

SWAT모형을 이용한 밀양강본류 유황변동 분석연구

Miryang River Duration Variation Analysis Study Using SWAT Model

최영돈*, 신현석**, 강두기***, 강순구****

Young Don Choi, Hyun Suk Shin, Doo Kee Kang, Sun Koo Kang

요 지

우리나라는 지역적 특성상 여름철에 강수량이 편중되어 있어 계절별로 하천유량의 편차가 매우 크게 나타나고 있다. 또한 계속되는 도시화와 산업화로 인하여 하천에서 다양한 형태의 취수와 이용이 이루어지고, 국민들의 수질향상 등에 대한 기대가 커짐에 따라 하천유량에 대한 양적·질적 요구가 증대되고 있다. 이에 효율적인 수자원운영을 위하여 다양한 형태의 수자원확보가 이루어지고 있으며, 이중 가장 대표적인 댐을 이용하여 운영에 따른 하류 하천에서의 유황개선효과에 대해서 유역 장기분포모의 모형 중 하나인 SWAT모형을 밀양강유역에 적용하여 일 유출량 모의를 수행하였다.

모형의 구축은 2000~2005년의 밀양강유역 기상자료를 활용하였으며, 건교부에서 운영하는 Wamis를 이용하여 DEM, 토지이용도, 토양도를 취득하였다. 또한 밀양댐, 운문댐 유입량과 밀양2지점의 측정유량을 이용하여, SWAT의 다양한 매개변수 중 SOL_AWC, ESCO, CH_K등을 수정하여 Calibration을 실시하였으며, 밀양강유역 오염총량지점인 밀양A지점과 밀양B지점의 측정유량을 이용하여 Validation을 실시하였다. 그 결과, 댐의 경우 0.9이상의 선형상관관계를 나타내었으며, 오염총량지점의 경우 0.6이상의 선형상관관계를 나타내어 모형의 적용성이 양호함을 알 수 있었다.

과거 30년간의 강수량자료를 이용, 구축된 모형의 유역모의운영을 통해 밀양강 유역의 밀양댐과 운문댐이 있음으로 해서, 댐이 없는 경우와 비교, 하류 지점별 유황개선에 어느 정도 효과가 있는지 댐의 순기능에 대한 정량적인 분석을 수행하였다. 또한 댐별 방류량을 변동하여 하류 주요지점에 미치는 유황개선효과를 정량화하였다. 마지막으로 댐의 효율을 최대화한 하류확보가능하천유지유량을 월별평균량으로 산정하였다. 이는 향후 오염총량제 기준유량 및 환경용수의 법제화를 통한 하천유지용수의 증가시 비구조적 대책의 공급가능 최대량으로 활용가능할 것으로 사료된다.

핵심용어 : SWAT, 유황분석, 하천유지유량

1. 서 론

최근 GIS 기술 및 컴퓨터의 발달로 수문학분야에 다양한 유역모의모형이 적용되어지고 있으며, 이 중 장기 유출 모형에 관한 연구가 다양하게 수행되어지고 있다. 특히 장기유출모형의 경우, 물리적 모형에 집중되어 수행되어 오고 있으며, 이 중 최근 많이 사용되고 있는 준분포모형인 SWAT모형을 이용하여 밀양강 유역의 장기유출모형을 구축하고, 밀양댐과 운문댐으로 인한 댐운영에 따른 하류의 유황변동을 정량화하며, 과거 30년간의 기상자료를 이용하여 모의운영하므로써 댐하류측 지점별 적정 하천유지유량을 제시하고자 하였다.

* 정회원 · 한국수자원공사 조사기획처 · 부산대학교 토목공학과 석사과정 E-mail : choiyd1115@kwater.or.kr

** 정회원 · 부산대학교 토목공학과 교수 · E-mail : shin@pusan.ac.kr

*** 정회원 · 부산대학교 토목공학과 박사과정 · E-mail : dookee1@naver.com

**** 정회원 · 한국수자원공사 밀양댐관리단 · 부산대학교 토목공학과 교수 · E-mail : ksg103@kwater.or.kr

2. 밀양강유역의 적용 및 SWAT모형의 구축

2.1 대상유역의 개황

낙동강 제1지류인 밀양강 유역은 동경 $128^{\circ}32' \sim 129^{\circ}6'40''$, 북위 $35^{\circ}22'10'' \sim 35^{\circ}50'48''$ 사이인 낙동강 수계 동남부에 위치하며 경상북도 청도군과 경주군, 경산군 일부, 경상남도 밀양시, 양산시, 청주군 일부를 포함하는 본 밀양강의 유역면적은 $1,425.6\text{km}^2$ 로서 낙동강 수계의 약 6%를 점하며 유로연장은 101.5km 이다.

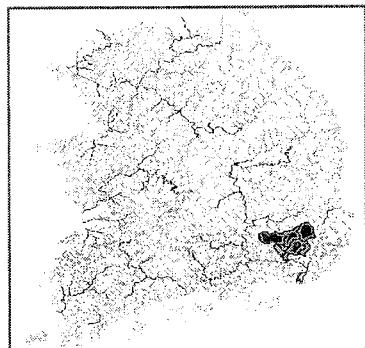


그림 1. 밀양강유역 위치도

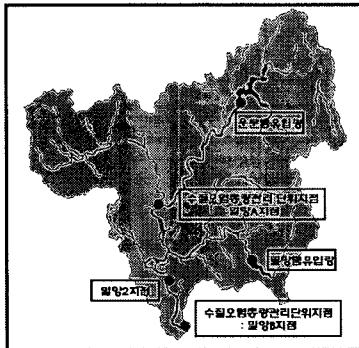


그림 2. 밀양강 토지이용도

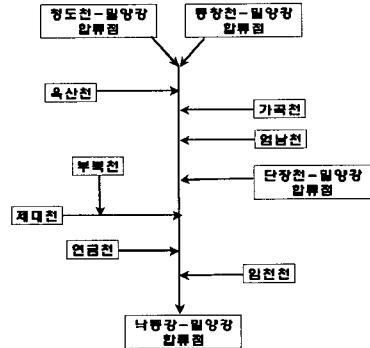


그림 3. 밀양강 하천망도

2.2 SWAT모형의 구축 및 보정

SWAT 모형의 구축을 위하여 먼저 밀양댐, 운문댐, 밀양, 수월, 용성, 청도의 강우관측소로부터 최근 6년간의 강우자료를 취득하고, 또한 밀양댐과 밀양 기상관측소에서는 온도의 최대, 최소값, 상대습도, 일사량, 풍속의 자료를 얻었다. ArcView와 SWAT의 연계모형의 구축을 위하여 건교부에서 운영하는 Wamis로부터 DEM(Digital Elevation Model), 토지이용도, 토양도, 하천망도, 저류시설관련 제원을 취득하였다.

밀양강 유역 DEM도

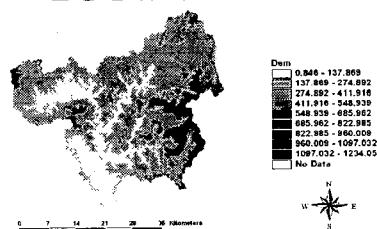


그림 4. 밀양강 DEM도

표 1. DEM분포현황

표고 구분	% Area Below Elevation	% Area	표고분포설결과
0 ~ 200	33.91	33.91	Min.Elevation: 4
201 ~ 400	68.79	34.88	Max.Elevation: 1219
401 ~ 600	89.59	20.80	Mean.Elevation: 320.28
601 ~ 800	97.03	7.44	Std.Deviation: 208.875
800 ~ 1000	99.61	2.58	
1001 ~ 1219	100	0.39	

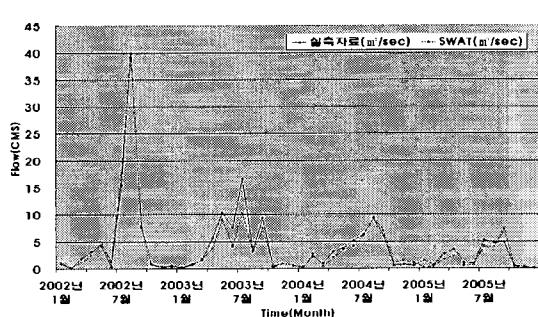


그림 5. 밀양댐 유입량보정(Monthly)

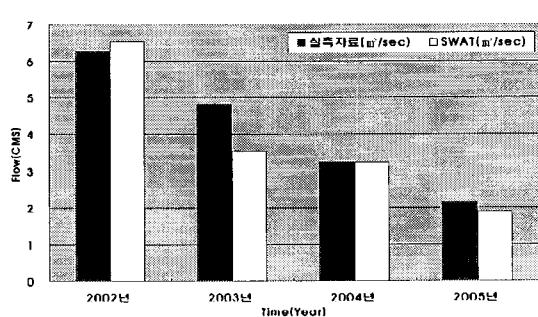


그림 6. 밀양댐 유입량보정(Yearly)

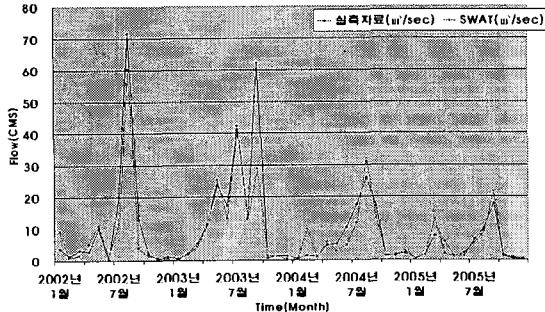


그림 7. 운문댐 유입량보정(Monthly)

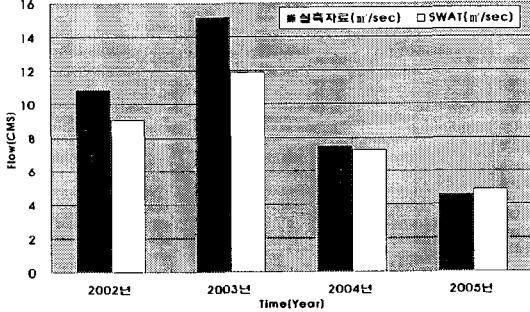


그림 8. 운문댐 유입량보정(Yearly)

먼저 SWAT모형의 구축하면서, 밀양댐과 운문댐의 유입량 자료를 이용하여 실측값과 모의값을 Calibration 하였으며, 대부분 양호한 상관관계를 보임을 알 수 있었다. 또한 댐 Operation의 적정성을 위하여 저수지 바닥수리전도를 밀양댐은 $K=0.7\text{mm/hr}$, 운문댐은 $K=0.5\text{mm/hr}$ 로 설정하여 Calibration하였으며, 이에 대한 결과는 그림 5 ~ 그림 8 및 표2와 같다.

표 2. 밀양댐 유입량 보정 통계 분석

통계 분석	유입량(Daily)		유입량(Monthly)		유입량(Yearly)	
	밀양댐	운문댐	밀양댐	운문댐	밀양댐	운문댐
AMB (Absolute Mean Bias)	2.72	7.12	0.79	2.67	0.46	1.40
RMSE (Root Mean Square Error)	9.49	30.14	1.32	6.21	0.67	1.87
CC (Correlation Coefficient)	0.83	0.72	0.98	0.93	0.94	0.99

또한 댐하류의 측정지점에 대한 하천유량을 Calibration하기 위하여 SOL_AWC(0.5) ESCO(0.95) 및 CH_K(30mm/hr)를 활용하였으며, 결과는 그림9~10과 표3와 같다. 밀양2지점의 경우 일자료에 대한 상관관계는 매우 낮게 나타났으나, 월자료의 경우, 0.91로써 매우 양호한 결과를 보였다. 하지만 Validation을 위하여 사용된 오염총량관리지점인 밀양A와 밀양B지점은 측정자료가 일평균유량이 아니고, 측정 당시의 순간 유량을 대표하기 때문에 적정한 상관관계를 갖기가 힘들었다.

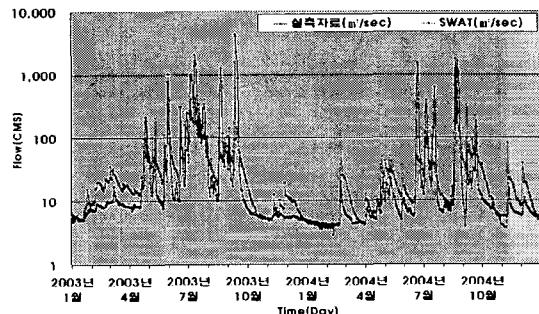


그림 9. 밀양2지점 유량보정(Daily)

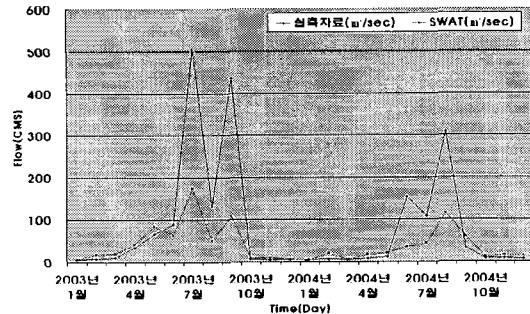


그림 10. 밀양2지점 유량보정(Monthly)

표 3. 관측소 및 유량관측지점 보정 통계 분석

통계 분석	유입량(Daily)			유입량(Monthly)		
	밀양2	밀양A	밀양B	밀양2	밀양A	밀양B
(Absolute Mean Bias)	68.85	7.91	16.99	53.08	-	-
	305.46	15.26	40.40	108.59	-	-
(Root Mean Square Error)	305.46	15.26	40.40	108.59	-	-
	0.38	0.73	0.52	0.91	-	-
(Correlation Coefficient)						

2.3 시나리오별 지점유량 비교

30년간의 과거 밀양관측소의 강우자료와 최근3년간의 월평균 하천유지유량, 관개용수, 생공용수를 방류량으로 하여 2008년~2037년까지 모형을 모의운영을 하여 유역내 기준의 밀양댐과 운문댐이 없는 경우(No_Dam)를 기준으로 운문댐만 있는 경우(UnmunDam_Only), 밀양댐만 있는 경우(MiryangDam_Only), 현재와 같이 두 댐이 있는 경우(Two_Dam)로 분류하여 상류의 저류시설물로 인한 하류측 유황변동의 영향여부를 정량화하였다. 평수량, 저수량, 갈수량 3가지의 경우에 대해서 산정하였으며, 결과 평수량의 경우 댐유무에 따른 편차가 없었으며, 저수량에서 갈수량으로 가면서 댐으로 인한 하천유량상승효과는 크게 나타났다. 아래의 표를 보면, 갈수량의 경우에는 운문댐 하류부인 동창천종점은 258%(0.3138m³/sec⇒0.811m³/sec), 밀양댐의 경우 213%(0.2059m³/sec⇒0.4384m³/sec)로써 하천유지유량의 기여도가 매우 높음을 알 수 있었고, 밀양2수위표와 낙동강 합류점에서는 운문댐이 밀양댐보다 좀 더 큰 영향이 있음을 알 수 있었다.

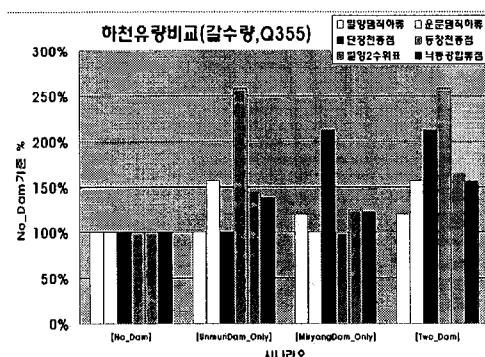


그림 11. 시나리오별 유량비교(갈수량)

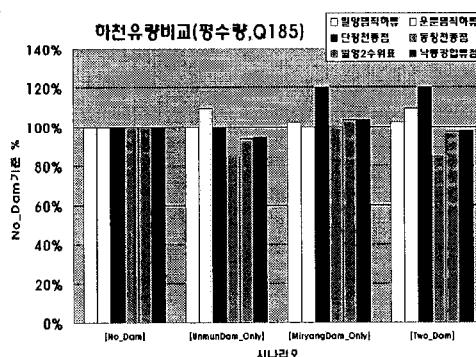


그림 12. 시나리오별 유량비교(평수량)

표 4. 댐 시나리오에 따른 하류유황변동분석(갈수량, Q355) 단위 : m³/sec

구분	지점	[No_Dam]	[UnmunDam_Only]	[MiryangDam_Only]	[Two_Dam]
Q355 (갈수량)	단장천종점	0.2059	0.2059	0.4384	0.4384
		100%	100%	213%	213%
	동창천종점	0.3138	0.8110	0.3138	0.8110
		100%	258%	100%	258%
	밀양2수위표	1.1600	1.6693	1.4472	1.9064
		100%	144%	125%	164%
	낙동강합류점	1.3495	1.8619	1.6502	2.1055
		100%	138%	122%	156%

또한 주요지점별 하천유지유량의 최대, 최소 및 평균을 산정한 결과, 표5와 같이 나타났으며, 이러한 결과는 가뭄의 발생으로 강우가 2~3년간 평균이하로 발생함으로써, 최소로 나타남을 알 수 있었으며, 향후 밀양강 유역의 주요지점에 기준유량산정시 참고자료로의 활용이 가능할 것이다.

표 5. 밀양2수위국지점 하천유지유량

년월	최소(2022년)	최대(2034년)	평균(30년 평균)
1월	2.073	13.580	4.56
2월	1.847	8.366	7.12
3월	4.423	15.220	9.41
4월	3.431	30.350	19.11
5월	7.842	32.660	18.95
6월	7.022	6.333	28.97
7월	13.230	94.780	44.00
8월	4.536	373.100	54.31
9월	2.392	56.270	43.08
10월	1.154	16.480	13.33
11월	1.069	4.530	9.58
12월	1.042	6.781	6.73

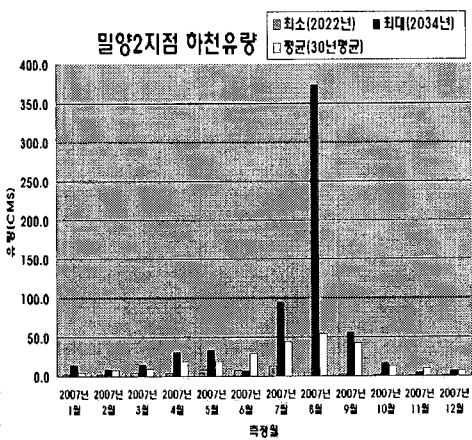


그림 13. 밀양2지점 하천유량산정

3. 결 론

밀양강유역에 장기유출, 준분포, 물리모형인 SWAT를 적용해 본 결과, 일단위 이상의 유역의 강우-유출 관계를 잘 모의하고 있음을 알 수 있었으며, 댐유무에 따른 하류의 유황변동유무를 정량적으로 분석하여, 수리구조물 중의 하나인 댐으로 인한 홍수기 지체효과 뿐만 아니라 갈수기 때 하천유지유량을 일정하게 유지하여 줌으로써 하천의 생태환경에 많은 순기능을 하고 있음을 간접적으로 알 수 있었다. 또한 30년간의 모의운영을 통하여 주요지점별 최소, 최대, 평균 하천유지유량을 제시함으로써 향후 오염총량제 기준유량 및 환경 용수의 법제화를 통한 하천유지용수의 증가시 비구조적 대책의 공급가능최대량으로 활용가능할 것으로 사료된다. 금번에는 SWAT의 광범위한 기능 중 지표수 유출에 초점을 맞추어서 분석하였으나, 향후 물순환의 다양한 부분에서 활용가능하며, 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 강두기, 정강운, 신현석 (2003). "SWAT 모형을 이용한 유역내 저류시설물에 의한 장기유출에의 영향분석." *대한토목학회 2003년도 정기 학술대회 논문집*, 대한토목학회, pp. 2015-2019.
2. 신현석, 강두기, 김균태 (2004). "SWAT 모형을 이용한 태화강유역 장기유출 분석." *대한토목학회 2004년도 정기학술대회 논문집*, 대한토목학회, pp732-736.
3. 신현석, 윤치승, 박무종, 김홍태 (2002). "저류시설물 및 수문요소에 의한 장기유출 신뢰도 분석." *대한토목학회 2002년 학술발표회*, 대한토목학회, pp78-82
4. 장철희, 김현준, 김남원 (2003). "용담댐 유역의 장기유출 분석을 위한 AvSWAT 2000 모형의 적용." *한국수자원학회 학술발표회논문집(1)*, 한국수자원학회, pp. 46-49.
5. Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Srinivasan, R., and Williams, J.R. (2002a). Soil and Water Assessment Tool; User's Manual (version 2000), U.S. Agricultural Research Service.
6. 신현석, 윤치승, 박무종, 김홍태 (2002). "저류시설물 및 수문요소에 의한 장기유출 신뢰도 분석." *대한토목학회 2002년 학술발표회*, 대한토목학회, pp78-82
7. 이현, 차은정, 최영진 (1999). "SWAT/GRASS GIS Linkage를 이용한 기후 및 수자원 자료분석 연구." *한국수자원학회 학술발표회논문집*, 한국수자원학회, pp.353-358.