

농업용저수지의 수질개선을 위한 오염물질 침강지 조성 기법

배 요 섭*⁺ / 남 귀 숙**

Practical Research on the Advanced Detention Pond for the Improvement of Water Quality of Agricultural Reservoir

Pae, Yo Sop*⁺ / Nam, Gui Sook

요약 : 전형적인 농촌유역을 가지는 충남 아산시 마산저수지는 상류 유역으로부터 다량의 점, 비점오염물질이 유입되어 과영양 상태를 나타내는 농업용 저수지이다. 주요 유입하천인 황산천과 초사천의 수질('05년~'06년)은 TN과 TP 등 영양염류와 유기물의 농도가 매우 높은 수준을 유지하고 있으며, 이로 인해 마산저수지의 수질은 COD가 농업용수 기준을 초과하는 상태를 보여주고 있다. 이러한 저수지의 수질개선을 위해 저수지 유입부에 설치 및 관리가 용이한 조립식의 오염물질 침강장치를 개발하여 그 효과를 평가하고자 하였다. 그 결과 침강시설의 평균 정화효율은 부유물질(SS) 55.7%, 총질소(TN) 61.0%, 총인(TP) 55.9%로 장정렬등(2004)이 제시한 부딤형 침강지의 정화효율에 비해 안정적으로 높은 효율을 보였을 뿐 만 아니라 저비용으로 높은 수질개선 효과를 거둘 수 있는 경제적인 시설로서 저수지 수질개선에 효과적인 것으로 사료된다.

핵심용어 : 침강지, 인공식물섬, 차수막, 부딤, 농업용저수지, 수질개선

Abstract : To improve water quality for agricultural use, it is needed to introduce the natural and low-cost self-purification system. It is also necessary to develop the water purification facilities for more efficient and convenient design, construction, operation and management. This study aims to develop the practical facilities to improve water quality for agricultural use. The practical detention pond system, which uses artificial floating island and shield skirts with bio-media, enhanced removal efficiencies of SS, TN and TP more particularly than the detention pond using an auxiliary dam. The removal efficiencies SS, TN and TP for the practical detention pond were 55.7%, 61.0% and 55.9%, respectively. The facilities of the practical detention pond has a lot of disadvantages such as the low-cost and high efficiency as well as uncountable impacts regarding ecology and landscape. However, an auxiliary dam is recommended to be installed in shallow depth due to low efficiency.

Keywords : detention pond, artificial floating island, shield skirts, auxiliary dam, agricultural reservoir, water quality improvement

1. 서 론

2007년 농업용수 수질측정망 조사결과를 보면 전체 조사대상 저수지의 16.3%(80/492개소)가 COD를 기준으로 한 기존의 농업용수 수질기준인 수질환경 기준 IV등급을 초과하고 있었다. 또한, 이미 부영양화로 인해 수질환경이 심각하게 악화

된 저수지는 전체의 8.5%(40개소/492)에 달하고 있으며, 중부영양화 상태의 저수지를 포함하면 전체의 40.4%(191/492)가 부영양화단계에 접어들어 현재 농업용수 수질개선 노력이 절실히 요구되어 지는 상황이다(농림부 등, 2007).

게다가 정부는 4대강 수계를 중심으로 한 비점 오염관리정책을 수립하고 3단계 계획을 2020년까지

+ Corresponding author : paeyo@ekr.or.kr

* 정회원 · 한국농촌공사 농어촌연구원 연구원, 공학박사과정, 공학석사

** 정회원 · 한국농촌공사 농어촌연구원 주임연구원, 이학박사

농업용수원으로 사용되고 있는 농업용 저수지 및 담수호 역시 수질오염 총량관리제의 규제대상이 되어 저수지 유역의 비점오염물질 저감을 위한 노력을 해야 하는 주요한 시기이다.

오염된 농업용수의 수질개선 및 보전을 위해서는 무엇보다 국내 환경 및 농촌 환경에 적합한 저비용의 친환경 자연정화공법의 개발 및 실용화가 필요하다. 또한, 선진국의 최신 자연정화공법을 국내 농촌환경에 적용시 정화효율 및 시설타당성 검토가 선행되어야 하며 적절한 공법의 실용화 가능성을 평가하고 최종적으로 이를 현장에 적용할 수 있도록 해야 한다. 수질개선을 위한 시설은 처리효율 뿐만 아니라 경관개선 등 농촌의 고유기능을 충족시키고 상품성이 높아야 실용화가 가능하다.

체류지(wet detention pond) 또는 저류지(dry detention pond)는 강우 유출수에 포함된 오염물질의 상당량을 제거하는 기능이 있는 것으로 알려져 있고 체류지의 오염물질 제거능력이 높다(이종태 등 2000; Borden et al., 1998; Mays et al., 1999; Mays et al., 2001). 주로 미국 등 외국에서는 도시개발 등에 의한 홍수량증가와 수질정화를 목적으로 많이 이용하고 있으나(Borden et al., 1998; Martin, 1988; Wu et al., 1996) 국내의 호소 또는 농업용저수지에 적용된 사례는 마산저수지(농림부 등, 2000)와 전남 무안 감돈저수지(농림부 등, 2000)가 최초이다. 이들은 추가적인 부지확보 필요성이 없고 기존 저수지 수면을 그대로 활용하여 저수지내 유입부에 체류지와 유사한 기능을 갖도록 구조물을 설치한 사례로서 저수지로 유입되는 토사와 오염물질을 유입부에서 집중적으로 침강퇴적시키고 생물-물리-화학적 자연정화작용에 의해 제거됨으로서 저수지 수질을 개선시킨다(장정렬 등, 2004). 요즘들어 체류지는 강우유출 비점오염물질 저감시설로서 국내에 많이 소개되고 있으며 인공습지 등과 같이 하천수계의 천변을 이용하거나 별도의 부지확보를 필요로 하는 경우가 대부분이다(환경부 등, 2003).

본 연구에서는 1997년 ~ 2004년까지 진행되

었던 「농업용수 수질개선 시험연구」의 세부 공법이었던 침강지 연구성과를 기반으로 최적의 처리시스템을 개발, 실용화한 결과로서 저수지 유입부에 조성된 침강지의 조성기법과 수질정화효율을 파악하는데 있다.

2. 연구범위 및 연구방법

마산저수지는 유역면적 1,776ha, 만수면적 97ha, 저수량 3,037천m³의 축조된지 약 80년이 지난 오래된 중규모 농업용저수지이다(농림부 등, 2004). 또한 최고수심 6.0m, 평균수심 3.3m로 수심이 얇을 뿐만 아니라 유입수의 저수지 체류시간이 2001년도 평균 161일, 2002년도 평균 93일, 2003년은 72.5일로 팔당호, 춘천호 등 하천형 호소나 아산호, 영산호와 같은 저수지형 호소보다 길고 대청호, 충주호와 같은 가지형 호소와 비슷한 양상을 보였다. 평균체류일수가 3.6일 이상일 경우 부영양화 가능성이 높다는 점을 고려할 때 마산저수지는 수심이 얇고 체류시간이 긴 편으로 부영양화 등 수질오염에 취약한 구조적 특성을 지니고 있다(류재근, 1999).

유입하천은 초사천과 황산천의 두 개의 하천으로 초사천은 하천연장 3.87km, 평균경사도 8%이고, 황산천은 하천연장 3.71km, 평균경사도 10%이다. 유역의 오염원은 축산에 의한 발생부하량이 가장 높은 75%를 차지하고 있고, 농경활동에 의한 비점오염원이 16%를 차지하고 있어 영양염류의 유출이 높다(농림부 등, 2004).

본 연구에서는 오염물질 침강장치의 효과를 검증하기 위해 황산천과 초사천의 수질과 유량을 조사하였으며, 마산저수지는 침강지 내부(상류), 유출부(중류), 수질대표지점(제방앞, 하류)로 구분, 수층별 수질을 측정하여 침강지전후의 수질을 비교하였다.

유입하천의 시료 채취는 저수지 수위에 영향을 받지 않는 각 하천의 하류지점에서 하상의 교란이 없도록 용기를 이용하여 채취하였으며, 하천의 유속과 수심을 현장 측정하여 유속-면적법에 의해

유량을 산출하였으며, 휴대용 종합수질측정기(YSI 620)를 사용하여 수온, pH, 전기전도도, 용존산소량 등을 현장에서 즉시 측정하였다. 저수지는 먼저 초음파수심계를 이용하여 수심을 측정한 후 반돈채수기를 사용, 표층(수표면하 1m), 중층, 하층(퇴적층 위 1m)의 시료를 채취하였으며, 하천에서와 같이 수온, pH, 전기전도도, 용존산소량 등을 측정하였다. 채취한 시료는 즉시 일반시료와 황산전처리 시료로 구분하여 냉장보관하여 분석실로 운반, 실내시험하였다. 실내 분석항목은 COD, SS, TN, TP, Chl-a이며, 분석방법은 수질오염공정시험법(2006) 및 APHA(1995)에 준하여 실시하였다.



Fig. 1. Sampling Site

3. 침강장치의 구상 및 설치

본 시설은 농업용저수지의 수리용량 확보와 수질개선 목적으로 저수지 유입부 퇴적물을 준설, 제거하는 과정에서 형성된 저류지 연구에서 출발하였으며, 저수지 수층을 수직 분할하는 스킨트식 차수시트를 바다방향으로 설치하여 오염물질의 차단효과를 높이고(Fig 2), 용존성영양염류와 식물플랑크톤의 유출을 막기 위해 중층방류를 유도하였으며, 경관생태학적인 효과와 생물분해활성을 높이고 표층에 집적된 식물플랑크톤을 한번더 여과하도록 인공식물섬을 조합·설계하였다(Fig. 3).

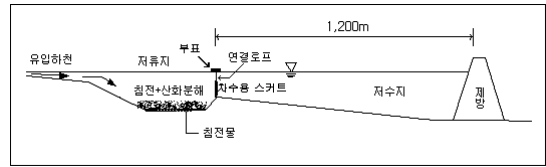


Fig. 2. Scheme of Advanced Detention Pond

유입하천을 통해 유입된 오염물질이 침강지내로 들어오면 유속감소로 인해 입자성 오염물질이 중력침강하여 침강지내에 체류하도록 차수시트를 설치하였으며, 차수시트 바로 앞부분에 생물메디아를 수직으로 매달고, 상부 수표면에 노랑꽃창포가 식재된 인공식물섬을 도입하여 미생물의 분해활성을 증가시켰다. 또한, 동물성플랑크톤과 미소생물의 서식, 산란처를 제공함으로써, 오염물질을 분해·흡수하고, 저수지의 녹조를 유발하는 식물플랑크톤을 여과하며, 용존성 영양염류를 흡수하도록 하였으며, 노랑꽃창포의 개화로 인한 경관창출 효과와 조류(鳥類)의 휴식, 피식 공간으로도 활용되는 등 생물서식공간으로서의 기능도 부가하였다 (Fig 3).

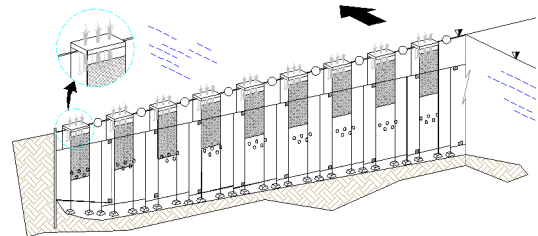


Fig. 3. Detail Diagram

침강지를 구획하는 차수시트는 대규모 홍수 등의 피해로부터 안전성을 확보하기위해 5m 단위로 절단하였으며, 양단 10%이상을 서로 겹치게 하여 평상시 물흐름 차단효과를 그대로 유지할 수 있도록 하고 홍수시에는 사이가 벌어져 안전성을 도모하였다. 또한, 차수시트와 생물메디아는 수면하 1m지점에 설치하여 인공식물섬의 근권부와 연계, 침강지를 빠져나가는 유출수가 자연스럽게 식물섬의 하부 수많은 뿌리털을 통과, 여과될 수 있도록 하였고, 차수시트의 중층부에는 덮개가 있는 직경

10cm의 천공을 뚫어 유입유량의 증가시 비교적 수질이 양호한 중층수의 방류가 자연 유도될 수 있도록 하였다. 인공식물섬과 차수시트 등은 부력체에 의해 항상 일정 수심을 유지할 수 있도록 하였으며, 차수시트의 하부 바닥 접촉면에는 무거운 체인을 달아 수위변동에 따라 차수시트 등 침강장치가 수직면을 유지할 수 있도록 하였다(Fig. 4).

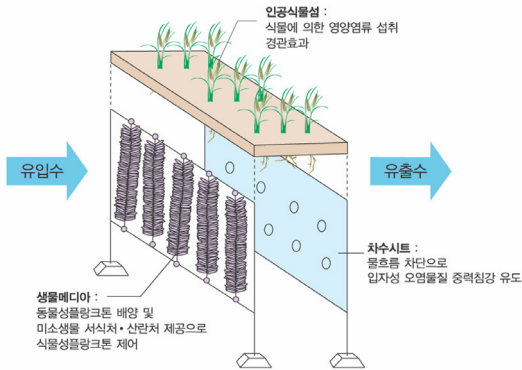


Fig. 4. Role of Individual Parts in System



Fig. 5. Floating Island and Its Rhizome

4. 침강장치의 수질정화 효과

4.1 유입하천 및 저수지의 수질현황

마산저수지로 유입되는 주요하천으로 황산천과 초사천이 있으며 마산저수지의 수질오염에 주요한 원인이 되고 있다. 초사천의 경우 유역내 개발사업이 계속 진행되고 있어 평소에도 많은 양의 토사가 유출되고 있으며, 평균 부유물질(SS) 농도가 70.3 mg/L로 높게 나타났다. 황산천은 유역의 농경배수와 미처리된 하수 및 축산폐수 일부가 유입되고 있어 전기전도도(EC), 총질소(TN)와 총인(TP)의 평균 농도가 초사천에 비해 높게 나타났다. 황산천과 초사천의 평균유량은 각각 0.209 m³/s, 0.190 m³/s로서 황산천의 유량이 다소 많으나 큰 차이가 없는 유사한 규모로 판단된다. 두 하천 모두 BOD는 1.5mg/L 이하로 좋음 등급(Ib)을 보이고 있고, COD도 5.2mg/L이하로서 농업용수기준인 IV등급보다 낮게 나타났으나 TN과 TP는 각각 평균 3.343~3.552mg/L, 0.111~0.248mg/L로 농업용수 기준인 IV등급을 초과하는 높은 수준을 보이고 있다(Table 1).

마산저수지의 수질은 EC와 SS, TN, TP의 농도가 유입하천보다는 낮아졌지만 평균 COD가 9.4 mg/L로 유입하천에 비해 2배 이상 높게 나타나 유입하천의 높은 영양염류가 저수지의 내부생산성에 크게 기여하여 부영양화를 촉진하는 것으로 나타났다. 또한, COD와 TN의 경우 농업용수 기준인 수질환경기준 IV등급을 초과하고 있는 상태이다(Table 1). 마산저수지의 평균 TP 농도로 환산한 Carson(1977)의 부영양화도지수(TSI Index)는 67로서 부영양과 과부영양 중간정도의 지표를 나타내고 있다.

시기별로 유입하천과 마산저수지의 주요 항목별 수질변화를 보면 COD는 조사시기 전체에 대하여 유입하천보다 저수지가 높게 나타나는 반면 TN은 전시기에서 유입하천보다 저수지에서 낮은 농도를 보였으며, SS와 TP는 시기적으로 유입하천과 유사하거나 낮은 농도를 보이고 있지만 그 농도 변화가 유입하천 같이 강우기에 급증함 없이

Table 1. Water Quality in Streams and Reservoir ('05~'06)

Parameter	Q(m ³ /s)	EC(μS/cm)	BOD(mg/L)	COD(mg/L)	SS(mg/L)	TN(mg/L)	TP(mg/L)
Whangsan stream	0.209	202.4	1.5	4.5	13.1	3.552	0.248
Chosa stream	0.190	187.4	1.4	5.2	70.3	3.343	0.111
Reservoir	-	151.7	-	9.4	19.1	1.406	0.078

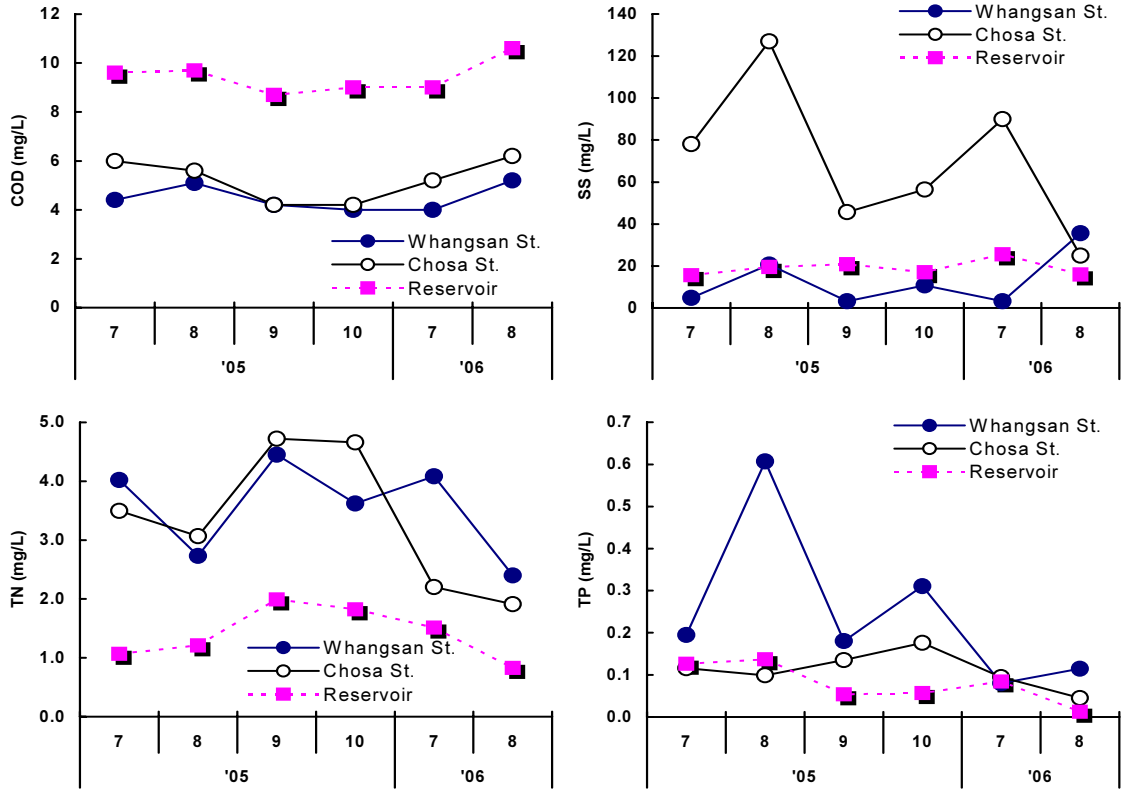


Fig. 6. Water Quality Tendency in Streams('05~'06)

거의 일정한 수준을 유지하고 있는 것으로 나타났다(Fig. 6). 저수지 대표수질 조사지점이 저수지 하류 제방앞으로(Fig. 1), 장정렬 등(2004)은 침강지가 설치되지 않고 마산저수지와 유사한 3개의 농업용저수지인 왕궁저수지, 감돈저수지, 만운저수지 등의 상하류간 수질변화분석 결과에서 상하류간 차이가 없거나 하류의 오염농도가 더 높게 나타나는 경우가 있음을 나타내었다, 특히, SS는 강우기인 7~8월 수질 평균을 보면 저수지상류 11.2mg/L, 저수지 하류 12.7mg/L로 하류에서 오히려 높게 나타난 점을 비추어 볼 때(장정렬 등, 2004), 마산저수지의 상류 유입부에 설치된 침강

장치가 입자성 물질을 효과적으로 저감하고 완충 기능을 보이고 있음을 유추할 수 있다. 일반적으로 강우기에 유입토사가 제방 앞까지 확산되어짐을 흔히 관찰할 수 있으며, 2007년 8월 조사당시에도 그러한 현상을 관찰할 수 있었다(Fig. 7).



Fig. 7. Photograph of Water Status in the Storm Event('05. 8)

4.2 수질개선효과

침강지유입수(Inlet)는 유입하천의 수질농도를 유량에 근거하여 가중 평균하여 산출하였으며, 침강지내부 수질을 Pond로, 침강지 바깥 지점을 유출부(outlet)로 하여 수질개선 효과를 계산하였다 (Fig. 1). 정화효율의 평가는 일반적으로 EMC 또는 총부하량(submation of loads, SOL)을 이용하여 식(1)과 같이 평가하는데(Martin, 1988), 이는 유출구조가 명확하여 수질 및 유량자료를 취득할 수 있을 경우에 적용할 수 있다. 본 연구에서는 각 유입하천 말단의 유량과 수질을 측정하고 가중평균하여 유입자료로, 유입된 물이 그대로 유출된다는 전제하에 침강지 바깥 저수지의 수질을 유출자료로 사용하였으며 크게 무리가 없음이 선행 논문에서 확인되었다(장정렬 등, 2004; 박병훈 등, 2000).

$$Efficiency(\%) = (1 - output/input) \times 100 \quad (1)$$

본 연구기간 중 유입수와 침강지내부, 유출수의 수질변화를 Fig. 6에 나타내었다. COD는 유입하천과 저수지의 수질변화에서도 나타났듯이 체류시간이 길어진 저수지내에서 내부생산으로 인해 유입수보다 침강지내부, 유출수에서 훨씬 높게 나타났다. 반면에 SS와 TP의 경우에는 유입수의 증감에 큰 영향을 받지않고 일정한 수준으로 유출이 이루어지고 있었다. TN은 TP와 달리 유입수의 영향을 다소 받는 것처럼 보이지만 유입수농도에 비해 크게 감소하여 나타났다. 침강지내부에서는 오염물질이 다량 집적되어 있는 특성상 유입수, 유출수와 조금 다른 다양한 경향을 보이고 있어 유출수의 수질개선효과에 대한 기작규명이 향후 필요함을 시사하고 있다.

Table 3과 Fig. 9는 침강지의 수질 항목별 평균

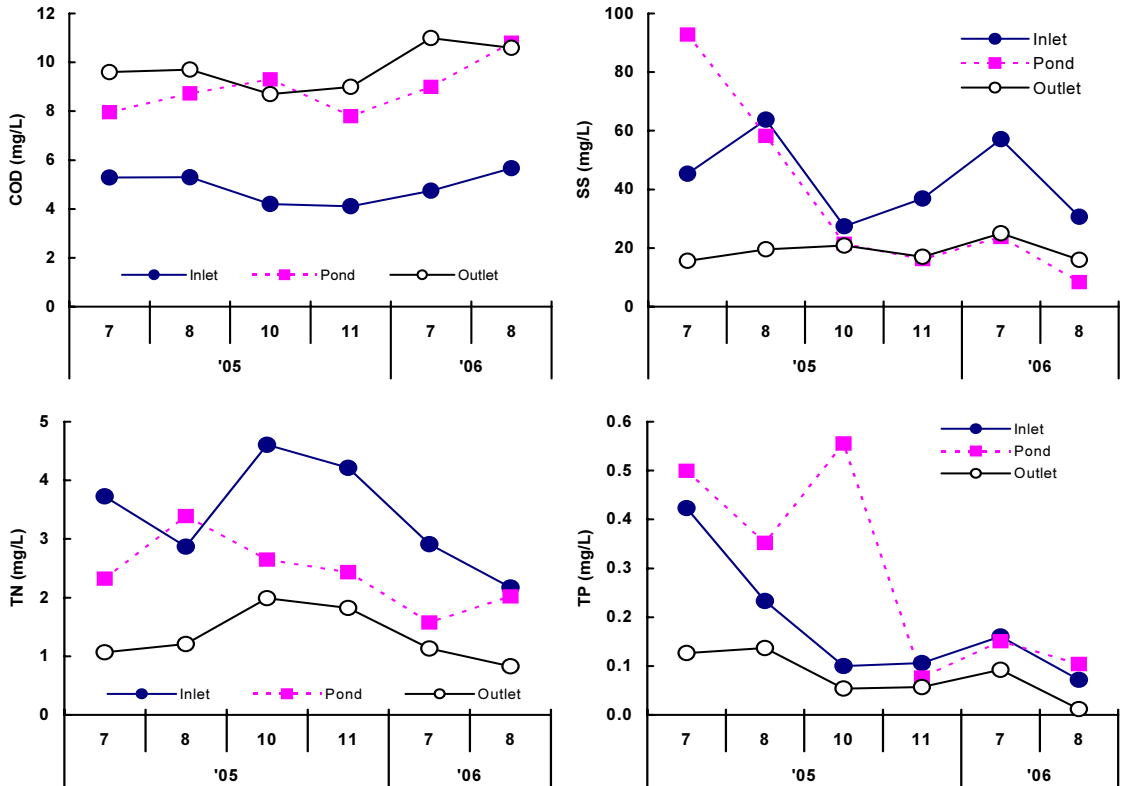


Fig. 8. Variations of Water Quality between Inlet and Outlet ('05~'06)

Table 3. Removal Efficiency of Advanced Detention Pond (%)

Parameter	COD	SS	TN	Org-N	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	TP	Org-P	PO ₄ -P
Mean	-101.5	52.8	61.0	-26.4	-61.1	-158.3	80.3	54.9	14.9	74.6

Table 4. Comparison Advanced Detention Pond and Auxilliary Dam in Removal Efficiency(%)

Parameter	Advanced Detention Pond			Auxilliary Dam (Jang et al, 2004)
	2005	2006	Ave.	
SS	58.1	53.3	55.7	49
TN	60.5	61.4	61.0	24
TP	56.5	55.2	55.9	35

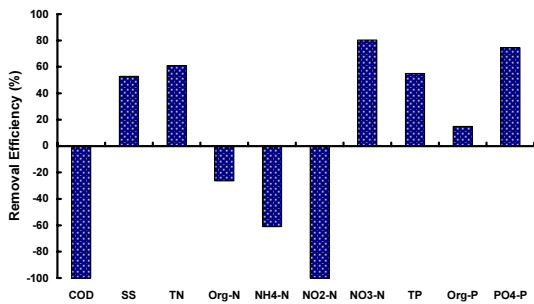


Fig. 9. Removal Efficiencies on the Advanced Detention Pond (%)

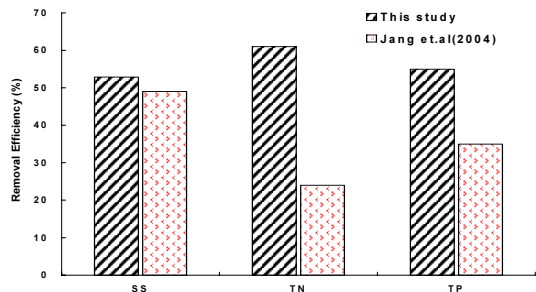


Fig. 10. Comparison Advanced Detention Pond and Auxilliary Dam in Water Quality

정화효율을 나타낸 것으로 COD는 -101.5 %로 유출부에서 크게 증가하였고, SS는 52.8%, TN 61.0%, TP 54.9%로 입자성물질과 연관되어 같이 침전, 제거되어지는 항목에서 정화효과가 우수하게 나타났다. 특히, 질산성질소(NO₃-N)와 인산염인(PO₄-P)는 80.3%, 74.6%로 아주 높게 나타난 반면 유기성 질소, 암모니아성, 아질산성 질소는 -158.3% ~ -26.4%로 오히려 증가되었다.

이와 같은 침강장치의 효율은 장등(2004)이 제시한 부딪을 이용한 침강지 효율인 SS 49%, TN 24%, TP 35% 보다 높은 효율을 보여주고 있었다(Table 4). 특히, TN은 거의 3배에 가까운 정화효율을 나타내어 단순구조물인 부딪에 비해 생물학적 정화요소인 인공식물섬과 생물메디아의 추가가 질소와 인의 향상에 크게 기여함을 추정할 수 있었다(Fig. 10).

유역에서 유입되는 오염물질을 효과적으로 침강, 분해, 제거하여 저수지 수질을 개선하는데 목

적이 있는 침강장치에서 입자성 물질인 SS와 저수지의 주요 수질오염 원인물질인 질소와 인과 같은 영양염류의 저감효과가 크게 나타난 결과로부터 향후 저수지의 수질개선에 효과적인 시설로 판단되었다.

7. 요약 및 결론

상류로부터 오염물질의 유입이 농업용 저수지의 주요 수질오염원일 경우 차단 및 정화시설의 설치는 필요한 것으로 보인다. 어떤 시설이 필요한가에 대해서는 효과대비 경제적인 측면이 강조되어야 하는데 금번에 개발된 침강장치는 이러한 점에서 매우 효과적인 시설이다.

이 시스템은 당초 단순형태의 차단막구조로 구성하여 적용하였으나, 침강지의 기능향상을 위하여 인공식물섬, 차수막, 생물메디아를 추가 도입하여 처리효율 향상을 도모하였다. 또한 표층에

식물플랑크톤이 집적되어 있어 방류시스템을 중층 방류로 구조를 개선하여 영양염류의 제거효과와 생물서식처 제공 등 생태적효과를 증진시키고자 하였다. 주요 공중으로 차수막, 인공식물섬, 생물 매디아로 구성되어 있고, 그 외 계류장치, 고정장치 등이 포함되어 있다.

마산저수지의 주요 유입하천인 황산천과 초사천의 수질('05년~'06년)은 BOD와 COD 등 유기물농도는 낮은 편이었으나 TN과 TP 등 영양염류의 농도가 매우 높은 수준을 유지하고 있다. 이로 인해 마산저수지의 수질은 COD가 농업용수 기준을 초과하는 V~VI 등급의 수준을 나타내고 있으며, TN과 TP 역시 유입하천농도보다는 낮으나 농업용수 수질기준을 초과하고 있었다. 본연구시설의 도입에 따른 수질정화효과는 SS 52.8%, TN 61.0%, TP 54.9%로 입자성물질과 연관되어 같이 침전, 제거되어지는 항목에서 정화효과가 우수하게 나타났으며, 그중에서도 질산성질소(NO₃-N)와 인산염인(PO₄-P)는 80.3%, 74.6%로 아주 높게 나타났다. 특히, TN은 부댐형 침강지에 비해 3배이상의 높은 효율을 보여주어 본 연구에서 적용한 침강장치의 기능이 우수함을 입증하였다. 따라서, 유역으로부터 유입되는 오염물질을 효과적으로 침강, 분해, 제거하여 저수지 수질을 개선하는데 효과가 큰 저비용의 침강장치 도입으로 저수지의 수질개선에 크게 기여할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 농림부, 농업기반공사, 2000. 농업용수 수질개선 시험연구 보고서(IV)
- 농림부, 농업기반공사, 2000. 농업용수 수질개선 시범조사보고서(감둔저수지)
- 농림부, 농업기반공사, 2004. 농업용수 수질개선 시험연구 보고서(최종)
- 농림부, 한국농촌공사, 2007. 농업용수 수질측정망 조사보고서
- 류재근, 1999. 호수의 수질관리, 대한환경공학회
- 박병훈, 장정렬, 권순국, 2000. 저수지 수질개선을 위한 저수지내 침전지 조성, 한국농공학회지, 42(1), pp. 73-82
- 이종태, 송치홍, 강태호, 2000. 저류지에 의한 우수의 수질개선 효과연구, 한국수자원학회 논문집. 33(3), pp.351-364
- 장정렬, 최선화, 권순국, 2004. 저수지내 유입부 침강지의 수질정화효율, 한국물환경학회지, 20(5), pp. 473-479,
- 한국농촌공사, 농업용수 수질개선 실용화연구보고서(I), 2005.
- 한국농촌공사, 농업용수 수질개선 실용화연구보고서(II), 2006.
- 환경부, 환경관리공단, 2003. 비점오염관리를 위한 강우유출수관리 매뉴얼
- 환경부, 2006. 수질오염공정시험법(수정판)
- Amandes, C.B., P.B. Bedient, 1980. Storm-water detention in developing watersheds. J. Envir. Engrg. Div.. ASCE 106(2): 403-419.
- APHA, 1995. Standard Methods for the Examination of water and Wastewater. 19th edition.
- Borden, R.C. et al., 1998. Effect of in-lake water quality on pollutant removal in two pond. J. of Envir. Engin., 124(8) pp. 737-743
- Carson, R. E., 1977, A trophic state index for lake, Limnology and Oceanography, Vol. 22, pp. 101-108
- Martin, E. H., 1988. Effectiveness of an unbaan runoff detention pond wetlands system. J. of Envir. Engin., 114(4) pp. 810-827
- Mays, Larry W. et al., 1999. Hydraulic design handbook, McGraw-Hill, NY, USA, pp 1477-1492
- Mays, Larry W. et al., 1999. Water Resoureses Engineering, John Wiley & Sons, NY, USA, pp 599-604
- Wu, Jy S., Holman, R. E., and Domey J. R., 1996. Systematic evaluation of pollutant removal by urban wet detention ponds, J. of Envir. Engin., 122(11) pp. 983-988