

## 산악에서 돌발홍수에측을 위한 지리정보시스템의 적용

최 현<sup>†</sup> · 남광우<sup>\*</sup>

부산대학교 생산기술연구소, 경성대학교 도시공학과\*

### Real-Time Flash Flood Evaluation by GIS Module at Mountainous Area

Hyun Choi<sup>†</sup> and Kwang Woo Nam<sup>\*</sup>

Research Institute of Industrial Technology, Pusan National University

Department of Urban Design and Development, Kyung Sung University\*

**Abstract :** The flood is the most general and frequently occurs among natural disasters. Generally flood by the rainfall which extends superexcellently for the occurrence but flash flood from severe rain storm gets up an absurd drowsiness at grade hour. This paper aims to 1 hour real-time flash flood and predict possibility at the area where is the possible flood will occur from the rainfall hour mountain after acquiring data in GIS(Geographic Information System) base by GcIUH(Geomorphoclimatic Instantaneous Unit Hydrograph). The flash flood occurrence is set up at 0.5m, 0.7m and 1.0m in standard depth. And this study suggests standard flood alarm which designed by probable flood according to duration time. The research result shows real-time flash flood evaluation has the suitable standard in the basin when comparing with the existing official warning announcement system considering topographical information.

**Key Words :** flash flood, GIS(Geographic Information System), GcIUH(Geomorphoclimatic Instantaneous Unit Hydrograph), real-time flash flood analysis, topographical information.

**요약 :** 홍수는 자연재해 중 가장 일반적이며 빈번하게 발생한다. 일반적으로 홍수는 수일간에 걸친 강우에 의하여 발생하지만 집중호우에 의한 돌발홍수는 단 시간에 발생하는 특징이 있다. 본 논문은 지리정보시스템으로 지형자료를 취득한 후 지형기후학적 순간단위유량도로 산악에서 돌발홍수에측을 위한 지리정보시스템의 적용에 관한 연구이다. 본 연구에서의 돌발홍수 발생 범위는 수심이 0.5m, 0.7m, 1.0m 로 설정하였다. 또한, 지속시간별-강우량별 홍수량 조건표를 작성하여 홍수대피 기준을 제안하였다. 본 연구는 기존의 획일된 경보 발령시스템에 비하여 유역에 적합한 기준을 제시하여 지형정보를 고려한 경보발령시스템에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

### 1. 서 론

최근 기상 이변에 따라 단시간에 집중되는 게릴라성

국지호우에 따른 돌발홍수가 발생하여 이에 따른 피해가 자주 발생하고 있다. 대하천의 경우에는 각 홍수통제소에서 홍수 예경보 시스템(Flood Warning System)을

통하여 본류 구간에서의 인명 혹은 재산피해는 과거에 비하여 상당히 감소하였으나 소하천에서는 오히려 피해가 증가하고 있는 실정이다. 특히, 1996년 연천담 상류 지역의 집중호우로 인한 댐의 붕괴 및 1998년 지리산 유역의 돌발홍수로 인한 인명피해, 경기도 중랑천 상류 지역의 침수, 송추 및 장흥지역의 토사류 및 산사태로 인한 피해, 낙동강 상류 상주지역 지천의 홍수, 보청천 지류들의 범람과 특히 2002년 8월에 발생한 태풍 '루사'는 수백 명의 인명피해와 20년만의 일일최대강우량으로 인한 전형적인 돌발홍수의 양상을 보여 기존의 홍수예·경보 시스템이 아닌 돌발홍수 대한 홍수예·경보(Flash Flood Warning System)의 수립이 필요한 실정이다.

하천유역에 관련된 지형학적 특성에 관한 연구는 컴퓨터 및 관련 프로그램의 개발로 유역과 분수계, 하천등을 자동으로 추출하고, 저장, 처리하는 부분으로 나눌 수 있다. 지형정보자료의 일부인 수치표고모형으로부터 직접 유역과 하천을 추출하고, 이를 분석하는데 많은 도움을 주고 있다. Peucker(1978)는 수치표고모형의 자료구조를 분석한 다음 불규칙 삼각망을 이용한 하천과 능선을 표시하는 방법에 대해서 연구하였다. ESRI사에서 Jensen(1988)의 연구결과를 이용하여 개발된 Arc-Info의 GRID 단위를 통한 토지 분석 문제 해결을 위한 단계적 적용 툴이 개발되었다. O' Callaghan와 Mark, (1984)는 수치표고모형에서 유역특성을 추출하였고, 박영일(1995)은 수치모형으로 유역의 하천 형태학적 특성인자 추출에 관한 연구가 수행되었다. 양인태와 김연준(1997)은 수문해석을 위한 수치표고모형에 의한 경사도 분석에서 등고선을 그리드로 변환한 수치표고모형에서 내린천 유역에 대한 경사분포도를 구해냈고, 격자크기를 달리하면서 격자크기가 경사도에 미치는 영향을 정량적으로 분석해 내었다. 행정자치부(1998)에서는 북한 미계측 유역의 하천재해분석을 위한 위성영상자료의 적용에 관하여 연구하였다. 강인준 등(2001)은 기존 연구를 바탕으로 공간정보를 이용한 수문인자의 결정 및 퇴사량 예측에 대한 연구를 수행하여 인자의 민감도에 대해서 분석하였다. 성동권과 조기성(2002)은 BurnDEM을 이용한 유역 및 하천망 추출에 관한 연구를 실시하여 수치표고모형이 변형된 값을 이용하여 하천망을 추출한

결과 기복이 적은지역에서 하천망이 비교적 정확하게 추출됨을 증명하였다. 차상화와 이순탁(2002)은 GIS-SUS 모형을 이용한 강우-유출해석을 안상진과 김영호(2003)는 WMS를 이용한 강우-유출해석에 관한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 정인균과 김성준(2003)은 안성천에 있어서 효과적인 유역 및 하도망 추출을 위한 DEM 전처리 방법을 위해 NGIS, No Burn, Fillburn 그리고 Agree burn 기법을 비교 검토하였으며 평지가 많은 지역에서는 Agree burn 기법이 유리함을 제시하였다. 그리고 김성준 박근에는 WMS HEC-1을 이용한 안성천 평택수위관측소 상류유역의 수문 경년변화 분석으로 대표 CN을 변환하는 간단한 방법을 제안하였다. 최현(2004)은 원격탐사자료를 기반으로 지리정보시스템을 적용하여 홍수해석에 관한 연구를 수행하였다.

그러나 기존의 연구는 홍수해석을 위한 지리정보시스템을 활용한 자료분석 및 수문 경년 변화 분석에 대한 연구를 중심으로 수행되어 돌발홍수의 발생 시 대처할 수 없는 한계가 있다. 본 연구에서는 지리정보시스템으로 홍수해석을 실시하여 소하천 유역의 수문학적 돌발홍수 예측모형을 구현하였다. 먼저 지리정보시스템으로 돌발홍수 예상지역에 대한 지형분석을 실시한 후 대피 경보 발령을 위하여 돌발홍수를 발생시킬 수 있는 유출고를 강우-유출관계를 지형기후학적 순간단위유량도를 이용하여 홍수시 인명피해를 최소화하는데 목적이 있다.

## 2. 수문해석의 기본이론

### 1) 이차원적 평면인자

유역특성은 수치표고모형에서 흐름방향을 결정할 수가 있는데 흐름방향에는 4개의 방위에 따라 흐름방향을 결정하는 4방향 모델과 Fig. 1의 a)와 같이 방위에 따라 흐름방향을 결정하는 8방향 모델이 있는데 본 논문에서는 8방향모델을 적용하였다. 8방향모델은 b)와 같이 셀 주위에 인접해 있는 8개의 격자로부터 가장 낮은 표고를 가지는 격자방향으로 흐름방향이 c)의 흐름방향으로 정해진다. 흐름방향에 따라 누적된 흐름을 누가 흐름량이라 하며 Fig 1.의 d)처럼 나타난다.

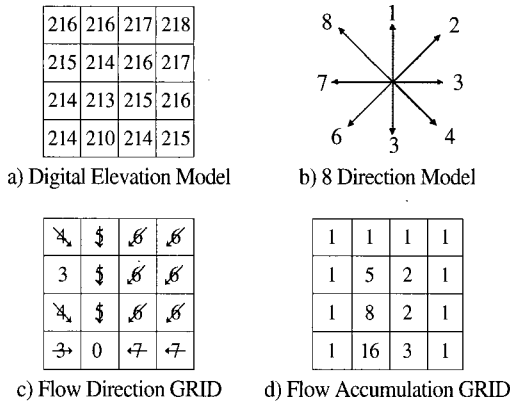


Fig. 1. Fundamental Concept of Flow Direction according to Digital Elevation Model.

2) Horton의 법칙

하천망 분석의 정량적 해석은 Horton(1945)에 의해 차수에 따른 하천망구축기법이 소개되었다. Strahler(1950)는 Horton분류와 다른 하천의 길이, 형상 발원을 고려하는 방식을 개선시켰다. Fig. 2는 하천 차수방식에 따른 하천망구축의 예를 나타낸 것으로 내절점은 선이나 하천의 결합점을 나타내고, 외절점은 이들로부터 선이나 하천에서 발원하는 하나의 하천에 대한 유출구를 나타낸다. 각절점은 서로 연결되어 있으며, 내절점 또한 절점끼리 서로 연결되고, 외절점은 하류에 도달하는 내절점과 연계되어 하위망으로 흘러내린다. 하천망구축방식은 수원지에서 발원하는 하천망을 1차 하천망이라 정의하고, 차수가  $\omega$ 인 두 개의 하천이 합류하면  $\omega + 1$ 이 된다. 차수의 합류시 하류 차수는 상류하천 중 차수가 큰 차수를 따르게 된다. 유역차수는 가장 높은 하

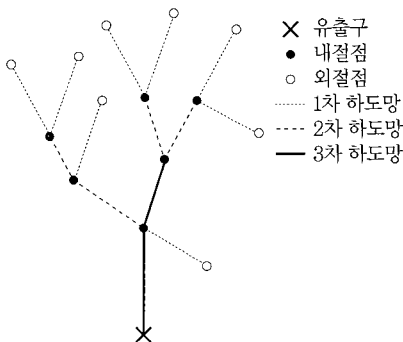


Fig. 2. Basin networks according to Strahler's Law.

천차수( $\Omega$ )와 같다. 1차 이상의 차수를 갖는 Strahler차수는 몇 개의 연결고리로 구성되어 진다.

하천차수의 법칙은 주어진 차수 흐름의 개수는 하천차수와 반대되는 기하학적인 관계를 가지는 것으로 식(1)로 나타낸다.

$$N_{\omega} = R_B^{\Omega - \omega} \quad (1)$$

여기서  $\Omega$ 는 하천망의 최대차수이며,  $\omega$ 는 관심지역의 하천망차수이며,  $R_B$ 는 주어진 하천망에 대한 상수이며 분기율이라 한다. 식(1)로부터 하천망의 총합은 식(2)에 나타난다.

$$\sum_{\omega=1}^{\Omega} N_{\omega} = 1 + R_B + R_B^2 + R_B^{\Omega-1} = \sum_{\omega=1}^{\Omega} R_B^{\Omega-\omega} = \frac{R_B^{\Omega}-1}{R_B-1} \quad (2)$$

하천분기율은  $R_B = \frac{N_{\omega-1}}{N_{\omega}}$ 로 나타내며 이것은 차수  $\Omega - 1$ 의 하천분기율의 평균이  $R_B$ 개라는 것을 나타내고 있다. 하천길이와 하천면적의 법칙에 대한 개념은 각 절점에 대한 하천수의 법칙, 길이비  $R_L$ 와 면적비  $R_A$ 로 구성되는 연속비와 같다. 하천의 차수에 대한 각각의 길이  $\bar{L}_{\omega}$ 와 각 차수에 대한 평균 하천 면적  $\bar{A}_{\omega}$ 은 식(3), 식(4)과 같다.

$$\bar{L}_{\omega} = \frac{1}{N_{\omega}} \sum_{i=1}^{N_{\omega}} L_{\omega i} \quad (3)$$

$$\bar{A}_{\omega} = \frac{1}{N_{\omega}} \sum_{F=1}^{N_{\omega}} A_{\omega F} \quad (4)$$

여기서  $L_{\omega i}$ 는 하천차수  $\omega$ 의 길이이고  $A_{\omega F}$ 는 하천차수  $\omega$ 와 지류의 유출에 기여하는 면적이다. 예를 들어  $\bar{A}_{\Omega}$ 는 유역의 총면적이다. Horton의 법칙에 따른 하류개수  $R_B$ , 길이비  $R_L$ 와 면적비  $R_A$ 는 각각 식(5), 식(6) 그리고 식(7)로 계산 되어진다.

$$\frac{N_{\omega-1}}{N_{\omega}} = R_B \quad (5)$$

$$\frac{\bar{L}_{\omega}}{\bar{L}_{\omega-1}} = R_L \quad (6)$$

$$\frac{\bar{A}_{\omega}}{\bar{A}_{\omega-1}} = R_A \quad (7)$$

일반적으로  $R_B$ 의 값은 자연유역에서 3-5의 값을 가지고,  $R_L$ 은 1.5-3,  $R_A$ 는 3-6의 값을 가진다(Smart, 1973). 하천개수와 길이법칙은 하천차수  $\omega$ 의 총길이를 식(8)과 나타내며 하천의 총길이는 식(9)로 나타낸다.

$$\sum_{i=1}^{N_{\omega}} L_{\omega i} = \bar{L}_{\omega i} R_B^{\Omega-1} R_L^{\Omega-1} \quad (8)$$

$$\sum_{\omega=1}^{\Omega} \sum_{i=1}^{N_{\omega}} L_{\omega i} = \bar{L}_{\omega i} R_B^{\Omega-1} \frac{R_B^{\Omega} - 1}{R_L - 1} \quad (9)$$

여기서  $\bar{L}_1$ 은 일차하천망의 길이이며,  $R_{LB} = \frac{R_L}{R_B}$ 이다.

### 3) 지형기후학적 순간단위유량도

Rodriguez-Iturbe(1982)는 지리정보시스템의 적용이 가능한 지형학적 순간단위유량도(Geomorphological Instantaneous Unit Hydrograph, GIUH)와 지형기후학적 순간단위유량도(Geomorphoclimatic Instantaneous Unit Hydrograph, GcIUH)를 소개하였다. 지형기후학적 순간단위유량도는 주관적으로 결정되는 매개변수인 침투속도 V에 의존한다. V는 유효강우강도와 강우지속기간의 함수로 표시된다. 가장 유용한  $q_p$ 와  $t_p$ 는 식 (10), 식 (11)과 같이 재정의되었다.

$$q_p = \frac{0.871}{\Gamma_i^{0.4}} \quad (10)$$

$$t_p = 0.585 \Gamma_i^{0.4} \quad (11)$$

여기서,

$$\Gamma_i = \frac{L_{\Omega}^2}{(i_r A_{\Omega} R_L a_{\Omega}^2)} \quad (12)$$

$$a_{\Omega} = \frac{S_{\Omega}^2}{(n b_{\Omega}^2)} \quad (13)$$

$i_r$ 은 평균 유효강우강도이다. 식 (13)은 단순한 광폭 사각형단면하천의 Manning의 식이다. 위의 식에서  $S_{\Omega}$ 와  $b_{\Omega}$ 는 유역에서 최고차 하천의 평균경사와 평균폭이다.  $n$ 은 Manning의 조도계수에 해당한다.

특성치  $q_p$ 와  $t_p$ 를 가지는 순간단위 유량도라 가정하고, 이를 유효강우강도  $i_r$ 과 지속기간  $t_r$ 을 가지는 균등한 사각형의 강우를 이용해 회선 적분을 실행하면 유출 수문곡선의 침투치에 대한 다음과 같은 식을 유도할 수 있다.

$$\frac{Q_p}{Q_c} = i_r q_p \left( 1 - \frac{t_r q_p}{4} \right), t_r \leq t_c = t_B \quad (14)$$

$$Q_p = Q_c = i_r A, t_r = t_c \quad (15)$$

여기서  $t_B$ 는 순간단위 유량도의 기저시간이다. 식 (10)과 식 (11)으로 부터 식 (16)이 유도되며 침투유량에

대한 시간은 식(17)로 나타낸다.

$$Q_p = 2.42 \frac{i_r A_{\Omega} t_r}{\Gamma_i^{0.4}} \left( 1 - \frac{0.218 t_r}{\Gamma_i^{0.4}} \right) \quad (16)$$

$$T_p = 0.585 \Gamma_i^{0.4} + 0.75 t_r \quad (17)$$

이 식들은 강우와 유출관계가 입력값과 출력값을 가지고 행하는 매개변수 조정(calibration)에 독립적이고 이론적으로 단지 지형학적 자료와 기후자료만의 함수임을 나타낸다. 지형기후학적 순간단위유량도는 입력치  $i_r$ 에 의존하기 때문에 전통적인 방법들에서의 선형적 가정과는 다르게 나타난다.

### 4) 단위유량도

단위유량도는 소유역에서 초과 강우와 용설을 유량으로 변환하는 소유역 유출성분 과정을 계산하는데 사용되며 모든 호우에 적용될 수 있는 단위유량도는 존재하지 않는다. 합성단위도의 매개변수는 매개변수 최적화기법을 통해 측정자료에서 구한다. 합성단위유량도에서 가장 많이 사용하는 기법은 도달시간( $T_c$ ), 저류상수(R), 등유하시간-면적곡선 등 필요한 클락합성단위도와 침투유량, 발생시간, 단위도폭이 필요한 스나이더이론과 SCS 무차원적 단위유량도가 필요하다. 우리나라의 3대 하천 유역에서는 스나이더방식을 이용하고 있으나 소하천 유역에서는 적용을 하면 오차가 크게 나기 때문에 SCS 방법을 많이 이용한다. SCS방식은 미국 토양보존국에서 합성 단위유량도를 작성하기 위해서 고안된 방법으로 소유역에 많이 이용되며 하나의 매개변수로 되어 있으며 Fig. 3처럼 무차원 단위도의 이용을 근거로 나타낸다.

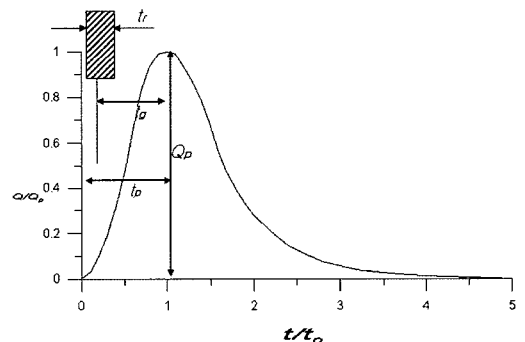


Fig. 3. Soil conservation service synthetic unit hydrograph.

### 3. 유역특성조사

#### 1) 연구대상유역의 지형학적 특성

연구대상지역은 밀양시 일원으로 하였으며 지세가 험한 지역인 표충사, 얼음골 유역으로 나누어 지리정보 시스템으로 1 : 5,000 축척의 수치지도를 이용하여 DEM, 경사도등을 생성하였으며, Landsat 인공위성 영상으로 토지이용 현황을 분석하였고 1 : 25,000 축척의 정밀도양도 등의 자료 취득으로 각 유역별로 산정하여 정리하였다. 연구대상유역의 위치 및 현황은 Fig. 4에서 나타나는 Landsat 영상에 나타내었다.

연구대상지역의 유역에 대한 현황은 Fig. 5와 같이 지리정보시스템으로 유역분할 및 하천망도로 나타내었다. 표충사 유역은 설치된 홍수통제국을 기준으로 유역을 구분하였고 2개의 경보국, 2개의 통제국과 1개의 우량국을 포함하고 있다. 얼음골 유역은 설치된 2개의 경보국과 1개의 우량국 1개의 중개국 1개의 기지국을 포함하고 있는 것으로 나타났다. 유역면적은 홍수량의 크기에 직접적으로 영향을 미치는 인자로 유역면적이 크면 동일한 강우량이 발생하더라도 유역면적인 작은 유역과

비교하여 큰 홍수량이 발생하게 된다. Table 1과 같이 표충사 유역지의 유역면적은 20.6km<sup>2</sup>, 얼음골 유역지의 유역면적은 14.9km<sup>2</sup>으로 산정되었다. 유로연장은 동일 유역면적에서 잘 발달될수록 홍수량의 규모가 커지게 된다. 표충사 유역은 통제국 기준에서 8.5km, 얼음골 유역은 통제국 기준에서 6.7km로 각각 조사되었다. 고도차는 유역 내에서 가장 높은 지점과 낮은 지점의 높이차이며 유역경사는 고도차를 유로연장으로 나눈다. 표충사 유역에 대한 고도차는 1,057m로 대체로 큰 편이고 유역경사는 0.125로 급한 편으로 나타났다. 얼음골 유역은 고도차가 925m로 대체로 큰 편이고 유역경사는 0.139로 급한 편으로 산정됐다. 유역의 평균 폭은 유역면적을 유로 연장으로 나눈 것이다. 이는 개념적으로 유역을 직사각형으로 간주하여 유로연장으로 나눈 것으로 물리적인 의미는 크게 없으나, 같은 유역면적에 대해 값이 작을수록 직사각형 형태에 근사한 형태를 나타낸다. 표충사 유역은 2.44km, 얼음골 유역은 2.24km로 각각 산정되었다. 형상계수는 유역면적을 유

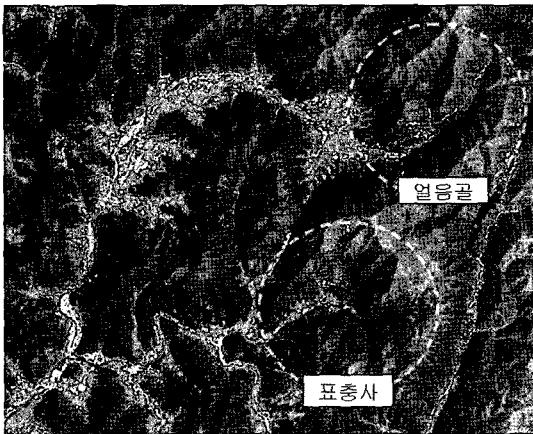


Fig. 4. Study area(Landsat TM satellite image).

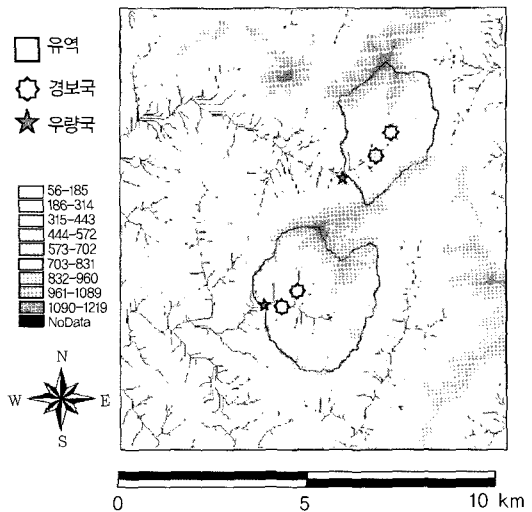


Fig. 5. Drainage map of Miryang Basin(Threshold=100).

Table 1. Area, slope, width, length of stream order about study area.

Basin	Area A(km <sup>2</sup> )	Length L(km)	Height H(m)	Average Slope S(H/L)	Average Width A/L(km)	(A/L <sup>2</sup> )
Pyo-chung Temple	20.6	8.5	1,057	0.13	2.44	0.30
Ice Valley	14.9	6.7	925	0.14	2.24	0.34

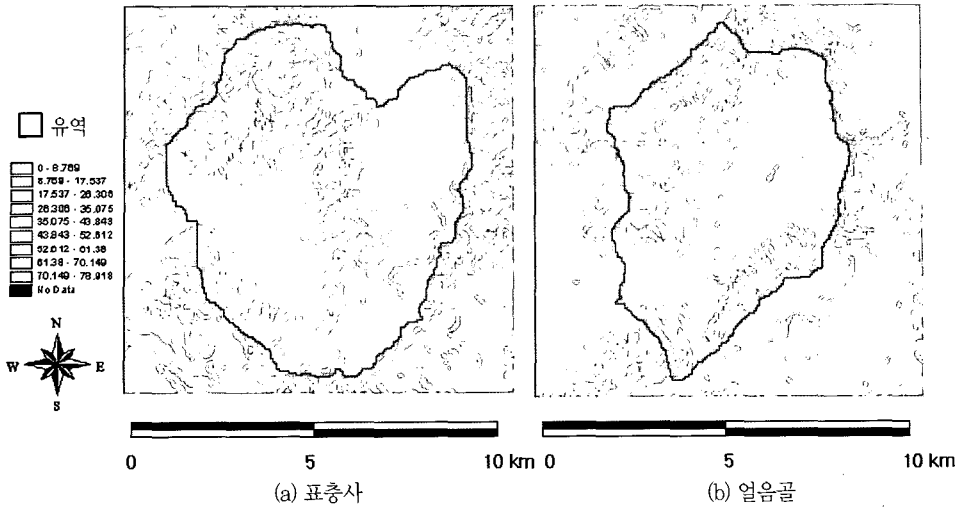


Fig. 6. Basin slope map.

로연장의 제공으로 나눈 것으로 같은 유역면적에 대해 클수록 유역이 원형에 가깝고, 작을수록 긴 형태의 유역을 구성하고 있다. 표충사 유역은 0.30, 얼음골 유역은 0.34로 각각 산정되었다.

Fig. 6은 연구대상유역의 수치표고모형에서 분석된 유역경사와 하천망도를 나타내고 있으며 표충사 유역은 직사각형 형태로 주 하도에 지류가 유입되는 형상이며 주하도는 동쪽에서 서쪽으로 흐르는 형태이다. 얼음골 유역은 역삼각형 형태로 주 하도에 두개의 지류가 유입되는 형상이며 주 하도는 서쪽에서 동쪽으로 흐르는 형태로 나타났다.

## 2) 연구대상유역의 토지이용특성

Table 2는 Landsat 위성영상에서 감독분류기법 중 최근린 내삽법으로 분류된 유역의 토지이용별 면적분포를 나타낸 것으로 Overall Accuracy Kappa Coefficient는 87.15%로 나타났다. Fig. 7은 토지이용 현황을 나타낸 것이다. 1/5,000 수치지도의 TM 좌표를

기준으로 Affine 변환 방정식을 실시하였으며 최근린 내삽법으로 기하보정을 실시 한 결과 최소 제공근 오차는 0.28화소로 나타났다. 분석결과 표충사 유역은 임야가 95.313%, 농지가 4.252%로 거의 대부분이 산림 지역과 농지로 구성되어 있음을 알 수 있었다. 얼음골 유역은 임야가 0.057%로 분포가 적음을 알 수 있었으며, 농지가 54.157%로 초지가 39.959%로 농지와 초지를 중심으로 구성되었음을 알 수 있다.

SCS CN은 미국토양 보존국(USDA; United States Department of Agriculture, 1986)에 의해 개발된 방법으로 총우량과 유효 우량간의 관계는 식(18)과 같다.

$$Q = \frac{P^2}{P+S} \quad (18)$$

그러나 식 (18)은 강우가 시작되면서 부터 즉시 유출이 발생하는 경우이며 실제로는 강우강도에 따라 변이를 가지며 일정 시간의 경과한 후에 발생하는 것이 보통이다. 따라서 초기 침투를 고려해 식 (18)의 P 값에서 초기손실(Ia)을 0으로 적용하여 Q를 구하였다.

Table 2. Result of Landuse in study area.

Basin	Landuse classes(%)						Total
	Water	Residential	Barren	Grass	Forest	Country	
Pyo-chung Temple	0.019	0.041	0.370	0.005	95.313	4.252	100
Ice Valley	0.057	2.850	3.920	39.959	0.057	54.157	100

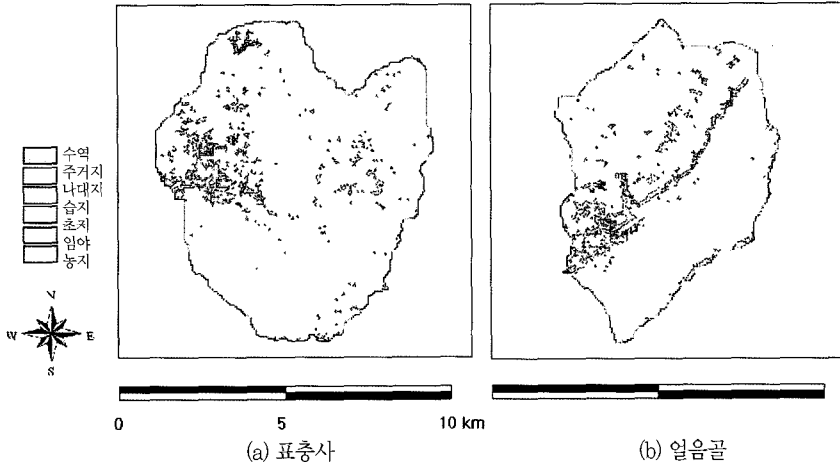


Fig. 7. Landuse map.

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad P > 0.2S \quad (19)$$

$$Q = 0 \quad P < 0.2S$$

그러나 S는 침투의 진행 상태에 따라 다르기 때문에 토양의 종류 피복의 상태 등에 따라서도 다르기 때문에 S를 구하는 방법은 식 (20) 과 같다.

$$CN = 25,400 / (S + 254) \quad (20)$$

여기서 Q : 유출량, P : 총강우량(mm), Ia : 강우초기의 손실, S : 최대 저류량

Table 3은 식 (20) 에 의해 1/25,000 축척의 정밀 토양도로 분석한 연구대상지역을 SCS CN 분포를 나타낸

Table 3. Result of SCS Composite Curve Number.

Basin	Soil groups				Total
	Type A	Type B	Type C	Type D	
Pyo-chung Temple	43.9	2.4	-	53.7	100
Ice Valley	30.8	2.5	-	66.7	100

것이다. Fig. 8은 각 유역의 토양도를 나타낸 것이다. 표충사 유역에서는 배수가 양호한 토양이 크게 없으며 배수가 매우 불량한 Type D도 많이 있는 것으로 산정되었다. 얼음골 유역역시 표충사 유역과 비슷한 분포를 나타낸다.

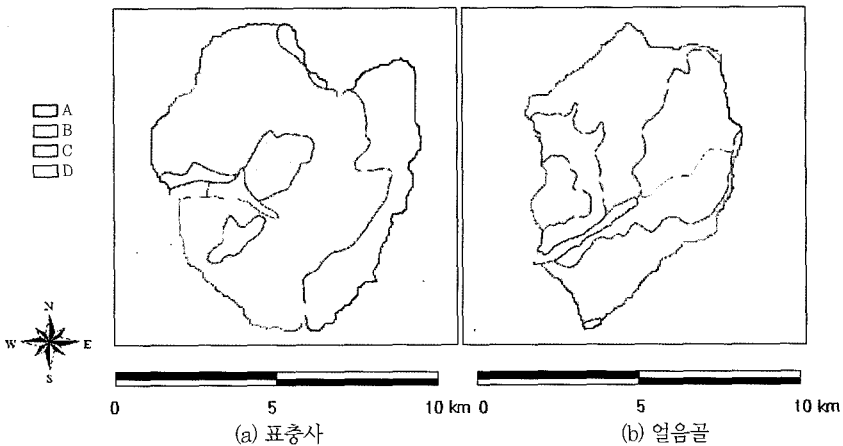


Fig. 8. Hydrologic soil group map.

### 3. 돌발홍수 예측

#### 1) 지형기후학적 순간단위유량도 적용을 위한 매개변수 산정

본 연구에서는 미계측 유역에 적합한 지형기후학적 순간단위유량도를 이용하여 각 유역에서의 홍수량을 산정하였다. 지형기후학적 순간단위유량도를 적용하기 위해서는 유역특성과 하천차수에 따른 특성 등이 필요하다. 유역특성자료는 토지 이용별, 토양형별 CN과 유역면적, 유로연장 등이 필요하며, 하천차수에 따른 특성은 지리정보시스템을 이용하였다. Table 4는 각 소유역에 대한 CN값으로 AMC-II를 기준으로 산정을 위해 적용된 것으로 분석결과 밀양시 일원이 대부분 산림지역이고 배수가 양호한 토양이 많은 것으로 나타났다(Soil Conservation Service, 1972). Fig. 9는 유역의 CN값을 나타내며 불투수지역을 100으로 했을 때 AMC-II 조건으로는 57-75, AMC-III 조건으로는 75-87의 분포로 나타났다.

Table 4. CN value.

Basin	CN	
	AMC-II	AMC-III
Pyo-chung Temple	76	81
Ice Valley	80	91

#### 2) 조도 계수 및 하천폭 산정

조도계수를 산정하기 위한 적절한 수위 자료가 없는 경우는 적절한 방법으로 추정된 조도계수 중에서 큰 값을 주로 사용하였는데 본 논문에서는 Cowan(1956)의 방법으로 나타내었다. 연구대상지역의 하천자료조사 결과를 바탕으로 하천 상·하류의 하도 단면과 하도 상태를 고려하여 산정하였다. 표충사 유역과 얼음골 유역의 조도계수는 하천 상·하류 단면과 상태를 고려하여 각각 0.050, 0.045로 나타났다. 지형기후학적 순간단위유량도 적용 시 하천폭은 홍수량 산정에 많은 영향을 미치게 된다. 유역의 평균 하폭을 조사한 결과 표충사는 평균 25m 얼음골은 22m로 나타났다.

한계수심 및 홍수량 산정을 위해 하천 단면을 구형단면으로 가정하고 돌발홍수 발생시 주민이 신속히 대피할 수 있는 범위 즉 최대수심  $Y_b$ 가 0.5m일 때를 기준으로 한계유량 산정을 기준으로 하였으며 계산결과 Table 5와 같다. 한계유량( $Q_b$ )을 산정공식은 Manning 공식을 이용하였으며 식 21과 같다.

Table 5. Analysis of limit fluid flow constraints( $Y_b = 0.5m$ ).

Basin	Limit fluid flow( $m^3/sec$ )
Pyo-chung Temple	11.78
Ice Valley18	16.03

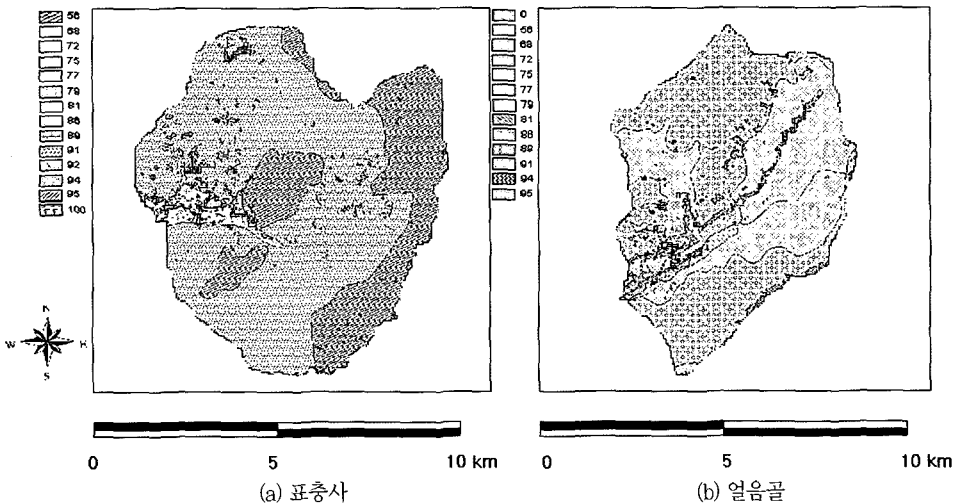


Fig. 9. CN map(AMC-II).



Table 6. Area, order, number and length of streams and Limit fluid flow constraints of the study basins(Threshold=100).

Basin	Area(km <sup>2</sup> )	Length(km)	Slope(m/m)	Width(m)	height(m)	Qd(m <sup>3</sup> /sec)
Pyo-chung Temple	20.6	8.5	0.0215	25	1,057	11.78
Ice Valley	14.9	6.7	0.0499	21	925	16.03

$$Q_d = \frac{1.486}{n} S_c^{0.5} B_b \left[ \frac{Y_b}{m+1} \right]^{0.38} \quad (21)$$

여기서  $S_c$ 는 유역 하도 경사(m/m),  $B_b$ 는 최대 하폭(m),  $Y_b$ 는 최대 수심(m),  $n$ 은 Manning 조도계수이다.

홍수의 기준이 되는 한계유출량 산정을 위한 유량산정공식은 지형기후학적 순간단위유량도를 적용하였으며, 연구대상지역의 유역분할도, Horton 차수도, DEM, 우량곡, 정보곡의 현황을 나타내었고 유역특성, GcIUH 적용을 위한 매개변수, 위험정보유량, 경보발령 우량을 산정하였다.

연구대상지역에 대한 지형특성은 표충사 유역은 Table 6과 같이 유역면적이 20.6km<sup>2</sup>이며 자동 우량곡은 총 2개소가 설치되어 있었다. 얼음골 유역은 유역면적이 14.9km<sup>2</sup>이며 자동 우량곡은 총 2개소가 설치되어 있었다. 고도차는 1,057m, 유로경사는 0.0215이고 경사는 급한 편이다. 또한 Table 7에 표충사와 얼음골

유역의 하천차수별 특성을 정리하였고, 이 자료를 이용하여 지형기후학적 순간단위유량도 매개변수를 Table 8과 같이 산정하였다. 표충사유역에서 SCS의 CN값은 AMC-II 조건에서 76, AMC-III 조건에서 81로 나타났다. 고도차는 925m, 유로경사는 0.0904로 급경사로 나타났다. 얼음골 유역의 SCS의 CN치는 AMC-II 조건에서 81, AMC-III 조건에서 91로 나타났다.

한계수심을 기준으로 경보 발생 기준은 0.5m에서 경보발령을 내리도록 가정하고 0.7m에서 대피발령 1, 마지막으로 1.0m에서는 대피발령 2를 알린다고 가정할 때 Table 9에 따라 지속시간에 따른 위험 발생 가능 우량의 산정 결과는 초기손실( $I_a$ )을 0으로 했을 경우 0.5m의 임계수심이 발생하는 위험가능성이 예상되는 임계홍수량,  $Q_d$ 는 11.78m<sup>3</sup>/sec이며, 강우량-지속시간별 첨두홍수량과 첨두홍수량 발생시간 자료에서 최초 10분

Table 7. Character of Horton's order(Threshold=100).

Basin	Order	Nw	Lw(km)	Sw(%)	$A_{\Omega}$ (km <sup>2</sup> )
Pyo-chung Temple	1	189	0.242	33.998	0.065
	2	38	0.778	28.427	0.277
	3	8	2.519	22.797	1.996
	4	2	5.288	10.727	8.669
	5	1	7.954	2.150	20.657
Ice Valley	1	203	0.170	36.570	0.042
	2	41	0.671	31.437	0.214
	3	11	1.219	25.691	0.649
	4	3	2.857	15.846	3.064
	5	1	6.699	4.995	14.933

Table 9. Probable flood according to duration time in Pyo-chung Temple Basin.

Time (min)	Rainfall (mm)	$Y_b = 0.5m$	$Y_b = 0.7m$	$Y_b = 1.0m$
		$I_a=0$	$I_a=0$	$I_a=0$
10	5.38	16.65	17.59	18.65
20	6.61	18.84	19.93	21.16
30	7.47	20.3	21.49	22.83
40	8.16	21.43	22.7	24.14
50	8.75	22.38	23.71	25.23
60	9.27	23.2	24.59	26.18
Qd(m <sup>3</sup> /sec)	11.78	13.39	15.33	
	Warning	Evacuation 1	Evacuation 2	

Table 8. GcIUH parameter in study area.

Basin	$R_B$	$R_L$	$R_A$	$L_{\Omega}$ (km)	$S_{\Omega}$ (m/m)	$A_{\Omega}$ (km <sup>2</sup> )	n	$B_{\Omega}$ (m)	CN	
									AMC-II	AMC-III
Pyo-chung Temple	4.359	1.861	5.594	8.5	0.0215	20.6	0.050	25	76	81
Ice Valley	3.697	1.771	3.784	6.7	0.0499	14.9	0.045	21	80	91

Table 10. Probable flood according to duration time in Ice Valley.

Time (min)	Rainfall (mm)	$Y_b = 0.5m$	$Y_b = 0.7m$	$Y_b = 1.0m$
		Ia=0	Ia=0	Ia=0
10	6.48	17	18	19.14
20	8	19.39	20.56	21.89
30	9.08	21.01	22.3	23.77
40	9.96	22.29	23.68	25.26
50	10.71	23.37	24.84	26.52
60	11.39	24.32	25.87	27.64
Qd(m3/sec)	16.03		18.21	20.86
	Warning		Evacuation 1	Evacuation 2

동안에 위험발생 우량은 16.65mm 임을 간접적으로 알 수 있었고, 이때의 침투유량 발생시간은 1.43시간(85.8분)으로 나타났다.

Table 10의 지속시간에 따른 위험 발생 가능 우량의 산정 결과에서 초기손실( $I_0$ )을 0으로 했을 경우 0.5m의 임계수심이 발생하는 위험가능성이 예상되는 임계홍수량,  $Q_d$ 는  $16.03m^3/sec$ 이며, 강우량-지속시간별 침투홍수량과 침투홍수량 발생시간 자료에서 최초 10분 동안에 위험발생 우량은 17.0mm 임을 간접적으로 알 수 있고, 이때의 침투유량 발생시간은 0.9시간(54분)으로 나타났다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 지리정보시스템으로 돌발홍수 예상지역에 대한 지형분석을 실시한 후 경보 발령을 위하여 돌발홍수를 발생시킬 수 있는 유출고를 강우-유출관계를 지형기후학적 순간단위유량도를 이용하여 산정하였다. 홍수 산정기준은 인명피해가 발생할 수 있는 0.5m, 0.7m, 1.0m 이상의 수심을 기준으로 위험수위로 설정하였다. 또한, 지속시간별-강우량별 홍수량 조건표를 작성하여 홍수대피 기준을 제안하였다. 본 연구 결과는 기존의 확립된 경보 발령시스템에 비하여 유역에 적합한 기준을 제시하여 지형정보를 고려한 경보발령시스템에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

한계유출고(Threshold Runoff)의 일반적 의미로는

하천범람을 발생시키는 유출량을 의미한다. 따라서 강우의 시공간적 특성과 유역과 하천의 지형학적 특성에 따라 결정된다. 그러나 본 연구에서는 계곡에서 주로 관광객의 안전을 확보하는 것을 목적으로 하므로 한계유출고를 고려하는 것이 아니며 경보 발령기준을 위해서 하천의 수심이 0.5m 이상으로 증가하게 될 때의 홍수량을 발생시키는 홍수량을 한계유량( $Q_d$ )으로 정의하였다. 하천측량 성과가 있는 경우에는 홍수량별 수위를 HEC-RAS를 적용하여 수위-유량관계를 구성하고 홍수량 산정단면에서의 수심이 0.5m 발생하게 되는 경우의 홍수량을 한계유량으로 정의할 수 있다. 그러나 산악 유역의 경우에는 측량성과가 전혀 없는 것이 대부분이기 때문에 이에 대한 대안으로 대표단면을 이용하여 수심이 0.5m가 되는 경우의 홍수량을 Manning의 공식을 이용하여 한계유량으로 결정하였다. 홍수 지속시간에 따른 한계유량( $Q_d$ )을 발생시키는 지속시간별 강우량은 지형기후학적 순간단위유량도를 적용하여 계산하였다. 본 연구에서 수행된 돌발홍수 예측 기준은 제방의 안정성과 범람에 의한 피해를 최소화시키는 것이 목적이 아니라, 계곡에서 발생 가능한 인명피해를 최소화하기 위한 것이다. 따라서 우량발생 시 침투홍수량 발생시간을 지형기후학적 순간단위유량도를 적용한다면 최소한 20분 이상의 대피시간을 확보할 수 있는 것으로 나타났다. 본 연구는 인명을 보호하는 목적을 최우선으로 두었기 때문에 하천의 수위뿐만 아니라 발생시간에 더 큰 비중을 두었으므로 그 의의가 크다고 할 수 있다.

마지막으로 정밀한 경보발령기준을 수립하기 위해서는 수문자료의 장기계측, 하도단면의 측량뿐만 아니라, 기상 레이다 등을 이용한 강우예측이 요구된다. 또한, 주민과 관련기구의 적극적인 관심과 주민홍보도 필요하며, 경보 발령시 대처요령에 대한 입산자의 교육도 필요할 것이다.

#### 참고문헌

강인준, 최 현, 이병걸, 2001. 수치지도를 이용한 유역 특성분석, 한국측지학회지, 19(3): 229-237.  
 김성준, 박근애, 정인균, 권형중, 2003. WMS HEC-1

- 을 이용한 안성천 평택수위관측소 상류유역의 수문 경년변화 분석, 한국수자원학회논문집, 36(4): 609-621.
- 박영일, 1995. 수치모형으로부터 유역의 하천형태학적 특성인자 추출에 관한 연구, 강원대학교 석사학위논문.
- 성동권, 조기성, 2002. BurnDEM을 이용한 유역 및 하천망 추출에 관한 연구, 대한토목학회논문집, 22(2-D), 293-301.
- 안상진, 김영호, 2003. WMS를 이용한 강우-유출해석, 대한토목학회지, 23(4-B): 261-270.
- 양인태, 김연준, 1997. 수문해석을 위한 DEM에 의한 경사도 분석에서 격자크기의 영향, 한국측지학회지, 15(2): 221-230.
- 윤용남, 1997. 공업수문학, 청문각.
- 정인균, 김성준, 2003. 효과적인 하도망 추출을 위한 DEM전처리 방법 비교, 대한토목학회논문집, 23(3-D): 393-400.
- 차상화, 이순탁, 2002. GIS-SUS 모형을 이용한 강우-유출해석, 대한토목학회논문집, 22(5-B): 689-700.
- 최 현, 2004. 원격탐사자료에 의한 하천 소유역의 수문학적 해석, 부산대학교 대학원 박사학위논문.
- 최 현, 강인준, 홍순현, 2004. 지형학적순간단위유량도 분석을 위한 EOC 스테레오 영상 활용, 대한원격탐사학회지, 20(2): 91-102.
- 함창학, 1996. 지형정보시스템(GIS)를 이용한 수문정보 추출에 관한 기초적 연구, 충북대학교 대학원 박사학위논문.
- 행정자치부, 1998. 위성자료를 이용한 미계측 특정지역의 하천재해분석을 위한 기초연구, 행정자치부.
- Cowan, W. L., 1956. Estimating hydraulic roughness coefficients. *Agricultural Engineering*, 37(7): 473-475.
- Horton, R., 1945. Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins - hydrological Approach to Quantitative Morphology, *Geol. Soc. of Amer.*, 56: 275-370.
- Ignacio Rodriguez-Iturbe and Marcelo Gonzalez-Sanabria, 1982. A Geomorphoclimatic Theory of the Instantaneous Unit Hydrograph, *Water Resources Research*, 18: 977-886.
- Jenson, S. and J. Dominique, 1988. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54(11): 1593-1600.
- O'Callaghan, J. F. and Mark, D. M., 1984. The Extraction of Drainage Networks from Digital Elevation Data, *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 28: 323-344.
- Peucker, T. K., 1978. *Data structures for digital terrain modules: discussion and comparison*. In Dutton, G. (Ed.) *Harvard Papers on Geographic Information Systems*, 5. Addison-Wesley: Reading MA.
- Smart, J. S., 1973, *The random model indicial geomorphology, in Fluvial Geomorphology*, M. Morisawa.
- Soil Conservation Service, 1972. *Hydrology. National Engineering Handbook, Notice 4-102. United States Department of Agriculture, Maryland: Beltsville.*
- Strahler, A. N., 1950. Equilibrium Theory of Erosional Slopes Approached by Frequency Distribution Analysis, *Am. J. sci*, 248: 673-695.
- USDA Soil Conservation Service, 1986. *Urban Hydrology for Small Watersheds*. Technical Release 55, 2nd ed., NTIS PB87-101580. Springfield, Virginia.