

# 농업용 저수지 내 침강지의 설치유형에 따른 수질정화효율 평가

## The Evaluation of Pollutant Removal Efficiencies by Sedimentation Basin Types constructed at the Inlets of Irrigation Reservoirs

장 정 렬\* / 최 선 화\*\* / 남 귀 숙\*\*\* / 권 순 국\*\*\*\*

Jang, Jeong Ryeol / Choi, Sun Hwa / Nam, Gui Sook / Kwun, Soon Kuk

### Abstract

The aim of this study is to evaluate 3 types of sedimentation basins: dredging, shield skirt and auxiliary dam, constructed at inlets of two irrigation reservoir and to estimate the most beneficial type and fitted size, SAR(surface to area ratio), for pollutant removal efficiency(RE). For this, RE of major water quality items and change of physicochemical properties in sediments before and post construction of sedimentation basin(SB) were investigated. RE depended on SB types, water quality items and survey times with wide range from -87% to 92%. Long term overall removal efficiency by ROC(regression of concentration) method were 18% in dredging, 29% in shield skirt and 42% in auxiliary dam type. There was a change of physicochemical properties in sediments at auxiliary dam type, while a slight change at dredging and shield skirt type. In comparison to RE, SAR and hydraulic retention time at 3 types of SB, auxiliary dam type was the most beneficial one. Thus, it is recommended that SB would be constructed in completely separated structure from water body of a reservoir with SAR ranged from 0.7 to 1.0%.

*keywords* : sedimentation basin, pollutant removal efficiency, surface to area ratio, retention time, irrigation reservoir

### 요 지

본 연구의 목적은 농업용 저수지 유입부에 설치된 3가지 유형(준설형, 차수막형, 보조댐형)의 침강지에 대한 수질정화효율 평가와 수질정화효율 면에서 유리한 침강지의 유형과 적정규모를 살펴보는 데 있다. 이를 위해서 주요 수질항목에 대한 정화효율과 침강지 설치전후의 퇴적물의 이화학적특성을 조사하였다. 수질정화효율은 침강지 유형, 수질항목 및 조사시기에 따라 -87%에서 92%사이의 넓은 변동을 보였다. 농도회귀법(ROC)으로 평가한 설계정화효율은 준설형이 18%, 차수막형이 29%, 보조댐형이 42%로 나타났다. 보조댐형에서는 퇴적물의 이화학적특성 변화가 있었으나, 다른 두 유형에서는 미미하였다. 정화효율, 배수면적 대 유역면적비(SAR), 체류시간 측면에서 비교한 결과, 보조댐형 침강지가 가장 유리한 것으로 나타났다. 따라서 침강지는 저수지 수체와 완전히 분리되는 구조이면서 SAR

\* 농업기반공사 농어촌연구원 주임연구원

Staff researcher, Rural Research Institute of KARICO, Ansan-Si, Gyeonggi-Do, 425-170, Korea  
(e-mail: wgjang@karico.co.kr)

\*\* 농업기반공사 농어촌연구원 주임연구원

Corresponding Author. Staff researcher, Rural Research Institute of KARICO, Ansan-Si, Gyeonggi-Do, 425-170, Korea  
(e-mail: csh@karico.co.kr)

\*\*\* 농업기반공사 농어촌연구원 주임연구원

Staff researcher, Rural Research Institute of KARICO, Ansan-Si, Gyeonggi-Do, 425-170, Korea

\*\*\*\* 서울대학교 조경·지역시스템공학부 교수

Professor, Dept. of Landscape Architecture and Rural System Engrg. Seoul National Univ. Seoul 151-921, Korea

가 0.7~1.0% 정도인 규모가 적절하다.

**핵심용어** : 침강지, 수질정화효율, 배수면적 대 수면적비, 체류시간, 농업용 저수지

## 1. 서론

근래 자연의 환경용량을 초과한 과도한 오염물질의 배출은 농업용수 수질오염 현상을 초래하고 있다. 최근 자료(농업기반공사, 2002)에 의하면, 조사대상 농업용 저수지 492개소의 64%가 중부영양에서 부영양화 상태이고 이들 저수지의 주 오염원 중에서 비점오염원의 비율이 1997년 14.3%에서 2002년 31.7%로 크게 증가하는 추세이다. 또한 우리나라 수계전체 오염원 중 비점오염원이 22~37%를 차지하고 있어 앞으로 공공수역의 수질관리에 있어 비점오염원 관리의 중요성이 크게 부각되고 있다(환경부, 2004).

비점오염물질의 처리를 위하여 체류지(wet detention pond)가 많이 이용되고 있고 입자성 오염물질의 50~90%, 영양염류의 40~60%를 제거하는 능력이 있는 것으로 보고되고 있다(Borden et al., 1998; Martin, 1988; Mays, 1999; Wu et al., 1996). 국내에서는 건설공사장 유출수의 처리와 토지개발에 따른 홍수조절 목적의 저류지(dry detention pond)를 적용하는 사례는 있으나, 수질정화 목적의 체류지에 대한 연구사례는 드물다(이종태 등, 2000).

본 연구에서는 저수지 유입부 수면을 이용하여 체류지와 같은 기능을 하도록 설치한 수리구조물을 침강지(sedimentation basin)라 정의하였다. 침강지는 저수지로 유입되는 입자성 또는 흡착성 오염물질의 침강 및 퇴적작용을 더욱 증진시켜 저수지 하류로의 이동을 억제하는 역할을 한다. 또한 유입된 오염물질은 침강지에서 체류되면서 생물학적 자연정화작용에 의해 제거되게 된다. 침강지는 기존 저수지의 수면을 이용함으로써 추가적인 부지확보의 필요성 없이 저수지 전체로 퇴적확산을 방지하여 퇴적물 준설을 효율적으로 수행할 수 있다는 장점이 있다.

본 연구의 진행절차는 Fig. 1과 같으며, 연구의 목적은 3가지 유형, 준설형(dredging type), 차수막형(shield skirt type), 보조댐형(auxiliary dam type) 침강지의 주요 호소수질항목에 대한 수질정화효율(pollutant removal efficiency, RE)과 퇴적물 변화특성을 비교·평가하고, 침강지 규모와 수질정화효율의 관계를 고찰하여 수질정화효과 면에서 유리한 침강지의 유형과 적정규모를 알아보는데 있다.

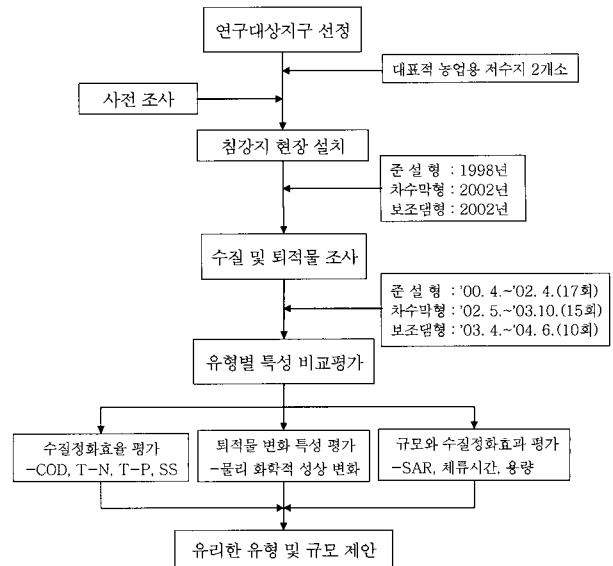


Fig. 1. Diagram of This Study Procedure

## 2. 연구의 접근방법

### 2.1 연구대상 지구

연구대상 지구는 Fig. 2와 같이 농업용 저수지인 충남 아산시에 위치한 마산저수지와 전남 무안군에 위치한 감돈저수지를 선정하였다. 연구대상 저수지 유역의 토지이용특성과 저수지 및 침강지의 제원은 Table 1과 같다.

### 2.2 침강지 설치

#### 2.2.1 준설형 침강지

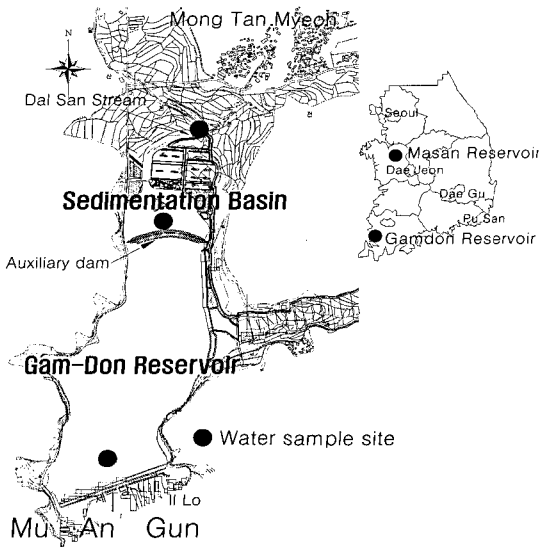
준설형 침강지(이하 준설형)은 저수지 유입부를 깊게 준설하여 설치하는 방식으로 Fig. 3(a)와 같이 마산저수지에 1997~1998년에 걸쳐 저수지 상류 유입부를 만수위를 기준으로 최대 수심 6.8m까지 준설하여 설치하였다. 저수지의 수위가 만수위를 기준으로 3m 이하로 낮아지면 저수지 수체와 자연적으로 분리되는 형상을 갖게 된다. 준설형 침강지의 수표면적은 14.0ha이며, 용량은 Fig. 3(a)의 V1이 17.4 ha·m, V2가 55.9 ha·m이다.

#### 2.2.2 차수막형 침강지

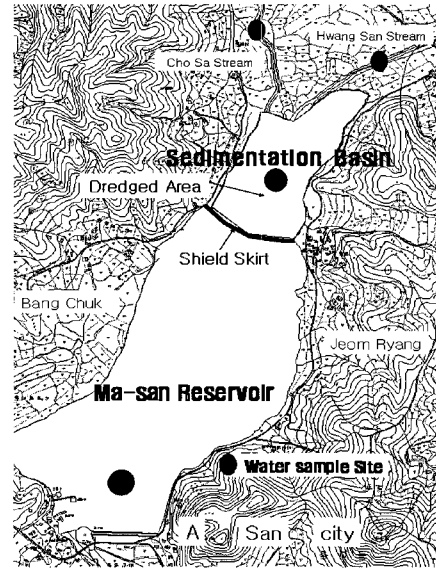
차수막형 침강지(이하 차수막형)은 저수지 유입부에 차수막을 설치하는 방식을 말한다. 본 연구에서는 Fig. 3(a)의 준설형 침강지의 정화효율을 높이기 위해 2002년 4월에 Fig. 3(b)와 같이 차수막을 설치하였다. 차수

Table 1. Watersheds and Sedimentation Basins Characteristics

Area	Landuse (ha)					Height (m)	Length (m)	FWA (ha)	V (ha · m)	Mean depth (m)	
	Sum	Paddy	Upland	Forest	Res.						Others
Reservoir											
-Masan	1,776	343	455	816	87	75	10.7	247.0	92.0	303.7	3.3
-Gamdon	985	69	80	752	21	63	14.2	376.0	35.3	191.8	5.4
Type of SB											
-Dredging (Shield skirt)	1,483	438	300	672	38	35	2.0	270.0	14.0	73.3	5.2
-Auxiliary	520	50	62	382	17	9	4.5	290.0	3.4	12.2	3.6



(a) Auxiliary Dam Type



(b) Dredging and Shield Skirt Type

Fig. 2. Location of Study Areas and Water Sampling Sites

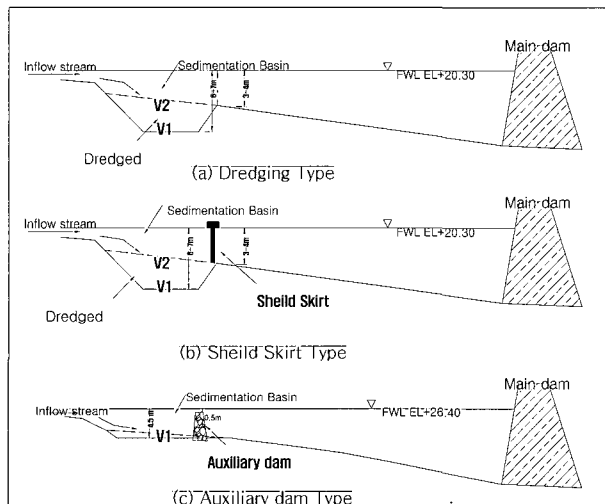


Fig. 3. Cross-sections of Sedimentation Basin Type

막은 Fig. 4와 같이 폭 5m, 높이 3m, 두께 0.3mm의 PVC 타포린을 사용하였다. 물속에서 부식방지를 위해 표면에 방염, UV 및 내항균 처리를 하고 내한성을 갖

도록 아크릴과 불소로 표면을 특수처리 하였다. 각 차수막은 50cm 정도가 겹치도록 하여 평상시에는 차수막의 역할을 하고 홍수시에는 이 사이가 벌어져 홍수가 잘 배제되게 하였다. 규모는 준설형과 동일하다.

### 2.2.3 보조댐형 침강지

보조댐형 침강지(이하 보조댐형)은 저수지 유입부에 Fig. 3(c)와 같이 영구적인 보조댐을 설치하는 방식을 말한다. 보조댐은 감둔저수지 유입부에 2001년 8월~2002년12월 사이에 설치하였다. 월류부의 제정고는 저

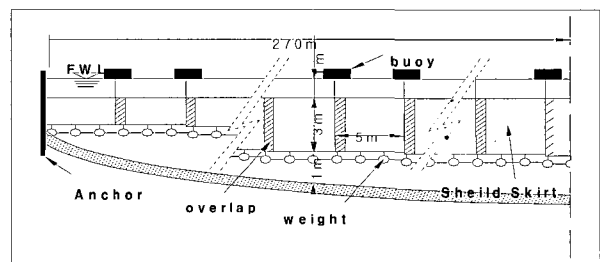


Fig. 4. Schematic of a Shield Skirt



따라서 여기서는 ROL법을 Eq. 5(a)와 같이 부하량 대신 농도를 이용하는 방법으로 변형하여 농도회귀식 (regression of concentrations, ROC)법이라 정의하고 Eqn. 5(b)와 같이 침강지의 설계정확효율 평가에 적용하였다.

$$C_{down} = m C_{up} \quad (5a)$$

$$ROC \text{ efficiency}(\%) = (1 - m) \times 100 \quad (5b)$$

## 2.4 수질 및 퇴적물 조사·분석 방법

수질조사는 Fig. 2에서와 같이 유입하천 1지점, 침강지 1지점, 저수지 하류부 1지점을 각각 조사지점으로 선정하여 수표면 1m 아래에서 시료를 채취하였다. 침강지 설치전의 수질조사는 마산저수지는 1995년에 3회, 감둔저수지는 1999년에 4회를 각각 실시하였다. 침강지 설치 후 수질조사는 월 1회 빈도로 하였으며, 준설형 침강지는 2000년 4월부터 2002년 4월까지 17회, 차수막형은 2002년 5월부터 2003년 10월까지 15회, 보조댐형은 2003년 4월부터 2004년 6월까지 10회를 각각 조사하였다.

수질조사는 주요 호소수질항목인 화학적산소요구량(COD<sub>MN</sub>), 총질소(T-N), 총인(T-P), 부유물질(SS)을 대상으로 하였으며 수질분석방법은 수질오염공정시험방법에 준하였다.

퇴적물은 Fig. 2의 침강지와 저수지 중류부 각 1지점에서 버킷형 샘플러로 시료를 채취하였으며, 마산저수지에서는 1999년 3월, 2001년 11월, 2003년 11월에 각각 조사하였고, 감둔저수지는 1999년 6월과 2004년 6월에 조사하였다. 시료분석은 토양화학분석법(농촌진흥청, 1988)에 준하였으며 입도는 Hydrometer법, 유기물은 Walkley-Black법으로 분석하였다.

## 3. 연구 결과 및 분석

### 3.1 기초자료 분석

#### 3.1.1 강우자료 분석

연구기간 동안의 강우자료를 살펴보면, 최근 30년(1971~2000)의 연평균강우량은 마산저수지가 1,228.9 mm, 감둔저수지가 1,125.0 mm이다. 마산저수지는 2000년~2003년 연구기간 동안 2001년을 제외하고는 연평균 강우량보다 많은 강우가 내렸으며 특히, 2003년에는 약 400 mm 이상의 많은 강우가 있었다. 현장조사일 기준 선행 5일전 동안에 10 mm/day 이상의 강우(선행5일 강우)가 있었던 경우는 32회 조사기간 중 15회가 있었다. 감둔저수지는 2003년에는 연평균 강우량보다 약 600 mm가량 많은 강우가 내렸고 선행5일 강우는 10회 조사 중 4

회가 있었다.

#### 3.1.2 유입하천 수질

평시의 유입하천 수질은 두 지구 모두 SS의 변화가 상대적으로 큰 것으로 나타났고, T-N과 T-P는 호소 농업용수 수질기준 보다 각각 4배와 2배 이상 높은 농도로 유입되었으며, 두 지구 모두 경년 수질변화는 거의 없었다.

강우시 유입하천의 수질은 평시에 비하여 SS는 2~1,700배, COD는 2~10배, T-N은 1~3배, T-P는 2~30배 정도로 높게 유입되었고 입자상으로 존재할 가능성이 높은 SS와 T-P가 크게 증가됨을 알 수 있었다.

침강지의 RE는 전반적으로 유입하천 수질과는 상관관계가 거의 없었다. 이는 본 연구가 개개 강우사상에 대한 정확효율 평가가 아니라 월별 대표 값에 대한 평가로서 유입하천의 수질변동이 크지 않은 것이 주원인으로 사료된다. 선행강우 현상과는 COD, SS, T-P가 중정도의 상관관계( $r=0.36$ ,  $p<0.05$ ,  $n=42$ )를 나타내었다. 이들 물질은 입자상으로 존재할 가능성이 높은 것으로 강우 유출수에 포함된 입자상 오염물질이 침강지에서 침강·퇴적될 수 있음을 예측할 수 있다.

## 3.2 유형별 정확효율 평가

### 3.2.1 정확효율의 변동

Eqn. (1)에 의해 평가한 침강지 유형별 RE는 조사항목 및 시기에 따라 다양한 변화를 나타내었다. 준설형의 RE는 COD가 -16.0~36.5%, T-N -15.8~45.2%, T-P -21.9~44.5%, SS -21.7~45.1%의 범위였다. 차수막형은 각각 COD -26.9~40.3%, T-N -4.8~49.0%, T-P -27.6~61.7%, SS -17.4~73.0%이었으며, 보조댐형은 각각 COD -87.3~81.1%, T-N -68.5~82.4%, T-P -26.5~60.0%, SS -46.7~92.2%의 RE의 변동을 나타내었다.

RE의 변동은 수질항목별로는 SS>T-P>COD>T-N 순으로, 유형별로는 보조댐>차수막>준설형 순으로 큰 것으로 나타났다. 이는 입자형태로 존재할 가능성이 높을수록 RE의 변동이 크고 오염물질 처리시간 즉, 많은 체류시간을 요하는 항목일수록 RE가 상대적으로 안정되어 있음을 의미한다. 보조댐형의 변동이 다소 크게 나타났는데, 이는 조사기간 중 2003년 9월~2004년 5월까지 현장사정으로 인해 침강지의 바닥이 드러나는 등 평년(90%)과 다른 저수율(50%)관리가 영향을 끼친 것으로 사료된다.

### 3.2.2 설계정확효율 평가

Fig. 7은 침강지 유형별 ROC법으로 평가한 설계정

화효율을 나타낸 것이다. 설계정화효율은 준설형이 COD 13, T-N 17, T-P 18, SS 24%이었고, 차수막형은 COD 10, T-N 26, T-P 29, SS 50%이었으며, 보조댐형은 COD 31, T-N 18, T-P 39, SS 79%를 각각 나타내었다. 수질조사 4항목 전체의 평균 설계정화효율은 각각 준설형이 18%, 차수막형이 29%, 보조댐형이 42%로서 전반적으로 보조댐형>차수막형>준설형 순으로 높게 나타났다.

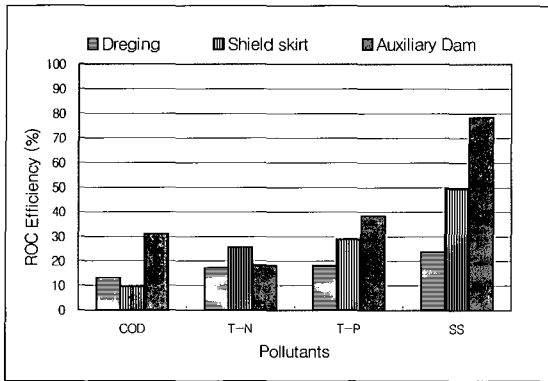


Fig. 7. Comparison of Pollutant Removal Efficiencies by Type of Sedimentation Basins

입자형태로 존재 할 가능성이 높은 T-P와 SS는 저수지 수체와 분리효과가 높은 유형일수록 정화효율이 뚜렷하게 높아짐을 확인할 수 있었다. T-N의 정화효율은 침강지 유형에 따라 큰 차이는 없었다. 이는 T-N의 제거는 침강지의 유형보다 체류시간과 아주 밀접한 관계가 있기 때문으로 사료된다.

침강지에서는 오염물질의 축적과 분해세균군집의 발달이 동시에 관찰되어 오염물질 정화능력이 있다(남귀숙, 2003). 본 연구에서 보조댐형 COD의 설계정화효율이 다른 두 유형에 비하여 높게 나타났다. 이는 보조댐형 침강지에서 오염물질의 축적과 분해세균군집의 발달이 다른 두 유형에 비하여 더 크게 작용한 것이 주요 원인으로 사료된다. 이러한 증거는 3.3.2에서 보조댐형

침강지 내부 퇴적물에서 유기물함량이 증가된 것으로 확인할 수 있다.

Table 2는 침강지의 ROC를 조사 전기간과 우기(6~8월)로 구분하여 비교한 것이다. 모든 수질항목에서 우기의 정화효율이 전기간 보다 높게 나타났다. 우기와 전기간의 설계정화효율의 차이는 준설형은 약 4%, 차수막형은 약 9%, 보조댐형은 약 24%로서 보조댐형이 나머지 두 유형에 비해서 3배 이상 높게 나타나, 우기의 정화효율도 보조댐형>차수막형>준설형 순으로 높음을 알 수 있었다.

### 3.2.3 수질정화에 유리한 유형

이상에서 살펴본 바와 같이 침강지 유형별로 정화효율의 차이가 나는 것은 침강지와 저수지 수체와의 분리효과와 관련이 높을 것으로 사료된다. 준설형은 저수지 수위가 만수위 기준으로 3m 이하로 저하되지 않는 한 저수지 수체와의 분리효과가 거의 없다. 차수막형은 평시에는 어느 정도 저수지 수체와 분리효과 있으나, 강우시에는 분리효과가 낮다. 보조댐형은 보조댐에 의하여 저수지 수체와 침강지가 완전히 분리되기 때문에 준설형이나 차수막형에 비하여 오염물질의 포착율이 높고 또한 체류되는 동안에 활발한 생물학적 정화작용이 있기 때문으로 판단된다. 따라서 저수지 내에 침강지를 조성할 경우에는 저수지 수체와 완전히 분리되는 구조로 하는 것이 수질정화효율 면에서 유리할 것으로 판단된다.

### 3.3 퇴적물특성 변화

Table 3은 마산저수지와 감둔저수지 퇴적물의 토성(soil texture)과 유기물함량(organic matter, OM)을 조사한 결과이다. 마산저수지는 1999년 3월의 자료를 준설형 조성 전으로, 2001년 11월의 자료를 준설형에 의한 영향으로, 2003년 11월의 자료를 차수막형에 의한 영향으로 살펴보았다. 감둔저수지는 1999년 6월의 자료를 보조댐형 조성 전으로, 2004년 6월의 자료를 조성 후의 변화로 비교하여 살펴보았다.

Table 2. Comparison to Rainy Season and Overall for Major Pollutant Removal Efficiencies

Type	COD(%)			T-N(%)			T-P(%)			SS(%)		
	rainy (A)	all (B)	A-B	rainy (A)	all (B)	A-B	rainy (A)	all (B)	A-B	rainy (A)	all (B)	A-B
Dredging	11	7	4	17	13	4	23	20	3	19	15	4
Shield skirt	14	5	9	31	25	6	25	20	5	44	30	14
Auxiliary dam	50	-4	54	44	32	12	43	23	20	55	47	8

Table 3. Comparison of Physicochemical Properties in Sediments at Sedimentation Basin and Middle Part of Reservoir

Area	Survey time	Sedimentation basin					Middle part of reservoir				
		Sand	Silt	Clay	Soil texture	O.M (%)	Sand	Silt	Clay	Soil texture	O.M (%)
Ma san	1999. 3.	25	60	15	SiL	4.5	49	27	24	SCL	3.7
	2001.11.	15	68	17	SiL	3.2	27	49	24	L	4.1
	2003.11.	29	63	8	SiL	2.9	52	30	18	L	4.1
Gam don	1999. 6.	76	22	22	LS	2.2	33	66	1	SiL	3.8
	2004. 6.	13	79	8	SiL	4.2	28	66	6	SiL	3.6

size : Sand (0.05~2.0 mm), Silt(0.002~0.05 mm), Clay(<0.002 mm)

### 3.3.1 준설행 및 차수막형

준설행 및 차수막형은 설치 전·후에 있어 침강지 내부 퇴적물의 토성은 미사질양토(silt loam, SiL)로서 변화가 거의 없었다. 이는 침강지의 수표면적은 저수지 수표면적의 15%, 내용적은 저수지의 24%를 차지하며, 유입하천 말단에서 차수막까지 수평거리는 약 458m(저수지 제당까지 1,500m)로 침강지의 규모가 저수지 규모에 비하여 상대적으로 크기 때문에 부유입자의 침강속도에 큰 변화를 주지 못했기 때문으로 사료된다.

이러한 증거는 저수지 중앙부 퇴적물에서 토성의 변화가 거의 없었다는 것으로 확인 할 수 있다. 준설행을 설치한 직후에는 사질식양토(sandy clay loam, SCL)였고, 준설행 설치 후 약 2년이 경과한 2001년에는 양토(L), 차수막형 설치 후인 2003년에도 양토(L)로서 토성의 변화가 거의 없었다. 즉, 이는 침강지의 규모가 크기 때문에 저수지 중앙부에 미치는 영향이 그 만큼 적었다고 볼 수 있다.

유기물함량은 마산저수지 중앙부는 침강지에 의한 영향으로 약 4.0%로 안정된 반면, 침강지는 유입하천의 영향을 직접 받아 준설행 설치 직후인 1999년 4.5%에서 2003년에는 2.9%로 변화되었다. 이는 2002년 태풍 루사, 2003년 태풍 매미의 영향으로 유기물 함량이 적은 토사가 일시적으로 다량 유입되어 기존 퇴적물을 피복하여 발생한 영향으로 사료된다.

이상의 결과로 볼 때, 마산저수지에 설치한 침강지의 규모가 저수지 규모에 비하여 상대적으로 크고 저수지 수체와 완전히 분리되지 않는 구조로 인하여 침강지와 저수지 중앙부 퇴적물의 특성에 큰 변화가 일어나지 않은 것으로 판단된다.

### 3.3.2 보조댐형

보조댐형은 침강지 내에서의 토성변화를 확인 할 수 있었다. 침강지 설치 전, 침강지에서 Sand가 76%, Silt가 22%인 양질사토(loamy sand, LS)에서, 침강지 조성 후 약

2년이 경과한 2004년에는 Sand가 33%, Silt가 59%인 미사질양토(SiL)로 변화되었다. 이는 침강지에서 Silt 성분의 침강작용이 활발히 일어났기 때문으로 추정된다.

보조댐형 침강지의 수평거리는 150m(제당까지 약 1,000m)로서 차수막형의 1/3정도이나 차수막형 만큼의 Silt성분 침강효과를 가지고 있는 것으로 추정된다. 이를 침강지에서 100% 침강시킬 수 있는 최소입자의 크기를 Rubey(Morris and Fan, 1998)가 제안한 Eqn. (7)로 평가해 보았다.

먼저 Eqn. (6)에 의해 한계침강속도( $\omega_c$ )를 구한 후, 이를 Eqn. (7)에 대입하여 최소입자의 크기를 추정하였다. Eqn. (6)에서 유량은 두 지구의 연평균 유입량인 감돈저수지는 0.193 m<sup>3</sup>/s, 마산저수지는 0.460 m<sup>3</sup>/s를 적용하였다. ( $\rho_s - \rho$ )는 1.65×10<sup>-3</sup> kg/m<sup>3</sup>, 점성계수는 1.0×10<sup>-3</sup> kg/m<sup>3</sup>·s를 적용하였다.

$$\omega_c = \frac{Q}{A_b} \quad (6)$$

$$\omega_c = \frac{[1636(\rho_s - \rho)d^3 + 9\mu^2]^{0.5} - 3\mu}{500d} \quad (7)$$

여기서,  $\omega_c$ = 한계침강속(m/s), Q=유량(m<sup>3</sup>/s),  $A_b$ =침강지 수표면적(m<sup>2</sup>),  $\rho_s, \rho$  유사 및 물의 밀도(kg/m<sup>3</sup>),  $\mu$ =점성계수(kg/m<sup>3</sup>·s), d= 입자직경(m)

Eqn. (7)로 구한 최소입자의 직경은 감돈저수지가 0.0025 mm, 마산저수지가 0.0019 mm로서 두 지구 모두 이론적으로 Silt성분(0.05~0.002 mm)이상의 크기는 대부분 침강지에서 침강될 수 있는 것으로 예측되었다. 따라서 보조댐형은 차수막형 규모의 약 1/3 정도이나 기능은 차수막형과 비슷하여 효과적임을 알 수 있다.

보조댐형 유입하천의 강우유출수 조사에서 0.2 mm이하의 입자가 45%~95%를 차지하고 또한 EMC농도에 해당하는 시료의 입자상 물질의 30%~55%가 100분 동안에

침강되었다(이재수와 김영철, 2001). 그러므로 저수지 유입부에 조성된 침강지는 강우시에 입자상 또는 흡착상태로 유입되는 비점오염물질을 효과적으로 침강시켜 하류로 이동을 차단할 수 있을 것으로 판단된다.

감돈 저수지 중앙부에서는 침강지 조성 전과 후에 토성은 미사질양토(SiL)로서 변화가 없었으나, Clay 성분이 1%에서 6%로 늘었다. 이는 침강지에서 Silt 성분이 많이 침강되어 상대적으로 저수지에서는 Clay 성분의 구성비가 높아진 것이 원인으로 판단되나, 앞으로 좀 더 장기간의 연구결과를 토대로 판단하여야 할 것으로 사료된다.

침강지 내 퇴적물의 유기물량은 조성 전에 2.2%에서 조성 후에 4.2%로 증가하였다. 이는 저수지 중앙부가 3.8%에서 3.6%로 변화가 거의 없는 것에 비하여 약 2배정도 큰 변화이다. 이는 보조댐형 침강지에서 연구기간 동안 평균 chl-a 농도가 74.2 mg/m<sup>3</sup>였으나, 저수지에서는 19.7 mg/m<sup>3</sup>로서 침강지 내에서 급속한 chl-a의 증식과 사멸로 인한 것이 주원인으로 사료된다.

인공호는 상류에서 하류까지 구매적 특성에 따라 강성향지대(riverine zone), 전이대(transition zone), 호소성향지대(lacustrine zone)으로 구분된다(황순진 등, 2002). 각각의 구역은 서로 상이한 물리·생물·화학적 특성을 갖고 있으며 전이대에서 상당량의 유기물과 무기물의 침전이 일어나는 분기점(plunge point) 발생되는데 유입되는 유량변화에 따라 상류 또는 하류는 이동한다. 따라서 감돈저수지에 설치된 보조댐이 이러한 분기점의 하류이동을 차단하여 침강지 내에서 오염물질의 침강을 증진시키는 효과가 있었을 것으로 추정된다.

### 3.4 침강지 규모와 정화효율의 관계

#### 3.4.1 수표면적과 정화효율의 관계

침강지의 수질정화 기작은 체류지와 유사하기 때문에 체류지의 연구사례와 비교하여 보았다.

Wu 등(1996)은 체류지의 정화효율을 배수구역면적대 체류지의 수표면적비(surface to area ratio index, SAR)를 이용하여 평가하였다. Table 4에서 비슷한 크기의 SAR를 가진 보조댐형과 체류지의 정화효율을 비교해 보면 수질항목에 따라 다소의 차이는 있으나 전반적으로는 비슷한 정화효율을 보여주고 있다. 따라서 체류지를 건설하기 위해서는 별도의 토지비용이 필요하지만, 침강지는 기존 저수지 수면을 활용하므로 추가적인 토지비용 없이 체류지 조성효과 만큼의 수질정화 효과를 얻을 수 있다는 장점이 있다.

Fig. 8은 Table 4의 자료를 이용하여 SAR와 정화효율의 관계를 반대수(semi-log) 그래프로 나타낸 것이다.

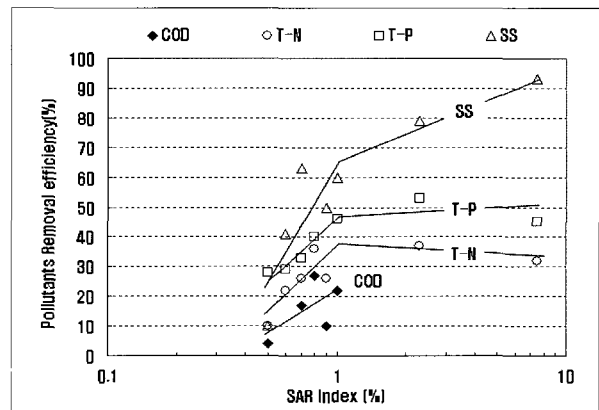


Fig. 8. Relationship Between SAR and Pollutant Removal Efficiencies

Table 4. Comparison of Pollutant Removal Efficiencies by SAR from This and Other Studies

Study	SAR	COD	T-N	T-P	SS
Auxiliary dam (this)	0.7%	31	18	39	79
Shield skirt (this)	0.9%	10	26	29	50
WDP <sup>3)</sup> (Wu et al., 1996)	0.6%	-	22 <sup>1)</sup>	29	41
	2.3%	-	37 <sup>1)</sup>	53	79
	7.5%	-	32 <sup>1)</sup>	45	93
WDT <sup>3)</sup> (Borden et al., 1988)	1.0%	22 <sup>2)</sup>	16	46	60
	0.8%	27 <sup>2)</sup>	36	40	20
WDT <sup>3)</sup> (Martin, 1988)	0.5%	4	10	28	10

<sup>1)</sup> TKN(total keldal nitrogen)

<sup>2)</sup> TOC(total organic carbon)

<sup>3)</sup> WDP(wet detention pond)



SS는 SAR가 커짐에 따라 정화효율도 크게 높아짐을 알 수 있고, T-N 및 T-P는 SAR 1%정도까지는 정화효율이 비례하여 증가하나 그 이상에서는 SAR의 증가에 비해 정화효율 개선의 정도가 뚜렷하게 증가되지는 않는 것으로 판단된다. COD는 자료가 부족하여 전체적으로 경향 파악은 어렵지만 SAR 1%까지는 SAR와 정화효율이 비례관계로 나타나고 있다.

미환경청(1999)에서는 SAR 1% 정도가 정화효율이나 규모 면에서 적당하다고 제안하였다. Wu 등(1996)은 체류지의 규모가 클수록 높은 정화효율을 얻을 수 있지만, 주의 깊게 비용-효과적인 측면의 분석이 요구된다고 하였다. 만약 침강지의 SAR를 2%로 적용한다면, 우리나라 농업용 저수지의 유역면적 대 수표면적비가 약 20~30배 정도임을 고려할 때 침강지 수표면적이 저수지 수면적의 20~40%를 차지하게 되어 현실적으로 적용이 곤란할 것으로 판단된다.

본 연구의 보조댐형의 SAR는 0.7%로서 침강지의 수표면적은 저수지 수표면적의 10%, 내용적은 저수지 총저수량의 6%에 해당하는 규모로서 정화효율과 현장 적용 가능성 측면에서 적절한 규모로 사료된다. 차수막형 침강지의 SAR는 0.9%이나 저수지 수면적의 약 15%, 내용적의 24%에 해당하여 정화효율에 비해서는 다소 큰 규모로 사료된다. 이는 또한 3.3.2에서 100% 침강시킬 수 있는 최소입자의 크기비교에서도 보조댐형의 규모가 적정함을 알 수 있었다.

이재수와 김영철(2001)은 체류지의 규모산정을 위해 침강시킬 목표입경을 0.03 mm하고 설계강우량 75mm/d인 경우에 감돈저수지 유입하천 말단에서 적정 체류지의 수표면적이 4,245 m<sup>2</sup>가 필요하였다. 이 규모로는 오염물질의 흡착력이 높은 Silt나 Clay성분의 포층에는 다소 작은 규모로 사료되어 저수지 내의 침강지 설치를 위한 규모 보다는 인공습지 등의 전처리시설로서 적절한 규모로 사료된다.

### 3.4.2 체류시간과 정화효율의 관계

침강지의 정화효율은 체류시간과도 밀접한 관계가 있다(박병훈 등, 2000; Guo and Adams, 1999; EPA, 1999). 체류지에서는 체류시간 24시간 내에 부유물질과 영양염류의 2/3가 제거되지만, 40시간 정도로 증가시키는 것이 수질정화 및 홍수조절에 유리하고, 확실한 인의 제거를 위해서는 2주 정도의 체류시간이 필요하다(EPA, 1999). Field 등(1993)에 의하면, 체류지의 정화효율이 체류시간 6시간까지는 크게 증가하나 그 이후부터 48시간까지는 거의 변화가 없었다. 박병훈 등(2000)은 준설형의 규모결정을 위한 체류시간은 설계홍수량을

기준으로 1~3시간을 제안하였다.

감돈저수지와 마산저수지의年平均 유입량은 각각 0.193 m<sup>3</sup>/s와 0.460 m<sup>3</sup>/s로서 보조댐형과 준설형 침강지의 체류시간은 각각 7.3일과 18.4일이다. 두 지구 모두年平均 유입량이 각각 유입하천의 풍수량 0.129 m<sup>3</sup>/s와 0.233 m<sup>3</sup>/s 보다 많다. 즉, 연간 270일 정도의 하천 유출량은 침강지에서 각각 약 7일과 18일 정도 체류하게 되므로 체류시간을 고려한 정화효율 측면에서 준설형(차수막형)은 다소 큰 규모로, 보조댐형은 적절한 규모로 판단된다.

### 3.4.3 설치비용 비교

침강지 건설비용을 단위사업비(설치비용/내용적)로 비교하여 살펴보면, 준설형은 19천원/m<sup>3</sup>, 차수막형은 13원/m<sup>3</sup>, 보조댐형은 2천원/m<sup>3</sup>로서 단위사업비는 준설형>보조댐형>차수막형의 순서로 높게 나타났다. 차수막형의 단위사업비가 가장 저렴하고 준설형은 보조댐형 보다 약 10배정도 많다.

정화효율은 조사항목 평균으로 볼 때, 준설형이 18%, 차수막형은 29%이므로 순수한 차수막에 의한 효과는 약 11%로 볼 수 있다. 보조댐형은 42%로서 보조댐형이 준설형에 비하여 약 2.3배, 순수 차수막형에 비하여는 약 3.8배, 준설형+차수막형에 비하여는 약 1.5배정도 높다.

따라서 수질정화 효율과 시설의 안전성 및 내구성, 침강지 내부 준설작업등 시설유지관리 측면을 고려할 때 보조댐형이 준설형이나 차수막형에 비해서 유리할 것으로 판단된다.

수질정화 측면에서 침강지의 최적수심은 1~3m이며 성층현상 방지를 위해서는 6m이하가 유리하고 침강지 내부에 중도(island) 혹은 정류벽(baffle)을 설치하면 사수역(dead zone)방지 등 수류의 흐름을 좋게 하여 침강지의 정화효율을 높일 수 있다(Field et al., 1993; Morris and Fan, 1998; EPA, 1999).

## 4. 요약 및 결론

본 연구에서는 저수지 내에 설치한 3가지 유형의 침강지에 대한 수질정화효율을 평가하고 침강지 조성 전후 퇴적물의 이화학특성 변화와 침강지 규모와 수질정화효율과의 관계를 고찰하여 수질정화 측면에서 유리한 침강지의 유형과 적정 규모에 대하여 살펴보았다.

1. 수질정화효율은 -87.2%~92.2%로서 침강지의 유형, 수질항목 및 조사시기에 따라 다양한 변화를 나타내었고, 입자형태로 존재할 가능성이 높은 수질항목의 정화효율변동이 큰 것으로 나타났다.

2. ROC법으로 평가한 설계정화효율은 준설형이 18%, 차수막형이 29%, 보조댐형이 42%로서 침강지와 저수지 수체와의 분리효과가 높은 유형일수록 정화효율이 높다는 것을 알 수 있었다.
3. 준설형 및 차수막형은 침강지 조성 전후에 퇴적물의 이화학적 특성변화가 거의 없었으나, 보조댐형에서는 변화가 있었으며 특히, Silt 성분의 침강효과가 높은 것으로 나타났다. 이는 보조댐이 전이대 분기점의 하류이동을 차단하는 효과가 있었기 때문으로 사료된다.
4. 보조댐형의 정화효율은 비슷한 크기의 SAR를 가진 체류지의 정화효율과 비슷하거나 약간 높은 수준을 나타내었다. SAR와 정화효율과의 관계에서 SAR 1%까지는 SAR의 증가와 정화효율의 증가가 비례하였으나 그 이상에서는 SAR의 증가에 비하여 정화효율의 증가가 크지는 않았다.
5. 보조댐형이 시설규모, 체류시간, 단위사업비, 시설의 안전성 및 내구성, 준설 등 시설유지관리 측면에서 다른 두 유형에 비하여 유리한 것으로 판단되었다.

따라서 저수지 내에 설치하는 침강지는 저수지 수체와 완전히 분리되는 구조로 하고 SAR는 0.7~1.0% 정도로 하되 저수지 규모의 10% 이내로 하는 것이 수질정화효율, 현장적용 가능성, 유지관리 측면에서 유리한 것으로 사료된다.

## 감사의 글

이 논문은 농림부와 농업기반공사에서 수행하는 농업용수 수질개선 시험연구와 농업용수 수질개선 시범사업 사후조사 결과의 일부 내용입니다.

## 참고 문헌

남귀숙 (2003). **농업용저수지의 생물학적 수질정화 및 미생물군집동태**. 박사학위논문, 부산대학교, pp. 202-219.

농업기반공사 (2002). **농업용수 수질측정망조사보고서**. 농림부, pp. 13-15.

박병훈, 장정렬, 권순국 (2000). “저수지 수질개선을 위한 저수지내 침전지 조성.” **한국농공학회지**, 한국농학회, 제42권, 제1호, pp. 73-82.

이재수, 김영철 (2001). “소규모 농업용 저수지 유역으로부터 비점원오염물질 유출특성 및 오염물질 제거를 위한 체류지 용량분석.” **대한토목학회논문집**,

대한토목학회, 제21권, 제5-B호, pp. 575-588.

이종태, 송치홍, 강태호 (2000). “저수지에 의한 우수의 수질개선 효과 연구.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제33권, 제3호, pp. 351-364.

장정렬, 최선화, 권순국 (2004). “저수지내 유입부 침강지의 수질정화 효율.” **한국물환경학회지**, 한국물환경학회, 제20권, 제5호, pp. 473-479.

환경부 (2004). 2004 **환경백서**. 대양인쇄소, pp. 445-447.

황순진, 안광국, 류재근(역자) (2002). **호소생태학**(원저자: Thornton, K. W., Kimmel, B. L., and Payne, F. E.). 신광출판사, pp. 70-107.

Borden, R. C., J. L. Dorn, J. B. Stillman and S. K. Liehr (1998). “Effect of in-lake water quality on pollutant removal in two pond.” *Journal of Environmental Engineering*, ASCE, Vol. 124, No. 8, pp. 737-743.

EPA (1999). *Storm Water Technology Fact Sheet : Wet Detention Pond*, EPA832-F-99-048, Washington D.C.

Feild, R., M. L. O’Sea and K. K. Chin (1993). *Integrated Stormwater Management*. Lewis publisher, New York, N.Y., pp. 191-205.

Guo, Y. and B. J. Adams (1999). “Analysis of detention ponds for storm water quality control.” *Water Resources Research*, Vol. 35, No. 8, pp. 2447-2456.

Martin, E. H. (1988). “Effectiveness of an urban runoff detention pond-wetlands system.” *Journal of Environmental Engineering*, ASCE, Vol. 114, No. 4, pp. 810-827.

Mays, L. W. (1999). *Hydraulic design handbook*. McGraw-Hill, New York, N.Y., pp. 14.77-14.92.

Morris, G. L. and J. Fans (1998). *Reservoir sedimentation handbook*. McGraw-Hill, New York, N.Y., pp. 12.39-12.55.

Wu, J. S., R. E. Holman and J. R. Dorney (1996). “Systematic evaluation of pollutant removal by urban wet detention ponds.” *Journal of Environmental Engineering*, ASCE, Vol. 122, No. 11., pp. 983-988.

(논문번호:04-88/접수:2004.09.21/심사완료:2005.07.12)