

새만금호 수질개선을 위한 유입부 침전지 및 인처리시설 사례 조사



이진희 |

한국환경정책·평가연구원 환경평가본부
jhlee@kei.re.kr



박미숙 |

한국환경정책·평가연구원 환경평가본부
mspark@kei.re.kr

의 자체 정화능력을 상실하고, 정체구간이 생겨 물의 순환뿐만 아니라 유기물이 외부로 원활하게 방출되지 않아 호내에 축적되는 결과를 초래한다. 또한 담수호는 상류유역뿐만 아니라 새로이 조성되는 대도시, 대규모 농지, 산업시설 등 오염원이 다양하게 분포하게 되어 수질관리를 더욱 어렵게 하고 있다. 이와 더불어 최근 기술의 발달과 더불어 간척사업의 규모가 커지면서 수면적과 유효 저수량의 증가에 따른 체류시간의 증가문제도 호수내로 유입되는 오염물질 관리와 더불어 중요한 수질관리의 요소가 되고 있다.

호수의 오염은 호수 외부로부터의 오염물질 유입에 의한 호수 외적오염과 호수내부의 물질순환에 의한 호수 내적오염으로 구분된다. 국내 호수 관리에 인 농도가 녹조 발생의 제한영향으로 알려지면서 인 제거에 대한 관심이 높아지고 있다. 4대강 수질 개선 일환으로 총인 관리강화법이 발표되어 인 제거에 대한 여러 가지 방안이 강구되고 있다. 부영양화의 제한인자로 인이 제 1의 제거 대상 물질이 됨에 따라 하수처리장마다 인을 제거하는 기술 확보를 위해 여러 가지 방안을 모색하고 있다. 또한 하·폐수처리시에도 「하수도법 시행규칙」 및 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙」 개정에 따라 인의 방류수 수질기준이 현재 2.0mg/L에서 0.2mg/L에서 강화되었다.

새만금사업의 성패는 새만금호의 수질관리에 달

1. 서론

일반적으로 간척사업은 식량안보를 위한 농지 확보와 협소한 국토를 확장하는 목적으로 수행되어 왔다. 대규모 우량 농지가 조성됨에 따라 쌀 증산과 고용증대 등 본래 의도했던 효과 이외에 방조제 축조에 의한 육운개선과 수자원 확보를 통한 신도시, 산업단지, 관광단지 조성 등 지역산업 및 경제 활성화를 도모함으로써 국토의 균형발전과 농어업인의 소득을 증대시키는 등 추가 효과도 크다.

이와 같은 간척사업의 긍정적인 효과에도 불구하고 간척에 의해 형성된 시화호, 화성호, 새만금호의 사례에서 볼 수 있듯이 수질관리를 포함한 환경적인 논란의 대상이 되어 온 것이 사실이다. 방조제로 막힌 호수는 반폐쇄된 호소의 성격으로 인해 갯벌

려 있다고 할 수 있는데 향후 새만금지역 개발과 연계된 공간별 목표수질의 달성·유지여부가 관건이다. 새만금호 수질개선을 위한 노력은 지난 2001년 5월 정부의 새만금유역 수질개선을 위한 종합대책으로 「새만금간척사업에 대한 정부조치계획」을 확정되면서 본격적으로 시작되었다. 이 계획은 새만금호 상류의 만경강과 동진강의 상류대책, 호내대책, 해양대책으로 구분하여 추진되어 왔다. 이중 호내대책인 새만금호 유입부에 설치되는 대규모 침전지와 인처리시설 계획은 그 실효성에 대한 논란이 있어 기본방향 및 사업 내용을 구체화하는 것이 필요한 실정이다. 이에 본 원고에서는 새만금호 유입부에 계획 중인 침전지 및 인처리 시설과 같은 대규모의 수질정화시설로 설치 사례를 조사하여 적용성을 검토하여 보았다.

2. 새만금유역 수질개선대책

지난 10년간의 「새만금간척사업에 대한 정부조치계획」에도 불구하고 새만금유역의 주요 하천인 만경강과 동진강의 수질은 크게 개선되지 않은 채 정부조치계획에서 예측한 수질을 달성하지 못하고 있는 실정이다. 한편 2010년 1월에 확정된 “새만금

내부개발 구상 및 종합실천계획”에서는 새만금 간척용지를 산업·관광·레저·과학연구·국제업무 등 다기능 융복합기지로 개발하기로 하고 농업용지 : 비농업용지의 비율을 약 3 : 7로 조정하였다. 또한 명품복합도시, 방수제 공사 등 5대 선도사업을 가시화하고 새만금 간척용지가 “물의 도시”라는 특성을 살릴 수 있도록 새만금호의 목표수질을 기존 농업용수에서 관광·레저 등 “적극적 친수활동”이 가능한 수준으로 상향하였다.(국무총리실 등, 2010)

따라서 2010년 1단계 수질개선대책이 종료되는 시점에서 이에 대한 전반적인 평가가 필요하게 되었고 새만금 개발계획에 걸맞는 수질을 확보하기 위해서 향후 10년간의 현실적이고 실효성있는 2단계 수질개선대책을 마련하게 되었다. 이에 정부는 “새만금유역 제2단계(‘11~‘20) 수질개선종합대책(Mster Plan)”을 수립하였고, 새만금유역의 수질개선을 위해 향후 10년(‘11~‘20) 동안 45개 세부 과제에 총 2조 8,905억원을 투자하는 계획을 확정하였다(제6차 새만금위원회, 2011.3). 또한 종합대책을 효과적이고 체계적으로 이행하기 위해서 세부 사업의 내용, 소요 자원 등을 구체화하는 연차별 실행계획을 수립하였다(2011.9).

표 1. 새만금유역 1단계 수질개선대책의 침전지 및 인처리시설 설치(새만금호 수질보전대책, 환경부(2001))

구분	수역	위 치	규 모	사업비(억원)
침전지	만경	만경대교 하류 0.5~4.0km 지점	폭 400m, 수심 5m, 길이 3.5km (평균 4.2일 체류)	120
	동진	동진대교 하류 0.5~4.0km 지점	폭 200~300m, 수심 5m, 길이 3.5km (평균 5.4일 체류)	80
인처리시설	만경	만경 침전지 하류부	30만 ^m ³ /일(3.5 ^m ³ /초) (처리효율 : T-P 7.7~8.6%, COD 5.4~6.7%)	150

표 2. 1990년 대홍수

수역	침전지(사업비 : 330억원)					인처리시설(사업비 : 1,050억원)	
	설계유량* (CMS)	체류시간* (일)	면적* (km ²)	체적* (천m ³)	T-P 제거율 (%)**	규모 (톤/일)	T-P제거율 (%)***
만경	31.4	2.6	1.4	7,000	52	800,000(9.3CMS)	90
동진	21.3	2.6	1.1	4,750	52	250,000(2.9CMS)	90

* 한국농촌공사 농어촌연구원, 2006, 새만금호 내부 수질개선대책연구

** 국립환경과학원, 2010, 수질오염총량관리를 위한 개발사업 비점오염원 최적관리지침

*** N사 실험자료

3. 침강지 및 인 처리시설 사례

3-1. 인처리시설

독일 Wahnbach호의 인제거 시설

Wahnbach호에서는 인 총량의 80-90%가 주 유입하천인 Wahnbach로부터 유입되고 있다. 이 호수가 부영양화상태에서 빈영양 또는 중영양상태로 되기 위해서는 유입되는 총량의 약 90%를 제거시킬 필요가 있었으며 이 때문에 Wahnbach하천의 인농도를 평균 $90\mu\text{g/L}$ 로 감소시키는 대책이 강구되었다. 3가의 철염으로 응집침전을 한 후 활성탄, 안트라사이트, 석영모래로 이루어진 다중여재에 의한 여과를 실시하였다. 처리능력은 $18,000\text{m}^3/\text{h}$ 이고, 여재의 표면적은 $1,100\text{m}^2$ 이다. 이 인뿐만 아니라 COD 77%, 용존유기탄소 50%, 세균 99%를 제거할 수 있었다. 인 제거시설의 여과속도는 15m/h 이상이 될 수 있으며 최대 여과량은 $5\text{m}^3/\text{s}$ 에 이르고 토양의 입자 또는 조류의 크기에 따라서 응집제로서 $4\sim 10\text{mg/L}$ 의 제 3철을 주입하게 된다. 1977년 말에 최초 가동 이후 높아진 유입농도로 인해 여과지 앞에 침전지가 추가 설치되었

고 Wahnbach호의 총인은 $5\mu\text{g/L}$ 를 유지할 수 있었다(국립환경연구원 한강수질검사소, 2000).

미국의 하수처리장 인처리 사례

미국내 23개 하수처리시설에서 화학적 처리와 여과공정을 채택하여 매우 낮은 수준의 인 방류수질을 달성하고 있다. 표 3은 미국의 화학적 응집에 의한 인처리 용량, 처리공법, 총인 방류수질을 보여주고 있다.

표 3. 미국의 화학적응집에 의한 인처리 사례

처리장명	용량	처리공법	월평균 인 방류수질
Farmer Korner	약 $11,356\text{m}^3/\text{일}$	BNR, 화학적응집, 3차침전, 여과	0.0007mg/L
Rock Creek	약 $147,631\text{m}^3/\text{일}$	화학적응집, 2단여과	0.07mg/L
Durham	약 $90,850\text{m}^3/\text{일}$	BNR, 화학적응집, 여과	0.07mg/L
Snake River	약 $9,842\text{m}^3/\text{일}$	고도처리, 화학적응집, 3차침전, 여과	0.015mg/L
Stamford	약 $1,893\text{m}^3/\text{일}$	화학적응집, 2단여과	$<0.011\text{mg/L}$
Walton	약 $5,867\text{m}^3/\text{일}$	화학적응집, 2단여과	$<0.01\text{mg/L}$

자료 : 하수처리장 인처리시설 설치 가이드북, 환경부(2011)

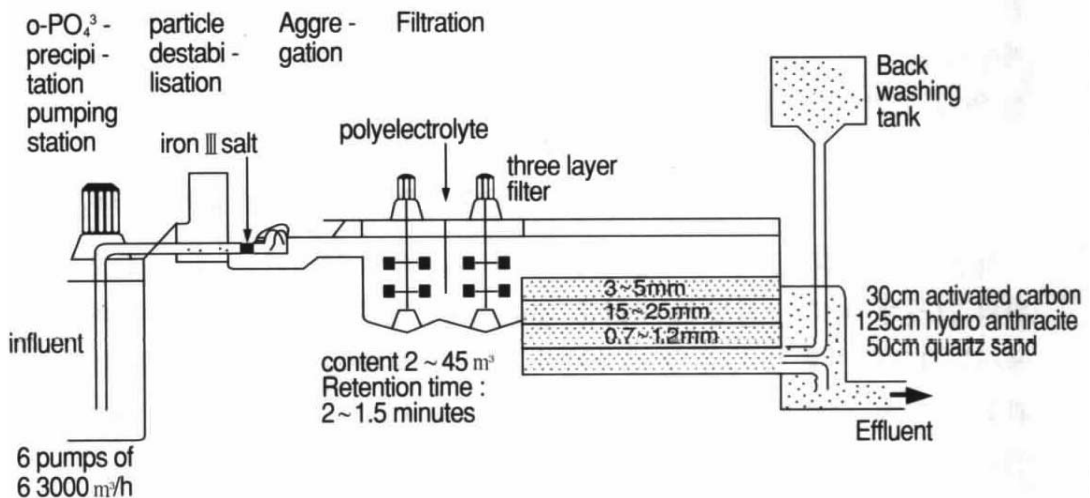


그림 1. Wahnbach호의 인제거시설

자료 : 국립환경연구원 한강수질검사소, 2000

일본의 하수처리시설 인처리 사례

일본 비와호 인근 시가현 유역하수도공사에서는 비와호의 수질개선효과를 위하여 코난주우부, 코세이, 토호쿠부 및 타카사마 정화센터 등의 시설에 응집제첨가 활성하수찌꺼기 순환변법과 모래여과법을 이용하여 방류수 T-P 농도를 최대 0.05mg/L 이하의 강화된 수질치를 설정하여 운영하고 있다. 표 4는 일본 시가현 하수처리시설의 인처리 용량, 처리공법, 총인 방류수질을 보여주고 있다.

표 4. 일본의 시가현 하수처리시설

처리장명	용량	처리공법	총인 방류수질
코난주우부	242,500m ³ /일	응집제첨가	0.05mg/L
코세이	52,500m ³ /일	활성하수찌꺼기	0.04mg/L
토호쿠부	101,500m ³ /일	순환변법 +	0.04mg/L
타카사마	101,500m ³ /일	모래여과법	0.04mg/L

자료 : 하수처리장 인처리시설 설치 가이드북, 환경부(2011)

국내의 인처리 시설 설치 사례

국내에서는 4대강 살리기 사업의 일환으로 2010년부터 2012년에 걸쳐 4대강 중점권역, 34개 중점권역내 기존·신설되는 하수처리장에 총인처리 시설로써 화학적 처리시설(인처리시설 효율 현행 70%(생물학적 처리) → 94%(화학적 처리))의 보강을 계획하고 있다(2012년 주요업무 추진계획, 환경부(2011)). 표 5는 시범운영 중인 국내 인 처리시설

표 5. 국내 시범운영 처리시설의 인 처리효율

응집제 종류	처리 시설명	시설용량 (m ³ /일)	처리공법	응집제 투입량 (mol)	인처리 수질 (mg/L)	인제거 효율(%)
Alum	제2화도	18,000	5-Stage BNR	4.25	0.17	94.8
	양평	16,000중 7,000	DNR	3	0.13	96.1
PAC	보은	6,000	Denipho	4.5	0.20	92.5
	영동	10,000중 8,000	B ₃	4.5	0.24	92.1

자료 : 하수처리장 인처리시설 설치 가이드북, 환경부(2011)

의 인처리 용량, 처리공법, 방류수질을 보여주고 있다.

3-2 수생식물 식재 정화법

수생식물 식재 정화법은 침전·여과·흡착·미생물 분해, 식생 식물에 의한 정화 등 자연상태의 습지가 보유하고 있는 정화능력을 인위적으로 향상시켜 오염물질을 저감하는 방법이다. 북미와 유럽에서는 '90년대부터 강우유출수 처리용 습지 건설을 시작하였고, 국내에서도 환경부의 오염총량제 시행으로 비점오염물질 관리의 중요성이 부각되면서 소유역 단위의 인공습지 설치가 확대되는 추세이다.

Rio Hill Detention Basin은 자연 도래한 식생을 가지고 있는 강우유출 체류지이다. 도로 교차로와 넓은 주차장을 가지고 있는 쇼핑센터를 배수구역으로 한다. Brooke wetland는 0.08ha의 체류지와 2.83ha의 인공습지로 구성되어 있고, 배수구역은 주차장, 식생지역, 철로로 구성되어 있다. Silver Star Rd Wetland는 도로로부터의 태풍 시도시유출수의 임시 저류를 위한 못과 습지 시스템 효율에 대해 연구하였고 연속적으로 연결되어 있는 못과 습지 시스템으로 구성되어 있다.

영국의 인공습지 운영사례를 살펴보면 BOD나 TSS의 처리효율은 평균 75% 이상, TN처리 효율은 약 31%, TP처리 효율은 평균 21% 정도의 효율을 보인다.

국내사례로는 시화호 갈대습지공원이 있으며 유입지천(반월천, 동화천, 삼화천)의 수질개선을 위하여 갈대 등 수생식물을 이용, 자연정화처리식 하수종말처리장으로 하수를 처리한다. 처리효율은 BOD 32%, TN 29%, TP 19%정도의 효율을 보인다(시화호 갈대습지공원).



Rio Hill



Silver Star Rd Det.



Brooke Wetland



Tanners Lake Wetland

그림 2. 습지를 이용한 해외 비점오염 저감시설

표 6. 습지를 이용한 해외 비점오염 저감시설의 수질 정화능력

Site Name	City	구분	COD (mg/l)	TSS (mg/l)	TP (mg/l)	TN (mg/l)	Metals (mg/L)
Rio Hill	Albemarle	유입수질(EMC)	34.27	532.63	3.82		296.03
		처리효율(%)	-31.6	19.0	14.9	-	29.0
Brooke Wetland	-	유입수질(EMC)	37.0	337.48	0.76		53.68
		처리효율(%)	51.2	100.0	100.0	-	-39.6
Silver Star Rd Det.	Orlando	유입수질(EMC)		33.35	0.17	1.38	99.39
		처리효율(%)	-	49.2	31.2	11.9	49.0
Tanners Lake Wetland	Oakdale	유입수질(EMC)		165.84	0.47	2.43	33.14
		처리효율(%)	-	88.8	27.2	19.0	78.8

자료 : USEPA & ASC & WERF & EWRI, 1996. "International stormwater BMP database search",
(www.bmpdatabase.org)

3-3. 침강지 및 전처리댐(pre-reservoir)

침강지는 초기 강우시 담수호로 유입되는 오염물질에 의한 수질오염을 방지하기 위해 보나 전처리

댐을 설치하여 호수에 유입되는 오염물질을 제거하는 방법이다. 담수호로 유입되는 입자성 오염물질을 침강시켜 하천수중의 현탁성 유기물 및 영양물질을 침전시켜 제거함으로써 일차적인 물리처리와 침강지내에서 생물화학적 작용에 의한 수처리의 효

과를 얻을 수 있다.

미국의 워싱턴주 서부에 위치한 Fenwick호의 경우, 폭우 후의 탁도가 문제되어 유입하천으로부터 별도의 수로와 퇴적물 침전지를 설치하여 침전 가능 물질을 침전시켰는데 이로서 1982년에는 SS는 54~70%, TP는 17~40% 감소하였다(국립환경연구원 한강수질검사소, 2000). 국내의 유사한 사례로는 마산저수지(차수막형)와 감돈저수지(보조댐형), 화성호의 침강지 등이 있다.

보조댐형 - 감돈저수지

감돈저수지는 유역면적 985.7ha, 관개면적 384.3ha, 저수량 191.8만m³의 중규모 농업용 저수지로 1994년부터 1999년까지의 연평균 수질은 COD가 14.3mg/L, TN 2.14mg/L, TP 0.20mg/L로 호소수질환경기준 IV등급인 농업용수기준을 훨씬 상회한 것으로 나타나, 수질개선을 위해 2002년 5월에 침강지를 설치하였다.

침강지의 수질정화효율은 평균적으로 COD

38%, TN 24%, TP 35%, SS 49% 이었고, 우기에는 평균값보다 높은 효율을 나타내었다(장정렬 등, 2004).

차수막형 - 마산저수지

마산저수지는 유역면적 1,776ha, 마누면적 97ha, 저수량 3,037천m³의 축조된 지 약 80년이 지난 오래된 중규모 농업용저수지이다. 오랜 기간 토사 및 유기물의 퇴적으로 저수용량이 줄어들고, 수심이 낮아지는 부영양화로 천이를 거치고 있는 노령화된 호소로서 수리용량 확보와 수질개선 목적으로 저수지 유입부 퇴적물을 준설·제거하고 오염물질이 침강지내에 체류하도록 차수막을 설치하였다.

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)은 80.3%, 74.6%로 아주 높게 나타났다(배요섭과 남귀숙, 2008).

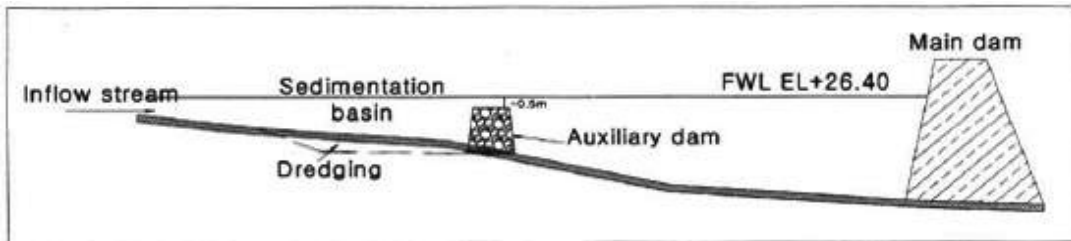


그림 3. 감돈 저수지의 침강지 단면도

자료 : 저수지 내 유입부 침강지의 수질정화 효율, 장정렬 등(2004)

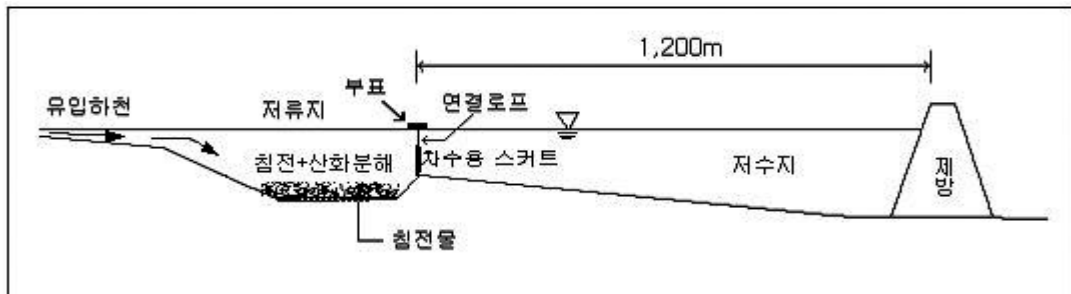


그림 4. 마산저수지 침강지 구조 및 개념도

자료 : 농업용저수지의 수질개선을 위한 오염물질 침강지 조성기법, 배요섭과 남귀숙(2008)

도암호

청정지역에 자리한 도암댐의 수질이 망가진 데는 남한강 상류 고랭지 채소밭에서 흘러든 비료성분의 흙탕물과 대관령 축산폐수가 원인이 됐다. 도암댐 수질을 개선하기 위해 한국수력원자력은 도암댐 안에 하루 2만톤 규모의 수질여과장치인 3FM(나노엔텍)을 설치한 뒤 처리하여 방류하는 방안을 검토하였다.

3FM 여과장치는 기존의 압력식 여과방식을 채택하나 여과성능을 좌우하는 여재를 유연성 섬유사(flexible fiber)를 사용하여 여과장치의 길이 방향으로 충전하고, 유입원수를 하부측면에서 수평으로 주입하여 충전된 섬유사의 여층을 의해 다층 여과가 이루어지며, 수평으로 유입된 원수를 상향류로 유도하여 심층여과가 이루어지도록 하는 여과기술이다.

3FM 여과기를 거친 하수방류수의 SS 제거효율은 약 90%이고, 유입수질에 상관없이 유출수질은 거의 일정하게 1~2mg/L을 유지하고 있다. SS제거에 따른 BOD 동반제거율도 약 60~70% 정도로 평균유입수질 8.1mg/L일 때 유출수질은 약 2.52mg/L정도로 나타난 것으로 조사되었다.

4. 시사점 및 결론

사례를 통해 살펴본 바와 같이 침전지의 경우 강우유출수의 수질과 수량 모두를 조절할 수 있는 가장 경제적인 수단이지만 대규모의 토지가 필요하고 용존성 오염물질 제거효율이 저조하며 침전물이 제거되지 않았을 경우 대규모 강우시 침전물 재부상 우려가 있는 단점이 있다. 반면 인처리를 주목적으로 하는 하수처리장을 운영하는 경우 생물학적 처리방식보다 화학적 처리방식이 더 효율적이지만 침전지에 비해 유지관리 측면에서 비용이 많이 발생하는 단점이 있다.

새만금호 유입부에 설치 예정인 대규모 침전지는 총 2.5km²가 필요한 것으로 추정되나 농경지와 대지 및 도로를 감안할 경우 침전지의 면적은 12.8km²으로 더 많은 면적이 필요할 것으로 추정되고 있다. 이와 더불어 인처리시설의 계획용량은 만경강 80만 톤/일과 동진강 25만 톤/일 규모로 계획되어 있다. 이와 같은 대규모 침전지와 인처리시설은 수질개선효과가 클 것으로 기대되는 사업이나 과도한 설치면적, 설치위치의 불확실, 대규모 시설 설치와 운영의 불확실성 등의 문제점을 가지고 있다. 2.5~12.8km²의 방대한 면적에 침전지를 설치한 사례는 거의 없으며, 대규모 하수처리장에 대한 인처리시설 설치 사례는 있으나, 하천수의 상당량을 인처리한 경우는 드물다. 또한 유입수량의 불규칙, 대규모 시설관리의 어려움 등으로 수질개선효과와 지속적인 유지가 불확실하며, 대규모 시설의 안정적인 운영이 불확실하다.

또한 침전지 설치 시 토사침전에 따른 유지관리의 문제점이 생긴다. 침전지의 수질관리를 위해 수생식물에 의한 정화를 제시하고 있으나, 수생식물의 정화기능으로 침전지의 수질개선을 기대하기는 어려운 것이 현실이다. 따라서, 침전지의 수질개선을 위해서는 강우유출수가 침전지로 유입되기 전이나 후에 적절한 처리시설을 설치하는 것이 절실히 요구된다. 따라서 하나의 저감시설을 설치하기 보다는 연계처리가 가능하도록 설치하여 상호 보완하도록 설치하는 것이 바람직할 것이다.

침전지 및 인처리시설의 대규모 설치의 시작단계로 시설에 대한 효율성, 적용성, 경제성 등 종합적인 측면에서의 심도 있는 검토가 필요하다. 또한 세밀한 모니터링을 통하여 하천 실정에 맞는 시설의 도입 및 개량을 통한 적용이 필요하고 각각의 시설마다 다양한 특성과 적용조건이 있으므로 시설의 선정에 위해서는 시설의 특성과 적용조건, 현지여건, 경제성, 유지관리 등을 충분히 고려하여 적용되어야 할 것으로 판단된다. 🍵

참고문헌

1. 국립환경연구원 한강수질검사소, 2000, 하천 및 호소의 정화방안
2. 김종일과 송창수, 2008, 자연정화방식에 의한 농업용저수지 수질 개선
3. 김지원, 유연성 섬유사 필터 모듈을 이용한 하수처리장 방류수의 부유물질 여과기술
4. 농업기반공사 농어촌연구원, 2002, 농업배수의 수질오염(질소, 인) 저감을 위한 환경친화적 농업기반정비 방안(I)
5. 박혜영, 박상민, 이기철, 권오상, 유순주, 김신조, 2011, 총인 수질기준강화를 위한 국내 하수종말처리장의 물리화학적처리 특성조사 및 경제성 분석
6. 배요섭, 남귀숙, 2008, 농업용저수지의 수질개선을 위한 오염물질 침강지 조성 기법
7. 엄한용, 2010, 인공습지의 설계방안
8. 장정렬, 최선화, 권순국, 2004, 저수지 내 유입부 침강지의 수질정화 효율
9. 최수명과 김영주, 방수(조)제의 관광자원화를 위한 친환경적 정비방안 및 도입가능 시설
10. 한국농어촌공사 농어촌연구원, 2005/2006, 새만금호 내부 수질개선대책 연구
11. 한국농어촌공사 농어촌연구원, 2009, 조류(Algae)를 이용한 인처리기법 타당성 연구
12. 환경부, 2001, 새만금호 수질보전대책
13. 환경부, 2001, 새만금사업 후속 세부실천계획(안)
14. 환경부, 2011, 하수처리장 인처리시설 설치 가이드북
15. 환경부, 2011, 새만금유역 제2단계('11- '20) 수질개선종합대책의 연차별 실행계획 수립