Journal of Korean Society of Water and Wastewater
Vol.22. No2. pp. 195-203 Apr. 2008

월류위험도 기반 침투형저류지 설계를 위한 평균무강우지속시간도 작성

Distribution of average intervent times between adjacent rainfall events for overflow risk-based design of storm-water infiltration basin

김대근* · 박선중

Kim, Dae Geun* · Park, Sun Jung

목포대학교 공과대학 건설공학부 토목공학전공

(2008년 1월 8일 접수; 2008년 3월 10일 채택)

Abstract

This study collected the latest 30-year (1976~2005) continuous rainfall data hourly recorded at 61 meterological observatories in Korea. The continuous rainfall data was divided into individual rainfall events. In addition, distribution charts of average intervent times between adjacent rainfall events were created to facilitate the application to the overflow risk-based design of storm-water infiltration basin. This study shows that the one-parameter exponential distribution is suitable for the frequency distribution of the average intervent times for the domestic rainfall data. Distribution charts of the average intervent times were created for 4 hour and 6 hour of storm separation time, respectively. The inland Gyeongsangbuk-do and Western coastal area had relatively longer average intervent times, whereas Southern coastal area and Jeju-do had relatively shorter average intervent times.

Key words : continuous rainfall, individual rainfall, overflow risk, storm-water infiltration basin, exponential distribution, distribution chart of average intervent times

주 제 어 : 연속강우, 독립강우, 월류위험도, 침투형저류지, 지수함수분포, 평균무강우지속시간도

1. 서 론

도심지에서 우수에 의한 침수문제를 해결하기 위하여 적정위치에 우수저류지(storm-water detention storage basin)를 설치하여 홍수량의 일부를 저류함으로써 하수관거의 홍수부하량을 경감시키는 방법이 합리적인 대안으로 대두되고 있다(김영란 등, 2004; 문정수 등, 2005; 김대근과 고영찬, 2005). 또한 강우초기에 발생하는 우수유출수는 도심지 지표면의 초기세척현상(first flush)과 관거 내 퇴적물의 재부유 등으로 인하여 오염부하량이 높은 특성을 보이는데, 이러한 초기유출수를 우수저류지를 이용하여 효과적으로 차집, 처리할 수 있는 것으로 알려져 있다(이두진 등, 2004). 즉, 우수저류지의 기능은 치수관리 측면의 기능과 더불어 비점오염원 처리와 연계되어 수질관리 측면의 기능

*Corresponding author Tel: +82-61-450-2476, FAX: +82-61-452-6468, E-mail: kdg05@mokpo.ac.kr (Kim, D.G.)

이 점차 강조되고 있는 실정이다.

수질관리를 위한 저류지는 통상 확률강우량으로 표현되는 극한강우에 대해 설계하는 것이 아니고, 연속강우기록으로부터 강우를 독립강우사상으로 분리하고 각 독립강우사상의 일정부분을 저류 및 차집하도록 설계하는 것이 일반적이다(Guo and Urbonas, 1996; Guo and Urbonas, 2002; Guo and Hughes, 2001). 미국의 강우자료 분석에 의하면, 독립강우사상 중 5% 이내의 사상만이 2년빈도 이상의 강우강도를 보이는 것으로 알려져 있다(Guo and Urbonas, 1996). 즉, 대부분의 강우사상은 규모가 작기 때문에 저류지의 용적이 과도하게 큰 경우에는 배제시간이 짧게 되어 오염부하량을 차집하는 기능이 도리어 떨어질 수 있다는 점을 감안하면 확률강우량에 근거한 저류지 설계는 적절치 않음을 의미한다. 즉, 도심지에서 강우시 비점오염원의 관리를 위해서는 빈번히 발생하는 소규모의 강우사상으로부터 발생하는 부하에 초점을 맞추어야 한다(김대근과 박선중, 2008).

다양한 우수저류지의 형태 중, 침투형저류지(storm-water infiltration basin)는 강우에 의한 유출수를 저류지에 저류하고, 저류된 우수는 저류조 바닥 토양의 침투능(infiltration rate)을 이용하여 대수층과 일대의 토양층으로 시간을 가지고 배수하는 시스템이다. 따라서 침투형저류지의 저류용량의 결정은 소유역면적, 유출계수와 같은 유역특성정보, 강우량과 같은 기상특성정보 외에도 토양의 침투능, 공극률, 지하대수층까지의 깊이와 같은 토양특성정보까지 고려되어야 한다(Guo and Hughes, 2001).

Guo and Urbonas(1996)는 강우-유출관계는 합리식에 바탕을 두고 저류지에서의 배제유량은 배제시간 동안 일정하다는 가정 하에 간편하게 우수저류지의 최적 용적을 결정하는 방법을 제안하였으며, 주어진 저류지용적과 배제시간에 대해 독립강우사상이 저류지를 월류할 위험도을 산정하고 이를 이용하여 저류지용적을 결정하는 방법을 제시하였다. Guo and Urbonas(2002)는 1996년의 연구에서 독립강우사상의 강우량 분포를 지수함수분포(exponential distribution)로 적합시켜, 개개의 강우사상을 분석하지 않고 강우량의 확률분포함수를 이용하여 월류위험도 곡선을 작성하는 방법을 제시하였다. 독립강우사상의 강우량 분포를 지수함수분포로 적합시키기 위해서는 연속강우기록으로부터 독립강우사상을 분리하고 독립강우사상의 평균강우량을 산정할 필요가 있다. 미국의 경우, 미국 전역에 대해 독립강우사상의 평균강우량도를 작성하여 월류위험도에 기반한 저류지 설계에 활용하고 있다. Guo and Hughes(2001)는 독립강우사상간 무강우지속시간을 분석하여 무강우지속시간의 분포는 지수함수분포가 적합함을 보이고 이를 침투형저류지 설계에 활용하였다. 국내의 경우 조덕준(2006)은 Guo and Urbonas (2002)의 방법을 서울시에 위치하는 소배수구역에 적용한 바 있으며, 김대근과 박선중(2008)에 의해 월류위험도 기반 우수저류지 설계시 손쉽게 활용할 수 있는 독립강우사상에 대한 평균강우량도가 작성된 바 있다. 하지만 침투형저류지에 대한 연구는 거의 전무한 실정이며, 침투형저류지 설계시에 필요한 무강우지속시간에 대한 분석 역시 전무한 실정이다.

본 연구에서는 월류위험도 기반 침투형저류지 설계의 이론을 정리하고, 국내 61개 기상관측소에서 시간단위로 측정한 최근 30년간(1976년~2005년)의 연속강우기록을 수집하였으며, 이를 독립강우사상으로 분리하여 월류위험도 기반 침투형저류지 설계에 손쉽게 활용할 수 있도록 독립강우사상간 무강우지속시간도를 작성하였다.

2. 월류위험도 기반 침투형저류지 설계

월류위험도에 기반한 저류지 설계를 위해서는 20~30년 정도의 연속강우자료를 독립강우사상으로 분리하여야 한다. 연속강우자료에서 독립강우사상을 분리하는 기준으로 SST(storm separation time)를 도입하는데, 이는 연속된 강우사상을 각각의 독립된 강우사상으로 분리하기 위한 무강우지속시간을 의미한다. Driscoll 등(1989)은 SST로 6시간을 제시하고 이를 바탕으로 미국 전역의 평균강우량도를 작성한바 있으며, USEPA(1986)도 6시간을 SST로 제시하고 있다. 한편 조덕준(2006)은 서울지역에 대해 4시간을 SST로 제시한 바 있다. SST를 기준으로 분리된 독립강우사상 중에서, 지면저류와 초기침투량을 고려하면 2.5mm이하

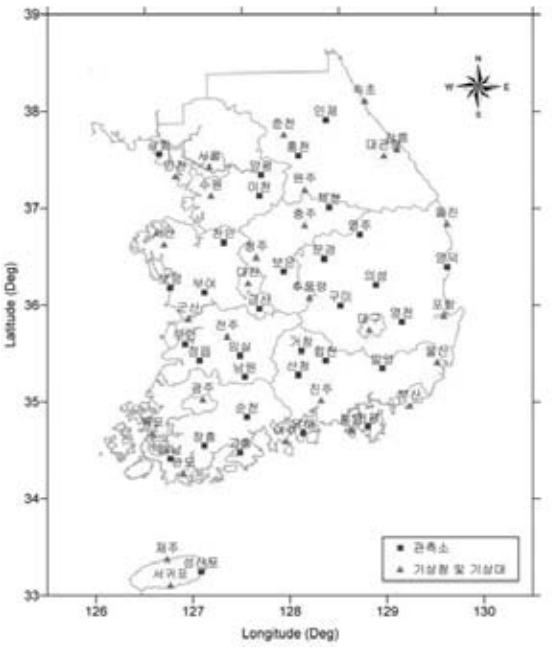
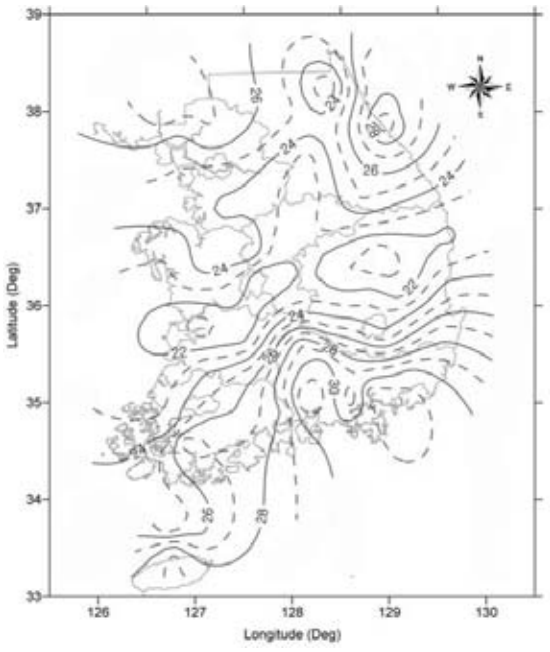
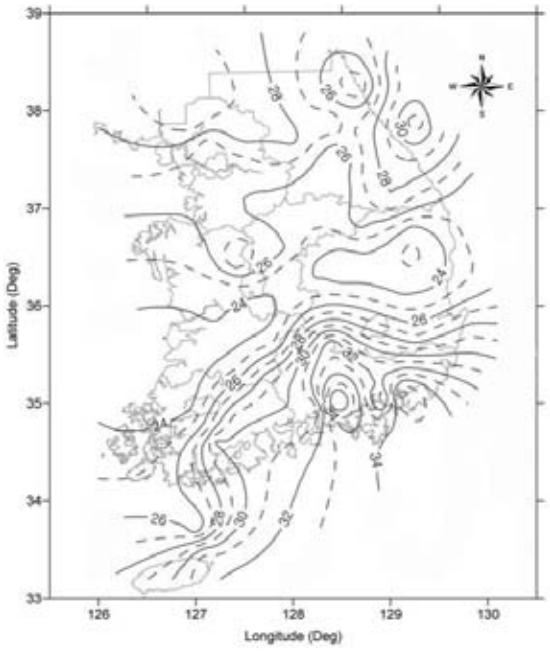


Fig. 1. 강우자료 분석에 사용한 기상관측소.

상하수도학회지, 논문
22권 2호, pp. 195-203, 4월. 2008



(a) STT = 4시간



(b) STT = 6시간

Fig. 2. 독립강우사상의 평균강우량도.

의 강우는 직접유출에 기여하지 못하기 때문에 일반적으로 강우사상에서 제외시키므로(Guo and Urbonas, 1996, 2002), 본 연구에서도 2.5mm 이하의 강우사상은 무강우로 처리하였다. 김대근과 박선중(2008)은 국내 61개 기상관측소의 30년간(1976년~2005년) 연속 측정한 시간강우량을 이용하여(Fig. 1 참조), SST를 증가시키며 강우사상의 통계적 특성을 분석하고, SST 4시간과 6시간에 대해 산정한 독립강우사상의 평균강우량을 도시하였다(Fig. 2 참조).

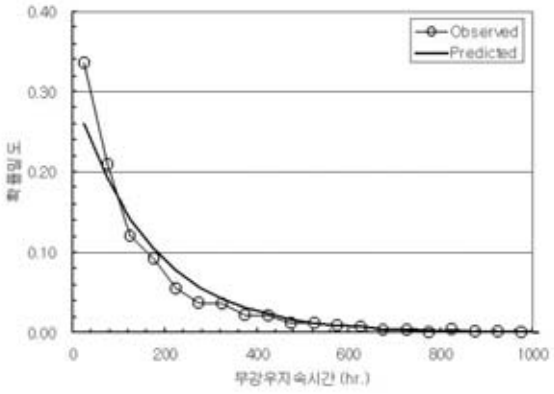
독립강우사상의 강우량과 독립강우사상간의 무강우지속시간의 확률분포는 다음과 같은 지수함수분포가 적합한 것으로 알려져 있다(김대근과 박선중, 2008; Wanielista and Yousef, 1993; Guo and Hughes, 2001).

$$f(D) = \frac{1}{D_m} e^{-D/Dm} \quad (1)$$

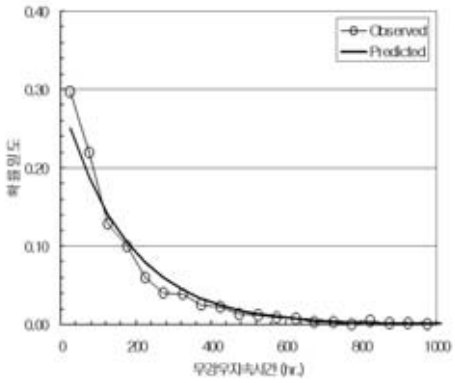
$$f(T) = \frac{1}{T_m} e^{-T/Tm} \quad (2)$$

여기서 , $f(D)$, $f(T)$는 각각 강우량과 무강우지속시간 D, T의 확률밀도, D_m, T_m은 각각 평균강우량과 평균무강우지속시간이다.

국내 자료를 이용한 강우량의 지수함수분포 적합성은 김대근과 박선중에(2008)에 의해 검토된 바 있다. 이들은 도시지역에서 비점오염원 관리를 위한 저류지 설계에 활용되는 SST는 통상 4~6시간이 적절함을 보였다. 서울과 목포기상

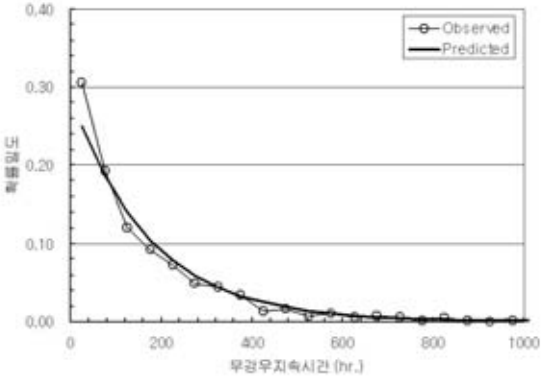


(a) STT = 4시간

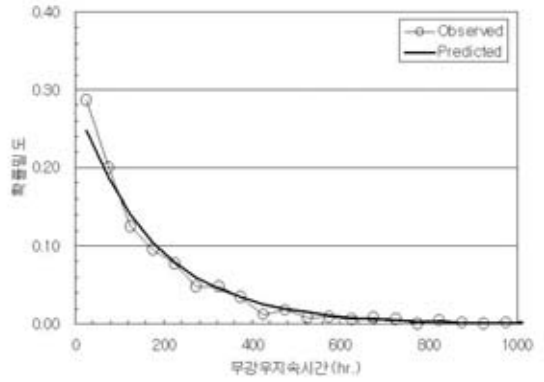


(b) STT = 6시간

Fig. 3. 무강우지속시간의 확률밀도함수 (서울기상대).



(a) STT = 4시간



(b) STT = 6시간

Fig. 4. 무강우지속시간의 확률밀도함수 (목포기상대).

대 자료에 대한 SST 4시간과 6시간에 대한 무강우지속시간에 대한 확률밀도함수는 **Fig. 3, Fig. 4**와 같다. 각 계급은 50시간을 기준으로 구분하였으며 각 계급별 확률은 전체 발생도수에서 각 계급구간에 포함되는 도수의 비로 정의된다. 지수함수분포는 연속강우자료에서 획득한 독립강우사상의 무강우지속시간분포를 잘 적합시키고 있음을 알 수 있다.

강우시, 침투형저류지 바닥토양의 함수량(moisture content)은 점차 상승하며, 침투수가 지하수면에 도달하면서 지하수위는 상승하게 되는데, 확산이론(diffusion theory)에 의한 토양에서의 물의 흐름을 지배하는 방정식은 다음과 같다(Guo and Hughes, 2001).

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{\partial f}{\partial z} = 0 \qquad (3)$$

여기서, θ는 토양의 함수량, f는 토양의 침투능(mm/hr.), t는 시간, z는 연직좌표이다. **Fig. 5**는 침투형저류지에서 지하수층으로의 배수과정을 개념적으로 도시한 것이다. **Fig. 5**의 ABCD를 검사체적으로 하고, 소유역에서의 강우-유출을

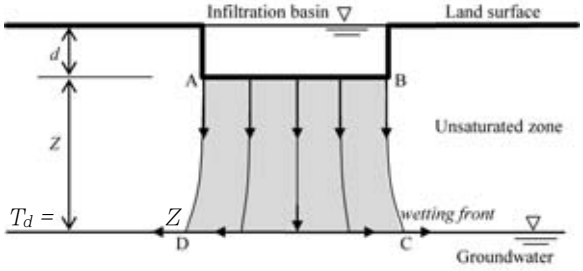


Fig. 5. 침투형저류지에서 지하수층으로의 배수과정.

지배하는 시간은 토양의 침투현상를 지배하는 시간에 비해 무시할 만하고, 배수시간 동안에 침투형저류지 바닥의 토양이 완전히 포화되면서 침투형저류지에 저류된 유량을 완전히 배제시킨다는 가정 하에, 식 (3)을 이산화하여 배수시간을 구하면 다음과 같다.

$$\frac{(\theta_s - \theta_o)}{f} \qquad (4)$$

여기서, θ_s, θ_o 는 각각 토양의 포화함수량과 초기함수량이며, Z는 침투형저류지 바닥과 지하수면 사이의 거리이다. 식 (4)에서 배수시간은 토양의 저류능력에 비례하고, 토양의 침투능에 반비례함을 알 수 있다. 침투형저류지 바닥 토양의 저류능력, V_s 는 다음과 같다.

$$V_S = Z(\theta_s - \theta_o) A_O \qquad (5)$$

여기서 A_O는 침투형저류지의 평면넓이다.

침투형저류지의 설계저류용량(design storage volume), 는 강우-유출관계를 합리식으로 근사화하면 다음과 같이 산정할 수 있다.

$$V_o = AR_o = CA(D_o - D_i) \qquad (6)$$

여기서 A는 소유역면적, R_o는 설계유출고, C 는 유출계수, D_o와 D_i 는 각각 설계강우량과 초기손실강우량이다. 식 (5)의 토양의 저류능력은 식 (6)의 설계저류용량보다는 커야 하므로 침투형저류지의 면적과 깊이, d는 다음을 만족해야 한다.

$$A_O \geq \frac{CA(D_o - D_i)}{Z(\theta_s - \theta_o)} \qquad (7a)$$

$$d \geq Z(\theta_s - \theta_o) \qquad (7b)$$

식 (7)의 제원을 가지는 침투형저류지는 설계강우량 이상의 강우에 대해서는 월류하게 되며, 설계강우량 이하의 강우

상하수도학회지, 논문
22권 2호, pp. 195-203, 4월. 2008

라 하더라도, 침투형저류지의 배수가 완료되지 않은 상태에서는 월류할 가능성이 있다. 침투형저류지의 배수시간은 통상 2~3일 정도를 채택하는데(Guo and Hughes, 2001), 미국 뉴욕주의 설계지침(Center for Watershed Protection, 2001)에서는 2일을 기준으로 침투형저류지를 설계하고 있다.

침투형저류지가 가득 찬 초기상태에서 배수진행시간 τ동안의 침투를 통한 배수용량 $V(\tau)$와 단위유역면적당 $f_V(\tau)$배수용량 는 다음과 같다.

$$V(\tau) = A_o f\tau \qquad \text{for } \tau < T_d \qquad (8a)$$

$$f_v(\tau) = \frac{A_o}{A} f_\tau \qquad \text{for } \tau < T_d \qquad (8b)$$

침투형저류지에서 배수가 진행되는 동안에 강우에 의해 저류지가 월류하게 될 확률 $R_d(\tau)$는 강우가 τ 와 T_d사이에 발생하면서 강우에 의한 유출고가 $f_V(\tau)$를 초과하는 경우에 발생하므로 다음과 같이 산정할 수 있다.

$$R_d(\tau) = P(\tau \le t \le T_d) \cdot P(f_V(\tau) \le R \le \infty) \quad \text{for } 0 \le \tau \le T_d \quad (9)$$

배수가 완료된 이후에는 저류지의 설계유출고 이상의 강우가 발생하는 경우에 월류가 발생하므로 그 확률 $R_e(\tau)$는 다음과 같이 산정할 수 있다.

$$R_e(\tau) = P(T_d \le t \le \infty) \cdot P(R_o(\tau) \le R \le \infty) \text{ for } T_d \le \tau \le \infty \qquad (10)$$

총월류위험도는 식 (9)와 (10)의 합이며, 식 (1), (2)의 누가확률(cumulative probability)과 식 (6)을 이용하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$R_t(\tau) = R_d(\tau) + R_e(\tau) = \{e^{-(\tau/Tm)} - e^{-(Td/Tm)}\} k e^{-l(Ao/A)(f\tau/CDm)\}} + e^{-(Td/Tm)} k e^{-(Ro/CDm)} \qquad (11)$$

여기서 k는 평균강우량과 초기손실에 의해 결정되는 상수로 다음과 같다.

$$k = e^{-Di/Dm} \qquad (12)$$

식 (11)에서 총월류위험도는 τ=0, 즉 침투형저류지가 가득 채워진 상태에서 가장 높고 $\tau \ge T_d$, 즉 침투형저류지의 배수가 완료된 상태에서 가장 낮다. 식 (11)에서 $R_d(\tau)$는 $\tau \le T_d$ 인 경우에만 의미를 가지며, 그 이외에는 0이다. 한편 전체 유출량 중 침투형저류지에서 차집, 처리할 수 있는 유출량의 비율인 포착률(runoff volume capture rate), $C_o(\tau)$ 은 월류위험도 식 (11)의 여집합으로 다음과 같다.

$$C_O(\tau) = 1 - R_t(\tau) \qquad (13)$$

식 (13)의 포착률은 τ의 함수로, $C_o(\tau \le T_d)$는 침투형저류지의 배수 중의 포착률을 의미하며 $C_o(\tau \ge T_d)$는 배수가 완료된 이후의 포착률로 다음과 같다.

$$C_o(\tau \ge T_d) = 1 - e^{-(Td/Tm)} k e^{-(Ro/CDm)} \qquad (14)$$

목포지역의 기상자료를 이용하여 가상유역에 대한 침투형저류지의 월류위험도를 산정하였다. 침투형저류지 설계를 위한 소유역특성, 토양특성 및 기상특성은 **Table 1**과 같다. 유역특성과 토양특성은 가상의 자료이며, 실제 설계시에는 현장조사 및 시험을 통해 산정해야 한다. 기상특성에서 평균무강우지속시간은 다음 장에서 산정한 결과를 이용하였으며, 평균강우량과 k는 김대근과 박선중(2008)의 결과를 이용하였다. 여기서 사용한 기상특성 관련 자료는 SST가 4시간인 경우의 자료이다.

Table 1. 월류위험도 산정을 위한 자료

구 분		값
유역특성	유역면적, A	0.5km^2
	유출계수, C	0.7
토양특성	초기함수량, θ_o	0.10
	포화함수량(공극률), θ_s	0.35
	침투능, f	20mm/hr.
	토양깊이, Z	4m
기상특성	평균무강우지속시간, T_m	174.2hr.
	평균강우량, D_m	22.6mm
	k	0.895

식 (4)에 의해 배수시간은 50시간이다. 침투형저류지의 설계유출고에 따른 월류위험도를 배수진행시간에 대해 **Fig. 6**에 도시하였다. 침투형저류지의 설계유출고(설계저류용량)을 증대시키면 월류위험도는 감소하며, 배수진행시간이 증가함에 따라 월류위험도는 감소하며 배수시간 이상에서는 일정한 월류위험도에 도달하게 된다. **Fig. 7**은 침투형저류지의 설계저류용량에 따른 포착률의 관계이다. 침투형저류지의 설계저류용량을 증대시킬수록 포착률은 증가하는데, 그 증가율은 점차 감소하는 경향을 보인다. 즉, 포착률을 높일수록 필요한 설계저류용량은 기하급수적으로 증가하므로 유역의 수질관리 목표에 적합하도록 경제성을 감안하여 포착률을 결정하는 것이 필요하다. 특정유역의 수질관리의 관점에서 적정한 포착률을 설정하면 그에 대응하는 침투형저류지의 설계용량은 **Fig. 7**에 의해 쉽게 결정할 수 있다. 단, **Fig. 6**과 **Fig. 7**은 합리식이 적용 가능한 소규모 유역에 적용 가능하며, 수질관리용 침투형저류지의 사전 계획단계에 활용 가능하다.

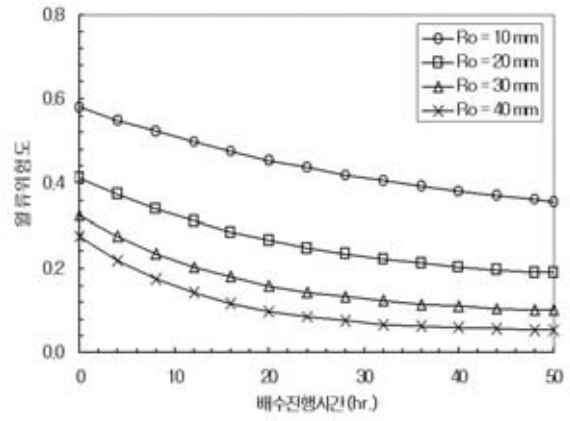


Fig. 6. 배수진행시간에 따른 월류위험도.

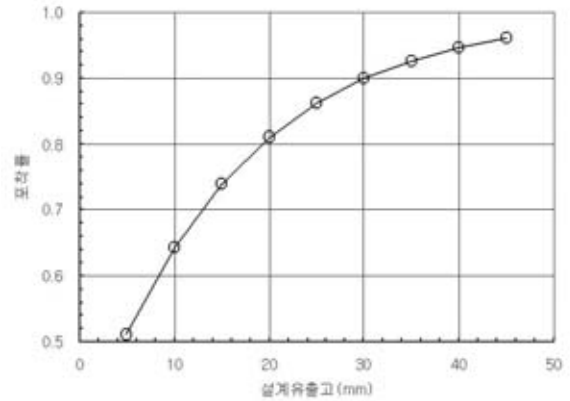
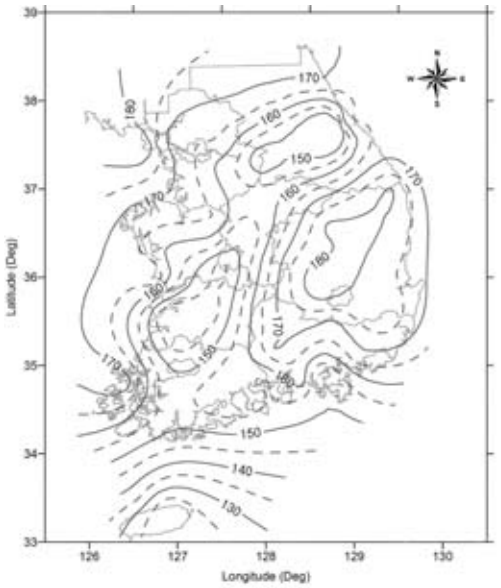
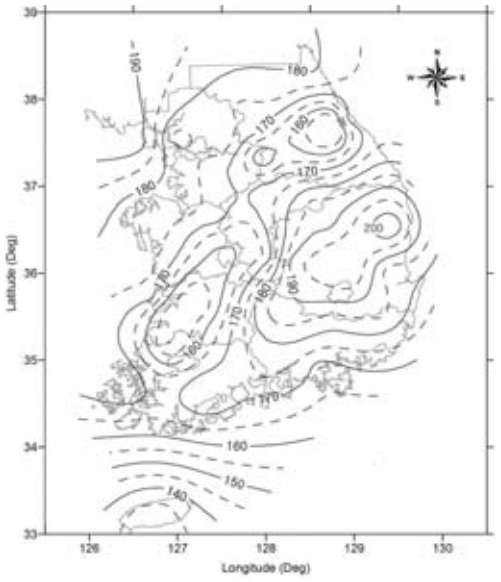


Fig. 7. 설계저류용량에 따른 포착률.



(a) STT = 4시간



(b) STT = 6시간

Fig. 8. 독립강우사상간 평균무강우지속시간.

3. 독립강우사상간 평균무강우지속시간도 작성

월류위험도 기반 침투형저류지 설계에 대해 2장에서 기술하였다. 월류위험도를 바탕으로 침투형저류지를 설계하기 위한 기본자료는 해당 유역의 유역특성과 침투형저류지 바닥의 토양특성 및 기상특성과 관련된 자료이다. 유역특성과

Table 2. 강우관측소별 무강우지속시간의 통계 특성

지점	관측	SST = 4시간				SST = 6시간.			
번호	지점	발생도수	평균(hr)	표준편차	왜곡도	발생도수	평균(hr)	표준편차	왜곡도
090	속초	1409	171.2	289.5	7.4	1331	179.7	294.2	7.3
100	대관령	1706	133.4	280.9	11.8	1618	138.7	285.5	11.7
101	춘천	1461	167.3	278.9	7.7	1401	173.4	278.8	7.9
105	강릉	1467	163.5	273.2	7.6	1393	170.7	277.2	7.6
108	서울	1477	165.4	285.5	7.9	1402	173.0	287.9	7.9
112	인천	1334	184.5	307.6	7.2	1282	190.8	310.3	7.2
114	원주	1691	144.4	190.6	3.7	1559	154.5	190.5	3.8
115	울릉도	1924	123.8	203.1	10.2	1767	132.4	207.8	10.2

상하수도학회지, 논문
22권 2호, pp. 195-203, 4월. 2008

지점	관측	SST = 4시간				SST = 6시간.			
번호	지점	발생도수	평균(hr)	표준편차	왜곡도	발생도수	평균(hr)	표준편차	왜곡도
119	수원	1446	169.6	299.1	8.0	1370	177.5	302.1	8.1
127	충주	1544	157.1	307.0	8.5	1391	171.7	312.6	8.6
129	서산	1454	168.8	286.0	8.3	1374	176.8	290.0	8.4
130	울진	1344	181.2	291.0	6.8	1267	190.8	294.5	6.9
131	청주	1484	164.8	284.4	7.8	1409	172.1	286.2	7.9
133	대전	1549	157.2	272.1	8.2	1489	162.2	273.0	8.3
135	추풍령	1500	162.1	279.8	8.0	1459	165.2	278.8	8.2
138	포항	13841	75.6	273.5	6.2	1324	182.2	276.5	6.2
140	군산	1448	169.3	275.7	8.2	1390	174.5	276.6	8.4
143	대구	1330	185.1	323.9	6.6	1255	194.8	329.2	6.6
146	전주	1642	148.0	254.6	8.9	1574	152.7	255.4	9.1
152	울산	1353	179.8	290.7	6.7	1296	186.4	293.3	6.7
156	광주	1658	145.5	211.2	7.0	1598	149.3	209.3	7.2
159	부산	1444	168.0	252.5	5.6	1378	174.8	254.4	5.7
162	통영	1485	163.4	229.7	4.6	1400	172.1	232.4	4.6
165	목포	1406	174.2	258.9	6.5	1380	175.5	256.6	6.7
168	여수	1481	163.7	216.4	3.1	1409	170.8	217.5	3.1
170	완도	1573	155.4	202.3	3.1	1451	166.4	199.4	2.9
184	제주	1743	136.9	184.3	5.5	1676	140.4	181.9	5.7
189	서귀포	1873	127.2	160.8	4.0	1761	133.6	160.3	4.1
192	진주	1421	170.8	293.1	7.0	1340	180.0	295.6	7.0
201	강화	1379	181.0	319.1	6.6	1266	195.0	324.9	6.7
202	양평	1513	164.0	292.3	7.1	1369	178.9	295.0	7.2
203	이천	1568	158.2	278.2	7.4	1425	171.7	282.9	7.5
211	인제	1490	166.5	290.0	6.9	1388	176.3	290.0	7.2
213	홍천	1561	158.8	284.5	7.2	1406	174.0	287.6	7.4
221	제천	1596	154.9	272.8	7.5	1432	169.9	276.5	7.7
226	보은	1664	148.4	269.6	7.9	1509	161.0	269.5	8.1
232	천안	1481	168.0	296.1	7.1	1384	177.1	289.1	7.6
235	보령	1512	164.7	288.7	7.7	1387	176.5	288.0	8.0
236	부여	1538	157.8	294.3	8.5	1375	173.9	298.5	8.7
238	금산	1737	142.5	252.9	7.9	1546	157.6	259.3	8.0
243	부안	1602	155.3	274.2	8.5	1426	171.3	278.4	8.8
244	임실	1777	138.4	247.5	8.6	1582	151.8	251.2	9.0
245	정읍	1747	139.0	265.4	10.4	1550	153.5	273.2	10.5
247	남원	1698	145.5	263.0	8.1	1515	159.9	264.0	8.5
256	순천	1660	148.3	288.7	8.6	1483	162.8	293.3	8.9
260	장흥	1629	151.9	251.4	6.8	1449	167.9	255.7	6.9
261	해남	1549	160.0	276.1	7.6	1426	170.6	273.2	8.0
262	고흥	1576	157.1	291.7	8.0	1380	176.8	302.5	7.9
265	성산포	2032	119.9	188.5	7.5	1757	135.3	192.9	7.7
272	영주	1463	169.4	308.3	6.7	1321	185.4	315.1	6.7
273	문경	1531	161.6	282.6	6.5	1375	177.5	285.3	6.6
277	영덕	1391	178.8	317.6	6.2	1194	205.4	327.8	6.1
278	의성	1399	178.5	325.7	6.3	1269	194.5	331.3	6.3
279	구미	1412	176.3	323.2	6.5	1270	193.6	330.9	6.5
281	영천	1381	180.3	335.4	6.4	1234	199.6	343.2	6.3
284	거창	1507	163.8	298.0	6.8	1340	181.9	305.0	6.8
285	합천	1448	170.9	314.4	6.3	1297	188.7	318.6	6.1
288	밀양	1474	168.3	303.0	7.1	1339	183.0	305.5	7.0
289	산청	1517	162.0	297.8	6.8	1345	180.1	304.7	6.7
294	거제	1674	146.1	253.6	6.8	1451	166.2	263.7	6.7
295	남해	1617	151.9	283.2	7.2	1380	175.5	298.1	7.0

토양특성은 해당유역에 대한 현장조사 및 시험을 통해 산정할 수 있으며 기상특성은 수 십년의 연속강우량자료를 분리하여 분리된 독립강우사상의 평균강우량과 평균무강우지속시간을 산정해야 한다. 이에 김대근과 박선중(2008)은 국내 61개 기상관측소에서 시간단위로 측정한 최근 30년간(1976년~2005년)의 연속강우기록을 수집하였으며, 이를 독립강우사상으로 분리하여 평균강우량도를 작성한 바 있다. 본 연구에서는 월류위험도 기반 침투형저류지 설계에 손쉽게 활용할 수 있도록 평균무강우지속시간도를 작성하였다. 그 방법은 김대근과 박선중(2008)이 제시한 평균강우량도를 작성하기 위한 절차와 기본적으로 같다. 이러한 방법으로 산정한 기상관측소별 기본적인 통계특성은 Table 2와 같다. 독립강우간 무강우지속시간의 발생도수는 SST 4시간을 기준으로 성산포가 2032회로 가장 많고, 영천이 1381회로 가장 적다. 평균무강우지속시간은 SST 4시간을 기준으로 대구가 185.1시간으로 가장 길며, 성산포가 119.9시간으로 가장 짧게 나타나고 있다.

(1) 연속강우기록을 SST에 따라 독립강우사상으로 분리
(2) 독립강우사상 중 2.5mm 이하의 강우량을 가지는 사상은 무강우 처리
(3) 독립강우사상의 기본 통계특성 분석
(4) SST에 따른 평균무강우지속시간도 작성

이상과 같은 방법으로 SST 4시간과 6시간에 대해 산정한 평균무강우지속시간을 Fig. 8에 도시하였다. 경북 내륙과 서해지역은 평균무강우지속시간이 대체로 길고, 남해안과 제주지역은 평균무강우지속시간이 대체로 짧게 나타나고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 월류위험도 기반 침투형저류지 설계의 이론을 정리하고, 국내 61개 기상관측소에서 시간단위로 측정한 최근 30년간(1976년~2005년)의 연속강우기록을 수집하였으며, 이를 독립강우사상으로 분리하여 월류위험도 기반 침투형저류지 설계에 손쉽게 활용할 수 있도록 독립강우사상간 평균무강우지속시간도를 작성하였다. 본 연구를 통해 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

(1) 침투형저류지의 배수가 완료된 이후에는 침투형저류지의 설계유출고 이상의 강우가 발생하는 경우에 월류하게 되며, 이 경우 월류위험도는 저류지의 설계용량, 독립강우사상의 평균강우량 및 평균무강우지속시간, 유역의 유출계수, 저류지 배수시간의 함수이다.
(2) 침투형저류지의 배수가 진행되는 동안에는 배수진행시간에 따라 월류위험도가 달라지는데, 배수가 시작되는 시점에서 월류위험도가 가장 크며, 점차 월류위험도는 감소하다가 배수가 완료되는 시점에서 가장 작아진다. 이 경우에는 배수진행시간과 상기 (1)에서 제시한 변수 외에도, 강우의 초기손실, 소유역면적, 저류지면적, 단위유역면적당 배수용량이 월류위험도에 영향을 준다.
(3) 침투형저류지의 설계저류용량을 증대시킬수록 포착률은 증가하는데, 그 증가율은 점차 감소하는 경향을 보인다. 즉, 포착률을 높일수록 필요한 설계저류용량은 기하급수적으로 증가하므로 유역의 수질관리 목표에 적합하도록 경제성을 감안하여 포착률을 결정하는 것이 필요하다.
(4) 독립강우사상간 무강우지속시간의 확률분포로 매개변수가 1개인 지수함수가 국내 강우량 자료에 대해서도 적합한 것으로 나타났다.
(5) SST 4시간과 6시간에 대해 평균무강우지속시간도를 작성하였다. 경북 내륙과 서해지역은 평균무강우지속시간이 대체로 길고, 남해안과 제주지역은 평균무강우지속시간이 대체로 짧게 나타나고 있다.

본 연구는 합리식이 적용 가능한 소규모 유역에서 수질관리용 침투형저류지의 계획 및 설계시에 유용하게 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

KSWW

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2007-000-20009-0) 지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. 김대근, 고영찬 (2005) 도심지 소유역에 적용 가능한 우수저류조의 용량 산정에 관한 연구, ***상하수도학회지***, **19**(5), pp. 619-624.
2. 김대근, 박선중 (2008) 월류위험도 기반 저류지 설계를 위한 평균강우량도 작성, ***상하수도학회지***, **22**(1), pp.15-22
3. 김영란, 김진영, 황성환 (2004) 강우시 도시 하수관거 통수능부족 해소를 위한 우수저류시설의 적용, ***상하수도학회지***, **18**(3), pp. 343-350.
4. 문정수, 한명실, 기동원, 한무영 (2005) 하수관거 침수방지를 위한 빗물 저류조 용량 설계, ***한국물환경학회 · 대한상하수도학회 공동춘계학술발표회 논문집***, pp. 420-423.
5. 이두진, 윤현식, 선상운, 곽수동, 이동훈 (2004) 강우유출 모델을 이용한 합류식 하수관거 월류수 저류시설의 용량결정에 관

한 연구 (II) - 저류조 설계를 중심으로, ***대한환경공학회지***, **26**(3), pp. 370-380.

6. 조덕준 (2006) 위험도기반 지역별 정규 CSOs 곡선 설계에 관한 연구, ***한국수자원학회논문집***, **39**(7), pp. 575-581.
7. Center for Watershed Protection (2001), ***Stormwater Management Design Manual***, New York State Department of Environmental Conservation, NY.
8. Driscoll, E.D., Palhegyi, G.E., Strecker, E.W., and Shelley, P.E. (1989), ***Analysis of storm events characteristics for selected rainfall gauges throughout the United States***, U.S. EPA, Washington, D.C.
9. Guo, J.C.Y. and Urbonas, B. (1996), Maximized detention volume determined by runoff capture ratio, ***J. of Water Resources Planning and Management***, **122**(1), pp. 33-39.
10. Guo, J.C.Y. and Urbonas, B. (2002), Runoff capture delivery curves for storm-water quality control designs, ***J. of Water Resources Planning and Management***, **128**(3), pp. 208-215.
11. Guo, J.C.Y. and Hughes, W. (2001), Storage volume and overflow risk for infiltration basin design, ***J. of Water Resources Planning and Management***, **127**(3), pp. 170-175.
12. USEPA (1986), ***Methodology for analysis of detention basins for control of urban runoff quality, EPA440/5-87-001***, Washington, D.C.
13. Wanielista, M.P., and Yousef, Y.A. (1993), ***Storm water management***, Wiley, New York.