

CLARK 유역추적법에 의한 계획홍수량 산정에 미치는 매개변수의 민감도 분석

A Sensitivity Analysis of Model Parameters Involved in Clark Method on the Magnitude of Design Flood for Urban Watersheds

윤광원*, 원석연**, 윤용남***

1. 서론

현재 국내 실무에서는 소유역의 설계 침투홍수량을 결정하는 방법으로 가장 간단한 합리식이나 가지야마 공식 같은 경험식을 사용하고 있고, 유수지의 설계에서는 RRL방법(1962)이나 ILLUDAS 방법(1974)을 사용하고 있으며, 하천을 포함하고 있는 도시 소유역의 경우 Clark방법(1945)이 널리 사용하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 도시하천유역의 유출모형인 Clark방법에 대해 그 적용절차와 매개변수 관련 문제점등을 살펴보고, 각 매개변수 값들의 변화가 침투홍수량에 얼마나 영향을 미치는가를 민감도 분석을 실시하여 살펴보고, 도시 내배수 시스템을 통한 유출은 ILLUDAS모형을, 하천구간의 홍수 추적을 위해서는 Muskingum 방법을 사용한 ILLUDAS & Muskingum 모형의 결과와 비교 분석함으로써 매개변수 결정의 중요성 및 그 결정 기준을 제시하고자 한다.

2. 기본이론

2.1 설계강우량의 산정

2.1.1 총강우량의 산정

설계 우량주상도를 결정하기 위해서는 먼저 적정 재현기간에 대한 총강우량을 결정하여야 한다. 단기간 강우의 경우에는 대상지역별 IDF곡선으로 부터 강우강도를 구한 후 이에 지속기간을 곱하여 총 강우량을 결정하며, 장기간 강우의 경우에는 그 지역의 과거 강우량 자료를 빈도분석하여 일 확률강우량을 산정하여 사용하는 것이 일반적이다.

2.1.2 SCS법에 의한 유효우량 산정

미 토양보전국(US SCS)에서 개발되어 미계측 유역의 초과강우량(유효우량) 산정을 위해 널리 사용되고 있는 방법으로 총우량(P:mm)-유효우량(Q:mm)의 관계는 다음과 같이 표시된다.

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (2.1)$$

여기서 유역의 최대 잠재보유수량 S(mm)는 다음과 같이 유출곡선지수 CN에 따라 결정된다.

$$S = \frac{25,400}{CN} - 254 \quad (2.2)$$

SCS에서는 토양의 종류(A,B,C,D) 및 불투수면적의 구성비에 따른 CN값을 표로 제시하였으며, 선행 함수조건을 I, II, III형으로 분류하여 각 조건에 따른 CN값을 추천하고 있다.

* (주)동명기술단, 수자원부

** 고려대학교 부설 생산기술연구소 선임연구원

*** 고려대학교 토목환경공학과 교수

2.1.3 설계강우량의 시간적 분포

강우의 시간분포를 정형화하는 방법으로는 여러가지가 있으나 본연구에서는 Huff의 무차원 우량주상도, Yen & Chow의 삼각형 우량주상도 그리고 IDF곡선을 이용한 중앙집중형 강우분포의 세가지 강우분포를 단기간 강우분포로, Mononobe 강우분포를 장기간 강우분포로 설정하여 각 분포별 특징을 살펴보고자 하였다.

먼저 Huff 분포(1967)는 Huff가 미국 일리노이주의 강우기록을 통계학적으로 분석하여 제시한 무차원 시간분포 곡선으로, 강우지속시간을 4등분하여 강우 집중시간의 위치에 따라 1구간 호우에서 4구간 호우까지 4가지 무차원 우량주상도를 제시하였다.

Yen과 Chow(1980)는 모멘트를 이용한 통계학적 분석방법으로 호우의 시간적 분포를 삼각형 우량주상도로 단순화하여 표현하였으며, 또한 호우는 무강우가 없는 연속강우로 정의하였다.

일본에서 유수지의 설계를 위해 사용하고 있는 강우의 시간분포를 중앙집중형 강우분포(1988)라 부르고 있다. 이 방법은 IDF곡선으로부터 지속기간별로 강우강도를 구한 후, 이를 시간강우량으로 환산, 시간구간별 강우량을 구하여 이를 중앙집중형태로 분포시킴으로써 설계우량주상도를 작성하는 방법이다. 본연구에서는 한국건설기술연구원(1990)의 서울지방 강우강도공식을 적용하여 설계우량주상도를 작성하였다. 그림 2.1에 서울지방의 지속기간 120분인 50년빈도 설계 우량주상도를 각각 Huff, Yen과 Chow 그리고 중앙집중형 강우분포의 형태로 나타내었다.

Mononobe 분포(1991)는 현재 국내 실무에서 일강우량으로부터의 설계우량주상도 작성을 위해 가장 널리 사용되고 있는 방법으로, 다음과 같은 식에 의해 시간별 누가강우량을 산정하여 시간별 강우량을 결정하는 방법이다.

$$R_t = \frac{R_T}{T} \left(\frac{T}{t} \right)^{2.3} \times t \quad (2.3)$$

여기서 R_t 는 t 시간 까지의 총강우량(mm)이며 R_T (mm)는 지속기간 T (hr) 동안의 총강우량이다.

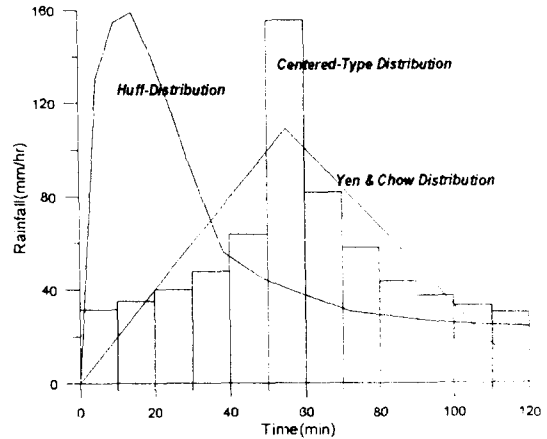


그림 2.1 설계 우량주상도의 시간분포도

2.2 홍수량 산정방법

2.2.1 Clark 방법

유역의 홍수도달시간-누가면적의 관계로 부터 자연하천유역에 순간적으로 내리는 단위 유효우량으로 인한 유역출구에서의 순간 단위유량도를 유도하는 방법으로, 강우로 인한 유역의 전이(translation) 뿐만 아니라 저류효과(attenuation)까지 고려하는 방법이다(1945).

유역에 순간적으로 내리는 단위 유효우량(1cm)으로 인해 유역출구에 도달하는 유출량은 다음 식으로 표시된다.

$$I_t = 2.778 \times \frac{A_t}{\Delta t} \quad (2.4)$$

여기서 I_t 는 t 시간에서의 유역출구로의 유입량(m^3/sec)이며, A_t 는 t 시간구간에 포함되어 있는 소유역 면적(km^2), Δt 는 동시간선의 시간간격(hrs)이다. 또한 이 방법에서는 유역의 말단부에 가상의 단일 선형 저수지가 존재한다고 가정하여, 이상과 같이 결정된 유량을 유입량으로 하여 다음과 같은 식에 의해 저수지 홍수추적을 실시한다.

$$O_t = m_0 I_t + m_1 I_{t-1} + m_2 O_{t-1} \quad (2.5)$$

여기서 O_t 는 t 시간에서의 유역으로 부터의 유출량(m^3/sec)이며, m_0, m_1, m_2 는 다음 식에 의해 결정할 수 있다.

$$m_0 = \frac{0.5\Delta t}{K + 0.5\Delta t}, m_1 = \frac{0.5\Delta t}{K + 0.5\Delta t}, m_2 = \frac{K - 0.5\Delta t}{K + 0.5\Delta t} \quad (2.6)$$

Clark방법의 적용을 위해서는 먼저 시간-누가면적 곡선을 작성하여야 한다. 시간-누가면적 곡선의 작성을 위해서는 유역내에 도달시간이 동일한 지점을 연결하여 동시간선(isochrones)을 작성하여 시간별 누가면적을 결정하는 것이 대상유역의 특성을 나타내는 가장 바람직한 방법이라 할 수 있겠다. HEC-1모형(1990)에서는 식 2.7과 같은 비선형 시간-누가면적 곡선식을 제공하고 있으며, ILLUDAS모형(1974)은 전체 유역을 몇개의 소유역으로 구분한 후 각 소유역별 시간-누가면적의 관계를 선형으로 가정하여 유출량을 계산하도록 되어 있다.

$$AI = 1.414 t^{1.5} \quad 0.0 < t < 0.5 \quad (2.7)$$

$$1 - AI = 1.414 (1-t)^{1.5} \quad 0.5 < t < 1.0$$

Clark방법의 적용을 위해 필요한 저류상수 K의 결정방법은 유역출구에서의 실측 유출수문곡선 자료가 있을 경우와 그렇지 않을 경우로 나누어 볼 수 있다. 먼저 유출 수문곡선 자료가 있을 경우에는 식 2.8과 같이 수문곡선의 변곡점에서의 유량 Q_c 를 그 점에서의 접선의 기울기(dQ/dt)로 나누어 줌으로서 K 값을 결정한다.

$$K = \frac{Q_c}{(dQ/dt)_c} \quad (2.8)$$

한편 유출수문곡선 자료를 가지고 있지 않을 경우에는 K 값이 유역의 도달시간과 같다고 가정하여 표 2.1과 같은 경험공식에 의해 K 값을 결정하고 있다.

표 2.1 도달시간 계산공식

	도달시간 계산공식	비 고
Linsley 공식	$t_c = b L A^{0.5} / S^{0.5}$ $b = 0.01 - 0.03$	$t_c(\text{hr}), L(\text{km}), A(\text{km}^2)$
Kraven 공식	$t_c = 0.444 L / S^{0.315}$ ($S > 1/200$)	$t_c(\text{min}), L(\text{km})$
Rziha 공식	$t_c = 0.833 L / S^{0.6}$	$t_c(\text{min}), L(\text{km})$

2.2.2 ILLUDAS모형

Terstriep과 Stall에 의해 처음 개발되어 1984, 1986년 개정된 모형이다(1974). 이 모형은 우수관거와 직접연결된 불투수지역에 내리는 강우만이 유출에 기여한다는 RRL방법의 기본개념을 그대로 받아들이면서, 투수지역에 내리는

강우로 인한 유출량까지를 고려하여 RRL방법을 수정한 모형으로 전체유역을 직접연결 포장유역, 투수지역, 간접연결 포장유역 및 유출에 기여하지 않는 지역의 4가지로 구분·해석하는 모형이다.

2.2.3 하도 홍수추적 방법

본 연구에서는 하도 홍수추적 방법으로 Linear-Muskingum Routing방법을 사용하였다. 이 방법의 추적방정식은 다음과 같다.

$$Q_t = C_0 I_t + C_1 I_{t-1} + C_2 O_{t-1} \quad (2.9)$$

$$C_0 = \frac{(Kx - 0.5\Delta t)}{K - Kx + 0.5\Delta t}, \quad C_1 = \frac{Kx + 0.5\Delta t}{K - Kx + 0.5\Delta t},$$

$$C_2 = \frac{K - Kx - 0.5\Delta t}{K - Kx + 0.5\Delta t} \quad (2.10)$$

윗식에서 Δt 는 홍수파가 추적구간을 통과하는 시간의 약 1/2-1/3을 선택하는 것이 바람직하며, C_0, C_1, C_2 는 모두 양의 값을 가지도록 하여야 한다. 즉 $\Delta t > 2Kx$ 가 되도록 Δt 를 선정하여야 한다.

3. 대상유역의 선정 및 자료의 수집

3.1 대상유역의 선정

본 연구에서는 서울시의 정릉천 유역을 대상 유역으로 하였으며 이를 크게 9개 유역으로 구분하고 다시 각 유역을 여러개의 소유역으로 구분하여, 홍수량 산정지점을 총 22개 지점으로 선정하였다. 본 유역은 유로연장 10.77km, 유역면적 19.58km²인 유역으로 하천의 중류부까지는 복개되어 있는 전형적인 도시유역이며, 유역의 홍수량 산정지점은 그림 3.1에 나타낸 바와 같다.

각 소유역을 연결하는 우수관거의 세원과 소유역별 유역면적, 포장지역 및 투수지역의 면적, 길이 및 경사등은 서울시 하수도대상 및 평면도(1/3,000)상에서 구하여 사용하였다.

4. 매개변수의 민감도 분석

Clark방법의 각 매개변수들의 민감도 분석을 위해서 다른 제조조건들은 고정시킨 상태에서 해당 매개변수의 값을 변화시켜 가면서 그에 따른 영향을 분석하였다. 즉, 강우의 시간분포는 IDF곡선을 사용한 중앙집중형 강우분포를, 유효우량 산정을 위해서는 정릉천유역의 특성에 따른 CN값을, 시간-누가면적 곡선은 HEC-1 추적방법을, 저류상수 K는 Linsley(b=0.01)방법을

사용하였고 추적기간 Δt 는 5분으로 하였다.

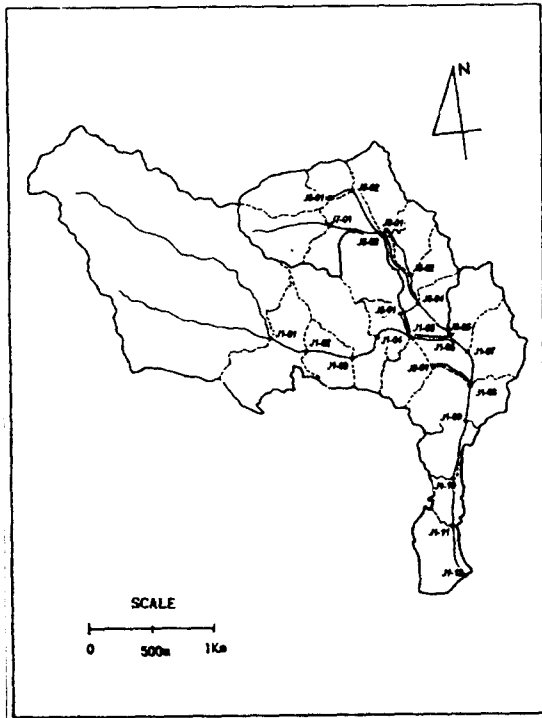


그림 3.1 정릉천 유역의 홍수량 산정지점 위치도

4.1 유출곡선지수(CN)의 영향 분석

강우의 지속기간이 각각 2시간(단기간 강우)과 24시간(장기간 강우)일 때에 대해 CN값의 영향을 각각 살펴보고자 하였다. CN값에 따른 50년 빈도의 계획홍수량 변화는 그림 4.1과 같다. 그림에서 단기간 강우의 경우에 대한 CN값의 영향이 장기간 강우에 비해 더 큰 것을 알 수 있으며, 특히 도시유역의 CN값이 70~85사이인 것을 감안하면 단기간 강우의 경우에는 60~65% 정도, 장기간 강우의 경우에는 20~25% 정도의 차이를 보여주었다.

4.2 강우의 시간적 분포 영향 분석

4.2.1 단기간 강우분포

도시유역에 적용하는 설계강우는 주로 단기간의 지속기간을 갖는 강우분포이므로, 단기간 강우분포인 Huff의 제1구간 무차원 강우분포, Yen & Chow의 삼각형 강우분포 그리고 중앙집중형 강우분포를 각각 적용하여 계획홍수량을 산정하여 보았다. 적용 대상 지점은 유역면적이 4.129km²인 월곡천 지점과 전체 유역의 두 경우에 대하여 각각 적용하였으며, 지속기간

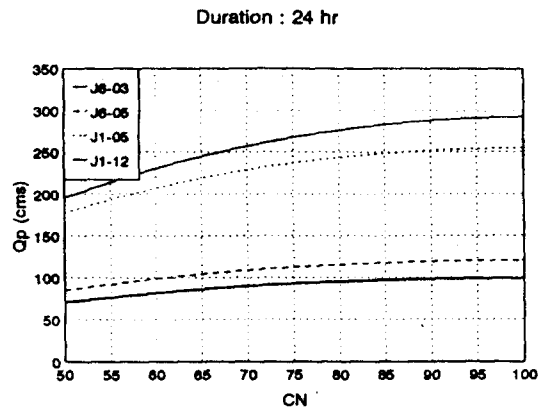
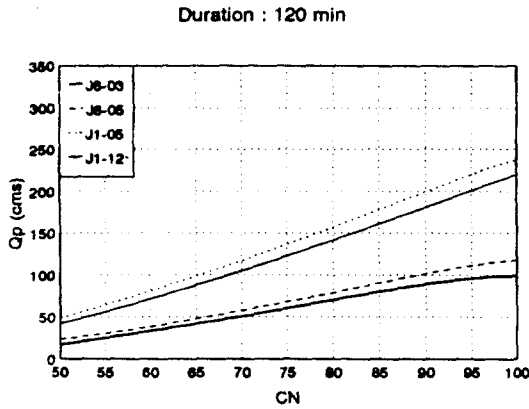


그림 4.1 CN값에 따른 계획홍수량 추정치

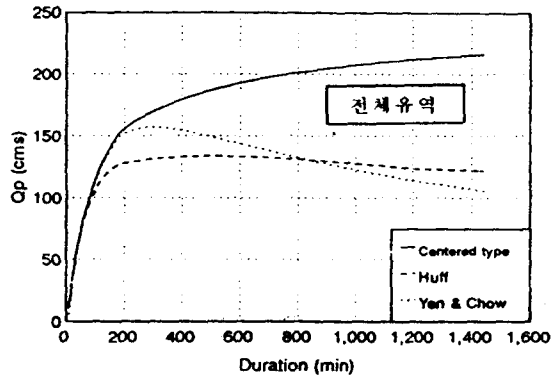
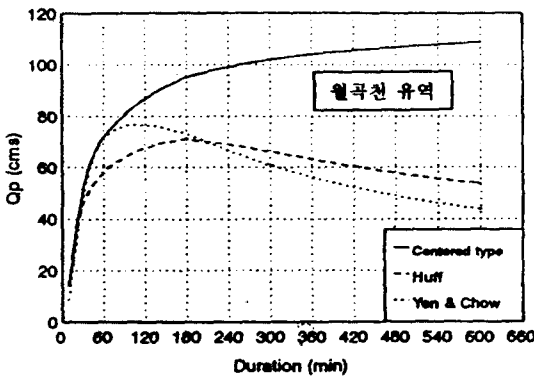


그림 4.2 지속기간에 따른 강우의 시간분포 영향

에 따른 강우의 시간분포가 계획홍수량에 미치는 영향은 그림 4.2와 같다.

그림에서 볼 수 있듯이 지속기간이 짧은 경우(2시간 미만의 경우)에는 큰 차이를 보이지 않으나, 지속기간이 증가함에 따라 각 방법별 차이가 커짐을 알 수 있으며, 특히 무차원 강우분포인 Huff분포와 Yen & Chow분포는 일정 지속기간(임계지속기간)을 초과하는 지속기간에서는 오히려 계획홍수량의 크기가 감소하는 것을 볼 수 있었다. 그러나 중앙집중형 강우분포의 경우는 지속기간이 길어지더라도 계획홍수량의 크기가 감소하지 않는 것을 볼 수 있었다.

4.2.2 장기간 강우분포

현재 국내실무에서는 일강우량에 의한 설계홍수량 산정시 Mononobe의 중앙집중형 강우분포를 가장 널리 사용하고 있다. Mononobe 분포를 사용하는 경우에는 계산 시간간격 Δt 의 크기가 설계홍수량 값에 영향을 미치는 것으로 알려져 있으므로, 본 연구에서는 Δt 에 따른 설계홍수량의 영향을 살펴봄으로써, Mononobe분포의 적용성을 검토하고자 한다.

대상유역의 홍수량 산정지점별로 계산 시간간격 Δt 를 5, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 180분으로 각각 설정하여 Clark방법에 의해 각 지점의 설계홍수량을 산정하였으며, 계산 시간간격별 유역면적에 따른 비홍수량을 그림 4.3에 나타내었다.

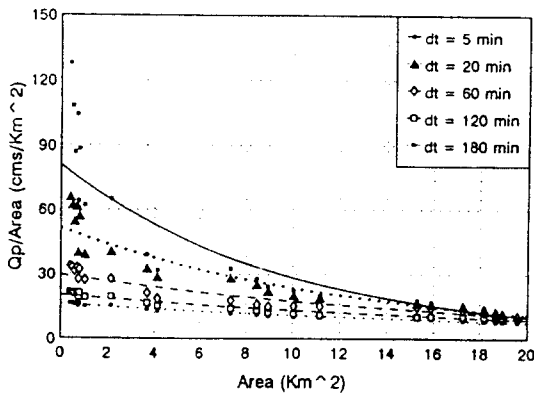


그림 4.3 Mononobe 강우분포 적용시의 계산 시간간격에 따른 비홍수량

그림에서 Δt 가 작을수록 첨두홍수량의 크기는 증가함을 알 수 있다. 따라서 Mononobe강우분포의 적용시 Δt 의 크기는 매우 중요한 인자라 아니할 수 없다.

본 연구에서는 Δt 의 크기에 크게 영향을 받지 않는 IDF곡선에 의한 중앙집중형 강우분포(centered type)를 기준으로하여 Δt 의 크기에 따른 Mononobe분포와의 관계를 살펴봄으로써 Mononobe분포의 Δt 결정을 위한 기준을 제시하고자 하였다. 그림 4.4에서 볼 수 있듯이 Δt 가 20분일때 45°선에 가장 일치하는 것을 알 수 있으므로, 대체로 도시유역의 경우에는 10분~20분을 계산시간간격으로 하여 Mononobe분포를 적용하는 것이 가장 바람직할 것으로 생각된다.

4.3 소유역 구분방법에 따른 영향 분석

시간-누가면적 곡선의 작성을 위한 소유역 구분방법에는 여러가지가 있겠으나, 본 연구에서는 다음의 3가지 방법을 선정하여 각각의 영향을 비교하고자 한다.

- 1) 유역특성에 따른 시간-면적 관계 곡선 (Actual Time-Area Curve)
- 2) 선형 시간-면적 관계 곡선 (Linear Time-Area Curve)
- 3) 비선형 시간-면적 관계 곡선 (Nonlinear Time-Area Curve)

위의 3가지 방법에 의해 산정한 정릉천유역의 시간-면적 곡선은 그림 4.5와 같으며, 이를 대상유역에 적용한 결과는 그림 4.6과 같다.

그림 4.6에서 실제 시간-누가면적 곡선에 의한 첨두홍수량의 값이 가장 큰 것을 알 수 있다. 그러나 그 차이는 8%로 비교적 작으므로 Clark방법에서 소유역 구분방법은 비교적 큰 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있었다.

4.4 저류상수 K값의 영향 분석

4.4.1 저류상수에 따른 첨두홍수량의 크기 변화

먼저 저류상수의 크기에 따른 첨두홍수량의 영향을 살펴보기 위해서 그림 4.7과 4.8에 제시된 바와 같이 지속기간별 K값에 따른 영향과, 유역면적별 K값에 따른 영향을 살펴보았다. 그림에서 K값의 크기에 따라 계획홍수량의 크기는 매우 큰 영향을 주는 것을 볼 수 있으며, 특히 계획홍수량의 크기는 유역면적이 증가할수록 K값에 따라 민감하게 변화하는 것을 볼 수 있다.

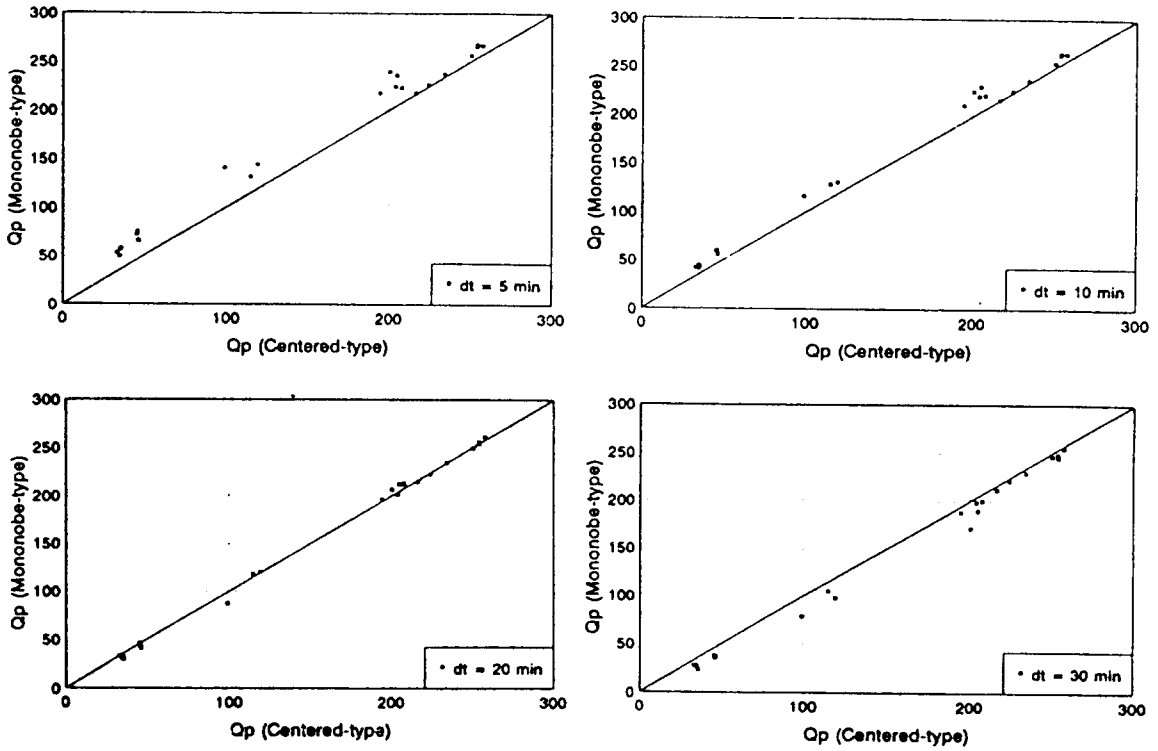


그림 4.4 중앙집중형 강우분포와 Mononobe 강우분포 적용시의 계획홍수량 비교

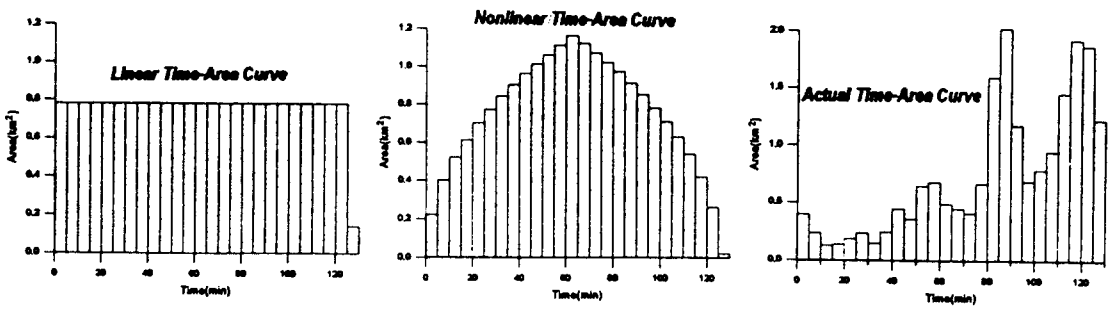


그림 4.5 정릉천 유역의 시간-면적 주상도

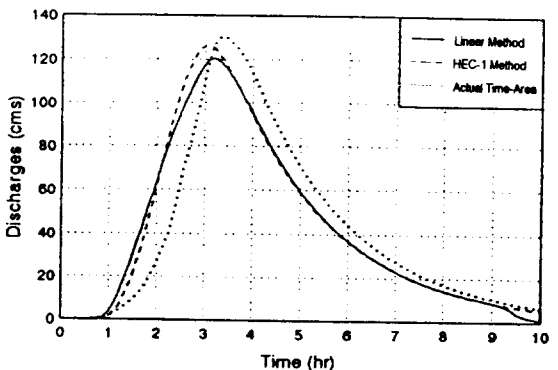


그림 4.6 정릉천 하구지점의 계획 홍수 수문곡선(지속기간:120분)

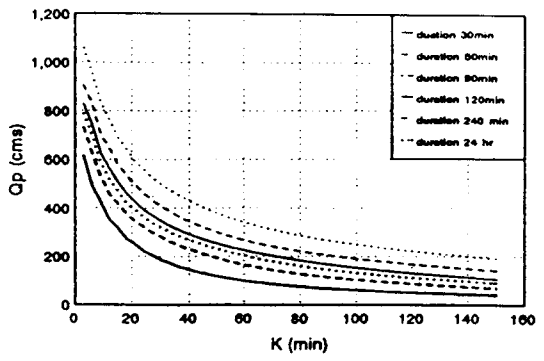


그림 4.7 지속기간별 K값에 따른 계획홍수량

표 4.1 각 변수간의 단순 상관계수

	log(K)	log(A)	log(L)	log(S)
log(K)	1.000	0.980	0.965	0.186
log(A)	0.980	1.000	0.987	0.257
log(L)	0.965	0.987	1.000	0.420
log(S)	0.186	0.257	0.420	1.000

표 4.2 회귀방정식별 특성치

구분	회귀방정식	상관계수 (r)	결정계수 (R ²)	최소자승오차 (Σε ²)
CASE - 1	$K = 20.760 \frac{A^{0.69678}}{L^{0.39272} S^{0.12781}}$	0.9848	0.9700	162.88
CASE - 2	$K = 15.282 \frac{A^{0.47942}}{S^{0.06872}}$	0.9829	0.9660	168.39
CASE - 3	$K = 7.962 \frac{L^{0.84032}}{S^{0.01343}}$	0.9645	0.9303	319.22

본 연구에서는 종속변수를 K로, 독립변수를 유역특성인자로 하는 회귀 방정식을 구하여 저류상수 K값을 구하는 경험식을 도출하고자 하였다. 회귀식은 3가지의 형태로 나타내었으며, 각 회귀식의 상관계수, 결정계수(coefficient of determination) 그리고 최소자승오차를 구하여 적정 회귀 방정식을 선정하고자 하였다. 표 4.2의 회귀방정식에서 K는 저류상수(min), A는 유역면적(km²), L은 유로연장(km)이며 S는 유로경사(%)를 표시한다. 표 4.2에서 CASE-1이 가장 좋은 결과를 보여주었으나, CASE-2의 경우도 식의 신뢰성 면에서 큰 차이를 보여주고

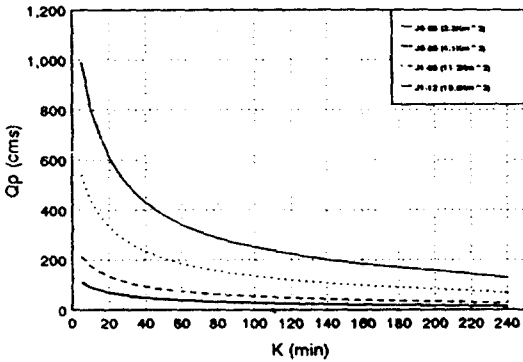


그림 4.8 유역면적별 K값에 따른 계획홍수량

4.4.2 저류상수의 결정

대상유역의 실제홍수량 자료가 있다면, 이를 기준으로 Clark방법의 매개변수인 K값의 적정치를 역산할 수 있겠으나, 연구 대상유역이 실측자료를 가지고 있지 않으므로 본 연구에서는 실측치 대신에 도시유역의 홍수량 산정을 위해 널리 사용되는 ILLUDAS/Muskingum모형(I/M모형)에 의한 결과를 사용하였다(1992,1993). 즉, I/M모형에 의해 각 유역의 계획홍수량을 산정한 후, Clark방법에 의한 계획홍수량의 값이 이 값과 동일하게 하는 K값을 산정하였다.

이와같이 산정된 각 지점별 K값과 각 지점의 유역특성 인자와의 상관관계를 살펴보기 위하여 각 유역의 유역면적, 유로연장, 유역경사에 대한 K값을 그림 4.9와 같이 도시하였으며, 또한 유역특성인자와 K값의 상호간의 상관계수를 구하여 그 관계를 살펴보고자 하였다. 변수 상호간의 상관계수는 표 4.1과 같다.

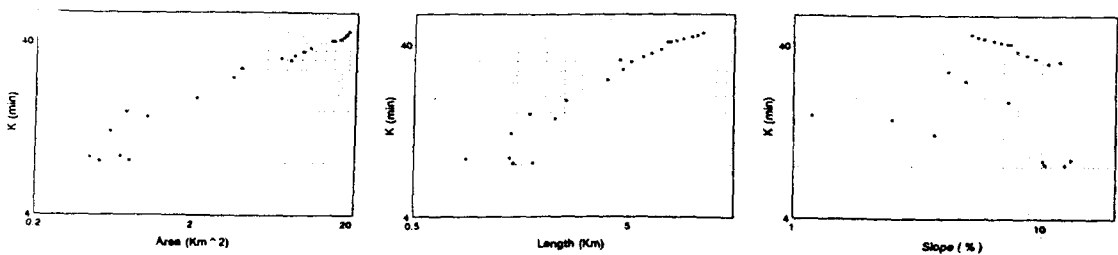


그림 4.9 유역 특성인자와 K값의 관계도

있지는 않음을 알 수 있다. 또한 표 4.1에서 유역면적 A와 유로연장 L과의 상관도가 매우 커서 각각을 독립변수로 볼 수 없으므로, 본 연구에서는 Clark방법의 매개변수인 K값의 추정식으로 다음의 식(CASE-2)을 추천하는 바이다.

$$K = 15.282 \frac{A^{0.47942}}{S^{0.086572}} \quad (4.1)$$

5. 결론

본 연구에서는 국내실무에서 범용되어지고 있는 Clark방법의 각종 매개변수 관련 문제점 등을 살펴보고 각 매개변수들의 민감도 분석을 실시하였으며, ILLUDAS & Muskingum방법과 비교 분석함으로써, 매개변수 결정의 중요성 및 그 결정기준을 제시하였다. 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. SCS 유출곡선지수 CN값에 따른 계획홍수량의 영향이 매우 크므로 도시하천유역에 Clark방법을 적용할 경우 유역의 토양특성을 고려한 적절한 CN값의 결정이 필요하다.
2. 단기간 강우분포의 경우 대체로 2시간 이내의 강우에 대해서는 동일한 성향을 보여주었다. 또한 IDF곡선에 의한 중앙집중형 강우분포는 장기간의 지속기간을 가지는 강우에 대해서도 적용성이 있음을 알 수 있었다.
3. Mononobe강우분포는 계산 시간간격 Δt 의 크기에 따라 계획홍수량에 큰 차이를 보여주고 있으며, 도시유역에의 적용을 위해서는 10분~20분으로 짧게 정하는 것이 타당한 것으로 보인다.
4. 소유역 구분방법은 계획홍수량에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났으므로, 도시유역에서의 개략적인 홍수량 산정을 위해서는 선형가정이나 포물선가정등을 사용해도 무방할 것으로 판단되었다.
5. 저류상수 K값은 계획홍수량에 가장 큰 영향을 미치는 변수이므로, K값의 결정을 위해서는 신중을 요한다. 본 연구에서는 K값의 산정을 위한 회귀방정식을 추천하였으며 이 식은 유출자료가 없는 도시유역에서의 K값 결정을 위해 유용하게 사용될 수 있을 것이다. 다만 본 식은 실측자료에 의한 것이

아니므로 향후 도시유역의 유출량을 실측하여 좀더 개선된 식을 제시할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 건설부, 소규모시설 설계지침, 1990
2. 서병하, 김남원, 지역별 설계강우의 시간적 분포, 한국 건설기술연구원, 1989
3. 서울특별시, 정릉천변 치수대책 기본 및 실시설계 보고서, 1992
4. 윤용남, 공업수문학, pp542-544, 청문각, 1991.
5. 윤용남, 원석연, 도시유역의 홍수량 산정을 위한 도시유출모형 연구, 대한토목학회지, 제 13권 5호, 1993
6. 윤용남, 전병호, 이종태, 도시홍수 재해방지를 위한 내수처리 시스템 분석 및 설계기법의 개발, 한국과학재단, 1992
7. 원석연, 유역 및 하도 홍수추적 방법을 결합시킨 도시하천의 유출해석모형, 고려대학교 대학원 박사학위논문, 1993
8. 한국수문학회, 제 1회 수공학 워크샵, 1993
9. Clark, C.O., Storage and the Unit Hydrograph, ASCE Trans., 110, 1945
10. Huff, F.A., The Distribution of Heavy Rainfall in a Major Urban Area, Proc. of the National Symposium on Urban Rainfall and Runoff and Sediment, 1967
11. Terstriep, M.L. and Stall, J.B., The Illinois Urban Drainage Area Simulator, ILLUDAS, Illinois State Water Survey, Bull. 58, 1974
12. U.S. Army Corps of Engineers, HEC-1 Flood Hydrograph Package, User's Manual, 1990
13. U.S. Soil Conservation Service, National Engineering Handbook, Chap 4 Hydrology, 1972
14. Watkins, L.H., The Design of Urban Sewer Systems, Road Res. Lab., Tech. Pap. 55, 1962
15. Yen, B.C. and Chow, V.T., Design Hyetograph for Small Drainage Structures, Proc. ASCE 106(HY6), 1980
16. 都市水文研究クルーフ, 調節池の計劃と設計, 山海堂, 1988