

## 지형학적순간단위도를 이용한 미계측 소유역의 한계유출량 산정 검증

최 현\* · 이상진\*\*

### Verification about Threshold Discharge Computation using GIUH on ungauged small basin

Hyun Choi\* · Sang-Jin Lee\*\*

#### 요 약

본 연구는 지형학적 단위도(geomorphoclimatic unit hydrograph, GIUH)로 미계측 소유역의 한계유출량을 산정에 관한 연구이다. GIUH는 수문특성예측에 많이 이용된다. 연구 대상지역인 경북 감포지역에 대한 5km<sup>2</sup>의 소유역으로 수문특성인자, 제방월류유량 및 합성단위도(Clark, Nakayasu, S.C.S)에 의한 유출량도 함께 분석하였다. 그리고 지리정보 시스템으로 지형인자를 추출하고 지형학적순간단위도에서 산정된 첨두유량을 감포지점의 실측자료와 비교함으로써 지형학적순간단위도의 타당성을 검증하였고, 이와 NRCS(Natural Resources Conservation Service)방법을 이용하여 돌발홍수 기준우량을 제시하기 위한 한계유출량을 산정하였다.

주요어 : 한계유출, 돌발홍수, 지형학적순간단위유량도, 지리정보시스템, NRCS

**ABSTRACT** : This paper is about the threshold discharge computation using GIUH(Geomorphoclimatic Instantaneous Unit Hydrograph) on ungauged small basin. GIUH is one of the possible approaches to predicting the hydrograph characteristics. This study is calculated the various ways which are hydrologic characteristics, bankfull flows, unit peak flows(the Clark, the Nakayasu and the S.C.S) as well as threshold runoffs on about 5 km<sup>2</sup> scale at Kyungbuk gampo in subbasin. We are estimated propriety that peak discharge calculated the GIUH from acquiring data by GIS(Geographic Information System) compared to

\*경남대학교 토목공학과 전임강사 E-mail(hchoi@kyungnam.ac.kr)

\*\*정회원 한국수자원공사 수자원시스템연구소 선임연구원 E-mail(jiny@pusan.ac.kr)

observed peak discharge. And, the threshold discharge was calculated by NRCS(Natural Resources Conservation Service) for a flash flood standard rainfall.

**Keywords** : threshold discharge, flash flood, GIUH, GIS, NRCS

## 1. 서 론

유역에 내리는 강우-유출 관계는 수자원의 이수 및 치수 측면에서 가장 중요한 사안 중의 하나지만 자연현상인 유역의 유출특성에 대하여 정확히 분석하는 일은 매우 어렵다. 또한 미소하천 유역은 국가 또는 지방의 계획 관리하에 유지되고 있는 중·소·대규모 유역과는 달리 수위나 유량자료가 없는 미계측유역으로 수공구조물 설계시나 자연재해 발생 시 정확한 유출량 추정이나 홍수피해 경감을 위한 적절한 대책수립이 어렵다.

그러나 최근 GIS(Geographic Information System)의 발달로 지형정보를 정확하게 분석한 후 각종 수리 해석에 활발히 적용되고 있다. 수문지형학(Hydrogeomorphology)은 Rodriguez-Iturbe(1971)가 유역의 지형학적 인자를 기초로 하여 순간단위도를 유도하는 방법을 제시하는 것을 시작으로 Rodriguez-Iturbe와 Gonzalez-Sanabria(1982)가 지형학적순간단위유량도(GIUH; Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph) 매개변수와 유효우량만으로 함수를 표시하는 GcIUH(Geomorphoclimatic Instantaneous Unit Hydrograph)를 유도하여 오늘날까지 발전해 오고 있다. 미계측 소유역의 유출분석은 Sherman(1962)

의 단위도법이 간략한 지형 및 수문과정의 묘사를 통해 널리 사용되었으며 이후 GIS기법이 발전하면서 이와 연계한 연구가 다수 수행되었다. 이를 통하여 GIS기법과 더불어 미계측 유역특성에 부합하는 유출분석에 관한 연구는 큰 가치를 가지게 되었다. 돌발홍수능(flash flood guidance)은 미국의 국립기상청(National Weather Service)에서 70년대 중반에 처음 도입한 것으로 토양이 완전 포화상태에서 소하천의 범람을 야기하는데 요구되는 유효우량인 한계유출량(threshold runoff)을 산정하고, 토양습윤을 모의할 수 있는 연속유출모형을 이용하여 소유역에 홍수가 발생하는데 요구되는 강우량을 산정한다.

이와 같은 개념은 90년대 들어서 컴퓨터의 발달과 지형정보시스템(GIS)이 보편화되면서 보다 미소유역 단위로 산정이 가능하고 되었다. Carpenter & Geogakakos(1993)은 GRASS(Geographic Resources Analysis Support System)기반의 미소유역의 한계유출량을 산정할 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 그것은 수리공식을 이용한 저빈도 유량과 지형수문인자를 이용한 순간단위도의 침투유량에 기초한 것으로 Carpenter등(1999)은 한계유출량 산정의 4가지 방법에 대한 특성을 분석하여 제시한 바 있다. 앞이 기법을 적용하여 소하천의 한계홍수량 즉

하천기능을 유지할 수 있는 고유유량을 확률홍수량과 비교하여 분석하였다.

본 연구에서는 지형기후학적순간단위유량도와 Clark 순간단위도등 단위도기법을 이용하여 실측호우사상에 의한 유출분석결과와 비교하고, 미계측 미소유역의 돌발홍수예보를 위한 한계유출량을 산정하는데 지형기후학적순간단위유량도의 적용성을 검토하였다. 적용 대상유역으로 경북 소유역을 선정하였으며 GIS기법을 이용하여 지형특성자료와 지형학적순간단위도 매개변수를 산정한 후 Clark의 순간단위도 및 합성단위도를 이용한 수문곡선과 실측홍수량을 비교하였다. 또한 빈도별 확률강우량 분석으로 2년빈도의 강우량을 파악하고 이때와 유사한 강우사상에서의 홍수량을 관측하여 Manning의 한계홍수량과 비교 분석하여 적절한 한계유출량을 산정하고자 하였으며 이를 이용하여 NRCS방법에 의한 돌발홍수 기준우량을 산정하여 미계측 소

유역에서 합리적인 돌발홍수 기준설정방안을 마련하고 지리정보시스템으로 지형자료를 추출하여 지형기후학적단위유량도로 미계측 미소유역의 한계유출량을 산정하고자 한다.

## 2. 기본이론

### 2.1 수치표고모형을 이용한 하천망 분석

하천망 분석의 정량적 해석은 Horton(1945)에 의해 차수에 따른 하천망구축기법이 소개되었다. Strahler(1950)는 Horton분류와 다른 하천의 길이, 형상 발원을 고려하는 방식을 개선시켰다. 하천망 분석에서 유역특성은 [그림 1] (a)의 수치표고모형에서 흐름방향을 결정할 수가 있으며 (b)와 같은 비정상적인 높이를 나타내는 격자는 수정이 필요하다.

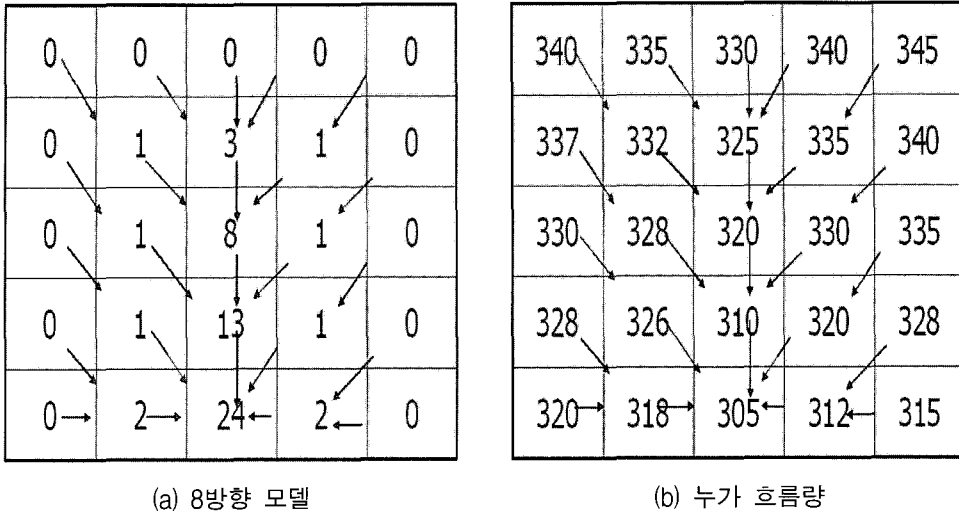
340	335	330	340	345
337	332	330	335	340
330	328	320	330	335
328	326	310	320	328
320	318	305	312	315

(a) 수치표고모형

340	335	330	340	345
337	332	330	335	340
330	228	320	330	335
328	326	310	320	328
320	318	305	312	315

(b) Sink GRID

[그림 1] 수치표고모형



[그림 2] 8방향 모델과 누가 흐름량

흐름방향에는 4개의 방위에 따라 흐름 방향을 결정하는 4방향 모델과 [그림 2]의 (a)와 같이 방위에 따라 흐름방향을 결정하는 8방향 모델이 있는데 8방향 모델의 적용 예를 나타낸다. 8방향모델은 셀 주위에 인접해 있는 8개의 격자로부터 가장 낮은 표고를 가지는 격자방향으로 흐름방향으로 정해진다. 흐름방향에 따라 누적된 흐름을 누가 흐름량이라 하며 [그림 2]의 (b)와 같이 나타낸다.

## 2.2 지형학적 순간단위유량도

Rodriguez-Iturbe등이 제안한 하천망의 무작위성 확률론적 이론에 따라 지형학적 순간단위유량도(GIUH; Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph)의 침투유량  $q_p$ 와 침투도달 시간  $t_p$ 를 산정하는 식은 식 (1)과 식 (2)와 같다.

$$q_p = \frac{1.31}{L_\Omega} R_L^{0.43} V \quad (1)$$

$$t_p = \left( \frac{0.44L_\Omega}{V} \right) \left( \frac{R_B}{R_A} \right)^{0.55} R_L^{-0.38} \quad (2)$$

여기서  $V$ 는 예상 침투속도로 유속과 관련된 동력학적 매개변수(m/s)이며,  $L_\Omega$ 는 최고차수의 하도연장(km)이며, 침투유량  $q_p$ 과 침투도달시간  $t_p$ 의 단위는 각각  $hr^{-1}$ 과  $hr$ 이다.

## 2.3 지형기후학적 순간단위유량도

Rodriguez-Iturbe(1982)등은 지형학적순간 단위유량도의 유속산정의 개선을 위해 유속은 평균 유효 강우강도  $i_r$ 과 지속시간  $t_r$ 에 종속된다는 원리 아래 지형기후학적 순간단위유량도(GcIUH; Geomorphoclimatic Instantaneous Unit Hydrograph)는 식 (3), 식 (4), 식 (5), 식 (6)과 같다.

$$q_p = \frac{0.871}{\Pi_i^{0.4}} \quad (3)$$

$$t_p = 0.585 \Pi_i^{0.4} \quad (4)$$

$$\Pi_i = \frac{L_{\Omega}^{2.5}}{(i_r A_{\Omega} R_L a_{\Omega}^{1.5})} \quad (5)$$

$$a_{\Omega} = \frac{S_{\Omega}^{0.5}}{(n b_{\Omega}^{2/3})} \quad (6)$$

여기서  $S_{\Omega}$ 는 5차 하천의 주하도 평균 경사(%),  $b_{\Omega}$ 는 5차 하천의 평균폭(m),  $n$ 은 최고차 하천의 조도계수이다. 강우강도  $i_r$ , 이고 지속시간  $t_r$ 인 지형기후학적순간단위유량도의 침투유량  $Q_p$ (m<sup>3</sup>/s)와 침투도달시간  $T_p$ (hr)는 식 (5)와 식 (6)을 이용하여 식(7)과 식(8)과 같은 지형기후학적순간단위유량도식으로 나타낼 수 있다.

$$Q_p = 2.42 \frac{i_r A_{\Omega} t_r}{\Pi_i^{0.4}} \left(1 - \frac{0.218 t_r}{\Pi_i^{0.4}}\right) \quad (7)$$

$$T_p = 0.585 \Pi_i^{0.4} + 0.75 t_r \quad (8)$$

## 2.4 Manning의 한계유출량

소유역에 균일한 강도의 강우가 지속되어 하천 제방에서 월류가 시작될 때의 유량을 제방월류 유량이라고 한다. Henderson(1996)에 의하면 수리적으로 완전히 거친 흐름의 저항식과 Manning 공식은 기본적으로 같은 형태이므로 Manning 공식은 수리적으로 거친 흐름의 마찰 저항식 이라는 것을 알 수 있다. 따라서 제방월류 유량은 Manning 공식으로부터 산정이 가능하며, 이는 수심(Y), 하폭(B), 하도경사(S) 및 형상계수(m)로부터 식 (9)와 같이 표현된다.

$$Q_p = \frac{1.486 S^{0.5} B}{n} \left[ \frac{Y}{m+1} \right]^{5/3} \quad (9)$$

여기서  $n$ 은 Manning의 조도계수인데 Jarrett(1984)는  $n$ 값이 0.035이상일 때에는 식(10)과 같이 하도경사, 수심 및 형상계수의 함수로 표현된다고 하였다.

$$n = 0.39 S^{0.38} / \left[ \frac{Y}{m+1} \right]^{0.16} \quad (10)$$

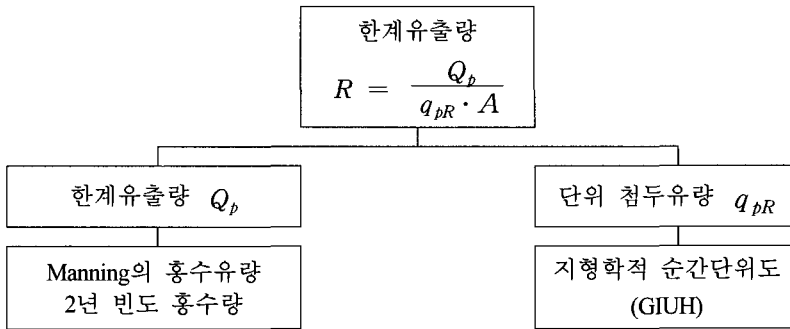
## 2.5 한계유출량

한계유출량은 원래 토양이 완전 포화된 상태에서 소하천의 제방에서 월류를 시작하여 홍수를 일으키기 시작하는 시점의 유효우량으로 정의되며, 이는 유역과 하천의 특성에 따라 좌우된다. 따라서 한계유출량은 식(9)와 같이 단위도의 침투유량에 유역면적과 유효우량을 곱한 값이 유역 출구에서의 제방월류량 Q와 동일하다는데 근거하여 산정 될 수 있다. 즉 단위도의 기본개념이 특정 단위시간 동안 균일한 강도로 유역전반에 걸쳐 균등하게 내리는 단위 유효우량으로 인해 발생하는 직접유출 수문곡선이므로 유효우량 R은 식 (11)에서 한계유출량에 해당하며 이는 다음 식 (12)와 같이 표현된다.

$$Q_p = q_{pR} R A \quad (11)$$

$$R = \frac{Q_p}{q_{pR} \cdot A} \quad (12)$$

여기서, 한계유출량  $Q_p$ 를 결정하는 방법에는 하도단면의 특성을 이용한 Manning



[그림 3] 한계유출량 산정 모식도

공식으로부터 산정하는 방법과 2년 정도의 저빈도의 홍수량을 제방월류유량으로 가정하여 산정하는 방법이 있다. 단위도의 첨두유량  $q_{pR}$ 은 실측 강우 및 유량자료가 존재하는 경우 단위도를 유도하여 결정할 수 있으나 대부분의 소하천 유역은 미계측 지역이므로 Snyder 방법과 같은 합성단위도를 이용하는 방법과 유역의 지형특성이나 Horton의 하천계수 등을 사용하는 지형학적 순간단위도(Rodriguez와 Valdes, 1979)를 이용하는 방법이 있다. 여기서는 Carpenter등이 제안한 방법 중에서 Manning의 홍수유량과 GIUH(지형학적 순간단위도)를 이용하여 유효우량을 산정하였다. [그림 3]은 한계유출량을 산정하는 기법 중에서 본 연구에서 사용된 기법에 대해 요구되는 자료를 나타낸 것이다.

### 3. 대상유역 적용

#### 3.1 대상유역특성

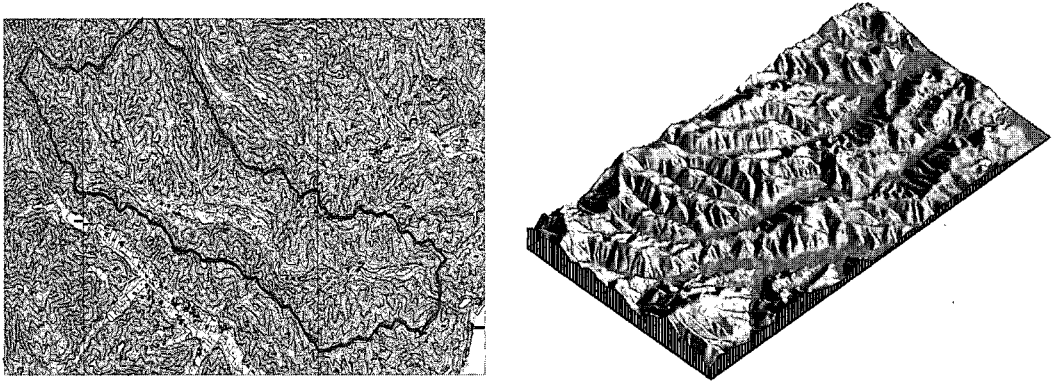
연구 대상 유역으로 선정한 경북 감포 지역에 있는 소유역의 면적은 3.674km<sup>2</sup>로

서 유로연장 역시 4.64km 정도 되는 미계측 소유역이다. 유역내에는 하천 상류측에 약간의 농경지만이 위치하고 있을 뿐 대부분 임야로 구성되어 있다. 유역의 형상은 동서로 길게 뻗어 있으며 하천 형상은 수지상(樹枝狀)이나 본류 이외의 큰 지류가 없는 단순한 하천으로 소하구로 이어져 직접 동해로 유입되는 지형조건을 갖추고 있다.

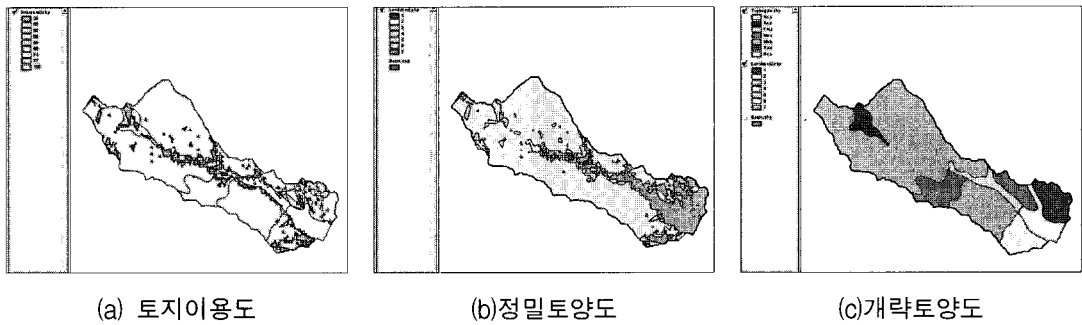
유역의 평균 폭은 0.75km이며, 하천경사는 1/35에서 1/55로서 다소 급한 편으로 나타났다. 소유역은 서쪽 끝의 봉우리가 발원지로서 가장 높은 고도 +306.8m로서 남쪽 및 동쪽으로 갈수록 고도가 낮아지고 있으며 소유역 하류 하천 높이는 약 +8.0m이다.

본 연구의 지형구축 및 연산은 Arcview 등 GIS Tool을 이용하였으며, 30m격자를 가지는 DEM을 이용하여 유역특성자료를 산정하였다. [그림 4]는 수치표고모형(DEM; Digital Elevation Model)에 의하여 형성된 소유역의 경계와 3차원 음영기복도이며, 소유역의 유역면적 및 유로연장 등 지상학적 인자는 <표 1>과 같다. CN 산정을 위하여 [그림 5]와 같이 토지이용도를 분

지형학적순간단위도를 이용한 미계측 소유역의 한계유출량 산정 검증



[그림 4] 수치지도에 의한 소유역 형상 및 3차원 음영기록도



(a) 토지이용도

(b)정밀토양도

(c)개략토양도

[그림 5] 대상유역의 토지이용도와 토양도

<표 1> 소유역의 지상학적 인자

유역면적(km <sup>2</sup> )	유로연장(km)	유역 평균폭(km)	유역 형상계수	평균유로경사
3.67	4.64	0.79	0.17	0.02

류하였다. 토양형을 구분하면 대부분 A형으로서 95%를 차지하고 있으며 나머지는 C형이며 B형 및 D형 토양형은 없는 것으로 조사되었다. 또한, 토지이용상태는 대부분 산림지로서 92%를 차지하고 나머지는 논과 밭으로 구성되어 있다.

이와 같은 토양종류 및 토지이용상태를

기초로 산정한 CN(Curve Number)값은 <표 2>와 같이 AMC-II의 조건에서 58.0이며 AMC-III 조건에서는 76.0였는데 본 연구에서는 안전한 측면을 고려하여 홍수시에는 선행강우로 인하여 유역이 충분히 포화되어 있다고 가정하여 AMC-III 조건의 CN값 76.0으로 결정하였다.

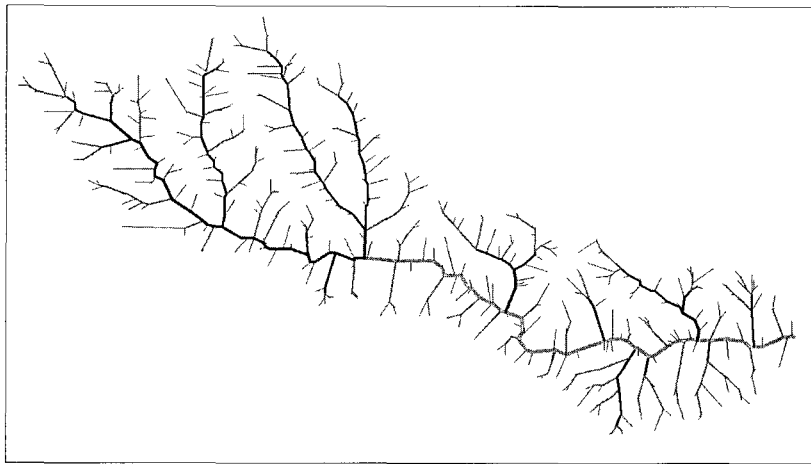
<표 2> 연구대상 유역의 CN

토지이용	Type A		Type C		이용별 총면적 (천㎡)	AMC-II 조건 평균 CN값
	면적(천㎡)	CN값	면적(천㎡)	CN값		
논	180.6	67.0	88.7	85.0	269.3	72.9
밭	19.5	63.0	3.2	83.0	22.7	65.8
산림지	3,291.6	56.0	86.4	86.0	3,378.0	56.8
계	3,491.7	56.6	178.3	85.4	3,670.0	58.0

### 3.2 지형학적 순간단위도 매개변수 산정

대상유역은 유역면적 5km<sup>2</sup>이하의 미소유역으로 하나의 [그림 6]과 같이 소유역으로 Horton 차수도를 구축하여 지형학적순간단위도 매개변수를 산정하였다. 유역의 특성치를 지리정보시스템으로 각각 산정

하여 정리하면 <표 3>과 같으며, 하천의 조도계수는 자연하천에 적합한 하천설계 기준(수자원학회, 2000)에서 제시한 것을 참조하고, 현장조사결과 대상유역하천은 깨끗하고 양안이 직선, 수심이 깊게 파이지 않고 약간의 잡초와 돌이 있는 곳으로 판단하여 최고차수 하도인 5차하도의 조

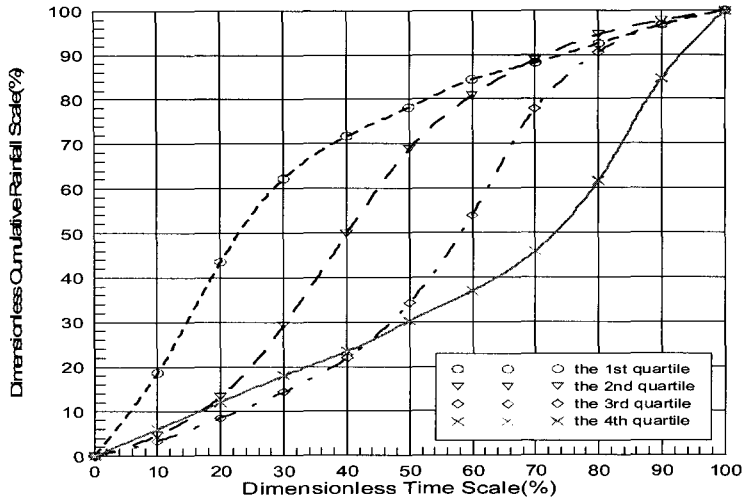


[그림 6] 10m격자크기로부터 추출된 Horton 차수

<표 3> 소유역의 지형학적 순간단위도 매개변수

유역면적 $A_{\Omega}$	최고차하천 평균경사 $S_{\Omega}$	최고차하천 평균연장 $L_{\Omega}$	분기율 $R_B$	연장비 $R_L$	면적비 $R_A$	조도계수 $n$
3.67km <sup>2</sup>	0.03	4.76km	4.52	1.94	4.99	0.033





[그림 7] HUFF의 4분위 무차원 누가우량곡선

도계수를 0.033으로 산정하였다. [그림 7]은 HUFF의 4분위 무차원 누가우량곡선을 나타내고 있다.

### 3.3 확률강우량

한계유출량을 산정하는데 필요한 Manning의 한계유출량과 직접적으로 비교하기 위하여 2년빈도 확률강우량을 산정하였다. 우선 확률강우량의 산정은 실측 연최대 유량계열의 통계처리에 의한 직접적인 방법과 강우로부터 산정하는 간접적인 방법이 있으며 대상유역은 미계측 미소유역으로 유량측정 자료가 없기 때문에 간접방법으로 확률강우량을 산정하기 위하여 강우 빈도분석을 실시하였다.

대상유역은 유역면적이 작은 소하천으로 유역내에는 강우 또는 수위 등의 수문 관측소가 전무한 실정이므로, 유역 인근에 위치한 경주 우량관측소의 63개년(1914~1941년, 1963~1997년)에 걸친 일최대 강우

자료를 이용하여 정규분포, Log-Normal(2변수), Log-Normal(3변수), Iwai, Pearson Type-III, Log-Pearson Type-III, Gumbel 분포 등 7가지 수문통계학적 방법으로 비교 검토하였다.

이와 같이 각 분포형으로 산정한 값의 적정성을 판단하기 위하여 Chi-Square( $X^2$ ) 검정 방법을 이용하여 각 분포형의 적합도를 비교 검토하였으며, 그 결과 정규분포법과 Log-Normal(2변수, 3변수)법은 부적합한 분포형으로 분석되었으며, 그 외 분포형은 모두  $X^2$ 의 값이 95% 신뢰도 기준의 한계치내로 분석되어 적합한 것으로 분석되었으며 산정방법별 일최대 확률강우량 산정결과는 <표 4>와 같다.

### 3.4 확률강우량

#### 3.4.1 단위도

홍수 도달시간이 짧은 유역임을 감안하

<표 4> 일최대 확률강우량

(단위 : mm)

산정방법 \ 빈 도	2년	5년	25년	50년	100년	200년	X <sup>2</sup> 한계치	X <sup>2</sup>
정규분포	108.5	151.6	198.1	213.6	227.6	240.3	12.59	21.43
Log-Normal(2변수)	98.2	143.1	215.1	246.4	278.4	311.3	12.59	41.71
Log-Normal(3변수)	100.1	145.7	212.9	240.5	267.9	295.4	11.07	12.57
Pearson Type-III	97.8	144.9	216.2	245.3	274.0	302.3	11.07	9.71
Log-Pearson Type-III	96.2	142.0	223.5	262.0	303.4	348.0	11.07	4.29
Gumbel	100.4	149.7	223.4	254.0	284.3	314.5	12.59	10.57

여 단위도의 단위시간을 0.25시간으로 하여 1mm의 유효우량에 대한 단위도를 구하였다. Nakayasu의 종합 단위도법, SCS의 무차원 단위도법 및 Clark의 유역 추적법으로 구한 단위도를 비교한 결과 단위도의 침투유량은 SCS 방법이 가장 크고 Nakayasu 방법이 가장 작으며 Clark 방법은 앞의 두 방법의 중위의 값에 해당하는 크기로 나타났다.

Clark의 방법으로 단위도를 유도함에 있어서 필요한 매개변수인 도달시간(Tc)은 Rziha 공식에 의하였으며 저류상수(K)는 Clark공식을 이용하여 구하였다.

$$T_c = 0.06626 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

$$K = 0.00855 \frac{CL}{\sqrt{S}}$$

여기서 Tc는 도달시간(hours), L은 유로 연장(km), S는 유로경사(m/m), K는 저류상수(hours), C는 상수(0.8~2.2)로 1.1을 적용하였다.

### 3.4.2 강우의 시간별 분포

강우의 지역별 양상 및 실제 시간별 강우분포를 잘 반영하여 최근 국내에서 많이 사용하고 있는 Huff 방법을 적용하였으며, 누가분포 자료는 인근지역인 포항 관측소의 50% 누가계열치를 사용하였다. 구간별 누가백분율을 사용하여 적용한 회귀식은 식13과 같으며 [그림 4]는 HUFF의 4분위 무차원 누가우량곡선을 나타낸다.

$$Y = -0.0122185 + 1.5301132 X - 0.2795402 X^2 + 0.0024187857 X^3 - 0.000998819 X^4 + 0.221077E-5 X^5 - 0.26576492E-7 X^6 + 0.16341983E-9 X^7 + 0.40296193E-8 X^8 \quad (13)$$

## 4. 결과분석

### 4.1 홍수수문곡선 비교분석

2004년 9월에 발생한 2개의 강우사상을 이용하여 지형기후학적순간단위유량도와

Nakayasu의 종합 단위도법, SCS의 무차원 단위도법 및 Clark의 유역 추적에 의한 단위도를 유량실측에 의한 값과 비교하였다. 유량관측은 대상유역 출구지점에 10×5m 크기의 구형콘크리트 암거가 설치되어 있어 강우사상 발생시 시간별로 유속을 측정하고 유량을 산정하여 수문곡선을 도출하였다.

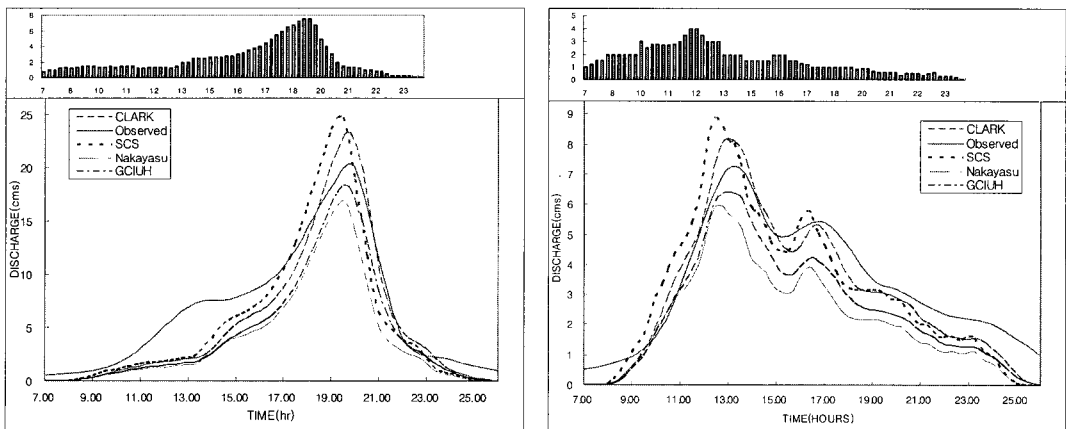
[그림 8]과 같이 2004년 9월의 결과는 SCS단위도, Clark단위도, 실측값, 지형기후학적단위유량도, Nakayasu단위도 크기의 순으로 나타났으며, 지형기후학적순간단위도를 적용하여 산정한 강우량과 Clark 단위도를 이용한 방법이 관측치와 가장 근사하였고 상대적으로 SCS단위도와 Nakayasu 단위도는 다소 또는 과대 평가된 것으로 분석되었다. 또한 이때의 총강우량은 각각 108mm와 176mm로 앞선 확률강우량 분석과 비교하여 볼 때 2년~10년 정도의 빈도임을 알 수 있다.

#### 4.2 한계유출량 산정

유역의 돌발홍수 기준우량을 산정하기

위한 지속시간은 10분에서 120분까지 10분단위의 지속시간을 정하고 해당 유역에서 기준이 될 수 있는 지속시간을 결정하도록 하였다.

한계수심은 계곡에서 인명의 안전을 확보하는 차원의 안전고로서 0.5m를 한계수심으로 정하였다. Manning공식을 이용한 한계유출량을 산정하기 위한 하폭은 결과에 상당한 영향을 줄 수 있는데 수문학적 안정성 확보 및 치수능력 증대방안 수립 보고서(한국수자원공사, 2003)에 수록된 유역 하류부 하천 중·횡단측량이의 본류 구간 하천단면자료가 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 위의 보고서와 현장 조사를 통하여 결정한 하폭으로 산정한 결과 한계유출량은 8.98m<sup>3</sup>/sec였다. 홍수수문곡선 분석에서 2년 빈도 확률강우와 유사한 강우사상에서 침투유량은 10.39m<sup>3</sup>/sec로 관측된 것으로 볼 때 Manning 공식을 이용한 한계유출량과 2년 빈도 유출량은 서로 근사함을 확인하였다. 하도특성 자료를 식 (11)에 대입하여 계산한 결과 한계유출량(Q<sub>d</sub>)은 10.12m<sup>3</sup>/sec였다.



[그림 8] 단위도별 홍수수문곡선

<표 5> 지속시간별 유효우량 및 총우량

지속시간(분)	10	30	60	90	120	단위
유효우량 ( $R_e$ , mm)	0.20	0.31	0.36	0.41	0.47	$Q_d$ ( $m^3/sec$ )

### 4.3 NRCS방법을 이용한 돌발홍수 기준우량 산정

10분 간격으로 강우지속시간을 고려하여 각 지속시간에서 한계유출량을 초과하는 되는 강우량인 유효우량( $R_e$ )을 지형기후학적순간단위우량도의 변형식을 이용하여 지속시간별 유효우량을 산정하였다. 이를 이용하여 NRCS방법의 총우량-유효우량 관계를 이용하여 총우량( $R_T$ )으로 환산하였다.  $I_a$ 는 S와의 관계에 따라 3가지 경우( $I_a=0.0S$ ,  $I_a=0.1S$ ,  $I_a=0.2S$ )를 분류하여 그 값에 따른 총 강우량을 식 (5)에서 산정하여 <표 5>와 같이 나타내었다.

둘째, 실측 강우사상과 단위도와의 비교에서 지형기후학적순간단위도를 적용하여 산정된 유출량과 Clark단위도를 이용한 방법이 관측치와 근사하였고 상대적으로 SCS단위도와 Nakayasu단위도는 다소 또는 과대평가된 것으로 분석되었다.

셋째 한계수심 0.5m에서 한계유출량은  $8.98m^3/sec$ 로 나타났으며, NRCS방법을 이용하여 돌발홍수 기준우량을 돌발홍수 기준우량을 산정하였는데 향후 유역의 규모나 여건을 감안하고 수문자료가 보완되면 보다 적절하고 합리적인 돌발홍수 기준설정이 가능할 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

## 5. 결 론

본 논문은 지리정보시스템으로 지형자료를 추출하여 지형기후학적단위우량도로 미계측 미소유역의 한계유출량을 산정하는데 적합함을 증명하였으며 돌발홍수 기준우량산정의 기본식으로 소유역에 적용한 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 빈도별 확률강우량분석으로 2년 빈도의 강우량을 간접적으로 파악하여 유사한 강우사상에서의 홍수량을 관측하고 이를 Manning의 한계유출량과 비교한 결과 근사함을 나타내었다.

김운태, 배덕효, 조천호, 2002, “돌발홍수예보를 위한 미소유역의 한계유출량 산정”, 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제35권, 제5호, pp.553-561.

장종경, 2002, GCIUH 및 GIS를 이용한 산악 지역 돌발홍수 예경보 시스템 구축에 관한 연구, 석사학위논문

신현석, 김홍태, 박무중, 2004, “GIS와 GCIUH를 이용한 돌발홍수 기준우량 산정의 타당성 검토연구”, 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제37권, 제5호, pp.407-424.

강인준, 최 현, 이병걸, 김홍태, 1998, “합천댐 유역의 Horton 수계망 형성과 지형적 특성에 관한 연구”, 대한토목학회 학술발표회

- 논문집(IV), 대한토목학회, pp.505-508.
- 建設交通部 韓國水資源公社(1999) 慶北東部地球 水原施設 實施設計報告書, pp.48-158
- 건설부, 1988, 한국 확률강우량도의 작성, 수자원관리기법 개발 연구조사 보고서, 제2권
- Huff, F.A., 1967, "Time distribution of rainfall in heavy storms", Water Resources Research, Vol. 3, No.4, pp.1007-1019.
- Valdes J.B., Y Fiallo and I. Rodriguez-Iturbe, 1979, "A Rainfall-runoff analysis of the geomorphologic IUH", Water Resour. Res., No. 15, 1979, pp.1412-1434.
- Horton, R.E., 1945, "Erosional development of stream and their drainage basins ; hydrophysical approach to quantitative morphology", Geological Society of America Bulletin, Vol. 56, 1945, pp.275-370
- US Soil Conservation Service, 1986, National Engineering Handbook, Soil Conservation Service, U.S. Dept. Of Agri.
- Rodriguez-Iturbe, I.G.Deveto,J.B.Valdes, 1979, "discharge response analysis an storm characteristics", Water Resources Research, 5(6), pp.1444-1453
- Rodriguez-Iturbe, I.M.G.Sanabria G.Camaano, 1982, "A Geomorphoclimatic theory of the instantaneous unit hydrograph", Water Resources Research, 18(4), pp.886-887.
- Strahler, A. N., 1950, "Davis's concept of slope development viewed in the light of recent quantitative investigations". Annals of the Association of American Geographers 40 pp.209 - 13.
- Tarboton D.G., B.R.Brass, I.Rodriguez-Iturbe, 1988, "The fractal nature of river networks", Water Resources Research, 24(8) pp.1317-1322.