

소규모 유역에서 자연방류형 단일저류지의 임계지속기간 분석

The Analysis of Critical Duration of uncontrolled single detention facility in Small Catchment

박종영* / 신창동** / 이정식***

Park, Jong Young / Shin, Chang Dong / Lee, Jung Sik

Abstract

The objective of this study is to evaluate the critical duration between detention facility and flood control facility of small size catchment. 4 small size catchments are applied for hydrological analysis and rainfall excess is computed by using the NRCS Runoff Curve Number method. The critical duration of detention facility and flood control facility is evaluated using the concept of allowable release rate. The conclusions studied in this study are as follows; (1) The type of temporal pattern of design rainfall which causes maximum storage ratio has resulted in Huff's 2 quartile in case of the use of the concept of allowable release rate. (2) Based on (1) of conclusion, the critical durations of flood control facility are similar to those of detention facility, which is used for uncontrolled single detention pond.

key words : small catchment, uncontrolled detention facility, critical duration, temporal pattern of design rainfall

요 지

본 연구의 목적은 소규모 유역에서 홍수 저류시설물과 홍수 조절시설물 사이의 임계지속기간을 평가하는 데 있다. 4개 소규모 유역을 통하여 수문분석을 실시하였으며, 유효우량은 NRCS 유효우량 산정방법으로 산정하였다. 홍수 저류시설물과 홍수 조절시설물의 임계지속기간은 허용방류량 고정개념을 이용하여 평가하였다. 허용방류량 고정개념을 이용한 경우 최대 저류비를 발생시키는 시간분포는 Huff 2분위 시간분포로 나타났다. 자연방류형 단일저류지에서 홍수 조절시설물의 임계지속기간은 홍수 저류시설물의 임계지속기간과 유사한 것으로 나타났다.

핵심용어 : 소규모 유역, 자연방류형 저류지, 임계지속기간, 설계강우의 시간분포

1. 서 론

우수를 저류시키는 시설물은 지체방식 저류시설물과 저류방식 저류시설물로 구분되나 참고문헌이나 통상적 관례상 용어의 해석과 뜻이 일관되지 못한 채 사용되어 왔다. Mays와 Tung (1992)은 지체방식과 저류방식 저류시설물을 다음과 같이 정의하고 있다. 지체방

식 저류시설물은 단시간 동안 유출량을 저류시킨 후에 자연형 방류구를 통하여 일반 수문 순환시스템으로 방류시키는 홍수의 일시적 저류 시설물을 의미하는 것으로 고속도로나 도로 위의 단순 시설물에서 복잡한 제어 장치를 가지고 있는 저수지 시설물까지 포함될 수 있다. 저류방식 저류시설물은 일반적 유출구나 특별히 조정되는 유출구를 지니지 않고 유입량의 전부 혹은

* 정회원 · (주)방재안전기술원 차장 (e-mail : hydroen@dpsi.or.kr)

** 금오공과대학교 대학원 토목공학과 박사과정

*** 정회원 · 금오공과대학교 토목환경공학부 교수

일부를 장기간 동안 저류시키는 시설물로서 침투조정지나 영구적으로 물을 저장하는 못은 저류방식 저류시설물의 가장 일반적인 형태이다.

국내의 경우 재해영향평가의 시행과 더불어 개발사업에 의해 증가된 홍수량을 개발사업 이전상태로 사업지구내에서 전량 처리할 수 있도록 저류지 등을 도입토록 하고 있으며, 이러한 저류지는 지체방식 시설물로 구분될 수 있다. 이러한 지체방식 저류시설물의 임계지속기간은 저류용량이 최대값을 보이는 강우지속기간이나 이종태 등(1993)과 이재준 등(1993)의 연구에서 제시된 저류비가 최대값을 보이는 강우지속기간을 임계지속기간으로 산정하게 된다. 그러나 저류시설물에 대하여 저류용량이나 저류비의 개념을 이용한 임계지속기간의 결정은 저류지 규모, 저류지 수면적 및 수심, 방류구의 제원 및 허용방류량, 하류부의 외수위 조건 등에 따라 변화하게 되므로 임계지속기간을 결정하는데 상당한 어려움이 있어, 저류지에서 임계지속기간을 결정하는 명확한 기준 또한 마련되지 못하고 있다. 또한, 국내 실무진에서도 저류지를 위한 임계지속기간의 결정에 있어 개발 단계별, 유출량 산정방법별, 설계강우의 시간분포별로 각기 다른 결과를 야기시키는 임계지속기간의 결정에 일관성 있는 결과를 도출하지 못해 치수구조물에 적용되고 있는 지속기간에 따른 최대 침투유량 발생시간을 저류지의 임계지속기간으로 적용하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 인접하는 유역과 어떠한 동적인 상호작용 없이 유출이 독립적으로 결정되는 자연방류형 단일저류지를 대상으로 기존의 연구에서 임계지속기간 결정에 빈번히 이용되었던 최대 침투유량 발생시간, 최대 저류용량 발생시간, 최대 저류비 발생시간을 기준으로 한 임계지속기간을 산정하여 분석함으로써 자연방류형 단일저류지의 임계지속기간의 결정에 있어 보다 합리적인 성과를 도출하고자 한다.

2. 대상유역

국내에서 재해영향평가 대상유역의 면적은 30만㎡ 이상으로 정의되는 비교적 소규모 유역이며, 재해영향평가 대상유역에서 개발유역의 면적은 다시 세분화된 소규모유역으로 구분되어 저류지가 설계됨으로 본 연구에서는 자연방류형 단일저류지의 임계지속기간 분석을 위하여 대상유역을 소규모 유역으로 한정하여 적용하였다.

소규모 유역의 명확한 정의가 주어지지 않으나 Ponce(1989)는 소규모 유역을 수 ha에서 2.5km²로 정의한 바 있다. 또한 소규모 유역의 상한계를 SCS (1975)

에서는 12.5km², ARR(1987)은 25km², 그리고 Raudikivi (1979)는 소규모 유역의 상한계를 250km²로 제시한 바 있다.

본 연구에서는 소규모 유역의 상한계를 25km²로 택하였으며, 수문자료가 확보된 국내 소규모 유역이 적은 관계로 형상계수에 따라 세가지 형태의 가상 소유역과 국내 소규모 시험유역인 설마천유역의 전적비 지점을 자연방류형 단일저류지의 임계지속기간 결정을 위한 대상유역으로 이용하였다.

가상 소유역은 유역면적이 10km²인 세가지 형상의 유역으로서 단위소유역의 배치를 조정하여 형상계수에 따라 세장형(SF=0.204), 중간형(SF=0.567), 집중형(SF=0.782) 등의 서로 다른 유역형태를 구성하기 위해 10개의 단위소유역을 조합하였다.

강우-유출해석을 실시하기 위해 필요한 가상 소유역은 그림 1과 같은 형상을 나타내며, 유역특성(경사, 토지이용도 등)에 대해서는 가정하여 사용하였다. 소규모 유역에 대한 유역특성은 표 1과 같다.

3. 설계강우의 시간분포

설계강우의 시간분포는 수문학적 응답에서 주된 역할을 하는 인자로 대상유역에서 적정 시간분포를 선택하므로써 침투유량, 침투시간, 유출용적 등을 정확히 산정할 수 있다. 국내에서 검토된 바 있는 시간분포법으로는 Mononobe의 시간분포법, Yen과 Chow의 시간분포법, Huff의 시간분포법, Keifer와 Chu의 시간분포법 등이 있으나 본 연구에서는 국내 실무에서 널리 사용하고 있는 Yen과 Chow의 시간분포법과 Huff의 시간분포법을 이용하였으며, 각 방법에 대해 기술하면 다음과 같다.

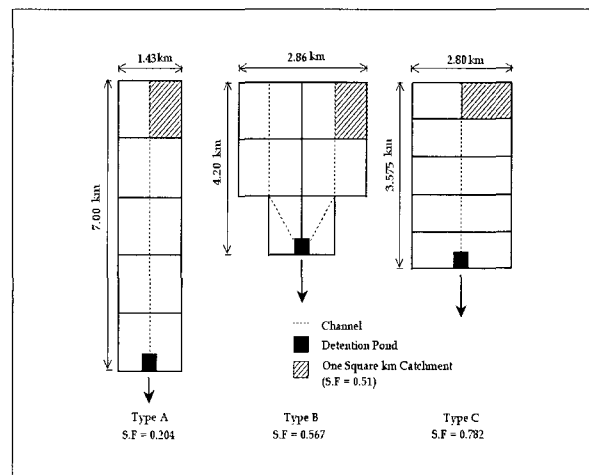


그림 1. 가상 소유역의 형상

표 1. 소규모 유역의 유역특성

구 분	유역명 (Type)	유역면적 (km ²)	유로연장 (km)	형상계수 SF	경사 S ₀ (%)	유출곡선지수 (AMC II)	도달시간 (min)
가 상 소유역	세장형 (Type A)	10.0	7.00	0.204	30.0	80	71.3
	중간형 (Type B)	10.0	4.20	0.567	30.0	80	48.9
	집중형 (Type C)	10.0	3.58	0.782	30.0	80	41.7
설마천	전적비	8.5	5.80	0.252	36.0	83	50.9

3.1 Yen과 Chow의 시간분포

Yen과 Chow (1980)는 모멘트를 이용한 통계학적 분석방법으로 무강우가 없는 연속호우의 시간분포를 삼각형과 사다리꼴 우량주상도로 단순화하였다. 본 연구에서는 Yen과 Chow의 삼각형 우량주상도를 이용하였으며 첨두강우강도는 다음과 같다.

$$i_p = \frac{2P}{t_D} \quad (1)$$

여기서 i_p 는 강우강도(mm/hr), P 는 총 강우량(mm), t_D 는 강우지속기간(hr)이다.

Yen과 Chow의 시간분포에서는 첨두강우강도의 위치를 호우진행계수 a° 로 정의하였으며, 첨두강우의 위치는 평균적으로 약 $0.375 t_D$ 인 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 Yen과 Chow의 시간분포법의 적용을 위하여 이정식 등(2001)이 검토한 바와 같이 무차원 호우진행계수 a° 값을 강우지속기간의 중앙에서 25%씩 가감한 위치에서 첨두강우 위치를 발생시켰으며, 각각 전방집중형, 중앙집중형, 후방집중형이라고 하였다.

3.2 Huff의 시간분포

Huff (1967)는 미국 Illinois주의 강우기록을 통계학적으로 분석하여 강우의 시간분포를 나타내는 무차원 시간분포곡선을 제시하였으며, 강우의 누가곡선을 이용하여 전 지속기간을 4등분 하였을 때 각 분류된 구간의 우량의 최대부위가 어느 부분에서 나타나는지 조사하였다. 즉, 강우지속기간을 4등분 하였을 때 강우초기에 해당하는 처음 1/4구간을 제1분위호우, 다음 2/4구간에 있으면 제2분위호우, 다음 3/4구간에 있으면 제3분위호우, 그리고 마지막 구간일 경우는 제4분위호우로 하였다.

Huff의 시간분포는 첨두우량이 발생하는 위치를 지속시간을 축으로 4개 분위로 나누고, 각 분위마다 해당

지점의 관측자료로부터 회귀분석을 통하여 분포시키는 방법이기 때문에 해당 지점의 강우특성을 고려할 수 있다는 장점이 있다. 이 시간분포는 개념상 비교적 단순하면서도 물리적으로도 의미를 가지고 있으며, 대량의 강우자료에 대해서도 짧은 시간 내에 계산이 가능하기 때문에 많이 사용되고 있다.

4. 자연방류형 단일저류지

4.1 자연방류형 단일 저류지 형상

본 연구에서 설정한 자연방류형 단일저류지는 방류관과 비상여수로가 설치되어 있는 그림 2와 같은 형상으로 가정하였다. 그림 2와 같은 자연방류형 단일저류지의 경우 출구를 통하여 방류되는 유출량은 저류지 수심의 함수로 나타낼 수 있다. 오리피스 공식을 사용하면 임의의 수심 h_0 에서 방류관을 통하여 방류되는 유량은 식 (2)와 같다.

$$Q_{out} = C_0 A \sqrt{2gh_0} \quad (2)$$

여기서 C_0 는 오리피스 유량계수, A 는 방류구의 단면적, g 는 중력가속도, h_0 는 방류구 중심으로부터 저류조의 자유수심까지의 길이이다.

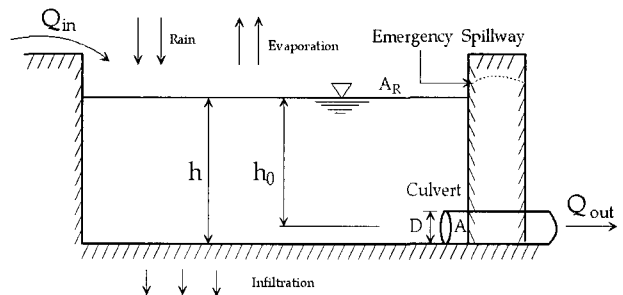


그림 2. 자연방류형 단일 저류지의 개념도

식 (2)에서의 유량계수값은 態谷純一郎과 原田幸雄

(1993)이 제시한 바와 같이 0.6으로 가정하였으며, 비 상여수로의 유량산정은 식 (3)을 이용하였다.

$$Q = 1.8BH^{3/2} \quad (3)$$

여기서 B 는 여수로 폭(m), H 는 월류수심(m)이다.

4.2 자연방류형 단일저류지 용량 결정

유역의 개발에 따른 저류지의 적정규모는 개발유역 으로부터 증가된 침투유량을 개발이전 이하로 발생시 키는 것이 가장 합리적인 방법이 될 수 있으나 개발정 도에 따라 저류지의 규모가 달라지며, 유역의 지형학 적 인자와 저류지 수면적 확보문제 등과 복합적인 제 약조건을 지니게 되어 저류지 규모의 일반적인 기준을 제시하는데 어려움이 따르게 된다.

그러므로, 본 연구에서는 강우의 지속기간별로 최대 침투유량을 발생시키는 지속기간을 일차적으로 결정한 후, 이 지속기간에서의 침투유량과 유출용량을 결정하 고 총유출용량에 대한 최대 10, 20, 30%의 경우별로 유출용량이 개발로 인해 증가할 것으로 가정하여 자연 방류형 단일저류지의 규모를 결정하는데 이용하였다.

4.2.1 강우의 지속기간별 최대 침투유량의 결정

개발이 시행중인 유역에서는 해당유역의 개발정도

에 따라 개발전의 유출규모를 발생시키는 규모로 저류 지의 규모를 선정하게 된다. 하지만 본 연구에서는 저 류지의 규모를 결정하고자 강우의 지속기간에 따라 최 대유량을 나타내는 지속기간의 수문곡선을 일차적으로 결정하고 이 수문곡선 용량의 10, 20, 30%를 취하여 저류지의 용량으로 가정하였다. 이 때 시간분포는 박 종영 등(2004)에 의해서 제시된 중규모 하천유역에서 최대 침투유량을 발생시키는 분포로 결정된 Huff 4분 위를 이용하였다.

도달시간은 NRCS 지체공식을 이용하였으며 식 (4) 와 같다.

$$t_c = \frac{1.67L^{0.8}[(1000/CN) - 9]^{0.7}}{1900S_0^{0.5}} \quad (4)$$

여기서 t_c 는 도달시간(hr), L 은 최원점에서의 주 유 로연장(ft), CN 은 유출곡선지수로서 산정되는 유역가 능저류량의 단위는 inch, S_0 는 유역평균경사(%)이다.

표 2의 NRCS 합성단위도와 원주지점의 50년 확률 강우강도식(건설교통부, 2000)를 이용하여 소규모 유역 에서 지속기간별로 최대 침투유량을 보이는 강우의 지 속기간을 결정하고 최대 침투유량과 유출용량을 각각 표 3과 같이 산정하였다.

표 2. 소규모 유역의 NRCS 합성단위도 특성치

구 분		특 성	침투유량 (m ³ /s)	침투시간 (min)
가 상 소유역		세장형	1.750	71.3
		중간형	2.552	48.9
		집중형	2.993	41.7
설마천		전적비	2.086	50.9

표 3. 소규모 유역에서의 최대 침투유량과 유출용량 결정

구 분		특 성	최대 침투유량 발생시간 (min)	최대 침투유량 (m ³ /s)	최대 침투유량시 유출용량 (m ³)
가 상 소유역		세장형	390	122.6	1,290,840
		중간형	300	142.5	1,077,060
		집중형	300	149.6	1,077,120
설마천		전적비	280	172.6	1,270,440

4.2.2 저류지 규모 결정

실질적으로 저류지의 규모는 대상유역마다 개발의 정도 등과 관련하여 달리 결정되어야 하겠으나 동일기준을 통하여 저류지 임계지속기간을 검토하고자 저류용량이 가장 크게 나타난 세장형의 최대 침투유량을 통하여 저류지 용량으로 결정하고 중간형, 집중형의 가상소유역과 설마천유역에 동일 조건으로 적용하였다. 이 때 저류지 규모에 따른 임계지속기간의 변화를 검토하고자 최대 침투유량의 10, 20, 30%를 저류지 용량으로 결정하였으며, 허용방류량의 조건은 2가지 경우를 대상으로 검토하였다.

개발에 따른 저류지의 허용방류량, 즉 방류관의 규모는 개발이전의 침투유량을 배제시킬 수 있는 시설규모로 설계되며, 허용방류량의 무한정 증가는 저류지 하류부의 통수능력을 초과하는 현상을 초래하거나 하류부의 홍수위험도를 증가시키는 현상으로 나타나게 된다. 그리고 저류지를 통과하는 방류량의 유속이 하류부 수위상승의 영향으로 방류부 유속감소현상이 발생하므로 사실상 실제 저류지 규모가 더욱 크게 되는 현상을 발생시키는 문제점까지 동시에 지니게 된다.

그리고 허용방류량과 저류지의 규모는 서로 반비례적인 관계에 있는 바 저류지의 규모가 결정된 상황에서 허용방류량의 규모만을 무한정 증가시키는 것은 합리적이지 못한 것으로 판단되어, 본 연구에서의 하류부의 방류조건은 국내 소규모 유역인 설마천유역의 전적비지점에서의 통수능력이하로 방류관의 규모를 설정하였으며, 이를 바탕으로 방류관의 규모차이에 따른 임계지속기간을 검토하였다.

상기에 언급한 내용을 바탕으로 결정된 자연방류형 단일 저류지와 방류시설물의 규모는 표 4와 같다.

5. 자연방류형 단일저류지의 임계지속기간 산정

5.1 기존의 개념들을 통한 임계지속기간 산정

저류지 규모와 방류시설물의 제원을 바탕으로 하여 자연방류형 단일저류지의 임계지속기간을 산정하였다. 자연방류형 단일저류지에서의 임계지속기간을 산정하기 위하여 최대 침투유량 기준(Case I), 최대 저류비 기준(Case II), 최대 저류용량 기준(Case III)의 선정기준을 통해 임계지속기간을 결정하였다. 저류비는 식 (5)와 같이 정의된다.

$$S_r = \frac{V_r}{V_t} \quad (5)$$

여기서 S_r 은 저류비, V_r 은 저류지에 저류되는 용량(m^3), V_t 는 계획강우로 인해 유출되는 총유출용량(m^3)이다.

저류지 규모를 기준으로 시간분포에 따른 지속기간별 침투유량, 저류비, 저류용량을 산정하였다. 그림 3~5는 설마천 전적비지점의 20% 용량, $\phi 2000 \times 3$ 련 방류관에 대한 결과를 나타내고 있으며, 표 5는 저류지 규모가 10% 용량, $\phi 2000 \times 2$ 련일 경우의 방류시설물 제원별로 기존의 임계지속기간 산정 기준으로 사용되던 세가지 기준을 대상으로 임계지속기간을 결정한 결과이다.

표 5와 동일한 방법으로 저류지 규모별 방류시설물별로 임계지속기간을 결정하였다. 지속기간별 최대 침투유량을 기준으로 한 임계지속기간을 살펴보면, 세장형의 경우 260~390분, 중간형의 경우 190~320분, 집중형의 경우 170~300분, 그리고 설마천유역 전적비지점의 경우 170~280분으로 임계지속기간이 발생하였으며, 설마천유역, 집중형, 중간형, 세장형 가상 소유역순으로 임계지속기간이 늦게 발생하는 것으로 나타났다. 그리고 최대 침투유량을 발생시키는 시간분포는 Huff 4분위로 나타났다.

지속기간별 최대 저류비를 기준으로 한 임계지속기간을 살펴보면, 모든 유역에서 저류지 규모별, 방류시설물 제원별로 강우의 지속기간의 증가에 따라 저류비는 지속적으로 감소하는 경향을 보여 최대치의 저류비를 결정할 수 없는 것으로 나타났다.

기존의 저류비의 개념은 우수지와 배수펌프장 설계시의 설계강우의 임계지속기간을 결정하기 위한 방법으로 이용된 것으로서 우수지와 배수펌프장을 조합한 내배수 시스템 설계시에 있어서 배수펌프의 토출능력이 고정되었을 때 설계강우에 의한 총유출용량은 지속기간이 길어짐에 따라 증가하게 되고, 우수지에 저류되는 최대 저류량은 유역의 특성 및 배수관망의 특성에 따라 불규칙한 혼합현상을 보이게 되는 문제점을 설명하고자 일정한 배수펌프 토출능력을 가진 상황에서 총유출용량에 대한 저류용량의 비로 임계지속기간을 선정하는 방법이었다.

그러나 허용방류량이 결정되어 있어 강제배수를 실시하는 경우와 달리 자연방류형 구조물을 통한 방류시에는 저류지 추적을 이용할 경우에 허용방류량의 조건, 즉 유출수문곡선의 침투유량 크기가 강우지속기간별로 변동하게 되어 저류비의 개념으로 임계지속기간을 결정하는 데는 한계점이 있다고 여겨진다. 따라서 펌프를 이용하여 강제배수를 실시하는 경우와는 달리 자연방류형 방류구조를 채택할 경우에 이러한 저류비의 개념

표 4. 저류지 규모와 방류시설물 제원 결정

구 분	저류지용량 (m ³)	저류지면적 (B×H m)	수심 (m)	방류관 (mm×련)	여수로	
					높이 (m)	길이 (m)
10%	129,084	136×136	7	φ2000×2 φ2000×3	2.5	8
20%	258,168	195×195	7	φ2000×2 φ2000×3	2.5	8
30%	387,252	236×236	7	φ2000×2 φ2000×3	2.8	8

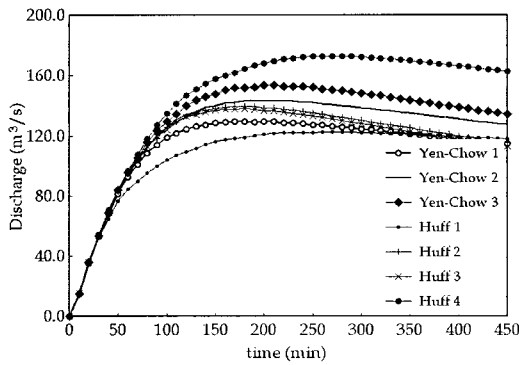


그림 3. 지속기간별 첨두유량(설마천)

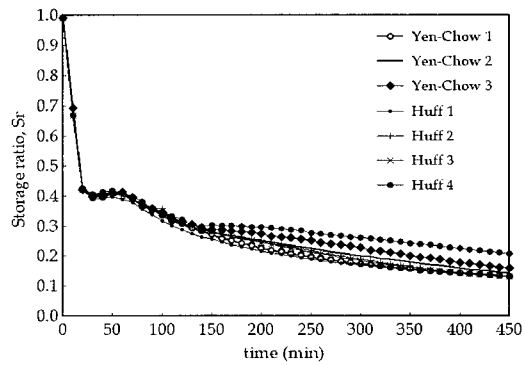


그림 4. 지속기간별 저류비(설마천)

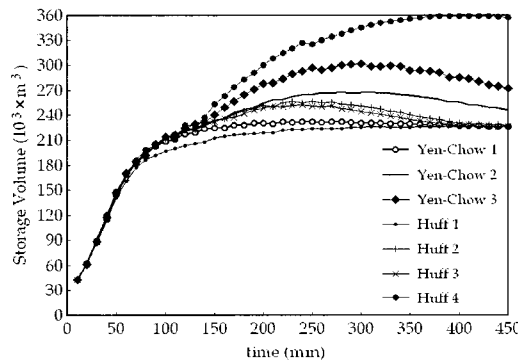


그림 5. 지속기간별 저류용량(설마천)

을 이용하여 임계지속기간을 결정하는 것은 사실상 불가능한 것으로 판단된다.

저류지 규모별, 방류시설물 제원별로 최대 저류용량을 기준으로 한 경우의 임계지속기간을 살펴보면, 대체적으로 설마천유역, 중간형, 집중형, 세장형 가상 소유역 순으로 임계지속기간이 늦게 발생하는 것으로 나타나 지속기간별 최대 첨두유량을 기준으로 한 경우보다 대체적으로 후반부에 임계지속기간이 나타났다.

최대 저류용량을 발생시키는 시간분포는 최대 첨두유량을 발생시키는 시간분포인 Huff 4분위로 나타났으나 유역별로 저류지 규모를 초과하는 저류용량이 발생함으로 인해 최대 저류용량을 기준으로 임계지속기간을 결정하는 것은 저류지 규모의 제약조건을 가져오게

되므로 자연방류형 저류지에서 설계강우의 지속기간으로는 적합하지 않은 것으로 판단된다.

상기의 결과를 종합해 보면, 자연방류형 저류지에서 최대 저류비를 기준으로 한 경우에는 강우지속기간에 따라 저류비는 지속적으로 감소하고, 최대 저류용량을 기준으로 한 경우에는 저류지 규모와 같은 제약조건을 가져오게 되므로 두 기준을 통하여 임계지속기간을 결정하는 것은 적합하지 않은 것으로 판단되었다. 따라서 최대 첨두유량 발생시간을 기준으로 한 임계지속기간과의 관계를 설명할 수 없으므로 저류지용량 결정에 이용되는 방식인 허용방류량 고정개념을 이용하여 자연방류형 저류지에서의 최대 첨두유량 기준의 임계지속기간과의 관계를 검토하고자 한다.

표 5. 소규모 유역에서의 기준별 임계지속기간(10%, $\phi 2000 \times 2$ 런)

구분	시간분포	Case I		Case II		Case III		
		최대 첨두유량 (m^3/s)	임계 지속기간 (min)	최대 저류비	임계 지속기간 (min)	최대 저류용량 ($10^3 m^3$)	임계 지속기간 (min)	
가상 소유역	세 장 형	Yen과 Chow 전방위	94.5	280	0.99	10	99.30	280
		Yen과 Chow 중방위	105.6	310	0.99	10	116.60	330
		Yen과 Chow 후방위	114.3	320	0.99	10	145.09	350
		Huff 1분위	89.7	380	0.71	10	98.28	400
		Huff 2분위	102.0	260	0.71	10	106.01	290
		Huff 3분위	101.2	260	0.71	10	104.03	280
		Huff 4분위	122.6	390	0.71	10	166.80	460
	중 간 형	Yen과 Chow 전방위	105.3	220	0.75	10	111.52	260
		Yen과 Chow 중방위	118.7	230	0.71	10	157.70	310
		Yen과 Chow 후방위	130.0	240	0.75	10	189.19	310
		Huff 1분위	99.8	320	0.71	10	100.75	320
		Huff 2분위	114.5	200	0.71	10	138.15	240
		Huff 3분위	113.6	190	0.71	10	134.30	250
		Huff 4분위	142.5	300	0.71	10	214.87	400
	집 중 형	Yen과 Chow 전방위	109.6	190	0.71	10	113.38	250
		Yen과 Chow 중방위	124.1	210	0.71	10	159.32	310
		Yen과 Chow 후방위	136.6	220	0.71	10	195.20	310
		Huff 1분위	103.7	260	0.71	10	101.81	320
		Huff 2분위	119.7	180	0.71	10	141.20	250
		Huff 3분위	118.7	170	0.71	10	140.12	260
		Huff 4분위	149.6	300	0.71	10	221.87	390
설 마 천	전 적 비	Yen과 Chow 전방위	129.6	180	0.39	10	208.57	270
		Yen과 Chow 중방위	143.3	210	0.38	10	269.18	310
		Yen과 Chow 후방위	153.4	210	0.39	10	297.73	310
		Huff 1분위	122.6	270	0.38	10	175.05	340
		Huff 2분위	139.4	170	0.38	10	248.75	270
		Huff 3분위	138.0	180	0.38	10	239.64	270
		Huff 4분위	172.6	280	0.38	10	360.98	460

5.2 허용방류량 고정개념을 통한 임계지속기간 산정

전절에서 세가지 임계지속기간 개념을 적용한 결과 최대 첨두유량 기준을 제외한 최대 저류비, 최대 유출 용량을 통한 임계지속기간은 산정할 수 없는 결과로 나타나 자연방류형 저류지에서의 최대 첨두유량 기준의 임계지속기간과 나머지 기준의 임계지속기간의 관계를 설명할 수 없었다.

따라서 Hall 등(1993)이 제안한 저류지 용량의 결정에 이용되는 방식으로 개발이후의 수문곡선의 시점에서부터 직선을 이어서 수문곡선의 하강부와의 교점이 개발이전의 수문곡선의 첨두유량과 일치하는 점이 해당 수문사상에 대한 임계지속기간이 되는 방식으로 하는 허용방류량 고정조건을 통하여 임계지속기간을 결정하고자 한다. 그림 6은 허용방류량 고정조건으로 임계지속기간을 검토하는 내용을 그림으로 설명하고 있다.

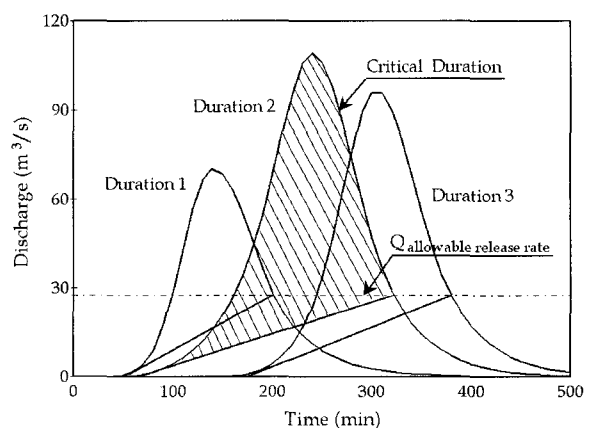


그림 6. 저류지에서의 임계지속기간 결정

이 방법은 실질적으로 유입수문곡선을 제외하면 수정합리식을 이용하여 저류지의 용량을 결정하고자 하는 경우와 개념적으로는 유사하며 하류부의 조건 등을

감안한 허용방류량 혹은 펌프용량이 결정되면 강우지속시간에 따른 저류지 용량을 산정할 수 있으므로 수심-유출량-저류량 관계없이도 임계지속시간을 결정할 수 있다는 장점이 있다.

Hall 등(1993)이 제안한 방법을 소규모 유역에 적용하였고, 허용방류량의 조건에 따른 저류비와 저류량의 검토를 위하여 각각 15m³/s, 25m³/s, 35m³/s의 세 경우를 대상으로 임계지속시간을 검토하였다. 그림 7~8은 각각 허용방류량 15m³/s 조건에서의 설마천 전적비지점의 지속시간별 저류비와 저류용량을 나타내고 있다.

허용방류량 15m³/s의 조건에 따른 설마천 전적비지점의 저류비는 그림 7에 제시된 바와 같으며, 소규모 유역에 대한 시간분포별 최대 저류비는 표 6에 제시된 바와 같다. 그림 7과 표 6을 살펴보면, 강우의 지속시간의 증가에 따른 저류비의 양상은 전체적으로 지속시간이 짧은 경우에 급격한 저류비의 증가를 보인 이후 점차적으로 일정한 저류비의 변화를 보이고 있다.

최대 저류비에 대해 살펴보면, 세장형 유역의 경우 허용방류량에 따라 0.828~0.861, 0.720~0.781, 0.629~0.705, 중간형 유역의 경우 허용방류량에 따라 0.843~0.874, 0.756~0.803, 0.671~0.735, 집중형 유역의 경우 허용방류량에 따라 0.852~0.879, 0.762~0.808, 0.677~0.740, 그리고 설마천 전적비지점의 경우 허용방류량에 따라 0.872~0.893, 0.800~0.831, 0.733~0.771로 나타나 허용방류량의 조건에 따라 최대 저류비는 감소하는 경향을 나타내었으며, 최대 저류비는 대체적으로 Huff 2분위와 Yen과 Chow 중방위에서 나타났다. 또한, 최대 침투유량을 나타내는 시간분포로 결정되었던 Huff 4분위는 허용방류량 고정 개념을 이용한 최대 저류비를 기준으로 한 임계지속시간 결정시에는 오히려 최대 저류비가 가장 작게 나타났다.

최대 저류비를 기준으로 한 임계지속시간을 살펴보면, 세장형의 경우 허용방류량에 따라 250~430분, 280~440분, 중간형의 경우 허용방류량에 따라 220~360분, 210~440분, 210~290분, 집중형의 경우 허용방류량에 따라 230~300분, 250~450분, 250~300분 그리고 설마천유역의 경우 허용방류량에 따라 200~370분, 170~270분, 150~340분으로 나타나 허용방류량의 조건에 따른 임계지속시간의 일정한 변화는 나타나지 않았다.

그러나 허용방류량 고정개념을 사용한 경우 비록 일정한 변화를 보이지는 않았지만 최대 저류비를 통한 임계지속시간을 산정할 수 있는 것으로 나타났다.

허용방류량 15m³/s의 조건에 따른 지속시간별 저류용량은 그림 8에 제시된 바와 같으며, 소규모 유역에 대한 시간분포별 최대 저류용량은 표 7에 제시된 바와 같다. 그림 8과 표 7을 살펴보면, 강우의 지속시간의 증가에 따른 저류용량의 양상은 전체적으로 지속시간의 증가에 따라 점차적으로 증가하고 있어 적절한 임계지속시간을 검토할 수 없었다.

최대 저류용량은 대체적으로 Huff 2분위와 Yen과 Chow 중방위에서 나타났으며, 최대 저류비를 기준으로 한 경우와 유사하게 Huff 4분위는 최대 저류용량이 가장 작게 나타났다.

최대 저류용량을 기준으로 한 임계지속시간을 살펴보면, 모든 유역에서 지속시간의 증가에 따라 최대 저류용량은 증가하고 있어 적절한 임계지속시간을 검토할 수 없었다.

최대 저류용량을 기준으로 한 임계지속시간을 살펴보면, 세장형의 경우 허용방류량에 따라 250~430분, 280~440분, 중간형의 경우 허용방류량에 따라 220~360분, 210~440분, 210~290분, 집중형의 경우 허용방류량에 따라 230~300분, 250~450분, 250~300분 그리고 설마천유역의 경우 허용방류량에 따라 200~370분, 170~270분, 150~340분으로 나타나 허용방류량의 조건에 따른 임계지속시간의 일정한 변화는 나타나지 않았다.

5.3 자연방류형 단일저류지의 적정 강우시간분포

최대 침투유량을 발생시키는 시간분포는 통수능력의 관점에서 최악의 유출상황을 발생시키는 시간분포가 되며, 저류능력의 관점에서는 저류용량이나 저류비가 최대가 되는 시간분포형이 될 것이다. 그러나 자연방류형 단일 저류지에서는 최대 저류비나 최대 저류용량을 통하여 적정 임계지속시간을 검토할 수 없는

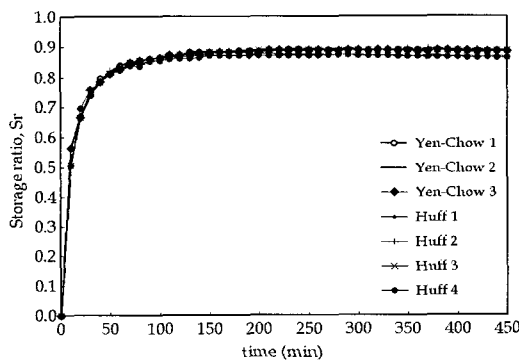


그림 7. 설마천 전적비지점 (저류비, $Q_n=15\text{ m}^3/\text{s}$)

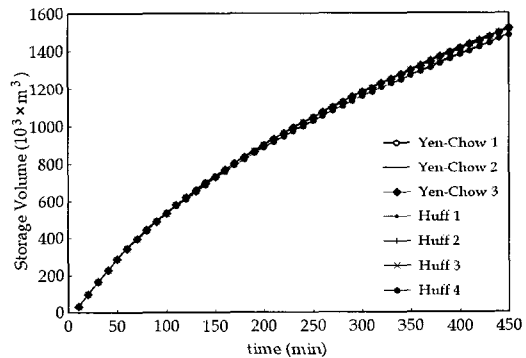


그림 8. 설마천 전적비지점 (저류용량, $Q_n=15\text{ m}^3/\text{s}$)

표 6. 소규모 유역에서의 임계지속시간(최대 저류비 기준)

구 분	시간분포	허용방류량 $Q_a=15\text{m}^3/\text{s}$		허용방류량 $Q_a=25\text{m}^3/\text{s}$		허용방류량 $Q_a=35\text{m}^3/\text{s}$			
		최대 저류비	임계 지속시간 (min)	최대 저류비	임계 지속시간 (min)	최대 저류비	임계 지속시간 (min)		
가 상 소 유 역	세 장 형	Yen과 Chow 전방위	0.859	400	0.778	320	0.704	330	
		Yen과 Chow 중방위	0.860	380	0.781	300	0.704	440	
		Yen과 Chow 후방위	0.858	430	0.775	330	0.702	330	
		Huff 1분위	0.838	250	0.751	280	0.695	290	
		Huff 2분위	0.861	400	0.780	400	0.705	330	
		Huff 3분위	0.857	330	0.775	320	0.697	370	
		Huff 4분위	0.828	290	0.720	290	0.629	280	
	중 간 형	Yen과 Chow 전방위	0.871	250	0.796	270	0.732	250	
		Yen과 Chow 중방위	0.874	330	0.803	240	0.735	240	
		Yen과 Chow 후방위	0.873	300	0.797	260	0.726	260	
		Huff 1분위	0.853	240	0.802	440	0.722	280	
		Huff 2분위	0.874	360	0.800	300	0.735	250	
		Huff 3분위	0.871	340	0.796	290	0.723	290	
		Huff 4분위	0.843	220	0.756	210	0.671	210	
	집 중 형	Yen과 Chow 전방위	0.875	260	0.803	270	0.740	260	
		Yen과 Chow 중방위	0.878	230	0.808	280	0.739	280	
		Yen과 Chow 후방위	0.877	270	0.806	260	0.739	260	
		Huff 1분위	0.857	260	0.811	450	0.731	300	
		Huff 2분위	0.879	260	0.808	280	0.740	260	
		Huff 3분위	0.876	300	0.804	260	0.730	300	
		Huff 4분위	0.852	250	0.762	250	0.677	250	
	설 마 천	전 적 비	Yen과 Chow 전방위	0.891	230	0.827	220	0.771	240
			Yen과 Chow 중방위	0.890	270	0.829	270	0.771	200
			Yen과 Chow 후방위	0.889	320	0.825	260	0.764	260
Huff 1분위			0.876	200	0.803	250	0.757	340	
Huff 2분위			0.893	370	0.831	260	0.773	260	
Huff 3분위			0.889	310	0.826	250	0.767	240	
Huff 4분위			0.872	270	0.800	170	0.733	150	

것으로 판단되었다. 따라서 허용방류량 고정개념을 통하여 최대 저류비를 산정하고 이를 바탕으로 자연방류형 단일저류지에서의 적정 시간분포를 검토하고자 한다.

각 대상유역별로 결과를 분석하여 자연방류형 저류지에서의 최대 저류비를 발생시키는 시간분포를 정리한 결과는 표 8과 같으며, 전체적으로 Huff 2분위가 최대 저류비를 발생시키는 것으로 나타나고 있다. 따라서 허용방류량 고정개념을 이용한 자연방류형 단일저류지에서 최대 저류비를 발생시키는 시간분포는 Huff 2분위로 나타났다.

5.4 허용방류량 고정개념 적용시 자연방류형 저류지에서 적정 임계지속기간

첨두저류비를 발생시키는 시간분포로 결정된 Huff

2분위를 대상으로 지속기간별 최대 첨두유량을 기준으로 한 임계지속기간과의 비교를 통해 자연방류형 저류지에서의 적정 임계지속기간을 검토하고자 한다.

표 9는 첨두저류비가 발생한 임계지속기간과 최대 첨두유량이 발생한 임계지속기간의 첨두저류비 변화량을 식 (6)을 통하여 검토한 결과이다.

$$\Delta S_{jk}(\%) = \frac{(S_{jk} - S_{pr})}{S_{pr}} \times 100 \quad (6)$$

여기서 ΔS_{jk} 는 방법 k 의 첨두저류비 변화율, S_{jk} 는 방법 k 의 최대 저류비, S_{pr} 은 최대 첨두유량 발생 임계지속기간의 최대 저류비이다.

표 7. 소규모 유역에서의 임계지속기간(최대 저류용량 기준)

구 분	시간분포	허용방류량 $Q_a=15m^3/s$		허용방류량 $Q_a=25m^3/s$		허용방류량 $Q_a=35m^3/s$		
		최대 저류량 ($10^3 m^3$)	임계 지속기간 (min)	최대 저류량 ($10^3 m^3$)	임계 지속기간 (min)	최대 저류량 ($10^3 m^3$)	임계 지속기간 (min)	
		가 상 소 유 역	세 장 형	Yen과 Chow 전방위	1272.89	480	1153.48	480
Yen과 Chow 중방위	1273.00			480	1145.93	480	1031.93	480
Yen과 Chow 후방위	1269.18			480	1138.96	480	1020.90	480
Huff 1분위	1234.17			480	1096.17	480	1007.01	480
Huff 2분위	1273.40			480	1153.59	480	1031.49	480
Huff 3분위	1269.63			480	1140.03	480	1020.77	480
중 간 형	Yen과 Chow 전방위		1284.92	480	1171.00	480	1065.36	480
	Yen과 Chow 중방위		1290.33	480	1172.56	480	1064.30	480
	Yen과 Chow 후방위		1289.71	480	1170.29	480	1053.04	480
	Huff 1분위		1246.93	480	1105.63	480	1057.02	480
	Huff 2분위		1293.56	480	1177.48	480	1063.16	480
	Huff 3분위		1287.62	480	1166.43	480	1046.48	480
집 중 형	Huff 4분위	1223.69	480	1063.38	480	913.44	480	
	Yen과 Chow 전방위	1289.28	480	1178.01	480	1075.50	480	
	Yen과 Chow 중방위	1294.85	480	1179.43	480	1074.10	480	
	Yen과 Chow 후방위	1295.07	480	1177.86	480	1063.23	480	
	Huff 1분위	1251.19	480	1143.31	480	1060.14	480	
	Huff 2분위	1298.69	480	1184.59	480	1073.09	480	
설 마 천	전 적 비	Huff 3분위	1290.64	480	1167.75	480	1048.09	480
		Huff 4분위	1249.94	480	1099.63	480	952.67	480
		Yen과 Chow 전방위	1573.52	480	1453.11	480	1341.23	480
		Yen과 Chow 중방위	1576.69	480	1452.54	480	1331.31	480
		Yen과 Chow 후방위	1574.40	480	1447.16	480	1321.82	480
		Huff 1분위	1542.13	480	1395.37	480	1320.03	480
		Huff 2분위	1586.85	480	1468.21	480	1352.27	480
		Huff 3분위	1575.91	480	1445.86	480	1325.33	480
Huff 4분위	1540.96	480	1388.17	480	1238.93	480		

표 8. 저류지에서 적정 시간분포

허용방류량 \ 유역	세장형	중간형	집중형	설마천유역
$Q_a=15m^3/s$	Huff 2분위	Yen과 Chow 중방위 /Huff 2분위	Huff 2분위	Huff 2분위
$Q_a=25m^3/s$	Yen과 Chow 중방위	Huff 1분위	Huff 1분위	Huff 2분위
$Q_a=35m^3/s$	Huff 2분위	Yen과 Chow 중방위 /Huff 2분위	Yen과 Chow 전방위 /Huff 2분위	Huff 2분위

표 9를 살펴보면, 허용방류량의 증가에 따라 침투 저류비 변화율이 다소 증가하는 경향을 보이긴 하지만 모든 유역에서 침투저류비 변화율이 2%를 넘지 않고 있음을 알 수 있다.

따라서 비록 제한적인 조건이기는 하지만 허용방

류량 고정개념을 이용한 경우에 한하여 유역면적이 비교적 작은 유역에서 지속기간별 최대 침투유량의 임계지속기간과 자연방류형 단일저류지의 임계지속기간을 동일하게 간주하는 것이 큰 무리는 아닌 것으로 판단된다.

표 9. 소규모 유역의 침투저류비 변화율

(단위 : %)

유역 허용방류량	가상 소유역			설마천
	세장형	중간형	집중형	전적비
15m ³ /s	0.584	0.459	0.111	0.337
25m ³ /s	0.257	0.000	0.497	0.362
35m ³ /s	1.148	1.379	0.680	0.782

6. 결 론

본 연구에서는 소규모 유역에서 자연방류형 저류지를 대상으로 적정 임계지속기간에 대한 사항을 검토하였으며, 얻어진 결론을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 소규모 유역에서 자연방류형 단일저류지에 대한 최대 침투유량, 최대 저류비, 최대 저류용량의 세가지 기준으로 임계지속기간을 산정한 결과, 임계점을 찾을 수 없는 최대 저류비 기준과 저류지 규모의 제약조건을 가져오는 최대 저류용량 기준을 통하여 자연방류형 단일저류지의 임계지속기간을 결정하는 것은 적절하지 못한 것으로 판단되었다.
- (2) 소규모 유역에서 허용방류량 고정개념을 이용한 경우 강우의 지속기간의 증가에 따른 저류비의 양상은 전체적으로 지속기간이 짧은 경우에 급격한 저류비의 증가를 보인 이후 점차적으로 일정한 저류비의 변화를 나타내었다.
- (3) 소규모 유역에서 허용방류량 고정개념을 이용한 경우 허용방류량의 증가에 따라 최대 저류비는 감소하는 경향을 나타내었으며 최대 저류비를 통한 임계지속기간은 산정 가능한 것으로 나타났다. 그러나, 최대 저류용량을 기준으로 한 임계지속기간을 살펴보면, 모든 유역에서 지속기간의 증가에 따라 최대 저류용량은 증가하고 있어 적절한 임계지속기간을 결정할 수 없었다.
- (4) 소규모 유역에서 허용방류량 고정개념을 이용한 경우 자연방류형 단일저류지에서 최대 저류상황을 발생시키는 시간분포는 Huff 2분위로 나타났으며, 제한적인 조건이지만 지속기간별 최대 침투유량의 임계지속기간과 자연방류형 단일저류지의 임계지속기간을 동일하게 적용할 수 있음을 알 수 있었다.
- (5) 본 연구에서는 가상 소유역과 실제 소규모 유역을 통하여 자연방류형 단일저류지의 임계지속기간을 NRCS 방법에 국한하여 분석하였으나 추후

실제 대상유역에 확립된 대표단위도와 다양한 유출량 산정방법을 통한 광범위한 분석이 이루어진다면 실제 적용시에 보다 합리적일 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의해서 연구된 논문으로 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 건설교통부 (2000). 한국 확률강우량도 작성, 수자원관리기법개발연구조사 보고서, 제1권.
- 박종영, 신창동, 이정식 (2004). 중규모 하천유역에서 설계강우의 임계지속기간에 관한 연구, 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제37권, 제8호, pp. 695~706.
- 이재준, 이정식, 박종영 (2001). 계획강우량 설정을 위한 권역별 강우강도식의 유도, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제21권, 제1-B호, pp. 1~10.
- 이재준, 이정식, 전병호, 이종태 (1993). 우수관거설계를 위한 계획강우의 임계지속기간, 한국수문학회 논문집, 한국수문학회, 제26권, 제2호, pp. 49~57.
- 이종태, 윤세의, 이재준, 윤용남 (1993). 우수지설계를 위한 계획강우의 임계지속기간-서울 지역을 중심으로, 한국수문학회 논문집, 한국수문학회, 제26권, 제1호, pp. 115~124.
- 이정식, 이재준, 박종영 (2001). 수공구조물 설계를 위한 설계강우의 수문학적 특성분석, 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제34권, 제1호, pp. 49~57.
- 한국건설기술연구원 (2000). 시험유역의 운영 및 수문 특성 조사·연구-합성단위도 개발을 중심으로-, 건기연 2000-092.
- 한국건설기술연구원 (2001). 시험유역의 운영 및 수문 특성 조사·연구, 건기연 2001-083.
- ARR (1987). *Australian Rainfall and Runoff*, The Institution of Engineers, Australia.

- Hall, M. J., Hockin, D. L., and Ellis, J. B. (1993), *Design of Flood Storage Reservoirs*, CIRIA and Burrellworth-Heinemann Ltd.
- Huff, F.A. (1967). "Time distribution of rainfall in heavy storms," *Water Resources Research*, Vol.3, No.4, pp. 1007~1019.
- Mays, W. L., and Tung, Yeou-Koung (1992). *Hydrosystems engineering & management*, McGraw Hill.
- Ponce, V. M. (1989). *Engineering Hydrology Principles and Practices*, Prentice Hall.
- Raudikivi. A. J. (1979). *Hydrology*, Pergamon Press.
- Soil Conservation Service (1975). *Urban Hydrology for Small Watersheds*, Technical Release No.55, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C.
- Yen, B. C., and Chow, V. T. (1980). "Design hyetographs for small drainage structures," *Journal of the Hydraulics Division*, ASCE, Vol.106, No.HY6, pp. 1055-1076.
- 熊谷純一郎, 原田幸雄 (1986). *雨水貯留施設の計画と設計*, 鹿島出版會.

◎ 논문접수일 : 2005년 05월 11일

◎ 심사의뢰일 : 2005년 05월 13일

◎ 심사완료일 : 2005년 06월 14일