 수력발전을, 농림수산성은 농업용수, 수원 및 산림 정비를 각각 주로 담당하고 있다.

국토교통성의 수자원부가 국가 수자원정책의 부처 간 종합조정 기능을 담당하고 있고, 하천국 및 하수도부가 하천 유역의 수량, 수질 통합관리를 추진하고 있다. 또한 지방의 8개 지방정비국과 일본 수자원기구가 수자원관리의 핵심 집행기능을 담당하고 있다.

수자원기구(Japan Water Agency)는 산업의 발전 및 인구의 집중에 수반하여 용수를 필요로 하는 지역에 대하여 물의 안정적인 공급의 확보를 도모하는 것을 목적으로, 2003년 10월 1일에 설립된 독립 행정법인이다. 7개의 수계(토네가와 강, 아라카와 강, 토요카와 강, 기소가와 강, 요도가와 강, 요시노카와 강 및 치쿠고 강)를 관할하며, 각 수계의 수자원 개발 기본계획에 근거하는 수자원의 개발 또는 이용을 위한 시설의 신축 또는 개축을 실시한다.

이 외에 하천정보센터는 하천 및 그 유역에 관한 정보의 수집, 처리·가공, 해석, 보관 및 제공에 관한 조사 연구 및 기술개발을 하며, 정보 관리 및 정보 제공의 기법을 확립하고, 그 성과를 관계 기관 및 국민들에게 제공함으로써 수 재해에 의한 피해의 경감 및 재해 관리 및 하천관리 효율을 증진시키도록 1985년에 설립되었다. 하천정보센터에서는 국토교통성 및 여러 기관들에 의해 수집된 자료를 입수하여 실시간 종합정보 시스템인 하천유역종합정보시스템을 운영하며, 국토교통성 하천국의 물정보국토데이터관리센터와 연계하여 물에 관한 정보를 통합 관리 및 제공하고 있다. 물정보국토데이터관리센터는 물에 관한 정보에 대해 일원적으로 집약 처리하여 제공하고 정보의 품질 및 안정성을 확보하기 위해 2002년 12월 2일에 국토교통성 하천국에서 설치하였으며 하천정보센터 내에 물정보국토사업본부가 속해 있다.

일본은 수자원 문제를 통합 수자원관리(IWRM, Integrated Water Resource Management) 방식으로 관리하고 있다. 전국종합수자원계획인 'Water Plan 21'을 통해 지속가능한 물사용시스템의 구축, 물환경의 보전과 개선, 물관련 문화의 육성 등을 중점적으로 추진하고 있다. 국가와 유역차원의 IWRM 정책과 계획을 제시하여 50% 인구가 거주하는 7개 주요 유역계획을 수립하였다.

한편, 지형이 급사면으로 하천 유로가 짧고 연강수량이 1,600mm 내외로 많은 편이나

연중 편차가 심하고 전 국토의 10% 정도의 하천 범람구역 내에 인구와 재산이 밀집되어 있어 홍수 발생시 막대한 피해를 입기 쉬운 특성을 반영하여 다양한 빗물이용시설을 도입하여 적용하고 있고, 가뭄을 대비하여 통합수문조사시스템을 통하여 수자원 관련변화를 실시간으로 감시하고 비상급수탱크, 이동담수화, 수낭(water bag) 등을 운영하고 있다.

라. 한국

우리나라 수자원 관리체계를 보면, 수질은 환경부, 수량은 국토해양부, 농업용수는 농림수산식품부, 수돗물은 한국수자원공사 및 각 지방자치단체에 의해 관리되고 있다.

환경부는 물환경관리기본계획 수립, 수질관리대책 수립, 수질오염총량관리, 수생태계 복원, 비점오염원 관리, 상수도 기본정책 수립 및 물수요 관리시책 추진, 물산업 육성 및 지원대책 추진, 하수도 및 생활오수처리에 관한 기본정책 수립, 토양·지하수 보전을 위한 종합대책 수립 등에 관한 업무를 담당한다.

국토해양부는 중장기 수자원종합계획 수립, 우리나라 이수, 치수, 환경, 문화 등을 고려한 하천관리, 수해 등 재해 예방, 국가하천 및 지방하천 관리, 물관련 및 기후변화 관련 국제협력 등에 관한 업무를 담당한다.

수자원의 정기 관측과 관련하여 주요 하천 및 호소수 등의 수질측정망과 지하수 수질측정망이 있다. 주요 하천 및 호소수 지점에 대한 정기적 수질 모니터링은 전국 하천 및 호소 등 수질보전대상 공공수역에 대한 수질현황을 종합적으로 조사하여 수질변화 추세를 파악하고 이미 집행된 주요정책 사업의 효과를 분석하여 장래 수질보전정책 수립 및 수질오염총량관리에 필요한 기초자료를 확보하기 위하여 「수질 및 수생태 보전에 관한 법률」 제9조, 제10조 및 같은법 시행규칙 제24조에 따라 「수질측정망운영계획」을 수립하고 시행 중이다.

한편, 국가 지하수관측망에 대한 설치·운영 등에 관한 총괄 관리와 정책 수립은 국토해양부에서 소관하고 있으나 실제 관측시설의 설치 및 운영관리는 한국수자원공사에서 수행하고 있다. 매년 지하수 조사연보를 통해 해안과 접하고 있는 지역의 지하수 이용량 자료도 발간하고 있다.

기후변화와 관련하여 국토해양부는 홍수, 가뭄 걱정 없는 안정적인 수자원관리와 기후변화 적응역량을 강화하기 위한 기후감시, 예측능력향상, 취약성 분석 등을 통해 관련 역량을 강화를 추진하고 있다. 이를 위해 단기적으로는 2012년 까지 한반도 시·공간적 취약성 지도 100% 작성하고 예측·감시기술 수준 선진국 대비 70% 달성을 목표로 하고 있으며, 장기적으로는 2030년까지 과거 10년(1996-2005) 대비 기상재해피

해를 10% 감소하고, 기후변화 적응 관련 생산 GDP 대비 1%를 달성하고자 하고 있다.

수해 예방사업과 관련한 담당기관은 국토해양부와 농림수산식품부, 소방방재청이 있으며, 각기 하천법과 댐건설및주변지역지원등에관한법률, 농어업재해대책법, 농어촌정비법, 재난및안전관리법, 자연재해대책법, 소하천법 등의 법령들을 통해 재해 예방을 위한 정책들을 지원하고 있다.

홍수와 관련하여서는 통합홍수예경보시스템 구성 및 운영방안 강구(1999), 통합홍수예경보 전산프로그램 개발(2000), 홍수통제소간 통합홍수예경보 네트워크 장비 설치(2002) 등 홍수예경보를 위한 사업을 꾸준히 시행하고 있으나, 전 국토에 대한 성공적 실용화 실적은 미진한 실정이다.

고정확도 하천흐름 해석 기술의 국내 기술 수준은 전반적으로 선진국과 대등할 정도의 수준을 확보하고 있으나 외국 수치모형의 일반화, 국내 시장규모의 왜소 등으로 인해 적극적인 기술개발 인프라는 미흡한 수준이다.

더불어 GIS를 기반으로 정보화 사업과 관련하여 국토해양부 및 행정안전부 등에서 단위사업 중심의 정보시스템을 개발하고 있으나 아직까지는 미흡한 실정이고 특히 메타데이터를 통한 정보의 유통체계는 아직까지 미완성 상태이다. 또한 GIS/RS를 기반으로 홍수재해 정보시스템의 개발 연구도 일부 수행되었다. 공간계획과 관련한 공간환경정보 구축 부문에서는 각 환경매체별 공간환경정보를 구축하여 계획을 수립하고자 하는 시도를 하고 있다. 아직까지 비오톱 등 자연생태계 부문에 치중되어 있기는 하나, 수환경분야의 경우 비교적 구체적이고 다양한 정보화가 진행되고 있다.

2. 물산업동향

OECD 2004년 자료에 따르면 물자원 중 지하수 이용량은 국가별 물 이용환경에 따라 다른데, 덴마크(98%)와 아이슬란드(97%)의 지하수 이용률이 높은 반면 벨기에(9%), 캐나다(4%) 등은 낮음을 알 수 있다. 프랑스의 경우 지표수 오염이 심각해짐에 따라 지하수 이용률이 증가하여 전체 수자원 공급의 57%를 지하수가 차지하고 있다.

OECD 국가 평균 지하수 이용률은 22% 정도이며, 우리나라 지하수 이용률은 13%로 상대적으로 낮은 편에 속한다. 지하수의 이용특성과 국가적 상황에 따라 음용수로 지하수를 사용하고 있는 국가들도 있는데, 유럽과 미국이 절반 이상을 차지하고 있다.

<표 2-5> 세계의 수자원 이용현황

	년도	물자원 이용량 (백만m ³)	1인당 이용량 (m ³ /인)	부존자원에 대한 비율 (%)	재생가능자 원에 대한 비율 (%)	지표수 이용 (%)	지하수 이용 (%)
캐나다	1996	42,214	1,420	1.5	1.5	96	4
벨기에	1998	7,442	730	60.0	45.1	91	9
네덜란드	2001	8,889	560	104.8	9.9	89	11
핀란드	1999	2,346	450	2.2	2.1	88	12
일본	2000	86,104	680	20.3	20.3	87	13
한국	1998	26,000	560	35.6	35.6	87	13
스페인	2001	38,544	960	34.7	34.7	87	13
터키	2001	39,780	580	17.5	17	85	15
독일	2001	38,006	460	32.5	20.2	84	16
헝가리	2000	5,591	550	93.2	4.7	84	16
프랑스	2000	30,932	530	17.2	16.2	81	19
아일랜드	1994	1,176	330	2.4	2.3	81	19
영국	2000	12,375	230	22.2	20.8	81	19
노르웨이	1996	2,420	550	0.7	0.7	80	20
호주	1997	24,071	1,300	6.2	6.2	79	21
이탈리아	1998	56,200	980	33.7	32.1	77	23
폴란드	2002	11,728	300	21.4	18.6	77	23
미국	2000	476,800	1,730	19.4	19.2	76	24
스웨덴	2002	2,689	300	1.6	1.5	76	24
체코	2002	1,908	190	12.5	11.9	72	28
오스트리아	1997	3,561	440	6.5	4.2	70	30
스위스	2001	2,539	350	6.3	4.8	66	34
슬로바키아	2002	1,094	200	8.4	1.4	63	37
멕시코	2001	72,564	730	17.3	15.5	62	38
뉴질랜드	1993	2,000	560	0.6	0.6	60	40
그리스	1997	8,695	830	14.5	12.1	58	41
룩셈부르크	1999	60	140	6.7	3.7	48	52
포르투갈	1998	11,090	1,090	28.7	15.1	43	57
아이슬랜드	2002	156	540	0.1	0.1	3	97
덴마크	2001	707	130	4.4	4.4	2	98
북 아메리카		591,600	1,480	10.5	—	76	24
OECD 유럽		287,900	560	14.2	—	79	21
EU		222,700	600	19.4	—	79	21
OECD		1,017,700	920	11.5	—	78	22
World		3,760,000	664	9.0	—	—	—

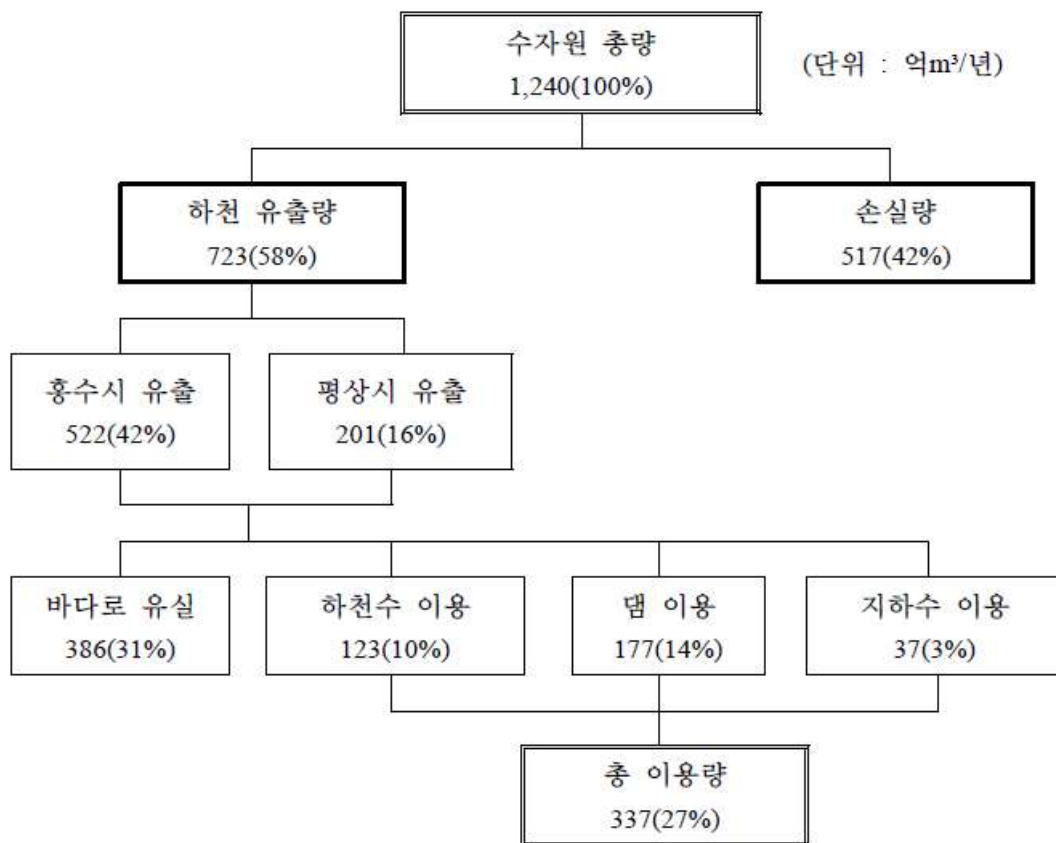
자료: OECD, Environmental Data: Compendium, 2004

<표 2-6> 음용수의 지하수 의존율

지역	아시아	유럽	중남미	미국	호주
의존비율(%)	32	75	29	51	15
이용인구(백만)	1,000~2,000	200~500	150	135	3

자료 : 문현주 (2007) 재인용

수자원장기종합계획에 따르면, 우리나라의 지하수 이용은 연간 약 37억톤으로 수자원 총량의 3%, 총 이용량의 약 11%를 차지한다(그림 2-22). 이용용도별로는 농업용수가 47%로 가장 많고 생활용수가 23%를 차지하고 있다.



<그림 2-22> 우리나라의 물이용 현황(2003년 기준)

주 : 지하수이용은 제주도 지하염수 이용량 1,472백만 m^3 이 제외된 양임

자료 : 건설교통부, 2006. 수자원장기종합계획.

<표 2-7> 수자원 이용분포 (2003년 기준)

(단위 $억m^3/년$)

수자원총량	총이용량	생활용수	공업용수	농업용수	유지용수
1,240	337 (100%)	76 (23%)	26 (8%)	160 (47%)	75 (22%)

지역별 지하수 개발가능량 대비 이용량을 살펴보면 전국평균은 약 34.6%이며, 제주도는 약 31.3% 정도인 것으로 나타났다. 지하수 용도별로는 생활용(18.2억m³/년, 48.6%)과 농업용(17.0억m³/년, 45.2%)이 대부분을 차지한다.

<표 2-8> 지역별 지하수 개발 가능량 대비 이용량

(단위 : 억m³/년)

구분	계	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주	특·광 역시
개발가능량 (A)	108.5	10.8	18.2	7.6	8.6	8.4	13.1	18.0	11.7	6.4	5.7
이용량 (B)	37.5	5.5	2.1	3.9	5.0	3.4	5.0	4.2	3.9	2.0	2.5
비율 (B/A, %)	34.6	50.9	11.5	51.3	58.1	40.5	38.2	23.3	33.3	31.3	43.9

자료 : 건설교통부, 2006. 수자원장기종합계획.

하천수의 이용과 관련하여서는 취수율¹⁾ 측면에서 검토해 보면, 우리나라는 OECD 국가들 중에서 취수율이 2번째로 높은데, 이는 물사용량이 많기 때문이라기보다 높은 인구밀도 때문으로 볼 수 있다. 2001년 물이용량을 기준으로 할 때 우리나라의 취수율은 34.3%이고, 영산강을 포함한 여러 하천들이 40% 이상의 취수율을 나타내고 있다²⁾(최동진, 2010).

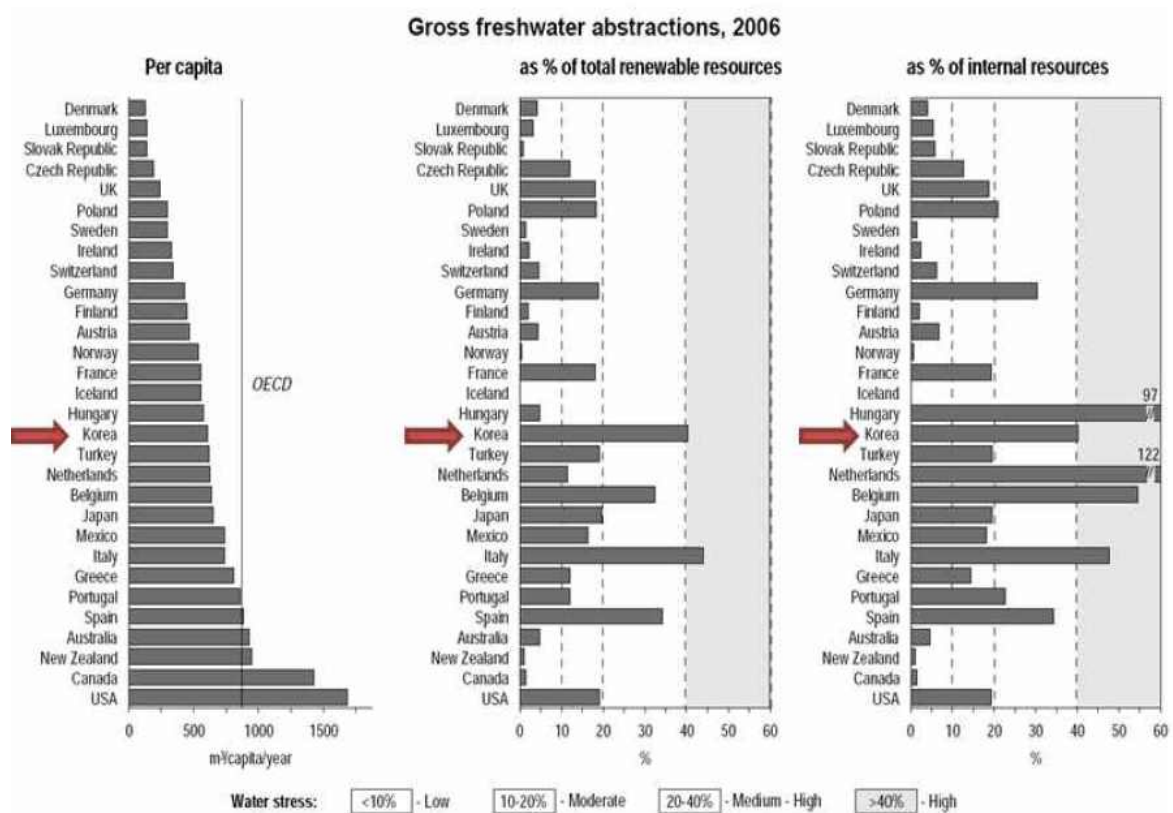
1) 취수량의 적정성을 검토하기 위하여 물관리의 지표로 취수율(Water abstraction Ration), 물개발률(Water Exploitation Indicator), 물이용강도(Water use Intensity) 등이 사용되고 있다.

2) 일반적으로 취수율이 10~20% 수준이면 보통 정도의 사용강도로 일반적인 산업활동에 제약요소가 작용할 수 있다고 본다. 20~40% 수준이면 보통보다 높은 강도로서 수요와 공급의 집중적인 관리가 필요하기 때문에 인간과 수생태계 사이의 적절한 물 배분과 물 사용 효율을 위한 투자가 요구되며, 40%가 넘으면 심각한 물 부족 현상이 나타날 수 있으며 경제발전의 제한요소가 될 수 있기에 비상대책이 필요하다고 지적한다. 지표수 및 지하수 취수율의 증가는 수자원 개발 가능성 감소 및 개발 비용 증가를 의미하므로 취수율이 낮을수록 바람직하다.

<표 2-9> 우리나라 주요 하천의 취수율

하천명	평균유출량('74~'03) (백만m³/년)	용수이용량(2001) (백만m³/년)	취수율 (%)
한강	16,025	4,979	31.1
낙동강	15,680	4,551	29.0
금강	7,008	2,546	36.3
섬진강	4,136	663	16.0
영산강	2,820	1,335	47.3
안성천	4,320	908	21.0
삽교천	1,106	700	63.3
만경강	1,090	836	76.7
동진강	1,239	521	42.1
형산강	857	399	46.6
전국내륙	72,334	24,840	34.3

자료 : 최동진 (2010) 재인용



<그림 2-23> OECD 국가들의 취수율 비교

자료 : 최동진 (2010) 재인용

향후, 지표수 수질의 악화와 개발 한계, 댐건설의 한계 등으로 인하여 앞으로 대체수 자원 또는 보조수자원으로서의 지하수의 역할이 지속적으로 증대할 것으로 전망된다.

한편, 현행 법률은 지방자치단체와 한국수자원공사만을 수도사업자로 인정하고 있으나 최근 수도사업에 대한 민간위탁이 법률로 허용되고 있다. 외국의 경우 다양한 형태의 수도사업자가 존재하며 민간위탁 등의 민간참여가 활발하고 “음용수 공급을 위한 서비스”로 인식하는 것이 일반적이다. 그러나 지하수 개발 및 이용과 관련하여서는 대수층에서 관정을 개발하여 이용하는 방식이 주를 이루며 지표수와 달리 민간위주의 개발방식이 주를 이루고 있다.

3. 제주도 지하수관리 현황

가. 관리조직 연혁

제주특별자치도 상하수도본부는 1991년 수도계로 출발하여 도, 시·군 상수도 시설 및 업무 통합 조직으로 발전하여 오늘에 이르고 있다.



<표 2-10> 제주도 물관리 운영조직 연혁

조직명	운영기간	주요 업무 내용
수도계	1991 ~ 1994.6	- 상·하수도업무 지도 감독 - 수자원개발계획수립 - 지하수(온천)관리 및 지하수원수대금 부과·징수
수자원개발기획단	1994.7 ~ 1996.7	- 먹는샘물 개발사업계획 수립 - 지하수 보전관리대책 수립 - 지하수 굴착·이용허가, 관정관리 및 원수대금 징수 - 상수도 관리(어승생수원지 포함)
수자원개발사업소	1996.8 ~ 2000.9	- 수자원종합개발계획 수립(중산간지역 종합조사) - 지하수영향조사심의위원회 운영 - 지하수 기초조사(관측망, 지질도, 용천수조사 등) - 제주도광역상수도 건설사업(1단계 동부지역)
광역수자원본부	2000.10 ~ 2006.6	- 수자원종합개발계획 수립 및 보완 - 중장기 지하수 보전관리대책 수립 - 중산간지역 종합조사(2002.10 지역정책과 이관) - 지하수 기초조사(수문지질, 지하수인공함양연구) - 제주도광역상수도 건설사업 추진(2단계 동부지역) - 지방상수도 지도감독 및 온천관리 - 농업용 저수지, 하수종말처리시설 설치 및 지도감독
수자원본부	2006.7 ~ 2008.3	- 상수도 통합·운영 (도, 시·군상수도 시설및업무통합) - 공기협회계·지하수관리특별회계 운용 및 경영분석 - 도 전역 상수도 시설 유지관리 및 수돗물 공급 - 지하수자원특별관리구역 지정 및 관리 - 지표수·용천수 등 대체수자원개발사업 - 빗물이용시설 설치 및 지하수인공함양사업 - 수자원종합관리계획수립 및 농업용수종합계획수립 - 수자원GIS시스템 구축
상하수도본부	2008.3 ~	- 도 전역 상수도 시설 유지관리 및 수돗물 공급 - 광역상수도 건설공사 및 연계사업 - 지하수(온천,먹는샘물)개발·이용허가 및 원수대금부과 - 빗물이용시설 설치 및 대체 수자원 개발사업 - 하수처리장 건설, 하수관리 및 마을하수도시설사업 - 하수처리장 및 위생처리장 운영관리

자료 : 제주도 홈페이지 참조

나. 주요 지하수관리 제도

제주도에서는 1991년부터 지하수 개발·이용허가제를 도입하여 시행해 오고 있으며, 2006년 2월 21일 공포된 『제주특별자치도 설치 및 국제자유도시 조성을 위한 특별법』에서 지하수를 공공의 자원으로 규정하였다. 차별화된 제주도 지하수 관리제도 중 지하수 이용자에 대한 원수대금의 부과, 먹는샘물 제조용 지하수의 개발제한, 빗물 이용시설 설치 및 월간 기준수량 설정, 지하수 관정공사의 시공감리, 지하수관리특별회계의 설치, 지하수 인공함양정의 설치 등의 제도가 있다.

<표 2-11> 제주도 주요 지하수관리 제도

관리제도	주요 내용
지하수 개발·이용 허가제	- 지하수 개발 및 이용하고자 하는 경우 도지사 허가 필요 - 먹는샘물 제조, 판매 목적의 지하수 개발·이용 허가 제한 - 지하수 공동이용 의무화 - 오염원과의 거리에 따라 지하수 개발위치 제한 - 기존 관정과 반경 250m 이내지역에서는 신규 지하수 제한 - 공공급수시설에서 급수가능한 지역의 신규지하수개발 제한
지하수 영향조사 및 지하수관리자문위원회 운영	- 제주도 지하수의 적정한 개발 및 이용 도모 - 일정 규모 이상 지하수 개발시 지하수영향조사 실시 - 제주도지하수관리자문위원회 심의
지하수자원 보존지구 지정 및 운영	- 제주특별법 제29조, 제31조의 규정에 의거 - 지하수 오염방지와 지속적인 함양기능 유지 - 지하수자원 보존지구 지정 및 고시 - 토양 및 지질특성, 지하수 오염취약성에 따라 4등급 분류
지하수자원 특별관리 구역 지정·운영	- 제주특별법 제33조 및 시행조례 제45조 규정에 의거 - 지하수 과다개발지역, 지하수위 강하·해수침입·수질오염 우려지역 지정 - 지하수 개발제한, 지하수 개발·이용허가 기간 제한, 지하수 취수량 제한 등 특별관리
지하수 인공 함양정 설치신고	- 집중 호우시 빗물 저류지를 거쳐 인공 주입하는 관정을 설치로 함양량 증대 및 농경지 침수 예방 - 도지사는 지하수 인공 함양정 설치자에게 소요 비용의 일부를 보조할 수 있음
지하수 개발·이용시설공사 감리제 운영	- 부실시공에 따른 지하수 오염예방 - 전국 최초 지하수 개발·이용시설 공사에 대한 감리제 도입 - 감리 대상 : 신규 지하수 개발·이용시설공사, 시설변경공사, 원상복구 공사, 조사·연구용 토지 굴착 공사
지하수 원수대금 부과	- 지하수 낭비 방지 및 관리에 필요한 재원 마련 - '91년 제주도개발특별법 제정 당시 도입 - 업종별 원수대금 부과율 차등적용

4절 SWOT 분석

제주도 내·외부 환경분석에서 분석된 내용을 토대로 아래와 같은 강점과 약점 그리고 기회와 위협 요소를 도출하였다.

<표 2-12> SWOT분석 결과

내부환경 요인	강점(Strength)	- 청정환경의 동북아 지역 요충지 - 풍부한 강우량과 높은 함양량 유지 - 고품질의 화산암 지하수 보유 - 국내 최적의 휴양 관광지 - 법·제도적 선진화된 물관리 정책 유지 - 민·관·산·학·연과의 연구기반 체계 정립 - 삼다수 등 먹는샘물의 브랜드 가치 향상 - 수자원 확보를 위한 수문성분 해석기술은 지속적이고 장기적으로 추진되어야 하는 공공기반기술임 - 양질의 수자원 및 수생태 복원에 대한 국민의 관심이 지대한 상황이며 연구를 통한 사회기여가 클 것으로 기대됨 - 프론티어21 연구를 통해 기술력 축적됨
	약점(Weakness)	- 지표수, 지하수연계 기초/응용연구기반 체계 미흡 - 지하수 잠재오염원 증가 - 지하수 함양지역 면적의 감소 - 지표수, 지하수관련 산업 육성 법적 규제 걸림돌 - 대체수자원 개발을 위한 연구기반 미흡 - 공공성·공익성이 강해 전자, 통신 등 첨단분야에 비해 간과될 가능성이 있음 - 기반기술 개발을 위한 정부차원의 인프라 취약 - 시험유역 및 유출성분 관측 자료 및 부족 - 법적 제도화가 상응하지 못할 경우, 개발된 기술이 현장에 적용되지 못하고 사장될 우려가 있음
외부환경 요인	기회(Opportunity)	- 지표수·지하수 연구관리기반 체계 정립 - 전세계적 물산업 시장 급성장 - 국가 차원의 물산업 육성 추진

		- 국제 자유도시로서의 투자환경 조성 - 세계 속 청정 제주 인지도 향상 - 프리미엄 워터에 대한 시장 규모 확산 - IT기술 활용을 통한 함양량 예측 기반토대 가능 - 건전한 물환경에 대한 관심과 수질오염에 따른 불안감 해소 가능 - 통합수문해석기술의 세계적 우위 확보 가능 - 생태분야와 연계하여 수생태 복원을 위한 원천기술 제공 가능
	위협(Threat)	- 과도한 도시개발에 따른 지하수 고갈 우려 - 기후변화에 따른 환경재해 증가 - 가뭄·홍수 등 기상 불확실성 증가 - 물사유화에 대한 반대 기류 존재 - 농산물 경쟁력 강화를 위한 관개농업 확대 - 연구인프라의 장기적인 자료의 축적이 필요하나, 이를 위한 시험유역이 부족함 - 전자, 기계 등과 비교시 상대적으로 시장화가 어려워 연구효과가 점진적으로 나타남 - 해외 기술의 유입으로 기술 종속이 될 수 있음 - 10여년 전부터 꾸준한 기술 개발 투자를 해온 해외 기술에 국내 독자적 개발 기술이 사장되지 않도록 제도적 장치 마련이 시급함

5절 시사점 종합

선진사례, 기술동향 및 정책동향 분석을 통하여 도출된 시사점들을 제주도 수자원관련 법/제도, 조직, 프로세스 및 정보화(IT)와의 연관성을 분석한다.

<표 2-13> 시사점 종합 내용

구분	관련 정도			
	법/제도	조직	프로세스	정보화(IT)
육지부와 상이한 하천특성으로 하천유출특성을 해석하고 관측하는 부분에 관한 연구진행 필요	●	○	●	●
기존 제주 수자원 기관과의 교류협력체계 필요	○	●	●	●
하천유출 관측자료의 정밀화 기술개발 필요	○	●	●	●
제주도의 연구기관인 환경자원연구원과의 기술교류를 통하여 최적화된 제주형 하천유출특성 해석 필요	○	●	●	●
제주형 용수 관리 시스템 개발의 용수이용량 산정의 신뢰도를 높이기 위한 모니터링 기술 개발 필요	○	●	●	●
제주 지하수 자원의 현재 및 미래의 경제적 가치 평가 및 이와 연계한 용수관리 시스템 구축이 필요	○	●	●	●
지표수·지하수 연계를 통한 예측 모델 기술 및 실시간 모니터링 관리가 가능한 접근체계 필요	○	●	●	●

제 3 장 현황 분석

1절 선행연구과제 분석

1. 국내외 연구과제 분석

가. 국내 사업단/연구단 연구과제

국내에서 추진 중인 사업단/연구단 규모의 연구과제 중에서 수자원관리 관련 연구단은 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단, 차세대홍수방어기술 개발 연구단 등으로 조사되었으며 사업단/연구단 별 주요연구내용은 다음과 같다.

(1) 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단

수자원의 지속적 확보기술개발 사업단은 2011년까지 30억 m^3 이상의 수자원을 확보하고 국내 수자원 확보기술을 선진국 대비 80% 수준 이상으로 발전시키는 것을 목표로 시작되었으며 사업개요 및 사업내용은 다음과 같다.

<표 3-1> 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단 사업개요

사업기간	2001. 8. 20.~2011. 3. 31 (9년 7개월)
총사업비	1,475억원 (정부:1,075억원, 민간: 400억원)
사업단장	김 승(한국건설기술연구원)
사업단 소재지	경기도 고양시 일산서구 대화동 2311 한국건설기술연구원 내

자료: 21세기 프론티어 연구개발 사업, 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단



자료: 21세기 프론티어 연구개발 사업, 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단

<그림 3-1> 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단 사업내용

수자원의 지속적 확보기술개발 사업단의 최종목표는 “국가 물부족을 극복하기 위하여 통합수자원관리기술을 연구·개발·적용”으로 하고 있으며 통합수자원관리기술의 연구·개발과 적용으로 국가 물부족 극복 및 기술력 제고를 목표로 하고 있다. 또한 단계별 목표는 다음과 같다.

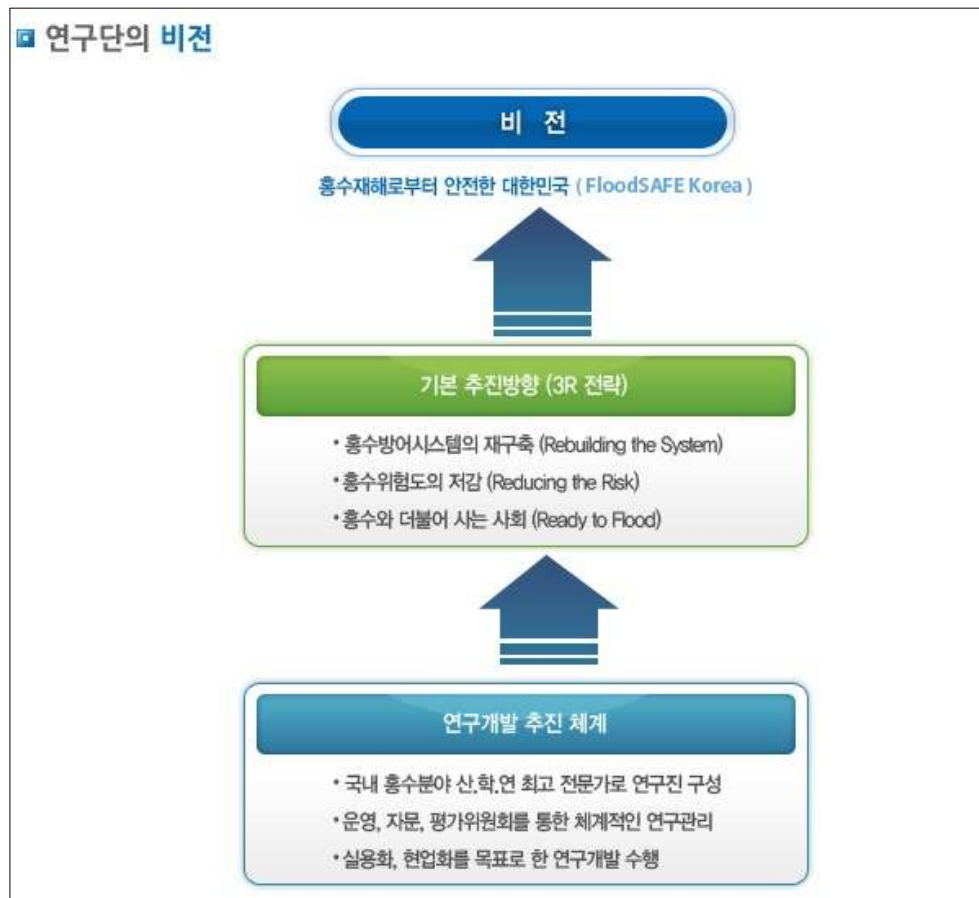
<표 3-2> 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단 단계별 목표

구 분	단 계 별 목 표
1단계(3년) (2001년~2004년)	수자원 확보를 위한 요소·기반기술 개발 - 총 6억m³(연간)의 수자원 확보 기술개발 - 기술 수준을 선진국 대비 60%로 제고
2단계(3년) (2004년~2007년)	수자원의 안정적 확보기반 구축을 위한 요소·기반 기술의 실용화 및 시스템화 - 총 9억m³(연간)의 수자원 확보 기술개발 (누적 총 15억m³(연간)의 수자원 확보 기술개발) - 기술 수준을 선진국 대비 70%로 제고
3단계(4년) (2007년~2011년)	수자원 확보의 적용성 증진을 위한 시스템 통합 및 상용화 - 총 15억m³(연간)의 수자원 확보 기술개발 (누적 총 30억m³(연간)의 수자원 확보 기술개발) - 기술 수준을 선진국 대비 80%로 제고

자료: 21세기 프론티어 연구개발 사업, 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단

(2) 차세대홍수방어기술개발 연구단

국가적 차원의 선진형 홍수방어 기술에 관한 연구를 통하여 차세대 홍수예보기술, 치수능력 증대기술, 미래 통합 유역홍수 대응기술, 국가홍수관리시스템 구축 등 제반 분야의 연구목적 달성을 위해 출범하였으며 연구단의 비전 및 연구로드맵은 다음과 같다.



자료: 차세대홍수방어기술개발 연구단

<그림 3-2> 차세대홍수방어기술개발 연구단 비전



자료: 차세대홍수방어기술개발 연구단

<그림 3-3> 차세대홍수방어기술개발 연구단 기술로드맵

차세대홍수방어기술개발 연구단은 국가적 홍수방어 및 관리시스템을 구축하여 인명 피해를 5%로 경감하고, 재산 피해를 30% 절감하여, 기술수준을 선진국 대비 80% 이상 향상함으로써 국토 보존 및 이용효율을 극대화하여 정부차원의 수해방지에 기여하고, 홍수 재해로부터 안전한 국토 건설 및 국민의 삶의 질을 향상하는데 그 목표가 있으며 단계별 연구내용 및 범위는 다음과 같다.

- IT/ST를 활용한 차세대 홍수예보기술
- 치수능력 증대기술
 - 국가 치수계획 평가 및 표준화 기술 개발
 - 홍수대응 구조물의 친환경 설계 기술 개발
 - 치수 관련 법, 제도 개선 방안
 - 하천시설물의 표준화 기술
- 미래통합 유역홍수 대응기술
 - 유역 홍수 대응 최적 기술 개발
 - 수공구조물 붕괴에 의한 극한홍수 관리기술 개발
 - 미래 환경 변화에 따른 홍수대응 기술 개발
 - 비구조적 홍수대책 대응능력 제고 및 평가기술 개발
 - 극한홍수에 대비한 비상대처관리시스템 개발 및 운영기술 개발
- 국가 홍수 관리 시스템 구축 기술

그 외에 국내에서 추진 중인 사업단/연구단 연구과제 중 수자원 관리 분야와 연관이 있는 주요 연구과제 및 연구내용은 다음과 같다.

<표 3-3> 국내 사업단/연구단 규모의 R&D 연구과제 주요내용

수행기관	과제명	주요연구내용
차세대핵심환경 기술개발사업 (환경부)	기후변화에 의한 물순환의 예측 및 영향평가 (2003~2006)	한반도 고해상 지역기후와 물순환 예측 시스템 개발/한반도 고해상도 지역기후에 근거한 물순환 예측 시스템의 신뢰도 구축/기후변화의 지역기후와 물순환에 미치는 영향 평가
도시홍수재해관리 기술연구단 (국토해양부)	도시홍수 예경보 및 침수예측 기술 (2003~2008)	기후변화 및 도시화의 영향을 고려한 강우특성의 변화를 추정하고 도시 강우특성 조사 및 지상강우관측 수집체계를 구축하는 등 국내외 도시홍수 예경보 기법 조사 및 평가 이외에 확률강우량 산정모형의 개발, 도시홍수를 대비한 시나리오적 수문모형의 개발 및 검증, 도시하천제방붕괴경사에 따른 제내지 유입량 산정 실험 등의 연구를 수행함

나. 국내 기타 부처별 연구과제

국내에서 추진 중인 사업단/연구단 규모의 연구과제 외에 2000년 이후 각 부처별로 추진한 연구과제를 NTIS 자료를 활용하여 정리하였으며, 각 과제별 주요연구내용은 다음과 같다.

<표 3-4> 국내 부처별 연구과제 주요연구내용

수행기관	과제명	주요연구내용
교육과학기술부 (목포대학교)	기후변화에 따른 영산강하구역에서의 방재기술 및 수자원관리기술 개발 (2007. 9~2010. 8)	방조제/배수갑문의 치수, 이수, 환경기능성 평가 및 개선(연계운영) 방안 도출하고 미래지 향적 해일/홍수 방재대책 강구. 하천환경/해안환경의 인위적 변화/기후변화를 감안한 종합적 이수/치수 방안 도출하고 조간 대, 천해조, 낙조우세 등 지역적 특성을 감안한 해석(해일/범람, 오염 등)
환경부 (울산대학교)	물순환도시 울산종합계획 수립연구 (2007. 7~2008. 4)	울산시 물수지 계산, 물순환 구조 등의 현황을 분석하고 자연계와 인공계의 물순환 체계를 분 석하여 도시화에 따른 물순환계의 개선방안 제 시
과학기술부 (건국대학교)	기후변화가 농업수자원에 미치는 영향 연구 (2006. 3~2008. 2)	기후변화에 대비하는 농업용 저수지 운영방안 제시 및 농업용 저수지 운영모형 구축 및 농지 이용 시나리오별 작물별 수요량 예측 수요량 및 공급량 변화 지나리에 따른 저수지 운영모 형의 모의운영
환경부 (배재대학교)	대전광역시 물 수요관리 종합계획 수립 (2003. 4~2004. 2)	체계적이며 안정적인 용수공급 방안을 수립하 기 위한 물수요 관리 목표를 설정하고, 새로운 수자원의 확보 계획을 제시하고 수자원 확보 연관 정책제시
산림청 (임업연구원)	산림유역의 물순환 조사 (1989. 1~2010. 12)	전국 8개소의 산림유역의 물 자원연구시설을 설치하여 각 지역별로 강우량 및 유출량 등을 조사하여 전반적인 물순환 조사
농림부 (건국대학교)	RS, GIS를 이용한 광역적 농촌 수자원 평가 및 예측기법 개발 (2000. 7~2003. 7)	RS, GIS를 이용한 수자원 관련정보 생성 및 예측기법 개발 및 농촌지역의 수자원관련 시설 조사 및 자료 수집기법 개발

2. 제주도내 연구과제 분석

가. 제주도내 국가 R&D 연구과제

제주도 내에서 추진되었던 2000년 이후 R&D 연구과제 중에서 수자원 및 수문관련
조사 연구를 NTIS(국가 R&D 표준정보관리서비스) 자료를 활용하여 정리하였으며 각

과제별 주요 연구 내용은 다음과 같다.

<표 3-5> 제주도 R&D 연구과제 주요내용

수행기관	연구기간	과제명	주요연구내용
환경부 (지역환경기술개발센터연합회)	2007. 6 ~ 2008. 2	제주도 오름의 강우유출 특성에 관한 연구	한라산국립공원 어리목에 위치한 어승생 오름 남사면에 1차수 실험유역을 설정하 고 강우 및 유출 관측자료를 토대로 유출 해석과 물수지 분석을 실시함.
과학기술부 (한국지질자원연구원)	2006. 1 ~ 2006.12	제주도 지하수 부존 특성에 대한 지구과학적 해석	수역권 별 지하수 개발적정량 산정 및 주요 대수층의 원위치 지층평가를 하고 한라산 고지대와 해안지역 지하수체 간의 수리적 연결 특성 개념모형 제시.
환경부 (제주산업정보대 학)	2007. 6 ~ 2008. 2	고농도 염분을 함유한 제주지역 하수처리장 방류수의 활용기술 개발	제주도내 하수처리장 유입수 및 방류수 수질을 조사하여 방류수 재처리기술 개발 을 위한 Lab test를 실시하고 재처리수의 농업용수 활용을 위한 적정시스템 개발.
환경부 (한국농촌공사)	2007. 6 ~ 2008. 2	제주지역에 적합한 지하수오염 위해성평가 모델 연구 개발	국내외에서 적용되는 모델을 비교·분석 하여 제주도에 적용할 수 있는 후보모델 선정-제주도의 수질오염에 관한 기존 연 구결과를 분석하고, 시범지구를 조사하여 지하수 수질오염 인자를 규명하고 모델의 적정성을 평가
교육과학기술부 (제주특별자치도 수자원본부)	2007. 4 ~ 2010. 3	한라산 고지대 하천유출수 인공함양 및 실용화 기초연구	제주 중산간 지역에 지하수 인공함양정 을 설치·운영하여 제주지역에 적합한 지하 수 인공함양 기술 개발.

제주도의 경우 지금까지는 매우 제한된 R&D 사업이 추진되었으며, 21세기 프론티어 사업의 일환으로 제주형 지하수 인공함양기술 개발 사업을 제외하고 1년 이내의 R&D 사업이 진행되었다. 그러나 그마저도 지하수에 관한 사업 위주로만 진행되어졌으며 하천유출을 포함한 제주도 수자원의 전체적인 해석에 관한 R&D 사업은 전무하다.

나. 제주도내 수자원 관련 연구

제주도내에서 추진되었던 소규모 조사 및 학술연구 중에서 수자원관리 및 지하수, 수문관련 연구를 한국교육학술정보원 및 국회도서관 자료를 활용하여 정리하였으며 각 연구내용은 다음과 같다.

<표 3-6> 제주도수자원 관련 연구

발행기관	연구명 및 발행년도	주요연구내용
제주도	제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사(3), 한국수자원공사 (2003)	토지이용이 지하수 물수지에 미치는 영향을 분석함으로써 향후 지하수 함양량의 변화를 예측하고 적정개발량을 산정함 제주도의 수문지질 분포·대수층의 수리성 및 지하수 수질 등에 대한 분석을 하여 지하수 관리 유역을 설정함 제주도 내에 개발된 지하수 시설에 대한 전수조사를 실시하고 지하수 관리에 있어 가장 기초적인 자료가 되는 지하수개발·이용 실태 파악 지하수관리계획안을 포함하는 중·장기적인 지하수 종합관리 방안을 수립
지질학회지 제39권 제4호	토양수채수기를 이용한 토양수의 이동 관찰: 제주도 지하수 함양에의 예비적 연구 (2003)	제주대학교 시험부지에 17개의 토양채수기를 설치하여 지하로 강수가 도달되는 통과 시간 및 소요기간 연구
제주도 보건환경연구원보 제14권	제주도 지하수 수질특성 (2003)	제주도내의 주요 상수원수로 사용되고 있는 지하수 과정 중 지역성으로 대표성이 있고, 오염 우려가 있는 지하수관정 100개소에 대해 년 4회 수질특성을 측정하여 수질 특성을 나타냄.
제주도 수자원본부	제주도 동부지역의 수문지질과 지하수 부존특성 (2003)	제주광역수자원관리본부에서 설치한 12개 공의 월1회 측정자료를 이용하여 담·염수 경계면의 분포 및 변화와 수문지질, 지하수 부존특성에 2001년~2003년까지 관측자료를 이용하여 나타냄.
제주도 수자원본부	용천수 유출 패턴 분류를 통한 제주도 지하수 순환시스템 분석 (2004)	2002년 7월부터 2003년 6월까지 월1회 용천수 122개소에 대한 조사자료 및 2004년 4회 측정자료를 이용하여 제주 용천수에 대하여 유량·전기전도도의 특성으로 분류하고 그에 따라 지하수의 순환시스템을 분석하였으나 직접적인 증거를 통해 입증할 수 있는 단계는 아님.
제주도 수자원본부	제주도 지하수의 수위변동 요인과 수위변화 특성 (2004)	제주도내 설치된 지하수 관측망으로부터 얻어지는 자료를 이용하여 제주도내 지하수 위 분포를 나타내고 지하수의 부존형태와 지하수위에 대하여 나타내었으며, 강우에

발행기관	연구명 및 발행년도	주요연구내용
		의한 지하수의 수위변화 분포에 대하여 나타냄.
한국지하수토양환경학회 추계발표회	제주도 하천의 수위-유량 변동특성연구 (2004)	2004년도에 제주도내 상시유출되는 6개 하천에 대한 수위변화곡선을 나타내었으며, 5개 하천(옹포천, 외도천, 한천, 중문천, 강정천)의 홍수시 수위-유량곡선을 2004년도 유출자료를 이용하여 작성함.
한국환경과학회지 vol.7 No.6	제주도 주요하천의 기저유출량 산정에 관한 연구 (2005)	제주도의 주요 4개 하천(외도천, 강정천, 연외천, 옹포천)을 대상으로 수위관측 및 기저유출 성분에 대한 유속측정 자료를 기초로 기저유출특성과 기저유출량 산정
대한지리학회 제41권 제4호	한라산 아고산 초지대 소유역의 물수지 (2006)	제주도 한라산 아고산대에 위치하는 면적 1.31ha의 유역의 수문자료 및 기상자료를 이용하여 물수지를 분석함.
제주도 수자원본부	외도천 유역의 시기별 유출량 및 수질변화 (2007)	제주 외도천의 2003년 12월부터 2006년 8월까지 월별유출량은 취수량을 고려하면 $2,569 \sim 50,415 m^3/day$ 의 분포를 보이고 있고, 유출량과 수질의 관계를 살펴보면 유출량이 적은 시기에 용존이온의 농도가 높게 나타남.
한국지반환경공학회	제주도의 빗물이용과 활성화를 위한 관리제도 (2006)	빗물이용시설 또는 지하수함양시설을 설치해 빗물을 인위적으로 지하로 침투시키거나 빗물을 시설물 관리에 활용함으로써 얻을 수 있는 효과제시.
한국환경과학회지 제17권(제9호)	제주도 하천에 대한 SWAT 모형의 적용 (2008)	SWAT 모형을 제주도 하천(외도천, 천미천)에 적용하여 장기 일 유출량을 모의하였으며, 비교적 우수한 적용성을 보임.
제주특별자치도 환경자원연구원	지하수자원특별관리구역 관리실태 평가 및 개선방안 연구 (2008)	2003년 6월 지정된 지하수자원특별관리구역에 대해 지하수 개발, 이용현황, 지하수 위·수질 변화추세를 비롯하여 지하수관리구역에 대한 재분석 수행
한국환경과학회지 제18권(제9호)	SWAT 모형에 의한 제주도 외도유역의 토지이용변화에 따른 유출량 산정 (2009)	제주도 외도천유역을 대상으로 토지이용변화(1975년, 2000년)에 따른 하천유출량의 변화를 비교해본 결과 지표유출율이 8%정도 증가함.
한국환경과학회지 제18권(제9호)	SWAT 모형을 이용한 제주도 하천의 유출량 모의 (2009)	제주도 주요하천(천미천, 외도천, 옹포천, 연외천)에 SWAT 모형을 적용하여 장기 일 유출량을 모의하였으며 전반적으로 정밀도가 높은 결과를 추출.
제주특별자치도 환경자원연구원	제주형 지하수 인공함양 기술개발 -과거 유출사상별 저류지 유입가능량 산정결과를 중심으로- (2009)	과거 유출사상별로 한천저류지내로 하천유출수의 유입가능량을 산정하고, 인공함양을 시킬 수 있는 양을 개략적으로 파악 및 인공함양정 문제점 보완 방안 제시

2절 과제 유사성 및 타당성 검토

1. 과제의 유사성 검토

가. 국내 사업단/연구단 연구과제

국내에서 추진 중이거나 추진되었던 사업단/연구단 규모의 연구과제와 본 과제와의 유사성에 대하여 검토하고 정리하였으며, 그 결과는 <표 3-7>과 같다.

<표 3-7> 국내 연구과제의 유사성 검토

사업단/연구단	내용 및 성과	유사성 검토
수자원의 지속적 확보기술개발 사업단 (2001~2011)	·국가 물부족을 극복하기 위하여 통합수자원관리기술, 지표수 확보기술, 지하수 확보기술, 대체수자원 확보기술을 개발하여 국가 물부족 극복 및 기술력 제고를 목표로 함	·수자원 확보를 위한 원천기술을 개발하는 과제이나 내륙과 상이한 제주도의 수문 특성을 고려한 종합적인 수자원 관리 기술은 개발된 바 없고, 다만 제주형 지하수 수자원 확보전략의 일환으로 인공함양지의 건설 등 실용화가 진행된 바 있음
차세대 홍수방어기술개발 연구단 (2008~2013)	·유역 홍수 대응 최적기술개발을 목적으로 홍수정보 영상화 및 전달기술개발, 위성활용 실시간 홍수 상황 통제시스템 개발, 미래환경변화에 따른 홍수대응기술개발 등을 수행할 계획임	·현재까지 시행된 연구에서 제주권역에 대한 연구는 진행되지 않으며, 향후 제주권에 관한 연구예정은 없음
도시홍수재해관리기술연구단 (2003~2008)	·기후변화 및 도시화의 영향을 고려한 강우특성의 변화를 추정하고, 도시 강우특성 조사 및 지상강우 관측 수집체계를 구축하는 등 국내외 도시홍수 예경보 기법조사 및 평가 ·확률강우량 산정모형의 개발, 도시홍수를 대비한 시나리오적 수문모형의 개발 및 검증, 도시하천 제방 붕괴경사에 따른 제내지 유입량 산정 실험 등의 연구를 수행	·도시홍수관련 많은 연구를 수행하였으나, 제주도의 상이한 수문지질특성이 반영되지 않아 그대로 적용하기에는 많은 문제점이 예상됨
차세대핵심환경기술 개발사업 (2003~2006)	·한반도 고해상 지역기후와 물순환 예측 시스템 개발/한반도 고해상도 지역기후에 근거한 물순환 예측 시스템의 신뢰도 구축/기후변화의 지역기후와 물순환에 미치는 영향 평가	·제주도의 홍수특성이 내륙과는 매우 상이하여 선행강우량 및 현재 강우강도에 따라 유출발생량이 결정되므로 이와 같은 수문학적 기본인자에 대한 규명이 필수적으로 선행되어야 함. 인위적 개발로 인한 재해 역시 기본적인 수문학적 요소를 규명하는 연구가 선행된 후에야 그 영향을 정량적으로 평가할 수 있음.

<표 3-8> 국내 부처별 연구과제와 유사성 검토

과제명 및 수행기관	내용 및 성과	유사성 검토
기후변화에 따른 영산강하구역에서의 방재기술 및 수자원관리기술 개발 (2007. 9~2010. 8) (목포대학교)	·방조제/배수갑문의 치수, 이수, 환 경기능성 평가 및 개선(연계운영) 방안 도출하고 미래지향적 해일/홍 수 방재대책 강구. 하천환경/해안환경의 인위적 변화/ 기후변화를 감안한 종합적 이수/지 수 방안 도출하고 조간대, 천해조, 낙조우세 등 지역적 특성을 감안한 해석(해일/범람, 오염 등)	·미래지향적 해일/홍수 방재대책은 제주도에 반드시 필요한 연구과제 이나 이는 하천유출의 특성 및 정 확한 해석기술 연구가 선행이 되어 야 그 영향을 정량적으로 평가하고 대처 할 수 있는 기술이 개발될 수 있음.
기후변화가 농업수자원에 미치는 영향 연구 (2006. 3~2008. 2) (건국대학교)	·기후변화에 대비하는 농업용 저수 지 운영방안 제시 및 농업용 저수 지 운영모형에 구축 및 농지이용 시나리오별 작물별 수요량 예측6 저수지 운영모형의 모의운영	·기후변화에 대비하는 농업용 저수 지 운영방안 등에 관한 내용은 기 초적으로 현재 이용되어지고 있는 용수이용량의 적절한 산정을 기반 으로 하여 추진될 수 있는 연구임.
대전광역시 물 수요관리 종합계획 수립 (2003. 4~2004. 2) (배재대학교)	·체계적이며 안정적인 용수공급 방 안을 수립하기 위한 물수요 관리 목표를 설정하고, 새로운 수자원의 확보 계획을 제시하고 수자원 확보 연관 정책제시	·본 과제를 통하여 제주도의 정확한 물순환 해석 및 수자원 관리 기반 이 구축된다면 그에 따른 제주특별 자치도만의 수자원 확보 연관 정책 을 제시 할 수 있을 것이라고 사료 됨.
RS, GIS를 이용한 광역적 농촌 수자원 평가 및 예측기법 개발 (2000. 7~2003. 7) (건국대학교)	·RS, GIS를 이용한 수자원 관련정보 생성 및 예측기법 개발 및 농촌지 역의 수자원관련 시설 조사 및 자 료 수집기법 개발	·현재 제주도는 GIS를 이용한 수문 해석기술조차 적용되어지고 있지 않으며 본 과제를 통하여 GIS 기반 지표수-지하수 통합해석 기술모형 을 개발하여 정확한 수자원 관리기 반을 구축 할 수 있음.

나. 제주도내 연구과제

제주도내에서 추진되었던 2000년 이후의 수자원 및 수문관련 주요 연구과제의 내용 및 결과와 본 과제와의 유사성에 대하여 검토하고 정리하였으며, 그 결과는 <표 3-9>와 같다.

<표 3-9> 제주도내 주요 연구과제와 유사성 검토

과제명 및 수행기관	내용 및 성과	유사성 검토
제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사(3), 한국수자원공사 (2003)	·토지이용이 지하수 물수지에 미치는 영향을 분석함으로써 향후 지하수 함양량의 변화를 예측하고 적정개발량을 산정함 ·제주도의 수문지질 분포·대수층의 수리성 및 지하수 수질등에 대한 분석을 하여 지하수 관리 유역을 설정함 ·제주도 내에 개발된 지하수 시설에 대한 전수조사를 실시하고 지하수 관리에 있어 가장 기초적인 자료가 되는 지하수개발·이용실태 파악 ·지하수관리계획안을 포함하는 중·장기적인 지하수 종합관리 방안을 수립	·전체적으로 지하수를 중심으로 연구가 진행되었으며, 하천유출은 2001~2002년의 자료만을 이용하여 유출특성을 분석하였으나, 본 과제에서는 장기간의 하천유출자료를 이용하여 유출특성을 분석하고 지하수만의 해석이 아닌 지표수와 지하수의 통합적인 해석기술을 개발함으로써 보다 업그레이드된 연구를 진행함. ·2007년 태풍 “나리” 이후 제주도 하천의 하상변화가 많이 발생하였으며, 그 이후에는 제주도 전체적으로 연구가 진행되지 않았음.
제주도 동부지역의 수문지질과 지하수 부존특성 (2003)	·제주광역수자원본부에서 설치한 12개 공의 월1회 측정자료를 이용하여 2001년~2003년까지 관측자료를 이용하여 지하수 부존특성에 대하여 나타냄.	·지표수-지하수 통합해석의 중요한 자료로 활용될 것이며, 본 과제에서는 단기간이 아닌 제주의 수문지질특성을 반영한 장기간의 지하수의 부존특성 및 개발량 등을 산정하는 모델을 개발함.
제주도 하천의 수위-유량 변동특성연구 (2004)	·5개하천(용포천, 외도천, 한천, 중문천, 강정천)의 홍수시 수위-유량곡선을 1년의 단기자료를 이용하여 작성함.	·본 과제에서는 장기간의 유출자료를 이용하여 수위-유량곡선식을 작성하고 유출 특성을 분석함.
제주도 주요하천의 기저유출량 산정에 관한 연구 (2005)	·제주도의 주요 4개 하천(외도천, 강정천, 연외천, 용포천)을 대상으로 수위관측 및 기저유출 성분에 대한 유속측정 자료를 기초로 기저유출특성과 기저유출량 산정	·본 과제에서는 제주도 주요상시하천에 대하여 과업기간동안 기저유출성분을 포함한 강우시의 유출성분까지의 전체적인 하천유출특성을 산정할 것임.
제주도 지하수 부존 특성에 대한 지구과학적 해석 (2006. 1~2006. 12)	·수역권 별 지하수 개발적정량 산정 및 주요 대수층의 원위치 지층평가를 하고 한라산 고지대와 해안지역 지하수체 간의 수리적 연결 특성 개념모형 제시.	·지하수만을 기준으로 해석하지 않고 지표수-지하수를 연계한 통합해석 기술을 개발하여 지하수개발가능량을 산정할 것임.
제주도 오름의 강우유출 특성에 관한 연구	·한라산국립공원 어리목에 위치한 어승생오름 남사면에 1차수 실험유역을 설정하고 강우 및 유출 관측자료를	·제주도의 산간지역과 하류부의 도심지역과의 유출특성은 매우 상이하며 본 과제에서는 산간 및 하류

(2007. 6~2008. 2)	토대로 유출 해석과 물수지 분석을 실시함.	부의 구분을 두지 않고 전체적으로 통합적 해석을 할 것임.
SWAT 모형을 이용한 제주도 하천의 유출량 모의 (2009)	·제주도 주요하천(천미천, 외도천, 옹포천, 연외천)에 SWAT 모형을 적용하여 장기 일 유출량을 모의하였음.	·본 과제에서는 주요하천을 포함한 유역별로 지표수-지하수 통합모형을 개발하여 정밀하게 유출 및 전체적 물순환에 대한 해석기술을 제시할 것임.

2. 적합성과 타당성

우리나라의 내륙지역에 대해서는 수자원의 이용·개발과 하천의 치수방재에 관한 연구조사가 활발하게 진행되고 있으며 이미 상당한 효과를 보이고 있다. 특히 지표수 조사 기술, 지하수-지표수 연계 수문해석 등은 현재 실용화되어지고 있으며, 기후변화에 대비한 물관리 및 홍수방어기술 연구도 진행되고 있다.

제주권역에는 주로 지하수의 이용에 관한 제한적인 R&D 사업만이 진행되어져 왔으며, 제주도내 발주 사업으로 주요하천(4~5개 하천)의 단기간 관측을 통하여 하천의 유출특성 및 수위-유량곡선식 작성 등의 단기적 연구만 진행되어져 왔다.

최근 들어 제주도는 전체 강우량이 점진적으로 증가하고 있으나 강우일수는 줄어들고 있으며 이러한 강우패턴 변화로 집중호우는 지속적으로 증가할 것으로 예측되고 있으나, 현재 제주도는 우리나라 내륙지역의 수문 조사 기술 및 수문해석 기술 수준보다 뒤쳐져 있다.

이렇게 열악한 상황에 처해 있는 제주권역의 수자원관련 기술의 수준을 향상시키기 위해서는 가장 기초적으로 제주도 수문특성에 대한 관측이 적절하게 이루어져야 하며, 관측자료의 선진 필터링 기술을 적용한 정밀한 유출량 산정이 이루어져야 한다. 또한, 제주도의 투수성 지질구조를 반영한 지표수-지하수 통합관리 및 해석 기술이 필요하며, 현재 사용되어지고 있는 용수에 대한 관리기술이 필요하다.

현재 제주도의 신성장 동력산업으로 물산업이 추진되고 있으며, 물산업의 성공을 위해서는 가장 기초적으로 제주도의 전체적 수문순환 및 해석기술의 표준화가 이루어져야 하며, 이를 기반으로 하여 제주도의 수자원의 안정적인 이용기반을 구축하고 통합 수자원 관리 기술개발을 통한 장기적인 수자원 확보체계 마련이 요구된다.

3절 신규 수요 도출

1. 기획회의 및 전문가 자문

가. 기획회의

본 기획연구에서는 연구기간 동안 총 6차례의 기획회의를 진행하였으며, 자문회의, 중간보고회를 개최하여 과제의 원활한 추진을 도모하였다. 핵심과제 도출에 있어서는 3개의 세부과제와 도출한 각 세부과제의 핵심요소기술 개발을 위한 세세부과제를 선정하였다. 또한, 전체 연구과제의 추진방법, 예산 기획, 성과물 관리방안 등의 연구과제 세부추진 전략을 수립하였다.

사업수행 기간동안 시행한 기획회의 결과의 주요 사항을 연구과제 도출을 중심으로 정리하면 다음과 같다.

○ 1차 기획회의 : 2010. 9. 1 (수)

- 제주지역 수자원 관리기반 시스템 구축의 기술개발의 범위를 설정하기 위하여 광범위한 내용이 아닌 제주도 전지역의 물수지 해석 및 제주하천유출의 특성 및 최적화 관측 위주의 세부적 사항 제시(1차안)
- 기획연구의 연구공정 계획표의 작성 및 기획위원회·서면보고 등의 세부적 일시를 계획하고 검토
- 제주지역 수자원 관리현황 분석 및 수자원 관리 연구개발 내용 도출

○ 2차 기획회의 및 착수회의: 2010. 9. 8 (금)

- 내실있는 본과제 추진을 위하여 본과제 연구범위 및 성과물을 명확하게 제시하고 본과제 성과물로 제시될 수자원 관리시스템의 요구성능 및 요구사양을 구체적으로 도출
- 지역기술혁신사업이므로 지역의 산업 및 연구기반에 대한 분석을 반드시 제시하고 연구성과의 활용성 제고를 위하여 기획자문위원회에 연구성과의 사용처 참여

○ 3차 기획회의 : 2010. 9. 17(금)

- 과제의 제목에 선택과 집중이 필요(2차안)
- 1세부) 제주형 하천유출 관리 시스템 개발
- 2세부) 제주형 지하수-지표수 통합 수문해석 기술 개발

3세부) 제주형 용수관리 기술 개발

- RFP 도출을 중심으로 기획연구의 진행이 필요하고 기존 제주도 수자원 기관과의 교류 협력이 필요.

○ 4차 기획회의 : 2010. 10. 2(토)

- 제주형 하천유출특성을 해석하고 수문관련 기초현황조사 및 유역단위 하천유출 특성을 해석함
- 제주도 하천유출 관측시스템의 최적화를 위하여 하천유출자료의 선진 필터링 기술과 함께 정밀한 유출량 계산 필요

○ 5차 기획회의 : 2010. 10. 5(화)

- 연구진 현장조사 결과 육지부와는 매우 상이한 하천특성으로 하천유출특성을 해석하고 관측하는 부분에 관한 연구 진행이 필요
- 제주도 연구팀에서도 시행착오를 겪고 있는 부분이므로 서로 교류하여 연구를 진행하고 웹기반 시스템 구축 후 지속적 관리기술이 필요하고 실제 실무관리자와의 사전협의를 필요
- 현재 진행중인 물수지 및 해석 연구와 상호보완하여 업그레이드 연구 필요

○ 6차 기획회의 : 2010. 10. 17(목)

- 본과제가 시작되면 제주 지자체와 MOU 등을 통해 명시적인 협력 방안을 논의 하여야 하며 각 세부과제별 연구의 중복성 문제를 정확히 확인하여 기존 연구와 중복되지 않아야 함.
- 기존의 관측값을 최대한 활용하고 현재 제주도 환경자원연구원에서 관측중인 자료에 대한 활용도를 최대한으로 높여야 하며 제주의 물산업이 부각되도록 과제가 진행되어야 함.
- 현재 용수이용량 모니터링의 문제점을 파악하여 적절한 대처가 필요하고 지표수
 - 지하수 통합모델 개발 후의 모델링 자료의 검증 방법이 필요함.
- RFP 세부과제 도출

1세부) 제주형 하천유출 조사 및 분석 시스템 구축

2세부) 제주형 지표수-지하수 통합 수문해석 기술 개발

3세부) 제주형 용수 관리 모형 개발

2. 자문회의 결과

본 기획연구에서 계획한 연구과제와 추진전략 등 제반 연구결과의 타당성을 점검하기 위해 관련분야 전문가로 구성된 자문위원회의 자문을 수검하였다. 주요 자문결과와 최종연구결과에 반영한 조치사항은 다음과 같다.

가. 광범위한 내용이 아닌 선택과 집중 필요

-현실적으로 과업기간 내에 연구성과물을 도출해낼 수 있는 제주도에 적합한 연구가 필요하며, 제주도 하천의 관측기법 개발은 센서개발 등의 관측장비개발이 아닌 관측망 구축 및 관측자료의 정밀화 기술 등이 현실적 연구가 필요.

☞ 제1세부과제 제주하천유출 조사 및 분석 시스템 구축에 조정하여 반영

나. 기존 제주 수자원 기관과의 교류·협력 필요

-현재 제주특별자치도 환경자원연구원에서 제주도 수자원 관련 연구 및 관측조사를 진행하고 있으며, 환경자원 연구원과의 공동연구협약(MOU)을 추진하여 서로 교류하여 연구를 진행해야 하며, 관측자료 및 기존 연구결과를 최대한 활용하여야 함.

☞ 연구개발 추진전략으로 반영

다. 제주도 실무자의 요구사항 수용

- 수자원 정보시스템을 구축 후에 지속적 관리기술이 필요하므로 실제 제주도의 실무수요자 및 관련업체 수요자들의 요구사항 충분히 수용하기 위해서는 사전적으로 협의가 필요함.

☞ 실무수요자의 요구사항을 수용하기 위한 설문조사 실시 후 반영

라. 용수 이용 문제의 신뢰성 확보

- 용수이용량 산정의 신뢰도를 높이기 위해서는 이용량 모니터링자료의 신뢰도가 근간이 되므로, 정도가 높고 효율적 경제적인 이용량 모니터링 기술 개발에 관한 내용 추가가 바람직 할 것으로 판단.

☞ 3세부과제의 기초적 사항으로 조정하여 반영

마. 세부과제별 연구연계 방안 제시

－ 각 세부과제별 연구결과를 공유하고 긴밀한 연구체계를 유지하기 위한 방안을 제시하고 각 연구성과물을 명확하게 제시하여야 함.

☞ 실제로 세부과제별 연구결과를 공유하지 않으면 각 세부과제의 연구가 진행되지 않으며, 최종성과물을 명확하게 RFP에 제시.

제 4 장 비전 및 추진전략

기존 제주도에서 수행된 물관련 연구를 총 망라하여 조사하고 새로운 패러다임의 관리기반 시스템을 구축하여 수자원 연구기관, 수자원개발업체 등이 필요한 제주도 수자원 이용 및 개발, 홍수 방재 등의 목적에 활용될 수 있도록 함으로써 **Blue-Green 지향의 제주도 수자원의 안정적 확보 및 지속가능한 수자원 이용에 기여하는 것**을 본 연구의 비전으로 설정한다.

제주도 지역의 수문특성 해석 및 수자원 관리를 위해서는 하천모니터링, 수문해석 모형 개발, 용수관리 기법개발 등의 일련의 연구개발과정이 필요하며, 각 연구과제를 통합하여 하나의 관리시스템으로 구축하기 위해서는 각 과제를 통합적으로 연계할 수 있는 인터페이스 개발이 필요하다. 이에 본 연구의 목표는 “**제주도 지역특성에 적합한 수문학적 하천유출 특성을 규명하고, 제주 하천의 유출특성에 적합한 맞춤형 측정기법을 개발하여 신뢰성 있는 관측유량의 기초자료를 수집하고, 제주 유역특성에 맞는 지표수-지하수 통합해석모형 개발 및 수자원 이용/관리 정보서비스 시스템을 구축하여 최종적으로 제주지역 수문특성 해석을 통한 ‘제주형 물순환 해석 및 수자원 관리기반’을 구축하는 것**”이다.

이를 위한 추진과제로 제주형 하천유출해석기술 개발, 제주형 지표수-지하수 통합 수문해석 기술 개발, 제주형 최적 용수관리 기술 개발의 추진과제를 도출하고, 연구과제목표를 성공적으로 달성하기 위해 각 전문분야별 연구/사업인력의 참여, 지표수-지하수 통합수문해석 모형 개발, 관측모니터링 및 시뮬레이션을 통한 기술 검증 및 보완, 연구자료 DB 구축 및 효율적인 정보시스템 개발을 추진전략으로 도출한다.



<그림 4-1> 제주형 물순환 해석 및 수자원 관리 기반구축 연구의 비전과 추진전략

제 5 장 세부과제 구성

1절 세부과제 내용 도출

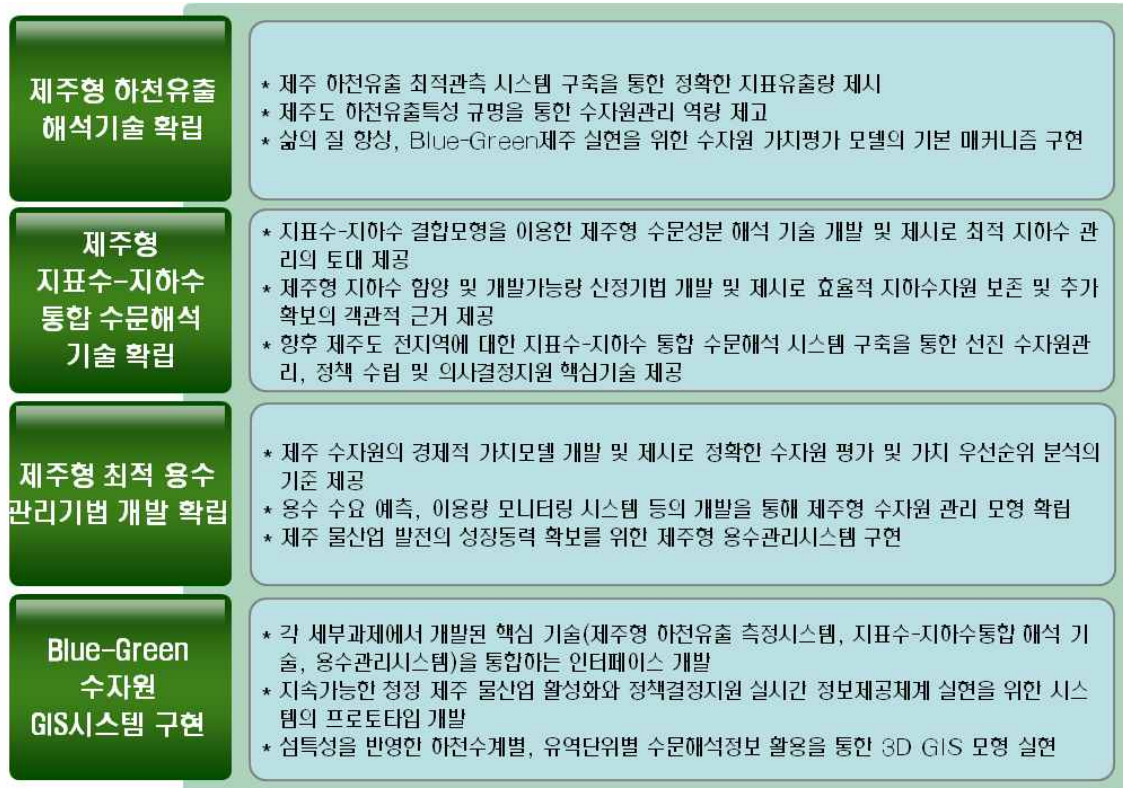
제주도 지역의 수문특성 해석 및 수자원 관리 기반구축연구를 위한 방향성은 제주형 하천유출 해석기술 확립, 제주형 지표수-지하수 통합수문해석 기술 확립, 제주형 최적 용수관리기술 확립, Blue-Green 수자원 GIS시스템 구현으로 설정한다.

제주형 하천유출해석기술 확립은 제주 하천유출특성 규명을 위한 최적관측시스템을 구축함으로써 수자원 가치평가 모델의 기본 메커니즘을 구현하는 것이다.

제주형 지표수-지하수 통합수문해석 기술확립은 지표수-지하수 결합모형을 이용하여 제주유역 수문해석의 토대를 제공하고, 지하수 함양 및 개발가능량 산정에 대한 객관적 근거를 제공함으로써 선진 수자원관리, 정책수립 및 의사결정지원의 핵심기술을 제공하는 것이다.

제주형 최적 용수관리 기술 확립은 제주 수자원 평가 및 가치 우선순위 분석의 기준을 제공하고 용수 수요예측, 이용량 모니터링 기술 개발을 통해 제주 물산업 발전의 성장동력 확보를 위해 기여할 수 있도록 한다.

Blue-Green 수자원 GIS시스템 구현은 각 세부과제에서 개발된 핵심기술을 통합하는 인터페이스를 개발하는 것으로 제주 물산업 활성화와 정책결정지원 정보제공체계를 실현하기 위한 핵심 시스템을 개발하는 것이다.



<그림 5-1> 제주형 물순환 해석 및 수자원 관리 기반구축 연구의 추진방안

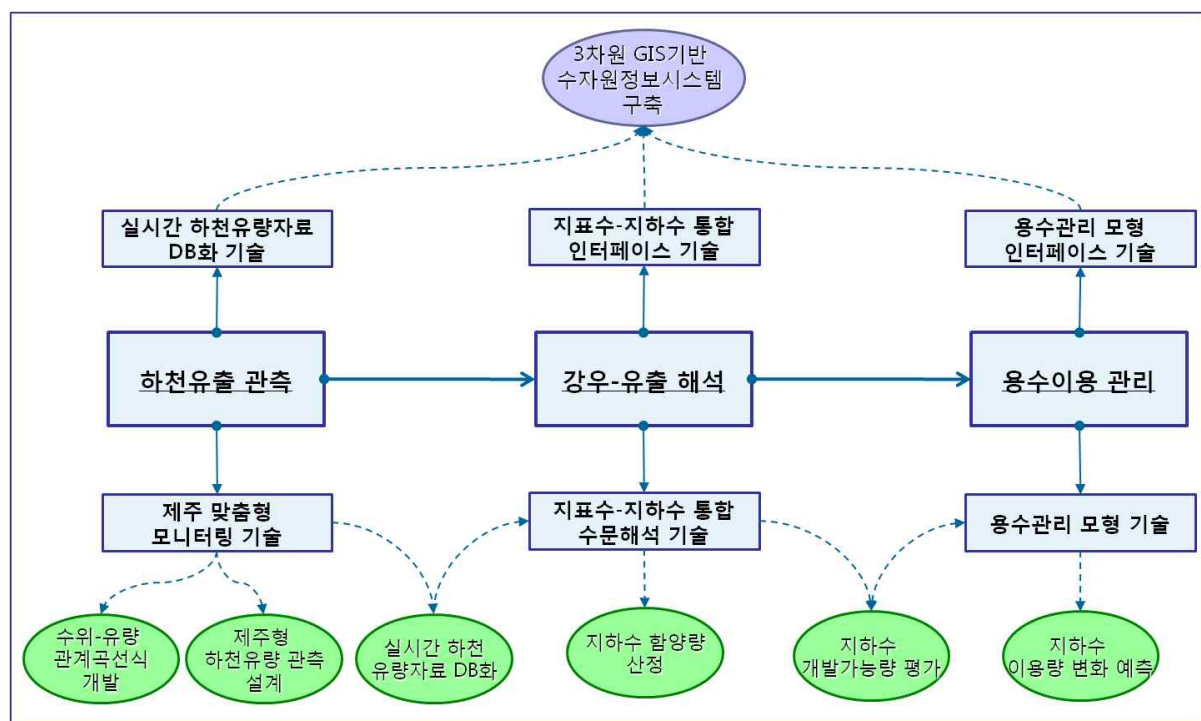
2절 세부과제 상호연계 분석

제주도 지역의 수문특성 해석 및 수자원 관리 기반구축연구를 위한 각 세부과제는 상호연관성을 가지며, 하천유출 관측, 강우-유출 해석, 용수이용 관리의 일련의 과정을 통해 연계되도록 구성한다.

1세부과제인 제주형 하천유출해석기술 개발을 통해서 는 제주도 하천유출 특성에 적합한 관측기술을 개발하고, 관측결과를 DB화하여 2세부과제의 강우-유출해석 모형의 입력자료나 검·보정자료로 활용될 수 있도록 한다.

2세부과제인 제주형 지표수-지하수 통합 수문해석 기술 개발을 통해서 는 지표수-지하수 통합 수문해석 모형을 개발하고 이를 통해 지하수 함양량 산정 및 개발가능량 평가가 가능하도록 하여 3세부과제의 용수이용관리에 있어서 용수이용 변화를 예측하는데 활용될 수 있도록 한다.

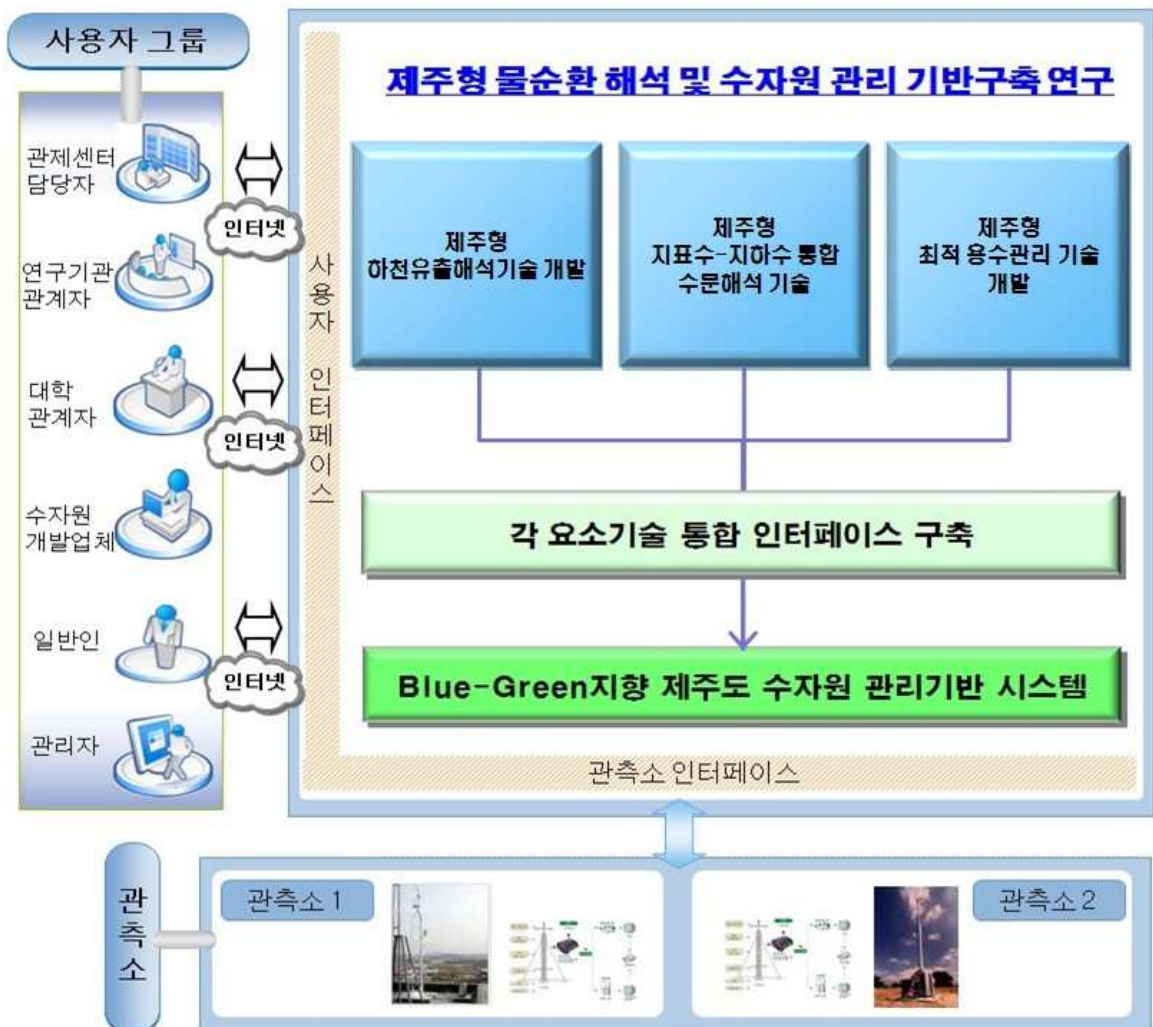
각 세부과제의 관측, 모형 개발의 결과물을 3차원 GIS기반의 수자원 정보시스템을 통해 통합될 수 있도록 DB자료 입력 및 모형 전·후처리에 대한 인터페이스를 개발한다.



<그림 5-2> 세부과제간 연계방안

3절 기대성과 및 활용방안

본 연구과제가 완료되었을때 연구결과의 수요처 및 구현 형식에 관해 다양한 논의를 거쳐 아래 그림과 같은 활용체계를 구성하였다. 세부과제별 연계를 위한 요소기술의 통합 인터페이스가 구축되면 이를 가시적으로 표출하는 통합시스템이 완성된다. 이러한 시스템은 기본적으로 자료기반 시스템과의 연계가 필수적이다. 아울러 개발된 시스템은 기본적으로 사용자 그룹과 원활한 소통이 이루어져야 하므로 제주권내 연구기관, 관제센터, 대학, 수자원 업체, 일반인들과의 교감을 위한 인터넷 기반의 사용자 인터페이스가 구성될 것이다.



<그림 5-3> 제주형 물순환 해석 및 수자원 관리 기반시스템의 운용 및 활용체계

제 6 장 세부과제 도출

1절 세부과제별 연구달성 목표 설정

본 연구는 국가연구개발 과제로서 국민의 복리증진에 기여하기 위하여 과학적인 연구성과를 도출해야 하며 이에 대한 목표 설정이 수반되어야 한다. 첫 번째 목표는 제주형 하천유출해석기법을 개발하여 제주 주요하천의 신뢰성 있는 수위-유량 곡선식을 유도하고, 하천유출량 관측시스템 설계서를 발간하며, 3차원 GIS기반 수자원 정보시스템을 개발하는 것이다. 두 번째 목표는 제주형 해석기술을 극대화시키는 방편으로 지표수-지하수를 연계한 수문해석기술을 개발, 주요하천유역에 적용하여 신뢰성 있는 물수지 계산을 수행하고 이를 바탕으로 지역 내의 지하수 함양량 및 개발가능량을 산정함으로써 실질적인 실용화가 되도록 하는 것이다. 세 번째 목표는 제주의 용수사용 불확실성을 최소화하기 위한 첨단 용수관리 기술을 개발하여 제주 지역의 용수에 따른 물공급 정책에 기여하고자 한다.

최종 목표

- **1 세부 과제 : 제주형 하천유출해석기술 개발**
 - 하천별 수위-유량 곡선식
 - 제주형 하천유출량 측정시스템 설계서
 - 3차원 GIS기반 수자원 정보시스템 개발
- **2 세부 과제 : 제주형 지표수-지하수 통합 수문해석 기술 개발**
 - 제주형 지표수-지하수 통합 수문해석 기술 개발
 - 제주형 지하수 함양 예측 모델 개발
- **3 세부 과제 : 제주형 최적 용수관리 기술 개발**
 - 제주 지하수자원의 경제적 가치평가 기술 개발
 - 제주형 용수자료 구축 및 용수이용량 모니터링 · 관리 기술 개발

<그림 6-1> 세부과제별 연구목표

2절 세부과제 도출

본 연구는 총 3개의 세부과제로 구성되며 제1세부과제는 제주형 하천유출 해석기법 개발, 제2세부과제는 지표수-지하수 통합수문해석 모형개발, 제3세부과제는 제주형 최적 용수관리기술 개발이다.

□ 1세부 과제 : 제주형 하천유출 해석기법 개발

○ 제주형 하천유출특성 해석 기술

- 제주지역 수문조사 현황 및 하천유출 관측망 현황을 조사하고 제주 하천의 유출특성분석을 통해 주요 하천별 홍수시 수위-유량관계곡선식을 산정

○ 제주 하천유출 최적관측 및 정보화 시스템 구축

- 하천유출 관측자료의 통계분석을 수행, 유출특성을 규명하고 수문관측의 정밀도를 향상시키는 제주형 하천유량 관측기법을 개발하고 이를 토대로 양질의 수문자료 DB를 구축함.
- 제주도 수자원 관리의 효율화를 위한 수문자료 및 해석결과를 토대로 한 수자원 정보시스템을 구축, 수요처에 제공함.

□ 2세부 과제 : 제주형 지표수-지하수 통합 수문해석 기술 개발

○ 제주형 지표수-지하수 통합 해석 모형 개발

- 지표수와 지하수의 거동을 동시에 해석할 수 있는 통합적 차원의 제주형 수문성분 해석 모형을 개발하여 제주 주요 유역에 대해 토지이용과 토양 특성을 고려한 강우, 증발산, 지표유출, 기저유출, 지하수 함양량의 시공간적 분포특성을 분석하고 관측치와 비교하여 모형의 정도를 파악함.

- 주요 유역별 하천유출발생한계 및 지하수 함양량의 시간적 지체현상을 규명함으로써 제주형 함양량 산정기법을 도출하고, 이를 기반으로 제주 주요 유역에 대한 개발가능량을 산정함.

□ 3세부과제 : 제주형 최적 용수관리 기술 개발

○ 제주형 용수 관리 모형 개발

- 기존 제주도 용수관리 자료 및 이용특성을 분석, 효율적인 수자원 관리를 위한 개선점을 도출하기 위해 효율적인 용수이용량 산정 기법을 개발함.

- 기후변화에 따른 수자원 이용의 효율화를 위해 가뭄에 대비한 제주형 용수수요 예측 프로그램을 개발, 단기 수요량을 예측하고, 제주 주요유역 지하수 양수량의 시공간적 자료를 구축, 통합 수문해석 모형과의 효율적인 결합을 시도하여 물이용에 따른 영향평가가 가능하도록 함.

1 세부 과제 : 제주형 하천유출 해석기술 개발

● 제주형 하천유출특성 해석 기술

- 제주지역 수문조사 현황 및 하천유출 관측망 현황 조사
- 제주하천의 유출특성분석을 통한 주요 하천별 수위-유량관계곡선식 산정

● 제주 하천유출 최적관측 및 정보화 시스템 구축

- 하천유출 관측자료 통계분석을 통한 유출특성 규명
- 수문관측의 정밀도를 향상시키는 제주형 하천유량 관측기법 개발, 양질의 수문자료 DB 구축
- 제주도 수자원관리 효율화를 위한 수문자료 및 해석결과를 토대로 한 수자원 정보시스템 구축, 수요처에 제공

2 세부 과제 : 제주형 지표수-지하수 통합 수문해석 기술 개발

● 제주형 지표수-지하수 통합 수문해석 기술 개발

- 지표수, 지하수 거동을 동시에 해석할 수 있는 제주형 통합수문성분 해석 모형 개발
- 토지이용, 토양 특성을 고려한 강우, 증발산, 지표유출, 기저유출, 지하수 함양량의 시공간적 분포특성 분석
- 토지이용, 토양 특성을 고려한 강우, 증발산, 지표유출, 기저유출, 지하수 함양량의 시공간적 분포특성 분석
- 주요 유역별 하천유출발생한계 및 지하수 함양량의 시간적 지체현상을 규명함으로써 제주형 함양량 산정기법 도출
- 이를 기반으로 제주 주요 유역에 대한 개발가능량 산정

3 세부 과제 : 제주형 최적 용수관리 기술 개발

● 제주형 지하수 이용 관리 모형 개발

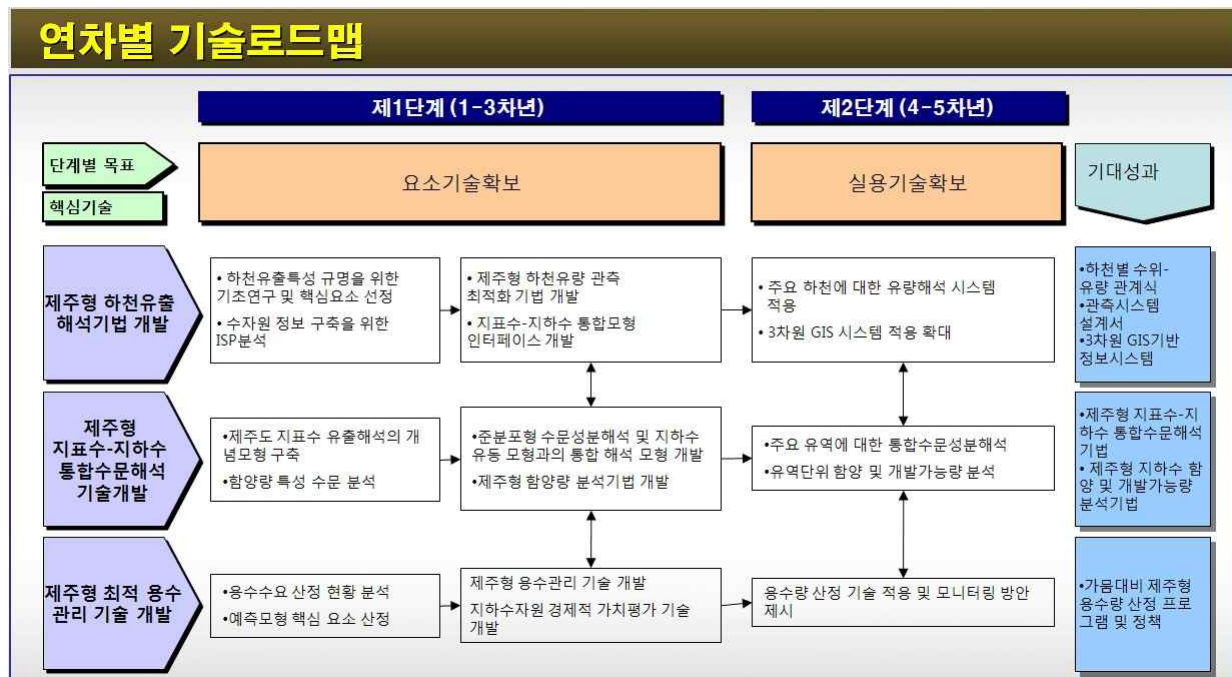
- 기존 제주도 용수관리 자료 및 이용특성을 분석, 효율적인 수자원 관리를 위한 개선점을 도출하기 위해 제주형 용수이용량 산정 기법 개발
- 기후변화에 따른 수자원 이용의 효율화를 위해 가뭄에 대비한 제주형 용수 수요 예측 프로그램을 개발, 단기 수요량 예측
- 제주 주요유역 지하수 양수량의 시공간적 자료를 구축, 통합 수문해석 모형과의 효율적인 결합을 시도하여 물이용에 따른 영향평가가 가능하도록 함

<그림 6-2> 세부과제 도출

제 7 장 세부과제 실행계획 수립

1절 통합과제 기술로드맵

제주도 지역특성에 적합한 수문학적 하천유출특성을 규명하고 맞춤형 측정기법개발을 통해 신뢰성 있는 관측유량을 제시하는 한편, 제주도 유역특성에 맞는 지표수-지하수 통합해석모형 개발 및 수자원 이용·관리 정보서비스 시스템을 구축하기 위한 연구사업의 통합 기술로드맵은 아래 그림과 같고 연차별 세부과제의 내용은 2절과 같다.



<그림 7-1> 제주 수자원 관리 기반 구축 연구의 통합 로드맵

2절 연차별 목표 및 연구내용 설정

1. 1세부과제 : 제주도 하천유출 해석기술과 수자원 정보화 시스템 구축

<표 7-1> 1세부과제의 연차별 목표 및 연구내용

구분	1단계 (핵심 기술개발)			2단계 (적용 및 실용화)	
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
목표	* 제주형 하천유출특성 해석 기술 도출 - 제주지역 수문조사 및 하천유출 관측 현황 분석 - 선진기술을 도입한 하천유출특성 해석 최적화 * 제주 하천유출 최적관측 기술 확립 - 하천유출 관측자료의 고도화 기술 규명 - 제주형 하천유량 관측 최적화 기술 구현 * 3차원 GIS기반 수자원 정보시스템 구축 - 제주도 수자원 관리 정보시스템 구축을 위한 ISP - 하천유출 관측자료 DB 구축 및 분석기능 개발 - 주요 하천유역 통합수문해석모형 인터페이스개발 - 용수이용 현황관리 및 영향예측 시스템 인터페이스 개발			* 제주형 하천유출특성 해석 기술 - 제주 주요 시험유역에 표준화된 하천유출조사 및 특성해석 기술적용 - 타 도서 및 산간지역 기술 적용 * 제주 하천유출 최적관측 기술 - 유관기관 연계를 통한 인터페이스 확대 * 3차원 GIS수자원시스템 확대 - 용수이용 영향예측 시스템 개발 - 3차원 기반 수자원 정보제공 시스템 구축	
연구 내용	• 제주지역 수문조사 현황 및 하천유출 관측망 기초현황 분석 • 제주도 상시하천의 1년주기 유량자료 확보 및 분석 • 주요 하천별 홍수시 수위-유량관계곡선식 작성 • 홍수유출 관측자료의 선진 필터링 기술 적용 • 제주형 하천유출 최적관측 기본구상 설계 • 표면유속자료를 이용한 평균유속 환산기법 적용 • 수문관측 정밀도 향상을 위한 제주형 유량환산 기술 개발 • 실시간 하천유량 자료 DB화 기술 개발 • 기존 수자원 관련 환경분석, 현황분석 및 문제점 분석 • 섬특성에 적합한 제주도 수자원관리시스템 구축계획 수립 • 지표수-지하수 통합 해석모형의 인터페이스 개발 • 도내 지표수 및 지하수 이용현황 정보관리 • 강우-유출량 관측정보 검색 및 조회 • 용수이용현황 및 개발가능량 정보제공 서비스			• 제주 하천의 유역단위 수문학적 유출특성 해석 • 하천유출특성 자료 DB화 기술적용 • 제주형 하천유량 관측 최적화 기술 • 하천수계별 실시간 유출량 자료관리시스템 개발 • 유역단위 지표수 및 지하수 이용패턴 분석 • 유역별 통합 수문해석 결과 제공 서비스 • 3D GIS기반의 수자원관리 정보제공 서비스 • 사용자별 맞춤형 예측시스템 구현	

2. 2세부과제 : 제주형 지표수-지하수 통합 수문해석 기술 개발 및 적용

<표 7-2> 2세부과제의 연차별 목표 및 연구내용

구분	1단계 (핵심 기술개발)			2단계 (적용 및 실용화)	
년차	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
목표	* 제주형 지표수-지하수 통합 수문성분 해석 기술 개발 - 제주 주요 유역에 대한 수문성분 특성 분석 - 제주 하천유출량 관측자료를 활용한 지표수 유출 개념모델 개발 - 제주형 지표수 유출 모형 개발 * 제주형 지하수 함양 및 개발가능량 분석기법 개발 - 제주도 함양 특성 분석 - 제주형 함양량 산정을 위한 요소기술 개발 - 제주형 지하수 함양량 정밀 추정 기법 개발			* 지표수-지하수 결합모형 보급 - 제주형 지표수-지하수 통합 수문해석 모형 보급 - 제주 주요 유역에 대한 시험적용 * 지하수 함양 및 개발가능량 분석기법 보급 - 제주 주요 유역에 대한 함양량 평가 - 제주 주요 유역에 대한 개발가능량 평가 및 지하수자원 확보방안 제시	
연구 내용	• 제주 주요 유역에의 강우, 증발산 특성 분석 • 제주 주요 유역에 대한 토지이용, 토양통 분석 • 제주 주요 유역 관측자료 분석 및 DB 구축 • 제주 수문특성 결과 및 관측자료를 적용한 개념모델 개발 • 기존 유출 해석의 문제점 분석 및 개념모델 개선 • 제주 수문특성을 고려한 지표수 유출 모형 개발 • 제주 주요 유역에서 함양에 영향을 미치는 수문성분 분석 • 물수지 분석에 기반한 함양기법 개발 • 제주형 함양 지체시간 산정기법 개발 • 개발된 요소기술의 시험적용을 통한 문제점 분석 및 개선 • 개발된 요소 기술을 통합한 지속형 함양량 산정기법 개발 • 지표수-지하수 통합 물수지 분석을 통한 함양량 평가 • 주요 유역별 지하수 함양량의 정밀 추정 및 검증			• 제주 주요유역에 대한 모델링입력자료 구축 • 강수, 증발산, 하천유출, 지하수 유출 성분의 정밀해석 기술 제시 • 주요 유역별 하천유출발생한계 및 지표수-지하수 통합 해석 실증 • 사용자 편의를 고려한 인터페이스 구축 • 지하수 이용을 고려한 개발가능량 평가 • 주요 유역 추가 지하수 확보 가능량 산정 • 사용자별 차별화된 정보 실시간 제공	

3. 3세부과제 : 제주형 용수관리시스템 개발

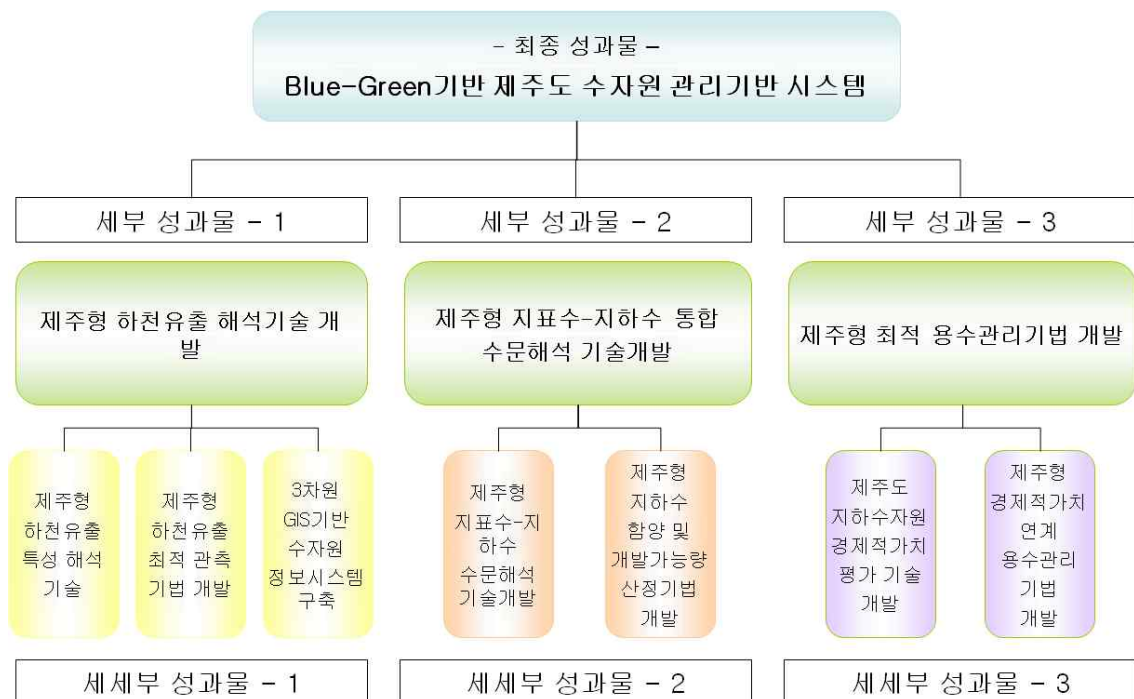
<표 7-3> 3세부과제의 연차별 목표 및 연구내용

구분	1단계 (핵심 기술개발)			2단계 (적용 및 실용화)	
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
목표	* 제주 지하수의 경제적 활용 모델 개발 - 제주도 지하수 이용 현황 분석 - 전세기 수자원 변동 모델, 국가 수자원 변동 모델 및 1, 2 세부과제의 단계적 성과들을 연계한 제주 수자원의 수리적 변화 가능성 분석 - 장래 지하수 수요/공급 변화에 대비한 제주 지하수의 경제적 활용 모델 개발 * 제주형 용수 관리 기술 개발 - 용수수요량 산정 기술 개발 - 용수 공급시설물 관리 정보 기술 개발			* 제주 지하수의 경제적 가치모델 - 지하수 가치 우선순위와 지하수 이용량 변화 예측 비교를 통한 지하수 관리 모형 제시 * 제주형 용수 관리 모형 보급 - 용수이용량 모니터링 및 관리 기술 개발 - 국내외 유사한 지리적 특성지역에 제주형 용수 관리 모형 보급 확산	
연구 내용	• 제주도 지하수 이용량 산정의 문제점 분석 • 분석결과를 이용한 제주형 지하수 이용량 변화 예측 • 도시화에 따른 지하수 자원 수요/공급 예측 • 기후변화에 따른 지하수 자원 수요/공급 예측 • 기존 제주도 용수관리 시스템의 장/단점 분석 • 제주도 수자원 관리를 위한 개선점 도출 • 제주도의 토양, 기후 특성에 적합한 농업용수 원단위 산정 • 용수 이용량 중 많은 비중을 차지하고, 지역별 이용량 차이가 큰 농업용수에 대하여 토양수분 물수지법에 의한 산정 프로그램 개발 • 토양, 기후관련 매개변수의 조사·연구 • 가뭄기간에 용수 수요를 예측하는 프로그램 개발로 무강우 지속기간에 따른 단기간의 용수수요량 예측 프로그램 개발			• 작물별 지하수 자원 가치평가에 근거한 제주도 첨단농업 정책 수립자료 제시 • 관개용수의 경우 작물별 지하수 자원 가치 평가 자료 제시 • 경제적 가치 평가 모델에서 수자원 가치 우선순위 선정 • 농작물 재배현황 분석 원격탐사 활용 기술 개발 • 용수이용량 모니터링 시스템 개발 • 유사한 지리적 특성을 가진 지역에 관정별 전기 및 용수이용량 모형 보급	

3절 연차별 성과물 및 성과지표 설정

1. 연차별 성과물

본 연구과제의 최종 성과물인 “제주도 수자원 관리기반 시스템”을 성공적으로 도출하기 위해서는 세부과제별 그리고 세세부과제별로 다음 그림과 같은 성과물들을 도출한다.



<그림 7-1> 연차별 성과물

2. 성과지표 설정

본 사업은 국가연구개발사업 조사·분석·평가의 성과지표를 참조하여 기본지표로 설정하였다. 세부과제별 성과지표 선정을 위한 원칙은 아래와 같다.

- (1) 공통적인 성과부문을 평가하고, 각 사업 부문별 특성화된 성과부문을 추가 지표로 설정하여 정략적 기대치 측정
- (2) 사업 분야별 지표에 가중치(점수) 부여를 다르게 설정하여 성과측정을 더욱 효과적으로 도출
- (3) 도출된 성과지표는 고정된 것이 아닌, 추후 수정·보완 가능성 고려
- (4) 본 사업은 하천유출해석기술, 지표수-지하수 통합 수문해석 기술 및 제주형 용수관리시스템 구축 등 정보시스템 구축이 목적임으로 정보화 활용도에 대한 평가기준을 고려

<표 7-4> 1세부과제 성과지표

성과목표	지표 구분	성과지표	단계별 목표치		최종 목표치	가중치	
			I (1~3차년)	II (4~5차년)			
실용화 및 사업화 극대화	핵심	수위-유량관계곡선식 구축 유역 건수	2	2	4건	0.2	0.5
	일반	하천유출 최적 관측 설계서	1		1건	0.1	
	일반	하천유출 수문자료 DB 구축 유역 건수	2	2	4건	0.2	
정보시스템 인프라 활용 증진	핵심	지표수-지하수 통합수문해석 GIS기반 인터페이스 프로그램	1		1건	0.2	0.3
	일반	용수이용 평가 모델링 프로그램 GIS기반 인터페이스 개발		1	1건	0.1	
과학 기술적 연구성과 향상	핵심	학술지 게재 논문 건수	2	3	5건	0.1	0.2
	일반	학술회의 관련 논문 건수	5	4	9건	0.1	
합계						1.0	

<표 7-5> 2세부과제 성과지표

성과목표	지표 구분	성과지표	단계별 목표치		최종 목표치	가중치	
			I (1~3차년)	II (4~5차년)			
실용화 및 사업화 극대화	핵심	지표수-지하수 통합수문해석 모형 개발 유역 건수	2	2	4건	0.3	0.6
	일반	지하수 함양 예측모델 개발 유역 건수	2	2	4건	0.3	
정보시스템 인프라 활용 증진	핵심	지표수-지하수 연계모형 관련 입력자료 DB 구축 유역 건수	2	2	4건	0.1	0.2
	일반	강우-유출 예측결과 DB 구축 유역 건수	2	2	4건	0.1	
과학 기술적 연구성과 향상	핵심	학술지 게재 논문 건수	3	3	6건	0.1	0.2
	일반	학술회의 관련 논문 건수	5	4	9건	0.1	
합계						1.0	

<표 7-6> 3세부과제 성과지표

성과목표	지표 구분	성과지표	단계별 목표치		최종 목표치	가중치	
			I (1~3차년)	II (4~5차년)			
실용화 및 사업화 극대화	핵심	용수이용 지하수자원 경제적 가치평가 기준 수립 건수	2	2	4건	0.3	0.5
	일반	작물별 지하수자원 경제적 가치 평가 건수	2	2	4건	0.2	
정보시스템 인프라 활용 증진	핵심	용수 관리 프로그램 개발 건수	1	1	2건	0.1	0.2
	일반	용수별 원단위 산정 건수	2	2	4건	0.1	
과학 기술적 연구성과 향상	핵심	학술지 게재 논문 건수	3	3	6건	0.2	0.3
	일반	학술회의 관련 논문 건수	5	4	9건	0.1	
합계						1.0	

4절 세부과제별 실용화 방안 수립

3대 세부 과제별로 구분하여 아래와 같은 실용화 방안을 정립하였다.

<표 7-7> 세세부과제별 실용화 방안

과제 구분	과제별 실용화 방안
1세부과제. 제주형 하천유출특성 해석 기술	- 제주 주요 상시하천 및 건천의 하천별 수위-유량곡선식 정립 - 제주 하천의 유역단위 수문학적 유출특성 해석 모델 정립
	- 수문관측 정밀도 향상을 위한 제주형 유량환산 기술 개발 - 주요 수요기관인 제주특별자치도의 지하수 관리, 홍수 경보 등의 수자원관리 지원을 위한 적극 연계 및 활용
	- 기 구축된 수자원관련 정보시스템을 보유하고 있는 국토해양부, 농림수산식품부, 기상청 등의 자료연계를 통한 정보공동활용 계획 제시 - 사용자 계층별(공무원, 민간업체, 농업인, 연구원 등) 맞춤형 정보 제공 서비스 실현
2세부과제. 제주형 지표수-지하수 통합수문해석 기술 개발	- 주요 수요기관인 제주특별자치도의 지하수 관리, 홍수 경보 등의 수자원관리 지원을 위한 적극 연계 및 활용 - 과학적이고 객관적인 지하수 함양량 및 개발가능량 자료를 제주도 지역의 지하수 영향평가에 활용될 수 있도록 제시
	- 제주도과 비슷한 지질/수문 특성을 지닌 섬, 내륙지역 등의 수자원 관측모니터링에 활용될 수 있는 측정시스템 설계제작.방안 제시
3세부과제. 제주형 최적 용수관리 기술 개발	- 도시화와 기후변화에 따른 지하수 자원 수요/공급 예측 가능 - 관개용수의 경우 작물별 지하수 자원 가치 평가 자료 실시간 제공
	- 가뭄기간에 용수 수요를 예측하는 프로그램 개발로 무강우 지속기간에 따른 단기간의 용수수요량 예측 가능 - 제주도 광천수의 브랜드화·글로벌화 및 제주도 물산업의 성공을 위한 안정적인 수자원 확보에 기여하여 제주지역의 물산업 관련 분야 산업 기반 창출 및 지역경쟁력 제고

5절 세부과제별 예산투입계획 수립

1. 연차별 세부과제별 예산

<표 7-8> 연차별 세부과제별 예산

(단위 : 억원)

총 연구개발비 내용							
연도	연구비 확보			연구비 배정			
	정부 출연금	민간 부담금	합계	1세부	2세부	3세부	합계
2011	5	1.67	6.67	3.32	2.02	1.33	6.67
2012	12.9	4.3	17.2	8.79	4.9	3.51	17.2
2013	13.69	4.56	18.26	9.04	5.6	3.62	18.26
2014	13.99	4.66	18.66	9.04	6	3.62	18.66
2015	12.54	4.18	16.72	8.59	4.7	3.43	16.72
합계	58.12	19.37	77.51	38.78	23.22	15.51	77.51

2. 예산 산출 근거

가. 세부과제 1

<표 7-9> 1세부과제 요소기술별 항목별 연구내용 및 연구비

(단위 : 백만원)

요소기술	세부 항목	세세부 항목별 연구내용 및 연구비		항목별 총 연구비
1-1 제주형 하천유출 특성 해석 기술	1-1-1	제주지역 수문조사 및 하천유출 관측 현황 분석	167	1,668
	1-1-2	선진기술을 도입한 하천유출특성 해석 최적화	450	
	1-1-3	주요 하천별 수위-유량곡선식 정립	550	
	1-1-4	표준화된 하천유출조사 및 특성해석 기술 적용	500	
1-2 제주 하천유출 최적관측 기법 구축	1-2-1	홍수유출 관측자료의 선진 필터링 기술 적용 및 개발	472	1,474
	1-2-2	제주형 하천유량 관측 최적화 기술	619	
	1-2-3	실시간 하천유량 자료 DB화 기술 개발	383	
1-3 3차원 GIS기반 수자원 정보시스 템 구축	1-3-1	제주도 수자원 관리 정보시스템 구축을 위한 ISP 활용 방안 수립	124	776
	1-3-2	주요 하천유역 통합 수문해석 모형의 인터페이스 개발	171	
	1-3-3	용수이용 현황관리 및 영향예측 시스템 개발	186	
	1-3-4	3차원 기반 수자원 정보제공 시스템 구축	295	
연구비 총액				3,878

나. 세부과제 2

<표 7-10> 2세부과제 요소기술별 항목별 연구내용 및 연구비

(단위 :

요소기술	세부 항목	세세부 항목별 연구내용 및 연구비		항목별 총 연구비
1-1 제주형 지표수-지하수 통합수문해석 모형 개발	1-1-1	제주 주요유역 수문특성 해석과 개념모형 개발	600	1,300
	1-1-2	제주특성에 맞는 지표수-지하수 연계모형 개발	700	
1-2 제주형 지하수 함양 및 개발가능량 분석기법 개발	1-2-1	제주형 함양특성 분석기법개발	522	1,022
	1-2-2	제주형 지하수 개발가능량 추정기법 개발	500	
연구비 총액				2,322

백만원)

다. 세부과제 3

<표 7-11> 3세부과제 요소기술별 항목별 연구내용 및 연구비

(단위 : 백만원)

요소기술	세부 항목	세세부 항목별 연구내용 및 연구비		항목별 총 연구비
3-1 제주 지하수의 경제적 가치모델 개 발	3-1-1	제주도 지하수 이용 현황 분석	69	833
	3-1-2	전세계 수자원 변동모델과 국가 수자원 변동모델 분석	85	
	3-1-3	1, 2 세부과제의 단계적 성과들을 연계한 제주 수자원의 수리적 변화 가능성 분석	213	
	3-1-4	장래 지하수 수요/공급 변화에 대비한 제주 지하수의 경제적 가치 평가 모델 개발	227	
	3-1-5	지하수 가치 우선순위와 지하수 이용량변화 예측 비교를 통한 지하수 관리 모형 제시	239	
3-2 제주형 용수 관 리 모형 개발	3-2-1	생활용수, 농업용수 등은 행정자료를 이용하여 용수 원단위 산정. 생활용수의 시계열적 변화 경향 분석 및 특성 파악	108	718
	3-2-2	기존 제주도 용수관리 시스템의 장/단점 분석	109	
	3-2-3	제주도의 토양, 기후 특성에 적합한 농업용수 원단위 산정	211	
	3-2-4	용수수요량 산정 프로그램 개발	159	
	3-2-5	용수 공급시설물 관리 정보 시스템 개발	131	

연구비 총액			1,551
--------	--	--	-------

6절 연구단과제 및 세부과제별 RFP 도출

연구과제명	제주형 물순환 해석 및 수자원 관리 기반구축 연구
1. 연구개발 목표	○ 제주도 지역특성에 적합한 수문학적 하천유출특성을 규명하고 맞춤형 측정 기법개발을 통해 신뢰성 있는 관측유량을 제시하는 한편, 제주도 유역특성에 맞는 지표수-지하수 통합해석모형 개발 및 수자원 이용·관리 정보서비스 시스템을 구축하는 것임
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	□연구개발의 필요성 ○ 제주도 수문특성에 맞는 관측 기술 개발 필요 - 제주도는 우리나라 최대의 다우지역임에도 불구하고 투수성이 좋은 다공질 화산암류 및 화산회토로 이루어져 있어, 강수가 지하로 침투함으로써 대부분 하천들이 건천을 이루고 있음. - 지금까지 제주도 하천의 수문학적 유출특성에 관한 연구는 매우 미흡한 상태이며, 맞춤형 관측기법 및 정확한 유량환산 기술 개발이 필요함. ○ 투수성 지질구조에 따른 제주도 지표수-지하수 통합관리 기술 요구 - 제주도 수자원 기초조사자료의 획득부터 지표수와 지하수를 통합적으로 관리할 수 있는 과학적이고 체계적인 관리기술개발과 유역별 실증을 통한 수자원 관리정책 수립을 지원할 수 있는 시스템 개발이 요구됨 ○ 제주도 토양, 기후특성에 적합한 용수이용 관리기술 개발 - 제주도 지하수 이용량 중 많은 비중을 차지하는 농업용수 이용량에 대한 과학적인 기초조사 자료 구축을 위해 보다 과학적인 산정방법에 대한 필요성이 제기됨 ○ 제주도 신성장 동력산업으로 물산업 성공을 위한 지원 - 물산업을 성공적으로 추진하기 위해서는 가장 중요한 요소가 제주도 수자원의 안정적인 이용기반을 구축하는 것으로 통합 수자원관리 기술개발을 통한 장기적인 수자원 확보체계 마련이 요구됨

□ 기술동향

○ 제주지역 하천유출량 측정 기술동향

- 국내에서는 국토해양부 유량조사사업단에서 제주도를 제외한 수문학적 하천 유출 특성을 나타내는 수위-유량관계 곡선식을 매년 작성하고 있으며 제주도를 제외한 각 지역에 적합한 하천유출특성을 해석하는 기술이 개발됨.
- 제주지역의 하천유출량 산정 및 특성 분석은 2000년도까지 육지부의 수문 특성에 적합한 기존 모형을 그대로 이용하였으며, 2000년도 이후 주요 하천에서 현장 유속측정을 이용한 하천유출 특성 연구를 시행하고 있으나 연구인력 부족 및 기술개발 부진으로 제주도 하천유출 특성에 맞는 맞춤형 관측기술이 제시되지 못함.

○ 제주지역 수문성분 해석 기술동향

- 제주 지역의 경우는 지하수자원 의존도가 상대적으로 매우 커서 주로 지하수의 개발과 이용을 위한 조사연구가 중점을 이루었으나 강수로부터 유출에 이르는 지표수-지하수 수문과정에 대한 해석 연구는 미미함.

3. 연구개발내용

□ 1세부 과제 : 제주형 하천유출 해석기술 개발

○ 제주형 하천유출특성 분석

- 제주지역 수문조사 현황 및 하천유출 관측망 현황을 조사하고 제주 하천의 유출특성분석을 통해 주요 하천별 홍수시 수위-유량관계곡선식을 산정함.

○ 제주 하천유출 최적관측 및 정보화 시스템 구축

- 하천유출 관측자료의 통계분석을 수행, 유출특성을 규명하고 수문관측의 정밀도를 향상시키는 제주형 하천유량 관측기법을 개발하고 이를 토대로 양질의 수문자료 DB를 구축함.
- 제주도 수자원 관리의 효율화를 위한 수문자료 및 해석결과를 토대로 한 수자원 정보시스템을 구축, 수요처에 제공함.

□ 2세부 과제 : 제주형 지표수-지하수 통합 수문해석 기술 개발

○ 제주형 지표수-지하수 통합 해석 모형 개발

- 지표수와 지하수의 거동을 동시에 해석할 수 있는 통합적 차원의 제주형 수문성분 해석 모형을 개발하여 제주 주요 유역에 대해 토지이용과 토양

특성을 고려한 강우, 증발산, 지표유출, 기저유출, 지하수 함양량의 시공간적 분포특성을 분석하고 관측치와 비교하여 모형의 정도를 파악함.

- 주요 유역별 하천유출발생한계 및 지하수 함양량의 시간적 지체현상을 규명함으로써 제주형 함양량 산정기법을 도출하고, 이를 기반으로 제주 주요 유역에 대한 개발가능량을 산정함.

□ 3세부과제 : 제주형 최적 용수관리 기술 개발

- 제주형 용수 관리 모형 개발
 - 기존 제주도 용수관리 자료 및 이용특성을 분석, 효율적인 수자원 관리를 위한 개선점을 도출하기 위해 효율적인 용수이용량 산정 기법을 개발함.
 - 기후변화에 따른 수자원 이용의 효율화를 위해 제주 지하수의 경제적 활용 모형을 개발함.
 - 기후변화에 따른 가뭄증가에 대비한 제주형 용수수요 예측 프로그램을 개발, 단기 수요량을 예측하고, 제주 주요유역 지하수 양수량의 시공간적 자료를 구축, 통합 수문해석 모형과의 효율적인 결합을 시도하여 물이용에 따른 영향평가가 가능하도록 함.

4. 연구개발 추진방법

- 추진전략
 - 과제 특성에 부합하고 성공가능성 높이기 위한 컨소시엄 구성
 - 본 사업은 지역기술혁신사업으로 지역특성에 적합한 기술이 개발·적용되므로 연구추진의 효율성을 높이고 성공적인 사업수행을 위하여 지역의 기관별 전문인력이 포함된 컨소시엄을 구축하여 추진
 - 관련 기술을 확보한 기관 및 관련기술 사업화 경험이 있는 기관이 참여하여야 함.
 - 수자원 관련기관, 관측장비업체, 정보시스템개발 업체 참여필수
 - 관측기법 및 해석모형의 검증 및 정보시스템 구축
 - 개발된 관측기법 및 해석기술의 객관적인 검증이 필요하며 관련 자료 및 결과치는 DB구축 및 정보시스템을 통해 제공
 - 본 과제에서는 제주특별자치도에서 수행한 기존 자료를 최대한 공동활용하기 위해 공동연구협약(MOU)을 맺고 제주형 하천유출특성 해석기술 및 하천유출 최적관측 시스템 적용 등에 있어서 행정적 지원 및 기술적 지원을 충분히 받아 수행해야 함.

- 유사연구과제와 차별성 및 활용
 - 국내 하천유출특성 및 하천유출관측과는 차별화된 제주도의 지형·지질에 적합한 제주형 하천유출특성 해석기술을 표준화하고 하천유출 최적관

방안 제시	측 시스템 구축방안 제시 ○ 기 수행(종료과제, 중단과제 등) 및 현재 수행중인 동 과제 관련 연구개발 또는 사업 결과와의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함(www.kictep.re.kr 열린정보, http://rndgate.ntis.go.kr 참조) ○ 본 과제는 제주도 권역의 기후 및 지질 특성을 고려한 제주형 수자원 관리기술 개발로 기존 수자원관리기술 개발사업과의 차별화 및 연계 방안을 제시
□ 추진체계	○ 국내외 전문가 초청 세미나 및 워크숍 개최 ○ 기존 관련 연구 및 사례 분석, 전문 집단간 정보 및 기술교류 포함 ○ 연구성과를 최대한 활용할 수 있도록 수요기관 사전 고려 ○ 국토해양부, 농림수산식품부, 기상청 등 타 부처 연구개발과제의 연구성과와 공유할 수 있도록 자료의 개방화 추진 ○ 연구진은 연구책임자, 참여연구진, 위탁연구진, 협동연구진, 공동연구진 등으로 구성될 수 있음 ○ 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모할 것
5. 최종성과물	
□ 주요 최종성과물	○ 제주도의 수문/지질 특성을 고려한 맞춤형 하천유출 관측기법 개발 및 검증, 지표수-지하수 통합수문해석 기술개발 및 검증, 용수이용을 고려한 수자원 관리방안을 제시하고, 제주도 수자원의 종합적인 관리를 위한 정보서비스의 설계, 개발 ▪ 1세부 과제 : 제주형 하천유출 해석기법 개발 - 하천별 수위-유량 곡선식 - 제주형 하천유출량 측정시스템 설계서 - 3차원 GIS기반 수자원 정보시스템 개발 ▪ 2세부과제 : 제주형 지표수-지하수 통합 수문해석 기술 개발 - 제주형 지표수-지하수 통합 수문해석 기술 개발 - 제주형 지하수 함양 예측 모델 개발 ▪ 3세부 과제 : 제주형 최적 용수관리 기술 개발 - 제주형 용수자료 구축 및 용수이용량 모니터링 및 관리시스템 개발 - 제주형 용수 관리를 위한 신개념 정책방안 제시
6. 기대효과 및 파급효과	

	○ 제주도 수자원 해석기술 개발을 통해 제주도 지역의 수자원관리를 위한 기초자료 확보가 가능하고, 수자원 개발에 있어 이용가능량 및 영향분석 기술을 통해 장기적으로 안정적인 수자원 확보가 가능 ○ 제주도 신성장 동력산업인 물산업 육성을 위해 요구되는 수자원 관리 방안을 지원하고, 가장 중요한 요소인 기후변화에 대비하여 제주도 수자원의 안정적 이용기반 구축에 대한 기술제시로 관련 산업의 발전 방향 및 유지방안 계획에 크게 기여할 것으로 기대됨 ○ 향후 국내 독자적 자체기술 확보를 통해 수자원 모니터링 및 관리, 변화예측시스템을 제주도와 같은 지형 및 기후특성이 비슷한 동남아 등 저개발 국가를 대상으로 기술지원 및 기수수출이 가능함
--	---

7. 사업기간 및 소요예산	
	○ 총 연구기간 : 2011 ~ 2015 (5년) - 1차년도 연구기간 : 협약일로부터 12개월 ○ 총 연구비 : 8,700백만원 (정부출연금 6,525백만원 이내) - 1차년도 연구비 : 1,616백만원 (정부출연금 1,212백만원 이내) ○ 총연구비 및 1차년도 정부출연금은 선정평가시 상세검토 결과에 따라 조정될 수 있음 ※ 연차별 연구기간은 협약과정 중 사정에 따라 조정될 수 있음 ※ 정부출연금은 향후 정부예산 사정에 따라 조정될 수 있음 ※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토해양부소관 연구개발사업 운영규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

8. 기 타	
	○ 연구신청자는 RFP에 제시된 연구개발 내용을 기준으로 연구개발계획서를 작성하되, 과제의 목표 달성에 필요하다고 판단되는 경우 연구내용을 수정하여 제안할 수 있음 ○ 상시제안공모시 과제제안자가 본 과제의 주관연구책임자 또는 공동연구책임자로 참여시 가점 2점 부여 ○ 성과목표(지표)별 달성목표치 및 가중치 등을 연구개발계획서에 제안하여야 하며, 이는 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용됨. ○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안

- 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함

제 8 장 과제 적정성 검토

1절 기술적, 경제적, 정책적 타당성 검토

1. 기술적 타당성

- 제주 지리적특성에 적합한 수문학적 하천유출특성을 규명 메커니즘 구현
- 지표수 센서와 지하수 센서간 실시간 정보취득 및 통합 DB화 구현
- 지리정보와 관측정보의 융합을 통한 3D GIS 인터페이스 가능
- 제주형 지표수-지하수 통합 수자원관리 체계 수립
- 지속가능한 청정 제주 물산업 활성화와 정책결정지원을 위한 실시간 정보제공 체계 실현
- 섬특성을 반영한 하천수계별, 유역단위별 수문해석정보 활용을 통한 3D GIS 모형 실현

2. 경제적 타당성

- 제주도 하천유출기구 규명을 통한 지속가능한 제주물산업 발전토대 마련
- 유역별 지하수 개발 및 확보 부존량 산정 자동화를 통한 물자원 낭비 방지
- 기후특성이 비슷한 동남아 등 저개발 국가를 대상으로 기술지원 및 기술수출이 가능
- 제주도 지하수 원수대금 부과에 대한 객관적 자료 확보
- 지속가능한 물산업 육성 기반을 위한 경제적 대응방안 제공

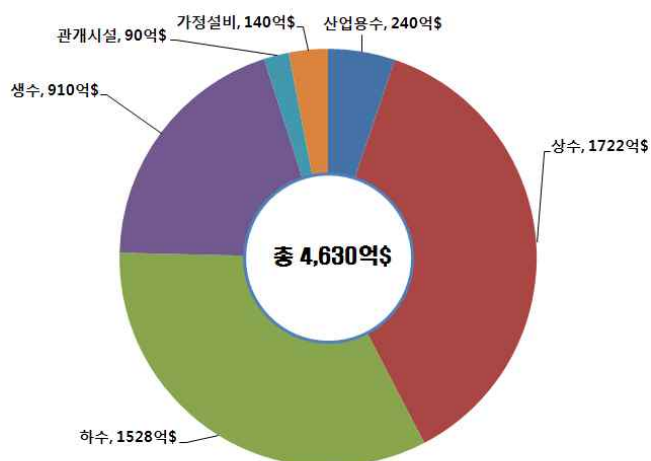
3. 정책적 타당성

- 제주도 산지·상시·도심 하천별 강우패턴 및 수문학적 유출특성 분석을 통한 제주도 개발 정책들에 일조
- 삶의 질 향상, Blue-Green제주 실현을 위한 지하수 자원 가치평가 모델의 기본 메커니즘 구현
- 제주 지리적 특성을 반영한 민·관·산·학·연 수자원 공동기술 개발 프레임워크 구현
- 제주도 물산업 이해관계자(공무원, 연구원, 기업 등)별 차별화된 지표수-지하수 정보제공을 통한 수자원 정책결정 혼선 최소화

2절 예산적정성 검토

1. 국내외 물산업 시장 현황

○ 물산업은 미래의 ‘블루골드(Blue Gold)’으로 불리우며, 세계 물산업 시장규모는 '07년 3,500억불(약 300조원)로 추정되고, '15년에는 약 2배 규모로 성장할 것으로 추산되고 있는 가운데 세계 물시장의 성장률은 5.5% 이상이 될 것으로 전망(Global Water Intelligence, '08)



<그림 8-1> 분야별 세계 물시장 규모
(Global Water Intelligence 2008)

○ 제주자치도는 연평균 강수량이 1,975mm로 전국에서 비가 가장 많이 내리는 다우지(多雨地)로 지하수 함양율도 46.1%로서 전국 평균(13.2%) 보다 훨씬 높은 편으로 고품질 지하수 상품 개발에 용이한 좋은 여건을 구비함

○ 지하수 이용가능량 범위 내에서 1차산업에서부터 3차산업까지 연계가 가능하여 물산업 육성에 최적지로 2008년 현재 약 800억 규모의 제주물산업 매출규모를 2011년 3,000억원, 2017년 1조원 매출시대를 목표로 추진전략을 설정함

<표 8-1> 2011년 기준 제주 물산업의 경제적 파급효과 (단위 : 억원, 명)

지역	품목	생산유발효과	부가가치유발효과	고용유발효과
전국	생수 및 얼음	4,884	2,357	2,941
	청량음료	1,073	392	551
	맥주	—	—	—
	합계	5,957	2,749	3,492
제주	음료품	3,937	2,224	1,226

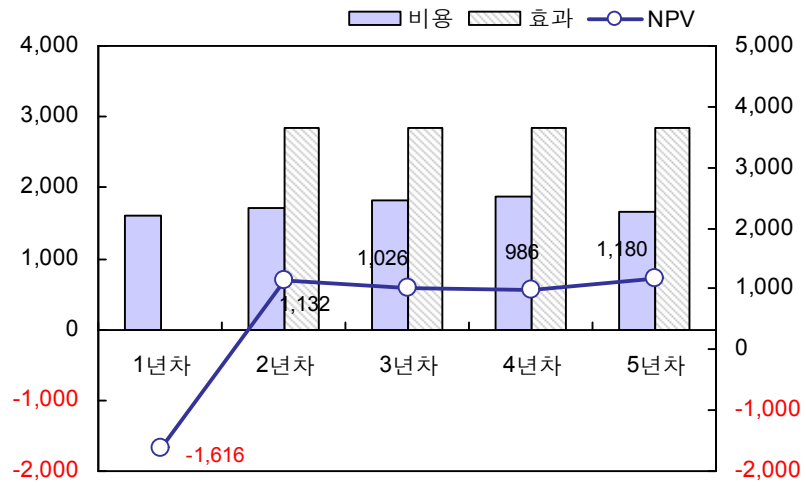
2. 정량적 기대효과 및 과제추진 타당성 분석

5년간 87억원의 투자를 통하여 총 142억원의 정량적 효과를 창출할 것으로 분석된다.

<표 8-2> 정량적 기대효과 내용

지표명	단위	화폐가치 산출식	5년간 Benefit 분석						화폐가치 합계
			구분	1년 차	2년 차	3년 차	4년 차	5년 차	
지하수 함양량 예측에 따른 물보존량 증대	백만원	지하수 이용가구기관(100곳) * 3만원 * 일일 평균보존량(2톤) * 30일 * 12개월	지표값	72,000	72,000	72,000	72,000	72,000	10,800
			화폐값	2,160	2,160	2,160	2,160	2,160	
자연재해발생 시 사회활동 지연시간 감소	시간	자연재해발생시 복구시간(1일) * 자연재해피해인원(1,000명) * 1일 근무시간(8시간) * 시간당 평균 임금(24,000원)	지표값	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	960
			화폐값	192	192	192	192	192	
자연재해 대비 농작물 소득 증대	백만원	관개 농업장(100곳) * 1ha 당 평균소득증대금액(50만원) * 평균 재배면적(10ha)	지표값	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	2,500
			화폐값	500	500	500	500	500	
			14,260						

<그림 8-2> 타당성 분석 결과



제 9 장 참고문헌

건설교통부. 2006. 수자원장기종합계획.

국가과학기술지식정보서비스 (NTIS, National science & Technology Information Service)

<http://www.NTIS.go.kr>

국가과학기술위원회. 2002. 자연재해 예측 및 저감기술 개발

제주도, 제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사Ⅲ (2003), pp.375-425)

제주특별자치도 환경자원연구원보(2004~2009)

양성기, 정우열 (2009) “SWAT 모형을 이용한 제주도 하천의 유출량 모의”, 한국환경과학회지 제18권 9호. pp. 1045~1055

김남원, 정일문, 이정우, 원유승 (2007). “지표수-지하수 통합모형을 이용한 무심천 유역의 수문과정 해석.” 한국수자원학회논문집, 제40권, 제5호, pp.419-430.

김상준, 윤성용 (2005). “유역 물순환을 고려한 지하수 개발가능량 산출 (I)- 지하수 유동 모형의 개발과 적용.” 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제25권, 제1B호, pp.35-42.

김성준. 2001. 분포형 수문 , 수질 모델링의 최근 동향과 활용. 방안한국농림기상학회 학술발표논문집, 한국농림기상학회, VOI.0, NO.0, pp.18-21.

노성진, 김현준, 장철희 (2005). “청계천 유역에 대한 WEP 모형의 적용.” 한국수자원학회 논문집, 제38권, 제8호, pp.645-653.

문덕철, 양성기, 고기원, 박원배, 2005, 제주도 주요하천의 기저유출량산정, 한국환경과학회지, 14(4), pp.405-412

문현주. 2007. 지하수자원의 합리적 이용·관리를 위한 정책방향. 한국환경정책·평가연구원.

박무중. 2005. 미국의 홍수예보 시스템. 한국수문학회지 제39권 제7호, pp.47-48

박진혁. 2006. 일본하천정보센터(FRICS) 최신시스템 소개. 한국수문학회지 제39권 제4호, pp.66-74.

수자원관리종합정보시스템 (WAMIS, Water Resources Management Information System)

<http://www.wamis.go.kr>

수자원의 지속적 확보기술개발사업단 (2010). 지표수 수문성분 해석시스템 기술 실용화. pp.22-31.

유동훈, 오운창, 박창근 (2001). “지표수-지하수의 연계 수치모형.” 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제21권, 4B호, pp.327-334.

윤성용, 김상준 (2005). “유역 물순환을 고려한 지하수 개발가능량 산출 (II)- 지하수 유동 모형의 개발과 적용.” 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제25권, 제1B호, pp.43-49.

이동준, 이도훈, 이주현 (2004). “완전분포형 지표수-지하수 연계모형을 이용한 유출 해석에 관한 연구.” 한국수자원학회 2004년도 학술발표회 논문집, pp.701-704.

이정호, 윤정호, 문유리, 김훈미, 황상일. 2007. 해안지역 지하수 수자원 통합관리방안 연구 I . 한국환경정책·평가연구원.

일본하천정보센터 <http://www.river.or.jp>

정일문, 김남원, 이정우 (2007). 유역 유출과정과 지하수위 변동을 고려한 분포형 지하수 함양량 산정방안. 한국지하수토양환경학회지, 한국지하수토양환경학회, 제12권, 제5호, pp. 19-32.

최동진. 2010. 수자원 관리의 패러다임 연구. 한국법제연구원.

최희선, 엄정희, 이길상, 권영한, 선호성, 성현찬, 이영준, 전동준, 정주철, 주용준. 2009. 환경정보체계에 기반한 공간환경계획 수립 가이드라인 마련. 한국환경정책·평가연구원.

한국건설기술연구원 (2008) 쾌적한 유역물환경 건설기술 기획연구, 건기연 2008-090 연구 보고서.

홍성훈, 김정곤 (2007). “갑천 유역의 지하수 유동 평가.” 한국수자원학회논문집, 제40권, 제6호, pp.431-446.

Sung-Kee Yang, Woo-Yul Jung, Woong-ku Han, Sang-Bong Kim, Seong-Ho Lee and Jung-Jin Seo, 2007, Efficient of Quantifying Grounwater Recharge in the Small Basin of Jeju Island, The 2nd International Conference on Environmental Sciences ICES'07 (New Opportunities of Environmental Sciences in Asia-Pacific Region), Korean Environmental

Sciences Society 232-235. Ulanbaator, Mongolia(June 28-July 6, 2007)

Kim, N. W., Chung, I. M., Won, Y. S., and Arnold, J. G. (2008) "Development and application of the integrated SWAT-MODFLOW model." J. of Hydrology 356, 1-12.

[부록 1] 기획위원회 회의록

1차 기획회의 회의록

회 의 록		
회 의 명	‘제주도 수자원 관리기반 시스템 구축 연구기획’ 기획자문회의	
회의일시	2010. 09. 01 (수) 13:00~15:00	
참 석 자	(자문단) 박순진 박사, 이규상 박사 (제주대) 김남형 교수, 양성기 교수, 정우열 연구원, 한웅규 연구원, 이준호 연구원 (건기연) 정일문 연구위원, 김지태 연구원	
회의내용 및 결과	○ 제주지역 수자원 관리기반 시스템 구축의 기술개발 범위 설정 - 광범위한 내용이 아닌 제주도 전지역의 물수지 해석 및 제주하천유출의 특성 및 관측위주의 세부적 사항 제시 ○ 연구공정계획표 작성 및 검토 - 연구공정 계획표의 작성 및 기획위원회·서면보고 등의 세부적 일시 검토 ○ 제주지역 수자원 관리현황 분석 및 수자원 관리 연구개발 내용 도출	
조치사항		
첨부자료		작성자 : 제주대 김남형 교수

2차 기획회의 회의록

회 의 록		
회 의 명	‘제주도 수자원 관리기반 시스템 구축 연구기획’ 자문회의	
회의일시	2010. 09. 17 (금) 13:20~16:00	
참 석 자	(외부) 한국수자원공사 원종호 부장, 농촌연구원 이규상 박사 (연구진) 제주대학교 양성기 교수, 건기연 정일문 연구위원, 김지태 박사, 이정우 박사, 이앤위즈 송동하 이사, 김재훈 연구소장	
회의내용 및 결과	○ 과제의 제목에 선택과 집중이 필요 - 제주지역 지하수-지표수 통합 관리 시스템 구축 연구(안) 1세부) 제주형 하천유출 관리 시스템 개발 2세부) 제주형 지하수-지표수 통합 수문해석 기술 개발 3세부) 제주형 용수관리 기술 개발 ○ RFP 도출을 중심으로 기획연구 진행 필요 - R&D과제의 성격상 구체적인 성과물 도출 필요 - 기존 제주 수자원 기관과의 교류 협력 필요 - 제주지역 특성에 맞는 기법개발과 제품 개발 필요 ○ 차기 회의 전까지 각 세부과제별 준비 철저 - 하천유출량 산정 전문가협의 - 지하수-지표수 통합해석 관련 기존 연구 조사 및 분석 - 제주 환경자원연구원과의 회의 및 협력 필요	
조치사항	○ RFP초안 수정 및 기획자문위(9/17)결과 공유	
첨부자료		작성자 : 건기연 정일문 연구위원

3차 기획회의 회의록

회 의 록		
회 의 명	‘제주도 수자원 관리기반 시스템 구축 연구기획’ 자문회의	
회의일시	2010. 10. 2 (토) 09:00~12:00	
참 석 자	(외부) 제주발전연구원 박원배 박사, 환경자원연구원 문덕철 연구원 (연구진) 제주대학교 양성기 교수, 정우열 연구원, 한웅규 연구원, 이준호 연구원	
회의내용 및 결과	○ 제주지역 연구내용 도출 - 1-1 제주형 하천유출특성 해석 수문관련 기초현황 조사 상시하천과 건천 구분 유량자료 확보 유역단위 하천유출 특성 해석 - 1-2 제주 하천유출 최적관측 시스템 하천유출자료의 고도화 기술 하천유량환산의 정밀화 ○ 차기 제주도 회의시 제주지역 연구자 참여 요망 - 제주특별자치도 환경자원연구원 연구팀 참여 - 제주상하수도 본부 연구실무자 참여	
조치사항		
첨부자료		작성자 : 제주대 김남형 교수

4차 기획회의 회의록

회 의 록		
회 의 명	‘제주도 수자원 관리기반 시스템 구축 연구기획’ 자문회의 및 현장조사	
회의일시	2010. 10. 5 (화) 09:00 ~ 18:00	
참 석 자	(외부) 제주 환경자원연구원 고기원 부장, 박윤석 연구원, 강봉래 연구원, 제주상하수도본부 이병철 연구원 유량조사사업단 김치영 박사 한국농어촌공사 제주지부 박순진 차장, 전병철, 이동림, 한창석 연구원 (연구진) 제주대학교 김남형 교수, 양성기 교수, 정우열 연구원, 한웅규 연구원, 이준호 연구원. 건기연 정일문 연구위원, 김지태 박사, 이앤위즈 송동하 이사, 김재훈 연구소장	
회의내용 및 결과	○ 연구진 현장조사 결과 하천유출 특성 및 관측 시스템 구축이 매우 필요함 - 육지부와 매우 상이한 하천특성으로 하천유출특성을 해석하고 관측하는 부분에 관한 연구 진행 필요 ○ 도 실무자의 요구사항 수용 - 제주형 하천유출특성 해석 부분은 현재 제주연구팀에서도 시행착오를 겪고 있는 부분이므로 서로 교류하여 연구진행 - 웹기반 시스템 구축후 지속적 관리기술이 필요하고 실제 실무관리자와의 사전 협의 필요 - 현재 진행 중인 물수지 및 해석 연구와 상호보완하여 업그레이드 연구 ○ 차기 회의 전까지 예산 및 보고서 내용 정리 - 차기 회의 (10. 14)전까지 각 세부 및 세세부과제별 연구내용 확립 및 예산정리	
조치사항		
첨부자료		작성자 : 제주대 김남형 교수

5차 기획회의 회의록

회 의 록		
회 의 명	‘제주도 수자원 관리기반 시스템 구축 연구기획’ 자문회의 및 현장조사	
회의일시	2010. 10. 14 (목) 15:00~17:00	
참 석 자	(외부) 건국대학교 강부식 교수, 농촌연구원 이규상 박사, 제주발전연구원 박 원배 박사 (연구진) 제주대학교 양성기 교수, 건기연 정일문 연구위원, 김지태 박사, 이앤위즈 송동하 이사, 김재훈 연구소장	
회의내용 및 결과	○ 제주도 지자체와의 관계 및 상호 협력방안 논의가 필요함 - 본 과제가 시작되면 제주 지자체와 MOU등을 통해 명시적인 협력 방 안을 논의할 계획임 ○ 연구 중복성 문제를 정확히 확인해야 함 - 개별적인 요소연구는 있었으나 체계적인 중장기 연구는 미흡했음. 기존 제주지역 R&D리스트를 재검토할 예정. ○ 관측/모니터링 기간에 비해 관측밀도가 부족해보임 - 기관측값을 최대한 활용토록 함(지하수 110공, 하천 부분적) ○ 제주 물산업이 부각되도록 과제가 진행되어야 함 - 제주 물산업과 내륙 물산업은 규모와 차원이 다르므로 다르게 접 근해야 하며 경제적 가치평가가 필요함 ○ 용수이용 문제의 신뢰성을 높여야 함 - 이용량 모니터링의 문제점을 파악하여 적절한 대처가 필요함 ○ 모델링 자료의 검증 방법이 필요함 - 세부과제별 연결성강화를 통해 검증을 위한 관측방안을 제시하고 자료와 모델을 연계하여 분석하는 방안 모색이 필요함	
조치사항	○ RFP(안)의 수정	
첨부자료		작성자 : 건기연 정일문 연구위원

6차 기획회의 회의록

회 의 록		
회 의 명	‘제주도 수자원 관리기반 시스템 구축 연구기획’ 착수보고	
회의일시	2010. 10. 14 (목) 15:00~18:00	
참 석 자	(연구진) 제주대학교 양성기 교수, 건기연 정일문 연구위원, 김지태 수석연구원, 이앤위즈 송동하 이사, 김재훈 연구소장 (자문위원) 단국대 강부식 교수, 농어촌연구원 이규상 박사, 제주발전연구원 박원배 박사	
회의내용 및 결과	○ 제주도 지자체와의 관계 및 상호 협력방안 논의가 필요함 - 본 과제가 시작되면 제주 지자체와 MOU등을 통해 명시적인 협력 방안을 논의할 계획임 ○ 연구 중복성 문제를 정확히 확인해야 함 - 개별적인 요소연구는 있었으나 체계적인 중장기 연구는 미흡했음. 기존 제주지역 R&D리스트를 재검토할 예정. ○ 관측/모니터링 기간에 비해 관측밀도가 부족해보임 - 기관측값을 최대한 활용토록 함(지하수 110공, 하천 부분적) ○ 제주 물산업이 부각되도록 과제가 진행되어야 함 - 제주 물산업과 내륙 물산업은 규모와 차원이 다르므로 다르게 접근해야 하며 경제적 가치평가가 필요함 ○ 용수이용 문제의 신뢰성을 높여야 함 - 이용량 모니터링의 문제점을 파악하여 적절한 대처가 필요함 ○ 모델링 자료의 검증 방법이 필요함 - 세부과제별 연결성강화를 통해 검증을 위한 관측방안을 제시하고 자료와 모델을 연계하여 분석하는 방안 모색이 필요함	
조치사항	○ RFP(안)의 수정	
첨부자료		작성자 : 건기연 정일문 연구위원