한국지리정보학회지 7권 1호 : 28~38(2004)

# DEM의 정확도 분석에 의한 도시 소유역의 유출해석

박진형[1※] · 이관수[1] · 이삼노[2]

# Runoff of an Small Urban Area Using DEM Accuracy Analysis

Jin-Hyung PARK[1※] · Kwan-Soo LEE[1] · Sam-No LEE[2]

## 요 약

본 연구는 수치지형자료의 해상도와 보간법의 변화에 따른 정확도 분석을 실시하여 도시소유역의 유출현상을 해석하고자 하였다. 수치자료는 격자크기별로 TIN 보간법을 이용하여 DEM 자료를 생성하고, 정확도 분석은 수치지도의 등고선을 이용하여 결정계수(R2)와 회귀식을 도출하였다. 검증된 DEM 자료를 사용하여 소유역구분, 면적, 유역폭, 지면경사도 등의 지형인자를 추출하여 도시유출모형에 적용시켜 여서-문수지구의 도시 소유역에 가장 적합한 유출모형을 알아보고자 한다. 모형의 적용 결과 SWMM의 유출수문곡선이 ILLUDAS의 유출수문곡선보다 실측값에 더 근사하게 나타났고, SWMM의 경우 실측값과 최대 19%, 최소 5%, 평균 13%의 오차를 나타냈다. 본 연구대상지역과 같은 도시소유역은 강우지속시간이 첨두도달시간에 미치는 영향은 미미하게 나타났다. 본 연구의 결과로 SWMM 모형이 여서-문수지역의 도시유출모형으로 적합하며 적용면에서도 더 다양한 기능과 정확성을 나타낸다고 판단된다.

주요어: 수치표고모델, 정확도 분석, 유출, 선행강우지수, ILLUDAS, SWMM

## ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze the urban hydrologic state by the use of GIS, resolution and interpolation. The determination coefficient($R^2$) and Regression Formula were derived from the contour of digital map for the accuracy, and DEM data was made by using TIN interpolation by the size of the grid. By using the observed DEM data, topographical factors were extracted from the small basin, size, the width of a basin and the slope, and were applied in the urban runoff model. Through the model, we tried to find out the most suitable runoff model in a small basin of Yosu-Munsu area. As a result of applying models to the drainage considered, the runoff hydrograph estimated by SWMM model was closer to the observed one than that estimated by ILLUDAS model.

2003년 12월 26일 접수 Recieved on December 26, 2003 / 2004년 3월 13일 심사완료 Accepted on March 13, 2004
1 전남대학교 토목공학과 Department of Civil Engineering, Chonnam National University
2 여수대학교 해양토목공학과 Department of Ocean Civil Engineering, Yosu National University
※ 연락저자 E-mail: alien@yosu.ac.kr

The difference between the runoff hydrograph by SWMM and the observed one is maximum error of 19%, minimum error of 5% and average error of 13%. The influence of duration in contrast to pick time is insignificant in a urban small basin. As a conclusion of this study, SWMM model was more suitable and applicable for the urban runoff model than ILLUDAS model due to its accuracy and various abilities.

*KEYWORDS : DEMS, Accuracy Analysis, Runoff, Rainfall Distribution, ILLUDAS, SWMM*

## 서 론

산업화 등으로 도시가 팽창하면서, 부족한 도시면적을 확보하기 위해 미개발 지역이 소규모 도시단위로 개발됨으로서 도시 내의 불투수 지역의 구성비가 증가하고 있다. 또한 근래의 강우 특성은 국지적이며 단시간에 많은 강우를 내려 홍수피해 규모가 늘어나고 있는 실정이다. 이러한 유역 내 첨두유량의 증가와 홍수도달시간의 감소로 인한 홍수피해는 자연하천유역보다 도시유역이 더 크게 나타나, 도시지역 홍수대책의 필요성이 날로 증가하고 있다. 최근 들어 소규모 개발지역에 대한 재해영향평가가 실시되면서 하천 및 도시개발 사업으로 인한 대상유역의 유출영향분석 및 침수 저감대책 마련을 위해 GIS를 이용한 국·내외의 도시유출연구가 활발히 진행되고 있다.

본 연구는 신도시개발로 건설된 여수시 여서-문수지역을 대상으로 GIS의 DEM 분석기법을 이용하여 해상도 및 보간법별로 정확도 분석을 실시하여 유역을 가장 잘 표현할 수 있는 DEM 자료로, 유역의 경사도 및 소유역 등의 지형인자를 추출하여 모델에 적용시키고, 강우분포를 변화시켜 도시소유역의 유출특성을 분석하였다.

## 연구방법 및 범위

GIS는 1980년대 우리나라에 소개되어 정보화와 개인용 컴퓨터의 발달로 그 효용가치가 높아지면서 여러 분야에 활용하게 되었다. 특히 수문분야에서 GIS의 적용 및 발달은 과거 수작업으로 이루어지던 수문인자 추출을 DEM에서 매개변수 추출(김연준과 신계종, 2002)과 해상도 분석(이근상과 조기성, 2002)등을 실행함으로써 정확도와 신뢰도를 높이고 있다. 본 연구에서는 정확도 확보를 위해 수치자료를 해상도별로 나눈 후, DEM분석방법 중 TIN quintic 보간과 linear 보간을 한 자료를 회귀분석하여 결정계수와 상관계수로 검증하였다. 강우사상별 유출량을 산정하기 위해 GIS 공간분석을 통하여 수문모델에 사용되는 인자를 추출하여 SWMM 모형과 ILLUDAS 모형 적용하여 실측값과 비교하였으며, 대상유역으로부터 우수 및 배수관망으로 유입되는 유량을 정확히 산정하기 위하여 소유역을 분할하였다. 유역특성 및 수문학적 특성을 파악하기 위하여 GIS 공간분석, 현장답사, 하수관망도, 수치지형도, 토지이용도와 각종 통계자료 등을 통하여 모형의 입력에 필요한 유역특성자료를 취득하였다.

관측일의 동일 강우사상을 각 모형에 적용시켜 실측유량과 비교함으로써 모형을 검증하였으며, 검증된 모형으로부터 재현기간 10년의 설계강우량을 Huff의 4분위법으로 모형에 분포시켜 강우사상에 따른 유출량을 분석하였다. 검증자료는 여서-문수지구의 유출이 이루어지는 연등천 토구에서 UC-2를 이용한 실측 유량 자료와 1999년 6월 23일 여수기상대에서 관측한 분 강우량을 이용하였다.

본 연구에서는 1:25,000의 수치지도를 격자크기별로 정확도를 분석하여 유출분석의 기초자료를 추출하였고, 강우분포는 Huff의 4분위

법으로 산출하여 각 구간 호우를 60분, 90분, 120분의 지속기간으로 분석하였다. 도시유역의 유출해석시 가장 중요한 요소인 첨두유량, 총 유출량, 첨두유출시간을 비교분석하여 본 연구 대상지역에 적합한 모형을 제시하고자 하였다.

## 공간지형자료 구축

### 1. 정확도 분석

다양한 해상도에 따른 DEM의 정확도를 분석하기 위하여 수치지형도 1:25,000의 등고선 자료를 사용하였다. 등고선 자료를 Arc/Info를 이용하여 수치지형도에서 10m DEM을 구축하고, TIN에서 quintic보간과 TIN linear보간을 실시하여 각각 5m, 10m, 15m, 20m, 25m, 30m, 50m의 DEM을 구축하고, 이 DEM의 정확도 분석을 위하여 수치지형도에서 추출한 10m의 해상도로 맞추기 위해 5m에서 50m까지의 DEM을 10m 크기로 다시 추출하여 수치지형도에서 추출한 10m의 DEM 자료와의 오차를 계산하였다. 각 해상도별로 일반적인 지도상에 나타난 위치의 정확도 검증을 위해 선형회귀모델을 사용하였다. 표 1은 해상도별 표준오차이다.

표 1에서 보는 바와 같이 셀 크기가 증가할수록 DEM의 표준오차가 커지고, linear방법이 quintic방법보다 크게 나오는 것을 알 수 있었다.

보간방법별로 해상도와 DEM 표준오차의 관계를 추정하기 위한 선형회귀모델은 이 모형이 어느 정도 적합한가를 결정하는 계수로서 결정계수($R^2$)가 이용된다. 결정계수는 다음과 같은 식을 사용하여 계산하였다.

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = \frac{S^2_{XY}}{S_{XX} \cdot S_{YY}} = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (1)$$

여기서 SSR은 선형관계로 설명되는 변동, SST는 총변동, SSE는 선형관계로 설명되지 않는 변동이다.

표 2에는 DEM의 표준오차와 보간방법별 상관계수와 결정계수를 나타내었다. 표에서 x 값은 셀의 크기이다. 두 분석방법은 모두 0.960 이상의 결정계수 값을 보여주었으나 TIN quintic분석이 결정계수값과 상관계수값 모두 매우 높게 나타났다. 이상의 결과를 이용하여 TIN quintic분석방법을 이용한 1:25,000의 수치지도의 주곡선 간격인 10m의 셀 자료를 사용하기로 한다.

공간정보자료는 여수지역의 하수관망도와 수치지도(1:5,000, 1:25,000), 토지이용도(1:25,000)를 이용하여 유역의 면적, 소유역 구분, 유역내 투수면적(산지 및 초지), 불투수면적(포장면적), 관로경사 및 연장, 표고 그리고 토양의 특성에 관한 정보를 얻었다. 유역분할도는 수치지형도를 이용하여 유역 분수계, 토지이용상태, 배수

**TABLE 1.** Standard deviations of DEMs derived from spatial resolution(m)

| Spatial resolution | 5m | 10m | 15m | 20m | 25m | 30m | 50m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TIN linear | 1.210 | 1.024 | 2.250 | 3.825 | 4.524 | 5.324 | 7.886 |
| TIN quintic | 1.012 | 0.985 | 1.795 | 2.750 | 3.651 | 4.753 | 7.985 |

**TABLE 2.** Results of regression analysis between spatial resolution and standard deviations

| Interpolation method | Regression fomula | Correlation coefficient | $R^2$ |
|---|---|---|---|
| TIN linear | 0.1668x-0.0308 | 0.9762 | 0.9605 |
| TIN quintic | 0.1769x-0.7697 | 0.9989 | 0.9980 |

시스템의 유입구와 지형의 경사도를 분석하여 소유역분할을 하였다. 각 소유역은 고유번호, 면적 등의 특성정보를 포함하고 있다. 토지이용특성도는 지형도(1:5,000, 1:25,000)와 토지이용도(1:25,000)로부터 주거지역, 상업지역, 도시녹지지역, 임야(산지)로 분류하여 디지타이징하고 각각의 면적을 계산하였다. GIS의 중첩분석을 통하여 유역내 소유역별 투수지역과 불투수지역을 구분하여, 녹지면적, 산지면적 및 불투수비를 구하였다. 토지이용상태는 요지 저류량 및 침투량 등과 같은 모델의 매개변수 선정에 사용하였다. 토양도는 유역내 토양의 속성정보(투수성, 배수성, 침투능)를 파악하기 위하여 사용하였으며 각 토양의 투수성과 배수성은 Horton의 침투능공식의 최대 및 최소 침투능에 대한 정보를 갖고 있다. 유역내의 하수관망은 1:5,000의 자료을 사용하였으며 하수 관로의 경사 및 크기, 모양 등에 대한 속성 정보가 나타나있다.

## 강우유출모형의 이론

도시소유역의 유출해석을 위해 ILLUDAS모형, SWMM모형을 사용하였다. 이들 모형은 서규우 등(1997), 이연길 등(2003)이 도시하천에, 이종태 등(1994)이 하수도망에 모형을 적용시켜 유출해석을 실시하였다. 이들 모형의 특성은 다음과 같다.

### 1. ILLUDAS 모형

ILLUDAS (ILLinois Urban Drainage Area Simulator) 모형은 1972년 RRL모형을 개발한 Stall 과 Terstriep이 1974년 우수관거를 통한 유출해석이 가능한 모델로 개발하였고, 포장 및 비포장지역을 모의하는 모형의 기본개념은 RRL(Road Research Laboratory) 모형의 방법과 같으나 불투수유역 및 투수유역의 유출량을 각 소유역별로 구한 후, 각 소유역의 우량주상도를 합성하여 수문곡선을 산출해 내고 이 수문곡선을 배수시스템에 따라 추적 합성하여 유역의 하단 합류부에서 총 유출수문곡선을 구하게 된다. 전체유역을 4가지의 특성으로 구분하고 각 유역별로 투수유역과 불투수유역에 대한 유출량을 계산한다. 불투수유역의 도달시간은 식 (2)에 의해 계산된다.

$$t_0 = 60 \frac{L}{V_0} + 2.0 \tag{2}$$

$$V_0 = \frac{1}{n} R^{2/3} S_0^{1/2} \tag{3}$$

여기서, $t_0$: 도달시간(min), $V_0$: 지표면 흐름의 평균유속(m/s), L: 유로연장(m), $R$: 경심 $S_0$: 지표면 평균경사, $n$: Manning의 조도계수이다.

불투수 유역에서는 요면 저류로 인한 손실만을 고려하며, 불투수유역의 유출량은 식 (4)에 의해 계산된다.

$$Q_i = 0.2778 \sum_{i=1}^{i} A_{j+1-i} I_i \tag{4}$$

여기서, $Q_i$: $i$번째 유역에서의 유출량( $m^3/s$), $A_{j+1-i}$: $i$번째 도달시간을 가지는 소유역의 면적 ($km^2$), $I_i$: 강우강도 형태의 유효우량주상도의 종거(mm/hr)이다.

강우가 불투수유역에 내려 먼저 지표면을 따라 유출이 이루어지다가 투수지역을 통과하여 집수구로 유입되는 간접연결 불투수유역에 내리는 강우는 지표면을 따라서 투수지역으로 흘러가게 되므로, 불투수유역에 내리는 강우는 요면저류로 인한 초기손실을 고려한 후 흐름의 유하시간만큼 지체시키고, 다음 투수유역에 내리는 강우와 합산하여 그 값을 투수유역에 내리는 총 강우량으로 산정한다. 투수지역으로부터 배수구에 유입하는 수문곡선을 유도하는 과정은 포장지역의 경우와 비슷하나, 등도달시간과 거리에 관해서는 Izzard의 식이 사용된다.

$$t_0 = \frac{41.025(0.0007 \cdot I + C)L^{0.33}}{S^{0.333} \cdot I^{0.67}} \quad (5)$$

여기서 $t_0$: 도달시간(min), I: 강우강도(in/hr), L: 지표면유하거리(ft), C: 지형계수(0.046), S: 표면의 무차원 평균경사이다.

## 2. SWMM의 이론

SWMM 모형은 Metcalf & Eddy, Inc.(1970)가 개발한 것으로 도시유역내의 강우로 발생하는 유출량과 오염물질에 대한 지표면 및 지표하 흐름, 배수관망에서의 유출량 추적, 저류량 산정, 오염물질의 처리와 비용계산 등을 모의할 수 있는 종합적인 도시유출모형이다. SWMM 모형의 도시유역, 인위적 배수계통을 갖는 단일 또는 연속강우에 의한 계산이 가능하며, 강우간격은 임의로 설정할 수 있다. 본 연구에서는 강우유출해석을 위해 Runoff 블럭을 사용하였다.

### 2.1 지표면유출 기본방정식

Runoff 블록에서 지표면 유출에 대한 기본방정식은 그림 1과 같이 마찰경사를 유역경사와 같다고 가정하는 Kinematic wave 근사법인 비선형 저류방정식이 사용된다. Runoff 블록은 각 소유역에서의 수심과 유량을 결정하기 위해 연속방정식과 Manning식을 사용한다.

Kinematic wave 근사법은 배수영향이 큰 경우에는 적합하지 않으며 급경사, 완만한 홍수파의 상승구간에 적용이 가능하다. 소유역에서의 연속방정식은 식 (6)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{dV}{dt} = A\frac{d(d)}{dt} = A_s i - Q \quad (6)$$

여기서, V: 물의 체적($m^3$), $d$: 수심(m), $t$: 시간(sec), $A_s$: 수표면 면적($m^2$), $i$: 초과강우량(m/s)이다. 유출량 Q는 Manning식을 사용한다.

$$Q = W \cdot \frac{1}{n}(d - d_p)^{5/3} S^{1/2} \quad (7)$$

여기서, $W$: 유역폭(m) $n$: Manning의 조도계수 $d_p$: 저면저류깊이(m) $S$: 소유역경사(m/m)이다. 미지의 값 d를 계산하기 위한 비선형 저류방정식은 식 (8)과 같다.

$$\frac{\Delta d}{\Delta t} = i - \frac{W}{A \cdot n}(d - d_P)^{5/3} S^{1/2} = i + R \cdot (d - d_P)^{5/3} \quad (8)$$

여기서, $R$은 유역폭, 경사, 조도계수 등을 하나로 표현한 변수로서 유역의 특성에 따라 변화하는 유역특성 인자이다. 평균유출량은 계

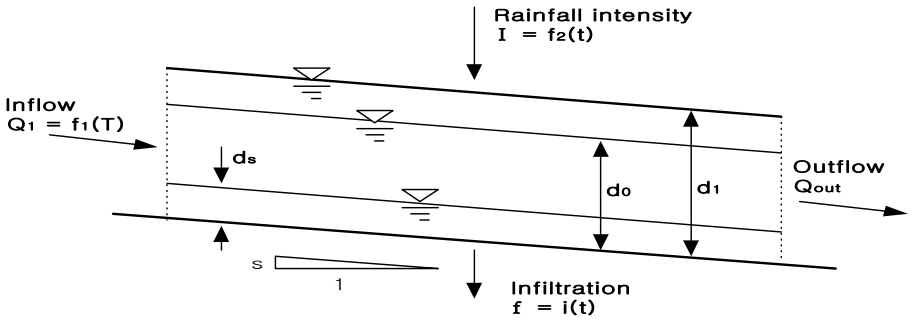


FIGURE 1. Surface runoff in Runoff block

산 초기와 종기의 수심을 평균한 값으로 계산되고 초과강우량은 각 연산 시간구간에서 입력자료로 주어진다. 식 (8)은 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{(d_{n+1}-d_{n)}}{\Delta t} = i + R(d_n + \frac{(d_{n+1}-d_{n)}}{2} - d_p)^{5/3} \quad (9)$$

여기서 dn: $t$시간에서의 수심, dn+1: $t+\Delta t$에서의 수심이다.

식 (10)은 Newton-Raphson 반복법을 이용하여 풀이되며, 미지수심 $d_2$가 계산되면 각 연산구간에서 순간유출을 계산하게 된다. 여기서 계산된 순간 유출값은 유입구나 측구 및 관로 등에 유입되며, 연속되는 SWMM 모형 내 다른 블록에 전달되는 입력 자료가 된다. Newton-Raphson 반복법을 사용하여 식 (9)에서 $d_n$을 계산하기 위하여, 먼저 식 (12)의 Newton 함수를 구성한다.

$$F = \Delta d - \Delta t[\, i_e + R d_{ave}{}^{5/3}] \quad (10)$$

식 (10)을 미분하여 정리하고 $\Delta d_{n+1}$값을 계산하기 위해 Newton-Raphson 반복법을 사용한다.

$$(\Delta d)_{n+1} = (\Delta d)_n - \frac{F_n}{dF_n / d(\Delta d)} \quad (11)$$

반복계산과정에 의해 $F_n$이 0에 수렴하는 $\Delta d$값으로부터 (n+1)단계에서의 수심 $d_{n+1}$이 계산되며, 식 (7)로부터 지표면 유량(Q)을 계산한다.

### 2.2 관로유출의 기본방정식

Runoff block에서 관로유출은 비선형 저류방정식으로부터 계산된다. 방정식의 해를 구하기 위하여 Newton-Raphson방법을 사용한다. Manning식이 각 적분 연산구간에서 사용되며, 유출현상의 동역학적 거동은 준 정상(quasi-steady)상태로 근사 처리하였다. 이 방법은 수심(d)과 단면적(A)이 시간에 따라 급하게 변화하지 않는 경우에 그 적용성이 크다. 관로유출에 사용되는 연속방정식과 Manning식은 식 (12), 식 (13)과 같다.

$$\Delta S = \Delta t \cdot (Q_t + Q_W + Q_{GW} - Q) \quad (12)$$

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} S^{1/2} \quad (13)$$

여기서, $Q_W$: 측방유입량, $Q_{GW}$: 지하수 유입량이다.

$Q$는 $d_n$과 $d_{n+1}$의 평균값을 이용하여 Manning공식으로 구한다. 관로에서도 표면유출과 같이 비선형방정식을 풀이하기 위해 Newton-Raphson의 반복법을 사용한다.

$$F = \Delta S + \Delta t \cdot (Q - Q_I - Q_W - Q_{GW}) \quad (14)$$

여기서, $Q$: 유출량, $Q_I$: 유입량이다.

## 모형의 적용

### 1. 연구대상 유역현황

본 연구의 대상유역인 여서 · 문수지구는 인위적으로 형성된 신시가지로 지형의 조건상 모든 배수 시스템이 연등천을 거쳐 여수해만으로 유출된다. 대상유역의 총 면적은 297.17ha이며, 그림 3의 3차원도와 같이 대상유역의 지형은 표고차 300m 이상의 산지로 둘러싸인 지형으로서, 산지지역은 경사가 비교적 급하고 도시형성지역은 완만하다. 그림 4는 대상유역의 도시분포도를 나타내며 그림 5는 소유역 분할도이다. 이 유역은 하천 등에 의한 외부 유입은 없으며 강우에 의한 지표면 및 지표하유출과

오수량만 존재하고, 유역내에 내리는 강우는 3.5m × 2.5m 박스형 토구에 의해 연등천으로 자연 방류되고 있다.

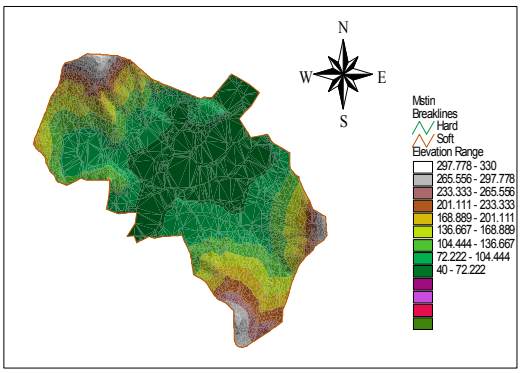


**FIGURE 2.** TIN analysis of basin

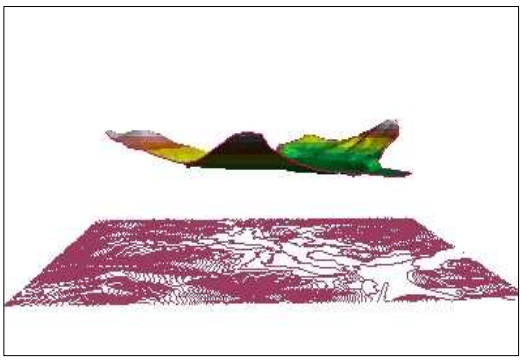

**FIGURE 3.** 3D-view of basin

대상유역은 주거지역과 상업지역으로 주로 구성되어 있으며 산지를 제외하고 거의 모든 지역의 포장이 완료된 상태이다. 대상유역의 총면적 중 임야가 차지하는 면적은 160.11ha로서 전체면적의 약 54%, 도심지역 내 투수지역은 16.8ha로서 5.6%를, 불투수 면적은 120.26ha로 40.4%를 차지하고 있다. 전체 유역에 대한 불투수 면적비로 나타낸 도시화율은 약 40%, 산지면적을 제외하였을 때 약 88%의 포장 면적비를 보인다.

대상유역을 Arc/Info를 사용하여 TIN으로 변환한 후, TINLATTICE 명령어로 DEM을 만들어 ASCII 파일로 저장하여 분석하였다. 생성된 TIN 자료와 DEM 자료를 GRID 해석하여 유역의 경계선 추출과 소유역분할, 배수관망도 등과 필요한 매개변수를 추출하였다(그림 5). 표 3은 분할된 소유역의 추출인자이다.

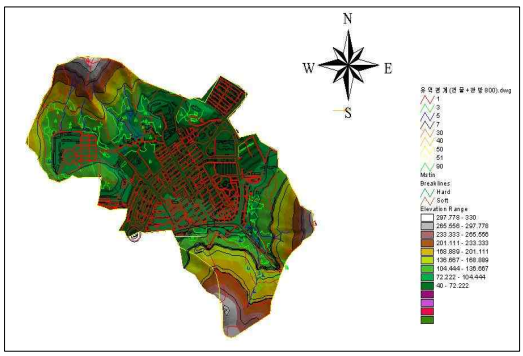


**FIGURE 4.** Urban distribution in drainage

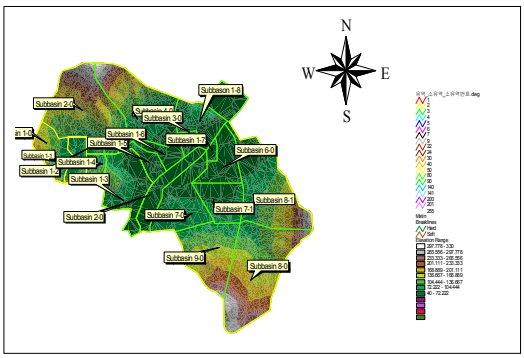


**FIGURE 5.** Subbasin in drainage basin

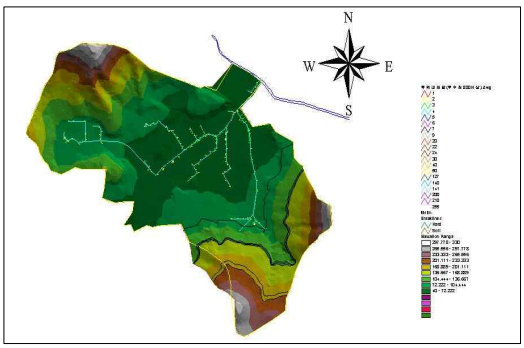


**FIGURE 6.** Pipe-network in drainage

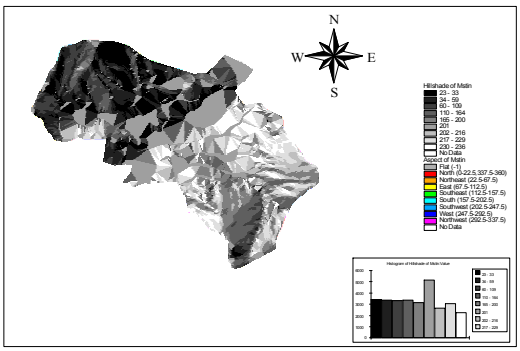

FIGURE 7. Hillshade of TIN

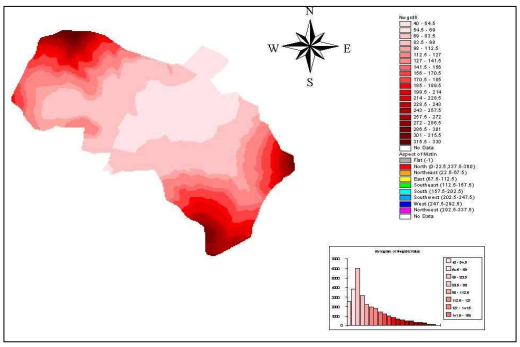

FIGURE 8. Grid analysis of basin

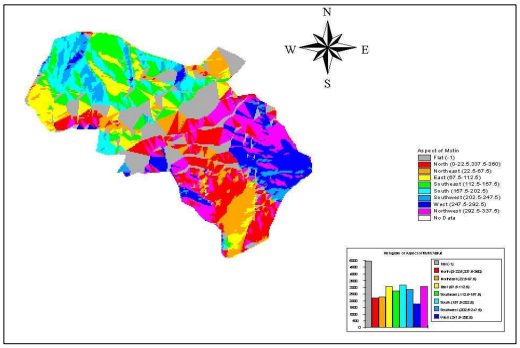

FIGURE 9. Aspect analysis

## 모형의 검증 및 적용

### 1. 모형의 검증

연구대상유역의 배수관거 체계는 분류식으로, 우수관거만의 배제능력을 검토하였으며, 배수관망 구성은 ø300㎜ 미만이 7,674m, ø300~ø800㎜미만이 73,888m, ø800㎜ 이상이 6,185m이며, 암거는 9,668m로 총연장이 약 87,000m이다. 이러한 모든 관로를 모델링하는 것은 많은 제약과 시간을 필요하기 때문에 본 연구 대상은 ø800㎜ 이상의 간선 관거로 한정하고 ø800㎜

TABLE 3. Data of subbasin characteristics

| Drain No. | Inlet No. | Area (ha) | Impervious(%) | Diameter (m) | Hight (m) | Width (m) | Length (m) | Slope (%) | C | Form |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1-0 | 1-1 | 10.5 | 33 | 0.8 | - | - | 69 | 0.67 | 0.415 | Circular |
| 1-1 | 1-2 | 6.1 | 93 | 0.9 | - | - | 205 | 0.33 | 0.720 | Circular |
| 1-2 | 1-3 | 3.7 | 42 | - | 2 | 2 | 130 | 0.65 | 0.460 | Box |
| 1-3 | 1-4 | 20.2 | 82 | - | 2 | 2 | 575 | 0.37 | 0.824 | Box |
| 1-4 | 1-5 | 5.0 | 56 | - | 2.5 | 2 | 312 | 0.15 | 0.542 | Box |
| 1-5 | 1-65 | 2.8 | 91 | - | 2.5 | 3 | 241 | 0.22 | 0.874 | Box |
| 1-6 | 1-7 | 10.3 | 87 | - | 2.5 | 3 | 78 | 0.15 | 0.836 | Box |
| 1-7 | 1-8 | 1.4 | 98 | - | 2.5 | 3.5 | 118 | 0.20 | 0.931 | Box |
| 1-8 | 1-9 | 12.0 | 38 | - | 2.3 | 4.25 | 160 | 0.18 | 0.445 | Box |
| 1-9 | OUT | 7.9 | 99 | - | 2.3 | 4.25 | 309 | 0.10 | 0.743 | Box |
| 2-0 | 1-2 | 35.7 | 1.7 | - | 1.2 | 1.2 | 285 | 0.81 | 0.245 | Box |
| 3-0 | 1-3 | 2.3 | 84 | 1.2 | - | - | 172 | 0.59 | 0.638 | Circular |
| 4-0 | 1-5 | 30.4 | 29 | - | 1.5 | 1.5 | 539 | 0.49 | 0.355 | Box |
| 5-0 | 1-6 | 5.9 | 85 | 1 | - | - | 200 | 0.44 | 0.817 | Circular |
| 6-0 | 1-7 | 20.4 | 98 | 1.1 | - | - | 447 | 0.33 | 0.743 | Circular |
| 7-0 | 7-1 | 12.3 | 83 | 0.8 | - | - | 112 | 0.13 | 0.623 | Circular |
| 7-1 | 1-8 | 11.5 | 98 | 1.1 | - | - | 396 | 0.22 | 0.588 | Circular |
| 8-0 | 8-1 | 41.1 | 6 | - | 2 | 2 | 160 | 0.78 | 0.235 | Box |
| 8-1 | 1-9 | 34.3 | 35 | - | 2.5 | 2 | 851 | 0.36 | 0.425 | Box |
| 9-0 | 8-1 | 23.4 | 15 | 0.8 | - | - | 208 | 0.22 | 0.320 | Circular |

이하의 지선관거는 단일화하거나 조합하였다. 모형의 검증을 위하여 1999년 6월 23일 여수기상대에서 관측된 분 강우량 자료와 토구에서 실측된 유출량 값 156㎥/s을 사용하였다. 분당 강우량을 합산한 일강우량 42.5㎜/day에 의한 유출모의조건은 선행토양함수조건이 비교적 습윤, 불투수지역의 초기손실량은 2.54㎜, 투수지역의 초기손실량은 5.08㎜, SCS 토양군으로 C의 값을, 초기침투능은 127㎜/hr, 종기침투능은 6.4㎜/hr와 Horton공식의 형상계수(k) 값 2로 동일조건을 사용하였으며, 대상유역을 20개의 소유역으로 분할하여 각 소유역별 불투수유역 및 투수유역의 유출량을 합산하였다.

SWMM에서 하수관거의 조도계수는 콘크리트 관일 경우 0.013, Kinematic wave공식의 표면 조도계수 값은 토지이용상태에 따라 0.015~0.080, 지표면은 상태에 따라 0.012~0.080을 사용하였다. 관로의 형태로는 대상유역의 배수관망 형태인 원형과 직사각형을 선택하였다(표 3).

검증 결과, 관측값과 모형의 오차는 ILLUDAS는 약 92%이내, SWMM은 약 95% 이내의 정확도를 갖는다(그림 10).

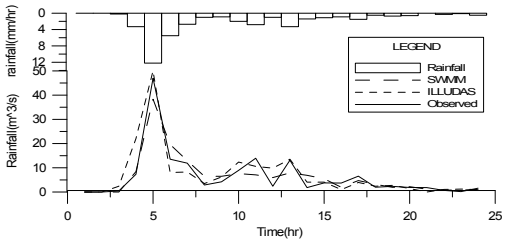


**FIGURE 10.** Verification of each models

## 2. 모형의 적용

Huff의 4분위법에 의하면 여수지방 강우의 특성은 2시간 이내의 2구간 호우가 가장 많이 나타나 60분, 90분, 120분의 지속기간을 사용하였으며, 통계해석상 중앙값인 50%의 누가곡선과 가장 큰 강우깊이를 나타내는 10%의 누가곡선을 시간분포로 사용하였다(한국건설기술연구소, 1989). 강우강도식은 10년 빈도의 이원환식을 사용(식 15)하였고, Huff 분포를 사용하여 분포시켰다(식 16, 및 17).

$$I = \frac{425}{\sqrt{t} + 0.44} \tag{15}$$

여기서 I: 강우강도(mm/hr), t: 강우지속시간(min)이다.

$$PT(i) = \frac{T(i)}{TT} \times 100(\%) \tag{16}$$

$$PR(i) = \frac{R(i)}{RT} \times 100(\%) \tag{17}$$

여기서, PT(i): 강우지속시간비, T(i): ($i$)번째 시각의 경과시간, TT: 총강우 지속기간, PR(i): 강우량 비, R(i): 임의시간 T(i)까지의 누가우량, RT: 지속기간 TT의 총 우량이다.

표 4는 강우분포에 따른 첨두유량과 도달시간 및 총 유출량을 나타내고 있으며, 그림 11과 12는 Huff의 2분위에서의 유출수문곡선이다.

50%의 누가곡선을 두 모델에 적용시켰을 때 총유출량은 ILLUDAS 모델이 SWMM 모델보다 크게 나타났으며, 지속시간 60분과 90분의 첨두유량 발생시간은 거의 같으며 첨두유량과 총유출량이 ILLUDAS에서 약간 크게 나타났으며 4분위에서는 ILLUDAS가 첨두발생시간이 더 빠르다. 지속기간 120분에서는 두 모델의 값이 근사하거나, SWMM의 값이 약간 크게 나타났으며 첨두발생시각은 거의 같은 것으로 보인다. 10%의 누가곡선을 적용시켰을 때 1분위에서 가장 큰 첨두유량을 나타내고 있으며, 4분위에서 가장 적은 값을 나타낸다.

SWMM 모델에서 총 유출량은 재현기간 60분일 때 약 8%, 90분일 때 약 4%, 120분일 때 약 2%의 유출량 차를 보인다. 이러한 원인은 짧은 지속기간의 강우에서는 SWMM 모형의 계산값이 작게 나타나고, 큰 강우강도에서는 많은 편차를 보이지 않기 때문인 것으로 판단된다.

**TABLE 4.** Comparison of discharge and total runoff

| Duration | | 60 min. | | 90 min. | | 120 min. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Model | | SWMM | ILLUDAS | SWMM | ILLUDAS | SWMM | ILLUDAS |
| 10% summing curve | | | | | | | |
| 1st quartile | Peak flow | 30min | 36min | 36min | 30min | 30min | 36min |
| | ($m^3$/s) | 22.36 | 23.54 | 18.01 | 22.43 | 15.85 | 20.07 |
| | Runoff($m^3$) | 274.2 | 298.0 | 228.0 | 234.2 | 200.6 | 196.8 |
| 2nd quartile | Peak flow | 42min | 42min | 42min | 42min | 42min | 42min |
| | ($m^3$/s) | 21.58 | 23.71 | 17.71 | 22.43 | 16.15 | 20.49 |
| | Runoff($m^3$) | 270.8 | 297.3 | 222.0 | 239.1 | 201.5 | 197.9 |
| 3rd quartile | Peak flow | 54min | 54min | 48min | 48min | 54min | 48min |
| | ($m^3$/s) | 20.64 | 22.43 | 22.66 | 21.16 | 15.27 | 18.28 |
| | Runoff($m^3$) | 274.8 | 298.3 | 213.8 | 230.2 | 191.0 | 188.7 |
| 4th quartile | Peak flow | 66min | 60min | 60min | 60min | 66min | 60min |
| | ($m^3$/s) | 18.76 | 20.88 | 16.23 | 17.12 | 12.94 | 14.80 |
| | Runoff($m^3$) | 270.2 | 295.1 | 223.6 | 224.8 | 172.4 | 182.4 |
| 50% summing curve | | | | | | | |
| 1st quartile | Peak flow | 30min | 30min | 30min | 30min | 36min | 36min |
| | ($m^3$/s) | 21.34 | 22.28 | 18.20 | 19.01 | 13.79 | 15.48 |
| | Runoff($m^3$) | 271.8 | 295.0 | 233.0 | 222.0 | 174.4 | 181.6 |
| 2nd quartile | Peak flow | 42min | 42min | 42min | 42min | 42min | 42min |
| | ($m^3$/s) | 20.86 | 22.43 | 18.36 | 20.47 | 18.50 | 17.76 |
| | Runoff($m^3$) | 268.3 | 282.7 | 215.2 | 228.7 | 191.0 | 184.3 |
| 3rd quartile | Peak flow | 66min | 66min | 66min | 66min | 66min | 66min |
| | ($m^3$/s) | 23.06 | 24.80 | 18.45 | 21.09 | 17.76 | 18.89 |
| | Runoff($m^3$) | 269.2 | 293.5 | 214.9 | 227.1 | 174.9 | 187.2 |
| 4th quartile | Peak flow | 66min | 60min | 66min | 60min | 66min | 66min |
| | ($m^3$/s) | 23.86 | 23.19 | 17.86 | 20.63 | 17.54 | 17.90 |
| | Runoff($m^3$) | 286.9 | 296.0 | 225.1 | 226.0 | 187.5 | 185.2 |

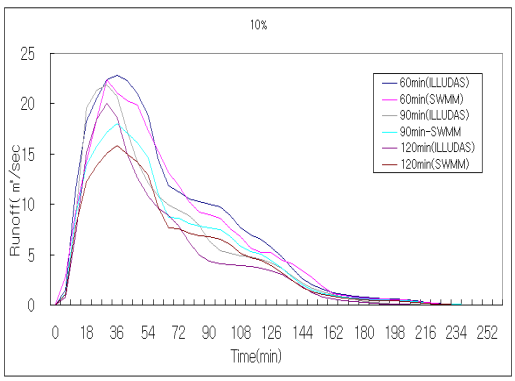


**FIGURE 11.** Runoff hydrograph of each models(2nd quartile, 10%)

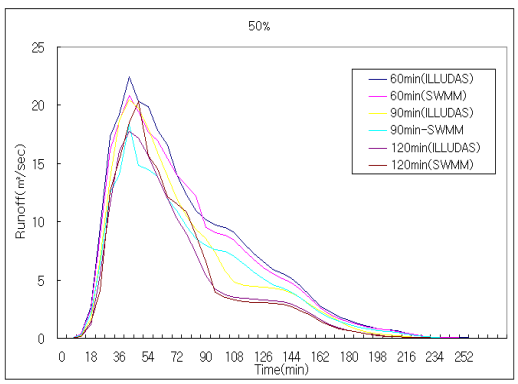


**FIGURE 12.** Runoff hydrograph of each models(2nd quartile, 50%)

## 결 론

도시소유역의 강우유출모형을 개발하기 위하여 수치지형자료의 격자크기별 DEM 자료와 보간방법에 의한 정확도를 통계수법인 회귀분석으로 결정계수와 회귀식을 사용하여 보다 신뢰할 수 있는 수문지형인자를 추출하고, 이를 도시유출모형에 적용시켜 지속기간별 강우분포에 따른 도시소유역 유출특성을 알아보았다.

본 연구지역의 DEM 격자크기에 따른 보간방법별 상관관계를 분석한 결과, TIN linear방법과 TIN quintic방법은 결정계수가 0.9605와 0.9980으로 TIN quintic 보간법이 나은 것으로 나타났으며 격자크기별로는 10m 격자크기가 적정한 것으로 나타났다. 또한 격자크기가 증가하면 산지지역의 경사도는 낮아지고, 평지지역에서는 격자크기의 증감이 경사도에 미치는 영향은 미미하였으며 산지지역과 평지가 연결된 지역은 격자크기에 따라 경사도에 영향을 주는 것으로 나타났다.

연구 대상유역은 지속시간과 유출량의 관계에서 지속시간이 작을수록 유출량의 커지며, 강우지속시간과 첨두도달시간의 상관관계에서는 각 분위별로 차이가 미미한 것으로 나타났는데, 이는 대상유역이 약 297ha의 작은 소유역으로 지속시간에 따른 도달시간의 영향이 작은 것으로 판단된다. KAGIS

## 참고문헌

김연준, 신계종. 2002. DTED와 1:50,000 수치지형도에 의한 격자 DEM의 지형매개변수 비교. 한국지리정보학회지 5(3):19-32.

서규우, 허준행, 조원철. 1997. 도시하천유역 저지대 택지개발로 인한 침수 영향분석. 대한토목학회 논문집 17(Ⅱ-2):137-146.

이근상, 조기성. 2002. GSIS환경에서 DEM정확도 분석 및 해상도의 영향평가에 관한 연구. 대한토목학회 논문집 22(3-D):583-590.

이연길, 박성천, 이관수. 2003. 지리정보시스템을 이용한 소하천유역의 홍수유출해석. 한국지리정보학회지 6(1):12-23.

이종태, 윤세의, 김정환. 1994. 지표면 유출 해석방법이 도시유역의 홍수량산정에 미치는 영향. 대한토목학회 논문집 14(5):1167-1175.

한국건설기술연구소. 1989. 지역별 설계 강우의 시간적 분포. 59-61쪽, 245-246쪽.

Izzard, C.F. 1946. Hydraulics of runoff from developed surface. Annual Meeting Highway Research Board, 1946. Vol. 26, pp.129-146.

Metcalf & Eddy, Inc. 1970. Storm Water Management Model(SWMM) version 4.31. http://www.cee.ucf.edu/classes/cwr6535/PROJECTS/.

Terstriep, M.L. and Stall, J.B. 1974. The Illinois Urban Drainage Simulator, ILLUDAS. Lllinois State Water Survey. Bull. 58. KAGIS