

실시간 물 관리를 위한 유역 유출 분석 시스템

Basin-wide Runoff Analysis System for Integrated
Real-time Water Management

고익환 · 황만하 · 맹승진

한국수자원공사 수자원연구원 수자원시스템연구소 소 장
한국수자원공사 수자원연구원 수자원시스템연구소 책임연구원
한국수자원공사 수자원연구원 수자원시스템연구소 책임연구원

1. 개 요

수자원 분야의 기술은 이수, 치수 및 수질환경으로 나뉘어 각각의 분야별로 기초와 응용연구들이 진행되어 왔으나 유역 혹은 범유역 단위의 수자원 통합관리기술에 대한 연구는 희박한 실정이다. 그러나 우리나라는 계절적으로 편중된 강우특성 때문에 이수와 치수관리가 분리될 수 없고, 특히 하천의 수량과 수질은 유기적으로 연관되어 있으며, 하천의 상·하류가 인과관계에 있기 때문에 앞으로의 수자원관리는 하천유역단위를 중심으로 한 통합적인 관리 필요성이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

일반적으로, 수자원 통합관리기술을 위한 수자원 관리는 생활, 공업 및 농업용수 등을 안정적으로 공급하는 이수관리와 홍수피해를 최소화하는 치수 관리 및 맑은 물 공급과 친수환경을 위한 수질환경 관리로 구분할 수 있다. 이러한 수자원 관리는 개발된 수자원 시설물의 목적에 적합하게 이루어져야 한다. 수자원 시설물들 중에서 다목적댐과 같은 시

설물을 중장기적으로 운영하기 위해서는 댐 건설시에 작성해 놓은 운영율에 따르는 것이 원칙이기는 하나, 댐이 건설되고 난 후 시간이 경과함에 따라 유역의 수문 기상 조건이 변화되고, 용수수요 등 사회, 경제적 여건이 변화하여 초기에 작성된 운영율에만 의존하는 것은 적절치 못할 수도 있다. 특히, 지금까지 우리나라의 다목적댐 운영은 단일 댐 위주로, 그리고 댐 상류 유역의 수문학적 조건에 따라 온 것이 사실이지만, 수자원 통합관리를 위해 점차 수계 전체를 고려하고 수계 내 댐들을 연계 운영할 필요성이 사회적으로 증대되고 있다.

이에 따라 국내에서는 지금까지 이수관리를 목적으로 저수지 또는 저수지군의 최적(연계)운영모형 개발에 관한 연구들을 다수 수행한 바 있다. 이들에 관한 국내 사례를 살펴보면, 한강, 금강, 낙동강 수계에서는 Hydro-scheduling 모형 (1994) 과 CoMOM (Coordinated Multi-reservoir Operating Model for Han River Basin) (1998)을 개발하였고 낙동강 수계에 대해서는 저

수관리시스템 (1997)을 개발하여 적용하였으며 한강수계에서는 SSARR 모형을 기반으로 한 저수유출 수문모형을 개발하여 (2001) 적용하고 있다.

이러한 적용 사례에도 불구하고 수자원 통합관리를 위한 이수관리의 근간이 되는 수계 연속유출 모의 모형은 개척 초기단계에 머무르고 있는 실정이다. 특히, 연속유출 모의 모형을 적용하기 위해서는 유역 유출량의 파악이 선행되어야 한다. 그러나 지금까지의 많은 연구에서 지적되어 왔듯이, 우리나라에서는 기초수문조사, 특히 유량관측의 미비로 말미암아, 연속유출 모의 모형의 주요 입력자료인 유출량 자료의 확보가 어려운 상황이다. 이를 극복하기 위한 방안과 더불어 수문모형을 이용하면 비교적 자료기간이 길고 관측밀도가 높은 강우량으로부터 유출량을 모의 할 수 있다. 국내에서 사용되어 온 모형으로는 미국 공병단의 SSARR, 미국 기상청의 NWSRFS 또는 NWS-PC, 개념적 모델인 TANK, 그리고 DAWAST 모형 등 여러 가지 모형을 들 수 있다. 그러나, 수자원 통합관리를 위해 국내에서는 아직까지 한국수자원공사와 같은 실무 적용회사에서 실용화하여 활성화된 유역유출 모의 모형을 찾아내지 못한 상태이고, 특히, 각종 용수 이용이 복잡하게 얽혀있는 국내 실정에 비추어 볼 때 수자원관리 즉, 댐 운영 및 향후 수계관리를 위한 유역유출 분석 시스템의 개발은 시급히 해결해야 할 과제이다.

이러한 문제를 해결하기 위해 한국수자원공사에서는 '수자원의 지속적 확보 기술 개발 사업단'의 지원을 받아 유역 유출 분석 시스템을 2004년 6월을 목표로 개발하고 있는 중이다. 따라서, 본고에서는 현재 개발중인 유역 유출 분석 시스템에 대해 서술하고자 한다.

2. 시스템의 기능과 구성

유역 유출 분석 시스템은 홍수기를 포함한 평수기와 갈수기의 수계 물관리 시스템이라고 할 수 있다. 그러나, 현재 한국수자원공사에서 홍수기는 홍수방재 시스템이 홍수피해의 최소화를 위한 치수목적의 물관리를 관장하고 있으며 평수기와 갈수기는 통계학적 기법에 의한 이수목적의 물관리를 관장하고 있는 실정이다.

따라서, 현재 개발되고 있는 유역유출 분석 시스템은 평·갈수기 동안 수계의 물 현황에 대한 정확한 정보를 바탕으로, 용수수요와 하천유지유량에 필요한 댐 및 저수지 용수의 수급을 원활하게 하는 것이 목적이다. 또한, 현재의 물 상황뿐만 아니라 미래에 전개될 물 상황을 예측하여 미래의 용수 수급에도 대비할 수 있어야 한다.

이러한 유역 유출 분석 시스템은 다음과 같은 기능과 구성을 갖추어야 한다.

가. 기 능

유역 유출 모의 시스템은 ① 실시간 물상황 정보 파악, ② 지역별 용도별 용수수요 파악 및 예측 자료 파악, ③ 장단기 강수량 예측 자료 파악, ④ 하천유황 예측, ⑤ 물 수급 현황파악 및 계획수립 지원으로 크게 5가지로 대별할 수 있으며 이들을 위한 기능과 요소는 표 1과 같다.

나. 구 성

유역 유출 분석 시스템은 종합 물 관리 기능의 핵심 기능이며 이 시스템은 실시간 물상황 파악에서부터 하천유황 변화 예측으로까지 이어진다. 결국, 이 시스템의 주요 출력물은 '하천유황'이다. 이 자료는 물 수급 현황파악 및 계획수립에 관련된 보고 기능 및 복잡한 물관리 업무의 사용자와 관리

표 1 유역 유출 분석 시스템의 주요 구성 요소

구 분	주요기능	사용기술	주요입력자료	관련자료
실시간 물상황 정보 파악	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 현재 댐 수위, 저수량, 유입량, 방류량, 댐 수질, ◦ 하천 수위, 유량 및 수질의 실시간 파악 ◦ 강우량 자료, 송수신 결측치 보완(강우, 수위, 기상 및 수질) 	T/M	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 댐 및 하천 수위 ◦ 댐 유입량 ◦ 댐 방류량 ◦ 하천수위 등 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 댐 수위-유량 ◦ 하천 수위-유량 ◦ 곡선
용수수요 파악 및 예측 자료 파악	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 농업, 공업 및 생활용수 현황 파악 ◦ 용수수요 변동 예측 자료 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 현황조사 ◦ 수요예측 모델링 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 지역별 용도별 용수수요 ◦ 인구변화율 ◦ 산업별 변화율 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 지자체별 산업구조
장단기 강수량 예측 자료 파악	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 주간, 월간, 계절별 강우량 예측 자료 	강우예측 모델링	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 기상도 ◦ 과거 기상자료 	
하천유황 예측	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 댐 하류부 유황예측 	강우유출 모델링	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 예상 댐 방류량 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 하천 및 유역 수문
물 수급 현황파악 및 계획수립 지원	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 물 수급 현황 및 물수지 분석, 유출량 평가 계획보고서 작성 등의 업무 지원 기능 		<ul style="list-style-type: none"> ◦ 실시간 물 상황 ◦ 용수수요 예측 ◦ 하천 유지 유량 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 하천 및 유역 수문 ◦ 용수수요 관련 자료

자에게 물 경영정책 결정에 많은 도움을 줄 수 있을 것이다.

유역 유출 분석 시스템이 다루는 자료는 매우 다양하다. 실시간의 물상황 자료가 필요하므로 원격 측정되는 수문 데이터베이스에 접근할 수 있어야 하며, 물수급 변화와 수문 모델링에 의한 유형분석을 위하여 유역지리정보 시스템의 자료도 필요하고, 각종 모델링에 관한 매개변수 자료도 필요하다.

이러한 유역 유출 모의 시스템의 구성를 도시하면 그림 1과 같다.

3. 시스템 체계

현재, 한국수자원공사에서는 금강유역을 대상으로 유역 유출 분석 시스템을 개발 중이며, 시스템

에 사용된 유출량 예측 모형은 SSARR모형을 근간으로 하였다. 유출량 예측모형의 내부구조는 금강권역 전역에 해당하는 9,800 km² 이상의 지역에 해당한다. 유출량 예측모형은 SSARR모형을 수정하였으며, 현재는 Hydro Web Data System에 개발된 유역 유출 분석 시스템인 River basin Rainfall-runoff Forecasting System (RRFS)을 결합하는 단계에 있다. 이렇게 개발될 유역 유출 분석 시스템을 가칭 RRFS라고 한다.

RRFS의 내부구조는 데이터의 수집, 확인 및 유출량 예측 계산에 포함된 실시간 데이터의 처리를 위해 사용하는 각종 함수들로 이루어지고 개개 모형간의 결합을 통해 유출량 예측을 최종 목표로 개발되고 있다.

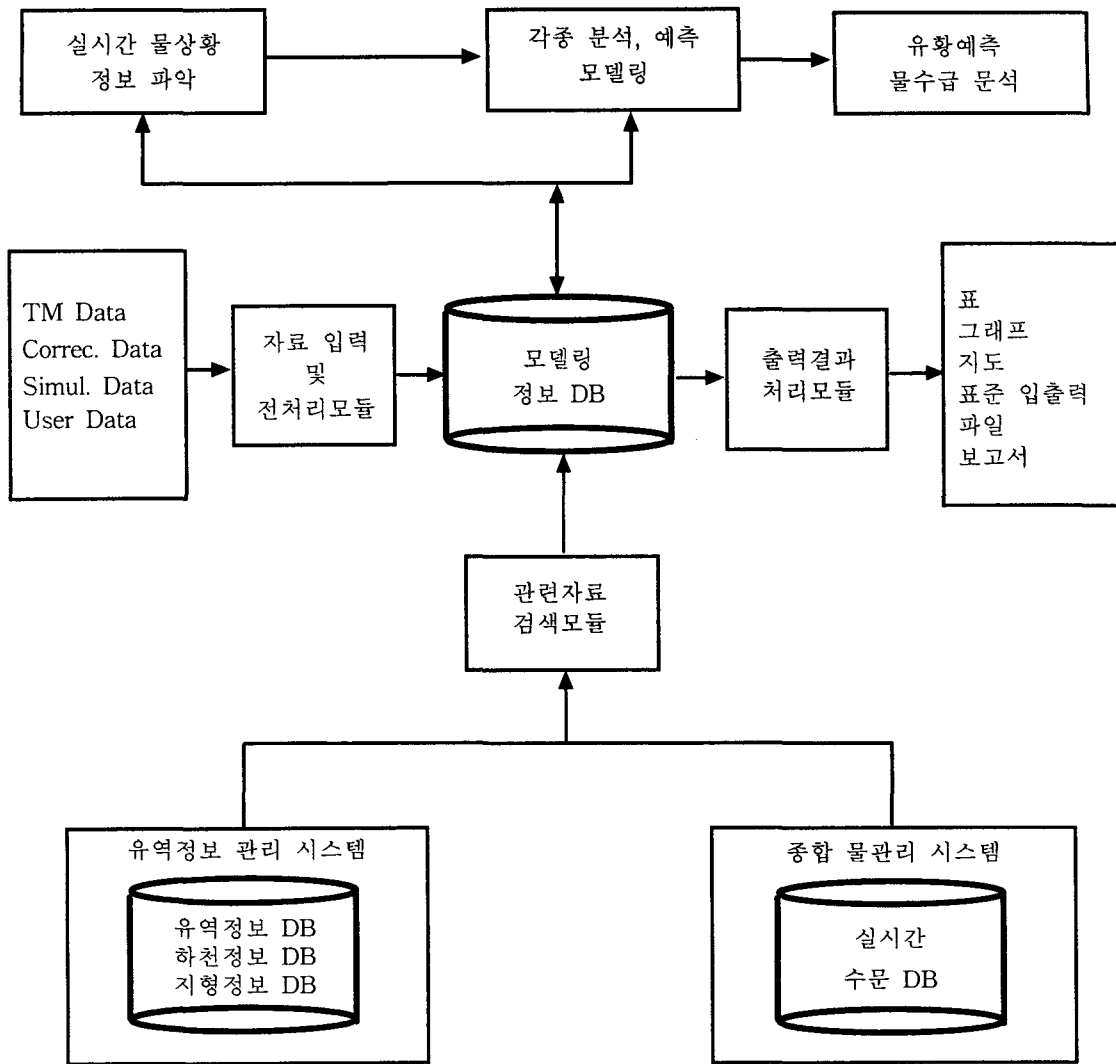


그림 1 유역 유출 분석 시스템 구성도

가. 유출모의 과정

유역의 수문학적 유출과정을 모의하기 위한 강우-유출모형(Rainfall-Runoff Model)에서는 유역의 강우에 의한 유출은 강우에 의한 지표면 유출성분에 의한 직접유출(direct runoff)과 지표하에서의 침투와 침투 후의 유출성분인 중간유출(inter flow) 및 지하수 유출(groundwater runoff) 등

으로 구분하고 이들을 모형화 한다. 이러한 유출구조를 시간척도로 보면 지표유출은 호우직후에 지표를 따라 신속하게 발생하는 유출성분이며, 중간유출과 지하수 유출은 지표유출에 비해 보다 천천히 발생하는 유출성분으로 구분된다. 연속유출모의나 사상형 유출모의에 있어서 실제 강우로부터 유역의 유출을 보다 정량적으로 분석하고, 이를 위한 모형

의 각종 변수를 추정하기 위해서는 관측수문곡선의 총유출량을 모의하기보다는 각 유출성분을 비교하고 검증하도록 한다. 특히 강우-유출모형의 이용에서 모형에 따른 각 매개변수의 추정과 손실 또는 유출정도를 나타내는 각종 변수를 신뢰성 있게 추정하기 위해서는 모형의 매개변수 추정 이전에 관측수문곡선의 정량적인 분석을 면밀하게 수행할 수 있도록 한다.

나. RRFs 구동 체계

RRFS는 수문 시스템 정의, 실시간 자료 취득 및 보정, 실시간 유출량 계산 및 수문시설 운영계획 등의 HydroWebData의 특정한 함수들과 직접적으로 연결되어 있다. 이러한 RRFs의 주요 내부 구동 체계를 그림 2에 도시하였다.

수문분석은 HydroWebData와 같은 하천운영 시스템에 고정된 데이터베이스를 이용한다. 이들 데이터는 사용자가 소유역의 특성을 정의하기 위한 모형의 물리적 요소의 데이터와, 모든 하천관측소, 수위 관측소 및 기상관측소와 같은 시설에 대한 데이터로 구분하여 사용할 수 있다.

또한, HydroWebData시스템은 실시간 데이터와 수문분석 모형을 연동하여 운영된다. 이를 위해서는 자동으로 dynamic 데이터베이스를 구성하고 과거의 데이터와 교체가 자유로워야한다. HydroWebData시스템은 데이터 취득, 보정 및 사용자로부터 요구된 데이터의 모의를 수행한다. 모든 기상 정보(예측 그리고 관측소 또는 레이더에 의한 실시간)는 RRFs에 의해 바로 사용된다.

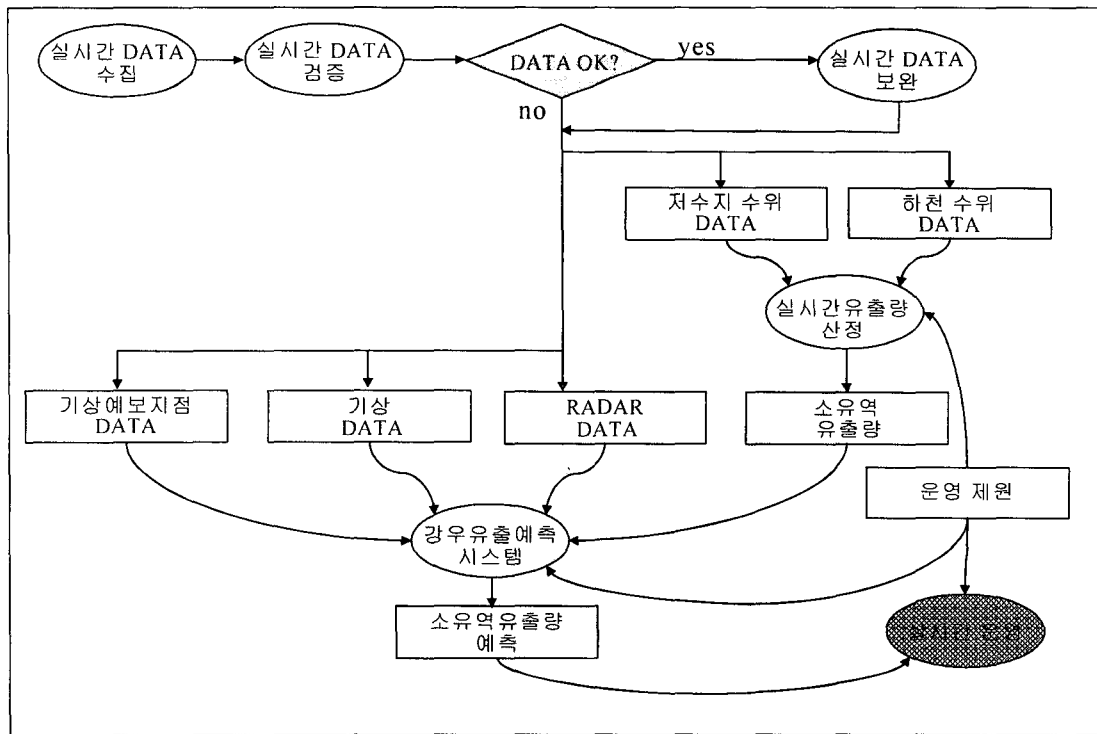


그림 2 RRFs와 HydroWebData의 결합

저수지수위와 하천관측 자료는 RRFS에서 사용되는 실시간 유출량과 HydroWebData에서 요구되는 유출량을 계산하여 유출량간의 도식화를 통해 HydroWebData에 저장된다.

결과적으로 유출량의 예측은 댐 운영계획에 입력 자료로 보내지며, 댐 운영계획은 댐 시설 조작에 대한 최적의 단기간 계획을 수행할 수 있도록 한다.

다. 유출량 예측 시스템

RRFS에서 유출량 예측은 유출 기반 모형인 SSARR 모형의 보정을 통해 수행된다. SSARR 모형의 매개변수는 주요 조절점을 기준으로 보정된다. SSARR 모형의 매개변수 중에서 유출의 민감도가 큰 매개변수는 토양습윤상태별 유출율, 침투량별 지하수 유입율, 지표수와 복류수 분리, 저류

시간이다.

개발중인 시스템에서 합리적으로 보정된 매개변수의 선정은 SSARR 모형 수행에 의해 모의된 주요 지점의 유출량과 실측된 주요지점의 유출량간의 분석기간에 대한 총유출량 편차 및 제공근평균오차가 가장 적게 발생하도록 토양습윤상태별 유출율, 침투량별 지하수 유입율, 지표수와 복류수 분리, 저류시간을 조절하여 최적의 매개변수를 추정할 수 있도록 구성하였다.

이러한 보정을 통해 결과된 매개변수는 유출량 예측을 위해 적용되며, 유출량 예측을 위해서는 예측기간에 대한 시간간격별 ① 강수량 및 기온과 같은 기상 자료 ② 생활, 공업 및 농업용수 수요량 자료 ③ 댐 운영 자료의 확보가 필수적이다.

이상의 과정에 의해 추정된 예측된 유출량은 년

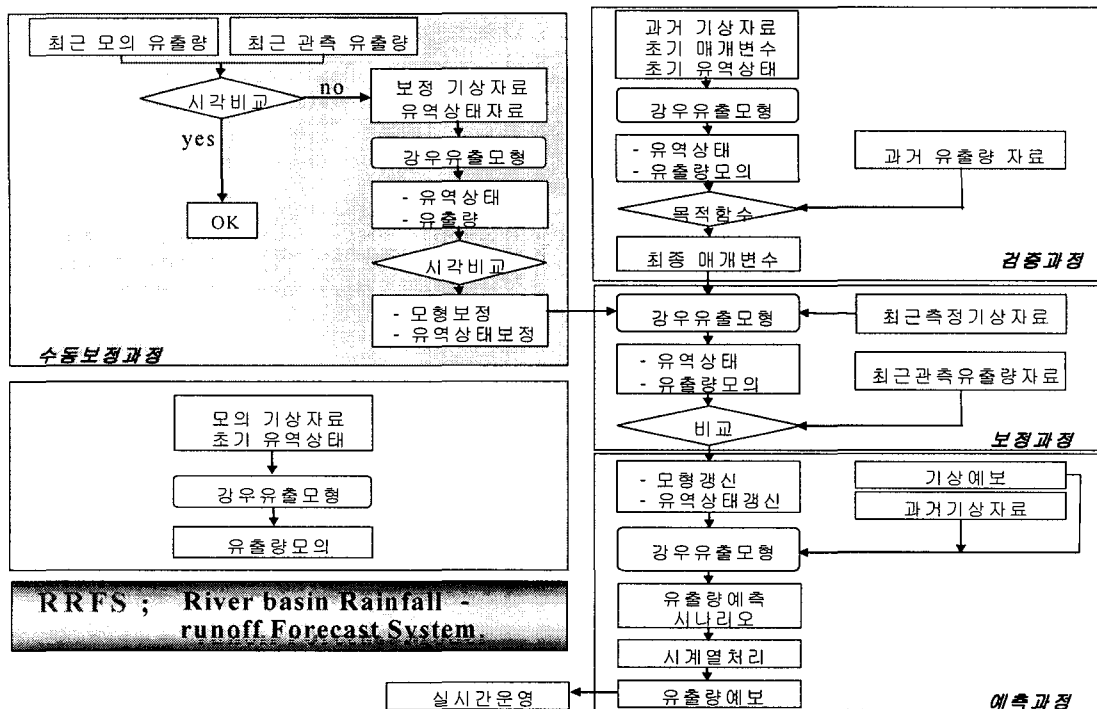


그림 3 RRFS의 유출량 예측 체계

별, 월별 및 일별로 나타낼 수 있으며, 이러한 시간간격별로 예측된 유출량은 통계분석에 의해 댐 및 저수지 운영을 위한 기초자료로 활용되어 최종적으로 최적화된 댐 운영 방안을 도출하는데 기여한다. RRFs에서 유출 예측을 위한 일련의 과정을 도시한 것은 그림 3과 같다.

4. 향후계획

금강수계를 대상으로 유역유출모의모형 시스템 일명 RRFs는 SSARR 모형을 기반으로 하여 전술한 체계에 의해 2004년 6월에 구축될 예정이며, 구축된 시스템은 2007년 6월까지 한국수자원공사 물관리센터에 장착하여 실무 적용을 통한 보완 및 기술 개발이 이루어질 것이다. 이러한 시스템은 장차 한강, 낙동강 수계뿐만 아니라 타 수계에서도 적용할 수 있도록 개발되어질 것이다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호: 1-6-1)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 건설부, 수자원관리기법 개발연구조사 보고서, 1994.
2. 건설교통부/한국수자원공사, 기존댐 용수공급능력조사(금강수계), 1998.
3. 한국수자원공사, 용수이용현황 D/B 구축 (1차) 보고서, 1993.
4. 한국수자원공사, 낙동강수계 실시간 최적 저수 관리 시스템 개발, 1997.
5. 한국수자원공사, 저수유출 수문모형 개발, 2001.
6. Vijay P.Singh(1995), "Computer Models of Watershed Hydrology", Water Resources Publications