

호소의 수질개선을 위하여 설치한 부댐의 장기간 성능평가

김봉균¹, 박준석¹, 원희재¹, 김윤용^{2*}

¹동산콘크리트산업(주) BIO콘크리트연구소, ²충남대학교 토목공학과

Long-term Performance of Secondary dam Installed for Water Purification of Reservoir

Bong-Kyun Kim¹, Jun-Seok Park¹, Hee-Jae Won¹, Yun-Yung Kim^{2*}

¹Dong San Bio Concrete R&D Center, Dong San Concrete Industry Company

²Dept. of Civil Engineering, Chungnam National University

요 약 우리나라의 저수지는 유효수심이 낮고 소규모의 인공호소가 대부분이어서 주변의 농경지로부터 유입되는 유기물질과 축산폐수 및 생활하수에 의한 수질오염에 취약한 실정이다. 이에 여러 가지 공법을 통하여 이를 개선하고자 노력하고 있으나 여전히 저수지의 오염정도가 심각한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 저수지의 유입부에 설치되는 침강지를 조성하기 위한 사석 위주의 부댐을 대체하면서 수질정화 효과를 부여하기 위하여 수질정화용 부댐을 경기도내 저수지에 설치하여 36개월간 수질개선효과를 측정하였다. 연구결과에 따르면 COD 14.6%, SS 38.6%, T-N 9.5%, T-P 11.2%로 나타났으며 계절 등 시기별로 유입수의 농도 변화가 뚜렷하였고 유입수의 농도가 높을수록 수질정화효과가 높게 나타났으며 36개월의 장기간 운영에 따른 여재의 공극 막힘 현상은 발생하지 않았다. 따라서 침강지의 정화효율이 아닌 부댐의 정화효율을 고려하여 불 때 수질정화용 부댐을 농업용 저수지에 설치할 경우 장기간 동안 침강지로부터 호소내로 유입되는 오염물질을 효과적으로 차단하여 호내의 수질오염을 방지할 수 있을 것으로 판단된다.

Abstract Most reservoirs in Korea have a low water depth and are small in size. Water pollution of the reservoir is serious because of the organic matter flowing from livestock wastewater, domestic sewage, and farmland. In this study, an attempt was made to improve the water purification effect by replacing the secondary dam installed in the depression area of the agricultural reservoir with the riprap dam. To evaluate the long-term performance, a riprap dam was installed in a reservoir in Gyeonggi province and water purification effect for 36 months was measured. The field test results showed that COD was 14.6%, SS 38.6%, T-N 9.5%, and T-P 11.2%. The concentrations in the influent water exhibited a significant change according to season, and the water purification effect increased with increasing concentration of influent water. The pollutant flowing into the lake from the depression area can be blocked effectively if the secondary riprap dam for water purification is installed in the agricultural reservoir.

Keywords : Secondary dam, Reservoir, Water purification, Field test, Long-term performance

1. 서 론

최근 세계경제포럼(WEF)은 ‘Global Risks Report 2018’을 발표하여 세계경제 리스크로 경제·환경·지정

학·사회·기술 등 5개 분야 30개를 선정하였다. 이중 극단적 기상이변 등 환경에 대한 리스크가 발생 가능성과 파괴력 측면에서 상위에 랭크[1]되었으며, ‘OECD 2030’ 환경보고서에서도 2030년까지 경제 및 환경 추세

본 논문은 2015년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2015R1A5A1037548).

*Corresponding Author : Yun-Yung Kim(Chungnam National Univ.)

Tel: +82-42-821-7004 email: yunkim@cnu.ac.kr

Received July 23, 2018

Revised (1st August 20, 2018, 2nd September 10, 2018)

Accepted October 5, 2018

Published October 31, 2018

에 대하여, 물부족, 지하수질 및 농업용수 이용과 오염이 시급한 관심이 필요한 환경문제로서 2030년 까지 세계의 식량 농작물 생산량은 48%, 축산물은 46% 증가할 것으로 예측하였다.[2]

국내에서도 1960년대부터 상하수도, 하천정비 등 인프라를 지속적으로 확충하여 기본적인 치수, 이수, 수질 관리 체계를 구축하였으나 2000년대 이후 선진적인 관리체제로 발전하지 못하고 10년 이상 정체되어 오다가 최근에 ‘물기본법’을 제정하여 물의 효율적이고 통합적인 관리[3]를 통해 물산업을 육성하고자 하는 움직임을 보이고 있는 실정이다.

특히 농업생산에서 농업용수는 필수 투입요소로 농작물 생산량과 직결되어 농민 소득에 직접적인 영향을 주는 생산요소이다.

2016년 기준으로 전체 수리답 면적(728천ha) 중 농업용 저수지가 440천ha로 전체 수리답 면적의 60.5%를 부담하고 있다. 그리고 국내에 조성된 총 17,313개의 농업용 저수지 중 유효저수량 100천m³미만의 소규모 저수지가 전체의 약 88.2%를 차지하고 있으며, 이중 1945년 이전에 준공된 저수지가 8,861개소로 전체의 51.6%를 차지하고, 50년 이상 경과 저수지는 22.2%, 30년 이상 경과된 저수지도 22.7%를 차지[4]하고 있어 대부분의 농업용저수지가 매우 노후화 되어 있는 실정이다.

이와 같이 선진국들의 호소는 평원에 위한 중대형 자연호소임에 반해서 우리나라 농업용 호소는 대부분 산지 발달부 또는 평야지대에 소규모로 조성된 인공호소이기 때문에 심각한 수질오염 현상이 발생할 가능성이 높다. 또한 선진국들은 중대형 호소들이 상대적으로 많기 때문에 굳이 소형 호소를 농업 용수원으로 사용할 필요가 없으므로 수질개선대책이 대형호소 위주로 이루어지고 있으며, 대부분은 평야 지역의 인구가 희박한 지역에 위치해서 수질오염물질의 유입이 상대적으로 많지 않다. 반면, 우리나라 농업용 호소는 유역 내에 농촌마을과 축사, 소규모 사업장 등이 다수 산재 하여 수질오염원으로 작용하는 경우가 많아 수질이 쉽게 악화될 수 있으며, 강우의 2/3가 여름 한철에 집중되기 때문에 이때 물을 받아들 소규모 호소를 많이 축조하였으므로 농업용수는 하천에 비해 수질관리가 어려운 호소에 대한 의존율이 높다. 또한 외국의 사례에 비해 우리나라는 급격한 산업화와 도시화의 진행으로 많은 저수지들에서 동시다발적으로 수질오염이 일제히 발생하였기 때문에 충분한 검토의 여

유 없이 각종 수질개선대책들이 제안되어 시행되었다.[5]

2017 농업용수 수질측정망조사 보고서에 따르면 국내 농업용 호소의 주요오염원은 토지에서 강우시 유출되는 비점오염원이 49.4%로 가장 많고 다음으로 생활하수와 같은 생활계가 27.0%, 축산계가 23.0%를 차지하고 있으며 비점오염원인 토지계의 비율이 최근에 높아지고 있는 것으로 나타났다.[6]

이러한 비점오염원에 대한 영향은 우리나라의 호소 규모와 강우특성에 기인한바가 크다. 앞서 기술한 바와 같이 우리나라의 호소는 대부분 소규모의 호소들로 호소의 전체 수해면적 433,804ha 중 210,352ha인 49%가 유효수심이 5m미만인 호소[7]이어서 이러한 낮은 유효수심으로 인하여 수질이 급격히 악화되는 경향을 보이고 있다.[8] 또한 여름철 강우량의 집중현상과 이에 따른 급격한 수위변화 등으로 인하여 한꺼번에 비점오염물질이 유입되어 플랑크톤이 과도하게 번식-사멸-부패하면서 외부로부터 유입되는 오염물질을 없더라도 수질오염이 오랜기간 지속되는 특징을 가진다.

따라서 호소내 수질오염 문제에 있어 오염물질 유입을 억제하는 유역대책이 우선되어야 하지만 그것만으로는 수질을 완전히 제어할 수 없기 때문에 호소 내 수질개선대책도 필요하다.

이와 같이 호소 내 수질개선을 위하여 침강연못, 인공습지, 인공식물섬, 천적생물 등 여러 가지 기술 및 공법을 개발하기 위한 연구가 진행되고 있으며, 일부는 현장에 적용하여 검증 및 운영이 되고 있다. 하지만 현재 대부분의 적용 기술들이 높은 시공 및 운영 비용과 넓은 시공 면적이 필요하고 운영초기에는 정화효율이 낮다는 점, 유지관리 등의 문제점이 있어 적용에 어려움이 있는 실정이다.[9]

한편 국내 일부 농업용 저수지 등 호소에는 호내로 유입되는 오염물을 차단하기 위한 체류지(Wet detention pond) 또는 저류지(Dry detention pond)가 설치되어 있으며 이들은 호내로 유입되는 토사와 오염물질을 중력에 의해 침강·퇴적시켜 제거함으로써 오염물질 유입을 차단시킨다.[10-12] 하지만 이들 체류지 또는 저류지 조성을 위해서는 물을 저류하기 위해 부댐이 설치되는데 대부분 시공이 간편하고 저렴한 필면형식으로 시공되고 있어 물을 저류하는 기능 외에 다른 역할을 기대할 수 없다.

이에 농업용 저수지에 설치되는 침강지용 부댐을 대체하면서 비교적 적은 비용으로 간편하게 시공이 가능하고 수질정화효과를 가지는 수질정화용 부댐의 성능을 실내실험과 약 2~3개월간의 현장실험을 통한 현장 적용성을 기존 연구를 통하여 검토한 바 있다.[13-14] 따라서 본 연구는 기존의 연구에 이은 후속 연구로 36개월간의 장기간 성능분석을 통한 수질정화용 부댐의 성능을 평가하여 신뢰성을 높이고자 하였다.

2. 연구방법

2.1 시험체 설치

수질정화용 부댐의 장기간 성능 평가를 위하여 경기도내 A저수지에 침강지를 조성하되 종래의 필댐이 아닌 수질정화용 부댐을 높이 2.0m, 연장 100m로 시공하여 설치하였다. 해당 A저수지는 유역면적은 375ha, 만수면적 22.3ha, 유효저수량 614.1천m³의 1945년에 준공한 저수지로 현재 농업용수공급 및 낚시터로 이용되고 있다. 설치된 수질정화용 부댐의 진경은 아래 Fig.1-2와 같다.

농업용 저수지로 유입되는 하천수는 주로 주변 농경지의 영향으로 인해 높은 유기물질을 함유하고 있다. 특히 강우시에 이러한 유기물질과 함께 모래 등 부유물질이 같이 호내로 유입되게 된다. 수질정화용 부댐은 이러한 유기물질을 먹이원으로 하여 다공성의 여재블록 내부에 있는 유용미생물 및 플랑크톤이 성장하여 생물막을 형성하고 이것에 부유입자와 결합하여 침강함으로써 오염물질이 제거되는 효과를 가지게 된다. 이와같이 부유물질의 중량에 대한 자연침하만으로는 제거 속도가 현저히 낮지만 유용미생물과 이로 인한 생물막의 점액질 표면과 결합할 경우 훨씬 빠르게 제거된다.[13-14]



Fig. 1. Site test construction



(a) Influent (b) Effluent

Fig. 2. Secondary dam for water purification

2.2 시험체 제조

2.2.1 실험재료

실험에서 사용한 시멘트는 국내 A사의 밀도 3.15g/cm³, 분말도 3,318cm²/g의 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 굵은골재는 화강암질 부순돌과 경량부석을 사용하였다. 골재의 물리적 성질은 Table 1과 같다.

Table 1. Physical properties of crushed aggregate and volcanic pumice

Coarse aggregate	Grading	Density (g/cm ³)	Water absorption ratio	Unit volume weight (t/m ³)
Crushed stone	5~13mm	2.81	0.8	1.690
Pumice	5~8mm	1.04	16.1	0.392

또한 다공성 여재블록 내부에 생물막 형성을 위한 유용미생물(Effective Microorganisms, EM)을 배합시 사용수의 일정부분을 중량비로 대체하여 사용하였다. 사용된 유용미생물은 바실러스계 미생물로서 16S rDNA 염기서열 분석법에 의해 동정한 미생물들은 Table 2와 같다.

Table 2. List of EM considered in this study

No.	Identification	Homology (%)
DS04	<i>Bacillus flexus</i>	99.93
DS05	<i>Bacillus firmus</i>	99.86
DS07	<i>Brevibacillus agri</i>	99.36
DS09	<i>Bacillus circulans</i>	99.53
DS10	<i>Lactobacillus farraginis</i>	99.59

2.2.2 시험체 구성

수질정화용 부댐은 크게 일반콘크리트로 제조된 다방향 유수블록과 그 내부에 채워지는 다공성 여재블록으로 구성된다. 다방향 유수블록은 6면 또는 5면이 뚫려 있어 자유로운 유수의 이동이 가능하고 특히 내부에 다공성 여재블록과 사석을 채워 넣음으로써 여과의 역할을 하여 부유성 유기물질을 제거하는 역할을 하도록 하였다.

2.2.3 제작 및 배합

다방향 유수블록은 원통형 강제식 믹서를 이용하여 분할혼합방식으로 총 4분간 혼합하여 제작였으며, 다공성 여재블록은 트윈샤프트믹서를 이용하여 분할혼합방식으로 총 4분간 혼합하여 제작하였다. 제작된 시험체는 60±5℃로 6시간의 증기양생 후 28일간의 기건양생을 실시하였다. 각각의 배합표는 Table 3-4에 나타낸바와 같다.

Table 3. Mixing design of porous concrete

Porosity (%)	W/C (%)	Unit volume weight(kg/m ³)					
		C ¹⁾	W ²⁾	M ³⁾	Coarse aggregate		Ad. ⁶⁾
					CS ⁴⁾	P ⁵⁾	
15	25	438.0	98.5	11.0	1521.0	62.5	1.75

*1) C : Cement, 2) W : Water, 3) CS : Crushed Stone, 4) M : Microorganisms, 5) P : Pumice, 6) Ad. : Admixture

Table 4. Mixing design of ordinary concrete

W/C (%)	S/a (%)	Unit volume weight(kg/m ³)				
		C ¹⁾	W ²⁾	Coarse aggregate		Ad. ⁵⁾
				CS ³⁾	S ⁴⁾	
40.0	39.5	437.5	175.0	1078.1	682.8	5.25

*1) C : Cement, 2) W : Water, 3) CA : Coarse aggregate, 4) S : Fine aggregate, 5) Ad. : Admixture

2.3 분석방법

장기간 성능평가는 수질정화용 부댐이 시공된 후 약 1개월간의 안정화기간을 가진 후로부터 36개월간 월 1회 또는 2회 간격으로 시료를 채취하여 COD_{Mn}, SS, T-N, T-P에 대해 분석하였으며 그 방법은 다음 Table 5에 나타낸 바와 같다.

Table 5. Analytical items and methods

Analytical item	Methods	Note
COD _{Mn} (mg/L)	Potassium permanganate method	Oxidizing agent-KMnO ₄
SS(mg/L)	Vacuum filtration	Glass fiber filter method
T-N(mg/L)	Ultraviolet absorption spectrometry	-
T-P(mg/L)	Ascorbic acid reduction method	-

시료채취시 수위가 부댐을 월류하거나 강우시에는 채수는 지양하였고, 30cm 이상의 수위(갈수기)이고 비강우시 또는 강우 후 10일 이후에 채수를 실시하였으며, 동절기에는 상부의 얼음층을 제거하여 시료를 채취하였다.

시료의 채수는 설치된 부댐의 유입부(Influent)와 유출부(Effluent)로 나누어 각 해당 지점의 중간수위에서 총 3개의 시료를 채취하였으며 채취된 시료를 수질항목에 따라 각각 분석하여 3개의 값을 평균하여 산출값으로 결정하였다. 통상적으로 제거효율은 EMC 또는 총부하량을 이용하여 분석하여야 하나 본 대상지의 폭이 넓고 가동형 수문이 설치되어 있어 대표성을 가지는 유량과 유속의 측정이 불가능한 실정이다. 본 실험 대상지인 A 저수지의 경우 인공적으로 조성된 농업용저수지로 유입되는 상류하천의 길이가 매우 짧고 비강우시에는 유입량이 거의 없는 건천화되어 있어 주기적이고 원활한 유입수의 채취가 불가능한 바, 부댐의 유입부 시료를 유입수로 하고 부댐을 통하여 유출되는 시료를 유출수로 채취하여 유입수 대비 유출수의 농도변화를 근거로 하여 수질정화용 부댐의 수질개선성능을 평가하였다.

3. 실험결과

3.1 시기별 유입수 특성 평가

수질정화용 부댐이 설치된 A저수지는 중규모의 농업용 저수지로서 인근에 논밭이 산재하여 있고 축사 및 목장이 존재하여 호소내 오염물질의 유입 요인이 다수 존재하며 대상지의 기반토질이 대부분 황토로 이루어져 있어 강우시 부유물질이 대량 유입되는 특징이 있다.

환경부 내 물환경정보시스템의 2014~2017년 동안 A저수지의 연간 수질측정 자료를 Fig. 3에 나타내었으며, 본 연구인 36개월의 측정기간 동안 측정된 유입수 및 유출수농도 및 제거효율의 변화를 Fig.4~7에 나타내

었다.

Fig. 3을 살펴보면 2014년부터 2017년간 COD는 15.3mg/L에서 19.7mg/L로, SS는 19.3mg/L에서 48.1mg/L로 증가되었으며 T-N와 T-P는 각각 2.332mg/L에서 2.267mg/L, 0.189mg/L에서 0.322mg/L로 오염도가 수년간 꾸준히 증가되는 경향을 나타내 호소수질등급기준으로 모든 수질항목에서 매우 나쁨(6등급)에 해당하는 것으로 나타났다. 또한 Fig 4~7에 나타낸 연구기간 중 측정된 유입수의 농도를 살펴보면 Fig.3의 물환경정보시스템의 측정값과 다소 차이를 보이는데 이는 시료의 채취시기 및 지점의 차이로 인한 것이 큰 것으로 판단되며 측정기기(방법) 및 측정자의 숙련도차이도 측정값이 차이가 나는 원인 중 하나로 판단된다. 하지만 물환경정보시스템과 본 연구의 수질측정값은 대체적으로 유사한 오염농도를 보이는 것으로 나타났다.

Fig. 3~7을 살펴보면 측정 시기에 따른 주요항목에 대한 유입수의 특징을 살펴보면, COD의 경우 4~6월, 10~12월경에 오염도가 증가하는 경향을 나타냈고 T-N 및 T-P의 경우도 4월부터 약 9~10월경 까지 높은 농도를 유지하다 3월까지 점차 낮아지는 경향을 나타내 대부분의 수질항목에서 5월부터 유입수의 오염농도가 증가하는 경향을 보였다. 이는 농업용저수지의 주목적인 농업용수의 공급에 의한 저수량 감소로 인한 영향이 큰 것으로 판단된다.

2017년 농업용수 수질측정망조사 보고서를 보면 대부분의 농업용 저수지 측정자료에서 5월이 대체로 가장 낮은 저수율(%)을 보이는 것을 생각해보면, 보통 대부분의 지역에서 5월~6월중 모내기가 이루어지므로 많은 농업용수의 수요가 발생함에 따른 수량 감소에 기인한 것으로 판단된다.

SS의 경우는 6월부터 오염도가 증가하기 시작하여 10월까지 지속되는 경우가 측정되는 반면 일시적인 오염도 발생 후 낮은 농도가 유지되는 경우도 관찰되었다. 이는 장마철 강우 여부 및 가뭄의 영향으로 기인한 것으로 판단된다.

특히 장마철의 강우시 유입되는 비점오염원[15]의 경우 토사 등과 함께 해당 지역의 지반특성에 기인한 황토 미세입자 부유물질이 대량 유입되는 것을 관찰할 수 있었다. 황토의 경우 대략 0.02~0.05mm의 입경을 가지고 있어 일반적인 강우유출수의 최소 입경에 비하여 작아 침전에 의해 제거되는데 최소 10일 이상의 많은 시간이

걸리는 것을 관찰할 수 있었다.

반면 가뭄이 지속될시 비점오염원이 유입되지 않아 COD, T-N 및 T-P의 경우과 다르게 비교적 낮은 농도의 SS농도가 꾸준히 측정된 것으로 판단된다.



Fig. 2. Secondary dam for water purification

Table 6. Water quality tendency in target reservoir

Annual average	COD (mg/L)	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
2014	15.3	19.3	2.332	0.189
2015	24.1	41.7	2.660	0.255
2016	24.3	43.4	2.185	0.208
2017	19.7	48.1	2.267	0.322

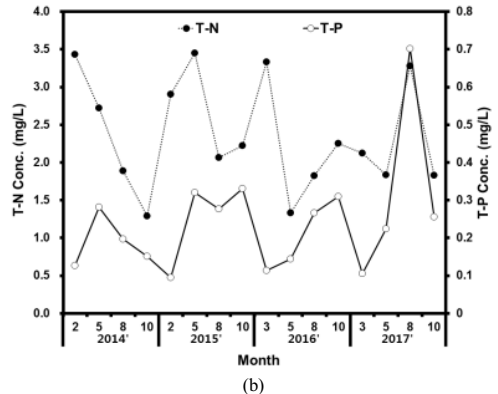
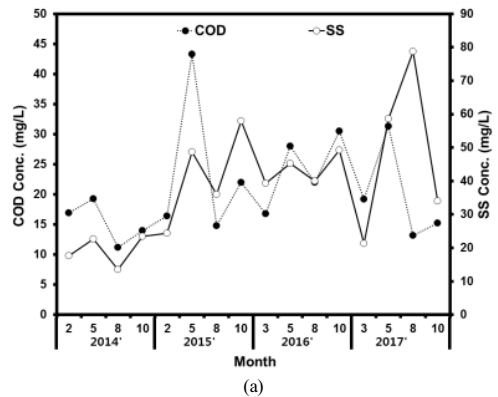


Fig. 3. Water quality tendency in target reservoir (a) COD and SS concentration (b) T-N and T-P concentration

3.2 수질정화효과 분석

측정 결과를 살펴보면, COD의 유입농도는 8.7~36.0mg/L로 나타났으며 유출수의 농도는 8.0~28.8mg/L로 나타나 -5.7~29.4%의 제거효율을 보였으며 평균 제거효율은 14.6%로 나타났다. 또한 SS의 유입농도는 16.6~219.5mg/L로 나타났으며 유출수의 농도는 14.0~120.0mg/L로 나타나 9.9~58.8%의 제거효율을 보였으며 평균 제거효율은 38.6%로 나타났다. T-N의 유입농도는 1.292~3.875mg/L로 나타났으며 유출수의 농도는 1.073~3.575mg/L로 나타나 -4.8~17.0%의 제거효율을 보였으며 평균 제거효율은 9.5%로 나타났다. T-P의 유입농도는 0.080~0.654mg/L로 나타났으며 유출수의 농도는 0.060~0.686mg/L로 나타나 -4.8~25.6%의 제거효율을 보였으며 평균 제거효율은 11.2%로 나타났다.

본 수질정화용 부댐의 기존 연구인 실내실험[13]의 BOD 36.0%, SS 41.3%, T-N 25.1%, T-P 34.1%에 비하면 낮은 제거효율을 보였고 약 2개월의 현장적용성 평가 실험 결과[14]인 COD 11.1%, SS 23.4%, T-N 5.3%, T-P 8.7%에 비하면 다소 높은 효율을 보이는 것으로 나타났다.

이를 분석하여보면, 실내실험의 경우 일정한 농도의 오염수를 지속적으로 유입시키므로 유입수의 농도 및 온도와 환경요인의 변화에 따른 제거효율의 변화가 없으나, 현장실험의 경우 외부의 환경요인을 제어할 수 없으므로 유입수의 농도 및 기온 등의 변화로 인해 제거효율이 낮아진 것으로 사료된다. 또한 2개월의 현장적용성 평가 실험 결과는 실내실험과 마찬가지로 동절기 및 하절기 계절에 따른 제거효율의 변화를 고려하지 못할 뿐만 아니라 2014년 이후로 점차 유입수의 농도가 증가함에 따라 제거효율의 차이가 발생한 것으로 판단된다.

또한 장 등(2005)은 보조형댐의 침강지의 효율을 COD 31%, SS 79%, T-N 18%, T-P 39%로 보고[16]한 바 있고, 농업용 저수지 수질개선사업 조사·설계편람(2009)에서는 보조형댐의 평기(비강우시) 수질정화효율을 COD 5%, SS 47%, T-N 32%, T-P 23%로 평가하여 제시[11]한 바 있다.

이를 비교·평가하여 보면, 이들 보조형댐의 침강지의 경우 유입수를 침강지로 유입되는 유입하천의 수질을 측정하여 제거효율을 평가한 것으로 침강지를 조성하는 부댐의 효율이 아닌 침강지 자체의 효율을 평가한 것이

다. 또한 보조형댐의 경우 불투수성 재료로 조성되어 강우 등 유입수량의 증가로 인하여 월류가 없었는지 침강지의 수체와 본 저수지의 수체가 완전히 분리되어 있으나 본 연구대상인 수질정화용 부댐의 경우 부댐을 이루는 블록체 내부에 채워지는 다공성 여재블록 및 사석 내부의 공극을 통하여 침강지로부터 저수지로 오염수가 통과하게 되어 있으므로 수체가 완전한 분리가 되어 있지 않기 때문에 제거효율의 차이가 나타난 것으로 판단된다. 또한 SS의 제거효율에 비하여 COD 및 T-N, T-P의 제거효율이 낮게 나타난 것은 장기간 현장실험의 특성상 동절기 등의 외부 기온이 적절하게 유지되지 못하는 환경요인으로 인해 여재의 생물막 성장에 악영향을 미친 것으로 판단된다.

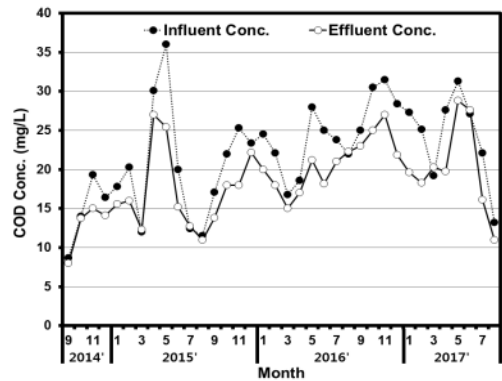


Fig. 4. Change of COD concentration with the passage of time

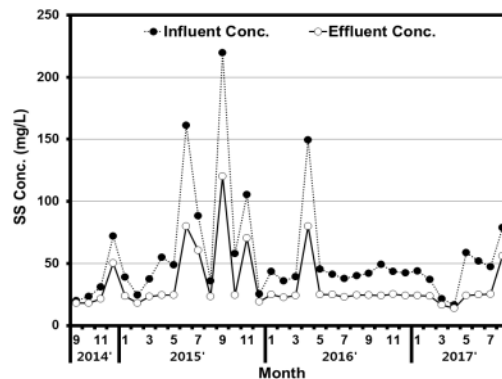


Fig. 5. Change of SS concentration with the passage of time

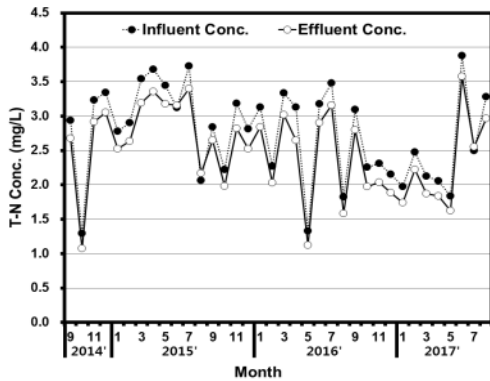


Fig. 6. Change of T-N concentration with the passage of time

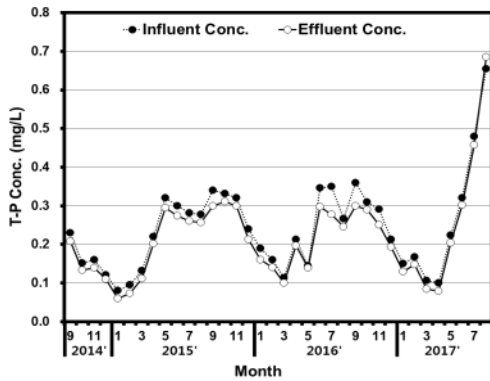


Fig. 7. Change of T-P concentration with the passage of time

Table 7. Concentration and removal efficiencies of Secondary dam for water purification

Item	Influent average (mg/L)	Effluent average (mg/L)	Removal efficiencies average(%)
COD _{Mn}	22.1	18.6	14.6
SS	55.8	32.6	38.6
T-N	2.743	2.491	9.5
T-P	0.243	0.220	11.2

따라서 기존의 농업용 저수지의 침강지의 수질정화효율과 본 수질정화용 부댐의 정화효율을 수치상으로 단순 비교하여 평가하기에는 무리가 있다고 판단된다. 또한 보조형댐의 경우 본 저수지 수체의 자체 생산효과로 인하여 수질오염이 더 심해진다는 실험결과도 보고[17]된 바 있고 침강지의 침전에 의한 효율이 고려되지 않은 것

을 생각하여 보면 농업용 저수지의 수질개선을 위한 수질정화용 부댐의 성능은 적절한 것으로 판단된다.

4. 결론

국내에 설치된 농업용 저수지의 경우 대부분 상류의 하천 및 주변 농경지로부터 유입되는 오염물질이 주요오염원이라고 할 수 있으며, 이를 억제하기 위하여 오염물질의 유출방지 대책뿐 만 아니라 침강지 등과 같이 호소내 수질개선대책도 필요하며 이미 침강지 설치에 따른 수질정화효과에 대한 연구는 충분히 알려져 있다.

따라서 본 연구에서는 침강지 조성을 위한 부댐에 수질정화기능을 부여하기 위하여 다방향 유수블록 내부에 다공성 여재블록 및 사석을 채움으로써 부댐을 통과하는 오염수의 수질을 개선하고자 하였으며, 현장설치 후 36개월간의 수질측정 결과는 다음과 같다.

- 1) 대상 저수지로 유입되는 오염수의 유입특성을 분석하여 본 결과, 모든 측정항목에서 6등급의 수질 오염도를 보였다. 이는 국내 농업용저수지의 특성상, 홍수대비를 위한 방류를 제외하면 오염물질은 계속 유입되는 반면 유출되는 경우는 거의 없어 유기물질이 바닥에 지속적으로 침전되고, 모내기철, 가뭄 등의 환경요인으로 인해 저수율이 낮아지는 점, 강우시 유입되는 비료 등의 유기물을 포함한 비점오염물질로 인한 것으로 판단된다. 특히 SS의 경우를 제외하면 4~6월에 오염원이 집중 유입되는 경향을 보였다.
- 2) 수질정화용 부댐으로 인한 수질정화성능을 분석한 결과, COD, SS 및 T-N, T-P의 평균정화효율은 각각 14.6%, 38.6%, 9.5%, 11.2%로 나타났다. 기존 연구를 통한 실험실실험의 결과보다는 낮은 효율을 나타냈으나, 약 2개월간의 현장적용성 실험 결과 (11.1%, 23.4%, 5.3%, 8.7%)와 비교하면 다소 높은 제거효율을 보였다.

반면, 기 연구된 보조형댐의 침강지 효율은 COD 5~31%, SS 47~79%, T-N 18~32%, T-P 23~39%로 제시하고 있어 이에 비해 본 수질정화용 부댐의 효율이 낮게 나타났다. 이는 침강지 자체의 침전에 의한 개선효과를 고려하지 않았기 때문으로 판단된다.

3) 또한 2014-2017년 동안 연간 제거효율의 변화는 COD의 경우 11.8, 15.8, 15.9%, SS는 34.8, 40.6, 40.2%, T-N은 7.6, 10.8, 9.8%, T-P의 경우 12.2, 10.8, 10.5%로 나타나 큰 차이를 보이지 않았다. 이를 분석하여 볼때 36개월간의 장기간 운영에 따른 여재의 공극 막힘 현상 등 효율의 뚜렷한 저하 현상이 나타나지 않아 장기간 운영에 따른 성능저하는 보이지 않는 것으로 판단된다.

따라서 본 연구의 수질정화용 부댐을 농업용 저수지에 설치할 경우 침강지로부터 호소내로 유입되는 오염물질을 효과적으로 차단할 수 있을 것으로 판단된다. 다만, 침강지로 유입되는 유입수의 수질도 함께 측정하여 수질정화용 부댐과 침강지의 효율을 같이 분석하는 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

References

- [1] World Economic Forum. The Global Risks Report 2018 13th Edition. p.60, World Economic Forum, 2018.
- [2] OECD. OECD Environmental Outlook to 2030 (Summary in Korean). p.2,12, OECD Rights and Translation unit, 2008.
- [3] Y. A. Lim, H. S. Kim, Characteristics of Agricultural Water Supply and Demand, and Related Policy Implications. pp3-4,20, Korea Rural Economic Institute, 2015.
- [4] Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), Korea Rural Community Corporation, 2016 Statistical Yearbook of Land and Water Development for Agriculture. pp.21-28, Korea Rural Community Corporation, 2017.
- [5] Korea Rural Community Corporation, Agricultural water Improvement project, pp.3-8, Korea Rural Community Corporation RRI Focus, No.20, 2013.
- [6] Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), Korea Rural Community Corporation, 2017 Agricultural Water Monitoring Results. pp.69-71, Korea Rural Community Corporation, 2017.
- [7] H. J. Kim, H. I. Kim, "Water Quality Management of Agricultural Reservoirs Considering Effective Water Depth", *Korean National Committee on Irrigation and Drainage Journal*, Vol.17, No.2, pp.100, December, 2010.
- [8] H. I. Kim, H. J. Kim, "Water Quality Management of Agricultural Lakes Through Analysis of Agricultural Water Quality Survey Network Data", *Korean National Committee on Irrigation and Drainage Journal*, Vol.19, No.1, pp.26, June, 2012.
- [9] Nakdong River Water System Management Committee, Agricultural Reservoir water quality improvement study for the Nakdong River water conservation, p.271-276, Nakdong River Water System Management Committee
- [10] T. H. Lee, "A Study on the Characteristics and Reduction of Nonpoint Source Pollution for Water Quality Improvement of Agricultural Reservoirs", *Korean National Committee on Irrigation and Drainage Journal*, Vol.15, No.2, pp.50-61, December, 2008.
- [11] Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries(MIFAFF), Korea Rural Community Corporation, Survey and design manual for improvement of water quality of agricultural reservoir. p.181-195, Korea Rural Community Corporation, 2009.
- [12] Korea Agricultural and Rural Infrastructure Corporation, Korea Rural Community Corporation, A Program for the Restoration and Improvement of Reservoir Water Quality. p.95-211, Korea Rural Community Corporation, 2002.
- [13] W. J. Kim, J. S. Park, D. S. Seo, B. K. Kim, J. H. Lee, J. Y. Chang, J. M. Oh, "Investigation on Linked Treatment Operation Effect of Element Technology for Reduction of Non-point Pollution Source", *Journal of Water Treatment*, Vol.23, No.1, pp.63-74, February, 2015. DOI: <https://dx.doi.org/10.17640/kswst.2015.23.1.63>
- [14] W. J. Kim, B. K. Kim, J. S. Park, "Field Applicability Evaluation of Secondary Dam for Water Purification using Microorganism and Volcanic Pumice", *Journal of Water Treatment*, Vol.23, No.6, pp.105-114, August, 2015. DOI: <https://dx.doi.org/10.17640/kswst.2015.23.6.105>
- [15] Young-min Koo, Jae-young Kim, Byung-ro Kim, Dong-il Seo, "Removal of Suspended Solids from Stormwater Runoff Using a Fabric Filter System", *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, Vol.37, No.3, pp.165-174, March, 2015. DOI: <https://dx.doi.org/10.4491/ksee.2015.37.3.165>
- [16] J. R. Jang, S. H. Choi, G. S. Nam, S. K. Kwun, "The Evaluation of Pollutant Removal Efficiencies by Sedimentation Basin Types constructed at the Inlets of Irrigation Reservoirs", *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol.38, No.8, pp.665-674, August, 2005. DOI: <https://dx.doi.org/10.3741/jkwra.2005.38.8.665>
- [17] Y. S. Pae, G. S. Nam, "Practical Research on the Advanced Detention Pond for the Improvement of Water Quality of Agricultural Reservoir", *Journal of Wetlands Research*, Vol.10, No.3, pp.79-86, December, 2008.

김 봉 균(Bong-Kyun Kim)

[정회원]



- 2007년 2월 : 충남대학교 공과대학 토목공학과 (공학석사)
- 2016년 2월 : 충남대학교 공과대학 토목공학과 (공학박사)
- 2007년 7월 ~ 2011년 11월 : 세일종합기술공사 구조부
- 2011년 12월 ~ 현재 : 동산콘크리트산업(주) 선임연구원

<관심분야>

콘크리트, 재료

박 준 석(Jun-Seok Park)

[정회원]



- 2012년 8월 : 경북대학교 공과대학 건축·토목공학부 (공학석사)
- 2016년 2월 : 경북대학교 공과대학 건설환경에너지공학부 (공학박사)
- 2011년 12월 ~ 현재 : 동산콘크리트산업(주) 선임연구원

<관심분야>

콘크리트 재료, 수질정화

원 희 재(Hee-Jae Won)

[정회원]



- 2017년 2월 : 경북대학교 공과대학 건설환경에너지공학부 (공학석사)
- 2017년 2월 ~ 현재 : 동산콘크리트산업(주) 연구원

<관심분야>

수질정화, 생태복원

김 윤 용(Yun-Yung Kim)

[정회원]



- 1993년 2월 : 한국과학기술원 대학원 토목공학과 (구조공학석사)
- 1998년 2월 : 한국과학기술원 대학원 토목공학과 (구조공학박사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 충남대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

콘크리트 구조 및 재료