

설계강우의 시간적 분포모형 적용성 연구

A Study on the Application of Time Distribution Model for Design Storms

서진호* · 이상배** · 조홍제*** · 민병형****

Seo, Jin-ho · Lee, Sang-bae · Cho, Hong-je · Min, Byung-hyung

Abstract

The historical data from 3,550 event storms during 11 years in Wi-stream basin have been used to investigate the statistical parameter of the time distribution for design storms by the method of Yen-Chow, Huff, Pilgrim-Cordery and Mononobe. The dimensionless value of triangular hyetograph, a^0 , ranges from 0.44 to 0.50 and trapezoidal hyetograph, h^0 , value increases as the duration time is getting longer in Yen-Chow method. In the Huff, the second-quartile storms occurred most frequently and third-quartile storms occurred most infrequently. In the Pilgrim-Cordery, the shapes for shorter than 6-hour durations are advanced tendency. However, for longer than 6-hour durations show delayed tendency. In the Mononobe, every one hour rainfall occurred Centered Type. The application of these methods for each duration time was tested by using the observed rainfall-runoff data of Wi-stream basin. As a result, the reappearance of hydrographs of triangular hyetograph by Yen-Chow method showed promising, and it was approved to be used for prediction of the unged basins.

요 지

위천대표유역의 11년간의 단독강우사상 3,550개를 선별하여 Yen-Chow의 삼각형 및 사다리꼴, Huff, Pilgrim-Cordery 및 Mononobe의 방법에 의한 지속시간별 설계강우의 시간적분포 특성치를 제시하였다. Yen-Chow 방법의 삼각형분포의 특성치 a^0 값은 0.44에서 0.50까지 분포하였고, 사다리꼴은 지속시간이 길어질수록 무차원 특성변수 h^0 의 값이 점차 커지는 경향을 나타내었다. Huff 4분기법에 의한 분석결과는 2구간 강우가 지배적이고 3구간 강우가 낮은 분포를 나타내었다. 또한 Pilgrim-Cordery 방법에서는 6시간까지는 전방위 강우형이고, 6시간이상은 점차 후방위로 변화하였다. Mononobe 방법은 시간별 강우량을 중앙집중형으로 나타내었다. 본 방법들의 적용성을 검토하기 위해 위천유역의 32개 관측 강우-유출자료를 이용하였고, 분석결과 Yen-Chow 방법의 삼각형분포가 비교적 재현성이 높게 나타났다. 이들 설계강우의 시간적분포모형들은 미계측유역의 유출해석에 중요한 수단을 제공할 것으로 판단된다.

-
- * 동아대학교 토목공학과 박사수료
 - ** 양산전문대학 토목과 전임강사
 - *** 울산대학교 토목공학과 교수
 - **** 동아대학교 토목공학과 교수

1. 서 론

1.1 연구의 배경

유출분석에 있어서 그 입력자료인 강우의 특성은 많은 연구자에 의해 여러 가지 방법으로 개발되어 왔지만, 대부분의 유역이 강우자료의 부족 혹은 통계처리의 미비 등으로 강우의 특성을 나타내는데 어려움이 있었다. 그러나 대하천 수계의 다목적 댐 건설 등과 함께 우량관측소 및 수위관측소 등이 많이 설치되고 있기 때문에 각종 수문자료를 수집하고 관측자료를 이용해서 유역 및 강우사상에 대한 매개변수를 계속해서 추정하고 있으며 이를 토대로 홍수에경보를 시행하고 있다.

과거에는 재해의 방지를 목적으로 첨두유량의 산정이 필요한 단기 유출해석에 중점을 두었으나, 강우의 시간분포는 강우량으로부터 유출량을 계산할 때 첨두유량에 매우 큰 영향을 미치기 때문에 최근에는 유출량의 시간적 변화 및 장기 유출해석 등을 필요로 하는 경우가 많아졌다. 이러한 장기 유출해석법들은 단지 설계실무자의 주관에 따라서 판단되고 매개변수의 설정에 대해서는 평가되어 지지 않고 있다고 볼 수 있다. 국내에서 연구되어진 대부분의 기존 강우-유출 모형들은 유출수문곡선에 중요한 영향을 미치는 강우의 시간적 분포보다는 유출에 비중을 두고 개발되어져 왔다. 따라서 기존의 강우-유출 모형은 최대홍수량을 발생시키는 설계강우의 강우특성을 나타내는 총강우량, 지속시간 및 최대강우강도 등의 요소를 고려하지 못하여 설계홍수량 산정시 미흡한 점이 많았다. 강우의 파형은 완전한 자연현상의 하나이기 때문에 형태가 다양하고 복잡하여 그 특성을 정량적으로 분석 파악한다는 것이 결코 용이한 일은 아니다. 그것은 강우의 파형을 결정하는 요인이 기상 및 지형조건에 따라 대단히 많고 또한 그들 상호작용으로 인하여 무수히 많은 파형을 만들어 내기 때문이다.

수공구조물의 보다 정확한 설계를 위해서는 설계강우에 따른 세밀한 수문곡선의 예측이 필요하며, 설계강우 표현방법으로 과거의 확률강우강도 만으로는 불충분하여 실제의 강우현상을 충실하게 표현

하는 연속강우형 곡선인 강우의 시간분포 모형이 필요하게 되었다. 설계강우의 시간적 분포를 합성의 형태로 나타내기에는 매우 어렵기 때문에 많은 학자들에 의해 여러가지 방법이 개발되어 왔다.

Horner와 Jens(1942)가 미국 St. Louis에서 수행한 유출해석에서 설계우량을 이용 강우를 균등 분포한 것과 유출량을 비교검토한 것을 초기연구로 시작하여, Huff(1967)는 미국 Illinois주의 관측지역에 49개의 우량계를 정방형으로 설치하고 11년간의 강우관측으로부터 4구간법에 의한 시간분포를 해석하고 누가확률곡선을 제시하였다. 그 후 Dawdy와 Bergman(1969)은 15km²의 유역에 3개의 우량계를 설치하여 첨두유량에 입력자료인 강우자료의 오차가 미치는 영향을 조사하였고, Pilgrim과 Cordery 등(1975)은 호주 Sydney 지방에 대한 시간분포를 평균이동법을 이용 분석하였다.

이와 다른 형태의 연구로 Yen과 Chow(1977)는 무차원 1,2차 모멘트를 이용하여 삼각형과 사다리꼴 우량주상도의 형태로 단순화하여 제시하였으며, Wenzel과 Voorhees(1979)은 유출에 의한 민감도 분석을 하여 매우 타당성이 있음을 제시하였다.

국내에서는 서승덕(1965)에 의하여 강우의 시간 분포개념이 고찰되었고, 박찬영(1981)도 서울지점에 대하여 Huff(1967)의 4구간법으로 분석한 바 있다. 그 후 서병하와 김남원(1989)은 전국의 우량관측소의 강우량자료를 이용하여 전국적인 설계우량의 시간분포 특성치를 제시하여 설계에 적용하기 위한 기초를 마련한 바 있으나, 유출해석을 통한 적용성을 제시하지는 못하였다. 따라서 본 연구에서는 산정된 설계강우의 시간적분포의 특성치를 검정하기 위한 강우-유출모델로 동적특성인 유출속도와 지형인자 및 법칙을 수문응답함수의 매개변수로 나타낸 지형학적 순간단위도(GIUH)를 선택하여 적용성을 제시한다.

지형학적 순간단위도의 기본개념은 유역내에 하강한 우수가 출구로 유출하는 과정에 있어서 유역내에 머무르는 평균대기시간을 지형법칙과 유출속도등으로 표현하는데 있다. 지형법칙을 이용한 평균대기시간의 유도는 Kirkby(1976)가 Shreve의

link이론에 의한 거리함수법을 제안하여 수문응답 구성의 가능성을 보인 바 있고, Gupta와 Wang (1981)은 확률론적 접근방법에 의해 지형학적 인자를 이용하여 순간단위도를 재구성하였다. Rosso (1984)는 Rodríguez-Iturbe와 Bras(1982)가 제안한 지형학적 순간단위도를 이용하여 Nash모델의 재현성을 검토하였고, 국내에서는 조홍제와 이상배(1990)가 국내유역에 적용한 바 있다. 본 연구에서는 수문응답을 Nash모델로 정의된 2변수 확률밀도함수로 가정하고 매개변수를 최소자승법에 의한 최적해법으로 결정하는 방법을 채택하였다.

1.2 연구의 목적

본 연구의 목적은 설계강우의 지속시간별 시간분포 특성치를 각 방법별로 제시하고, 관측 강우사상의 각 방법별 강우분포형을 유출모형인 지형학적 순간단위도에 입력하여 유출모의를 수행하여 관측 수문곡선과의 재현성을 비교함으로써 제시한 설계강우의 시간분포 특성치의 적용성을 검증하여, 국내유역에 적합한 강우의 시간적분포를 여러가지 형태로 제시하여 설계홍수량 산정의 기준을 마련하고자 한다.

2. 이론적 배경

본 절에서는 입력자료인 강우의 시간적분포를 분석하는 이론과 출력자료인 지형학적 순간단위도 유출모형 및 순간단위도의 매개변수 결정에 대한 이

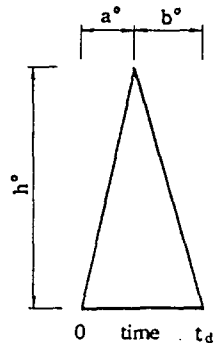


Fig. 1. Triangular Representation

론적 배경에 대해 기술한다.

2.1 강우의 시간적 분포방법

강우의 시간적분포를 분석하는 방법이 많이 발표되어 왔지만 대부분의 방법들은 많은 유사성을 띄고 있기 때문에 본 연구에서는 4가지의 대표적인 방법인 Yen - Chow (1977)의 삼각형 및 사다리꼴, Huff (1967), Pilgrim - Cordery (1975)에 의한 방법과 현재 실무에서 적용하는 Mononobe (1986)에 의한 방법을 채택하였고, 각 방법에 처음 시도한 연구자의 명칭을 부여하여 사용하였다.

2.1.1 Yen-Chow 방법.

강우사상의 시간분포 형태를 모멘트를 이용하여 분석하는 방법으로, 1, 2차 모멘트를 이용하여 삼각형과 사다리꼴 우량주상도로 단순화하여 표현한다. 강우의 시작을 중심으로 한 우량주상도의 1차 모멘트 \bar{t} 는 식 (1)과 같다.

$$\bar{t} = \frac{\Delta t \left[\sum_{j=1}^n (j-0.5)^2 d_j \right]}{D} \quad (1)$$

여기서, d_j 는 j 번째 시간구간의 강우깊이, n 은 강우의 시간구간 수이며 D 는 총강우량이다.

2차 모멘트를 G 로 표시하면 다음과 같다.

$$G = (\Delta t)^2 \left[\sum_{j=1}^n (j-0.5)^2 d_j + \frac{1}{12} D \right] / D \quad (2)$$

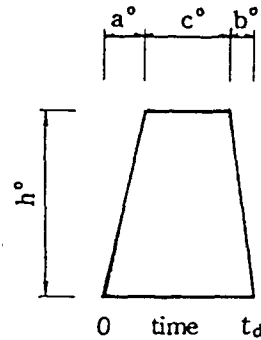


Fig. 2. Trapezoidal Representation

강우의 시간분포를 수식화하기 위해 강우깊이 D 와 지속기간 t_d 를 사용하여 우량주상도를 무차원화하면 식 (3)과 (4)로 되고 t_d^0 는 1이 된다.

$$d_i^0 = d_i/D \quad (3)$$

$$D^0 = \sum_{j=1}^n d_j^0 = 1 \quad (4)$$

무차원 우량주상도의 1, 2차 무차원 모멘트는 식 (5)와 (6)으로 나타낼 수 있다.

$$\bar{t}^0 = \bar{t}/t_d \quad (5)$$

$$G^0 = G/t_d^2 \quad (6)$$

1차 모멘트를 이용하여 삼각형 우량주상도의 기하학적 무차원변수를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$a^0 = a/t_d = 3t^0 - 1 \quad (7)$$

$$b^0 = b/t_d = 2 - 3t^0 \quad (8)$$

$$h^0 = h/(D/t_d) = 2 \quad (9)$$

여기서, a , b , h 는 삼각형 우량주상도의 기하학적 변수이다.

또한, 2차 모멘트를 이용하여 Fig. 2와 같이 사다리꼴 우량주상도를 무차원화 하면 다음과 같다.

$$a^0 = a/t_d \quad (10)$$

$$b^0 = b/t_d \quad (11)$$

$$c^0 = c/t_d \quad (12)$$

$$h^0 = 2/(1 + c^0) \quad (13)$$

이상에서 산정된 무차원 특성변수에 우량자료를 입력하여 통계적 해석에 의해 Yen-Chow 방법에 의한 강우의 시간분포형이 결정된다.

2.1.2 Huff 방법

이 방법은 강우의 누가곡선을 이용하여 전 지속기간을 4구간으로 등분하여 각각의 무차원 시간분포곡선을 작성하고, 최대누가우량이 발생하는 구간의 무차원 시간분포곡선을 선정하여 강우를 분포시키는 방법이다. 또한 각 구간별 확률계산시 본 연구에서는 최대누가우량 발생구간의 무차원 지속기간을 10개 간격으로 분할하여, 10개 간격별 확률은 10% 간격으로 하여 무차원 누가곡선을 계산하였다. 이와같이 4개 구간으로 분류된 강우를 시간적으로 무차원화 시키기위하여 누가지속기간과 강우량을 백분율로 나타내면 다음 식 (14) 및 (15)와 같다.

$$TR(i) = \frac{T(i)}{T_d} \quad (14)$$

$$RR(i) = \frac{R(i)}{T_R} \quad (15)$$

여기서, $TR(i)$ 는 임의시간 $T(i)$ 에서의 강우지속시간비, $RR(i)$ 는 임의시간 $R(i)$ 에서의 강우량비, T_d 는 강우지속시간이며 T_R 은 총강우량이다.

임의지점의 모든 단일강우들의 강우지속시간비 및 강우량비의 계산이 끝나면 각 분기별로 임의의 강우지속시간비에 대응하는 모든 강우량비를 변수로 하여 이들의 발생확률별 값을 계산한다. 확률량의 계산은 무차원 각 지속시간별로 강우량비를 Weibull 도시위치공식을 이용하여 분석하였다. 또한 지속시간이 10개로 나누어지기 때문에 10개전후의 시간에 대한 무차원 누가우량값을 본 연구에서는 Rational Polynomial Equations #212인 식 (16)을 이용하여 Fitting 하였다.

$$Y = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4 + fx^5 + gx^6 \quad (16)$$

여기서, Y 는 강우량, x 는 지속기간이며 a , b , c , \dots , g 는 상수이다.

2.1.3 Pilgrim-Cordery 방법

이 방법은 호주에서 설계강우분포 산정시 주로

Table 1. Sample Pattern of Duration 3-hrs.

No	Total Rain	Rain in Period			Rank of Period			Rain in Period Each Rank (%)		
		1hr	2hr	3hr	1	2	3	1	2	3
1	14.0	1.6	6.2	6.2	3.0	1.5	1.5	44.3	44.3	11.4
2	5.8	2.2	3.0	0.6	2.0	1.0	3.0	51.7	37.9	10.4
3	5.3	3.3	0.5	1.5	1.0	3.0	2.0	62.3	28.3	9.4
Average					2.0	1.5	2.2	52.8	36.8	10.4
Assigned Rank					2	1	3			
Final Pattern (%)					36.8	52.8	10.4			

사용하는 방법으로 자료선정기준을 명확히 가정한 모형이라 할 수 있지만, 수많은 자료의 통계처리가 요구되는 방법이다. Table 1에 지속시간이 3시간인 강우의 시간분포방법을 한 예로 나타내었다.

우선 특정지속시간에 대하여 최대한의 강우사상들을 선별한 후 구하고자 하는 시간구간으로 나눈다. 각 시간구간내에 내린 강우크기에 따라 순위를 정한 뒤, 선별된 전 강우사상에 대해서도 같은 방법으로 시간구간별로 평균순위를 결정한다. 또한 총강우량의 백분율을 각 구간에 부여하는 등의 순서로 행하여 각 시간구간별로 평균하여 각 시간구간별 강우백분율을 결정한다. 이 강우백분율을 평균순위에 따라 재배열하여 최종시간분포를 결정한다. 본 연구에서는 각 지속기간별 자료의 신뢰성을 위해 년최대치계열의 하한치 이상만을 선별하여 시간분포특성을 해석하였다.

2.1.4 Mononobe 방법

현재 국내 실무에서 설계우량주상도 작성시 가장 널리 사용하는 방법으로 식 (17)에 의해 시간별 누가 강우량을 산정하여 시간별 강우량을 결정하는 방법이다.

$$R_t = \frac{R_T}{T} \left(\frac{T}{t}\right)^{(2/3)} \times t \quad (17)$$

여기서, R_t 는 강우시점부터 t 시간까지의 누가우량이며 R_T 는 지속시간 T 시간인 총강우량이다.

각 유역별 지속시간에 따라 산정되어지며, 본 연구에서는 비교적 큰 설계홍수량을 주는 중앙집중형으로 산정하였다.

2.2 지형학적 순간단위도

강우의 시간분포 특성치를 검정하기 위한 유출모델인 GIUH는 수문학적 선형계에 있어서 단위충격 함수를 이용하여 식 (18)과 같은 회선적분함수로 표현된다.

$$Q(t) = \int_0^t h(t-\tau)i(\tau)d\tau \quad (18)$$

자연하천에서의 강우-유출현상을 해석하기 위해서는 핵함수 $h(t)$ 의 적절한 표현기법이 주된 내용이 되며 핵함수의 결정방법에는 여러가지가 있지만 본 연구에서는 식 (19)와 같은 2변수 감마 확률밀도함수로 정의되는 Nash 모델로 하였다.

$$h(t) = [1/k\Gamma(n)](t-k)^{n-1} \text{EXP}(-t/k), t \geq 0 \quad (19)$$

여기서, n 은 형상계수이며 k 는 저류계수이다.

Rodriguez-Iturbe와 Bras(1982)는 개념적 모델을 3차하천에 적용시켜, 지형학적 인자만의 함수인 첨두유량과 도달시간의 곱으로 된 식 (20)을 유도하였다.

$$G^* = q_p \cdot t_p = 0.58(R_B/R_A)^{0.55} R_L^{0.05} \quad (20)$$

여기서, R_B 는 분기비, R_A 는 유역면적비이며 R_L 은 유로연장비이다.

또한 식 (19)와 같은 Nash모델을 지형법칙으로

표현하기 위하여 침투유량과 도달시간의 곱인 무차원 함수는 식 (21)로 나타내어 진다.

$$H^* = q_0 \cdot t_p = (n-1)^n \text{EXP}(1-n) / \Gamma(n) \quad (21)$$

Rosso(1984)는 침투유량과 도달시간의 곱인 무차원함수 식 (20)과 식 (21)을 식 (22)와 같이 가정하여

$$G^* = H^* \quad (22)$$

지형인자 R_B , R_A , R_L 을 독립변수로 n 을 종속변수로 회귀분석하여 식 (23)과 같이 나타내었다.

$$n = 3.29(R_B/R_A)^{0.78} R_L^{0.07} \quad (23)$$

따라서 본 연구의 순간단위도 해석은 Horton의 지형법칙으로 형상계수 n 을 식 (23)으로 유도할 수 있고, 저류계수 k 는 다음 절의 불완전 감마함수를 이용한 최소자승법을 사용하여 최적해를 결정하여 구할 수 있다.

2.3 순간단위도의 매개변수 결정

전절에서 논한 바와 같이 Nash모델로 정의한 수문응답함수의 매개변수를 결정하기 위해 강우-유출현상을 선형적으로 가정하면 형상계수 n 은 식 (23)에 의해 구역별로 일정한 값을 가진다. 반면에 식 (22)에 의한 저류계수 k 는 동적인자인 v 가 포함되어 있는 관계로 단순하게 결정될 수 없다. 이와같은 관점에 있어서 불완전 감마함수를 이용한 최소자승법을 이용하면 Nash모델로 정의되는 순간단위도의 매개변수 k 의 최적해를 결정할 수 있다.

최소자승법에 대한 목적함수는 식 (24)로 나타낼 수 있다.

$$S^2 = \sum_j \varepsilon_i^2 \quad (24)$$

여기서, $\varepsilon_i = q_i - \bar{q}_i$, q_i 는 관측 직접유출량이며 \bar{q}_i 는 모의발생 직접유출량이다.

식 (24)는 불완전 감마함수(Incomplete gamma function)인 식 (25)를 해석함으로써 구할 수 있다.

$$I_m = \{1/\Gamma(n)\} \int_0^{m\Delta T/K} t^{n-1} \text{EXP}(-t) dt \quad (25)$$

이상에서 S^2 을 최소화하는 규모계수 k 를 구하기 위해 $dS^2/dk=0$ 로 둘 수 있다. 즉,

$$2 \sum \varepsilon_i d\varepsilon_i/dk = 0 \quad (26)$$

식 (25)를 고려하면 식 (27)로 나타낼 수 있다.

$$d\varepsilon_i/dK = \sum_{i=1}^j (\gamma_i/\Delta T)(H_{i-1+i} - H_{i-1}) \quad (27)$$

식 (27)을 불완전 감마함수에 의한 식 (26)과 관련시키면, k 에 대한 최적해를 구할 수 있다.

모의발생된 직접유출수문곡선의 관측유출 수문곡선에 대한 재현정도를 본 연구에서는 Nash 등에 의해 제안된 식 (28)의 효율계수 E (Coefficient of Efficiency)로 나타내었고, 이 값은 모의치와 실측치가 잘 일치할수록 1에 가까워진다.

$$E = 1 - \frac{\sum_j (q_i - \bar{q}_i)^2}{\sum_j (q_i - \bar{q}_i)^2} \quad (28)$$

여기서, \bar{q}_i 는 평균 관측직접유출량이다.

3. 강우의 시간적분포 특성치 산정

3.1 강우자료

본 연구에서 사용한 강우자료는 한국건설기술연구원 PCHISS (Hydrological Information Support System)에 입력되어 있는 국제수문개발계획(IHP) 대표시험유역인 위천의 1983년부터

1993년까지 11년간의 시강우, 시수위 및 유속자료를 수집, 검정한후 정량화하여 사용하였다. 강우사상은 위천유역내 11개 강우관측소의 3,550개의 단독강우사상을 선별하여 각 방법에 적용하였다.

3.2 자료선별기준

본 연구에서는 단독 강우사상의 시간적 분포특성을 규명하기 위한 것이기 때문에 강우측정 또는 판독시간 간격이 1시간이어야 하며 연속적으로 기록되어야 한다. 강우사상의 분리는 Yen-Chow 방법에서는 지속시간 2시간이상의 무강우가 전혀없는 연속강우로 정의되고, Huff 방법에서는 강우의 기상학적 특성을 이용하여 강우전후에 6시간 이상의 무강우가 시작되면 강우사상을 분리하고 지속시간이 4시간이상인 강우사상을 선별하였다. Pilgrim - Cordery 방법에서는 무강우가 전혀없는 연속강우사상을 선별하여 그중 년최대치 하한치 이상만을 선택하여 분석하였고, Mononobe 방법은 2시간 이상의 무강우가 전혀없는 연속강우를 선별하였다.

3.3 각 방법별 특성치 산정

일반적으로 특정유역은 어느 한 지점의 우량 뿐만 아니라 다른 지점의 우량에도 지배받고 있다고 할 수 있다. 따라서 본 연구의 무차원 특성치들도 점 특성치가 아닌 면적특성치로 산정하기 위하여 건설부(1983)의 위천유역 티센가중계수를 이용하여 정확성을 기하였다.

3.3.1 Yen-Chow 방법

(1) 삼각형 우량주상도

유역내 11개 지점의 우량관측소별 분석결과, 무차원 특성변수 a^0 값은 전유역에 걸쳐 0.44에서 0.50까지 분포하였는데 이는 건설기술연구원(서병하와 김남원, 1989)에서 전국적으로 산정한 0.42에서 0.48까지보다는 약간 후방위 경향을 나타내었고, 지속시간이 길어질수록 커지는 경향이 있고 24시간이상의 긴 지속기간은 매우 산개하였다. 또한 각 유역별 1차 모멘트는 \bar{t} 는 0.48에서 0.50까지 변하며 h^0 는 2로 일정하다. Table 2에 위천의

11개 강우관측소중 하나인 NO. 6(산성)지점의 특성치 산정결과를 한 예로 나타내었고, Table 3은 티센가중계수를 적용한 위천 전유역의 전체 강우사상에 대한 최종 특성치 분석결과이다.

Table 2. Sample of Triangular (Sanseung Rain-Gauge)

Case (hr)	Parameter				
	R	a^0	H	D	T_d
Total	399	0.44	4.2	16.3	6.7
2-6	239	0.43	3.3	5.3	3.1
6-12	89	0.46	5.9	23.3	7.9
12-24	59	0.45	5.2	39.6	15.3
24-	12	0.48	5.3	68.2	26.3

Note) Case: Duration time case

R: Number of event rainfall

Table 3. Triangular Hyetograph in Wi-Stream

Sub-basin	Parameter					
	R	\bar{t}	a^0	H	D	T_d
NO.1	328	0.49	0.47	4.65	16.1	6.06
NO.2	314	0.49	0.47	4.54	15.6	6.02
NO.3	277	0.50	0.49	4.53	14.9	5.81
NO.4	306	0.50	0.49	4.15	14.5	6.02
NO.5	277	0.50	0.49	4.11	13.4	5.66
NO.6	356	0.48	0.46	4.91	17.0	6.08

Note) NO. 1: Museung, NO. 2: Byeungchun,

NO. 3: Miseung, NO. 4: Gono,

NO. 5: Dongkok, NO. 6: Hyoreung

(2) 사다리꼴 우량주상도

우량관측소별 사다리꼴 우량주상도의 분석결과, 무차원 특성변수 a^0 값은 전유역에 걸쳐 0.15에서 0.29까지이며 c^0 값은 0.41에서 0.60까지 분포하였다. 각 유역별 분석결과 1차 모멘트 \bar{t} 는 0.48에서 0.50까지, 2차 모멘트 G^0 는 0.31에서 0.32까지 분포하고 있으며 전 강우량 D와 강우지속시간 t_d 는 삼각형과 동일하다. 또한 지속시간이 길어질수록 무차원 특성변수 h^0 의 값은 점차 커지는 경향을 나타내었으며, 24시간이상의 기간에서는 삼각형과 마찬가지로 무작위 경향을 나타냈다. Table 4는 NO. 6(산성) 강우관측소의 특성치 산정결과를 한

으로 나타내었고, Table 5는 티센가중계수를 적용시킨 유역전체의 사다리꼴 우량주상도의 특성치 분석 결과이다.

Table 4. Sample of Trapezoidal (Sanseung Rain-Gauge)

Case (hr)	Parameter					
	R	a ⁰	b ⁰	c ⁰	h ⁰	H
Total	399	0.19	0.28	0.53	1.38	3.2
2- 6	239	0.15	0.25	0.60	1.31	2.4
6-12	89	0.24	0.32	0.44	1.47	4.5
12-24	59	0.26	0.33	0.41	1.50	4.2
24-	12	0.29	0.28	0.43	1.47	3.7

Table 5. Trapezoidal Hyetograph in Wi-Stream

Sub-basin	Parameter						
	R	t	G ⁰	a ⁰	c ⁰	h ⁰	H
NO.1	328	0.49	0.31	0.21	0.54	1.37	3.51
NO.2	314	0.49	0.31	0.22	0.54	1.37	3.44
NO.3	277	0.50	0.32	0.23	0.54	1.37	3.42
NO.4	306	0.50	0.32	0.24	0.53	1.38	3.15
NO.5	277	0.50	0.32	0.24	0.52	1.39	3.14
NO.6	356	0.48	0.31	0.20	0.54	1.37	3.68

3.3.2 Huff 방법

전 강우사상 3,550개중 Huff 방법에 의해 선별하면 Table 6에서와 같이 1,735개이며, 여러연구에서 발표된 것과 같이 본 대상유역도 제2구간(2-nd Quartile)강우형이 지배적임을 알 수 있었다.

Table 6. Percentage Distribution of Quartile Storm

NO.	Rain-gauge name	Quartiles				Storm number
		1-st	2-nd	3-rd	4-th	
1	Kunwi	22.3	34.6	17.5	25.6	211
2	Hyoreung	18.4	38.7	16.6	26.4	163
3	Daeyul	21.1	33.5	19.3	26.1	161
4	Kome	22.5	28.9	17.6	31.0	187
5	Woobo	17.2	41.7	16.7	24.5	192
6	Sanseung	20.2	38.4	18.2	23.2	198
7	Shinreung	18.3	36.6	20.7	24.4	82
8	Euiheung	22.4	22.4	17.1	38.2	76
9	Hwasu	22.6	31.4	20.1	25.8	159
10	Hwasan	24.4	33.5	22.2	19.9	176
11	Seuksan	25.4	33.1	20.0	21.5	130
Average		21.3	33.9	18.7	26.1	1,735

따라서 제2구간 강우가 제일 많은 빈도를 나타내기 때문에 무차원 누가확률곡선중 제2구간의 중앙값인 50% 누가확률곡선을 채택하여 강우를 시간분포시킨다. Fig. 3에 산성 강우관측소 지점의 누가확률곡선의 한 예를 나타냈다.

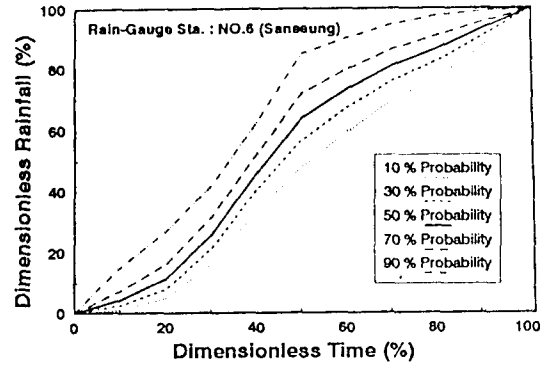


Fig. 3. Sample of 2nd Quartile Storm (Sanseung Rain-Gauge)

Table 7은 티센가중계수를 적용한 전 유역의 50% 누가확률계열이며, Huff 방법의 최종특성치 분석결과이다.

Table 7. Huff Distribution of 50%-Probability

P (%)	Sub-basin (unit: %)					
	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6
10	4.3	4.2	4.1	3.9	3.7	4.4
20	11.4	11.5	11.6	11.8	12.1	11.1
30	24.6	25.5	24.8	26.7	27.1	22.8
40	41.8	43.6	41.7	46.0	46.1	37.9
50	57.6	60.0	56.9	63.2	62.7	52.3
60	66.2	68.7	65.5	72.6	72.3	60.4
70	73.7	76.1	72.7	80.0	79.5	68.2
80	80.2	82.1	79.2	85.5	84.9	76.0
90	89.6	90.4	88.6	92.2	91.6	87.6
100	100.	100.	100.	100.	100.	100.

Note) P: Probability (%)

3.3.3 Pilgrim-Cordery 방법

전 강우사상 3,550개중에서 강우지속시간 2시간에서 45시간까지의 년 최대치 계열의 하한치 이상

의 강우사상 1,842개를 선별하여 강우백분율에 의한 시간분포형을 구하였다. 분석결과, 전반적인 강우형은 6시간까지는 전방위이고 6시간이상에서 24시간까지는 중,후방위 강우형을 나타내었고, 24시간이상은 자료부족 등으로 무작위성향을 나타내었다. 분석한 45가지의 시간중 6시간의 최종특성치를 Table 8에 나타내었다.

Table 8. Sample of Pilgrim-Cordery
(Duration Time: 6hr.)

Time (hr)	Sub-basin (Unit: %)					
	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6
1	14.4	12.9	12.8	11.6	8.3	17.2
2	21.4	15.3	16.3	14.7	11.4	33.4
3	13.6	14.0	12.3	14.6	16.1	13.0
4	19.9	21.1	24.5	27.6	27.2	15.6
5	18.2	20.3	17.6	23.2	33.4	15.1
6	12.5	16.4	16.5	8.3	3.6	5.7

3.3.4 Mononobe 방법

강우지속시간 2시간이상의 무강우가 전혀없는 연속강우사상 3,550개를 선별하였고, 본 연구에서는 식 (17)에 의한 시간별분포를 중앙집중형으로 산정하기 때문에 지속시간에 관계없이 일정한 분포를 나타낸다.

4. 적용 및 고찰

4.1 대상유역의 지형학적 특성

본 연구의 대상유역은 유역내 인공구조물이 적어 자료의 신뢰성이 높은 IHP 대표시험유역인 낙동강 수계의 위천유역으로 하였으며, 전체 유역면적은 472.5km², 최장유로 연장이 42.8km로서 동곡(33.6 km²), 고노(162.9km²), 미성(166.2km²), 병천(302.1km²), 무성(472.5km²) 및 효령(151.0km²) 등 6개의 소유역 및 11개의 강우관측소로 나누어져 있다. 대상유역의 지형학적 인자인 R_B(분기비), R_A(유역면적비), R_L(유로연장비) 및 Ω(하천차수) 등은 1/50,000 지형도를 사용하여 Table 9에 나타내었다.

Table 9. Geomorphologic Parameters

Para-meter	Sub-basin					
	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6
R _B	4.88	4.46	4.05	4.57	3.05	5.40
R _A	4.72	5.17	4.67	5.39	3.70	6.58
R _L	2.18	2.07	1.27	2.56	1.62	2.72
Ω	5	5	5	4	4	4

4.2 강우-유출자료

본 연구에서 사용한 강우-유출자료는 IHP 보고서(1983~1993)에 수록된 자료와 한국건설기술연구원의 PCHISS에 입력되어 있는 1983년부터 1993년까지 11년간의 시강우, 유출자료와 비교검토후, 각 소유역의 자료를 선별하여 총 32개의 강우-유출자료를 사용하였다. 또한 수문곡선해석을 위한 유효우량의 산정은 φ-index를 사용하였다.

4.3 관측치와 계산치의 비교분석

본 방법의 적용성을 검토하기 위하여 관측치와 계산치를 비교분석하였다. 유출모형의 입력자료가 되어질 각 방법에 따라 산정된 설계강우주상도의 예를 Fig. 4에 나타내었으며, 관측치에 대한 각 방법별 결과비교의 예를 Fig. 5-7에 제시하였고 전체유역의 적용성 분석결과를 Table 10에 나타내었다.

또한 유출모델인 지형학적 순간단위도의 매개변수 n은 지형학적 인자를 고려하여 2.99에서 3.57까지(평균3.1) 나타났으며, k는 2.6에서 3.4까지(평균 3.0)로 유역면적이 적어질수록 다소 크게 나타났다.

이상의 그림결과와 같이 관측치에 대한 각 방법별 수문곡선의 재현성은 비교적 높다고 인정되며, 복합강우에도 비교적 안정적인 것으로 판단된다.

총 32개의 관측 강우-유출자료에 의한 적용성 분석결과를 Table 10에 각 소유역별 평균값으로 나타내었다. Q_p의 평균오차를 보면 NO. 5유역에서만 강우의 형태가 일양하여 3.4%부터 8.1%까지 높은 정도를 보였지만 전체적으로는 14.3%에

서 21.9% 정도를 나타냈고 도달시간 t_p 의 경우는 11.4%에서 17.9%로 나타났다. 따라서 Yen - Chow방법의 삼각형분포가 비교적 높은 정도를 나타내고 Pilgrim - Cordery방법의 시간분포가 다른 방법에 비해 다소 정도가 떨어지는 것을 알 수

있었다. 효율계수 E의 오차를 비교하여 보면 Yen - Chow의 삼각형분포 경우 15.6%이고 Mononobe방법의 경우는 27.2%로서 재현정도가 다소 차이가 있음을 보여주고 있다.

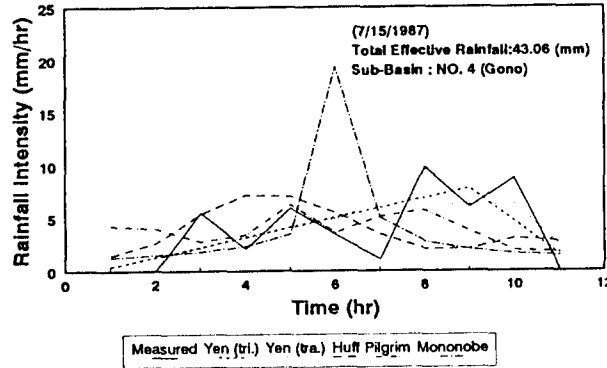


Fig. 4. Effective Rainfall Hyetographs in NO. 4 (Gono)

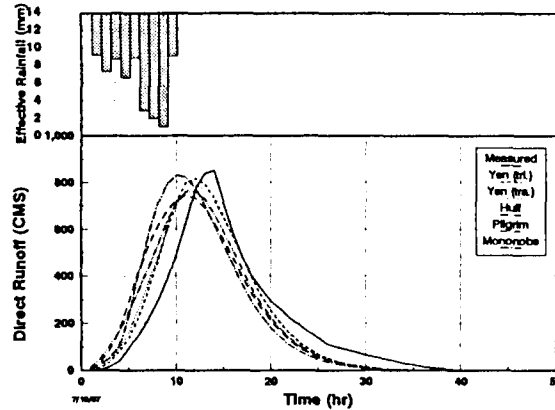


Fig. 5. Direct Runoff Hydrographs in NO. 1 (Museung)

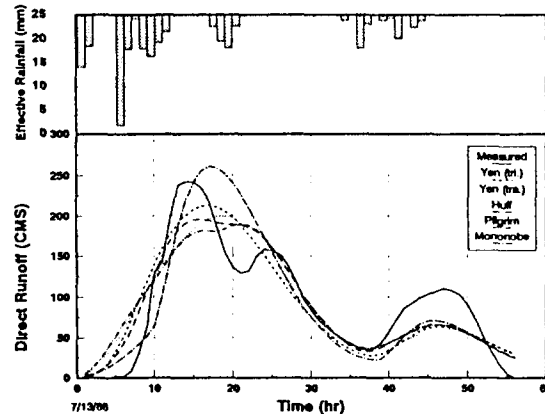


Fig. 6. Direct Runoff Hydrographs in NO. 3 (Miseung)

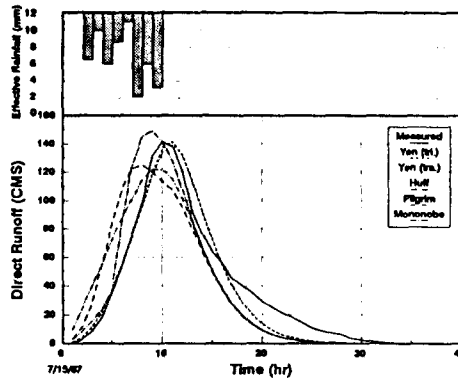


Fig. 7. Direct Runoff Hydrographs in NO. 4 (Gono)

Table 10. Comparison of Absolute Error in Wi-Stream

Sub basin	Absolute Error (%)															R-R
	Yen-Chow Triangular			Yen-Chow Trapezoidal			Huff			Pilgrim-Cordery			Mononobe			
	Qp	tp	Ee	Qp	tp	Ee	Qp	tp	Ee	Qp	tp	Ee	Qp	tp	Ee	
NO.1	17.5	13.3	19.9	19.1	14.6	20.0	24.5	16.8	30.0	26.1	16.6	34.5	20.2	15.9	31.7	4
NO.2	11.8	7.0	15.6	10.6	10.9	13.7	19.8	15.8	27.7	24.7	23.0	29.7	15.5	13.6	24.8	4
NO.3	19.3	10.8	12.8	22.3	13.5	14.2	30.2	6.7	17.5	30.5	13.3	18.2	19.1	6.9	16.9	4
NO.4	14.5	14.2	16.2	15.5	15.7	16.8	18.1	14.9	35.4	20.4	17.8	25.4	17.4	15.6	32.5	9
NO.5	5.1	11.1	11.7	5.4	11.9	12.9	6.1	14.2	25.7	8.1	20.2	24.7	3.4	17.2	31.9	7
NO.6	17.5	12.1	17.1	17.2	12.1	17.0	18.9	19.5	24.9	21.5	16.3	24.4	12.4	14.1	25.5	4
AVG.	14.3	11.4	15.6	15.0	13.1	15.7	19.6	14.6	26.9	21.9	17.9	26.2	14.7	13.9	27.2	

Note) R-R: Number of Measured Rainfall-Runoff

Ee: $100 - E$ (Coefficient of Efficiency)

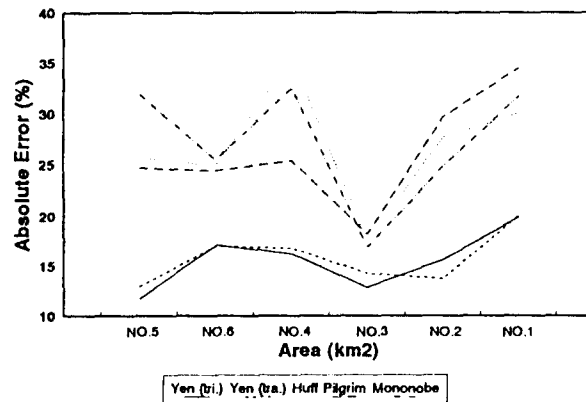


Fig. 8. Absolute Error versus Area

또한 소유역의 면적별 오차관계를 보면 Fig. 8 에서와 같이 총강우량이 커질 수록 정도가 낮은 것과 같이 면적이 커질수록 정도가 떨어지고 Fig. 9 을 알 수 있었다.

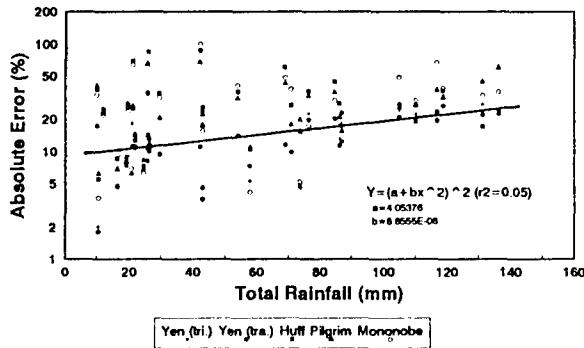


Fig. 9. Absolute Error versus Total Rainfall

5. 결 론

낙동강수계 위천대표시험유역의 11년간의 단독 강우사상 3,550개를 선별하여 설계강우의 지속시간별 시간분포 특성치를 각 방법별로 제시하였고, 제시된 각 강우분포모형을 지형학적 순간단위도 유출모형에 입력하여 관측치와의 적용성을 검토한 결과는 다음과 같다.

(1) Yen-Chow 방법에 의한 특성치 분석결과 삼각형은 지속시간이 길어질수록 전방위에서 후방위 강우형으로 변하는 경향을 보이며 무차원 특성변수 a^0 값은 0.44에서 0.50까지 분포하여 건설기술연구원(서병하와 김남원, 1989)의 전국적 연구결과보다 약간 후방위성향을 나타내었고, 사다리꼴은 지속시간이 길어질수록 무차원 특성변수 h^0 값이 점차 커지는 경향을 나타내었다.

(2) Huff 방법에서는 6개 소유역을 통하여 건설기술연구원(서병하와 김남원, 1989)의 연구결과와 같은 제2구간 강우가 지배적인 것으로 나타났다.

(3) Pilgrim-Cordery 방법의 전반적인 강우형은 6시간까지는 전방위이고, 6시간이상에서 24시간까지는 중, 후방위 강우형을 나타내었고, 24시간 이상은 자료부족 등으로 무작위성향을 나타내었다.

(4) 실무에서 주로 사용되는 Mononobe 방법의 첨두유량 Q_p 은 비교적 높은 정도를 나타내었지만, 수문곡선의 재현성은 정도가 떨어지는 것을 알 수 있었다.

(5) Nash모형을 이용한 지형학적 순간단위도의 매개변수 n 은 유역면적이 커짐에 따라 2.99에서 3.57까지로 변화하였으며, 저류계수 k 는 2.6에서 3.4까지로 조홍제와 이상배(1990)의 연구보다는 진폭이 적었고 유역면적이 적어질수록 다소 크게 나타났다.

(6) 설계강우의 지속시간별 시간분포형의 적용성을 검토한 결과, Yen-Chow 방법의 삼각형분포가 높은 정도를 나타내었고, Pilgrim-Cordery 방법이 다소 정도가 떨어지는 것을 알 수 있었고, 수문곡선의 재현정도를 나타내는 효율계수 E 의 값은 전체유역을 통하여 평균적으로 72.8에서 84.4까지의 범위로서 각 방법들의 수문곡선의 재현정도는 다소 차이가 있음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- 국제수문개발계획(IHP) 대표유역연구조사 보고서. (1983). 건설부.
- 박찬영 (1981). "소유역의 설계우량산정을 위한 강우형상분석에 관한 연구." 한국수문학회지, 제14권, 제4호, pp. 13-18.
- 서병하, 김남원 (1989). "지역별 설계강우의 시간적 분포." 연구보고서, 한국건설기술연구원.
- 서승덕 (1965). "폭우의 시간적분포에 관한 고찰." 한국농공학회지, 제7권, 제2호, pp. 792-797.
- 윤용남 (1986). 공업수문학. 청문각, 서울.
- 조홍제, 이상배 (1990). "하도망의 기하학적 특성을 이용한 지형학적 순간단위도 해석." 한국수문학회

- 지, 제23권, 제1호, pp. 89-98.
- Dawdy, D.R., and Bergman, J.M. (1969). "Effect of rainfall variability on stream flow simulation." *Water Resources Research*, Vol. 5, No. 5, pp. 958-966.
- Gupta, V.K., and Wang, C.T. (1981). "A representation of an instantaneous unit hydrograph from geomorphology." *Water Resources Research*, Vol. 17, No. 3, pp. 545-554.
- Horner, W.W., and Jens, S.W. (1942). "Surface runoff determination from rainfall without using coefficient." *Transactions*, ASCE, Vol. 107, pp. 1039-1075.
- Huff, F.A. (1967). "Time distribution of rainfall in heavy storms." *Water Resources Research*, Vol. 3, No. 4, pp. 1007-1019.
- Kirkby, M.J. (1976). "Tests of the random network model and its application to basin hydrology." *Earth Surface Processes*, Vol. 1, pp. 197-212.
- Pilgrim, D.H., and Cordery, I. (1975). "Rainfall temporal patterns for design floods." *Journal of the Hydraulics Division*, ASCE, Vol. 101, No. HY1, pp. 81-95.
- Rodriguez-Iturbe, I., and Bras, R.L. (1982). "The geomorphoclimatic theory of the instantaneous unit hydrograph." *Water Resources Research*, Vol. 20, No. 7, pp. 914-920.
- Rosso, R.L. (1984). "Nash model relation to horton order ratio." *Water Resources Research*, Vol. 20, No. 7, pp. 914-920.
- Wenzel, H.G., Jr., and Voorhees, M.L. (1979). "Sensitivity of design storm frequency." Paper presented at the AGU Annual Spring Meeting, Washington, D.C.
- Yen, B.C., and Chow, V.T. (1977). "Feasibility study on research of local design storms." *Report No. FHWA-RD-78-65*, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, D.C.

〈접수 : 1995년 8월 9일〉