

도심지 소유역에 적용 가능한 우수저류조의 용량 산정에 관한 연구

A Study on the Calculation of Storage Volume of Storm-Water Detention Basins for Small Urban Catchments

김대근^{1,*} · 고영찬²

Kim, Dae Geun^{1,*} · Koh, Young Chan²

1 목포대학교 건설공학부 토목공학과

2 초당대학교 건설정보공학과

(2005년 7월 13일 논문 접수; 2005년 10월 8일 최종 수정논문 채택)

Abstract

This work is for examining a simplified equation based on the rational formula, which can easily decide storm-water detention volume in small urban catchments. The storm-water detention volume is determined by the inflow hydrograph flowing to detention basin and the outflow hydrograph discharged from the detention basin. The ratio of average outflow over the period of rainfall duration against allowable discharge was 0.5 in former simplified equation. But this research has found that the average outflow ratio depends on the storage methodology. In the case of the on-line storage method, the average outflow ratio is a function of the time of concentration of the catchments and rainfall duration, which ranged from 0.5~1.0. In the case of the off-line storage method, the average ratio is a function of peak discharge and allowable discharge except above time of concentration and rainfall duration, where its function value ranged from 1.0~2.0. When applying this equation to small catchment in Mokpo city, South Korea, we could easily calculate the relation curve between the storm-water detention volume and allowable discharge.

Key words: storm-water detention basin, rational formula, allowable discharge, peak discharge, rainfall duration, time of concentration

주제어: 우수저류조, 합리식, 허용방류량, 첨두홍수량, 강우지속시간, 도달시간

1. 서 론

도심지에서 침수문제는 시공된 하수관거의 통수능과 밀접한 관련이 있다. 강우량의 증가 또는 도시화

의 진척으로 인한 유출계수의 증가로 인해 홍수량은 점차 증가하는 추세이나, 시공된 하수관거의 통수능 증대사업은 특히 개발이 완료된 도심지에서는 매우 어려운 일이다. 이에 하수관거의 통수능을 증대시키는 대신, 적정위치에 우수저류조를 설치하여 홍수량

*Corresponding author Tel: +82-61-450-2476, FAX: +82-61-450-2476, E-mail: kdg05@mokpo.ac.kr (Kim, D.G.)

의 일부를 저류함으로써 하수관거의 홍수부하량을 경감시키는 방법이 합리적인 대안으로 대두되고 있다 (김영란 등, 2004; 문정수 등, 2005).

또한 유역관리 차원에서 도심지 저류공간의 확보에 관한 연구가 진행 중에 있는데, 이정식 등(1995)은 하류 펌프장 유수지의 부하를 경감시키기 위한 방안으로 상류에 우수저류조를 분산 배치할 것을 제안하고 그 크기와 위치에 대해 검토한 바 있다. 김영란 등(2004)은 서울시의 청계천유역을 대상으로 우수저류시설의 용량과 설치장소를 개략적으로 산정한 바 있다. 문정수 등(2005)은 신규 택지개발지구에 우수저류조를 적절히 설치함으로써 하수관거의 용량을 키우지 않으면서 경제적으로 도심지의 침수를 막을 수 있고, 신설 관거의 용량을 줄일 수 있음을 보였다. 이두진 등(2004)은 합류식 하수관거의 월류수(CSOs, Combined Sewer Overflows)에 포함된 오염부하량을 우수저류조를 이용하여 효율적으로 제거할 수 있음을 보였다. 특히 강우초기에 발생하는 우수유출수는 도심지 지표면의 초기세척현상(first flush)과 관거내 퇴적물의 재부유 등으로 인하여 청천시 하수보다 오염부하량이 높은 특성을 보이는데, 이러한 초기유출수를 우수저류조를 이용하여 효과적으로 차집, 처리할 수 있음을 보였다.

우수저류조의 용량은 유입수문곡선, 우수저류조 계획안에 대한 저류량과 방류량 관계, 하류 하수관거의 통수능에 따라 결정되는 허용방류량 등에 의해 결정된다. 실시설계 단계에서는 특히, 중규모 이상의 유역에 설치되는 우수저류조는 정확한 수문곡선의 예측과 저수지추적에 기초한 저류량과 방류량 예측에 기초하여 우수저류지 용량을 산정해야 한다. 한편 합

리식이 적용가능한 도심지 소규모 유역에서의 우수저류조 용량은 합리식에 기초한 간편식이 광범위하게 사용되고 있다(환경부, 1998; Guo, 1998; Guo, 1999; 문정수 등, 2005). 이러한 간편식은 우수저류조의 조절용량을 쉽게 구할 수 있기 때문에, 우수저류조의 계획단계에서 유용하게 이용할 수 있다.

본 연구에서는 합리식에 기초한 기존 간편식을 검토하고 일부 불합리한 점을 수정, 보완하였다. 기존 간편식과 동일한 자료를 이용하면서 보다 합리적으로 우수저류조의 용량을 산정할 수 있도록 관거내(On-line) 저류방식과 관거외(Off-line) 저류방식으로 구분하여 간편식을 수정하였으며, 이를 목포시의 소매수유역에 적용하였다.

2. 연구방법

유역의 저류효과가 적은 도심지의 소유역에 대한 수문곡선은 다음과 같은 합리식으로 산정할 수 있다.

$$Q_p = \frac{1}{3.6} CIA \quad (1)$$

여기서 Q_p 는 첨두홍수량(m^3/sec), C 는 유출계수, A 는 유역면적(km^2), I 는 강우강도(mm/hr)로 강우지속시간(분)의 함수이다. 강우지속시간(t_d)이 유역의 도달시간(t_c)보다 긴 경우에는, 시간의 추이에 따라 홍수량이 선형으로 증가하다 t_c 에서 첨두홍수량에 도달하여 이후 t_d 까지는 일정한 첨두홍수량을 유지하고 그 이후에는 홍수량이 선형으로 감소하는 수문곡선을 그린다(Fig. 1 참조). 계획단계에서는 우수저류조와 유출부의 상세설계가 없기 때문에 유출수문곡선을 개

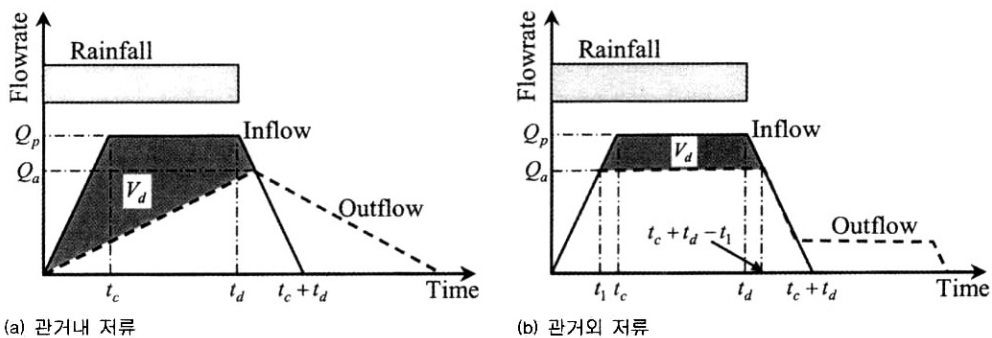


Fig. 1. 우수저류조 용량을 결정하는 방법.

략적으로 추정할 수밖에 없는데, 관거내 저류인 경우에는 선형으로 증가하는 유출수문곡선을 사용할 수 있으며(환경부, 1998; Guo, 1999) 관거외 저류인 경우에는 하류 하수관거의 허용유량(저류조의 허용방류량), Q_a 이상은 횡월류 등으로 우수저류조에 차집, 저류되었다가 강우가 멈춘 후에 배수하는 것으로 가정할 수 있다.

우수저류조의 용량은 Fig. 1의 유입수문곡선과 유출수문곡선의 차를 적분함으로써 산정할 수 있는데, 저류조의 용량이 최대가 되도록 강우지속시간(임계지속시간)을 결정하게 된다. 임계지속시간의 결정과정은 3장의 적용사례(Fig. 3 참조)에서 설명하였다. 강우지속시간이 t_d 인 강우사상에 대해 우수저류조의 용량, V_d 는 Fig. 1에 의하면 다음과 같이 산정할 수 있다.

$$V_d = 60 \left(Q_p \cdot t_d - \frac{Q_a}{2} (t_c + t_d) \right) \text{ for On-line} \quad (2a)$$

$$V_d = 60 (Q_p \cdot t_d - Q_a (t_c + t_d - t_1)) \text{ for Off-line} \quad (2b)$$

$$t_1 = \frac{Q_a}{Q_p} t_c \quad (2c)$$

우수저류조의 용량을 산정하기 위한 기존 간편식은 통상 FAA(Federal Aviation Administration)방법으로 알려진 다음 식을 사용한다(Guo, 1999).

$$V_d = 60 (Q_p \cdot t_d - Q_m \cdot t_d) \quad (3)$$

식 (3)에서 Q_m 은 강우지속시간동안 우수저류조의 평균유출량으로 하류에 설치된 하수관거의 통수능에 의해 결정되는 허용방류량, Q_a 의 일정비율로 표현된다.

$$Q_m = \alpha \cdot Q_a \quad (4)$$

환경부(1998)와 문 등(2005)은 식 (4)에서 α 의 값으로 0.5를 사용하여 우수저류조의 용량을 산정하고 있다.

식 (3)과 식 (2)를 비교하면 다음과 같이 α 를 산정할 수 있다.

$$\alpha = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{t_c}{t_d} \right) \text{ for On-line, } t_d \geq t_c \quad (5a)$$

$$\alpha = 1 + \frac{t_c}{t_d} - \frac{Q_a}{Q_p} \frac{t_c}{t_d} \text{ for Off-line, } t_d \geq t_c \quad (5b)$$

우수저류조의 형식이 관거내 저류방식인 경우 α 는 유역의 도달시간과 강우지속시간의 함수이며, 관거외 저류방식인 경우 α 는 유역의 도달시간과 강우지속시간 외에도 침투홍수량과 허용방류량의 함수로 표현된다. 환경부(1998)에서 제시하는 간편식은 관거내 저류방식에서 유역의 도달시간이 강우지속시간에 비해 무시할만한 수준일 때 적용 가능함을 알 수 있다. 관거내 저류방식의 경우 α 는 최소 0.5에서 최대 1 사이의 값을 가지며(Guo, 1999), 관거외 저류방식의 경우 α 는 최소 1에서 최대 2 사이의 값을 가진다.

3. 적용사례

앞의 식 (3)과 (5)를 적용하여 우수저류조의 용량을 산정해 보았다. 대상유역은 목포시 남해배수분구에 속하는 소규모 유역이다(Fig. 2 참조). 남해배수분구의 도심지 대부분은 방조제를 쌓아 조성한 매립지로, 도심지의 표고가 고조시에는 해수면보다 낮은 실정이다. 특히 2, 3호 광장의 지반고는 표고 1.0m에도 미치지 못하고 있어(대조시 평균고조위는 표고 1.911m) 고조시 자연배수는 불가능한 실정이다. 남해배수분구에 내린 강우는 하류의 입암천과 유수지로 집수되며, 고조시에는 자연배수가 불가능하므로 남해배수펌프장에서 강제 배수하고 있다(목포시, 2005). 남해배수분구의 고지배수로는 고지대의 유출량을 하류 입암천으로 직방류 하도록 설치되었는데(목포시, 1998; 목포시, 2000), 관거의 통수능 부족으로 2004년 태풍 민들레 내습시 3호광장 일대의 침수원인이 되었다. 이에 목포시에서는 철도 폐선부지를 활용하여 소유역 1에 우수저류조를 설치하여 하수관거의 홍수부하량을 저감시킬 계획이다(목포시, 2005). 소유역 1의 유역면적은 0.51km²이며, 유역의 평균경사는 0.112m/m이다. 목포시 도시계획도에 의하면 해당 소유역은 주거지역 57%와 녹지(산악) 43%로 이루어져 있다. 주거지역의 유출계수로 0.9, 녹지의 유출계수

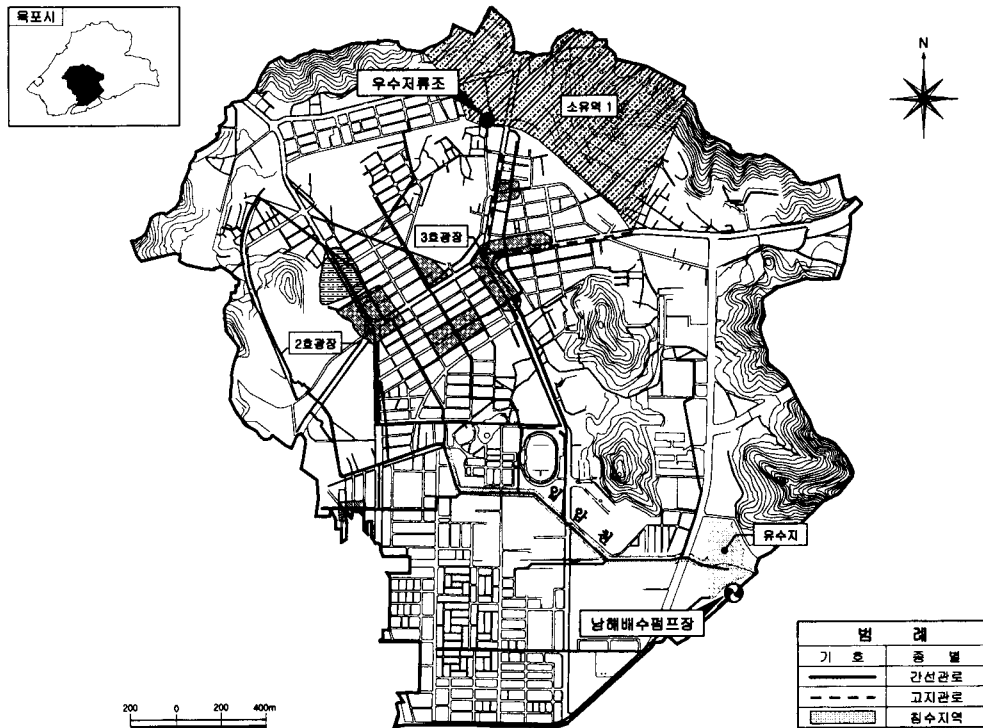


Fig. 2. 목포시 남해배수분구 현황도.

Table 1. 목포지역에 적용 가능한 확률강우강도식의 상수

구분	a	b	c	d	n
단기 (강우지속시간 ≤ 60분)	140.3045	74.9801	-0.0001	0.1289	-0.1577
장기 (강우지속시간 > 60분)	350.2751	76.0617	1.1267	0.1034	0.3669

로 0.6을 적용하면 소유역 1의 유출계수는 약 0.8이 된다. 소유역 1의 도달시간은 유입시간과 유하시간의 합으로 산정하였다. 소유역의 평균 유입시간으로 사용되고 있는 7분(환경부, 1998)과 하수관거에서의 유하시간 3분(관거연장 400m, 평균유속 2m/sec 적용)을 적용하면 도달시간은 약 10분이 된다.

목포기상대의 확률강우강도식은 다음과 같은 건설교통부(2000)의 자료를 이용하였다.

$$I(t_d, T) = \frac{a + b \cdot \ln(T/t_d^n)}{c + d \cdot \ln(\sqrt{T}/t_d) + \sqrt{t_d}} \quad (6)$$

여기서 T 는 재현기간(년)이며, a, b, c, d, n 은 지역별로 산정된 상수로서 목포지역에 적용 가능한 상수는 Table 1과 같다.

우수저류조의 허용방류량, Q_d 가 8m³/sec인 경우,

50년빈도 강우에 대해 강우지속시간에 따른 우수저류조의 용량을 식 (3)을 이용하여 산정하였으며, 식 (5)를 이용하여 α 를 산정하였다. 산정결과는 Fig. 3과 같다. Fig. 3(a)에서 우수저류조의 용량은 강우지속시간에 따라 변하는데, 관거내 저류방식의 경우 51분, 관거외 저류방식의 경우 18분 강우지속시간의 강우사상이 발생할 때 우수저류조의 용량은 최대가 되며, 최대용량은 각각 8,823m³과 3,241m³으로 산정되었다. Fig. 3(b)에서 강우지속시간이 증가함에 따라 α 의 값은 관거내 저류방식의 경우는 0.5, 관거외 저류방식의 경우는 1.0으로 점근하고 있음을 알 수 있다. 환경부(1998)의 간편식에서는 α 의 값으로 0.5를 사용하므로 강우지속시간이 짧은 사상에 대해서는 우수저류조에서의 유출량을 과소 산정하게 되므로 우수저류조의 용량은 과대 산정하게 된다.

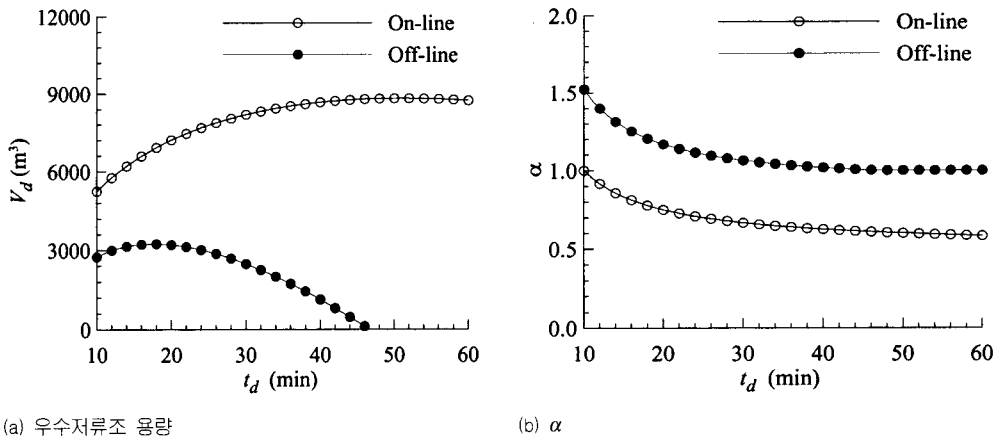


Fig. 3. 강우지속시간의 변화에 따른 우수저류조 용량과 α 의 변화

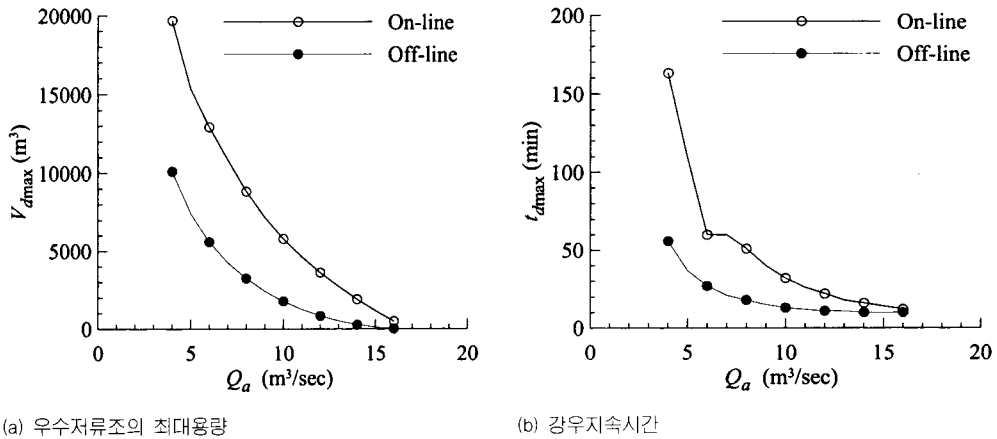


Fig. 4. 허용방류량의 변화에 따른 우수저류조의 최대용량과 임계지속시간의 변화.

Fig. 4는 우수저류조의 허용방류량, Q_a 에 따른 우수저류조의 최대용량과 임계지속시간을 도시한 것이다. Q_a 가 증가함에 따라 우수저류조의 용량과 최대용량을 유발하는 강우의 임계지속시간은 감소하는 경향을 보인다. 하수관거와 우수저류조의 조합으로 도심지의 배수체계를 계획할 때 Fig. 4와 같은 그림은 경제적인 계획안 수립에 도움이 될 것으로 판단된다.

4. 결 론

도심지 소유역에서의 우수저류조 용량을 결정할 수 있는 합리식에 바탕을 둔 간편식을 목포시 남해배수분구에 속하는 소비수구역에 적용하였다. 우수저류

조의 용량은 저류조로 유입하는 수문곡선과 저류조에서 유출되는 수문곡선에 의해 결정되는데, 기존에 사용하던 간편식은 강우지속시간동안의 평균유출량으로 허용방류량의 반을 일괄적으로 사용해 왔으나, 강우의 지속시간이 소유역의 도달시간에 비해 같거나 긴 경우 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 우수저류조의 허용방류량에 대한 강우지속시간동안의 평균유출량의 비는 저류방식(관거내 저류 또는 관거외 저류)에 따라 달라진다.

2) 관거내 저류방식의 경우 평균유출량의 비는 소유역의 도달시간과 강우지속시간의 함수로서 0.5에서 1.0 사이의 값을 가진다.

3) 관거외 저류방식의 경우 평균유출량의 비는 소

유역의 도달시간과 강우지속시간뿐만 아니라 침투홍수량과 허용방류량의 합수로서 1.0에서 2.0 사이의 값을 가진다. 하지만 침투홍수량은 강우지속시간의 함수이므로 새로운 변수가 도입되지는 않는다.

4) 이상의 간편식을 목포시의 배수유역에 적용하여 우수저류조의 용량과 허용방류량간의 관계곡선을 쉽게 구할 수 있었다. 하수관거와 우수저류조의 조합으로 도심지의 배수체계를 계획할 때, 본 연구는 경제적인 계획안 수립에 도움이 될 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 교육인적자원부의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(R05-2003-000-10069-0)

참고문헌

- 건설교통부 (2000) 1999년도 수자원관리기법개발연구조사 보고서, 제1권 한국확률강우량도 작성.
- 김영란, 김진영, 황성환 (2004) 강우시 도시 하수관거 통수 능부족 해소를 위한 우수저류시설의 적용, *상하수도학회지*, **18**(3), pp. 343-350.
- 목포시 (1998) 2, 3호광장일대 내수침수방지시설 기본 및 실시설계 보고서.
- 목포시 (2000) 2, 3호광장일대 내수침수방지시설공사 감리 최종보고서.
- 목포시 (2005) 목포시 지역방재계획 학술연구용역(폭우·해일 침수대책) 보고서.
- 문정수, 한명실, 기동원, 한무영 (2005) 하수관거 침수방지를 위한 빗물 저류조 용량 설계, *한국물환경학회·대한상하수도학회 공동총계학술발표회 논문집*, pp. 420-423.
- 이두진, 윤현식, 선상운,곽수동, 이동훈 (2004) 강우유출 모델을 이용한 합류식 하수관거 월류수 저류시설의 용량결정에 관한 연구(II) — 저류조 설계를 중심으로, *대한환경공학회지*, **26**(3), pp. 370-380.
- 이정식, 이재준, 김규호, 오석호 (1995) 도시유역에서 지체 저류시설의 수문학적 설계에 관한 연구, *한국수자원학회지*, **28**(3), pp. 159-173.
- 차희원, 장종경, 홍철의, 김경현 (2005) SWMM모형을 이용한 도심지역의 우수저류시설 적정용량 산정방안에 대한 연구, *한국물환경학회·대한상하수도학회 공동총계학술발표회 논문집*, pp. 563-566.
- 환경부 (1998) *하수도시설기준*.
- Guo, J.C.Y. (1998) Surface-Subsurface model for trench infiltration basins, *J. of Water Resources Planning and Management*, **124**(5), pp. 280-284.
- Guo, J.C.Y. (1999) Detention storage volume for small urban catchments, *J. of Water Resources Planning and Management*, **125**(6), pp. 380-382.