

# K-ModSim 모형에 대한 수자원계획 적용성 검토

## Validations of Water Resources Planning by K-MODSIM Model

강신욱<sup>\*</sup>.정태성<sup>\*\*</sup>.황만하<sup>\*\*\*</sup>.고익환<sup>\*\*\*\*</sup>  
Shin Uk Kang, Tae Sung Cheong, Man Ha Hwang, Ick Hwan Ko

### 요    지

K-ModSim 모형을 이용하여 금강권역의 2006년의 기준수요량에 대한 수자원부존량을 평가하였다. 이에 대한 2006년 기준 생활, 공업, 농업, 하천유지용수 자료와 38년의 자연유출량 자료를 이용하고, 금강권역의 기준 및 계획 광역상수도를 고려한 물수지 네트워크를 작성하여 수행하였다. 수행결과 금강권역은 2006년 기준수요에 대해 74백만m<sup>3</sup>/년의 물부족이 발생하였다. 금강권역에 대한 물수지분석 과정을 통해 K-ModSim 모형의 활용성을 확인할 수 있었다. 그동안 국내 사용자들에게 결과의 의문을 갖게 만들었던 병렬저수지 문제는 Reservoir Balancing을 이용해 동일 비율로 방류하도록 보완되었고, 입출력에 대해서 Excel 프로그램과 연동되게하여 복사 및 붙이기가 가능하도록 편리하게 개선되었다. K-ModSim 모형은 복잡한 유역의 효율적인 수자원 관리 및 운영을 위해 이해관계자에게 효율적인 정보를 제공할 수 있는 유용한 도구라고 판단된다.

핵심용어 : 수자원평가, K-ModSim 모형

### 1. 서 론

기상이변으로 인한 가뭄 발생 시 유역 내 수문학적 조건은 변화하게 되고 이러한 변화에 수동적으로 대처해야만 하는 유역시스템관리자는 적절한 수자원의 운용에 어려움을 느끼게 된다. 이러한 수문학적 조건 변화는 갑작스런 인구증가, 산업발전 등에 의해서도 발생될 수 있으며, 이 경우 용수공급, 수력발전, 그리고 환경용수 등 서로 상충되는 이해관계를 조정하여 물이용의 효율성 극대화하는 범 유역 단위의 수자원 평가 및 배분이 고려되어야 한다. 더불어 정치적, 경제적, 그리고 환경목적에 부합된 새로운 수자원 개발을 위해서도 지속적인 수자원 통합관리를 위한 의사결정지원시스템은 매우 중요하다. 복잡하고 다양한 요구를 만족하기 위해서는 유역관리 대상을 통합 관리할 수 있는 효과적인 운영 도구가 필요하다.

본 연구에서는 의사결정 지원 모형들 중 네트워크 알고리즘을 이용하고, 최근 활목할 만한 업그레이드를 한 K-ModSim 모형을 이용하여 금강권역의 2006년의 기준수요량에 대한 수자원 부존량을 평가하였다.

### 2. K-ModSim 모형

K-ModSim 모형은 미국 텍사스의 수자원개발부가 개발한 SIMYLD 네트워크 모형을 미국 콜로라도 주립대학의 Labadie 교수가 수정하여 개발한 MODSIM (Modified SIMYLD)을 기본모델로 하여 한국유역에 맞도록 개발된 모형이다. 이모형은 일반화된 하천유역 네트워크 모형(river basin network model)으로 네트워크 최적화기법인 Lagrangian relaxation algorithm을 사용하여 실수계산보다는 효율이 매우 좋은 정수계산 방식을 선형네트워크의 해법으로 적용하였으며, 매트릭스 계산은 개량된 simplex method를 확장한 표준 선형프로그램

\* 정회원·한국수자원공사 수자원연구원 연구원(E-mail : sukang@kwater.or.kr)

\*\* 정회원·한국수자원공사 수자원연구원 공동연구원(E-mail : tscheong@gmail.com)

\*\*\* 정회원·한국수자원공사 수자원연구원 수석연구원(E-mail : hwangmh@kwater.or.kr)

\*\*\*\* 정회원·한국수자원공사 수자원연구원 연구위원(E-mail : ihko@kwater.or.kr)

을 사용하여 정수계산 방식이 필요한 정도의 정확도를 갖는 해를 계산할 수 있도록 하였으며 하천유역 관리에 있어서 물리적, 수문학적, 제도적인 측면에서 물이 배분될 수 있고, 유역 수자원관리 시설의 전체적인 배치 및 운영조건을 다양하게 반영할 수 있도록 구축되어 있다. 가장 최근버전인 K-ModSim 8.0은 MS .Net Framework을 기반으로 개발되어 모형 내에서 MS Visual C++ .Net 코드를 생성 및 수행할 수 있다. K-ModSim 모형의 사용자 지원 편의시스템(GUI)은 Visual Basic .Net상에서 개발되어 소스코드와 개발자 라이센스가 포함되어 있으나, 추가 비용지불이나, 배포허가 없이 무료배포가 가능하도록 개발되었다.

.Net Framework의 가장 뛰어난 장점중의 하나는 K-ModSim 모형 사용자에게 다양한 또는 특수한 형태의 운영율이나 입력 자료를 입력 가능하며 사용자가 원하는 형태의 결과를 출력 가능하게 하며, 모형의 소스 코드의 변경 없이 외부모형과의 결합을 가능하게 한다는 것이다. C++, C#, 그리고 Visual Basic 등 어떠한 형태의 .Net 언어 기반위에서 개발된 사용자코드라도 모형 내에서 구동이 가능하다. K-ModSim 모형내의 모든 전역 변수들과 클래스는 Custom code에 의해서 직접적으로 제어가 가능하며 .Net CLR (명령어 런타임)은 Perl이나 Java script에 대응하는 언어로서 매우 빠른 실행속도를 갖는다.

K-ModSim의 강력한 사용자 편의 시스템(GUI)은 운영에 필요한 데이터베이스 자료와 최적모의 흐름 네트워크와의 동적 연결을 가능하게 한다. 최적모의를 위한 목적함수와 제약조건은 GUI 상에서 자동적으로 생성되며, 더불어 사용자에게 최적화 모델링 또는 컴퓨터 프로그래밍에 대한 편의성을 제공한다. 원칙적으로 최적화는 유역수자원운영을 위한 물리적, 수문학적, 그리고 산업적/법적/관리적 결정 등의 조건에 따라 유역 내 모든 저수지 운영 수위 혹은 운영율, 수리권 혹은 경제적 가치 등을 고려하여 우선순위를 만족하도록 물을 효율적으로 배분하는 것이다.

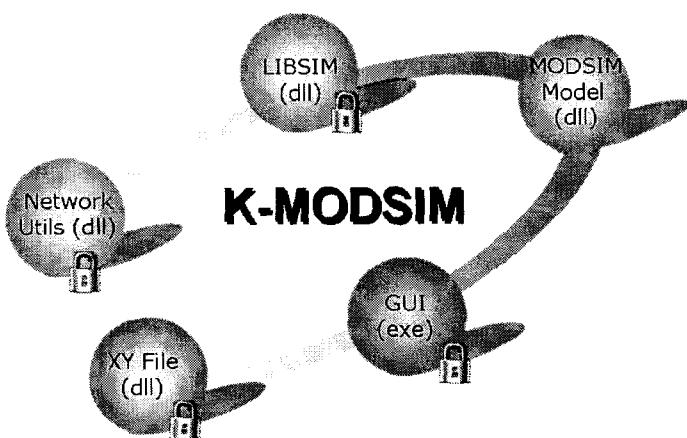


그림 1. K-ModSim 8.0 모형의 개념도

K-ModSim 모형은 객체지향적 개념으로 설계되었으며, 모형에서 담당하는 기능별로 다음의 그림 1과 같은 동적링크 라이브러리 (DLL; Dynamic Link Library)로 구성되어 있다. NetworkUtils.dll은 화면상에서의 네트워크 구성에 대한 라이브러리이며, Libsim.dll은 네트워크 선형계획법에 의한 물배분 모의와 최적화 기능, XYFile.dll은 .xy 파일의 구성과 해석 기능, GUI.exe는 모형 GUI를 표현하는 기능을 가지고 있다. 여기서 ModsimModel.dll은 Custom code를 통해 접근할 수 있도록 완전히 개방되어 있다.

### 3. 모형의 입력자료

#### 3.1 수요량

물수지 계산의 기본 자료에는 수요량, 회귀율, 물이동량, 수급 우선순위, 수요폐탄, 댐 자료 등이 있다. 수요량은 수자원장기종합계획의 자료와 같이 생활, 공업, 농업, 하천유지용수 등 4개 목적으로 구분하고 물수지연산을 계산한다. 본 연구를 위하여 생활, 공업, 농업용수는 2006년도 기준 수요량만을 사용하였다. 농업용수는 관개전, 비관개전, 관개답, 비관개답, 축산용수로 구성된다. 생활, 공업, 농업용수는 반순 단위 수요폐탄을 적용하여 산정된 값을 사용하였다. 사용한 수요량 자료는

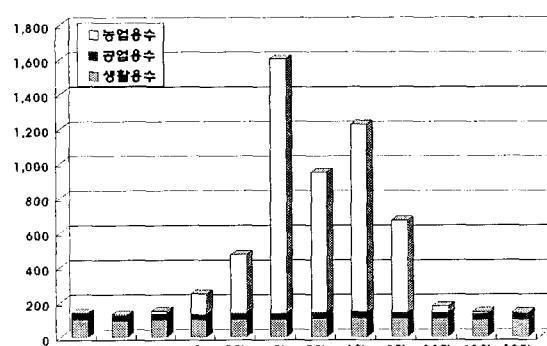


그림 2. 금강권역의 월별 생활, 공업, 농업 용수

월별로 그림 2와 같다. 전체수요량 중 생활용수는 20%, 공업용수는 7%, 농업용수는 73%이다. 전체 수요량 중 4월~9월의 농업용수가 대부분을 차지한다. 그림 3은 2006년 기준 각 용수별 수요량을 각 소유역 별로 나타내었다.

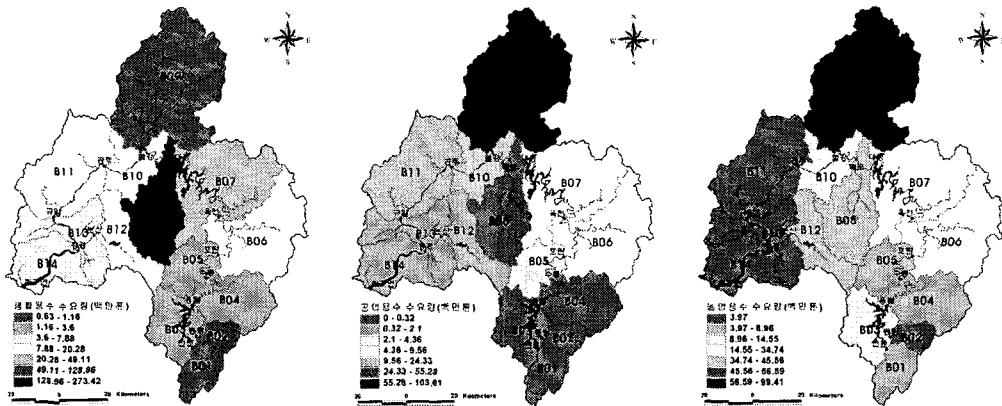


그림 3. 소유역별 2006년 기준수요(생활, 공업, 농업용수)

### 3.2 공급량

본 연구에서는 현 상황에서 금강권역의 장기간의 자연 유출량 자료를 실측 수위를 통하여 산정하는 것은 자료의 가용성 부족 및 신뢰성 면에서 적용이 어려우므로 강우-유출모형인 토양수분 저류구조 텡크모형을 이용하여 자연 유출량을 산정하고자 하였다. 자연 유출량 산정기간은 현재 우리나라 전역에서 동시 우량 관측을 수행하여 이용할 수 있는 관측소들을 조사하여 설정하였을 뿐만 아니라, '67~'68년, '94~'95년의 갈수기간을 포함한 '66~'03년(38년)이다. 그림 4에는 금강권역의 38년간의 월평균 유출량을 나타내었다.

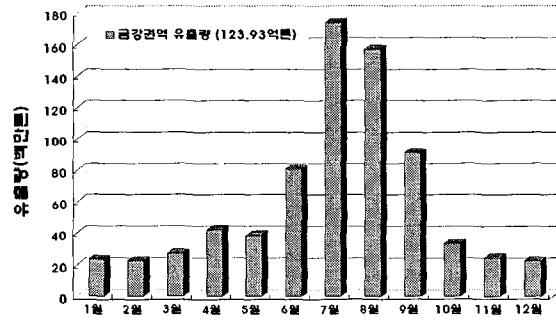


그림 4. 금강권역의 월평균 유출량

### 4. 금강권역의 수자원 평가

K-ModSim을 사용하여 2006년 기준수요에 대한 물수지 분석을 수행하였다. 물수지 분석 계산시간 간격은 5일 단위로 수행하였으며, '66년 10월~'03년 9월까지의 기간에 대해 수행하였다. 생활 및 공업용수의 회수수량은 수요량의 65%가 하류로 회귀되는 것으로 하였으며, 농업용수는 수요량의 65% (순물소모량)을 사용하고 회귀는 없는 것으로 하였다. 각 수요처로부터 하천으로 회귀되는 양은 직 하류에 위치한 소유역으로 유출된다. 그리고 댐 실측유입량을 이용하므로 댐에서의 수면증발량은 고려하지 않았다. 댐의 초기 저수위는 상시 만수위와 10월 1일 평균저수위를 함께 고려하여 결정하였고 댐 간 연계운영 방법은 K-ModSim에서 제공하는 Reservoir Balancing을 통해 댐 간에 동일비율로 수요를 공급하도록 하였다. 광역 물 공급 시설은 현재 운영 중이거나 2004년 수도정비기본계획에서 반영된 계획 현황을 고려하여 도수시설로 광역 물 이동망 구성을 후 공급 대상 소유역의 생활·공업용수 수요처로 공급하도록 하였다. 수요처의 우선순위는 상류에서 하류로 증가하도록 하고, 하천유지용수, 생활용수, 공업용수, 농업용수 순으로 부여하였다. 금강권역에 대해 구축된 물수지 네트워크는 그림 5와 같다.

금강권역에 대한 물수지 분석 결과 총 5개 소유역에서 물 부족이 발생하였으며, 부족총량은 74백만m<sup>3</sup>/년으로 추정되었다(표 2). 초강유역의 경우 20백만m<sup>3</sup>/년의 하천수 부족이 발생하였으나, 자체공급원인 지하수,

농업용저수지로부터 17백만m<sup>3</sup>/년을 공급받아 최종적으로 3백만m<sup>3</sup>/년의 부족량이 발생하였다. 보청천 유역은 34백만m<sup>3</sup>/년의 하천수 부족이 발생하였으나, 자체공급원인 지하수, 농업용 저수지로부터 23백만m<sup>3</sup>/년을 공급받아 최종적으로 11백만m<sup>3</sup>/년의 부족량이 발생하였다. 미호천 유역은 125백만m<sup>3</sup>/년의 하천수 부족이 발생하였으나, 자체공급원인 지하수, 농업용저수지로부터 12백만m<sup>3</sup>/년을 공급할 수 있어 최종적으로 11백만m<sup>3</sup>/년의 부족량이 발생하였다. 논산천 유역은 자체 공급원의 공급으로 최종적으로 42백만m<sup>3</sup>/년의 부족량이 발생하였다. 금강 서해에 속한 용요천 유역은 자체공급원 115백만m<sup>3</sup>/년의 공급으로 최종적으로 13백만m<sup>3</sup>/년의 부족량이 발생하였다.

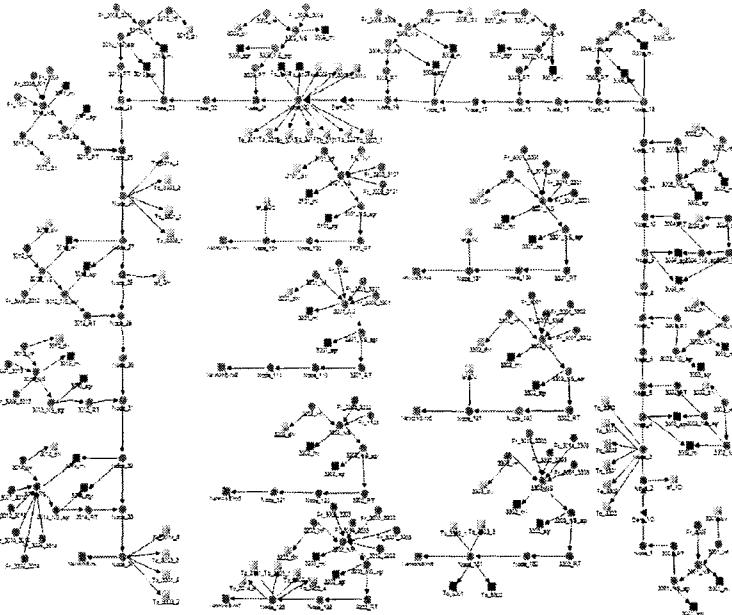


그림 5. 금강권역의 물수지 분석 네트워크

표 2. 금강권역의 소유역별 물부족량 계산결과

유역	하천명	소유역 명	소유역 번호	물수수요(백만m <sup>3</sup> /년)					지체 공급원				임면 공급원				
				합계	생활	공업	농업	하천유지 수불수	부족량 (백만 m <sup>3</sup> /년)	지하수	농업용 저수지 (설계)	농업용 저수지 (기준)	농업용 저수지 제수지	소유역별 교류량(백만 m <sup>3</sup> /년)	상공 전용 수불수	희구록	소유역별 부족량 (백만 m <sup>3</sup> /년)
금강	율림천	3001	107.07	14.74	0.24	92.09	-	-	△22	+5	+19	+19	-	+2	-	-	-
금강	율령강하류	3002	8.11	0.67	0.09	7.43	-	-	-	+0	+1	+1	-	+1	-	-	+
무주남대천	무주남대천	3003	26.42	3.98	0.10	24.33	-	-	△3	+2	+2	+2	-	+2	-	-	-
영동천	영동천	3004	125.42	21.61	3.61	100.20	-	-	+13	+7	+7	-	+20	-	-	-	-
초감	초감	3005	87.65	6.37	0.57	80.71	-	-	△20	+4	+13	+13	-	△3	-	-	△3
금강	대성당삼류	3006	29.28	4.49	0.51	15.28	-	-	+1	+6	+6	-	+7	-	-	-	-
보철천	보철천	3007	110.41	9.20	1.06	100.15	-	-	△34	+2	+21	+21	-	△11	-	-	△11
금강	대청댐	3008	102.46	34.27	6.03	62.16	-	-	-	+8	+7	+7	-	+15	-	-	-
길천	길천	3009	917.65	221.24	41.39	55.02	-	-	△0	+19	+5	+5	-	+25	-	-	-
금강	대설달하류	3010	38.78	6.83	4.40	27.55	-	-	-	+1	+0	+0	-	+2	-	-	-
미호천	미호천	3011	700.77	191.99	101.35	407.49	-	-	△125	+38	+83	+35	+48	△4	-	-	△4
금강	금강공주	3012	1625.37	67.29	12.47	410.61	1135.00	-	-	+19	+30	+30	-	+49	-	-	-
논산천	논산천	3013	256.21	33.92	5.20	217.09	-	-	△93	+10	+41	+19	+22	△42	-	-	△42
금강	금강하구연	3014	254.41	16.84	3.54	234.03	-	-	-	+3	+28	+28	-	+31	-	+515	-
설교천	설교천	3101	900.75	148.55	97.52	559.68	95.00	△238	+55	+93	+47	+46	△90	-	+228	-	-
금강 서해	성연천 대호방조제	3201	247.22	23.68	9.55	213.99	-	-	△65	+14	+59	+13	+46	+9	-	-	-
금강 서해	무남방조제	3202	463.92	56.82	20.97	306.13	-	-	△128	+11	+104	+34	+70	△13	-	-	△13
평천천	금강서해	3203	335.40	71.30	16.97	247.13	-	-	△87	+7	+50	+17	+33	△29	+48	-	-
세안금	만경강	3301	905.50	208.24	77.73	556.53	63.00	△234	+34	+164	+49	+115	△37	-	+37	-	-
합 계			6635.80	1141.98	403.22	3797.60	1293.00	△1,050	+247	+735	+355	+380	△68	+48	+780	△74	

## 5. 결 론

본 연구에서는 최근 괄목할 만한 업그레이드를 한 K-ModSim 8.0을 이용하여 금강권역의 2006년의 기준 수요량에 대한 수자원부존량을 평가하였다. 이에 대한 2006년 기준 생활, 공업, 농업, 하천유지용수 자료와 38년의 자연유출량 자료를 이용하고, 금강권역의 기준 및 계획 광역상수도를 고려한 물수지 네트워크를 작성하여 수행하였다. 수행결과 금강권역은 2006년 기준수요에 대해 74백만m<sup>3</sup>/년의 물부족이 발생하였다.

금강권역에 대한 물수지분석 과정을 통해 K-ModSim 8.0의 활용성을 확인할 수 있었다. 그동안 국내 사용자들에게 결과의 의문을 갖게 만들었던 병렬저수지 문제는 Reservoir Balancing을 이용해 동일 비율로 방류하도록 보완되었고, 입출력에 대해서는 Excel 프로그램과 연동하여 복사 및 붙이기가 가능하도록 편리하게 개선되었다. 이로써 K-ModSim 8.0은 복잡한 유역의 효율적인 수자원 관리 및 운영을 위해 이해관계자에게 효율적인 정보를 제공할 수 있는 유용한 도구라고 판단된다.

### 감 사 의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비 지원(파제번호: 1-6-2)에 의해 수행되었습니다.

### 참 고 문 헌

1. 건설교통부 (2001). 수자원장기종합계획(2001 ~ 2020).
2. 건설교통부 (2006). 수자원장기종합계획보완(안)-Water Vision 2020 Update.
3. Labadie, J. (2005). MODSIM:River basin management decision support system, Chapter 23 in *Watershed Models*, Singh, V. and Frevert, D., CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.