

## 도시유역에서 저류지 설계를 위한 특성인자 분석

### An Analysis of Characteristic Parameters for the Design of Detention Pond in Urbanized Area

이 재 준\* / 김 호 년\*\* / 곽 창 재\*\*

Lee, Jae Joon / Kim, Ho Nyun / Kwak, Chang Jae

#### Abstract

Urban development results in increased runoff volume and flowrates and shortening in time of concentration, which may cause frequent flooding downstream. Flow retardation structures to limit adverse downstream effects of urban storm runoff are used. There are various types of flow retardation measures include detention basins, retention basins, and infiltration basins. In basic planning phase, a number of planning models of detention ponds which decide storage volume by putting main variables were used to design detention ponds. The characteristics of hydrological parameters  $\alpha$ ,  $\gamma$  which are used in planning models of detention pond were analyzed. In this study, detention ponds data of Disaster Impact Assessment report at 22 sites were analyzed in order to investigate correlation between characteristic of urban drainage basin parameter and characteristics of detention pond parameter due to urbanization effects. The results showed that storage volume was influenced by peak discharge ratio  $\alpha$  more than runoff coefficient ratio  $\beta$  and peak discharge ratio  $\alpha$  was influenced by runoff coefficient ratio  $\beta$  less than regional parameter  $n$ . Storage ratio was mainly influenced by duration of design rainfall in the case of trapezoidal inflow hydrograph such as Donahue et al. method.

**key words** : peak discharge ratio, time of concentration ratio, planning model of detention pond, detention storage, storage ratio

#### 요 지

도시화로 인한 유출량의 증가 및 도달시간의 단축은 도시재해의 한 원인이 되고 있다. 이를 막기 위하여 도시 배수유역내에 저류지를 설치하여 하수관거의 통수능 이하로 방류량을 조절하는 방안을 고려할 수 있다. 기초계획 단계에서의 저류지 설계를 위해서는 복잡한 연관성을 지니고 있는 제반 변수를 고려하지 않고 대표적인 관련 주요변수를 택하여 저류용량을 결정하는 여러 가지 저류지 계획모형이 이용되고 있다. 기왕의 저류지 계획모형에서는 주로 도시화 특성인자인 첨두유량비( $\alpha$ )와 도달시간비( $\gamma$ )를 활용하고 있다. 본 연구에서는 재해영향평가서 22개소의 저류지를 분석대상으로 하여 도시화에 따른 도시배수유역 특성인자와 저류지 특성인자간의 분석을 통해 저류지의 계획단계에서 활용할 수 있도록 편의성을 도모하고자 한다. 첨두유량비  $\alpha$ 가 도달시간비  $\gamma$ 보다 저류용량에 미치는 영향이 더욱 민감함을 알 수 있었으며, 개발전·후의 유출계수비  $\beta$ 가 설계강우강도의 지역계수  $n$ 값

\* 정희원 · 금오공과대학교 토목공학과 교수 (e-mail: jhb365@kumoh.ac.kr)

\*\* 금오공과대학교 토목공학과 석사과정

보다  $\alpha$ 에 미치는 영향이 작음을 알 수 있었다. 사다리꼴 설계수문곡선을 사용하는 경우에는 강우지속기간이 저류비에 미치는 영향이 큰 것을 알 수 있었다.

**핵심용어** : 침투유량비, 도달시간비, 저류지 계획모형, 저류용량, 저류비

## 1. 서 론

도시화가 진행되면서 불투수면적의 증가에 따른 유출용적과 침투유출량의 증대 및 도달시간의 단축은 기왕의 도시내배수시스템의 통수능을 초과하는 경우를 발생하여 도시재해의 한 원인이 되고 있으며, 이를 막기 위해서는 도시배수구역내에 저류지를 설치하여 하수관거의 통수능 이하로 방류량을 조절하는 방안을 고려할 수 있다. 이러한 저류지 설치 개념은 신규로 도시화 현상을 유발시키는 택지개발이나 산업단지개발에 있어서 재해영향평가의 필수 저감방안으로 채용되고 있다. 저류지의 저류용량은 주로 개발전·후의 유출량수문곡선과 저류지의 방류시설 및 표고-수면적 관계에 의해 영향을 받으며, 정확한 저류용량은 이들 관계를 이용한 저류지 홍수추적을 통하여 얻어진다.

그러나 기초계획단계에서의 저류지 설계를 위해서는 복잡한 연관성을 지니고 있는 제반 변수를 고려하지 않고 대표적인 관련 주요변수를 택하여 저류용량을 결정하는 여러 가지 저류지 계획모형이 이용되고 있으며, 기왕의 저류지 계획모형에서는 주로 개발전·후의 침투유량비( $\alpha$ )와 도달시간비( $\gamma$ )를 활용하고 있다. 과거 연구동향을 살펴보면, David 등(1980)은 도시배수구역 하류부의 저류지 위치와 크기에 대한 영향은 강우 빈도, 토지이용상태, 그리고 저류정책이 직접적인 것이라고 밝혔다. Loganathan 등(1985)은 다양한 유출 용적, 유출 기간, 그리고 사상발생 시간, 그리고 일반화된 저류 관계 등을 포함한 수문학적 지수 확률 밀도 함수를 고안하였다. 이 함수는 설계 단계에서 저류지 저류와 처리능력의 추정을 쉽게 할 수 있고, 광범위한 시뮬레이션을 필요로 하지 않고 예비계획단계에서 쉽게 사용될 수 있는 이점을 가졌다. Wang 등(1990)은 도달시간의 변화, 유출계수, 저류용적-수심 관계와 허용 침투 유출량들이 도시배수시스템의 산지 하류단 끝부분 또는 도시 상류단 시작점에 위치한 저류지의 크기민감도에 미치는 영향을 조사하였다. Guo(1999)는 저류지 크기 결정을 위해 평균방류량 추정에 의존적인 FAA 방법과 같은 volume-based method가 도시 소배수구역에 적합하다는 것을 밝히고, 저류지의 평균방류량은 구역의 도달시간과 설계호

우 지속기간과 관련되는 것임을 보였다. Gomez 등(2002)은 하수관 방류구를 포함한 저류지를 설정하여 저류지 인자(구역, 방류구 형태, 하수관 특징)와 수문곡선(기저 유출, 침투 유출, 침투 도달시간)에 대한 수적인 테스트를 시행하였다.

본 연구에서는 이와 같은 도시구역내의 유출저감시설로서 중요한 역할을 하고 있는 저류지에 대한 유출저감효과를 분석하기에 앞서 도시화에 따른 도시배수구역 특성인자와 저류지 특성인자간의 분석을 통해 저류지의 계획단계에서 그 편의성을 도모하고자 한다.

## 2. 구역 및 수문특성인자 분석

### 2.1 구역특성인자

본 연구에서는 도시구역의 특성을 나타내는 구역특성인자로서 형태 및 크기와 관련된 면적(A), 유로연장(L), 형상계수(SF)와 유출계수(토지이용도)와 관련된 CN값 및 유출과 관련한 유출총량( $Q_a$ ), 침투유량( $Q_b$ ), 도달시간( $t_c$ ) 등을 선정하여 분석하기로 한다.

### 2.2 수문특성인자

본 연구에서는 저류지의 수문학적 특성을 나타내기 위해서 다음과 같은 저류지 수문특성인자를 분석하기로 한다.

$$\text{침투유량비 } \alpha = \frac{Q_{pb}}{Q_{pa}} \quad (1)$$

$$\text{도달시간비 } \gamma = \frac{t_{pb}}{t_{pa}} = \frac{t_{cb}}{t_{ca}} \quad (2)$$

$$\text{유출계수비 } \beta = \frac{C_b}{C_a} = \frac{CN_b}{CN_a} \quad (3)$$

$$\text{저류용량 } V_s = \int_0^T (Q_{in} - Q_{out}) dt \quad (4)$$

$$\text{저류비 } S_r = \frac{V_s}{Q_a} \quad (5)$$

여기서,  $Q_{pb}, Q_{pa}$  : 각각 개발전·후의 침투유량( $m^3/s$ ),  $t_{pb}, t_{pa}$  : 각각 개발전·후의 침투도달시간(min),  $t_{cb}, t_{ca}$  : 각각 개발전·후의 도달시간(min),  $C_b, C_a$  : 각

각 개발전·후의 유출계수,  $CN_b, CN_a$  : 각각 개발전·후의 CN값, T : 유입량과 방류량이 같아지는 시점까지의 시간,  $Q_a$  : 유출총량( $m^3$ )

### 3. 분석 대상 저류지

현재 국내의 경우 도시화에 따른 수문량의 변화 관측이 지속적으로 이루어지고 있는 경우가 극히 적고, 모니터링이 이루어지고 있는 지역마저도 비교적 과대한 설계규모 때문에 저류지의 저류효과를 분석하기 위한 실적자료의 구득이 매우 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는 2000년 이후부터 2006년 초까지 작성된 재해영향평가서 100여건을 대상으로 도시화가 이루어지는 지역(산업단지 및 택지 개발사업지구)에 대한 재해영향평가서 48건을 추출하였다(행정자치부, 소방방재청). 48건의 도시화 개발사업 재해영향평가

서 중에서 각종 유역특성량 및 수문특성량에 신뢰성이 결여되는 지역을 제외하고 본 연구목적에 적합한 22건의 재해영향평가서상의 저류지를 분석 자료로 활용하였다(표 1~표 2).

### 4. 유역 및 수문 특성인자 간의 관계분석

#### 4.1 특성인자 관계분석 적용 저류지 계획모형

##### 4.1.1 McCuen 모형

McCuen(1988)은 저류지 용량 결정을 위하여 합리식이나 SCS 방법으로 침투유량  $q_b$ 와 침투유량도달시간  $t_b$ 를 계산하고, 설계수문곡선의 형태는 삼각형으로 가정하여 기저시간 T를 침투유량 도달시간의 2배로 가정하였다(그림 1). 또한 유수의 도달시간  $t_c$ 와 침투유량의 도달시간  $t_b$ 는 같다고 가정하였다.

표 1. on-line 저류지의 현황

| 사업명   | 소유역    | 면적( $km^2$ ) |       | 유로경사(%) |        | 유로연장 (km) |       | CN    |       | 저류용량( $m^3$ ) |
|-------|--------|--------------|-------|---------|--------|-----------|-------|-------|-------|---------------|
|       |        | 개발전          | 개발후   | 개발전     | 개발후    | 개발전       | 개발후   | 개발전   | 개발후   |               |
| 김포양곡  | ky2    | 0.649        | 0.678 | 0.12    | 0.093  | 1.1       | 0.96  | 85.93 | 89.55 | 8,594         |
|       | ky4    | 0.075        | 0.132 | 0.167   | 0.166  | 0.8       | 0.72  | 86.29 | 89.9  | 3,110         |
| 천안신방  | sb     | 2.37         | 2.37  | 3.99    | 3.96   | 2.19      | 2.19  | 85.25 | 88.89 | 21,236        |
| 청주성화  | B'     | 0.306        | 0.475 | 4.94    | 0.43   | 0.9       | 1.444 | 80.26 | 84.67 | 18,634        |
| 남약신도시 | oa-1-0 | 0.62         | 0.58  | 16.3    | 0.05   | 1.15      | 0.59  | 84    | 85.38 | 3,468         |
| 광주진월  | JW1    | 0.13         | 0.142 | 0.0522  | 0.0259 | 0.53      | 0.5   | 70.27 | 82.97 | 4,963         |
| 성서4차  | SS-0   | 0.25         | 0.25  | 0.1     | 0.1    | 0.85      | 0.85  | 91.62 | 94.82 | 9,190         |
|       | SS-1   | 0.15         | 0.15  | 0.2     | 0.2    | 0.88      | 0.88  | 92.18 | 97.06 | 4,110         |
| 오산가장  | OS-2-2 | 0.8          | 0.8   | 0.12    | 0.1    | 1.24      | 1.24  | 85.21 | 90.42 | 18,602        |
| 발산    | BS     | 0.871        | 0.871 | 0.0101  | 0.0097 | 1.195     | 1.195 | 92.07 | 93.95 | 24,500        |
| 청주성화2 | B      | 0.453        | 0.137 | 0.011   | 0.006  | 0.939     | 0.947 | 77.13 | 90.14 | 312           |
| 서울신정3 | -      | 0.94         | 0.94  | 0.069   | 0.068  | 1.56      | 1.58  | 74.68 | 78.85 | 19,980        |
| 대전판저5 | KJ3    | 0.76         | 0.77  | -       | -      | 1.137     | 1.17  | 73.73 | 77.77 | 6,399         |

표 2. off-line 저류지 현황

| 사업명  | 소유역  | 면적 ( $km^2$ ) |       | 유로경사 (%) |        | 유로연장 (km) |       | CN    |       | 저류용량( $m^3$ ) |
|------|------|---------------|-------|----------|--------|-----------|-------|-------|-------|---------------|
|      |      | 개발전           | 개발후   | 개발전      | 개발     | 개발전       | 개발후   | 개발전   | 개발후   |               |
| 시흥능곡 | sn0  | 4.133         | 4.033 | 5.471    | 5.427  | 2.576     | 2.576 | 81.42 | 82.77 | 17,261        |
| 양주고읍 | cd1  | 0.316         | 0.308 | 0.0102   | 0.0102 | 1.903     | 1.903 | 86.76 | 90.2  | 1,527         |
|      | ss   | 2.444         | 2.42  | 0.0124   | 0.0124 | 1.812     | 1.812 | 81.45 | 86.33 | 14,581        |
| 의왕청계 | CG-L | 0.14          | 0.14  | 0.0172   | 0.0169 | 0.924     | 0.783 | 90.7  | 92    | 813           |
| 서울강일 | KD3  | 1.027         | 1.027 | -        | -      | 1.469     | 2.057 | 84.8  | 88.7  | 6,300         |
| 광명소하 | SH0  | 2.54          | 1.97  | 0.0637   | 0.0596 | 3.343     | 3.611 | 84.2  | 89.2  | 17,668        |
| 안성공도 | GD-2 | 0.22          | 0.48  | 0.03     | 0.009  | 0.7       | 1.62  | 88.35 | 93.33 | 3,328         |
| 안산신길 | SK-1 | 0.54          | 0.54  | 0.004    | 0.007  | 1.232     | 1.238 | 91.67 | 95.23 | 5,370         |
|      | SK-2 | 0.17          | 0.17  | 0.349    | 0.029  | 0.42      | 1.23  | 89.97 | 94.31 | 2,316         |

도시 개발에 따른 유출특성의 변화를 나타내는 수문학적 도시화 인자로서의 침투유량비( $\alpha$ )와 도달시간비( $\gamma$ )는 저류지 용량 결정에 중요한 인자가 되며 식(1), (2)와 같이 표시된다.

일반적으로  $\alpha$ 는 1.0보다 작으며  $\gamma$ 는 1.0보다 크다. 즉, 유역내의 도시화된 면적이 증가되면  $\alpha$ 는 감소하고  $\gamma$ 는 증가된다.

그림 1에서 색칠된 부분인 저류지 용량  $V_s$ 와 도시화 후 유출총량  $Q_a$ 와의 관계는 다음 식으로 표시된다.

$$\frac{V_s}{Q_a} = \begin{cases} \frac{\gamma + \alpha + \alpha\gamma(\gamma + \alpha - 4)}{\gamma - \alpha} & , \alpha < 2 - \gamma \\ \frac{\gamma - \alpha}{\gamma + \alpha} & , \alpha \geq 2 - \gamma \end{cases} \quad (6)$$

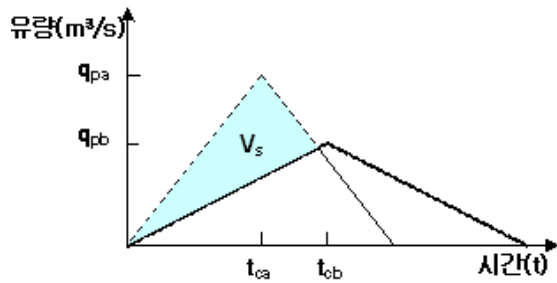


그림 1. McCuen 모형의 설계수문곡선

#### 4.1.2 Donahue 등 모형

Donahue 등(1981)은 그림 2와 같이 유입·유출 수문곡선을 모두 사다리꼴로 가정하고, 유입수문곡선의 감소부가 시작되는 시간이 강우지속기간과 같다고 가정하였으며, 저류지 용량은 식 (7)과 같이 표시된다.

$$V_s/Q_a = 1 - \alpha(1 + t_{ca}/D(1 - 0.5(\gamma + \alpha))) \quad (7)$$

여기서, D : 강우지속기간

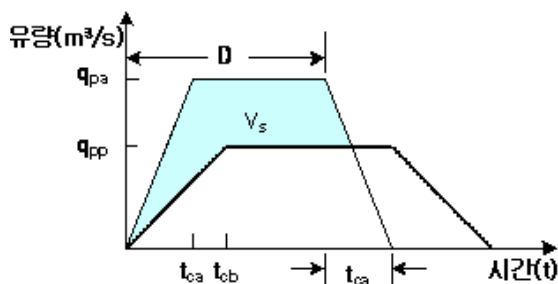


그림 2. Donahue 등 모형의 설계수문곡선

## 4.2 도시화 특성인자 $\alpha, \gamma, \beta$ 의 일반적 특성 분석

먼저 수문학적 도시화 인자  $\alpha, \gamma$ 가 유입총량에 대한 저류용량의 상대적 크기인 저류비( $V_s/Q_a$ )에 미치는 영향을 파악하기 위하여 본 연구에서는 삼각형 설계수문곡선에 바탕을 둔 저류지 계획모형 중 McCuen 모형과 사다리꼴 설계수문곡선에 바탕을 둔 저류지 계획모형 중 Donahue 등 모형의 가정을 기본으로 하여 분석을 시행하였다.

### 4.2.1 삼각형 설계수문곡선 가정시 (McCuen 모형)

그림 3은 침투유량비  $\alpha$ 와 도달시간비  $\gamma$ 의 변화에 따른 저류비의 변화를 도시한 것으로서, 도시화 특성인자인 침투유량비  $\alpha$ 가 작을수록 그리고 도달시간비  $\gamma$ 가 클수록 도시화가 많이 진행된 상태를 의미하며  $V_s/Q_a$ 의 값이 커짐을 보여주고 있다. 이 때 분모에 해당하는 저류지로의 유출총량  $Q_a$ 가 도시화로 증대된 가운데  $V_s/Q_a$ 의 값이 증가추세를 보인다는 것은 저류용량  $V_s$ 의 크기에 미치는  $\alpha, \gamma$ 의 영향이 단순 비례 이상으로 매우 큼을 의미한다.  $\alpha$ 가 일정할 때  $\gamma$ 가 증가 할수록  $V_s/Q_a$ 의 비는 증가하는 양상을 보이고 있으며,  $\alpha$ 의 값이 클 경우에는 그 영향 정도가 더욱 커지나  $\alpha$ 의 값이 작을 때에는 그 영향 정도가 작음을 알 수 있다. 즉,  $\gamma$ 만의 영향을 알아보기 위하여 개발 전·후의 침투유량비  $\alpha$ 를 일정하게 놓았을 때, 도시화 현상으로 인해 저류지까지의 도달시간이 짧아질수록  $V_s/Q_a$ 의 비는 전반적으로 증가하고 있다. 그러나  $\alpha$ 가 0.2, 0.4일 때,  $\gamma=1.5$  부근에서  $V_s/Q_a$  값이 약간 감소되는 이유는 그림 1에서와 같이 설계수문곡선을 삼각형 형태로 가정한 기하학적 결과로써 나타나는 현상이다. 유역의 특성에 따라 크게 변화되고 있는  $\alpha$ 와  $\gamma$ 값은 저류지 용량결정에 큰 영향을 주고 있으며,  $\alpha$ 가  $\gamma$ 보다 저류용량에 미치는 영향이 더욱 민감한 것을 알 수 있다. 지금까지  $V_s/Q_a$ 와  $\alpha$  및  $V_s/Q_a$ 와  $\gamma$ 의 관계는 일부 연구 발표된 바 있으나(이종태 등, 1991),  $\alpha$ 와  $\gamma$ 간의 직접 비교는 검토된 바가 많지 않다.  $\alpha$ 와  $\gamma$ 간의 구체적인 관계는 많은 실측자료로부터 정리될 수 있겠으나, 현재로서는 이에 관한 수문자료가 매우 부족함으로써  $\alpha$ 와  $\gamma$ 간의 관계성을 개념적으로나마 분석하는 노력을 시도하여 보기로 한다.

먼저 강우강도식을  $I = \frac{K}{D^n}$  과 같다고 보고 강우지속기간을 유수의 도달시간과 같다고 가정하였다. 이

때 강우강도식이 도시화 전·후에서 동일하다면 상수 K는 생략되므로 식 (8)을 얻는다.

$$\alpha = \frac{C_b(t_m)^n}{C_a(t_{pb})^n} = \beta \left(\frac{1}{\gamma}\right)^n \quad (8)$$

이 관계식에서  $\beta$ 가 일정할 경우  $\gamma$ 가 증가할수록  $\alpha$ 가 감소하며, 그 감소폭은 지역계수 n과  $\beta$ 에 따라서 다르다. 그림 4에서 볼 수 있는 바와 같이 개발전·후의 유출계수비  $\beta$ 가 설계강우강도의 지역계수 n값 보다  $\alpha$ 에 미치는 영향이 작음을 알 수 있다. 따라서, 적합한  $\alpha$ 와  $\gamma$  간의 관계성 해석을 위하여서는 보다 합리적인 강우강도식과 지역계수의 결정이 요망된다.

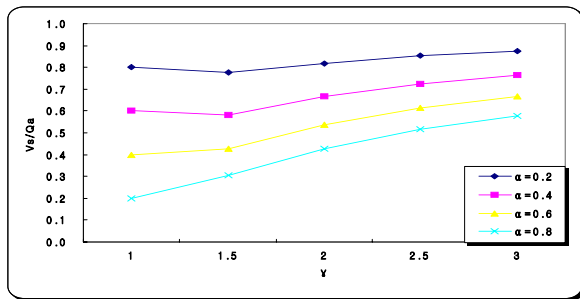


그림 3. 저류비와 도시화 특성인자  $\alpha$ ,  $\gamma$ 의 관계곡선

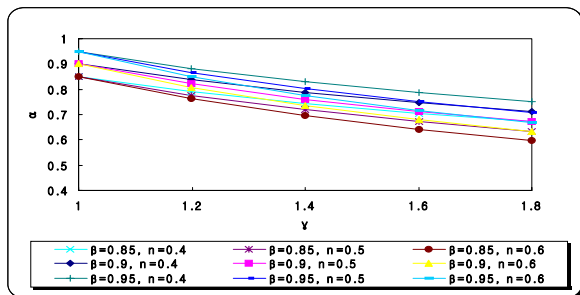


그림 4. 도시화 특성인자  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\beta$  간의 관계곡선

#### 4.2.2 사다리꼴 설계수문곡선 가정시 (Donahue 등 모형)

사다리꼴 설계수문곡선의 강우지속기간이 침투도달 시간과의 비가 1일 때는 삼각형 설계수문곡선과 같은 형태가 되므로 본 연구에서는 강우지속기간이 침투도달 시간의 2배~5배가 되도록 하고 개발전·후의 침투도달 시간은 같다고 가정하여 놓고 도시화 인자 침투유량비  $\alpha$ 와 저류비의 관계를 분석하였다. 그림 5에서

$\frac{t_m}{D}=1$ 인 경우와 그 외의 경우를 비교해보면  $\frac{t_m}{D}=1$

과  $\frac{t_m}{D}=0.5$ 의 차이가 뚜렷이 큰 것을 알 수 있다. 이는 삼각형 설계수문곡선의 형태와 사다리꼴 설계수문곡선의 형태에 대한 유출총량에 대한 저류량의 차이가 크음을 보이고 계획설계 단계에서 설계수문곡선의 적절한 선택이 중요하다는 것을 나타낸다.

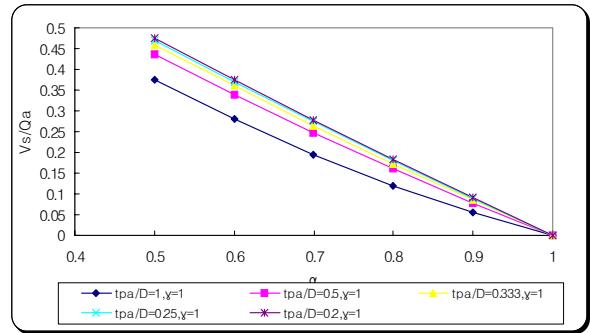


그림 5. 저류비와 도시화 특성인자  $\alpha$ 의 관계곡선

### 4.3 가상유역을 이용한 도시화 특성인자 $\alpha$ , $\gamma$ 의 분석

#### 4.3.1 가상유역에의 적용

가상유역에서의 도시화 특성인자의 변화에 따른 저류비를 분석하기 위하여 면적 1km<sup>2</sup>의 가상유역을 10개의 소유역으로 나누어 구성하고(그림 6), 계획강우는 본 연구의 분석대상 저류지 중의 하나인 청주성화 지구의 재현기간 50년의 확률강우강도식  $I = \frac{1101.5}{t^{0.63177}}$ 를 이용하였다. 이 때 강우의 임계지속기간은 120분으로 가정하고 개발전 유출계수를 0.6으로 개발후 유출계수는 0.65, 0.7, 0.8, 0.9로 변화시켜 합리식을 이용하여 침투유출량을 산정하였다.  $\alpha$ 의 변화에 대한 저류비의 변화를 파악하기 위하여 저류지 계획모형 중 널리 쓰이고 있는 삼각형 설계수문곡선의 McCuen 모형과 사다리꼴 설계수문곡선의 Donahue 등 모형을 사용하여 가상유역에서의 저류비 변화를 분석하였다. 또한 가상유역에서  $\gamma$ 에 대한 영향을 분석하기 위해 개발전 유역평균경사를 0.01로, 개발후 유역평균경사를 0.013, 0.015, 0.017, 0.02로 변화시켜 Rziha공식을 사용하여 도달시간을 산정하였다. 이는 개발이 진행됨에 따라 유역평균경사는 줄어드는 것이 일반적이나 본 연구에서의 도시화 인자  $\gamma$ 의 특성분석을 위해 개발전의 유역평균경사를 개발후보다 작게 설정하였다. 유출총량은 강우지속기간을 120분으로 가정하고 침투도달시간은 강우지속기간의 반으로 가정한 뒤 삼각형 설계수문곡선과 사다리꼴 설계수문곡선을 적

용하여 나누어 산출하였다.  $\gamma$ 에 대한 저류비의 변화를 삼각형 설계수문곡선의 McCuen 모형과 사다리꼴 설계수문곡선의 Donahue 등 모형을 사용하여 가상유역에서의 저류비 변화를 분석하였다.

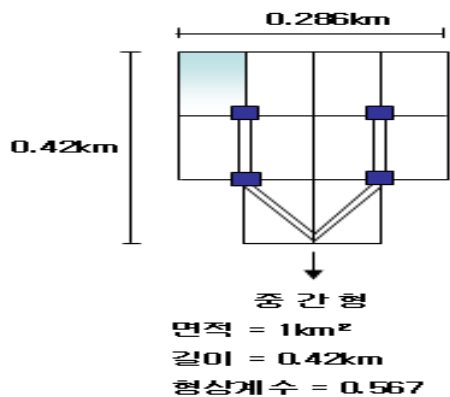


그림 6. 가상유역의 형상

#### 4.3.2 설계수문곡선에 따른 가상유역에서 도시화 특성인자 분석

그림 7과 그림 8은 McCuen 모형을 가상유역에 적용하였을 때 각각  $\alpha$ 와  $\gamma$ 에 대한 저류비의 변화를 도시한 것이다. 그림 7에서 보면 삼각형 설계수문곡선을

채택한 McCuen 모형은 경사의 증가에 따라 저류비의 변화는 거의 없었고, 도시화 인자 중 침투유량비  $\alpha$ 의 증가에 따라 저류비가 일정하게 감소하는 것을 알 수 있으며, 우측 하단부의 그래프 추세가 바뀌는 것은 McCuen모형의 조건식인  $\alpha < 2 - \gamma$ 이 그 원인인 것으로 판단된다. 그림 8에서 보면 유출계수가 증가함에 따라 저류비는 증가하는 것을 보이고 있으나, 도시화 인자 중 도달시간비  $\gamma$ 의 증가에 따른 저류비는 근소하게 증가추세를 보이고 있을 뿐 큰 변화는 나타나지 않았다.

그림 9와 그림 10은 Donahue 등 모형을 가상유역에 적용하였을 때 각각  $\alpha$ 와  $\gamma$ 에 대한 저류비의 변화를 도시한 것이다. 그림 9에서 보면 사다리꼴 설계수문곡선을 채택한 Donahue 등 모형은 McCuen 모형보다는 그 기울기가 낮게 나타나고 있다. 이는 사다리꼴 설계수문곡선이 삼각형 설계수문곡선보다는  $\alpha$ 에 대한 영향이 적음을 나타내고 앞에서 언급한 바와 같이 강우지속시간이 저류비에 미치는 영향이 더 큰 것을 나타낸다. 그림 10에서도 역시 그림 8에서와 마찬가지로  $\gamma$ 의 증가에 따라 저류비는 일정하게 증가됨을 보이고 그 기울기가 McCuen 모형에 비해 큰 것을 알 수 있다.

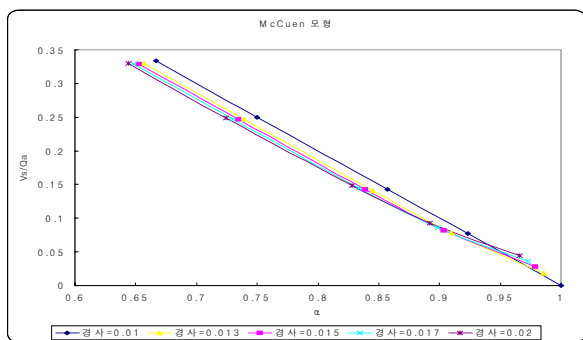


그림 7. 가상유역의  $\alpha$ 에 대한 저류비의 분석 (McCuen 모형)

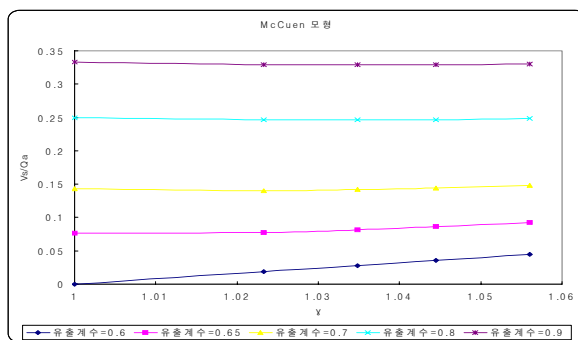


그림 8. 가상유역의  $\gamma$ 에 대한 저류비의 분석 (McCuen 모형)

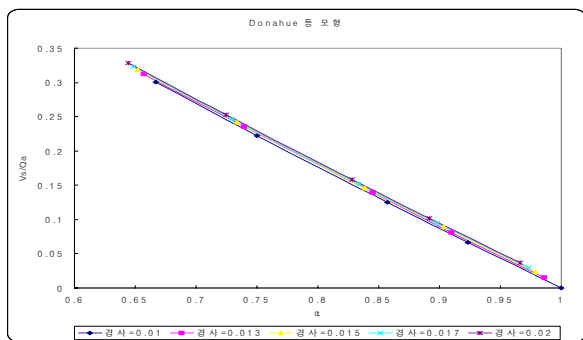


그림 9. 가상유역의  $\alpha$ 에 대한 저류비의 분석 (Donahue 등 모형)

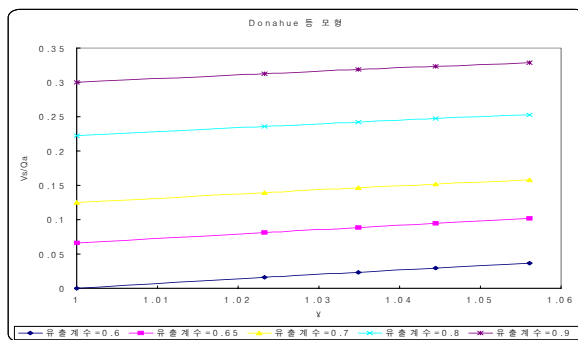


그림 10. 가상유역의  $\gamma$ 에 대한 저류비의 분석 (Donahue 등 모형)

#### 4.4 유역특성인자간의 분석

##### 4.4.1 on-line 저류지의 경우

그림 11~그림 12는 본 연구의 분석대상 저류지 22개소 중 on-line 저류지 13개소의 유역특성인자인 형상계수와 면적, 유로연장간의 관계를 도시한 것이다. 표 3은 on-line 저류지에 대한 유역특성인자의 회귀식을 수록한 것이다.

##### 4.4.2 off-line 저류지의 경우

그림 13~그림 14는 본 연구의 분석대상 저류지

22개소 중 off-line 저류지 9개소의 유역특성인자인 형상계수와 면적, 유로연장간의 관계를 도시한 것이다. 표 4는 off-line 저류지에 대한 유역특성인자의 회귀식을 수록한 것이다.

이들 그림에서 보는 바와 같이 형상계수와 면적간의 관계는 선형증가의 관계를 보이고 있고 형상계수와 유로연장간의 관계는 아주 미미한 증가의 관계를 보여주고 있다. 형상계수의 정의식에 의하면 그림 11과 그림 13은 타당성을 보이고 있는 편이나 그림 12와 그림 14는 2차함수식으로 감소되어야 하나 그렇지 못하고 아주 미미한 증가를 보이고 있고 자료의 산포

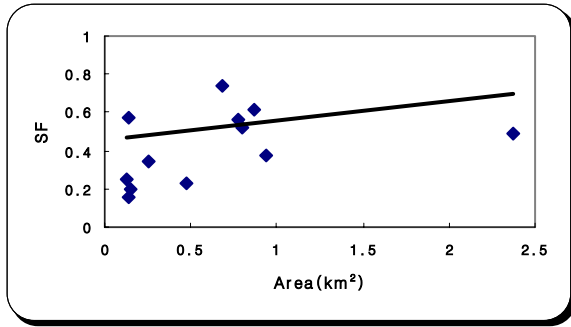


그림 11. 형상계수와 면적간의 관계 (on-line 저류지)

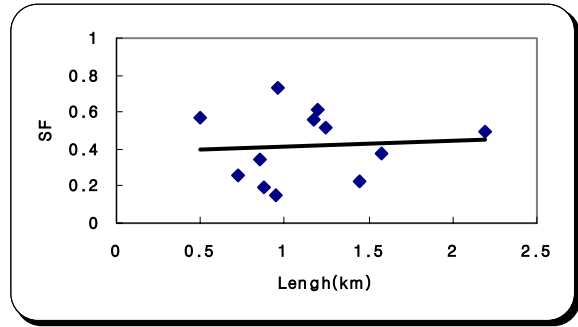


그림 12. 형상계수와 유로연장간의 관계 (on-line 저류지)

표 3. 유역특성인자 분석 회귀식(on-line 저류지)

| 구 분  |                     | 회 귀 식                 | 비 고     |
|------|---------------------|-----------------------|---------|
| 종속변수 | 독립변수                |                       |         |
| SF   | A(km <sup>2</sup> ) | SF = 0.103A + 0.4503  | on-line |
| SF   | L(km)               | SF = 0.0339L + 0.3816 | on-line |

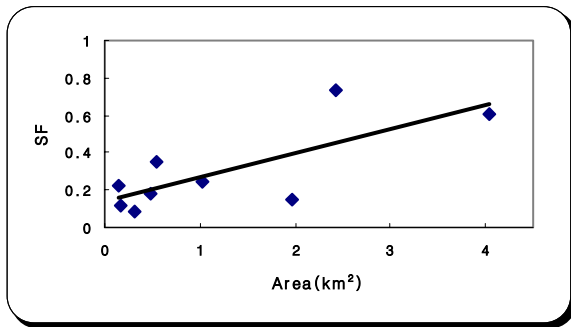


그림 13. 형상계수와 면적간의 관계 (off-line 저류지)

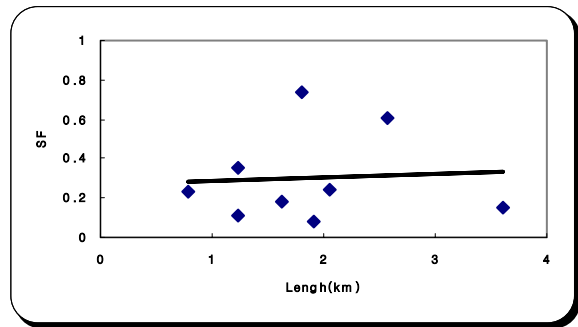


그림 14. 형상계수와 유로연장간의 관계 (off-line 저류지)

표 4. 유역특성인자 분석 회귀식(off-line 저류지)

| 구 분  |                     | 회 귀 식                 | 비 고      |
|------|---------------------|-----------------------|----------|
| 종속변수 | 독립변수                |                       |          |
| SF   | A(km <sup>2</sup> ) | SF = 0.1288A + 0.1413 | off-line |
| SF   | L(km)               | SF = 0.0194L + 0.2637 | off-line |

범위가 더욱 넓게 분포되어 있으므로 재해영향평가서의 기본자료에 신뢰성이 결여되어 있다고 볼 수 있으며, 이에 대한 신뢰성 있는 분석을 위해서는 보다 정확한 자료 산출이 요구된다고 할 수 있다.

#### 4.5 저류지 수문특성인자간의 관계 분석

유출저감시설로서 설치되는 저류지는 on-line과 off-line 형태의 저류지로 구분되며 이들의 저류 메카니즘은 서로 상이하기 때문에 본 연구에서는 저류지의 수문특성인자간의 관계 분석을 위해 22개소의 저

류지를 먼저 on-line 저류지(13개소)와 off-line 저류지(9개소)로 분류하여 각각 저류용량과 유출총량,  $\alpha - \beta - \gamma$ 의 상호관계, 저류비와  $\alpha - \beta - \gamma$  간의 관계에 대해 정성적 분석을 실시하였다.

##### 4.5.1 on-line 저류지의 경우

그림 15~그림 20은 본 연구의 분석대상 저류지 22개소 중 on-line 저류지 13개소의 저류지 수문특성인자간의 관계를 도시한 것이다. 표 5는 그림 15~그림 20의 회귀식을 수록한 것이다.

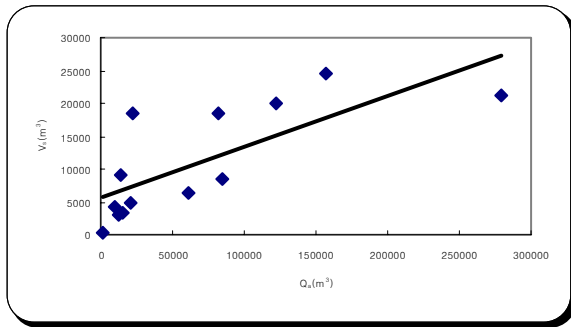


그림 15.  $V_s$ 과  $Q_a$ 간의 관계(on-line 저류지)

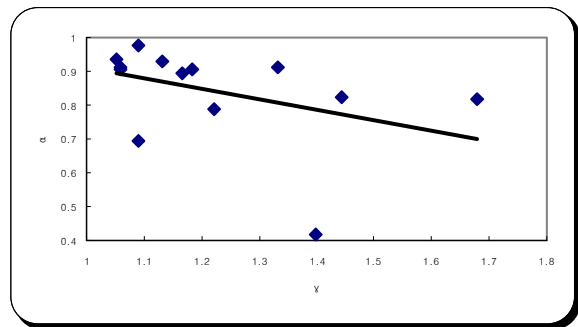


그림 16.  $\alpha$ 와  $\gamma$ 의 관계(on-line 저류지)

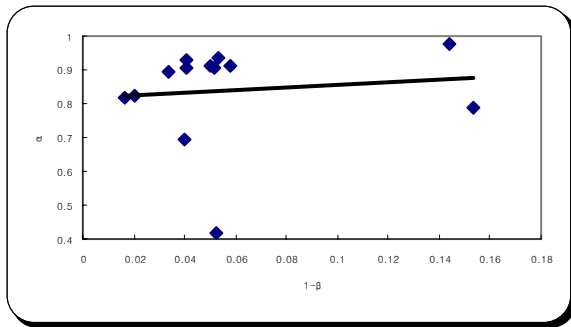


그림 17.  $\alpha$ 와  $\beta$  변화율(=1-β)간의 관계 (on-line 저류지)

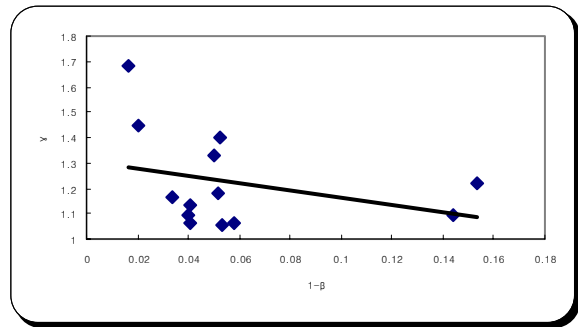


그림 18.  $\gamma$ 와  $\beta$  변화율(=1-β)간의 관계 (on-line 저류지)

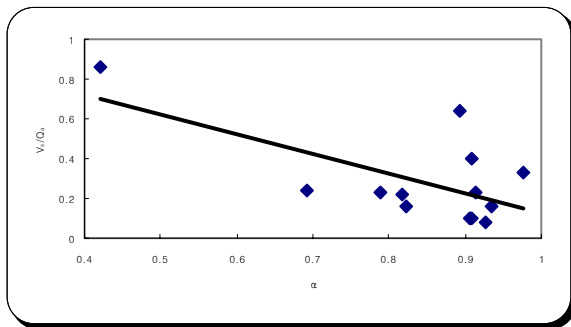


그림 19. 저류비와  $\alpha$ 간의 관계(on-line 저류지)

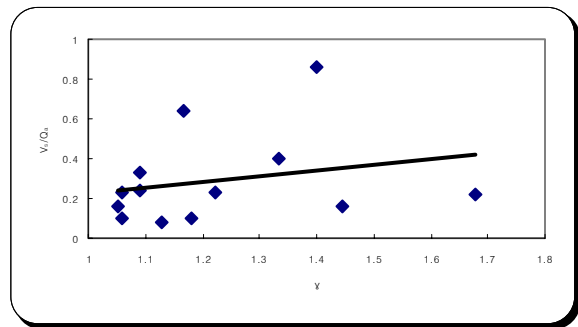


그림 20. 저류비와  $\gamma$ 간의 관계(on-line 저류지)



표 5. 저류지 수문특성인자간의 분석 회귀식(on-line 저류지)

| 구 분        |            | 회 귀 식                                | 비 고 |
|------------|------------|--------------------------------------|-----|
| 종속변수       | 독립변수       |                                      |     |
| $V_s(m^3)$ | $Q_a(m^3)$ | $V_s = 0.0769Q_a + 5785.5$           |     |
| $\alpha$   | $\gamma$   | $\alpha = -0.3072\gamma + 1.2153$    |     |
| $\alpha$   | $1-\beta$  | $\alpha = 0.3839(1-\beta) + 0.8171$  |     |
| $\gamma$   | $1-\beta$  | $\gamma = -1.4773(1-\beta) + 1.3096$ |     |
| $V_s/Q_a$  | $\alpha$   | $V_s/Q_a = -0.984\alpha + 1.1149$    |     |
| $V_s/Q_a$  | $\gamma$   | $V_s/Q_a = 0.2881\gamma - 0.0636$    |     |

이들 그림에서 보면 on-line 저류지의 저류용량은 대략 유출총량의 10% 정도를 나타내고 있고  $\alpha$ 와  $\gamma$ 는 반비례 관계를 보이고 있다. 또한 저류비와 침투유량비  $\alpha$ 의 관계는 반비례의 관계를 보여주고 있고 이는  $\alpha$ 가 증가할수록 소요저류용량이 작아짐을 의미하며, 저류비와 도달시간비  $\gamma$  및 유출계수비  $\beta$ 간의 관계는 정비례의 관계를 보여주고 있고 이는  $\gamma$ 와  $\beta$ 가 증가할수록 소요저류용량이 증대됨을 의미한다.

그러나,  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 반비례관계를 보여야 하나 거의 직선에 가까운 정비례 관계를 나타내고 있으며,  $\gamma$ 와  $\beta$ 간의 관계는 정비례관계를 보여야 하나 반비례에 가까운 관계를 보여주고 있다. 따라서 on-line 저류지의 경우 설계과정에서 사용된 수문변수 중에서  $\beta$  혹은

$\gamma$ 의 값에 신뢰성이 결여 되어 있음을 알 수 있다.

#### 4.5.2 off-line 저류지의 경우

그림 21~그림 26은 본 연구의 분석대상 저류지 22개소 중 off-line 저류지 9개소의 저류지 수문특성인자간의 관계를 도시한 것이다. 표 6은 그림 21~그림 26의 회귀식을 수록한 것이다.

이들 그림에서 보면 off-line 저류지의 저류용량은 대략 유출총량의 5% 정도를 나타내고 있고  $\alpha$ 와  $\gamma$  및  $\beta$ 간의 관계는 각각 반비례 관계를 보여주고 있으며  $\gamma$ 와  $\beta$ 간의 관계는 근소한 정비례의 관계를 보여주고 있다. 또한 저류비와 침투유량비  $\alpha$ 의 관계는 반비례의 관계를 보여주고 있고 이는  $\alpha$ 가 증가할수록

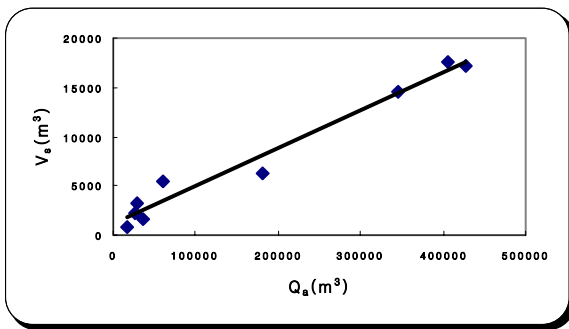


그림 21.  $V_s$ 과  $Q_a$ 간의 관계(off-line 저류지)

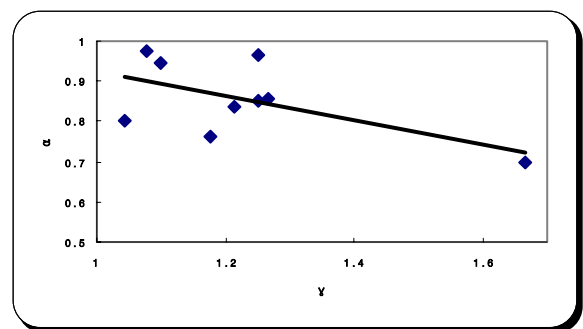


그림 22.  $\alpha$ 와  $\gamma$ 의 관계(off-line 저류지)

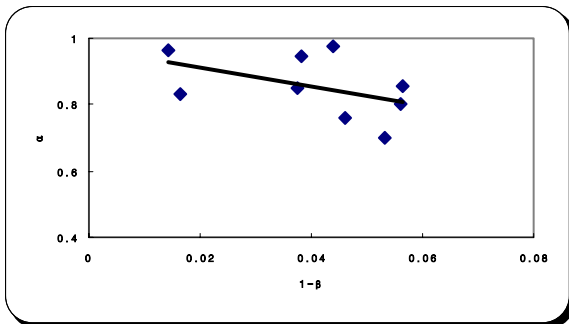


그림 23.  $\alpha$ 와  $1-\beta$ 간의 관계(off-line 저류지)

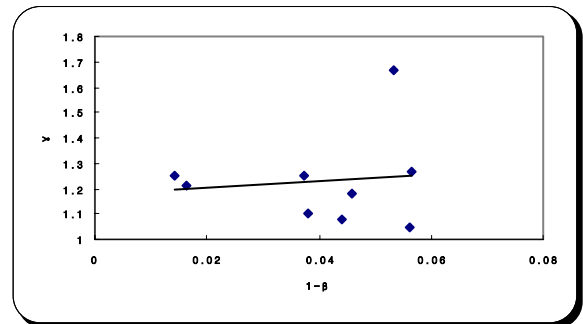


그림 24.  $\gamma$ 와  $1-\beta$ 간의 관계(off-line 저류지)

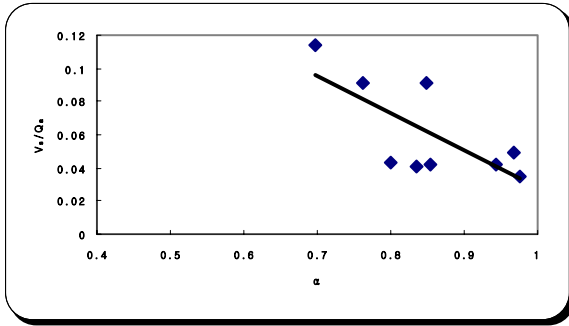


그림 25. 저류비와  $\alpha$ 간의 관계(off-line 저류지)

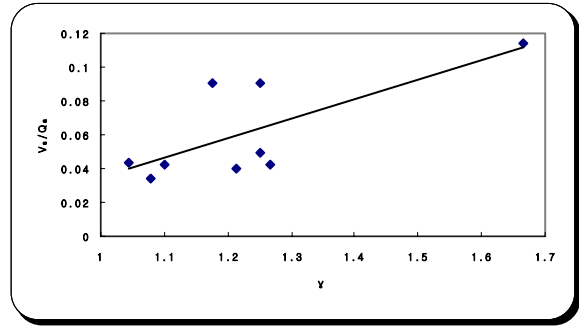


그림 26. 저류비와  $\gamma$ 간의 관계(off-line 저류지)

표 6. 저류지 수문특성인자간의 분석 회귀식(off-line 저류지)

| 구 분        |            | 회 귀 식                                | 비 고 |
|------------|------------|--------------------------------------|-----|
| 종속변수       | 독립변수       |                                      |     |
| $V_s(m^3)$ | $Q_a(m^3)$ | $V_s = 0.0386Q_a + 1137$             |     |
| $\alpha$   | $\gamma$   | $\alpha = -0.3005\gamma + 1.2227$    |     |
| $\alpha$   | $1-\beta$  | $\alpha = -2.8065(1-\beta) + 0.9668$ |     |
| $\gamma$   | $1-\beta$  | $\gamma = 1.2817(1-\beta) + 1.1756$  |     |
| $V_s/Q_a$  | $\alpha$   | $V_s/Q_a = -0.2222\alpha + 0.2506$   |     |
| $V_s/Q_a$  | $\gamma$   | $V_s/Q_a = 0.1147\gamma - 0.0799$    |     |

소요저류용량이 작아짐을 의미하며, 저류비와 도달시간비  $\gamma$  및 유출계수비  $\beta$ 간의 관계는 정비례의 관계를 보여주고 있고 이는  $\gamma$ 와  $\beta$ 가 증가할수록 소요저류용량이 증대됨을 의미한다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 도시화로 인한 유출총량 및 침투유량 증대에 대처하는 방안으로 설치되는 저류지의 유역특성인자와 수문특성인자들의 관계를 분석하였으며, 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 도시화 특성인자인 침투유량비  $\alpha$ 가 일정할 때  $\gamma$ 가 증가 할수록  $V_s/Q_a$ 의 비는 증가하는 양상을 보이고 있으며,  $\alpha$ 의 값이 클 경우에는 그 영향 정도가 더욱 커지나  $\alpha$ 의 값이 작을 때에는 그 영향 정도가 작았다.
2. 침투유량비  $\alpha$ 가 도달시간비  $\gamma$ 보다 저류용량에 미치는 영향이 더욱 민감함을 알 수 있었으며, 개발전-후의 유출계수비  $\beta$ 가 설계강우강도의 지역계수  $m$ 값 보다  $\alpha$ 에 미치는 영향이 작음을 알 수 있었다.
3. 사다리꼴 설계수문곡선의 형태는 강우지속기간이 저류비에 미치는 영향이 큰 것을 알 수 있었다.

4. 가상유역의 분석결과 도시화 인자  $\alpha, \gamma$ 가 유역 특성인자 유역경사, 유출계수보다 저류비에 미치는 영향이 큰 것을 알 수 있었다.
5.  $\alpha$ 와  $\gamma$  및  $\beta$ 간의 관계는 각각 반비례 관계를 보여주고 있으며  $\gamma$ 와  $\beta$ 간의 관계는 근소한 정비례의 관계를 보여주고 있다.
6. 저류비와 침투유량비  $\alpha$ 의 관계는 반비례의 관계를 보여주고 있고 저류비와 도달시간비  $\gamma$  및 유출계수비  $\beta$ 간의 관계는 정비례의 관계를 보여주고 있다.

## 감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2005년도 건설핵심기술연구개발사업(03산학연C03-04)에 의한 도시홍수재해관리기술연구사업단의 연구성과입니다.

## 참 고 문 헌

이종태, 윤세의, 이재준, 윤용남(1991), 도시화 영향을 고려한 우수지 계획모형, 한국수문학회지 제24권 제4호, pp.73~83.  
행정자치부(소방방재청)(2000~2006), 각종 개발사

업 재해영향평가서.

David P.S, Jr. and P.B. Bedient (1980). "Detention Storage for Urban Flood Control", Journal of Water Resources Planning and Management Division, ASCE, Vol.106, No.WR2, pp.413-425.

Donahue, J.R., R.H. McCuen and T.R. Bondelid (1981). "Comparison of Detention Basin Planning and Design Models", Journal of Water Resources Planning and Management Division, ASCE, Vol.107, No.WR2, pp. 385~ 400.

Gomez, M., H. Sanchez and S. Vazquez (2002). "A Simple Expert System for Initial Size Estimation of Detention Basin", Urban Drainage, 112, 110.

Guo, James C.Y. (1999). "Detention Storage Volume for Small Urban Catchments", Journal of Water Resources Planning and Management,

Vol.125, No.6, pp. 380~382.

Loganathan, V.G., J.W. Delleur and R.I. Segarra (1985). "Planning Detention Storage for Stormwater Management", Journal of Water Resources Planning and Management, Vol.111, No.4, pp. 382~398.

McCuen, R.H. (1988). "Hydrologic Analysis and Design", Prentice Hall.

Wang, Mou-Hsing, Yuh-Jin Chuang and Che-Yuan Huang (1990). "Size Sensitivity of Detention Pond for Mountain Areas", Fifth International Conference on Urban Storm Drainage, Osaka, pp. 689~694.

◎ 논문접수일 : 2006년 09월 19일

◎ 심사의뢰일 : 2006년 09월 20일

◎ 심사완료일 : 2006년 10월 11일