

## 수리시설물별 관개면적을 고려한 유출변화특성분석

### Analysis of Characteristics for Runoff Variation Considering Irrigation Area of Each Irrigation Facilities

류 경 식\* / 이 상 진\*\*

Ryoo, Kyong Sik / Lee, Sang Jin

#### Abstract

This study was conducted to promote reliability of the simulated result for the long-term streamflow in Daecheong watershed. This system was constructed by the SSARR model that considered the effect of small scale irrigation facilities. We investigated the present condition of small scale irrigation facilities and analyzed the relation between irrigation facilities and river discharge. According to the analysis result about the effect of irrigation facilities, the error occurrence frequency was increased at the sub-basin that has many reservoirs and during the second quarter except for the 2003 year. Therefore, we created the relative equation between small irrigation facilities and river water and estimated the simulated streamflow for the main stations. Consequently, error of the runoff simulated with considering small scale irrigation facilities was decreased than that without considering small scale irrigation facilities at all.

**keywords** : Irrigation Facilities, Irrigation Area, Long-term Streamflow, SSARR model

#### 요 지

본 연구는 소규모 수리시설물이 장기유출에 끼치는 영향에 대해 시공간적으로 상세히 분석하고, 분석된 결과를 토대로 장기유출 모의모형에 소규모 수리시설물의 영향을 반영할 수 있도록 구성함으로써 유역의 장기유출 모의결과의 신뢰도를 증진시키는 것이 목적이다. 따라서 본 연구에서는 대상유역의 소규모 수리시설물 현황을 파악하고 각 수리시설물별로 하천유량에 끼치는 영향을 분석한 후, 수리시설물의 영향을 고려할 수 있도록 강우-유출 모형을 구축하였다. 수리시설물에 의한 영향평가를 실시한 결과, 공간적으로는 저수지가 많이 분포한 소유역에서, 시기적으로는 강우가 풍부했던 2003년을 제외한 2/4분기에서 모형상 에러인 음의 유량 발생빈도가 크게 나타났다. 따라서 본 연구에서는 수리시설물의 영향평가를 토대로 유출량과 수리시설물의 상관식을 유도하였으며 이를 이용하여 강우-유출 모의를 재구성하였다. 그 결과 모의유량은 상대적으로 수리시설물을 고려하지 않은 경우보다 오차가 크게 감소하였다.

**핵심용어** : 관개시설물, 관개면적, 장기유출, SSARR모형

\* 한국수자원공사 물관리센터 선임연구원, 공학박사

Senior Researcher, Water Resources Operations Center, Korea Water Resources Corporation, Daejeon 306-711 Korea  
(e-mail: ksryoo@kwater.or.kr)

\*\* 한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원, 공학박사

Senior Researcher, Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation, Daejeon 305-730 Korea  
(e-mail: sjlee@kwater.or.kr)

## 1. 서론

현재 우리나라는 매년 반복되고 있는 홍수와 가뭄, 가속화되는 수질 및 환경오염, 물 사용량의 증가로 인한 물 부족과 물 분쟁 등과 같은 사회적 갈등요소가 만연해 있다. 따라서 이에 대한 사회적 어려움을 슬기롭게 극복하기 위해서 최근 우리나라는 수량 및 수질을 동시에 관리하고 유역관리단위도 소규모유역에서 대규모 유역으로 관리 형태를 변화시킨 유역 통합 물관리 시스템을 구축하고 있다(Frevert *et al.*, 2000; 건교부, 2001).

아울러 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.

과거 장기유출에 대한 국내 연구사례를 보면 SSARR와 TOPMODEL 등의 집중형 유출모형(강주환 등, 1998; 류경식 등, 2007; 조홍재 등, 2000)과 PRMS와 SWAT 등과 같은 준분포형 유출모형(김남원 등, 2005)을 이용한 다수의 연구사례가 있다. 그러나 대다수의 연구들은 유역내 수리구조물의 영향을 전혀 고려하지 못하고 있고 단지 신현석 등(2006)에 의해 유역내 저류시설물이 장기 유출 분석의 신뢰도에 어느 정도의 영향을 주고 있는 지에 대해 분석한 사례가 전부이다. 반면 외국에서는 대규모 유역내 관개시설물로 인한 장기 하천 유출 및 지하수 흐름의 영향을 평가한 후 이를 모형에 적극 반영하여 장기유출모의에서 발생하는 오류를 최소화하고 있다(Sophocleous *et al.*, 1999; Ramireddygarri *et al.*, 2000).

따라서 본 연구에서는 소규모 수리시설물이 장기유출에 끼치는 영향에 대해 시공간적으로 상세분석을 실시하여 분석된 결과를 토대로 장기유출 모의모형에 소규모 수리시설물의 영향을 반영할 수 있도록 구성함으로써 유역의 장기유출에 대한 모의결과의 신뢰도를

증진시키고자 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1 대상유역 및 적용 유출모형

최근 프론티어사업의 일환으로 실시간 물관리 운영 시스템을 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 이용하였다. SSARR모형은 1956년 처음 개발된 이래, 1975년에 유역 및 하도추적에 대한 기본 골격을 갖추었으며(SSARR-4), 1991년에 Integrated Snowband(IS) 유역모형과 운영예보기능이 추가되었고(SSARR-8), 1999년에는 기존 DOS기반의 프로그램을 Windows기반의 GUI 프로그램(SSARR-2000)으로 개선한 모형으로서 모형내에서 저수지 조작 및 소유역별 용수이용에 대한 해석이 가능할 뿐만 아니라 장기 유출모의에 매우 적합한 모형이다. 따라서 본 연구에서는 SSARR모형을 이용한 유역 유출해석을 실시하고자 유출모식도를 Fig. 2와 같이 구성하였다.

### 2.2 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 주 수원공이 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 전주

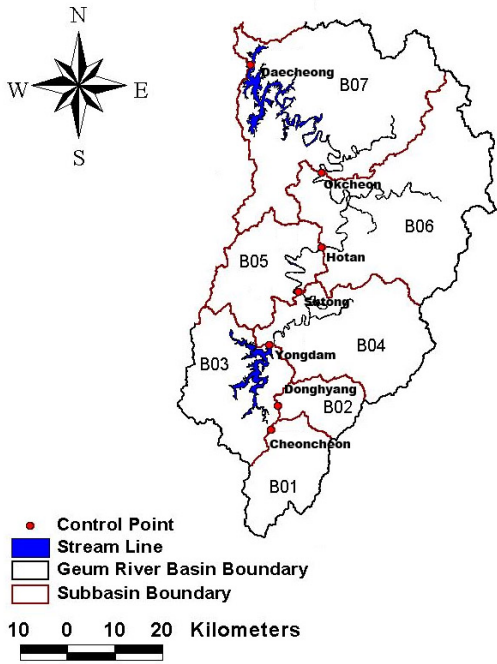


Fig. 1. Map of Sub-basin in Daecheong Dam Watershed

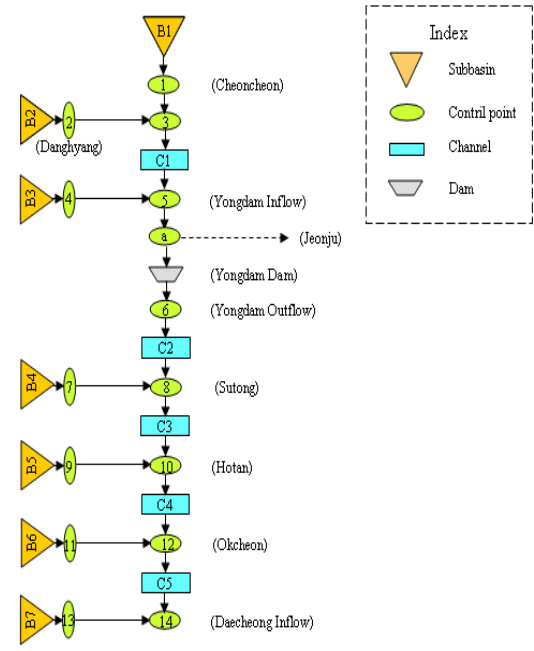


Fig. 2. Flowchart of Rainfall-Runoff Model

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

권역으로 생활용수를 공급하고 있으며 대형댐은 금강유역내 대전지역에 생공용수를, 청주 및 천안지역에 생공농 용수를 공급하고 있다. 또한 2개의 다목적 댐을 제외한 수리시설물들에 대한 소유역별 현황은 Table 1과 같다.

## 2.3 이론분석

### 2.3.1 수리시설물이 하천수에 끼치는 영향

소규모 수리시설물로는 저수지, 양수장, 보 및 관정 등이 대표적 시설물이다. 이 시설물들은 하천유량의 변화( $L_V$ )에 각기 다른 영향을 준다. 저수지에 의한 공급이 많은 지역은 저수지의 용수 공급( $L_S$ )으로 인한 회귀수( $R_S$ )가 하천으로 유입됨으로서 하천유량이 증대되는 효과가 나타나며 양수장 및 보에 의한 용수공급이 많은

지역은 직접 하천에서 원수를 취수하여 용수로 이용( $L_T$ )한 후 회귀수( $R_T$ )만을 하류하천으로 방류하기 때문에 하천유량을 감소시킨다. 또한 지하수를 원수로 공급하는 관정( $L_P$ )은 직접적으로 하천수를 이용하지는 않지만 하천에 근접한 관정은 저하된 지하수위를 충족하기 위해 인근 하천수를 흡수할 수 있고 지하수의 흐름은 장기간에 걸쳐 이루어지기 때문에 관정에 의한 용수공급이 하천유량에 끼치는 영향은 다른 수리시설물에 비해 미미할 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 각종 수리시설물에 의한 하천유량의 변화를 Eq. (1) 및 (2)로 정의하였다.

$$L_T = L_N - L_V \quad (1)$$

$$L_V = (I_L + I_P) - (R_S + R_L + R_P) \quad (2)$$

여기서,  $L_T$  : 모의하천유량  $L_N$  : 자연유량(인위적 영향을 받지 않은 자연상태 유량)

$L_V$  : 소규모 수리시설물에 의한 하천수 변화량

$R_P$  : 관정에 의해 공급된 용수에 대한 회귀수

### 2.3.2 SSARR모형에 반영할 합리적인 이용량 및 회귀율의 산정

상기에 기술한 바와 같이 각종 수리시설물들은 하천유량에 각기 다른 영향을 미치고 있다. 따라서 유역내 수자원의 효율적 관리를 위해서는 유역내 수리시설물별 용수공급비율이 반영된 용수량 및 회귀율이 산정되어야 한다. 그러나 현재 각 소유역별 수리시설물들을 통한 용수이용량 파악은 매우 어려울 뿐만 아니라 해당자료에 대한 신뢰성도 매우 낮은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 SSARR모형에 반영할 합리적인 이용량 및 회귀율을 수리시설물에 대한 용수공급량보다는 각 수리시설물의 수혜면적을 기반으로 하는 추정식을 다음과 같이 설정하였다.

$$U_T = \frac{IA_T - IA_S}{IA_T} \times S_T \quad (3)$$

$$R_A = \frac{IA_T}{IA_T - IA_S} \times \frac{I}{E + I} \quad (4)$$

여기서,  $U_T$  : 용수 이용량( $m^3/s$ )

$IA_T$  : 소규모 시설물에 의한 총 수혜면적(ha)

$IA_S$  : 저수지에 의한 수혜면적(ha)

$S_T$  : 총 용수수요량( $m^3/s$ )

$R_A$  : 용수 회귀율(%)

$I$  : 침투량(mm)

$E$  : 증발량(mm)

## 3. 적용 및 고찰

### 3.1 대상유역 강수량 및 용수이용량

본 연구에서는 상기에 제시된 기법의 적용성 검토를 위해 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 강수량 자료 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 파악하고자 Box-Whisker Diagram을 작성하였다. 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.

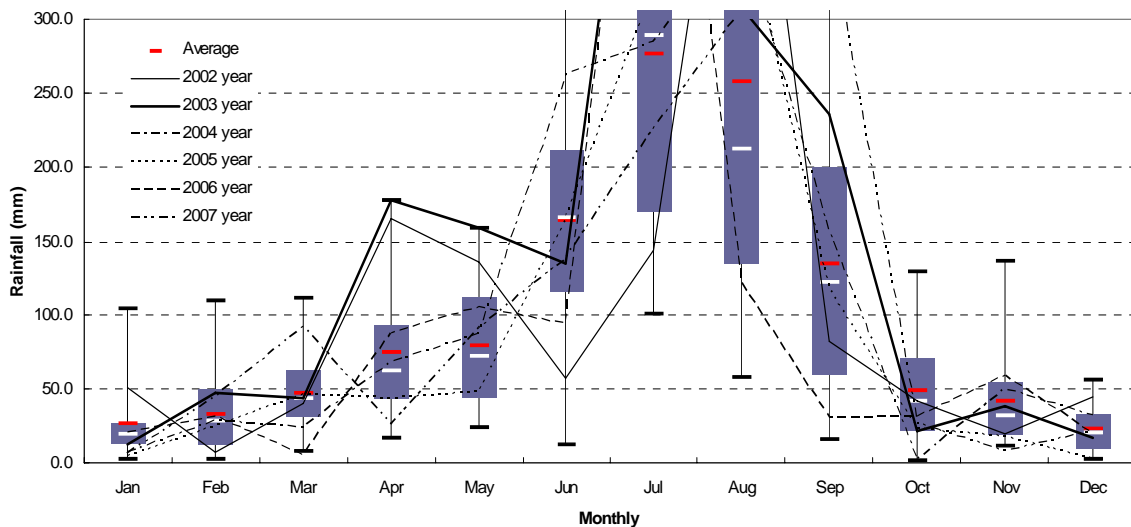


Fig. 3. Characteristics for Rainfall Pattern Change of Study Area

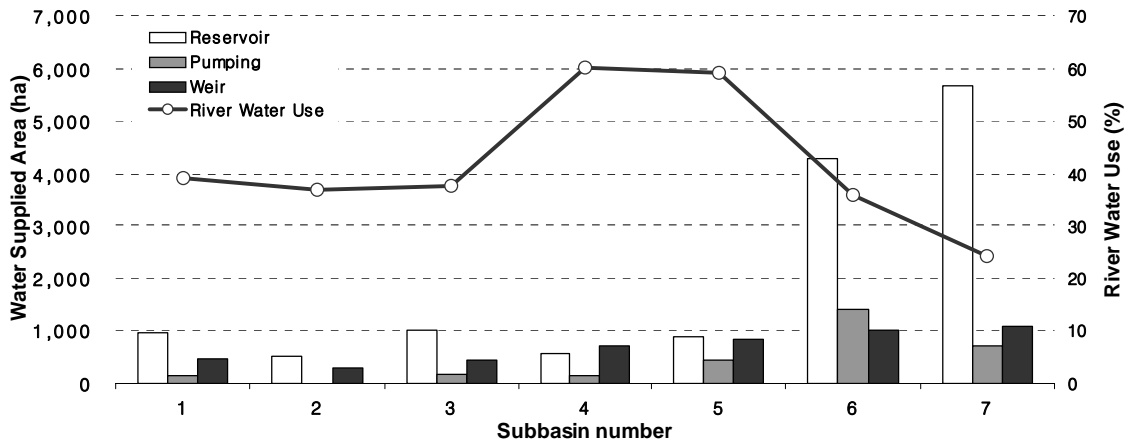


Fig. 4. Water Supplied Area and River Water Use Rates for the Each Subbasin

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 비룽지 및 보청지 등과 같은 중규모

이상의 농업용 저수지가 다수 분포하고 있음으로 인해 상대적으로 하천수 의존도가 약 24%로서 가장 적게 분석되었다.

### 3.2 주요지점 유출모의결과

#### 3.2.1 소규모 수리시설물을 고려하지 않은 경우

본 분석은 통상적으로 소규모 시설물을 고려하지 않은 유출모형에 의해 추정되는 유출결과와의 신뢰도 검증을 위해 SSARR모형을 통해 2002~2007년간 주요지점에 대한 일단위 유출량을 모의하였으며 해당결과에 대한 검증결과는 Fig 5와 같다.

Fig. 5의 결과에서 보면  $x=0.1$ 축의 자료는 실측치의

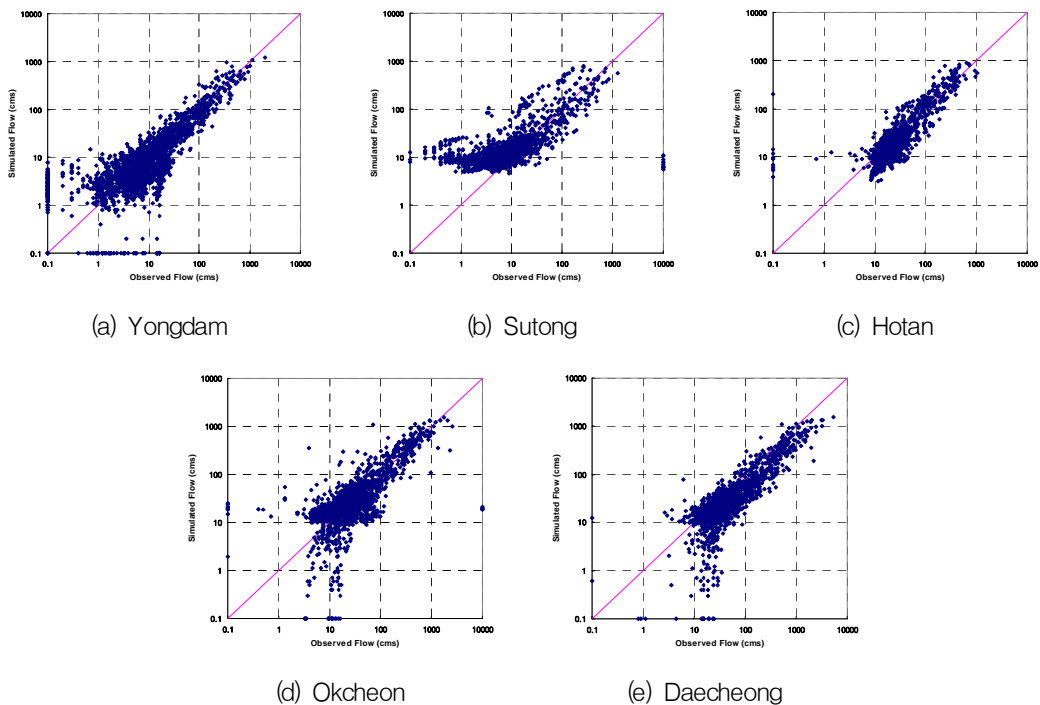


Fig. 5. Comparison of the Runoff Simulated without Considering Small Scale Irrigation Facilities

결측 및 부적절한 측정결과로 인해 생성된 결과이며  $y=0.1$ 축의 자료는 유출모형에 의한 모의결과가 실측치를 적절하게 모의하지 못해서 발생한 결과이다. 따라서 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 지점이라는데에서 원인을 찾아볼 수 있는 것이

다. 또한 양질의 모의결과를 도출하지 못한 지점에 대한 년 및 분기별 특성분석을 실시하였으며 표본 예로 대청댐지점의 결과를 Figs. 6 and 7에 도시하였다.

Fig. 6의 결과를 보면 2002~2007년 중에서 특히 2003년에는 부적절한 유출모의결과가 나타나지 않았으며 Fig. 7의 결과에서는 2/4분기에서 대부분의 유출 모의 오류가 발생되고 있는 것으로 분석되었다. 이러한 분석결과는 상기 강우량 특성분석결과에서도 제시된 바와 같이 2/4분기에 충분한 강우가 발생되지 못하고 하천수 의존도가 높은 지점에서 유출모의 오류가 특히 많이 발생된다는 것을 보여주고 있다.

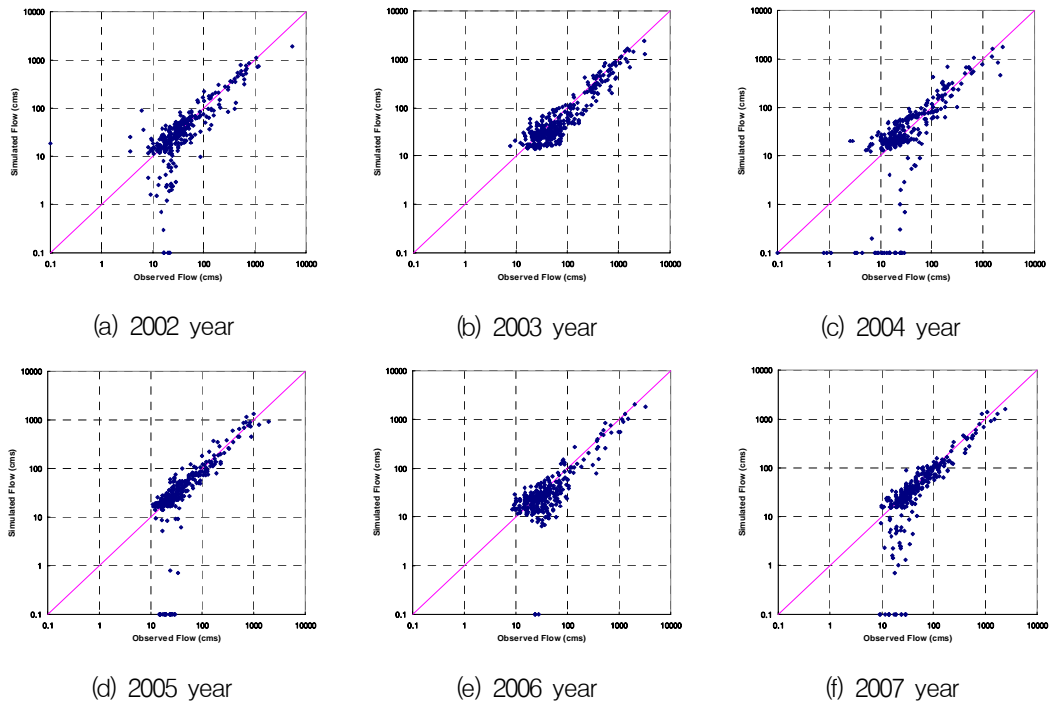


Fig. 6. Comparison of the Runoff Simulated for the Each Year at the Daechong Station

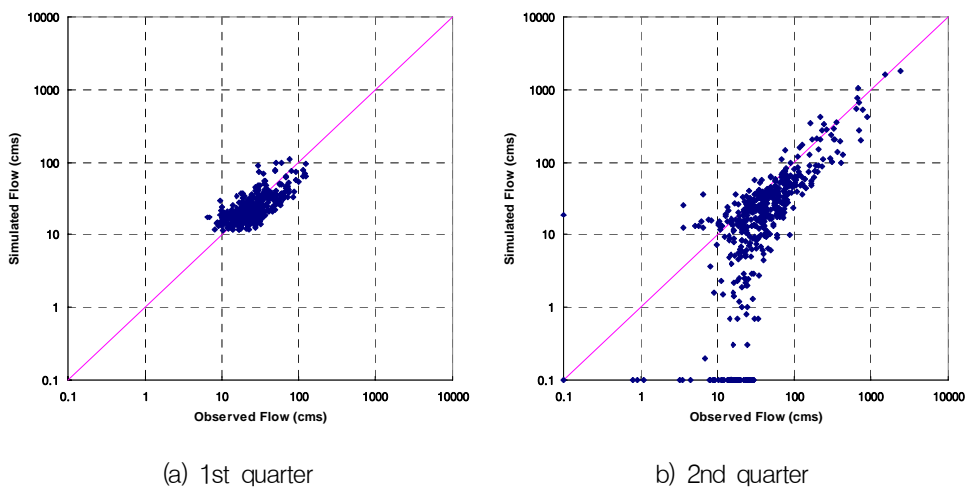
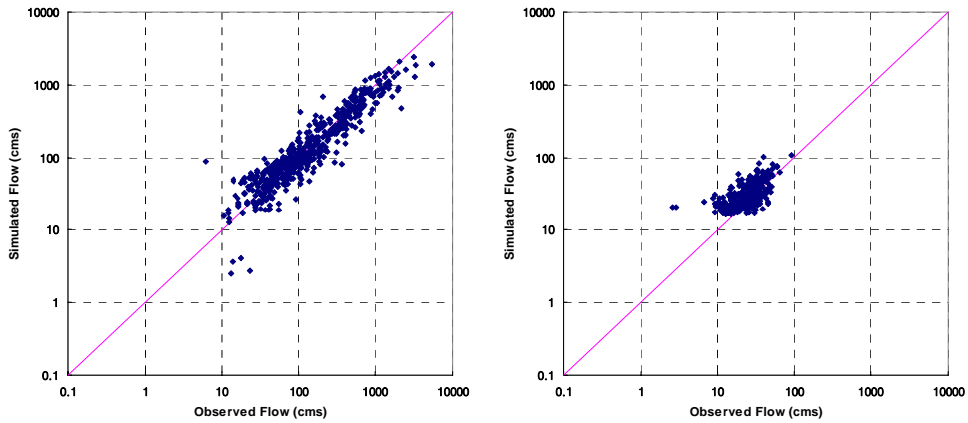


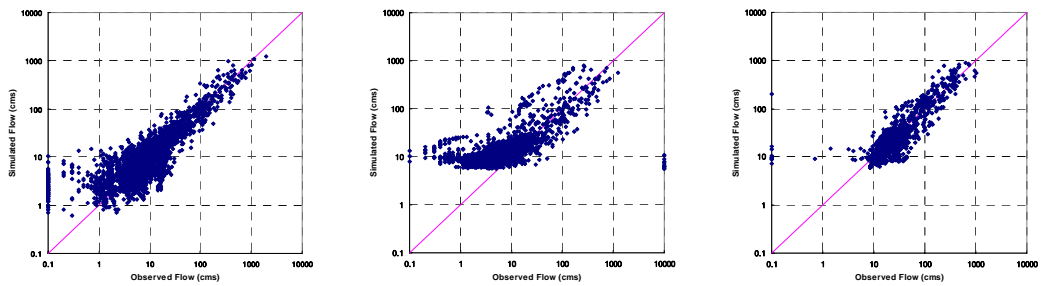
Fig. 7. Comparison of the Runoff Simulated for the Quarter at the Daechong Station (Continued)



(c) 3rd quarter

(d) 4th quarter

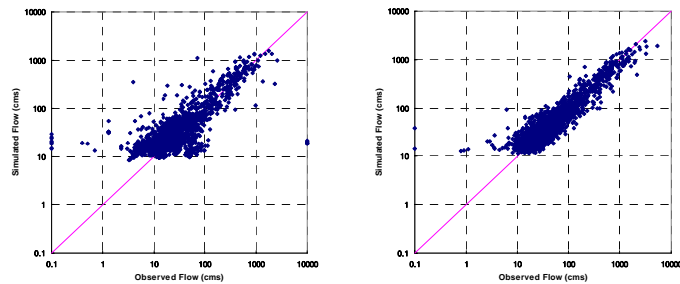
Fig. 7. Comparison of the Runoff Simulated for the Quarter at the Daecheong Station



(a) Yongdam

(b) Sutong

(c) Hotan



(d) Okcheon

(e) Daecheong

Fig. 8. Comparison of the Runoff Simulated with Considering Small scale Irrigation Facilities

### 3.2.2 소규모 수리시설물을 고려한 경우

본 분석에서는 상기결과에 제시된 바와 같이 유출모의결과가 부정확하게 나타나게 하는 주요원인을 유역내 존재하는 소규모 수리시설물의 특성이 반영되지 못하였기 때문이라고 판단되어 Eqs. (1)~(4)을 활용한 유역유출모의를 실시하였다. Fig. 8은 소규모 수리시설물을 고려한 유출모의결과에 대한 검증을 위해 SSARR모형을 통해 2002~2007년간 주요지점의 일단위 검증결과이며 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 실시한 결과이다.

분석결과, Fig. 8에서와 같이 전지점 및 전기간에서 기존 유출량 모의시에 발생되었던 문제점이 거의 나타나지 않는 매우 양호한 모의결과를 보여주고 있으며 Table 2에서도 2002년을 제외한 전 기간에서 소규모 수리시설물을 고려한 경우의 오차가 소규모 수리시설물을 고려하지 않은 경우의 오차 보다 상대적으로 적게 나타났다. 따라서 본 연구방법을 통해 소규모 수리시설물의 영향을 고려하여 모형을 구축하는 경우, 이수기에 보다 향상된 유출모의결과를 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

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

#### 4. 결 론

본 연구에서는 소규모 수리시설물이 유출에 끼치고 있는 영향에 대해 시공간적으로 상세분석을 실시하여 이에 대한 분석결과를 토대로 장기유출 모의모형에 소규모 수리시설물의 영향을 반영함으로써 유출모의결과 의 신뢰도를 증대시키고자 하였고, 이에 대한 결과는 다음과 같다.

- 1) 소규모 수리시설물에 의한 하천유량변화와의 상관 관계를 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 유출 모형에 의해 유출량을 추정할 결과, 하천수의 의존도가 높은 용담, 옥천 및 대청지점에서 오류가 발생빈도가 증가되고 있으며 특히 농업용수 사용이 급증하는 2/4분기에 집중적으로 발생된 것으로 분석되었다.
- 4) 이에 대한 주요원인으로는 유역내 존재하는 소규모 수리시설물의 영향을 고려하지 못하였기 때문 이라고 판단된다. 따라서 유역내 수리시설물에 하천수에 끼치는 영향을 평가하여 소유역별 용수량 및 회귀율을 재산정한 후 이를 활용한 유역유출 모의를 실시하였다.
- 5) 소규모 수리시설물의 고려여부에 따른 모의유출량

을 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.

#### 감사의 글

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

#### 참 고 문 헌

강주환, 이길성, 김남일, 황만하 (1998). "SSARR-8 모형을 이용한 낙동강 수계의 저수유출 해석." **한국수자원학회지**, 한국수자원학회, 제31권, 제1호, pp. 71-84.

건교부 (1998). **기존댐 용수공급 능력조사(금강수계-부특)**

건교부 (2001). **수자원 장기종합계획보고서**

김남원, 김현준, 박선호 (2005). "PRMS의 HRU크기에 따른 장기유출특성." **한국수자원학회지**, 한국수자원학회, 제38권, 제2호, pp.167-177.

김상단, 이진행, 김형수 (2005). "장기유출 수문모형을 이용한 하천수질모형의 기준유량 산정." **한국물환경학회지**, 한국물환경학회, 제21권, 제6호, pp. 575-583.

김현준, 장철희, 김남원 (2003). "장기 강우-유출 모형의 비교." **한국수자원학회지**, 한국수자원학회, 제36권, 제3호, pp. 49-57.

류경식, 황만하, 맹승진, 이상진 (2007). "유역관리모형을 이용한 금강유역 유출특성 해석." **한국물환경학회지**, 한국물환경학회, 제23권, 제4호, pp. 527-534.



- 신현석, 강두기 (2006). "SWAT모형을 이용한 인공저류시설물의 하류장기유출 영향분석 기법에 관한 연구." **한국수자원학회지**, 한국수자원학회, 제39권, 제3호, pp. 227-240.
- 조흥재, 김정식, 이근배 (2000). "TOPMODEL을 이용한 장기유출 해석." **한국수자원학회지**, 한국수자원학회, 제33권, 제4호, pp. 393-405.
- 한국수자원공사 (2004). **실시간 물관리 운영 시스템 구축 기술 개발**
- 한국수자원공사 (2006). **금강유역조사**
- Frevert, D., Lins, H., Fupl, T., Leavesley, G., and Zagona, E. (2000). "The Watershed and River Systems Management Program – An Overview of Capabilities." *Proceedings of the Watershed Management & Operations Management 2000 Conference*, American Society of Civil Engineers, fort Collins, Colorado.
- Griffiths, G.A., and Clausen, B. (1997). "Streamflow recession in basins with multiple water storage." *Journal of Hydrology*, Vol. 190, pp. 60-74.
- Ramireddygari, 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.
- Sophocleous, M.A., Koelliker, J.K., Govindaraju, R.S., Birdie, T., Ramireddygari, S.R., and Perkins, S.P. (1999). "Integrated numerical modeling for basin-wide water management : The case of the rattlesnake creek basin in south-central kansas." *Journal of Hydrology*, Vol. 214, pp. 179-196.
- USACE, (1991). "SSARR User manual." *North Pacific Div.*, Portland.

(논문번호:08-16/접수:2008.02.10/심사완료:2008.04.17)