

〈論 文〉

小流域의 洪水到達時間과 斜面길이의 分布特性을 고려한 洪水流出解析

Runoff Analysing Considering the Distribution of Concentration Time and Slope Length for a Small Basin

趙 弘 濟*
Cho, Hong je

Abstract

The hydrologic response function in a small basin is expressed by the distribution function of slope length. The characteristics of topographical factors is represented to the concentration time, and the instantaneous unit hydrograph is derived as a hydrologic response function by application of probability density function.

The averaging process of runoff characteristics within watershed was analyzed for a few small watershed where was split up the small basin itself.

The method of calculation of the effective rainfall should play important roles in the transformation process from hydrologic response function to runoff hydrograph.

In this paper, the Horton's infiltration equation is used as a method of calculation of effective rainfall, a new response function of runoff process is derived. The Φ -index method and the infiltration method are tested by comparing the observed and estimated values.

要 旨

浸透효과와 큰 山地 小流域은 斜面流가 流域內의 主된 흐름이 되며, 降雨一流出의 水文應答은 斜面길이의 分布特性으로 나타낼 수 있다. 流域의 地形特性은 洪水到達時間으로 표현되며, 洪水到達時間에 확률밀도함수를 적용시키면, 降雨, 流出의 應答函數인 순간단위도를 구성할 수 있다. 斜面길이와 관측된 洪水到達時間의 확률분포를 비교해 본 결과 형상계수가 거의 일치하였다. 이는 斜面의 特性이 到達時間으로 집약되어 나타나는 것을 의미하며, 斜面의 특성치로서 流出에 대한 應答函數를 구성할 수 있음을 나타낸다. 특히, 流域內 流出의 平均化를 시도하기 위해서 小流域內 分水系를 기준으로 다수의 분할 소구역으로 나누어 전체소구역과 분할소구역의 斜面特性值를 비교 분석하였다. 應答函數에 의해 유도되는 직접유출수문곡선을 有效降雨量의 산정 방법에 따라 그 재현정도가 달라진다. 본 논문에서는 Horton의 침투 eq.을 이용 기본방정식을 재구성 하였고, Φ -index 法과 직접유출수문곡선의 재현성을 비교 검토하였다.

1. 序 論

실제로 流域內에서 일어나는 자연상태의 降雨一流出 과정은 다양하게 발생하는 바, 일반적으로 地形, 地質,

植生등의 空間的 特性和 降雨과정등의 流出因子에 따라 流域內의 主된 흐름이 달라지며 流域의 크기에 따라 흐름형태는 크게 斜面흐름과 河道흐름으로 나눌 수 있다.

流出解析은 일반적으로 流域內 降雨의 流出과정을

* 蔚山大學校 工科學 副教授

再現시키기 위해서 복잡한 流域全體를 하나의 이상적인 모델화 하여, 流域內的 平均降雨를 流出로 변환시키는 河道흐름으로 解析¹²⁾하고 있다.

小流域에 있어서는 河道의 흐름효과가 斜面에 비해 아주 작거나 무시할 수 있는 것이므로, 斜面에서의 흐름이 流域 全體의 主된 흐름으로 구성되는 크기 정도의 流域으로 정의되며, 面積의 大小에도 한계가 일정하지 않다. Chow³⁾는 “小流域의 특성은 斜面流出의 효과가 河道流出의 효과에 비해서 尖頭流量에 주는 효과가 아주 크며, 토지이용상태와 단시간의 높은 降雨強度에 대해 아주 민감하다. 따라서, 小流域은 단시간에 높은 降雨強度와 토지이용상태의 민감성이 河道의 特性에 따라 영향을 받지 않는 流域으로 정의가 된다. 이와 같은 정의에 따르면 小流域의 크기는 2~3 acres 에서 10,000 acres 정도로, 또는 100 sq.mi 정도가 될 수 있다.”고 하였다.

流出的 特性은 流域內的 空間의 特性에 따라 변하고, 空間의 特性値와 降雨特性의 두 特性値는 洪水到達時間으로 집약되어 표현되므로, 降雨 및 空間의 特性과 到達時間의 수문응답 特性은 유사성이 있을 것이다. 이는 到達時間의 확률밀도함수를 핵(kernel)으로 하는 降雨-流出 응답함수를 構成하므로써 流域의 地形이나 斜面의 상황에 대한 통계적 법칙을 流出 모델로 합성할 수 있음을 의미한다.

小流域의 流出解析에 있어서는 大流域으로의 확대 해석을 위해 그 필요성이 강조되어 왔으나, 小流域은 관측시설의 미비로 인한 검증 자료의 수집이 어려워 이론의 정립과 적용에 많은 어려움이 있었고, 경험적인 방법인 합리식법, 단위도법, 상관분석법 및 선형저수지 모델법등이 병행되어 사용되어 왔다.

최근 Hirano^{4,5,6)}는 Kinematic Wave Theory 를 이용해서 山地小流域의 斜面길이와 홍수도달시간의 확률분포의 유사성을 分析하여, 斜面의 特性만으로도 물리적 의미를 가진 유출응답함수를 구성할 수 있는 이론을 제안 하였다. 이에대해 Yamada^{7,8)}는 수문곡선 감수부의 성질을 응답함수의 합성으로, Fujita^{9,10)}는 斜面길이의 변동특성을 고려한 流出解析으로부터, 그리고 Kadoya¹¹⁾는 Darcy 법칙을 만족하는 山地中間流出的 解析으로부터 그 이론의 타당성을 보인 바 있다. 또, 小川은 山地小流域에 대해 Water Path Model 을 제시하였고, 小葉¹⁷⁾은 준시간면적도를 이용한 流出解析을, 高木^{13,15)}는 斜面의 特性値로부터 流域의 流出에 대한 平均化를 시도하여 小流域의 流出解析 方法을 大流域에 대해 확대 해석을 할 수 있는 가능성을 보인 바 있다. 국내에서는 조. 이¹⁶⁾등이 본 이론의 타당성

을 성포리, 장상리 대표시험유역에 적용시켜 검토한 바 있다.

본 연구에서는 流域의 主된 흐름을 斜面流로서의 中間流로 취급하여 순간단위도로 표현되는 기본방정식을 확정하였고, 空間의 特性値의 통계적 법칙과 洪水到達時間과의 유기적 관계를 검토하였다. 유효우량의 산정은 Horton의 침투능공식과 ϕ -Inbex 법을 병행하여 사용하였으며, 이에 대한 차이를 비교검토하였다.

관측이 미비한 지역에 본 연구성과를 적용시킬 수 있도록 하기 위해서 선행강우, 유효강우량, 총강우량등의 降雨特性因과 到達時間의 상관해석을 시도하였고, 특히 본 연구성과에 일반성을 부여하기 위해서 分析이 시도된 小流域을 몇개의 분할 小流域으로 구분하여, 분할 소유역과 전체 유역의 斜面길이등의 空間의 特性을 비교 分析함으로써 流域의 流出에 대한 平均化를 시도 하였다.

2. 流出的 基本式

降雨-流出的 변환과정은 일정한 것이 아니라 各流域의 地形, 地質등의 물리적 특성에 따라 각각 다양하게 발생한다. (그림 2-1 참조)

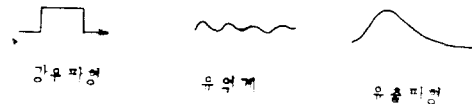


그림 2-1 수문곡선의 형성

2.1 순간단위도와 유출방정식

系(system)의 매개변수 동정(parameter identification)은 入力 $x(t)$, 出力 $y(t)$ 의 실측치로부터 (2-1) 式을 利用하여 핵함수 $h(t)$ 를 구할 수 있다¹⁴⁾.

$$y(t) = \int_{-\infty}^t h(\tau)x(t-\tau)d\tau \dots\dots\dots(2-1)$$

(2-1)式을 「그림 2-1」과 같은 유역변환계에 適用시키면 入力는 降雨이고 出力은 流出이 된다. 여기서 入力과 出力은 항상 陽(+)의 값을 가지기 때문에 時間 $t=0$ 以前の 入力은 系의 出力에 영향을 주지 못한다. 따라서 (2-1)式을 (2-2)式으로 나타낼 수 있다.

$$Q(t) = A \int_0^t h(\tau)r_e(t-\tau)d\tau \dots\dots\dots(2-2)$$

단, $h(\tau) = 0 : \tau \leq 0$

$h(\tau)$ 는 핵(kernel)함수로서 순간단위도를 의미하며, $r_e(t-\tau)$ 는 入力으로서의 유효우량이고, $Q(t)$ 는 出力

으로서의 유출량이다.

2.2 中間流出 모델

斜面的 토양이 투수성이 높은 재료로 구성되어 있거나, 구릉지 또는 산지지형에서 표층이 낙엽 등으로 피

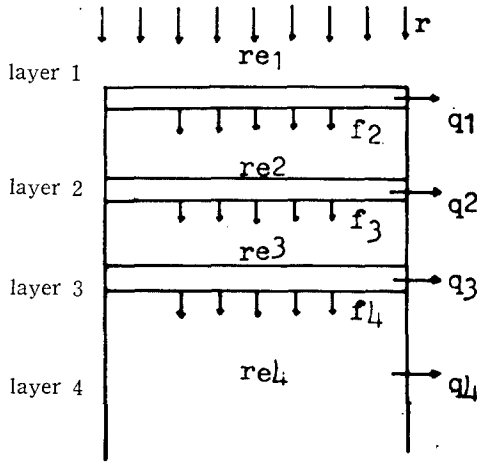


그림 2-2 사면에서의 유출모델

(subsurface runoff; Darcy 법칙성립)

* 한계 이상의 강우 발생시 표면유출형성

(prompt interflow)

(delayed interflow)

* 변화를 주는 Baseflow 역할

(ground water flow)

여기서, r : 강우강도

re : 유효강우강도

f : 침투강도

q : 유출량

f : 침투강도 r : 강우강도

λ : 공극율 re : 유효강우강도

운동방정식은 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$h = \alpha q^m \dots\dots\dots(2-8)$$

여기서,

q : 단위 사면폭당유량

α, m : 사면류 정수

가정에서 斜面的 흐름이 Darcy 법칙을 따른다고 하였으므로 斜面流정수 α, m 은 다음식과 같이 표현된다.

$$\alpha = 1/k \sin \theta = 1/k \cdot i, \quad m = 1 \dots\dots\dots(2-9)$$

k : 투수계수

$i = \sin \theta$; 사면경사

小葉은 斜면에서의 流出모델은 「그림 2-2」와 같이 구성될 수 있다고 제안하였으며, 표면유출은 Darcy 법칙이 성립되는 크기 이상의 降雨가 있을 때 발생하며 斜면에서는 (1)층의 표면유출과 (1), (2)층의 침투류가 직접유출을 구성한다고 정의하였다.

본 연구에서는 「그림 2-2」의 모델을 기준으로 斜面的 흐름이 포화침투류로서 Darcy 법칙을 따른다고 가정하여 기본이론식을 유도 하였다. 1차원 부정류로서의 연속방정식은 다음식과 같다. (그림 2-3 참조)

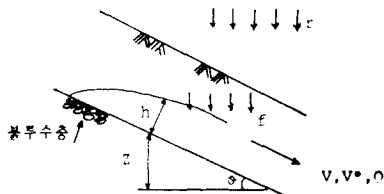


그림 2-3 중간유출모델

$$\frac{\partial(\lambda h)}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r_e \dots\dots\dots(2-6)$$

$$r_e = (r - f) \cos \theta \dots\dots\dots(2-7)$$

여기서,

h : 수심 θ : 사면의 경사각

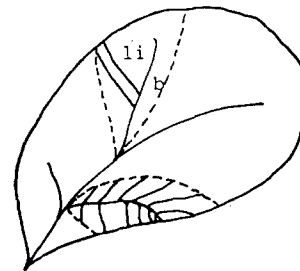


그림 2-4 사면유출 구성도

여기서, 「그림 2-4」와 같은 1차원 1개의 斜面에 (2-6)~(2-9)式을 적용시켜 특성곡선법에 의해서 기본 방정식을 유도¹⁶⁾하면 다음과 같다.

$$Q(t) = A \int_0^{\infty} u(\tau) r_e(t-\tau) d\tau \dots\dots\dots(2-10)$$

$$u(\tau) = \int_t^{\infty} \phi(T) / T dT = 1.0 \dots\dots\dots(2-11)$$

(2-11)式의 $u(\tau)$ 는 핵함수로서 순간단위도이며, 斜面에서의 流出解析은 到達時間의 분포함수인 $\phi(T)$ 의 解析으로 집약된다. 到達時間은 물리적으로 1개의 斜面을 降雨가 흐르는데 필요한 시간을 의미하며, 流域의 地形, 地質, 斜面의 傾斜 및 降雨強度 등에 따라서 다양하게 變化하지만, 이 효과는 到達時間으로 집약되어 표현된다. 일반적으로 流域內的 流出에 대한 실측치를 分析해 보면 「그림 2-1」과 같이 Skew된 곡선으로 나타나므로, 핵함수를 Skew된 확률밀도함수로 구성할 수 있다. 이에 대한 연구^{6,7,8)}로서 대수정규, Gamma 분포 함수 등으로 적용성을 검토한 바 있다.

3. 流出解析

3.1 유효우량 계산

유효우량을 계산하는 方法에는 降雨에 流出係數를 곱하는 유출계수법, 降雨強度에서 浸透量을 빼는 浸透法이 있다. 流出係數법은 유역이 浸透地域이나 非浸透地域의 구분없이 적용되나 주로 都市流域의 流出解析에, 浸透法은 流域의 대부분이 浸透地域인 경우에 적합한 것으로 알려져 있다³⁾.

본 연구에서는 Φ -Index 법과 침투법을 사용하여 유효우량을 분리하였으며, 이에 대한 효과의 정도를 검토하였다.

浸透法을 사용하는 경우 유효우량은 다음과 같이 나타내어 진다.

$$r_e = r - f_p; r > f_p \dots\dots\dots(3-1)$$

$$= 0; r < f_p$$

여기서, f_p : 침투능

降雨에 의한 地表流出이 존재할 때 浸透는 계속적으로 일어나며 式 (2-7)에 적용되는 浸透能은

$$f = f_p; h \geq 0 \dots\dots\dots(3-2)$$

$$= 0; h < 0$$

로 표시된다. (3-1), (3-2)式을 (2-10)式에 代入하면,

$$Q(t) = A \int_0^{\infty} \int_0^T \{r(t-\tau) - f(t-\tau)\} \cos d\tau \cdot \frac{\phi(T)}{T} dT \dots\dots(3-3)$$

여기서

$$f(t) = f_p(t); \int_0^T \{r(t-\tau) - f(t-\tau)\} d\tau \geq 0$$

$$= 0; \int_0^T \{r(t-\tau) - f(t-\tau)\} d\tau < 0$$

基本式 (2-10)에서 流出 System은 선형이다. 반면에 (3-3)式에는 浸透速度가 고려되어 降雨와 流出의 비선형은 降雨의 洪水流出部分과 地下水流出部分의 분리과정에 기인한다.

3.2 최적해법에 의한 유출해석

(2-10)式이나 (3-3)式으로 流出解析을 시행하기 위해서는 到達時間의 分布 $\phi(T)$ 가 정의되어야 한다. Hirano^{4,5,6)}, Yamada^{7,8)} 등에 의하면 到達時間의 分布가 대수정규분포, 감마분포로 설명될 수 있다.

여기서, $\phi(T)$ 를 대수정규분포로 가정하면 대수정규 분포 함수는

$$\phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_x} \exp\left\{-\frac{(x_i - \bar{x})^2}{2\sigma_x^2}\right\} \dots\dots\dots(3-4)$$

단, $x = \log_{10} T$ \bar{x} ; x 의 평균

$$\sigma_x = \log_{10} \sigma_T$$

T ; 到達時間

(3-3)式에 의해 침투능을 고려한 유출해석을 위해 침투능 계산공식으로 Horton의 경험공식을 사용하였다.

$$f_p = f_c + (f_0 - f_c)e^{-jt} \dots\dots\dots(3-5)$$

여기서, f_0 : 초기침투능

f_c : 종기침투능

j : 정수

(3-4), (3-5)式을 (3-3)式에 代入하면 $\bar{x}, \sigma_x, f_c, f_0$ 및 j 등 5개를 Parameter로 하는 Parametric Model이 된다.

비선형 다변수함수의 Parameter에 대한 최적화를 위해서 Simplex法을 이용하여 표현하면 다음과 같다.

$$f(\bar{x}, \sigma_x, f_c, f_0, j) = \Sigma(Q_0 - Q_c)^2 \rightarrow \text{minimum}$$

$$= \text{MIN}[\Sigma(Q_0 - Q_c)^2] \dots\dots\dots(3-6)$$

단, $\bar{x} \geq 0, \sigma_x \geq 0, f_0 \geq 0, f_c \geq 0, j \geq 0$

여기서, Q_0 : 관측지

Q_c : 계산유량

유효우량의 산정을 Φ -index 법에 의하는 경우 \bar{x}, σ_x 를 변수로 하는 모델이 되며, 최적화의 목적함수는 다음과 같다.

$$f(\bar{x}, \sigma_x) = \Sigma(Q_0 - Q_c)^2 \rightarrow \text{minimum}$$

$$= \text{MIN}[\Sigma(Q_0 - Q_c)^2] \dots \dots \dots (3-7)$$

단, $\bar{x} \geq 0, \sigma_x \geq 0.$

4. 流域의 流出에 對한 平均化

4.1 地形因자의 分析

斜面흐름에 있어서 到達時間이 Darcy 법칙을 따르는 경우

$$T = l/v_* \dots \dots \dots (4-1)$$

$$v_* = v/\lambda = ki/\lambda \dots \dots \dots (4-2)$$

로 정의된다.

- 여기서, T; 도달시간
- v; 이론유속(Darcy 유속)
- v*; 공극내의 실제유속
- λ; 특성계수
- i; 사면경사
- l; 사면길이

(4-2) 및 (4-2)式에서 到達時間은

$$T = \frac{l}{k \cdot i / \lambda} = l \cdot \lambda / k \cdot i$$

$$= f(l/i, l, i, k/\lambda) \dots \dots \dots (4-3)$$

이것은 到達時間이 l, l/i, i, k/λ 등의 因子에 의해서 결정됨을 의미한다. 따라서 到達時間의 확률분포는 地形因자의 확률분포로서 정의 될 수 있다. 일반적으로 k와 λ는 결정하기가 어려우며 단위유역별 또는 전유역에 대해서 일정하게 취급하는 것이 통례^{6,7,8}로 되어 있다.

4.2 斜面特性值의 分析方法

斜面特性值의 통계적 特性을 얻기 위해서 1/25,000의 地形圖에서 기존 河道 및 높은 降雨強度에 의해 일시적으로 河道를 형성할 수 있는 모든 流域의 河道分布狀態를 결정하고, 그 河道를 능선까지 연장한 후 등간격(40m)으로 구분하였다. 각 구분점의 중앙점에서 등고선에 수직이 되도록 선을 그어 능선까지 연장하고 그 길이를 l로 결정하였다^{4,5,6,10}.

4.3 流域의 平均化

本理論에 대한 일반성과 大流域에 대한 확대 적용의 가능성을 검토하기 위해서, 대상 流域內의 단일 分水界를 기준으로 「그림 4-1」와 같이 몇개의 소구역으로 분할하여 개개의 小流域과 全體流域간의 유사성을 斜面의 特性으로 分析하였다.

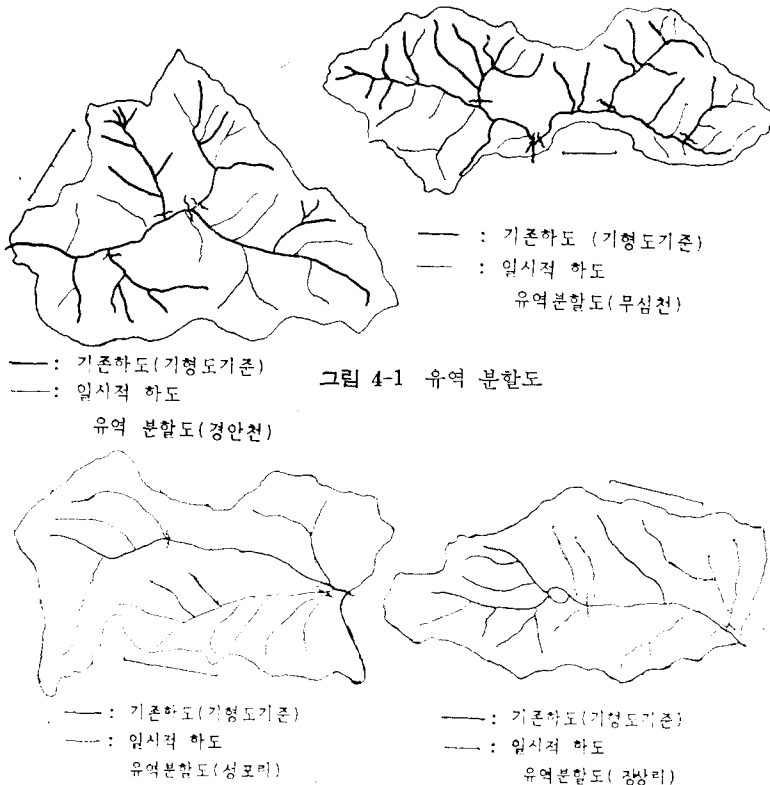


그림 4-1 유역 분할도

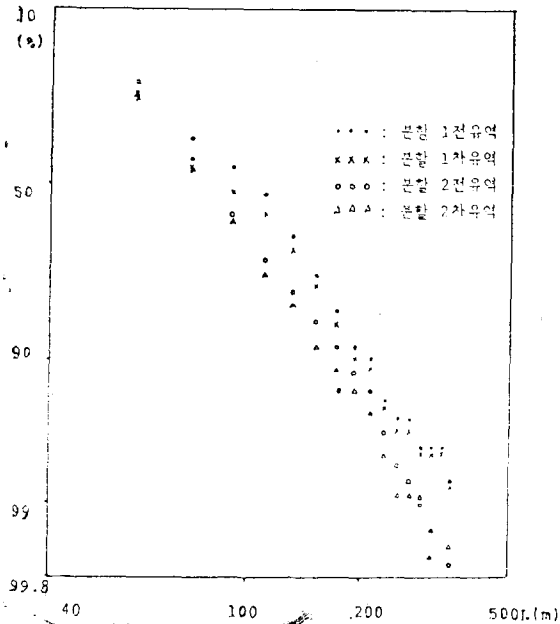


그림 4-2 평균화를 위한 사면길이 분포도(장상리)

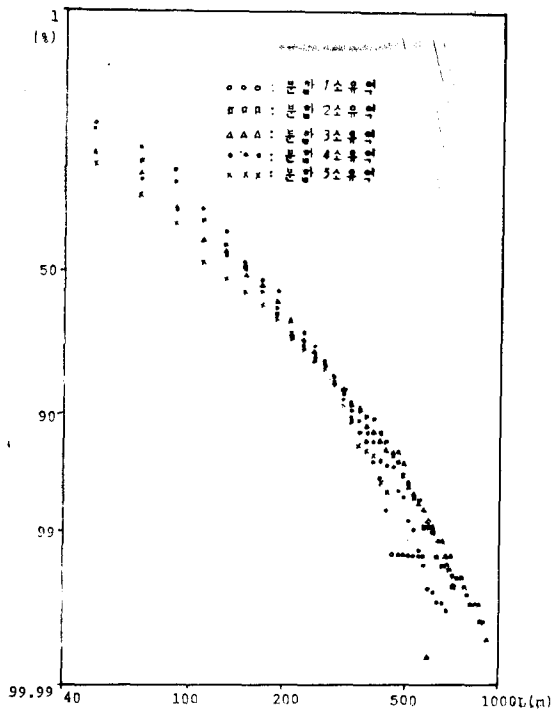


그림 4-3 평균화를 위한 사면길이 분포도(무심천)

그 결과를 대수정규확률의에 표시한 것이 「그림 4-2, 4-3」와 같으며, 분할小流域의 分布型을 검정하기 위해

λ^2 -Test 를 시도한 결과 총 14 개의 검정치 중 5 %의 유의수준에서 통계적의의가 있는 것이 5개, 2.5%에서 3개, 1%에서 2개, 0.1%에서 4개등으로서, 전반적으로 볼 때 2.5%의 유의수준하에서 통계적의의가 인정되었다. 「그림 4-2, 4-3」와 λ^2 -Test 의 결과에서 보이는 바와 같이 전체유역과 분할소구역의 斜面特性이 비교적 좋은 일치성을 보였다.

이는 본 연구성과가 다소 작업량이 많아지는 결점은 있으나, 流域이 비교적 큰 河川에 대해서도 적용이 가능함을 나타낸다.

또한 分析된 4개 流域의 형상계수(σ_L)을 구한 것이 「표 4-1」과 같으며, 流域面積의 크기가 위치 및 水系가 상이하지만 形상계수의 値가 거의 일치하는 것은 우리나라 河川 小流域의 주요한 形態學의 特性을 의미하는 것으로 판단된다. 分析量이 많아지는 결점을 보완하여, 실용성있게 본 연구성과를 적용시키기 위해 小葉¹⁷⁾이 제안한 준면적도 이론을 이용하면 大流域에 대한 유출해석도 가능하리라 사료되며 앞으로의 한 연구 과제이다.

표 4-1 각 소구역의 形상계수(σ_L) 비교표

유역명	구분		자료 수	형상계수
	분할구역명	소구역수		
반월성포리	1	3	115	1.917
	2		155	1.941
	3		210	2.506
	전체		379	2.685
반월정상리	1	2	180	2.099
	2		79	2.158
	전체		423	2.167
무심천	1	5	362	2.208
	2		199	2.183
	3		386	1.892
	4		1,157	2.198
	5		1,217	2.089
	전체		2,369	2.153
경안천	1	4	495	2.08
	2		286	2.183
	3		188	1.982
	4		148	2.123
	전체		1,288	2.090

5. 강우파형의 상관분석

반월지역 및 무심천 대표시험유역의 流出解析이 실시된 降雨資料를 中心으로 다중회귀분석을 시도하였으며, 경안천 대표시험유역은 관측자료수가 1개에 불과하므로 제외하였다.

관측이 미비한 지점의 적용해석에 중점을 두어 총강우량, 5일선행강우 및 변수 $X(\overline{\log_{10}T})$ 의 다중회귀분석을 유역별로 실시하고, 지역상관을 위해 全 流型을 종합해서 그 상관관계를 검토하였다.

그 상관관계식은,

$$\bar{X} = aR_1 + bR_2 + C \dots\dots\dots(5-1)$$

표 5-1 강우파형의 다중회귀분석

지점	구분	변수	상관계수	회귀상수	비고
			R_1	0.6811	
성포리		R_2	0.7843	-0.0264	상관종음 ¹⁹⁾
		C	—	1.5286	
		R_1	0.5124	0.0725	
장상리		R_2	0.7986	-0.0574	"
		C	—	3.6703	
		R_1	0.9156	0.0598	
무심천		R_2	0.9605	-0.0364	"
		C	—	7.3431	
		R_1	0.6518	0.0761	
전유역 (위 3개)		R_2	0.7856	-0.0285	"
		C	—	3.8656	

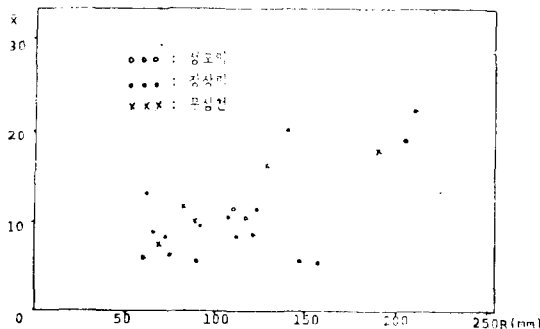


그림 5-1 변수 X와 총우량의 상관도

여기서,

$$\bar{X} = \text{변수}(\overline{\log_{10}T})$$

R_1 = 총 강우량

R_2 = 선형 강우량

a, b, c = 회귀상수

그 분석 결과는 「표 5-1」과 「그림 5-1」과 같다.

6. 적용예

본 연구의 수치예를 위하여 사용된 자료는 IHP 보고서¹⁸⁾(건설부)에 수록된 반월지역의 성포리 및 장상리 대표시험유역과 경안천, 무심천 대표시험유역의 것이다. 유역면적은 1.635 km², 1.442 km², 9.2 km² 및 20.0 km²이며, 降雨와 流量은 1979~1982년 및 1976년의 관측치와 地形法則에 대한 분수치를 사용하였다. 流域의 土地利用 상태는 山地地域이 약 72%, 78%, 85%, 88%이며, 토양구성은 SCS 분류에 따르면 특수성이 높은 토양이 약 70%, 74%, 75%, 89%로서 山地小流域으로 판단된다. 따라서 流域의 地形學的 特性에 의하면 中間流出 모델을 적용할 수 있다.

유효강우량의 산정 方法에 따라 水文曲線의 再現性에 크게 영향을 미친다. ϕ -index 法은 降雨초기의 침투손실량이나 降雨進行 도중의 浸透能의 變化를 적절히 표현하지 못하지만, 浸透能방정식은 이와같은 실제현상을 보다 적절히 표현할 수 있어 합리적인 再現수단이 된다. 이 方法에 대한 효과를 비교 分析하기 위해서 有效雨量을 ϕ -index 법에 의해서 계산한 결과와 浸透能방정식인 (3-5)式을 본 이론이 유출방정식인 (2-

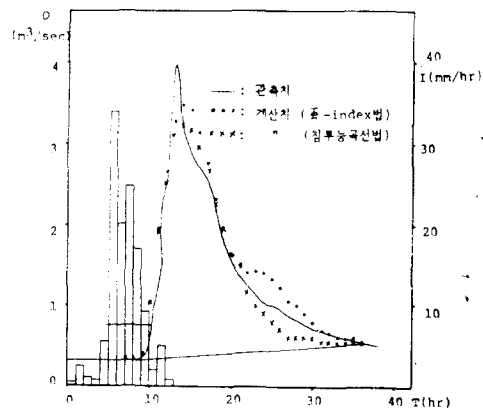


그림 6-1 관측치와 계산치의 비교 (장상리 81/7/5 홍수)

표 6-1 관측치와 계산치의 비교

유역	발생 년월일	구분		Qmax	Peak Time	Qmax	Peak Time	Qmax	Peak Time
		(obs.)	(obs.)	(Horton's eq.)	(Horton's eq.)	(ϕ -index)	(ϕ -index)		
		(m ³ /sec)	(hr)	(m ³ /sec)	(hr)	(m ³ /sec)	(hr)	(m ³ /sec)	(hr)
성	81. 7. 1	0.918	20	0.681	21	0.696	22		
포	81. 7. 5	1.577	11	1.542	13	1.545	13		
리	81. 7.11	1.512	18	1.387	16	1.371	16		
장	81. 7. 5	3.991	13	3.245	14	3.519	14		
상	81. 7.11	1.523	19	1.316	21	1.360	21		
리	81. 9.24	0.772	15	0.772	15	0.656	16		
부	75. 9.14	20.5	28	19.9	22	23.76	34		
심	76. 8.22	9.6	21	10.13	22	7.18	24		
천	76. 8.27	11.0	10	9.9	11	10.37	8		

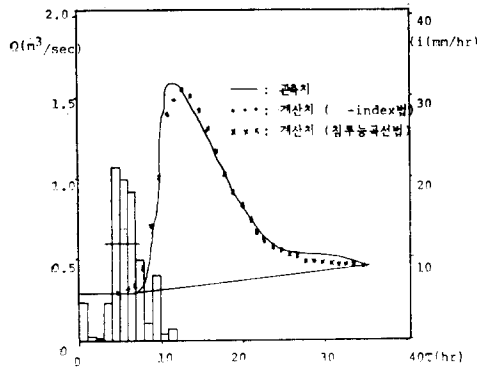


그림 6-2 관측치와 계산치의 비교
(성포리 81/7/5 홍수)

10), (3-3)式에 적용시켜 물리적 의미를 부여하는 최적해법에 의해서 계산할 결과를 「표 6-1」과 「그림 6-2, 6-3」에 표시하였다. 실제로 水文曲線을 구하는 方法은 핵함수인 (2-11)式의 到達時間의 分布함수인 $\phi(T)$ 에 본 方法에서 택한 확률밀도함수인 대수정규분포함수 (3-4)式을 代入하면 핵함수는 관측치의 평균치 \bar{X} 와 표준편차 σ_k 를 변수로 하는 Parametric Model 이 된다. 이 모델은 有效雨量의 산정 方法에 따라 그 變數의 크기가 달라지며, 실측치를 이용 (3-6), (3-7)式을 최적해법인 Simplex 법에 의해서 계산하면 된다.

계산치와 관측치의 비교에 의하면 본 方法에 의한 직접유출 수문곡선의 재현성이 높다는 것을 알 수 있다.

유효우량 산정법에 있어서 두 方法에 의한 직접유출 水文曲線의 재현결과 尖頭流量은 크게 차이가 없고 水文曲線의 구성양상에 다소 차이를 보인다.

적용예에서 斜面길이와 到達時間이 각각 대수정규분

포로서 정의 될 수 있음을 알았다. 그리고 (4-1), (4-2) 式에서 到達時間 T 는

$$T = l \cdot K \dots \dots \dots (4-3)$$

여기서,

$$K = \lambda / k \cdot i$$

K 와 l 가 상호독립이라고 하고, $\log K$ 와 $\log l$ 이 표준편차를 각각 $\log \sigma_k$ 및 $\log \sigma_l$ 로 정의하면

$$\log \sigma_T = \sqrt{(\log \sigma_k)^2 + (\log \sigma_l)^2} \dots \dots \dots (4-4)$$

여기서 K 의 값은 정확히 알 수는 없으므로 측정된 $\log \sigma_T$ 와 $\log \sigma_l$ 의 관계에서 $\log \sigma_k$ 로 표현될 수 있다(표 6-2).

따라서, σ_T 는 σ_l 의 값으로 부터 구할 수가 있으며, (2-10)式은 one-parameter 의 확률밀도 함수로 표현되는 핵함수가 된다. 각 호우에 대한 σ_T 와 각 유역의 σ_l 은 아래의 비교 「표 6-2」과 같다. 「표 6-2」에서 보이는 바와 같이 σ_T 와 σ_l 의 값이 거의 일치하므로 관측이 미비한 지역의 유출해석을 위한 수문응답 함수를 斜面의 特性值로 부터 구성할 수 있다.

또 「표 6-2」에서 보이는 바와 같이 분할 소구역과 전체 소구역의 σ_l 과 각 호우의 σ_T 가 비슷하므로 본 연구 성과를 우리나라 山地 小流域에 적용이 가능할 것으로 사료된다.

7. 結 論

1. 선형계로 가정한 流域에 대한 降雨一流出의 비선형성은 유효우량의 산정법에 기인한다.
2. 浸透能 방정식을 이용한 유출방정식의 降雨一流出에 대한 재현성은 그 정도가 높으며, 실제현상을 합

표 6-2 도달시간과 사면길이의 형상계수 비교표

유역명	구 분 년 월 일	도달시간의 형상계수 (σ_t)	사면길이의 형상계수(σ_r)						
			1차유역	전유역	분할 1	분할 2	분할 3	분할 4	분할 5
반 월 성포리	81. 7. 1	2.556	2.228	2.317	1.917	1.941	2.506	—	—
	7. 5	2.25							
	7.11	2.438							
	8.17	1.621							
	8.31	2.077							
	9.24	1.646							
	82. 7. 28	1.77							
	8.13	2.073							
	8.20	1.921							
	(평균)	2.076							
반 월 장상리	81. 7. 1	3.517	2.023	2.167	2.099	2.158			
	7. 5	1.492							
	7.11	1.687							
	8.25	2.097							
	8.31	1.321							
	9.24	2.227							
	82. 7. 28	1.749							
	8.13	2.174							
8.20	1.720								
(평균)	2.083								
무심천	75. 8. 24	2.695	2.028	2.153	2.208	2.183	1.892	2.198	2.089
	75. 9. 14	1.515							
	76. 8. 5	2.429							
	8.22	1.976							
	8.27	2.946							
	(평균)	2.312							
경안천	76. 8. 26	5.925	2.065	2.099	2.08	2.183	1.982	2.123	

리적으로 표현할 수 있다.

3. 관측 資料로 부터 얻어진 到達時間과 斜面길이는 대수정규분포를 나타내며, 流出因子 및 地形因子의 형상계수가 거의 일치하므로 地形因子로 부터 流域의 流

出特性인 순간단위도를 求할 수 있다.

4. 分析된 4개 流域이 流域面積, 位置 및 水系등이 모두 상이하지만 전체 및 분할 소구역의 형상계수가 거의 일치하는 것은 우리나라 소유역의 형태학적 특성

을 나타내며, 이는 流域의 流出特性이 서로 유사하다는 것을 의미하는 것으로 사료된다.

參 考 文 獻

1. Overton, D.E. and Meadaus, M.E., "*Stormwater Modeling*", Academic press, pp. 1~18, 1976.
2. Land, L.J. and Wolhiser, D.A., "*Simplification of Watershed Geometry Affecting Simulation of Surface Runoff*", Journal of Hydrology 35, pp. 173—190, 1977.
3. Chow, V.T. "*Handbook of Applied Hydrology*" Vol. 14—15, 1964.
4. 平野宗夫, 伊東尙規 "到達時間の分布を考慮した流出解析" 第22回 水理講演會論文集, pp. 197—203, 1978.
5. 平野宗夫, 小川滋, 木川良入 "山腹斜面の流出について" 第22回 水理講演會論文集, pp. 136—137, 1978.
6. 平野宗夫 "山地小河川における流出過程について" 日本土木學會論文報告集, 第308號, pp. 69—76, 1981.
7. 山田正 "山地小流域の 瞬向單位圖と 斜面長分布の關係" 日本土木學會論文報告集, 第306號, pp. 11—21, 1981.
8. 山田正 "時定數スペクトルを用いた山地小流域の洪水流出解析" 日本土木學會論文集, 第314號, pp. 87—98. 1981.
9. 坂之井和之, 藤田陸博 "小流域の 斜面構造と 流出解析" 第32回 日本土木學會年講, pp. 171—172. 1977.
10. 藤田陸博 "斜面長の變化を考慮した貯留函數法に關する研究" 日本土木學會論文報告集, 第314號, pp. 75—84, 1981.
11. 角屋陸, 佐合統造 "洪水流出におけ斜面の役割" 第32回 土木學會年講, II-69, pp. 129—130, 1977.
12. 小川滋 "山地小流域における 出水解析の 基礎的研究" 일본구주대학연습지보고서, 第50號, 1977.
13. 高木不圻 "流域内の 流出特性の 平均化過程と流出 Model" 日本土木學會論文報告集, 第312號, pp. 73—85, 1981.
14. 金再韓 "線形水文系の 核數値近似解法" 대한토목학회지, Vol. 29, No. 4 pp. 111—122, 1981.
15. 高木不圻, 松林宇一郎 "遅い中間流出と地下水流出の非線形性について", 日本土木學會論文報告集, 第283號, pp. 45—55, 1979.
16. 李元煥, 趙弘濟 "斜면의 特性과 洪水到達時間의 分布特性을 고려한 山地小流域의 流出解析" 大韓土木學會論文集, 第3卷, 第4號, pp. 59—70, 1983.
17. 小葉竹重機 "河川流域における洪水の形成過程に關する研究" 京都大學校大學院 博士學位論文, 昭和54年.
18. 建設部 "IHP 代表유역조사보고서" 1976—1982.
19. Némec, J. "*Engineering Hydrology*", McGraw-Hill, 1976.