

수문 특성 분석에 의한 대청유역 주요지점 유출모의 검증

이 상 진 · 김 주 철* · 노 준 우

(한국수자원공사 K-water연구원)

Verification of Stream Flow by Rainfall-Runoff Simulation and Hydrologic Analysis in Daecheong Basin. Lee, SangJin, JooCheol Kim* and Joonwoo Noh (K-water Institute Korea Water Resources Corporation, Daejeon 305-730, Korea)

In this study long term rainfall-runoff model, developed based on SSARR, was applied to Geum river basin and its simulation results of major control points were compared with the corresponding observed channel discharges. The validities of the simulation results were examined with re-measured discharges of those control points. From the above procedure the points showing the unreliable results were found out and its principal causes are analyzed through hydrological inspection of runoff characteristics of their circumstances. Finally the simulation results were modified by the consideration of the effects by small-scale hydraulic structures which could directly affect the channel discharges. As a result the annual runoff simulations of two major points in Geum river basin, Yongdam and Daecheong dam sites, work well. However the low flow simulation of the point located between them, Sutong station, showed more or less the unreliable result. Its causes are considered by means of the hydraulic/hydrological inspection of the corresponding point.

Key words : channel discharges, long term rainfall-runoff model, hydrological inspection, hydraulic structures

서 론

우리나라는 4계절이 뚜렷하고 이에 따른 홍수, 가뭄이 빈번한 독특한 기상·수문 특성을 지니고 있다. 이와 같이 다양한 제약조건에 따라 유역의 한정된 수자원을 최대한 효율적으로 활용하는 관리방안을 마련하는 일은 매우 시급하고 중요하다. 우선적으로 댐과 같은 수공구조물이 있는 유역의 경우에는 유역관리 차원에서 신뢰성 있는 기초 수문정보 제공이 선행되어야 한다. 또한 유역의 정확한 강우-유출관계를 모의하기 위해서는 모형의 적용과 더불어 관측치의 정확한 평가 및 검증도 함께 병행되

어야 한다. 일반적으로 유역의 강우-유출모형을 구축하기 위하여 주요지점의 관측유량을 활용하여 모형의 매개변수를 조정하고 이를 토대로 관측치와 비교하여 모형을 검증하고 있다. 따라서 모형에 의한 유출결과의 적정성은 관측유량의 신뢰도에 좌우된다고 할 수 있으며, 관측유량의 신뢰도가 결여되면 모형의 적정성 여부 또한 의문이야기될 수 있다. 이와 같이 유역의 정확한 강우-유출관계 모의 규명을 위해서는 모형의 선정 및 구축과 더불어 관측치의 검증이 매우 중요하다.

본 연구에서는 SSARR모형을 기반으로 개발된 유역유출모형을 금강유역에 적용하여 그 모의결과를 주요지점의 관측유량과 비교·분석하고, 유량을 재관측(re-observa-

* Corresponding author: Tel: 042) 870-7403, Fax: 042) 870-7419, E-mail: kjoocheol@kwater.or.kr

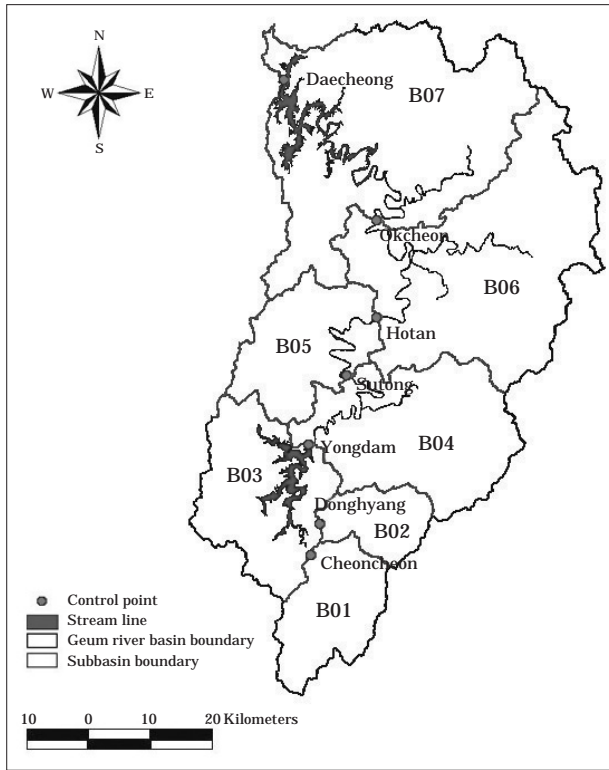


Fig. 1. Daecheong Dam Watershed.

tion)하여 하천유량의 적정성을 검토하였다. 신뢰도가 결여되었다고 판단되는 지점은 주변의 수문학적 유출특성을 조사하여 그 원인을 분석하고, 하천수량에 직접 영향을 미치는 소규모 수리시설물을 조사하여 분석결과에 대한 적정성을 평가하였다.

유출모형 구축의 적정성과 관측유량자료의 신뢰도 검증에 대한 연구로는 정 등(2005)이 유량검증시스템을 개발하여 2004년도 섬진강유역에 적용 후 관측유량자료의 검증을 수행하였으며, 추 등(2000)은 1차원 수리학적 모형을 이용하여 제어지점의 관측유량자료를 검증한 바 있다. 류 등(2007)은 금강유역을 대상으로 SSARR모형을 통해 세분화된 유출성분에 따른 유출특성을 분석하고 유역내 물수지를 분석하였다. 강 등(1986, 1998)은 한강 및 낙동강 유역에 SSARR모형을 적용하고 유역내 용수이용을 수요 측면에서 산정된 용수수요량을 이용하여 전유역에 대한 물수지분석을 실시하였다. 그러나 강우-유출 모의 및 수문학적 유출특성 분석에 의한 하천유량의 적정성을 검토한 사례에 대한 연구는 찾기 어렵다. 본 연구는 정확한 수문기초자료의 획득과 검증이 선행되어야 해당유역의 유출특성을 명확하게 규명할 수 있다는 취지에서 출발하였다. 이를 위하여 금강유역을 중심으로 개발된 장기 유역

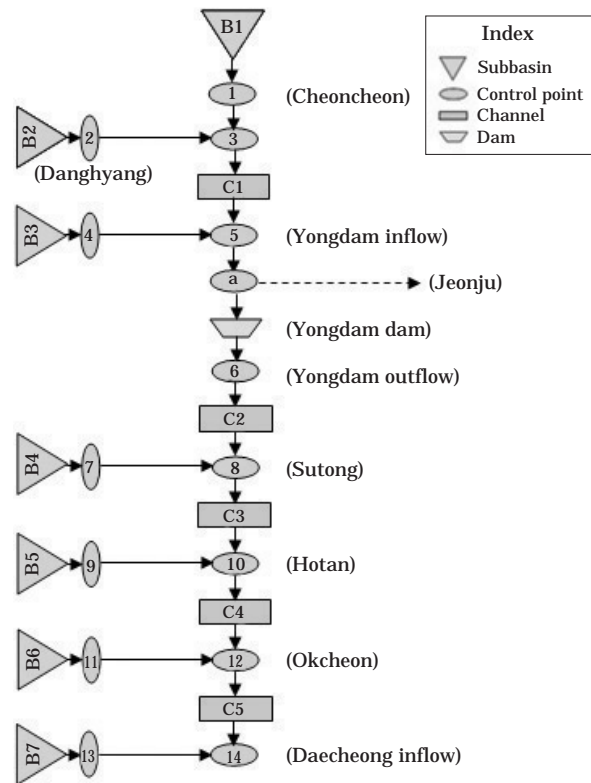


Fig. 2. Flowchart of rainfall-runoff model.

유출모형을 적용하여 그 결과를 대상유역의 주요지점 관측유량과 비교·분석하고, 수문학적 특성 분석을 위한 수문조사와 함께 하천유량을 관측하여 유역 유출량을 검증하였다.

재료 및 방법

1. 대상유역 및 유출모의체계

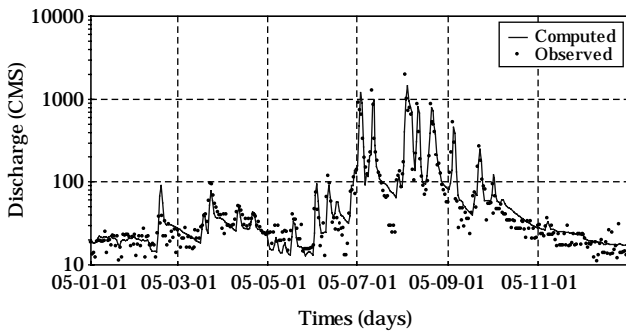
대상 유역인 용담-대청유역은 유역면적이 4,810.4 km²이고 하도길이가 195.9 km인 대유역으로서, 본류 수위표지점인 동향, 천천, 수통, 호탄 및 옥천지점과 용담댐과 대청댐이 위치한 지점을 대상으로 소유역을 분할하였다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 용담댐 유역은 3개의 소유역으로, 용담댐 하류~대청댐유역은 4개의 소유역으로 구성되며, 유출모의를 위한 유역 모식도는 Fig. 2와 같다.

2. 모형의 검증

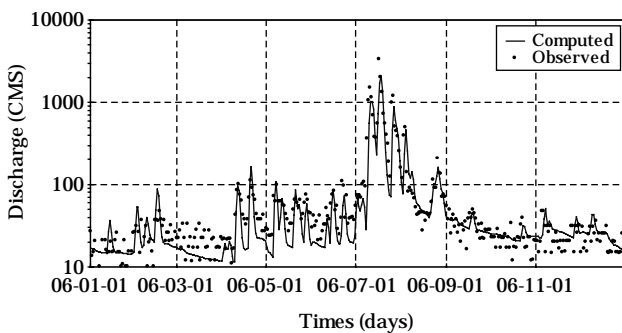
모형의 검증을 위해서는 통상적으로 과거 일정기간을 대상으로 모형의 보정을 실시하며 해당기간에서 결정된

Table 1. Error analysis of observed and simulated runoff at control points ($m^3 s^{-1}$).

		1 quarter		2 quarter		3 quarter		4 quarter	
		Observed	Modeled	Observed	Modeled	Observed	Modeled	Observed	Modeled
Yongdam	Max	42.2	54.9	62.7	76.9	1979.9	994.0	8.3	8.0
	Min	0.0	3.1	0.1	0.8	1.7	6.1	0.0	3.4
	Sum	437.9	702.2	829.1	899.5	8022.1	7193.7	123.1	441.0
Daechong	Max	93.5	155.0	116.2	132.0	1964.7	1390.0	91.7	124.0
	Min	11.2	16.4	12.5	9.1	23.0	36.1	10.8	20.2
	Sum	2239.8	2568.9	2999.1	2776.7	21717.9	21190.6	2291.4	2925.0



(a) 2005 year



(b) 2006 year

Fig. 3. Observed and computed runoff at the Dacheang-Dam station.

적정매개변수를 이용하여 타년도의 유출량을 모의하고 이를 관측치와 비교분석을 실시한다. 본 연구에서는 1983~2000년 일수문자료를 토대로 모형을 보정하였으며, 2001~2007년을 대상으로 모형을 검증하였다. Fig. 3은 2005년과 2006년에 대한 용담 및 대청댐 지점 유출량 모의결과를 나타낸 것으로 연중 유출량을 매우 양호하게 모의하고 있다. 해당지점의 관측치와 모의치와의 정량적인 오차를 분기별로 분석하여 Table 1과 같이 나타내었으며, Table 2는 최근 7년(2001~2007)간 연간 유출모의결과의 상대오차의 크기를 분석한 것이다.

Table 2. Calibration result for annual runoff in Daechong station.

Year	Bias	RMSE
2001	7.60	20.83
2002	-14.14	187.21
2003	-37.08	150.64
2004	-1.95	123.50
2005	1.51	76.70
2006	-11.26	93.84
2007	-10.46	75.30

결과 및 고찰

1. 지점별 유량 분석

수문현장조사를 통한 관측값(한국수자원공사, 2007)을 바탕으로 기존 수위-유량관계곡선식에 대해 환산된 관측 유량 및 모형에 의한 유출결과를 분석하여 관측자료의 신뢰도를 검토하였다. 대상유역 중에서 상류부에 해당하는 용담유역에는 주요지점으로 천천(a)과 동향(b)지점이 위치하고 있다. Fig. 4는 통상적으로 관측치(observed)로 사용되어 온 rating curve식에 의한 환산유량과 모형에 의한 모의결과는 매우 근사하다는 것을 보여주고 있다. 검증에 위하여 평수기를 중심으로 지점별로 5~6회 유량을 재관측한 결과에서는 근사한 결과를 나타내었다.

분석결과 타지점과는 달리 대상유역 중 용담댐 하류에 위치하는 대청댐유역에는 수통, 호탄, 옥천 등과 같은 주요 지점이 본류에 위치하고 있다. 수통지점의 모의결과는 관측치보다 약 $6 \sim 7 m^3 s^{-1}$ 크게 분석(Fig. 5(a))되었는데, 금강유역 주요하천의 하천유지유량이 $20 \sim 30 m^3 s^{-1}$ 정도임을 감안한다면 이 관측의 오차는 상당한 값이라 할 수 있다. 앞서 분석된 바와 같이 용담댐지점 및 대청댐지점과 호탄 및 옥천지점에서의 모의 결과(Fig. 5(b), (c))는 연중 양호한 반면, 용담과 대청 사이에 위치하는 수통지점에서의 모의결과에서 유독 편차가 큰 것으로 분석되어 상세

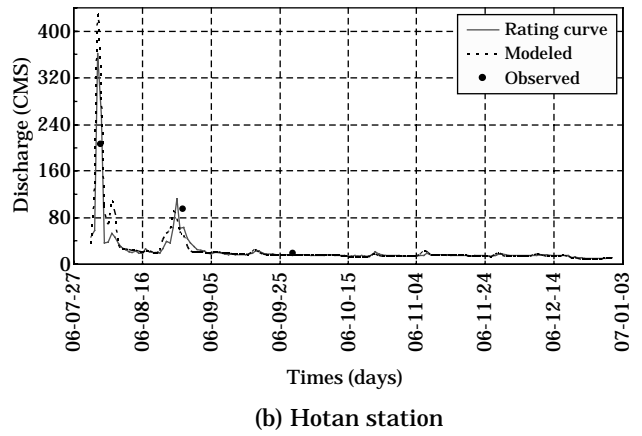
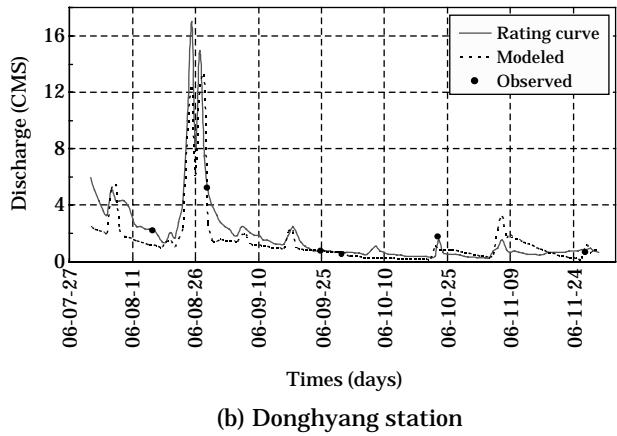
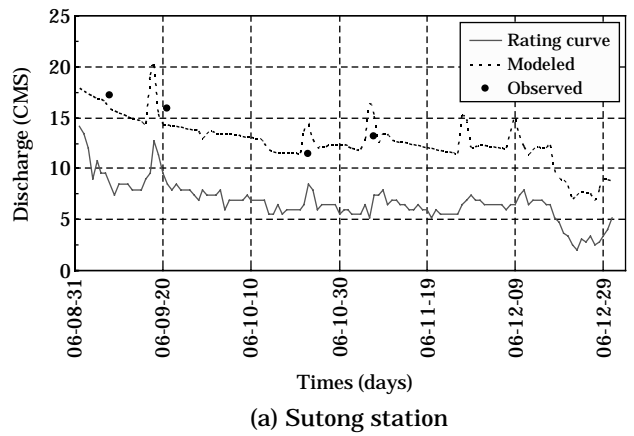
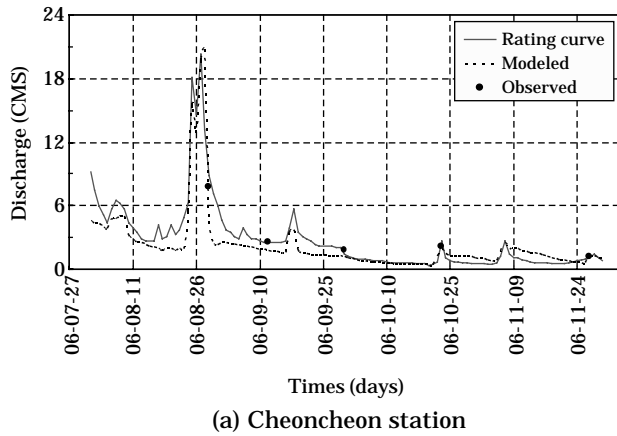


Fig. 4. Comparison of simulated, observed and measured runoff at Yongdam watershed.

한 모의 검증을 위하여 유량을 재관측하였다. Fig. 5(a)는 관측치와 모의결과를 비교한 것으로서, 수위-유량 관계곡선식으로부터 산정된 관측치보다 유출모의결과에 더욱 근사한 것으로 분석되었다. 이것은 일반적으로 전년도에 관측한 유량값을 토대로 작성된 수위-유량관계곡선식이 이듬해 환산한 유량을 관측치로 사용하고 있으므로 그동안 유역유출특성이 변화되었거나 수위-유량관계곡선식을 개발할 때 유량관측자의 오차 또는 해당지점의 수리·수문특성으로 인해 발생된 것으로 판단된다.

2. 유출조사 및 특성분석

모형 적용결과 수통지점 관측유량의 신뢰도 결여원인을 추적하기 위하여 유량관측과 더불어 유역 정밀조사를 실시하였다. 조사결과 수통지점은 Fig. 6과 같이 상류에 소수력발전을 위한 수공구조물인 보가 위치하고 있는 것으로 조사되었다. 이 구조물로 인하여 수통지점의 유량을

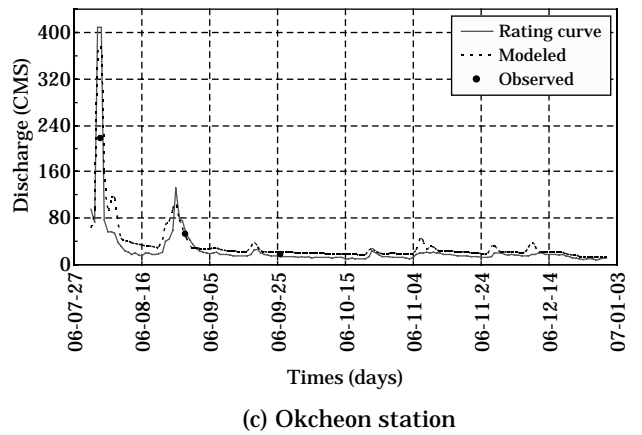


Fig. 5. Comparison of simulated, observed and measured runoff at Daechong watershed.

인위적으로 제어하는지 확인하기 위하여 수통지점 수위를 소수력 발전소에서 방류될 때 수위와 최상류에 위치하는 용담댐의 방류수위를 비교하였다. Fig. 7과 같이 수통지점의 수위는 소수력발전에 의한 방류수위에 직접적

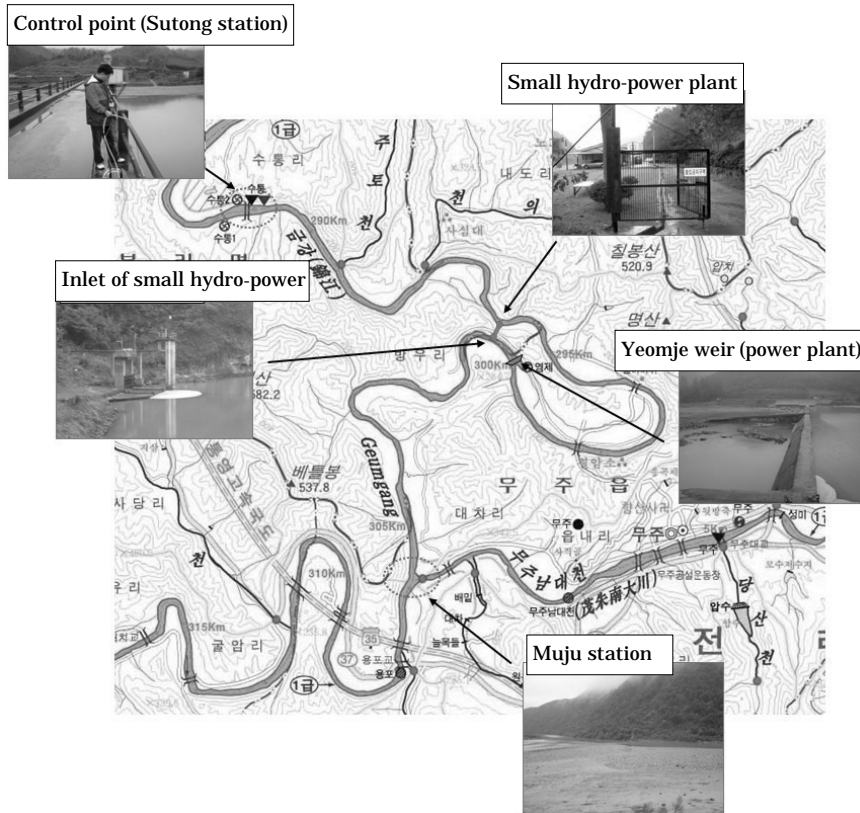


Fig. 6. River investigation at Sutong station.

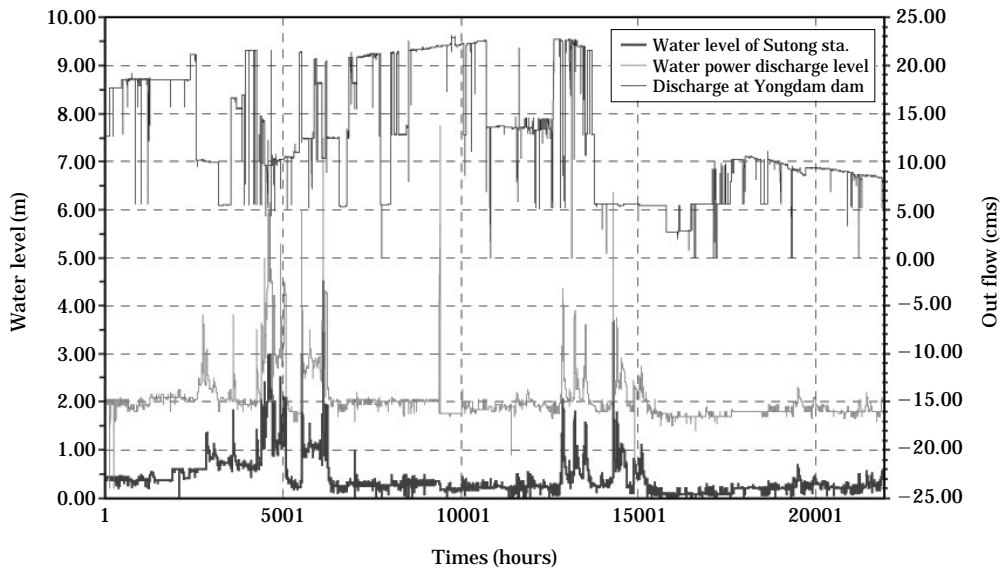


Fig. 7. Variation of Water surface elevation at Sutong station.

인 영향을 미치는 것으로 조사되었으며, 용담댐 방류량과는 그 상관도가 상대적으로 매우 낮음을 확인하였다. 따

라서 본 연구에서는 소수력 발전소 상류 남대천합류부에서 유량을 관측한 결과를 토대로 소수력발전방류수를 고

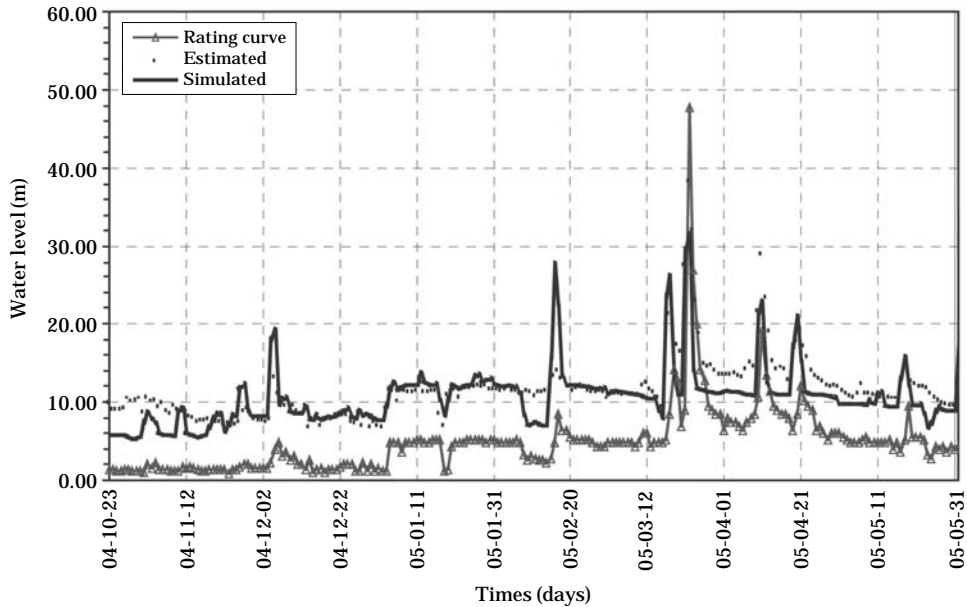


Fig. 8. Daily variation of water surface elevation and runoff at Sutong station.

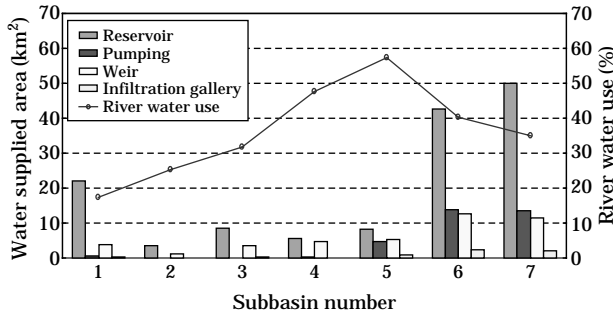


Fig. 9. Water supply area & dependency on river water in each subbasin.

려하여 수통지점의 유량을 재추정하였다. Fig. 8은 분석결과를 나타낸 것으로 재추정된 계산값은 모형에 의한 유출결과와 근사한 것으로 분석되었다.

이와 같이 수통지점은 하천 시설물로 인해 인위적으로 유량이 제외되고 있는 수리특성을 지니고 있어 이 지점을 대표적인 하천유량 평가지점으로는 적합하지 않은 것으로 판단된다. 본 연구에서는 보와 같은 이러한 수리시설물의 영향평가를 위해 대상유역내 각 소유역별 용수 이용 중 하천수 의존도를 조사하였다. 이를 위해 하천수를 직접 이용하고 있는 주변의 경작 면적비를 산정하였다. 대부분의 수리시설물들이 농업용수 공급을 주목적으로 하고 있기 때문에 각 수리시설물에 의해 용수를 공급받고 있는 수혜면적비로 추정하였다(한국수자원공사, 2006). Fig. 9는

그 결과를 보여 주고 있는데 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 분석된 반면, 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 나타난 것으로 분석되었다.

적 요

장기 유역유출모형을 적용하여 그 결과를 대상유역의 주요지점 관측유량과 비교·분석하고, 유량을 재관측하여 하천유량의 적정성과 수문학적 유출특성을 분석한 본 연구의 결론은 다음과 같다.

첫째, SSARR모형을 기반으로 개발된 장기 유역유출모형을 대청 및 용담유역에 구축, 적용하고 검증한 결과 용담댐 및 대청댐 지점의 연중 유출모의는 양호하게 모의된 반면 그 사이에 위치하는 수통관측소의 평·갈수기 유량의 신뢰도는 다소 결여된 것으로 판단되어 해당지점의 하천특성을 조사 분석하였다. 용담유역내 천천 및 동향지점을 조사한 결과 관측치와 모형에 의한 모의결과는 매우 근사하였으나 용담 하류의 수통지점은 관측치보다 다소 과다 모의되었다. 재관측 결과 수위-유량 관계곡선식으로

부터 산출되는 관측치보다 유출모의결과에 더욱 근사한 것으로 분석되었다.

둘째, 수통지점 관측유량의 신뢰도에 수리·수문학적으로 미치는 영향인자를 조사하였다. 수통지점의 수위는 직상류에 위치하는 소수력발전에 의한 방류수위에 직접적인 영향을 미치는 것으로 조사되었으며, 상류부 용담댐 방류량과는 그 상관도가 매우 낮음을 확인하였다. 소수력발전 방류수를 고려하여 수통지점의 유량을 재추정한 결과 모형에 의한 유출결과와 근사하게 모의되는 것으로 분석되었다.

셋째, 보와 같은 수리시설물이 유역 유출량에 미치는 영향을 분석하기 위하여 각 소유역별 용수 이용 중 하천수 의존도를 조사하였다. 농업용수 공급을 주목적으로 하는 주요 수리시설물에 의해 용수를 공급받고 있는 수혜면적 비로 추정된 결과 중규모 이상의 농업용 저수지가 다수 분포하고 있는 소유역에서는 상대적으로 하천수 의존도가 적게 분석된 반면, 양수장이나 보 등을 통한 하천수 공급에 의존하는 농경지의 비율이 높아 하천수 의존도가 약 60%로서 상당한 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

이와 같이 본 연구에서는 장기 유역유출모형을 금강유역에 적용하여 그 모의결과를 주요지점의 관측유량과 비교·분석하고, 유량을 재관측하여 하천유량의 적정성을 검토하고, 신뢰도가 결여되었다고 판단되는 지점은 주변의 수문학적 유출특성을 조사하여 그 원인을 분석하였다. 향후 유역의 유출관리를 명확하게 하기 위해 수문자료의 신뢰도 평가에 대한 연구를 지속하여 정확한 수문기초자료의 획득 및 평가와 검증이 요구된다.

사 사

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단의 연구비지원(1-6-3)에 의해 수행되었습니다.

인 용 문 헌

- 강주환. 1986. 강우-유출모형에 의한 가지야마 공식의 한계성 검토. 서울대학교 석사학위논문.
- 강주환, 이길성, 김남일, 황만하. 1998. SSARR-8 모형을 이용한 낙동강 수계의 저수유출 해석. 한국수자원학회지 **31**(1): 71-84.
- 건설교통부. 1997. 기존댐 용수공급 능력 조사(금강수계) 보고서.
- 건설교통부. 1999. 금강수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지 유량산정 보고서.
- 건설교통부. 2000. 수자원장기종합계획 보고서.
- 건설교통부. 2002. 금강수계 유량추정조사 보고서.
- 류경식, 황만하, 맹승진, 이상진. 2007. 유역관리모형을 이용한 금강유역 유출특성 해석. 한국물환경학회지 **23**(4): 527-534.
- 안상진, 이용수. 1989. SSARR 모형에 의한 유역유출 해석. 한국수문학회지 **22**(1): 109-116.
- 정성원, 김동구, 김치영, 황석환, 한명선, 이찬주. 2005. 유량자료 정확도 향상을 위한 검증시스템 구축. 한국수자원학회 학술대회 p.48-48.
- 추태호, 김현식, 김만식, 김철구, 윤재홍. 2000. 1차원 부정류 모형을 이용한 낙동강 하구둑 유량 검증. 한국수자원학회 학술대회. p. 640-645.
- 한국수자원공사. 1996. 낙동강 수계 실시간 최적 저수관리 시스템 개발(분석모델부분).
- 한국수자원공사. 2003. Rating Curve 산정시스템 (Hydro Toolkit) 개발.
- 한국수자원공사. 2004a. 금강유역조사 보고서.
- 한국수자원공사. 2004b. 대청다목적댐 관리연보.
- Rockwood, D.M. 1968. Application of stream-flow synthesis and reservoir regulation-"SSARR"-Program to the lower Mekong river. The Use of Analog and Digital Computer in Hydrology Symposium, International Association of Scientific Hydrology, UNESCO, p. 329-344.
- USACE. 1991. SSARR User manual. North Pacific Div., Portland.

(Manuscript received 23 September 2009,
Revision accepted 10 November 2009)