

SLURP 모형을 이용한 광역적 수문분석

- 소양강댐 유역을 대상으로 -

Regional Hydrological Analysis using SLURP Model

- Soyanggang-dam watershed -

임혁진*(건국대) · 권형중(건국대) · 장철희(건기연) · 김성준(건국대)

Lim, Hyuk Jin* · Kwon, Hyung Joong · Jang, Cheol Hee · Kim, Seong Joon

Abstract

This study is to test the applicability of SLURP (Semi-distributed Land Use-based runoff Process) model that is a semi-distributed, continuous hydrologic model developed by Kite (1997). The Soyanggang-dam watershed (2,694km²) was selected. The DEM, land-cover map, monthly NDVI from NOAA/AVHRR and daily meteorological data of 2001 were prepared. By using the parameter optimization technique, SCE-UA (Shuffled Complex Evolution-University of Arizona), the model was calibrated and the Nash-Sutcliffe efficiency was 0.73.

I. 서론

우리나라의 강우는 여름에 집중되기 때문에 많은 지역에서 갈수기나 가뭄시에 농업용수를 확보하기에 어려움이 많다. 앞으로 용수공급에 있어 용수의 확보 및 분배가 크게 대두될 것이다. 수문모형은 강수가 유출로 변화하는 물리적과정을 모의함으로써 기후 및 토지피복 등의 외적인 요소의 영향과 유역 내의 물관리 변화의 영향을 평가하는데 사용하여 용수의 이·치수 및 관개계획을 수립하는데 있어 유용하다. 국지적 유역내에서 자연 유출은 집중형 모형을 사용하여도 단순 유출수문곡선의 모의와 예측의 적용성이 적합하나 좀더 과학적으로 분석하기 위해서는 SHE(Systeme Hydrologique Europeen)모형과 같은 물리적 기초이론에 근거한 분포형 모형을 사용할 필요가 있다. 우리나라의 홍수사상에 대한 유출모형은 저류함수법의 집중형 모형을 대부분 사용하고 있으나 이것은 강우의 시공간적 변화를 반영하기에는 부적합하다. 이에 반해 분포형모형은 시공간적 변화를 효과적으로 고려하지만, 대유역에서 신뢰성있는 하천 유출량을 모의하기 위해서 입력자료 구성의 어려움을 가지고 있다. 최근 지리정보시스템(GIS)의 도입과 인공위성을 이용한 자료의 이용은 유출해석에 필요한 신뢰성있는 입력자료를 구성함으로써 유역의 수문과정을 보다 정확하게 모의할 수 있게 되었다.

본 연구의 목적은 준분포모형인 SLURP 모형을 이용하여 우리나라의 지형적특성을 반영하여 장기 유출 수문해석을 모의함으로써 모형의 매개변수 추정과 장기유출해석의 적용성을 검토하는데 있다.

II. 모형의 기본이론

SLURP 모형은 국지적인 기상자료와 위성영상을 이용하여 획득한 토지피복도와 NDVI를 이용하여 수직적인 물수지를 모의하고 TOPAZ(TOpographic PArameteriZation)(Garbrecht and Martz, 1997)로 분할된 ASA소유역내 토지피복상태에 따라 증발, 증산, 지표유출, 중간·지하수 유출, 저류용량변화의 적절한 과정을 통하여 강우추적을 하게 된다. 특히, 강수를 강우사상과 강설사상으로 분리하여 융설에 대한 유출을 고려함으로써 장기유출모형의 정확성을 높이고있다. SLURP 모형은 강우의 시공간적 변화를 반영하여 관개계획 또는 수자원 효율성 조사 평가에 사용되는 유역내 증발산, 순유출 등을 해석할 수 있다.

III. 입력자료의 구축

1. DEM

소양강댐 수위관측소를 유역출구로하는 소양강댐 상류유역을 대상으로 1:5,000 NGIS 수치지도를 이용하여 100m×100m 해상도의 DEM을 구축하였다(Fig 1). 본 유역은 유역면적은 2,694km²이며 소양강댐은 높이 123m, 길이 530m, 체적 960만m³, 시설용량 20만kW의 수력발전소를 가동하는 북한강 유역의 유일한 다목적댐으로 설악산에서 발원한 유로연장 160km의 북한강 최대 지류인 소양강과 북한강 합류점에서 12km 떨어진 지점에 위치한다.

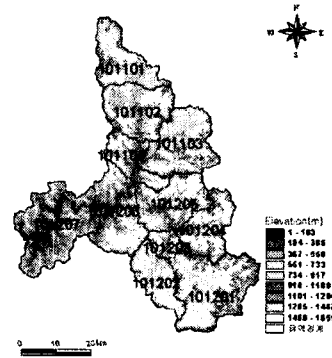


Fig 1. 소양강댐 DEM

2. ASA 소유역 분할

SLURP에서의 하천흐름은 유역의 토지피복별상태에 따라 분할된 ASA소유역에 대해 각지점 유역출구점까지의 하천의 고도변화·평균거리를 이용하여 유역을 추적하게 된다. 여기서 ASA 소유역은 Kouwens(1995) 'GRUs' 및 Krysanovas 'hydrotops'과 비슷한 개념으로 대상유역은 지형적 특성에 따라 하천분기점을 기준으로 유역이 분할되며 이것은 다시 ASA 소유역내에서 같은 토지피복상태를 갖는 지역으로 세분화된다.

SLURP에서의 ASA 소유역의 분할은 지형분석프로그램인 TOPAZ를 이용한다. TOPAZ은 수치표고모형(DEM)을 사용하여 지형특징의 측정과 판정, 표면 유역의 정의, 하천분수계를 따라 유역을 분할, 하천망의 크기 결정 및 분할유역의 매개변수를 결정하는 수치지형분석을 자동화한 프로그램으로 하향경사흐름의 순서를 정하는 개념(Mark, 1984; O'Callaghan and Mark, 1984)과 임계수역(CSA) 개념에 근거하여 주하천이 지속되는 최소의 유역면적을 정의한다(Mark, 1984; Martz and Garbrecht, 1992). TOPAZ를 이용하여 수리지형분할 및 하천망 생성을 위해 사용되는 중요한 매개변수 임계수역과 최소하천연장(MSCL)에 따라 분할된 소유역의 개수는 Table 1과 같다.

Table 1. TOPAZ 매개변수별 ASA소유역개수

No.	CSA(ha)	MSCL(m)	No. ASA
1	10000	3000	9
2	9000	3000	9
3	8000	3000	15
4	7000	3000	15
5	6000	3000	21
6	5000	3000	27

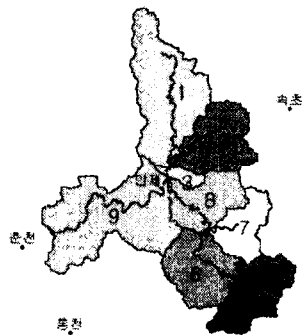


Fig 2. ASA소유역분할

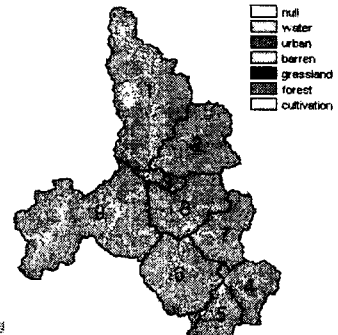


Fig 3. 토지피복도

3. 토지피복도

환경부의 토지피복도(Fig 3)를 이용하여 분할된 9개의 ASA 소유역에 대한 토지피복상태별 면적비(%)는 Table 2와 같다.

Table 2. 토지피복상태별 ASA 소유역면적비(%)

ASA No.	물	도시	나지	초지	산림	경작지	ASA No.	물	도시	나지	초지	산림	경작지
1	0.00	0.30	0.30	1.20	85.50	12.70	6	0.00	0.10	0.00	0.20	91.90	7.80
2	0.00	0.40	0.30	0.60	95.60	3.10	7	0.00	0.10	0.00	0.30	95.50	4.10
3	0.09	0.20	0.49	1.30	91.61	6.29	8	0.20	0.10	0.20	0.60	93.20	5.70
4	0.00	0.00	0.10	0.50	96.20	3.20	9	5.00	0.10	0.30	0.70	89.00	4.90
5	0.00	0.00	0.50	0.50	89.70	9.30	합계	1.29	0.17	0.23	0.69	90.74	6.88

4. 수문기상자료

SLURP 모형에서 사용되는 기상자료는 일별강우량, 일평균기온, 이슬점온도 또는 상대습도, 일조 시간 또는 태양복사량 등이 기본적으로 이용되며 그 외의 일평균풍속, 구름분포정도, 강설량, 저수지 수위, 일평균유출량, 연평균강수량등이 필요에 따라 선택적으로 사용된다.

SLURP에서는 ASA 소유역 각각에 대한 기상자료가 입력자료로 요구되나 이런 지역적 자료를 획득하기가 어렵기 때문에 유역내 근거리 기상관측소의 기상자료를 이용하여 Thiessen 가중법에 의해 각각의 ASA 소유역에 해당하는 기상자료로 변환되어 사용된다. 소양강댐유역의 경우 주위의 5개 기상관측소를 사용하여 기상자료를 획득하였다. SLURP에서는 ASA소유역내에서 각 기상관측소의 고도차에 의한 기온, 이슬점, 강우의 변화를 고려한다. 본 연구에서 각 요소의 고도차에 의한 기온 -0.75℃/100m, 이슬점 -0.15℃/100m, 강우 2%/100m의 변화율을 고려하였다.

5. NDVI, LAI 자료구성

NDVI는 유역의 식생의 양과 활력도를 정량적으로 표현할 수 있는 정규식생지수로서 NOAA위성으로부터 획득할 수 있다. SLURP 모형에서는 NDVI를 이용하여 LAI(Leaf Area Index)를 산출함으로써 작물에 의한 강우차단과 토양과 잎표면으로부터의 증발량과 식생으로부터의 증산량을 분리할 수 있다.

본 연구에서는 2001년 10월 주기의 NOAA/AVHRR 센서를 이용하여 월별 NDVI를 산출하였으며 증발산량의 추정방법에는 모형에서 제공되는 5가지 방법중 FAO Penman-Monteith방법을 이용하였다.

IV. 모형의 적용

1. 매개변수 보정

본 연구에서는 2001년 1월 1일부터 동년 12월 31일까지 1년간의 자료를 이용하였으며, SLURP 모형의 매개변수 최적화를 위해 SCE-UA방법(Duan et al, 1994)을 이용하였다. 또한, 매개변수추정의 최적화 척도로 Nash-Sutcliffe의 모형효율, WMO 통계량, RMSE 값을 이용하였다. 추정된 매개변수는 Table 3과 같다.

Table 3. SCE-UA방법에 의해 최적화된 매개변수

No.	Description	물	도시	나지	초지	산림	경작지
1	Initial contents of snow store (mm)	0.00	777.37	476.25	744.07	146.16	236.28
2	Init. contents of slow store (% of max)	25.00	85.18	25.49	21.32	22.20	16.84
3	Maximum infiltration rate (mm/day)	20.00	127.49	150.24	109.41	163.80	113.62
4	Manning roughness, n	0.00	0.07	0.00	0.06	0.06	0.03
5	Retention constant for fast store	20.00	48.09	50.00	49.69	35.90	1.00
6	Maximum capacity for fast store (mm)	500.00	340.63	23.32	227.32	175.99	185.73
7	Retention constant for slow store	750.00	97536.64	10306.70	78935.41	4506.89	89400.46
8	Maximum capacity for slow store (mm)	1000.00	96668.08	66678.24	62456.21	2282.72	78272.87
9	Precipitation factor	1.00	0.80	1.18	1.31	1.05	0.80
10	Rain/snow division temperature (deg C)	0.00				1.74	0.56

2. 모의결과

소양강댐 유역의 DEM, 토지피복도, 기상자료를 이용하여 2001년 일별유출량을 모의한 결과(Table 4) WMO체적오차가 10%미만, Nash-Sutcliffe 모형효율 0.73으로 모의 결과는 양적인 측면뿐만 아니라 관측자료와 모의자료가 양호한 일치성을 보여주어 소양강댐유역의 적용성을 반영해 주고 있다(Fig 4).

Table 4. SLURP 모형의 소양강댐유역 모의결과

년도	관측강수량 (mm)	보정강수량 (mm)	일평균관측 유출량(cms)	일평균모의 유출량(cms)	중발산량 (mm)	평균오차	변동계수	모형효율	WMO체적 오차(%)	RMSE
2001	1090.0	1135.0	50.72	46.62	792	0.62	3.166	0.73	-8.08	0.38

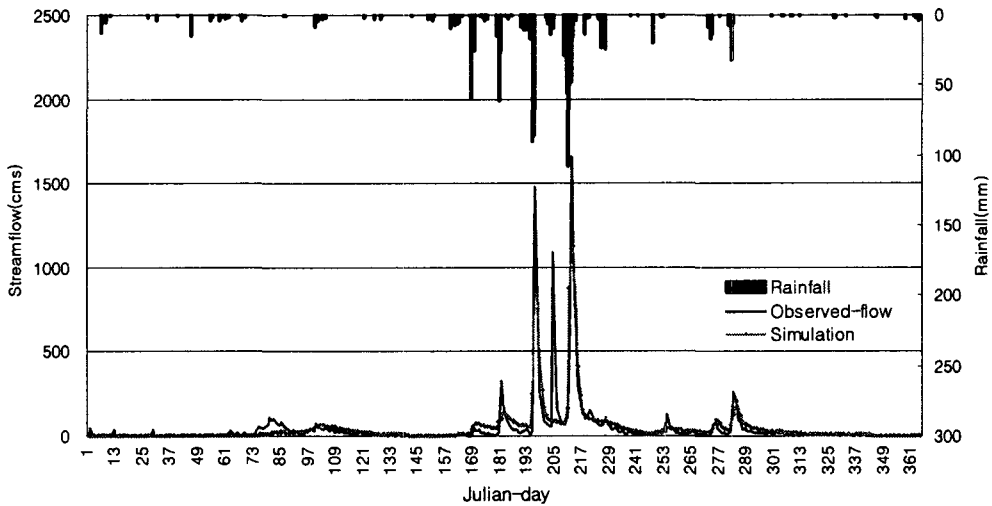


Fig 4. SLURP 모형의 일별 유출수문곡선 (2001년)

V. 결론

본 연구에서는 준분포형 모형인 SLURP를 소양강댐 유역에 적용함으로써 장기유출 수문해석의 적용성을 검토하고자 하였다. SCE-UA 방법으로 최적화된 매개변수를 사용하여 2001년 일유출량을 모의한 결과 체적오차 및 Nash-Sutcliffe 모형효율이 양호한 값을 나타내고 있으며 이는 SLURP 모형의 소양강댐 유역의 적용가능성을 높게 보여준다고 할 수 있다.

지리정보체계와 연계하여 TOPAZ를 사용함으로써 간편화되고 신뢰성 높은 지형자료를 빠르게 구축할 수 있었으며 이는 앞으로 분포형 모형에 GIS 와 RS자료의 도입에 있어 장기수문 유출해석에 필요한 자료구성 및 기후 및 토지피복 등의 외적인 요소의 영향과 유역 내의 물관리 변화의 영향을 평가하는데 있어 매우 유용하다고 판단된다.

참고문헌

1. Kite, G., 2002, Manual for the SLURP hydrological model Version 12.2, Hydrologic-Solutions.
2. Garbrecht, J., and L.W.Martz, 1994. Network and subwatershed parameters extracted from model: the Bill's Creek experience, Water Resources Reserarch, 29, pp909-916.
3. 김성태, 2003, SLURP를 이용한 하천 유출량 모의, 석사학위논문, 인하대학교.