

# 지리정보시스템을 이용한 강우-유출 모의 모형

심순보\*, ○김동필\*\*, 김주훈\*\*\*, 피완섭\*\*\*\*

## 1. 서론

강우에 따른 정확한 유출량의 예측은 수자원의 계획이나 관리분야에 있어서 매우 중요하다. 지금까지 다양한 강우-유출 모형들이 개발되어 왔으나, 실 유역에 적용할 경우 신뢰할 만한 정확한 유출량 예측이 어려웠다. 하천 유역에 내린 강우로부터 유출되는 유역 유출은 하천 유역의 지형태학적 특성에 좌우되는바가 크다. 그러므로 하천 유역의 지상인자 및 지형태적 인자를 가장 잘 표현할 수 있는 모형이 절실히 필요하며, 이들 모형중 유역의 제 인자를 가장 잘 표현할 수 있는 지리정보시스템을 활용하여 강우-유출 모형을 모의하고자 한다.

본 연구는 NWS-PC 모형을 사용하여 지리정보시스템을 이용한 강우-유출 모형의 실용성을 향상 시킬 수 있도록 강우-유출 모의 모형에 관한 유출구조와 그 과정을 연구하고, 이를 금강 수계 미호천 유역에 적용하여 그 실용적 효과를 검토한 것이다.

## 2. 본론

여러 모형들중 선정된 NWS-PC 모형은 토양함수 상태의 초기조건을 고려하며, GIS tool을 이용하여 유역특성을 표현할 수 있으므로 강우-유출 모형의 실용성을 향상 시킬 수 있다.

### 2.1 모형의 구성

NWS-PC 모형은 크게 토양함수 상태계산 모형과 유역 및 하도의 흐름에 대한 추적모형으로 구성되어 있으며, 확정론적 집중 매개변수 모형에 속한다.

NWS-PC 모형에서 모의되는 유출 구성은 다음의 다섯 가지로 이루어져 있다.

- (1) 영구적인 또는 일시적인 불투수 영역으로부터 유출되는 직접 유출(direct runoff)
- (2) 상층부의 자유수 저류지가 포화되거나, 강우강도가 침투 및 중간유출률을 초과할 때 발생하는 지표면 유출
- (3) 상층부의 자유수에서 배수되는 중간유출
- (4) 보조 지하수
- (5) 기저 지하수

처음 3개의 유출성분은 운동과 추적법이나 단위도-Muskingum 방법중 사용자의 선택에 의해 계산되며, 마지막 2개의 성분으로 구성되는 지하 유출(subsurface flow)은 토양수분에 대한 선형

\* 충북대학교 공과대학 토목공학과 교수

\*\* 충북대학교 대학원 토목공학과 석사과정

\*\*\* 충북대학교 대학원 토목공학과 박사과정

\*\*\*\* 충북대학교 대학원 토목공학과 석사과정

감쇠 가중함수(Linear decay weighting function)로 계산한 후 유역 출구에서 합산된다.

NWS-PC 모형의 추적방법은 유역의 사면과 하도를 추적할 수 있는 수리학적 추적방법인 운동과 추적법을 사용하였다. 지표면 흐름이나 하천의 일차원 흐름은 St. Venant 식으로 나타낼 수 있으며, 이는 연속 방정식과 운동량 방정식으로 구성된다.

연속방정식:

$$A \frac{\partial V}{\partial x} + V T \frac{\partial y}{\partial x} + T \frac{\partial y}{\partial t} = q \quad (1)$$

운동량 방정식:

$$g(S_0 - S_f) = V \frac{\partial V}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V}{y} q \quad (2)$$

여기서,  $A$ 는 통수단면적,  $V$ 는 유속,  $T$ 는 수면폭,  $x$ 는 흐름방향의 좌표축,  $y$ 는 수심방향의 좌표축,  $t$ 는 시간,  $q$ 는 측방 유입량(lateral inflow),  $S_0$ 는 하상 경사,  $S_f$ 는 에너지 경사,  $g$ 는 중력 가속도이다. 부정류 지배방정식인 위의 식중에서, 운동량 방정식은 관성력과 중력, 마찰력 및 측방력의 운동량 변화에 지배되지만 경사가 비교적 급한 유역에서의 흐름은 주로 중력과 마찰력에 의해 지배되기 때문에 여타 항을 무시하더라도 큰 오차를 피할 수 있다. 이러한 가정하에서 흐름을 추적하는 방법을 운동과 추적법(kinematic wave routing)이라고 한다. 운동과 추적법에서의 운동량방정식은 식 (2)에서  $g(S_0 - S_f)$  이외의 항을 무시하는 경우이므로 식 (3)과 같이 나타내고 있다.

$$S_0 = S_f \quad (3)$$

## 2.2 대상홍수 선정

유역의 강우-유출 모형을 모의하기 위하여 선정된 홍수는 1994년 8월 28일부터 1994년 8월 30일까지의 자료와 1995년 8월 24일부터 1995년 8월 27일까지의 자료로서, 금강수계 미호천 유역에서 1990년부터 1996년까지 발생한 홍수중 규모가 큰 홍수들이다.

표 1. 미호천 유역의 홍수 수문 상황

flood period	rainfall (mm)	maximum inflow (m <sup>3</sup> /sec)	highest water level (EL. m)
1994. 8. 28 ~ 8. 30	205	1891.15	5.85
1995. 8. 24 ~ 8. 27	362	5747.46	8.96

## 2.3 지리정보 데이터베이스 구축

벡터 자료 및 래스터 자료의 입력과 수치지도의 작성, 각각의 자료 변환 및 처리과정 등은 그림 1에 나타난 바와 같다. 소유역 분할은 T/M 강우관측소와 수위관측소를 기준으로 GIS를 이용하여 작성하였으며, 이를 토대로 하여 Thiessen망을 구성 하였다.

대상유역의 GIS 데이터베이스 구축은 국립지리원의 기본도인 수치고도도를 이용하여 주제도인 경사도, 경사방향도를 생성하고, 하천수계도와 합성하여 하천고도도, 하천 경사방향도를 생성하였으며, 또한 기본도인 토지이용도를 생성하였다. 그외의 기본도로는 유역분할도, 하천수계도 등이 있다.

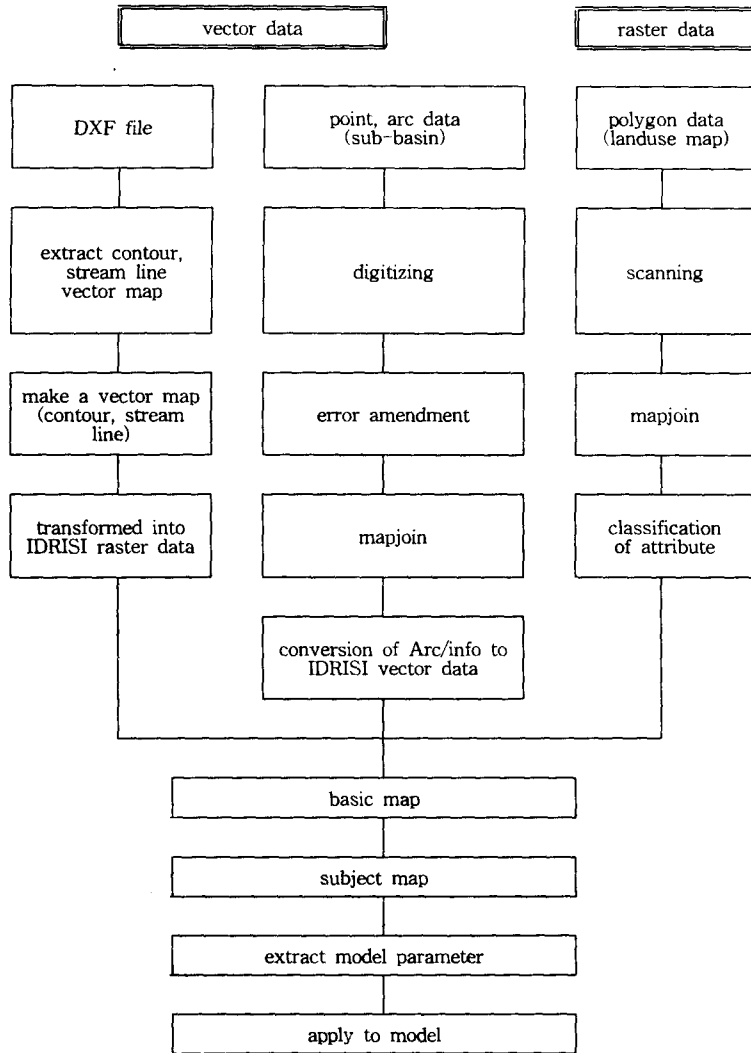
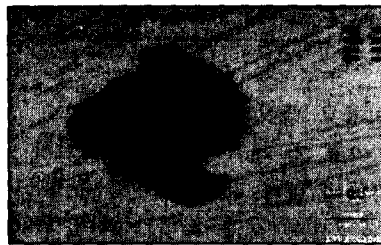


그림 1. 공간자료의 설계 및 과정



① 수치고도도



② 유역분할도



③ 하천수계도



④ 티센망도

그림 2. 지리정보시스템 수치자료 생성도

## 2.4 NWS-PC모형의 매개변수 결정

NWS-PC 모형의 SAC-SMA 모형과 운동과 추적 모형의 매개변수 결정은 전자는 추정 및 보정을 거쳐 값을 결정하였으며, 후자는 영역의 물리적 특성을 GIS를 이용하여 산정 하였다.

### 1) 토양함수 상태 모형의 매개변수 추정 및 보정

NWS-PC 모형의 매개변수 보정은 수문곡선을 분석하여 추정하는 수동보정과 제약 Rosenbrock 최적화 알고리즘을 이용하여 추정하는 자동보정이 있다.

본 연구에서는 Brazil과 Hudlow(1980)가 수동보정과 자동보정의 조합시 발생하는 불이익을 극복하기 위하여 제안한 바와 같은 3단계 즉, 초기는 수동보정으로, 중간은 자동보정으로, 최종은 두 방법을 조합하여 보정 절차를 수행하였다. 초기 모형변수를 얻기 위하여 NWS-PC모형의 매뉴얼에 기술된 절차에 따라 관측 수문곡선과 전 영역의 토양특성 및 모형 변수간의 관계를 분석하였다. 수동보정은 관측과 모의발생 흐름간의 오차를 시각적으로 비교 판단하는 과정을 통해 시행착오법으로 수행하며, 자동보정은 식 (4)와 같이 관측 및 모의발생 흐름간의 시간대별 편차제곱합을 최소화 하는 목적함수를 설정하여 직접탐색법(direct search technique)에 의해 최적치를 구하는 최적화 기법에 의해 수행되고, 자동보정되는 매개변수는 사용자가 임의로 선정하도록 되어있다.

$$\text{Min } \Sigma (Q_{\text{OBS}} - Q_{\text{CAL}})^{2.0} \quad (4)$$

여기서,  $Q_{\text{OBS}}$ 는 관측유량,  $Q_{\text{CAL}} = Q(\Pi, \theta)$ 는 계산유량을 나타낸다.

Subject to

$$\theta_{\min} \leq \theta \leq \theta_{\max} \quad (5)$$

여기서,  $\theta_{\min}$  과  $\theta_{\max}$  는 표 2에서와 같이 각 매개변수의 상·하한값을 나타내고,  $\Pi$  는 입력자료, 즉 강우량을 나타낸다.

선정한 호우사상중 홍수 규모가 가장 큰 수문자료(storm event 1)를 이용하여 NWS-PC 모형의 매개변수 초기값 추정과 보정은 National Weather Service Model : PC Version, Program and manual (1986) 3장 3절의 지침에 따라 수행하였다. 선정된 호우사상중 가장 큰 규모의 storm event 1에 대해 결정된 매개변수는 표 2와 같으며, 다른 호우사상에 대한 모형 적용시 매개변수 초기치로 사용되었으며, 이 값을 기본으로 각 호우 사상별 첨두유량 및 첨두유량 발생시간의 관측치와 모의 발생시간의 오차를 최소화하는 방향으로 미세한 보정이 이루어졌다.

표 2. SAC-SMA 모형의 매개변수 범위와 초기값 및 보정값

Soil Moisture Phase	Parameter	Description	Range		Storm event 1		
			Lower	Upper	step 1	step 2	step 3
Upper Zone	PEADJ	· ET-Demand Adjustment Factor	0.7	1.0	0.7	1	1
	UZTWM	· Upper zone tension water capacity, mm	5	200	33	45	45
	UZFWM	· Upper zone free water capacity, mm	0	70	25	0.2	0.2
	UZK	· Daily upper zone free water withdrawal rate	0.03	0.95	0.407	0.407	0.407
	ADIMP	· Additional "impervious" area (fraction)	0.0	0.7	0.01	0.5	0.5
Percolation	ZPERC	· (ZPERC+1)×PBASE= the maximum percolation rate	10	130	20	10	10
	REXP	· Exponent for the percolation equation	1	3.5	1.0	0.0	0.0
Lower Zone	LZTWM	· Lower zone tension water capacity, mm	5	625	100	160	160
	LZFSM	· Lower zone supplemental freewater capacity, mm	10	1000	200	250	250
	LZFPM	· Lower zone primary freewater capacity, mm	10	1000	370	350	350
	LZSK	· Daily supplemental withdrawal rate	0.005	0.12	0.113	0.113	0.113
	LZPK	· Daily primary withdraw rate	0.003	0.03	0.017	0.035	0.035
	PFREE	· Percent percolated water transferred directly to LZFM storages	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	RSERV	· Percent lower zone free water not transferable to LZTW	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Initial Water	UZTWC	· Upper zone tension water content, mm	0	250	50	5	50
	UZFWC	· Upper zone freewater content, mm	0	100	80	10	80
	LZTWC	· Lower zone tension water content, mm	0	200	150	20	150
	LZFSC	· Lower zone supplemental freewater content, mm	0	350	290	0	290
	LZFPC	· Lower zone primary free water content, mm	0	900	290	85	290
	ADIMC	· Tension water content of the ADIMP area, mm	0	250	200	0.01	200

2) 운동파 추적모형의 매개변수 산정

운동파 추적모형의 매개변수는 대부분 GIS package를 이용하여 추출한 값을 사용하였으며, 표 3에 다음과 같이 나타내었다.

표 3. 운동파 추적모형의 매개변수 산정값

phase	parameter	description	value		remark
			overland flow element	main channel	
kinematic wave phase	TAREA	· total flow plane area (second level partitioning)	1588.041km <sup>2</sup>		GIS
	CHLNG	· overland flow length or channel length	11262.7	70500.0	GIS
	SLOPE	· overland flow plane or channel slope	0.172	0.0083	GIS
	RCMAN	· roughness coefficient	1.0	0.04	
	PAREA	· fraction of area serviced by overland flow plane	100.0	-	
	SAREA	· contributing area to a collector channel	-	1588.041	GIS
	ASHAPE	· shape of channel used	-	5	
	CHWDT	· channel width	-	50.05	
ZLNG	· channel side slope	-	2.3		

### 3. 비교 고찰

NWS-PC 모형중 토양함수 상태 모형의 매개변수는 표 2에서 이미 구한초기값과 보정결과를 토대로 각 홍수별 초기 수분 상태변수인 UZTWC, UZFWC, LZTWC, LZFWC, ADIMC 등을 조정하면서 관측치와 계산치를 비교하여 침투유량의 발생시간, 침투유량 및 유출 용적을 일치시켰다. 1994년부터 1995년 사이에 발생한 홍수중 2개의 홍수사상의 수문자료를 선택하여 모형에 적용, 홍수 수문곡선을 모의발생시켜 관측수문곡선과 비교 검토하였으며, 다음과 같은 결과를 보였다. storm event 1의 침투유량의 발생시간과 규모는 관측유량에대해 1시간의 격차와 13.34%의 상대적인 오차를 보였으며, storm event 2는 5시간의 격차와 0.37%의 상대적인 오차를 보였다. 그리고 유출용적 및 RMS 오차에서는 storm event 1,2 모두 많은 격차를 보이고 있다. 심순보등이 연구한 “하천수계의 홍수 예측을 위한 강우-유출 모형의 비교”에서 금번 수행한 연구결과와 비교하면 다소 차이가 있지만 더욱더 정밀한 매개변수 보정을 수행하면 정확한 값을 산정할 수 있으리라 기대된다.

### 4. 결론

본 연구는 GIS를 이용하여 강우-유출 모형의 실용성을 향상 시킬 수 있는 NWS-PC 모형을 이용하여 강우-유출 모형에 관한 유출구조와 그 과정을 나타냈으며, 금강 수계 미호천 유역에 적용하여 강우-유출 모형으로의 적용 가능성을 검토 하였다. 또한 본 연구를 통하여 GIS tool을 이용한 분산형 강우-유출 모형의 연구 및 GIS 데이터베이스 구축을 이룰 수 있었으며, 이를 모형에 적용하여 강우-유출 모형의 실용성을 향상 시킬 수 있었다.

### 5 참고문헌

1. 건설교통부, 금강홍수통제소, (1994, 1995) 금강홍수예경보
2. 신용노, (1996) “일유출 모형(NWS-PC)의 매개변수 산정 및 적용”, 석사학위논문, 충남대학교.
3. 이상호, 김영성, 신용노, (1995) “한강수계 다목적댐 하류 연속유출모형과 동력학적 하도추적 모형 연구(2차)”, 연구보고서, WRRI-WR-95-2, 한국수자원공사 수자원연구소, pp. 54-59.
4. 박노혁, (1997) 저수지의 실시간 홍수조절을 위한 의사결정 지원 시스템개발, 박사학위논문, 충북대학교.
5. 심순보, 박노혁, 김선구, 김주훈, 고덕구, (1996) “하천수계의 홍수 예측을 위한 강우-유출 모형의 비교.”, 한국수자원학회지, 제29권, 제6호, pp.237-247.
6. Brasil, L.E., and Hudlow, M.D., (1980) “Calibration procedures used with the national weather service river forecast system.” Water and related land resource systems, Cleveland, Ohio, pp. 457-466.
7. Tabios III, G., Obeysekera, J.T., and Salas, J.D., (1986) National Weather Service Model : PC Version, Program and manual assembled by the Hydrology and Water Resources Program, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.