

〈論 文〉

都市化 영향을 고려한 遊水池 計劃模型 Planning Models for Detention Ponds with Consideration of the Urbanization Effects

李鍾泰* 尹世儀* 李在浚** 尹龍男***
Lee, Jong Tae · Yoon, Sei Eui · Lee, Jae Joon · Yoon, Yong Nam

Abstract □ A number of planning models that are used for preliminary design of detention ponds in urban area were compared with consideration of urbanization effects. The characteristics of hydrological parameters α , γ which are used in planning models were analyzed. And a new planning model for detention ponds was suggested. The required storage volumes of the Sinjung I, Myunmock, and Hannam detention pond were calculated by the planning models with the catchment data. The applicability of planning models to estimate the required storage volume of detention pond was investigated. Mori and Rational model have the trend of overestimation of storage volumes of detention ponds, on the other hand Abt & Grigg and Kadoya model show the trend of underestimated values, and the rest of the planning models show the reasonable volumes.

요 지: 도시화로 인한 유출량의 증가 및 도달시간의 단축으로 유발되는 유수지 저류량을 산출하는 계획모형들을 조사 정리하고 이를 비교 분석하였다. 도시화로 인한 유출양상을 나타내는 도시화 인자 α , γ 가 유수지 용량 결정에 미치는 영향을 분석하였으며 새로운 유수지 계획모형을 제시하였다. 신정 I, 면목 및 한남유수지의 유역자료를 이용하여 도시화로 인한 유수지 소요 용량을 산출하고 그 결과를 비교하였으며, 예비설계를 위한 근사계산에의 적용성을 검토하였다. 전반적으로 Mori 모형과 합리식 모형이 과대한 결과치를 보여주었으며, 반면에 Abt와 Grigg 모형 및 Kadoya 모형은 과소한 결과치를 보여주었다. 기타 모형들은 비교적 안정된 범위의 값을 보여주었다.

1. 서론

인구증가와 산업의 발달로 인하여 도시화 현상이 심화됨에 따라 하천연변 저지대가 시가지화 됨으로서 내배수 불량으로 인한 침수피해가 날로 증가되고 있다. 특히 한강수계에서의 홍수피해액의 상당한 부분이 수도권 지역에서 발생되고 있다. 서울에는 약 60개의 내배수 처리시설용 유수지가 설치 운용되고 있으며, 내수침수방지를 위한 유수지의 역할은 매우 크다(서울특별시, 1991). 이러한 유수지의 계획, 설계 및 운영방안에 대한 연구는 도

시 방재를 위하여 필요하다.

도시화가 진행됨에 따라서 불투수표면이 증가되고 침투율이 감소됨으로써 유출계수의 증가요인이 되고있다. 도시화 이전과 비교하여 침투유량 뿐만 아니라 유출총량도 증가하게 된다. 또한, 지표면 유출속도가 증가되고, 집수역내의 자연하천의 인공수로화, 직강화공사로 인하여 조도계수의 감소, 하상경사의 증가 등은 우수거내의 유속을 증가시킨다. 침투유량의 도달시간이 감소되면서 기저시간도 단축된다.

도시화로 인한 홍수피해를 경감시키는 구조적 방안

* 경기대학교 공과대학 토목공학과

** 금오공과대학 토목공학과

*** 고려대학교 공과대학 토목공학과

는 하도개수, 방수로, 우수저류시설, 배수펌프장 등의 건설이 있으며, 토지의 효과적 이용, 수방시설의 안정성, 유지관리 및 공사비를 고려하여 대상유역에 적절한 방안을 선정하게 된다. 우수지를 설계, 운영함에 있어 사용되는 모형은 일반적으로 계획모형(planning model), 설계모형(design model) 및 운영모형(operation model)으로 분류되고 있다. 계획모형과 유사한 형태의 단순화된 설계모형이 있기 때문에 계획모형과 설계모형을 엄밀히 구별하기는 어렵다. 따라서 본 연구에서는 우수지 용량결정시 배수구역에 대한 홍수추적을 생략한 모형을 넓은 의미의 계획모형으로 보았다. 기초계획단계에서는 우수지의 홍수조절효과를 산정할 때 엄밀하게 계산하는 것이 꼭 효율이 좋다고 할 수 없으며, 또한 최적설계를 하는 데는 엄청난 시간이 소요된다(熊谷純一郎, 1986/ 日本河川協會, 1987). 이 때문에 계획시점에서는 개략적인 검토를 한 후에 이를 적절히 조합한 후 정밀한 설계모형을 이용하여 실시설계를 하고 운영방법을 마련하는 것이 좋다. 개략적 검토시에도 on-site 저류시설로만 계획하는 경우, on-site와 off-site를 겸용하는 경우, 및 off-site 시설로만 계획하는 경우로 구분되고 있다. 계획모형의 유출량계산 방법에는 합리식방법, STORM, SEMSTORM, Pennstate runoff model, Chicago hydrograph 방법 등이 있으며(전병호, 1989), 본 연구에서는 검토대상 유역에 대한 기존의 유출해석 모형 및 입력자료가 준비되지 못한 경우로 가정하여 집수구역에 대한 유출해석을 생략한 최소의 자료에 의하여 계산이 가능한 합리식에 의하여 첨두홍수량을 산정하였다.

본 연구에서는 도시화로 인하여 발생하는 홍수량의 증대요인을 해소하기 위한 detention 형 우수지 계획모형들을 조사 분석하고, 새로운 계획모형을 제시하여, 우수지의 설계를 위한 기초적 자료를 제공하고자 한다.

2. 우수지 저류용량의 결정을 위한 계획모형

도시화에 대비하는 초기계획단계의 우수지 계획모형(planning model)에서는 일반적으로 엄밀한 유출수문곡선이 필요하지 않으며, 수위-저류량-방류량 관계곡선의 작성과정을 생략한 1차적인 근사적 접근 방법이 사용된다.

본 연구에서 조사 검토된 주요 계획모형들은 근사 유입수문곡선형을 가정함에 있어 ①삼각형 유입수문곡선 계획모형, ②사다리꼴 유입수문곡선 계획모형, ③경험모형 및 기타 등의 세가지로 분류하였다. 각각에 해당하는 계획모형들을 정리하여 간단히 기술하면 다음과 같다.

2.1 삼각형 유입수문곡선 계획모형

우수지로의 유입수문곡선형을 대형 삼각형수문곡선으로 근사적으로 보는 것은 합리식의 기본가정을 배경으로 하고 있다. 즉, 첨두유량의 산출을 위한 강우지속시간은 도달시간과 같으며, 이 시간동안에 동일한 강도의 강우가 분포하는 것으로 보았으며, 기저시간은 도달시간의 두배로 하였다. 이러한 가정들은 우수지 계획모형에 많이 사용되고 있다.

(1) McCuen 모형

합리식이나 SCS 방법으로 첨두유량 q_p 와 첨두유량도달시간 t_p 를 계산하고, 유입수문곡선의 형태는 삼각형으로 가정하여 기저시간 T 를 첨두유량도달시간의 2배로 가정하였다(그림 1). 또한 유수의 도달시간 t_r 와 첨두유량의 도달시간 t_p 는 같다고 가정하였다.(McCuen, 1988)

도시 개발에 따른 유출특성의 변화를 나타내는 수문학적 도시화 인자로서의 첨두유량비(α)와 도달시간비(γ)는 우수지용량 결정에 중요한 인자가 되며 아래와 같이 표시된다.

$$\alpha = q_{pu}/q_{ps} \quad (1)$$

$$\gamma = t_{rb}/t_{ra} = t_{pb}/t_{ps} \quad (2)$$

여기서,

q_{ps} : 개발 전 첨두유량

t_{ps} : 개발 전 도달시간

t_{pb} : 개발 전 첨두유량 도달시간

q_{pu} : 개발 후 첨두유량

t_{ra} : 개발 후 도달시간

t_{rb} : 개발 후 첨두 유량 도달시간

일반적으로 α 는 1.0 보다 작으며 γ 는 1.0 보다 크다. 즉 유역내의 도시화된 면적이 증가되면 α 는 감소하고 γ 는 증가된다.

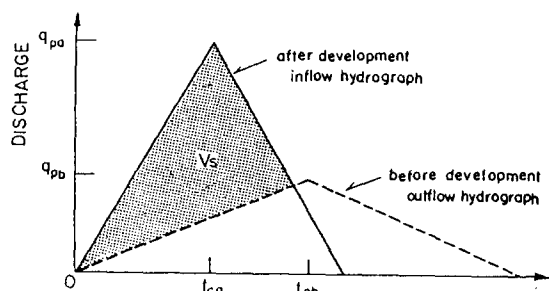


그림 1. McCuen 모형의 수문곡선

그림 1 에서 빗금친 부분인 유수지 용량 V_s 와 도시화 후 총유입량 Q_a 와의 관계는 다음 식(3) 으로 표시된다.

$$\frac{V_s}{Q_a} = \begin{cases} \frac{\gamma + \alpha + \alpha \gamma (\gamma + \alpha - 4)}{\gamma - \alpha} & \alpha < 2 - \gamma \\ \frac{\gamma - \alpha}{\gamma + \alpha} & \alpha > 2 - \gamma \end{cases} \quad (3)$$

(2) 합리식 수문곡선 모형

합리식으로 부터 유수지 용량을 결정하는 방법의 하나로, 그림 2 에 표시된 유수지 용량 V_s 를 개발 전, 후의 첨두유량과 개발전의 도달시간을 이용하여 아래와 같이 표시하였다.

$$V_s = 0.08264 (q_{pa} - q_{pb}) t_{cb} \quad (4)$$

여기서, q_{pa} 와 q_{pb} 의 단위는 (ft³/sec), t_{cb} 는 (hr), V_s 는 (acre-ft) 이며, 0.08264는 단위 환산계수이다.

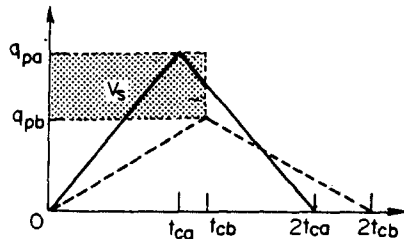


그림 2. 합리식 모형의 수문곡선

(3) Baker 모형

Baker(1979)는 그림 3 에서의 빗금친 부분을 유수지 용량으로 생각하였으며, 첨두유량 계산시 합리식을 사용하였다.

$$V_s/Q_a = 1 - \alpha \quad (5)$$

이 모형은 식(3)의 McCuen 모형에서 $\alpha = 2 - \gamma$ 인 특별한 경우로서 도시개발전 첨두유량이 두 수문곡선의 교차점에서 발생한다고 보았다.

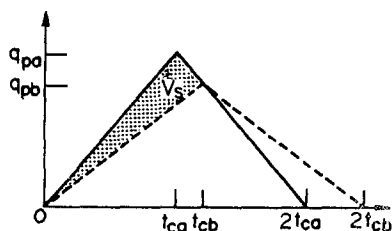


그림 3. Baker 모형의 수문곡선

Boyd(1987) 도 이와 비슷한 가정하에서 같은 결과식을 제안한 바 있다.

(4) Abt 와 Grigg 모형

Abt 와 Grigg(1978)는 유수지로의 유입수문곡선은 삼각형, 유출수문곡선은 사다리꼴로 가정하여(그림 4) 유수지 용량을 계산하였다. 유입수문곡선의 상승부와 유출수문곡선의 상승부를 일치시킨 점이 다른 모형과 다르다.

$$V_s = 0.08264 ((1+m)/2) q_{pa} t_{ca} (1-\alpha)^2 \quad (6)$$

식(6)에서 $m=1$ 이면 기저시간은 $2t_{ca}$ 가 되어 McCuen 모형의 기저시간과 같게 된다. 식(6) 에서의 단위는 식(4)에서와 같다.

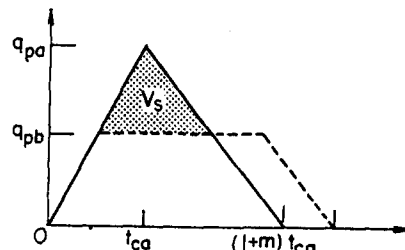


그림 4. Abt와 Grigg 모형의 수문곡선

(5) Kadoya 모형

그림 5 에서 V_n 은 웨어에 의한 자연 배수량이고, 빗금친 부분이 유수지 용량이다. (角屋 睦, 1985)

$$V_s = (q_{pa} - q_{pb}) (t_2 - t_1) / 2 \quad (7)$$

여기서, t_1 : (누가유입량 - 누가펌프방출량 = 자연배수량)이 되는 시각

t_2 : 유입량과 펌프방출량이 같아지는 시각

q_{pb} : 펌프의 최대 토출량

본 모형은 해당 배수구역이 도시개발 이전에 자연배수와 더불어 배수펌프시설에 의존한 지역의 경우이거나,

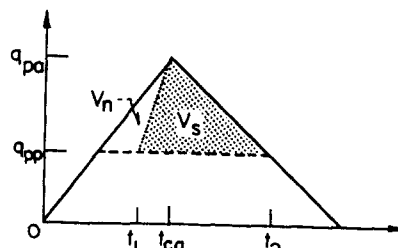


그림 5. Kadoya 모형의 수문곡선

또는 신설 배수펌프장 및 유수지구모결정에 사용될 수 있는 설계모형이다.

2.2 사다리꼴 유입수문곡선 계획모형

유수지로의 유입수문곡선의 형태를 사다리꼴 수문곡선형으로 가정한 계획 모형에서는 도달시간과 강우 지속 시간을 함께 본 삼각형 계획모형의 한계를 보완하기 위하여, 기저시간을 강우지속시간과 도달시간을 합한 것으로 하여 실제 수문곡선형과 근사하도록 조정한 모형이다. 설계강우의 지속시간이 유수지의 용량에 주는 영향을 고려하므로써 이론적으로는 삼각형 계획모형에 비해 보다 합리적이라고 볼 수 있다. 특히, Burton 및 Mori 모형에서는 $dV/dt=0$ 의 조건을 만족하는 강우지속시간으로 유수지 용량을 결정하였다.

(1) Donahue 와 McCuen 모형

이 모형은 그림 6 과 같이 유입, 유출수문 곡선을 모두 사다리꼴로 가정하고, 유입수문곡선의 감소부가 시작되는 시간이 강우지속시간과 같다고 가정하였으며, 유수지 용량은 식(8) 과 같이 표시된다. (Donahue, et al., 1981)

$$V_s/Q_a = 1 - \alpha (1 + t_{ca}/D(1 - 0.5(\gamma + \alpha))) \quad (8)$$

여기서, D : 강우지속시간

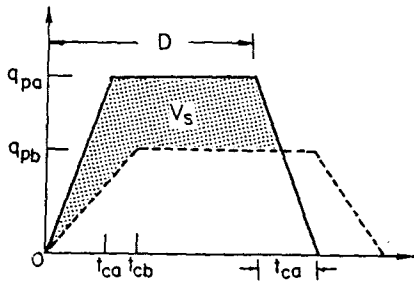


그림 6. Donahue 와 McCuen 모형의 수문곡선

(2) Burton 모형

강우지속시간이 침투홍수 도달시간에 비해 클 경우, 펌프의 방출량이 결정되면, 합리식으로 구한 유입수문곡선으로부터 그림 7의 빗금친 부분의 넓이를 계산함으로써 유수지 용량을 계산할 수 있다. 이 모형의 기본식은 다음과 같다. (Burton, 1980)

$$V_s = (q_m - q_n) D \quad (9)$$

강우 강도식의 형태를 $I = K D^n$ 로 가정하고, 최대유수지 용량을 얻는 조건 즉, $dV/dt=0$ 로부터 강우지속시간을 구하면 아래와 같다.

$$D = \left(\frac{q_m}{C_a A K(n+1)} \right)^{1/n} \quad (10)$$

식(9)와 식(10)으로부터 유수지 용량은 다음과 같다.

$$V_s = q_m \left(\frac{-n}{n+1} \right) \left(\frac{q_m}{C_a A K(n+1)} \right)^{1/n} \quad (11)$$

여기서, q_m : 펌프 방출량

K, n : 강우강도식의 지역계수

A : 유역면적

C_a : 도시개발 후의 유출계수 (합리식)

식(11)로 부터 펌프 방출량과 유수지 용량간의 관계를 알 수 있으므로 경제적 여건에 따라 유수지 용량을 결정할 수 있다.

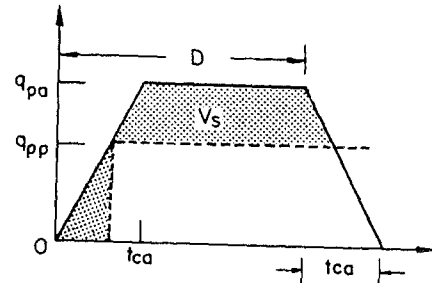


그림 7. Burton 모형의 수문곡선

(3) Mori 모형

그림 8 에서 유수지용량을 산출하면 식 (12)가 구해진다.

$$V_s/Q_a = 1 - k \alpha \quad (12)$$

여기서, k는 수문곡선형상계수 (도시개발전)로서 $k=0.5 \sim 0.9$ 의 범위의 값을 갖는다. k의 값이 0.9까지 증대됨에 따라 계산 결과치는 Baker의 식에 근사하게 접근함을 보여주고 있으나, Baker의 값보다는 항상 큼을 알 수 있다. Mori는 off-site 유수지 설계시에는 $k=0.5$ 의 값을

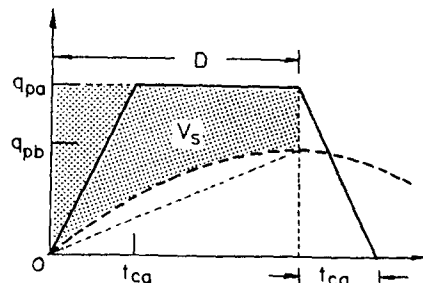


그림 8. Mori 모형의 수문곡선

부여하였으나, 이는 과대한 결과치로 나타난다. 이 점에 관하여서는 본 논문의 적용예(3.3)에서 더욱 언급되어 있다. 설계강우 지속시간의 산정을 위하여 식(12)는 강우강도를 도입한 식(13)으로 표현된다.

$$V_s = 1/6(I - I_c/2) D C_a A \quad (13)$$

여기서,

I_c : 최대 방류량 q_{pb} 또는 q_{pw} 에 대응하는 강우강도 (mm/hr)

강우강도식의 형태를 식(14)와 같다고 하면, V_s 를 최대로 하는 조건($dv/dt=0$)을 만족하는 식(15)를 구할 수 있다. (熊谷純一郎, 1986)

$$I = \frac{a}{D^n + b} \quad (14)$$

$$D = \left(\frac{a(1-n) - bI_c + ((1-n)^2 n^2 + 2nabI_c)^{1/2}}{I_c} \right)^{1/n} \quad (15)$$

2.3 경험적 계획모형

(1) 자연저류량 손실모형

도시화가 진행되면서 자연저류용량이 감소되는데 이 감소된 자연저류용량이 곧 유수지 용량과 같다고 가정하는 모형으로 식(16)과 같이 표현된다.

$$V_s = Q_a - Q_b \quad (16)$$

Q_a 와 Q_b 는 각각 개발 후와 전의 유입총량이다.

(2) Wycoff 와 Singh 모형

이 모형은 유수지 설계에 사용되는 정교한 수문학적 모형을 이용하여, 계산된 유수지용량 자료를 회귀분석하여, 그 결과를 식(17)로 표시하였다(Wycoff & Singh, 1976).

$$\frac{V_s}{Q_a} = \frac{1.291(1-\alpha)^{0.273}}{(T_s/t_s)^{0.011}} \quad (17)$$

여기서, T_s 는 기저시간으로, 유량이 첨두유량의 5%까지 감소되는데 걸리는 시간이다. 식(17)의 적용범위는 $0.152 < \alpha < 0.891$, $2.55 < T_s/t_s < 4.88$ 이다.

(3) TR-55 모형

TR-20 모형을 이용하여 많은 유수지에 대하여 홍수 추적을 실시한 결과로부터 유수지 용량과 유출총량간의 관계를 식(18)과 같이 유도하였다. (SCS, 1986)

$$V_s/Q_a = C_1 + C_2 \alpha + C_3 \alpha^2 + C_4 \alpha^3 \quad (18)$$

여기서, C_1, C_2, C_3 및 C_4 는 SCS 강우분포에 따라서 결정되는 상수이다.

(4) 초과강수량 모형

도시화로 인한 불투수표면의 증가가 유출량 증가에 장 크게 영향을 미친다고 가정하고 유수지 용량을 식(19)와 같이 표시하였다. 이 모형은 자연저류 손실모형과 같은 개념이다. (Sheaffer, 1982)

$$V_s = (EPH - EPI) A_{imp} * 10 \quad (19)$$

여기서, EPH : 개발후의 불투수층의 초과 강수량 (mm)

EPI : 개발전의 초과강수량(mm)

A_{imp} : 불투수면의 면적(ha)

(5) SCS 근사모형

이 방법은 유수지 저류용량을 개략적으로 결정하기 위하여 SCS 에서 개발한 것으로 강우분포형 II 형를 사용하였다. 적용범위는 웨어로 방출될 경우 $0 \sim 1.64 \text{ m}^3/\text{sec.km}^2$, 관수로로 방출될 경우 $0 \sim 3.28 \text{ m}^3/\text{sec.km}^2$ 인 경우의 소유역에 대한 것과, 그 이상 규모의 대유역에 대하여 각각 구분하여 마련된 도표에 의하여 저류용량을 결정한다(Sheaffer, 1982).

2.4 본 연구에서의 유수지 계획모형

유수지로의 유입수문곡선을 삼각형 형태로 가정한 계획모형에서는 강우지속시간이 유수의 도달시간보다 긴 경우에는 유수지용량이 적게 계산될 수도 있다. 또한 Wycoff 와 Singh, TR-55, SCS 등의 경험적인 모형은 특정지역의 유수지 자료를 사용하여 유도되었기 때문에 우리나라에서 그들을 직접 사용하기에는 어려움이 있다. 우리나라의 대부분의 유수지는 유역면적이 작고 유로연장도 짧아서 유수의 도달시간 보다 강우의 지속시간이 길다. 따라서 본 연구에서는 아래와 같은 가정으로 부터 새로운 계획모형을 제시하였다.

1. 유수도달시간보다 강우지속시간이 길다.
2. 첨두방류량은 개발되기 전의 유입수문곡선의 첨두 유량과 같다.
3. 펌프의 최대방출량에 도달하는 시간은 유입수문곡선상의 첨두유량 발생시간과 같다.

그림 9에서 빗금친 면적이 유수지의 소요저류용량이며, 도시화 인자로 표시하면 식(20)과 식(21)이 된다.

$$V_s/Q_a = 1/2(1-\alpha)(2-\alpha t_{pa}/D) \quad (20)$$

$$Q_a = q_{pa} D \quad (21)$$

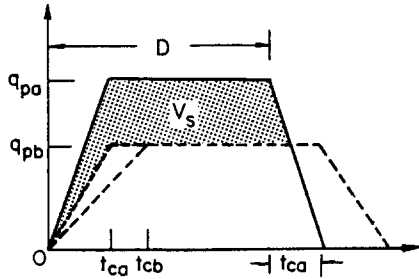


그림 9. 본 연구 계획모형의 수문곡선

3. 비교 및 고찰

3.1 도시화 인자 α, γ 의 특성분석

수문학적 도시화 인자 α, γ 가 유입총량에 대한 유수지 저류용량의 상대적 크기(V_s/Q_a)에 미치는 영향을 먼저 McCuen모형을 중심으로 분석하였다.

도시화 인자인 첨두유량비 α 가 작을 수록, 도달시간비 γ 가 클수록 도시화가 많이 진행된 상태를 의미하며 V_s/Q_a 의 값이 커짐을 보여준다(그림 10). 이 때 분모에 해당하는 총유입량 Q_a 가 도시화로 증대된 가운데 V_s/Q_a 의 값이 증가추세를 보인다는 것은 유수지용량 V_s 의 크기에 주는 α, γ 의 영향이 단순 비례 이상으로 매우 큼을 의미한다. α 가 일정할 때 γ 가 증가 할수록 V_s/Q_a 의 비는 증가한다. 즉, γ 만의 영향을 알아보기 위하여 도시

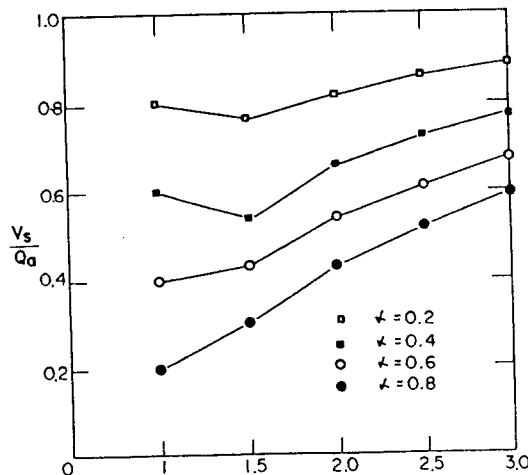


그림 10. 수문학적 인자 α, γ 의 특성

개발 전, 후의 첨두유량비 α 를 일정하게 놓을 때 도시화 현상으로 인해 유수지까지의 도달시간이 짧아질수록 V_s/Q_a 의 비는 전반적으로 증가한다. 그러나 α 가 0.2, 0.4 일때, $\gamma=1.5$ 부근에서 V_s/Q_a 값이 감소된 이유는 그림 1에서와 같이 유입, 유출 수문곡선을 삼각형 형태로 가정한 기하학적 결과로써 나타나는 현상이다.

유역의 특성에 따라 크게 변화되고 있는 α 와 γ 값은 모두 유수지 용량결정에 큰 영향을 주고 있다. 그림 10에서 γ 의 변화에 따른 V_s/Q_a 의 증감 변화율($\Delta(V_s/Q_a)/\Delta\gamma$)은 약 0.2 이내인 반면, α 의 변화에 따른 V_s/Q_a 의 변화율($\Delta(V_s/Q_a)/\Delta\alpha$)은 약 0.5~1.0의 범위 값으로써 α 가 γ 보다 유수지 용량에 미치는 영향이 더욱 민감한 것을 알 수 있다.

지금까지 V_s/Q_a 와 α 및 V_s/Q_a 와 γ 의 관계는 일부 연구 발표된 바 있으나, α 와 γ 간의 직접 비교는 검토된 바 없다. α 와 γ 간의 구체적인 관계는 많은 실측자료로부터 정리될 수 있겠으나, 현재로서는 이에 관한 수문자료가 매우 부족함으로 α 와 γ 간의 관계성을 개념적으로나마 분석하는 노력을 시도하여 보았다. 먼저 강우강도식을 $I=K D^{\gamma}$ 과 같다고 보고 강우지속시간을 유수의 도달시간과 같다고 가정하였다. 이 때 강우강도식이 도시화 전, 후에서 동일하다면 상수 K 는 생략되므로 식(22)를 얻는다.

$$\alpha = \frac{C_{in}(t_{in})^n}{C_{out}(t_{out})^n} = \beta \gamma^n \quad (22)$$

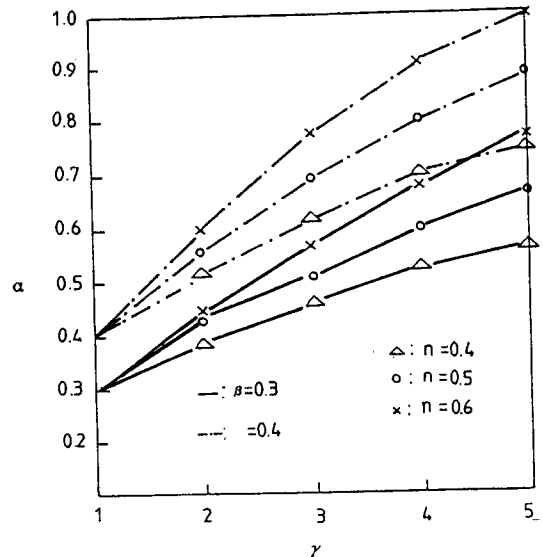


그림 11. α, γ 의 관계곡선

이 관계식에서 β 가 일정할 경우 γ 가 증가할 수록 α 가 증가하며, 그 증가폭은 지역계수 n 과 β 에 따라서 다르다. 그림 11에서 볼 수 있는 바와 같이 β 의 변화에 따른 α 의 변화율($\Delta\alpha/\Delta\beta$)이 약 2.0 정도의 값인 반면, n 의 변화에 따른 α 의 변화율($\Delta\alpha/\Delta n$)은 약 1.0 이내의 값으로써 도시개발 전 후의 유출계수비 β 가 설계강우강도의 지역계수 n 값 보다 α 에 미치는 영향이 큼을 알 수 있다.

따라서, 적합한 α 와 γ 간의 관계성 해석을 위하여서는 보다 합리적인 강우강도식과 유출계수비의 결정이 요망된다.

3.2 모형들의 비교

앞에서 설명한 바와 같이 각 계획모형들에 있어서 도시화 인자 α 및 γ 는 유수지 용량결정에 매우 중요한 요소이다. 본 장에서는 α 의 영향이 γ 의 영향보다 큼에 착안하여 실제의 현상과는 차이가 있지만, 각 모형에서 α 만에 의한 영향을 분석하기 위하여, 일단 $\gamma=1.5$ 및 $t_w/D=0.5$ 인 도시화 유역을 가정하였다. 이 경우에서의 각 모형의 식을 α 에 대하여 다시 정리하여 보면, α 에 관한 모형간의 비교 검토가 가능하게 된다. 즉, McCuen 모형은 식(3)의 두 식 중에서 $\alpha < 0.5$ 일 때 윗 식을 사용하고, $\alpha > 0.5$ 일 때 아래의 식을 사용하여, α 의 변화에 따른 V_s/Q_a 를 계산 할 수 있다. 한편, 합리식수문곡선 모형은 식(4)로부터 식(23)이 된다.

$$V_s/Q_a = 1.5(1-\alpha) \quad (23)$$

또한, Abt와 Grigg모형은 $m=1.0$ 일 때 다음과 같이 변형된다.

$$V_s/Q_a = (1-\alpha)^2 \quad (24)$$

Mori 모형에서는 $k=0.9$ 일 때 다음의 식으로 표현된다.

$$V_s/Q_a = 1 - 0.9\alpha \quad (25)$$

경험적 모형에서의 Wycoff와 Singh의 모형은 $T_a/t_w=3.0$ 일 때 식(26)이 된다.

$$V_s/Q_a = 0.8219(1-\alpha)^{0.333} \quad (26)$$

한편, TR-55모형은 강우분포형-II, III에서 다음과 같이 표현된다(SCS, 1986).

$$V_s/Q_a = 0.682 - 1.43\alpha + 1.64\alpha^2 - 0.804\alpha^3 \quad (27)$$

또한, 사다리꼴 모형인 Donahue와 McCuen모형은 아래의 식으로 변형된다.

$$V_s/Q_a = 1 - 1.125\alpha + 0.25\alpha^2 \quad (28)$$

Boyd 모형은 총유출량 V 를 Q_a 로 대치하고 유출침투유량과 유입침투유량의 비를 α 라고 하면 결국 식(5)와 같이 된다(Boyd, M. J., 1987). Burton 모형도 펌프최대 방출비를 개발전의 유입침투유량과 같다고 가정하면 역시 식(5)와 같은 꼴을 갖는다. 결국, Baker모형, Boyd모형 및 Burton모형은 위의 가정조건에서는 동일한 형태의 식으로 표현된다.

한편, Kadoya모형은 t_i 과 t_w 를 일반화하기 어렵고, 자연저류량 손실모형은 수문곡선형의 결정에 임의성을 배제하기 곤란하며, SCS모형은 α 와 γ 의 관계를 가정하기 곤란하였으므로 모형들 간의 비교에서는 이들을 제외시켰다. 한편, 본 연구에서의 계획모형은 식(29)로 표현된다.

$$V_s/Q_a = 1 - 1.25\alpha + 0.25\alpha^2 \quad (29)$$

그림 12는 유수지용량이 α 의 값에 따라 크게 변화되고 있음을 보여 주고 있다. 동일한 α 값에 대하여 Abt와 Grigg 모형과 TR-55 모형이 전반적으로 V_s/Q_a 값이 다른 모형에 비해 적게 나타났으며, 합리식모형과 Mori 모형은 상대적으로 큰 값을 보여주고 있다. Mori모형에서 k 가 0.9보다 작을 때는 그림 12에서 보다 더욱 큰 값을 보여 준다. Abt와 Grigg모형에서 m 의 값이 증가됨에 따라 V_s/Q_a 의 값은 다소 증가되나 m 의 값이 최대 3.0-4.

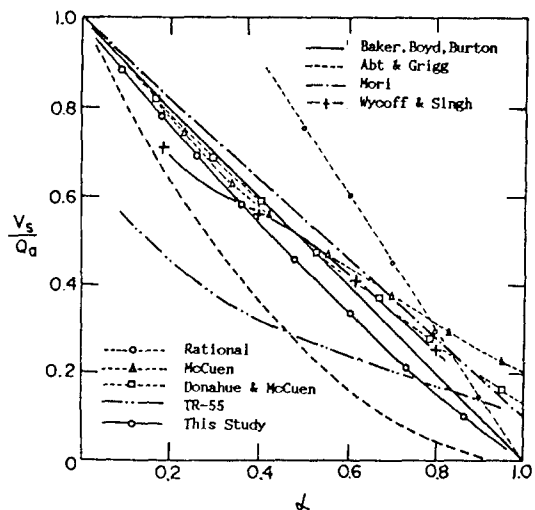


그림 12. 계획모형들의 비교 ($\gamma=1.5, t_w/D=0.5$)

0 이내의 값이므로 역시 다른 모형에 비해 작은 값으로 계산된다. TR-55모형에서는 강우의 분포형에 따라 다소의 변화를 보여 주었으나, 전반적으로 작은 값을 보여 주었다.

여기에서의 비교 결과는 $\gamma=1.5$ 일 경우이며, 사다리꼴 모형에서 $t_w/D=0.5$ 인 경우에 국한된 것이므로, γ 및 t_w/D 값이 변화되면 각 모형간의 특성은 크게 변화된다. 또한, 각 모형을 적용함에 있어 동일한 배수구역을 대상으로 하더라도, 해당모형에서 선택한 수문곡선형에 따라서 α 의 값이 다르게 적용됨에 유의해야 할 것이다. 왜냐하면 강우의 지속시간의 선택에 있어 삼각형 모형에서는 도달시간 t_r 를, 사다리꼴 모형에서는 강우지속시간 D 를 사용하기 때문에, 이에 따른 강우강도 및 침투유량이 서로 다르게 산정되기 때문이다.

그림 12에서의 결과치들에 대한 보다 신빙성있는 평가는 실적강우 및 이에 근거한 유수지의 실적자료가 충분하지 못하기 때문에 현재로서는 어떤 모형이 가장 정확하다고 판단할 수 없는 어려움이 있다. γ 와 t_w/D 의 값이 지역적으로 크게 변화될 수 있기 때문에 유수지용량을 결정할 때는 정확한 도시 수문자료가 매우 중요하다.

3.3 적용예 :신정 제 1, 면목 및 한남 유수지의 계획지류용량

앞에서 설명된 각종 유수지 계획모형 및 본 연구모형을 실제 배수구역에 적용하여 도시화 효과로 인하여 유발되는 소요 유수지 용량을 추산하고 계산 결과치들을 비교 검토하였다.

이를 위하여 서울 시내의 신정 제1, 면목, 한남 배수구역을 검토대상 지역으로 선정하였다. 배수구역의 선정은 비교적 유역면적이 큰 경우와 작은 경우를 고려하여 선택하였다. 신정 제1 유수지의 유역면적이 서울시에서는

가장 크고 한남유수지의 경우는 비교적 작은 편에 속한다.

현재의 상태를 도시화 이후의 상태로 보았고, 도시화 이전에는 교외 주거지역으로서 미개발지역의 상태로 보았다. 개발전의 유출량은 자연배수 또는 펌프에 의하여 전량 배수되었다고 보고, 새롭게 택지, 아파트 등의 도시화로 인한 유출량의 증대 및 도달시간의 감소현상에 의한 유입수문곡선을 구한 후 소요 유수지 용량을 계획모형에 의하여 산출하였다. 이 계산 결과들은 현재의 유수지 규모라든지 펌프장 규모를 무시한 개발 이전의 과거 시점에서 현상태의 도시화에 대비한 계획모형의 적용에 이다.

신정 제1, 면목 및 한남 유수지의 배수구역 자료를 사용하여 각각의 모형으로 부터 유수지 계획용량을 계산하였다. 도시개발 전에는 교외 주거지역으로 가정하여 유출계수를 $C=0.1$ 로 선택하였고, 개발 후인 현재는 주거상업지역과 공원녹지 지역으로서 구성 면적비로 합성유출계수를 산정하였다. 도달시간은 표면유출구간에서는 Kerby식을 이용하였고, 관거구간은 Manning 식에 의하여 계산하였다.

신정 제1 배수구역은 합리식을 적용하기에는 유역면적이 크기 때문에 무리가 있는 것으로 판단되나, 적용 결과치들의 비교를 위하여 선정하였다. 설계강우로는 한국건설기술 연구원에서 발표한 강우강도식을 사용하였고, 유수지의 설계빈도는 신정 제1 지역은 10년(표2), 30년(표3), 기타지역은 10년으로 각각 설정하였다. 강우지속시간은 유수지 설계에 있어서 매우 중요한 인자이다. 본 연구에서는 기존의 설계의 예에 따라 2시간으로 하였으나 이에 대한 앞으로의 연구가 필요하다.

도시화가 진행된 현재에는 과거 주거지역일 때와 비교하여 100% 이상의 침투유량 증가가 예측되며, $\alpha=0.48 \sim 0.80$, $\gamma=1.5$ 로 도시화가 심화된 지역으로 판단된다.

표 1 각 유수지 배수구역 기본조사 자료

	신 정 1	면 목	한 남	비 고
유역면적(km ²)	12.11	4.43	2.50	
도달시간(전, min)	90	68	45	
도달시간(후, min)	60	45	30	
유출계수(전)	0.4	0.4	0.4	
유출계수(후)	0.68	0.8	0.7	
유수지용량(m ³)	258,000	160,000	85,000	현재
배수펌프량(m ³ /min)	5,340	1,476	570	현재

(전) : 도시화 전/(후)

(수해백서, 1988/하수도 기본계획 세정비, 1984, 1991)

Wycoff 와 Singh, TR-55, SCS 모형 등에서는 유입, 유출 수문곡선을 가정하지 않는 경험적인 모형이므로 유입총량에 따라 우수지의 소요용량이 크게 달라진다. 본 연구에서는 이 모형들의 유입총량 계산시에 도달시간에 해당하는 강우강도가 강우지속시간 동안 일정하게 계속된다고 가정하여 유입 수문곡선을 사다리꼴로 가정하였다. Kadoya모형에서는 펌프가동시간을 알 수 없기 때문에 자연배수량을 무시하였다.

계산결과치들은 우수지 간에 다소 차이는 있으나, 전반적으로 합리식 모형을 제외하면 사다리꼴 수문곡선 모형이 비교적 큰 값을 보여주었다. Mori, 합리식, Donahue와 McCuen, Burton 모형의 순으로 소요용량이 비교적 크게 계산되었으며, Abt와 Grigg, Kadoya 모형 등은 상대적으로 적게 계산되었다. 본 연구 모형은 12개 모형의 계산결과치 중에서 비교적 안정된 범위의 값을 보여주고 있다.

Mori, Burton 모형은 본 계산에서는 비교를 위하여 타 모형과 동일 강우 지속시간을 사용하였으나, 독립적으로 적용할 경우에는 강우지속시간에 따라 우수지용량이 크게 좌우되며 표 2의 계산치 보다 더 큰 값이 되므로, 이론적인면에서는 합리적인 점이 있으나 실제 적용면에 있어서는 주의가 요망되는 모형이다.

Abt 와 Grigg 모형의 결과치가 가장 적은 이유는 그림 4 에서와 같이 유입수문곡선의 상승부와 유출수문곡선의 상승부가 일치하는 것으로 보았기 때문이다. 한편, 초과강우모형은 개발전의 초과강수량 자료를 구할 수 없어서 제외하였다.

소요 우수지 용량은 α , γ 및 강우강도의 특성에 따라 예민하게 영향을 받고 있으므로, 계획모형을 이용하여 우수지 용량을 결정할 때는, 이들 도시개발 전후의 수문학적 인자들에 관한 정확한 자료가 필요하다.

또한, 지금까지 언급된 계획모형들을 우수지의 예비설계에 활용하는 문제를 검토하여 보았다. 즉, 도시화 전의 유출수문곡선을 설계대상 우수지 펌프장의 방출 수문곡선으로 보고, 도시화 후의 유입곡선은 설계강우에 의한 우수의 유입수문곡선으로 보면 앞의 계획모형들은 배수 펌프장 및 우수지 용량결정을 위한 예비설계에 적용할 수 있을 것으로 보았다. 이와 같은 개념을 앞의 세 우수지 경우에 대하여 적용하여 우수지용량을 산정하여 보았다. 이 때 q_m 는 현 우수지 배수펌프장의 최대방출량으로 하였다. 그 계산 결과는 다음의 표 3과 같다. 이 계산 결과치를 이미 엄밀 설계과정을 거쳐 시공된 현 우수지의 용량과 비교하므로써 그 실용성 및 정확도를 개략적으로 평가할 수 있었다.

신정 제1 우수지에 대한 계산 결과치는 현재의 우수지 규모에 비하여 전반적으로 과대하게 계산되었다. 이는 침투유량을 산정함에 있어 합리식을 그 적용범위가 훨씬 넓은 큰 유역에 적용한 때문으로 짐작된다. 전반적으로 Mori 모형과 합리식 모형이 타 모형에 비해 과대한 결과치를 보여주었으며, 기타 모형들은 대상 우수지에 따라서 편차를 달리하고 있으나 신정 제1 우수지를 제외하고는 현재의 우수지용량을 기준으로 볼 때 약 30% 범위 내에서 안정된 값을 보여주고 있다. 특히 면목우수지에서는 Baker, McCuen 모형, 한남우수지에서 SCS 모형은

표 2 도시화 영향으로 인한 소요 우수지 용량(m³)

모 형 명	신 정 1	면 목	한 남	비 고
McCuen	310,284	127,064	45,144	삼각형모형 m=1
합리식수문곡선	466,239	196,903	68,113	
Baker	311,508	130,650	45,495	
Abt & Grigg	158,101	75,949	23,544	
Kadoya	158,997	76,200	23,658	
Donahue, McCuen	380,970	192,960	82,304	사다리꼴 k=0.9
Burton	369,360	192,960	81,360	
Mori	421,656	212,072	92,435	
Wycoff & Singh	378,280	173,278	범위초과	경험모형
TR-55	219,618	106,899	47,520	
SCS	215,136	104,198	55,123	
본 연구	315,027	174,870	75,461	

* 제원기간 : 10년

모 형 명	신 정 1	면 목	한 남	비 고
McCuen	430,647	152,163	68,568	삼각형모형
합리식수문곡선	662,827	237,586	105,535	
Baker	442,864	157,766	70,566	
Abt & Grigg	256,122	110,747	56,642	m=1
Kadoya	257,032	110,936	56,795	
Donahue, McCuen	488,006	207,237	120,453	사다리꼴
Burton	475,920	208,800	121,680	
Mori	540,082	226,107	128,975	k=0.9
Wycoff & Singh	482,423	183,696	범위초과	경험모형
TR-55	278,063	113,074	65,051	
SCS	268,012	119,635	74,131	
본 연구	406,486	190,422	116,176	사다리꼴
현재유수지용량	258,000	160,000	85,000	

* 제현기간 : 신정=30년, 면목, 한남=10년

약 1~13% 범위내에서 현 유수지 용량과 근사한 값을 보여주었다.

이상의 비교 평가는 기존의 신정 제1, 면목, 한남 등의 각 유수지의 설계가 합리적으로 되었다는 전제하에 가능한 것이다. 그러나 현 유수지 펌프장의 규모가 '84, '91년도의 하수도정비계획보고서에서 RRL법에 의하여 계산된 펌프의 소요용량에 미흡하고 있음을 감안하면, 현 유수지 용량이 전반적으로 부족한 것으로 나타난 Donahue와 McCuen, Burton 및 본 연구모형 등의 사다리꼴 모형은 어느 정도의 타당성을 갖고 있다고 보며, Abt와 Grigg, Kadoya 등의 일부 삼각형 모형은 과소한 결과치를 보여준다고 판단된다. 이에 관한 더욱 정확한 평가는 앞으로 보다 많은 유수지 설계결과를 토대로 보완되어 나가야 될 것이다.

4. 결 론

(1) 도시유역에서의 홍수피해를 경감시키는데 큰 역할을 하는 유수지의 계획용량을 산정하기 위한 계획모형들의 특성을 비교 분석하였다.

(2) 도시화 인자를 고려한 새로운 유수지 계획모형을 제시하였으며 비교적 안정된 결과치의 범위에 들고 있었다.

(3) 계획모형들을 이용하여 신정 제1, 면목 및 한남 유수지유역에서의 도시화에 따른 유수지용량을 계산하고 그 결과치를 비교하였다. 전반적으로 Mori모형과 합리식

모형이 과대한 경향을 보여 주고 있으며, Abt와 Grigg 모형 및 Kadoya 모형은 과소한 결과치를 보여 주었다. 기타 모형들은 비교적 안정된 범위의 값을 제시해 주고 있다.

(4) 계획모형들을 설계모형의 개념으로 활용하는 문제에 대하여 검토하였으며, 본 모형들에 의하여 간편하게 예비설계를 위한 근사치를 얻을 수 있었다.

(5) 유수지 용량의 계산 결과치들은 상호 상당한 편차를 보여 주고 있으므로, 보다 많은 유수지 자료에 근거한 보다 정확도가 높은 계획모형의 평가와 개발이 필요하다.

본 연구는 1990년 한국과학재단 목적기초연구 '도시홍수재해방지를 위한 내배수처리 시스템 분석 및 설계기법의 개발'의 제3 세부 연구과제의 연구성과 중의 일부분임을 밝히며 재단의 배려에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 서울특별시(1984, 1991), "하수도기본계획 재정비(배수펌프장편)"
2. 서울특별시(1991), "우수배제 펌프장, 수문 관리지침"
3. 전병호(1989), "도시유출분석 및 모형화 연구", 한국건설기술연구원
4. 한국수문학회(1988), "'87 수해백서"
5. 角屋 睦, 永井 明博(1985), "低平地流域における都市化と内水災害", 自然災害 特別研究成果 No. A 60-5, pp. 47-57
6. 日本河川協會(1987), "流域貯留施設等 技術指針"
7. 熊谷純一郎(1986), "雨水貯留施設の計劃と設計", 鹿島出版會

8. Abt, S. R. and Grigg N. S. (1978), "An Approximate Method for Sizing Detention Reservoirs", *Water Resources Bulletin*, vol. 14(4), pp. 956-965
9. Baker, W. R. (1979), "Stormwater Detention Basin Design for Small Drainage Areas", *Public Works*, vol. 108(3), pp. 75-79
10. Boyd, M. J. (1987), "Preliminary Design Equation for Multiple Detention Storage", *Fourth International Conference on Urban Storm Drainage*, IAHR, Lausanne, pp. 373-374
11. Burton, K. R. (1980), "Stormwater Detention Basin Sizing", *Journal of Hydraulics Division, ASCE.*, vol. 106, no. HY3, pp. 437-439
12. Donahue, J. R., McCuen R. H. and Bondelid T. R. (1981), "Comparison of Detention Basin Planning and Design Models", *Journal of Water Resource Planning and Management Division, ASCE.*, vol. 107, no. WR2, pp. 385-400
13. McCuen, R. H. (1988), "Hydrologic Analysis and Design", Prentice Hall
14. SCS(1986), "Urban Hydrology for Small Watersheds", Tech. Release 55, Washington, D. C.
15. Sheaffer, J. R. (1982), "Urban Storm Drainage Management", Marcel Dekker Inc.
16. Wycoff, R. L. and Singh V. P. (1976), "Preliminary Hydrologic Design of Small Flood Detention Reservoirs", *Water Resources Bulletin*, Vol. 12 (2), pp. 337-349

—1991년 10월 4일 접수—