

지리정보시스템을 이용한 도시지역 유출수문곡선 해석

조홍제* · 김정식**
토목환경공학부

<요 약>

지리정보시스템(Geographic Information System)을 이용하여 도시하천유역을 격자로 구성한 후 강우로 인한 지표면 흐름을 운동파해석으로 유출을 모의하였고 적용성을 검토하였다. 국립지리원에서 1:5000 수치지도로 제작된 유역면적 125.4km², 유로연장 23.4km인 사연제 유역을 대상지역으로 선정하였고 GIS Tool인 Arc/Info를 활용하여 본 유출모형에 필요한 지형인자를 추출하였다. 그리고 Arc/Info의 모듈인 GRID를 사용하여 수치지도를 100m×100m의 DEM (Digital Elevation Model)자료로 변환하였고 AML(Arc Macro Language)를 이용하여 강우-유출 모형을 구성하였다.

지표류에 대한 운동파의 해석은 특성곡선법을 이용하였으며, 본 모형의 적용성 검토를 위해 실측 유출곡선과 비교하였다. 그 결과 유출수문곡선의 형태는 실측치와 유사하였고, 첨두도달시간은 거의 일치하였으나 첨두유량은 재현성이 비교적 떨어지는 것으로 나타났다. 그리고 추적기간의 크기에 기인한 유출량의 변동성을 파악하기 위하여 추적기간을 600(sec)와 300(sec)로 선정하여 관측된 두 호우사상에 대해 각각 적용한 결과 첨두도달시간은 거의 변화가 없었으며, 첨두유량은 각각 0.27%, 9.60%의 변화가 나타났다.

A Study on Runoff Hydrograph Analysis of Urban Area Using Geographic Information System

Cho, Hong-Je · Kim, Jung-Sik
Department of Civil & Environmental Engineering

* 울산대학교 토목환경공학부 교수
**울산대학교 토목환경공학부 대학원

<Abstract>

This study is on the application and the verification of the rainfall-runoff model with distributed parameters of catchment. This model was constructed of cell-based and analyzed the surface flow by kinematic wave. The catchment for applying selected SAYUN DAM that was area of 125.4km² and main stream length of 23.4km. To construct the model, this study was using the digital elevation map(1:5,000) and landuse map(1:5,000) and a tool of GIS(Geographic Information System), Arc/Info and its interior language(AML), was used for the analysis of physiographic characteristics.

This model was used method of characteristics for analysis of kinematic wave analysis. To verify the simulation, this study made a comparison between observed hydrograph and simulated one. As the simulated results showed that the shape of hydrograph was similar to the observed one, ut the peak flow relatively increased. And it verified the effects when the routing period changes as long period or short period. Routing period was selected mean equivalent time(600sec) and its half(300sec). The results that applied to two events was 0.27% and 9.60% in the peak flow and there was no changing the time of peak.

1. 서 론

1.1 연구 배경

수리구조물의 규모를 결정하기 위해서는 대상지역의 유출현상을 파악하여 구조물의 중요도에 따라 설계빈도를 정하고 이러한 빈도에 따른 설계강우로써 유출수문곡선을 모의하고 있다. 유출수문곡선은 시·공간적으로 변화하는 강우와 이러한 강우가 복잡한 경로를 통해 유역 출구점까지 도달하는 과정 중 토양 침투, 저류, 증발산 등의 정량화가 어려우므로 유출현상을 만족스럽게 모의하기란 매우 힘들다. 따라서 강우-유출현상을 모의하기 위한 기존의 모형들은 불확실한 유출인자로 야기되는 오차를 최소화하기 위해 다양한 가정을 수반하며 이러한 가정은 매개변수의 최적화를 통해 보완되고 있다.

유출해석에 있어 유역의 다양한 지형인자를 고려한 분포형모형은 이미 이론적으로 체계화되어 있지만, 유출계산을 위한 많은 입력자료 처리에 어려움이 따른 관계로 인해 활용이 미비한 실정이었다. 최근 지리정보시스템(Geographic Information System)의 활용(과학기술처, 1995)으로 자료처리 및 관리의 문제점이 해결되면서 분포형유출모형에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 이와 더불어 인공위성으로부터 자료를 받아 활용하는 기술의 발전으로 GIS의 활용성이 극대화되고 있다.

지리정보는 홍수에정보, 저수지 조작 또는 수계오염의 전달경로 분석 등을 예측하는데 있어 매우 중요한 역할을 담당할 수 있다. 지리정보를 수문모형에 적용한 사례를 살펴보면 다음과 같다. 지형의 공간적 속성을 제공하는 수치지도를 기초로 한 분포형 모형이 다수 개발되어 국내외적으로 그 적용성에 대한 검토가 활발하게 이루어지고 있으며, 유관개념으

로 유역을 요소로 분할하는 TAPES-C (Topographic Analysis Programs for the Environment Sciences - Contour), Moore, Grayson(1991)의 TAPES-C로 작성된 요소망을 기초로 동적수문해석을 수행하도록 구축된 THALES, 그리고 Beven과 Kirkby(1979)는 지표수 및 지하수의 동적 거동을 모의하는 TOPMODEL, 그 외 ANSWER, BDSIM, SHE 등이 있다. 연구사례로는 Vieux(1991)는 불규칙삼각망(Triangular Irregular Network)을 운동과 방정식과 연결하여 유한요소해석에 적용한 바 있으며, Moore 등(1991)은 지표면, 지표하유출의 거동 예측하기 위해 운동과 방정식에 적용하였다. Bevin(1991)은 흐름경로 지수를 이용하여 사면 흐름방향을 추출하였으며, Jeson 등(1991) 유역분할, 흐름방향, 그리고 하천망을 결정하는데 불규칙삼각망을 사용하였다. 집중형모형에 대한 수치지도 또는 지형정보의 적용은 Berich(1985)는 토지이용도, 토양도로부터 SCS 유출곡선지수를 산정하여 HEC-1과 TR-20에 적용한 바 있으며, Schmidt 등(1987)과 Warwick 등(1991)은 지리정보로부터 HEC-1의 입력자료와 모형의 매개변수를 추출하기 위해 적용하였다. Sicar 등(1991)은 시간-면적곡선의 계산을 위해 적용한 바 있다. 수질분석을 위해 지리정보를 활용한 연구는 Lee와 Terstriep(1991)이 농업비점원오염(AGNPS)모형에 입력자료 추출을 위해 지리정보를 사용한 바 있다.

국내의 적용사례를 살펴보면, 수자원공사(1993)가 수자원 관리를 위해 분포형 강우-유출모형을 개발하였고, 김현준(1996)는 수치지형도를 이용하여 소유역의 홍수 유출 예측을 하였고, 조홍계 등(1997)은 TOPMODEL을 이용하여 수자원 계획에 필요한 저수유출해석에 대한 적용가능성을 확인한 바 있다. 그리고 김성준(1998)은 격자기반의 물수지 방정식을 이용하여 지표면 및 지표하 흐름을 해석할 수 있는 모형을 개발하여 연천댐 유역에 대해 적용한 바 있다.

1.2 연구목적 및 대상지역

최근 지리정보시스템(GIS)을 이용한 분포형모형의 유출해석에 관심이 높아지면서 여러 측면에서 수치지도를 이용한 유출해석의 우수성을 확인할 필요가 있다. 본 연구에서는 GIS Tools를 사용하여 지표면을 격자로 구성하고 각 격자 지형인자의 물리적 특성에 따라 운동파의 해 즉 수심과 유량을 각 요소별로 산정하였다. 이를 위해 지형의 표고차에 의한 격자들의 유출방향을 결정하고 유역 출구까지 유출량을 모의할 수 있는 분포형 유출모형을 구축하고, 본 모형의 적용 가능성을 확인하는데 주안점을 두었다.

본 모형의 적용을 위해 국립지리원에서 제작한 1/5,000 울산지역의 수치지형도를 이용하였으며, 사연댐 유역을 대상지역으로 선정하였다. 본 모형의 유출해석을 위해서 분석유역에 대한 100 m간격의 격자망을 구성하였다. 지형의 격자망구성, 유역분할, 하천망 구성, 그리고 일련의 격자단위의 유출계산을 위해 GIS Tools인 Arc/Info의 GRID 모듈과 내부 언어인 AML(Arc Macro Language)을 사용하였다.

2. 배경 이론

2.1 지표류

지표류(Overland Flow)는 지표면상에 얇은 수막형태로 흐르므로 판상류(Sheet Flow)라고도 한다. 지표류는 수심이 작으나 지면을 덮는 물은 상당한 양에 이르고 이를 지면저류라 하며, 유출집중과 유출확산의 영향을 포함하고 수문곡선의 발생을 가능하게 한다. 또한 지표류 모형에서는 시간과 공간에서 유출에 직접적인 영향을 미치는 초과강우량의 변화가 가능하다.

2.1.1 지표류에 대한 운동과 방정식

운동과는 운동량방정식에서 동역학적 항(관성, 압력 항)이 무시할 만큼 작고 중력과 마찰력이 지배적일 때 운동과가 일어나며, 이 경우 연속방정식은 아래와 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + u \frac{\partial h}{\partial x} + h \frac{\partial u}{\partial x} = q(x, t) \quad (1)$$

$$Q = \alpha(x, t)h^n \quad (2)$$

h : 수심

u : 유속

Q : 단위폭당 유량

q : 측방향 유입량 or 유효강우량

α : 운동과 마찰 매개변수

n : 운동과 지수

강우지속시간 이후 즉 $t > T$ 일 때, 단위폭당 측방향 유입량 $q(x, t) = 0$ 이며, 여기서 T 는 강우지속시간, t 는 계산시간이다. 그리고 $q(x, t)$ 가 가지는 수문학적 의미는 강우 또는 측방향 유입으로서 유출응답에 직접 기여하며, 흐름의 표면은 불투수 혹은 완전포화 상태임을 암시한다. 지표류의 해를 산정하기 위해 식 (2)를 식 (1)에 대입하면 식 (3)과 같다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h^n \frac{\partial h}{\partial x} \alpha(x, t) + \alpha(x, t)nh^{n-1} \frac{\partial h}{\partial x} = q(x, t) \quad (3)$$

식 (3)은 $0 < x < L$, $t < 0$ 의 조건하에서 성립되며, L 은 지표면 흐름길이 이다. 식 (3)은 변수에 따라 다양한 해석 방법을 가질 수 있지만, 특히 2가지 경우에 대해 고려해보면 다음과 같다.

① 매개변수 a 가 일정할 경우

$$\frac{\partial h}{\partial t} + nah^{n-1} \frac{\partial h}{\partial x} = q(x, t) \quad (4)$$

② 매개변수 a 가 공간의 함수일 경우

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h^n \frac{\partial h}{\partial x} a(x) + na(x)h^{n-1} \frac{\partial h}{\partial x} = q(x, t) \quad (5)$$

여기서 초기조건과 경계조건은 아래와 같으며 초기 건조상태를 나타낸다.

$$h(0, t) = 0, \quad 0 \leq t \leq T \quad (6)$$

$$h(x, 0) = 0, \quad 0 \leq x \leq L \quad (7)$$

3. 모형구성

3.1 수치지도작성

본 모형에 적용할 유역인 사연제유역은 국가지리정보구축사업(NGIS)에 의한 1/5,000축척의 AutoCAD형식(DXF)으로 된 국가기본 수치지도이다. 대상유역은 GIS Tools인 Arc/Info를 사용하여 Raster로 data를 변환하여 격자망을 구성하였고 이로부터 유역을 추출하였다. 또한, 입력자료로 사용될 토지이용도는 수치지도로부터 추출되었으며, 본 유출모형의 입력자료로 사용 될 토지이용도별 조도계수에 대한 속성을 입력하고 이를 격자망으로 변환하였다.

3.2 지형인자 추출 및 분석

격자망으로 구성된 대상유역은 지표흐름에 대한 운동파해석을 하기 위해 경사, 흐름방향, 유역면적, 유역경계 및 유역출구 등을 추출할 수 있다. 그림<1>은 운동파해석의 기본단위로서 격자의 구조를 보이고 있다. 그림<1>에서 빗금 친 두 삼각망(TIN)을 형성하는 1, 2, 3, 4번 점은 X, Y, Z의 좌표를 속성으로 가지며, GIS Tool을 사용하여 표고(Z)값 내삽(Interpolation)과정을 거쳐 격자망이 형성된다.

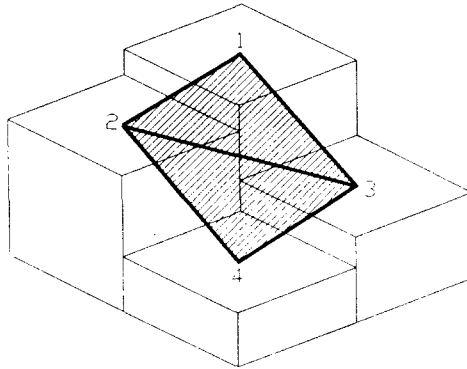


그림 <1> 격자망의 구조

표고를 가지는 격자망은 그림<2>와 같이 이웃한 8개의 격자의 구성에 따라 물이 흘러갈 수 있는 방향이 결정된다. 그리고 격자는 흐름의 방향을 기억하기 위해 그림<2>와 같이 방향에 대한 값을 가지며, 이러한 방향 값은 8방향 중 가장 급한 경사방향의 값이 격자에 기록된다.

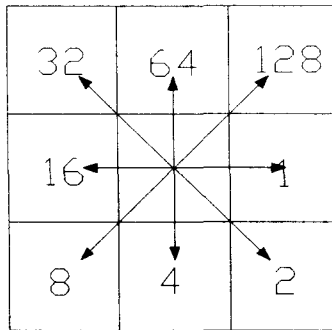


그림 <2> 흐름 방향도

유역의 하천망도는 그림<2>와 같이 3×3격자를 기초로 하여 중앙에 위치한 격자로 향하는 이웃한 격자들의 합하는 과정을 전체 격자망에 대해 이동하면서 누적시킨 값으로부터 얻을 수 있다. 즉 그림<3>에 보이는 것처럼 하천을 구성하게 되는 누적흐름 값은 격자의 크기에 따라 달라지므로 지형도를 참조하여 결정하도록 하여야 한다.

한편, 각 격자의 경사는 이웃한 8개의 격자들과 비교하여 표고 차가 가장 큰 값으로부터 구해진 경사가 중앙에 위치한 격자에 저장된다. 격자의 경사를 이용하여 사면의 흐름길이는 아래와 같이 계산될 수 있다.

$$S_{length} = \frac{L}{\cos \theta} \quad (8)$$

여기서, L 은 격자의 크기이며, 대각방향 (2, 8, 32, 128)일 경우 $1.141 L$ 이 된다.



그림 <3> 누가흐름망도

4. 운동파 적용

4.1 유출량 산정

4.1.1 지표면 유출

운동파이론은 홍수파 해석에 적용이 가능하다. 격자망을 하나의 소유역으로 생각할 수 있고, 따라서 강우 혹은 측방향 유입에 대해 각 격자는 고유의 응답을 하게 된다. 이러한 응답이 각 격자의 수문유출곡선을 의미하게 되며, 격자의 경사, 조도계수, 면적 그리고 흐름의 길이 등이 응답함수의 변수가 된다. 따라서 격자의 응답함수를 구하기 위해 운동파이론을 적용할 수 있다. 격자단위로 적용하는데 있어서, 계산시간 동안 격자 내에는 운동파 마찰 매개변수(α)가 일정하며 또한 일정한 강우강도(q)를 적용할 수 있기 때문에 응답함수의 결정에 용이하다.

4.1.2 하도유출

하천의 지형특성은 경사가 지표면에 비해 비교적 완만하며, 조도계수가 작다. 따라서, 하천흐름은 평면흐름과는 구별된다. 격자들의 흐름방향과 누적흐름으로부터 구성된 하천은 격자들이 선의 형태로 나열된 상태이므로 하천의 위치는 잘 표현하는 반면, 실질적인 하천의 폭을 표현하지 못한다. 따라서, 자연상태의 하천폭을 표현하기 위해 하천을 형성하는 격자를 중심으로 경사(S) ≤ 0.001 의 조건인 주변의 격자를 하천에 포함시켰다. 그리고 이

들 격자망의 속성테이블(Value Attribute Table, VAT)에서 지표면과 구별되는 속성을 입력하였다. 하천유출에 대한 운동과 방정식을 적용하기 위해 등류흐름(Uniform Flow)으로 가정하여, Manning 공식을 이용한 유량공식 식(9)로부터 하도유출량을 결정할 수 있다.

$$Q = \frac{E}{n_m} R^{2/3} S_0^{1/2} A \quad (9)$$

여기서, E 는 단위환산계수, n_m 은 조도계수, R 은 동수반경, 그리고 S 와 A 는 경사와 흐름 단면적이다.

4.1.3 저류방정식

격자에서 발생한 유량을 흐름방향에 따라 격자별로 유입량과 유출량을 계산기 위해, 하나의 격자에 대해서 고려해 보면 그림<4>와 같이 유출은 단방향으로만 발생하지만 유입량은 이웃한 8개의 격자들로부터 유입이 가능하다. 완전포화상태의 지표면과 하도에서 각 격자로부터의 유출량은 이전 단계에서 저류수심과 계산시간 동안 발생한 수심의 합으로 결정되며 유출방향에 따라 다음 격자로 유입된다. 이를 격자별 저류방정식(Storage Equation)으로 표현하면 식(10)과 같다.

$$\frac{I_1 + I_2}{2} - \frac{O_1 + O_2}{2} = \frac{S_1 - S_2}{\Delta t} \quad (10)$$

여기서, I_1 , O_1 , S_1 는 임의간 Δt 의 시점에 있어서의 유입량, 유출량 및 저류량이며 I_2 , O_2 , S_2 는 Δt 의 종점에 있어서의 값들을 나타내며 추적기간이라 하고 본 모형에서는 계산시간 간격이 된다. I_1 , I_2 , O_1 , S_1 은 기지 값이며, O_2 , S_2 가 결정하고자 하는 미지의 값이다.

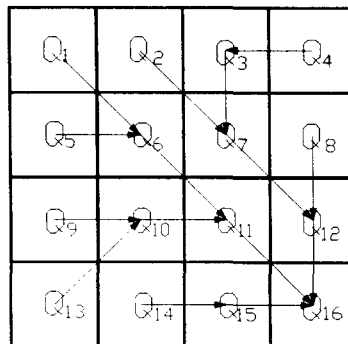
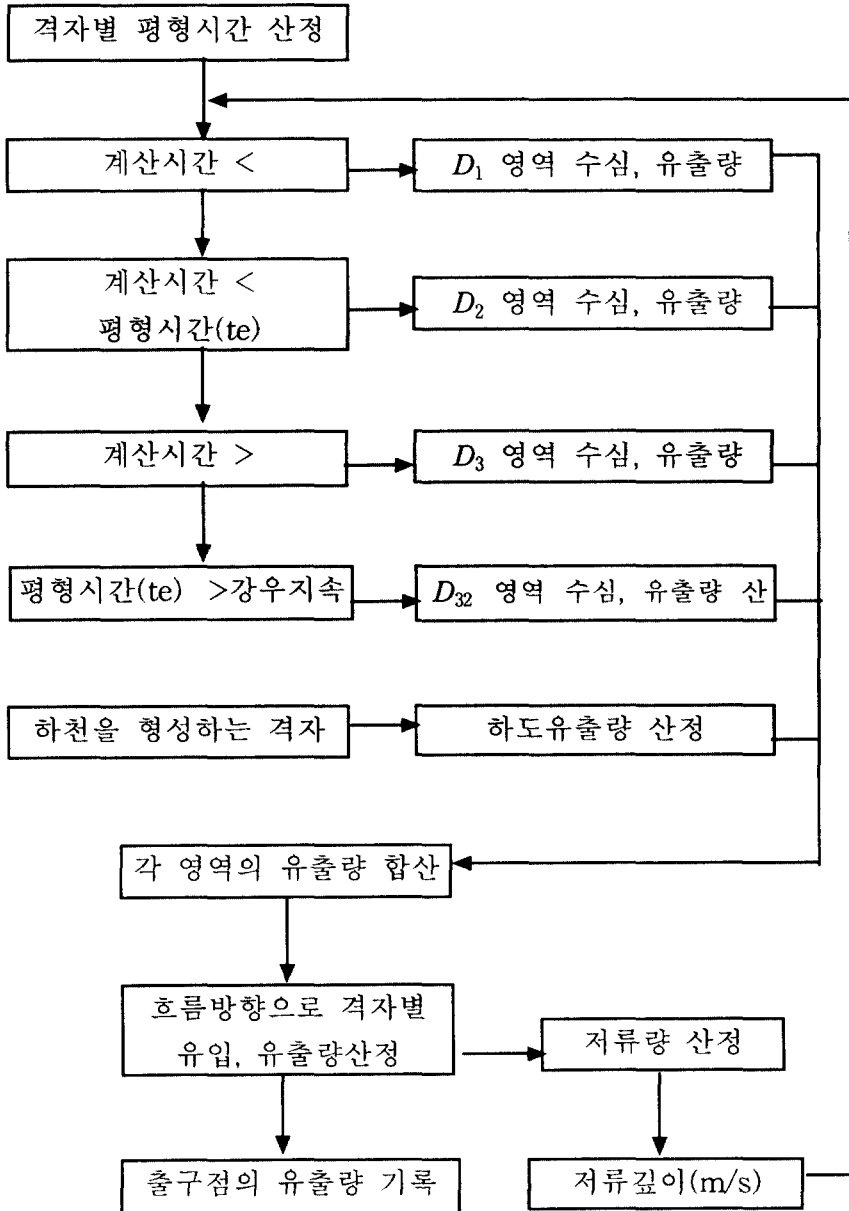


그림 <4> 유입 및 유출 흐름도

출구지점의 유출량을 계산하는 일련의 반복적인 계산 과정을 그림<5>의 유출량계산 순서도에서 나타내었다.



<그림 5>

5. 모형의 적용

5.1 유역 현황 및 관측자료

사연제는 태화강의 지류로 울산광역시 북서쪽에 위치하고 현재 울산광역시의 생활용수 공급원이며, 면적 125.4 km^2 , 유로연장 23.4 km 로 산지가 전체의 약 71%를 차지하며 전형적인 산지유역이다. 수치지도를 이용하여 작성된 사연유역은 그림<6>과 같다. 본 모형의 입력자료로 사용된 강우자료는 “울산권 광역상수도 사업 타당성 조사 및 기본계획 보고서 부록”(1996.12 수자원공사)으로부터 1991년 8월 22일 - 24일 동안의 실측 시장우량 자료를 사용하였다.

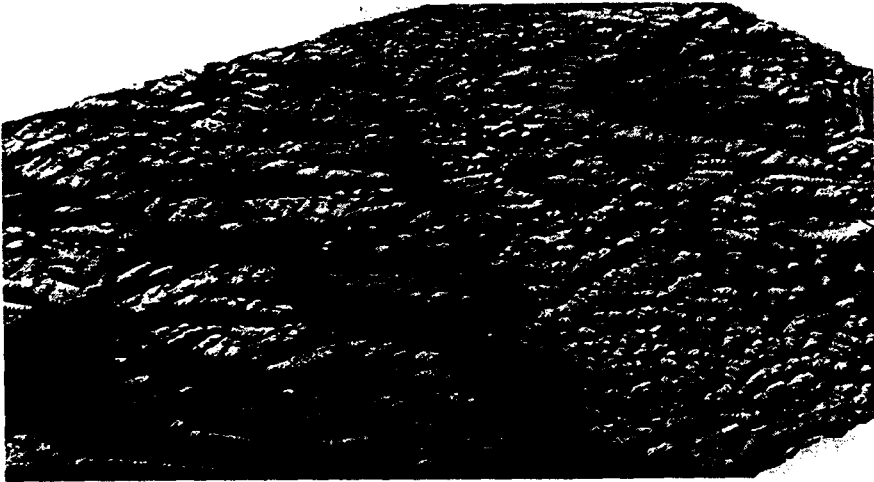


그림 <6> 사연유역 수치지도

5.2 운동파 매개변수

본 연구의 운동파 모형은 지표면 흐름의 거동을 모의함으로서 유역내 유출특성을 해석하는 모형이다. 유출모의에 영향을 미치는 매개변수는 운동파 마찰매개변수 (a)와 운동지수 (n)이며, 이들 매개변수는 일반적으로 Manning공식과 Chezy공식으로부터 결정될 수 있다. 등류흐름에 대한 Manning의 공식은 식(11)과 같이 쓸 수 있다.

$$Q = \frac{E}{n_m} S_o^{1/2} h^{5/3} \quad (R \approx h) \quad (11)$$

여기서, SI단위에서 $E=1$ 이며, n_m 은 조도계수로서 지표면의 조도계수는 하천이나 도시배수관에 사용되는 Manning공식의 조도계수 보다 크다. 따라서 “HEC-1 Manual”에서 제안한 지표면 유출에 적용되는 조도계수 값을 참조하여 본 모형에서 사용된 조도계수를

토양상태 따라 표<1>과 같이 네 가지로 분류하였고, 사면유역의 토지이용상태와 이에 대한 조도계수 분포도를 그림<7>에 나타내었다. 본 연구에서는 $\alpha = \frac{E}{n_m} S_o^{1/2}$, $n = \frac{5}{3}$ 의 값을 적용하였다.

표<1> 지표면유출 조도계수

	산지	과수원	주거지	논
조도계수(n)	0.4	0.2	0.1	0.01

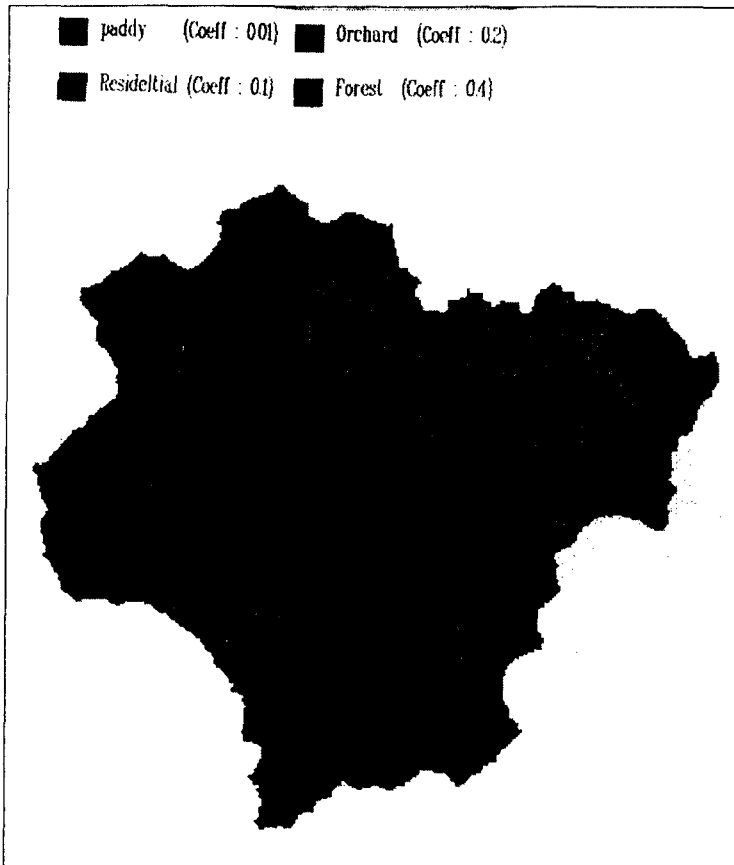


그림 <7> 조도계수 분포도

그리고 계산시간 간격 또한 유출모의에 큰 영향을 미친다. 계산시간 혹은 추적시간을 설정함에 있어서 오차를 줄이기 위해서는 가능한 한 짧은 기간을 선택해야 한다. 왜냐하면 홍수파가 고려중인 하도구간 내를 통과하는 데 소요되는 시간보다 추적기간 또는 계산시간간격이 길어지게 되면 오차를 발생시킨다. 하지만, 계산시간 간격을 정도이상으로 짧게 선택한다면 모형의 실행소요시간이 지나치게 길어지므로, 일반적으로 추적기간 (Δt)은 격

자구간을 통과하는 시간의 약 1/2 ~ 1/3범위 내에서 결정하고 있다. HEC-1유출모형에서는 유입수문곡선의 상승부 시각을 20으로 나눈 값과 수로구간에서의 유하시간 중 작은 값으로 선정하였다. 본 모형에서는 강우 크기와 지형의 특성에 따라 매시간 변화하는 유하시간을 고려하는 것이 어려우므로 유역의 평균 평형시간의 1/2값으로 정하였고, 또한 추적기간이 짧을 경우 유출모의에 미치는 영향을 파악하기위해 추적기간을 각각 600(sec), 300(sec)으로 설정하였다.

5.3 모형적용

결정된 매개변수와 강우자료를 이용하여 수문곡선을 모의하고 실측수문곡선과 비교하였다. 또한 추적기간의 변화에 따른 수문곡선의 변화를 파악하기 위하여 추적기간을 600(sec)와 300(sec)로 하여 두 호우사상을 모의하였다. 추적기간을 600(sec)로 하였을 경우 유출수문곡선을 아래의 그림<8>, 그림<9>에 나타내었으며, 사연댐의 시간당 실측유입량과 비교한 결과 침투유량과 침투도달시간에 대한 비교성과를 표<2>에 나타내었다.

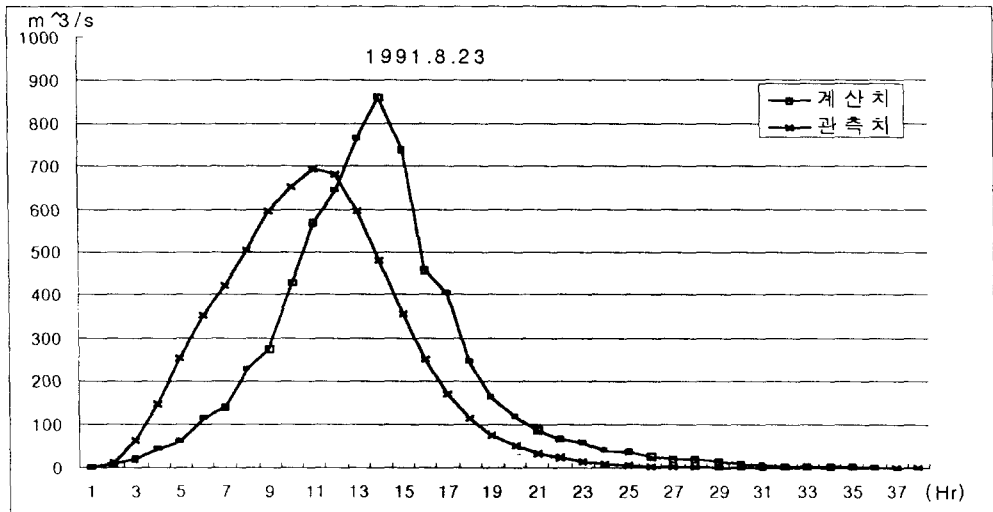


그림 <8> 유입량 비교 (호우사상 I : 추적기간 600sec)

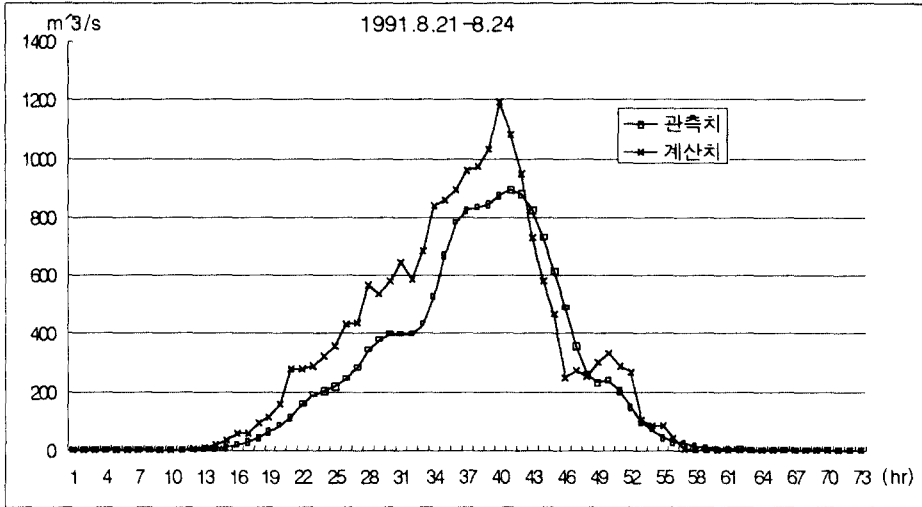


그림 <9> 유입량 비교 (호우사상Ⅱ : 추적기간 600sec)

표 <2> 결과치 비교(추적기간 600sec)

	1991. 08. 23		1991. 08. 21 - 24	
	실측치	계산치	실측치	계산치
첨두유량(m ³ /s)	693.59	860.845	874.83	1193.08
첨두시간(hr)	11	14	40	41

추적기간을 300(sec)로 하였을 경우와 추적기간을 600(sec)로 하였을 경우에 대한 비교 수문곡선을 그림<10> 및 그림<11>에 나타내었고, 첨두유량과 첨두도달시간에 대한 비교성 결과는 표<3>에 나타내었다.

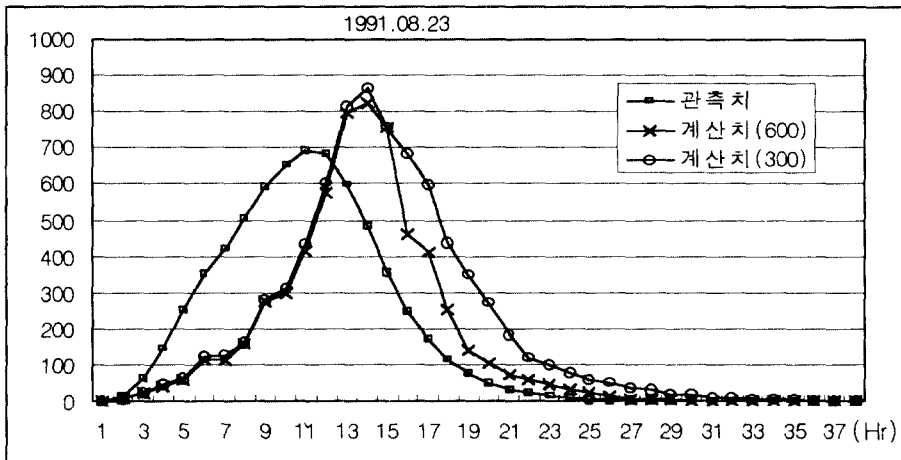


그림 <10> 추적기간 비교 (호우사상Ⅰ)

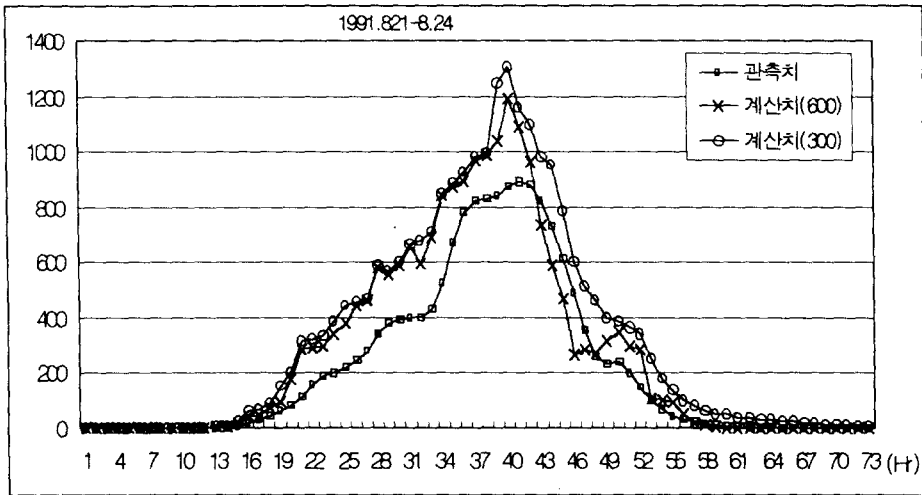


그림 <11> 추적기간 비교 (호우사상Ⅱ)

표 <3> 결과치 비교(추적기간 300 sec)

	1991. 08. 23		1991. 08. 21 - 24	
	실 측 치	계 산 치	실 측 치	계 산 치
침투유량(m ³ /s)	693.59	863.22	874.83	1307.69
침투시간(hr)	11	14	40	41

본 모형의 적용 결과를 비교 분석하여 보면, 그림<8>~그림<11> 및 표<2>~표<3>에 나타난 바와 같이 계산치와 관측치 유출곡선의 유형은 비교적 유사하게 나타났다. 표<4>에 나타난 바와 같이 침투유량에 대한 계산치와 관측치의 오차는 추적기간이 600(sec)일 경우 두 호우사상에 대해 24.11%와 36.38%였고, 300(sec)일 경우에는 24.46%와 49.48%로 나타났으며, 침투도달시간은 호우사상에 대하여 각각 3시간과 1시간의 지체로 추적기간과의 거의 무관한 것으로 나타났다.

표<4> 오차비교

	오 차			
	1991.8.23		1991.8.21-8.24	
	600	300	600	300
추적기간(sec)				
도달시간(%)	27.27	27.27	2.5	2.5
침투유량(%)	24.11	24.46	36.38	49.48

이러한 오차의 발생은 지표면 조도계수의 결정 및 운동파 매개변수의 선정에 다소 주관적 입장이 포함되어 합리성의 결여에 기인한다고 판단된다. 이러한 오차를 줄이고 모형의 문제점을 파악하기 위해서는 지표면에 대한 좀 더 정확한 물리적 특성의 분포상태를 파악되어야 하며, 이를 위해 위성자료의 활용으로 이에 대한 조도계수의 검증이 필요한 것으로 판단된다. 그리고 본 모형은 지표면이 완전 포화된 상태로 가정한 불투수 지표면에 대한 유출해석모형이므로 모형의 가정에서도 부분적인 오차를 발생시킨 것으로 판단되며, 앞으로 이를 보완하기 위해 침투 지표면에 적용 가능한 모형을 개발할 필요가 있다. 추적기간 결정에 있어서는 충분한 자료를 본 운동파모형을 적용하여 구체적인 선정기준을 확립하여야 하지만, 두 경우의 추적기간에 대해 적용해 본 결과 추적기간이 짧을수록 수문곡선상의 감소부에서 상대적으로 값이 증가하는 추세를 나타내었고 오차가 상대적으로 크게 나타났다. 따라서 추적기간은 유역의 평균 평형시간을 사용하는 것이 적절한 것으로 나타났다.

6. 결 론

최근 지리정보시스템의 발전에 힘입어 분포형유출해석이 가능해졌고 분포형유출해석을 위한 모형을 개발하고 그 적용성을 검토했으며, 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 사연제 유역을 3차원 수치지도와 토양피복도를 구축하여 운동파 이론을 바탕으로 분포형모형을 개발한 결과 본 모형의 유출곡선은 관측치와 그 형태는 유사하게 모의하였다.
- (2) 실측자료와 비교해 본 결과 침투도달시간은 거의 일치하였으나, 침투유량은 재현성이 비교적 떨어지는 것으로 나타났다.
- (3) 적절한 유출현상 재현을 위해서는 강우의 손실량 산정, 운동파매개변수의 결정방법에 있어 보완이 필요한 것으로 나타났다.
- (4) 추적기간을 유역을 구성하고 있는 격자들의 평균평형시간을 사용하는 것이 적절한 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 1997년도 울산대학교 대학원 특별지원 과제연구비에 의해 수행되었으며, 당국에 감사드립니다.

참고문헌

1. 과학기술처 (1995). "수자원관리를 위한 GIS DB구축 및 응용 소프트웨어 개발(II)." 시스템공학연구소, UC N219030.
2. 김성준(1998). "격자기반의 운동과 강우유출모형 개발(I)-이론 및 모형", 한국수자원학회 논문집, 제 31권. 제 3호. pp. 303-308
3. 김현준(1996). "강우예보의 시공간 특성을 고려한 홍수예보모형의 개발." 한국건설기술연구원.
4. 윤태훈(1997). 응용수문학, 청문각
5. 윤용남(1993). 공업수문학, 청문각
6. 조홍제 등(1997) "TOPMODEL을 이용한 강우-유출해석에 관한 연구", 한국수자원학회 제 30권 제 5호. pp.515-526
7. 한국건설기술연구원 연구보고서(1998). "격자기반의 운동차 강우유출모형 개발(I)." 한국수자원학회, 제31권 제3호, pp. 303-308.
8. 한국수자원공사(1996). "울산권 광역상수도 사업 타당성 조사 및 기본계획보고서 부록."
9. ARC/INFO Users guide. (1988). Envir. Systems Res. Inst. (ESRI), Redlands, Calif.
10. Beven. K.J., M.J. Kirkby. (1979) "A physically based, Variable contributing area model of basin hydrology.
11. Bevin,P.Q.K., chevallier,P., and Planchon, O.(1991). "The prediction of flow path for distributed hydrological modelling using digital terrain model" Hydro. Process., 5(1), 59-79.
12. ESRI(1997). "Arc Macro Language self-study workbook."
13. HEC-1 User Manual. (1985). US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center.
14. Lee,M.T., Terstriep, B.J. (1991) "Application of GIS for water quality modelling in agricultural and urban watershed" Hydr. Engrg., Proc., 1991 Nat.conf. ASCE, New York N.Y., 961-965

15. Larry W. Mays(1996). " Water Resources Handbook.", McGRAW-HILL, INC
16. Jeson, S. K. (1991) "Applications of hydrologic information automatically extracted from digital elevation models." Hydro. Process., 5(1), 31-44.
17. M. J. Kirkby (1980). Hillslope Hydrology. John Wiley & Sons.
18. Moore, I.D. & R.B. Grayson(1991). "Terrain based prediction of runoff with vector elevation data" Wat. Resour. Res. 26(5), pp 957-971.
19. Vieux, B. E. (1991). "Geographic information systems and non-point source water quality quantity modeling." Hydro. Processes, 5, 101-113.
20. Schmidt, A.R., Weiss, L.S., and Overg, K.A.(1987). "Geographic estimation of runoff model parameters", Proc., Symp. Engrg. Hydro., ASCE, New York, N. Y., 551-554
21. Vijay P.Singh (1995). "Computer Models of Watershed Hydrology", Water Resources Publications.
22. Vijay P. Singh (1996). "Kinematic Wave Modeling in Water Resources" pp.777-819. A Wiley-Interscience Publication.
23. Warwick, J. J., Hanes, S. J., and Dickey, R. O. (1991). "Integration of an ARC/INFO GIS with HEC-1." Water Resour. : Plng., Mgmt., and Urban Water Resour., Proc. of the 18th Conf., 1029-1033.