

장기유출모의시 유역내 소규모 수리시설물의 영향

Analysis of Simulated Long-term Runoff Effects due to Various Small Scale Irrigation Facilities

류경식*, 황만하**, 이상진***, 성영두****

Kyong Sik Ryoo, Man Ha Hwang, Sang Jin Lee, Young Do Sung

요 지

최근 전 세계적으로 효율적인 유역내 수자원을 관리하기 위한 목적에서 하천 및 유역의 장기유출분석에 관한 많은 연구가 이루어지고 있는데 이러한 장기유출은 단기유출과 달리 인위적인 요소에 의해 많은 영향을 받는다. 인위적인 요소 중에 가장 대표적인 것이 저수지와 같은 저류시설물이다. 따라서 강우-유출모형을 통한 장기유출량 모의시에 이러한 인위적인 저류시설물의 영향을 모두 시스템화하여 유출모형에 반영하는 것은 바람직하나 현실적으로 매우 어려운 실정이다. 따라서 본 연구는 소규모 수리시설물이 장기유출에 끼치는 영향에 대해 시·공간적으로 상세히 분석하고 또한 분석된 결과를 토대로 장기유출 모형에 소규모 수리시설물의 영향을 반영할 수 있도록 모형을 재구성함으로써 유역의 장기유출에 대한 모의결과의 신뢰도를 증진시키는 것이 본 연구의 목적이다. 본 연구에서는 금강유역의 소규모 수리시설물 현황을 파악하고 각 수리시설물별로 하천유량에 끼치는 영향을 분석한 후, 수리시설물의 영향을 고려할 수 있도록 SSARR모형을 구축하였다. 수리시설물에 의한 영향평가를 실시한 결과, 공간적으로는 저수지가 많이 분포한 소유역에서, 시기적으로는 강우가 풍부했던 2003년을 제외한 2/4분기에서 에러발생빈도가 크게 나타났다. 따라서 본 연구에서는 수리시설물의 영향평가를 토대로 유출량과 수리시설물의 상관식을 유도하였으며 이를 이용한 주요지점 유출량을 모의하였다. 그 결과 용담댐, 수통, 호탄, 옥천 및 대청댐지점의 모의유량이 상대적으로 수리시설물을 고려하지 않은 경우보다 에러와 오차가 크게 감소하였다.

핵심용어 : 관개시설물, 장기유출, SSARR모형

1. 서론

최근 세계적으로 효율적인 유역내 수자원을 관리하기 위한 목적에서 하천 및 유역의 장기유출분석에 관한 많은 연구가 이루어지고 있는데 이러한 장기유출은 단기유출과 달리 인위적인 요소에 의해 많은 영향을 받는다. 인위적인 요소 중에 가장 대표적인 것이 저수지와 같은 저류시설물이다. 이러한 저류시설물은 단기적으로 감쇄특성의 변화, 장기적으로는 가뭄유량의 증가 등이 발생됨으로서 유역내 유황 및 유출 특성에 변화를 발생시킬 수 있다. 따라서 강우-유출모형을 통한 장기유출량 모의시에 많은 주의가 요구된다. 특히 우리나라는 이러한 인위적인 저류시설물이 전 유역에 산재되어 있기 때문에 순수 강우만에 의한 유출량을 산정하는 것도 어려울 뿐만 아니라 이에 대한 영향을 모두 시스템화하여 유출모형에 반영하는 것은 더더욱 어려운 실정이다.

따라서 본 연구에서는 소규모 수리시설물이 장기유출에 끼치는 영향에 대해 시·공간적으로 상세분석을 실시하여 분석된 결과를 토대로 장기유출 모의모형에 소규모 수리시설물의 영향을 반영할 수 있도록 구성함으로써 유역의 장기유출에 대한 모의결과의 신뢰도를 증진시키고자 한다.

* 정희원 · 한국수자원공사 물관리센터 선임연구원 · E-mail : ksryoo@kwater.or.kr
** 정희원 · 한국수자원공사 수자원연구원 수석연구원 · E-mail : mhhwang@kwater.or.kr
*** 정희원 · 한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원 · E-mail : silee@kwater.or.kr
**** 정희원 · 한국수자원공사 물관리센터 실장 · E-mail : ydsung@kwater.or.kr

2. 연구방법

1.1. 대상유역 및 적용 유출모형

최근 프론티어사업의 일환으로 실시간 물관리 운영시스템을 구축하기 위해서 금강수계를 대상으로 다년간 유역정밀조사와 현장조사를 실시한 바 있다(한국수자원공사, 2004). 그 중 금강수계내 대청댐 유역은 타 유역와의 용수 유출입이 이루어지지 않고 대부분 소규모 수리시설물만으로 용수를 공급하고 있는 유역이다. 따라서 본 연구의 목적인 유역내 소규모 수리시설물이 하천수에 끼치는 영향을 평가하기에 매우 적합한 유역이라 판단되어 대청댐유역을 본 연구의 대상유역으로 선정하였다.

본 유역의 소유역 분할은 한국수자원공사가 관할하고 있는 본류 수위표지점인 동향, 천천, 수통, 호탄 및 옥천지점과 용담댐과 대청댐이 위치한 지점을 대상으로 소유역을 분할하였다. 따라서 Fig. 1에서 보는바와 같이 용담댐 상류구간은 3개의 소유역으로, 용담댐부터 대청댐까지의 구간은 4개의 소유역으로 분할하였다.

본 연구에 적용된 강우-유출모형은 미 공병단에서 개발한 SSARR모형을 이용하였으며 유역 유출해석을 실시하고자 유출모식도를 Fig. 2와 같이 구성하였다.

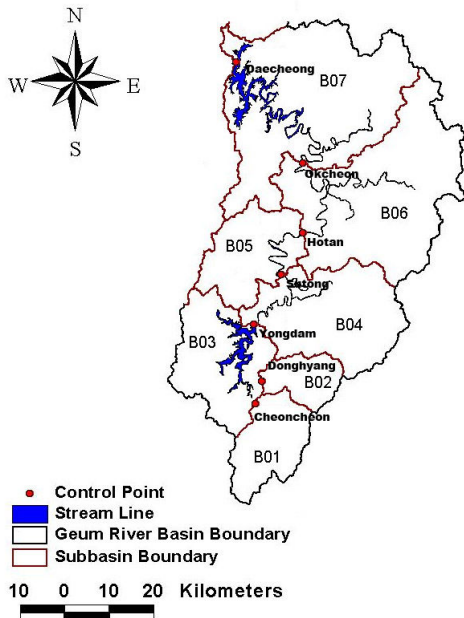


Fig. 1. Map of sub-basin in Daecheong Dam Watershed

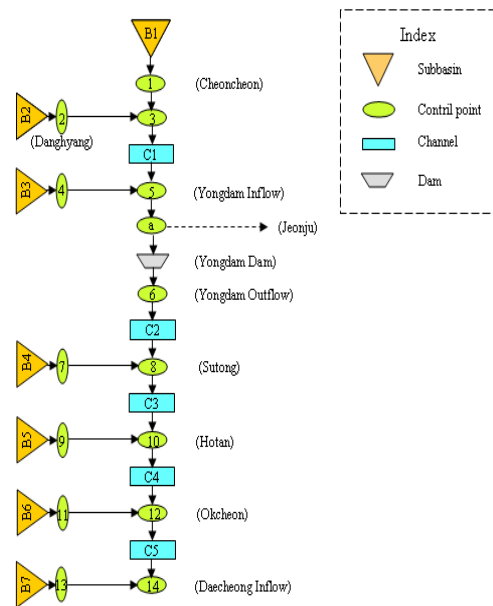


Fig. 2. Flowchart of rainfall-runoff model

1.2. 수리시설물 현황

본 연구의 대상유역내 수리시설물은 크게 댐, 저수지, 양수장, 관정, 보 등이 있으며, 댐은 한국수자원공사에서 관리하고 있고 그 외 수리시설물은 주로 시·군과 한국농촌공사에서 관리하고 있다. 그 중 저수지는 하류의 관개지구에 직접적으로 농업용 관개용수를 공급하는 주수원공이 대부분이며, 양수장은 금강 본류나 지천에서 직접 취수하는 1단 양수장과, 1단 양수장으로부터 송수된 물을 다시 양수하는 2단 혹은 3단 양수장으로 이루어졌다.

본 대상유역내 위치한 용담댐은 금강유역외인 전주권역으로 생활용수를 공급하고 있으며 대청댐은 금강 유역내 대전지역에 생공용수를, 청주 및 천안지역에 생공농 용수를 공급하고 있다. 또한 2개의 다목적 댐을 제외한 수리시설물들에 대한 소유역별 현황은 Table 1과 같다.

Table 1. The number of irrigated facilities in the each sub-basin

(Unit : ha)

Basin No.	Station	Total	Reservoir	Pumping	Weir
B01	Cheoncheon Upstream	120	43	6	71
B02	Donghyang Upstream	73	35	0	38
B03	Yongdam Upstream	158	72	10	76
B04	Yongdam ~ Sutong	183	51	11	121
B05	Sutong ~ Hotan	188	68	24	96
B06	Hotan ~ Okcheon	265	117	60	88
B07	Okcheon ~ Daecheong	305	146	44	115
Summation		1,292	532	155	605

3. 적용 및 고찰

1.3. 대상유역 강수량 및 용수이용량

본 연구에서는 소유역별 강수량, 유량, 취수량, 댐 방류량, 온도 및 생·공·농업용수 수요량을 총 6년간(2002~2007년) 일단위로 수집하였다(건설교통부 등, 1998, 2001). 수집된 실측자료중 강수량 자료는 건설교통부, 한국수자원공사, 기상청 및 농업기반공사 등에서 관할하는 24개소 강우관측소 자료를 이용하였고 상기 기상관측소의 강수량 자료에 대해 신뢰성 검증을 실시하여 신뢰성에 의문이 생기는 강수자료 및 결측자료에 대해서는 RDS기법을 통해 보정하였다(한국수자원공사, 2004).

소규모 수리시설물에 의한 하천유량변화와의 상관관계를 규명하기 위해 과거 25년간(1983~2007년) 강우자료를 기반으로 본 연구의 검증기간인 최근 6년간(2002~2007년) 강우패턴을 파악하였다. 그 결과 Fig. 3에서 나타난 바와 같이 검증기간의 전체 이수기(1~6월, 10~12월)동안은 2002년과 2003년 4, 5월을 제외하고는 과거 강우대비 75%이상의 큰 강우는 거의 나타나지 않고 강우대비 25%이하인 다소 작은 강우나 50%인 평년수준의 강우로 나타났다.

또한 소규모 수리시설물의 영향평가를 위해 대상유역내 각 소유역별 용수이용중 하천수 의존도를 조사하기 위해 하천수를 직접 이용하고 있는 경작면적비를 산정하였다. 조사방법은 대부분의 수리시설물들이 농업용수 공급을 주목적으로 하고 있기 때문에 각 수리시설물에 의해 용수를 공급받고 있는 수혜면적비로 추정하였다(한국수자원공사, 2006). 그 결과 Fig. 4에 나타난 바와 같이 용담댐~수통 구간과 수통~호탄 구간인 4, 5번 소유역은 양수장이나 보 등을 통한 하천수 공급에 의존하는 농경지의 비율이 높아 하천수 의존도가 약 60%로서 가장 크게 나타났으며 옥천~대청댐 구간인 7번 소유역은 비룡지 및 보청지 등과 같은 중규모 이상의 농업용 저수지가 다수 분포하고 있음으로 인해 상대적으로 하천수 의존도가 약 24%로서 가장 적게 분석되었다.

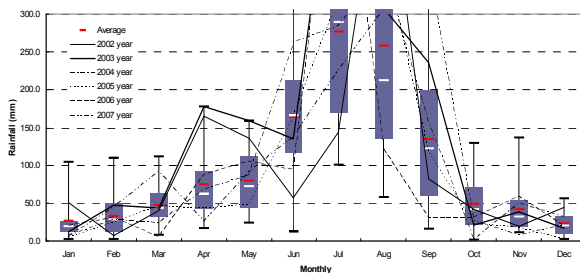


Fig. 3. Characteristics for rainfall pattern change of study area

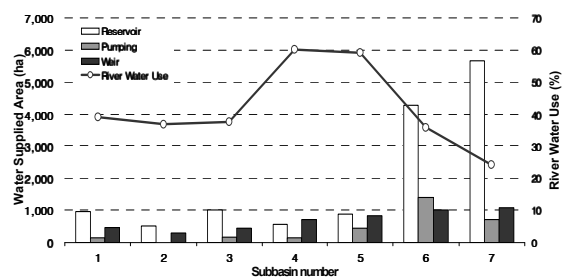


Fig. 4. Water supplied area and river water use rates for the each subbasin

1.4. 주요지점 유출모의결과

본 분석은 통상적으로 소규모 시설물을 고려하지 않은 유출모의 결과와 소규모 시설물을 고려한 유출모의 결과와의 비교 검토를 위해 SSARR모형을 통해 2002~2007년간 주요지점에 대한 일단위 유출량을 모의하였으며 해당결과에 대한 검증결과는 Fig 5~6과 같다. Fig. 5~6의 x=0.1축에 플로팅된 자료들은 실측치의 결측 및 부적정한 측정으로 인해 생성된 결과이며 y=0.1축에 플로팅된 자료들은 유출모형에 의한 모의결과가 실측치를 적절하게 모의하지 못해서 발생한 결과이다. 따라서 Fig. 5의 결과에서와 같이 주요 제어지점중 수통 및 호탄지점은 유출모형에 의한 유출 모의결과가 상대적으로 타 지점 유출모의결과보다 양호한 결과를 나타낸 반면 용담, 옥천 및 대청지점의 유출 모의결과는 저유량 부분에서 많은 오차가 발생되고 있는 것으로 분석되었다. 이는 상기 소유역별 하천수 의존도 분석결과에서 나타난 바와 같이 수통지점과 호탄지점은 하천수 의존도가 타 지점보다 상대적으로 높은 지점인데 반해 타 지점들은 하천수 의존도가 비교적 낮은 지점이라는 데에서 원인을 찾아볼 수 있는 것이다. 또한 Table 2는 상기 소규모 수리시설물의 미고려시 가장 많은 오류가 발생되었던 대청지점과 양호한 결과를 보여주었던 호탄지점을 대상으로 소규모 수리시설물의 고려여부에 따른 상대평균제곱근오차(RMSE, Root Mean Square Error)분석을 실시하였다.

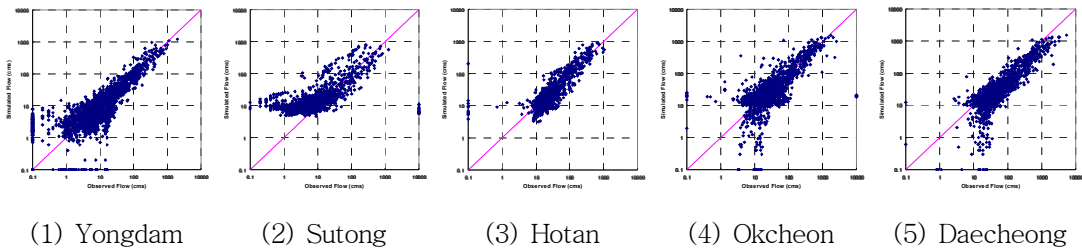


Fig. 5. Comparison of the runoff simulated without considering small scale irrigation facilities

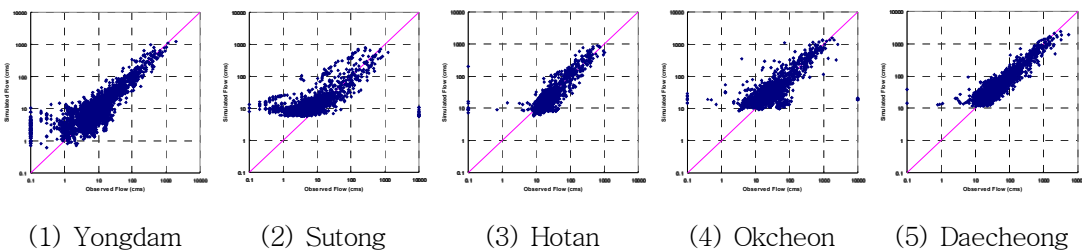


Fig. 6. Comparison of the runoff simulated with considering small scale irrigation facilities

Table 2. Root mean square error of the simulated runoff at the Hotan and Daecheong stations during the 2nd quarter

	Station	Year						Total
		2002	2003	2004	2005	2006	2007	
Non consideration	Hotan	28.4	31.4	23.9	8.1	6.8	9.3	20.7
	Daecheong	53.1	112.4	88.5	17.0	28.9	22.7	64.4
Consideration	Hotan	29.1	30.1	23.5	7.8	5.2	8.6	20.3
	Daecheong	53.5	105.8	85.5	13.0	15.4	20.9	60.8

분석결과, Fig. 6에서와 같이 전지점 및 전기간에서 기존 유출량 모의시에 발생되었던 문제점이 거의 나타나지 않는 매우 양호한 모의결과를 보였다. 또한 Table 2에서도 소규모 수리시설물의 미고려시 가장 많은 오류가 발생되었던 대청지점에서 전 기간 오차가 상대적으로 크게 감소하였으며 심지어 소규모 수리시설물의 미고려시 다소 적은 오류가 발생되었던 호탄지점에서도 2002년을 제외한 전 기간에서 오차가 상대적으로

감소하였다. 따라서 본 연구방법을 통해 소규모 수리시설물의 영향을 고려하여 모형을 구축하는 경우, 이수기에 보다 향상된 유출모의결과를 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

4. 결론

본 연구에서는 소규모 수리시설물이 유출에 끼치고 있는 영향에 대해 시·공간적으로 상세분석을 실시하여 이에 대한 분석결과를 토대로 장기유출 모의모형에 소규모 수리시설물의 영향을 반영함으로써 유출모의 결과의 신뢰도를 증대시키고자 하였고, 이에 대한 결과는 다음과 같다.

(1) 소규모 수리시설물에 의한 하천유량변화와의 상관관계를 규명하기 위해 과거 25년간(1983~2007년) 강우자료를 기반으로 본 연구의 검증기간인 최근 6년간(2002~2007년) 강우패턴을 분석한 결과, 검증기간의 전 이수기(1~6월, 10~12월) 기간중 2002년과 2003년 4, 5월을 제외하고는 큰 강우가 발생되지 않은 것으로 분석되었다.

(2) 소규모 수리시설물의 영향평가를 위해 대상유역내 각 소유역별 용수이용중 하천수 의존도를 조사한 결과, 용담댐~수통 구간과 수통~호탄 구간인 4, 5번 소유역에서 하천수 의존도가 크게 나타났으며 옥천~대청댐 구간인 7번 소유역이 가장 작게 분석되었다.

(3) 통상적으로 소규모 시설물을 고려하지 않은 유출모형에 의해 유출량을 추정할 결과, 하천수의 의존도가 높은 용담, 옥천 및 대청지점에서 오류 발생빈도가 증가되고 있으며 특히 농업용수 사용이 급증하는 2/4 분기에 집중적으로 발생되었다. 따라서 유역내 수리시설물에 하천수에 끼치는 영향을 평가하여 소유역별 용수량 및 회귀율을 재산정한 후 이를 활용한 유역유출모의를 실시하였다.

(4) 소규모 수리시설물의 고려여부에 따른 모의유출량을 비교분석한 결과, 본 연구에서 제시한 방법에 의해 소규모 수리시설물을 고려한 경우에 상대적으로 모의유출 에러가 적게 발생하였으며 RMSE 오차도 감소하였다. 따라서 그동안 대규모 유역을 대상으로 하는 장기유출량 모의시 소규모 수리시설물을 반영하는 것이 거의 불가능하였으나 본 연구방법을 통해 소규모 수리시설물의 영향을 고려한 모형을 구축할 수 있음으로서 이수기에 보다 향상된 유출모의결과를 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

감 사 의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술 개발사업단의 연구비지원(1-6-3)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 건교부 (1998), **기존댐 용수공급 능력조사(금강수계-부록)**
2. 건교부 (2001), **수자원 장기종합계획보고서**
3. 김현준, 장철희, 김남원 (2003), “장기 강우-유출 모형의 비교”, **한국수자원학회지**, 한국수자원학회, 36권 3호, pp. 49-57.
4. 류경식, 황만하, 맹승진, 이상진 (2007), “유역관리모형을 이용한 금강유역 유출특성 해석”, **한국물환경학회지**, 한국물환경학회, 23권 4호, pp.527-534.
5. 신현석, 강두기 (2006), “SWAT모형을 이용한 인공저류시설물의 하류장기유출 영향분석 기법에 관한 연구”, **한국수자원학회지**, 한국수자원학회, 39권 3호. pp.227-240.
6. 한국수자원공사 (2004), **실시간 물관리 운영 시스템 구축 기술 개발**
7. 한국수자원공사 (2006), **금강유역조사**
8. Ramireddygar, S.R., Sophocleous, M.A., Koelliker, J.K., Perkins, S.P., and Govindaraju, R.S. (2000), "Development and application of a comprehensive simulation model to evaluate impacts of watershed structures and irrigation water use on streamflow and groundwater : the case of Wet Walnut Creek Watershed, Kansas, USA", *Journal of Hydrology*, Vol. 236, pp. 223-246.
9. USACE, (1991), "SSARR User manual", *North Pacific Div.*, Portland.