

다목적 저류지의 수질개선을 위한 설계과정 및 적용에 관한 연구
- 남악 신도시 개발지를 대상으로 -

우 창 호¹⁾

¹⁾ 목포대학교 건축조경토목공학부

A Study on the Application and Design Procedure of
Multi-Purpose Wet Detention Ponds for Improving Water Quality
- Case Study of NamAk New Town Development Area -

Woo, Chang-Ho¹⁾

¹⁾ Dept. of Landscape Architecture, Mokpo National University.

ABSTRACT

The disposal of stormwater is one of the major problems in urban water management. One method of reducing peak runoff rates and other detrimental impacts of stormwater is detention storage. Detention ponds as a water quality control alternatives have been investigated by a number of researchers. Recognizing multiple roles such as flood peak attenuation, pollution removal and aesthetic enhancement, the design and management of detentions ponds deserve more research. The purpose of this research is to establish design criteria wet detention ponds to improve water quality.

Water quality in detention pond discharge might be improve with physical, chemical and biological alterations. Physical alteration was focused in this study. There are several methods for estimating the suspended solid control capability of wet detention ponds. Existing models of suspended solids removal are based on sedimentation and gravity settling theory. The pollutant trap efficiency of pond is a function of several interrelating factors. Detention time is the most important factor, because it determine gravity settling quantities of pollutants.

Desirable modification of physical factors for improvement of water quality in wet detention ponds are volume ratio, area ratio, length to width ratio, depth, out let location, bottom soil type.

In order to apply design procedure in actual site, Namak new town development area was selected.

Key Words : *Stormwater, Detention ponds, Detention time, Suspended solids, Gravity settling.*

I. 서 론

1. 연구의 필요성 및 목적

도시개발에 의한 기존의 녹지 제거와 토지이용변화는 지표면의 유출량을 증대시키는데 그에 따른 적절한 배수체계를 확립하지 않으면 도시 내에서의 홍수위험과 인근지역에 많은 피해를 줄 수 있다.

최근 매년 발생하고 있는 수도권 지역의 홍수는 무리한 도시 난 개발에 의한 지표면 변화에 의한 침투유출량 증가가 주된 한 원인인 것으로 판명되고 있다. 따라서, 개발사업으로 인해 발생 가능한 재해영향요인을 개발사업 시행 이전에 예측·분석하고 적절한 저감방안을 수립·시행토록 하기 위해 1996년 자연재해대책법에 근거하여 도시개발 규모 30만²m 이상에서 재해영향평가가 도입하게 되었다. 대규모 개발사업으로 인한 재해영향의 평가와 저감대책은 침투유출량증가, 토사유출량, 절·성토사면 안정 대책에 초점이 맞추어져 있다.

한편, 최근의 단지나 도시를 계획할 때 친환경경적 개발에 초점이 맞추어지고 있는데, 그 일환으로 개발에 의한 지표면 변화에 따른 유출량 증가에 대비한 침투지나 저류지 설치의 중요성이 대두되고 있다. 침투유출량 증가에 의한 홍수 피해를 줄일 수 있는 방법의 하나로 지표면에서 우수 지체장치인 저류지를 생각할 수 있다(Kamelduski 1979). 이 장치는 호우시 일시적으로 우수를 일정 장소에 잠시 잡아 두었다가 나중에 서서히 흘러보낼 수 있다.

미국에서는 도시 안에서 개발에 따른 수문변화의 영향을 최소화하기 위하여 저류지가 단지 개발 초기 단계부터 계획되고 만들어져 호우시 도시지역의 홍수조절에 많이 이용되고 있다(APWA 1981).

저류지는 홍수조절 외 다른 잠재적 이점으로 수질과 경관을 향상시킨다는 측면도 생각할 수 있다. 강우시 도시지역의 우수 속에는 많은 오염물질이 포함되어 있다. 저류지내에서 많은 양의 오염물질이 걸러진다는 것이 증명되어 있는데, 특히 오염된 부유물질의 여과에 더욱 효

과적인 것으로 알려져 있다. 한편, 골프장내에서 만들어지는 저류지는 그 자체의 미적효과와 골프장 잔디 유지관리를 위하여 대량으로 살포되는 농약을 단지 외부로 유출되는 것을 막아주는 등 다목적으로 이용할 수 있다.

저류지의 홍수조절, 수질향상, 미적 효과라는 여러 잠재적 이점을 생각한다면 그 설계표준 설정에 관한 연구를 할만한 가치가 있다. 미국 등 선진국에서는 개발에 따른 피해를 줄이기 위한 다목적 저류지에 관련된 연구가 이루어져 왔지만, 현재 한국에서는 이와 관련된 연구는 드물고, 우수조절을 위한 침투지의 도입에 관련된 연구가 약간 이루어져 있다. 현재 한국에서는 저류지를 설치할 때, 그 실행에 영향을 주는 물리적인 조건 등에 대한 고려 없이 경험적으로 대략적인 추측만으로 만들어지는 경우가 많다. 따라서, 본 연구는 적절한 저류지 규모를 설정하기 위한 이론을 기존 연구에서 검토하여 그 표준을 설정하고 그 계산과정을 구체화시켜 실제 도시개발현장에서 적용시켜 도입 가능 여부를 검토해 보고자 한다.

2. 연구의 범위와 방법

1) 저류지 표준설정 방법

저류지의 설계표준은 저류지의 사용목적에 따라 달라질 수 있다. 다목적 저류지라면 홍수조절 기능, 수질향상기능, 미적인 효과 등의 측면이 고려되어야 한다.

본 연구에서는 저류지의 설계표준을 홍수조절기능과 수질향상기능에 초점을 맞추고자 한다. 홍수조절기능을 고려한다면 저류지의 크기는 저류지가 위치하는 유역의 크기와 침투유출량이 중요한 변수가 된다. 한편, 저류지내 수질향상을 위한 오염물질 제거는 중력침전(Gravity settling), 화학적 응집(Chemical flocculation), 생물학적 흡수(Biological uptake)에 의한다(Harrington 1986). 이들 중 저류지내에서 부유물질 조절에 많이 영향을 미치는 요소는 중력침전이다. 중력침전이란 부유물질이 포함된 유입수가 저류지내에서 머물 동안 물 입자보다 무거운 부유입자가 중력에 의해 가라앉는 것을 말한다.

본 연구에서는 홍수조절을 위하여 유역의 크기와 침투유출량을 고려하고 수질향상을 위하여 중력침전 원리에 근거한 부유물질 제거 모형을 이용하려고 한다. 저류지내의 중력 침전력을 평가하기 위하여 수문, 수질, 토목, 농공 분야 관련 연구에서 제안된 침전력에 영향을 미치는 저류지의 물리적 설계요소들을 고찰하고 그 결과로부터 설계표준을 설정해보고자 한다.

2) 설계표준 적용

(1) 대상지

전라남도의 신도시 선정지 남악은 21세기 전 남지역의 발전 잠재력을 극대화하고 지역간의 균형발전을 도모하여 지역발전의 획기적인 전환점을 마련하는 차원에서 선정되었다. 남악 신도시 건설 예정지가 영산호변에 입지하고 있고 대부분이 저지대 농경지 및 하천변 습지의 평탄지로 구성되어 있다는 점을 생각하면 안정지반의 확보 및 우수 방재를 고려한 신도시 건설 추진이 필요하다.

남악에서 친환경적인 신도시 개발을 위한 구체적인 방법의 일환으로 호우시 개발전과 개발후의 침투유출량의 변화를 추정하여 유량증대 대비와 수질향상을 고려한 저류지 설치를 본 연구에서 도출한 설계과정에 따라 적용해 보고자 한다.

(2) 유출량 계산

연구대상지의 개발 유역도면을 보면 침수피해 없는 안전한 도시를 조성하기 위한 생태수로

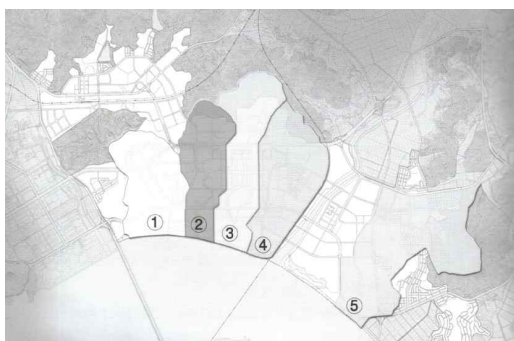


Figure 1. Drainage Area of Ecological Waterway.

에 대한 계획을 갖고 있다. 침투유출량 변화는 생태수로 유역도를(Figure 1) 근거로 하여 수문 모형인 합리식(Rational Method)을 바탕으로 GIS (Geographic Information System)를 사용하여 개발전과 후를 추정하고자 한다. 추정에 필요한 토지이용 상황은 개발전은 현재의 토지이용도(Figure 2)를 기초로 하고, 개발후는 신도시 계획도(Figure 3)를 기초로 하고자 한다.

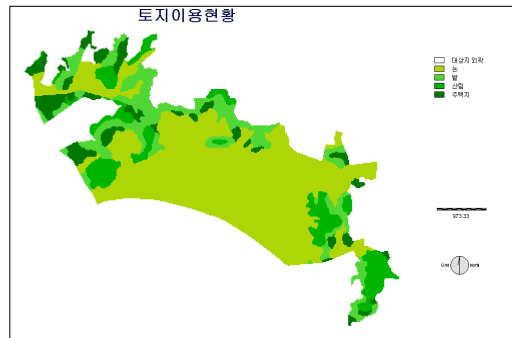


Figure 2. Land Use Map.

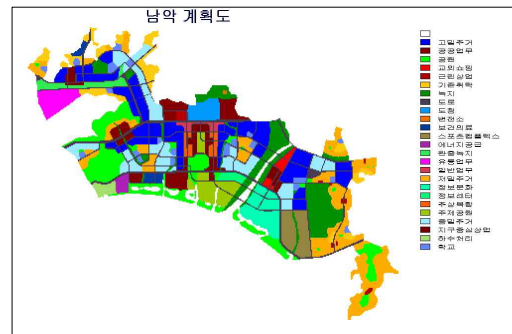


Figure 3. NamAk New Town Plan.

(3) 침투유출량 산정을 위한 합리식

$$Q = 0.2778 CIA$$

Q : 침투 유출량(m³/sec)

C : 유출계수

I : 강우강도(mm/hr)

A : 유역면적(km²)

0.2778 : 단위환산계수

① 유출계수

유출계수의 정도는 지면경사, 피복상태, 유역모양, 토성, 토양함수조건, 선행강우조건, 강우

강도에 따라 영향을 받는다. 본 연구에서 사용한 유출계수는 미국토목학회(ASCE)에서 제시한 Table 1(Steven, 1998)을 사용하였다.

Table 1. Runoff Coefficient(Steven, 1998).

Runoff Coefficient			
Business Area		Road	
Down Town	0.70-0.95	Asphalt	0.70-0.95
Neighborhood	0.50-0.70	Concrete	0.80-0.95
Residential Area		Gravel	0.35-0.70
Single Family	0.60-0.75	Parking	0.75-0.85
Apartment	0.50-0.70	Cultivated Area	
Suburban	0.30-0.40	Paddy	0.70-0.80
Industrial Area		Crops	0.45-0.60
Heavy Industry	0.50-0.80	Urban Surface	
Light Industry	0.60-0.90	Roofs	0.75-0.80
Open Space Area		Play Ground	0.20-0.35
Flat	0.10-0.25	No Plant Cover	0.40-0.60
Rolling	0.50-0.75	Water	1.0
Hilly	0.75-0.90	Pasture & Lawn	0.10-0.30

② 강우강도

본 연구에서 사용한 강우강도 공식은 한국수자원학회지에서 발표(이재준 등, 1999)된 우리나라 도시배수시스템 설계를 위한 확률강우강도식의 유도에서의 대표확률분포형에 따른 각 지점별 확률강우강도식 목포지방 것(Table 2)을 사용하였다.

강우강도 I의 재현기간은 5년, 10년, 20년, 50년, 100년 200년 주기로 구분하고 각각의 재현기간에 해당하는 침투유출량을 계산하였다

Table 2. Rainfall Intensity Frequency of Mokpo city (Lee at al., 1999).

Frequency	Rainfall Intensity
5 year	$591.179/t^{0.596} + 1.943$
10 year	$469.731/t^{0.533} + 0.859$
20 year	$365.006/t^{0.475} + 0.144$
50 year	$315.019/t^{0.406} - 0.439$
100 year	$202.139/t^{0.357} - 0.706$
200 year	$155.551/t^{0.311} - 0.877$

위 공식에서 t(concentration time)의 값은 전체 부지가 거의 평지이므로 GIS상 자동계산이 어려워 개발전은 미국토목학회가 발표한 교외 주택지구에 적용하는 20~30분의 평균치인 25분으로 하였으며, 개발후는 우리나라 도시지역에서 일반적으로 사용되는 5~10분의 평균치인 7분으로 하였다.

II. 이론적 고찰

1. 저류지 부유물질 조절을 위한 설계요소 고찰
중력 침전력에 영향을 주는 주된 요소로 저류지 구조, 유입·유출량의 정도, 유입수 지체시간, 부유물질 입자 크기 등인데, 특히 유입수의 지체시간이 중요하다(Ward 등, 1979). 저류지내에서의 지체시간은 저류지의 물리적 설계특성에 따라 조절할 수 있다.

저류지의 물리적 설계요소는 부피비율, 면적비율, 기하학적 구조, 배수구, 바닥면 토양구성 등인데(Woo, 1989) 이들이 중력 침전력에 미치는 영향을 고찰하면 다음과 같다.

1) 부피 비율(저류지 부피/유입량)

부피비율은 저류지 부피에다 유입량 비율로 나타내는 것이다. 유입량은 합리식에 의하여 구할 수 있다. Table 3은 EPA의 NURP(1983)에서 조사된 것인데, 저류지내에서 추적된 여러 부유오염물질의 부피비율과 면적비율에 따른 감소를 나타낸 것이다.

여기서 보면, 부피비율이 증가할수록 부유물(TSS)의 감소정도가 향상되는 것을 알 수 있다. 예로서, 저류지 6과 8은 거의 같은 면적비율(54.35, 58.48)을 갖고 있는데 비하여 부피비율(3.07, 7.57)은 상당히 다르다. 저류지 6(부피비율 3.07)에서는 부유물질의 60%가 제거되었고, 반면에 저류지 8(부피비율 7.57)에서는 부유물질의 91%가 제거되었다.

부피 비율은 저류지내 유입강우의 저류시간과 관련이 깊다. 저류지의 부피가 유입량보다 클 때 오직 적은 양의 물만 교체된다. 따라서 물속의 부유오염물을 가라앉히기에 충분한 시

Table 3. Observed Performance of Wet Detention Basins Reduction in Percent Overall Mass Load [NURP(National Urban Runoff Program), 1983].

Basin No.	Average Basin Dept(ft)	Site Ration		Average Mass Removals form All Monitored Storms(%)						
		*A/As	**VB/VR	TSS	BOD	TP	TN	T.Cu	T.Pb	T.Tn
1	2.6	10526.34	0.045	(-)	14	(-)	(-)	(-)	9	(-)
2	2.6	2857.14	0.17	32	3	12	7	(-)	26	(-)
3	5.0	1111.11	0.52	32	21	18	14	·	62	13
4	4.1	328.58	1.16	5	(-)	34	20	·	·	5
5	1.5	86.96	1.02	85	4	3	19	·	82	(-)
6	3.3	54.35	3.07	60	TOC=7	45	(-)	·	80	·
7	2.0	35.09	5.31	81	·	54	27	·	·	26
8	4.6	58.48	7.57	91	69	70	60	57	95	71
9	5.2	57.14	10.70	84	·	·	34	71	78	71

* A/As=Drainage area/Wet pond surface area.
 **VB/VR=Wet pond volume/Mean runoff volume.

간이 가능하다. 그러면 상당한 양의 부유오염 물을 가라앉히기에 어느 정도의 시간이 필요한 지가 중요한 사항이 된다. 여기에 대한 연구가 여러 학자들에 의해서 이루어져 있다.

NURP는 24시간의 저류시간은 부유물, 영양물질, 중금속의 2/3 이상을 제거할 수 있다고 하였다. 그리고 Whipple 등(1983)의 도시 지역에서의 우수량 속에 섞여 있는 오염물을 가라앉히는 침전력 data에 의하면, 현탁(懸濁)물질(물을 오염하는 고형물)과 각종 중금속의 60%를 침전시키는데 36시간의 지체시간이면 충분하다고 했다. 한편, Rast 등(1983)은 상당량의 P를 제거하기 위하여 2주간의 저류시간을 제안하였다. 2주간의 저류를 위하여 요구되는 부피의 용량은 너무 커서 침투유출량 조절을 위한 과대 설계수치가 될 수 있다. 이와 반대로 24시간을 위한 저류지는 너무 작은 크기가 될 수 있다.

한편, Driscoll(1983)은 각기 다른 부피비율과 저류시간과 관련한 부유오염물 제거율을 조사했다. 70%의 부유물을 침전시키기 위하여 부피 비율 2.5가 필요하고, 이와 관련된 저류 시간은 약 9일간 이라고 하였다. 9일간의 저류시간을 위하여 요구되는 저장 부피는 1일에서 2주일사이의 저류시간 표준에서 요구되는 부피 중에서 매우 의미가 있는 수치가 된다. 따라서 9일간의 지체시간은 과대한 표면적 요구(과대설계) 없이 부유물질을 조절할 수 있는 이상적인 설

계 수치로 설정할 수 있다.

Table 4는 Driscoll이 제시한 것으로 각기 다른 토지이용 상태에서 9일간의 저류시간의 저류지를 만들기 위한 최소부피를 위한 값이다. 이 값에다 유역면적을 곱하면 요구되는 저류지의 최소부피를 구할 수 있다. 여기서 보면 요구되는 최소부피를 위한 값은 저류지 유역의 불투수성이 증가할수록 증가한다. 따라서, 유출량과 우수 속의 오염물이 증가함에 따라 저류지의 크기는 커져야한다. 토지이용에 따른 불투수의 정도 10%에서 90%까지의 요구되는 값은 0.36cm에서 2.18cm까지의 범위이다. Qs의 값은 투수율과 거의 정비례 관계를 가지므로 불투수성율이 아래 Table 4의 값과 다를 경우에 보간법(interpolation)에 의하여 계산할 수 있다.

Table 4. Minimum Water Quality Storage Criteria for Wet Ponds(Driscoll, 1983).

Land Use	% Wet Pond Storage		
	Impervious	Qs(inches)	Qs(cm)
Low Density Single Family	10	0.14	0.36
Low Density Single Family	20	0.23	0.58
Medium Density Single Family	25	0.28	0.71
Medium Density Single Family	35	0.37	0.94
Multi Family Residence	40	0.41	1.04
Multi Family Residence	50	0.50	1.27
Industrial or Office	60	0.59	1.50
Industrial or Office	70	0.68	1.73
Commercial	90	0.86	2.18

2) 면적비율(집수면적/저류지 표면적)

면적비율이란 집수면적을 저류지 표면적으로 나눈 것이다. 예로서, 면적비율 40은 저류지 표면적 400m², 집수구역 면적 8000m²이다. 미국의 토양보존청(SCS)(1981)에서는 농촌지역에서 저류지 설계를 위한 지침을 만들기 위하여 면적비율을 10에서 50까지 제안하였다.

위 Table 3에서 보면 면적비율이 작아질수록(저류지 표면적이 커질수록) 부유오염물의 제거율이 커짐을 알 수 있다. 저류지 4와 5는 거의 같은 부피비율(1.16, 1.02)을 갖고 있다. 반면에 면적비율은 매우 다르다. 면적비율이 328.58인 저류지 4의 경우 TSS(Total Suspended Solids)의 5%만 제거되는데 비하여, 면적비율이 86.96인 저류지 5에서 TSS의 85%가 제거된 것을 알 수 있다. 우리는 여기서 부유오염물의 제거율은 면적비가 감소할수록 향상되는 것을 알 수 있다.

다른 유사한 연구(Driscoll 1983)(Figure 4)에서 저류지내 부유오염물 제거력을 보면(SE 지역), 저류지 평균깊이 1m인, 면적비율 500에서 총 침전물의 43%가 제거 된 것에 반하여, 면적

비율 50에서는 96%가 제거되었다.

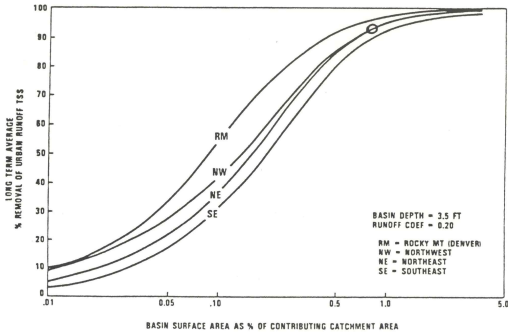
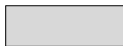


Figure 4. Detention Size Performance Relationship (Driscoll, 1983).

위의 예들에서 면적비율이 작으면 작을수록(저류지 면적이 클수록) 부유오염물의 감소가 커지는 것을 알 수 있다. 저류지 표면적의 과대 설계를 막기 위한 일정 크기에 대한 표준을 설정하기 위하여 유역의 토지이용과 토양상태에 따른 유입과 유출량이 중요하게 된다. 저류지에서 유출이 유입보다 적으면 일정 수위를 유지할 수 있다. 저류지로의 평균 유입량은 합리식으로

Table 5. Required Minimum Area Ratios(A/As) for Wet Ponds (Harrington, 1986).

Land Use Category	Percent Impervious	Soil Texture Classes (Infiltration zone)				Soil Texture Classes (Wet pond zone)						
		Sand	Loamy Sand	Sandy Loam	Loam	Silt Loam	Sandy Clay Loam	Clay Loam	Silty Clay Loam	Sandy Clay	Silty Clay	Clay
		8.27	2.41	1.02	0.52	0.27	0.17	0.09	0.06	0.05	0.04	0.02
Low Density Single Family	10%	12436	3624	1534	782	406	256	135	90	75	80	80
Low Density Single Family	20%	7570	2206	934	476	247	156	82	55	46	37	18
Medium Density Single Family	25%	6218	1812	767	391	203	128	68	45	38	30	15
Medium Density Single Family	35%	4706	1371	580	296	154	97	51	34	28	23	11
Multifamily Residential	40%	4247	1238	524	267	139	87	40	31	26	21	10
Multifamily Residential	50%	3482	1015	429	219	114	72	38	25	21	17	8
Industrial	60%	2951	860	364	186	96	61	32	21	18	14	7
Industrial	70%	2560	746	316	161	84	53	28	19	15	12	6
Commercial	90%	2024	590	250	127	66	42	22	15	12	10	5



This area represents soil textural classes that require the use of infiltration practices.

부터 구할 수 있다. 저류지 바닥에서의 유출량은 바닥 투수율 즉 바닥을 형성하고 있는 토성에 따라 달라진다. 여름철 저류지 수면에서의 증발량은 강수량보다 클 수도 있다. 그러나 본 연구에서는 강우가 증발보다 많다고 가정한다.

Table 5는 토지이용에 따른 각기 다른 토양 구성에서 저류지를 만드는데 필요한 최소 집수면적 비율을 나타낸 것으로 저류지로의 유입 유출량을 분석하여 만든 것이다.

예로서, 불투수성 90%의 상업지대에서 점토로 바닥이 만들어진 저류지는 1acre 저류지의 수면을 유지하기 위하여 5acre의 최소 유역면적이 필요하다. 반면에, sandy loam으로 만들어진 것은 1acre의 저류지 물을 유지하기 위하여 250acre의 최소 유역면적이 필요하다.

Table 5에서 본 것과 같이 최소면적비율은 바닥면의 투수성이 작아질수록 감소한다. 이것은 바닥면 투수율이 높으면 저류지에 물을 유지하기 위하여 더 큰 유역면적이 필요한 것을 의미한다. Sand에서 loam까지의 토양은 투수율이 너무 높아 침투지를 만들 때 사용가능하고 저류지를 형성시키기에는 부적합한 토성이 된다.

3) 저류지의 기하학적 구조

저류지의 기하학적 구조는 부유오염물의 제거에 중요하게 작용한다. 우리가 설계상 생각할 수 있는 저류지의 기하학적 구조는 다음과 같이 생각할 수 있다. 저류지 길이와 폭의 비율, 저류지 깊이 저류지 물가면(Littoral zone)의 경사도이다.

(1) 저류지 길이와 폭의 비율

저류지의 길이와 폭의 비율은 저류지 유입구에서 유출구까지 비율을 말한다. Kuo(1976)에

의하면, 저류지내 부유물의 포착율은 저류지의 길이가 길면 길수록 증가한다고 했다. 즉 상대적으로 저류지의 길이와 폭의 비율이 커질수록 중력 침전율이 커지며, 물의 정체지역(dead storage area)은 작아진다. 정체지역이란 물이 저류지에서 머무는 동안 서로 섞이지 않는 지역을 말한다(Figure 5- A).

Ward 등(1980)에 의하면, 전체 저류수량의 30%의 정체부피가 생기면 잘 설계된 저류지이고, 잘못 설계된 저류지에서는 그 양이 90% 이상까지도 된다고 하였다. 그래서 정체지역을 되도록 줄이기 위하여 저류지내에서의 길이 대 폭의 비율을 최소한 2 : 1에서 3 : 1이 되어야만 한다고 하였다.

지형 여건상 정체지역을 피할 수 없을 경우나 다른 설계적 제약조건 때문에 효과적인 저류지의 길이를 취하지 못할 경우에는 인위적인 장벽(barrier)이나 물 흐름의 조절장치(baffle) 등을 사용함으로써 정체지역을 최대한 줄일 수 있다고 했다(Harrington 1986). 이런 장벽이나 조절장치 등은 저류지내 유입구 근처에 설치되면 유수흐름을 차단함으로써 유수의 방향을 바꾸고 저류지내에서의 물이 뒤섞이지 못하게 하는 불순환(short circuiting) 현상을 막아줄 수 있다. 예로서 Figure 5에서 보는 것과 같이 저류지내 유입구 근처에 조절장치를 설치(Figure 5-B)할 경우 저류지폭의 방향으로 유수분포를 확대시켜 되도록 정체지역을 줄이는 동시에 물의 유속을 감소시킴으로서 부유물질의 침전에 필요한 체류시간을 늘이고, 물의 뒤섞임을 증대시킴으로 한곳에서 물의 오랜 정체 시 일어날 수 있는 물의 부패현상을 막을 수 있다. 실제 저류지를 만들 때 인공 장벽이나 유수흐름

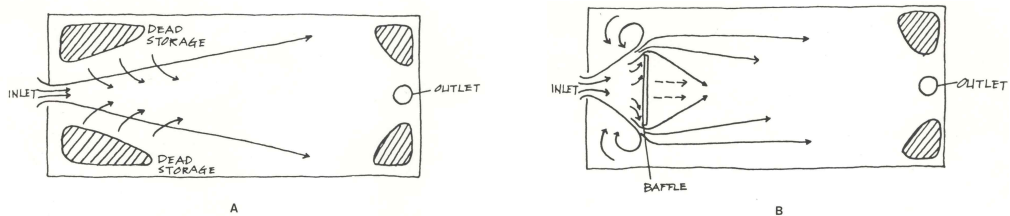


Figure 5. Short-circuiting in a Detention Pond (Goldman, 1986).

조절장치로 작은 섬이나 수생식물로 설계하므로서 정체지역을 줄일 수 있는 동시에 미적 효과도 기대할 수 있을 것이다.

(2) 저류지 깊이

저류지의 깊이는 저류지의 사용 목적에 따라 달라진다. 저류지내의 얇은 지역은 대부분의 수중 수생식물의 성장을 가능하게 하여 오염물 제거에 도움을 줄 수 있고, 수생식물은 야생동물의 좋은 서식처로서의 구실도 할 수 있다 (Godfrey 1985). 그러나 때로는 저류지의 깊이가 너무 얇으면 저류지내에서 빠른 유속에 의하여 바닥에 퇴적된 오염물이 다시 떠오르는 현상이 생길 수도 있다.

미국 Maryland주 토양보존청(SCS)(1981)의 지침에 의하면 저류지의 수질향상을 위하여 60cm 이하의 깊이와 90cm 이상 깊이를 동시에 갖추는 것이 좋다고 권하고 있다. 그러나, 4.5m 이상으로 할 경우 Maryland주 행정당국이 특수설계나 허락을 요구하고 있다.

(3) 저류지내의 옆면 경사도

저류지 물가면의 경사도는 습지식물이 잘 자라게 완만히 설계되는 것이 좋다. 따라서 경사도가 25%가 넘지 않게끔 설계되는 것이 바람직하다(Maryland 1985). 이들 사면에 습지식물이 잘 조성되면 저류지의 경관을 향상시킬 수 있고, 오염물질의 제거에도 상당한 도움을 줄 수 있을 것이다.

2. 설계표준에 의한 저류지의 부유오염물 제거 검정 모형

Driscoll(1983)은 저류지 내에서 중력침전에 의한 부유오염물의 제거율을 계산하기 위한 모형을 개발하였다. 계산에 필요한 입력 자료는 강우자료, 도시 우수내 입자의 침전속도, 합리식의 강우유출계수, 저류지 깊이, 면적비율을 사용하였다. 그가 계산한 결과는 다음과 같다. Figure 6, 7, 8은 Maryland주 강우자료를 사용하여 불투수성이 다른 10개의 유역의 깊이 3feet, 6feet, 9feet에서 부유오염물 제거율이다.

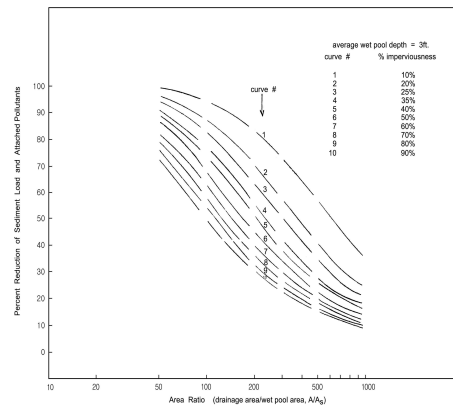


Figure 6. Percent Reduction of Sediment Load and Attached Pollutants(Driscoll, 1983).

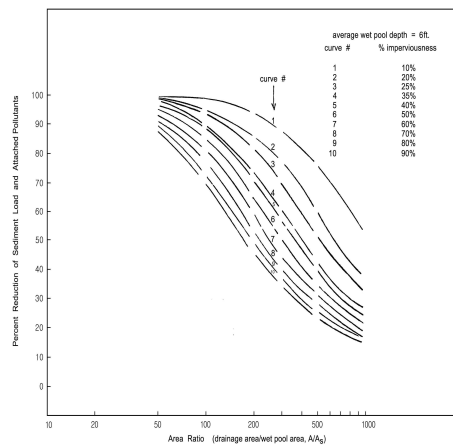


Figure 7. Percent Reduction of Sediment Load and Attached Pollutants(Driscoll, 1983).

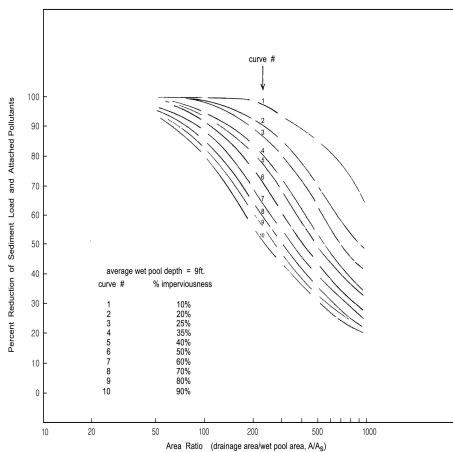


Figure 8. Percent Reduction of Sediment Load and Attached Pollutants(Driscoll, 1983).

위 그림에서 보면, 저류지내에 포함된 부유오염물의 감소를 예상할 수 있는데, 저류지의 면적비율이 작을수록(저류지 표면적이 클수록) 그리고 깊이가 깊을수록 부유오염물의 제거율이 높아지는 것을 예상할 수 있다. 예로서(Figure 6, 7, 8) 유역이 50% 불투수성으로 되어 있고, 면적비율이 200으로 된 저류지의 총 부유오염물 제거율은 3feet, 6feet, 9feet에서 각각 약 46%, 약 67%, 약 75%이다. 그러나 만약에 면적비율이 50으로 설계되면, 부유오염물 제거율은 각각 약 87%, 약 96%, 약 98%로 증가한다. 따라서 작은 면적비율(큰 저류지 표면적)에서 부유오염물 제거효율이 증가된다는 것을 검정할 수 있다. 이것은 Table 4의 NURP연구(1983)에서 실제 조사된 저류지의 부유오염물의 제거율과 일치한다.

한편, Harrington(1986)에 의하면, Driscoll의 연구(1983)에서 제시한 부유오염물의 70% 감소율은 저류지의 설계를 위하여 표준으로 추천할 수 있다고 하였다. 때로는 70%의 감소율은 토지이용이나, 토양 그리고 지형적인 조건에 따라 불가능할 수도 있다. 그러나 본 논문에서는 제거율 최소 70%를 기준으로 하여 설계표준을 설정하고자 한다.

저류지의 부피 증가는 저류지의 표면적 증가(면적비율 감소)나 깊이 증가에 의해 가능하다. 깊이가 3feet의 저류지에서(Figure 6) 오염물 70%의 감소를 위하여 불투수성 90% 유역(면적비율 350)은 10% 유역(면적비율 56)보다 약 6배 이상의 표면적이 필요하다.

저류지의 깊이가 증가하면 부유오염물의 제거율은 커지지만 표면적의 증가만큼 효과적이지는 못하다. 35%의 불투수성으로 된 3feet 깊이의 저류지에서(Figure 6) 부유오염물질의 감소율은 90%의 불투수성으로 된 유역의 9feet 깊이의 저류지와 거의 비슷하게 된다(면적비율 130, 제거율 70%).

III. 저류지 설계 과정

저류지내의 부유물질 조절을 위한 설계과정은 다음과 같이 요약 할 수 있다.

1단계 : 유입수의 저류시간에 기초하여 적절한 저류지 부피를 구한다.

Table 4의 9일간의 지체시간을 유지하기 위하여 요구되는 Qs에다 유역면적을 곱하여 최소 요구되는 저류지 부피(Vs)를 계산한다.

2단계 : 적절한 깊이와 면적비율을 정한다.

저류지 부피, 면적비율, 수생식물 조성을 고려한 적절한 저류지 평균깊이(d)를 선택하고, 요구되는 저류지 표면적(As)을 다음에 의해 계산한다.

$$As = Vs / d$$

3단계 : 2단계에서 얻은 저류지 표면적(As)을 유역면적(A)으로 나누어 면적비율을 구한다.

4단계 : 유역의 토지이용과 저류지 토성을 고려하여 만든 Table 5에서 최소 허용 면적비율을 찾는다. 만약에 계산한 면적비율이 최소 허용 면적비율보다 적으면, 저류지는 지속적인 물을 유지하지 못할 것이다. 이 경우에, 저류지 평균깊이(d)를 수정하여 해결한다.

5단계 : Figure 6, 7, 8로 가서 유역의 불투수율과 깊이, 면적비율을 고려하여 부유오염물의 감소비율을 검정한다. 만약에 감소율이 70%보다 적으면 70% 제거율과 관련된 면적비율에 맞추어 4단계의 저류지 표면적을 수정하기 위한 깊이를 다시 설정 조정한다.

6단계 : 정체지역을 피하기 위하여 적절한 길이 대 폭의 비율을 최소 2 : 1에서 3 : 1로 설정한다. 지형적 요건이나 다른 설계적 제약 때문에 적절한 길이 대 폭의 비율을 취하지 못할 경우 정체지역을 줄이기 위하여 유입구 근처에 인공 섬이나 수생식물을 설치한다.

IV. 저류지 설계과정 적용 및 고찰

1. 침투유출량 변화

1) 개발전과 후의 침투 유출량 변화(유역별)

토지 이용변화에 따른 유역별 도시개발 전후의 재현빈도별 침투유출량 변화는 Table 6과 같다. 개발에 의한 조도계수변화와 유출계수의 변화로 각 유역마다 강우재현빈도별 침투유출량이 개발후가 개발전보다 유역마다 전체적으로

Table 6. Peak Discharge Variation (m³/sec).

Watershed	Area(ha)	Development	Frequency					
			5 year	10 year	20 year	50 year	100 year	200 year
1	157.80	Before	16.50	17.84	18.70	19.74	20.12	20.67
		After	28.49	31.54	33.85	36.59	38.51	40.24
		After/Before	1.73	1.78	1.81	1.85	1.91	1.95
2	121.02	Before	14.20	15.35	16.10	16.98	17.32	17.70
		After	28.04	31.03	33.31	36.01	37.89	39.60
		After/Before	1.97	2.02	2.07	2.12	2.19	2.24
3	128.30	Before	14.79	15.99	16.77	17.69	18.04	18.43
		After	25.94	28.71	30.81	33.31	35.05	36.63
		After/Before	1.75	1.80	1.83	1.88	1.94	1.99
4	175.74	Before	20.25	21.88	22.95	24.21	24.69	25.23
		After	34.76	38.47	41.29	44.64	46.97	49.09
		After/Before	1.72	1.76	1.80	1.84	1.90	1.95
5	213.17	Before	24.02	25.69	27.22	28.72	29.29	29.93
		After	37.35	41.34	44.37	47.97	50.47	52.75
		After/Before	1.55	1.61	1.63	1.67	1.72	1.76

로 약 2배 증가할 것으로 추정된다. 100년 빈도를 기준으로 1유역에서 약 1.91배, 2유역에서 약 2.19배, 3유역에서 약 1.94배, 4유역에서 약 1.90배, 5유역에서 약 1.72배 증가하였다. 대상 구역이 영산호변 저지대에 위치하여 개발전 현재에도 호우시 홍수의 위험이 높은데, 개발에 의해 도시 지표면의 많은 면적이 불투수성으로 변하여 유출계수가 커지면 그 위험성은 더욱 높아져 홍수에 대비한 우수방재 시설이 절실히 필요할 것으로 생각된다.

2. 설계과정 적용

침투유출량 증대 대비와 수질향상을 고려한 저류지 설계과정을 적용하면 다음과 같다. 각 유역의 토양구성은 silt loam으로 되어 있고, 각 유역의 토지이용에 따른 불투수성 정도는 1유역 75%, 2유역 60%, 3유역은 80%, 4유역 60%, 5유역 30% 정도이다. 각 유역에다 호우시 영산호로 유입될 최대유출량을 완화시키고 부유물질 조절을 위한 저류지를 만들기 위하여 본 연구에서 제안한 설계과정을 적용하면 다음과 같

이 계산할 수 있다.

1단계 : 최소 요구되는 저류지 부피를 계산하기 위하여 Table 4에서 Qs를 구한다. 1, 3, 5유역의 불투수율은 Table 5의 값과 다르므로 보간법(interpolation)에 의하여 계산한다. 각 유역의 Qs에다 유역면적(A)으로 곱하면 요구되는 저류지 부피(Vs)를 구할 수 있다. 그 과정은 다음과 같다.

$$1\text{유역} : V_s = 1.84\text{cm}(Q_s) \times 1,578,000\text{m}^2(A) = 29,035\text{m}^3$$

$$2\text{유역} : V_s = 1.50\text{cm}(Q_s) \times 1,210,200\text{m}^2(A) = 18,153\text{m}^3$$

$$3\text{유역} : V_s = 1.96\text{cm}(Q_s) \times 1,283,000\text{m}^2(A) = 25,147\text{m}^3$$

$$4\text{유역} : V_s = 1.50\text{cm}(Q_s) \times 1,757,400\text{m}^2(A) = 26,361\text{m}^3$$

$$5\text{유역} : V_s = 0.83\text{cm}(Q_s) \times 2,131,700\text{m}^2(A) = 17,693\text{m}^3$$

2단계 : 저류지 깊이(d)를 선택하고 저류지의 표면적(As)을 구한다.

본 연구에서는 저류지의 평균깊이를 3m로 정하고 저류지 표면적(As)을 구하면 다음과 같다.

- 1구역 : $As=29,035m^3(Vs) / 3m(d)=9,678m^2$
- 2구역 : $As=18,153m^3(Vs) / 3m(d)=6,051m^2$
- 3구역 : $As=25,147m^3(Vs) / 3m(d)=8,382m^2$
- 4구역 : $As=26,361m^3(Vs) / 3m(d)=8,787m^2$
- 5구역 : $As=17,693m^3(Vs) / 3m(d)=5,898m^2$

3단계 : 유역면적(A)에다 2단계에서 구한 저류지 표면적(As)을 나누어 면적비율을 구한다.

- 1구역 : $A/As=1,578,000m^2 / 9,678=163$
- 2구역 : $A/As=1,210,200m^2 / 6,051=200$
- 3구역 : $A/As=1,283,000m^2 / 8,382=153$
- 4구역 : $A/As=1,757,400m^2 / 8,787=200$
- 5구역 : $A/As=2,131,700m^2 / 5,898=361$

4단계 : 각 구역의 토지이용에 의한 불투수성 정도와 토양구성에 따라 저류지의 수위를 유지하는데 요구되는 최소면적 비율을 Table 5에서 찾아 3단계에서 구한 면적비율과 비교해 본다.

Table 5에서 구한 최소 요구면적 비율은 다음과 같다. 1, 3, 5구역은 보간법(interpolation)에 의하여 구한다.

- 1구역 : 75% 불투수성, silt loam= 80
- 2구역 : 60% 불투수성, silt loam= 96
- 3구역 : 80% 불투수성, silt loam= 75
- 4구역 : 60% 불투수성, silt loam= 96
- 5구역 : 30% 불투수성, silt loam=179

위에서 구한 최소요구 면적 비율보다 3단계에서 구한 면적비율보다 크기 때문에 저류지의

수위를 유지하기에는 별로 어려움이 없을 것으로 생각된다.

5단계 : 본 연구에서 제시한 평균 깊이 3m와 가장 근사한 깊이 9feet에서의 부유오염물 제거율 그림 Figure 8에서 각 구역의 불투수성의 정도와 면적비율로 오염물의 제거율을 검정한다. 1, 5구역은 유역의 불투수성이 검정 Figure와 일치하지 않으므로 보간법(interpolation)에 의하여 구하였다. 각 구역에서의 제거율은 1구역에서 73%, 2구역 70%, 3구역 73%, 4구역 70% 5구역 72%였다(Table 7). 이 값은 Harrington이 말한 유의성 있는 오염물 제거율 70%보다 약간 높았다. 그리고 본 연구에서 제시한 저류지 깊이 3m는 Driscoll(1983)이 제시한 오염물 검정도표 9feet 보다 약간 더 깊기 때문에 실제 오염물 제거율도 약간 더 높을 것으로 예상된다.

위 설계 5단계에서 계산한 요구되는 저류지 부피, 깊이, 면적, 면적비율 그리고 오염물 제거율 값을 요약하면 Table 7과 같다.

6단계 : 정체지역을 되도록 줄이기 위하여 적절한 길이 대 폭의 비율을 최소 2 : 1에서 3 : 1로 설정한다.

본 논문에서는 저류지의 깊이를 선택할 때 전체적인 평균깊이로 한정하여 계산하였다. 그러나 실제 현장에서 설계할 때는 저류지의 단면 형태를 고려하여 계산되어야 할 것이다. 즉 사다리꼴이나, 자연스러운 형태를 생각할 수

Table 7. Results of Design Procedure Values.

Watershed	Area (ha)	Impervious (%)	Soil Texture	Qs(cm)	Vs (m ³)	d (m)	As (m ²)	Area Ratio	Reduction Suspended Solid(%)
1	157.80	75	silt loam	1.84	29,035	3	9,678	163	73
2	121.02	60	silt loam	1.50	18,153	3	6,051	200	70
3	128.30	80	silt loam	1.96	25,147	3	8,382	153	73
4	175.74	60	silt loam	1.50	26,361	3	8,787	200	70
5	213.17	30	silt loam	0.83	17,693	3	5,898	361	72

있다. 그렇게 하면 저류지의 깊이 변경에 따른 저류지의 표면적은 위에서 계산 한 것과는 약간의 차이가 있을 것을 예상할 수 있다. 본 논문에서는 우선 대략적인 지침을 설정하는데 초점을 맞추었으므로 세밀한 부분까지는 고려하지 않았다. 정교한 설계를 하기 위하여 대상지역의 세밀한 등고선 같은 지형자료가 있어야 할 것으로 생각된다.

V. 결 론

본 연구는 수질향상을 위한 다목적 저류지의 설계 표준을 설정하기 위하여 기존 이론을 검토하고, 그 계산과정을 구체화시켜 환경친화적인 도시를 지향하는 남악신도시 개발현장에 적용시켜 보았다.

우선 개발에 따른 지표면 변화로 침투유출량이 도시 조성전보다 약 2배 정도 증가할 것으로 예상되는데, 본 연구에서 제안한 저류지를 설치할 경우 영산호변의 저지대에 위치하는 남악신도시 지역의 홍수 위험은 상당히 완화시킬 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 침투유출량 상승에 따른 방재계획의 일환으로 저류지나 침투지 같은 시설은 도시계획 초기 단계부터 수립되어야 할 것이다.

영산호는 인근 목포시나 새로 조성될 신도시 지역민의 여가나 여러 다목적용 위하여 사용되는 중요한 자연보고이다. 그러나 호우시 인근 도시로부터 유입되는 오염물의 효과적인 통제 없이는 그 유지는 불가능하다. 따라서, 남악 신도시를 건설할 때 부유오염물 여과를 고려한 일정 규모의 저류지의 설치는 도시 유수의 오염물질을 매우 효과적으로 조절할 수 있어, 영산호를 오염시키는 것을 줄일 수 있을 것이다. 그리고, 신도시 개발공사 중 지표면의 다량 노출은 호우시 심각한 토양침식에 의한 토사유출이 예상되는데, 그것에 대한 대안으로 영산호로 유입될 위험성이 높은 지역에 토사유출을 방지하기 위한 적정규모의 침사지의 설치가 필요하다. 따라서, 공사 중 침사지로 사용하다가 도시건설 후 저류지로 전용하게 도시계획 초기

단계부터 계획하여 설계하는 것도 환경친화적 도시건설 접근의 한 방법이라고 생각된다.

한편, 본 연구는 수질을 향상시키기 위한 저류지 설계와 그 가능성을 위한 지침을 시도하였다. 설계를 위하여 검증되고 선택된 중요한 변수는 저류지내에서의 유수의 체류시간과 저류지 부피, 저류지 표면적, 저류지 기하학적 구조였다.

오염물 감소율에 대한 검정은 Driscoll이 강우자료, 도시 우수내 입자의 침전속도, 지표면 유출계수, 저류지 깊이, 면적비율, 유역의 토지이용을 기본으로 개발한 모형에서 나온 결과를 사용하였는데, 오염물은 중력침전원리에 근거하여 추정되었으며, 생물학적 활동으로부터 일어나는 것은 고려하지 않았다. 앞으로 생물학적 활동에 의한 오염물 제거 효율을 위한 수생식물을 이용한 설계 지침에 대한 연구가 계속되어야 할 것이다. 그리고, 본 논문에서 사용한 이론적 고찰 자료는 한국에서 그 연구가 거의 이루어져 있지 않기 때문에 미국에서 발표된 자료들을 주로 사용하였다. 보다 우리나라 환경에 맞는 정확한 설계를 하기 위하여 이와 관련된 지속적인 연구가 필요하다고 생각된다. 그리고, 본 연구에서 추정한 침투유출량 변화와 오염물 제거율은 실제 현장에 적용해 확인한 결과가 아닌 추정치에 불과하므로 앞으로 이에 대한 검정을 위한 연구도 계속되어야 할 것이며, 침투유출량을 구할 때 적용한 t 의 값은 대상지가 평탄지라서 GIS상에서 자동계산하지 못하고 미국 교외 주택지구와 한국 도시지역에서 적용하는 값을 사용하였으며, 대상지역이 매립지라서 정확한 토양도가 없어 표본을 채취 분석하여 만든 토성자료를 사용하여 보다 정확한 계산을 하지 못한 것이 이 논문의 한계였다.

인 용 문 헌

- 이재준 · 이정식. 1999. 우리나라 도시배수시스템 설계를 위한 확률강우강도식의 유도. 한국수자원학회논문집. 32(4) : 403-415.
- APWA Research Foundation. 1981. Urban

- Stormwater Management. America Public Works Assoc. 1313 East 60th St. Chicago. II.
- Barfield, Warver., and Haan. 1981. Applied Hydrology and Sedimentology for Disturbed Areas.
- Driscoll, Eugene D. 1983. Performance of Detention Basins for Control of Urban Runoff Quality, Processing of the 1983 International Symposium on Urban Hydrology. Hydraulics and Sediment Control, University of Kentucky, July.
- Godfrey, Kaynor., Pelczarski and Banforado. 1985. Ecological Considerations in Wetlands Treatment of Municipal Wastewater.
- Goldman, S. J. 1986. Erosion and Sediment Control Handbook. McGraw Hill Inc. NY.
- Griffin, John R. 1987. Guidelines for Constructing Wetland Stormwater Basins. State of Maryland Department of Natural Resources, Annapolis. Maryland.
- Harrington, B. W. 1986. Feasibility and Design of Wet Ponds to Achieve Water Quality Control. Paper Presented at the 1986 Sediment and Stormwater Management Conferences. Salisbury State college, Salisbury. Maryland.
- Kamelduski, Gregory E. and Richard H. McCuen. 1979. Evaluation of Alternative Stormwater Detention Policies. Journal of the Water Resource Planning and Management Division ASCE. 105(WR2) pp.171-186.
- Maryland Department of Natural Resources. 1985. Use of Stormwater Infiltration Practices for Water Quality Management.
- Metropolitan Washington Council of Governments. December 1983. Urban Runoff in the Washington Metropolitan Area. Final Report, for U.S. EPA Nationwide Urban Runoff Program.
- Rast, W. and G. F. Lee 1983. Predictive Capability of U.S. OECD Phosphorus Loading-Eutrophication Response Models. Journal of Water Pollution Control Federal. 55(7) : 990-1003.
- Steven Strom and Kurt Nathan. 1998. Site Engineering for Landscape Architects. AVI Publishing Co. Inc.
- USDA Soil Conservation Service. 1981. Maryland Standards and Specifications for Ponds. Engineering Code No. 378.
- Ward, A. D., C. T. Haan., and B. J. Barfield. 1980. The Design of Sediment Basins. Trans. ASAE. pp.351-356.
- Whipple, Jr. William. 1979. Dual Purpose Detention Basins. Journal of Water Resources Planning and Management Div. ASCE. Sept. pp.403-411.
- Whipple, Jr. William, at al. 1983. Stormwater Management in Urbanizing Areas, Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs. NJ. 07632.
- Woo, Chang Ho. 1989. Design Criteria for Wet Detention Ponds to Improve Water Quality in Urban Areas. University of Georgia. MLA Thesis.