

# 농업용수 수질개선대책 및 추진현황



장 정 렬  
한국농어촌공사 농어촌연구원  
wgjang@ekr.or.kr

## 1. 서론

우리나라는 강수량의 계절적 편차가 크고 경사가 급한 산악국토의 지형적 특색과 많은 양의 용수를 필요로 하는 벼농사 위주의 농업생산구조로 인하여 주로 댐이나 저수지를 건설하여 필요수자원을 확보하고 관개용수를 공급되고 있다. 자료에 의하면(건설교통부, 2001), 우리나라 수자원 총이용량 331억<sup>3</sup>m 중 39%에 해당하는 130억<sup>3</sup>m을 논농사를 위한 관개용수로 사용하고 있으며, 전체 수혜면적 831,527ha의 95%가 지표수에 의해 관개되고 있고 그 중에서도 농업용 저수지(하구 담수호 포함 17,800 여개소)에 의해 전체 수혜면적의 62%에 해당하는 514,929ha가 관개용수를 공급받고 있어 우리나라 농업수자원관리에서 농업용 저수지가 중요한 역할을 하고 있다.

농업용 저수지는 싹틔들처럼 연결된 농촌지역 중소하천의 상류지역에 위치하고 있어 이들 하천의 수량, 수질 및 생태계에 영향을 미치고 있으며 또한 이들 중소하천

은 곧바로 4대강 분류하천과 연계되어 있다. 따라서 농업용 저수지의 수질오염은 하류하천의 직접적인 수질오염 원인이 될 수 있으며 4대강 분류의 수질에도 영향을 미칠 수 있다. 농업용수 수질오염은 농촌지역 생활환경의 질적저하, 토양성질 악화, 관개시설 및 농작물 피해, 농산물의 안전성 등에 크게 영향을 미칠 수 있다. 이들 저수지는 대부분 폐쇄성 또는 준폐쇄성 수역공간이라는 구조적 특성 때문에 하천에 비해 자체정화 능력이 떨어지며 영양염류의 축적이 용이하여 일단 오염이 되면 부영양화 등 2차 오염이 유발될 우려가 크다는 특성을 지니고 있다.

정부에서는 1978년부터 하구담수호 수질현황조사를 시작하여 1990년에 본격적으로 주요 농업용 저수지를 수질측정망으로 지정하여 정기적으로 수질모니터링을 실시하고 있다. 이들 농업용수 수질측망의 2000년부터 2007년 동안 농업용수 수질기준 달성율은 평균적으로 80%를 상회하여 우수한 편이나, 중부영양화에서 부영양화상태의 비율이 50% 정도로서 농업용 저수지의 부

영양화에 의한 수질오염이 우려된다. 이를 고려하여 정부에서는 농업용수의 수질오염 방지와 개선을 위해서 1997년부터 농업용수 수질개선시험연구사업을 착수하여 농업용수 수질개선공법 개발 및 현장 적용성을 평가하였고, 이 성과를 바탕으로 2001년 농업용수 수질개선 시범사업에 착수하여 2003년 사업을 완료하고 2004년부터 2006년까지 사후모니터링 및 평가를 실시하였다. 이러한 그간의 성과를 바탕으로 2006년부터 2007년까지 농림부, 환경부, 한국농촌공사, 환경관리공단이 공동으로 참여하는 “농업용수 수질개선 공동작업반”을 구성·운영하여 본격적인 농업용수 수질개선사업 시행을 위한 중장기 마스터플랜을 수립하였다. 본 고에서는 농업용수원의 수질오염 방지와 개선을 위하여 그동안 노력한 사례에 대하여 살펴보고자 한다.

## 2. 농업용수 수질개선대책 및 사례

### 2.1 농업용수 주요 수질오염원

농업용 저수지의 주요오염원을 농업용수 수질측정망을 대상으로 살펴보면, 생활계가 주요오염원인 시설수가 2001년 44%에서 2009년 28%로 점차 감소하는 추세에 있으며, 축산계는 시기에 따라 다소 증감은 있으나 25%에서 30%의 수준에서 유지하고 있다. 한편, 토지계에 의한 비점오염원의 농업용수 수질오염 기여율은 2001년을 29%에서 2009년에 47%로 지속적으로 증가하는 경향으로서 앞으로 농업용수 수질관리 및 개선대책이 농촌지역의 비점오염원대책 위주로 추진되어야 함을 시사하고 있다.

### 2.2 오염원 관리대책

농촌지역을 포함한 농업용수 수질오염의 주요오염원인 과거 미처리된 생활하수 등의 점오염원에서 근래에는 앞에서 살펴본 바와 같이 비점오염원으로 변화되는 추이를 보이고 있다. 이러한 비점오염원은 도시지역은 배수시스템이 잘 갖추어져 선개념으로 유출되고 있는 반면, 농촌지역은 면개념으로 유출됨으로써 수집, 저류,

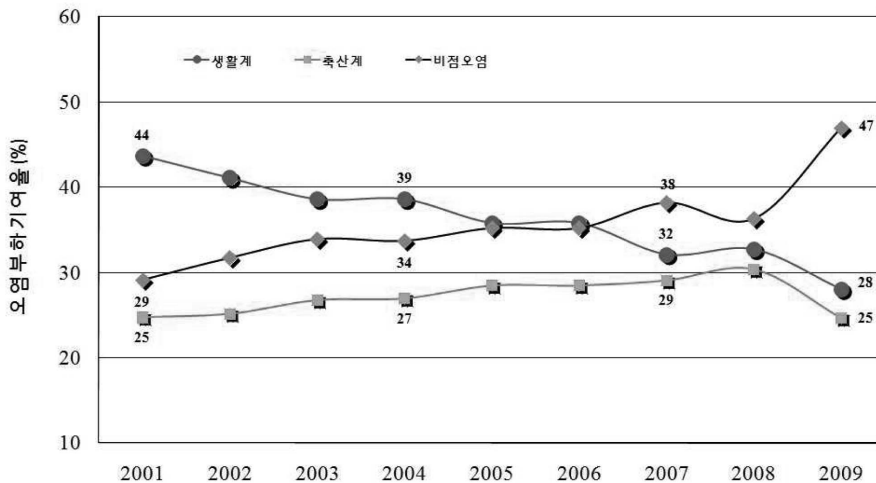


그림-1 농업용 저수지의 주요오염원 변화추이(2000~2009)

## 농업용수수질관리협의회



그림-2 농업용수 수질관리협의회 운영 개념도

운송, 처리 등 기술적 해결을 어렵게 하고 있다. 즉, 농경지 등 농촌지역에서 배출되는 비점오염물질은 사후처리보다는 오염원에서 차단하는 사전예방적 개념이 도입되어야 함을 의미한다. 예를 들면 표준시비량을 사용하고 유기농법 등 저에너지가 투입되는 친환경농업, 가축분뇨 자원화를 통한 자원순환형 유역관리, 관개용수 손

실을 줄이는 물관리기법 등이 있으며 이는 유역관리를 통해서만 가능하다. 따라서 통합유역관리를 통한 농업용수 수질관리에 있어 농업인 등 지역주민의 참여는 무엇보다도 중요하다. 이러한 오염원의 관리를 통한 오염물질 배출 자체를 줄이고자 농업용수 관리기관인 한국농어촌공사에서는 2001년부터 오염된 농업용 저수지를

수질관리시범지구로 지정하고, 저수지를 중심으로 상류 유역과 하류 관개지역의 농업인과 지역주민, 수면관리자, 행정기관이 공동으로 참여하는 “농업용수 수질관리협의회”를 구성하여 운영하였고 현재는 전국적으로 확대되어 1,000개 이상이 운영되고 있다.

농업용수 수질관리 시범 지구는 지역주민과 지자체, 수리시설관리자가 맡고 깨끗한 농업용수 확보를 위한 공동의 목표달성을 위한 자율환경관리의 유도과 저수지를 중심으로 상·하류 지역의 수량 및 수질을 동시에 고려한 통합물관리시스템 구축 등 선진화된 농촌지역 수질관리 모델을 개발하는 것을 주목적으로 하고 있다. 이와 함께 명예환경감시원 및 수질오염감시단을 운영하여 '07년 현재 명예환경감시원 3,054명, 수질오염감시원 2,957명이 활동 중에 있다.



그림-3 농업용수 수질관리시범지구 지역주민 활동사례

### 2.3 휴경농지 등 유향지를 활용한 수질개선

농촌지역 물 흐름의 충추를 이루고 있는 농업수리시스템은 지금까지 수량관리 위주로 개발되었으나, 농촌지역의 수질이 악화됨에 따라 수질관리를 고려한 농업수리시스템구축 기술개발이 필요하다. 경지면적 중에서 휴경면적이 차지하는 비율은 1980년말 1.0% 내외에서 현재는 약 2.5%를 기록하고 있다. 휴경지 면적은 논 228,000ha, 밭 277,700ha로서 모두 506,100ha가 되어 앞으로 30만ha 정도가 추가적으로 휴경농지로 될 수 있는 면적으로 추정하고 있다. 휴경농지는 영농조건이 불량한 농업용 저수지 상류의 천수답이나 급경사 밭 등이 많은 부분을 차지할 것으로 추정된다. 따라서 이러한 휴경농지, 유향지는 농업용 저수지 수질개선을 위한 비점오염저감 관점에서 가장 저렴하고 풍부한 형태의 재활용 잠재성을 보유하고 있다고 볼 수 있다.

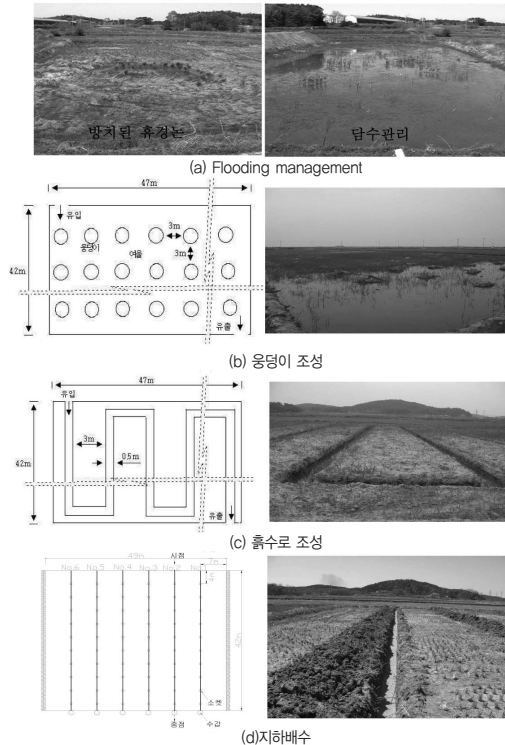


그림-4 휴경지를 활용한 수질개선방안 사례 연구



이러한 휴경논을 활용한 비점오염저감 연구(농림부·한국농촌공사, 2006)에 의하면, 그림-6(a)의 왼쪽그림과 같이 휴경지를 방치한 경우에는 오염물질 저감효과를 거의 기대할 수 없었지만, 오른쪽 그림과 같이 휴경지를 단순히 20~30cm로 담수관리만 하여도 TN 65.5%, TP 62.7%의 제거효과를 보였다. 또한 휴경지를 이용한 비점오염물질 저감능력 강화기법에 대한 연구결과를 살펴보면, 그림-6(b)와 같이 옹덩이를 조성한 경우에는 SS는 63.0%, BOD 40.0%, TN 63.0%, TP 42.5%의 제거율을 보였다. 그림-6(c)와 같이 흡수로를 설치한 경우에는 SS 61.0%, BOD 29.5%, TN 39.7%, TP 15.9%의 제거율을 보였다. 그림-6(d)와 지하배수장치를 설치한 경우에는 유입수와 유출수 사이에 큰 차이가 없어 정화효과가 거의 없었다. 따라서 휴경지를 방치지 않고 단순히 담수관리만 하여도 오염물질 제거효과와 동시에 잡초발생이 억제되어 농지의 황폐화도 방지할 수는 있는 효과가 있음을 알 수 있다.

## 2.4 논 물관리를 통한 수질관리

논은 시기에 따라 정화형이 되기도 하고 오염형이 되



(a) 자동급수전



(b) 관행 논배수관리

(c) 개량형 배수물고

그림-5 논 배수관리 기구

기도 하지만 연간으로 보았을 때는 오염배출형에 속한다고 볼 수 있다. 논에서의 오염배출을 줄이는 것은 시비량의 조절이 가장 효과적이며, 다음으로는 관개용수의 적정한 공급이 필요하다. 오리농법, 유기농법, 우렁이농법 등 친환경농법과 직파재배 시에는 관개용수 사용량이 증가하기도 한다. 유입량이 많으면 배출량도 증가하는 것이 당연하다. 따라서 관개용수를 적절하게 공급하고 조절할 수 있는 자동 및 반자동 급수전이나 개량형 배수물고 등의 개발 및 보급 확대가 필요하다. 벼를 재배하는 논의 영양물질 배출부하량을 줄이고 시비효율을 향상시키기 위한 생육시기별 친환경 배수 물꼬관리 개선연구에 의하여, T-N은 40~48%, T-P는 38~44%의 배출부하량을 감소시킬 수 있는 것으로 분석되었다.

논에서 관행구와 환경구의 오염배출부하에 관한 비교 연구(농어촌연구원, 2004)에 의하면, 유입부하 중에서 시비가 T-N은 88~89%, T-P는 91~93%이었고 유출부하 중에서 작물흡수가 T-N 90~93%, T-P는 91~93%이었다. 논에서 영양염류 물질수지의 대부분이 시비량과 작물흡수에 의한 것으로 적절한 시비관리가 중요함을 알 수 있었다. 하천과 저수지를 용수원으로 하는 논에서 평균적인 영양물질 수지는 T-N의 경우는 유입부하 중에서 24.8%, T-P는 유입부하 중에서 약 10.9%가 지하배수 또는 지표수로 유출되는 것으로 분석되었다. 논에서의 오염배출을 줄이는 것은 시비량의 조절이 가장 효과적이며, 다음으로는 관개용수의 적정한 공급과 배출수의 관리가 필요하다. 이를 위해그림-7과 같은 자동 및 반자동 급수전과 배수물꼬관리기의 개발 및 보급이 필요하다. 농어촌연구원(2004)의 연구에 의하면, 생육시기별 친환경 배수 물꼬관리를 통해서 TN은 40~48%, TP는 38~44%의 배출부하량을 감소시킬 수 있는 것으로 분석되었다.

### 2.5 농촌하천 수질개선 대책

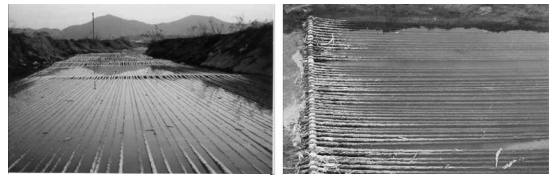
농업용수 수질개선공법 개발을 위한 연구가 꾸준히 진행되고 있다. 특히, 농촌지역의 특성에 맞도록 자연정화기능을 적극 활용한 수질개선공법 개발에 대한 현장 시험연구가 농업용 저수지 유역에 대해서는 1997년부터~2004년까지, 간척담수호 유역에 대해서는 2001년부터 2011년까지 현장에 시험시설을 설치하여 정화효과와 유지관리방법 등에 대해서 장기모니터링 되고 있다. 이러한 현장시험연구의 목적은 자연정화공법이 인위적으로 조절된 실내가 아닌 현장의 자연조건에서 나타내는 정화효율의 변동특성, 현장애로사항 및 유지관리 문제점 등을 도출하고 그에 대한 해결방안 수립하여 조사설계요령이나 유지관리매뉴얼 작성에 필요한 자료를 제공하는데 있다.

그림-6과 그림-7은 농촌지역의 소하천에 적용가능한 수질개선공법 연구사례이다. 그림-6은 플라스틱, 자갈, 합성섬유와 같은 다양한 접촉여재를 이용하여 하천내 물이 흐르는 구간에 on-line 형식으로 직접것이다. 하지만, 하상계수가 큰 우리나라 하천의 특성에 의해 홍수 후에 시설이 매몰되거나 유실되어 그 적용이 실패한 사례이다. 따라서 하천수질개선을 위한 대책시설을 하도내에 직접 설치하는 것은 특별한 사유가 없는 한 지양하여야 할 것이다.

그림-7은 off-line 형식으로 설치한 농촌지역의 하천수질개선공법 연구사례로서 오염물질이 많이 포함된 농촌 하천수를 양수하여 산화지와 조류매트(algae-matrix) 접촉여재를 활용하여 물속의 용존성 영양염류를 조류성장에 따른 생체량으로 전환하여 급속하게 증식된 조류를 회수하여 물속의 오염물질을 제거하는 원리이다. 이 공법은 유기물의 농도는 낮고 질소와 인 같은 영양염류의 농도가 높아 고도처리가 요구되는 농촌지역



a) 시공직후      b) 토사유입으로 인한 기능상  
(a) 플라스틱과 자갈을 이용한 복합접촉산화수로



a) 시공직후      b) 접촉여재에 부착된 미생물  
(b) 합성섬유를 이용한 끈상접촉산화수로

그림-6 On-line 하천수질개선공법(접촉산화수로)

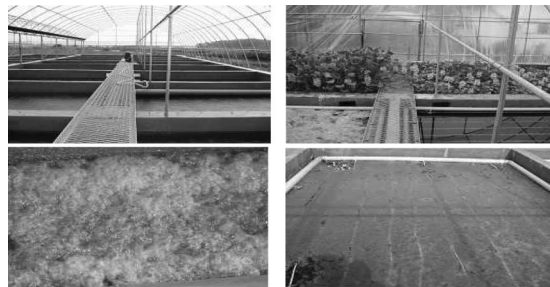


그림-7 Off-line 농촌하천수 수질개선공법(사상성 조류매트 산화지)

의 하천에 적용이 용이한 수질개선공법이다. 특히 이 공법은 수중의 사상성 조류가 물속의 영양물질을 잘 흡수할 수 있도록 인위적으로 성장환경을 조성하여 주는 것이 중요하다. 이 공법에 의한 수처리효율은 유입수 대비 SS는 80.9%, COD는 74.6%, T-N은 76.8%, T-P는 84.4%의 높은 수처리 효율을 보였다. 이 공법은 처리용량이 20~30m<sup>3</sup>/day 정도의 소규모 시설로서 특별한 동력과 유지관리 비용이 필요하지 않아 유량이 많지 않은 농촌지역의 오폐수나 겨울철이나 갈수기의 하천수 또는 농지배수의 처리에 적용이 용이하고, 홍수터가 있어 부

지 확보에 어려움이 없는 농업용 저수지의 수질개선을 위한 유입수 처리시설로 적합한 공법으로 볼 수 있다.

## 2.6 인공습지를 이용한 수질개선 공법

농촌지역에 적용가능한 수질개선공법으로 저류지, 인공습지, 식생여과대, 침투시설 등 자연정화기능을 이용하는 생태공학적 방법에 대한 관심이 높아지고 있다. 그 중에서 인공습지의 오염물질 제거능력이 높은 것으로 알려져 있으며 1960년대부터 구미를 비롯한 세계 여러 나라에서 많이 이용되고 있다. 인공습지는 영양염류의 제거능력과 유량 및 수질의 변화에 대한 적응력이 높다는 장점과 함께 야생동식물의 서식처 제공, 경관개선, 홍수조절과 같은 간접적인 효과도 높고 유지관리 비용과 설치비용이 상대적으로 적다는 장점 등 기존의 기계적 처리방법이 가진 문제점의 대안으로 제시되고 있으며 생활하수, 축산폐수, 광산수, 농경배수 등 다양한 종류의 오염수에 적용되고 있어 그 활용범위가 넓다.

인공습지는 물의 흐름에 따라 자유수면형(free-water surface: FWS)과 지하흐름형(subsurface flow: SF)으로 구분 수 있으며, 자유수면형 인공습지의 수심은 수 cm~1m 이상까지 다양하나 북미에서는 일반적으로 30cm 내외로 운전되고 갈대, 부들, 줄 등과 같은 정수

식물이 자란다. 인공습지에서 수생식물의 직접적인 오염물질제거량은 5~10% 정도로 보고되기도 하지만, 오염물질 제거작용을 증진시키는 매개체로서 중요한 역할을 하는 것으로 보고되고 있다. 물속에 있는 식물의 줄기와 잎은 물의 흐름에 저항을 주어 유속을 느리게 함으로서 여과, 침전과 같은 물리적 제거작용의 촉진과 미생물이 부착할 수 있는 표면적 제공, 통기조직을 통한 근근역에 산소전달로 미생물 분해활동 촉진 등의 역할을 한다. 일반적으로 습지의 형상비는 습지 내의 수리현상에 큰 영향을 미칠 수 있다. 습지의 흐름을 plug-flow로 유지하고 단락현상을 방지하기 위해서는 최소 1:10 정도가 필요하다고 하지만, 최근의 연구에 의하면 1:1~1:4 정도로 하고 연못 등의 개방수면을 적절히 배치하는 것을 권장하고 있다.

표-1에서 인공습지의 수처리효율을 살펴보면, 북미 습지데이터베이스 자료에 의한 북미습지는 BOD 71%, SS 68%, TN 55%, TP 34% 정도이다. 국내에서 운전되고 있는 인공습지의 경우는 북미 습지와 비교하여 BOD는 평균 41%로서 낮고 SS는 63%, TN은 55%로서 북미습지와 비슷하며 TP는 51%로서 약간 높은 수준이다. 이는 북미습지에는 생활하수 등 하수처리용 인공습지 자료가 포함되어 유기물항목에 대한 수처리효율이



그림-8 국내에 적용되고 있는 인공습지 사례

표 1 국내외 인공습지의 오염물질 저감효과

항 목		농도 (mg/L)			부하량 (kg/ha/d)			HRT
		In	Out	Eff(%)	Load	Rem	Eff(%)	
NADB	BOD	30.3	8.0	74	7.2	5.1	71	5~14 day
	TSS	45.6	13.5	70	10.4	7.0	68	
	TN	9.03	4.27	53	1.94	1.06	55	
	TP	3.78	1.62	57	0.50	0.17	34	
석문습지	BOD	10.9	3.5	68	21.36	18.02	93	1~3 day
	TSS	16.1	6.1	62	40.85	53.32	94	
	TN	6.86	1.93	72	29.93	27.71	96	
	TP	0.49	0.11	78	1.75	1.63	89	
반월습지	BOD	18.7	15.0	20	41.5	7.2	17	1~3 day
	TSS	14.4	5.3	63	32.1	20.4	64	
	TN	19.3	13.6	30	35.1	8.9	25	
	TP	0.91	0.69	24	1.8	0.2	11	
동화습지	BOD	12.9	8.1	37	24.7	7.2	29	1~2 day
	TSS	17.1	6.8	61	42.4	24.6	58	
	TN	4.7	2.5	47	9.6	4.3	45	
	TP	0.20	0.10	52	0.4	0.2	50	
마산습지	BOD	7.4	9.0~3.1	26~23	-	7.8~0.1	26~23	1hr~72hr
	TSS	22.5	11.5~4.4	52~68	-	36.2~1.4	52~68	
	TN	1.86	1.68~0.57	17~57	-	1.07~0.09	17~57	
	TP	0.16	0.14~0.05	16~43	-	0.08~0.01	16~43	

높은 반면, 국내사례는 주로 하천수 등 비점오염원을 처리원수로 한 결과에 의한 것이며, 또한 국내습지가 아직 운영초기 단계인 점도 영향을 미친 것으로 판단된다. 특히, TP는 토양과 흡착력이 강하기 때문에 초기 습지에서 TP의 제거효율이 높게 나타난다고 보고되고 있다. 표-1의 마산습지는 인공습지의 체류시간을 복미습지에 비하여 훨씬 짧은 1hr~72hr로 운영한 결과로서, 인공습지에는 배경농도가 있어 일정 농도이하로는 유출수 농도를 낮추기 힘들기 때문에 우리나라의 농업용저수지나 농촌지역 하천수와 같이 저농도 고유량의 특성을 가진 비점원오염 처리용 인공습지는 체류시간을 길게 하여 무리하게 농도를 낮추기 보다는 높은 수리부하를 적용하여 단위면적당제거량을 많게 하는 것이 호소와 같은 폐쇄성수역의 수질보호에 유리하다.

### 2.7 호소내 직접정화 방법

우리나라는 국토의 70%가 산지로 이루어져 있어 토지자원이 부족한 나라이다. 따라서 넓은 부지면적이 소요되는 수처리공법을 도입하는 것이 곤란할 경우도 있다. 특히 농경배수와 같은 비점오염물질은 많은 수량을 처리하여야 하기 때문에 인공습지와 같은 시설이 때로는 넓은 부지면적을 필요로 하여 적용이 곤란할 경우도 있다. 이런 경우에 별도의 수처리부지가 필요 없이 저수지나 호소내의 수면을 이용하는 방법을 강구해 한다. 이러한 공법으로 침강지 공법이 있다. 침강지는 저수지 유입부의 일정면적에 강우시 다량으로 유입되는 오염물질을 집중적으로 처리하는 공법이다. 농업용 저수지에 적용된 방법으로는 반영구적인 차수막을 이용하거나, 준설하는 방법, 그리고 영구적인 시설로서 보조댐을 쌓은



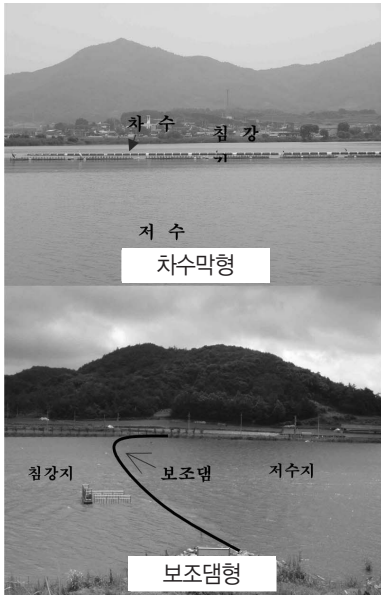


그림-9 호소내 직접정화공법사례(침강지)



그림-10 다양한 호소내 직접정화공법 사례

방법이 적용되고 있다. 수처리 효율은 보조댐형, 차수막형, 준설형의 순으로 본 호의 물과 완전히 분리되는 시스템이 효율적이다. 하지만, 수처리효율만을 앞세워 한 가지 유형을 만들 채택한다면 농업용수 수질개선사업의 다양성이 결여되어 좋지 않은 결과를 가져올 수 있다. 이외에도 호소수 직접정화공법으로 가압부상법, 퇴적물 준설, 인공식물섬 등의 공법이 적용되고 있다.

### 3. 맺는말

그간 정부의 수차례의 수질개선대책 추진에도 공공수역의 수질이 크게 개선되지 않고 있다. 이러한 원인이 비점오염원에 기인한다는 인식이 공감되었다. 비점오염원을 생각할 때 농업이나 농촌지역을 고려하지 않고 비점오염원관리를 체계적으로 관리할 수 없을 것이다. 농업용수 수질개선사업은 주처리대상이 비점오염물질이

다. 아직까지 농촌지역의 하수도보급율이 도시지역에 비하여 낮지만, 이러한 미처리된 농촌마을 생활하수는 비점오염원화 되어 농촌의 소하천으로 유입되고 있다. 이러한 농촌지역의 소하천과 농업용 저수지의 수질이 개선되지 않는 한 4대강 분류하천의 수질개선을 기대하기 곤란하다. 이러한 관점에서 농업용수 수질개선사업이 앞으로 더욱 활성화되어야 하며 사업의 대상이 농업용 저수지에 국한 될 것이 아니라 농업용저수지를 중심으로 한 상류 유역과 하류 관개지역이나 하천까지를 포함하는 포괄적 공간개념이 도입되어야 국가적 차원에서 공공수역의 수질관리에 효율성이 높아 질것이다. 이러한 환경친화적인 농업용수 수질개선사업이 추진되면 양질의 용수 확보와 앞으로 농촌지역에서 다양한 용수수요에 대처할 수 있으며, 국민에게 안전한 농산물공급은 물론 쾌적한 농촌공간 창출, 생태계 회복으로 종다양성 증진 등 미래 국가자원 확보에도 큰 기여를 할 것이다.

기획 : 정세웅 편집부위원장(schung@chungbuk.ac.kr)