

## 유출곡선지수를 이용한 소규모 저류시설의 유출저감효과 정량화

### Quantification of Flood Reduction Effect of Small Stormwater Detention Facilities by NRCS Curve Number

유철상\* · 김경준\*\* · 박민규\*\*\* · 윤정수\*\*\*\*

Yoo, Chulsang · Kim, Kyoungjun · Park, Minkyu · Yoon, Jeongsu

#### Abstract

This study quantified the flood reduction effect of small stormwater detention facilities by the NRCS curve number. The modified rational equation was used to calculate the inflow volume into the detention facilities. The NRCS curve number in the cases w/ and w/o storage facility was calculated with respect to the rainfall characteristics(rainfall frequency, duration) and the size of storage facilities. Finally, diagrams showing the curve number reduction rate versus the size of storage facility were developed. The diagrams can be used to evaluate the flood reduction effect of storage facility reasonably and efficiently when estimating the optimal location and size of storage facility. The results based on the methodology proposed in this study were also compared with those of previous study for their validation.

**Key words** : Flood reduction, stormwater detention facility, modified rational equation, NRCS curve number

#### 요 지

본 연구에서는 소규모 저류시설의 유출저감효과를 NRCS 유출곡선지수의 감소율로 정량화하였다. 저류시설로 유입되는 유출 용적을 계산하기 위해 수정합리식을 이용하였다. 다양한 강우 특성(강우 빈도, 지속시간)과 저류시설의 규모에 따라 설치 전후의 NRCS 유출곡선지수 감소율을 정량화하였다. 마지막으로 저류시설의 규모에 따른 유출곡선지수의 감소율을 나타내는 도표를 개발하였다. 이 도표는 저류시설의 최적 위치 및 용량 결정을 할 경우 저류시설의 효율을 평가하는데 합리적이고 효율적으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구에서 제안된 방법에 의한 결과는 또한 기존 연구와의 비교를 통해 검증하였다.

**핵심용어** : 홍수 저감, 우수저감시설, 수정합리식, NRCS 유출곡선지수

#### 1. 서 론

최근 이상 기후로 인한 피해가 전 세계적으로 증가하고 있다. 우리나라의 경우도 예외가 아니어서 홍수의 규모와 피해가 과거에 비해 점점 커지고 있는 상황에 이르렀다. 또한 하천 주변의 도시화는 인적 또는 재산 피해 규모를 가중시키는 것과 아울러 홍수량 증가의 큰 원인으로 작용하였다(김영란 등, 2004; 이한세, 2005). 결국 이와 같은 이유들로 인해 하도만으로 홍수량을 감당할 수 없는 상황이 빈번하게 발생하고 있다(소방방재청, 2009). 따라서 하천에서 분담하지 못하는 홍수량은 유역에서 저류하며, 기존의 치수사업에서 고려되지 않았던 내수배제시설 및 저류시설을 이용한 대응방안이 필요하게 되었다(윤용남과 안재현, 2005; 이한세, 2005). 또한 종래의 집중형 물관리 개념에서 분산형 물관리개념으로의

전환이 대두되고 있는 상황에서, 내배수 홍수분담시설과 빗물 유출 저감시설을 이용하여 홍수량을 유역 내에서 적절히 분담시키는 방법의 필요성이 제기되어왔다(소방방재청, 2009).

분산형 물관리에 있어서 빗물유출 저감시설은 크게 침투형과 저류형으로 나누어진다. 침투형 시설은 침투트렌치, 침투측구, 침투통, 투수성 포장 등을 말한다. 이들은 불투수층에서 발생하는 직접 유출량을 서서히 토양에 침투시켜 홍수 저감효과와 함께 도시화로 인해 왜곡된 물순환 구조를 회복시킬 수 있다는 장점을 가지고 있다. 저류형 시설은 건물, 공원, 녹지와 같이 공공시설 등에 홍수량 분담을 위해 설치되는 저류조와 같은 시설을 의미하며 침투시설보다 일반적으로 더 큰 홍수 유출 저감효과를 가진다고 알려져 있다(국립방재연구소, 2001). 외국에서는 이미 1970~1980년대부터 홍수 등의 재해예방과 하천의 건전화 방지를 위하여 도로, 주차장

\*정회원 · 고려대학교 건축사회환경공학부 교수(E-mail: envchul@korea.ac.kr)

\*\*교토대학교 방재연구소 수문기상재해연구분야 특정연구원(교신저자)

\*\*\*정회원 · 고려대학교 방재과학기술연구센터 연구교수

\*\*\*\*고려대학교 건축사회환경공학부 박사과정

등 공공시설은 물론 주택, 아파트 등 사유시설까지도 빗물유출 저감시설 설치를 법적으로 제도화하고 있다(국립방재연구소, 1998). 이와 같은 전 세계적인 흐름에 맞춰 현재 국내에서도 빗물유출 저감시설과 관련된 다양한 연구가 진행되어왔다(국립방재연구소, 1998; 서울시정개발연구원, 1995; 농림부, 2003; 인천지역환경기술센터, 2003; 한국건설기술연구원, 2004; 김영란 등, 2004; 대한상하수도학회, 2005; 김이호 등, 2005; 2006; 차희원 등, 2005; 송재우와 임장혁, 2007).

그러나 대부분의 연구들은 빗물유출 저감시설이 어느 정도 유출저감효과를 가지는지, 그리고 유역단위의 모형화 단계에서 이들 시설을 고려하는 방법에 대한 기준까지를 제시하지는 못하고 있다. 물론 대한상하수도학회(2005)는 장기유출 모형을 이용하여 빗물이용시설의 수문학적 해석을 통해 개략적인 유출저감효과를 정량화 한 바 있으나, 이 결과를 통해 시설의 설치형식 및 규모를 결정하는 실증적 기준을 제시하는 데에는 한계가 있다. 국립방재연구소(1999), 차희원 등(2005)의 연구사례와 같이 도시 수문모형을 이용하여 침투 홍수량을 예측하고 유출 용적을 산정한 사례들도 있으나, 이와 관련하여 측정된 사례는 매우 제한적이므로 모형의 타당성을 확인 하는 것은 불가능하다고 할 수 있다(인천지역환경기술센터, 2003; 환경부, 2004; 송재우와 임장혁, 2007). 또한 단일 저류시설의 평가를 위해서 저류지의 예비 설계를 목적으로 하는 간단한 모형을 이용할 수도 있으나(Currey and Akan, 1998; Kessler and Diskin, 1991; McEnroe, 1992; Currey and Akan, 1998; Abt and Grigg, 1978; Baker, 1979; Aron and Kibler, 1990; Wycoff and Singh, 1976; Soil Conservation Service, 1986), 다양한 시설을 고려한 유역 전반의 홍수 부담량을 파악하는 데에는 적용하기 어렵다. 앞서 언급한 바와 같이 주차장, 아파트 단지, 공원 등과 같은 지역에 설치 가능한 저류 시설은 작은 규모를 가지는 것이 일반적이기 때문에 유역단위의 수문학적 모형에 이들 시설을 정교하게 고려하는 것은 대단히 어려운 일이다. 만일 임의의 용량을 가진 하나의 시설에 대한 홍수저감효과를 수문해석에서 이용되는 적절한 인자로 정량화할 수 있다면, 다양한 경우(위치, 수, 단위 시설의 용량)에 대해 발생 가능한 또는 저감될 수 있는 홍수량을 파악할 수 있을 것이다. 아울

러 유역단위의 홍수분담을 위한 빗물유출 저감시설의 최적 위치, 수, 용량을 더욱 효율적이고 합리적으로 결정할 수 있을 것이다.

이에 본 연구에서는 소규모 빗물유출 저감시설의 홍수 유출저감효과를 수문 해석에서 널리 이용되고 있는 NRCS 유출곡선지수(Curve Number; CN)로 정량화하는 방법을 제안하고자 한다. Carter and Rasmussen(2006)도 BMP(Best Management Practices) 시설을 대상으로 하여 유출곡선지수의 변화를 실험적으로 도출 한 바 있기는 하나, 본 연구에서와 같이 저감효과를 정량화 하지는 않았다. 본 연구에서는 소규모 저류시설의 설치 전후 대상 지역에 대한 유출곡선지수를 산정하기 위해 수정합리식을 이용하였다. 대상 지역에서 다양한 강우의 지속기간 및 재현기간, 저류 시설의 규모에 따라 각각 발생 가능한 유출용적을 계산하고, 최종적으로 설치 전후의 유출곡선지수 감소율로 저류시설의 저감효과를 정량화했다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 저류시설의 유출 저감효과 정량화

단위 저류 시설의 도입으로 인한 홍수 체적의 변화는 설치 전 유출용적에서 설치될 저류시설의 용적(규모)을 감산하여 간단하게 산정될 수 있다(그림 1). 저류 시설의 형식에 따라(그림 2) 다른 유출 수문 곡선을 나타내지만, 전체 홍수 체적은 동일한 결과를 나타내게 된다. 물론 침투시설과 조합된 시설의 경우는 침투량이 유출 용적에 영향을 주게 된다(그림 2(d)). 그러나 본 연구에서는 침투시설과 조합된 시설까지를 대상으로 하지 않으며, 저류형 시설만을 대상으로 한다.

단위 시설이 분담하게 될 유출 저감효과는 앞서 언급한 바와 같이 여러 방법으로 정량화 될 수 있다. 그러나 빗물유출 저감시설과 같이 규모가 작은 시설을 어떤 지역에 어느 정도의 규모로 설치해야 하는지를 결정할 경우, 가능한 모든 경우를 수문모형에 고려하는 것은 매우 어려운 과정이라 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 단위 시설이 가지는 홍수 유출 저감효과를 수문 해석에서 유효우량을 산정하는데 널리 이용되는 유출곡선지수를 이용하여 정량화하였다.

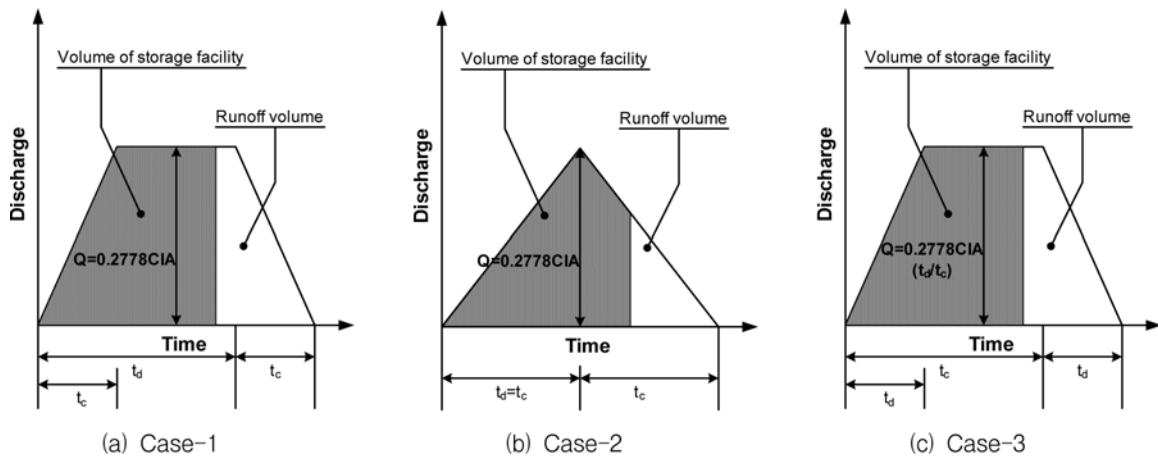


그림 1. 수정합리식을 이용한 홍수 유출 용적 저감 효과 산정 방법

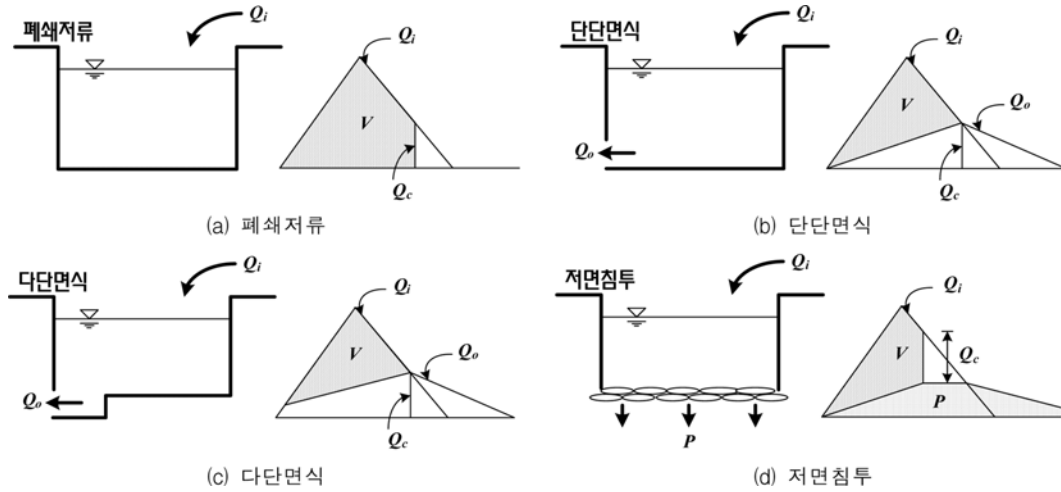


그림 2. 저류형식에 따른 조절용량의 개념 (서울시정개발연구원, 2000)

유출곡선지수는 총 강우량과 유효 강우량을 통해 역산하는 것이 가능하다. 본 연구에서는 강우의 지속기간, 재현기간에 따라서 가능한 유출 수문곡선을 간단한 수정합리식으로 결정하고, 그림 2와 같이 저류시설의 규모에 따라 저감될 수 있는 홍수량 산정을 한 후, 시설 설치 후 감소하는 유출곡선지수를 정량화 하였다. 본 연구에서는 다양한 강우의 특성(지속시간, 재현기간), 집수면의 특성(유출계수), 저류시설의 규모(저류심)에 대하여 각각 유출곡선지수의 감소율을 정량화 하고 이들 관계를 나타내는 도표를 개발하고자 하였다. 이와 같은 도표를 통해 단위 시설이 가지는 홍수 저감 효과를 정량적으로 파악하는 것이 가능할 것이다.

## 2.2 가상유역 및 저류형식의 가정

본 연구에서는 그림 3과 같은 가상 유역을 가정하였다. 유역의 형상은 정사각형이며 저류시설의 위치는 유역의 중심에 위치하는 것으로 가정하였다. 이와 같은 가상유역의 형상과 저류시설의 위치는 현실적으로 부합하지는 않는다. 그러나 다양한 저류시설의 형상 및 시설의 설치 위치를 고려하는 데에 추가적으로 많은 인자들이 도입되어야 하는 어려움이 있기 때문에 그림 3과 같은 가상 유역과 저류형식으로 한정하였다.

대상 지역에 설치 가능한 저류시설은 여러 가지 형식을 가지고 있다. 설치 위치와 집수된 물을 처리하는 방식, 그리고 침투시설과의 조합 방법 등에 따라 다양한 형식이 존재한다. 본 연구에서는 여러 가지 저류시설의 형식 중 가장 간단한 형식인 폐쇄형 저류시설을 대상으로 한다(그림 2(a)). 폐쇄형 저류시설은 별도의 배수공이 설치되지 않으며, 강우 종료 후에 하천 유출에 큰 영향을 미치지 않도록 펌프를 이용하여

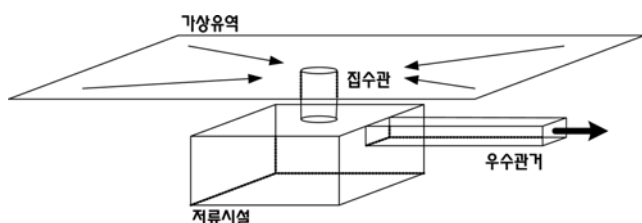


그림 3. 가상유역의 형상 및 저류 형식의 모식도

유출곡선지수를 이용한 소규모 저류시설의 유출저감효과 정량화

배수를 하는 시설이다(서울시정개발연구원, 2000).

## 2.3 수정합리식 (Modified Rational Formula)

수정합리식은 기존 합리식의 단점을 보완하여 도시지역으로부터의 유출수문곡선을 계산할 수 있도록 개발된 방법이다 (Walesh, 1989). 기존 합리식은 특정재현기간의 강우로 인한 침투홍수량의 크기만을 정량화할 수 있는 방법으로 우수관거, 하천제방과 같은 홍수소통용 소규모 구조물의 설계홍수량 결정에 사용할 수 있다. 그러나 본 연구의 목적과 같이 유출곡선지수의 변화를 정량화하기 위해서는 홍수용적을 계산해야 하기 때문에 직접적인 합리식의 적용은 불가능하다고 할 수 있다. 또한 일반적으로 강우지속기간은 유역의 집중시간보다 크다는 점을 감안한다면, 기존 합리식에서는 설계강우강도의 지속기간을 유역의 집중시간과 같다는 가정 하에 침투홍수량을 산정하므로 홍수용적이 과소 추정될 소지가 있다. 반면 수정합리식을 적용할 경우에는 설계강우의 지속기간과 집중시간의 상대적인 크기에 따라 그림 4와 같이 3가지 경우에 대해 홍수량을 산정할 수 있다.

수정합리식은 그림 4와 같이 기존 합리식에서 결정되는 침투 홍수량을 이용하여 삼각형 혹은 사다리꼴 수문곡선을 이용한다(Walesh, 1989). 수문곡선의 형상은 유출용적과 매우 밀접한 관계를 가지는 요소로 실제 저류지나 우수지의 소요용량결정에 큰 영향을 미친다. 즉, 어떤 형태의 수문곡선을 이용하느냐에 따라 저류시설의 소요용량이 다르게 결정된다. 본 연구에서도 이 점을 유의하여 수정합리식을 적용하였다.

강우 강도의 결정에는 식 (1)과 같은 강우 강도식을 이용하였다.

$$I(t, T) = \frac{a + b \ln \frac{T}{t^n}}{c + d \ln \frac{\sqrt{T}}{t} + \sqrt{t}} \quad (1)$$

여기서  $I(t, T)$ 는 지속기간  $t$ (min), 재현기간  $T$ (year) 일 경우의 강우강도(mm/hr)이며  $a, b, c, d, n$ 은 각 지점에 따라 산정되어지는 매개변수이다. 본 연구에서는 서울지점에 대해

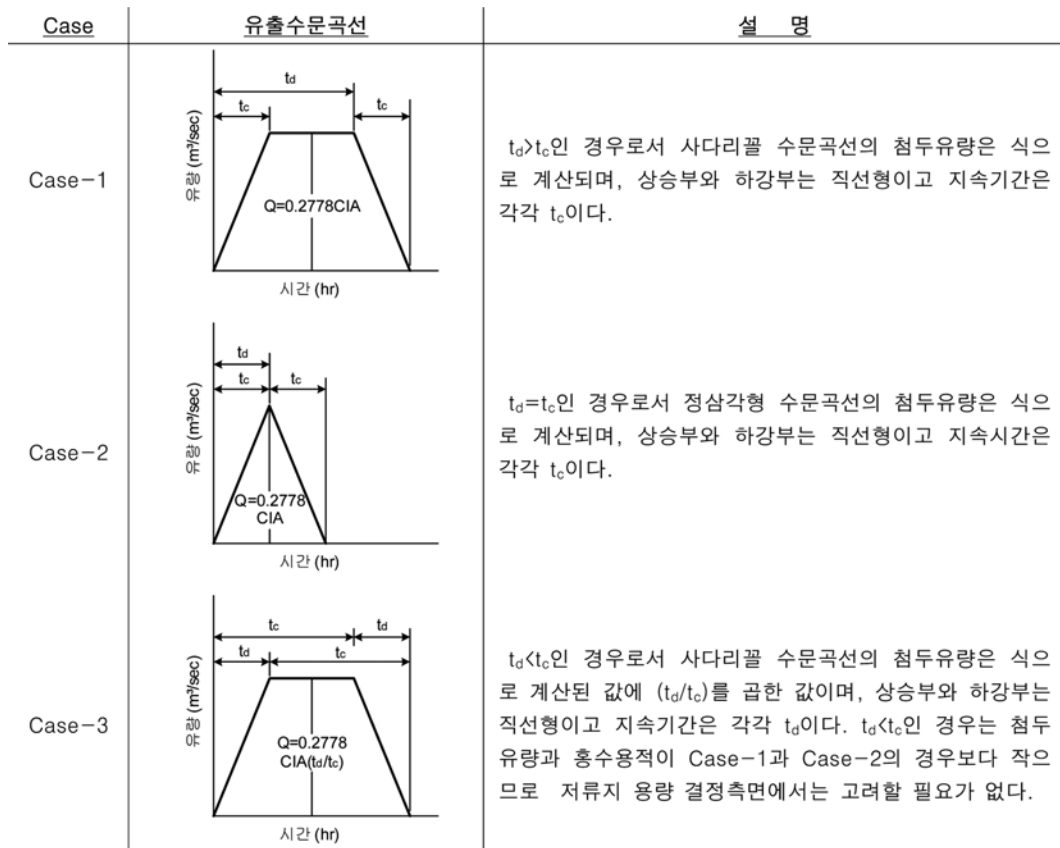


그림 4. 수정합리식에 의한 수문곡선의 형태(윤용남, 2007)

표 1. 서울지점 확률강우강도식의 매개변수 (건설교통부, 2000)

지점	장 · 단기 분리	매개변수				
		a	b	c	d	n
서울	단기간	153.0746	144.5254	0.6011	0.1562	-0.1488
	장기간	324.7979	91.6429	-2.8899	0.0176	0.2685

여 산정된 매개변수를 이용하였다(표 1).

수정합리식은 유역의 도달시간과 강우의 지속시간에 따라 다른 수문곡선의 형태를 제시한다. 본 연구에서는 표면류의 유입시간 결정을 위한 경험공식인 미국 연방항공청 공식(Federal Aviation Agency, 1970)을 이용하였다. 이 식은 도시유역의 표면류의 유입시간 산정에 많이 이용되며 다음과 같다.

$$t_s = \frac{0.994(1.1-C)L^{0.5}}{S^{1/3}} \quad (2)$$

여기서  $t_s$ 는 유입시간(min),  $C$ 는 합리식의 유출계수,  $L$ 은 표면류의 길이(m),  $S$ 는 지표면의 경사(%)이다. 공원, 운동장, 아파트 단지 등과 같은 지역은 거의 경사가 없는 지역이라고 할 수 있기 때문에 본 연구에서는  $S$ 를 0.01%로 가정하였다.

#### 2.4 유출곡선지수

미국 Natural Resources Conservation Service(NRCS)가 1972년 개발한 유출곡선지수방법(runoff curve number

method)은 국내에서 널리 이용되고 있는 유효우량산정 방법이다. 이 방법은 1970년대 후반 선우중호 등(1977)에 의해 국내에 처음으로 소개되었다. 그 후 현재까지 NRCS 유출곡선지수 방법을 이용한 연구들이 다수 발표되었다(김경탁, 2003).

유출곡선지수방법에서는 유역 내 토양종류(soil type)를 분류하여 나타낸 토양도(soil map)와 토지이용상태(land use pattern)를 나타낸 토지이용도(land use map), 그리고 식생피복의 처리상태(vegetal cover treatment) 및 토양의 수문학적 조건(hydrologic condition) 등을 고려한다. 이들 인자들을 고려하여 직접유출량(혹은 유효우량)에 미치는 복합적인 영향을 0에서 100 사이의 값을 가지는 무차원의 유출곡선지수로 정량화 한다. 따라서 이 방법은 유역특성을 간단한 유출곡선지수로 정량화하여 평가하는 장점을 가진다. NRCS 방법에서는 총우량과 유효우량간의 관계를 다음과 식으로 나타낸다(윤용남, 2007).

$$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} \quad (3)$$

$$S = \frac{25,400}{CN} - 254 \quad (4)$$

$$I_a = 0.2S \quad (5)$$

여기서  $P$ 는 호우별 총우량(mm),  $S$ 는 유역의 최대잠재보유수량(potential maximum retention)(mm),  $I_a$ 는 초기 손실이다. 는 선행토양함수조건에 따라 서로 다르다. NRCS 방법에서는

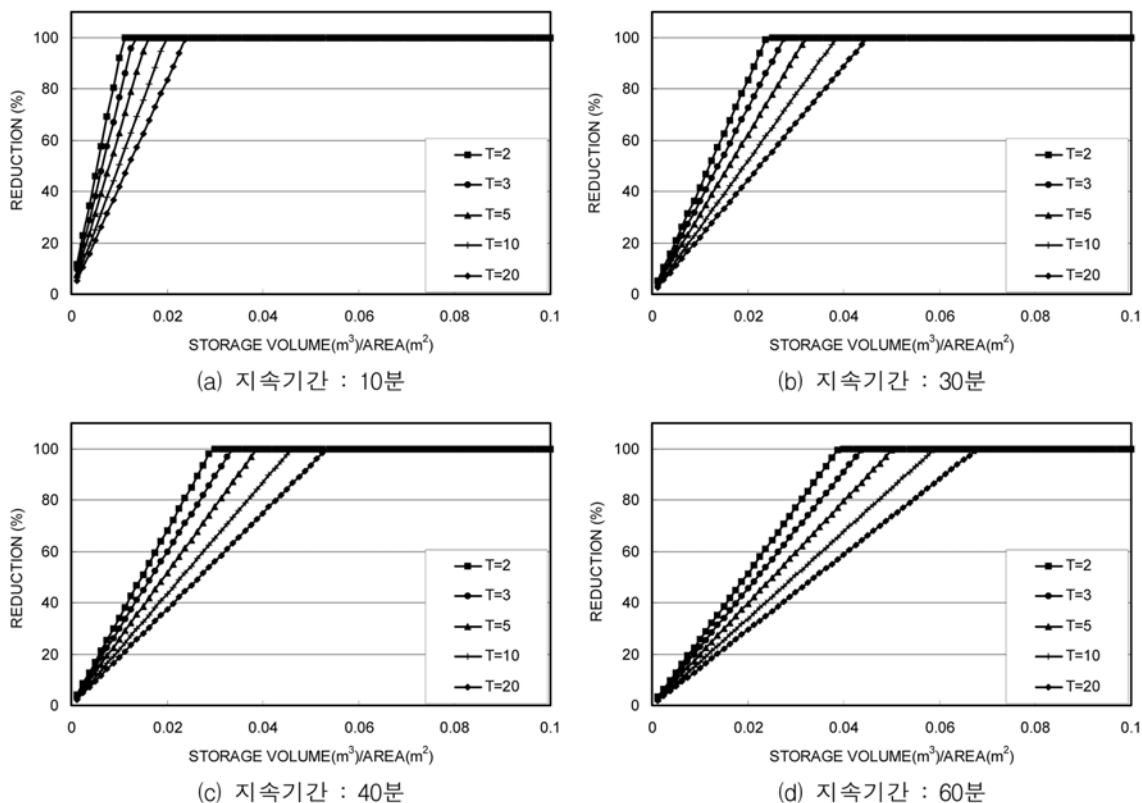


그림 5. 강우 지속기간별-재현기간별 저류심 변화에 따른 유출용적 저감율의 변화

유역의 토양이나 토지이용 및 식생피복 처리상태 등 이른바 수문학적 토양-피복도의 성질에 따라 다르며, 유출능력을 표시하는 유출곡선지수라는 변수를 정의함으로써 유출에 미치는 S의 효과를 간접적으로 고려한다. 수정 합리식을 이용하면 저류시설 설치 전과 후의 수문곡선을 획득할 수 있으며, 그리고 최종적으로 식 (3)-(5)의 관계를 이용하면 유출곡선지수를 역산하는 것이 가능하다.

### 3. 유출곡선지수를 이용한 저류시설의 평가

#### 3.1 저류시설의 규모 변화에 따른 홍수 용적의 감소율

저류시설의 용량 변화에 따른 유출 저감 효과를 정량화하기에 앞서 시설의 용량 변화에 따른 유출 용적의 변화를 살펴보았다. 그림 5는 유출계수(C)가 0.8인 경우 시설의 용량 변화에 따른 홍수 유출 체적의 감소율을 나타낸 것이다. 본 연구에서 저류시설의 용량은 저류심의 개념으로 정량화되었다. 저류심은 저류 시설의 용적을 유역의 면적으로 나눈 값으로 저류 시설의 상대적인 규모를 나타낼 수 있다. 저류시설 설치 전후의 유출용적의 변화는 설치 전 수문 곡선의 유출 용적에 저류조의 용적을 감산한 값이 된다. 따라서 저류심이 작을 경우 작은 유출저감효과를 확인 할 수 있으며, 저류 시설의 용적이 유출 용적을 모두 감당할 경우는 100%의 저감효과를 확인할 수 있다.

#### 3.2 유출곡선지수의 감소율

수정합리식에 의해 산정된 유출용적을 이용하여 환산된 유효 우량과 총 우량을 통해 유출곡선지수를 역산하였다(식

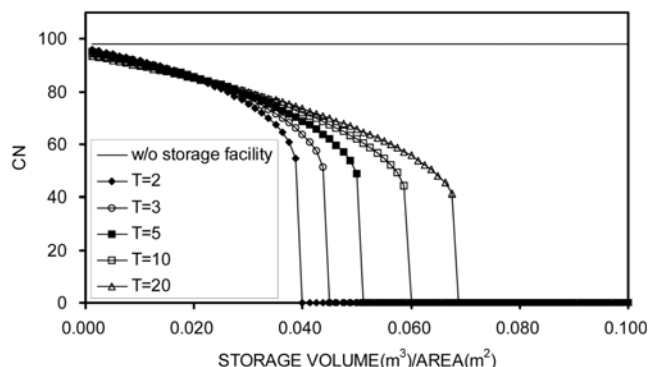


그림 6. 저류시설의 규모에 따른 유출곡선지수의 변화 (유출계수: 0.8, 지속기간: 60분)

(3)-(5)). 강우의 특성인 재현기간과 지속시간, 그리고 집수면의 특성인 유출계수의 변화에 따라 그림 6과 같이 유출곡선지수의 변화를 파악할 수 있다. 여기서 횡축은 저류시설의 규모를 나타내는 저류심이다. 그림 6을 통해서 저류시설의 규모가 커질수록 유출곡선지수 점점 작아진다는 특성을 파악할 수 있다. 저류시설의 규모가 작을 경우에는 유출곡선지수의 변화가 거의 없지만, 저류시설의 규모가 유역에서 발생하는 홍수량을 모두 분담할 수 있을 경우 유출곡선지수는 '0'으로 감소하게 된다. 물론 모든 홍수량을 분담할 수 있을 정도의 시설을 만드는 것은 비현실적이지만, 이러한 상황도 그림 6에 나타난 거동 특성을 통해 쉽게 파악할 수 있다.

그림 7은 그림 6과 같이 산정된 저류시설의 규모에 따른 유출곡선지수의 변화를 이용해서 지속시간별-유출계수별 저류심 변화에 따른 유출곡선지수의 감소율을 나타낸 그림이다.

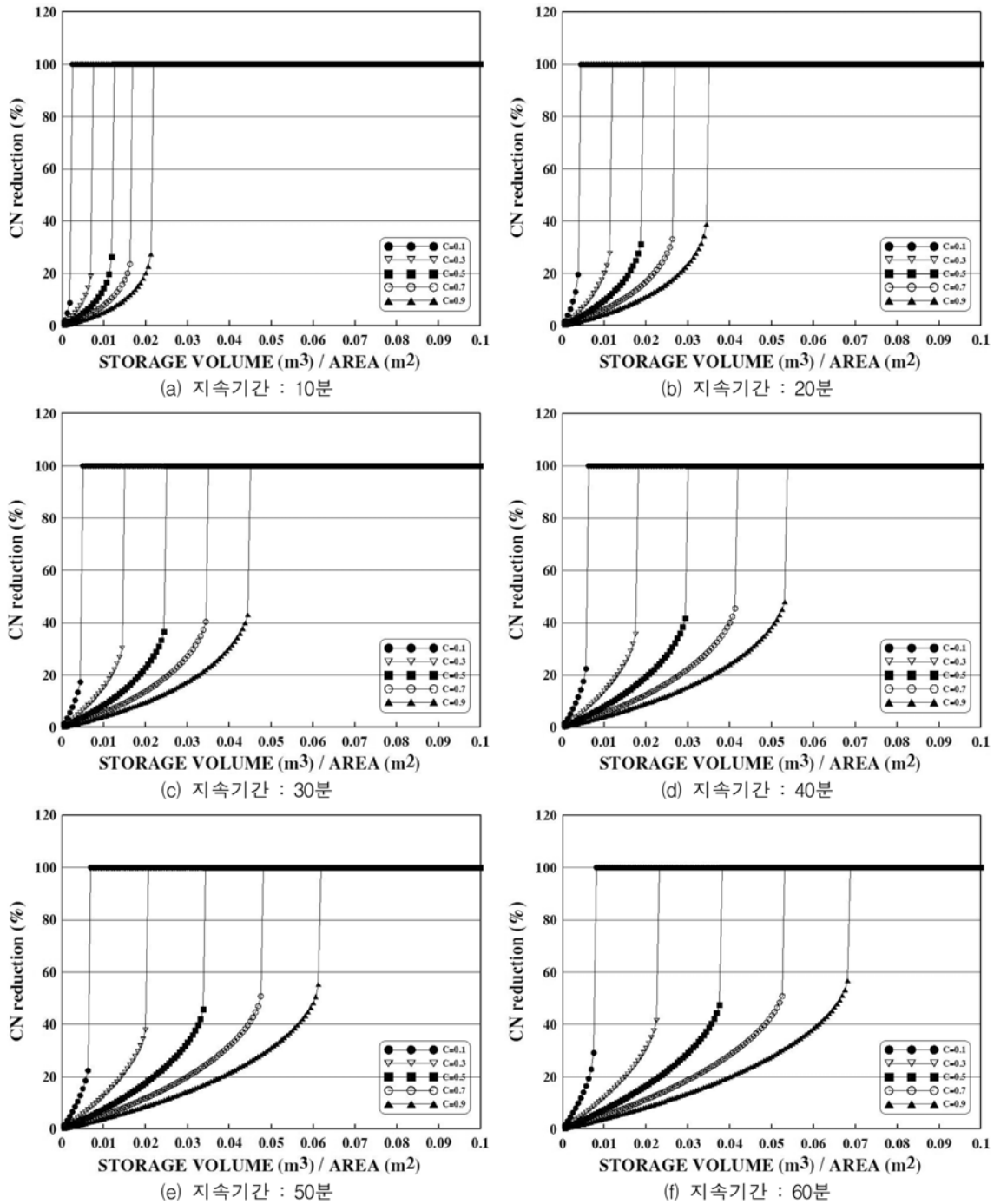


그림 7. 강우 지속시간별, 유출계수의 변화에 따른 유출곡선지수의 감소율 (재현기간 20년)

예를 들어 강우 재현기간이 20년, 지속시간이 60분인 강우에 대하여 유출계수가 0.8(CN: 85, 가정)인 유역에 5 cm의 저류심을 가지는 저류 시설을 설치한다면 약 33.6%의 유출곡선지수의 감소율을 나타내게 되어(표 2) 설치 후 유출곡선지수는 56으로 변하게 된다. 이와 같은 과정을 통해서 대상 규모의 저류 시설이 어느 정도 저감효과를 가지는지 판단할 수 있으며 설치 시 예상되는 홍수 저감효과를 유출 모형에 고려할 수 있게 된다. 다양한 조건에 대한 결과 도표들은 소방방재청(2009)의 연구 성과에 제시되어 있다.

### 3.3 기존 연구 결과와의 비교

본 연구에서 개발된 도표(그림 7)의 타당성을 확인하기 위해

서는 저류효과와 관련하여 실제 측정된 자료가 있어야 한다. 그러나 이와 관련하여 가용한 자료가 전무하기 때문에 도시 수문모형(국립방재연구소, 1999)을 이용하여 평가된 결과와 비교하였다. 국립방재연구소(1999)의 연구에서 수행된 방법의 개요는 표 3과 같다. 연구 결과에서 획득 가능한 자료는 대상 강우 강도에 대해 시설을 설치하지 않았을 경우와 저류시설을 설치했을 경우에 대한 유출 용적(m<sup>3</sup>) 분석 결과 자료이다(표 4). 이들 결과를 이용하여 유출곡선지수를 계산하고(표 5) 본 연구에서 제시하는 도표에 의한 결과와 비교하였다(그림 8).

개발된 도표들 중에서 표 4의 재현기간, 지속시간에 대한 유출곡선지수 감소율 그래프와 표 4의 결과를 비교하였다. 3

표 2. 저류심 변화에 따른 유출곡선지수의 감소율(%) 산정 예 (재현기간 20년, 지속기간 60분)

저류심 (m)	유출계수(C)								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.0025	6.3	3.7	2.7	2.0	1.7	1.5	1.2	1.1	0.9
0.0050	14.1	7.7	5.5	4.3	3.5	3.0	2.5	2.2	1.8
0.0075	29.1	12.3	8.7	6.6	5.4	4.6	3.8	3.3	2.9
0.0100	100.0	17.6	12.0	9.1	7.4	6.1	5.1	4.5	3.9
0.0125	100.0	24.5	15.7	11.7	9.4	7.9	6.6	5.7	4.9
0.0150	100.0	36.8	19.9	14.6	11.7	9.7	8.1	7.0	6.1
0.0175	100.0	100.0	24.7	17.8	14.1	11.5	9.6	8.4	7.2
0.0200	100.0	100.0	30.8	21.2	16.6	13.5	11.3	9.7	8.4
0.0225	100.0	100.0	41.5	25.1	19.2	15.6	13.0	11.2	9.7
0.0250	100.0	100.0	100.0	29.7	22.2	17.9	14.9	12.7	11.0
0.0275	100.0	100.0	100.0	35.3	25.4	20.3	16.7	14.3	12.3
0.0300	100.0	100.0	100.0	44.8	29.1	22.9	18.8	16.0	13.7
0.0325	100.0	100.0	100.0	100.0	33.4	25.6	20.9	17.7	15.2
0.0350	100.0	100.0	100.0	100.0	38.6	28.7	23.2	19.6	16.6
0.0375	100.0	100.0	100.0	100.0	47.3	32.2	25.7	21.5	18.3
0.0400	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	36.2	28.4	23.6	20.0
0.0425	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	41.2	31.3	25.8	21.8
0.0450	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	49.3	34.7	28.1	23.6
0.0475	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	38.5	30.8	25.7
0.0500	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	43.3	33.6	27.8
0.0525	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	50.8	36.8	30.1
0.0550	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	40.5	32.7
0.0575	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	45.1	35.4
0.0600	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	52.1	38.5
0.0625	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	42.1
0.0650	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	46.5
0.0675	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	53.2

표 3. 국립방재연구소(1999)의 분석 사례에 대한 요약

대상 연구 사례	대상 유역 (면적)	평가 방법	강우강도	저류용량 (m <sup>3</sup> )
국립방재 연구소 (1999)	성남 시험유역 (0.15km <sup>2</sup> )	ILLUDAS 모형의 입력카드 IV항을 조절	건설부 (1988) 강우강도식	1,300
	안산 시험유역 (0.85km <sup>2</sup> )			11,530
	마산 시험유역 (0.51km <sup>2</sup> )			1,370

개의 시험유역에 정확한 위치 및 유역특성을 확인하기 어려웠기 때문에 토지이용이나 피복상태를 통해서 유출계수를 추정하는 것은 불가능하였다. 따라서 시험 유역이 도시 유역인 점과 유역을 이루는 대부분이 상업, 아파트, 주거지역인 점을 고려하여(국립방재연구소, 1999) 유출률을 0.8로 가정하였다.

그림 8을 통해서 본 연구에서 개발된 도표를 이용한 결과

유출곡선지수를 이용한 소규모 저류시설의 유출저감효과 정량화

가 국립방재연구소(1999)의 성과와 전반적으로 유사함을 알 수 있다. 차이가 발생하는 원인은 본 연구에서 적용한 강우강도식이 건설교통부(2000)의 성과인테 반해 국립방재연구소(1999)의 연구에서는 건설부(1988)의 성과를 이용했다는 점, 그리고 유출량 산정에 이용된 모형이 다르다는 점 등으로 판단된다. 이들 결과들의 비교만으로 본 연구의 결과가 어느 정도 신뢰성을 가지는지 단정적으로 판단하는 것은 불가능하다. 그러나 주목할 만 한 점은 그림 8과 같이 본 연구에서 개발된 도표가 비교적 복잡한 해석을 통해 실시된 국립방재연구소(1999)의 결과를 비교적 잘 설명할 수 있다는 것이다.

물론 본 연구의 평가 결과가 국립방재연구소(1999)의 평가보다 더 뛰어난 정확도를 가지고 있다는 것을 의미하지는 않는다. 국립방재연구소(1999)의 연구 결과는 단일 시설의 저류효과를 평가한 연구 결과이다. 본 연구의 대상으로 하는 시설은 주차장, 공원, 아파트 등과 같은 지역에 설치될 수 있

표 4. 재현기간 및 지속시간에 대한 강우량 및 저류시설 설치 전후의 유효우량 (국립방재연구소, 1999)

시험 유역	유역 면적 (km <sup>2</sup> )	저류 용량 (m <sup>3</sup> )	재현 기간 (년)	강우량 (mm)			설치 전 유효우량 (mm)			설치 후 유효우량 (mm)		
				지속시간 (분)								
				10	30	60	10	30	60	10	30	60
성남	0.15	1,300	2	17.5	34.2	50.7	15.3	30.4	43.3	12.1	25.8	38.0
			5	22.1	43.4	64.5	21.7	39.4	57.5	17.6	32.8	51.4
			10	25.6	50.3	74.9	25.6	47.4	68.5	21.0	40.8	63.8
안산	0.85	11,530	2	16.3	28.0	39.3	16.7	25.1	35.0	8.3	14.5	20.9
			5	20.3	36.4	52.5	21.9	33.7	48.1	10.5	19.3	27.2
			10	22.7	41.9	61.6	25.0	39.2	54.4	11.6	21.8	29.0
마산	0.51	1,370	2	15.0	27.0	39.1	7.4	13.6	18.9	6.0	11.8	16.8
			5	20.2	36.9	53.8	13.2	22.1	32.3	9.8	18.2	28.8
			10	24.0	43.7	63.7	17.4	29.0	41.9	13.0	24.4	36.5

표 5. 저류시설 설치 전후의 유출곡선지수 및 감소율 (국립방재연구소, 1999)

시험 유역	유역 면적 (km <sup>2</sup> )	저류 용량 (m <sup>3</sup> )	재현 기간 (년)	지속 기간 (분)	유출곡선지수		유출곡선지수 감소율 (%)
					설치 전	설치 후	
성남	0.15	1,300	2	10	40.5	38.1	5.9
				30	98.6	96.7	1.9
				60	97.3	95.1	2.3
			5	10	99.8	98.3	1.5
				30	98.6	95.9	2.7
				60	97.5	95.2	2.4
			10	30	99.0	96.5	2.5
				60	97.8	96.0	1.8
				안산	0.85	11,530	2
60	98.4	91.7	6.8				
5	30	99.0	92.2				6.9
	60	98.4	88.8				9.8
10	30	99.0	90.9				8.2
	60	97.4	85.3				12.4
마산	0.51	1,370	2	10	96.2	95.0	1.2
				30	93.6	92.3	1.4
				60	90.5	89.0	1.7
			5	10	97.0	94.8	2.3
				30	93.6	91.2	2.6
				60	91.0	89.1	2.1
			10	10	97.3	94.9	2.5
				30	94.0	91.5	2.7
				60	91.3	88.6	3.0

는 소규모 저류시설로 이들 시설들이 유역단위 해석에서 어느 정도 영향을 줄 수 있는지 평가하고, 이들 시설을 설치하고자 계획할 때 최적 위치 및 규모의 결정에 이용될 수 있는 방법론 개발에 궁극적인 연구 목적이 있다. 국립방재연구소의(1999)의 연구에서 이용된 방법으로는 이와 같은 목적을 위해 수많은 경우에 대해 유역 내 분포하는 시설들을 다양한

경우에 대해 각각 분석해야 하기 때문에 매우 어렵고 번거로운 과정을 수반해야만 한다. 따라서 본 연구의 결과를 통해 유역 내 산재되어 있는 저류형 빗물유출 저감시설의 홍수유출 저감효과를 효율적으로 파악할 수 있을 것이며, 이들 시설의 최적 위치 및 최적 규모를 파악하는데도 활용성이 매우 클 것으로 기대된다.



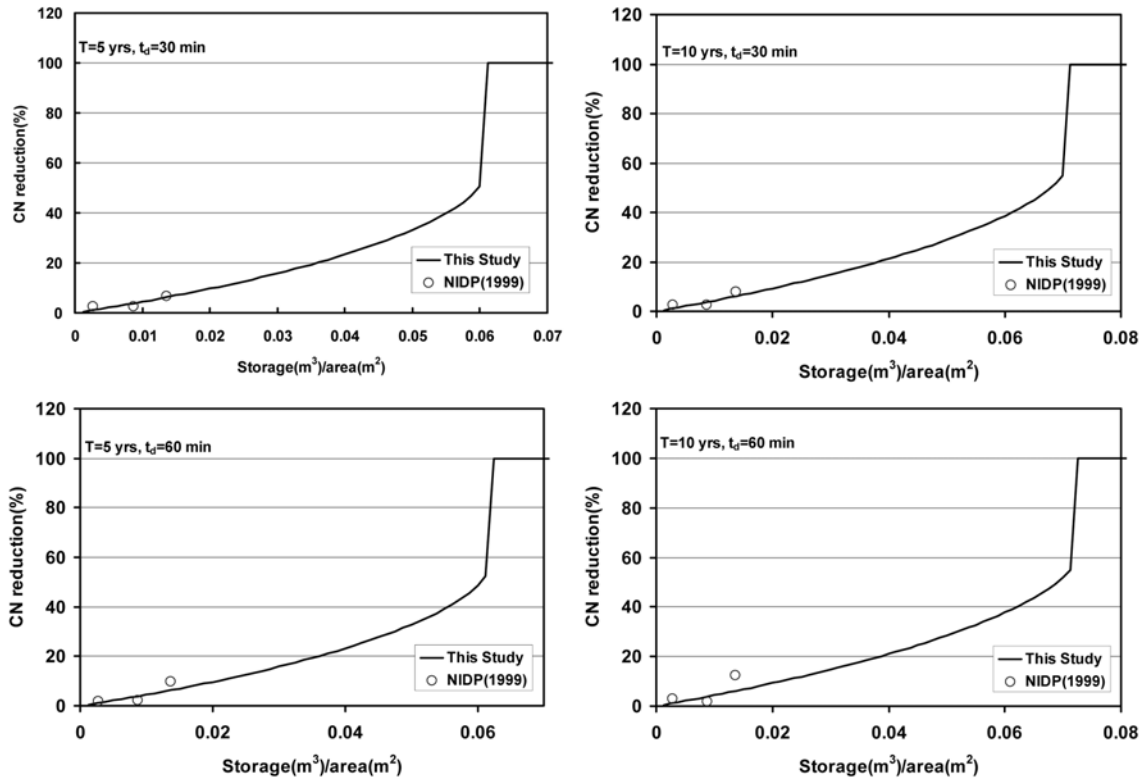


그림 8. 본 연구의 도표를 이용한 경우와 국립방재연구소(1999)의 분석결과를 이용한 경우에 대한 유출곡선지수 감소율의 비교(각각 재현기간 5, 10년, 지속기간 30, 60분의 경우)

#### 4. 결 론

본 연구에서는 빗물유출저감시설 중 저류시설에 대한 홍수 유출저감효과를 정량화하기 위해 다양한 규모를 가지는 저류 시설 설치 전·후의 차이를 유출곡선지수의 변화로 표현하였다. 유출 용적을 계산하기 위해 간단한 수정합리식이 적용되었으며, 최종적으로 침수면의 특성(유출계수), 강우특성(강우 재현기간, 지속기간), 저류시설의 규모(저류심)에 따른 유출곡선지수의 감소율을 나타내는 도표를 작성하였다.

본 연구에서 개발한 도표를 이용하는 경우 저류시설 설치 전·후의 홍수 저감효과를 유출곡선지수로 간단히 확인할 수 있다. 예를 들어 강우 재현기간이 20년, 지속기간이 60분인 강우에 대하여 유출계수가 0.8(유출곡선지수: 85, 가정인 유역에 5 cm의 저류심(저류용적/유역면적)을 가지는 저류시설을 설치한다면 약 33.6%의 유출곡선지수의 감소율을 나타내게 되어 설치 후 대상 지역의 유출곡선지수는 56으로 변하게 된다. 이와 같이 대상 지역에 저류 시설을 설치할 경우 예상되는 홍수 저감효과를 건물단위 혹은 그 밖의 시설 단위로 간단히 평가할 수 있으며, 특히, 유출곡선지수라는 널리 알려진 값으로 저류효과를 가늠할 수 있다는 장점을 가진다.

본 연구에서 개발된 도표는 그 검증에 위해 기존 연구 결과와의 비교를 수행하였으며, 그 결과 본 연구에서 개발된 도표의 신뢰도를 확인할 수 있었고, 아울러 기존의 방법들에 비해 매우 간편하고 효율적임을 확인할 수 있었다. 본 연구의 결과는 기 설치된 시설뿐만 아니라 설치 예정 또는 계획 중인 저류시설로 인해 저감되는 홍수 유출량을 평가할 경우

에도 효율적으로 이용될 수 있다. 아울러 이들 시설의 최적 위치 선정 및 시설의 규모 결정에도 활용 가능할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

이 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업(내배수 홍수분담 최적화 기술개발) 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- 건설교통부 (2000) 수자원관리기법연구조사보고서/제1권 한국확률 강우량도 작성, 연구보고서.
- 건설부 (1988) 수자원관리기법 연구조사보고서/제2권 한국확률강우량도의 작성, 연구보고서.
- 국립방재연구소 (1998) 우수유출저감시설 설치기법연구(I), 연구보고서.
- 국립방재연구소 (1999) 우수유출저감시설 설치기법 연구(II), 연구보고서.
- 국립방재연구소 (2001) 우수유출저감시설 설치기법 연구(IV), 연구보고서.
- 김경탁 (2003) 정밀토양도를 이용한 CN 산정에 대한 제안, 한국수자원학회지, Vol. 36, No. 4, pp.45-53.
- 김영란, 김진영, 황성환 (2004) 강우시 도시 하수관거통수능부족 해소를 위한 우수저류시설의 적용, 상하수도학회지, Vol. 18, No. 3, pp.343-350.
- 김이호, 김영민, 권경호, 이상호, 이정훈 (2006) 물순환 건전화를 위한 공동주택 우수저류시설 설계기법 개발, 한국물환경학회.

- 대한상하수도학회 공동 춘계학술발표회 논문집, pp.305-308.
- 김이호, 김영민, 이상호, 이정훈 (2005) MUSIC을 이용한 공동주택단지 우수저류침투시설 설계, **대한환경공학회 춘계학술연구발표회 논문집**, pp.370-373.
- 농림부 (2003) **농어촌지역 우수의 생활용수 이용시스템 개발**, 연구보고서.
- 대한상하수도학회 (2005) **빗물이용시범시설 운영·관리 모니터링 연구**, 연구보고서.
- 이한세 (2005) 새로운 유역종합치수계획, **한국수자원학회지**, 제38권4호, pp.14-19.
- 윤용남, 안재현 (2005) 유역종합치수계획의 향후 개선방향, **한국수자원학회지**, 제38권, 4호, pp.20-24.
- 서울시정개발연구원 (1995) **우수유출률 저감 대책**, 연구보고서.
- 서울시정개발연구원 (2000) **우수유출 저감시설 시범사업 검토연구**, 연구보고서.
- 선우중호, 윤용남, 심순보, 이순탁 (1977) 정밀계측된 소유역의 강우 및 유출특성, **한국수문학회지**, 물의과학, 제10권, 제1호, pp.53-70.
- 소방방재청 (2009) **내배수 침수재해 저감기술 개발-내배수 홍수분담 최적화기술 개발**, 연구보고서.
- 송재우, 임장혁 (2007) 강우강도에 따른 침투-저류시스템의 우수 유출저감효과에 관한 실험 연구, **한국방재학회논문집**, 제7권, 제4호, pp.85-95.
- 윤용남 (2007) **공업수문학**, 청문각.
- 인천지역환경기술개발센터 (2003) **인천도심 내 빗물저류조 설치방안**, 연구보고서.
- 차희원, 장종경, 홍철희, 김경현 (2005) SWMM모형을 이용한 도심지역의 우수저류시설 적정용량 산정방안에 대한 연구, **한국물환경학회·대한상하수도학회 공동 춘계학술발표회 논문집**, pp.563-566.
- 한국건설기술연구원 (2004) **21세기 프론티어연구개발사업-수자원의 지속적 확보기술개발사업-우수 저류 및 활용기술 개발**, 연구보고서.
- 환경부 (2004) **양질의 상수원수 확보 및 유지관리 기술: 도시관류 하천의 유지유량 확보 및 자연정화 기능 향상기술**, 연구보고서.
- Abt, S.R. and Grigg, N.S. (1978) An Approximate Method for Sizing Detention Reservoirs, *Water Resources Bulletin*, Vol. 14, No. 4, pp.956-965.
- Aron, G. and Kibler, D.F. (1990) Pond Sizing for Rational Formular Hydrographs. *Water Resources Bulletin*, Vol. 26, No. 2, pp.255-258.
- Baker, W.R. (1979) Stormwater Detention Design for Small Drainage Areas. *Public Works*, Vol. 108, No. 3, pp.75-79.
- Carter, T.L. and Rasmussen, T.C. (2006). Hydrologic behavior of vegetated roof. *Journal of The American Water Resources Association*, Vol. 42, No. 5, pp.1261-1274.
- Currey, L. and Akan, A.O. (1998) Single Outlet Detention Pond Design and Analysis Equation. *Water Resources Engineering*, Vol. 1, pp.796-801.
- Federal Aviation Agency, Department of Transportation (1970) *Advisory Circular on Airport Drainage*, A/C 050-5320-5B, Wasington, D.C.
- Kessler, A. and Diskin, M.H. (1991) The Efficiency Function of Detention Reservoirs in Urban Drainage Systems. *Water Resources Research*, Vol. 27, No. 3, pp.253-258.
- McEnroe, B.M. (1992) Preliminary Sizing of Detention Resvoirs to Reduce Peak Discharges. *Journal of Hydraulci Engineering*, Vol. 118, No. 11, pp.1540-1549.
- Soil Conservation Service (1986) *Urban Hydrology for Small Watersheds*, Technical Release 55, Washington, DC: U.S. Dept. Of Agriculture.
- Walesh, S.G. (1989) *Urban Surface Water Management*. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Wycoff, R.L. and Singhm, U.P. (1976) Preliminary Hydrologic Design of Small Flood Detention Reservoirs. *Water Resource Bulletin*, Vol. 12, No. 2, pp.337-349.

◎ 논문접수일 : 10년 01월 25일  
 ◎ 심사의뢰일 : 10년 03월 02일  
 ◎ 심사완료일 : 10년 03월 18일