

미계측유역에 대한 TOPMODEL의 적용성 평가

강성준¹, 박영기^{2*}

¹전북대학교 기계시스템공학부, ²전북대학교 사회기반공학과

Estimation for application of the Runoff Analysis using TOPMODEL at an ungaged watershed

Sung-Jun Kang¹ and Young-Gi Park^{2*}

¹Dept. of Mechanical System Engineering, Chonbuk National University

²Dept. of Infra-Structure Civil Engineering, Chonbuk National University

요약 본 연구는 유출분석을 위하여 수문학적 모델에 근거한 지형적인 특성을 반영한 TOPMODEL의 적용성을 평가하는 것이다. 적용대상은 섬진강 상류유역에 위치한 산악지역으로서 쌍치 소유역이고, 유역면적은 126.7km²이다. 2006~2009년에 선택된 6시간 간격의 강우-유출 자료를 가지고 Pattern Search 방법에 의한 관측유출자료를 사용하여 모델의 매개변수들을 조정하였다. 쌍치 유역의 지형학적인 인자들은 100m×100m 격자의 수치 표고모델에 의하여 추출하였다.

분석결과에 의하면 모델의 매개변수인 지수지류 매개변수(m), 투수량계수(T0), 불포화대 지체시간(TD) 등은 수문학적 인 반응에 민감하였으며, 모의된 유출자료는 관측 유출자료와 잘 일치하여 합리적인 적용성을 보인다.

Abstract This study is on the application of TOPMODEL-topographic based hydrologic model-to the runoff analysis, The test area was the ssang-chi watershed which is mountainous catchment located in the upstream of the sumjin-gang basin and the watershed area is 126.7km². The six's hourly runoff and precipitation data was selected in the 2006 ~ 2009 year. And the model parameters are calibrated using observed runoff data by Pattern Search method. The topographic index of the ssang-chi catchment was produced by digital elevation model(DEM) of 100m grid.

As a results of the analysis, the parameters of model, a decay factor(m), transmissivity(T0), and the unsaturated zone delay(TD) are sensible to hydrologic response, and the simulated runoff data are in good agreement with observed runoff data.

Key Words : Topmodel, runoff analysis, Pattern search method, parameters of model.

1. 서론

수자원의 관리 및 보전을 위해서는 정확하고 신뢰성 있는 유출예측이 선행되어야한다. 그간 많은 수문학자들이 시스템을 개발하여 하천유역의 적용성을 검토하는데 많은 노력을 기울여 왔으나, 자연현상인 강우와 유출관계를 규명하는 일은 매우 복잡하여 하천에서의 유출량 추정은 하천공간 정보의 부족으로 많은 어려운 문제점을 야기시키고 있다.

유역의 유출과정은 지형, 토양수분상태, 기상상황 등에 따라 매우 복잡한 양상을 나타낸다. 따라서 수문학적 문제의 해결을 위해서는 지금까지 사용하여 왔던 방법보다 더욱 명확하고 많은 수문 정보를 획득할 수 있는 방법이 제시되어야 이러한 문제를 해결 할 수 있을것이다. 지금까지 하천유역의 수문학적 지형정보는 자료가 방대하여 이들을 획득하기 위해서는 많은 시간과 노력이 필요하였다[1].

최근에는 공간적인 지형특성을 가지는 방대한 양의 수

*교신저자 : 박영기(parkyg@jbnu.ac.kr)

접수일 10년 11월 10일

수정일 11년 03월 01일

게재확정일 11년 03월 10일

문학적 지형정보의 획득 및 처리를 해야 하는 문제는 지리정보시스템(G.I.S)에 의해서 가능해졌다. 즉 지리정보시스템을 이용함으로써 경사도분석, 토지이용관계, 토양분포 등과 같은 지형정보를 쉽게 얻고 처리할 수 있게 되었다. 이와 함께 지형정보를 이용한 분포형 유출모형에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 연구에서 채택한 유출모형인 TOPMODEL은 1979년 Beven과 Kirby[10]에 의해 고안된 이후 여러 학자들에 의해 많은 연구가 이루어져 왔으며, 그 적용성도 수문모형을 비롯한 여러 부문에서도 매우 우수한 것으로 알려져 있다.

TOPMODEL은 단일 강우현상을 설명할 수 있는 단기 모델이지만 무강우 기간이 비교적 긴 경우의 강우에 의한 유출현상도 파악할 수 있는 모델이며, 외국의 경우 TOPMODEL을 삼림 지역이나 농업 지역에 자주 적용하고 있다. 그러나, TOPMODEL은 현재까지 어느 지역에서도 적용될 수 있는 범용화의 수준에는 이르지 못하였고, 비교적 강우가 많고, 경사가 급하며, 표층의 두께가 얇은 지역에 대해서 잘 모의할 수 있는 모형이다.

Chairat 등은 동일 유역에서 수치지도의 정도에 따른 영향을 파악하고자 격자를 30, 60, 90m로 구분하여 적용하여 격자 간격이 클수록 모의된 유출곡선의 첨두유량이 적어진다고 하였다[8].

국내에서도 김상현(1998) 등이 100km² 내외의 중소규모 유역에 모형의 적용성을 검토한 바 있고, 김진훈(1998) 등은 TOPMODEL의 대유역 적용시 지형지수의 영향을 연구하였다.

본 연구에서는 TOPMODEL에 적용된 지형인자로서의 지형지수를 수치고도모형으로부터 산출하고 TOPMODEL에 사용된 매개변수를 동정하여 쌍치유역의 매개변수의 특성을 파악하며, 쌍치유역의 유출을 모의하여 적용성을 평가하는것이 그 목적이다.

2. 대상유역

본 연구의 대상유역은 섬진강 다목적 댐 상류에 설치되어 있는 쌍치수위표 지점을 유역의 출구로 한 쌍치유역이다.

쌍치 유역은 우리나라 5대강 유역의 하나인 섬진강 최상류에 있으며 경도 127° 00' 41", 위도 35° 29' 06"에 위치한다. 본 유역은 전라북도 순창군 복흥면 서마리에서 발원하여 정읍시 산내면 내죽리의 옥정호로 유입하는 섬진강수계의 제1지류이다. 섬진강다목적댐 전유역면적(763km²)의 약 16.5%를 점유하고 있는 쌍치 유역은 유역

면적 126.3km², 유로연장 36km의 준용하천이다[2].

3. 대상수문사상

Topmodel의 연구에 적용한 수문사상을 선택하고 이의 선행작업으로 수문관측 현황을 조사한다.

쌍치 유역과 인근의 관측소 현황을 살펴보면 표 1과 같다. 쌍치 수위관측소는 측정지점이 상하류 부분은 비교적 직선구간이고 하천정비가 잘되어 있는 상태이기 때문에 고수위시 유량측정이 용이한 지점이고, 상하류 하상상태는 호박돌, 굵은 자갈 및 세사 등으로 구성되어 있어 심한 하상변동은 없으나, 제방부근에 잡초들이 무성하다. 관측종명은 T/M이며 영점표고는 EL.221.151m이다[3].

[표 1] 수문관측소 현황

	관측소명	관측종명	위 치			관측개시
			지 명	경 도	위 도	
우량국	쌍 치	TM	전북 순창군 쌍치면 시산리	127°09'05"	127°09'05"	1990.12.15
	섬진강댐	TM	전북 임실군 강진면 용수리	127°09'05"	127°09'05"	1990.12.15
	순 창	자기	전북 순창군 순화면순창초등학교	127°09'05"	127°09'05"	1932.1.1
수위국	쌍치	TM	전북 순창군 쌍치면 쌍계리 제1 쌍계교	127°09'05"	127°09'05"	1990.12.15
	섬진강댐	TM	전북 임실군 강진면 용수리	127°09'05"	127°09'05"	1990.12.15

3.1 수문사상선택

본 연구의 기본 수문자료는 시강수량, 시수위, 수위-유량곡선식 등이다. 유출분석에 가장 중요한 것은 강수량과 유출량으로서 정확한 값이 요구된다[4]. 쌍치유역은 비교적 소유역으로 산간지대에 속하며 인근유역의 강우에 영향이 적은 편이다.

모형에 적용한 수문사상은 다음과 같다. 유출량은 유역출구에 설치되어 있는 수위관측소 자료를 이용하고, 강우는 유역내의 우량관측소 자료를 이용한다. 따라서 2001년부터 2009년까지 수문자료를 수집하고, 자료의 상태를 파악하였다. 관측자료의 보유현황을 살펴보면 강수 관측은 매년 1월과 2월은 동절기 TELEMETER의 동파방지를 위해 관측을 하지 않았다. 또한 수위-유량 곡선식은 1992년부터 수위-유량 관측을 통하여 개발되었다[5,6].

수집된 수문자료를 이용하여 본 연구에 적용할 수문사상을 선택한 결과 2006년 7월 4~6일, 2007년 7월 5~9일, 2007년 8월 4~8일, 2008년 3월 19~26일, 8월 18~19일, 2009년 9월 23~25일 등 6개의 수문사상을 선택하였다[7] (표 2).

[표 2] 선택 수문사상

사상	기간	총 강우 깊이 (mm)	강우지속시간(hour)	최대강우 강도 (mm/hr)	유출고 (mm)	호우 원인
1	06.7.4~6	102.0	20	16.0	91.0	장마 전선
2	07.7.5~9	157.0	20	2.0	182.0	장마 전선
3	07.8.4~8	1510	34	30.0	158.0	저기압
4	08.3.19~26	47.0	10	17.0	18.0	저기압
5	08.8.18~23	104.0	8	27.0	68.6	저기압
6	09.9.23~27	184.0	49	20.0	169.0	태풍

4. 적용모형

TOPMOEDL은 비교적 적은 수의 매개변수와 물리적 근거를 기반으로한 수문모형으로 유역의 지형특성에 근거를 두고 유출기여면적의 변화를 고려한 유출모형이다[9].

4.1 매개상수화

TOPMOEDL에 사용되는 매개변수는 지수저류매개변수(m), 투수량계수(T_0), 불포화대 지체시간(TD), 주하도 추적속도(CHV), 소유역추적속도(RV), 뿌리지대 유효 함수능(SRMAX), 초기 유출량(Q_0), 뿌리지대 저류 부족량(SR0)등이다(표 3). 이들 매개변수들은 유역의 물리적 탐사를 통해 직접 구할 수 있는 변수들도 있으며, 직접 구할 수 없는 매개변수에 대해서는 경험식에 의해 산정할 수 밖에 없다[11].

본 연구에서는 TOPMODEL의 매개변수를 유역의 특성치를 이용하여 의사화 하였다. 먼저 투수량계수 T_0 는 유역 면적(A)과 수계길이(L)를 이용하여 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$T_0 = a(A/L^2) + b(a, b \text{는 상수}) \quad (1)$$

주하도추적속도 CHV는 수로의 평균하상구배 S_c 를 이용하여 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$CHV = \theta S_c^w (\theta, w \text{는 상수}) \quad (2)$$

소유역추적속도 RV는 평균유역경사 S를 이용하여 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$RV = \delta - \epsilon S (\delta, \epsilon \text{는 상수}) \quad (3)$$

한편, 이광수(1998)는 유역의 평균추적속도를 다음과 같이 유도하였다[8].

$$RV = \frac{1}{T} D = \frac{1}{2.51} A^{-0.38} D \quad (4)$$

여기서, T 는 유달시간(hr), A 는 유역면적(km²), 그리고 D 는 유역을 격자구조로 볼 때 격자와 유역 출구점까지의 최장거리(m)이다.

뿌리지대 유효 함수능 SRMAX는 누가손실량(L)과 누가강우량(R), 그리고 초기유출량(Q_0)를 이용하여 아래의 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$SRMAX = \beta(L/R) + \alpha Q_0 (\alpha, \beta \text{는 상수}) \quad (5)$$

뿌리지대 저류부족량의 초기값 SR0는 초기유출량(Q_0)을 이용하여 다음과 같이 나타냈다.

$$SR0 = \gamma - \alpha Q_0 (\alpha, \gamma \text{는 상수}) \quad (6)$$

TOPMODEL을 적용한 연구사례를 종합하여 그 매개변수 값의 범위를 살펴보면 m은 0.00666~0.03437, TD는 3~3000, SRMAX는 0.01~1의 범위를 가진다[8].

4.2 매개상수 조정법

TOPMODEL의 매개상수를 동정하기 위해서 자동보정 방법인 Pattern-Search 기법을 채택하였다[12].

Pattern-Search기법은Hooke and Jeeves(1961)에 의해 개발된 직접 탐색법의 일종으로 알고리즘이 효율적이고 해의 안정성이 우수하기 때문에 현재 미기상국에서 Soil Moisture Accounting Model의 보정에 사용하고 있을 뿐 아니라 여러분야의 비선형 모형으로 사용되어 왔다.

Pattern-Search기법은 크게 탐색 이동(exploratory move) 과 표본이동(pattern move)의 두 과정으로 나누어지며 이 두 과정의 반복시행에 의해 목적함수의 최적해를 찾아가게 된다. 일반적으로 유출모형의 목적함수는 다음 식과 같다.

$$f(E) = f[Q' - Q(a,b)] \quad (7)$$

여기서, $Q' = (q_1, q_2, \dots, q_n)$ 는 관측유량값이고, Q 는 모형에 의한 산정 유량값을 나타내며 a 는 모형의 입력변수, b 는 모형의 매개변수이다.

Dawdy 와 O'Donnel(1965)은 식(8)와 같이 관측값과 모의 발생값의 시간별 편차의 자승 합(sum of square of residual)을 목적함수로 하였다.

$$F(E) = \min_{a,b} \sum_{t=1}^n [Q'_t - Q_t(a,b)]^2 \quad (8)$$

여기서, E , Q'_t 와 $Q_t(a,b)$ 는 각각 오차, 시간 t 에서 관측값과 모의 값을 나타낸다. 식(8)는 유량의 자승인 차원을 가지므로 관측 및 모의된 유량의 첨두치에 중점을 두는 결과가 된다. 본 연구에서는 식(8)의 형태를 목적함수로 채택하였다.

5. 적용 및 고찰

TOPMODEL의 주요변수인 지형지수를 본 연구의 대상 유역인 쌍치유역에 대하여 산출하고, 패턴서치(PATTERN SEARCH)기법을 이용하여 매개변수를 최적화 하였다.

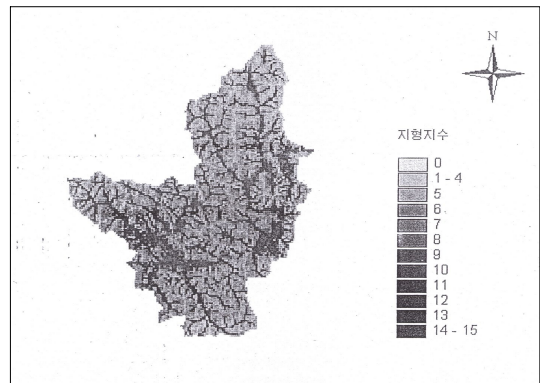
5.1 지형지수 산출

본 연구의 대상유역인 쌍치유역의 지형지수를 구하기 위해 격자크기가 100m×100m인 수치고도모형(DEM)을 사용하였고, 지형지수 분포곡선의 종거수는 30개로 하였다. 지형지수(topographic index)는 $\ln(a/\tan\beta)$ 로서, a 는 단위등고선 길이당 상부사면면적을 가리키고, $\tan\beta$ 는 경사구배를 나타낸다. 쌍치유역의 지형지수를 계산한 결과 지형지수 분포도와 지형지수 빈도곡선 분포도는 그림 1과 그림 2와 같다. 지형지수가 낮으면 높은 고도의 지형을 의미하는 것으로 비교적 높은 고도의 산악지형으로 이루어진 쌍치 유역의 경우는 4.02516~15.71650의 범위를 가지고, 낮은 지형지수값을 가지는 지역이 많은 편

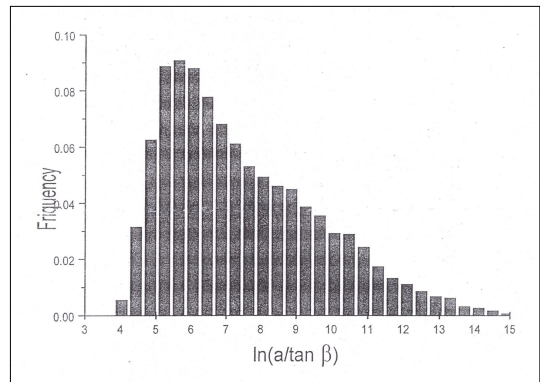
이다. 지형지수의 유역평균값은 7.46099이다.

5.2 매개변수 산정

TOPMODEL에서 사용되는 m , T_0 , TD , CHV , RV , $SRMAX$, Q_0 , SRO 등의 매개변수를 Pattern Search기법을 이용하여 동정하였다. 모형의 매개변수 초기 값으로는 K. J. BEVEN이 제안한 값을 사용하였다[9]. 각각의 수문 사상에 대하여 매개변수의 조정값은 아래의 표 3와 같다.



[그림 1] 지형지수 분포도



[그림 2] 지형지수 빈도 곡선 분포도

매개변수별로 살펴보면 m 은 0.018~0.085의 범위를 가지며 평균값은 0.0312, T_0 값은 6.5~8.0의 범위를 가지며 평균값은 7.78, TD 는 5.0~7.0의 범위와 평균값 6.85, CHV 는 3600.0, RV 는 3600.0, $SRMAX$ 는 0.05, Q_0 (초기 유출량)은 $4.76382 \times 10^6 \sim 8.10459 \times 10^4$, SR 은 0.002의 값을 가진다. 매개변수의 변동으로 볼 때 수문 사상에 따라 m 값과 T_0 , TD 의 값은 예민하게 반응하였으나 나머지의 매개변수는 결과치에 거의 영향을 주지않았다.

수문 사상별로 살펴보면 m 은 사상 2가 최저값을 사상

1이 최고값을 가지며, T_0 는 사상 2~7은 동일하게 8.0이고 사상 1은 6.5이다. TD는 사상3이 8.0으로 최고값이고 사상 1이 5.0으로 최저값을 가진다. 매개변수의 조정을 거친 TOPMODEL에 의한 계산 유출량과 관측 유출량과 비교하여 그림3~8에 도시하였다.

[표 3] 매개변수 조정값

사상	m	T_0	TD	CHV	RV
1	0.018	8.0	7.0	3600.0	3600.0
2	0.024	8.0	8.0	3600.0	3600.0
3	0.024	8.0	7.0	3600.0	3600.0
4	0.0096	8.0	7.0	3600.0	3600.0
5	0.034	8.0	7.0	3600.0	3600.0
6	0.024	8.0	7.0	3600.0	3600.0
평균	0.022	8.00	7.17	3600.0	3600.0

사상	SRMAX	Q_0	SR0	$f(E)$
1	0.05	0.000080969	0.002	1.721×10^{-5}
2	0.05	0.000186607	0.002	1.997×10^{-4}
3	0.05	0.000170876	0.002	1.251×10^{-4}
4	0.05	0.000047638	0.002	9.321×10^{-5}
5	0.05	0.000810459	0.002	1.694×10^{-5}
6	0.05	0.000287311	0.002	7.597×10^{-5}
평균	0.05		0.002	

5.3 모의 유출결과

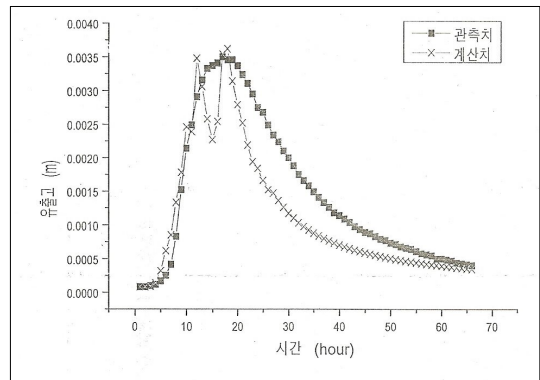
선택한 수문사상에 대하여 TOPMODEL을 이용하여 유출을 모의하였다. 그 결과 그림3~8과 같이 관측 유출을 잘 모의하는 것으로 나타났다.

각 수문사상별로 모의유출결과를 살펴보면, 2006년 7월 4~6일의 수문사상은 강수량자료를 보면 복합호우사상의 형태를 가진다. 그리하여, TOPMODEL에 의한 유출모의결과는 첨두유출을 두 개 가지는 복합강우의 유출수문곡선형태를 보이고 있다. 이는 수문자료가 정확하지 못하다는 것을 의미한다. 하지만 이 점을 고려하지 않고 모의된 결과를 살펴보면 첨두유출량과 첨두시각은 매개변수의 조정으로 관측치와 계산치가 거의 일치함을 알 수 있다. 2007년 7월 5~9일 수문사상은 선행강우에 의한 수문곡선은 비교적 완만하고 후행강우에 의한 수문곡선은 2시간에 걸쳐 44mm의 강우가 집중되어 매우 급한 상승과 하강곡선부를 갖는다. 선행호우사상은 첨두유출량이 다소 적게

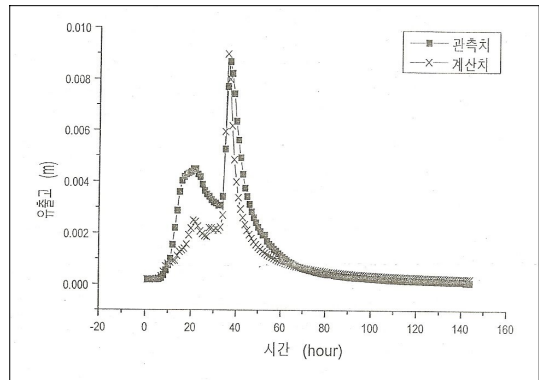
모의되었으나 첨두유출 발생시각은 일치하고 있으며, 후행호우사상은 첨두유출량과 첨두발생시각이 거의 일치하고 있다.

2007년 8월 4~8일의 수문사상은 강우지속시간이 20시간이며 최대강우강도가 23mm/hr, 총 강우깊이가 151mm인 비교적 많은 양의 강수량을 가지는 수문사상이다.

강우중심부에 3시간에 걸쳐 49mm의 강우가 집중되어 수문곡선의 첨두부가 매우 급하며, 강우후기에 유효강우가 거의 내리지 않아서 하강곡선도 매우 급하게 감소한다.



[그림 3] 유출수문곡선비교(060704-06)



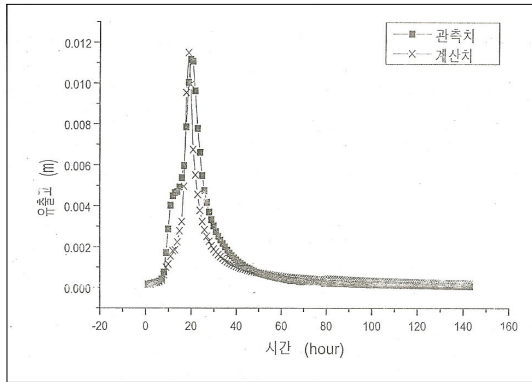
[그림 4] 유출수문곡선비교(070705-09)

모형에 의한 유출모의 결과도 초기의 상승부의 완곡구간에 대한 모의는 다소 차이를 보이지만 첨두부에 가까워지면서 상승부와 첨두유출, 그리고 하강곡선의 경우는 매우 잘 모의 되었음을 볼 수 있다.

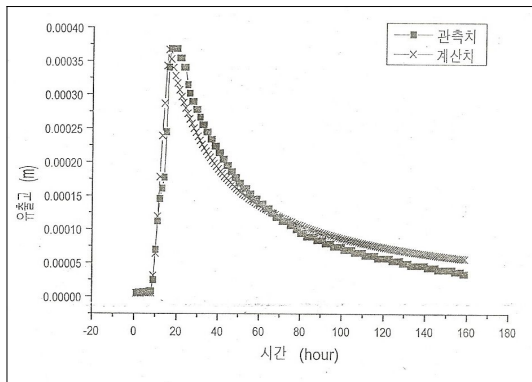
2008년 3월 19~26일의 수문사상은 8시간의 강우지속시간을 가지고 있으며, 강우초기에는 강수량이 매우 적으나 강우후기에 강우가 집중되어 최대강우시간 이후로 강수량 대부분 분포하고 있다. 수문곡선은 강우가 4시간동안 총강수량의 약 80%인 34mm가 집중되어 발생하여 상

승부와 침투부의 곡선이 급하고, 강우후기의 유효강우의 영향으로 하강곡선부는 비교적 완만한 편이다.

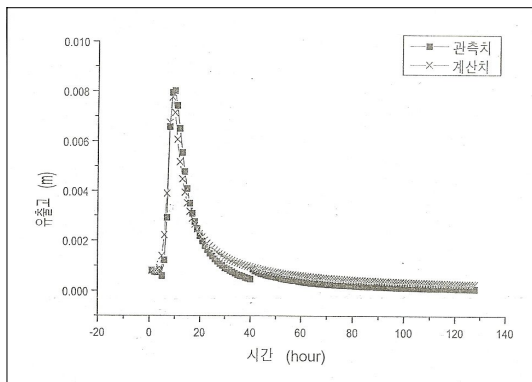
강수발생 후 침투도달시간은 25시간이고 지체시간은 17시간으로 비교적 길다. 이는 시기상 3월은 갈수기로 토양의 함수율이 적어서 그 지체시간이 길어진 것으로 판단된다.



[그림 5] 유출수문곡선비교(070804-08)



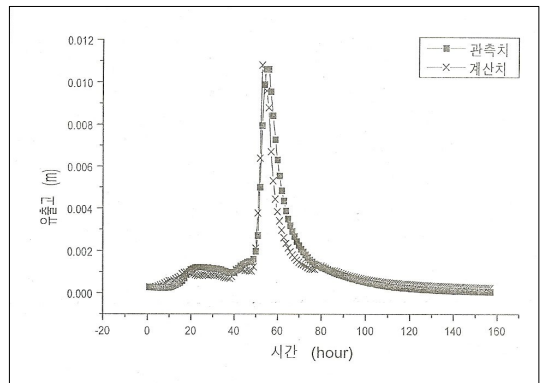
[그림 6] 유출수문곡선비교(080319-26)



[그림 7] 유출수문곡선비교(080818-23)

2008년 8월 18~23일의 수문사상은 강우지속시간은 8시간으로 짧으나 최대 강우강도가 27mm/hr이고 총강우깊이가 104mm, 유출고는 68.64mm이다. 본 수문사상은 강우가 최대강우시간대에 4시간에 걸쳐 총 강수량의 약 85%인 89mm가 집중적으로 발생하여 상승곡선이 매우 급하고, 강우후기에도 유효강수량이 적어 매우 급한 곡선형을 보인다.

2009년 9월 23~27일의 수문사상은 강우지속시간이 49시간인 복합 호우사상으로는 매우 긴 지속시간을 가진다. 강우 초기에 강우강도가 5mm/hr 이하의 약한 강우가 연속적으로 발생하였으며 강우중심부에는 비교적 집중되어 발생하였다. 최대강우강도는 20mm/hr이고 총강우깊이는 184mm/hr, 유출고는 169.00mm이다. 수문곡선상에서도 강우초기는 상승곡선이 거의 수평에 가깝고, 집중강우가 발생한 후 상승곡선이 매우 급하게 나타나며, 강우후기에 유효강우가 거의 발생하지 않아서 하강곡선부도 급하게 나타났다.



[그림 8] 유출수문곡선비교(090923-27)

6. 결론

본 연구에서는 개념적 분포모형인 TOPMODEL을 쌍치유역에 적용하여 유출을 모의하기 위하여 셀 간격이 100m×100m인 수치고도모형(DEM)을 이용하여 쌍치유역의 지형지수를 산출하였으며, 쌍치유역의 우랑관측소와 수위관측소의 강수량 및 수위자료를 바탕으로 시간단위의 수문사상을 선택하였으며, 선택된 수문사상을 TOPMODEL에 적용하여 유출을 모의하고 그 적합성을 판별하였다. 또한 모형의 매개변수를 동정하기 위하여 매개변수 조정법을 적용하였다.

이상의 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 쌍치유역의 지형지수를 계산한 결과 4.025~15.716의 범위를 가지고, 낮은 지형지수값을 가지는 지역이 많은 편으로 섬진강 유역의 최상류에 위치한 쌍치유역의 높은 고도값이 반영된 결과로 판단된다. 지형지수의 빈도가 가장 큰 값은 5.638이며, 지형지수의 유역평균 값은 7.461이다.
2. 매개변수값의 조정 결과 m 은 0.018~0.034의 범위를 가지며 평균값은 0.022, T_0 는 8.0으로 일정한 값을 가지며, TD는 2007년 7월 5~9일의 수문사상은 8.0의 값을 갖고 나머지는 7.0을 가진다. 외 CHV는 3600.0, RV는 3600.0, SRMAX는 0.05, SR은 0.002로 전 수문사상에 대해 동일한 값을 가지는 것으로 나타났다.
3. 매개변수의 동정을 살펴보면 m 은 유역의 강우발생 초기의 토양함수율과 매우 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다. 갈수기의 수문사상인 2008년 3월의 수문사상은 m 값이 0.0096으로 현저하게 낮은 값을 가지고 홍수기인 7~9월의 나머지 수문사상은 0.018~0.034의 값으로 비슷한 값을 가진다.
4. TOPMODEL의 유출모의 결과 관측치와 비교하여 뛰어난 적용성을 보였다. 조정된 매개변수값을 쌍치유역의 유출을 모의한 결과 관측값과 모의값의 시간별 편차의 자승의 합이 $1.721 \times 10^{-5} \sim 1.251 \times 10^{-4}$ 의 범위를 가졌다.
5. 유출모의 결과 총 유효강수량과 모의 유출량을 비교하여 63.94~79.93%의 유출률을 보였다. 이는 TOPMODEL이 쌍치유역의 유출해석에 매우 우수한 적용성을 나타낸 것이다.

참고문헌

- [1] 선우중호, 수문학, 동명사, p159~188, 1993
- [2] 전라북도, 추령천 하천정비 기본계획, 1990
- [3] 임병철, 쌍치유역의 장기유출모형에 관한 연구, 전북대학교 대학원, 1999
- [4] 윤태훈, 응용수문학, p235~245, 1997
- [5] 한국수자원공사, '98 섬진강댐 유량측정보고서', 1998
- [6] 한국수자원공사, 섬진강댐 관리연보, 1992~1997
- [7] 중앙기상대, 기상월보, 2006~2009
- [8] 이광수, 소유역의 비점오염원 부하량 예측을 위한 TOPMODEL의 개선과 적용, 서울대학교 환경대학원, 1998
- [9] Keith Beven, Jim Freer and Vruno Ambrose, Toward a generalization of the TOPMODEL concepts:

Topographic indices of hydrological similarity, Water resource and reseach, vol. 32, NO.7., 1996

- [10] Beven, K. J. and Kirkby, M. J., A physically-based variable contributing area model of basin hydrology, Hydrological Sciences Bull., 24(1), 43~69, 1979
- [11] Vihay P. Singh, HYDROLOGIC SYSTEMS Voume II Watershed Modeling, Prentice-Hall, Inc., p627~668, 1989
- [12] John C. Monro, Direct search optimization in mathematical modeling and a watershed model application, NOAA Technical Memorandum NWS HYDRO-12, 1971.

강성준(Sung-Jun kang)

[정회원]



- 1983년 2월 : 서울대학교 조선공학과(학사)
- 1985년 2월 : 서울대학교 조선공학과(석사)
- 1990년 2월 : 서울대학교 조선공학과(박사)
- 1992년 ~ 1993년 : 원자력연구소 선임연구원
- 1993년 ~ 현재 : 전북대학교 기계시스템공학부 교수

<관심분야>
전산구조해석, 구조설계

박영기(Young-Ki Park)

[정회원]



- 1983년 2월 : 전북대학교 토목공학과(공학사)
- 1985년 2월 : 전북대학교 대학원 토목공학과(공학석사)
- 1989년 8월 : 전북대학교 대학원 토목공학과(공학박사)
- 1996년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 사회기반공학과 교수

<관심 분야>
수자원 시스템 평가, 해수유동 모델, 확산모델링, 수질 모델링, Stochastic Processes