

**MODSIM을 이용한 농업용 수리시설의 용수공급을 평가
- 금강권역을 중심으로 -**

**Assessment of the Potential Water Supply Rate of Agricultural Irrigation
Facilities Using MODSIM
- For Geum River Basin -**

안 소 라* / 박 근 애** / 신 영 호*** / 김 성 준****

Ahn, So Ra / Park, Geun Ae / Shin, Young Ho / Kim, Seong Joon

Abstract

To prepare for agricultural droughts, the potential discharge to the water supply of irrigation facilities during drought periods is important. Using the MODSIM (Modified SIMYLD) model, water balance networks that consider irrigation facilities were designed for the Geum River Basin, and the potential discharge to the agricultural water supply of irrigation facilities were evaluated by running the model using data for 36 years (1967-2002). It was found that agricultural water deficiencies occurred during the drought years more than in the other years. The agricultural water deficiencies in 1994, 1995, and 2001, the representative drought years, were 745.8 million m³, 661.1 million m³, and 696.8 million m³, respectively. The average potential discharge to the water supply of the sub-basin was 99.1 % in the cases of municipal and industrial water, and 84.4 % in the case of agricultural water. The potential discharge to the water supply in 1994, 1995, and 2001 were 74.8 %, 79.2 %, and 77.9 %, respectively, which are lower than those of the other years' sub-basin average. In the analysis of the contribution of each irrigation facility, the contributions of pumping stations and diversions were calculated as 32.5 %, and of culverts and wells, 4.0 %. During the drought periods, the pumping stations and diversions contributed to a certain level.

Keywords : Potential discharge to the water supply, Water balance analysis, Agricultural irrigation facilities, MODSIM

요 지

농업가뭄에 대한 대책 마련을 위해서는 가뭄기간 동안의 농업용 수리시설에 의한 용수공급 가능량의 파악이 매우 중요하다. 본 연구에서는 네트워크 물수지 모형인 MODSIM을 이용하여 농업용 수리시설을 고려한 물수지 네트워크

* 건국대학교 대학원 사회환경시스템공학과 석사 · 한국수자원공사 수자원연구소 연구원
Master's degree, Dept. of Civil and Environmental System Engineering, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea
Researcher, Korea Institute of Water and Environment, Daejeon, 305-730, Korea
** 건국대학교 대학원 사회환경시스템공학과 박사
Post Doctor, Dept. of Civil and Environmental System Engineering, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea
*** 한국수자원공사 조사기획단 차장
Manager, Dept. of Water Resources Investigation and Planning, Korea Water Resources Corporation, Deajeon, 306-711 Korea
**** 교신저자, 건국대학교 생명환경과학대학 사회환경시스템공학과 교수
Corresponding Author, Professor, Dept. of Civil and Environmental System Engineering, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea
(e-mail: kimsj@konkuk.ac.kr)

를 구성하고 36개년(1967-2002) 동안의 물수지 분석을 수행하여 농업용수 공급측면의 가뭄을 평가하였다. 분석 결과, 과거 가뭄발생 기간에 농업용수 부족량이 다른 기간에 비해 많이 발생함을 확인할 수 있었으며, 대표적인 가뭄 년인 1994, 1995, 2001년의 부족량은 745.8백만 m³, 661.1백만 m³, 696.8백만 m³으로 분석되었다. 또한 소유역 평균 용수공급 가능량은 생·공용수의 경우 99.1 %, 농업용수의 경우 84.4 %로 비교적 낮은 공급 가능율을 보였으며, 1994, 1995, 2001년의 농업용수공급 가능율은 74.8 %, 79.2 %, 77.9 %로 소유역 평균보다 낮은 수준으로 분석되었다. 농업용수 리시설물의 기여도 평가를 수행한 결과 양수장과 보의 기여율은 32.5 %, 집수암거와 관정의 기여율은 4.0 %로 분석되었으며, 집수암거와 관정은 양수장과 보에 비해서 상당히 적은 기여율을 갖지만 농업가뭄 해소에 어느 정도 도움을 주는 것으로 분석되었다.

핵심용어 : 용수공급가능량, 물수지 분석, 농업용 수리시설, MODSIM

1. 서 론

우리나라와 같이 물이 절대적으로 필요한 벼농사 위주의 농업에서 가뭄으로 인한 농업용수의 부족은 심각한 사태에 직면하고 있다. 농업용수 공급은 생활용수, 공업용수 등과 같이 일반적으로 그 전체 용량을 기준으로 하지 않고 단위면적 대비 관계량을 기준으로 한다. 즉 전체적으로 물이 풍부하다 하더라도 관계시기인 봄과 여름에 가뭄으로 인해 물을 제대로 공급해주지 못하는 현상이 발생한다. 이를 방지하기 위해서는 저수지 등의 농업용 수리시설의 공급에 의한 농업용수 확보능력이 절실히 필요하다. 우리나라의 관개면적 기준 농업용수 부족은 상당히 취약한 편이다. 논 면적을 기준으로 살펴볼 때 전체 논 면적 113만ha 중 안정적인 관개가 가능한 수리답은 88만ha로 전체 77 % 밖에 되지 않으며 23 %인 25만ha는 비에 의존하는 불안전수리답이다. 수리답의 대부분도 소형관정에 의존하여 장기적인 가뭄에 취약한 상황이다. 이처럼 수급·지역별로 상대적인 물 부족 문제를 해결하기 위해서는 물 풍부지역에서 부족지역으로의 이동이나 유역단위 개발방식을 고려하여 수자원 계획을 수립하여야 할 것이다.

유역에서 물 공급 안전도를 평가하는 지표는 다양하게 정의될 수 있지만 물 수요에 대한 공급 부족 때문에 발생하는 물 부족의 평가는 핵심적인 부분으로 물수지 분석을 통하여 얻어진다(유주환, 2005). 이러한 물수지 분석을 위해서는 가뭄 시 물이용의 효율성을 극대화하는 유역단위의 수자원 평가 및 물수지 분석도구가 필요하다. 물수지 네트워크 모형인 MODSIM은 원래 하천 유역의 수자원 계획과 관리 측면에서 물 수요 증가에 따라 가용 수자원을 효율적으로 배분할 수 있도록 구축되어 있으며, 복합적인 하천유역의 물 이동을 모의할 수 있으므로 적용성이 높은 모형으로 알려져 있다.

국내에서 MODSIM을 이용한 연구로서 이광만 등

(1998)은 MODSIM을 이용하여 한강 수계를 대상으로 용수공급 능력을 평가하였다. 팔당에서 수도권지역의 용수수요 증가를 시나리오로 하여 용수부족 추세를 분석한 결과 우리나라와 같이 용수공급체계가 복잡하고 용수이용도가 높은 지역의 종합적인 수자원 평가에 부합하는 좋은 방법이라 제안하였다. 이광만 등(1999)은 MODSIM을 이용하여 경상북도 동항·남부 지역의 장래 용수공급 능력을 평가하였는데, 연구결과 수자원 개발 대안에 따라 용수공급 시스템이 2011년까지 건설된다면 포항 및 경주권의 용수공급 신뢰도는 95 % 이상을 확보할 수 있을 것으로 분석되었다. 윤석영과 유주환(1999), 유주환(2000a,b,c,d), 유주환(2005)은 전국을 5대 강 유역에 대하여 물 공급 안전도를 평가할 수 있는 물수지 분석 시스템을 구축하는데 MODSIM을 도입하였다. 기존 물수지 방법과 비교분석한 결과 수리권에 따른 공급 우선권 고려가 편리하게 변경 가능하였으며, 용수 수요에 대한 댐 공급의 기여도를 분석하였다. 안상진 등(2006)은 네트워크 모형인 MODSIM을 이용하여 충청지역의 행정중심복합도시 건설 전·후의 용수공급에 대해서 분석하였으며, 유입인구가 20만명 정도에 이를 때까지는 용수 수급상 부족이 없었으나, 50만명이 유입되는 경우에는 물 부족이 발생하는 것으로 분석되었다. 정태성 등(2008)은 의사결정지원시스템으로서의 K-Modsim 모형을 개발하고 금강유역의 운영모의를 수행하여 적용성을 검토하였다. 그 결과 K-Modsim은 유역통합 수자원 관리 시 다양한 문제점 해결을 위해 사용할 수 있으며, 댐의 최적 운영을 반영한 운영 모의도 가능함으로 실제 유역관리시스템에 활용될 수 있을 것이라 제안하였다. 차기욱 등(2007)은 KModSim을 이용하여 지표수-지하수-저수지 연계운동을 모의를 수행하였으며, 그 결과 갈수나 가뭄에서 저수지와 하천수-지하수를 적절하게 이용할 경우 물 부족과 댐 하류지역의 하천유지용수 부족을 현저히 줄일 수 있는 것으로

나타났다. 또한 국외의 적용 사례로는 Rio Grande River Basin (Graham, *et al.*, 1986), Poudre River Basin (Labadie *et al.*, 1986), Upper Colorado River Basin (Law and Brown, 1989) 그리고 Upper Snake River Basin (Frevort *et al.*, 1994) 등이 있다.

본 연구에서는 가뭄 시 권역별 용수공급 가능성을 평가하기 위해서 MODSIM 네트워크 모형을 이용하여 농업용 수리시설을 고려한 네트워크를 구성하고, 농업용수 공급측면에서의 물수지 분석체계를 구축하여 다양한 시나리오에 따른 농업용수공급 가능성을 평가하고자 한다.

2. MODSIM 모형

MODSIM은 미국 텍사스의 수자원 개발부(1972)가 개발했던 네트워크 모형인 SIMYLD를 미 콜로라도 주립대학교 Labadie 교수가 수정하여 개발한 모형이다. 이모형은 일반화된 하천유역 네트워크 모형(river basin network model)으로 네트워크 최적화기법인 Lagrangian relaxation 알고리즘을 사용하여 실수계산 보다는 효율이 매우 좋은 정수계산 방식을 선형네트워크의 해법으로 적용하였으며, 매트릭스 계산은 개량된 simplex method를 확장한 표준선형프로그램을 사용하여 정수계산방식이 필요한 정도의 정확도를 갖는 해를 계산할 수 있도록 하였다. 하천유역 관리에 있어서 물리적 수문학적, 제도적인 측면에서 물이 배분될 수 있고, 유역 수자원관리 시설의 전체적인 배치 및 운영조건을 다양하게 반영할 수 있도록 구축되어 있다.

MODSIM은 유역시스템의 물리적 특성을 모형에 유사하게 재현하기 쉽도록 유역도의 입력기능을 제공하며, 노드(저류노드, 비저류노드, 수요노드, 통과노드)와 링크 혹은 아크를 제공한다. 비록 노드와 링크만으로 유역의 물리적, 수문학적 특성들을 똑같이 재현할 수는 없지만, 사용자는 수자원운영을 모형화하기 위하여 이들을 가상적 혹은 개념적으로 요소로 상징화 하여 사용할 수 있다. 네트워크 모의 시 완전 순환네트워크를 위해 사용자에게 의해 정의된 노드와 링크는 모형 내에서 자동으로 생성되고 계산을 수행한다. 이때 노드는 물수요 또는 공급의 단위가 될 것이고 링크는 이를 연결하는 유동 통로가 된다. MODSIM은 계산시간($t=1, 2, \dots, T$) 동안 비용을 최소화시키는 네트워크 흐름(network flow)의 최적화 알고리즘을 갖는다. 이를 식으로 나타내면 Eq. (1)과 같다.

$$\text{minimize } \sum_{k \in A} c_k q_k \quad (1)$$

여기서, c_k 는 링크 k 에서의 비용, 가중치, 혹은 우선순위를 나타내며, q_k 는 링크 k 에서의 유량을 나타내고, A 는 네트워크의 모든 링크 수이며 이때 제약조건은 Eqs. (2) and (3)과 같다.

$$\sum_{k \in O_i} q_k - \sum_{j \in I_i} q_j = b(q) \text{ for all nodes } i \in N \quad (2)$$

$$l_{kt}(q) \leq q_k \leq u_{kt}(q) \text{ for all links } k \in A \quad (3)$$

여기서, O_i 는 노드 i 에서 시작하는 모든 유출 링크, I_i 는 노드 i 에서 끝나는 모든 유입 링크이다. b_i 는 시간 t 일 때 노드 i 에서의 유입 혹은 수요, t 는 네트워크의 모든 노드 수이며, l_{kt} 는 시간 t 일 때 링크 k 에서의 하한치, u_{kt} 는 시간 t 일 때 링크 k 에서의 상한치를 나타낸다. 이때 최적화 과정은 물리적인 O_i , I_i , N , 그리고 A 의 집합체로서 가정된 초기유입량 q 에 대한 물리적 제약조건들 (b_i , l_{kt} , u_{kt})에 의해 정의된다. 두 번째 식은 임의의 노드에서 유입과 유출 총량은 같다는 노드 제약조건으로서 물수지 방정식이 된다. 세 번째 식은 모든 링크 흐름에서의 상한과 하한을 제한하는 물리적인 제한조건이다. MODSIM은 Bertsekas와 Tseng에 의해 개발된 Lagrangian relaxation에 기초한 쌍대절차(dual procedure)를 통합한 효율적인 Primal-Dual 네트워크 최적 알고리즘의 원리를 채택하여 개발되었다. Lagrangian relaxation 알고리즘 해석기법은 기존의 out-of-kilter 알고리즘 보다 훨씬 우수할 뿐만 아니라, Primal에 기초한 네트워크 알고리즘보다도 계산수행 속도 면에서 매우 우수하다(Bertsekas and Tseng, 1988a, b).

Fig. 1은 MODSIM 네트워크의 기본적인 순환구조를 도식화한 그림이다. 노드 1, 2, 3, 그리고 4는 실제 유역의 상황을 나타내는 물리적인 시스템 노드이다. 노드 1은 저수지를 나타내고 노드 2는 연결노드이며 노드 3은 수요노드, 노드 4는 하류의 싱크노드이다. 실선으로 링크는 물리적으로 흐름이 존재하는 하천, 수로, 또는 광역용수공급망을 나타내며, 점선으로 표시된 노드와 링크는 가상적인 계산 노드와 링크를 나타낸다. 즉 이들은 실제 유역에서 물리적으로 작용하는 시스템의 일부분은 아니지만 전체 시스템에 대해 질량보전의 법칙을 성립하게 한다. 시스템 내에는 항상 6개의 가상적인 노드가 있으나 가상적인 링크 수는 시스템 네트워크의 크기에 따라 다양하게 결정된다. Fig. 1에서 I 는 유입량 계산노드(accounting inflow node)로 유입량 및 초기 저류량과 더불어 시스템에 제공되는

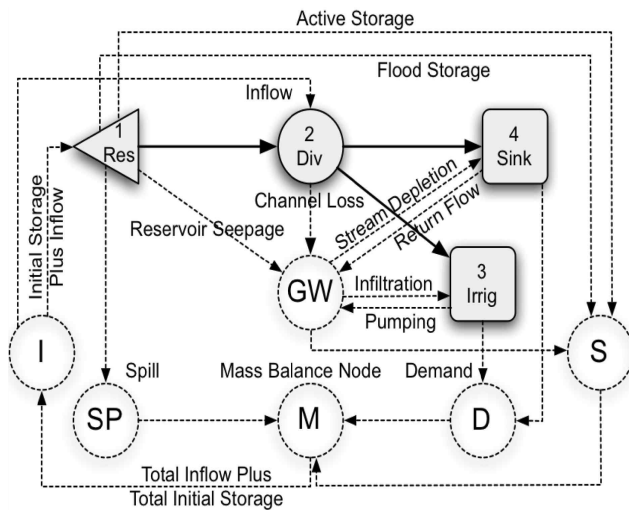


Fig. 1. Illustration of MODSIM Network Structure

총유입량을 계산하고, D는 수요량 계산노드(accounting demand node)로 시스템 상에서 수요량을 충족시키기 위한 공급량을 나타내며, S는 저류량 계산노드(accounting storage node)로 저수지의 이월 또는 기간 말 저류량을 계산하고, SP는 여수로 방류 계산노드(accounting spill node)로 충분치 못한 저수지 용량에 의해 조절이 불가능한 방류량을 계산하며, GW는 가상지하수 노드(accounting groundwater node)로 지표수와 지하수간의 물 이동을 계산하고, M은 질량보존노드(accounting mass balance node)로서 시스템 전체의 질량이 보존되도록 한다.

3. 대상유역 및 입력자료 구축

3.1 대상유역

본 연구에서 농업용수공급 가능량을 평가하기 위한 물수지 분석으로 네트워크 모형인 MODSIM을 이용하였다. MODSIM 네트워크 모델링을 위한 입력자료 구축을 위해 금강권역을 21개의 중권역 단위로 분할하여 물수지 분석을 수행하였다. 이 중권역 단위 유역은 이수계획을 위해서 수자원장기종합계획(건설교통부, 2006)에서 분할·적용한 중권역과 동일하다. Fig. 2는 21개 중권역으로 분할된 금강권역도이다.

MODSIM 모형을 이용한 물수지 분석은 공간적으로 해당 소유역 단위의 가용수량과 수요량의 비교에 의해 수행된다. 따라서 용수공급 가능량 평가를 위해 기본적으로 요구되는 자료로 유출량, 용수 수요량 및 용수공급시설에 의한 공급량의 파악이 중요하다. 또한 하천유

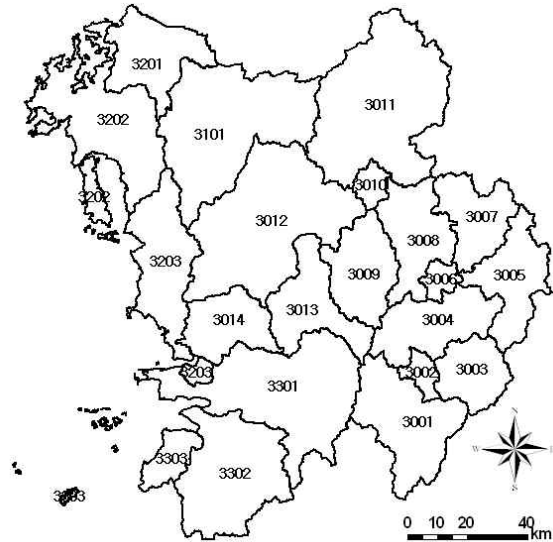


Fig. 2. Watershed Division for Applying MODSIM

지유량, 회귀율, 광역 물 이동량, 공급 우선순위, 댐 운영자료 등이 필요하다. 본 연구의 목적은 농업용수의 공급 가능량을 평가하는 것으로 다목적 댐 운영자료 외에 농업용 수리시설(저수지, 양수장, 보, 집수암거, 관정 등)을 추가로 고려하여 이들 공급량 및 운영자료 등을 입력 자료로 추가하였다.

3.2 유출량

유출량 자료는 수자원장기종합계획(건설교통부, 2006)에서 강우-유출 모형인 탱크모형을 이용하여 중권역 단위로 산정한 자연유출량자료를 이용하였다. 자연유출량 산정기간은 1967년부터 2002년까지 36년이며 월평균 유출량자료를 각 소유역별로 준비하였다.

본 연구에서는 농업용 수리시설의 용수공급 기여도를 분석하고자 소유역별로 자체 물 공급원인 농업용 저수지를 고려하였다. 금강유역 농업용 저수지는 약 2,611개로 이를 모두 고려하기에는 무리가 있기 때문에 한 개의 소유역에 속해있는 모든 저수지의 유효저수량을 합산하여 이를 하나의 큰 저수지로 가정하여 분석을 수행하였다. 따라서 유출량 자료도 전체 소유역 유출량에서 농업용 저수지유역의 유출량을 분리하는 작업이 필요하다. 이를 위해 한 개의 소유역 전체 면적에 대한 해당 소유역의 모든 농업용 저수지유역을 비율을 계산하여 월평균 유출량에 적용하여 소유역 유출량과 농업용 저수지유역 유출량을 분리하였다. 재 산정된 유입량의 평균 면적비율은 소유역 유출량이 73%, 농업용 저수지유역 유출량이 27%로 산정되었다. Fig. 3은 금강권역의 연평균 유출량, Fig. 4는 소유역별 평균 유출량이다.

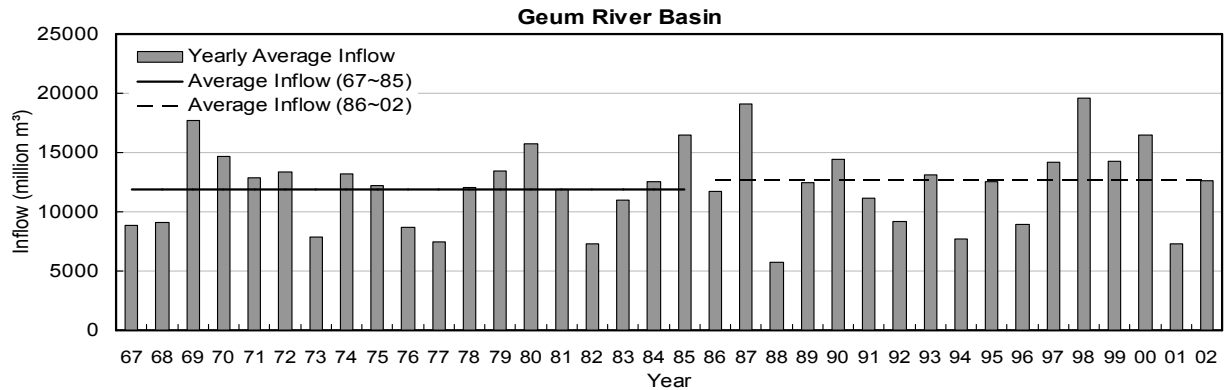


Fig. 3. Yearly Mean Streamflow of Geum River Basin

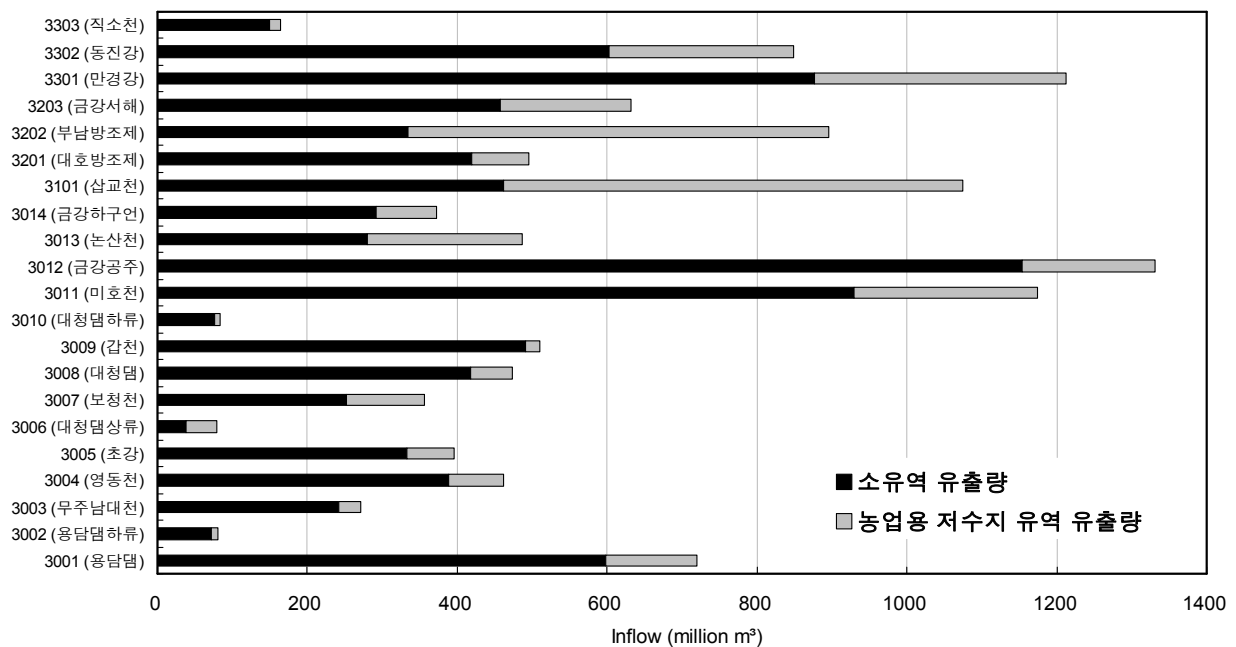


Fig. 4. Average Streamflow of Each Watershed of Geum River Basin

3.3 용수 수요량

용수 수요량은 수자원장기종합계획(건설교통부, 2006)의 2006년 기준수요량 자료를 이용하였고 목적별로 생·공용수, 농업용수, 하천유지유량으로 구분하여 적용하였다. 농업용수 수요량은 수자원장기종합계획에서 관개전, 비관개전, 수리답, 수리불안전답, 축산용수를 모두 포함하지만 본 연구에서는 농업용 수리시설을 고려한 농업용수공급 가능량 평가가 목적이므로 관개전과 수리답만을 합한 값을 농업용수 수요량으로 적용하였다. Fig. 5는 금강유역 전체 소유역의 생·공용수와 농업용수 수요량을 합산하여 월별 수요량 패턴을 나타낸 것이다. Fig. 6에는 금강유역 전체 소유역별 생·공용수, 농업용수 수요량 분포를 나타내었는데 댐 상류보다는 댐 하

류에 용수 수요량이 더 많은 것을 알 수 있다. 전체 수요량 중 생·공용수는 26 %, 농업용수는 74 %이며, 전체 수요량의 5~9월의 농업용수가 대부분을 차지한다.

3.4 하천유지유량 및 광역 물 이동량

하천 유지유량은 하천의 정상적인 기능 및 상태를 유지하기 위하여 필요한 유량으로서 하천의 건천화 방지 등 자연하천의 최소한의 기능을 수행하기 위하여 하류에 흐르도록 보장해 주어야 할 유량을 말한다. 하천 유지유량은 수자원장기종합계획(건설교통부, 2006)의 자료를 채택하여 적용하였으며 하천유지용수 수요전망은 금강분류(규암) 94.6 백만 m^3 , 금강(용담댐) 13.1 백만 m^3 , 동진강(하구) 1.3 백만 m^3 , 만경강(하구) 5.3 백만 m^3 , 삽교천(하구) 7.9 백만 m^3 이다.

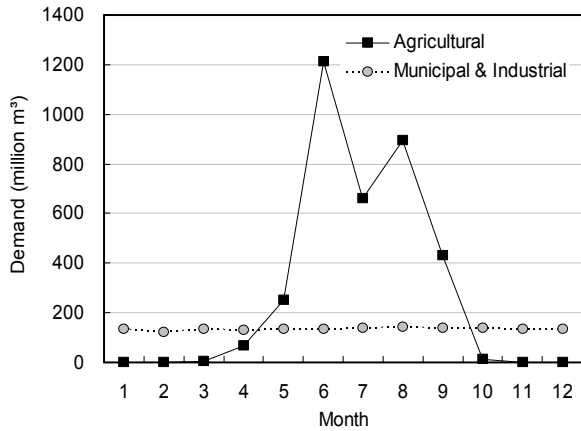


Fig. 5. Demand Pattern of Municipal and Industrial Water and Agricultural Water

광역 물 이동량은 광역상수도 또는 지방상수도 시설에 의하여 한 소유역에서 취수된 물이 다른 소유역으로 이동되는 것으로 이로 인해 수자원의 유역간 이동이 발생한다. 광역 물 이동량은 수자원장기종합계획(건설교통부, 2006)의 자료를 이용하였다.

3.5 물 공급 우선순위

금강유역 MODSIM 네트워크에 입력되는 수요량 공급의 우선도(priority)는 -999~999까지 적용 가능하며 숫자가 작은 값이 우선권을 갖는다. 본 연구에서는 물수지 분석의 관행이나 다른 선행연구의 계산을 참고하여 하류보다는 상류 우선공급, 본류보다는 지류 우선공

급 원칙을 부여하였다. 또한 용수수요 공급 중에서는 생·공용수, 농업용수, 하천유지유량의 순으로 우선 공급하도록 하였으며 광역상수도에 의한 광역 물 이동은 가장 우선적으로 공급하도록 우선순위를 가장 높게 부여하였다. 댐의 목표저수량 유지보다 농업용 저수지의 용수수요 공급의 우선순위를 높게 하여 자체공급원에서 먼저 수요 공급이 이루어지도록 하였다. 본 연구에서 적용한 용담댐과 대청댐의 우선순위는 수자원의 최적화 연구(Ⅲ)(건설교통부, 1999)의 연구를 토대로 저수량의 회복능력이 큰 댐을 우선 공급하도록 하였다. 물수지 분석 네트워크 출구인 sink는 네트워크 내 수요충족 후 잔여물량이 하구로 유출되도록 우선순위를 가장 낮게 부여하였다. 앞에서 정한 원칙에 따라 생·공용수는 100, 농업용수는 200, 하천유지유량은 300을 부여하였고, 금강유역의 14개 소유역 중 지류인 용담댐, 무주남대천, 초강천, 보청천, 갑천, 미호천, 논산천은 10을, 본류인 용담댐하류, 영동천, 대청댐상류, 대청댐, 대청댐하류, 금강공주는 20~80으로 하류로 갈수록 우선순위를 낮게 부여하였다. 그 외 삼교천, 금강서해, 새만금의 7개 소유역은 10을 부여하였다. 또한 농업용 저수지는 400, 댐은 500을 부여하였고, 광역상수도는 가장 높은 1, Sink는 가장 낮은 999를 부여하였다.

3.6 댐 운영자료

댐을 목적별로 구분하면 다목적댐, 생·공용수댐, 농업용수댐, 발전댐 등으로 구분이 가능하며, 본 연구에

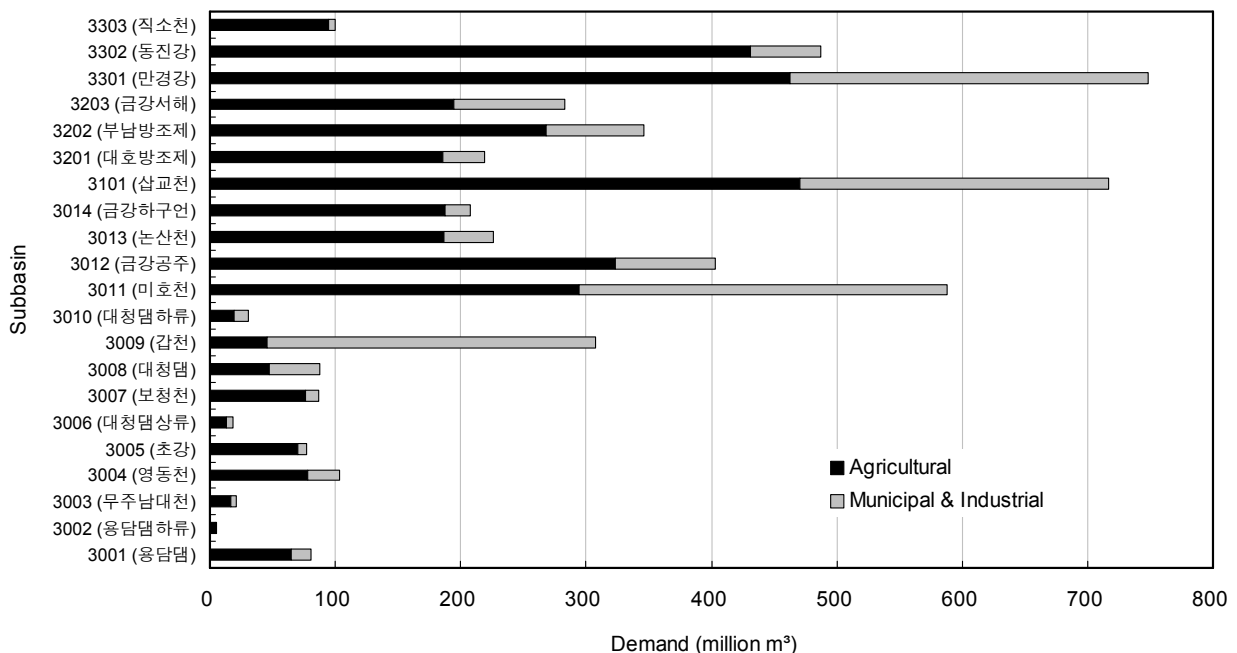


Fig. 6. Demand of Municipal and Industrial Water and Agricultural Water of Each Watershed

서는 농업용 저수지를 따로 고려하여 물수지 분석을 수행하므로 댐 운영은 다목적댐인 용담댐과 대청댐을 적용하였다. 댐 운영에 필요한 자료는 최대 저수용량, 최소 저수용량, 저수지 운영 초기수위의 저수용량, 목표저수량(Target Storage) 등이 있으며 댐 설계 및 관리 자료인 다목적댐 운영 실무 편람(한국수자원공사, 1998)을 이용하였다.

댐의 최대 저수용량은 댐의 이수측면의 최대용량으로서 상시만수위 때 저수용량이 된다. 최소 저수용량은 댐의 이수측면의 최저수위인 저수위 때 저수용량을 나타낸다. 저수지 운영 초기수위의 저수용량의 경우 본 연구에서는 만수위 때 저수용량을 적용하였는데 이 가정치는 운영기간이 짧은 경우 조작에 큰 영향을 미치지 만 본 연구에서처럼 30년간의 장기간 운영의 경우 운영 결과에 별다른 영향을 미치지 않는다. 목표저수량은 저수지 운영 중에 공급 포텐셜을 나타내는 것으로 이수를 위한 최고수위인 상시만수위 또는 홍수기 제한수위의 저수용량을 적용하였다. 이는 저수지 운영시에 저수지에서 최대공급을 하되 잉여물량이 있을 경우는 이수용량을 최대한도로 채우게 하기위한 방편인 것이다. 댐 운영에 포함된 댐별 목표 저류 수준은 Table 1과 같이 설정하였다.

3.7 농업용 수리시설 운영자료

농업용 수리시설은 저수지, 양수장, 양배수장, 배수장, 보, 집수암거, 관정 등이 있다. 이 중에서 양수배장은 금강유역 내 개소 수가 미미하여 제외하고 이중 치수시설인 배수장도 네트워크에서 제외하였다. 농업용 저수지 운영 자료는 한국농촌공사의 농업기반시설관리시스템(RIMS)의 자료와 금강유역조사 보고서(건설교통부, 2006)를 이용하였고, 나머지 양수장, 보, 집수암거, 관정 등의 자료는 금강유역조사 보고서(건설교통부, 2006)의 자료를 이용하였다. 금강유역 내 농업용 저수지는 2,611개소, 양수장은 1,337개소, 보는 2,883개소, 집수암거는 593개소, 관정은 3,120개소로 이들 농업용 수리시설물을 모두 고려하는 것은 무리가 있다. 따라서 해당 소유역별로 속해있는 모든 수리시설물의 각각의 저수용량, 양수량, 취수량, 채수량 등을 합산하여 소유역 하나당 하

나의 수리시설물로 가정하기로 하였다. 농업용 저수지, 양수장, 보는 주로 수리답에 용수를 공급하며, 양수장, 집수암거, 관정은 관개전에 용수를 공급한다.

농업용 저수지 자료는 댐 입력 자료와 동일하게 최대 저수용량, 최소 저수용량, 저수지 운영 초기수위의 저수용량, 목표저수량(target storage)을 설정하게 된다. 하지만 소유역별로 하나의 큰 저수지로 가정했기 때문에 농업용 저수지의 운영방식을 고려하여 값을 설정하는데 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 금강유역의 대표적인 저수지를 선정하여 선정된 대표저수지의 운영방식을 입력하였다. 금강유역 총 2,611개 저수지의 유효저수량과 관개면적, 수혜면적을 모두 조사하여 유효저수량과 관개면적, 수혜면적이 큰 순으로 나열한 뒤 저수지 저수량의 시계열 자료의 확보가 용이하며, 금강권역 내에 골고루 분포되는 7개의 저수지 즉, 대아, 예당, 탑정, 경천, 백곡, 미호, 구이저수지를 최종적으로 선정하였다. 금강유역 총 2,611개 저수지의 유효저수량과 관개면적, 수혜면적을 모두 조사하여 유효저수량과 관개면적, 수혜면적이 큰 순으로 나열한 뒤 저수지 저수량의 시계열 자료의 확보가 용이하며, 금강권역 내에 골고루 분포되는 7개의 저수지 즉, 대아, 예당, 탑정, 경천, 백곡, 미호, 구이저수지를 최종적으로 선정하였다. 이들 선정된 7개 저수지 저수량과 2,611개의 저수지들을 행정구역별로 합산한 저수량과 비교해봤을 때 대표저수지 저수량이 해당 행정구역별 저수량의 합계의 72~95 %로 상당부분을 차지하였다. 이후 이들 저수지 중에서 소유역의 유효저수량과 비슷한 저수지를 소유역의 대표저수지로 결정하고 과거 16개년(1991년~2006년)의 최고, 평균, 최저저수위를 이용하여 소유역의 유효저수량과 곱하여 최고, 평균, 최저저수용량을 산정하였다. 단, 과거 16개년(1991년~2006년)의 저수위는 가뭄년인 1994년, 1995년, 2001년은 제외하고 적용하였다. 또한 저수지 운영 초기수위의 저수용량은 최대 저수용량과 동일하게 입력하였다. Table 2는 소유역의 유효저수량과 산정된 최고, 평균, 최저저수용량을 정리한 것이다.

양수장, 보의 공급량 자료는 하루 10시간, 1년에 120일(5월~8월) 동안 가동하는 것으로 가정하였으며, 집수

Table 1. Dam Operation Data of Geum River Basin

Dam	Max. volume (million m ³)	Min. volume (million m ³)	Initial volume (million m ³)	Target storage (million m ³)
Yongdam	742.6	44.9	742.6	742.6
Daecheong	1241.7	180.0	1241.7	1241.7

Table 2. Agricultural Reservoir Storage of Each Watershed

Code	Watershed name	Number	Effective storage (million m ³)	Representative reservoir	Rate of representative reservoir storage(%)			Reservoir storage (million m ³)		
					Max.	Ave.	Min.	Max.	Ave.	Min.
3001	Yongdam dam	130	17.0	Baekgok	100.0	77.4	43.3	17.0	13.2	7.4
3002	Yongdam downstream	13	0.8	Gui	100.0	80.7	38.7	0.8	0.6	0.3
3003	Muju namdeacheon	32	1.7	Gui	100.0	80.7	38.7	1.7	1.4	0.7
3004	Yeongdongcheon	106	6.5	Gui	100.0	80.7	38.7	6.5	5.3	2.5
3005	Cho river	75	12.8	Miho	100.0	87.3	47.6	12.8	11.1	6.1
3006	Daecheong upstream	24	6.1	Gui	100.0	80.7	38.7	6.1	4.9	2.3
3007	Bocheongcheon	71	20.8	Baekgok	100.0	77.4	43.3	20.8	16.1	9.0
3008	Daecheong dam	80	6.9	Gui	100.0	80.7	38.7	6.9	5.6	2.7
3009	Gapcheon	30	5.4	Gui	100.0	80.7	38.7	5.4	4.4	2.1
3010	Daecheong downstream	19	0.3	Gui	100.0	80.7	38.7	0.3	0.2	0.1
3011	Mihocheon	306	78.7	Yedang	100.0	72.8	21.1	78.7	57.2	16.6
3012	Geum river gongju	207	28.8	Gyeonhcheon	100.0	65.2	5.3	28.8	18.8	1.5
3013	Nonsancheon	110	41.3	Yedang	100.0	72.8	21.1	41.3	30.1	8.7
3014	Geum river estuary dam	107	41.4	Yedang	100.0	72.8	21.1	41.4	30.1	8.8
3101	Sapgyocheon	146	152.7	Yedang	100.0	72.8	21.1	152.7	111.1	32.3
3201	Deaho sea dike	45	12.9	Miho	100.0	87.3	47.6	12.9	11.3	6.1
3202	bunam sea dike	112	103.6	Yedang	100.0	72.8	21.1	103.6	75.4	21.9
3203	Geum river west sea	140	43.3	Yedang	100.0	72.8	21.1	43.3	31.5	9.1
3301	Mangyeong river	469	152.4	Yedang	100.0	72.8	21.1	152.4	110.9	32.2
3302	Dongjin river	354	51.3	Yedang	100.0	72.8	21.1	51.3	37.3	10.8
3303	Jiksocheon	35	25.9	Gyeonhcheon	100.0	65.2	5.3	25.9	16.9	1.4

Table 3. Pumping Water and Withdrawal of Diversions of Each Watershed

Code	Watershed name	Yearly data (May~August: operation about 120 day)						Monthly data	
		Pumping station			Diversion			Pumping station	Diversion
		Number	(m ³ /s)	(million m ³)	Number	(m ³ /s)	(million m ³)	(million m ³)	(million m ³)
3001	Yongdam dam	7	0.16	0.58	192	3.30	11.88	0.14	2.97
3002	Yongdam downstream	3	0.09	0.33	29	0.27	0.97	0.08	0.24
3003	Muju namdeacheon	2	0.01	0.03	61	0.80	2.87	0.01	0.72
3004	Yeongdongcheon	51	2.99	10.77	175	3.23	11.62	2.69	2.91
3005	Cho river	44	2.63	9.47	96	2.62	9.44	2.3	2.36
3006	Daecheong upstream	10	1.46	5.26	15	0.40	1.45	1.31	0.36
3007	Bocheongcheon	64	2.75	9.88	87	7.00	25.18	2.47	6.30
3008	Daecheong dam	25	1.24	4.45	149	7.84	28.24	1.11	7.06
3009	Gapcheon	28	1.40	5.03	186	2.71	9.76	1.26	2.44
3010	Daecheong downstream	16	2.02	7.25	34	0.15	0.53	1.81	0.13
3011	Mihocheon	103	9.66	34.77	420	16.63	59.85	8.69	14.96
3012	Geum river gongju	177	20.21	72.75	383	7.96	28.65	18.19	7.16
3013	Nonsancheon	88	11.53	41.51	137	3.91	14.08	10.38	3.52
3014	Geum river estuary dam	51	41.95	151.02	18	1.15	4.14	37.76	1.04
3101	Sapgyocheon	192	30.36	109.31	267	9.83	35.39	27.33	8.85
3201	Deaho sea dike	32	15.84	57.03	104	2.39	8.61	14.26	2.15
3202	bunam sea dike	68	3.72	13.40	114	4.58	16.48	3.35	4.12
3203	Geum river west sea	76	14.56	52.42	141	4.16	14.96	13.10	3.74
3301	Mangyeong river	149	48.48	174.51	170	47.65	171.55	43.63	42.89
3302	Dongjin river	126	48.35	174.06	105	70.81	254.92	43.52	63.73
3303	Jiksocheon	25	9.58	34.49	0	0.00	0.00	8.62	0.00

Table 4. Withdrawal of Culverts and Wells of Each Watershed

Code	Watershed name	Yearly data (February~October: operation about 270 day)						Monthly data	
		Culvert			Well			Culvert	Well
		Number	(m ³ /day)	(million m ³)	Number	(m ³ /day)	(million m ³)	(million m ³)	(million m ³)
3001	Yongdam dam	10	15662	4.23	68	21123	5.70	0.47	0.63
3002	Yongdam downstream	0	0	0.00	10	3823	1.03	0.00	0.11
3003	Muju namdeacheon	3	2536	0.68	19	4980	1.34	0.08	0.15
3004	Yeongdongcheon	37	41965	11.33	86	34628	9.35	1.26	1.04
3005	Cho river	20	64290	17.36	43	57029	15.40	1.93	1.71
3006	Daecheong upstream	1	1032	0.28	6	1921	0.52	0.03	0.06
3007	Bocheongcheon	21	69214	18.69	64	28658	7.74	2.08	0.86
3008	Daecheong dam	16	13198	3.56	92	20936	5.65	0.40	0.63
3009	Gapcheon	18	9751	2.63	328	72284	19.52	0.29	2.17
3010	Daecheong downstream	7	6450	1.74	35	8668	2.34	0.19	0.26
3011	Mihocheon	57	42489	11.47	475	193946	52.37	1.28	5.82
3012	Geum river gongju	114	104885	28.32	458	228417	61.67	3.15	6.85
3013	Nonsancheon	16	6134	1.66	214	73191	19.76	0.18	2.20
3014	Geum river estuary dam	17	7600	2.05	50	17683	4.77	0.23	0.53
3101	Sapgyocheon	116	115211	31.11	264	98402	26.57	3.46	2.95
3201	Deaho sea dike	8	2718	0.73	23	6237	1.68	0.08	0.19
3202	bunam sea dike	23	6168	1.67	150	58869	15.89	0.19	1.77
3203	Geum river west sea	20	5033	1.36	107	37529	10.13	0.15	1.13
3301	Mangyeong river	59	27632	7.46	318	175314	47.33	0.83	5.26
3302	Dongjin river	30	17316	4.68	238	71298	19.25	0.52	2.14
3303	Jiksocheon	0	0	0.00	72	17376	4.69	0.00	0.52

암거, 관정은 자료는 1년에 270일(2월~10월) 동안 가동하는 것으로 가정하여 이들 년 자료를 월 자료로 변환하였다(Tables 3 and 4).

한 농업용 수리시설이 용수공급을 할 수 있는 수혜지역은 제한이 있다. 본 연구에서와 같이 금강유역 내만 여개의 수리시설물을 소유역별 하나의 큰 수리시설물로 가정하는 것은 실제의 물수지 분석에 있어 수리시설물의 운영과 차이가 생기는 한계점이 있다. 수리시설물별 정확한 수혜구역과 면적, 운영 자료가 제공된다면 좀 더 현실에 가까운 분석이 수행될 것으로 판단된다.

4. 농업용 수리시설을 고려한 물수지 네트워크 구성

MODSIM 모형은 물수지 모의에 필요한 입력자료 및 필요한 변수자료를 구성하고 시스템의 물리적인 특성을 나타내는 노드와 링크의 연속적인 연결로 네트워크를 구성한다. 자료를 입력하는 노드의 종류에는 저수지노드(reservoir node), 비저류노드(nonstorage node), 수요노드(demand node), 통과노드(flowthru node) 등이 있으며, 노드와 노드를 연결하는 링크에도 자료의 입력이 가능하고 각 링크의 방향은 흐름방향과 일치하여야 한다.

Fig. 8은 3001번 소유역(지류)과 3002번 소유역(본류)

을 예를 들어 지류와 본류(Fig. 7)로 구분되도록 구성된 네트워크이다. 여기서 3001_inf 노드는 소유역 유입량을 나타내며, 생·공용수 수요량 노드(3001_mi)로 생·공용수를 공급한다. 소유역별 하나로 가정된 농업용 저수지 노드(Res_3001) 앞쪽의 비저류노드는 농업용수 공급을 위한 농업용 저수지 유입량 노드(Res_inf_3001)이고 농업용수 수요량 노드(3001_agr)에 물을 공급한다. 농업용수 수요량 노드(3001_agr)에 농업용수를 공급하는 다른 수리시설물로 양수장 노드(3001_agr_p)와 보 노드(3001_agr_d)는 농업용 저수지 유입량이 하천수로 흘러들어가는 것을 다시 역으로 끌어들이어 공급하도록 하였고, 집수암거 노드(3001_agr_c)와 관정 노드(3001_agr_w)는 지하수의 물을 이용하는 것이기 때문에 따로 노드를 연결해주었다. 만약 해당유역에 소유역간 물이동이 있을 경우 추가노드를 통하여 유역간 물이동이 이루어지도록 하였다.

5. MODSIM 모형을 이용한 농업용수공급 가능량 평가

5.1 물수지 분석

물수지 분석은 36년(1967년~2002년)간의 시계열 자

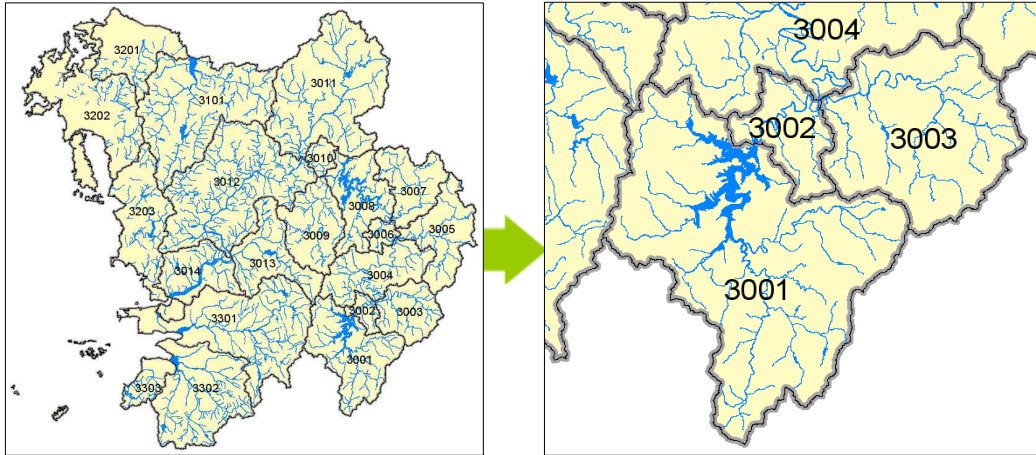
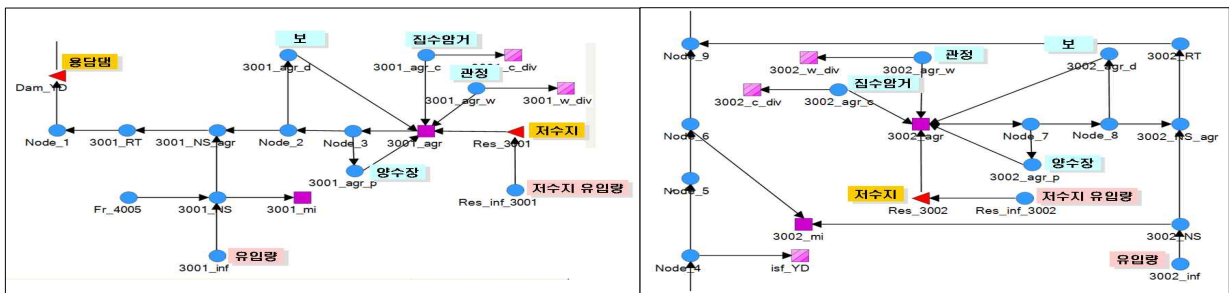


Fig. 7. 3001 Watershed (Tributary) and 3002 Watershed (Mainstream)



(a) 3001 Watershed Network (Tributary)

(b) 3002 Watershed Network (Mainstream)

Fig. 8. Network Structure of Tributary and Mainstream

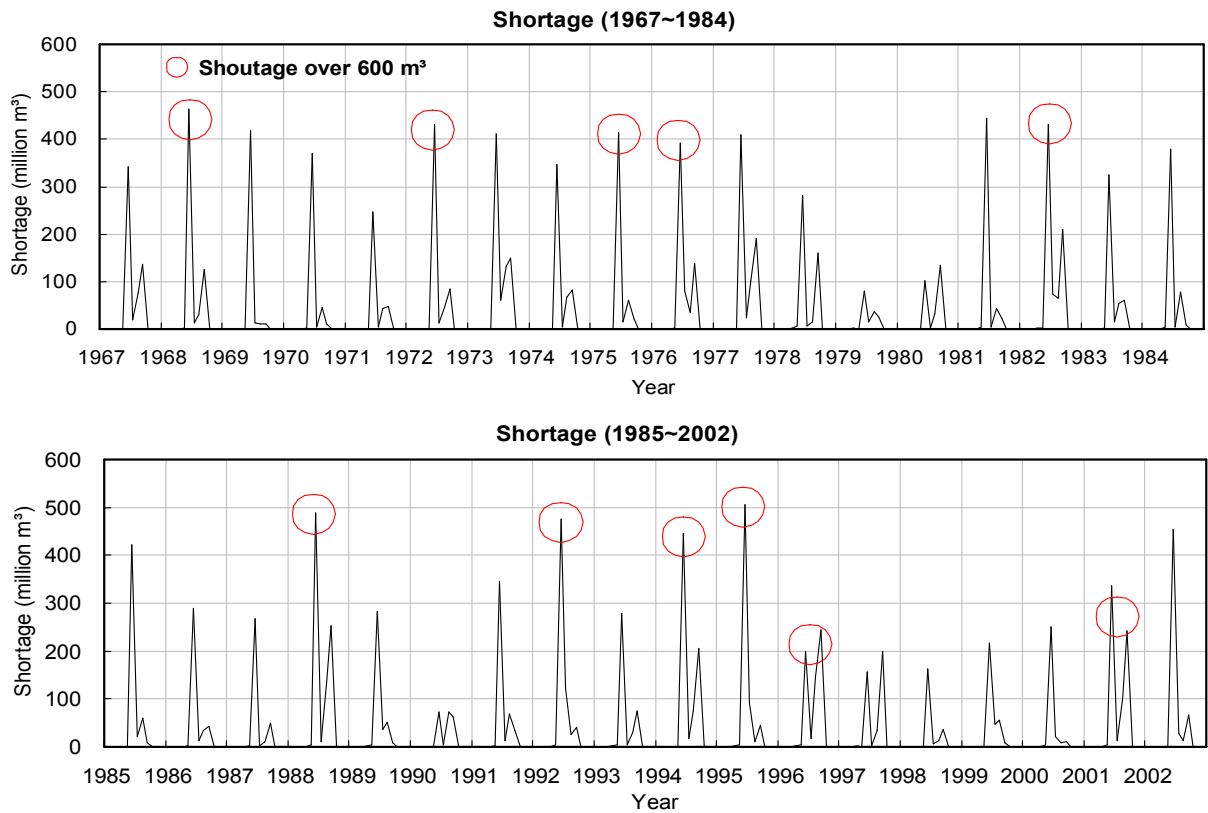


Fig. 9. Agricultural Water Shortage of Geum River Basin from 1967 to 2002

연유출량과 기준년도(2006년)의 용수수요량을 기준으로 월별 모의를 수행하였으며, 앞에서 구성된 금강유역 네트워크에 필요한 자료를 입력하고 MODSIM을 실행하여 1967년부터 2002년까지의 물 부족량을 산정하였다. 물수지 분석결과는 연도별, 소유역별로 수요량, 공급량, 부족량에 대하여 정리하고, 용수공급 가능량을 평가하기 위해 수요량에 대한 부족량의 비율에 대하여 나타내고 이를 용수공급 가능율(용수공급율)이라 정의하였다. Fig. 9는 부족량을 월별로 도시한 그림으로 농업용수부족량은 관개기인 6월~9월에 주로 발생하는데, 특히 6월에 최대로 부족량이 발생하다가 장마철인 7월에 급

격히 감소하며 다소 강수량이 적은 8월~9월에 다시 부족량이 증가하는 것으로 나타났다. 부족량이 600백만 m³ 이상 발생한 연도는 1988년, 1982년, 1973년, 1994년, 1977년, 2001년, 1992년, 1995년, 1976년, 1968년, 1996년 순으로 나타났으며 최대 부족량이 발생한 년도는 1988년으로 부족량이 893.5백만 m³, 부족비율이 25.5 %로 분석되었다. 이 중 1968년은 60년만의 대가뭄이었고, 1976년, 1977년에도 지역적 또는 전국적으로 가뭄이 있었으며, 1982년 역시 7월까지 계속되는 가뭄을 겪었던 해이다. 1988년, 1994년, 1995년, 2001년 또한 극심한 가뭄으로 기록되는 해이다. Table 5에는 생·

Table 5. Demand, Supply and Shortage of Each Watershed of Geum River Basin

Code	Watershed name	Municipal and industrial water					Agricultural water				
		Demand (million m ³)	Supply (million m ³)	Potential Water Supply Rate (%)	Shortage (million m ³)	Shortage rate (%)	Demand (million m ³)	Supply (million m ³)	Potential Water Supply Rate (%)	Shortage (million m ³)	Shortage rate (%)
3001	Yongdam dam	15.0	12.7	84.7	2.3	15.3	65.2	54.8	84.0	10.1	15.5
3002	Yongdam downstream	0.7	0.7	100.0	0.0	0.0	4.5	4.2	93.3	0.3	6.7
3003	Muju namdeacheon	4.1	4.1	100.0	0.0	0.0	17.0	14.5	85.3	2.4	14.1
3004	Yeongdongcheon	31.2	31.2	100.0	0.0	0.0	78.2	65.6	83.9	12.6	16.1
3005	Cho river	7.0	7.0	100.0	0.0	0.0	69.8	62.1	89.0	7.7	11.0
3006	Daecheong upstream	5.0	5.0	100.0	0.0	0.0	15.1	14.9	98.7	0.2	1.3
3007	Bocheongcheon	10.3	10.3	100.0	0.0	0.0	76.5	71.9	94.0	4.6	6.0
3008	Daecheong dam	40.3	40.3	100.0	0.0	0.0	47.7	44.9	94.1	2.9	6.1
3009	Gapcheon	262.6	262.6	100.0	0.0	0.0	45.8	36.3	79.3	9.5	20.7
3010	Daecheong downstream	11.2	11.2	100.0	0.0	0.0	19.2	13.9	72.4	5.2	27.1
3011	Mihocheon	294.0	294.0	100.0	0.0	0.0	261.8	221.6	84.6	40.2	15.4
3012	Geum river gongju	79.8	79.8	100.0	0.0	0.0	323.2	234.7	72.6	88.4	27.4
3013	Nonsancheon	39.1	39.1	100.0	0.0	0.0	186.6	156.1	83.7	30.5	16.3
3014	Geum river estuary dam	20.4	20.4	100.0	0.0	0.0	187.2	172.8	92.3	14.4	7.7
3101	Sapgyocheon	246.1	243.6	99.0	2.4	1.0	470.5	416.0	88.4	54.5	11.6
3201	Deaho sea dike	33.2	33.2	100.0	0.0	0.0	185.8	116.3	62.6	69.5	37.4
3202	bunam sea dike	77.8	77.8	100.0	0.0	0.0	268.1	229.1	85.5	39.0	14.5
3203	Geum river west sea	88.3	88.3	100.0	0.0	0.0	194.7	160.4	82.4	34.3	17.6
3301	Mangyeong river	286.0	285.4	99.8	0.6	0.2	462.6	454.1	98.2	8.6	1.9
3302	Dongjin river	56.1	56.1	100.0	0.0	0.0	431.3	409.3	94.9	22.0	5.1
3303	Saemangeum sea dike	5.1	5.0	98.0	0.1	2.0	94.4	50.5	53.5	44.0	46.6
Total(supply(%), shortage(%): average)		1613.2	1607.8	99.1	5.4	0.9	3505.3	3004.0	84.4	500.9	15.5
<p>* Gray filled box : Shortage over 30million m³ * Underlined part : Shortage less than 5million m³ * Heavy character : Maximum shortage and shortage rate</p>											

공용수와 농업용수의 수요량, 공급량, 공급능력, 부족량, 부족비율에 대해 36년(1967년~2002년)간 평균하여 소유역별로 정리하였다. 소유역 평균 용수공급율은 생·공용수의 경우 99.1 %의 높은 공급율을 보였고 농업용수의 경우 84.4 %로 비교적 용수공급율이 낮게 분석되었다. 농업용수 부족량이 30백만 m³ 이상 발생한 소유역은 Table 5의 색칠된 부분으로, 최대 부족량이 발생한 소유역은 금강공주(3012)로 부족량이 88.4백만 m³, 부족비율이 27.4 %로 분석되었다. 부족량이 5백만 m³ 이하로 적게 발생한 유역은 Table 5의 밑줄 친 부분과 같으며, 대체로 하류로 갈수록 부족량이 커짐을 알 수

있었다.

대표적인 가뭄년인 1994년, 1995년, 2001년을 선정하여 물수지 분석결과에 대한 용수공급 가능량을 평가해 보았다. Table 6에는 농업용수 수요량, 공급량, 공급가능율, 부족량, 부족비율에 대해 소유역별로 정리하였다. 용수공급율은 1994년에 74.8 %, 1995년에 79.2 %, 2001년에 77.9 %로 과거 36개년 평균 공급 가능율인 84.4 %보다 낮은 수준으로 분석되었다. 1994년, 1995년, 2001년에 부족량이 30백만 m³ 이상 발생한 소유역은 Table 6의 색칠된 부분과 같이 분석되었으며, 앞서 36년(1967년~2002년)간 평균하여 소유역별로 정리한 결

Table 6. Demand, Supply and Shortage of Agricultural Water of Each Watershed in Drought Period (1994, 1995, 2001)

Code	Watershed name	Demand (million m ³)	Supply (million m ³)			Potential Water Supply Rate (%)			Shortage (million m ³)			Shortage rate (%)		
			1994	1995	2001	1994	1995	2001	1994	1995	2001	1994	1995	2001
3001	Yongdam dam	65.2	42.6	39.7	57.2	65.3	60.9	87.7	22.6	25.5	8.1	34.7	39.1	12.4
3002	Yongdam downstream	4.5	3.4	3.8	3.9	75.6	84.4	86.7	1.1	0.7	0.6	24.4	15.6	13.3
3003	Muju namdeacheon	17.0	11.5	13.4	11.9	67.6	78.8	70.0	5.4	3.5	5.0	31.8	20.6	29.4
3004	Yeongdongcheon	78.2	49.4	60.9	56.9	63.2	77.9	72.8	28.7	17.3	21.3	36.7	22.1	27.2
3005	Cho river	69.8	51.4	60.0	56.5	73.6	86.0	80.9	18.4	9.8	13.3	26.4	14.0	19.1
3006	Daecheong upstream	13.1	14.1	15.0	15.1	93.4	99.3	100.0	1.0	0.0	0.0	6.6	0.0	0.0
3007	Bocheongcheon	76.5	66.7	68.2	73.8	87.2	89.2	96.5	9.8	8.3	2.7	12.8	10.8	3.5
3008	Daecheong dam	47.7	40.3	43.7	43.5	84.5	91.6	91.2	7.5	4.1	4.3	15.7	8.6	9.0
3009	Gapcheon	45.3	30.6	35.5	31.2	66.8	77.5	68.1	15.3	10.3	14.6	33.4	22.5	31.9
3010	Daecheong downstream	19.2	12.5	14.0	11.9	65.1	72.9	62.0	6.7	5.2	7.2	34.9	27.1	37.5
3011	Mihocheon	294.8	211.1	207.8	226.9	80.6	79.4	86.7	50.7	54.0	34.9	19.4	20.6	13.3
3012	Geum river gongju	323.2	206.5	236.9	197.7	63.9	73.3	61.2	116.6	86.2	125.5	36.1	26.7	38.8
3013	Nonsancheon	186.7	120.6	140.2	116.1	64.6	75.1	62.2	66.0	46.5	70.6	35.4	24.9	37.8
3014	Geum river estuary dam	187.2	161.1	169.4	153.6	86.1	90.5	82.1	26.2	17.9	33.7	14.0	9.6	18.0
3101	Sapgyocheon	470.5	397.8	390.1	426.1	84.5	82.9	90.6	72.7	80.4	44.4	15.5	17.1	9.4
3201	Deaho sea dike	185.8	115.5	114.8	115.4	62.2	61.8	62.1	70.3	70.9	70.4	37.8	38.2	37.9
3202	bunam sea dike	268.1	218.8	186.4	222.1	81.6	69.5	82.8	49.4	81.7	46.1	18.4	30.5	17.2
3203	Geum river west sea	194.7	153.9	145.5	127.3	79.0	74.7	65.4	40.8	49.2	67.5	21.0	25.3	34.7
3301	Mangyeong river	462.6	431.2	454.6	428.3	93.2	98.3	92.6	31.5	8.0	34.4	6.8	1.7	7.4
3302	Dongjin river	431.3	377.3	399.9	391.6	87.5	92.7	90.8	54.0	31.5	39.8	12.5	7.3	9.2
3303	Saemangeum sea dike	94.5	43.3	44.4	41.9	45.9	47.0	44.4	51.1	50.1	52.6	54.1	53.1	55.7
Total(supply(%), shortage(%): average)		3535.8	2759.5	2844.2	2808.5	74.8	79.2	77.9	745.8	661.1	696.8	25.2	20.7	22.0

* Gray filled box : Shortage over 30million m³
 * Underlined part : Shortage less than 5million m³
 * Heavy character : Maximum shortage and shortage rate

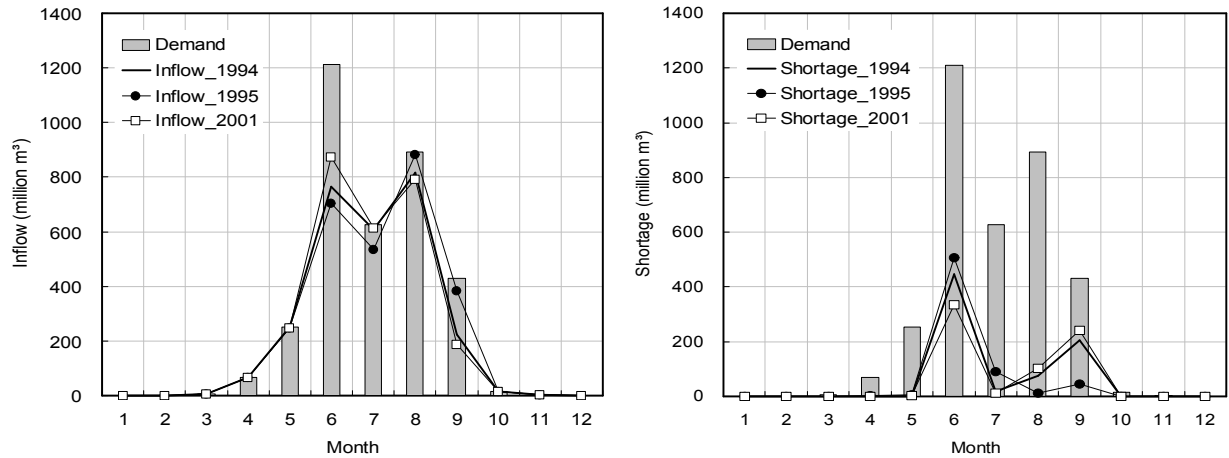


Fig. 10. Monthly Demand, Supply and Shortage of Agricultural Water in Drought Period (1994, 1995, 2001)

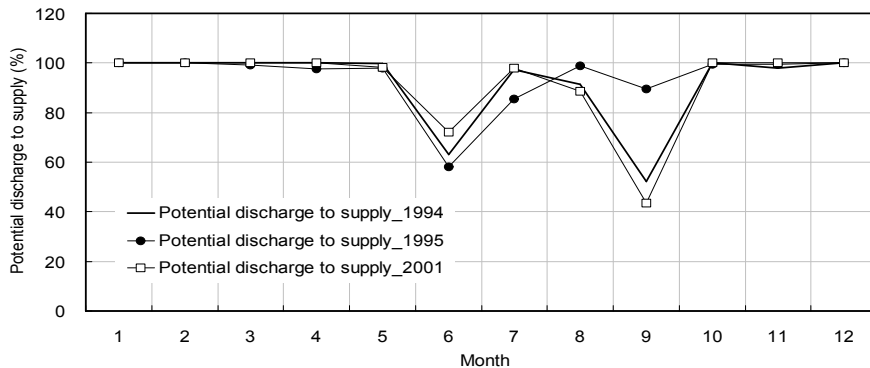


Fig. 11. Monthly Potential Discharge to Agricultural Water Supply in Drought Period (1994, 1995, 2001)

과와 비교해 1994년에는 동진강(3302), 만경강(3301)이 부족량이 크게 증가하여 30백만 m^3 이상 발생하였다. 1995년에는 동진강(3302)이 부족량이 30백만 m^3 이상으로 크게 발생하였고 2001년에는 동진강(3302), 만경강(3301), 금강하구언(3014)이 부족량이 크게 증가하여 30백만 m^3 이상 발생하는 것으로 분석되었다. 최대 부족량이 발생한 소유역은 1994년, 1995년, 2001년 모두 동일하게 금강중류(3012)로 부족량이 각각 116.6, 86.2, 125.5백만 m^3 으로 분석되었다. Fig. 10은 1994년, 1995년, 2001년의 금강권역 농업용수 수요량에 대한 공급량, 부족량을 월별로 비교한 그림으로 1995년 6월에 공급량이 704.7백만 m^3 으로 가장 낮으며 이로 인해 부족량은 506.7백만 m^3 으로 가장 높게 나타났다. 하지만 9월에 공급량이 1995년과 2001년보다 많은 385.3백만 m^3 으로 가장 많았기 때문에 부족량은 44.7백만 m^3 으로 가장 낮았다. 총 부족량은 1994년(745.8), 1995년(661.1), 2001년(696.8) 순으로 분석되었다. Fig. 11은 1994년, 1995년, 2001년의 농업용수공급율을 월별로 비교한 그림으로 농

업용수 부족량이 많이 발생했던 6월과 9월에 대하여 용수공급능력이 떨어지는 것을 알 수 있었다.

5.2 농업용 수리시설물 기여도 및 농업용수공급 가능량 평가

본 연구에서는 농업용 수리시설의 운영여부에 따라 소유역별 농업용수공급 가능량을 평가하기 위하여 3가지 경우로 나누어 비교분석하였다. 본 연구에서 고려한 농업용 수리시설은 저수지(R), 양수장(P), 보(D), 집수암거(C), 관정(W)이다. 가뭄년인 1994년, 1995년, 2001년에 대하여 첫 번째로 농업용 수리시설(저수지, 양수장, 보, 집수암거, 관정)을 모두 운영하는 조건(RPDCW)에서 물수지 계산을 통해 농업용수 부족량을 산정하여 권역내 농업용 수리시설의 기여도를 평가하였다. 두 번째로 저수지, 펌프, 보만 운영하는 조건(RPD)에서 물수지 계산을 통해 첫 번째 경우와 비교하여 집수암거와 관정(지하수)의 공급 가능량을 평가하였다. 세 번째로 농업용 저수지만을 운영하는 조건(R)에

서 물수지 계산을 통해 저수지의 공급능력을 파악하고 두 번째 경우와 비교하여 양수장과 보의 공급 가능량을 평가하였다.

농업용수공급율을 살펴보면 1994년에는 RPDCW (저수지, 양수장, 보, 집수암거, 관정)의 경우 74.8 %, RPD (저수지, 양수장, 보)의 경우 68.2 %, R (저수지)의 경우 38.1 %로 분석되었고, 1995년은 RPDCW (저수지, 양수장, 보, 집수암거, 관정)의 경우 79.3 %, RPD (저수지, 양수장, 보)의 경우 75.2 %, R (저수지)의 경우 50.8 %로 분석되었으며, 2001년은 RPDCW (저수지, 양수장, 보, 집수암거, 관정)의 경우 78.0 %, RPD (저수지, 양수장, 보)의 경우 71.9 %, R (저수지)의 경우 42.6 %로 분석되었다. 1994년, 1995년, 2001년 총 부족량은 RPDCW (저수지, 양수장, 보, 집수암거, 관정)의 경우 각각 611.1, 696.8, 745.8백만 m³이었고, RPD (저수지, 양수장, 보)의 경우 각각 898.2, 778.2, 847.5백만 m³이었으며, R (저수지)의 경우 각각 2076.7, 1516.3, 2053.8백만 m³으로 분석되었다. 저수지, 양수장, 보를 고려한 경우(RPD)와 저수지만을 고려한 경우(R)를 비교했을 때 부족량이 가장 크게 차이가 나는 것으로 분석되어 양수장(P)과 보(D)의 역할이 크다는 것을 알 수 있었다. 앞서 3가지 경우에 대한 분석을 통해 극심한 가뭄이 발생했던 1994년, 1995년, 2001년에 농업용 수리시설이 농업용수 부족을 완화시켜주는 것을 알 수 있었다. 이후 각 농업용 수리시설이 가뭄 완화에 미치는 영향을 평가하고자 소유역별로 기여량과 기여도를 분석하였다. 그 결과를 Table 7에 정리하였으며, 양수장과 보에 비해서는 적은 공급량이지만 집수암거와 관정도 농업가뭄 해소에 어느 정도 영향을 주는 것으로 분석되었다. Table 8은 2001년 수요량에 대하여 각 농업용 수리시설물 고려에 따른 소유역별 농업용수 공급량, 용수공급율, 부족량, 기여도를

정리한 것이다.

Fig. 12에는 농업용 수리시설물 고려에 따른 농업용수 기여율과 공급 가능율을 월별로 비교한 그림이다. 왼쪽의 기여율 그림에서 나타나듯이 월별 기여율 패턴을 보면 양수장과 보(PD)는 5월~8월에 가장 높은 기여율을 보이고, 집수암거와 관정(CW)은 2월~10월 동안 공급이 계속 이루어지는 것을 알 수 있는데, 이는 본 연구에서 농업용 수리시설의 공급량자료 구축 시 양수장과 보의 공급량은 1년에 120일(5월~8월) 동안 가동하는 것으로 가정하였고, 집수암거와 관정의 공급량은 1년에 270일(2월~10월) 동안 가동하는 것으로 가정한 것이 반영되었기 때문으로 판단된다. 또한 양수장과 보(PD)를 고려했을 때의 기여율이 집수암거와 관정(CW)을 고려했을 때 보다 훨씬 크다는 것을 알 수 있다. 오른쪽의 공급능력 그림을 보면 1994년, 1995년, 2001년 모두 저수지, 양수장, 보, 집수암거, 관정(RPDCW)을 모두 고려했을 때와 저수지, 양수장, 보(RPD)만 고려했을 때를 비교해 보면 집수암거와 관정(CW)의 공급가능율을 알 수 있는데 공급가능율이 비교적 작은 것을 알 수 있다. 반면 저수지, 양수장, 보(RPD)만 고려했을 때와 저수지(R)만을 고려했을 때를 비교해 보면 양수장과 보(PD)의 공급능력을 알 수 있으며 집수암거와 관정(CW)에 비해 공급가능율이 훨씬 크다는 것을 알 수 있다.

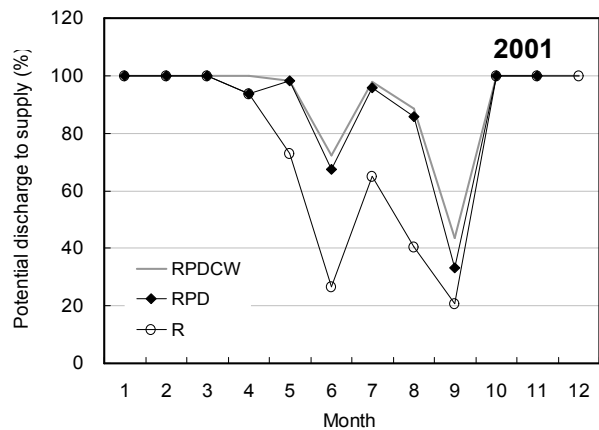
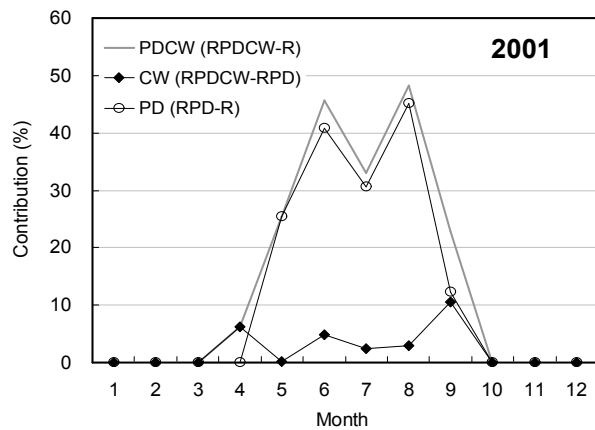
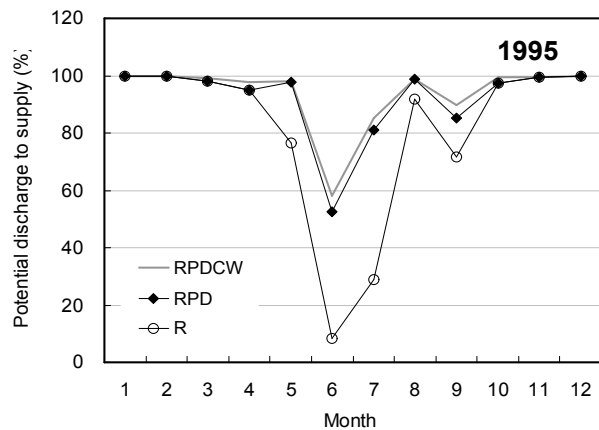
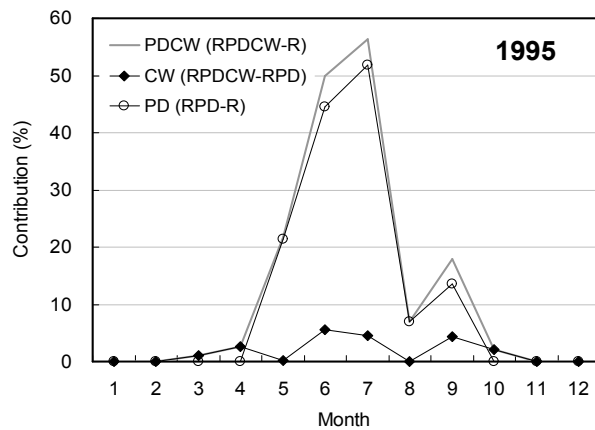
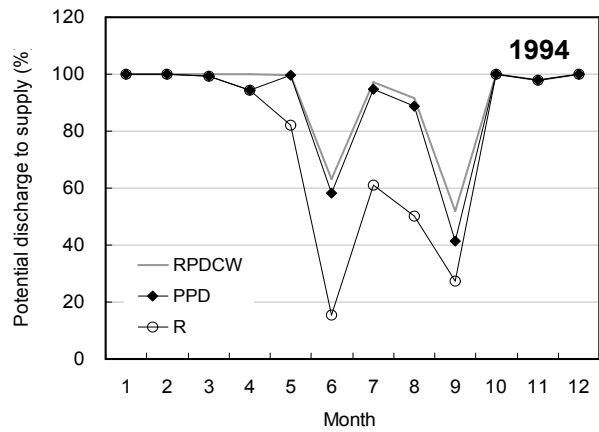
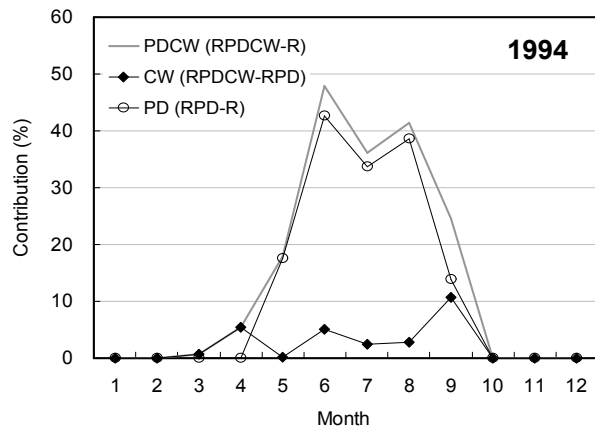
Figs. 13~15는 1994년, 1995년, 2001년의 RPDCW, RPD, R의 조건에 따라 부족량이 가장 많이 발생하는 6~8월의 농업용수 부족량을 권역별로 비교한 그림이다. 6월의 부족량을 보면 1994년과 1995년에 부족량이 가장 많이 발생한 유역은 RPDCW의 경우 삼교천(3101)유역, RPD의 경우 금강공주(3012)와 삼교천(3101)유역으로 나타났으며, R의 경우 1994년에는 미

Table 7. Contribution of Agricultural Irrigation Facilities in Drought Period (1994, 1995, 2001)

Year		Total Contribution		Maximum Contribution	
		(million m ³)	(%)	Watershed name	(%)
1994	PD (RPD-R)	1178.5	33.6	Dongjin river (3302)	71.7
	CW (RPDCW-RPD)	152.4	4.3	Gapcheon (3009)	29
	PDCW (RPDCW-R)	1330.9	38.0	Dongjin river (3302)	72.3
1995	PD (RPD-R)	1038.1	29.6	Dongjin river (3302)	62.2
	CW (RPDCW-RPD)	117.1	3.3	Gapcheon (3009)	18.9
	PDCW(RPDCW-R)	1155.2	33.0	Dongjin river (3302)	63.4
2001	PD (RPD-R)	1206.3	34.4	Geum river estuary dam (3014)	64.2
	CW (RPDCW-RPD)	150.7	4.3	Dongjin river (3009)	24.5
	PDCW(RPDCW-R)	1357.0	38.7	Geum river estuary dam (3014)	65.5

Table 8. Contribution of Agricultural Irrigation Facilities about Demand in 2001

Code	Watershed name	Demand (million m ³)	Supply (million m ³)			Potential Water Supply Rate (%)			Shortage (million m ³)			PD (RPD-R)		CW (RPDCW-RPD)		PDCW (RPDCW-R)	
			RPD CW	RPD	R	RPD CW	RPD	R	RPD CW	RPD	R	Contribution		Contribution		Contribution	
												(million m ³)	(%)	(million m ³)	(%)	(million m ³)	(%)
3001	Yongdam dam	65.2	57.2	55.0	51.9	87.7	84.3	79.5	8.1	10.3	13.4	3.1	4.8	2.2	3.4	5.3	8.1
3002	Yongdam downstream	4.5	3.9	3.7	3.4	87.5	82.1	75.0	0.6	0.8	1.1	0.3	7.1	0.2	5.4	0.6	12.5
3003	Muju namdeacheon	17.0	11.9	11.2	9.1	70.3	66.0	53.4	5.0	5.8	7.9	2.1	12.6	0.7	4.3	2.9	16.9
3004	Yeongdongcheon	78.2	56.9	46.6	25.5	72.8	59.6	32.6	21.3	31.6	52.7	21.1	27.0	10.3	13.2	31.4	40.2
3005	Cho river	69.8	56.5	40.5	22.0	81.0	58.1	31.5	13.3	29.3	47.8	18.5	26.6	16.0	22.9	34.5	49.4
3006	Daecheong upstream	15.1	15.1	15.0	14.6	100.0	99.4	96.6	0.0	0.1	0.5	0.4	2.8	0.1	0.6	0.5	3.4
3007	Bocheongcheon	76.5	73.8	68.0	42.4	96.5	88.9	55.4	2.7	8.5	34.1	25.6	33.5	5.8	7.5	31.4	41.0
3008	Daecheong dam	47.7	43.5	42.4	19.2	91.0	88.9	40.1	4.3	5.3	28.6	23.3	48.7	1.0	2.2	24.3	50.9
3009	Gapcheon	45.8	31.2	20.0	7.0	68.1	43.6	15.3	14.6	25.8	38.8	13.0	28.3	11.2	24.5	24.2	52.8
3010	Daecheong downstream	19.2	11.9	9.8	2.1	62.3	51.3	10.8	7.2	9.3	17.1	7.8	40.5	2.1	11.0	9.9	51.5
3011	Mihocheon	261.8	226.9	213.7	125.1	86.7	81.6	47.8	34.9	48.1	136.7	88.6	33.8	13.2	5.0	101.8	38.9
3012	Geum river gongju	323.2	197.7	156.8	80.8	61.2	48.5	25.0	125.5	166.3	242.4	76.0	23.5	40.8	12.6	116.9	36.2
3013	Nonsancheon	186.6	116.1	115.4	65.7	62.2	61.8	35.2	70.6	71.3	121.0	49.7	26.6	0.7	0.4	50.4	27.0
3014	Geum river estuary dam	187.2	153.6	151.2	30.9	82.0	80.7	16.5	33.7	36.1	156.3	120.3	64.2	2.4	1.3	122.6	65.5
3101	Sapgyocheon	470.5	426.1	409.6	337.3	90.6	87.1	71.7	44.4	60.9	133.3	72.4	15.4	16.5	3.5	88.9	18.9
3201	Deaho sea dike	185.8	115.4	114.0	48.8	62.1	61.4	26.3	70.4	71.7	136.9	65.2	35.1	1.3	0.7	66.6	35.8
3202	bunam sea dike	268.1	222.1	218.2	203.2	82.8	81.4	75.8	46.1	50.0	64.9	14.9	5.6	3.9	1.5	18.8	7.0
3203	Geum river west sea	194.7	127.3	122.1	69.6	65.4	62.7	35.7	67.5	72.6	125.2	52.6	27.0	5.1	2.6	57.7	29.6
3301	Mangyeong river	462.6	428.3	416.1	157.6	92.6	89.9	34.1	34.4	46.6	305.0	258.5	55.9	12.2	2.6	270.7	58.5
3302	Dongjin river	431.3	391.6	388.9	129.1	90.8	90.2	29.9	39.8	42.5	302.3	259.8	60.2	2.7	0.6	262.5	60.9
3303	Saemangeum sea dike	94.5	41.9	39.7	6.6	44.4	42.1	7.0	52.6	54.7	87.9	33.1	35.1	2.2	2.3	35.3	37.4
Total (supply capacity: average)		3505.3	2808.5	2657.8	1451.5	78.0	71.9	42.6	697.0	847.6	2053.9	1206.3	34.4	150.7	4.3	137.0	38.7
* Gray filled box : Maximum contribution																	



(a) Contribution

(b) Potential Water Supply Rate

Fig. 12. The agricultural Water Contribution and Potential Water Supply Rate by Consideration for Agricultural Irrigation Facilities

호천(3011), 삼교천(3101), 만경강(3301), 동진강(3302) 유역, 1995년에는 미호천(3011), 금강공주(3012), 삼교천(3101), 만경강(3301), 동진강(3302)유역이 부족량이 가장 많이 발생하였다. 특히 R의 경우 양수장(P)과 보(D)가 없을 경우, 1994년에는 금강공주(3012), 만경강(3301)과 동진강(3302)유역, 1995년에는 동진강(3302)유역에 대해 6월에 발생한 최대 농업용수 부족이 8월

까지 해소되지 않고 계속되는 것으로 나타났다. 2001년 6월의 부족량은 RPDCW와 RPD의 경우 금강공주, (3012)유역이 가장 많이 발생하였고, R의 경우 금강공주(3012), 삼교천(3101), 대호방조제(3201), 동진강(3302)유역이 부족량이 가장 많이 발생하였다. 역시나 R의 경우 양수장(P)과 보(D)가 없음으로 인해 금강공주(3012), 삼교천(3101), 만경강(3301)과 동진강(3302)유역에 대해

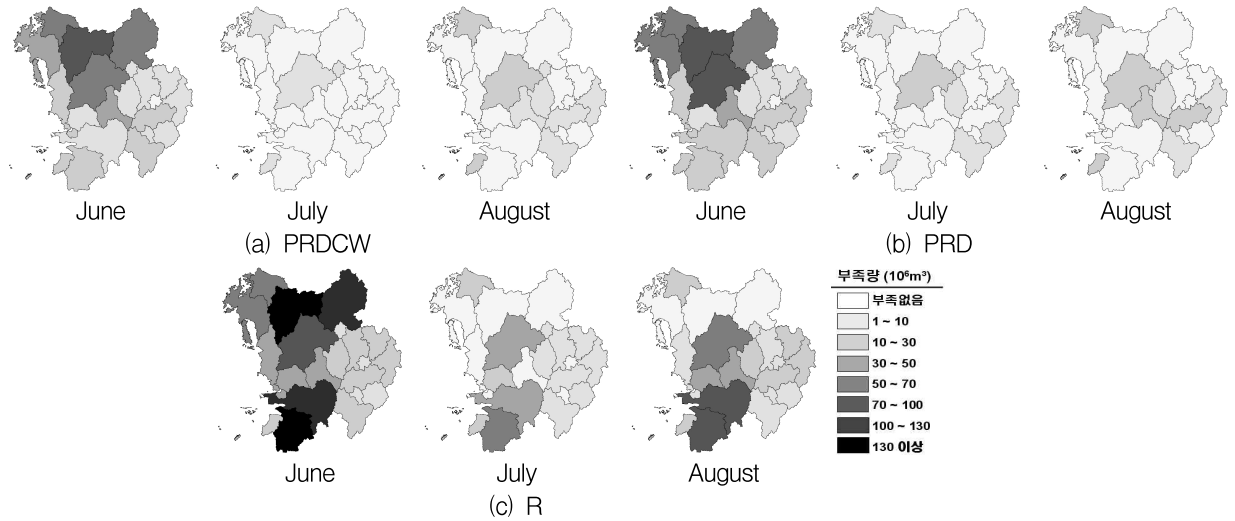


Fig. 13. Comparison of Agricultural Water Shortage by Consideration for Agricultural Irrigation Facilities in 1994

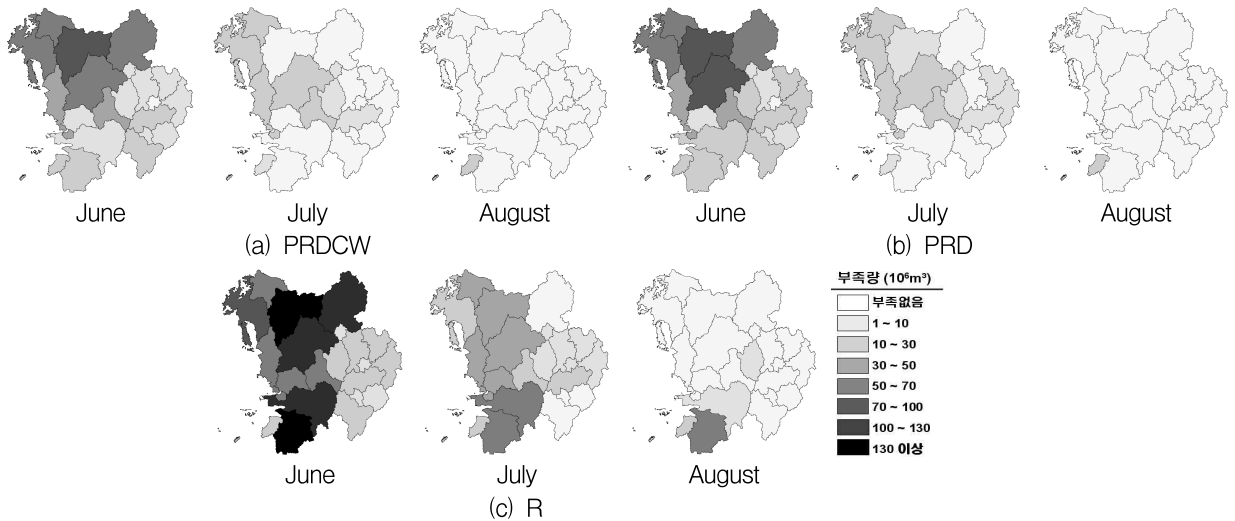


Fig. 14. Comparison of Agricultural Water Shortage by Consideration for Agricultural Irrigation Facilities in 1995

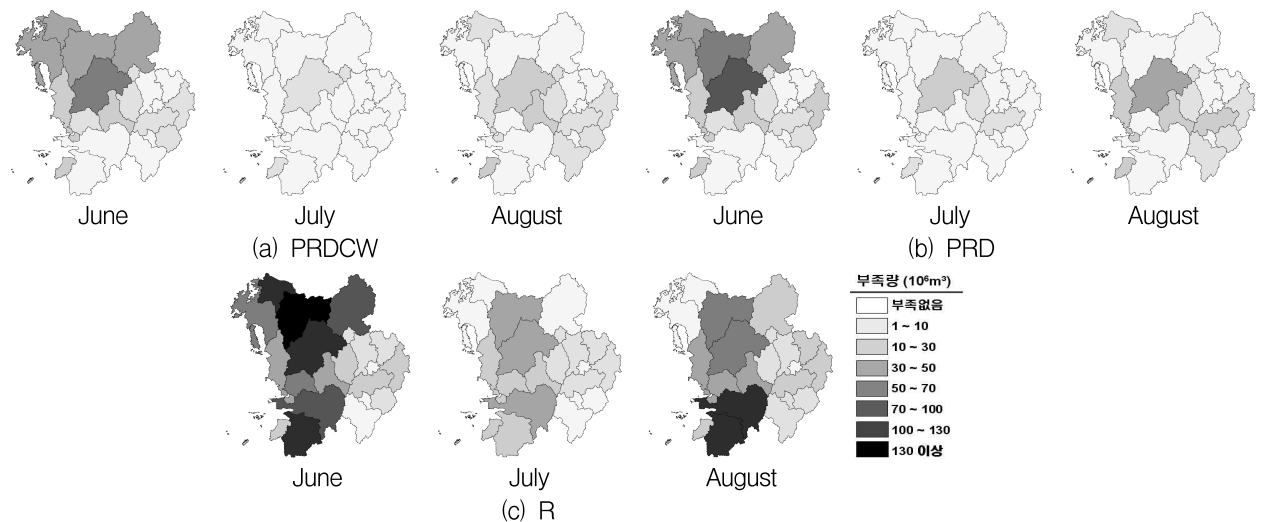


Fig. 15. Comparison of Agricultural Water Shortage by Consideration for Agricultural Irrigation Facilities in 2001

6월에 발생한 농업용수 부족이 8월까지 해소되지 않고 계속되는 것으로 나타났다. 이처럼 권역별로 부족량을 분석한 결과 농업용수가 다른 유역에 비해 상대적으로 부족하여 농업가뭄에 취약한 지역을 파악할 수 있었으며, 용수 공급 및 배분계획 수립 시 활용이 가능할 것으로 판단된다.

6. 결 론

본 연구는 MODSIM 모형을 이용하여 농업용수 공급 가능량을 평가하고자 농업용 수리시설을 고려하여 물수지 네트워크를 구성하고, 물수지 분석을 수행하였다. 또한 농업용 수리시설물의 고려 유·무에 따른 농업용수공급 가능량과 기여도를 평가하였다. 본 연구를 정리하면 다음과 같다.

- 1) MODSIM 네트워크 모델링을 위해 금강권역을 21개의 중권역으로 분할하고, 입력 자료로는 유출량, 용수 수요량 및 용수공급시설에 의한 공급량, 하천 유지유량, 광역 물 이동량, 공급 우선순위, 댐 운영 자료 등을 준비하였다. 또한 농업용 수리시설(저수지, 양수장, 보, 집수암거, 관정)의 공급량 및 운영 자료를 추가로 고려하였다.
- 2) 농업용 수리시설을 고려한 물수지 네트워크를 구성은 지류와 본류를 구분하고, 금강권역 내 농업용 수리시설 각각에 대해서 소유역별 하나의 큰 시설물로 가정하여 구성하였다.
- 3) 모형의 물수지 분석 결과 1967년부터 2002년까지의 농업용수 부족은 1988년, 1982년, 1973년, 1994년, 1977년, 2001년, 1992년, 1995년, 1976년, 1968년, 1996년 순으로 나타났으며, 1988년에 부족량이 893.5백만 m³, 부족비율이 25.5 %로 최대 부족량이 발생하였다. 최대 부족량이 발생한 소유역은 금강공주(3012)로 부족량이 88.4백만 m³, 부족비율이 27.4 %로 분석되었다. 대표적인 가뭄 년인 1994년, 1995년, 2001년의 총 부족량은 745.8, 661.1, 696.8 백만 m³으로 분석되었다. 또한 소유역 평균 용수 공급율은 생·공용수의 경우 99.1 %, 농업용수의 경우 84.4 %로 비교적 낮은 공급능력을 보였으며, 대표적인 가뭄 년인 1994년, 1995년, 2001년의 농업용수공급가능률은 74.8 %, 79.2 %, 77.9 %로 소유역 평균보다 낮은 수준으로 분석되었다.
- 4) 농업용 수리시설물 고려 유·무에 따른 기여도를 평가한 결과 양수장과 보의 기여율은 32.5 %, 집수암거와 관정의 기여율은 4.0 %로 분석되었으며, 양수장과 보에 비해서는 적은 공급량이지만 집수

암거와 관정도 농업가뭄 해소에 어느 정도 영향을 주는 것으로 분석되었다. 또한 양수장과 보가 없으므로 인해 금강유역 하류, 삽교천, 만경강, 동진강 유역이 농업용수 부족량이 가장 많이 발생하는 지역으로 분석되었다. 농업용수 공급 능력은 양수장과 보는 27.9 %, 집수암거와 관정은 5.6 %로 분석되었다.

감사의 글

본 연구는 한국수자원공사의 가뭄정보시스템(물공급 Guideline중심으로)('07~'08)유역의 연구비지원(50 %)과 2008년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R01-2006-000-10343-0, 50 %).

참 고 문 헌

- 건설교통부 (1999). 수자원의 최적화 연구(III).
 건설교통부 (2006). 금강유역조사.
 건설교통부 (2006). 수자원장기종합계획 보고서.
 안상진, 최병만, 광현구, 김혁호 (2006). "유역의 최적 용수배분계획 수립을 위한 Network 모형의 적용." **한국수자원학회 학술발표회논문집**, 한국수자원학회, pp. 365~369.
 유주환 (2005). "물 공급 안전도 평가에 MODSIM을 적용한 물 수지 분석 방법 제시." **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제25권, 제1B호, pp. 9~17.
 유주환, 윤석영, 김승 (2000a). "수자원의 공급 우선권을 반영한 물 수지 분석." **대한토목학회 학술발표회 논문집**, 대한토목학회, pp. 449~452.
 유주환, 윤석영, 김승 (2000b). "물 수지 계산 결과 검토: 시간간격과 수요기준." **대한토목학회 학술발표회 논문집**, 대한토목학회, pp. 465~468.
 유주환, 이동률, 이한구 (2000c). "물 공급 안전도 평가를 위한 물 수지 분석: I. 분석방법." **대한토목학회 학술발표회논문집**, 대한토목학회, pp. 469~472.
 유주환, 이동률, 김영식 (2000d). "물 공급 안전도 평가를 위한 물수지 분석: II. 분석과 결과." **대한토목학회 학술발표회논문집**, 대한토목학회, pp. 453~456.
 윤석영, 유주환 (1999). "MODSIM을 이용한 물 수지 분석 시스템 구축." **한국수자원학회 학술발표회논문집**, 한국수자원학회, pp. 418~423.
 이광만, 윤석영, 김현준 (1998). "Network Flow Model을 이용한 유역 물수지 해석." **한국수자원학회 학술발표회논문집**, 한국수자원학회, pp. 97~102.

이광만, 이재용, 심상준, 고석구(1999). "Network Optimization Model 을 이용한 수자원 평가." **한국수 자원학회논문집, 한국수자원학회지**, 제32권, 제2호, pp. 143~152.

정태성, 강신욱, 고익환, 황만하 (2007). "금강유역에서 의 KModsim을 이용한 의사결정지원시스템 개발 및 적용성 검토." **대한토목학회논문집, 대한토목학회 지**, 제27권, 제3B호, pp. 319~329.

차기욱, 정태성, 고익환 (2007). "최적화기법을 이용한 금강상류지역 지표수-지하수 연계운영 및 갈수기 용 수공급방안 검토." **대한토목학회논문집, 대한토목학 회지**, 제27권, 제5B호, pp. 507~513.

한국수자원공사 (1998) 다목적댐 운영 실무 편람

Bertsekas, D.P., and Tseng, P. (1988a). "Relaxation methods for minimum cost ordinary and generalized network flow problems." *Operations Research*, Vol. 36, pp. 93-114.

Frevert, D.K., Labadie, J.W., Larson, R.K., and Parker, N.L. (1994). "Integration of water right and network flow modeling in the Upper Snake River

Basin." *Proceedings of the 21st Annual Conference*, Water Resources Planning and Management Division, ASCE, Denver, Colo., USA.

Graham, L.P., Labadie, J.W., Hutchison, I.P., and Ferguson, K.A. (1986). "Allocation of augmented water supply under a priority water right system." *Water Resources Research*, Vol. 22, No. 7, pp. 1083-1094.

Labadie, J.W., Bode, D., and Pineda, A. (1986). "Network Model for decision-support in municipal raw water supply." *Water Resources Bulletin*, Vol. 22, No. 6, pp. 927-940.

Law, J., and Brown, M. (1989). "Development of a large network model to evaluate yield of a proposed reservoir." *Computerized Decision Support System for Water Managers*, ASCE, New York.

논문번호: 09-010	접수: 2009.01.20
수정일자: 2009.07.13/08.28	심사완료: 2009.08.28