

저수지 내 유입부 침강지의 수질정화 효율

장정렬[†] · 최선화 · 권순국^{*}

농업기반공사 농어촌연구원

^{*}서울대학교 농업생명과학대학

Pollutant Removal Efficiency of Sedimentation Basin at Inlet of an Irrigation Reservoir

Jeong-Ryeol Jang[†] · Sun-Hwa Choi · Soon-Kuk Kwun^{*}

Rural Research Institute of KARICO, Sadong, Ansan 425-170, Korea

^{*}College of Agriculture & Life Science, Seoul National University, Seoul 449-701, Korea

(Received 18 June 2004, Accepted 13 August 2004)

Abstract : A sedimentation basin (SB) at the inlet of an irrigation reservoir which was constructed using an auxiliary dam was monitored to evaluate its pollutant removal efficiency. Water sampling at three points, i.e., inflow stream, upstream and downstream of the reservoir, were taken 5 times before and after the construction of the SB in 1999 and 2003, respectively. No significant water quality variations in inflow stream were observed during these periods. The COD, T-N, T-P and SS removal efficiencies were 38, 24, 35 and 49%, respectively. The results indicated that those removal efficiencies significantly increased during the rainy season and COD removal efficiency, especially, was higher than others studies. The scale of SB in this study was rational as aspects of pollutant removal efficiency and hydraulic detention time. And it is recommended that SB, at inlet of an reservoir, should be constructed as completely separated structure from reservoir water body and having SAR Index from 0.7 % to 1.0 %.

keywords : Sedimentation basin, Irrigation reservoir, Pollutant removal efficiency, Surface to area ratio index

1. 서 론

경제발전 및 생활양식의 변화에 따라 환경용량을 초과한 과도한 오염물질의 배출은 농업용수원의 수질오염현상을 초래하고 있다(권, 1998; 박 등, 2000). 우리나라는 기후특성 및 지형적 배경, 벼농사 위주의 농업생산구조 등의 조건으로 저수지가 가장 중요한 농업수리시설로서 전체 관개면적의 62%에 농업용수를 공급하고 있다(박 등, 2000).

농업용 저수지는 주로 대하천의 상류지역에 위치하고 있어 하류하천 수질오염의 직접적인 원인이 될 수 있으며(김 등, 2003), 농업용수 수질오염은 농촌지역 생활환경의 질적 저하, 토양성질 악화, 관개시설 피해, 농작물 피해 및 농산물의 안전성 등에 크게 영향을 미칠 수 있다(최 등, 2004).

농업용 저수지의 수질오염은 유역내 생활오폐수등 점오염원 뿐만 아니라, 축산폐수 및 농경배수등 비점오염원에 의해 가중되고 있다(권, 1998). 최근 농업용수 수질측정망 자료에 의하면 비점오염원의 비율이 1997년 14.3%에서 2002년 31.7%로 크게 증가하였다(농업기반공사, 2002b). 따라서 농업용 저수지를 비롯한 호소의 수질관리를 위해서는 비점오염원의 관리가 중요함을 알 수 있다(박 등, 2000;

신 등, 2001; 이 등, 2001; 장 등, 2000).

비점원 오염물질은 강우-유출현상과 밀접한 관계가 있고 그 농도 및 유량변동이 큰 특성을 가지고 있다(신 등 2001; 이 등, 2001; 이 등, 2002; 장 등, 2000). 국내 5개 농업용 저수지 소하천 유역에서 강우시 수질 및 유량조사에서 COD와 SS의 유량가중평균농도(EMC, Event Mean Concentration)가 각각 평상시의 1~3배, 5~25배에 달하며, COD와 T-P의 증가는 SS와 밀접한 관계가 있고 특히, T-P는 용존성 인보다 입자상 고형물 또는 토사에 흡착된 상태로 유입된다(농어촌진흥공사, 1999a; 1999b; 1999c; 이 등, 2001).

저수지 유입하천은 유사와 각종 오염물질을 이송하여 오는데 특히, 장마 전·후 농업용 저수지 중·하류부의 퇴적물 입자 분포에 큰 변화가 있다(이 등, 2001). 저수지의 퇴사로 인한 내용적 감소율은 12.5~27.5%범위로 통상적 중규모 저수지 설계 값의 2~3배에 해당하는 큰 값을 나타내고 있다(박 등, 2000). 이러한 퇴적물은 수체의 조건에 따라 오염물질을 수중으로 용출시켜 저수지 수질오염의 원인이 되기도 한다(농업기반공사, 2003; 이 등, 2003).

체류지(wet detention pond) 또는 저류지(dry detention pond)는 강우 유출수에 포함된 오염물질의 상당량을 제거하는 기능이 있는 것으로 알려져 있고 체류지의 오염물질

[†] To whom correspondence should be addressed.

wgjang@karico.co.kr

제거능력이 높다(박 등, 2001; 이 등 2000; Borden et al., 1998, Mays et al., 1999; Mays et al., 2001). 주로 미국 등 외국에서는 도시개발 등에 의한 홍수량 증가와 수질정화를 목적으로 많이 이용하고 있으나(Borden et al., 1998; Martin, 1988; Wu et al., 1996), 국내의 호소 또는 농업용 저수지에 적용된 사례는 거의 없다.

본 연구에서는 추가적인 부지확보의 필요성 없이 기존 저수지 수면을 활용하여 저수지 내 유입부에 체류지와 유사한 기능을 하도록 설치하는 수리구조물을 침강지(Sedimentation Basin, SB)라 정의하였다. 침강지는 저수지로 유입되는 토사와 오염물질을 유입부에서 집중적으로 침강·퇴적시키고 하류부로 이동을 억제하여 퇴적확산을 방지함으로써 퇴적물 준설작업을 효율적으로 수행할 수 있도록 한다. 또한 유입된 오염물질은 침강지에서 체류되는 동안에 생물화학적 자연정화작용에 의해 제거됨으로서 저수지 수질을 개선시킨다. 본 연구의 목적은 저수지 내 유입부에 조성된 침강지의 수질정화 효율을 파악하는데 있다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구시설

침강지의 수질정화 효율을 시험하기 위하여 Fig. 1과 같이 전남 무안군 몽탄면에 위치한 감돈 저수지의 유입부에 보조댐을 축조하여 침강지를 조성하였다. 감돈저수지는 유역면적 985.7 ha, 관개면적 384.3 ha, 저수량 191.8 만m³의 중규모 농업용 저수지로서 주 유입하천은 1개소이다. 감돈저수지의 1994년부터 1999년까지의 연평균 수질은 COD가 14.3 mg/L, T-N 2.14 mg/L, T-P 0.20 mg/L로 호소수질환경기준(환경정책기본법 제10조) IV등급인 농업용수기준을 훨씬 상회한 것으로 나타나(농어촌진흥공사, 1999a; 농업기반공사, 2000), 수질개선을 위해 2002년 5월에 침강지를 설치하였다.

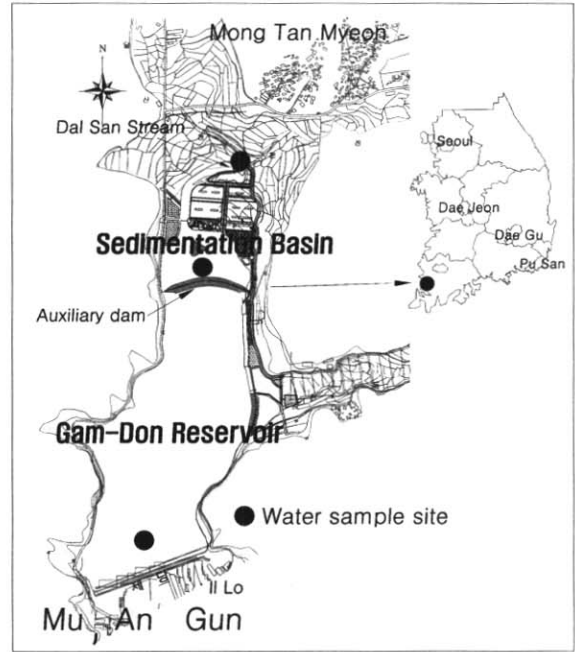


Fig. 1. Location and water sampling site map of study area.

보조댐의 제정고는 Fig. 2와 같이 저수지 만수위 보다 0.5m 낮고, 아치형으로서 홍수시 상류에서 유입되는 영농폐자재 등 부유쓰레기가 침강지 내측 저수지 양안으로 모일 수 있도록 하여 부유물 수거에 편리성을 도모하였다. 보조댐의 중심부는 크기 10~30mm의 잡석으로 채웠으며 표면은 크기 300~600mm의 사석으로 면고르기를 하였다. 차수벽은 설치되지 않아 당분간 보조댐체를 통한 물의 이동은 자유롭게 되어 있다.

감돈저수지에 조성된 침강지의 특성은 Table. 1과 같이 유역면적 520.1 ha이며 이 중 임야가 53.4%, 밭 11.9%, 논 9.1%순이다. 침강지의 정화효율과 관계가 있는 침강지 수 표면적 대 배수구역 면적비(SAR, Surface to Area Ratio

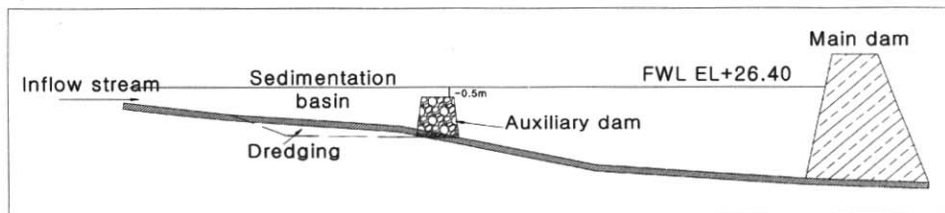


Fig. 2. Schematic section of SB in Gamdon reservoir.

Table 1. The characteristics of SB in study area

Constituents	Drainage Area(ha)						H (m)	L (m)	FWSA (ha)	Volum (ha · m)	SAR (%)
	Total	Paddy	Upland	Forest	Resid.	Others					
Reservoir	985.7	69.3	80.0	751.6	21.4	63.4	14.2	376	35.3	191.8	3.6
SB	520.1	50.1	61.7	381.7	17.3	9.4	5.5	290	3.4	12.2	0.7

Note) SB = Sedimentation Basin, H=Height, L=Length, FWSA=Full Water Surface Area, SAR = Surface to Area Ratio Index (by Wu et al., 1996)

Index)는 0.7%이며, 감돈 저수지의 SAR는 3.6%이다. 침강지와 저수지의 최대수심은 저수지 만수위를 기준으로 각각 약 4.5 m와 8.0 m이다.

2.2. 수질조사 및 분석 방법

침강지의 수질정화 효율을 분석하기 위해서 Fig. 1과 같이 유입하천 1지점, 침강지 1지점, 저수지 하류부 1지점에서 각각 수질조사를 하였다. 저수지와 침강지에서는 수표면 1m 아래에서 시료를 채취하되, 수심이 3m 이상이면 바닥으로부터 1m 위에서 시료를 추가로 채취하여 상·하 층의 수질을 살펴보았다.

수질조사는 침강지 조성전인 1999년 6월에서 11월 동안 5회, 침강지 조성 후인 2003년 4월에서 8월 동안 5회에 걸쳐 물시료를 채취하여 분석하였다. 수질조사 항목은 수온, DO, COD_{MN}, T-N, T-P, SS이며 실내분석은 수질오염공정시험방법에 준하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 침강지 조성 전·후 유입하천 수질변화

침강지의 정화효율을 알아보기 위하여 먼저 가장 큰 영향을 미치는 유역 내 오염원 및 유입하천의 수질변화를 침강지 조성 전인 1999년과 조성 후인 2003년을 비교하여 살펴보았다.

유역내의 오염원은 Table. 2와 같이 침강지 조성 전·후에 있어서 큰 변화는 없었다. 유입하천의 수질은 Fig. 3과 같이 조사 시기에 따라 다소 차이는 있으나, 2003년과 1999년 각 5회 조사한 평균수질은, COD가 각각 3.3, 3.7 mg/L, T-N 5.85, 5.29 mg/L, T-P 0.12, 0.13 mg/L, SS 7.0, 5.6 mg/L로서 차이가 거의 나타나지 않았다. 또한 2003년과 1999년의 동일 월의 수질도 큰 차이가 없었다. 이는 유역내 오염원의 큰 변화가 없었음에 기인된 것으로 사료된다.

3.2. 침강지의 수질정화 효율

수질정화 시설의 정화효율 평가방법은 일반적으로 EMC 또는 총부하량(Summation of loads, SOL)을 이용하여 (1)식과 같이 평가하는데(Martin, 1988), 이는 수질정화 시설의 유입·유출구조가 명확하여 수질 및 유량자료를 취득할 수 있을 경우에 적용할 수 있다. 본 연구에서와 같이 침강지가 저수지 내에 설치되어 유출수의 수질과 유량을 측정하기가 곤란할 경우에는 적용에 어려움이 있다.

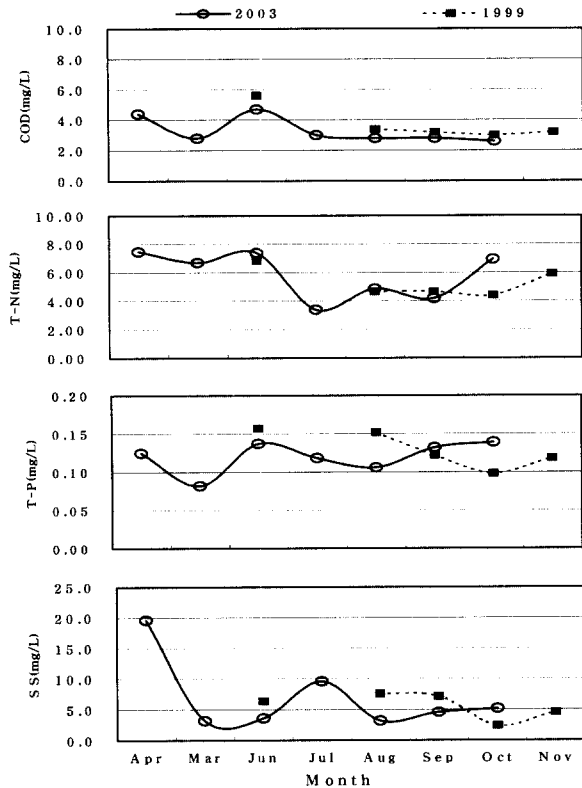


Fig. 3. Comparison of water qualities of inflow stream before and after the construction of SB.

$$Efficiency(\%) = (1 - \frac{output}{input}) \times 100 \tag{1}$$

한편, 박 등(2000)은 저수지 내 상류 유입부를 깊게 준설하여 조성한 침강지의 수질정화 효율을 식 (2)와 같이 저수지 상류와 하류 부의 수질차이로 평가하였고, 그 타당성을 마산저수지와 영산호, 금강호, 해남호 등 국내 3개 담수호를 대상으로 적용하여 검증하였다.

$$RE(\%) = (1 - \frac{C_{down}}{C_{up}}) \times 100 \tag{2}$$

여기서, RE= 침강지 수질정화효율(%), C_{down}=저수지 하류의 수질농도(mg/L), C_{up}=저수지 상류 또는 침강지의 수질농도(mg/L)

본 연구에서도 박 등(2000)의 방법을 이용하고자 Table. 3과 같이 침강지 조성 전인 1999년 감돈 저수지와 국내의 다른 2개의 농업용 저수지인 경북 안동시의 만운 저수지와

Table 2. Comparison of pollutant sources between 1999 and 2003

Constituents		19991)	20032)
Population	(person)	482	417
Cow	(head)	862	1,100
Pig	(head)	3,532	3,000

source: 1) RDC, 1999a, 2) Mong-Tan Myeon, 2003.

전북 익산시의 왕궁 저수지의 상·하류 각 5회의 수질조사 자료를 이용하여 (2)식으로 수질농도 차이를 살펴보았다(농어촌진흥공사, 1999a; 1999b; 1999c). 감돈 저수지의 경우는 시기별로 약간의 차이는 있으나, 5회조사 평균은 각각 COD가 5.3%, T-N 1.9%, T-P 0.0%, SS 14.6%로 상·하류간 수질농도 차이가 거의 없었다. 만운 저수지는 5회조사 평균이 각각 COD가 -7.2%, T-N 7.4%, T-P -12.5%, SS 8.5%이었고, 왕궁저수지는 각각 COD가 -11.3%, T-N -17.3%, T-P -100.0%, SS 20.0%를 나타내어 상·하류간

차이가 없거나 하류의 농도가 더 높은 경우가 있었다. 따라서 침강지의 수질정화 효율을 식 (2)와 같이 평가하여도 큰 무리가 없음을 확인할 수 있었다.

수질에 영향을 미치는 강우량은 Table. 4와 같이 2003년 조사기간 동안 대부분 최근 30년 월평균값(1971~2000)보다 많은 강우가 있었고, 7월과 8월에는 월평균값에 비해 2배정도 많은 강우가 있었다. 수질조사 일로부터 5일전 사이에 강우가 있었던 경우는 6월에 44.6 mm, 7월에 124.0 mm, 8월에 173.2 mm의 선행강우가 각각 있었다.

Table 3. Comparison of water qualities between upstream and downstream of reservoirs before constructing SB

Reservoir	Month	COD(mg/L)			T-N(mg/L)			T-P(mg/L)			SS(mg/L)		
		C _{up}	C _{down}	Diff(%)	C _{up}	C _{down}	Diff(%)	C _{up}	C _{down}	Diff(%)	C _{up}	C _{down}	Diff(%)
Gam - don	'99.6.	10.2	10.6	-3.9	1.36	1.29	5.1	0.07	0.08	-14.3	6.4	7.2	-12.5
	'99.8.	9.8	10.0	-2.0	2.07	1.56	24.6	0.15	0.13	13.3	6.8	5.6	17.6
	'99.9.	10.4	7.4	28.8	2.98	3.68	-23.5	0.19	0.19	0.0	3.6	6.4	-77.8
	'99.10.	8.4	8.6	-2.4	3.67	3.37	8.2	0.16	0.19	-18.8	9.4	8.6	8.5
	'99.11.	8.0	7.8	2.5	2.94	2.87	2.4	0.07	0.06	14.3	18.2	10.4	42.9
	mean	9.4	8.9	5.3	2.60	2.55	1.9	0.13	0.13	0.0	8.9	7.6	14.6
Man - un	'99.7.	10.7	12.4	-15.9	1.50	1.92	-28.0	0.11	0.14	-27.3	18.0	20.0	-11.1
	'99.8.	9.4	9.2	2.1	1.32	1.02	22.7	0.09	0.09	0.0	8.8	6.0	31.8
	'99.9.	12.5	13.8	-10.4	1.81	1.46	19.3	0.08	0.12	-50.0	3.7	2.8	24.3
	'99.10.	8.7	9.0	-3.4	2.45	2.12	13.5	0.07	0.07	0.0	3.4	3.4	0.0
	'99.11.	7.4	7.6	-2.7	2.32	2.17	6.5	0.04	0.05	-25.0	6.9	5.4	21.7
	mean	9.7	10.4	-7.2	1.88	1.74	7.4	0.08	0.09	-12.5	8.2	7.5	8.5
Wang - gung	'99.5.	5.8	5.6	3.4	0.99	1.38	-39.4	0.03	0.04	-33.3	0.8	1.6	-100.0
	'99.8.	7.6	14.0	-84.2	0.83	2.10	-153.0	0.06	0.16	-166.7	16.8	17.2	-2.4
	'99.9.	10.0	9.8	2.0	0.90	0.67	25.6	0.01	0.03	-200.0	9.6	3.2	66.7
	'99.10.	9.0	8.2	8.9	1.89	1.74	7.9	0.02	0.03	-50.0	10.4	8.4	19.2
	'99.11.	7.6	6.7	11.8	1.75	1.54	12.0	0.04	0.04	0.0	5.0	3.4	32.0
	mean	8.0	8.9	-11.3	1.27	1.49	-17.3	0.03	0.06	-100.0	8.5	6.8	20.0

note) Diff(%) = (C_{up} - C_{down}) / C_{up} × 100

Table 4. Pollutant removal efficiencies of SB

Sampling time		APR	MAY	JUN	JUL	AUG	Mean
Rainfall (mm)	2003	195.2	147.9	135.7	402.4	368.7	1,249.9(sum)
	Monthly mean (1971-2000)	79.1	86.6	172.5	214.1	174.3	726.6(sum)
COD (mg/L)	Stream	4.4	2.8	4.7	3.0	2.8	3.5
	C _{up}	5.0	7.6	14.8	11.4	24.4	12.6
	C _{down}	8.6	6.2	9.7	5.6	8.8	7.8
	RE(%)	-72	18	35	51	64	38
T-N (mg/L)	Stream	7.47	6.69	7.40	3.38	4.86	5.96
	C _{up}	7.15	3.77	4.09	4.36	3.60	4.59
	C _{down}	1.97	4.02	6.89	2.55	1.96	3.48
	RE(%)	72	-7	-69	41	46	24
T-P (mg/L)	Stream	0.13	0.08	0.14	0.12	0.11	0.11
	C _{up}	0.06	0.11	0.19	0.32	0.18	0.17
	C _{down}	0.08	0.08	0.12	0.18	0.10	0.11
	RE(%)	-24	29	39	45	46	35
SS (mg/L)	Stream	19.6	3.2	3.6	9.6	3.2	7.8
	C _{up}	3.0	8.0	11.0	20.5	26.4	13.8
	C _{down}	4.4	6.0	5.8	12.2	6.4	7.0
	RE(%)	-47	25	47	41	76	49

침강지의 수질정화효율 평가 결과는 Table. 4와 같다. 2003년 4월에서 8월 사이의 5회조사 평균은 COD가 38 %, T-N 24 %, T-P 35 %, SS 49%의 정화효율이 있었다. 조사 시기에 따라 다소 차이는 있으나 어느 정도 안정적인 정화효율을 나타내었다.

시기별로는 4월에는 수질정화 효과가 T-N을 제외하고는 대부분 부(-)의 값을 나타내는 등 불안정한 현상을 보이는데, 이는 봄전도현상(spring turnover)에 의한 저수지 수질의 일시적 악화현상 때문으로 판단된다. Table. 5의 수온과 DO자료를 보면, 감돈저수지에서는 4월에 봄전도현상이, 5월~8월에는 여름성층현상이 있는 것으로 보인다. COD와 T-N은 전도현상과 크게 상관없이 조사기간 동안 대부분 저수지와 침강지에서 모두 상층의 수질이 하층 보다 높게 나타났다. T-P는 저수지에서는 봄전도현상 시에는 상층이 하층보다 높고 성층기간 동안에는 하층이 상층보다 높았지만, 침강지에서는 모두 상층이 하층 보다 높았다. SS는 저수지에서는 시기에 관계없이 상·하층의 차이가 크지 않으나, 침강지에서는 강우량이 많은 7월과 8월에는 상층의 수질이 훨씬 높다. 이는 침강지가 입자성 부유물질을 많이 포착하고 있다는 것과 활발한 정화작용이 일어나고 있음을 나타낸다고 볼 수 있다. 9월 이후는 현장사정(취수탑 공사로 인한 저수지 수위의 급격한 하락으로 침강지가 바닥을 드러냄)으로 침강지에서 수질조사를 하지 못하여 가을전도현상에 의한 영향은 살펴볼 수 없었다.

국내 유사사례 연구(농업기반공사, 2001; 농업기반공사, 2002)에서도 봄·가을 전도현상시기에 침강지의 정화효율이 낮아짐을 확인할 수 있어 저수지 내에 조성되는 침강지는 봄·가을 전도현상 발생기간에는 정화효율이 낮아질 수 있음을 예측할 수 있다.

5월에는 COD가 18 %, T-N -7 %, T-P 29 %, SS 25 %의 정화효율을 나타내었다. 6월에는 COD, T-P, SS 는 모두 30 % 이상의 정화효율을 나타낸 반면, T-N이 60%이상의 부(-)의 효율을 나타내었다. 이때 저수지의 T-N 농도가 다른 월에 비해 2배 이상 높게 나타났으나 정확한 원인은 파악할 수 없었다.

침강지는 당초 조성목적과 같이 우기인 7월과 8월에는 COD, T-N, T-P, SS 모두 40%이상의 정화효율을 나타내었다. 7월과 8월의 강우량은 모두 월평균값 보다 2배 이상 많았고, 선행5일전 강우량도 7월 124.0 mm, 173.2 mm로 많았다. Borden 등(1998)은 여름성층현상이 체류지의 정화효율을 높일 수 있다고 하였다. 그 이유는 강우시 유입되는 하천수의 수온이 체류지의 상층수온 보다 낮기 때문에 유

Table. 5 Water qualities of epilimnion and hypolimnion in reservoir and SB

Date	site	TEM (°C)	DO (mg/L)	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	SS (mg/L)
2003. 4. (85%)	R1	9.4	8.0	8.6	1.97	0.08	4.4
	R6	8.0	6.7	8.2	1.73	0.06	4.0
	S1	11.8	12.7	5.0	7.15	0.06	3.0
	S3	11.2	11.4	4.6	6.51	0.04	4.2
5. (85%)	R1	18.7	5.5	6.2	4.02	0.08	6.0
	R5	12.7	1.4	6.0	2.63	0.09	5.8
	S1	18.9	8.4	7.6	3.77	0.11	8.0
6. (70%)	S3	12.8	2.9	4.4	4.08	0.07	9.4
	R1	22.4	NM	9.7	6.89	0.12	5.8
	R4	16.9	NM	7.3	2.97	0.16	8.8
7. (80%)	S1	22.8	NM	14.8	4.09	0.19	11.0
	S3	NM	NM	NM	NM	NM	NM
	R1	20.2	7.3	5.6	2.55	0.18	12.2
	R5	18.6	7.4	6.4	2.25	0.13	11.2
8. (95%)	S1	25.2	7.6	11.4	4.36	0.32	20.5
	S3	18.4	7.6	5.4	2.12	0.15	9.2
	R1	26.6	9.4	8.8	1.96	0.10	6.4
	R6	20.9	2.1	6.2	2.26	0.14	5.6
9. (95%)	S1	27.2	11.8	24.4	3.60	0.18	26.4
	S3	24.1	5.9	10.6	2.49	0.10	13.2

note) (): water storage ratio of reservoir
 R: reservoir, S: sedimentation basin
 Subscript: sampling depth from the water surface,
 NM: Not Measured

입되는 오염물질이 하층으로 이동되어 더 많은 오염물질이 체류지에서 침강·퇴적되어 포착되기 때문이라고 하였다. 본 연구에서도 이러한 영향으로 강우시 유입된 오염물질의 상당량이 침강지에서 포착되어 침강지의 정화효율이 높게 나타난 이유 중의 하나로 판단된다.

Table. 6은 본 연구와 국내의 유사연구 결과를 정리한 것이다. 유입부 준설로 조성한 경우(농업기반공사, 2001)는 8회 평균 각각 COD 6 %, T-N 29 %, T-P 34 %, SS 37 % 이였고, 차수막을 이용한 경우(농업기반공사, 2002)는 6회 평균이 각각 COD 7 %, T-N 26 %, T-P 39 %, SS 35 %의 정화효율을 보였다. 본 연구대상 침강지는 T-N, T-P, SS의 정화효율은 비슷하거나 약간 높은 수준이며 특히, COD의 경우는 5배 이상 높게 나타났다. 이 원인은 본 연구대상 침강지가 두 사례연구 침강지에 비하여 저수지 수체와의 분리효과가 더 높았기 때문으로 판단된다. 두 사례연구 침강지는 저수지 수체와 완전히 분리되는 구조가 아니기 때

Table. 6 Comparison of average pollutant removal efficiencies(%) of SB between this study and others

Site	COD	T-N	T-P	SS
This study(2003)	38	24	35	49
KARICO(2001) ¹⁾	5	29	34	37
KARICO(2002) ²⁾	7	26	39	35

note) 1): Dredging type, 2): Sheilding-skirt type

Table. 7 Comparison of average pollutant removal efficiencies(%) according to SAR

Site	SAR	COD	T-N	T-P	SS
This study(2003)	0.7%	38	24	35	49
KARICO(2002) ¹⁾	0.9%	7	26	39	35
Wu et al(1996) ²⁾	0.6%	-	22(TKN)	29	41
	0.8%	-	21(TKN)	36	62
	7.5%	-	32(TKN)	45	93
Borden at al(1998) ²⁾	1.0%	-	16	46	60
	0.8%	-	36	40	20
Martin(1988) ³⁾	0.5%	-	18	38	66

note) 1): Shielding-skirt type, 2) Wet detention pond, 3): Dry detention pond

문에 평시를 포함하여 강우시 유입되는 오염물질이 침강지에서 포착되지 못하고 곧바로 저수지 하류로 이동하게 되어 저수지 수질을 악화시켜 침강지의 정화효율이 낮아질 수 있다. 따라서 앞으로 저수지 내에 침강지를 조성할 경우에는 저수지 수체와 완전히 분리되는 구조가 수질정화효과 면에서 유리할 것으로 사료된다.

3.3. SAR 및 체류시간에 의한 평가

Wu등(1996)은 도시지역의 홍수조절과 오염물질 제거에 이용되는 체류지(또는 저류지)의 수질정화효율을 SAR와 비교하여 평가하였는데, Table. 7은 국내의 사례를 정리한 것이다.

SAR가 본 연구의 0.7%와 비슷한 경우를 보면, Wu 등(1996)이 연구한 체류지의 SAR는 0.8%이며 이때의 정화효율은 각각 TKN 22%, T-P 29%, SS 41%이었고, Borden 등(1998)은 체류지의 SAR가 0.8%이며 정화효율은 각각 T-N 36%, T-P 40%, SS 20%이었다. 따라서 비슷한 SAR에서 본 연구대상 침강지의 수질정화효율은 비슷한 수준으로 평가되며 특히, COD의 정화효율이 높게 나타나고 있다.

Fig. 4는 Table. 7의 자료 중 침강지와 체류지의 정화효율과 SAR를 반대수 그래프로 나타낸 것이다. SS의 정화효율은 SAR가 커질수록 정비례하여 증가하는 경향이나, T-P와 T-N의 정화효율은 SAR 1%까지는 비례하여 증가하나 그 이상에서는 SAR 값의 증가에 비해 개선의 정도가 크지 않다. Wu 등(1996)은 체류지가 클수록 높은 정화효율을 얻을 수 있지만, 주의 깊게 비용-효과적인 측면의 분석이 요구된다고 하였고, 미환경청(1998)에서는 SAR 값 1% 정도가 정화효율이나 규모 면에서 적당하다고 제안하였다.

따라서 연구대상 침강지의 SAR는 0.7%로서 저수지 수 표면적의 10%, 내용적의 6%에 해당하는 규모로서 본 연구결과와 국내외 연구사례 등을 고려할 때 정화효율과 현장적용 가능성 측면에서 적절한 규모로 사료된다.

침강지의 정화효율은 체류시간과도 밀접한 관계가 있다(박 등, 2000). 미환경청(1998)에서는 체류지에서 체류시간 24시간 내에 부유물질과 영양염류의 2/3가 제거되지만, 40시간 정도로 증가시키는 것이 수질정화 및 홍수조절에 유

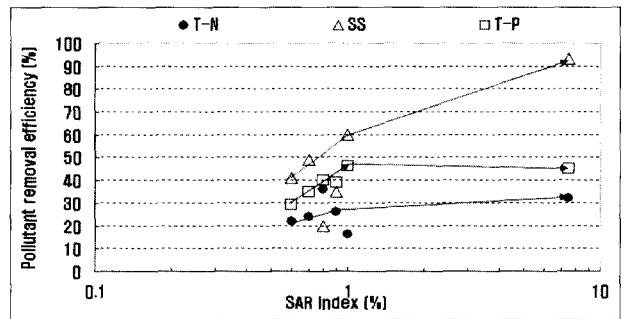


Fig. 4. Semi-log graph of pollutants removal efficiency vs SAR.

리하고 확실한 인의 제거를 위해서는 2주 정도의 체류시간이 필요하다고 하였다. 박 등(2000)은 준설형 침강지의 체류시간은 설계홍수량을 기준으로 1~3시간 정도가 적절하다고 제안하였다.

본 연구대상 감돈저수지의 연평균 유입량은 6,084 천 m³/yr(0.193 m³/s)이며, 100년 빈도 설계홍수량은 105.1 m³/s, 풍수량은 0.129 m³/s이다(농어촌진흥공사, 1999a). 연평균 유입량과 최대홍수량을 기준으로 침강지의 체류시간을 계산하면 각각 7.3일(175 hr)과 0.3시간이 된다. 따라서 연평균 유입량 0.193 m³/s는 유입하천의 풍수량 0.129 m³/s(농어촌진흥공사, 1999a) 보다 많다. 즉, 일년 중 270일 정도의 하천유량은 침강지에서 최소한 약 7일이상 체류하게 되므로 부유물질 및 영양염류의 2/3 이상이 제거될 수 있는 규모이다. 따라서 본 연구대상 침강지의 규모는 체류시간을 고려한 정화효율 면에서도 적절한 규모로 판단된다.

따라서 이상의 결과를 종합하여 볼 때 저수지 내에 침강지를 조성할 경우에는 저수지 수체와 완전히 분리되는 구조로 하되, SAR를 0.7 ~ 1.0% 정도로 하는 것이 정화효율이나 현장적용 가능성 측면에서 유리할 것으로 판단된다.

4. 요약 및 결론

농업용수 수질오염 현상이 과거 도시근교 저수지에서 이제는 농촌지역의 저수지까지 확산되고 있다. 저수지와 같은 폐쇄성 수역의 수질오염원인 중에서 비점오염원의 비중이

기여율이 커짐에 따라 이를 제어하기 위한 수질정화 공법들이 연구되고 있다. 그 중에서도 자연의 정화기능을 이용하는 인공습지, 침강지, 저류지 등의 공법이 국내외 적으로 많이 적용되고 있다. 본 연구에서는 저수지 내에 체류지와 유사한 기능을 하는 침강지를 조성하여 그 수질정화 효율에 대하여 살펴보았으며 주요 결과 및 결론은 다음과 같다.

농업용 저수지의 유입부에 보조댐을 쌓아 침강지를 설치하였고, 수질정화효율을 침강지와 저수지하류의 수질차이로 평가하였다. 침강지의 수질정화효율은 평균적으로 COD 38%, T-N 24%, T-P 35%, SS 49% 이었고, 우기에는 평균값보다 높은 효율을 나타내었으며 특히, COD의 정화효율이 타 연구사례 보다 높게 나타났다.

국내의 유사 연구사례와 비교한 결과, 본 연구대상 침강지는 규모 및 체류시간 면에서 수질정화에 유리한 것으로 평가되었고 저수지 수체와 분리되는 구조가 수질정화효율을 높이는 데 유리하게 작용된 것으로 판단된다.

따라서 저수지 내 유입부에 침강지를 조성 할 경우에는 저수지 수체와 완전히 분리되는 구조로 하고, 배수면적 대 침강지 수표면적비(SAR)는 0.7~1.0% 정도로 하는 것이 정화효율 및 현장적용 가능성 면에서 유리할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 침강지 조성 전·후의 침강지 및 저수지에서의 퇴적양상과 퇴적물 성상변화에 대하여는 조사를 하지 못하였고, 수질자료도 부족하여 침강지의 설계기준으로 사용하기 위한 정화효율의 제시에는 다소 부족한 면이 있다.

앞으로 침강지 내 퇴적양상과 퇴적물 변화특성, 강우시 효율조사 등 현장조사의 보완이 필요하며, 침강지에 의한 저수지 수질개선 효과, 침강지 조성형태에 따른 수질정화효율의 비교·평가와 사업비 대비 수질정화 효과가 큰 공법의 제안 등을 위한 지속적인 연구가 필요하다.

참고문헌

권선국, 우리나라 비점오염원 수질오염관리의 문제점과 개선방안, *대한환경공학회지*, 20(11), pp. 1496-1510 (1998).
 김성훈·권광식의 22인, *친환경농업과 생명·환경 교육*, 한국방송통신대학교 출판부, 서울, pp. 366-367 (2003).
 농어촌진흥공사, *감둔지구 농업용수 수질개선사업 기본계획 (안)*, (1999a).
 농어촌진흥공사, *만운지구 농업용수 수질개선사업 기본계획 (안)*, pp. 457-477 (1999b).
 농어촌진흥공사, *황궁지구 농업용수 수질개선사업 기본계획 (안)*, pp. 444-461 (1999c).
 농업기반공사, *감둔지구 농업용수 수질개선사업 시행계획서 (I)*, pp. 11-12 (2000).

농업기반공사, *농업용수 수질개선 시험연구사업 보고서(V)*, pp. 215-230 (2001).
 농업기반공사, *농업용수 수질개선 시험연구사업 보고서(VI)*, pp. 341-365 (2002a).
 농업기반공사, *2002 농업용수 수질측정망조사보고서*, pp. 13-15 (2002b).
 농업기반공사, *저수지 준설환경 기준정립에 관한 연구*, pp. 16-18 (2003).
 박병훈·장정렬·권순국, 저수지 수질개선을 위한 저수지 내 침전지 조성, *한국농공학회지*, 42(1), pp. 73-82 (2000).
 신은성·최지용·이동훈, 농업지역 비점오염물질 유출특성에 관한 연구, *한국물환경학회지*, 17(3), pp. 299-311 (2001).
 이재수·김영철, 소규모 농업용 저수지 유역으로부터 비점원오염물질 유출특성 및 오염물질 제거를 위한 체류지 용량분석, *대한토목학회논문집*, 21(5-B), pp. 575-588 (2001).
 이재수·김영철·황길순, 장마 전·후의 농업용 저수지 퇴적물의 변화 분석, *대한토목학회논문집*, 23(4b), pp. 359-368 (2003).
 이종태·송치홍·강태호, 저류지에 의한 우수의 수질개선 효과연구, *한국수자원학회논문집*, 33(3), pp. 351-364 (2000).
 이현동·배철호, 비점오염 유출특성과 저감을 위한 최적관리 방안, *한국물환경학회지*, 18(6), pp. 569-576 (2002).
 장정렬·윤경섭, 농업용 저수지의 수질개선을 위한 인공습지 설계방안, *농어촌과 환경*, 67, pp. 97-112 (2000).
 장정렬·최선화·권순국, 저수지내 침강지의 수질정화 효과, *한국물환경학회 춘계공동 학술발표회자료집*, pp. 553-556 (2003).
 최선화·김호일·윤경섭·최이송·오종민, 농업용수 수질 기준 T-N 항목 설정을 위한 비생육실험, *한국물환경학회지*, 20(3), pp.301-306 (2004).
 Borden, R. C. et al., Effect of in-lake water quality on pollutant removal in two pond, *J. of Envir. Engin.*, 124(8), pp. 737-743 (1998).
 Martin, E. H., Effectiveness of an urban runoff detention pond-wetlands system, *J. of Envir. Engin.*, 114(4), pp. 810-827 (1988).
 Mays, Larry W., et al., *Hydraulic design handbook*, McGraw-Hill, NY, U.S.A., pp. 14.77-14.92 (1999).
 Mays, Larry W., et al., *Water Resources Engineering*, John Wiley & Sons, NY, U.S.A., pp. 599-604 (2001).
 USEPA, *Storm Water Technology Fact Sheet: Wet Detention Pond*, EPA 832-F-99-048, Office of Water Washington D.C. (1998).
 Wu, Jy S., Holman, R. E., and Dorney J. R., Systematic evaluation of pollutant removal by urban wet detention ponds, *J. of Envir. Engin.*, 122(11), pp. 983-988 (1996).