

유황곡선의 거동특성을 이용한 유역관리모형의 평가

김주철 · 이상진[†] · 신현호 · 황만하

한국수자원공사 Kwater연구원 수자원연구소

The Evaluation of Watershed Management Model using Behavioral Characteristics of Flow-duration Curve

Joo Cheol Kim · Sang Jin Lee[†] · Hyun Ho Shin · Man Ha Hwang

Water Resources Research Center, Korea Water Resources Corporation

(Received 29 September 2008, Revised 18 May 2009, Accepted 11 June 2009)

Abstract

The performance of Rainfall-Runoff Forecasting System (RRFS), the watershed management model for the Geum river basin, is evaluated based on the agreement between the simulated and observed hydrographs and the behavioral characteristics of the flow-duration curves. As a result, the simulated hydrographs are well agreed with the observed ones except high flow discharges. It is inferred that most of the errors in the simulated hydrographs are due to the misestimation of agricultural water use in 2nd quarter and the discrepancy of the peak discharges in 3rd quarter. It is however judged that RRFS would give the reliable runoff hydrographs from the point of view of continuous model application. And simulated flow-duration curves and flow-duration coefficients are also similar to the observed ones except flood flow region. From the above result it is confirmed that the construction of Yongdam dam improves the state of flow-duration curve at the Gongjoo station.

keywords : Flow-duration coefficients, Flow-duration curve, Rainfall-Runoff Forecasting System (RRFS), Watershed management model

1. 서론

최근 21세기 프론티어 사업의 일환으로 금강유역을 대상으로 한 유역관리모형인 RRFS가 개발되었다(한국수자원공사, 2004). 미육군 공병단(Corps of Engineers)의 SSARR(Streamflow Sythesis and Reservoir Regulation) 모형(USACE, 1991)을 기반으로 하여 운용되는 RRFS는 대규모 유역의 강우-유출해석과 함께 용수이용특성의 고려가 가능한 장기 유출 모형이다. 현재 대상유역에 대한 다년간에 걸친 현장 조사와 모형 매개변수에 대한 정밀 조사를 통하여 유출모의체계의 구축을 완료한 RRFS는 시스템의 안정화 단계에 들어서고 있다(류경식 등, 2007). 본 연구에서는 이러한 RRFS의 유출모의능력을 체계적으로 평가하여 해당 시스템의 합리적인 안정화를 도모해 보고자 한다.

일반적으로 강우-유출모형의 평가에는 관측치와 모의치의 비교를 통한 수문곡선(hydrograph)의 적합도 검증(validation)이 적용된다. 시간에 따른 유량의 변동 상황을 묘사하는 수문곡선에 대한 검증은 강우-유출모형의 유출모의능력을 정량적으로 평가할 수 있는 간접적인 수단을 제공한다. 시간에 따른 유량의 변동을 나타내는 또 다른 수단으로는 유황곡선(flow-duration curve)을 들 수 있다. 유황곡선은 하

천의 어느 한 지점에서 일정한 시간 간격으로 측정된 유량의 크기와 순위백분율의 관계를 시각적으로 나타낸 것으로, 수력에너지개발, 용수공급, 관계계획 및 설계를 위한 수문학적인 연구에 종종 사용되고 있다(Maidment, 1992). 그리고 정은성 등(2008)은 유황곡선상의 자료를 바탕으로 갈수량을 산정하고 그것을 활용하여 일최대 오염허용부하량 산정 방안을 제시하는 등, 유황곡선상의 유량이 수환경 분석에도 주요하게 활용되고 있음을 알 수 있다. 따라서 관측 수문곡선과 모의수문곡선으로부터 유도된 유황곡선의 거동특성에 대한 상호비교는 강우-유출모형의 전반적인 모의능력 평가를 위한 훌륭한 수단을 제공할 수 있을 것으로 판단된다. 실제로 강우-유출모형의 검증에 유황곡선을 이용한 사례는 Gustard and Wesselink(1993)의 연구로부터 찾아볼 수 있다.

상기한 연구배경에 따라 본 연구에서는 금강유역을 대상으로 한 RRFS의 유출모의능력을 수문곡선의 적합도와 유황곡선의 거동특성을 기반으로 하여 평가해 보고자 한다. 수문곡선의 적합도 평가에는 확정론적 유출모형의 검증에 일반적으로 이용되는 상대오차(Relative Bias, RB)와 상대평균제곱근오차(Relative root mean square error, RRMSE)를 적용하고 유황곡선의 거동특성은 이진원 등(1993)과 박상덕(2003)이 제안한 유황계수를 산정하여 파악한다. 또한 이를 바탕으로 용담댐 축조 이후의 공주 지점의 유황을 이

[†] To whom correspondence should be addressed. sjlee@kwater.or.kr

진원 등(1993)이 제시한 결과와 비교하여 해당지점의 유황 변동특성을 추론해 본다.

2. 연구 방법

2.1. 대상유역 및 유출모의체계의 구성

Fig. 1, 2는 각각 본 연구의 대상유역인 금강유역의 소유역 분할도와 RRFS 모형의 유출모식도로써 실제 분석은 대청 및 공주 두 지점에 대하여 수행하였다(한국수자원공사, 2004).

2.2. 모의결과의 평가수단

본 연구에서 수문곡선의 적합도 평가에 적용한 상대오차 RB 와 상대평균제곱근오차 $RRMSE$ 는 각각 다음과 같이 정의된다.

$$RB = \frac{M_F - M_Q}{M_Q}; RRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (F_i - Q_i)^2}}{M_Q} \quad (1)$$

여기서 M_F , M_Q 는 각각 모의수문곡선과 관측수문곡선의 평균유량이고 F_i , Q_i 는 i 번째 시점의 모의유량 및 관측유량이다.

유황곡선의 거동특성을 평가하기 위하여 적용한 유황계수들은 식 (2)~(4)와 같이 정의된다.

$$C_{fd} = \frac{Q_{10}}{Q_{355}} \quad (2)$$

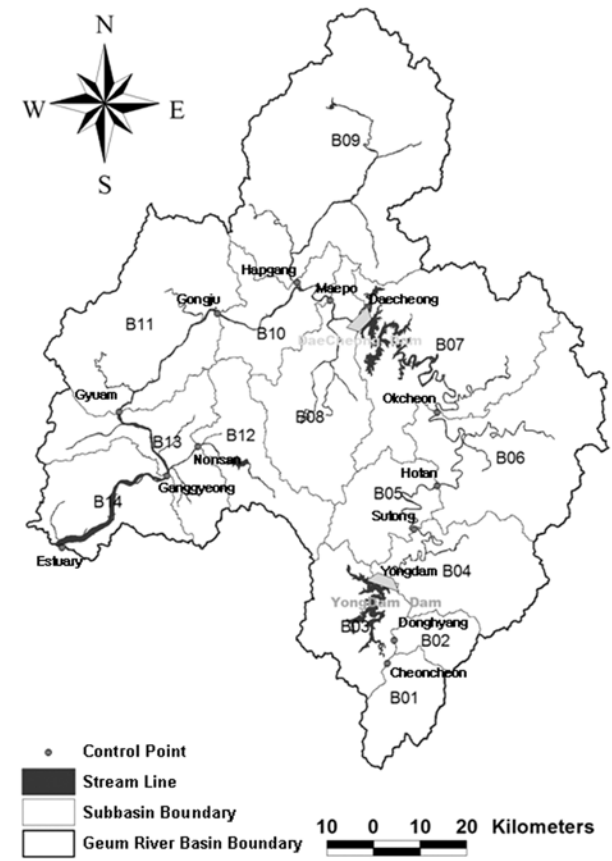


Fig. 1. Geum river basins.

$$C_L = \frac{Q_{275}}{Q_{185}}; C_D = \frac{Q_{355}}{Q_{185}} \quad (3)$$

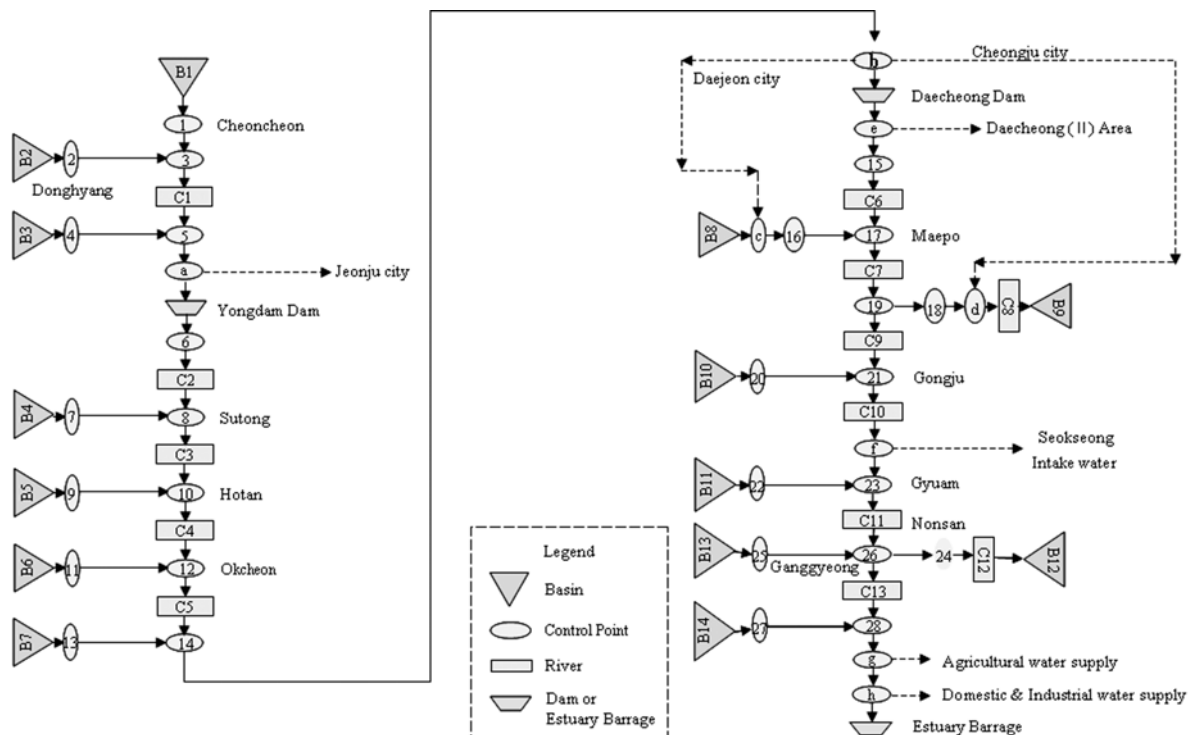


Fig. 2. Schematic diagram of RRFS model.

$$C_F = \frac{Q_1}{Q_{185}}; C_A = \frac{Q_{95}}{Q_{185}} \quad (4)$$

여기서 우선 $Q_1, Q_{10}, Q_{95}, Q_{185}, Q_{275}, Q_{355}$ 는 유황기준유량들로서 아래첨자는 연간유지일수를 나타낸다. 식 (2)의 C_{fd} 는 이진원 등(1993)이 제안한 유황계수로서 유황변화의 척도를 나타내며 하상계수와 동일한 의미가 있다고 할 수 있다. 식 (3)의 C_L, C_D 는 박상덕(2003)이 제안한 저수계수와 갈수계수로서 1 이하의 값을 갖는다. 저수계수와 갈수계수는 하천의 저수량 Q_{275} 과 갈수량 Q_{355} 을 평수량 Q_{185} 에 대한 비율로서 정량적으로 나타내고 있으며 하천의 수자원개발 및 관리와 하천생태환경의 판단자료로 사용될 수 있다. C_L, C_D 의 값이 클수록 저수량이나 갈수량이 평수량에 상대적으로 가깝기 때문에 기저유출 변화가 작음을 의미하며 따라서 평수량 이하에서 하천의 유지관리 용이성에 대한 판단척도가 될 수 있다. 식 (4)의 C_F, C_A 역시 박상덕(2003)이 제안한 홍수계수와 풍수계수로서 1 이상의 값을 가지며 이 값이 작을수록 풍수량 Q_{95} 이나 홍수량 Q_1 이 평수량 Q_{185} 에 상대적으로 가깝게 되어 평수량 이상의 하천 유량이 어느 정도의 규모인가를 나타낸다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 모형의 보정

모형의 보정기간은 다양한 유출특성이 반영될 수 있도록 장기기간에 해당하는 18년간('83~2000년)의 자료를 이용하였으며 최종적인 적정매개변수는 년 단위로 보정을 실시한 후, 이를 종합하여 결정하였다. 매개변수의 보정은 본 연구에 앞서 수행된 공주지점 유출특성분석의 민감도 분석결과(이상진 등, 2006)를 토대로 고수시와 저수시를 분리하여 실시하였으며 고수시에는 SMI(토양습윤지수)와 S-SS(지표수와 복류수 분리비)를, 저수시에는 SMI, BII(지하수 유입률), BFLIM(최대지하수유출율), PBLZ(지하수중 회귀지하수가 차지하는 비율) 및 Ts(기저유량의 저류시간)를 대상으로 실시하였다. 그의 매개변수에 대해서는 부분적 보정만을 실시하였다. Table 1~3은 권역별로 SMI-ROP, BII-BFP 및 S-

Table 1. Relationship of the soil moisture index and the runoff percent (Unit : %)

SMI (cm)	Before calibration	SMI (cm)	After calibration		
	SMI		SMI-a	SMI-b	SMI-b
0	8	0	7	6	5
1	19	1	13	10	7
2	43	2	21	16	10
3	68	3	33	26	16
4	85	4	47	40	30
5	93	5	65	58	45
10	100	7	85	82	70
999	100	10	98	96	93
		15	100	100	100
		999	100	100	100

Table 2. Relationship of the baseflow infiltration index and the baseflow percent (Unit : %)

BII (cm/day)	Before calibration	BII (cm/day)	After calibration		
	BII		BII-a	BII-b	BII-c
0.0	45	0.0	90	80	80
1.0	16	0.5	40	38	34
1.5	14	1.0	29	28	29
2.0	13	1.5	21	21	25
2.5	12	2.0	18	18	22
3.0	11	2.5	16	16	20
5.0	10	3.0	15	15	19
100.0	10	3.5	14	14	18
		100.0	14	14	18

Table 3. Separation of the Surface and the Subsurface (Unit : cm/hr)

Input rate (cm/hr)	Before calibration	After calibration		
	BII	BII-a	BII-b	BII-c
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	0.15	0.30	0.15	0.10
1.0	0.57	0.70	0.40	0.25
1.5	1.07	1.20	0.90	0.70
2.0	1.57	1.70	1.40	1.20
2.5	2.07	2.20	1.90	1.70
3.0	2.57	2.70	2.40	2.20

SS를 보정전과 보정후로 분류하여 산정한 결과이다. 상기에서 언급한 매개변수 이외의 매개변수는 민감도 분석결과에서와 같이 유출현상에 미미하게 반응하므로 기타 매개변수에 대한 산정결과를 본 연구에서는 생략하였다.

3.2. 연간 유출률 분석

앞서 보정되어진 매개변수를 토대로 RRFs를 이용하여 본 연구의 대상지점인 대청 및 공주지점에 대하여 유출모의를 수행하였다. 2001~2007년을 본 연구의 대상기간으로 선정하였으며 표본 예로서 2005년에 대한 두 지점의 유출수문곡선 모의결과는 Figs. 3, 4와 같다.

상기한 모의결과에 대한 총괄적인 분석을 위하여 지점별 연간 유출률을 관측수문곡선(observed)과 모의수문곡선(simulated)에 대하여 각각 산정하여 보았다. Table 4는 이를 정리한 결과로서 모든 모의결과가 일반적인 유출률의 범위인 30~70% 범위 내에 있음을 확인할 수 있다. 한 가지 주목되는 사항은 대부분의 모의수문곡선에 대한 유출률이 관측수문곡선에 대한 유출률에 비하여 작게 산정된 것으로서 연 유출 총량의 관점에서 RRFs는 다소 과소산정의 경향이 있는 것으로 판단된다.

3.3. 수문곡선의 적합도 평가

모의결과에 대한 세부적인 검토를 위하여 관측수문곡선과 모의수문곡선 사이의 Bias와 RMSE를 연별 및 분기별로 각각 산정하여 보았다. 산정결과들 사이의 상대적인 규모를 파악하기 위하여 식 (1)에 따라 RB와 RRMSE를 함께 산정하였다. Table 5는 연별 산정결과로서 전반적으로 양호한 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다. 여기서 주목

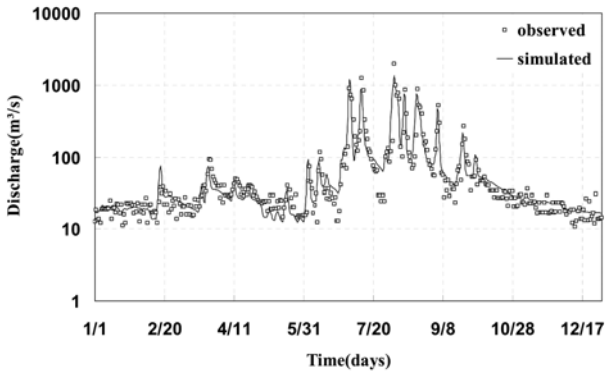


Fig. 3. Daily runoff hydrograph at the Daecheong station.

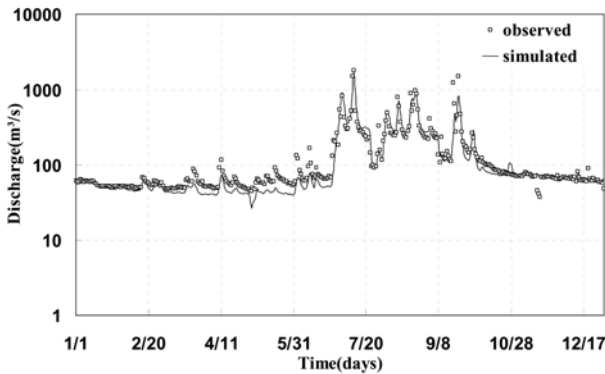


Fig. 4. Daily runoff hydrograph at the Gongju station.

Table 4. Annual runoff rates of control points (Unit : %)

Year	Daecheong		Gongjoo	
	Observed	Simulated	Observed	Simulated
2001	31.70	38.71	51.80	37.84
2002	48.73	41.14	41.92	42.34
2003	73.95	58.57	69.83	64.34
2004	46.02	44.91	51.89	48.78
2005	48.36	49.25	50.61	48.52
2006	52.91	45.92	55.87	52.56
2007	50.90	45.16	51.42	45.28

되는 사항은 Bias와 RB에 대한 산정결과(음의 부호)로서 전술한 바와 같이 과소산정의 경향을 확인할 수 있다. 특히 대청지점의 경우 2002, 2003년의 결과가 비교적 큰 값을 나타내고 있음을 볼 수 있는데 해당 연들은 각각 태풍 RUSA와 MAEMI로 대표되는 홍수해로서 RRFs의 경우 대

규모의 홍수사상 모의에는 다소 한계가 있는 것으로 예상된다. 공주지점에 대한 2003년의 결과에서도 유사한 경향을 확인할 수 있다.

Table 6은 Bias와 RMSE에 대한 분기별 산정결과로서 두 지점 모두 대부분 2, 3사분기에서 비교적 큰 규모의 값을 나타냄을 볼 수 있다. 2사분기의 경우 농한기에서 농번기로의 천이시점으로 대부분의 오차는 농업용수의 사용량에 기인하는 것으로 판단된다. 따라서 향후 농업용수의 사용량을 보다 정확하게 추정할 수 있는 방법(류경식과 이상진, 2008)이 적용된다면 대폭 개선된 결과가 기대된다.

3사분기의 오차는 대부분 첨두유량 모의에 관련된 것으로 판단된다. 극단적인 사례로서 태풍 RUSA가 내습했던 2002년 9월 1일 대청지점의 경우, 관측유량은 5,321 m³/s인 반면 모의유량은 1,920 m³/s로서 이들이 일 단위 유출량임을 감안한다면 상당히 큰 차이임을 알 수 있다. 이는 모의결과에 포함된 오차의 대부분이 비교적 짧은 기간 동안의 고수위 유량에서 발생하는 것을 시사하는 것으로서 장기유출의 관점에서 RRFs의 모의능력은 상당히 신뢰할 만한 수준인 것으로 판단된다. 또한 전술한 연 유출 과소산정의 경향 역시 이러한 영향에 기인하는 것으로 사료된다.

3.4. 유황곡선의 거동특성 평가

본 연구의 대상기간(2001~2007년)에 대하여 지점별 관측 유황곡선(observed flow duration curve)과 모의유황곡선(simulated flow duration curve)을 7개년 평균값으로 Figs. 5, 6과 같이 작성하여 보았다. Table 7은 유지일수에 따른 지점별 유황기준유량들로서 홍수량 Q_1 을 제외한 대부분의 관측기준유량과 모의기준유량이 유사하게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 이는 전술한 바와 같이 고수위유량을 제외한 대부분의 유량 범위에서 RRFs의 신뢰성을 증명하는 결과로서 판단된다. Table 8은 유황곡선의 거동특성을 확인하기 위하여 식 (2)~(4)의 각종 유황계수들을 산정해 본 결과로서 풍수계수 C_F 를 제외하고는 대부분 유사하게 나타남을 볼 수 있다. 특히 유황계수 C'_{fd} 의 유사성으로부터 유황곡선 전반에 걸친 유사성이 예상되는데 이는 Figs. 5, 6으로부터 시각적으로 확인할 수 있다.

3.5. 공주지점의 유황변동

상기한 공주지점의 유황분석결과를 이용하여 해당 지점의 유황변동특성을 분석하여 보았다. 본 연구의 대상기간은

Table 5. Annual bias and RMSE of control points

Year	Daecheong				Gongjoo			
	Bias (CMS)	RB	RMSE (CMS)	RRMSE	Bias (CMS)	RB	RMSE (CMS)	RRMSE
2001	7.60	0.22	20.83	0.60	-23.95	-0.27	41.59	0.47
2002	-14.14	-0.16	187.21	2.08	1.25	0.01	115.07	0.94
2003	-37.08	-0.21	150.64	0.85	-18.78	-0.08	156.19	0.65
2004	-1.95	-0.02	123.50	1.49	-9.17	-0.06	129.91	0.86
2005	1.51	0.02	76.70	0.97	-6.12	-0.04	84.37	0.59
2006	-11.26	-0.13	93.84	1.10	-8.19	-0.06	157.68	1.13
2007	-10.46	-0.11	75.30	0.81	-18.05	-0.12	103.39	0.68

Table 6. Quaternary bias and RMSE of control points

Year	Quater	Daecheong				Gongjoo			
		Bias (CMS)	RB	RMSE (CMS)	RRMSE	Bias (CMS)	RB	RMSE (CMS)	RRMSE
2001	1 st	0.98	0.02	22.17	0.57	-40.85	-0.39	44.86	0.43
	2 nd	2.22	0.08	20.11	0.70	-43.19	-0.43	53.85	0.53
	3 rd	12.21	0.25	23.21	0.47	-13.73	-0.12	44.26	0.38
	4 th	15.00	0.71	17.33	0.82	1.99	0.06	6.83	0.22
2002	1 st	-2.36	-0.10	12.54	0.52	-3.33	-0.11	6.53	0.21
	2 nd	-10.64	-0.15	52.70	0.73	-16.03	-0.15	46.30	0.44
	3 rd	-49.59	-0.21	370.33	1.59	35.14	0.13	224.75	0.83
	4 th	6.04	0.20	11.00	0.37	-10.75	-0.13	16.24	0.20
2003	1 st	-13.49	-0.32	19.01	0.46	0.09	0.00	10.97	0.17
	2 nd	-60.77	-0.47	112.56	0.87	-24.53	-0.13	126.03	0.67
	3 rd	-80.06	-0.16	278.58	0.54	-50.68	-0.08	285.41	0.45
	4 th	5.99	0.23	11.25	0.44	0.00	0.00	11.04	0.15
2004	1 st	-1.29	-0.06	7.92	0.38	-8.28	-0.14	13.77	0.23
	2 nd	-12.67	-0.14	87.02	0.95	-20.55	-0.12	207.54	1.23
	3 rd	-1.83	-0.01	230.73	1.16	3.95	0.01	151.14	0.51
	4 th	7.99	0.41	11.59	0.59	-11.81	-0.15	37.40	0.48
2005	1 st	0.07	0.00	9.10	0.37	-6.23	-0.11	8.52	0.15
	2 nd	-0.10	0.00	12.23	0.37	-21.40	-0.30	27.68	0.38
	3 rd	1.82	0.01	152.38	0.65	2.66	0.01	165.51	0.46
	4 th	4.24	0.17	8.79	0.35	0.48	0.01	15.49	0.19
2006	1 st	-1.78	-0.09	8.16	0.40	6.44	0.13	9.62	0.20
	2 nd	-11.03	-0.24	16.65	0.36	-15.02	-0.17	29.20	0.33
	3 rd	-35.87	-0.14	186.58	0.74	-28.89	-0.08	313.79	0.83
	4 th	3.64	0.16	8.12	0.37	4.70	0.11	6.81	0.16
2007	1 st	1.89	0.06	14.19	0.48	0.22	0.01	8.97	0.21
	2 nd	-2.59	-0.07	19.88	0.52	-21.04	-0.28	35.03	0.47
	3 rd	-40.95	-0.15	148.37	0.54	-52.66	-0.12	203.08	0.48
	4 th	-0.20	-0.01	8.40	0.28	1.29	0.02	14.37	0.20

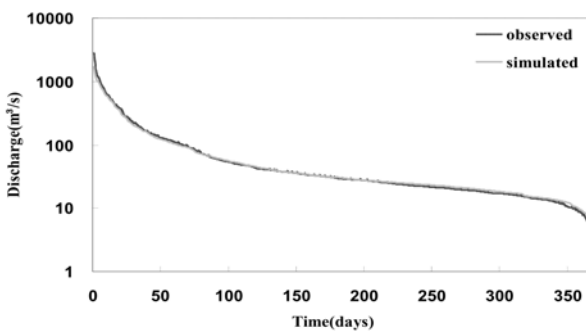


Fig. 5. Flow duration curves at the Gongju station.

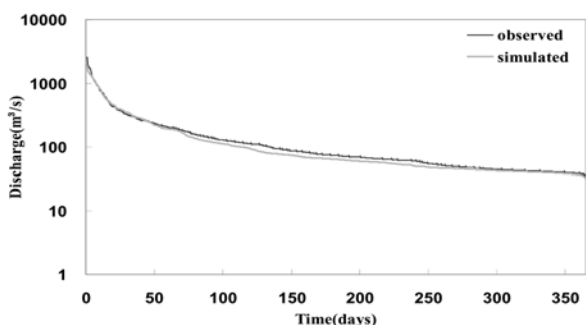


Fig. 6. Flow duration curves at the Gongju station.

Table 7. Reference discharges of Flow-duration curves

		Q_1	Q_{95}	Q_{185}	Q_{275}	Q_{355}
Daecheong	Observed	2736.66	57.96	28.91	19.39	9.76
	Simulated	1642.43	58.33	28.84	20.90	9.70
Gongjoo	Observed	2551.86	133.84	73.04	48.74	38.99
	Simulated	1894.86	114.77	65.11	46.60	38.56

Table 8. Reference coefficients of Flow-duration curves

		C_{fd}	C_F	C_A	C_L	C_D
Daecheong	Observed	66.67	94.65	2.00	0.67	0.34
	Simulated	61.40	56.94	2.02	0.72	0.34
Gongjoo	Observed	20.14	34.94	1.83	0.67	0.53
	Simulated	20.96	29.10	1.76	0.72	0.59

용담댐 축조 후의 기간에 해당하는 것으로 이로부터 용담 댐이 공주지점의 유황특성에 미치는 영향에 대한 분석이 가능할 것으로 판단된다.

Tables 9, 10은 각각 공주지점에 대한 유황기준유량들과 각종 유황계수들을 정리한 것으로서 상단(Gongjoo*)의 2행은 이진원 등(1993)이 대청댐 축조 전('8-'79), 후('80-'90)의 기간에 대하여 수행한 유황분석결과를 기반으로 한다. 이들의 결과로부터 대청댐이 건설된 후 저수량 Q_{275} 과 같

Table 9. Reference discharges of the Gongjoo Flow-duration curves

		Q_{95}	Q_{185}	Q_{275}	Q_{355}
Gongjoo*	'18-'79	110	46	28	14
	'80-'90	165	83	41	21
Gongjoo	Observed	133.84	73.04	48.74	38.99
	Simulated	114.77	65.11	46.60	38.56

Table 10. Reference coefficients of the Gongjoo Flow-duration curves

		C_{fd}	C_A	C_L	C_D
Gongjoo*	'18-'79	68	2.39	0.61	0.30
	'80-'90	47	1.97	0.49	0.25
Gongjoo	Observed	20.14	1.83	0.67	0.53
	Simulated	20.96	1.76	0.72	0.59

Table 11. Reference coefficients of the Gongjoo Flow-duration curves (yearly)

	Q_{95}	Q_{185}	Q_{275}	Q_{355}	C_{fd}
2001	104	83	38	25	10
2002	117	77	33	26	15
2003	246	91	64	51	26
2004	130	71	60	53	13
2005	126	69	57	48	14
2006	94	55	45	38	26
2007	120	67	43	33	37

수량 Q_{355} 뿐만 아니라 풍수량 Q_{95} 과 평수량 Q_{185} 역시 증가하여 대상지점의 유황이 전반적으로 개선되었음을 확인할 수 있다. 하지만 이진원 등(1993)은 Table 10의 유황계수 C_{fd} 에 대한 산정결과로부터 '대청댐의 담수능력이 상대적으로 작아서 홍수시 유황개선에 크게 기여하지 못하는 것이며 이는 금강 본류에 새로운 보완댐 건설의 필요성을 시사한다'고 언급한 바 있다.

Table 9 하단의 본 연구 결과와 이들의 결과를 비교할 경우 풍수량 Q_{95} 및 평수량 Q_{185} 은 다소 감소하였지만 저수량 Q_{275} 및 갈수량 Q_{355} 은 증가하였음을 볼 수 있다. 이는 용담댐의 추가 건설로 인한 홍수시 유황개선 효과를 나타내는 것으로 판단된다. 이는 Table 10 하단의 본 연구결과를 이용한 유황계수 C_{fd} 에 대한 산정결과로부터도 역시 확인할 수 있는데 특히 풍수계수 C_A , 저수계수 C_L 와 갈수계수 C_D 에 대한 산정결과가 상당히 고무적으로 보인다. 이진원 등(1993)의 결과에서는 대청댐의 축조로 인하여 이들 세 값이 모두 감소하고 있음을 나타내고 있는데 이는 대청댐의 축조로 인하여 공주지점의 고수위유황에는 다소 개선의 효과가 있었지만 저수위유황에는 영향을 주지 못했음을 나타낸다. 하지만 본 연구의 결과에서는 용담댐의 축조로 인하여 풍수계수 C_A 는 감소한 반면 나머지 두 계수는 증가하고 있음을 나타낸다. 이는 용담댐의 축조가 공주지점의 고수위, 저수위 유황 모두에 개선의 효과를 가져왔음을 의미하는 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 유역관리모형인 RRFs의 유출모의 능력을 수문곡선의 적합도 및 유황곡선의 거동특성을 기반으로 하여 평가하고 그 결과를 바탕으로 용담댐 축조 이후의 공주지점의 유황변동특성을 추론하여 보았다. 이상으로부터의 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 대상기간에 대한 지점별 유출수문곡선의 연간 유출률을 산정해 본 결과 대부분 일반적인 유출률의 범위인 30~70% 범위 내에 있음을 확인할 수 있었다.
- 2) 모의수문곡선과 관측수문곡선 사이의 적합도에 대한 분석으로부터 대부분의 오차가 2, 3사분기에 발생함을 볼 수 있었다. 농한기와 농번기의 천이시점인 2사분기의 경우 향후 농업용수의 사용량을 보다 정확하게 추정할 수 있는 방법이 적용된다면 개선된 결과가 기대된다. 3사분기의 오차는 대부분 첨두유량 모의에 관련된 것으로 장기유출의 관점에서 RRFs의 모의능력은 신뢰할 만한 수준인 것으로 판단된다.
- 3) 모의수문곡선과 관측수문곡선에 대하여 유황기준유량 및 각종 유황계수를 비교 분석해 본 결과 고수위유량을 제외한 대부분의 유황범위에서 RRFs의 신뢰성을 확인할 수 있었다.
- 4) 상기한 결과를 기반으로 공주지점의 유황변동특성을 추론해 본 결과 용담댐의 축조가 대상지점의 고수위, 저수위 유황 모두에 상당한 개선의 효과를 가져왔음을 확인할 수 있었다.

사 사

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

참고문헌

- 류경식, 황만하, 맹승진, 이상진(2007). 유역관리모형을 이용한 금강유역 유출특성 해석. *수질보전 한국물환경학회지*, **23**(4), pp. 527-534.
- 류경식, 이상진(2008). 수리시설물별 관개면적을 고려한 유출변환특성 분석. *한국수자원학회논문집*, **41**(6), pp. 643-651.
- 박상덕(2003). 자연하천의 무차원 유황곡선. *한국수자원학회논문집*, **36**(1), pp. 33-44.
- 이상진, 이배성, 류경식, 황만하(2006). 유출모의를 위한 주요지점 유황특성 분석. *한국수자원학회논문집*, **39**(11), pp. 905-914.
- 이진원, 김형섭, 우효섭(1993). 댐건설로 인한 5대수계 본류의 유황변화 분석. *대한토목학회논문집*, **13**(3), pp. 79-91.
- 정은성, 김경태, 김상욱, 이길성(2008). 하천유지유량을 이용한 일최대 오염허용부하량 산정 방안. *수질보전 한국물환경학회지*, **23**(4), pp. 317-327.
- 한국수자원공사(2004). *실시간 물 관리 운영 시스템 구축 기술 개발*.

Gustard, A. and Wesseling, A. J. (1993). Impact of land-use change on water resources: Bal quidder catchments. *Journal of Hydrology*, **145**, pp. 389-401.

Maidment, D. R. (1992). Handbook of hydrology, *McGraw-Hill*.
USACE (1991). *SSARR User manual*, North Pacific Div., Portland.