

수 자원분과

국내외 시험유역 현황조사

한국수자원학회 수자원 분과

1. 연구배경 및 필요성
 - 1.1 수자원 기초조사의 필요성
 - 1.2 수자원환경 변화와 기초조사
 - 1.3 수문기초조사와 시험유역의 필요성
2. 국내시험유역
 - 2.1 한강유역
 - 2.2 낙동강유역
 - 2.3 금강유역
3. 국외 시험유역
 - 3.1 일본의 시험유역
 - 3.2 영국의 시험유역
 - 3.3 미국의 시험유역
 - 3.4 호주의 시험유역
 - 3.5 캐나다의 시험유역
 - 3.6 스위스의 시험유역
 - 3.7 아프리카의 시험유역

1. 연구배경 및 필요성

1.1 수자원 기초조사의 중요성

우리나라의 1970년대 이후 고도성장은 수자원개발에 의한 전력공급과, 용수공급 및 홍수로 인한 재난방지 등이 없이는 불가능한 일이었고 효율적인 수자원개발은 수자원 기초조사 없이는 불가능한 일이다. 수자원 기초조사에 대한 근세기 국내 역사를 살펴보면, 수자원 종합개발 10개년 계획(1975-1996)과 4대강 유역 종합개발 계획(1971-1981)을 통하여 수자원 개발을 위한 기초 과업으로 수자원 기초조사를 강화하기 위한 여러 정책들이 시행되었다. 그리고, 2000년대 물 수요의 급증에 대처하기 위하여 수립한 수자원 장기 종합 계획(1991-2001)에서는 수자원 조사·연구 사업의 강화를 기본방침으로 설정하였다. 또한, UNESCO가 주관하는 국제 수문개발계획의 일환으로 1982년부터 2001년까지 우리나라 3대 하천의 상류지역에 위치한 한강의 평창강, 금강의 보청천, 낙동강의 위천을 시험유역으로 설정하여 제반 수문량을 조사 분석하였다.

수자원 기초조사는 국가 발전의 초석 역할을 담당하는 수자원 간접자원에 해당되어, 수자원 종합개발 및 관리를 위한 가장 기본적인 사업이라 할 수 있다. 즉, 이러한 수자원 인프라가 없거나 부실하다면 수자원 종합관리 그 자체가 성립되지 않거나 사상누각에 불과할 것이다. 수자원 기초조사를 통하여 획득된 자료는 수자원 계획에서부터 설계·시공을 거쳐 운영에 이르기까지 필수적으로 요구되는 수자원 분석정보의 생산의 기본자료로 활용된다. 수자원의 확보 없이는 국가 발전이 있을 수 없다는 점을 생각할 때 수자원 기초조사의 중요성을 다시 한 번 강조하지 않을 수 없다.

1.2 수자원환경 변화와 기초조사

우리나라의 수자원개발사업은 1960년대까지는 지역적인 수요에 따라 개별사업계획 또는 단일목적사업계획에 의거하여 수자원개발사업이 이루어졌으나 1970년대부터는 유역단위 하천종합개발계획을 수립하고 대규모 다목적댐을 중심으로 한 종합적인 수자원개발정책을 수행하여 치이수면에서 괄목한 성과를 거둬온 물론 그 동안 지속적으로 성장하여 온 경제사회발전을 가능케 한 원동력이 되었다.

1980년대에는 유역종합개발의 개념이 다소 희석되기도 하였으나 4대강유역조사에서 계획된 다목적댐을 순차적으로 건설하여 4대강유역의 용수공급체계의 주요골격을 갖추게 되었고 그

결과로 각 하천의 본류 구역을 중심으로 양적인 면에서나마 용수의 안정공급을 조장할 수 있게 되었다.

그러나 1990년대에 들어와서는 수자원개발에 대한 관심은 점차적으로 감소되고 다시 과거의 개별사업위주의 수자원개발이 이루어지고 있으며 수자원 부분에 대한 투자규모도 타 부분 사회간접자본투자에 비해 적어 물문제는 해결의 실마리를 찾기보다 점차 누적되어가는 경향을 보이고 있다.

최근 급속한 도시화 및 산업화에 따른 용수수요의 집중화와 대량화는 용수 공급의 불균형을 가중시키고 지역에 따라 심각한 용수난에 직면해 있다.

1994년부터 1996년 여름까지 계속된 남부 지역에 가뭄에서 보는 바와 같이 대부분의 지류 하천은 하천유량의 부족으로 건천화시켜 황폐한 공간으로 전락시켰다. 또한 생활 및 공업용수, 농업용수 등 각종 용수 수요의 증가는 생활하수, 공장폐수, 농축폐수로 하천으로 되돌아오고 이로 인한 하천수질 오염은 하천의 이용을 제한시키는 결과를 초래하게 되었다.

생활수준의 향상과 도시 및 산업시설의 확대에 의해 가뭄 및 홍수피해 Risk가 커지고 이상 가뭄 및 홍수에 따른 이수 및 치수 안전도를 재검토해야할 단계에 있다.

더욱이 하천공간은 주민들에게 휴식과 휴양기회를 제공하는 가장 친숙한 자연공간으로써 생활수준의 향상에 따라 수변환경개선에 대한 국민의 여망이 증대하고 있다.

한편으로는 댐개발적지는 감소하고 있고 수몰지 보상비의 증가와 댐개발에 대한 지역사회의 반발로 인해 수자원 개발은 큰 부담을 안고 있다. 1995년대부터 지방자치제가 본격화됨에 따라 지역간 수리권과 용수배분문제 그리고 수질환경악화에 대한 책임문제 등으로 물로 인해 분쟁이 증가되고 이로 인해 물문제 해결은 더욱 어려워지고 있다.

결국 이러한 수자원 환경은 우리에게 고도의 수자원 개발과 함께 수요관리를 병행할 것을 요구하고 있다.

수자원 이용의 고도화는 정확한 수자원 분석에서 얻어 질 수 있다. 정확한 수자원 분석은 정확하고 일관성 있는, 그리고 표준화된 방법으로 관측 및 실측된 자료를 이용해야만 얻어 질 수 있다.

그러므로 수자원의 합리적인 개발, 이용과 관리를 위해서는 하천수리수문 및 수질자료 등 수자원 기초자료와 수자원 이용실태 자료에 대한 정확성과 신뢰성의 확보가 선결과제이다.

우리나라의 여러 기관들이 수행하여 얻어진 수자원 기초자료는 치수위주로부터 크게 벗어나지 못하고 있으며 자료의 신뢰성 및 자료 상호간 연관성, 표준화 등이 부족하여 수자원의 고도이용에 어려움이 있다. 또한 수자원 이용자료는 각 목적별 용수이용시설의 계량화가 미흡하여 현재까지도 용수수요를 실측치에 기준하기보다 경험식에 의해 추정되고 있는 실정이다.

질적으로 우수한 수문기초 자료가 요구되고 있는 것이다.

1.3 수문기초조사와 시험유역의 필요성

수자원 기초조사의 경우, 각종 학술대회 때마다 학교나 기업 관계자들로부터 수자원 기초자료의 부실성에 대하여 많은 지적을 받아왔고, 아직까지도 그들이 요구하고있는 문제점의 해결방안이 제시되지 못하고 있는 실정이다. 이 문제 해결을 위한 첫걸음은 신뢰성 있고 일관성 있는 조사자료 축적과 표준화된 수행절차(SOP)에 의하여 얻어진 장기적인 자료 확보에 있으며, 이것을 위해서는 광범위하고 심도있는 수문기초조사 연구를 집중적으로 할 수 있는 시험유역운영이 필수적이라 하겠다.

시험유역이라 함은 특정한 수문학적 또는 수자원 관련 특정인자에 따른 유역의 반응을 살펴보기 위한 것으로, 수문자료의 지속적인 수집과 그 자료를 이용하여 모형을 개발하거나, 기존 모형에 적용하여 검증하는 것을 목적으로 한다.

현재까지, 국내에 다수의 시험유역이 운영되고 있으나, 대상유역이 종합적인 이수 및 치수 관리를 고려할 수 있을 정도의 대표성을 갖지 못하며, 유역면적이 협소하여 수자원 관리에 필수적인 수자원 관련 정보를 충분히 수집하고 있지 못하다. 또한 운영주체가 불확실하여 체계적인 관리와 장기 계획에 의한 일관성 있는 자료축적에 문제가 있고, 댐 운영을 고려하지 않은 단순한 자료습득과 분석이 주된 목적이다. 따라서 정확한 표준기법에 의한 일관성 있는 자료획득과 그 방법의 고도화, 자료관리의 체계화와 자료를 이용한 국가 수자원 관리 체계 확립에는 새로운 형태의 시험유역 선정과 관리가 필요하다.

이 시험유역을 통하여 기초자료의 획득에서부터 신뢰도 분석과정에 의한 공인화 단계를 거쳐 고급의 수문정보 생산을 위한 일련의 조직화-통합화된 수자원 기초조사의 패러다임을 제시할 필요가 있다.

국내 수자원관련 여러 기관에서는 이와같은 목적으로 장기간 집중적으로 필요한 사항을 연구하기 위한 시험유역을 설정하여 길게는 30년전부터 운영하여 상당량의 자료를 확보하고 시험유역을 확대운영하고 있는 상황이다.

물에 대한 정확한 정보는 고부가가치를 띤 정보로서 평가되어야 할 것이다. 고부가가치의 정보를 생산하기 위해서는 투자가 필요하다. 예를 들면 시험유역은 고품질 정보를 생산하기 위한 공장이며, 이곳에서는 고품질 정보를 생산하기 위한 공정을 개발하고 필요한 자재들을 생산하게 된다. 결국 이 정보는 국내 뿐 만 아니라 해외에도 팔리게 되며, 투자액은 바로 회수될 수 있다. 다만 이 정보를 국내외에 팔기 위해서는 국내외적으로 통용될 수 있는 표준화

된 방법으로 이 정보가 만들어져야만 할 것이다. 이 표준화시키는 과정 또한 ‘공장’에서 수행해야 할 것이다. 하지만 여러 공장에서 똑같은 방법으로 표준화 작업을 한다면 이것은 경제적으로 중복투자가 되는 것이다.

따라서 시험유역은 유지관리가 쉬운 최소한의 면적으로 시작되고, 여기서 축적된 기기 및 기술, 방법은 점차적으로 전 유역으로 확대되어야 경제적으로 타당하다. 시험유역에서 얻어진 수문기초조사는 다음 장에 기술된 것처럼 수자원계획, 수문모형검증, 관측 및 실측의 표준방법개발 등에 쓰이게 된다. 또한 21세기에는 수자원관련 자료의 국제적인 수요가 늘어날 것으로 예상되는 바 국제적으로 통용될 수 있는 정확한 방법에 의한 자료취득으로 세계를 선도할 수 있는 위상을 정립할 수 있는 좋은 기회가 될 뿐만 아니라, 웹페이지를 이용한 신뢰성 있는 수문자료를 유료 제공함으로써 새로운 사업영역을 개척할 수도 있을 것이다.

현재 선진 외국의 수자원 관련 기술과 우리나라와 비교할 때 수자원 이용을 위한 기술이나 학문의 수준이 떨어진다고 평가되지는 않는다. 이미 세계의 학문이나 기술은 인터넷이라는 통신수단을 통하여 실시간으로 평준화되고 있는 실정이다. 우리가 외국의 수준에 못 미치는 것은 정부의 수자원에 대한 중요성 인식 부족과 투자 부족이 첫 번째가 되며, 두 번째가 바로 장기간의 신뢰성 있는 수문 기초 자료의 결핍에 있다.

따라서 정부는 한국이 이미 유엔으로부터 물부족국가로 지명된 점을 중요시하고, 국내 유일의 물전문기관으로서 책임감을 가지고 과감한 장기 투자계획을 세우고 신뢰성 있는 수문기초 자료를 제공하여 최근 심화되고 있는 수자원 환경변화에 대처하기 위한 수자원의 고도이용에 활용케 함과 동시에 수자원 정보사업을 전략사업으로서 추진해나갈 필요가 있다.

이러한 측면에서, 본연구는 국내외 기존 시험유역의 실태를 개략적으로 파악해 보기로 한다.

2. 국내시험구역

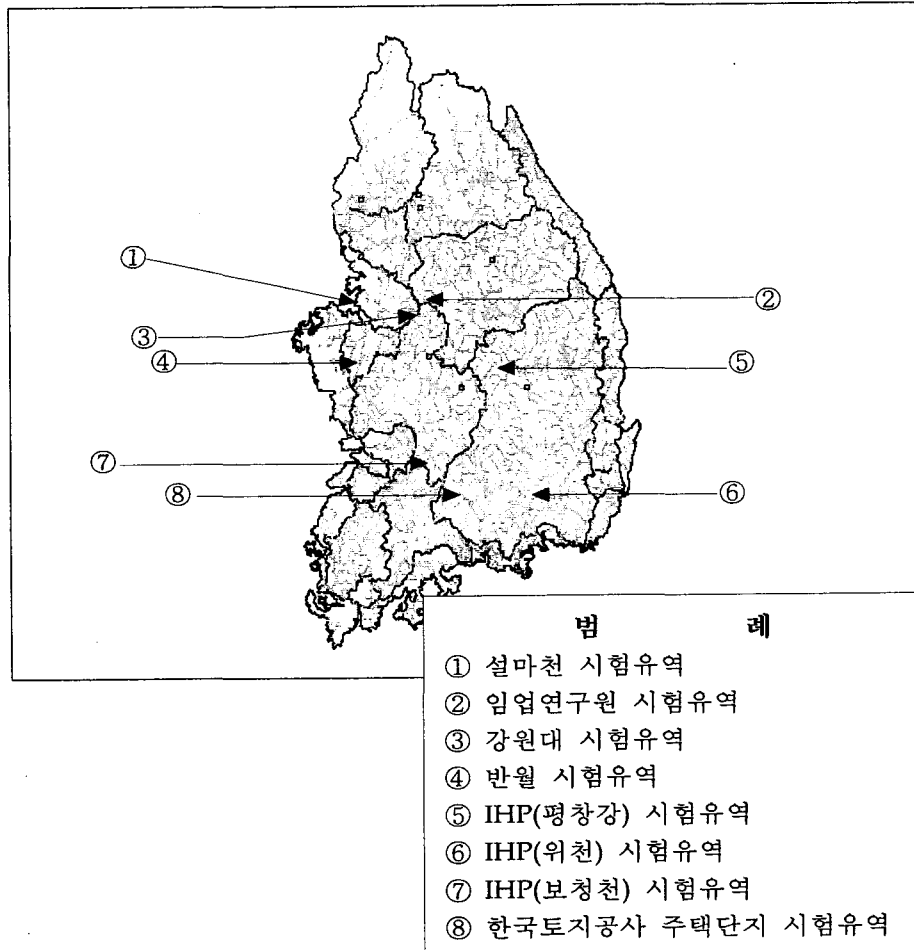


그림 2.1 우리나라 시험구역 현황도

2.1 한강유역

2.1.1 IHP 시험유역

범세계적으로 야기되고 있는 물 문제를 해결하고 수자원의 합리적인 개발, 이용 및 관리를 위하여 UNESCO에서는 국제수문개발계획(IHP)을 수행 중에 있다.

(1) 목적

IHP 사업의 일환으로 현재 우리나라에서는 한강 유역의 평창강, 금강유역의 보청천 및 낙동강 유역의 위천 등 3개 대표유역에 대하여 제 수문량을 계속 조사, 분석하고 있는데 이는 우리나라의 유역특성을 규명하는 기초자료를 제공함으로써, 그 결과를 UNESCO-IHP 회원국간의 기술정보의 교환자료로 활용하는데 그 목적이 있다.

(2) 연혁

1964년에 UNESCO 제13차 총회에서 향후 10년간 세계 또는 지역적인 물의 효율적인 관리를 위해 “국제수문개발 10개년 계획”이 수립되어 1965년부터 1974년까지 수행되었다. 이 계획의 마지막 연도인 1974년 실시된 UNESCO 총회에서는 이 계획에 의거하여 국제적으로 수행된 연구결과에 대한 검토를 통하여 앞으로도 이와 같은 수문 및 수자원에 관한 국제적인 연구 필요성을 인정하고 이를 국제수문개발계획(IHP)으로 변경하여 지속하도록 결정하였다. 이와 같이 출발한 IHP 사업은 1975년부터 1980년까지 제 1단계 사업이, 1981년부터 1983년까지 제 2단계 사업이, 1982년부터 1989년까지 제 3단계 사업이, 1990년부터 1995년까지 제 4단계 사업이 그리고, 1996년부터 현재까지 제 5단계 사업이 실시되어 국제적인 수문학 및 수자원분야의 발전 및 국제 협력이 상당한 기여를 하고 있다. 이 기간 동안에는 주로 각종 수문해석방법의 발전 및 실무 적용을 위한 과학적 기초의 확립, 세계 물 부족량의 과학적 산정 및 수문정보의 교환, 수문기술자의 교육 및 훈련 등에 중점이 두어져 연구가 수행되었다.

각 단계별 과업수행 내용은 표 2.1과 같다.

(3) 일반 현황

IHP 대표시험유역 중 한강수계에 있는 평창강은 강원도 평창군 평창읍, 방림면, 대화면, 봉평면, 진부면에 위치하고 있으며 지형 특성은 비교적 경사가 급하고 해발표고가 400m에 근접하는 산지유역이다. 대표시험유역내의 수문관측시설은 자기우량계, 증발접시, 자기수위계 및 자기지하수위계 등이 있고 강우량, 증발량, 수위, 지하수위, 유량, 부유사량 및 기상자료 등의 관측치를 수집하여 분석에 이용할 수 있도록 하고 있다. 대표유역내의 수문 및 기상자료의 정밀한 관측을 위해서 수문관측소를 수시로 방문하여 현지 지도하고 관측자료를 점검 보완함과 동시에 필요한 자료를 실측하여 수문자료를 수집 정리하고 이로부터 기초분석을 실시하였다. 각 유역별 수문관측소 현황, 유역현황, 기상현황은 표 2.2와 같다.

표 2.1 국제수문개발계획 3개 유역의 사업 계획

과업 단계	조사기간	대표유역	조사내용
IHD	1967~1974	3개유역 (경안천, 무심천, 신천)	· 수문기본자료 수집정리 분배 · 수자원부존량 및 물수지에 관한 연구
IHP 1단계	1975~1980	3개유역 (경안천, 무심천 상류, 신천 상류)	· 정량·정성적인 수문자료의 수집, 정리, 보관 · 수문해석방법의 표준화 · 물수지 계산방법 개발 · 극대 홍수량 산정방법의 개발 등
IHP 2단계	1981~1983	반월 시험유역	· 도시화에 따른 계수문량 조사
IHP 3단계	1982~1989	3개유역 (평창강, 위청, 보청천)	· 홍수량 및 유출량 산정방법 표준화 · 홍수량 추정 MONOGRAM 작성 · 물수지 해석방법 모델 개발 · 저수유출 계산방법 개발
IHP 4단계	1990~1995	"	· 대기, 유역 수자원시스템 상관관계 · 기후변동과 수문시스템 변화 · 수자원의 평가 및 설계방법 · 수자원 개발과 환경영향 평가 · 수자원계획 및 관리
IHP 5단계	1996~2001	"	· 지구의 수문학적 및 지구화학적 작용 · 지표면 환경에서 생태수문학적 변천 · 위험에 처한 지하수 자원 · 비상 및 갈등 상태에서 수자원 관리 전략 · 건조 및 반건조 지역에서 통합수자원 관리 · 습윤 열대 지역 수문학 및 물관리 · 통합 도시 물관리 · 지식, 정보 및 기술의 이전

표 2.2 진행중인 IHP(평창강) 대표유역의 수문관측소 및 유역특성 현황*

구 분		평 창 강
수문 관측소 현황	자기우량계 및 증발접시	11 개소
	자기 수위계	6개소
	수위계 및 지하수위계	5개소
유역현황	유역면적(km ²)	519.69
	최장유로연장(km)	51.85
	평균경사(rad)	0.33291
	유역평균폭(km)	10.022
	토지이용도	논 3.19% 밭 8.33% 농가 2.62% 산림 85.87%
	하천밀도	1.371
	형상 계수	0.193
기상현황**	년평균 기온(°C)	8.3
	년평균 상대습도(%)	72.8
	년평균 풍속(m/sec)	4.0
	년평균 일조시간(hr/day)	6.1
	년평균 계기증발량(mm)	834.4
	년평균 강우량(mm)	1,338.4 (대관령 측후소)

* 국제수문개발계획(IHP) 대표유역 연구보고서, 건설부, 1989.12.

** 1982년 10월부터 1989년 9월까지의 7개년자료, IHP보고서(1982~1989)

2.1.2 임업연구원 시험유역

산림청 산하의 임업연구원에서는 1979년부터 시험유역을 운영하여 왔다. 주로 산림 수문학에 관련된 연구를 주로 하여 그 운영이 이루어졌는데, 연구 대상 지역에는 철책이 설치되어 일반인의 출입을 통제하는 등 관리가 잘되고 있는 편이다.

(1) 목적

산림 지역에 대하여 토양과 식생 등의 종류 및 특성에 따른 유출을 비롯하여 수관차단 등 임상에 따른 유출율의 변화 및 산지에서의 토사 유출량이나 수목의 종류와 계절에 따른 강우의 차단효과 등 산림수문에 관련된 연구를 주목적으로 한다.

(2) 일반현황

현재 임업연구소에서는 전국적으로 15개의 시험유역을 운영하고 있는데 이 중에서 가장 대표적이라고 할 수 있는 곳은 중부임업시험장(광릉수목원) 내에 위치한 시험유역으로 침엽수림 지대와 활엽수림 지대를 구분하여 운영하고 있다. 광릉수목원 내에 위치한 시험유역의 개략적인 개요는 표 2.3과 같다.

표 2.3 임업연구원 시험유역 개요(중부임업시험장)

유역 구분	시험유역 1	시험유역 2
위 치	경기도 포천군 소흘면	경기도 포천군 소흘면
설치년도	직동리	직동리
유역면적	1980년	1980년
연강수량	13.6ha	2.2ha
해 발 고	1,405mm	1,405mm
임 상	El. 160 - 290m	El. 280 - 470m
모 암	침엽수림	활엽수림
조사항목	화강편마암	화강편마암
	강우량, 유출량, 유토량	강우량, 유출량, 유토량

15개 시험유역 내 위치한 산림 이수댐의 현황은 표 2.4와 같다.

2.1.3 반월 시험유역

서울대학교 농업생명과학대학 농공학과에서는 1985년부터 주로 저수지 물 관리에 관한 연구를 위하여 반월 지역에서 유역조사의 실시 및 시험유역을 운영 중에 있다.

표 2.4 임업연구원 산림 이수댐 현황

이수댐명	위치	유역면적 (ha)	모암	임상	설치 년도
양주	경기도 양주군 회천읍 을정리(2개소)	5.24	화강암	혼효림	1979
광릉 (침엽수림)	경기도 포천군 소흘읍 직동리	13.6	화강 편마암	침엽수림	1980
광릉 (활엽수림)	경기도 포천군 소흘읍 직동리	2.2	화강 편마암	활엽수림	1980
남양주	경기도 남양주시 진접읍 금곡리	175	화강암	활엽수림	1993
양평	경기도 양평군 양동면 계정리	35	화강암	혼효림	1995
춘천(사북)	강원도 춘천시 사북면 지암리	240	화강암	혼효림	1994
춘천 (복산)	강원도 춘천시 복산면 추곡리	160	화강 편마암	활엽수림	1995
괴산	충북 괴산군 연풍면 적석리	298	퇴적암	혼효림	1994
공주	충남 공주시 반포면 도남리	32	퇴적암	활엽수림	1995
완주(1)	전북 완주군 동상면 대아리	64	퇴적암	활엽수림	1995
완주(2)	전북 완주군 동상면 대아리	18	퇴적암	활엽수림	1995
곡성	전남 곡성군 곡성읍 신기리	50	편마암	침엽수림	1994
경산	경북 경산군 의촌면 대한리	75	화강암	활엽수림	1993
진해	경남 진해시 지은동	40	화강암	혼효림	1993
남해	경남 남해군 이동면 신전리	54	퇴적암	혼효림	1995

(1) 목적

반월 시험유역은 중규모 저수지의 내한능력에 따라 관계용수 이용도의 극대화를 위한 효율적인 물 관리 방법을 개발하고 물 관리 시설기준 및 기존 시설물의 개보수 대책의 수립을 통

하여 과학적이고 체계적인 저수지 물 관리로 한해 극복을 위한 인력 및 경비를 절감하고 안정적인 용수공급 방법 등의 모색을 그 목적으로 한다.

(2) 일반현황

반월 시험유역 내에는 수위관측소 5개소, 우령 관측소 1개소가 설치되어 수문자료의 측정이 이루어지고 있으며, 기상 자료는 기상청 수원측후소의 자료를 이용하고 있다. 이 지역의 연평균 강수량은 1,327.8mm, 연평균기온 11 °C, 연평균 증발량은 1,126.5mm이다. 시험유역 내 소유역별 특성은 표 2.5와 같다.

표 2.5 반월 시험유역의 유역 특성 인자

유역 유역특성	WS-1	WS-2	WS-3	WS-4	WS-5	WS-6	WS-7	WS-8	평 균
유역면적(km ²)	2.75	12.20	4.80	1.33	0.47	27.5	8.42	3.70	7.65
유로장(m)	3.88	4.80	3.85	1.96	1.40	7.0	4.29	2.95	3.76
형상계수	0.19	0.53	0.32	0.35	0.24	0.562	0.458	0.425	0.39
최대기복량(m)	81.4	439.8	435.7	136.8	110.9	456.8	127.0	176.9	245.7
기복량비	0.021	0.092	0.113	0.070	0.079	0.065	0.030	0.060	0.066
하천 평균 경사(m/km)	13.77	17.42	31.4	20.44	37.02	8.63	4.00	16.70	18.7
하천빈도(개/km ²)	0.364	1.64	1.45	2.26	2.13	1.13	0.71	2.70	1.55

시험유역 내 소요역별 위치, 관측 항목, 관측 목적은 표 2.6과 같다.

2.1.4 강원대 시험유역

강원대학교 농공학과에서는 1994년 시작하여 지금까지 농촌 지역의 물오염 특성을 규명하기 위하여 운영되고 있다.

(1) 목적

강원대학교 시험유역은 북한강의 지류인 방동 1천과 방동 2천을 대상으로 하고 있으며, 농촌 지역의 물오염 특성을 규명하기 위한 연구사업의 일환으로 비점오염원에 목적을 두고 운영하고 있다.

(2) 일반현황

강원대학교 시험유역은 유량과 수질을 측정하고 있으나, 관측기기는 설치하지 않고 필요시

표 2.6 반월 시험유역 대상 지역 및 수문관측 현황

구분 지점	위 치	관측종목	관측목적
WS-1	경기, 화성, 반월 삼천리	자기하천수위	유역유출량 추정
WS-2	경기, 화성, 반월 둔대리	자기저수지수위	저수지수위 변화분석
WS-3	경기, 화성, 반월 속달리	자기저수지수위	유역유출량 추정
WS-4	경기, 화성, 반월 팔곡리	자기하천수위	유역유출량 추정
WS-5	경기, 화성, 반월 능앞	자기하천수위	유역유출량 추정
WS-6	경기, 화성, 반월 반월교	자기하천수위	유역유출량 추정
WS-7	경기, 화성, 반월 건건리	간이하천수위	유역유출량 추정
WS-8	경기, 화성, 반월 둔대리	자기하천수위	유역유출량 추정
우량계	경기, 화성, 반월 아래삼천리	자기우량	강우 - 강도 자료
통 관	경기, 화성, 반월 아래삼천리	Parshall Flume 자기수위	저수지 관계량 계산

호우 사상별로 유량과 수질을 측정하여 분석하고 있으며, 강수량은 춘천 측후소의 자료를 이용하고 있다.

이 유역은 아직까지 거의 개발이 안된 우리나라의 전형적인 농촌지역으로, 전체적으로 상류의 산악과 하류부 및 하안부의 농경지로 구성되어 있다. 농업은 밭농사와 논농사가 거의 50% 정도이다. 농업과 함께 주 소득원으로 축산업을 겸하고 있으며 소와 개가 주를 이루고 있다. 시험유역의 개황은 표 2.7과 같다.

2.1.5 설마천 시험유역

한국건설기술연구원에서는 1995년부터 1999년 현재까지 연차적으로 설마천 시험유역을 운영하고 있다. 설마천 유역은 임진강하구에서 약 46km 상류인 경기도 파주군 적성면에 위치하고 있으며, 유역면적 18.5km², 유로연장 11.3km로서 수지상의 형태를 이루고 있다. 이중 유역 중류부에 위치한 영국군 전적비교를 유역의 출구점으로 하는 지역을 시험유역 선정하여 운영 중에 있다.

표 2.7 강원대학교 시험구역의 개요

구분		방 동 1천	방 동 2천	비고
구역면적		9.2km ²	4.6km ²	
인 구		368 명	271 명	
가구수(비농가)		86(17)	64(3)	
농지이용면적	논	58.0 ha	49.0 ha	
	밭	57.5 ha	52.6 ha	
가축사육수	소	562마리	418마리	
	개	123마리	112마리	
	닭	92마리	125마리	
조사항목		<ul style="list-style-type: none"> ● 유량, 지하수위, 지하수질 ● 수질 : TSS, TP, TN, NO₃-N, 박테리아, BOD ● 유출량과 수질의 관계 ● 구역의 특성이 수질에 미치는 영향 		

(1) 목적

설마천 시험구역은 소규모 유역을 대상으로 강수량, 수위, 유량, 유사량, 수질 등 각종 수문분석에 필요한 자료를 수집하고 분석하여, 이를 토대로 수문모형을 검증할 수 있도록 하며 나아가 구역의 특성에 따른 수문특성을 연구하고, 시험구역 운영과 병행하여, 수문관측 기술의 개선방안과 새로운 관측기기의 적용 등 수문자료의 수집과 분석 및 수문 관측망 운영에 대한 개선방안을 제시하는데 그 목적을 두고 있다. 설마천 시험구역에서 중점적으로 연구되고 있는 과제들은 다음과 같다.

- 1) 수위·유량 및 기상자료의 수집 및 정리
- 2) 유량측정 및 수질 측정
- 3) 관측소의 유지관리
- 4) 관측방법의 개선 및 연차적 시험구역 운영계획 수립

(2) 일반 현황

현재 설마천 시험유역에서는 강우, 수위, 유량 등의 수문, 기상 항목에 대한 관측 및 유출감수곡선, 홍수 유출율, 유출계수 등의 산정을 통한 유출특성 분석과 지하수 함양량 추정 등이 이루어지고 있다. 특히 기상관측의 경우 1996년 10월부터 AWS에 의하여 풍향, 풍속, 기온, 지중 온도, 노점 온도, 습도, 일사량, 일조량, 토양수분1, 토양수분2, 토양수분3 등의 항목에 대한 일별 측정이 이루어지고 있다.

1) 관측소 개황

설마천 시험유역에는 우량관측소 5개소, 수위관측소 2개소, 기상관측소 1개소가 설치되어 있으며, 이들 관측소는 10분단위로 운영이 되고 있다.

① 우량관측소

우량관측소는 설마리, 법륜사, 전적비교, 감악산, AWS, 등 5개소에 1.6km²의 관측밀도로 설치되어 있다. 관측소별 관측 기기 내역은 표 2.8과 같다.

② 수위관측소

시험유역 내 수위관측소는 사방댐과 전작비교의 2개소에 설치, 운영 중에 있다. 현재 운영 중인 수위관측 기기의 내역은 표 2.9와 같다.

수위관측소 소유역별 우량관측소의 지배면적 및 티센계수는 표 2.10와 같다.

③ 기상관측소

시험유역에 관측원이 상주할 수 없는 관계로 자동기상 관측소(AWS, Automatic Weather Station)를 설치하여 운영하고 있다. 이를 통해 측정 가능한 기상자료는 풍속, 풍향, 온도, 습도, 강수감지, 강우량, 일사량, 일조량, 지중 온도의 총 9개 항목으로 측정시간 간격은 10분이다. AWS는 무인으로 기상을 관측하여 자체자로 로거에 저장하며, 전화선을 이용하여 외부에서 자료를 이용할 수 있도록 되어있다. AWS지점에는 대형 증발계 및 적설판이 병행 설치되어 있다.

④ 유량측정

갈수시에는 수시 측정을 원칙으로 하고 홍수시에는 상주하면서 측정을 수행한다. 유속측정 기기는 디지털식 마그네틱 및 프로펠러 유속계를 사용하고 있으며 홍수시에는 하상 위에 철판을 설치한 구조물을 설치하여 측정을 수행하고 있다.

(3) 시험유역 선정

설마천 시험유역은 다음과 같은 일련의 선정 작업을 통하여 선정되었다. 우선적으로 운영 목적과 유역의 특성 및 접근성 등이 포함된 선정기준을 선정하여 이에 대한 검토를 통해 일차적으로 도상에서 몇 개의 후보지를 선정한 후 각 후보지별 현지답사를 실시하여 기본 자료

표 2.8 우량관측소 관측기기 내역

지점	관측기기	수수구	최소측정 단위 및 간격	자료수집	자기지 방식 및 전원
설마리	자기 우량계	직경 : 200mm 높이 : 450mm Tipping Bucket	0.5mm 10분	자기지	롤식 배터리
법륜사	디지털 우량계	직경 : 200mm 높이 : 450mm Tipping Bucket	1.0mm 10분	프린터 내장	- 배터리
전적비교	자기 우량계	직경 : 200mm 높이 : 450mm Tipping Bucket	0.5mm 10분	자기지	다다미식 배터리
감악산	디지털 우량계	직경 : 200mm 높이 : 450mm Tipping Bucket	0.5mm 10분	로거 (logger)	- 상용전원
AWS	디지털 우량계	직경 : 200mm 높이 : 450mm Tipping Bucket	0.5mm 10분	로거	- 배터리

표 2.9 수위관측소 관측기기 내역

지점	관측장비	측정단위	자료수집	전원
사방댐	음파식수위계	cm/10분	로거	배터리
전적비교	음파식수위계	cm/10분	로거	상용전원
	기포식수위계	cm/10분	로거	배터리
	부자식수위계	연속	롤식자기지	배터리

표 2.10 설마천 유역 티센지배면적 및 티센계수

수위관측소 소유역별	구분	우량관측소			계
		사기막	법륜사	비룡	
사방댐	면적(km ²)	1.37	2.20	0.83	4.40
	계수	0.31	0.50	0.19	1.00
전적비교	면적(km ²)		0.52	1.58	2.10
	계수		0.24	0.76	1.00

의 조사 및 계측을 실시하여 이들 자료의 분석을 통하여 시험유역을 선정하였다. 선정 기준별 적합성을 객관적으로 평가할 수 있도록 평가 항목을 선정하였는데 항목별 가중치를 부여하여 가장 높은 적합도 점수를 얻는 유역으로 최종 선정하였다. 시험유역선정을 위한 평가 항목별 적합도 및 가중치는 표 2.11과 같다.

표 2.11 시험유역 선정을 위한 항목별 적합도 및 가중치

평가항목				후보지유역명
평가요소	평가기준	적합도	가중치	---
목적의 적합성	상	3	10	
	중	2		
	하	1		
유역의 크기	10km ² 이하	3	3	
	10 - 20km ²	2		
	20 이상km ²	1		
유역의 수로형태 (유역출구 하폭)	10m이상	1	6	
	10 - 5m	2		
	5m 이하	3		
토지이용 상태	양호	3	10	
	보통	2		
	불량	1		
접근성	30분 이내	3	10	
	30분 - 1시간	2		
	1시간 이상	1		
하천의 수질상태	청결	3	6	
	보통	2		
	오염	1		
향후관측 용이성 및 안정성	양호	3	6	
	보통	2		
	불량	1		
유역관리의 제약성	양호	3	3	
	보통	2		
	불량	1		
합계				

2.2 낙동강유역

2.2.1 IHP(위천) 대표유역

(1) 일반 현황

IHP 대표시험유역 중 낙동강 수계에 있는 위천은 경북 군위군 우보면, 효령면, 악계면, 의흥면, 산역면, 석로면 등 6개 면에 걸쳐 있으며 유역면적은 472.52km², 유로 연장은 53.9km이고, 지형 특성은 비교적 경사가 급하고 해발표고가 400m에 근접하는 산지유역이다. 대표시험유역 내의 수문관측시설은 한강유역에 평창강에 위치한 시험유역과 마찬가지로 자기우량계, 증발접시, 자기수위계 및 자기지하수위계 등이 있고 강우량, 증발량, 수위, 지하수위, 유량, 부유사량 및 기상자료 등의 관측치를 수집하여 분석에 이용할 수 있도록 하고 있다. 대표유역내의 수문 및 기상자료의 정밀한 관측을 위해서 수문관측소를 수시로 방문하여 현지 지도하고 관측자료를 점검 보완함과 동시에 필요한 자료를 실측하여 수문자료를 수집 정리하고 이로부터 기초 분석을 실시하였다. 각 유역별 수문관측소 현황, 유역현황, 기상현황은 표 2.12와 같다.

2.3 금강유역

2.3.1 IHP(보청천) 대표유역

(1) 일반 현황

IHP 대표시험유역 중 금강 수계에 있는 보청천은 충북 보은군 보은읍, 내북면, 상송면, 외속리면, 내속리면, 수오면, 옥천군 청산면, 청성면 등 2개군 1개읍 7개면에 걸쳐 있으며 유역면적은 475.68km², 유로 연장은 48.7km이고, 지형 특성은 비교적 경사가 급하고 해발표고가 400m에 근접하는 산지유역이다. 대표시험유역내의 수문관측시설은 한강 유역의 평창강, 낙동강 유역의 위천에 위치한 시험유역과 마찬가지로 자기우량계, 증발접시, 자기수위계 및 자기지하수위계 등이 있고 강우량, 증발량, 수위, 지하수위, 유량, 부유사량 및 기상자료 등의 관측치를 수집하여 분석에 이용할 수 있도록 하고 있다. 대표유역내의 수문 및 기상자료의 정밀한 관측을 위해서 수문관측소를 수시로 방문하여 현지 지도하고 관측자료를 점검 보완함과 동시에 필요한 자료를 실측하여 수문자료를 수집 정리하고 이로부터 기초분석을 실시하였다. 각 유역별 수문관측소 현황, 유역현황, 기상현황은 표 2.13과 같다.

2.3.2 한국토지공사 주택단지 시험유역

한국토지공사에서는 청주 용암지구에 주택단지 시험유역을 설치하여 운영하였다. 주택단지 시험유역은 한국토지공사 토지연구원(1995.6~1996.12.), 한국건설기술연구원(1995.10~1996.12.),

표 2.12 진행중인 IHP(위천) 대표유역의 수문관측소 및 유역특성 현황*

구 분		위 천
수문관측소 현황	자기우량계 및 증발접시	11 개소
	자기수위계	6개소
	수위계 및 지하수위계	6개소
유역현황	유역면적(km ²)	472.52
	최장유로연장(km)	42.83
	평균경사(rad)	0.33681
	유역평균폭(km)	11.033
	토지이용도	논 4.46% 밭 6.05% 농가 1.24% 산림 88.25%
	하천밀도	1.573
	형상 계수	0.258
기상현황**	년평균기온(℃)	12.2
	년평균 상대습도(%)	67.4
	년평균 풍속(m/sec)	3.0
	년평균 일조시간(hr/day)	6.4
	년평균 계기증발량(mm)	1,041.0
	년평균강우량(mm)	1,053.7 (의성기상관측소)

* 국제수문개발계획(IHP) 대표유역연구보고서, 건설부, 1989.12.

** 1982년 10월부터 1989년 9월까지의 7개년 자료, IHP 보고서(1982~1989)

표 2.13 진행중인 IHP(보청천) 대표구역의 수문관측소 및 유역특성 현황*

구 분		보청천
수문관측소 현황	자기우량계 및 증발접시	12 개소
	자기수위계	5개소
	수위계 및 지하수위계	5개소
유역현황	유역면적(km ²)	475.68
	최장유로연장(km)	51.75
	평균경사(rad)	0.18281
	유역평균폭(km)	9.708
	토지이용도	논 12.72% 밭 6.36% 농가 4.71% 산림 76.21%
	하천밀도	0.111
	형상 계수	0.166
기상현황**	년평균기온(°C)	10.7
	년평균 상대습도(%)	75.4
	년평균 풍속(m/sec)	1.3
	년평균 일조시간(hr/day)	6.7
	년평균 계기증발량(mm)	922.9
	년평균 강우량(mm)	1,312.8 (보은기상관측소)

* 국제수문개발계획(IHP) 대표유역연구보고서, 건설부, 1989.12.

** 1982년 10월부터 1989년 9월까지의 7개년 자료, IHP 보고서(1982~1989)

연세대학교 재해연구소(1996.4~1996.8.)의 세 기관의 공동 연구를 통하여 수행되었는데 각각 시험유역 운영, 시험유역의 모니터링 시스템 구축과 관측소 건설, 자료 분석 및 도시유역에 적용할 강우-유출모형의 비교분석과 제시 등의 역할 분담이 이루어졌다.

(1) 목적

주택단지 개발사업 지구에 우량, 수위 및 우수 유출수에 대한 수질자료 등의 관측과 획득을 위하여 도시 시험유역의 선정, 관측시스템 구축과 관측소 설치, 관련 자료의 관측, 수집 및 관리, 그리고 국내 도시유역에 적용할 강우-유출모형을 제시하고 공업단지에 대한 합리식의 우수 유출계수를 조사, 개선하는데 그 목적이 있다.

(2) 일반현황

한국토지공사 시험유역은 무심천 유역에 속하는데 청주 시가지로부터 동남측 3.5km지점에 위치하며 택지개발지구의 동측은 근린공원, 서측은 국도, 남측은 자연녹지지역, 북측은 영운천을 경계로 기존 시가지에 인접하고 있다. 주택단지로 개발된 단지로서 이 유역에는 공동주택과 학교부지, 상업부지, 업무부지, 단독주택지 등이 자리잡고 있다. 지구의 지역이 약 19% 정도 차지하고 있으며 이외에는 일부 근린공원, 어린이 공원, 학교 운동장을 제외하고는 대부분 포장이 되어 있다. 유역 출구점에 이르러 지표면의 경사가 상대적으로 급하게 형성되어있다. 유역의 제원은 다음과 같다.

- 유역면적 : 0.997km²
- 유로길이 : 1.49km
- 유역평균경사 : 1.238%
- 접근소요시간 : 30분이하
- 불투수지역 면적비 : 0.60
- 배수관거 : 분류식 (관망의 분포 : \varnothing 450mm ~ 3×3m)
- 연평균 강수량 : 1,216mm

(3) 관측 개요

1) 우량관측

우량관측소는 1개소가 설치되어 1996년 7월초부터 지속적인 강우 관측이 이루어지고 있다. 호우시에는 10분 단위로 측정이 수행되고 자동으로 자료 수집기(Data Logger)에 저장되므로 관리자가 정기적으로 방문, 노트북을 활용하여 파일형태로의 수집이 가능하다. 자료 수집기(Data Logger)에는 일우량, 시우량, 누계우량, 시간최대 우량 등이 기록되며, 자료의 점검과 분석, 관리를 위해 우량처리기 기록계의 레코더 (Digital Recorder)에 의해 종이로 출력이 가능한

장비를 고려하였다.

2) 수위관측

수위관측소는 1개소가 설치되어 운영되는데 특히 주요 호우사상에 대해서는 2분 단위로 관측 수행이 가능하다. 수위관측 기기는 우수 관거 벽에 부착 설치가 가능하며 기존 우수 관거의 손상을 최소화 할 수 있는 국내에서 개발된 음파식 수위계를 선정하였다. 현지측정 및 원격측정이 가능하며 컴퓨터와 연결도 가능하다. 측정 자료는 수위, 시간, 날짜 등 일련의 자료로 저장 가능하다.

3) 기타

수위 관측소는 대상구역의 유출량을 관측하기 위한 것이므로 최종 우수관거 내에 설치하였으며 동일 지점에서 유량측정도 수행하였다. 작동이 간편하고, 넓은 범위의 유속(0.1~6.0m/s)을 측정할 수 있는 유속계를 사용하였다. 개발이 완료된 구역이므로 도시화가 강우유출수의 수질에 미치는 영향을 검토하기 위해 유역 출구지점인 수위관측소 지점에 수질관측소를 설치하였다. 수질 측정기로는 간단히 측정할 수 있는 수질측정 항목인 온도, pH, 탁도, 전기전도도, DO를 우선 측정하기 위해 충전식 전지를 전원으로 하는 휴대용 간이 수질검사기(WQC-20A)를 사용하였다.

(4) 분석 개요

유출영향 분석을 위하여 기존의 우수유출 해석모형중 합리식법, CHICAGO 모형, RRL 모형, ILLUDAS 모형, SWMM 모형을 적용하여 비교 분석하였다.

1) 운영성과

운영성과를 정리하면 다음과 같다.

- ① 우리나라 최초로 도시내 시험구역으로 충북 청주시에 위치한 무심천의 지류를 포함하는 청주 용암 제1지구를 선정하였다.
- ② 시험구역에 우량관측소 1개소, 수위 및 수질관측소 1개소 등 수문자료 모니터링 시스템을 구축하였다.
- ③ 관측된 자료를 이용하여 도시구역의 강우-유출해석모형을 검증하였고, 검증결과 ILLUDAS와 SWMM 모형이 국내 도시구역에 적정한 것으로 제안하였다.
- ④ 공업단지에 적용하는 용도별 총괄유출계수를 현장 조사한 결과, 공장용지는 설계치와 유사한 0.67, 지원시설용지의 경우는 설계치보다 큰 0.80, 그리고 배수지, 우수중계펌프장 및 하수종말처리장의 경우는 설계치보다 매우 작은 0.22 ~ 0.27로 나타났다.

2) 시험구역 선정방법

시험구역의 선정은 운영목적, 입지조건, 유역특성, 계측기기 설치의 용이성 및 적합성등을

고려하여 입지 후보지를 선정한 후 대표적인 영향요소를 검토, 분석하여 목적으로 하는 평가 요소 및 평가기준을 선정하여 요소별 기준 및 가중치를 고려하여 시험유역 적지를 선정하는 순으로 수행하였다. 이를 정리하면 표 2.14, 표 2.15와 같다.

표 2.14 평가요소 및 기준

구분	평가요소	평가기준	평 가 근 거
운영목적	목적의 적합성	상중하	· 시험유역의 운영목적에 부합하는 정도에 따라 기준설정
유역의 위치	접근성	양호 보통 불량	· 유역지대로 접근하는 교통망, 접근소요시간을 기준으로 하여 선정기준 설정. · 접근거리 및 소요시간이 짧을수록 양호한 것으로 판단.
	연계성	양호 보통 불량	· 시험유역과 연계가능한 개발계획지역과의 연계성이 높을수록 양호한 것으로 판단.
유역의 여건	유역특성 (대표성)	양호 보통 불량	· 시험유역을 선정하는 대표적인 중요인자로서 유역의 크기, 배수 시설형태, 토지이용, 물리적 특성(유역평균경사, 불투수면적비 등)에 따라 구분하여 선정기준 설정. · 대표성을 가진 적당한 유역크기 미치 불투수면적비율을 갖고, 배수시설형태가 분류식이며, 적합한 토지이용을 포함한 유역을 양호한 것으로 판단.
	활용성	양호 보통 불량	· 활용가능한 기초자료(우배수관망도, 토지이용도, 수리 및 구조 계산서)취득이 용이할수록 양호한 것으로 판단.
	제약성	양호 보통 불량	· 계측기기 설치장소내 도시배수시설 등 공공 시설물에 대한 지역 관계기관과의 협으로 규제정도가 적을수록 양호한 것으로 판단.
	환경성	양호 보통 불량	· 침수하천과 직접적으로 인접한 대상지역의 방류지점과 계측기기의 설치장소를 선정기준으로 설정. · 관측의 용이성과 기기의 안전성을 고려하여 가급적 격심한 교통량을 피하고, 전기·수도·가스 따위의 공공설비에 대한 영향이 적을수록 양호한 것으로 판단.

표 2.15 평가요소별 평가기준 설정

평가요소		평가기준	적합도	가중치	가중 적합도
접근성		30분 이하	3	8	24
		30~60분	2		16
		60분 이상	1		8
연계성		양호	3	5	15
		보통	2		10
		불량	1		5
유역특성	유역면적(ha)	10~50	3	10	30
		51~100	2		20
		101 이상	1		10
	유역경사(%)	0.5 이하	1		10
		0.5~1.5	3		30
		1.5 이상	1		10
	불투수면적비율(%)	60~70	2		20
		71~80	3		30
81~90		1	10		
배수시설형태	합류식	2	20		
	분류식	3	30		
활용성		양호	3	4	12
		보통	2		8
		불량	1		4
제약성		양호	3	3	9
		보통	2		6
		불량	1		3
환경성		양호	3	7	21
		보통	2		14
		불량	1		7

3. 국외 시험유역

3.1 일본의 시험유역

3.1.1 쓰꾸바 시험유역(つくば(裏筑波)流出試験流域)

(1) 운영목적

일본에는 전국적으로 많은 시험유역이 각각의 목적에 따라 운영되고 있다. 그중에서 가장 대표적인 시험유역은 토목연구소 수문연구실에서 운영중인 ‘쓰꾸바유출시험지(つくば(裏筑波)流出試験流域)’로서 1969년에 국제수문10년계획(IHD)의 일환으로, 자연유역의 강우-유출 현상을 연구하고자 설치되었으며, 이근천(利根川) 수계의 최상류부인 산구천(山口川)에 위치하고 있다. 이 쓰꾸바 시험유역은 1969년부터 수문관측을 개시하여 현재까지 운영되고 있다.

당초 쓰꾸바 시험유역의 운영목적은 산지 소하천의 홍수유출특성, 즉 유출율, 홍수도달시간, 유출계수 등을 조사하는 것이었다. 그러나 시험유역의 운영이 지속되면서 현재는 유출기구의 규명에 연구의 주안점을 두고 있다. 즉 지표유출(surface runoff)과 지표하유출(subsurface runoff) 등의 유출 경로와 지표하 유출의 경우 지표하에서의 체류시간 등과 같은 유출기구(runoff mechanism)의 해명에 목적을 두고 있다. 강우에 의한 유출은, 지표를 흘러오다가, 강우가 땅속을 통과하여 흘러나오거나, 그렇지 않으면 땅 속의 고여있던 지하수가 나오거나 하는 체류시간의 문제이다. 이 유역에서는 호튼(Horton) 표면류는 거의 발생하지 않는 것은 관측에서 분명하게 설명되었지만, 홍수시의 강우가 땅 속의 어느 부분을 어떠한 속도로 이동해서 홍수파형이 형성되는가에 대해서는 여전히 불투명한 점이 많다. 이와 같은 유출기구의 해명이 없이는 유출모델의 정밀도의 향상은 있을 수 없는 것일 것이다. 유출기구의 연구는 기초적이기는 하지만, 유출예측의 정밀도 향상을 위해서도 추진해 갈 필요가 있다. 또 山口관측소에서는 저수지의 유량도 측정할 수 있게 되어있고, 장기유출의 연구도 할 수 있게 되어 있다.

裏筑波 유출시험지에서 홍수 유출기구 연구를 진행할 때의 문제점으로서 대표성을 들 수 있다. 이와 같은 지질은 풍화화강암으로 되어있고, 아주 침투성이 풍부한 유역이기 때문에, 따라서 표면류는 발생하지 않는다. 여기서의 유출기구가 다른 유역과 같다는 보장은 없다. 이 문제를 해결하기 위해서는 이런 종류의 연구가 많은 유역을 대상으로 조사될 필요가 있고, 裏筑波 유출시험지에서의 연구는 그 발판이 될 수 있다.

토목연구소는 구내에 각종 기상관측시설을 설치하여 풍향, 풍속, 일사량(long-wave, short wave), 기온, 지열, 증발량, 토양수분 등의 기상자료를 컴퓨터 시스템을 이용하여 자동으로 수집·분석하고 있다.

시험유역 상류에는 그밖에도 자기 수위계, 라이시미터 등이 다수 설치되어 운영중이며, 산

지 사면의 용출수를 측정하기 위하여 물이 흘러나오는 곳에 플룸을 설치하여 유량을 측정하기도 한다.

(2) 유역의 개황

본 유출시험지는 茨城현 眞壁郡 眞壁町の 利根川 수계 樓川 좌지천 山口川の 최상류부, 筑波 산록 북측 사면에 위치하며 유역면적은 3.12km², 유역평균경사는 25°, 전형적인 산림지역이다. 축파산은 福島현 白河市를 북단으로 하여 남북방향으로 이어지는 八溝산맥의 남단부에 해당하고 관동평야 돌출한 산이다. 筑波山(표준높이 : 876m)은 지형의 침식유회가 가장 진행해 있고, 완만한 경사의 노년기의 지형을 하고 있다.

山口川은 유역 남서부의 筑波山 산허리사면, 북동부의 상충(うわそ)고개에 통하는 산허리 사면의 물을 모아서 북서로 흘러나온다. 裏筑波유역의 표준높이는 최고점이 筑波山 중허리 620m 이고, 최저점이 山口川 유량관측소의 120m이다. 山口川의 주유로 길이는 2.4km, 주유로 평균경사는 1/13으로 유로길이는 14.8km에 이른다. 유역내의 山口川 本流를 따라서 현도가 종단하고 있는데, 민가와 경지도 없고, 유역내의 산림에 의해 덮여있고, 산림의 65%가 국유림이다. 국유림의 식생은 조림에 침엽수가 대부분이고, 천연 침엽수 또는 활엽수는 적다.

(3) 관측망

1969년부터 시작해 현재에 이르기까지 계속적으로 관측이 되고 있다. 개국당시는 유량관측소 2개소, 우량관측소 3개소의 관측망으로 시작했으나 우량관측소에 대해서는 관측소 주변의 수목의 무성함에 따른 관측상황의 악화 때문에 관측이 중단되거나 관측지점을 변경하여 현재에 이르고 있다. 또 계속적인 관측 이외에, 소유역에서 표면류, 토양흡인압, 지하수, 등의 관측과 수질조사 등이 되고 있고 여러 방면에 걸쳐 관측데이터가 수집되고 있다.

(4) 관측항목

1) 우량관측

수수구경 200mm의 0.5mm 전도통자기우량계를 이용하여 관측한다.

* 단점 : 겨울에 히터전원을 설치할 수 없을 경우 우량계 저수탱크가 동결하거나, 수수구에 적설이 남는 등 관측에 지장을 초래하고 충분한 관측정밀도를 얻을 수 없는 일도 있다.

① 祖父고개 우량관측소

관측 개시초에는 조부고개 유역중허리에 설치했는데, 1975. 4. 15. 祖父고개 유량관측소 지점에 이설하여 표준높이 205m, 관측기간 1969. 10. 14에서 현재에 이른다.

- 관측방법 i) 1969. 10. 14. ~ 1975. 4. 15. : 0.5mm전도통 자기 우
량계
ii) 1975. 4. 15. ~ 현재 : 0.5mm전도통 자기 우
량계+수연62식 자기
수위계(祖父峰수위
와동측기록)
iii) 1989. 4. 26. ~ 현재 : 0.5mm전도통 우량계
+데이터로거

② 土俵場 유량관측소

위치는 裏筑波 캠프장에서 북동 약 400m이다. 표준높이 495m, 관측기간 1969. 10. 18에서 현재에 이른다.

- 관측방법 i) 1969. 10. 18. ~ 1989. 4. 20. : 0.5mm전도통 자기우
량계
ii) 1989. 5. 10. ~ 현재 : 0.5mm전도통 우량계
+데이터로거

③ 上本社

위치는 현도 月岡진벽선에서 祖父峯 유량관측소로의 입구의 우안측이고, 표준높이 184m, 관측기간 1969. 5. 16에서 1982. 11. 19까지이며, 관측방법은 0.5mm전도통 자기우량계였다.

④ 北本社

위치는 현도 月岡진벽선에서 祖父峯 유량관측소로의 입구의 좌안측이고, 표준높이 186m, 관측기간 1982. 11. 19에서 1984. 7. 30까지이며, 관측방법은 0.5mm 전도통 자기우량계였다.

2) 유량관측

유량관측은 山口관측소와 祖父峯 관측소에서 시행되고 있다. 山口유량관측소는 裏筑波 유출시험지 유역 말단에 설치된 관측소이고, 祖父峯 유량관측소는 山口 유량관측소 상류 550m의 우안측 지천에 위치하는 관측소이다. 두 관측소 모두 堰에 의한 유량관측을 하고 있다.

그러나, 연에 의한 유량관측방법은 침사조로의 토사의 퇴적 및 유목 등의 걸림에 의한 관측정밀도 저하의 문제가 있다. 이 시험지는 토질이 풍화화강암이 대부분으로 토사유출량이 많고, 그 때문에 연 4~5회의 토사배제 작업을 해 관측정밀도의 유지에 힘썼다.

① 山口 유량관측소

본 유량관측소의 목적은 산지유역에서의 유출특성 조사이고, 위치는 裏筑波 유출시험지 유역의 말단이다. 유역면적은 3.12km²이고 유로길이는 14.8km이다. 평균경사는 약 25° 이고 관측기간은 1969. 6. 6에서 현재까지이며 방법은 복단면 사각언에서의 율류수심을 수연 62형 수위계(3개월분)를 이용해서 자기기록 하였다. 수위에서 유량으로의 변환은 沖公식으로 했다.

② 祖父峰 유량관측소

본 유량관측소의 목적은 등가조도법에 의한 유출계산의 검증이며 위치는 山口 유량관측소 상류 550m의 우안측에 설치되어 있고 유역면적은 0.158km², 유로연장 1.2km, 평균경사 25°, 관측기간은 1969. 10. 12에서 현재에 이른다. 관측방법은 직각 삼각언에서의 월류수심을 수연 62형 수위계(1개월분)를 이용해서 자기기록을 했다. 수위에서 유량으로의 변환은 아래의 식으로 했다.

$$Q = (1.334 + \frac{0.0205}{\sqrt{H}})H^{\frac{5}{2}} \quad (\text{m} - \text{sec} \text{ 단위})$$

3) 소유역에서의 유출량, 용수량, 토양흡인압 등의 관측

① 小澤유역

본 시험유역의 관측활동은 두 가지 경우로 나뉘는데 첫 번째 경우는 강우시 표면유출발생량의 관측(1970. 3. 25 ~ 1971. 10. 29)이었고, 두 번째 경우는 산지 소유역의 강우시 유출경로의 추정(1987. 7. 24)이었다. 위치는 祖父峰 관측소 직상류이고 유역면적은 1ha이며 유로연장 38m 평균경사 31°, 방법은 첫 번째 경우 유역말단의 하도부와 이곳으로부터 상류 약 80m의 중허리부의 계곡줄기에 소형상형 삼각언을 설치하고 이곳에서 좌우양측에 산허리 최대사면을 따라서 집수용 袖板을 내서 표면류의 관측을 했다.

② 小峰유역

본 유역의 목적은 산지 소유역에서 강우시 유출경로의 추정이고, 위치는 祖父峰 관측소 상류 100m의 우안측 용수지점이며 평균경사는 31°이다. 관측기간은 1987. 7. 10에서 현재까지이다.

4) 수질조사

수질을 트레이서를 이용하여 유출성분을 분리하기 위해 1987년부터 강우시의 수질조사를 하였다. 샘플링개소는 祖父峰 小澤, 小澤용수 NO₂, 祖父峰 강우의 4개소이다. 또, 평상시에서의 수질의 백그라운드값을 조사하기 위해 1988. 8. 10부터 주 1회의 정기 샘플링을 했다.

3.1.2 Experimental Station at Tanashi (타나시 시험소)

(1) 이력과 요점

1929년에 설립되었고, 타나시 또는 타마 종묘의 산림부문 농업단체로 명명되었으며, 임업연구소 아래에서 운영되었다. 1956에 본 산림지는 도쿄대학의 임학부문으로 운영이 이전되었다. 1963년에 타나시 시험관측소로 개칭되었고 운영체제가 강화되었다. 1982에 본 지역은 대학의 운영으로 신뢰받게 되었다.

(2) 위치

본 유역은 도쿄시 타나시에 소재해 있다. 도쿄대학교의 혼고캠퍼스에서 약 1시간쯤 걸린다. 농과대학과 접하는 무사시노의 동북쪽에 있으며, 원자력연구소가 있다 본 관측소로 가는 길은 두 가지 방법이 있다. 하나는 세이부 이케부쿠로선을 이용, 히바리가오카역에서 하차하여, 정문앞인 로크카쿠 지조-마에에 도착하는 버스를 타는 것이다. 다른 방법은 세이부 신쥬쿠선을 타고 타나시역에서 내려 정문앞인 로크카쿠 지조-마에에 도착하는 세이부 버스를 타는 것이다.

(3) 유역 상태

전체면적은 약 9.1ha이며, 해발 60m이고, 평탄지이다. 상부의 흑토층은 약 50cm 깊이이고 그 아래에 적토가 있다. 연평균기온은 13.7도, 연평균강우량은 1,400mm이다.

(4) 산림 상태

무사시노 산림은 오랜 시간동안 개발되어 왔다. 그러나 타나시산림은 비록 작지만 천연 산지의 형태로 보존되었다. 주된 種은 *Quercus serrata*, *Quercus acutissima*, *Castanea crenata*, *Carpinus tschonoskii*, *Styrax japonica*이고 또한 덩굴이 보인다. *Deutzia crenata*, *Rosa multiflora* Thunb, *Chaenomeles japonica*, *Rhus trichocarpa*, *Rhus javanica roxburghii*, *Euonymus sieboldianus*, *Euscaphis japonica*, *Aralia elata*, *Acer palmatum*, *Viburnum dilatatum*, *Celastrus orbiculatus*, *Hedera rhombea*와 같은 작은 나무들이 발견된다. 본 산림의 바닥층은 많은 종의 초원으로 구성되어 있다. 시험 임업지대는 100종의 침엽수와 300종의 활엽수로 구성되어 있다. 도시 안의 임업지는 유리한 이점을 갖고 있다.

(5) 연구와 교육

1) 시험 및 연구

본 시험소는 임업학자들에 의해 주로 생물학적 연구로 사용되어져왔다. 이 시험소는 아래와 같은 이점을 갖고 있다.

- ① 다양한 현장작업을 기초로 하는 연구에 유리하다.
- ② 다양한 種의 묘목은 연구와 연관된 훈련과정 및 산림관리를 위해 준비되어진다.
- ③ 환경관리시설은 생리학적인 연구에 유용하다.
- ④ 도쿄 센터와의 거리가 가까워 접근이 용이하다.

주된 연구화제는 종자수집과 묘목성장, 그리고 일반적인 생태학을 포함한다. 임업생태연구 또한 수행되었다.

2) 연구과제

- ① 상록활엽수의 윤작, 성장에 관한 적절한 연구가 이루어졌다. 한 지점은 1975년에 중지되

- 있고, 두 번째 지점의 수목들은 1970년에 별채되었으며 수목성장의 관측이 착수되었다.
- ② Pine bark beetle에 의한 곤충재해와 그들에 대한 통제가 연구되었다. 화학약품을 나무 속으로 분사시켜 관측을 수행하였다.
 - ③ 이런 100종의 수목에 대한 밀도개선시도는 1950년에 소개되었다. 비록 재배되었던 나무수의 절반밖에 안 남았지만, 클론(clon:생물복제단위)은 보존되었고, 성장시험은 지속되어지고 있다.

3.1.3 니이가타 시험연구소(NIIGATA EXPERIMENTAL LABORATORY)

니이가타 시험소는 1960년에 니이가타현 아라이 시에서 눈에 관련된 재해와 문제에 연구와 시험 그리고 측정을 수행하기 위하여 설립되었다.

본 연구소는 폭설로 야기된 눈사태에 관한 연구에 있어, 특징화된 유사물질과 관련된 재해 부분 그리고 눈과 관련된 간선도로 교통문제의 예방을 위한 측정에 관한 연구에서 설빙 재해 부분 그리고 눈사태 취급부분으로 구성되어 있다.

(1) 침전에 관련된 재해부분

사태는 겨울철 눈 덮인 지역에서 자주 발생한다. 호쿠리쿠 지역에서 일어날 수 있는 눈사태가 일본에서 일어날 수 있는 전지역의 10%가 넘는다. 따라서 침전물질과 관련된 재해는 눈 덮인 기간과 눈 녹는 기간에 자주 일어나는데 이 연구소에서는 이와 같은 사태의 과정에 관한 연구를 할 뿐 만 아니라 호쿠리쿠 지역에서 조사 및 관측에 의한 적절한 예방 방법에 대해서도 연구하고 있다. 본 연구는 녹은 눈에 의하여 원인이 되는 눈덩이의 흐름에 관해서도 연구하고 있다.

(2) 시골지역에서의 눈재해 대책을 위한 측정과 겨울철 기상과 관련된 도로장애

겨울에 안전을 확보하고 원활한 간선도로의 교통흐름을 위하여 그리고 눈재해로부터 시골 마을들을 보호하기 위하여 설빙재해 부분은 눈사태방지와 눈바람과 간선도로의 결빙에 관한 측정을 연구한다.

3.1.4 오가사와라 시험연구소

FFPRI(the Forest and Forestry Products Research Institute) 시험산림의 임업 및 조경과 지방 종에 관한 보호와 보존, 군락의 변이, 표면적 등에 관한 기본적인 정보를 얻기 위하여 보닌군도의 치치지마섬에 설치되었다. 치치지마섬의 식생은 다음에 따른 각각 10개 형태로 분류될 수 있을 것이다.

- (1) *Hermandia-Terminalia/Scaevola-Vitex* 군락
- (2) *Schima-Ardisia* 군락

- (3) Schima-Rhaphilepes 군락
- (4) Destylium-Planchnella 군락
- (5) Livistona-Pandanus/Livistona Ardisia 군락
- (6) 혼합된 Livistona-Pandanus/Pinus 군락 와 이국적인 초목
- (7) 사람의 영향에 의해 교란된 지역에서 자연적으로 재생된 Pinus Luchuensis 숲
- (8) 인공적으로 만들어진 Pinus Luchuensis 숲
- (9) Leucaena/Casuarina 숲
- (10) 혼합된 Leucaena/Casuarina/Pinus luchuensis 숲

3.2 영국의 시험유역

영국의 시험유역은 유역의 변화에 따른 유출량, 수질 변화, 기상 변화를 비롯한 산림수문학 쪽으로 주안점을 갖고 운영되고 있다. 즉 장기적인 산림변화가 수자원에 미치는 영향을 규명하는 것이 시험유역의 운영목적이라 할 수 있다. 물론 강수량, 유출량, 기상 등 제반 수문자료의 획득과 분석은 기본적인 연구내용임은 주지의 사실이다. 시험유역은 주로 IH(Institute of Hydrology)에서 조직적으로 운영해 오고 있다. 현재 IH에서 운영중인 시험유역은 전국적으로 여러 곳에 있으며 그 유역면적은 0.7 ~ 194.23 km²의 범위에 걸쳐있다.

3.2.1 Balquhidder 시험유역 (Balquhidder Experimental Chatchment)

Balquhidder 시험유역은 1981년 스코트랜드의 중부 고원지대에서 수자원에 미치는 삼림의 영향을 연구하기 위해서 운영을 시작한 것으로 Monachyle 유역과 Kirkton 유역 등 2개소의 유역으로 구성되어 있다. 유역의 전체적인 개요는 표 3.1과 같다. 이 유역들은 우량관측망의 밀도가 매우 조밀하며, 지질, 식생, 토지이용 등 정밀한 유역조사를 거쳐서 연구를 수행하였다. 또한, 각 유역에 대하여 계획적인 조림을 통하여 조림효과에 의한 유출과 수질 변화 등에 관한 연구를 수행하고 있다.

연구 결과를 이용하여 증발량 모델과 지형을 이용한 유출모형 및 유출현상의 구조에 관한 모형을 개발하여 검증하였으며, 강수량과 유출량, 유사량, 기상 등 제반 자료를 이용하여 각종 모형의 검증자료로 활용하고 있다.

3.2.2 Coalburn 시험유역 (Coalburn Experimental Chatchment)

Coalburn 유역은 Irtling강의 지류로서 유역면적은 1.5 km² 이며 해발고도 270~330 m에 위치하고 있다. 주 수로의 경사는 25 m/km 이고 강수량은 연중 고르게 분포되며 연강수량은 약

1,300mm 이다.

기본적인 관측자료는 강수량, 유량, 증발량(Penman 증발량 산정; AWS), 수질 등이며, 토양 수분, 유사량, 농약에 의한 오염(fertilizer losses), 하천수의 화학적 성분 등을 조사하였다.

표 3.1 Balquhider 시험유역의 개요

항 목	내 용	비 고
연 혁	· 중부 스코트랜드 지방의 高地에서 수자원에 미치는 산림과 토지 이용의 영향을 검토하기 위해서 1981년부터 연구 시작	1966년부터 동일 목적의 시험유역 운영중
목 적	· 고지에 적용하기 위한 증발량 모형의 개발 및 개선 · 증발량에 영향을 미치는 인자에 대한 계절적인 변화 검토 · 유역내 산림과 토양 및 토지 이용이 수자원의 양과 수질에 미치는 영향 검토	
유역개요 및 관측망	No 1 (Monachle 유역) · 유역면적 : 2.82 km ² · 강수량 : 11개소 · 유량 : 2개소 (위어) · 기상 : 2개소 (AWS) No 2 (Kirkton 유역) · 유역면적 : 2.72 km ² · 강수량 : 12개소 · 유량 : 2개소 (위어) · 기상 : 3개소 (AWS)	· 강우량 · 증발량 · 유역물수지 · 갈수량 및 홍수량 · 토양수분 · 유사량 · 오염부하 · 수질

자료 : Effects of upland afforestation on water resources (IH, 1995)

다음 표 3.2는 Coalburn 시험유역에서 1967년부터 1993년에 이르기까지 주요 기기 설치와 연구내용 및 특기사항 등을 간단하게 수록한 것이다.

3.2.3 Plynlimon 시험유역 (Plynlimon Experimental Chatchment)

영국은 지형에 따라 지질, 기후, 경제활동 등이 상당한 차이를 보이고 있다. 예로서 영국의 북부와 서부는 주로 고원지대이고 습기와 바람이 많으며 추운 기후를 가지고 있는 반면 인구의 대부분은 보다 자연조건이 양호한 서부와 동부쪽에 살고 있어 경제와 정치의 중심지가 되고 있다.

표 3.2 Coalburn 시험유역 주요 기기 설치 및 연구활동의 내역

년 도	기기설치 및 연구활동
1966	지질 및 토양 조사 유량 관측소 위치선정(7월) 우량계 설치(10월) 위어 설치 및 가동(12월)
1967	수문관측시작 우량관측소 증설(13개소) 유역경계선 배수구 굴착
1968	유역 사무소 및 위어 접근도로 완공 지하수위관측소 설치
1969	72년도까지 경작계획 수립(5개년 계획)
1970	지면과 표준우량계의 강우량 비교(우량계의 높이에 따른)
1971	AWS 2개소의 설치(일 Penman 증발량 자료)
1972	유사량 측정개시(3월) 우량관측소 4개소 축소(2월) 유역경계 및 배수상태 확인(11월) 위어수리 및 퇴적토사 제거로 유량자료 파기(72년 10월 ~ 73년 6월) 인산비료 살포(5월) 및 하천수 농도 측정(4월~10월)
1973	봄에 식목(20 cm) 10월에 부유사 측정 종료
1975	최고유량 기록(6 cms)
1976	유역경계 조사
1978	부유사 측정 수목의 크기 : 1 m 이내
1980	수문연구소(IH) Report 73발간 (시험유역 연구 결과 요약)
1981	위어 보수
1983	Coalburn에서 삼림에 의한 영향을 New Scientist에 발표
1984	위어 보수
1989	IH의 우량계를 NRA(National River Authority)기기로 교체
1990	하천 수위 T/M화(6월) peat gley 지역에서 토양수분 측정
1991	신규 위어가 완성될때까지 임시 위어 운영(5월~8월)
1992	산림조사 (평균 7 m) 토양 수분조사 수질 표본 채취(water chemistry chemical sampling/ 월 1회) 실시
1993	NRA AWS 운영 시작(3월) 삼림으로 덮인 곳의 토양수분 측정 하천 수질 연속적으로 측정 (ph, 전기전도도, 수온) Coalburn 25 year Review(1967~91) 발간

자료 : The Coalburn Chatchment Experimental - 25 Year Review (IH, 1994)

(1) 유역의 운영목적 및 개황

Plynlimon시험유역은 IH(Institute of Hydrology)에서 연구되어졌으며 다른 생태학과 수문학 연

구센터의 임원진들과 다른 대학관계 연구원들에 의해 연구가 진행되었다. 초기 연구소 담당자 휘자는 Jim McCulloch였다.

초기 당초 운영목적은 산림과 황무지 집수지역의 수량산출에 관한 논쟁을 해결하기 설계된 물수지 조사였으며, 현재 운영목적은 지리학적인 자료 및 기상과 유량을 비롯해서 유사량, 수질 등 수문자료의 광범위한 수집과 초지와 삼림지역의 특성이 수문학적인 거동에 미치는 영향을 연구하는 것이다.

일반현황을 살펴보면, Plynlimon 시험유역의 위치와 면적은 중부 웨일즈 지방에 위치한 캠브리안 산맥의 중추의 발원지인 Severn강 유역과 Wye강 유역의 두 유역의 상류로 이루어져있



다. 이 두 하천 유역은 토양의 식생을 제외하고는 유역의 제반 특성이나 조건이 거의 비슷하여 인접한 동일 기상 조건의 유역에서 식생의 차이에 따른 수문학적인 반응을 조사하고 있다. Severn강 유역(Severn Experimental Catchment: 8.7km²)은 광대하게 전나무로 조림되어 있으며, 또 다른 Wye강 유역(Wye Experimental Catchment: 10.5km²) : 대초원인 목초지이다. 두 하천 유역은 식생을 제외하고는 이 두 유역의 제반 특성이나 조건이 거의 비슷하여 기상, 유출, 증발산, 차단, 수질, 유사량 등 제반 수문기상자료를 20년 이상의 수집 분석, 인접한 동일 기상 조건의 유역에서 식생의 차이에 따른 수문학적인 반응을 조사하였다. 본 유역의 관측 시설은 장비망 40개의 유량계, 9개의 하천 수위관측소와 4개의 자동기상관측소로 구성되었다.

(2) 운영방법 및 진행

본 시험유역의 관측기본망은 유량기록계, 수동기상관측소와 토양수분진입관 등에 의해 보완되었으며 Trapezoidal flume(Severn River), Crump weir(Wye River), Steep stream flume 등의 위어를 설치하여 관측하고 있다.

(3) 운영 진행 및 결과

이러한 관측기기는

- 1) 홍수발생에 대한 조사와 수문학적 시스템의 모델링, 고지대의 수질 연구에 사용되었으며
- 2) 유역 내에 설치된 각종 관측기기의 검증을 실시하여 물수지와 유출특성을 비롯한 수문학적 특성을 규명하였으며
- 3) 이들 자료를 기본으로 하여 IHDM(The IH distributed model)과 SHE(System Hydrologique Europeen)모델 등 분포형 모델을 개발하는 등 수문학의 여러 분야에 기여하였다.

Plynlimon 유역과 각 소유역의 지형 및 수문특성인자는 아래의 표 3.3과 같다.

상위의 것을 비롯한 Plynlimon에 관한 결과는 대부분 개인적인 논문으로 수문학과 환경과학에 표제된 refereed 저널에 보고되었고, 1985년까지 주요한 조사결과는 IH에서 출간된 단권의 출판물로 결집되었다. 그리고 최근의 관심은 수질연구에 관해서 취급하는 것이다.

표 3.3 Plynlimon 유역과 각 소유역의 지형 및 수문특성인자

구분 \ 유역	WYE			SEVERN			Way at Cefn	Severn
	Afon Cyff	Afon Gwy	Afon Lago	Afon Hore	Tfon Tanllwyth	Afon Hafren		
유역면적 (km ²)	3.13	3.98	1.02	3.08	0.89	3.67	10.55	8.70
주수로 길이(km)	4.21	5073	3.92	4.69	2.99	5.60		
주수로 경사 (m/km)	27.6	20.3	30.7	70.5	109.5	59.4	37.23	63.47
설계홍수량(cumec)	9.91	17.83	3.96	14.15	2.26	10.19	52.4	41.03
설계 갈수량(cumec) (Design drought discharge)	0.009	0.014	0.003	0.011	0.003	0.009	0.020	0.023
하상계수 (Flood/drought ratio)	1166	1265	1414	1252	807	1200	2620	1784
구조물 부근 하상 경사	0.021	0.026	0.022	0.027	0.056	0.022	0.011	0.011
자연하천 Froude 수 (만제 유량 시)	1.03	0.98	0.82	1.07	1.21	0.75	0.53	0.60

3.2.4 Hydrological Radar Experiment(HYREX: The Brue Catchment)

(1) 일반 개요

본 유역의 운영목적은 기상 레이더의 감지에 의해 강우 유출 변화에 대한 보다 나은 이해와 이런 변화가 그 유역 규모에서 하천 흐름에 어떤 영향을 주는지를 연구하기 위한 것이다.

관측기간은 1993년 5월에서 1997년 4월까지였으며, 현재에도 HYREX의 자료는 여전히 운영중이며, 정기적으로 업데이트가 되고 있다. 가장 최근의 자료는 1998년 5월 27에 데이터 자료가 Salford 레이더로부터 게재되었다.

본 시험유역의 일반현황은 시험 유역이 The River Brue Catchment이며, 시험유역 면적이 132 km²이고 위치는 남서부 잉글랜드의 서머셋 지방이며 Mendip Hills 와 Salisbury Plain을 발원지로 한다. 지형은 상당히 시골풍이며, 적절한 기복이 있다.

(2) 연구진행

본시험유역의 연구그룹은 Natural Environment Research Council 에서 주관하며 그 이하 1) Institute of Hydrology(IH), 2) Rutherford Appleton Laboratory, 3) Universities of London(Imperial College and University College), Reading(레딩:잉글랜드 남부 Berkshire의 주도, including the Joint Centre for Mesoscale Meteorology(JCMM) and Salford, 4) Environmental Agency(EA), 5) Ministry of Agriculture, Fisheries. and Food (MAFF)로 연계하여 이루어졌다.

(3) HYREX 프로젝트의 6가지 항목

- 1) 수문학적 이용을 위한 레이더/우량계 네트워크의 설계,
- 2) 공간적이고 시간적인 강우지역의 모델링과 통계적인 양상에 대한 조사,
- 3) 실시간 유량 예보에 관한 추계학적 공간-시간의 강우 예보 시스템의 개발,
- 4) 단기성 강수와 조합된 레이더 자료에 관한 방법에 대한 조사,
- 5) 강우의 개선된 산정에 관한 양극 레이더 기술의 검증,
- 6) 수직 포인팅 레이더를 이용한 레이더 수문기상학을 연구하는 것이다.

(4) 운영현황

본 구역의 시설 장비들은 기상 레이더, 조밀한 우량계 네트워크, 자동 기상 관측소(AWS)와 토양 수분 관측소(ASWS), Disdrometer, LandSat을 이용한 지리 정보의 이용하여 측정한다. 위의 시설 장비를 이용하여 입수된 자료는 British Atmospheric Data Centre로 저장(수치자료는 엑셀파일로 거의 저장됨) 보관되었다. 또한 대외비적 자료도 이곳에서 보관하고 있다.

3.3 미국의 시험구역**3.3.1 미국 농무성의 시험구역 (Experimental Agricultural Watersheds)**

미국 농무성 (U.S. Department of Agriculture)에서 운영하는 시험구역들로서 1956년부터 매년 그 구역의 수를 증가시켜 현재는 500여개에 대하여 미국의 수자원 보존과 개발을 위한 연구와 계획을 조사하고 설계, 평가할 수 있는 기본자료를 제공하기 위하여 운영되는 시험구역이다. 이 시험구역의 크기는 수 에이커에서 몇 십만 에이커에 걸쳐 그 규모도 대단히 다양하다.

이들 시험구역에서 측정하는 수문자료는 주로 월강수량 및 유출량, 1시간에서 12시간까지의 연최대강수량과 연최대유량, 최대유출용적, 일강수량 및 일평균유량, 기온, 특정 강우사상에 대한 강우량과 유출량 등이다. 이들 자료는 매년 우리나라의 수문조사연보와 같은 형태로 출간되며 전산작업에 의하여 수요자에게 제공되고 있다.

3.3.2 Reynolds Creek Experimental Watershed(Boise, Idaho)

1960년에 미국농무성 산하 농업연구소에서 서부 사막지대에 대한 개발사업을 위하여 수문 분석에 이용할 자료를 측정하고 조사·분석 할 수 있도록 설계되어 현재까지 운영되고 있다.

이 시험구역에서는 강수량, 위어를 이용한 유출량, 유사량과 기상자료를 위주로 측정되고 있다. 유역면적은 93mi²(241km²)이고 실험관측기기를 설치하여 정확히 수문량을 측정할 수 있는 관측기기에 대한 비교분석도 주된 사업으로 추진되고 있다.

3.3.3 Fool Creek Watershed(Denver, Colorado)

1943년에 미국 서부 Rocky 산맥의 콜로라도에 있는 산지에서의 지하수 효과와 관리를 위해 설치된 시험유역으로 유역의 크기는 714 에이커(2.9km²)로 산지 소유역이다. 이 유역은 해발표고가 9,000 ft(2,730 m)에서 13,000 ft(약4,400 m)에 걸쳐 있는 급경사의 산악지역이다. 여기서는 주로 산악지대의 고도별 강수량 변화와 경사지대의 지하수 효과를 규명하여 실무에 참고가 되도록 운영되고 있다.(Goodell 1, 1958)

3.3.4 Coshocton Experimental Watersheds(Columbus, Ohio)

1983년에 미국 동부의 평야지대에 설치된 것으로 물의 양(water yield)에 대한 농업활동이 미치는 영향을 연구·조사하기 위한 것이다.(Harrold, et al., 1962) 이 지역의 고도는 900 ft(270 m)에서 1,300 ft(400 m)에 걸친 평지이다. 또한 유역면적 29에이커(0.12 km²)에서 76에이커(0.31 km²)에 걸친 5개의 소유역으로 분할되어 있으며 주로 강수량과 유출량에 대한 연구를 수행할 수 있게 되어 있다.

3.3.5 The Caribou-Poker Creeks Research Watershed (CPCRW)

알래스카의 Chatanika의 가까이에 위치한 유역면적 104km²의 The Caribou-Poker Creeks Research Watershed (CPCRW)는 생태학적, 수문학적, 기후학적 연구의 목적 때문에 지정되었다. 이 연구는 알래스카주와 알래스카의 웨어뱅크스대학 합동으로 진행되었다. 시험유역의 시



점은 웨어뱅크스로부터 약 31마일쯤 떨어진 Steese 간선도로 부터 시작한다. 이 프로젝트의 광범위한 목표는 유역전체를 통하여 수문학적 과정과 생태학적 체계를 공간적으로 분포하고 상호 종속적인 모형을 할 수 있는 다양한 방법과 능력을 증진시키는데 있을 것이다. 또한 이 연구의 시도는 점점 더 큰 영역의 이해를 외삽시킬 수 있는 수문학, 생태학, 그리고 온천지역 사이의 물리학적 상호관계를 조사하는 데 있을 것이다.

이 프로젝트는 다섯 개의 구별되는 목적을 가질 것이다.

- 1) 시험유역에서 각 포인트의 에너지 평형을 계산할 수 있는 적당한 기상학적 자료를 수집하는 것
- 2) 공간적으로 분포되어있는 수문모형을 계산하고 증명할 수 있는 적합한 유출계측자료들을 수집하는 것.
- 3) 수문체계의 제어와 반응을 완전히 이해할 수 있는 토양함수량의 정확하고 빈도성이 있

- 는 계측을 얻는 것.
- 4) 지하수와 표면수와의 반응을 잘 이해하는데 토양함수와 유수, 그리고 지하수의 화학계측을 얻는 것.
 - 5) 토양의 화학과정을 전망코자 연결된 토양 수분 변천의 조합된 모형을 개선시키는 것.

3.3.6 Hubbard Brook Experimental Forest (HBEF) 시험유역

HBEF은 뉴햄프셔, N. Woodstock 가까이 화이트마운틴 국립 산림지구에 지정되어 있으며, 면적이 3,160ha이다. 본 사이트의 연구 프로그램은 오랜 기간의 산림연구와 이에 연계된 수중 생태계의 연구를 위해 진행되었다. HBEF은 1955년에 뉴잉글랜드에서 수문연구를 위한 주요 기관으로 설립되었다. 이 기관은 미국농무성의 산림부문, 북동부 산림 시험관측소에서 운영하고 있다.

1960년대 초반에 F. Herbert Bormann과 다른 박사들이 자연요소의 순환을 연구하기 위하여 소유역을 연구할 것을 주장하였다. 1963년에 Hubbard Brook Ecosystem Study (HBES)는 Bormann과 Gene E. Likens, 그리고 Noye M. Johnson 박사와 다트머스(Dartmouth) 대학의 교수진, 미국농무성 산림부문의 Robert S. Pierce 박사에 의해 창시되었다. 그들은 대기오염, 벌목, 토지사용의 변화, 곤충군과 기후인자의 증가와 같은 자연과 인간에 의한 개발로 인해 반응하는 수문과 영양물의 흐름 및 순환사이에 연관성을 연구할 소유역을 지점으로 Hubbard Brook 유역에 만들 것을 제안하였다.

그 첫 번째 승인은 HBES의 연구를 지원하는 Bormann and Likens박사에게 1963년 National Science Foundation (NSF)에서 부여되었다. 그때 이후로 NSF 와 USDA Forest Service에서 지원을 계속 해오고 있다. 1988년에 HBEF는 NSF에 의해 장기간 생태학 연구지점(Long-Term Ecological Research (LTER) site) 지정되었다.

진행 중 여러 종류의 학회, 사설 연구기관, 정부 부서, 학교법인과 단체들의 협조에 의하여 수문학, 생물학, 화학, 자연생태계를 기초로 한 광범위하고 가장 오래된 자료들이 연속적으로 나오고 있다.

3.3.7 Santa Rita 시험유역

Southwest Watershed Research Center(SWRC:남서부 시험유역 연구센터)는 최근 SRER(산타 리타 시험유역) 사이에 8개의 작은 시험유역을 진행시키고 있으며, 미국 서부(동부:1903년)에서 가장 오랜 동안 유지되었다. 1975년에 착수되었고 이 8개의 소유역은 2개 1조로 구성되어 진다.

각 유역은 1개의 우량기록계와 인공수로가 설치되어 있으며 시험유역의 면적은 0.015km²에서 0.0401km²까지 걸쳐있다. 시험유역 중 4개(#1-4)는 시험유역의 면적비율이 적은 주로 관목이 있는 지역에 위치하고 있으며, 나머지 4개(#5-8)의 시험유역은 면적비율이 높은 주로 草地에 자리잡고 있다.

최근 애리조나 대학에 의해 운영되고 있으며 SRER은 대학교와 연계하여 작업을 하는 SWRC 연구진을 위한 연구소로서 제공되어지고 있다. 산타 리타 산맥의 서부 골짜기에 위치한 유역은 완만하게 경사진 면적이 수 킬로미터인 지역으로 둘러싸여 있다.

출판 자료는 ARS Water Data Center database에 #76에 위치하고 있으며 강우, 유출, 기상자료들이 포함되어 있다.

최근의 GIS자료는 아리조나대학의 Advanced Resource Technology Laboratory과 연계하여 만들어져왔다. SRER 전부를 포함하는 소축척의 GIS는 아리조나 농과대학에 수행되어진다.

3.3.8 Walnut Gulch 시험유역

(1) 강우와 유출측정

역사적인 도시 Tomstone을 둘러싸고 있는 남동부 애리조나에 위치한 면적 150km²인 본 유역은 1950년대 초반 하류유역의 유출산정에 관한 규정을 연구하기 위해 시작되었다. 본 지점은 주로 남부 뉴멕시코와 애리조나의 전형적인 흑색 목초지로 이루어져 있다.

강우측정 기록망은 1954년에 시작되었다. 그 이후, 강우측정 기록계측기를 최근 SWRC 연구진에 의해 유지되고 있는 거의 100여개로 늘었다. 강우계를 보완하는 25개의 수로와 위어는 유역면적 112km²에서 0.3km²크기의 소유역에 만들어져 있다.

관측기구의 네트워크 결과에 의한 소유역과 수로가 연계된 기본설계가 갖추어졌다.

수문측정에 덧붙여, 애리조나의 National Weather Service Tombstone으로부터 기본적인 기상자료들(일별 강우, 최대 및 최소 기온)이 1960년대 초반이래 SWRC 연구진들에 의해 유지되고 있다.

(2) 출간된 데이터 소스

ARS Water Data Center database #63에 소개(강우, 유출, 기상자료)해 있다.

(3) GIS 데이터 소스

GIS를 이용한 앞선 지도제작기술을 사용하여 본 유역을 제작하였으며, 대축척의 정사진(orthophotos) 조합, 고해상도의 수치고도모델, 혁신적인 지역특성화들 포함하고 있다. 이러한 데이터베이스의 구조는 애리조나대학의 Advanced Resource Technology Lab과 연계하여 만들어졌다. 이 데이터베이스에 포함된 항목들은 아래와 같다.

- 1) 채널 네트워크
- 2) 수치고도모델
- 3) 정투영사진
- 4) 토질
- 5) 관측지점
- 6) 지질
- 7) 식생
- 8) 소유권(ownership)
- 9) 소유역

이 밖에도 수문분석의 주요 목적인 수문모형 개발을 위해 설치 운영되는 시험유역이 다수 있으며, 표 3.4은 미국내에서 운영되는 시험유역 중에 강수량에 대한 연구분석을 목적으로 하는 시험유역의 내용을 개략적으로 나타낸 것이다.

표 3.4 확정론적 수문모형 개발을 위한 시험유역

시험유역	지역 특성	면적	관측밀도 (관측소수)	표준오차의 범위	적용모형	출처
Southern California	산지	32.5 km ² (9.7 mi ²)		20% (시우량)	모형변수 최적기법	Dawdy and Bergmann (1969)
Central California	산지	25.9 km ² (10 mi ²)	20 stations	거의일치 (평균우량)	상관분석	Amorocho, et al. (1968)
East-Central Illinois Network Watershed	평지	1036.8 km ² (400 mi ²)	49 stations	10% (시우량)	SWM-IV Model	Johanson, R. C (1971)
New South Walse	산지			3.4% (시우량)	SWM-IV Model	Black, R. E (1973)

3.4 호주의 시험유역

3.4.1 Western Watershed

호주에서 수문연구 및 이와 관련된 제반 연구를 하기 위한 시험유역은 주로 '뉴 남부 웨일즈 대학'에서 운영하고 있다. 이들 시험유역은 시드니 근교에 15개의 유역을 선정하여 운영되어 왔으며, 이중 13개 유역은 자연유역에, 2개 유역은 하수관망에 의해 유역이 구분되는 도시유역에 설치되어 있다.

자연유역에 위치한 시험유역은 시드니에서 대략 48km 위치한 외곽의 Western 유역과 Hacking 유역에 분포되어 있다. 이들 두 유역은 유역간 상호 유사한 특성들도 있지만, 수문학적 유역 특성은 현저하게 구분된다. 이와 같은 물리적인 특성이 서로 대비되는 유역을 선정한 것은 수문학적으로 상호 어떠한 특성이 있는지 규명하기 위해서이다.

Western 유역에 위치한 4개 유역은 그 면적이 0.065 km²에서 88.9 km²의 범위로 분포되어 있다. Western 유역은 도시개발이 이미 완료된 지역과 현재 진행중인 지역에 위치한 도시유출 시험유역이라 할 수 있다. 이 지역은 DO, pH, 수온, 염도 등 관측기기를 이용하여 측정할 수 있는 수질을 측정하고 있으며, 특수한 연구목적을 위해 정기적으로 시료를 채취, 분석하여 자료를 축적하고 있다.

Hacking 유역에 위치한 시험유역은 시드니 남쪽 Hacking 강 유역의 국립공원에 위치해 있으며, 유역면적이 39.8 km²인 가장 큰 유역에 나머지 8개 유역이 모두 포함된 형태로 구성되어 있다. 가장 작은 유역의 면적은 0.38 km²이며, 시험유역 자체가 국립공원에 포함되어 있어 수질은 양호한 편이며, 민간인의 거주나 개발행위는 일체 불허하고 있는 자연유역이다.

Western 유역과 Hacking 유역의 특성은 표 3.5과 같다. 이처럼 호주의 시험유역은 극단적으로 작은 유역과 비교적 큰 유역면적을 갖는 유역으로 다양하게 분포되어 있다.

각 유역에는 자기우량계와 자기수위계가 조밀하게 설치되어 있다. 관측기기의 일부는 연방 기상국에서 운영하는 것도 있으나, 대부분의 측정기구들은 대학에서 설치 운영하고 있는 실정이다.

관측자료도 과거에는 주로 강우량과 유출량을 위주로 측정하였으나 최근 들어서 유량측정 지점에서 수질자료도 동시에 측정하고 있다. 또한 관측된 모든 자료는 온라인으로 연결되어 측정과 동시에 데이터 베이스화 되고 있으며, 이와 같은 관리체계는 수문자료를 거의 실시간으로 처리 할 수 있도록 하고 있다.

3.5 캐나다의 시험유역

3.5.1 Coldwater Lake 시험유역

The Centre for Northern Forest Ecosystem Research (CNFER : 북부 산림생태계 연구센터)는 레이크헤드 대학교 교정에 있고, 지금은 35명이 넘는 온타리오정부의 천연자원 임원들과 대학 출신 졸업생들이 연구에 종사하고 있다.

CNFER에서의 연구는 온타리오의 최고지에서 벌목관리의 환경적인 효과에 대한 자세한 정보와 온타리오의 산림생태계를 저해하는 바람직스럽지 못한 효과에서 현행의 벌목관리정책의 유효성을 MNR위원회에 제공하는 것으로 초점이 맞추어져 있다. 콜드워터 호수 연구프로젝트

는 1990년에 시작되었고, 시험적으로 호수생태계에 대한 벌목의 영향을 연구하였으며, 연안의 완충제를 제거함으로써 생기는 영향에 대한 정보를 제공하는 것이 이 프로젝트의 목적이다.

표 3.5 호주 시험유역 특성인자

유역명	유역 면적 (km ²)	분류 유로연장 (km)	고도 차이 (m)	분류 경사 (%)	유역 평균경사 (%)
Western					
South CK at Mulgoa Road	88.9	22.8	121.9	0.5	3
Eastern CK	24.7	9.3	91.4	1.0	3
Mt. Vernon CK	0.7	1.0	53.3	5.6	8
Badgerys CK Flume	0.06	도시지역	도시지역	도시지역	6
Hacking					
Hacking R. at Upper Causeway	39.8	17.9	312.4	1.8	14
Cawleys CK at Lower Cawleys	5.5	5.5	68.2	5.0	12
Cawleys CK at Railway	2.6	2.3	137.2	6.3	10
Research CK	0.38	0.8	56.4	7.1	10
Hacking R. at Berndale	22.4	13.4	304.8	2.3	14
Boora CK	0.09	1.6	237.7	14.8	30
Hacking R. at Otford	8.0	6.1	246.9	4.0	12
Kelly CK	2.5	2.7	112.8	4.1	8
Gills CK	0.8	1.3	79.2	6.2	7

이 프로젝트는 coolwater 호수와 coldwater stream에 관한 벌목관리영향을 보고하는 좀 더 큰 집계된 프로그램 중의 일부분이다.

본 연구는 영리적인 목재생산에 대한 토양학적 반응, headwater 호수부근 배수유역의 반응에 대한 상세한 관찰을 또한 목적으로 한다. 이 연구의 대상이 된 호수들은 온타리오 Atikokan의 북서부 70km에 위치하고 있으며, 송어, 일반적인 백서커, 작은 물고기들, 수백종의 다른 수생식물과 동물들을 서식시키고 있다.

(1) 기상학에 관한 사항

연구지역의 기후상태를 관찰하기 위해서 넓은 지역에 측후소가 1993년이래 시험유역에서 관측되어왔다. 부양 측후소는 본 호수의 수온과 풍속, 풍향, 강우량, 상대습도, 광도 등을 포함한 호수 표면의 기후상태를 기록하기 위하여 배치되었다.

(2) 수문학 연구에 관한 사항

벌목은 시험유역 생태계로부터 유출량과 시간은 변화시킬 수 있다. 이러한 변화를 측정하기 위하여 호수의 유입부와 유출부에 V자형 위어를 사용하여 자동화된 자료들을 측정한다.

(3) 유사 연구에 관한 사항

벌목과 함께 일어난 토질의 교란은 물의 흐름속 에서 미세한 유사물들을 증가시킬 수 있다. 근거리 연안의 유사는 화강암 토관을 사용하여 표시되어지고 있다. 원거리 연안의 유사는 각 호수에서 트랩을 설치하여 측정하고 있다. 이러한 유사는 호수내의 수중생물들과 어류들의 산란을 방해하는 것으로 추측되어진다.

(4) 호소수리학 연구에 관한 사항

일년에 한번씩 발생하는 북부 온타리오에서 호수의 혼합과 성층화, 그 후에 일어나는 기온, 화학적 산소구조는 수면에 불어오는 바람에 의해 영향을 가장 많이 받는다. 호수주변을 덮는 숲의 벌목은 바람, 기온변화, 산소와 유사유역을 증가시킬 것이다. 혼란스러운 물결은 녹이기 쉬운 석고 블록을 사용하여 표시되어진다.

(5) 수중환경 연구에 관한 연구

호수의 송어는 일정한 수온과 충분한 용존산소의 조건하에서 살 수 있으며, 이러한 생태환경에 민감하다. 수면하의 온도와 산소 상태는 이러한 변화를 관측하기 위하여 각 호수마다 주 유역에서 기록한다. 수온과 용존산소는 기상의 복잡한 상호작용과 호수로 유입되는 영양물에 의해 통제되어진다. 이것은 마치 벌목에 의해 변화되어지는 것과 같은 양상을 띤다.

(6) 호소내 화학적 성질에 관한 연구

화학성과 영양물의 구성은 호수 유입부와 유출부에서 시험시료의 수집에 의해 관찰되어진다. 이러한 분석은 본 유역의 생태계 영양물의 균형에 대한 정보를 제공하고 벌목으로 인하여 초래된 상황변화에 민감할 것이다.

(7) 식물성 플랑크톤과 동물성 플랑크톤

식물성 플랑크톤은 미세식물군으로서, 동물성 플랑크톤의 먹이가 되고 이들 또한 치어들의 먹이가 된다. 이들은 모든 호수에서 관찰되어진다. 이 플랑크톤들은 벌목의 영향에 민감하고 그러한 변화에도 예민한 반응을 보인다.

(8) 수중 곤충군

많은 종류의 수중곤충들은 물고기의 먹이가 되고, 호수내의 침전물로서 먹이사슬의 첫 단계가 된다. 이러한 것은 호수내의 수중 먹이사슬의 중요한 요소에 대하여 벌목의 효과를 평가하기 위하여 관측되어지고 있다.

(9) 어군의 관찰

궁극적으로 이 프로젝트는 벌목에 대한 서식 어류의 영향과 이러한 변화가 어류에 영향을 끼치는지에 고려되어진다. 성어들의 수를 산정하기 위하여 송어와 일반적인 백서커는 그들의 산란기간동안 구분표시가 되어진다. 어떤 것들은 성장률을 측정하기 위하여 뼈나 조직을 분석

되기도 하고 체내의 수은이나 폴리염화비페닐(PCB)과 같은 오염물질의 양을 측정하기 위해 소각되기도 한다. 먹이를 찾는 잡어와 같은 물고기들 또한 관찰되어진다.

(10) 시험유역의 특징

수중효과관찰에 덧붙여, 콜드워터 레이크 프로젝트는 또한 상세한 지상의 요소를 갖는다. CNFER의 파트너들은 대조되는 벌목 전후 상태의 연구시험유역에서 식생과 토질내의 영양분의 양과 분포 등을 도면화하고 있다. 호수가의 식생은 호수연안의 숲과 서식어류사이의 관계를 판단하기 위해 매핑되고 있는 중이다. 이러한 오랜 기간동안의 포괄적인 생태계 표시는 벌목에 따른 호수 생태계의 적절한 변화를 발견할 것이다. 이 프로젝트에서 수집된 자료들은 조 심스레 북미의 다른 지역에서 진행중인 유사한 연구와 비교될 것이다.

3.6 스위스의 시험유역

3.6.1 Rietholzbach 시험유역

Rietholzbach 시험유역은 스위스 북동부에 있는 면적 3.18km²의 소규모 상류 유역이다. 토지의 이용실태는 80%의 농업(草木地)과 20% 산림지로 구성되어 있다. 본 유역은 70년대 중반(1975년)부터 집중적으로 연구되었다.

본 프로그램의 일반적인 목적은 대체로 자연환경에서 모든 종류의 수문학적인 과정에 대한 이해를 증진시킬 목적으로 연구를 위한 데이터 베이스를 제공하는 데 있다. 이러한 연구들의 최종목표는 유역 수문학에서의 선진화된 모델링 작업이다. 몇몇의 일시적이거나 전문화된 관측 프로그램들은 오래도록 연구되어오고 있다.

최근의 연구는 Rietholzbach 시험유역에서 취급되는 토질-식생-대기의 시스템에서의 증발산 모델링과, 시험유역에서의 water residence time과 일반적인 유출로부터의 현장자료에 근거를 두고 있다. 다른 프로젝트에서는, Rietholzbach 시험유역에서의 자료가 예상되는 기상변화에 따른 가능한 물수지변화의 시각에서 시험유역 모형화에 관한 해결자료로서 사용되어왔다.

스위스 취리히 ETHZ에 있는 Hydrology Section of the institute of Geography(지리연구소 수문분야)에서 관측기구와 측정기구를 유지, 보수하고 있다. 사용되는 표준 기구들은 weighable lysimeter, soil moisture probes, 그리고 ground observation wells 그외에 우량계와 하천수위계, 기온계, 습도계, radiation sensors 등이다.

본 유역의 주된 지질은 주로 "Obere Suesswassermolasse"(제3기의)로 구성되어 있다. 이러한 유사물(Toesswald Schichten)는 칼슘을 함유한 역암질이고, 화성암은 모래질과 점토질층으로 결합되었다.

복류수 측정은 3개 요소로 나뉘어진다. 상부 왼쪽 (0-1.2m), 상부 오른쪽 (0-1.2m), 심층

(1.2-2.5m) 토질에서의 후미흐름(Lateral flow)은 유출에 중요한 기여를 하는 것으로 보여진다.

- * 흐름 요소(지표수와 복류수)의 측정과 자연강우조건과 다른 모의실험하에서의 토양 함수량과 가능성의 관측.
- * 지표면 유출을 저해할 토양의 침투능력보다 적은, 알맞은 강우강도에 의해 안정된 상태 아래에서 후미의 복류수 흐름의 특징들을 측정할 이온성과 형광성 추적기의 사용. 재래의 이송모델은 언덕사면에서 적어도 2개의 표본지점을 사용함으로써 가장 좋은 후미흐름의 양을 측정하는데 이용되어질 것이다.

3.7 아프리카의 시험유역

3.7.1 Flow Regimes from International Experimental and Network Data(FRIEND Project)

(1) 목적과 연구프로그램

남아프리카의 '프렌드' 프로젝트는 유네스코 네 번째 국제 수문학적 프로그램의 일부분인 국제 프렌드 프로그램에 기여를 하고 있다. 남아프리카 '프렌드' 프로젝트에 참여하고 있는 주요 연구진들은 탄자니아의 Dar Es Salaam 대학교와 영국의 IH, Southern African Development Community (SADC)에 소속된 국가들의 국립 수문학 서비스(National Hydrological Services), IWR(Institute for Water Research), 그리고 남아프리카의 Rhodes대학교이다.

이 프로젝트의 일반적인 목표는

'수자원 평가 목적의 다양성에 관하여 남아프리카사이의 적절한 결정론적 유역모형들의 적용에 관한 발전하는 과정과 지침'이다.

세부적인 목표는 다음 사항으로 설명할 수 있다.

- 1) 남아프리카에서 모형에 관한 그 이전에 적용한 정보를 대조하는 것.
- 2) 시험을 위한 적절한 일별, 월별 시간-단계를 선정하는 것.
- 3) 시험유역에 관한 강우, 유출, 증발과 물리학적 특징의 적절한 시험자료들을 편집하는 것
- 4) 모형의 측정, 다른 모형의 확인 또는 자료의 효용성, 관련된 결점을 통하여 남아프리카의 다른 소유역의 선택된 모형의 일반적인 적용성을 결정하는 것.
- 5) 토지 사용변화에 따른 영향을 알아보기 위한 모형의 적용성 테스트
- 6) 남아프리카 지점(관측지역과 결측지역)에서 모형인자値의 추정에 관한 지침을 작성하는 것.
- 7) 소프트웨어의 적절한 사용을 위한 일괄적인 모형, 자료와 연계된 준비, 그리고 분석과정

개발

8) 남아프리카에서 강우-유출모형의 이해와 사용에 있어 이해력을 향상시키는 훈련을 제공
월별 시간 단계의 Pitman Model (Pitman, 1976; Pitman and Kakebeeke, 1991)은 남아프리카에
서 광범위하게 적용되어져왔고 또한 스위스, 레소토, 보츠와나, 잠비아, 그리고 나미비아에서
도 적용되어져 왔다. 최근 몇 년 동안에 IWR는 복잡하고 널리 분포가 되며 물리적으로 기본
이 되는 모형들로 접근하려는 시도를 한 일별 time-step (또는 less)모형을 발전시켜왔으며 일
률적인 접근법으로 단순화 시켰다. 그 결과 남아프리카지역(반건조 지대에서 습한 지대)의 유
역에서 나타나는 특징의 잘 모의할 수 있는 반분포 모형(VTI 모델 - Hughes and Sami, 1994)
이 만들어졌다. 그것은 또한 추상적인 물의 다양한 형상뿐만 아니라 지표수-지하수간의 상호
작용을 모의 실험할 수 있는 루틴을 포함하고 있으며 남아프리카지역의 많은 곳에서 성공적
으로 적용시켜왔다.

이외의 국외 시험유역에 대한 조사 결과는 다음의 표 3.6과 같다.

표 3.6 외국의 시험유역 사례와 그 역할

비고 항목	국가	England		America		Switzerland	Canada	Australia	Africa (FRIEND Project)	
		Plyminton 유역	Brue 유역	Hubbard brook 유역	Santa Rita 유역					Walnut Gulch 유역
유역	일본									
유역 기관	쓰쿠바 유역									
유역 위치	일본 쓰쿠바 시험유역 토목연구소 수문연구소	IH (Institute of Hydrology)	National Environment Research Council	U.S. forest service	미농부성 (U.S.D.A)	IFW (Institute of Hydromechanics and Water Resources Management)	CNFR (The centre for Northern Forest Ecosystem)	HRIC (Herbert Resource Information Centre)	Flow Regime from International Experimental and Network Data	
유역 면적	3.12km ²	8.7km ²	13.2km ²	31km ²	0.24km ²	3.18km ²	약 1000km ²	약 1000km ²		
유역 연장	총 유역 연장 14.8km	13.28km	13.86km				약 340km			
유역 특성	· 생활적인 상하수역 · 최고 EL: 20m · 유역출구 EL: 142m · 연평균 강수량 1450mm	· 광대한 전나·대초원인 · 물 소모지 부족 · 식생물 제외된 두 유역의 · 제반조건이나 특성이 비슷하 · 여 수문기상자료는 20년 이 · 상 수질 분석하여 일정한 동 · 일 기상조건의 유역에서 식 · 반용을 조사	· 전연간인 지상으로 · 적당한 기복이 있다.		· 8개의 subwatershed · 를 가지고 있다. · 각 강의 소유역 유역 · 의 크기는 0.01~0.04 · km ² 의 크기를 가진다.	· 20%의 삼림지와 80%의 · 농지로 구성 · .기안양은 황송암과 화성 · 암으로 이루어져 있고, · 도래 및 진흙의 퇴적물이 · 결합되어 있다. 이러한 · 퇴적암은 빙하적이었고 · 있다.	· 여름철 수난 습윤 · 겨울 약간 건조 · 11월경 이동해 5월까지 · Cyclonic 영향으로 강 · 우량이 많음 · 연 평균 강수량 · 1370mm(지역차 있음) · 표고차 1070m	· 여름철 수난 습윤 · 겨울 약간 건조 · 11월경 이동해 5월까지 · Cyclonic 영향으로 강 · 우량이 많음 · 연 평균 강수량 · 1370mm(지역차 있음) · 표고차 1070m		
관측 기간	1969	1993	1955	1950년대 초~	1990~	1970 중반	1990	1994-1997(제 1차)		
관측 높이	약 500m		평균 200~300m							
관측 항목	통한, 풍속, 일사량, 기온, 지형, 중발량, 토양수분 등 기상자료	기상, 유출, 증발산, 차단, 수질, 유사량 등의 수문기상	기상, 지형, 토양, 하천, 토수, 동물군, 식물 등	강우, 유출, 지형정보	강우, 유출, 지형정보, 하천망, DEM, 방광사진, 토양, 구역구분, 지형, 식생, 소유역, 소유면	토양 수분함, 경우량, 습도, 토양 온도, 유출, 지하수, 기상	기상, 수문자료, 유사, 수문, 용관 산소량, 수증기량	강우량, 토양, 지형 토지 이용, 식생, 동물군	유형	
관측 방법 및 관측 기기		기반함은 40개의 유량 기록 장치, 9개의 하천 수위관측소, 4개의 자동기상관측소로 구성되고 Tepezoidal flume, Camp weir, Steep stream flume 등의 위어를 설치하여 유량을 관측	기상 데이터, 조밀한 유량계 네트워크, 자동기상관측소(AWS), 토양수분관측소(AWS), V-notch, Sun Dims flume를 사용해 유량 측정	8개의 subwatershed는 각각 하나의 flume와 raingage를 가지고 있다.	· 1954년 precipitation gage가 설치되어, 현재 100여 개에 이른다 · 여러개의 소유역으로 나뉘어지고 있으며 현재 25개의 flume와 weir가 있음. · 각 소유역마다 raingage와 flume가 설치되어 있다.	· 유출수 측정 지점 : 3개소 · 지하수 관측 : 4개소 · 습지대 : 2개소 · Tensionmeter : soilmoisture측정기 · TDR Probes : moisture point측정기 · Datalogger : data연속 기록	· 기상 관측소 설치 · 수문자료 · 토수의 유입부와 유출부에서 v-notch와 유출 이용해 유량 측정 · 유사 · granite tile를 이용, 연못은 빙하관용 이용해 관측	· 남아프리카 전역에 700여개의 관측소를 설치하여 유출을 매일 측정하여 정보를 제공하며 유출을 측정 D/B를 구축.		

