

도시유역의 저류지 설계를 위한 계획모형 비교분석

A Comparison and Analysis of Planning Models for the Design of Detention Pond in Urban Area

이재준* · 곽창재** · 이상원***

Lee, Jae Joon · Kwak, Chang Jae · Lee, Sang Won

Abstract

Urbanization results in increased runoff volume and peak flowrate and shortening in time of concentration, which may cause frequent flooding downstream. There are various types of flow retardation methods including detention ponds, retention ponds, and infiltration ponds. In general, hydrologic models to design the detention pond are classified into planning model and design model. This study is comparing and analyzing of planning model to design the detention pond in urban area. Detention ponds data of Disaster Impact Assessment Report on 22 sites were analyzed to investigate proper planning models in this study. From this research, following conclusions are derived, 1) In case of on-line detention pond, Lee model(1991) is the best planning model and similar to real storage volume. 2) In case of off-line detention pond, Abt and Grigg model is much more proper model compared to other models.

Key words : planning model, design model, storage volume, on-line detention pond, off-line detention pond.

요 지

도시화로 인한 유출량의 증가 및 도달시간의 단축은 도시재해의 한 원인이 되고 있다. 이를 막기 위하여 도시 배수유역내에 저류지를 설치하여 침투도달시간을 지연시키고 방류량은 하수관거의 통수능 이하로 조절하는 방안을 활용하고 있다. 저류지를 설계 운영함에 있어서 사용되는 수문모형은 일반적으로 계획모형, 설계모형 및 운영모형으로 분류되고 있다. 본 연구에서는 재해영향평가서 22개소의 기 설계된 저류지를 분석대상으로 하여 여러 가지 저류지 계획모형의 적합성을 검토하였다. 저류지 계획모형으로는 삼각형, 사다리꼴 설계수문곡선과 경험적 공식을 이용한 11가지의 모형을 적용하였다. 저류지 계획모형의 분석에서 on-line 저류지의 경우는 사다리꼴 형태 설계수문곡선을 채택하고 있는 이종태 등 모형(1991)의 결과가 대상 저류지의 실제류량과 가장 유사함을 보였고, off-line 저류지의 경우는 삼각형 형태 설계수문곡선을 채택하고 있는 Abt and Grigg 모형(1978)의 결과가 비교적 양호한 결과를 보이는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 저류지 계획모형, 저류지 설계모의모형, 저류용량, on-line 저류지, off-line 저류지

1. 서 론

도시유역의 내배수처리 시스템은 일반적으로 우수관거와 홍수시 외수의 역류를 막고 배수펌프를 이용하여 내수를 강제 배수시킬 수 있는 우수지 및 배수펌프장으로 이루어진다. 그러나, 근래 빈번히 발생하는 이상기후에 의한 강우량 증대와 도시화에 따른 유출총량과 침투유량의 증대 및 도달시간의 단축은 도시유역의 기 설치된 우수지만으로 도시홍수에 대처하는데 한계에 다다른 실정이다. 현재 이에 대한 대응책으로 유역내에 유출저감효과를 기대할 수 있는 저류시설과 침투시설 등 여러 가지 시설을 이용하여 유출량 저감을 목적으로

한 지체저류시설들이 활용되고 있다. 저류지를 설계 운영함에 있어서 사용되는 수문모형은 일반적으로 계획모형, 설계모형 및 운영모형으로 분류되고 있다. 계획모형과 유사한 형태의 단순화된 설계모형이 있기 때문에 계획모형과 설계모형을 엄밀히 구별하기는 어려우나 일반적으로 저류지 용량 결정시 배수구역에 대한 홍수추적을 실시하여 구하는 경우를 설계모형으로 보고 있다. 기초계획 단계에서는 저류지의 홍수조절효과를 산정할 때 엄밀하게 계산하는 것이 효율이 좋다고는 할 수 없으며, 또한 최적설계를 하는 데도 많은 시간이 소요된다. 이로 인하여 계획단계에서는 간단한 검토만을 하여 이를 적절히 조합한 후 정밀한 설계모형을 이용하여 실시설계를

*정회원 · 국립금오공과대학교 토목환경공학부 교수 (e-mail: jhb365@kumoh.ac.kr)

**국립금오공과대학교 대학원 토목공학과 박사과정

***국립금오공과대학교 대학원 토목공학과 석사과정

하고 운영방법을 마련하는 방법이 선호되고 있다. 본 연구에서는 재해영향평가서 22개소의 기 설계된 저류지를 분석대상으로 하여 여러 가지 저류지 계획모형의 적합성을 검토하고 분석대상 저류지와 비교분석을 실시하고자 한다.

최근 연구동향을 살펴보면 국외의 경우, 저류지 설계시 Wycoff and Singh(1976)은 저류지 추적과정을 수행하지 않고 예비설계 단계에서 적용가능 한 계획모형을 개발하였고, Abt and Grigg(1978)은 저류방정식을 적용시켜 예비설계단계에서 이용가능 한 저류지 계획모형을 개발한 바 있다. 국내

에서는 이종태 등(1991)이 여러 계획모형들의 비교분석하여 국내 실정에 맞는 계획모형을 제시하였고, 황석환 등(1998)은 비선형 최적화 이론을 바탕으로 가상유역에 적용하여 저류지 계획모형을 제시하였고, 산응배 등(2003)은 SWMM모형을 이용하여 설계강우에 대한 적정저류용량을 산정하였고, 김대근과 고영찬(2005)은 합리식을 바탕으로한 저류지 계획모형을 이용하여 우수저류조 용량 산정에 관한 연구를 수행하는 등 여러 연구자들이 저류지 설계에 관련된 연구를 실시하고 있다.

표 1. 삼각형 설계수문곡선 계획모형

계획모형	분류	Equation ($\alpha = q_{pb}/q_{pa}$, $\gamma = t_{cb}/t_{ca} = t_{pb}/t_{pa}$)	
McCuen 모형 (1988)	삼각형 설계수문곡선	$\frac{V_s}{Q_a} = \frac{\gamma + \alpha + \alpha\gamma(\gamma + \alpha - 4)}{\gamma - \alpha}$	$\alpha < 2 - \gamma$
		$\frac{V_s}{Q_a} = \frac{\gamma - \alpha}{\gamma + \alpha}$	$\alpha \geq 2 - \gamma$
합리식 수문곡선 모형	삼각형 설계수문곡선	$V_s = 0.08264(q_{pa} - q_{pb})t_{cb}$	
Baker 모형 (1979)	삼각형 설계수문곡선	$\frac{V_s}{Q_a} = 1 - \alpha$	
Abt and Grigg 모형 (1978)	삼각형 설계수문곡선	$V_s = 0.08264\left(\frac{1+m}{2}\right)q_{pa}t_{ca}(1-\alpha)^2$	
Kadoya 모형 (1985)	삼각형 설계수문곡선	$V_s = (q_{pa} - q_{pp})(t_2 - t_1)/2$	
Kessler and Diskin 모형 (1991)	삼각형 설계수문곡선	$\frac{V_s}{Q_a} = 0.932 - 0.792\alpha$	$0.2 < \alpha < 0.9$ 위어타입
		$\frac{V_s}{Q_a} = 0.872 - 0.861\alpha$	$0.2 < \alpha < 0.9$ 오리피스타입
McEnroe 모형 (1992)	Gamma function 설계수문곡선	$\frac{V_s}{Q_a} = 0.98 - 1.17\alpha + 0.77\alpha^2 - 0.46\alpha^3$	위어타입
		$\frac{V_s}{Q_a} = 0.97 - 1.42\alpha + 0.82\alpha^2 - 0.46\alpha^3$	오리피스타입
Currey and Akan 모형 (1998)	Gamma function 설계수문곡선	$\frac{V_s}{Q_a} = 0.922 - 0.787\alpha$ $h_{max} = \left(\frac{0.992Q_a - 0.787\alpha Q_a}{b}\right)^{1/c}$ $L_c = \left(\frac{b}{0.992Q_a - 0.787\alpha Q_a}\right)^{1.5/c} \frac{Q_{pb}}{k_w \sqrt{2g}}$	위어타입
		$\frac{V_s}{Q_a} = 0.847 - 0.841\alpha$ $h_{max} = \left(\frac{0.847Q_a - 0.841\alpha Q_a}{b}\right)^{1/c}$ $a_0 = \left(\frac{b}{0.847Q_a - 0.841\alpha Q_a}\right)^{0.5/c} \frac{Q_{pb}}{k_0} \sqrt{2g}$	오리피스타입

여기서, α : 침투유량비, γ : 도달시간비, V_s : 저류용량(m^3), Q_a : 유출총량(m^3), q_{pa} : 개발후 침투유량(m^3/s), q_{pb} : 개발전 침투유량(m^3/s), q_{pp} : 펌프의 최대 토출량, $t_{ca}(=t_{pa})$: 개발후 도달시간(min), $t_{cb}(=t_{pb})$: 개발전 도달시간(min), h_{max} : 저류지 최대수심(m), L_c : 위어 정부길이(m), a_0 : 오리피스 면적(m^2), k_w , k_0 : 위어, 오리피스 유량계수, b, c : S-H관계곡선의 상수(Currey and Akan)

2. 저류지 계획모형 및 분석대상 저류지

2.1 저류지 계획모형

도시화에 대비하는 초기계획단계의 저류지 계획모형(planning model)에서는 일반적으로 엄밀한 유출수문곡선이 필요하지 않으며, 수위-저류량-방류량 관계곡선의 작성을 생략한 1차적인 근사적 접근방법이 사용된다. 본 연구에서 조사

표 2. 사다리꼴 설계수문곡선 계획모형

계획모형	분류	Equation ($\alpha = q_{pb}/q_{pa}$, $\gamma = t_{cb}/t_{ca} = t_{pb}/t_{pa}$)
Donahue 등 모형 (1981)	사다리꼴 설계수문곡선	$\frac{V_s}{Q_a} = 1 - \alpha \left[1 + \frac{t_{ca}}{D} \{ 1 - 0.5(\gamma + \alpha) \} \right]$
Burton 모형 (1980)	사다리꼴 설계수문곡선	$V_s = (q_{pa} - q_{pp})D$, $D = \left(\frac{q_{pp}}{C_a AK(n+1)} \right)^{1/n}$ $V_s = q_{pp} \left(\frac{-n}{n+1} \right) \left(\frac{q_{pp}}{C_a AK(n+1)} \right)^{1/n}$
Mori 모형 (1986)	사다리꼴 설계수문곡선	$\frac{V_s}{Q_a} = 1 - k^\alpha$, $V_s = \frac{1}{6} \left(I - \frac{I_c}{2} \right) DC_a A$
Aron and Kibler 모형 (1990)	사다리꼴 설계수문곡선	$V_s = I_p D - Q_p \left(\frac{t_p + T_c}{2} \right)$
이종태 등 모형 (1991)	사다리꼴 설계수문곡선	$V_s/Q_a = 1/2(1-\alpha) \left(2 - \alpha \frac{t_{pa}}{D} \right)$, $Q_a = q_{pa} D$

여기서, α : 침투유량비, γ : 도달시간비, V_s : 저류용량(m^3),
 Q_a : 유출총량(m^3), q_{pa} : 개발후 침투유량(m^3/s),
 q_{pb} : 개발전 침투유량(m^3/s), q_{pp} : 펌프의 최대 토출량,
 $t_{ca}(=t_{pa})$: 개발후 도달시간(min), $t_{cb}(=t_{pb})$: 개발전 도달시간(min), K, n : 강우강도식 지역계수, A : 유역면적,
 k : 수문곡선 형상계수, I_c : q_{pb} 또는 q_{pp} 에 대응하는 강우강도(mm/hr), D : 강우지속기간, T_c : 도달시간

표 3. 경험적 계획모형

계획모형	분류	Equation ($\alpha = q_{pb}/q_{pa}$, $\gamma = t_{cb}/t_{ca} = t_{pb}/t_{pa}$)
자연저류량손실 모형	경험적 계획모형	$V_s = \text{개발 후 } Q_a - \text{개발 전 } Q_a$
Wycoff and Singh 모형 (1976)	경험적 계획모형	$\frac{V_s}{Q_a} = \frac{1.291(1-\alpha)^{0.753}}{(D/t_{ca})^{0.411}}$
TR-55 모형 (1986)	경험적 계획모형	$\frac{V_s}{Q_a} = C_0 + C_1 \alpha + C_2 \alpha^2 + C_3 \alpha^3$
초과강우량 모형	경험적 계획모형	$V_s = (EPH - EPI) A_{imp} \times 10$
SCS근사 모형 (1982)	경험적 계획모형	도표 이용

여기서, α : 침투유량비, γ : 도달시간비, V_s : 저류용량(m^3),
 Q_a : 유출총량(m^3), q_{pa} : 개발후 침투유량(m^3/s),
 q_{pb} : 개발전 침투유량(m^3/s), D : 기저시간,
 C_0, C_1, C_2, C_3 : SCS 강우분포에 따라서 결정되는 상수,
 EPH : 개발후의 불투수층 초과 강우량, EPI : 개발전 초과강우량, A_{imp} : 불투수면의 면적(ha)

검토된 주요 계획모형들은 근사 설계수문곡선형을 가정함에 있어서 삼각형 설계수문곡선 계획모형과 사다리꼴 설계수문곡선 계획모형 및 경험적 계획모형의 세 가지로 분류하였다.

이종태 등(1991)에서 수록한 계획모형들과 Mays(2001)의 문헌에서 수록된 계획모형 등 국내·외 문헌을 통해 조사된 저류지 계획모형을 수록한 것이 표 1~표 3이며, 각각 삼각형 설계수문곡선 계획모형과 사다리꼴 설계수문곡선 계획모형 및 경험적 계획모형을 나타내었다. 그림 1~그림 3은 여러 계획모형 중 삼각형 설계수문곡선 계획모형인 Abt and Grigg 모형과 사다리꼴 설계수문곡선 계획모형인 이종태 등 모형 및 경험적 계획모형인 Wycoff and Singh 모형에서 채택한 설계수문곡선을 도시한 것이다.

2.2 분석대상 저류지

현재 국내의 경우 도시화에 따른 수문량의 변화 관측이 지

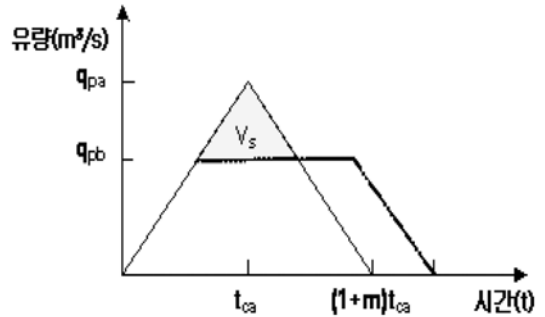


그림 1. Abt and Grigg 모형의 설계수문곡

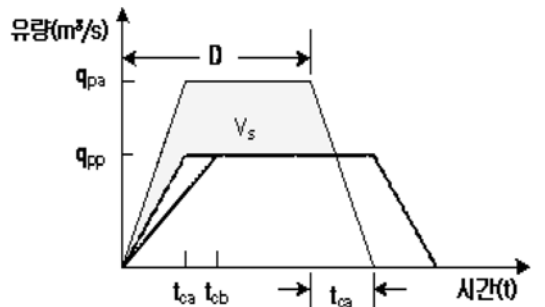


그림 2. 이종태 등 모형의 설계수문곡선

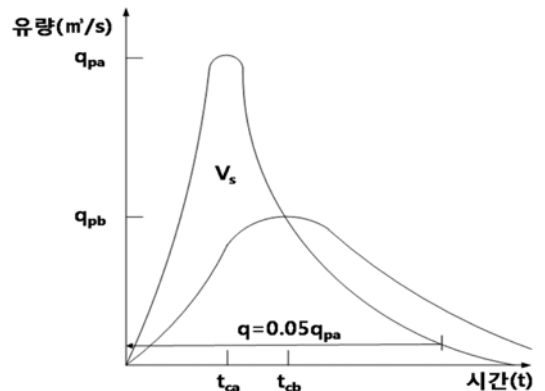


그림 3. Wycoff and Singh 모형의 설계수문곡선

속적으로 이루어지고 있는 경우가 극히 적고, 모니터링이 이루어지고 있는 지역마저도 비교적 파다한 설계규모 때문에 저류지의 저류효과를 분석하기 위한 실적자료의 구득(求得)이 매우 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는 2000년 이후부터 2006년 초까지 작성된 재해영향평가서 100여건을 대상으로 도시화가 이루어지는 지역(산업단지 및 택지개발 사업지구)에 대한 재해영향평가서 48건을 추출하였다(행정자치부, 소방방재청). 48건의 도시화 개발사업 재해영향평가서 중에서 각종 유역특성량 및 수문특성량에 신뢰성이 결여되는 지역을 제외하고(안재찬 등, 2006) 본 연구목적에 적합하다고 판단된 22건의 재해영향평가서상의 저류지를 분석 대상자료로 선정하고 이를 on-line 저류지 13개소와 off-line 저류지 9개소로 구분하였다. 표 4와 표 5는 본 연구의 분석 대상자료를 나타낸 것이다.

3. 저류지 계획모형 적용

저류지 계획모형별로 선정된 모형저류량의 적합성을 파악

하기 위하여 2장 2절에서 구분지는 on-line 저류지 13개소와 off-line 저류지 9개소를 대상으로 본 연구에서 인지들의 수집이 어렵거나, 기존 모형과 유사한 형태의 계획모형은 제외한 후 저류지 계획모형을 삼각형 설계수문곡선형태 6가지와 사다리꼴 설계수문곡선형태 3가지, 경험식 모형 2가지로 구분 적용하여 산정하였다.

3.1 삼각형 설계수문곡선 형태의 계획모형

3.1.1 on-line 저류지의 경우

그림 4~그림 9는 본 연구의 분석대상 저류지 22개소 중 on-line 저류지 13개소에 대해 삼각형 설계수문곡선의 형태를 취하고 있는 계획모형들로부터 선정된 모형저류량(V_m)과 실적저류량(V_a)을 비교 도시한 것으로서, 이들 그림에서 점선은 실적저류량과 모형저류량의 값이 동일함을 뜻하는 일치선을 의미하며 실선은 각종 계획모형에서 얻어진 결과값들의 회귀선을 의미한다. 한편 Kessler and Diskin 모형, McEnroe 모형, Curry and Akan 모형의 경우에는 방류구 타입이 위어

표 4. on-line 저류지 현황

사업명	소유역	저류용량 (m^3)	침투유출량 (m^3/s)	
			개발전 q_{pb}	개발후 q_{pa}
김포양곡지구택지개발사업	ky2	8,594	17.33	19.07
	ky4	3,110	3.06	4.42
천안신방통정지구도시개발사업	sb	21,236	37.84	40.79
청주성화지구택지개발사업	B'	18,634	0.46	14.13
남악신도시지구택지개발사업	oa-1-0	3,468	11.32	13.86
광주진월지구택지개발사업	JW1	4,963	3.017	4.448
성서4차지방산업단지	SS-0	9,190	5.98	6.69
	SS-1	4,110	4.42	4.86
오산가장지방산업단지	OS-2-2	18,602	27.72	30.32
발산지구택지개발사업	BS	24,500	38.15	46.38
청주성화2지구택지개발사업	B	312	3.19	3.27
서울신정3임대주택단지조성사업	-	19,980	27.78	29.73
대전관저5지구임대주택단지조성사업	KJ3	6,399	20.2	22.27

표 5. off-line 저류지 현황

사업명	소유역	저류용량 (m^3)	침투유출량 (m^3/s)	
			개발전 q_{pb}	개발후 q_{pa}
시흥능곡지구택지개발사업	sn0	17,261	95.78	114.8
양주고읍지구택지개발사업	cd1	1,527	10.72	11.35
	ss	14,581	63.85	74.76
의왕청계지구택지개발사업	CG-L	813	3.5	3.62
서울강일도시개발사업	KD3	6,300	24.4	25.02
광명소하지구택지개발사업	SH0	17,668	40.82	50.94
안성공도지구택지개발사업	GD-2	3,328	7.01	10.05
안산신길지구택지개발사업	SK-1	5,370	17.53	20.63
	SK-2	2,316	7.43	9.75

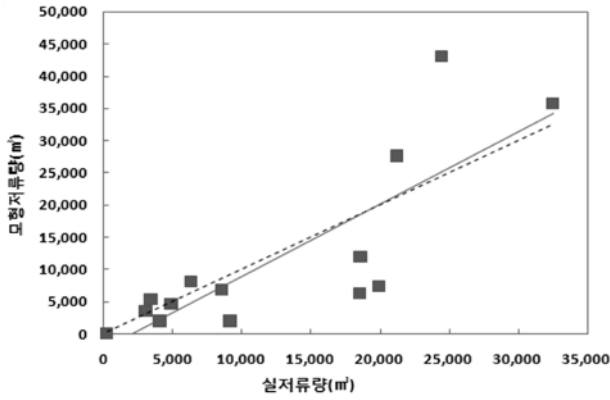


그림 4. McCuen 모형에 의거한 모형저류량과 실저류량의 관계도 (on-line 저류지)

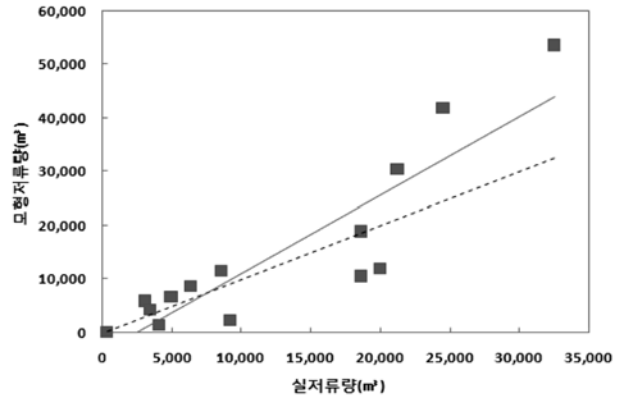


그림 5. 합리식 모형에 의거한 모형저류량과 실저류량의 관계도 (on-line 저류지)

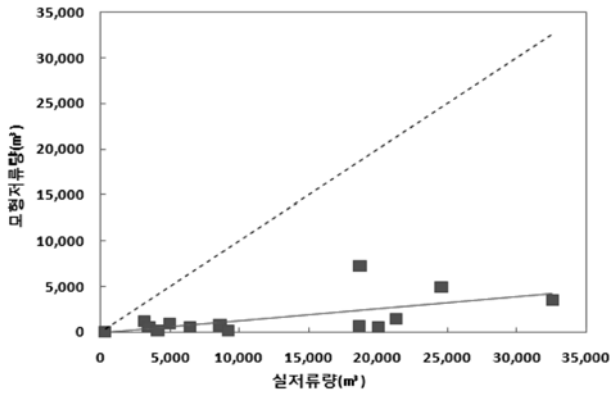


그림 6. Abt and Grigg 모형에 의거한 모형저류량과 실저류량의 관계도(on-line 저류지)

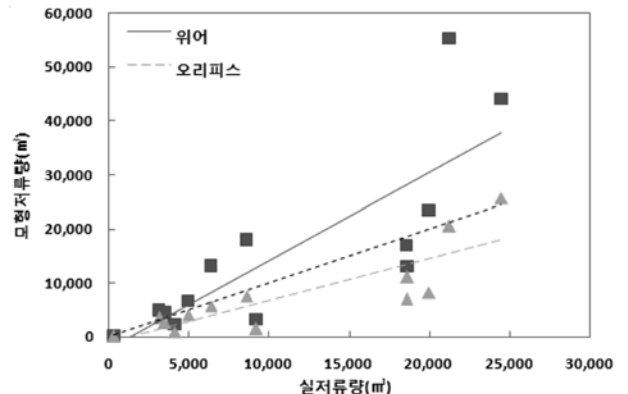


그림 7. Kessler and Diskin 모형에 의거한 모형저류량과 실저류량의 관계도(on-line 저류지)

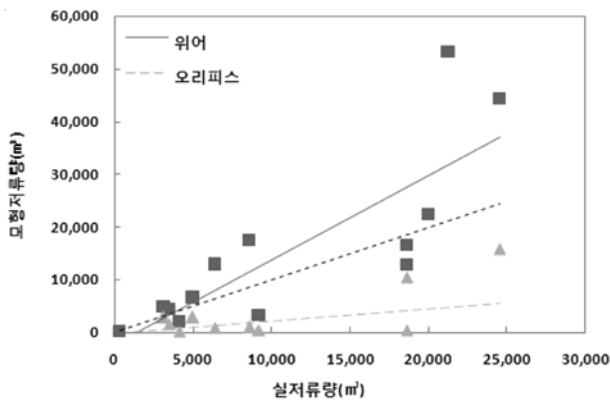


그림 8. McEnroe 모형에 의거한 모형저류량과 실저류량의 관계도 (on-line 저류지)

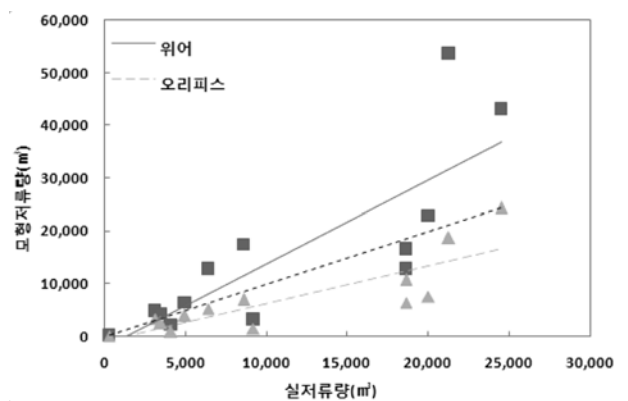


그림 9. Curry and Akan 모형에 의거한 모형저류량과 실저류량의 관계도(on-line 저류지)

일 경우를 실선으로 오리피스일 경우는 굵은 점선으로 도시하였다. 표 6은 그림 4~그림 9에 대한 회귀식을 수록한 것이다. On-line 저류지에서는 McCuen 모형이 실저류량과 가장 근접하였고 Abt and Grigg 모형을 제외한 대부분의 계획 모형들이 실저류량과 유사한 결과를 보였다. Kessler and Diskin 모형, McEnroe 모형, Curry and Akan 모형의 경우 위어타입은 실저류량보다 큰 결과를 나타내었고 오리피스타입의 경우는 실저류량보다 작게 나타났다.

도시구역의 저류지 설계를 위한 계획모형 비교분석

3.1.2 off-line 저류지의 경우

그림 10~그림 15는 본 연구의 분석대상 저류지 22개소 중 off-line 저류지 9개소에 대해 삼각형 설계수문곡선의 형태를 취하고 있는 계획모형들로부터 산정된 모형저류량(V_m)과 실저류량(V_a)을 비교 도시한 것으로서, 이들 그림에서 점선은 실저류량과 모형저류량의 값이 동일함을 뜻하는 일치선을 의미하며 실선은 각종 계획모형에서 얻어진 결과값들의 회귀선을 의미한다. 한편 Kessler and Diskin 모형, McEnroe 모

표 6. 삼각형 설계수문곡선을 이용한 on-line 저류지 계획모형 회귀식

구분	회귀식	비고
McCuen	$V_m=1.0823V_a-2050.3$	
합리식	$V_m=1.2077V_a-1424.1$	
Abt and Grigg	$V_m=0.1473V_a-158.06$	
Kessler and Diskin	위어	$V_m=1.6347V_a-2215.3$
	오리피스	$V_m=0.7716V_a-932.41$
McEroe	위어	$V_m=1.6005V_a-2147.7$
	오리피스	$V_m=0.2331V_a-102.89$
Curry and Akan	위어	$V_m=1.5951V_a-2158.3$
	오리피스	$V_m=0.7199V_a-861.16$

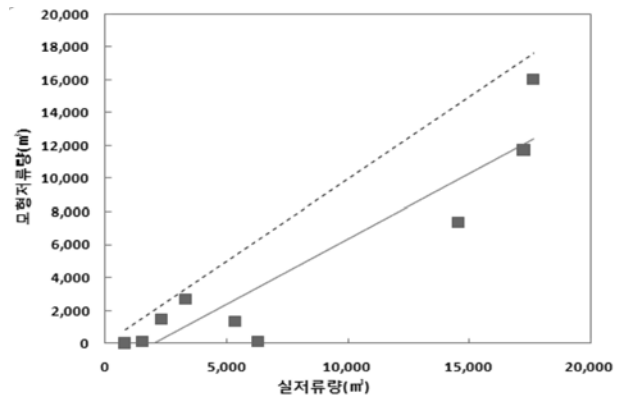


그림 12. Abt and Grigg 모형에 의거한 모형저류량과 실저류량의 관계도(off-line 저류지)

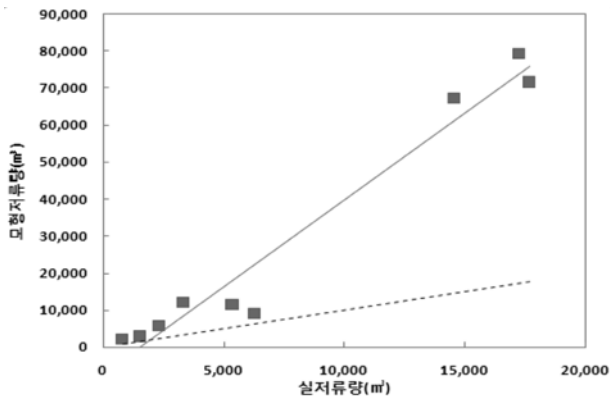


그림 10. McCuen 모형에 의거한 모형저류량과 실저류량의 관계도(off-line 저류지)

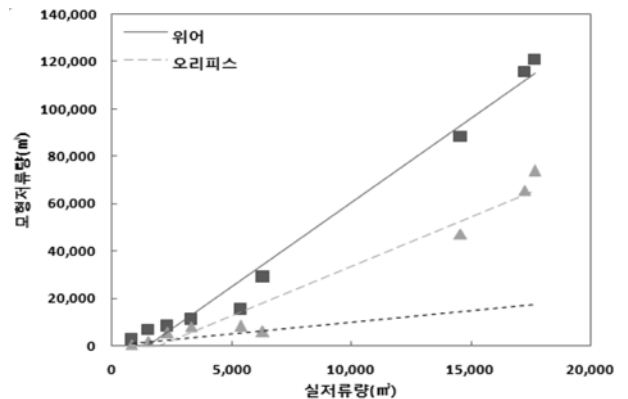


그림 13. Kessler and Diskin 모형에 의거한 모형저류량과 실저류량의 관계도(off-line 저류지)

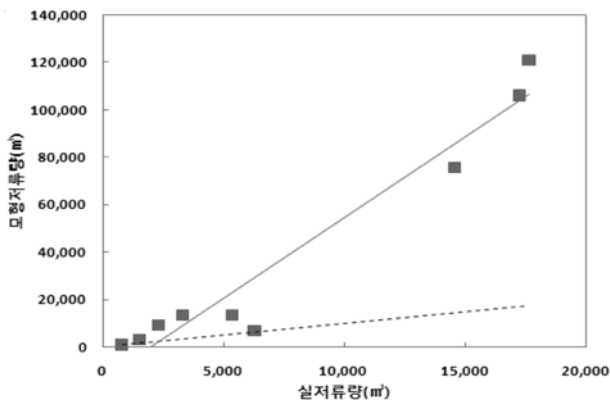


그림 11. 합리식 모형에 의거한 모형저류량과 실저류량의 관계도(off-line 저류지)

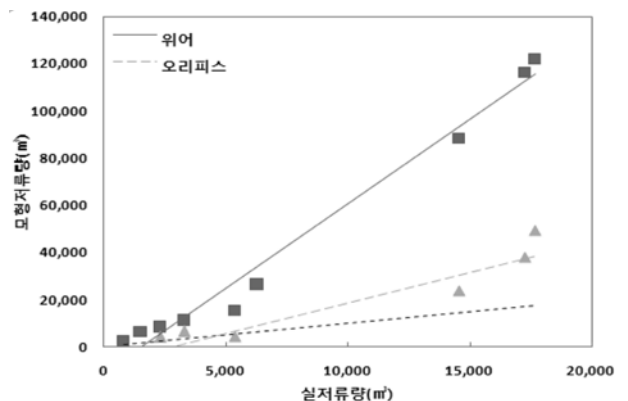


그림 14. McEroe 모형에 의거한 모형저류량과 실저류량의 관계도(off-line 저류지)

형, Curry and Akan 모형의 경우에는 방류구 타입이 위어 일 경우를 실선으로 오리피스일 경우는 굵은 점선으로 도시하였다. 표 7은 그림 10~그림 15의 회귀식을 수록한 것이다. Off-line 저류지의 경우는 on-line 저류지와 반대로 Abt and Grigg 모형이 실저류량과 가장 유사했고, 그 외의 계획모형들은 실저류량보다 과대한 결과값을 나타내었다. 이는 일반적으로 off-line 저류지의 저류용량이 on-line 저류지의 저류용량에 비해 작게 결정되는 특성 때문인 것으로 판단된다. Kessler

and Diskin 모형, McEroe 모형, Curry and Akan 모형의 경우는 방류구가 위어인 경우가 오리피스인 경우보다 큰 저류량 값을 보였다.

3.2 사다리꼴 설계수문곡선 형태의 계획모형

3.2.1 on-line 저류지의 경우

그림 16~그림 18은 본 연구의 분석대상 저류지 22개소 중 on-line 저류지 13개소에 대해 사다리꼴 설계수문곡선을 이용

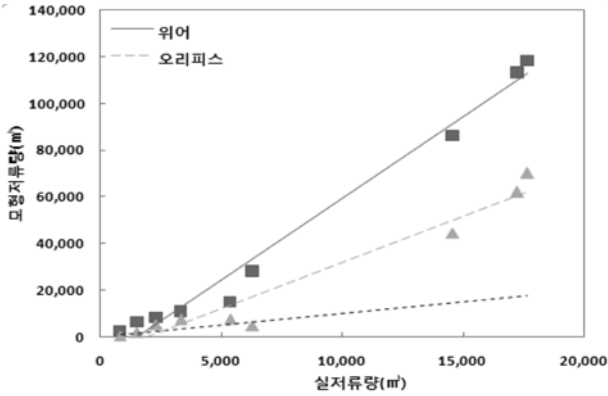


그림 15. Curry and Akan 모형에 의거한 모형저류량과 실저류량의 관계도(off-line 저류지)

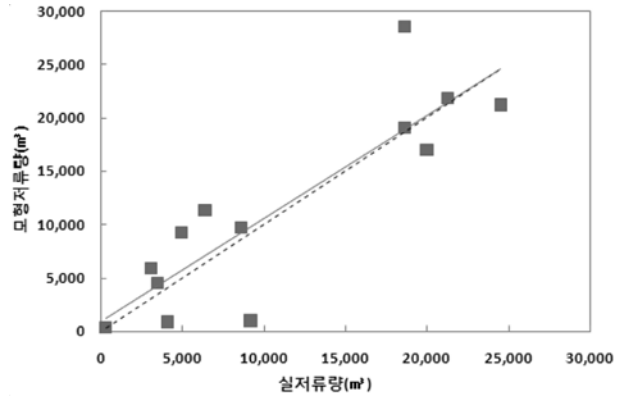


그림 17. 이종태 등 모형에 의거한 모형저류량과 실저류량의 관계도(on-line 저류지)

표 7. 삼각형 설계수문곡선을 이용한 off-line 저류지 계획모형 회귀식

구분	회귀식	비고
McCuen	$V_m = 4.7044V_a - 7192.1$	
합리식	$V_m = 6.7863V_a - 13381$	
Abt and Grigg	$V_m = 0.7894V_a - 1534.1$	
Kessler and Diskin	위어 $V_m = 7.1025V_a - 10362$	
	오리피스 $V_m = 4.1719V_a - 7939.9$	
McEnroe	위어 $V_m = 7.1674V_a - 10997$	
	오리피스 $V_m = 2.6065V_a - 7467.3$	
Curry and Akan	위어 $V_m = 6.9542V_a - 10199$	
	오리피스 $V_m = 3.9557V_a - 7643.8$	

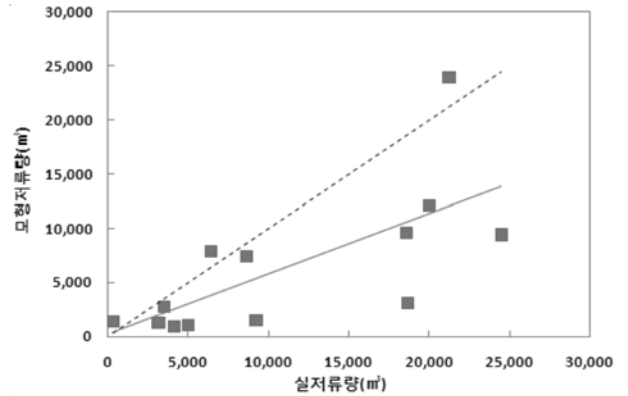


그림 18. Mori 모형에 의거한 모형저류량과 실저류량의 관계도(on-line 저류지)

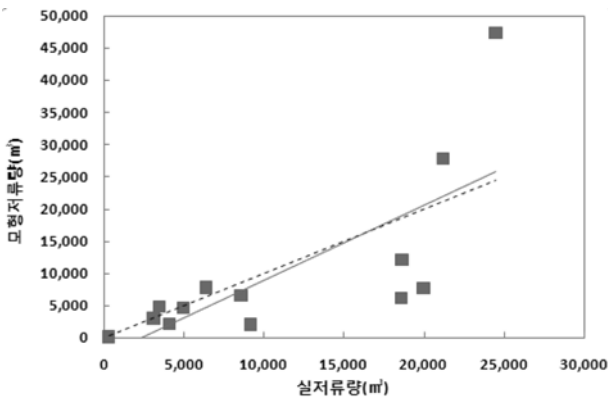


그림 16. Donahue 등 모형에 의거한 모형저류량과 실저류량의 관계도(on-line 저류지)

표 8. 사다리꼴 설계수문곡선을 이용한 on-line 저류지 계획모형 회귀식

구분	회귀식	비고
Donahue 등	$V_m = 1.1683V_a - 2753.9$	
이종태 등	$V_m = 0.9639V_a + 981.06$	
Mori	$V_m = 0.5577V_a + 185.4$	

하여 산정된 모형저류량(V_m)과 실저류량(V_a)을 비교 도시한 것으로서, 이들 그림에서 점선은 실저류량과 모형저류량의 값이 동일함을 뜻하는 일치선을 의미하며 실선은 각종 계획모형에서 얻어진 결과값들의 회귀선을 의미한다. 표 8은 그림 16~그림 18의 회귀식을 수록한 것이다. On-line 저류지에서는 이종태 등 모형에 의해 산정된 모형저류량이 실저류량과 가장 근접하였고 Donahue 등 모형의 결과도 실저류량과 유사한 결과를 보였다.

3.2.2 off-line 저류지의 경우

그림 19~그림 21은 본 연구의 분석대상 저류지 22개소 중 off-line 저류지 9개소에 대해 사다리꼴 설계수문곡선을 이용하여 산정된 모형저류량(V_m)과 실저류량(V_a)을 비교도시한 것으로서, 이들 그림에서 점선은 실저류량과 모형저류량의 값이 동일함을 뜻하는 일치선을 의미하며 실선은 각종 계획모형에서 얻어진 결과값들의 회귀선을 의미한다. 표 9는 그림 19~그림 21의 회귀식을 수록한 것이다. Off-line 저류지에서는 사다리꼴 설계수문곡선을 채택한 모형들에 의해 산정된 모형저류량이 전반적으로 실저류량 보다 큰 값을 보였고 특히 강우강도식을 이용한 Mori 모형은 다른 모형들과 비교하였을 때 특이한 결과를 나타내었다. 이것은 삼각형 설계수문곡선을 채택한 모형들과 마찬가지로 off-line 저류지의 특성 때문인 것으로 판단된다.

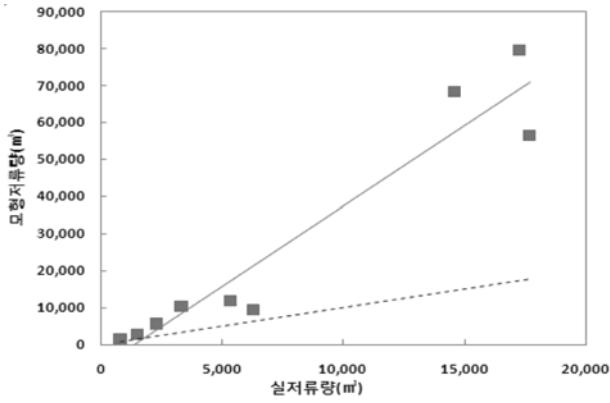


그림 19. Donahue 등 모형에 의거한 모형저류량과 실저류량의 관계도(off-line 저류지)

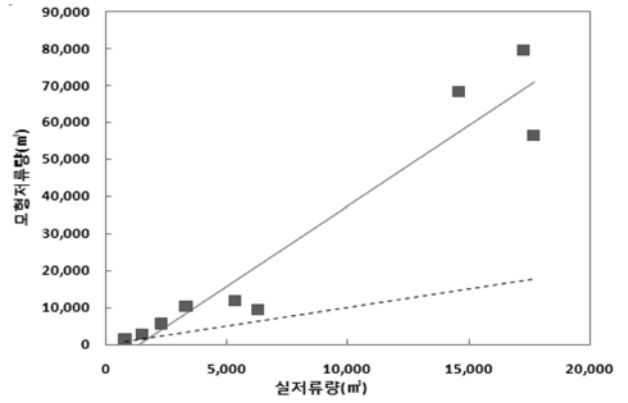


그림 22. Wycoff and Singh 모형에 의거한 모형저류량과 실저류량의 관계도(on-line 저류지)

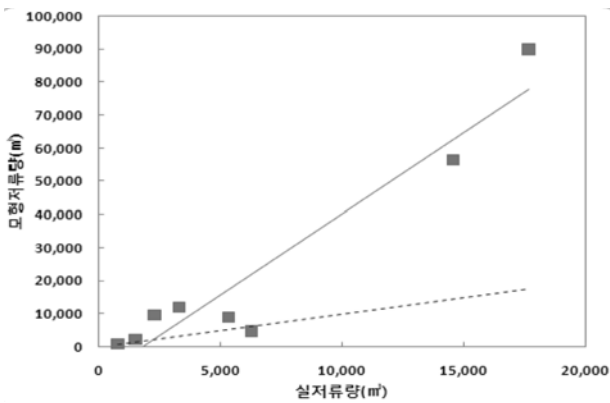


그림 20. 이종태 등 모형에 의거한 모형저류량과 실저류량의 관계도(off-line 저류지)

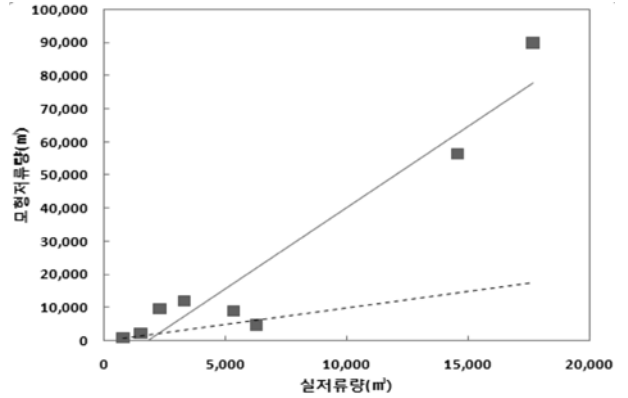


그림 23. TR-55 모형에 의거한 모형저류량과 실저류량의 관계도(on-line 저류지)

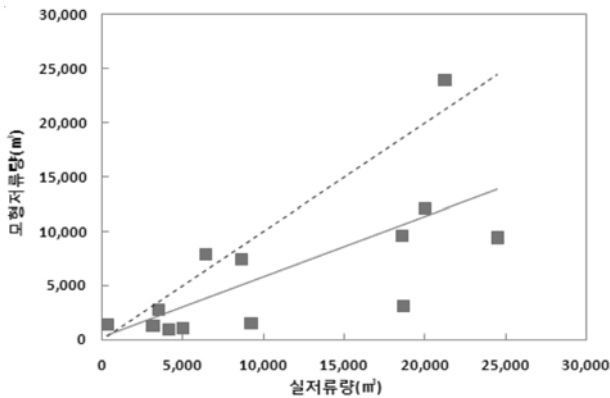


그림 21. Mori 모형에 의거한 모형저류량과 실저류량의 관계도(off-line 저류지)

표 9. 사다리꼴 설계수문곡선을 이용한 off-line 저류지 계획모형 회귀식

구분	회귀식	비고
Donahue 등	$V_m = 3.9499V_a - 4890.1$	
이종태 등	$V_m = 4.9197V_a - 8998.1$	
Mori	$V_m = 0.225V_a + 8601.4$	

표 10. 경험식을 이용한 on-line 저류지 계획모형 회귀식

구분	회귀식	비고
Wycoff and Singh	$V_m = 1.0951V_a - 1359.4$	
TR-55	$V_m = 1.0049V_a - 1385.3$	

3.3 경험식을 이용한 계획모형

3.3.1 on-line 저류지의 경우

그림 22~그림 23은 본 연구의 분석대상 저류지 22개소 중 on-line 저류지 13개소에 대해 경험식을 이용하여 산정된 모형저류량(V_m)과 실저류량(V_a)을 비교도시한 것으로서, 이들 그림에서 점선은 실저류량과 모형저류량의 값이 동일함을 뜻하는 일치선을 의미하며 실선은 각종 계획모형에서 얻어진 결과값들의 회귀선을 의미한다. 표 10은 그림 22~그림 23의 회귀식을 수록한 것이다. On-line 저류지의 경우는 삼각형 설계수문곡선 채택 모형과 사다리꼴 설계수문곡선 채택 모형들과 마찬가지로 경험식을 이용한 계획모형들 역시 실저류량과 유사한 값을 보였다.

3.3.2 off-line 저류지의 경우

그림 24~그림 25는 본 연구의 분석대상 저류지 22개소 중 off-line 저류지 9개소에 대해 경험식을 이용하여 산정된 모형저류량(V_m)과 실저류량(V_a)을 비교도시한 것으로서, 이들 그

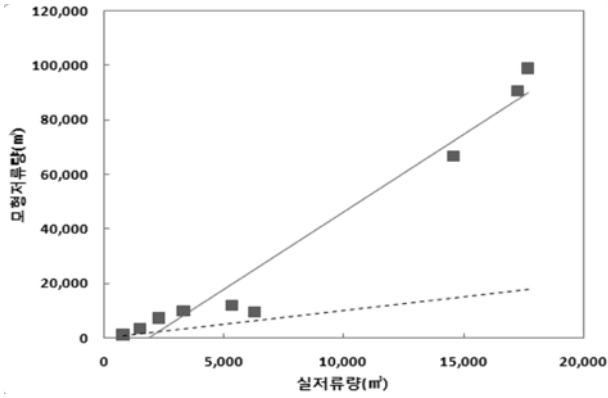


그림 24. Wycoff and Singh 모형에 의거한 모형저류량과 실저류량의 관계도(off-line 저류지)

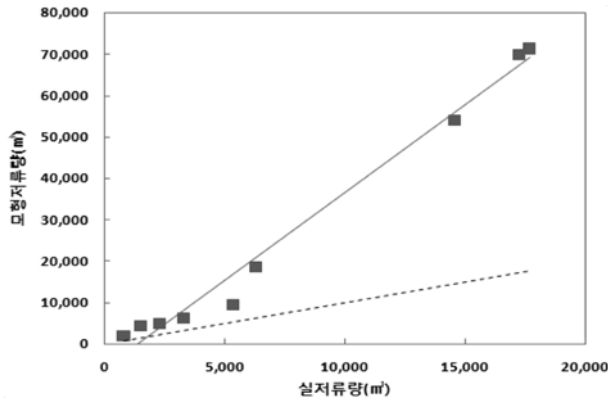


그림 25. TR-55 모형에 의거한 모형저류량과 실저류량의 관계도 (off-line 저류지)

표 11. 경험식을 이용한 off-line 저류지 계획모형 회귀식

구분	회귀식	비고
Wycoff and Singh	$V_m = 5.7092V_a - 10736$	
TR-55	$V_m = 4.2553V_a - 6070.8$	

림에서 점선은 실저류량과 모형저류량의 값이 동일함을 뜻하는 일치선을 의미하며 실선은 각종 계획모형에서 얻어진 결과값들의 회귀선을 의미한다. 표 11은 그림 24~그림 25의 회귀식을 수록한 것이다. Off-line 저류지의 경우 경험식을 이용한 계획모형도 삼각형 설계수문곡선을 이용한 계획모형들과 사다리꼴 설계수문곡선을 이용한 계획모형들과 유사하게 실저류량보다 큰 결과를 나타내었다.

4. 저류지 계획모형의 비교분석

표 12와 그림 26~그림 27은 on-line 저류지의 실저류량과 각종 계획모형들로부터 산정된 모형 저류량을 비교분석한 것으로 on-line의 경우 대부분의 계획모형이 실저류량과 유사한 값을 보이고 있었고 그 중 이종태 등 모형이 실저류량과 가장 흡사한 결과를 나타내고 있었고, Abt and Grigg 모형이 가장 상이한 결과를 나타내었다. 표 12에서 알 수 있듯이 계획모형 중에서 모형저류량이 실저류량보다 크게 산출되는 모

도시구역의 저류지 설계를 위한 계획모형 비교분석

표 12. 실저류지에 대한 계획모형들의 RMSE

구분		On-line	Off-line	
삼각형 설계수문 곡선	McCuen	-7,898.8	+32,719.5	
	합리식	+6,740.0	+49,979.6	
	Abt and Grigg	-11,857.5	-4,000.7	
	Kessler and Diskin	위어	+11,633.0	+54,245.6
		오리피스	-5,593.1	+27,074.8
	McEnroe	위어	+11,184.9	+54,508.2
		오리피스	-8,127.0	+16,031.7
	Currey and Akan	위어	+11,133.7	+52,874.3
오리피스		-5,906.1	+25,154.7	
사다리꼴 설계수문 곡선	Donahue 등	-8,660.7	+30,454.3	
	이종태 등	+4,380.8	+37,752.8	
	Mori	-7,407.0	+6,102.4	
경험식	Wycoff and Singh	-5,922.2	+40,526.3	
	TR-55	-6,160.0	+28,598.9	

주) on-line, off-line RMSE의 부호는 계획모형에 의해 산출된 값이 실저류량보다 작고 큰것을 의미할 뿐 RMSE의 값과는 무관함.

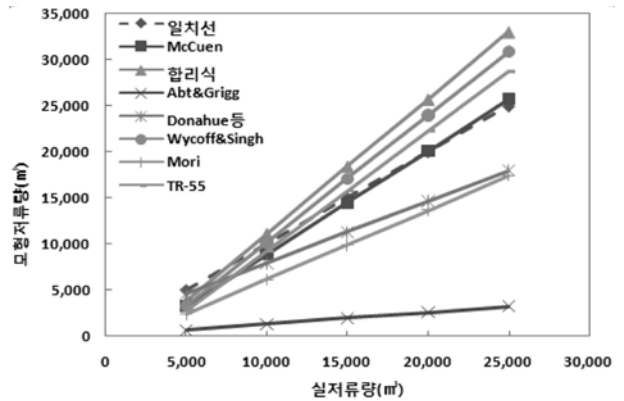


그림 26. on-line 저류지에 대한 계획모형 비교분석(1)

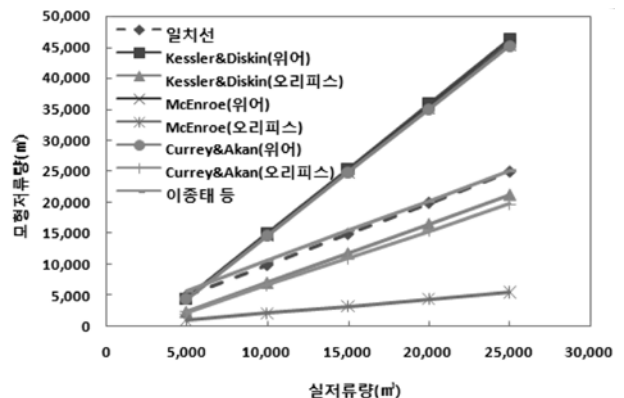


그림 27. on-line 저류지에 대한 계획모형 비교분석(2)

형은 삼각형 설계수문곡선형태를 채택하고 있는 합리식 모형, Kessler and Diskin 모형(위어), McEnroe 모형(위어), Curry and Akan 모형(위어)과 사다리꼴 설계수문곡선형태를 채택하

고 있는 이중태 등 모형이었으며, 특히 Kessler and Diskin 모형(위어), McEnroe 모형(위어), Curry and Akan 모형(위어)은 실저류지에 대한 평균제곱근오차(RMSE)가 11,000 m³ 이상으로 상당히 크게 저류량이 산출되었다. 또한 계획모형 중에서 모형저류량이 작게 산출되는 모형은 삼각형 설계수문 곡선형태를 채택하고 있는 McCuen 모형, Abt and Grigg 모형, Kessler and Diskin 모형(오리피스), Curry and Akan 모형(오리피스), McEnroe 모형(오리피스)과 사다리꼴 설계수문곡선형태를 채택하고 있는 Donahue 등 모형, Mori 모형, 경험식을 이용하고 있는 Wycoff and Singh 모형, TR-55 모형이었으며, 특히, Abt and Grigg 모형은 실저류지에 대한 평균제곱근오차(RMSE)가 11,857.5 m³로 상당히 작게 저류량이 산출되었다.

그림 27의 삼각형 설계수문곡선 형태를 채택하고 있는 Kessler and Diskin 모형, McEnroe 모형, Curry and Akan 모형의 위어형태는 실저류량 보다 큰 값을 보였고 오리피스 형태는 그와 반대의 결과를 나타내고 있어서 방류구의 형태가 위어 형태일 경우가 오리피스 형태일 경우보다 저류량이 크게 산출됨을 알 수 있다.

표 12와 그림 28~그림 29는 off-line 저류지의 실저류량과 계획모형들의 저류량을 비교분석한 것으로 삼각형 설계수문 곡선형태를 채택하고 있는 Abt and Grigg 모형을 제외하고 다른 모형들은 실저류량보다 큰 값(RMSE 6,100~54,600 m³)을 보였다. 이는 off-line 저류지가 가지는 특성 때문인 것으로

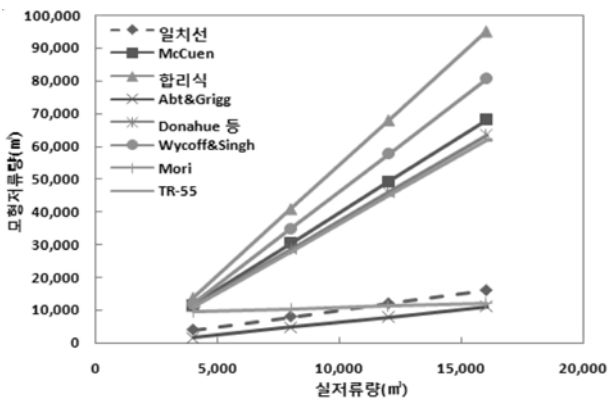


그림 28. off-line 저류지에 대한 계획모형 비교분석(1)

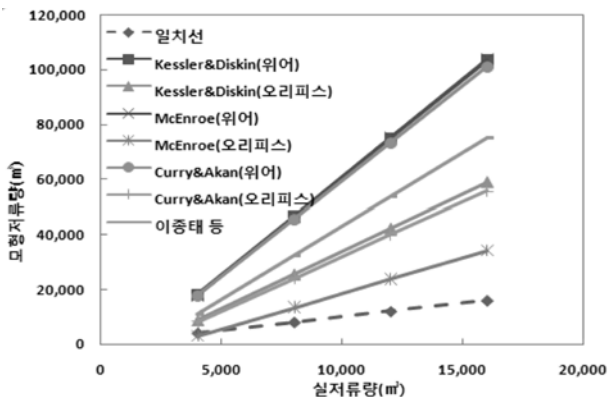


그림 29. off-line 저류지에 대한 계획모형 비교분석(2)

로 판단되고 off-line 저류지 설계에 적합한 계획모형의 연구가 추가적으로 필요하다고 사료된다.

5. 결 론

본 연구에서는 도시화로 인한 유출총량 및 침투유량 증대에 대처하는 방안으로 설치되는 저류지를 설계함에 있어서 기초계획단계에서 사용할 수 있는 각종 저류지 계획모형을 대상으로 적용성을 상호비교 하였다. 그 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 삼각형 설계수문곡선형태를 채택하고 있는 계획모형들 중 합리식 모형은 RMSE 6,740 m³, Kessler and Diskin 모형(위어), McEnroe 모형(위어), Curry and Akan 모형(위어)는 RMSE 11,000 m³ 이상으로 실저류지의 저류용량 보다 크게 산출되는 결과를 보여주었다.
- (2) 사다리꼴 설계수문곡선형태를 채택하고 있는 계획모형들은 Donahue 등 모형, Mori 모형은 on-line 저류지의 경우 실저류지 보다 저류용량이 각각 RMSE 7,407 m³, 8,660 m³으로 작게, off-line의 경우는 각각 RMSE 6,102 m³, 30,454 m³으로 크게 산정되었고, 이중태 등 모형은 on-line(RMSE 4,381 m³), off-line(RMSE 37,753 m³) 모두 실저류지 저류용량 보다 크게 산정되는 결과를 보였다.
- (3) 경험식을 이용하는 계획모형들은 on-line의 경우는 저류용량이 실저류지 보다 작게 산정되었고, off-line의 경우는 실저류지 보다 크게 산정되었다.
- (4) on-line 저류지의 경우는 사다리꼴 형태 설계수문곡선을 채택하고 있는 이중태 등 모형이 대상 저류지의 실저류량과 가장 근사하게 나타났고, off-line 저류지의 경우는 삼각형 형태 설계수문곡선을 채택하고 있는 Abt and Grigg 모형이 비교적 양호한 결과를 보이는 것으로 판단된다.
- (5) off-line 저류지의 경우 대부분의 모형이 실저류량에 비해 모형저류량이 과대 산정되고 있지만 이는 off-line 저류지의 특성을 나타내고 있는 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업(03산학연C01-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구사업단의 연구 성과입니다.

참고문헌

- 김대근, 고영찬 (2005) 도심지 소유역에 적용 가능한 우수저류조의 용량 산정에 관한 연구. **대한상하수도학회 논문집**, 대한상하수도학회, 제19권, 제5호, pp. 619-624.
- 신용배, 이두진, 곽수동, 선상운, 이동훈 (2003) 하수관거모델을 이용한 CSO 저류시설의 최적용량결정에 관한연구. **한국물환경학회논문집**, 제8권 3호 2008년 6월

- 경학회 · 대한상수도학회 공동 춘계학술발표회 논문집, 한국물
환경학회 · 대한상수도학회, pp. 309-312.
- 안재찬, 이재준, 김호년, 곽창재 (2006) 재해영향평가서를 통해
본 설계수문량의 특성 분석. 2006년도 한국방재학회 학술발표
대회 논문집, 한국방재학회, pp. 265-270.
- 이종태, 윤세의, 이재준, 윤용남 (1991) 도시화영향을 고려한 유
수지 계획모형. 한국수문학회지, 한국수문학회, 제24권, 제4호,
pp. 73-83.
- 행정자치부(소방방재청) (2000-2006) 각종 개발사업 재해영향평가서.
황석환, 김웅태, 최시중, 김중훈 (1998) 비선형 최적화 기법을 이
용한 유수지의 설계. 고려대학교 공학기술연구소 공학논문집,
고려대학교 공학기술연구소, Vol. 36, pp. 57-61.
- Abt, S.R. and N.S. Grigg (1978) An Approximate Method for Siz-
ing Detention Reservoirs. *Water Resources Bulletin*, Vol. 14,
No. 4, pp. 956-965.
- Baker, W.R. (1979) Stormwater Detention Basin Design for Small
Drainage Areas. *Public Works*, Vol. 108, No. 3, pp. 75-79.
- Burton, K.R. (1980) Stormwater Detention Basin Sizing. *Journal of*
Hydraulics Division, ASCE, Vol. 106, No. HY3, pp. 437-439.
- Diskin, M.H. and A. Kessler (1991) The Efficiency Function of
Detention Reservoirs in Urban Drainage Systems. *Water*
Resource Research, Vol. 27, No. 3, pp. 253-258.
- Donahue, J.R., R.H. McCuen, and T.R. Bondelid (1981) Compari-
son of Dentention Basin Planning and Design Models. *Journal*
of Water Resource Planning and Management Division, ASCE,
Vol. 107, No. WR2, pp. 385-400.
- Mays, L.W. (2001) *Stormwater Collection Systems Design Hand-*
book. McGraw-Hill, pp. 7.1-7.66.
- McCuen, R.H. (1988) *Hydrologic Analysis and Design*. Prentice
Hall.
- SCS (1986) *Urban Hydrology for Small Watersheds*. Tech. Release
55, Washington, D.C..
- Wycoff, R.L. and V.P. Singh (1976) Preliminary Hydrologic Design
of Small Flood Detention Reservoirs. *Water Resources Bulletin*,
Vol. 12, No. 2, pp. 337-349.

◎ 논문접수일 : 2008년 01월 25일
◎ 심사의뢰일 : 2008년 01월 28일
◎ 심사완료일 : 2008년 03월 17일