

# 분포형 강우-유출 모형 자료구축을 위한 하상경사 산정공식 개발

## Development of Stream Bed-slope Estimation Equation for Preparing Data in a Grid-based Storm Runoff Model

정인균\* · 조형경\*\* · 박종윤\*\*\* · 박민지\*\*\* · 김성준\*\*\*\*

In Kyun Jung, Hyung Kyung Joh, Jong Yoon Park, Min Ji Park, Seong Joon Kim

### 요 지

분포형 강우-유출모형의 모의결과는 지형, 토지피복 및 토양 특성에 영향을 받는다. 그 중에서 지형과 관련하여 하도에 위치한 셀의 경사는 침투 유출량의 도달시간과 매우 밀접한 관계가 있다. 분포형 강우-유출모형에서 하도의 지형적 특성은 모든 하도 셀마다 입력되어야 하는데 셀이 위치한 지점별로 실제 하천측량을 통해 입력하는 것이 가장 정확한 방법일 수 있으나 시간과 많은 비용이 소요되므로 DEM(Digital Elevation Model)으로부터 산정된 경사 값을 주로 적용한다. 본 연구에서는 충주댐유역의 2006~2008년 수립된 13개 하천의 하천정비기본계획을 참고하여 1,100개 횡단측점에 대한 하상경사를 구축하고 유역의 흐름경로길이와의 관계를 분석함으로써 분포형 강우-유출모형의 하상경사를 적용할 수 있는 산정공식을 개발하였다. 4개 강우사상에 대하여 적용하여 DEM으로부터 산정된 경사를 적용한 경우와 비교한 결과 침투유량이 증가하고 침투유출 발생시간이 단축되는 결과를 나타내었다.

**Key words** : 분포형 강우-유출모형, 하상경사, 하도자료구축

### 1. 서 론

분포형 강우-유출모형은 유역을 일정한 크기의 격자로 세분하여 셀 단위로 구분된 지형, 토지 이용 및 토양의 물리적인 특성을 직접적으로 모델링에 활용하게 되므로 유역의 평균 매개변수를 입력하는 집중형 모형과 차이가 있다. 유역이나 하도와 관련된 매개변수를 경험식을 이용하는 산정하는 과정에서 반영되는 분석자의 주관적인 판단이 최대한 배제될 수 있으며 구축된 GIS 자료가 가지고 있는 속성 및 특성들을 최대한 대상지역에 반영할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 분포형 강우-유출모형의 모의결과는 지형자료로부터 구축된 경사 값에 크게 영향을 받으며 해상도에 대한 영향도 무시할 수 없다. 이와 같은 오류를 최소화하기 위하여 하도셀이 위치한 지점에 대하여 측량된 자료를 반영하는 것이 가장 확실한 방법일 수 있으나 이 방법은 시간과 비용적 측면에서 비경제적이다. 이와 관련하여 오경두(2009)는 Vflo<sup>TM</sup> 모형에 입력될 하도 셀의 하상경사를 결정할 수 있도록 집수면적과 하도경사와의 관계식을 적용하거나, 집수면적과 하도경사의 관계를 지

\* 정회원 · 건국대학교 사회환경시스템공학과 공학박사 · E-mail : nemoik@konkuk.ac.kr  
\*\* 정회원 · 건국대학교 사회환경시스템공학과 석사과정 · E-mail : whgudrud@naver.com  
\*\*\* 정회원 · 건국대학교 사회환경시스템공학과 박사과정 · E-mail : bellyon@konkuk.ac.kr, iamg@konkuk.ac.kr  
\*\*\*\* 정회원 · 건국대학교 사회환경시스템공학과 교수 · E-mail : kimsj@konkuk.ac.kr

수함수식으로 나타낸 공식을 적용하는 방법을 소개한 바 있다. 본 연구에서는 분포형 강우-유출 모형에서 하도홍수추적에 가장 중요한 특성인 하상경사를 대체할 수 있도록 하천정비기본계획에서 제시된 최심하상고로부터 측정별 하상경사 자료를 구축하고, 유역의 배수면적 또는 흐름경로길이와의 관계를 분석하여 하천 셀의 하상경사를 보완할 수 있는 산정공식을 개발하여 적용성을 검토하고자 하였다.

## 2. 산정공식 개발 및 적용모형구축

### 2.1 자료수집 및 구축

충주댐 유역(6,661km<sup>2</sup>)을 대상지역으로 선정하였으며, 대상유역은 지난 2006년 장기간의 집중호우와 태풍 예위니아의 영향으로 인하여 하상이 심하게 변동된 지역이 많으므로 자료수집 시 2006년도 수해복구공사와 병행하여 수립되거나 그 이후에 수립된 최근의 하천정비기본계획보고서만을 고려하였다. 하천관리지리정보시스템(RIMGIS)를 검색한 결과 13개 하천에 대한 하천정비기본계획보고서를 수립할 수 있었다. 수집된 자료들의 하천등급은 지방하천으로 유역면적은 4.5~121km<sup>2</sup>, 수립연장은 1.7~17.6km, 횡단측점간격은 50~100m이다. 이를 참고로 총 1,100개 횡단측점에 대한 하상경사를 구축하였고, GIS 자료로 나타낼 수 있도록 점자료 형태로 구하였다. 하천구간의 흐름특성과 연계하여 산정공식을 개발하기 위하여 국립지리원의 1:5,000 축적 수치지도를 활용하여 DEM을 구축하고 전처리하여 흐름누적도 및 상류로부터의 흐름경로길이를 구축하였다. 이 두가지 GIS 자료와 측정자료를 중첩하여 하상경사와 배수면적, 하상경사와 흐름경로길이 간의 상관관계를 분석할 수 있도록 하였다.

### 2.2 산정공식의 개발

하상경사는 일반적으로 상류에서 급하고 하류에 이르게 되면 완만하게 되는 특성이 있다. 회귀 분석에서 x축에 해당하는 값을 결정하기 위하여 하구를 기준으로 하천중심선을 따라 거리증가에 따른 흐름누적면적과 흐름경로길이를 비교하였다. 흐름누적면적은 지류의 합류점을 지나게 되는 경우 면적이 급격하게 증가하는 반면 흐름경로길이는 일정한 형태를 나타내는 확인할 수 있었으며, 하상경사 산정공식을 개발하는데 흐름경로 길이가 적합할 것으로 판단하고 경사와 흐름경로길이와의 관계를 분석하였다. 비선형 회귀분석으로 개발된 산정공식은 식(1)과 같다. 산정식의 결정계수는 0.368로 낮은 상관관계를 나타내었다. 이와 같은 결과를 보완하기 위하여 유역과 하천의 규모나 특성이 추가적으로 고려되어야 할 것으로 되나 여러 변수가 추가되는 경우 분포형 모형의 하도자료 구축과정이 복잡해 질 수 있기 때문에 본 연구에서는 가장 간단한 방법으로 적용될 수 있도록 산정된 공식을 그대로 적용토록 하였다.

$$S_{0, str} = 0.11994 \cdot FL_{UP}^{-0.95172} \quad , \quad 1.69 \leq FL_{UP} < 23.73 \quad (1)$$

여기서,  $S_{0, str}$ 는 하폭(m),  $FL_{UP}$ 는 상류로부터의 흐름경로길이(km)이다.

### 2.3 적용모형 및 입력자료 구축 및 매개변수 보정

산정된 공식을 적용하기 위하여 격자기반 분포형 강우-유출모형 KIMSTORM(grid-based

KIneMatic wave STOrM Runoff Model; 김성준, 1998; 정인균 등 2008)을 적용하였다. KIMSTORM은 대상유역을 일정한 크기의 격자로 구성하고, 각각의 셀에 대한 지형, 지표 및 토양의 물리적인 특성들을 매개변수로 하여 주어진 시간간격별로 침투, 침투, 지표 및 지표하 유출, 기저유량을 산정한 후 격자물수지법에 의해 흐름경로를 따라 인접한 셀들로부터의 유입량과 중심 셀에서의 유출량에 대한 물수지를 계산함으로써 유역의 전반적인 수문량에 대한 시간적 변화와 공간적인 분포를 파악할 수 있는 모형이다. 유출해석을 위하여 지표셀은 3개층(지표, 불포화 및 포화 지표하층)으로, 하천셀은 단일층으로 구성되어 있다.

모형의 적용을 위하여 격자간격 500m의 DEM, 흐름방향도, 토지피복도, 토심도, 토양의 점토와 모래의 함량분포도를 구축하고 Chow 등(1998), Vieux (2004), Saxton 등(1986), Rawls와 Brakensik (1985)의 문헌과 추정식을 참고하여 모형에 필요한 지표 및 토양관련 속성들을 구축하였다. 유역내 43개 관측소이 시강우자료와 충주댐의 유입량자료를 수집하여 4개 강우사상을 선정하여 모형의 매개변수를 보정하였다. 강우는 IDW 방법에 의하여 공간내삽된 격자강우를 적요하였다. 충주댐 지점에 대한 보정결과 Nash & Sutcliffe 모형효율  $ME$ , 유출용적지수  $VCI$ , 침투유출량의 상대오차  $EQ_p$ , 침투시간차  $DT_p$ 의 평균은 각각 0.929, 1.035, 0.037, -0.406hr로 90% 이상의 모형효율을 나타내었다.

표 1. 강우사상 및 매개변수 보정결과

Code	Date of event	Duration (hr)	Rainfall (mm)	Peak runoff (m <sup>3</sup> /s)		Runoff volume (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )		Model evaluation			
				Observed	Predicted	Observed	Predicted	$ME$	$VCI$	$EQ_p$	$DT_p$ (hr)
E1	2003/09/11 16:00:00	61	109.6	9,972	10,275	804,473	833,708	0.907	1.036	0.030	-0.214
E2	2004/06/19 00:00:00	87	294.5	10,569	10,627	1,152,625	1,228,950	0.952	1.066	0.005	0.364
E3	2005/06/30 23:00:00	18	100.8	5,807	6,152	452,073	482,754	0.920	1.068	0.060	-2.742
E4	2006/07/11 21:00:00	203	543.1	22,650	21,451	3,944,006	3,826,839	0.937	0.970	0.053	0.967
Average					12,126	1,588,294	1,593,063	0.929	1.035	0.037	-0.406

### 3. 결과 및 고찰

산정공식을 적용에 따른 유출모의 결과의 변화를 분석하였다. 대상유역의 전체 하천셀 4,983개 중에서 4,047개 셀의 하상경사 값이 변경되었다. 그중 2,493개 셀은 DEM으로부터 산정된 경사 값 보다 평균값이 약 4.7배 증가하였고 1,554개 셀의 하상경사 평균값이 약2.6배 감소된 것으로 나타났다.

표 2. 산정공식 적용에 따른 하도 셀의 경사변화결과

Items	Number of cell changes		DEM-delineated	Estimation equation	Relative error (%)
Average slope(m/m)	increased	2,493	0.007116	0.033140	365.72
	decreased	1,554	0.098578	0.037549	-61.91
	total	4,047	0.042236	0.034833	-17.53

DEM으로부터 산정된 경사를 적용한 결과를 CASE1로 산정공식을 적용한 결과를 CASE2로 설정하고 4개 강우사상에 대하여 분석한 결과는 표3과 같다. 4개 강우사상에 대하여 첨두유출량이 평균 2.81% 증가하며, 이에 따라 첨두시간은 평균 2.49% 빨라지는 것으로 분석되었다. 하상경사 산정식을 적용하여 나타난 변화량은 매우 크지 않으나 적용가능성이 있는 것으로 판단된다. 적용성을 향상시키기 위하여 더 많은 자료가 수집하여 유역과 하천의 규모나 특성이 추가적으로 고려된 산정공식을 개발하고 다양한 공간 해상도에 대하여 적용성이 평가되어야 할 것으로 생각된다.

**표 3. 산정공식 적용에 첨두유량과 첨두시간의 변화**

Items		Event code				Average
		E1	E2	E3	E4	
Peak runoff (m3/sec)	CASE1	10,275	10,627	6,152	21,451	
	CASE2	10,649	10,299	6,644	22,032	
Changes(%)		3.64	-3.09	8.00	2.71	2.81
Time to peak runoff (hr)	CASE1	46.79	58.36	16.26	117.97	
	CASE2	46.19	58.13	15.14	116.29	
Changes(%)		-1.28	-0.40	-6.86	-1.42	-2.49

### 감 사 의 글

본 연구는 국토해양부 한국건설교통기술평가원의 2009 건설기술혁신사업인 ‘기후변화에 의한 수문 영향분석과 전망’과제에 의해 지원 되었습니다

### 참 고 문 헌

1. 김성준(1998). 격자기반의 운동과 강우유출모형 개발(I)-이론 및 모형, 한국수자원학회논문집, 제31권 제3호, pp. 303-308.
2. 정인균, 이미선, 박종윤, 김성준 (2008) 격자기반 운동과 강우유출모형 KIMSTORM의 개선(1) -이론 및 모형, 대한토목학회 논문집, 제28권, 제6B호, pp.697-707.
3. 국토해양부, 하천관리지리정보시스템, <http://www.river.go.kr>
4. Chow, V. T., D. R. Maidment, and L. W. Mays. (1988), *Applied Hydrology*. New York.: McGrawHill.
5. Rawls, W.J., Brakensiek D.L. and Saxton K.E. (1982) Estimation of soil water properties. Transactions American Society of Agriculture Engineers, Vol. 25, No. 5, pp. 1316-1320, 1328.
6. Saxton, K.E., Rawls, W.J., Romberger, J.S. and Papendick, R.I. (1986) Estimating generalized soil-water characteristics from texture. Soil Sci. Soc. Amer. J. Vol.50(4). pp.1031-1036.
7. Vieux, B. E. (2004) *Distributed Hydrologic Modeling Using GIS*. 2nd ed. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.