

백령면 담수호 수질개선에 관한 연구

2020. 12



옹진군의회

ONGJIN COUNTY COUNCIL

해안조류연구회

제 출 문

인천광역시 용진군의회사무과장 귀하

본 보고서를 “백령면 담수호 수질개선에 관한 연구 용역”의
최종보고서로 제출합니다.

2020년 12월

사단법인 인천환경연구원
이 사 장 김 진 한

■ 연구책임자

인천대학교 도시환경공학부	명 예 교 수	김 진 한(공학박사)
---------------	---------	-------------

■ 연구원

인천대학교 도시환경공학부	겸 임 교 수	박 수 영(공학박사)
---------------	---------	-------------

인천대학교 도시환경공학부	외 래 교 수	임 지 영(공학박사)
---------------	---------	-------------

요 약 문

- 본 과업은 인천광역시 옹진군 백령면의 담수호(백령호)의 오염원을 파악하여 현재 수질 상태를 평가하고 수질개선 대책을 제시함으로써 향후 담수호의 수자원 이용은 물론 주변 지역의 적정 활용방안을 결정하는 관련 조례 및 정책 개선방안의 기초자료를 확보하고자 수행하였음
- 담수호와 유입되는 지천들의 수질을 분석한 결과 담수호의 수자원은 당초 목적대로 농업용수로 활용하기 불가능할 것으로 생각되므로 담수호 수자원에 대한 새로운 활용 정책이 수립되어야 함
- 농업용수로 활용할 수밖에 없다면 비교적 경제적인 기수담수화시설의 설치를 고려해볼 만한 것으로 생각됨
- 현재의 상태에서 담수호 주변을 관광레저형이나 수변휴양형으로 개발하고자 하더라도 그에 맞는 담수호 수자원의 목표수질을 먼저 유지하여야 하므로 담수호 수질개선 사업은 선행되어야 함
- 담수호 배수갑문의 통수로 인한 담수호의 해수유통은 먼저 해수유통 및 침식 모델링으로 평가하고 그에 따른 활용방안을 수립하여야 하며, 궁돌해변 해안의 침식에 관한 원인 파악을 위해서도 이와 같은 연구용역은 필요할 것으로 판단됨
- 해수유통 및 침식 모델링을 선행하여 담수호 배수갑문 유무, 용기포 신항의 건설 등에 따른 주변 해류 및 담수호의 수위 변동을 파악하여야 함
- 한편, 담수호의 수자원 이용은 “평화에너지섬 조성사업”, “소형공항 개발사업” 등 관련 정책과 밀접한 관계가 있으므로 종합적으로 판단하여 진행하는 것이 바람직할 것으로 생각됨



목 차

제 1 장 과업 개요

1.1 과업 배경 및 목적	7
1.2 과업 범위 및 내용	8

제 2 장 지역현황

2.1 지역개황	11
2.2 기후 현황	13
2.3 인구 현황	14
2.4 환경기초시설 현황	16

제 3 장 저수지 수질개선 사례 조사

3.1 저수지 수질개선 개요	18
3.2 저수지 수질개선 사례 조사	23
3.3 저수지 수질개선 공법 검토	30
3.4 염수호 수질개선 공법 검토	49

제 4 장 오염원 및 수질 조사

4.1 담수호 특성	59
4.2 오염원 현장조사	67
4.3 시료채취 및 수질 분석 결과	67
4.4 담수호 배수갑문	74

제 5 장 담수호 관련 정책 검토

5.1 평화에너지섬 조성 계획	77
5.2 소형공항 개발계획	78



제 6 장 담수호의 적정 활용방안

6.1 담수호의 활용상태 평가	80
6.2 담수 이용 목적별 관리 목표 검토	80

참 고 문 헌

부록



표 목 차

[표 2.1] 용진군의 지리적 위치	12
[표 2.2] 행정구역 현황	13
[표 2.3] 기온 및 강수 현황	14
[표 2.4] 인구 현황	15
[표 2.5] 인구변화 추이	15
[표 2.6] 환경기초시설 현황	16
[표 3.1] 준설 공법의 종류	31
[표 3.2] 호내 수질개선공법의 종류 및 특성 요약	42
[표 3.3] 호외 수질개선공법의 종류 및 특성 요약	46
[표 3.4] 수변 공간활용 공법의 종류 및 특성 요약	49
[표 3.5] 제염방식에 따른 원리 및 특징	52
[표 4.1] 담수호의 기존 수질 분석 결과	62
[표 4.2] 하천의 생활환경기준	65
[표 4.3] 호소의 생활환경기준	66
[표 4.4] 수질 분석 결과	69
[표 4.5] 측정 항목 및 분석 방법	70
[표 6.1] 중수도의 용도별 수질기준	82

그림 목 차

[그림 1.1] 백령호 위치 및 현황	8
[그림 2.1] 용진군 행정구역	12
[그림 3.1] 농업용 수리시설별 개소수 및 수혜면적	18
[그림 3.2] 농업용 호소의 존재위치 및 형태	19
[그림 3.3] 우리나라 주요 농업용 호소의 수질오염원 현황	20
[그림 3.4] 호소의 유효수심에 따른 수질변화	20
[그림 3.5] 호소의 수질특성	21
[그림 3.6] 조류의 증식에 의한 호소 물색의 변화	22
[그림 3.7] 감돈저수지 전경	24
[그림 3.8] 감돈저수지 지표흐름 인공습지 전경 및 수질정화 모식도	25
[그림 3.9] 감돈저수지 침강지 전경 및 수질정화 모식도	25
[그림 3.10] 감돈저수지 발생부하량 및 연도별 수질변화	26
[그림 3.11] 흥동저수지 전경	27
[그림 3.12] 흥동저수지 고효율 인공습지 전경 및 수질정화 모식도	27
[그림 3.13] 흥동저수지 인공식물섬 전경 및 수질정화 모식도	28
[그림 3.14] 흥동저수지 발생부하량 및 연도별 수질변화	28
[그림 3.15] 왕송저수지 전경 및 소유역	29
[그림 3.16] 호소 수질개선 공법 및 관리 기술	41
[그림 3.17] 역삼투압 공정	53
[그림 3.18] 오염원 크기별 필터적용	55
[그림 4.1] 수질 측정 지점	61
[그림 4.2] 유입지천 유역의 전경	68
[그림 4.3] 수질측정 및 시료채취 장면	72
[그림 4.4] 간조시 및 만조시 담수호 배수갑문 현황	75

제 1 장

과업 개요

1.1 과업 배경 및 목적

1.2 과업 범위 및 내용

제 1 장 과업 개요

1.1 과업 배경 및 목적

- 기후변화는 영농환경의 변화를 가져와 안전한 영농활동을 위협하고 있음. 강수량이 적어 물이 부족해지면서 농작물 피해가 빈번히 발생함에 따라 농업용수의 안정적인 공급 대책이 필요함
- 특히 가뭄의 장기화시 물이 부족한 섬 내륙과 해안의 하천수와 지하수는 염분농도가 높아 농업용수 이용이 곤란해지는 지역이 확산되는 등의 문제점이 발생되고 있음
- 대체수자원이란 농업용저수지, 하천수, 지하수 이용 같은 일반적인 방법으로는 가뭄에 신속히 대처할 수 없을 때 하수처리수, 해수 등 농업용수로 직접 사용하지 못하는 물을 깨끗하게 처리하여 필요시 공급할 수 있는 수자원을 의미함
- 용진군 백령면에 인공적으로 조성된 담수호(백령호)는 농업용수로 사용하기 위하여 2007년도에 최종적으로 조성된 담수호로서 저수용량은 250만톤임. 그러나 적은 강수량에 의한 소량의 담수유입, 저질로부터의 염분용해, 염수의 지하침투 등의 이유로 염분의 농도가 높아 농업용수로는 부적합하여 활용이 불가능한 상태임
- 담수호 조성 공사가 시작된 1991년도에는 담수호의 규모가 작아 사전환경성검토 수준이었으나 그 후 환경영향평가법이 개정되면서 담수호에 대한 모니터링이 필요하게 됨으로써 용진군에서는 2017년도부터 분기별로 담수호 수질에 대한 모니터링만 실시하고 있음. 그 외 수문관리에 있어서는 강우시 일정량의 물을 해안으로 방출시키는 정도의 관리만 하고 있는 상태임
- 결과적으로 담수호의 체류시간이 크게 됨으로써 해충의 서식과 악취 발생 등의 민원을 야기시키고 있는 실정으로 수질을 종합적으로 파악하여 적용가능한 수질개선 대책을 수립하고 담수호의 활용방안을 모색해야 할 필요성이 매우 높음
- 따라서, 본 과업은 인천광역시 용진군 백령면의 담수호(백령호)의 오염원을 파악하여 현재 수질상태를 평가하고 수질개선 대책을 제시함으로써 향후 담수호의 수자원 이용은 물론 주변 지역의 적정 활용방안을 결정하는 관련 조례 및 정책 개선방안의 기초자료를 확보하고자 함

1.2 과업 범위 및 내용

1.2.1 과업의 범위

- 과업명 : 백령면 담수호 수질개선에 관한 연구 용역
- 위치 : 용진군 백령면 남포리, 진촌리, 북포리 일원
- 과업대상 : 용진군 백령면 담수호(백령호)



[그림 1.1] 백령호 위치 및 현황

1.2.2 과업 주요 내용

- 오염원 및 수질 조사 분석
 - 유입 지천 주변 오염원 현장 조사
 - 기존 담수호 수질분석 자료 검토
 - 담수호로 유입되는 3개 지천과 호 내부 3개 지점에 대한 수질분석

☆ 분석항목 : 수온, pH, DO, SS, BOD, COD, TOC, 총대장균군, 분원성대장균군,

총인, 총질소, 클로로필-a, 염분 등 13개 항목



○ 저수지의 수질 개선 사례 조사

- 저수지 수질 관리 사례 조사
- 저수지 수질개선 공법 검토
- 저수지 주변 공간 활용 사례 검토

○ 담수호의 적정 활용방안

- 담수호의 활용상태 평가
- 담수 이용 목적별 관리 목표 검토 등

제 2 장

지역 현황

2.1 지역개황

2.2 기후 현황

2.3 인구 현황

2.4 환경기초시설 현황

제 2 장 지역 현황

2.1 지역개황

- 7개 면(북도, 연평, 백령, 대청, 덕적, 자월, 영흥), 3개 출장소(장봉, 소청, 이작) 체계인 옹진군은 지리적으로 도서지역의 특성을 가지며 113개의 섬으로 이루어진 인천광역시 소재의 군(郡)임. 이중 23개만이 유인도이며 나머지 90개의 섬이 무인도로 구성됨
- 옹진군은 국토공간상 한반도의 중부지역 서단에 위치하고 있으며, 지역공간상으로는 황해도 장연군, 옹진군, 해주시, 연백군 등 서남부인 황해와 인천광역시, 경기도 서부 연안에 폭넓게 위치하고 있음. 또한 동쪽으로는 경기도 안산시 대부도와 접하고, 남쪽으로는 충청남도 당진군·태안군, 특히 북쪽으로는 황해도와 접하고 있어 북방접경지역을 이루고 있음
- 옹진군은 황해도 서남부인 황해에 산재한 도서 및 인천항 전역에 산재한 유인도와 무인도로 구성되는데 농경지가 협소하나 토양이 비옥하여 많은 농산물이 생산되고 있으며, 사면이 해양으로 수심이 얕고 간만의 차가 심해 수산업에 유리한 입지조건을 가지고 있어 계절적으로 황금어장이 형성됨
- 옹진군의 도서들은 신생대 제4기 말기에 황해가 육속화된 것이며, 후빙기에는 해수면의 상승과 저지의 침강으로 형성된 지형으로 서해에 발달한 대륙붕에 접해 있음
- 가장 높은 표고를 보이는 곳은 대청도의 해발 343m의 삼각산이며, 다음 덕적도의 국수봉(313.8m)과 비조봉(293.9m), 신도의 구룡산(178m)과 자월도의 국사봉(164.8m) 등으로 옹진군 대부분의 도서는 100~150m 내외의 산봉우리가 각 도서중심부에 위치하고 있음. 따라서 대부분의 도서 중심부는 산악지형을 띄고 있어 개발이 어려우나, 연안 육역쪽 상당량은 낮은 구릉지로 형성되어 개발이 가능함
- 또한 백령면의 용기포 해변은 천연비행장으로 이용될 수 있을 뿐만 아니라 관광유원지로 개발이 기대되는 지리적 여건을 갖추고 있음



[그림 2.1] 용진군 행정구역

자료 : 2020 군정백서, 용진군

- 용진군의 면적은 172.90 km^2 이며 2019년 기준 인천광역시 전체면적 1,063.26 km^2 의 16.26%를 차지하고 있음. 본 과업 대상지역인 백령면의 면적은 51.17 km^2 으로서 용진군 전체 면적의 29.60%를 차지하고 있음
- 용진군의 주요 취락지는 해발 표고 60m 이하 지역에 주로 분포하고 있음. 도서 자연경관의 특성을 고려하여 개발 가능한 지형표고 기준을 60m로 가정할 경우, 용진군 총면적의 72.7%에 해당하는 119.45 km^2 가 개발 가능함
- 용진군청의 소재지 및 지명에 따른 경도와 위도는 [표 2.1], 행정구역 현황은 [표 2.2]에 나타내었음

[표 2.1] 용진군의 지리적 위치

군청소재지	단	경도와 위도의 극점	
		지명	극점
인천광역시 미추홀구 매소홀로 120	동 단	영흥면 선재리	동경 : 126° 33' 0"
	서 단	백령면 남포리	동경 : 124° 36' 1"
	남 단	덕적면 목덕도	북위 : 36° 55' 0"
	북 단	백령면 연화리	북위 : 37° 58' 5"

자료 : 2020 군정백서, 용진군

[표 2.2] 행정구역 현황

행정구역	면 적 (km ²)	구성비 (%)	군			
			면	리		반
				행 정	법 정	
용진군	172.88	100	7	78	26	272
북도면	17.65	10.21	1	10	4	32
연평면	7.41	4.29	1	6	1	30
백령면	51.18	29.60	1	18	5	65
대청면	15.62	9.04	1	9	2	18
덕적면	36.62	21.18	1	14	8	40
자월면	17.72	10.25	1	7	3	26
영흥면	26.68	15.43	1	14	3	61

자료 : 2020 용진군 기본통계, 용진군, 2019

2.2 기후 현황

- 용진군은 도서 환경으로 인하여 해류와 해수온도 등 해양의 영향으로 한서의 차가 조 절되고 있음
- 또한 계절풍의 영향으로 겨울에는 서북풍이 강하고 여름에는 남동풍이 현저하게 나타 나며, 연중 거의 일정한 동향을 보임
- 연강수량은 900mm를 넘지 못하고 겨울의 강설량 역시 매우 적은 것이 특징임. 또한 청천일수는 많으나 바람이 강하고 짙은 안개가 자주 발생하는 특성이 있는데, 5~7월에 주로 발생하는 안개는 해상을 향해하는 선박의 운항에 많은 지장을 주고 있음
- 연평균 기온은 10.9℃이며, 평균 기압은 1016.1mbar, 평균 습도는 69%, 맑은 날이 106일, 안개가 끼는 날이 50일 정도임

[표 2.3] 기온 및 강수 현황

년	항목 월	기온(℃)			강수량(mm)
		평균	최고기온	최저기온	
2014		11.6	33.2	-7.9	391.9
2015		11.9	30.2	-11.5	601.5
2016		12.3	31.5	-14.2	734.0
2017		11.8	31.8	-7.4	335.1
2018		11.0	32.8	-13.7	831.1
2019		12.0	31.2	-6.3	595.4
2020*		-	-	-	1,193.9
	1월	2.8	4.9	1.2	40.9
	2월	2.7	5.0	0.4	28.4
	3월	6.1	9.2	3.3	6.9
	4월	9.4	12.4	6.7	20.5
	5월	13.7	17.2	11.0	223.2
	6월	18.9	22.7	15.8	119.4
	7월	21.0	24.3	18.5	214.3
	8월	23.8	26.0	22.2	302.9
	9월	20.4	23.3	18.0	232.9
	10월	15.1	18.8	10.0	22.5

자료 : 2020 용진군 기본통계, 용진군, 2019, 기상청, 날씨누리 기상관측자료, www.weather.go.kr

* 2020년 10월까지의 누적 강수량

2.3 인구 현황

- [표 2.4]에 나타난 바와 같이 2019년말 기준 용진군의 인구는 21,227명으로 이중 남성이 56.8%이고 인구밀도는 123 인/km², 세대당 인원수는 평균 1.8명으로 나타났음. 한편 본 과업대상 지역인 백령면의 인구는 5,554명으로 용진군 총인구의 26.2% 정도를 차지하고 있으며, 인구밀도는 109 인/km² 정도이었음
- 용진군 총 세대수는 11,746세대, 백령면의 세대수는 3,097세대이었으며, 용진군 전체의 세대당 인구수는 모두 2명 이하로서 백령면의 세대 당 인구수는 1.7명 정도이었음

[표 2.4] 인구 현황

구 분	세대수	인 구(명)				인구밀도 (인/km ²)	세대당 인원수
		계	비율(%)	남	여		
용진군	11,746	21,227	100	12,064	9,163	123	1.8
북도면	1,155	2,224	10.41	1,182	1,042	126	1.9
연평면	1,382	2,213	10.43	1,404	809	299	1.5
백령면	3,097	5,554	26.54	3,283	2,271	109	1.7
대청면	891	1,550	7.61	911	639	99	1.6
덕적면	1,158	1,982	9.43	1,075	907	54	1.7
자월면	726	1,320	6.34	681	639	75	1.8
영흥면	3,337	6,384	29.24	3,528	2,856	239	1.9

자료 : 2020 용진군 기본통계, 용진군, 2019

- 용진군의 인구변화 추이를 나타낸 [표 2.5]를 살펴보면 2014년 20,858명에서 2018년 21,227명으로 약 1.8% 정도의 증가한 것으로 조사되었는데, 영흥면의 인구는 증가하는 경향을 보였으나 다른 면에서는 모두 인구가 감소하는 추이를 보이고 있음. 이 중 과업대상 지역인 백령면의 경우에는 2017년 대비 2018년도에 인구가 조금 감소한 것으로 나타남

[표 2.5] 인구변화 추이

구 분	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년
용진군	20,858	21,143	21,522	21,741	21,227
북도면	2,202	2,248	2,251	2,264	2,224
연평면	2,185	2,213	2,241	2,268	2,213
백령면	5,442	5,499	5,783	5,770	5,554
대청면	1,650	1,675	1,628	1,655	1,550
덕적면	2,045	2,058	2,020	2,051	1,982
자월면	1,299	1,338	1,358	1,378	1,320
영흥면	6,035	6,362	6,241	6,355	6,384

자료 : 2020 용진군 기본통계, 용진군, 2015~2019

2.4 환경기초시설 현황

- [표 2.6]에 본 과업대상 지역인 백령면에서 운영 중인 환경기초시설의 현황을 요약하였음

[표 2.6] 환경기초시설 현황

구분	처리구역명	시설용량(m ³ /일)	설치연도	비고		
하수처리시설	진촌 하수도시설	560	2008.12	공공하수처리시설		

구분	위치	시설용량(m ³ /일)	처리량(m ³ /일)	처리공법	가동개시일	운영방법
분뇨처리시설	진촌리 1672-7	10	7	액상부식법	1999.10.15	자체(직영)

구분	시설용량		대수	설치위치		
음식물처리시설	2,000 kg/일		1	진촌리 2376(음식물쓰레기 처리동 내)		
	1,500 kg/일		1			
	1,000 kg/일		1			
	100 kg/일		5			
	탈취기	20 m ³ /min	1	진촌리 2376-1(음식물쓰레기 처리동 내)		

면	소재지	시설용량(톤/일)	1일 평균 가동시간	소각방식	운영방식	2018년 처리량(톤)	사용개시
소각시설	진촌리 2376	4	8	화격자식	회분식	751	2008.12.29

자료 : 웅진군 홈페이지, 하수도통계, 환경부, 2018, 웅진군 환경녹지과 내부자료

제 3 장

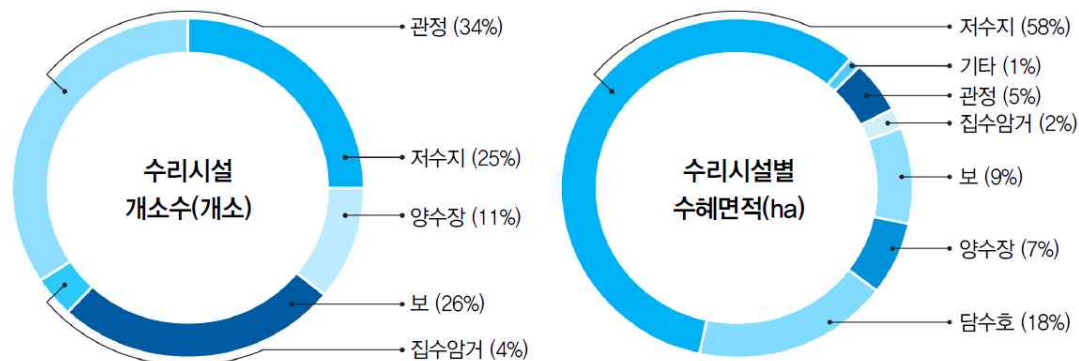
저수지 수질개선 사례 조사

- 3.1 저수지 수질개선 개요
- 3.2 저수지 수질개선 사례 조사
- 3.3 저수지 수질개선 공법 검토
- 3.4 염수호 수질개선 공법 검토

제 3 장 저수지 수질개선 사례조사

3.1 저수지 수질개선 개요

- 우리나라의 농업용수를 공급하는 수리시설은 저수지가 17,506개소, 담수호가 11개소, 양수장 7,614개소, 보 18,114개소, 집수암거 2,713개소, 관정 23,622개소로서 관정, 보, 저수지가 많음
- 수리시설별 수혜면적은 저수지가 450,706ha로 가장 넓고, 다음으로 담수호가 138,623ha로 저수지와 담수호와 같은 호소가 전체 수혜면적의 무려 76.2%로 차지하고 있어 농업용수 수질관리에 있어서 저수지와 담수호의 관리가 대단히 중요함을 알 수 있음



[그림 3.1] 농업용 수리시설별 개소수 및 수혜면적

자료 : 농업용수 수질개선사업, RRI포커스, 20, 2013

- 대부분 선진국들의 호소는 평원에 위치한 중대형 자연호소임에 반해서 우리나라 농업용 호소는 대부분 산지 말단부에 자리 잡거나 평야지대에 소규모로 조성된 인공호소가기 때문에 심각한 수질오염 현상이 발생할 가능성이 높음
- 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 않음

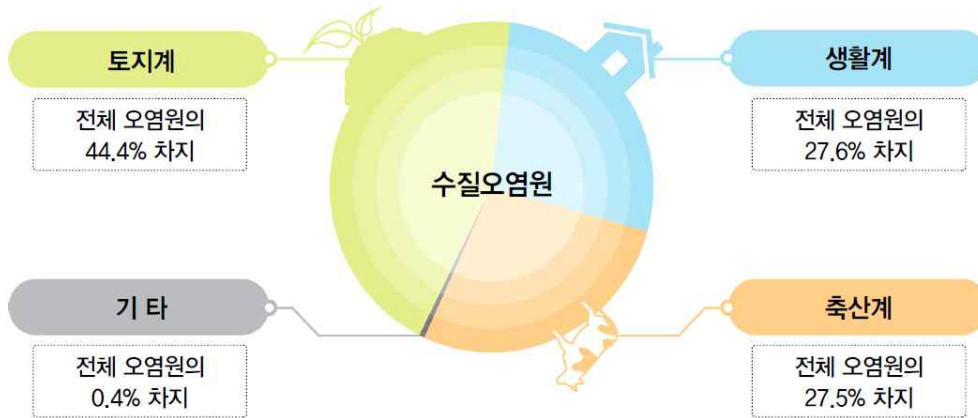
- 반면, 우리나라 농업용 호소는 유역 내에 농촌마을과 축사, 소규모 사업장 등이 다수 산재하여 수질오염원으로 작용하는 경우가 많아 수질이 쉽게 악화될 수 있으며, 우리나라는 강우의 2/3가 여름 한철에 집중되기 때문에 이때 물을 받아 둔 소규모 호소를 많이 축조하였으므로 농업용수는 하천에 비해 수질관리가 어려운 호소에 대한 의존율이 높을 수밖에 없음



[그림 3.2] 농업용 호소의 존재위치 및 형태

자료 : 농업용수 수질개선사업, RRI포커스, 20, 2013

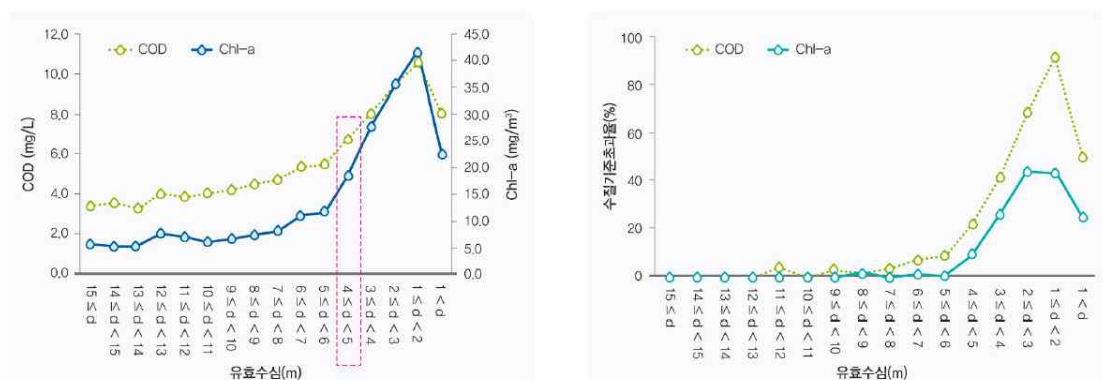
- 농업용수 수질측정망 조사대상 800개 및 환경부 호소 수질측정망 25개 농업용 호소의 주요오염원은 토지에서 강우시 유출되는 비점오염원이 366개소(44.4%)로 가장 많고, 다음으로 생활하수와 같은 생활계가 27.6%, 축산계가 27.5%를 차지하고 있음(농림수산식품부, 2012b)
- 오염원 중에서 축산계와 생활계는 큰 변화가 없으나, 비점오염원인 토지계의 비율이 최근에 높아지고 있기 때문에 수질관리를 위해서는 비점오염원의 관리가 중요하다는 것을 알 수 있음



[그림 3.3] 우리나라 주요 농업용 호소의 수질오염원 현황

자료 : 농업용수 수질개선사업, RRI포커스, 20, 2013

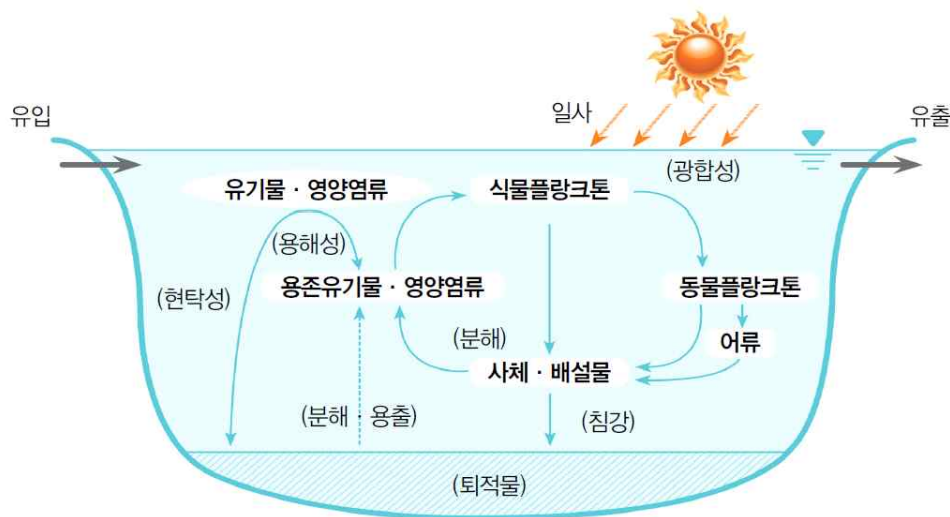
- 우리나라의 호소는 선진국들의 자연호소들에 비교해서 그 규모가 대단히 작아 심각한 수질오염 현상이 나타나는 특징이 있음. 농업용 저수지 등 소규모 호소는 유효수심이 낮아 수질오염에 취약한 구조를 가지고 있는데, 특히 유효수심이 5m 보다 낮아지면서 수질이 급격히 악화되는 경향을 보이는 것으로 보고되었음(김호일 등, 2012)



[그림 3.4] 호소의 유효수심에 따른 수질변화

자료 : 김호일 등, 2012

- 호소의 물은 활발히 흐르는 것이 아니기 때문에 수질오염물질이 유입되면 악취 발생, 용존산소 고갈에 의한 물고기 폐죽음 등의 현상이 하천에 비해 훨씬 자주, 또 훨씬 오랜 기간 동안 발생함
- 호소에서는 상·하층의 물이 쉽게 섞이지 않기 때문에 오염물질 유입으로 오염 현상이 심해지면 하층에서 산소가 급격히 고갈되어 조개류와 갑각류를 비롯한 많은 생물들이 일시에 사멸하고 부패하여 다시 수질오염물질로 작용하여 오염이 더욱 심화됨
- 호소는 식물성 플랑크톤이 과도하게 번식하면 이후에는 한꺼번에 사멸하기 때문에 외부로부터 유입하는 수질오염물질을 억제하더라도 수질오염이 오랜 기간 지속되며, 또한 한꺼번에 죽은 식물성 플랑크톤은 바닥에 가라 앉았다가 이듬해 봄에 썩으면서 다시 수질오염물질로 작용하게 됨
- 우리가 호소의 수질오염 문제를 특히 중요시 하여야 하는 이유는 일단 수질오염이 발생하면 수질오염과 부영양화가 반복되면서 외부로부터의 오염물질 유입 없이도 수질이 지속적으로 악화될 수 있기 때문임. 따라서 부영양화 현상을 예방하는 데에는 오염물질 유입을 억제하는 유역대책이 우선되어야 하지만 우리나라 호소들은 그것만으로 부영양화를 완전히 제어할 수 없기 때문에 호소 내 수질개선대책도 필요함



[그림 3.5] 호소의 수질특성

자료 : 담수원지 환경정비센터, 2002



[그림 3.6] 조류의 증식에 의한 호소 물색의 변화

자료 : 오마이뉴스, 2013

- 오염물질이 유입되면 이의 영향으로 호소의 수질에도 변화가 생기게 되는데, 호소에 유입된 오염물질은 침전되어 퇴적물을 형성하거나 용존성으로 수중에 존재함. 또한 광합성 반응에 의한 식물성 플랑크톤의 증식, 세균에 의한 오염물질의 분해, 어류에 의한 동물성 플랑크톤의 포식 등이 이루어짐. 이들 여러 가지 현상과 수리현상이 상호작용하여 저수지의 수질이 변화하게 됨
- 질소와 인과 같은 영양염류 농도가 어느 정도 높은 저수지에서는 물의 체류시간이 5일 정도 이상이 되면 식물성 플랑크톤의 증식이 활발해지고, 이에 따라 수질변화가 심해짐
- 식물성 플랑크톤인 조류가 번식하면 조류의 특성에 따라 녹색 또는 갈색 등으로 수면의 색깔이 변함. 조류가 많이 발생하면 조류는 낮에는 광합성을 하면서 이산화탄소를 흡수하고 산소를 배출하지만, 밤에는 반대로 산소를 흡수하기 때문에 물속에 산소가 부족하여 물고기가 폐죽음 당하는 원인이 되기도 함

3.2 저수지 수질개선 사례 조사

- 농어촌공사에서 수행하는 농업용수 수질조사사업은 크게 수질실태 일제조사와 농업용수 수질측정망 조사로 나누어 실시되고 있음
- 수질실태 일제조사는 17,700여개소의 전국 모든 농업용 호소를 대상으로 매 2년마다 실시하고 있으며, 수질오염실태 진단과 오염 원인을 분석하고, 수질변화를 감시하며, 수질관리정책 결정에 필요한 기초자료를 제공할 뿐만 아니라 수질개선사업 대상지 결정 및 사업추진방향을 정립하는 중요한 역할을 하고 있음
- 농업용수 수질측정망 조사는 전국의 주요 농업용 호소 800개소를 대상으로 수질오염 현황과 오염변화 추이를 종합적으로 파악하여 향후 농업용수 수질관리 정책수립 및 수질 개선사업 추진을 위한 기초자료를 확보하기 위한 것으로 분기별로 1회씩 연 4회 조사를 실시하고 있음
- 본 절에서는 국내 저수지의 수질개선 사례를 정리하고 수질개선 공법을 검토하였음
- 실질적으로는 저수지의 사용 목적, 즉 생활용수, 농업용수, 그리고 관광·레저 기능 등 사용 목적에 부합하기 위하여 수질관리 목표를 설정하고 수질개선 사업을 수행하여야 함
- 따라서, 환경부에서는 2012년 2월 중점관리저수지 제도를 도입하였으며, 『물환경보전법』 제31조의2(중점관리저수지의 지정 등)에 따라 수질개선이 필요한 오염된 저수지를 중점 관리하여 농업용수 공급은 물론 생활용수 수준으로 개선하여 친수공간으로 제공할 수 있는 예산을 지원하여 저수지의 수질을 개선하고 있음

- (지정요건) 총 저수용량이 1천만^{m³} 이상, 오염 정도가 기준을 초과하는 경우
(농업용저수지 4등급, 기타 3등급), 환경부장관이 해당 수계의 수질보전을 위해 필요하다고 인정하는 경우
- (달성목표) 관광레저형(생활용수 및 관광레저 기능, COD 4.0 mg/L 이하), 수변휴양형
(수변휴양 기능, COD 5.0 mg/L 이하), 기존목적 이용(농업용수 기능, COD 8.0 mg/L 이하)
- (개선계획) 수면관리자와 관할 시·도지사가 공동 마련
- (예산편성·지원) 하수처리사업, 생태하천복원사업, 비점오염저감사업, 공단폐수처리사업,
가축분뇨처리사업, 호외 오염물질 저감대책 등을 우선적으로 편성 및 지원
(원칙적으로 5년)
- (사업관리 및 평가) 사업추진 상황, 수질 및 수생태계 변화 모니터링, 수질개선정도,
주민만족도 등 자체 사업평가(지자체 수면관리자, 지정연도 ~ 사업종료 후 3년)

3.1.1 감돈저수지

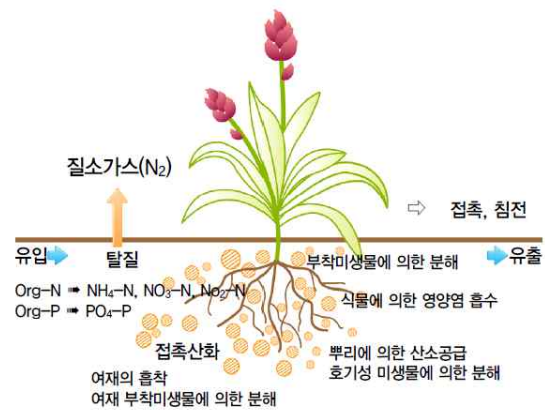
- 감돈저수지 수질개선시범사업은 2001년도에 착공되고, 2003년도에 준공되었는데, 전라
남도 무안군 몽탄면(저수량 1,667천^{m³}, 수혜면적 384ha)에 위치하고 있음. 수질정화시
설로는 지표흐름형 인공습지 2개소(5.2ha), 침강지 2개소(13ha) 등이 있음



[그림 3.7] 감돈저수지 전경

자료 : 농업용수 수질개선사업, RRI포커스, 20, 2013

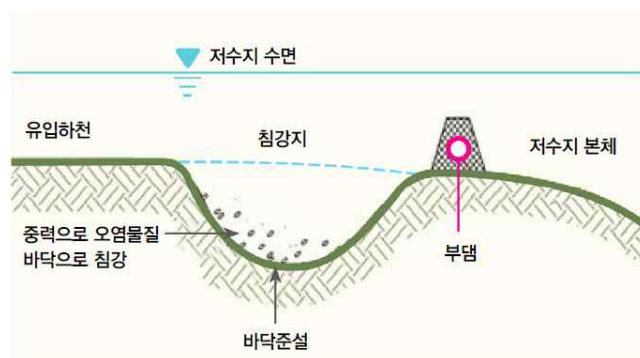
- 감돈저수지에 조성된 지표흐름형 인공습지는 갈대 등의 수생식물이 성장하도록 인공적으로 습지를 조성하여 오염된 하천수나 호소수를 인공습지의 지표면을 통해 흘려보냄으로써 식물에 의한 흡수, 미생물에 의한 분해·흡수, 식생대에 의한 점착·침전·여과 등의 자연정화기능을 이용한 수질개선공법임



[그림 3.8] 감돈저수지 지표흐름 인공습지 전경 및 수질정화 모식도

자료 : 농업용수 수질개선사업, RRI포커스, 20, 2013

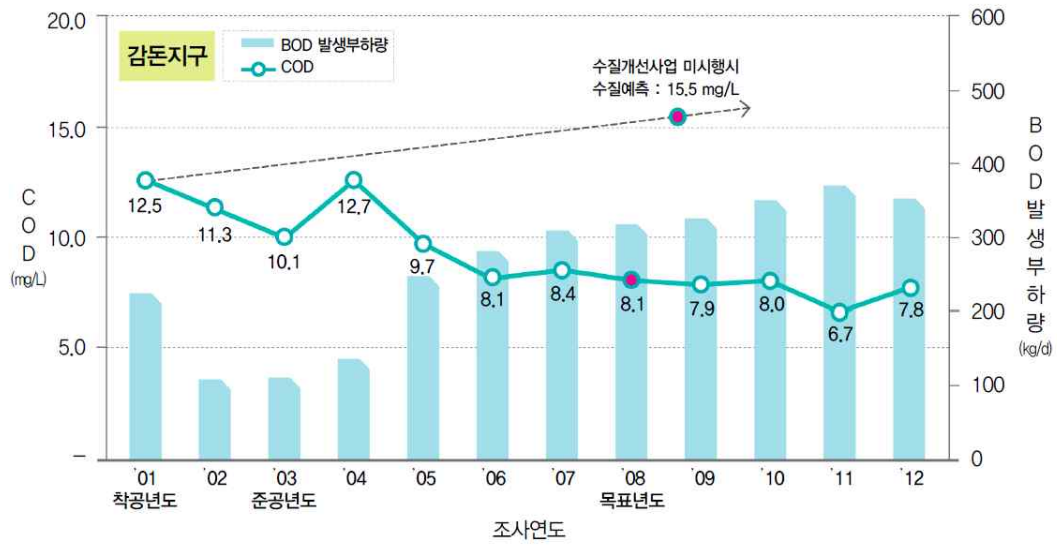
- 침강지는 저수지 유입부에 부땀을 설치하고, 바닥을 준설하여 용적을 크게 함으로써 유속을 저하시켜 중력에 의해 오염물질이 가라앉게 하는 방법임



[그림 3.9] 감돈저수지 침강지 전경 및 수질정화 모식도

자료 : 농업용수 수질개선사업, RRI포커스, 20, 2013

- 오랜 기간 운영되고 있는 감돈저수지 수질개선시설은 모든 수질항목이 안정적이고 높은 수질정화효율을 유지하고 있으며, 2009년부터 목표수질인 COD 8.0 mg/L 이하를 달성하였음



[그림 3.10] 감돈저수지 발생부하량 및 연도별 수질변화

자료 : 농업용수 수질개선사업, RRI포커스, 20, 2013

3.1.2 흥동저수지

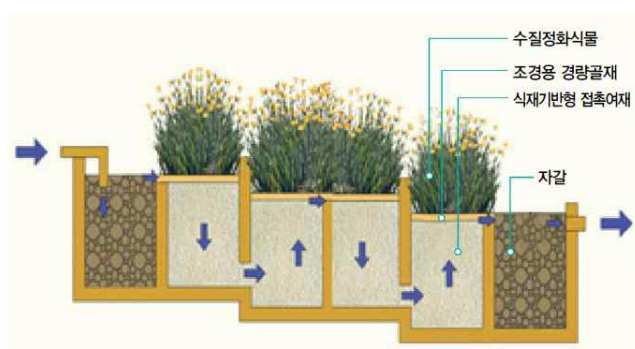
- 흥동저수지 수질개선시범사업은 2007년도에 착공되고, 2009년도에 준공되어 4년째 운영되고 있으며, 충청남도 홍성군 장곡면(저수량 795천 m^3 , 수혜면적 232ha)에 위치하고 있음
- 수질정화시설로는 수질정화습지(지표흐름형 인공습지, 고효율 인공습지) 3개소(5.3ha), 침강지 3개소(3.9ha), 인공식물섬 1개소($A=400m^2$)임
- 흥동저수지 수질정화시설은 감돈저수지에 비해 고효율 인공습지와 인공식물섬이 추가되었는데, 고효율 인공습지는 인근 마을의 생활하수와 축산폐수가 섞여 들어오기 때문에 오염도가 높은 물을 정화하기 위하여, 인공식물섬은 침강지의 수질을 정화하기 위하여 설치되었음



[그림 3.11] 홍동저수지 전경

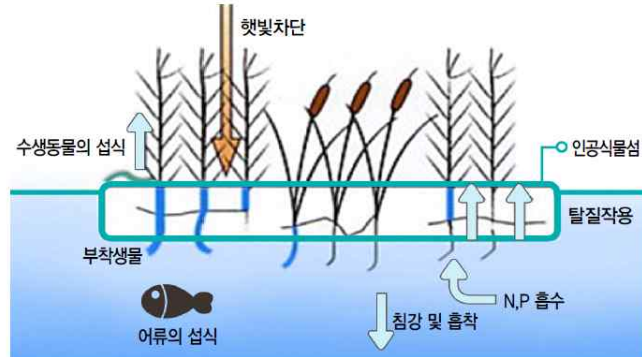
자료 : 농업용수 수질개선사업, RRI포커스, 20, 2013

- 고효율 인공습지는 한국농어촌공사에서 개발하여 특허를 취득한 공법으로 수질개선효율을 높이기 위하여 습지 바닥을 계단형으로 한 것이 특징이며, 오염된 물이 습지 안에 채운 자갈, 세라믹 등의 재료(접촉여재) 사이를 흘러가면서 접촉침전, 미생물에 의한 정화, 식물에 의한 흡수 등에 의해 수질이 정화되는 공법임



[그림 3.12] 홍동저수지 고효율 인공습지 전경 및 수질정화 모식도

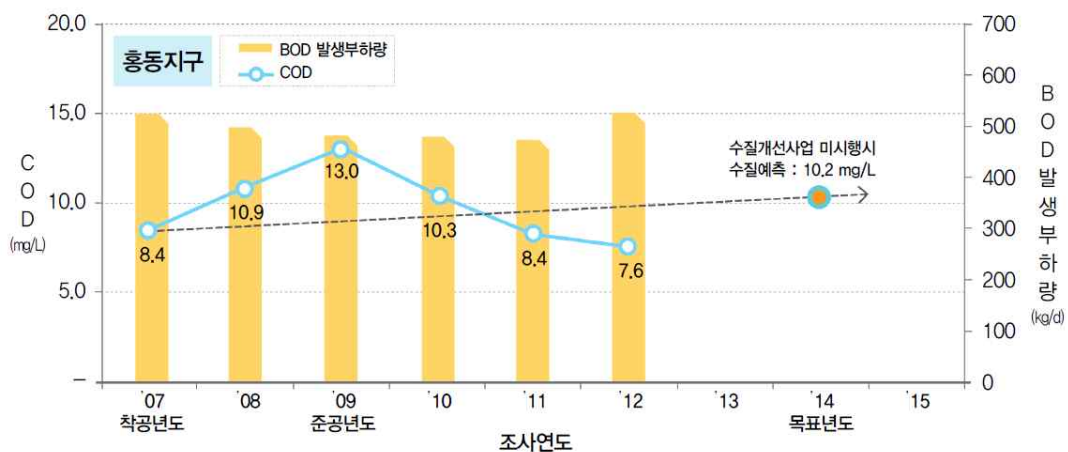
자료 : 농업용수 수질개선사업, RRI포커스, 20, 2013



[그림 3.13] 홍동저수지 인공식물섬 전경 및 수질정화 모식도

자료 : 농업용수 수질개선사업, RRI포커스, 20, 2013

- 물에서 뜨는 인공부체 위에 수생식물을 식재하여 식물이 질소, 인 등의 영양염류를 흡수 하게 하여 호소의 수질을 개선하는 공법인데, 각종 수생생물의 서식공간 제공, 호소 경관개선, 호안침식 방지 등의 기능도 갖고 있음
- 홍동저수지 수질개선시설은 안정적이고 높은 수질정화효율을 보이고 있으며, 수질개선 시설 운영 이후 홍동저수지의 수질이 지속적으로 개선되어 2012년도에 COD가 7.6 mg/L로 낮아짐으로써 목표수질인 8.0 mg/L 이하를 만족하였음

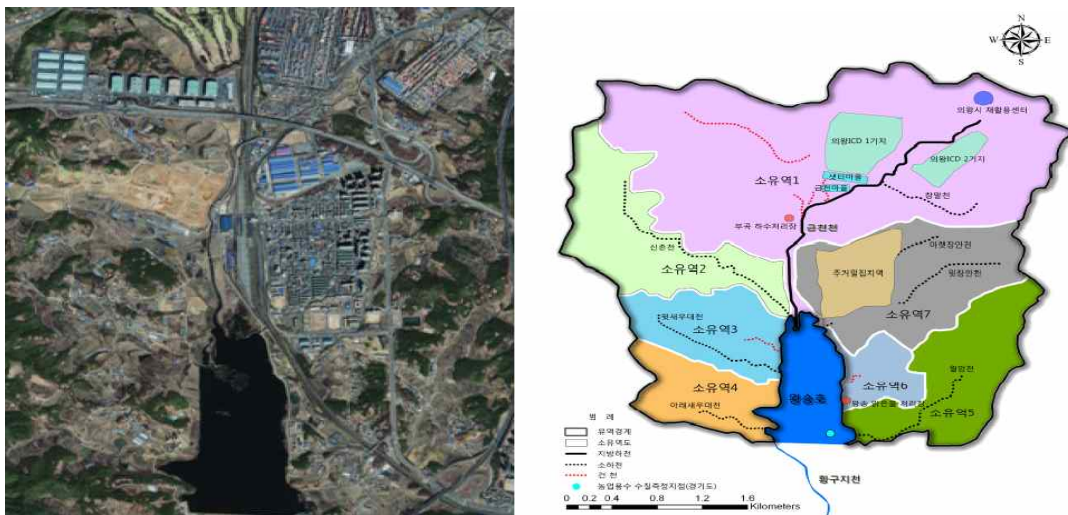


[그림 3.14] 홍동저수지 발생부하량 및 연도별 수질변화

자료 : 농업용수 수질개선사업, RRI포커스, 20, 2013

3.1.3 왕송저수지

- 왕송저수지는 1944년 착공하여 1948년에 조성된 호소로 7개의 소유역으로 구분됨. 호소 북쪽으로 의왕ICD 1,2단지, 군포시 복합물류단지 등이 위치하고 동쪽으로 자연학습공원, 철도박물관, 수변으로 농경지와 가옥들이 산재되어 있으며, 소유역7은 주거밀집지역으로 호소에 인접해 있음
- 왕송저수지는 유역면적 1,555ha, 만수면적 83.6ha, 관개면적 416.1ha, 저수량 2,079 천 m³, 평균수심 2.5m, 제당 연장 640m, 제당 높이 8m의 규모임
- 왕송저수지의 체류일수는 49일로 물 순환주기는 연 7.5회 정도로 낮으며, 저수율 감소로 인해 수위가 낮아지는 시기에는 바람에 의한 퇴적물의 재부유와 녹조발생 등 부영양화에 의한 수질오염에 취약한 구조를 가지고 있음
- 여수토시설의 안전한 홍수배제능력을 확보하기 위해 배수문이 설치된 상태로 계획홍수위는 만수시의 표고에 일류수심을 더한 EL. 41.41m이며, 호소 전체의 평균수심은 2.5m 정도로 낮음. 또한, 왕송저수지의 체류일수는 49일로 물 순환주기는 연 7.5회 정도로 낮으며, 저수율 감소로 인해 수위가 낮아지는 시기에는 바람에 의한 퇴적물의 재부유와 녹조발생 등 부영양화에 의한 수질오염에 취약한 구조를 가지고 있음



[그림 3.15] 왕송저수지 전경 및 소유역

자료 : 경기개발연구원, 왕송호소 수질개선 및 관리대안 연구, 2011

- 왕송호의 수질개선 사업은 비점오염원 저감을 위한 도로의 초기우수 처리를 위한 600톤 규모의 저류지 및 인공습지를 왕송호 주변 오염원을 중심으로 조성하였으며, 향후 왕송호의 친수 및 레저활동 활용을 고려한 수질개선 계획을 수행하였음

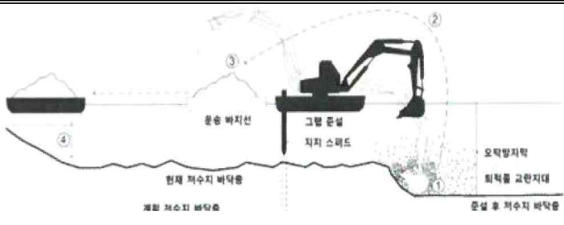
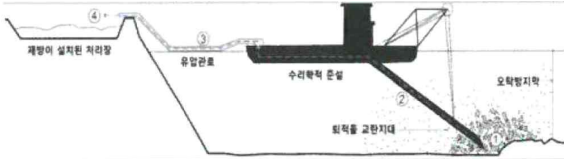
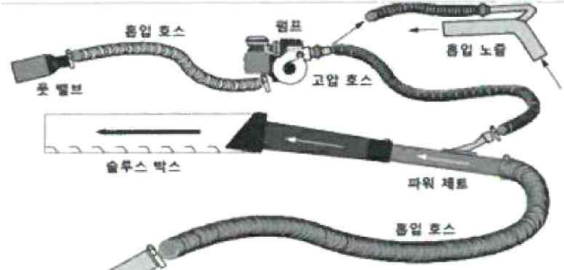
3.3 저수지 수질개선 공법 검토

3.3.1 물리적 공법

1) 준설

- 오랜 시간 외부로부터 오염물질이 유입된 호소의 퇴적층에는 많은 인이 포함되어 있고, 호소내 인 순환에 중요한 역할을 함
- 따라서, 호소내의 유기물 및 영양염 농도가 높은 퇴적물을 호소 밖으로 퇴출시킴으로써 수질 개선을 도모함
- 현재 상용되는 일반 기술은 호소의 물을 모두 배제시킨 후 중장비를 투입하여 시행하는 방법과 준설선을 이용하는 방법이 있음. 전자는 수심이 얇고 작은 호소에만 그 적용이 가능하지만 중장비 및 준설퇴적물의 운송을 위한 트럭 등이 용이한 지점에서만 시행이 가능하고 호소의 생태계를 전혀 고려하지 않는 공법임
- 최근에는 흡입식 준설기술이 많이 적용되고 있는데 이는 준설 시 저수지의 물을 배제시키지 않아도 되고 수층의 교란이 거의 없어 친환경적임
- 준설공법은 현 퇴적층에서 용출되는 영양염이 수질에 영향을 주는 호소에서 효과가 크며, 수심 증가와 독성물질을 제거하고 수생식물의 성장을 조절할 수 있는 장점이 있음
- 그러나 저서생물, 준설토 처리를 위한 처분지를 확보해야 하고, 저질의 성상 및 유기물 영양염 함유량을 파악해서 준설의 구역이나 심도 결정해야함. 또한 준설에 의한 교란으로 영양염 용출량이 증가하여 일시적으로 수질이 악화되며, 준설시 퇴적층 내에 있던 독성물질이 용출되어 확산 될 수 있는 단점이 있음
- 따라서 준설 공법의 적용은 내부 부하에 의한 수질악화가 우려되는 호소나 수심이 얇고 비교적 규모가 작으며 준설장비의 운반이 용이한 호소가 효과적임
- 준설공법이 적용된 사례로는 실성저수지(경기도 이천시), 기흥저수지(경기도 용인시), 둔전저수지(전남 진도군), 하빈저수지(경북 칠곡군) 등이 있음

[표 3.1] 준설 공법의 종류

구분	내용	
기계식 준설	제한된 장소에서 작업을 시행, 호안 부근의 공사 준설 장소와 가까운 곳에 준설토를 적치 탁수가 심하고, 시공후 저수지 바닥면이 불균등	
수리학적 준설	작은 담수호에는 사용하기 어려움 응집성이 큰 저수지 퇴적물에 성공적으로 사용	
공기흡입식 준설	재부상을 최소화할 필요가 있는 미세한 퇴적물의 준설을 위해 사용 기존의 준설 방식보다 3배 이상의 고형물 함량 증가 또는 수분함량의 감소	

2) 희석수

- 오염된 호소에 물을 혼합함으로써 영양염류의 농도를 낮추고 유량증가에 의해 호소수의 순환을 촉진시키고, 체류시간을 감소시키는 방법
- 희석수로 물의 사용이 가능하다면 상대적으로 적은 비용이 소요되고, 제한 영양염류를 줄일수록 효과가 매우 빠르며 희석수의 영양염류 농도가 낮지 않더라도 물리적으로 조류를 제어할 수 있지만 방류수 증가에 따른 하류의 영향을 고려해야 함
- 희석수를 사용할 경우 호소수의 순환 촉진, 교환율의 변화에 의한 수질정화, 영양염류의 농도 저하, 호소수의 체류시간 단축, 식물플랑크톤, 영양염을 유출시킴으로써 호소내 생물량을 억제시키는 효과가 있음
- 그러나 희석수의 수량이 적을 경우 정화효과가 감소하여 수원이 부족한 국내 대부분의 저수지에 적용은 곤란하며, 희석수 공급을 위한 도수로 설치를 위한 용지의 확보, 홍수시 치수 대책 등을 고려하여야 함
- 희석수를 사용할 수 있는 수원이 인근에 위치하는 호소나 보전가치가 있는 호소를 대상으로 고려할 수 있음

3) 선택방류

- 호소내에서 수온 또는 염분에 의해 성층 형성시, 부유물질의 수직분포의 차가 있는 경우, 수괴를 선택하여 방류하는 방법
- 시설, 장치로서 특수시공, 수리조건에 따른 선택게이트의 운용이 필요하고 통상의 댐 관리 운용에 대응이 가능함
- 그러나 방류수 수온 및 수질 변화로 인해 하류수역에 미칠 수 있는 영향을 고려한 게이트의 운영 필요하고 평수기에는 저류량이 부족하여 운영이 곤란한 경우가 있음
- 선택방류는 호소면적이 적고 수심이 깊은 경우, 호소 수질, 생물의 연직 분포차가 크고 성층이 형성된 경우, 게이트 조작이나 펌프에 의한 선택취수가 용이한 경우, 그리고 집중 강우시 유입되는 탁류가 수질 악화를 야기하거나 도수 후 방류장소가 가까운 호소에 적용이 가능함
- 국내 저수지는 선택방류가 어려운 형태를 가지고 있음
- 횡성댐(강원도 횡성군), 임하댐(경북 안동시), 사메우라댐(일본 고치현), 히토츠세댐(일본 미야자키현)에서 이용하고 있음

4) 수위조절

- 호소에서 물을 강제로 배수하여 수위를 일시적으로 낮추어 어류, 수생식물의 침전물 등을 제거하는 방법
- 다른 수질개선방법을 병행하면 처리비용을 줄일 수 있으나 장기간 낮은 수위를 유지하거나 생물과 침전물의 화학적 변화로 부정적인 효과가 발생 가능함
- Siphon이 필요하기 때문에 자연호에서 적용하기에는 어려우며, 배수시 수온의 변화로 냉수성 어종 등의 생물상 변화가 일어날 수 있음
- 수생식물이 과밀되어 있으며, 수질에 문제가 되는 저수지에서 적용이 가능함

5) 수초제거

- 수초는 분해시 용존산소를 감소시켜 어류폐사를 유발할 수 있으므로 겨울에 수초를 인위적으로 제거하여 수초의 분해를 감소시킴으로써 용존산소 감소를 막고 용출될 영양염류를 사전에 차단하는 방법

- 제거선이나 인력을 동원하여 수초를 제거하며, 수심이 낮은 지역이나 물고기가 산란하는 장소 등에서는 직접 손으로 수초를 제거할 수 있음
- 유해한 식물의 뿌리 및 줄기를 제거, 선택적인 수초 제거, 군집밀도가 높을때는 잠수부를 이용하여 제거함
- 수위조절과 조건이 동일한 호소에서 적용이 가능함

6) 조류제거

- 호소에서 발생한 조류를 제거선을 사용하여 제거한 후 농축, 건조, 소각 등에 의해 수질개선을 이루는 방법
- 조류를 제거함으로써 궁극적인 영양염류 제거가 가능한 방법으로 농축은 원심분리식, 가압부상식, 여과식 등이 있음
- 조류제거 전에 호소 내 조류의 수직·수평분포 특성, 계절적 발생 특성 등을 파악하여야 하며, 조류제거선과 처리장치를 조합함
- 최종처리 단계에서 악취가 발생하면 고온소각 및 탈취대책이 필요하며, 작은 크기 또는 국소적으로 조류가 발생된 호소를 대상으로 적용함

7) 퇴적물 피복

- 유기물이나 영양염의 용출부하가 큰 퇴적층에서 화학적으로 안정한 물질로 저질을 피복하여 퇴적층으로부터의 영양염 용출을 억제하는 방법
- 피복물질로서 플라스틱, 모래, 자갈, 진흙 등은 구입이 용이한 반면 효율성이 떨어지며, 정수식물이 성장할 수 있는 매질로 이용하기 위해 무기토양을 사용할 수도 있지만 피복하기 전 슬러지의 준설 또는 수생식물의 제거가 필요함
- 독성물질이 용출되지 않고 호소가 작은 곳에서는 피복효과가 크며, 퇴적층에 설치하므로 경관훼손이 없는 장점이 있음
- 그러나 경제성이 낮아 수표면이 넓은 호소나 바닥에 방해물이 있는 곳에서는 용이하지 않으며, 차단재가 빛에 의해서 분해될 수 있고 피복과정에서 손상될 수 있음. 또한 피복재에 유해물질이 포함되어 있는 경우 2차 오염의 우려가 있으며, 저서생물의 환경변화로 군집변화가 불가피한 단점이 있음

- 퇴적물 관리가 필요한 저수지에 적용가능하며, 주문진항(강원도 강릉시), 굴양식장(경남 통영시)에 적용된 사례가 있음

8) 인공순환/폭기

가) 심층폭기

- 성층이 형성된 호소 심층에서 성층을 파괴하지 않고 산소를 주입하여 무산소 상태를 호기성 상태로 전환시킴으로써 생물 서식공간의 확보와 인용출을 억제함
- 심층수를 호수가로 펌핑하여 폭기 후 심층으로 반송함으로써 심층의 수온증가를 최소화하는 mechanical agitation, 순수 산소만을 주입하는 pure oxygen injection, 공기를 주입하는 injection of air 공법이 있으며 공기주입법이 가장 널리 사용됨
- 인이 퇴적물로부터 수체로 용출되는 것을 방지하고 철 성분과의 공침으로 수체내 인의 침강성이 증대됨으로써 생물서식지가 확대됨
- 수심이 12~15m 이상에서 적용 가능하며, 포기량이 너무 과도하면 심층수가 표층으로 상승할 우려가 있으므로 심층의 최대 부피 및 심층 산소소비 비율을 산정하여 적절한 aerator를 결정해야 하며, 충분한 산소공급을 위한 air-flow rate를 계산함
- 철이나 알루미늄과 같은 응집제를 투여하면 인을 불활성화 시키는데 매우 효과적임
- 수심이 깊고 여름철 심층 무산소층이 형성되는 내부부하가 큰 호소에 적용 가능함

나) 전층폭기

- 간헐식 공기양수관을 통해 심층수를 양수해서 호소 내 전층을 순환시키는 방법으로 수온약층을 파괴하고, 저층수의 용존산소 개선효과에 의한 퇴적층으로 부터의 인 용출을 억제함
- 혼합층 수심의 증가로 유광대 아래까지 식물성 플랑크톤을 이동시켜 광 이용도를 낮추어 줌으로써 식물성 플랑크톤의 성장을 억제함
- 포기시설(콤프레샤, 송기관, 산기장치 등)이 소요되어 항시 다량의 전력에너지를 필요로 함
- 광합성에 이용될 수 있는 빛이 제한되고 정수압이 급속하게 변하며, CO₂ 농도와 pH 변화 등으로 조류의 천이가 일어나고 생체량이 감소할 수 있으며, 표층에서 조류 스컴을 완화시키는 등 정화효과가 있음

- 포기시 여름철 표층수온이 낮아질 수 있기 때문에 표층수를 방류하는 댐에서는 하류의 수온저하에 의한 영향을 고려해야 함
- 퇴적물 부상에 의한 영양염이 표층으로 이동하여 탁도가 증가하거나 성층파괴에 의한 심층수온 상승에 따른 퇴적층에서의 영양염 용출이 될 수 있는 단점이 있으므로 혼합에 따른 수온차이는 3°C 이하로 유지하여야 함
- 부적절한 폭기 장치를 설치하거나 위치선평이 잘못되면 조류의 대량번식 및 심층의 수온증가로 냉수어종의 서식지가 제한될 수 있음
- 여름철 남조류가 우점하는 수심이 깊은 호소, 내부부하가 작은 호소(수층혼합에 의한 심층에서의 인 공급이 적은 호소) 등에 적용 가능하며, 칠성저수지(충북 괴산군), 덕곡저수지(경남 밀양시), 부남호(충남 태안군)에 적용된 사례가 있음

3.3.2 화학적 공법

1) 산화

- 오존, 과산화수소 등을 사용하여 OH· 라디칼 등의 산화성 물질을 생성시킴으로써 수중의 난분해성 물질을 분해시키고 세균 및 조류를 사멸시키는 공법
- 에너지 효율성이 좋으며 설치면적이 적고 처리용량의 변경이 자유로움
- 잉여오존에 의한 냄새 발생 우려가 있으며, 설비구성이 비교적 많으며 고전압이 필요함
- 용존된 오존의 농도가 일정 농도 이상이 되면 오존발생농도를 줄여주거나 오존발생기를 바이패스하여 산소만을 주입하거나 수평분사기를 설치하여 산화성 물질의 확산을 촉진하고 정체된 저수지의 물순환을 도모하여야 함
- 왕송저수지(경기도 수원시), 대청호 상류에 적용되었음

2) 초음파

- 초음파가 남조류의 기낭을 파괴하여 부력조절 능력을 상실하게 함으로써 광합성을 차단하고 남조류 성장을 억제함
- 물을 순환시켜 초음파 발생기의 방향성을 보완해주고 처리범위를 넓혀주는 수중펌프와 병행을 하여 사용함

- 녹조 발생수역에 설치하여 단독처리를 하거나 조류제거선에 부착하여 사용할 수 있으며, 녹조발생 이전에 사전 예방조치로도 활용이 가능함
- 수생태계에 특별한 위해가 없는 방법이며, 장치설치가 간단함
- Microcystin-LR(MC-LR) 독소의 생화학적인 활성시간을 빠른 시간내에 감퇴시킴
- MC-LR의 독소를 제거하여 남세균의 대발생을 억제시키는데 효과적임
- 수심이 깊지 않고 투명도가 높아 광합성 차단 효과를 기대하기 어려운 호소에 적용가능하며, 귀염저수지(제주시 애월읍)에 적용된 사례가 있음

3) 이동식 가압부상

- 저수지내 수면에 대량으로 증식한 조류를 분리·농축함
- 미세기포를 수중에 분사하여 미세기포와 함께 오염물질 및 조류가 부상되고 응집 부상된 조류 및 오염물질을 슬러지 웅스로 농축시킨 다음 부유물질을 수거함
- 조류발생 지역으로 이동, 긴급대처가 가능하고 조류를 수계외부로 배출시키며 장비의 설치 면적이 작고 다른 장소로의 이동이 용이함
- 대용량화에 한계성 및 슬러지 처리대책 요구되며 주변환경 및 기상여건에 영향이 큼. 수질개선범위가 작아 전체 수면에 대한 처리가 어려우며, 유속이 있거나 수체의 pH가 높을 시 처리효율이 저감됨
- 녹조현상 등 조류의 대량발생 혹은 사멸에 의한 수질오염, 악취발생, 혐오감 유발 등의 문제를 일으키고 있는 경우이거나 발생한 조류가 바람 등에 의해 저수지내 특정구역으로 고농도로 집적되어 처리가 용이한 경우 적용 가능성이 높음
- 버들저수지(경기도 화성시), 라성저수지(전북 고창군), 연지저수지(경남 창원군)에 적용된 사례가 있음

4) 고정식 가압부상

- 미세기포와 응집제를 이용하여 조류를 부상시킨 후 수거, 농축처리 후 폐기함
- 조류제거에 효과적이고 대용량화가 가능하고 일정한 오염물질 및 조류제거량을 보장하며 지속적인 수질개선 효과를 보이는 장점이 있으나 시설부지 확보가 필요하며 시설이동이 곤란함. 또한 슬러지 처리대책이 요구되며 취수범위가 제한적으로 전체 수면에 대한 처리가 어려운 단점이 있음

- 조류의 대량발생 혹은 사멸에 의한 수질오염, 악취발생, 혐오감 유발 등의 문제를 일으키고 있는 경우, 발생한 조류가 바람 등에 의해 저수지내 특정구역으로 고농도로 집적되어 처리가 용이한 경우, 그리고 육상에 시설설치를 위한 소요면적이 확보되는 경우에 적합함
- 대청호에 적용된 사례가 있음

5) 응집침전공법

- 화학응집제는 정수처리 공정에서 탁도를 제거하기 위하여 사용함
- 응집제(황토 AI염, Fe염, 천연응집제 등)를 첨가하여 TSS 및 용해성 인을 침전·제거하고, 퇴적물로부터의 용출량을 삭감하므로 호소내의 유기물 및 영양염 농도가 높은 퇴적물을 호소 밖으로 퇴출시켜 수질 개선을 도모함
- 호소내 철염 또는 알루미늄 등의 응집제를 투입하고 수중의 용존 무기인을 불용성 인산화합물로 응집 침전시키면서 동시에 인의 용출을 감소시킴
- 외국에서는 응집제를 저질로부터 용출되는 내부 인부하를 제어하기 위해 사용하는데, 스웨덴 Langin호에서 처음 시도되었고 호소의 체류시간이 길어 효과가 2년 이상 유지되는 것으로 알려져 있음
- 미국과 캐나다에서는 전문적으로 호수에 응집제를 투입하는 시스템을 개발하여 적용하고 있으나 국내의 경우 응집제를 호수에 직접 투여하는 기법이 활용되지 않고 있음
- 저질층 인 용출이 심한 오래된 호소, 농업용 저수지에 적용 가능하며, 풍암저수지(광주광역시), 경희루지(서울시), 산호저수지(경북 군위군), 월림저수지(충북 제천시) 등에서 시험적으로 적용된 사례가 있음

3.3.3 식생/생물학적 공법

1) 인공식물섬

- 인공부채 위에 수생식물의 식재하여 식물의 영양염류 섭취를 통해 저수지의 수질을 개선함
- 햇빛차단에 따른 조류 성장 제어효과가 있고 친환경적이며, 경관개선 및 수중 생태계 보전 등의 간접적인 효과가 있음

- 그러나 식생관리가 필요하며, 수질개선 범위가 제한적임. 인공식물섬은 구조물이 부식에 강한 재질로 구성되어야 하며, frame은 견고하고 부체는 가벼워야 함. 특히, 구조물은 주위경관과 조화를 이루면서 안전한 구조를 갖추어야 함
- 팔당호(경기도 남양주시), 만운저수지(경북 안동시), 감돈저수지(전남 무안군), 왕궁저수지(전북 익산시), 대청호, 신희저수지(충남 아산시), 천수만(충남 서산시) 등 적용사례가 많음



<인공식물섬 설치 모습(대청호, 천수만)>

2) 생물조절

- 수생태계 생물 간의 포식관계를 이용해 수질을 개선하는 방법으로 어류를 이용하여 수체내 동·식물성 플랑크톤 및 수생식물을 제거함
- 육식성 어류(piscivores)를 투입하여 플랑크톤식 어류(planktivores)를 감소시켜 동물성 플랑크톤 밀도를 증가시킴으로써 조류밀도를 감소시키는 방법(trophic cascade 기법)
- 조류발생 호소에서 주로 가장 높은 단계의 소비자를 조작하는 것으로 작고 얇은 폐쇄성 수역에서 효과적인 방법으로 생태계의 특성(먹이관계, 환경요인 등)을 충분히 이해하여야 함
- 작은 치어를 섭식하는 어류가 대량으로 서식하는 호소에 적용 효과가 높으며, 수질이 양호하면 여름보다는 봄에 조류발생이 많은 호소에 효과적임
- 전대저수지(충남 당진시), 경안천 하류에 적용사례가 있음

3) 미생물공법

- 미생물을 통하여 미생물의 신진대사와 미생물 합성의 과정을 통해 수체내 유기물 및 영양염류를 섭취·분해하여 전체 수역의 수질을 개선함
- 미생물은 자체적인 증식을 통하여 지속적인 수질정화를 유도함으로써 저수지의 자정효과를 유도하는 것으로 친환경적이며, 단기간 수질개선 효과를 볼 수 있음
- 그러나 미생물에 대한 최적의 성장조건을 맞추기 어렵고 검증되지 않은 미생물로 인한 수생태계 교란이 우려되는 단점이 있으므로 현장여건 변화에 민감하여 수질개선 효과를 보증하기 어려움
- 미생물 종류에 따라 안정성과 적응성이 달라질 수 있으므로 저수지내에 직접 운전할 경우에는 익사 등 안전사고에 유의하여야 함
- 생태습지(서울시 성동구), 서량저수지(경기도 오산시)에 적용사례 있음

3.3.4 물리·화학·생물학적 공법

1) 인공습지

- 물리적, 화학적, 생물학적 작용이 독립적 또는 복합적인 과정을 통하여 수질을 개선하는 것으로 침강, 화학적 응집, 흡착, 미생물 반응(BOD, 질소) 및 식물 흡수가 이루어짐
- 비점오염원 처리에 효과적이며, 질소, 인 등 영양염류의 제거가 우수하고 수량과 수질의 변동에도 안정적 대응이 가능함
- 유지관리가 비교적 쉬우며, 생물서식지, 레크레이션 및 자연학습 등으로 활용 가능함
- 넓은 부지면적 및 식물에 대한 유지관리가 필요하고 단기적 수질개선 효과와 동절기 정화효과가 낮으며, 장기간 운영시 퇴적으로 인한 기능저하와 모기 등의 해충 피해가 있는 단점이 있음
- 또한 자연조건에 따라 적용상의 제약이 있을 수 있음. 유기물의 경우에는 COD 10 mg/L 이하에 대해서는 수처리 효율의 변화가 심함
- 석문습지(충남 당진시), 인공습지(충남 공주시), 인공습지(충남 논산시), 강운유수지(경기도 남양주시), 인공습지(경기도 이천시) 등에 적용사례 있음

2) 수로형 인공습지

- 수로형 인공습지는 농수로 또는 관거형 수로를 이용한 효율적인 정화방법으로 상부에는 식물을 식재하고 그 밑에 끈상접촉재를 매달아 정화효과를 높인 습지공법으로 기존 및 신설 수로에 설치할 수 있어 활용범위가 크고, 경관창출 효과가 좋다는 장점이 있음
- 사례지역으로는 아산시 신희저수지, 금산군 남이휴양림 등이 있음



<수로형 인공습지 설치 모습(아산시 신희저수지, 금산군 남이휴양림)>

3) 침강지

- 입자성 오염물질을 침강시키는 일차적인 물리적 처리와 침강지내에서 생물·화학적 작용에 의해 오염물질을 처리하는 방법
- 비점오염원 처리에 효과적이며, 기존 유역 수질정화 시설의 추가 대안으로 고려됨
- 수질정화 및 홍수조절에 유리한 장점이 있으나 상대적으로 넓은 부지가 필요하며 용존성 오염물질의 제거효율이 낮고 주기적인 침강지 내 침전물 제거가 필요함
- 침투용수 제어를 병행하면 치수효과도 기대가 가능하며, 침강지 내의 사수역방지 등 수류의 흐름을 개선하기 위한 중도나 정류벽의 설치를 권장함
- 마산저수지(충남 아산시), 감돈저수지(전남 무안군)에 적용사례 있음

3.3.5 저수지 수질개선 공법의 요약

- 호소 유입부 및 호내 수질개선 공법 및 관리기술을 요약하면 [그림 3.16]과 같음
- 호내 및 호외 수질개선 공법, 수변 공간활용 공법의 종류와 특성을 [표 3.2] ~ [표 3.4]에 요약하였음



[그림 3.16] 호소 수질개선 공법 및 관리 기술

[표 3.2] 호내 수질개선공법의 종류 및 특성 요약

분류	공법	처리원리	출처	설계요소	장점	단점
이동식 가압 부상	현장 가압 부상	오염수역의 물을 이온수류 미세기 포로 전환, 수중에 분사하여 수중 오염물질을 수면 위로 부상시키는 직접정화공법	- 기술특허 - 설계도서 - 연지저수지 단기수질 개선대책 보고서	- 부상조 - 미세기포 발생장치	- 조류 제거에 효과적 - 즉각적인 수질개선효과 - 장비의 설치 면적이 작고 다른 장소로 의 이동이 용이	- 대용량화에 한계 및 슬러지 처리대책 요구 - 주변환경 및 기상 여건에 영향이 큼 - 수질개선범위가 작아 전체 수면에 대한 처리가 어려움
고정식 가압 부상	고정식 가압 부상	응집 부상된 조류 및 오염 물질을 수거하여 물과 분리하여 농축시킨 후 폐기하거나 인근 하수처리장으로 이송 처리	- 대청호	- 유입펌프 - 반응조 - 부상 분리조 - 약품조	- 조류 제거에 효과 적이고 대용량화가 가능 - 조류를 수계 외부로 배출 - 일정한 오염물질 및 조류 제거량 보장 - 24시간 운영가능	- 시설부지 확보 필요, 시설이동이 곤란 - 슬러지 처리대책 요구 - 취수범위가 제한적 이므로 전체 수면에 대한 처리가 어려움
살포	응집 부상 공법	응집제의 응집력 으로 저층 조류 및 유기성 슬러 지를 응집시키 며, 기포에 의한 부상력으로 조류 및 슬러지를 부상시킴	- 기술특허 - 월림저수지 - 석촌호수	- 응집제의 종류 - 응집제 투입량 - 응집제 투입빈도	- 인의 정화효과 높음 - SS, 영양염류의 동시제거 가능 - 퇴적물로부터 영양염류 용출이 수질에 미치는 영향이 큰 경우 에 효과적 - 단기 수질개선에 효과가 좋음	- 침전슬러지의 처리 필요 - pH조정 필요 - 저서생물 영향 검토 필요 - 생태독성의 위험성과 2차오염의 문제점이 있으므로 수생태계 안정성 검토 필요 - 체류시간이 짧은 저수지의 경우 수질 개선 효과의 지속 시간이 짧음
	천연 이온 치환제	규산, 산화알루 미늄, 산화철, 산화마그네슘, 산화나트륨, 산화칼륨 등	- 도암댐 - 성당못			
	천연 고분자 및 광물질	키토산, 황토, 엘 반, 제오라이트, 벤토나이트, 실리카, 이산화티탄 등	- 기술특허			
	응집 침전	응집제(Fe염, Al 염) 등을 첨가해 서, SS 및 용해 성 인을 침전· 제거	- 석촌호			

[표 3.2] 호내 수질개선공법의 종류 및 특성 요약(계속)

분류	공법	처리원리	출처	설계요소	장점	단점
준설	퇴적물 준설	오염된 퇴적물을 준설하여 직접 제거, 영양염류 등 오염물질 용출을 억제하여 호 내부 생산 감소	- 신구저수지 - 오월저수지 - 탄도담수호		- 퇴적물에 의한 호 내부 생산이 큰 수체에 효과적임 - 수심의 증가 및 내부 체적 증가 등에 효과적	- 저서생물 영향 우려 - 퇴적층 표면의 교란으로 일시적 수질 악화 우려 - 준설방법에 따라 2차 오염이 있을 수 있으므로 이에 대한 대책 필요
	담수호의 침전슬러지 및 퇴적오니 제거시스템	담수호 바닥에 호퍼를 설치하고 배관을 연결해 하류부에 조질밸브를 설치하여 침전슬러지 및 퇴적오니를 제거함			- 침전된 오물 및 수생식물의 제거에 효과적	- 준설 후 재퇴적 방지가 중요
	복합 준설선 및 이를 이용한 준설공법	준설선에 백호를 탑재하고 굴삭된 슬러지 및 준설토를 직접 투입할 수 있는 호퍼 및 펌핑설비 설치		- 퇴적물 용출율 - 준설방법 - 오염심도 - 준설량 - 준설퇴적물 처리처분 방법	- 추운 지방의 경우 동절기 결빙에 따른 어류의 동사 방지를 위한 수심 확보	- 준설토의 처분을 위해 처분방법의 확립 및 충분한 용지 및 처분 방안의 확보가 필수적
	기저퇴적물 제거장치	준설부체 상단에 컴프레서를 설치하여 진공흡입관으로 기저퇴적물 흡입	- 기술특허			
퇴적물 피복	모래피복	퇴적물을 모래, 슬래그 등의 재료로 피복함으로써 영양염류 등의 용출 억제	- 국외사례	- 퇴적물 오염도 - 퇴적물 용출율 - 피복두께 - 피복재 종류	- 퇴적물에 의한 호 내부 생산이 큰 수체에 효과적임 - 영양염류 및 중금속 등의 오염물질 재용출 방지	- 시공이 어려움 - 저서생물 영향 우려 - 피복 후 재퇴적 방지가 중요
	플라이애쉬 피복					
	모래, 마사토 피복					

[표 3.2] 호내 수질개선공법의 종류 및 특성 요약(계속)

분류	공법	처리원리	출처	설계요소	장점	단점
인공 순환 /폭기	인공순환 /폭기	기계적인 에너지를 이용하여 호소의 수체를 순환시키거나 산소공급	- 덕곡, 칠성저수지 - 부남호	- 포기공기량 - 공기양수통 형상 - 토출량	- 수온약층 파괴에 의한 저층 용존산소의 개선효과가 높음 - 황화수소 등의 발생으로 인한 냄새 문제 제어 - 동절기 어류 폐사 방지	- 표층수 수온 저하 - 성층파괴에 의한 생태계 영향 - 저층수의 표층 이동에 의한 수질 악화 우려 - 동력 필요 - 지속적인 운영이 필요
	공기 혼입식 수류 발생장치	저수지 하부에 설치되어 수류를 강제로 발생시켜 저류수의 정체로 인한 수질악화를 방지하고 오염물의 산화 및 분해를 촉진시킴	- 기술특허			
	수질정화용 취송류 하강 유도장치	바람에너지를 이용하여 호소 표층의 용존산소를 저층으로 전달	- 기술특허 - 월랑, 수철, 신희, 상성, 용봉, 봉림 저수지			
	수류형성 및 미생물 서식매체를 활용한 정체수역 수질정화 장치	태양에너지를 이용하여 저층수를 표층으로 이송시켜 산소공급을 통한 중금속 및 영양염류의 용출을 통제함	- 기술특허			
	미세공기 혼합노즐을 이용한 하천수 정화장치	미세공기를 분사시키는 폭기에 의하여 수질을 개선시킴	- 기술특허			
인공 식물섬	인공식물섬	오염된 수체에 수생식물을 식재한 부체를 띄워 식물에 의한 영양염류 직접흡수와 햇빛차단에 의한 조류발생 억제	- 마산저수지 - 신거저수지 - 팔당호 - 백곡저수지	- 부력 - 부체재질 - 바람, 파고 - 식재식물	- 경관개선, 수중생태계 보전 등 간접적인 효과가 높음 - 유지관리 용이	- 유실 등 안전사고 대책 - 인공식물섬 자체에 의한 수질개선 효과 파악 곤란 - 수변의 굴곡 부 등 조류가 대량 발생하는 곳에 제한적 적용

[표 3.2] 호내 수질개선공법의 종류 및 특성 요약(계속)

분류	공법	처리원리	출처	설계요소	장점	단점
선택 방류	분리형 직선 다단 게이트	문비를 분리하여 고탁도수가 밀집 된 지점을 방류	- 설계도서	- 선택 취수량 - 취수구 표고	- 용이한 조작으로 수질개선효과 - 유지관리 용이 - 하류하천의 냉해 문제를 대비하여 표층 온수방류	- 저수량이 충분 할 때만 적용 가능 - 하류수역 수환경 영향 고려 필요
	정류판형 선택취수 설비	정류판을 설치 하여 전 구간에 걸쳐 선택방류	- 설계도서 - 기술특허			
	실린더형 선택취수 설비	여러겹으로 설치 된 원형파이프를 신축하여 전 구 간에 걸쳐 선택 방류	- 설계도서			
미생물	미생물	탄화수소화합물 (C_nH_n)은 미생물에 의한 대사과정에서 최종적으로 이산 화탄소(CO_2) 및 물(H_2O)로 전환	- 일월저수지 - 서울숲 생태연못 - 임압천	미생물제제	- 친환경적이며, 경제적임 - 단기간 수질개선 효과를 볼 수 있음	- 최적 성장조건 을 맞추기 어려움 - 검증되지 않은 미생물로 인한 수생태계 교란 우려
초음파	초음파	초음파가 남조류 의 기낭을 파괴 하여 부력 조절 능력을 상실	- 대청호	초음파 발생 기기	조류증식에 대한 사전 예방 효과가 있음	찾은 유지관리가 필요함
생물 제어	포식성 천적 생물을 이용한 녹조방지 기술	동물성 플랑크톤 을 수중에 분사하여 녹조의 원인이 되는 식물성 플랑크톤 을 포식시킴	- 전대저수지 - 경안천하류	- 배양장치 형태 및 규모, 설치위치 - 일조량	- 조류예방, 조류발생 대책으로 사용 가능 - 2차오염의 우려가 없음 - 국내 고착종을 도입하여 생물교란 위험이 없음 - 생태적으로 안전함 - 생태건강성 향상	- 타생물 혼입에 따른 성장장애 - 천적생물 군집 안정화에 많은 시간이 소요됨 - 강우기, 동절기 배양에 제약이 있음 - 초기 살포시 어류의 섭식 으로 인한 개체 수 감소

[표 3.3] 호외 수질개선공법의 종류 및 특성 요약

분류	공법	처리원리	출처	설계요소	장점	단점
우회수로	우회수로	유입부하가 큰 하천수를 by-pass시켜, 오수의 호내 유입을 방지	국외사례	- By-pass 수량 및 수질 - 수로의 길이 및 재료	대상수에 포함된 오염부하 전량 삭감 가능	- 유로전환에 의해 부하가 배출되는 곳에 영향을 미침 - 수로 혹은 매설관의 부설이 필요 - 저수지의 유입 수량이 감소
인공습지	수질정화습지	오염수를 습지를 통과시키면서 집적, 침전, 여과, 미생물 분해, 식물흡수, 토양 흡착 등의 작용에 의한 수질정화	- 감돈저수지 - 고훈담수호 - 마산저수지 - 석문담수호	- 체류시간 - 수심 - 습지 시스템 - 식재밀도 등	- 비점오염원 처리에 효과적임 - 질소, 인 등 영양염류의 제거가 우수함 - 수량과 수질의 변동에도 안정적 대응 - 유지관리가 비교적 쉬움 - 생물서식지, 레크레이션 및 자연학습 등으로 활용	- 넓은 부지면적 및 식물유지관리가 필요 - 단기 수질개선 효과와 동절기 정화효과가 낮음 - 장기간 운영시 퇴적으로 인한 기능저하 - 모기 등의 해충 피해
	자유수면형습지	저농도 고유량 처리에 주로 적용				
	상하흐름형습지	일반적인 인공습지 형태로 계단형으로 조성하여 사용부지를 최소화함				
침강지	On-line 침강지	유입수를 하도나호 유입부에 일시 체류시킴으로써 SS 등을 침전·제거하고 보조댐 월류부에서 포기 효과	- 감돈저수지 - 마산저수지	- 체류시간 - 수표면적 - 수심	- 비점오염원 처리에 효과적임 - 기존 유역의 수질정화 시설 갱신 대안	- 상대적으로 넓은 부지가 필요 - 용존성 오염물질의 제거효율이 낮음 - 주기적인 침강지 내 침전물 제거 필요
	Off-line 침강지	오염수를 체류지에 일시 체류시킴으로써 SS 등을 침전·제거	국외사례	- 수표면적 - 수심	- 수질정화 및 홍수 조절에 유리함	

[표 3.3] 호외 수질개선공법의 종류 및 특성 요약(계속)

분류	공법	처리원리	출처	설계요소	장점	단점
식생 여과	식생 여과대	유출속도를 지연 시켜 토사와 다른 오염물질을 여과 하는 방식으로 제거	경안천	- 집수면적 - 경사 - 수심 - 길이	- 불투수 지역으로 부터 발생하는 강우유출을 완화 - 토사와 오염물질 의 제거 - 불투수 지역으로 부터 발생하는 유출량과 유출 속도를 경감 - 지하수 충전효과	- 토사와 오염물질 제거효율이 여과 대의 경사와 식생 밀도에 의해 민감 - 경사도가 6%이하 인 소규모 지역에 만 적용이 가능 - 침적된 토사가 재부상하여 유출 될 가능성이 상존
	식생 수로	오염수를 식생 수로에 통과시키 면서 여과상을 통과하고 수로 바닥을 통하여 침투	경안천	- 집수면적 - 경사 - 수심 - 바닥 폭 - 수로 단면	- 강우유출수의 운송과 비점오염 물질 처리를 동시에 달성가능 - 경계석(또는 연석)을 갖춘 배수로 설치비용 과 비교하여 저렴 - 유출속도의 경감 으로 도랑이나 수로침식 방지	- 경계석을 갖춘 배수로보다 훨씬 많은 유지관리 필요 - 경사가 급한 곳에 는 적용 불가능 - 침적된 토사의 재부상 가능성 - 잠재적으로 위생 해충 문제가 발생 될 가능성이 큼 - 대수층 오염 가능성
	생물 포착지	오염수를 통과시 키면서 접촉, 침전, 여과, 미생물분해, 식물 흡수, 토양흡착 등 의 작용에 의한 수질정화	소규모 설치 사례 많음	- 집수면적 - 수표면적 - 수심	- 강우유출수는 수막흐름을 통하 여 처리구역에 유입되어 별도의 동력이 요구하지 않음 - 처리구역은 잔디 완충여과대, 연못, 멸칭대, 식물지지 토양, 그리고 식생으로 구성되어 생태적 으로 이점	- 현장 적용시 타당 성 판단기준 - 강우유출수 관리 목표 충족에 필요 한 생물포착기술 의 적합성 검토

[표 3.3] 호외 수질개선공법의 종류 및 특성 요약(계속)

분류	공법	처리원리	출처	설계요소	장점	단점
침투 시설	침투 도랑	강우유출량의 일부를 침투 도랑으로 유입 시킴으로써 비점 오염물질을 처리하고 지하수를 충전하여 기저유량을 유지하는 기능을 수행	- 용인시 - 이천시	- 유입구 - 유출구 - 비상용수로	- 지하수 충전효과가 매우 큼 - 투수성이 좋은 소규모 집수구역에 적합	- 잠재적으로 지하수를 오염시킬 가능성이 매우 큼 - 공극폐쇄로 인한 실패가능성이 매우 큼(미세한 점토입자가 발생할 가능성이 높은 지역에서는 설치를 지양) - 석회암 지역에서는 설치해서는 안됨 - 사전에 현장 보링 시험 필요
	침투 저류지	굴착이나 독을 쌓아 빗물을 차집하여 오염물질 제거	용인시	- 집수면적 - 침투속도 - 저류수심 - 배수시간	- 수질처리효율 대비 설치 비용이 비교적 저렴 - 직접유출 저감효과	- 토사퇴적으로 인한 유지관리 필요 - 투수율이 낮은 곳에는 적용 불가능
	침투 측구	빗물을 측면 및 바닥을 통하여 땅 속으로 침투시키는 구조	국외사례	- 측구 - 충전쇄석 - 모래 - 투수시트	도시 지역으로 부터 발생하는 오염물질 저감에 효과적임	- 측구의 뚜껑이나 연석의 파손 등은 교통사고의 원인이 됨 - 오물이나 토사의 퇴적이 발생함

[표 3.4] 수변 공간활용 공법의 종류 및 특성 요약

분류	공법	특징	출처
수생태 복원	생물 서식처	- 조류서식처 : 조류의 산란장소 및 은신처를 제공하기 위해 수변부에 수생식물 및 관목군락 등을 조성하고 먹이가 되는 식이식물을 식재 - 어류서식처 : 연쇄적인 생태계 먹이사슬구조를 형성할 수 있도록 어류의 먹이가 되는 곤충 및 양서류가 서식할 수 있는 다양한 수심의 습지 조성 - 양서류서식처 : 돌무더기, 나무더미 등의 다공질 공간을 조성하여 양서류의 은신처 및 서식처로 제공하며, 또한 양서류의 먹이가 되는 곤충류 서식처도 제공	- 길동자연생태공원 - 석촌호수
	법면 녹화	- 호소 주변의 법면 녹화로 인해 생태복원 및 주민들의 안전하고 편안한 여가활동 제공	- 수원천 복원사업 - 귀백저수지 - 상궁저수지
	어도	- 하천에서 서식하는 회유성 어류 등 수산생물의 이동을 원활히 하기 위하여 인공적으로 만들어진 수로 또는 장치 - 수산자원 보호령, 하천설계기준, 댐설계기준 등에 의해 설치 의무화	- 대청댐 - 탐진댐
	생태 습지	- 동·식물과 미생물에게 다양한 서식환경을 제공하며, 더불어 여가 공간 제공과 이와 연계된 심미적 안정 기능을 제공	- 주암호 - 주남저수지 - 금학생태공원
	생태 정화 식물섬	- 저수지나 호수, 강에 설치되어 부유된 상태에서 저수되거나 흐르는 물을 유입·유출시켜 자연생태적 정화를 효율적으로 수행하는 수질 정화시스템으로서 주변에 서식하는 조류들에 대한 비간접거리에서의 서식처 및 산란처, 휴식처 제공 - 미세공기를 분사시키는 폭기에 의하여 수질을 개선시킴	- 고려저수지 - 대평저수지

3.4 염수호 수질개선 공법 검토

- 일반적으로 염수의 담수화 기술은 역삼투법(RO)이 주류를 이루고 있는데 물리적인 염분처리로 인해 과다한 에너지가 소요되고 필터도 주기적으로 관리해야 하는 등 유지관리에 비용이 많이 소요됨
- 특히 수처리의 기본개념은 연중 쉬지 않고 공급하는 방법이 가장 효과적이지만 농업용수는 연중사용하지 않고 단기간에 많은 수량을 공급하기 때문에 일반적인 담수화 공정으로는 기술적으로 타당성이 부족함

- 특히 하천과 바다가 접해 있는 하구역에는 농경지가 매우 발달되어 있는데 강우부족으로 바다로 유출되는 수량 자체가 모자라게 되면 지하수위도 저하되어 지하관정이 염해로 이용하기 어려움이 있음
- 도서 및 간척지 담수호의 염분농도는 내륙에 비해 비교적 높은 편이며, 작물생육 및 수확량에 영향을 미치는데 콩 및 당근, 상추, 양파와 같은 채소류는 염해에 취약한 작물로서 일반적으로 전기전도도가 $700 \mu\text{S}/\text{cm}$ 를 초과하면 작물 생육에 피해가 발생할 수 있음
- 실제 전남 광양의 청암뜰 시설하우스 단지 내 관정에서 퍼 올린 지하수가 염수에 오염이 되어 모종이 타죽고 작물이 시들어 버렸던 사례도 있음



<광양지역 염해로 마른 애호박 (광양시민신문)>

- 우리나라에서 재배되는 대부분의 채소작물들은 내염성이 낮은 작물들로 간척지와 간척지의 기수역과 같은 염해우심지역에서 기존의 영농활동으로는 염해피해를 입을 수밖에 없는 구조적 상황에 처해 있으므로 관개용수의 재처리를 통해서 관개수 중 염도수준을 현격히 저감시킬 수 있는 수처리 시스템을 도입하여 영농활동을 개선할 필요가 있음
- 과업대상 담수호처럼 해수에 비해 상대적으로 염분 농도가 낮은 수자원에 대하여 염분 처리 비용과 에너지가 적게 들어가는 기수를 이용하는 농업용수 담수화기술을 정리하였는데, 기수란 일반적으로 염분농도가 해수보다 낮은 물(농도가 해수의 25%이하, 7%이하 수준)을 의미함

3.4.1 담수화

1) 개요

- 바닷물을 맑은 민물로 만들어 이용하는 해수담수화 기술은 세계적으로 7천만 $\text{m}^3/\text{일}$ 운 영되고 있는데 생활용수 63%, 공업용수 26%, 발전용수 6%이고 농업용수 2% 정도 이 용되는 것으로 알려져 있음
- 담수자원이 절대적으로 부족한 국가에서는 대규모 담수시설 갖추고 있는데 중동, 호주, 이스라엘 및 싱가포르가 대표적인 국가들로 생활용수 외에도 공업 및 발전소 냉각수 용 도로도 많이 사용 중에 있음
- 국내의 경우 맑은 물이 부족한 도서지역을 위주로 생활용수 공급을 위해 소규모 담수 화 시설이 설치되었고, 부산지역 생활용수 공급을 위해 국내에서 가장 큰 규모의 담수 화시설이 도입되었음($45,000 \text{ m}^3/\text{일}$)
- 담수화 기술은 역삼투법(Reverse Osmosis, RO), 증발법(Distillation), 전기투석법(음이 온, 양이온 교환수지) 등이고, 유입원수는 약 60%가 해수이고, 약 40%는 염지하수 및 지표수(기수)임
- 국내에 담수화를 통한 농업용수 이용에 관한 연구과제도 기수역 물을 이용한 담수화에 집중하고 있는데 그 이유는 경제적으로 기수담수화가 저렴하기 때문임
- 전통적인 담수화 기술은 크게 증발법과 분리막법으로 구분된다. 증발법은 해수에 열을 가하여 수증기로 만들고 이를 냉각하여 염분이나 불순물을 제거하는 방법으로 다단플 래쉬법(MSF), 다중효용법(MED)이 대표적인 방법임
- 분리막법은 해수를 가압하여 역삼투현상을 일으킴으로써 담수화하는 역삼투법(RO)과 전기 포텐셜을 이용해서 원수로부터 분리막을 통하여 선택적으로 염을 제거하는 전기 투석법(ED)이 대표적임
- 물을 끓이는데 막대한 에너지를 요구하는 증발법과 달리 분리막법은 특정 물질만 통과 시키는 반투막을 사용하는 방법으로 일반적으로 증발법에 비해 에너지 사용량이 적으 나 원수 수질에 따라 설계와 운영이 어려운 단점이 있음
- 역삼투법에 의한 해수 담수화시설은 물에 용해되어 있는 이온성 물질은 거의 배제되고 순수한 물은 통과되는 멤브레인에 의해 해수 중에 용해되어 있는 이온성 물질을 여과 하는 것으로 해수에서 이온성 물질과 순수한 물을 분리시키기 위해서는 삼투압 이상의 높은 압력을 필요로 하는데 이때의 압력을 역삼투압이라 하며 해수 담수화의 경우 4

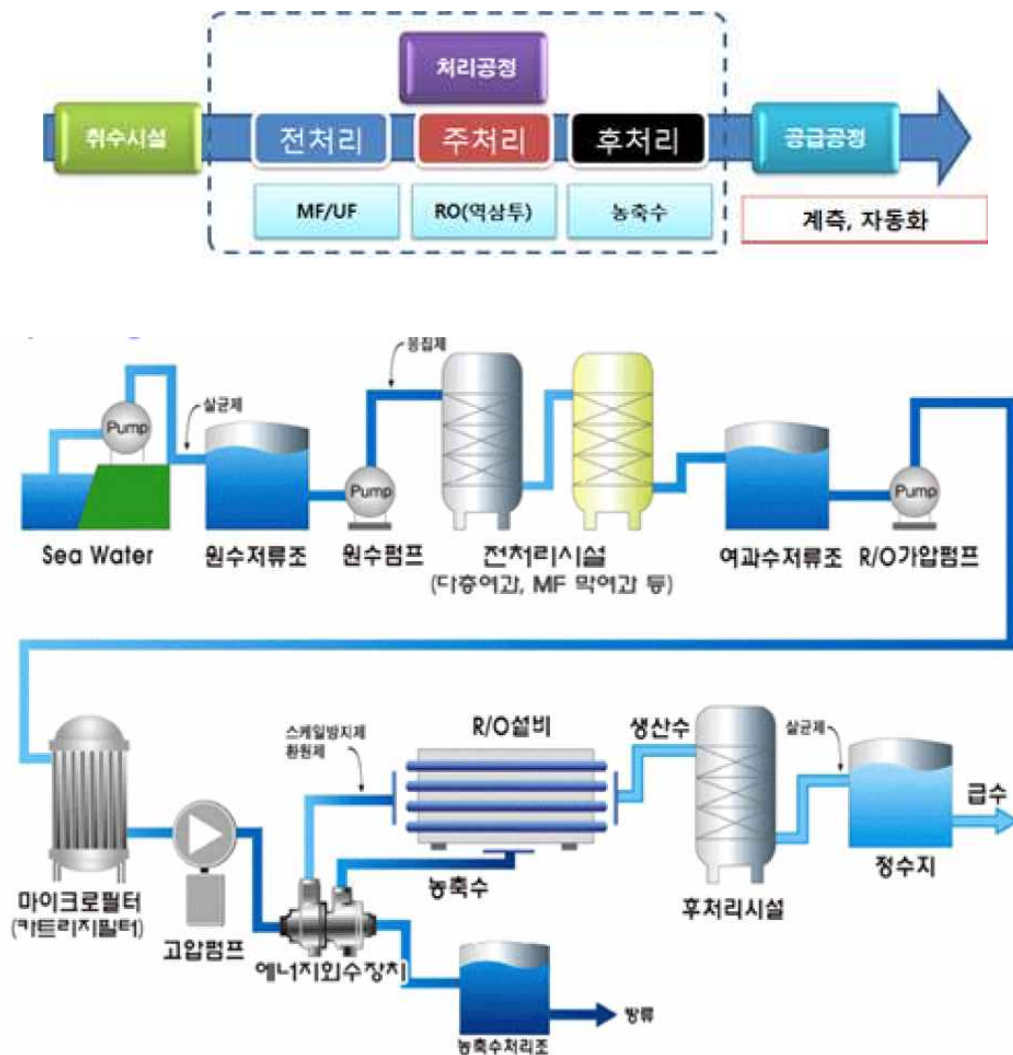
2~60 bar 정도의 높은 압력을 필요로 함

- 멤브레인은 반투과성의 성질을 이용하여 단순히 어떤 크기 이상을 분리 혹은 전달하는 것 외에도 전하반발력, 용해도, 확산률 등의 성질을 이용하여 분리 혹은 전달을 강화시키는 기능이 있음
- 분리대상 입자의 크기에 따라 정밀여과막(MF), 한외여과막(UF), 역삼투막(RO)의 3종류로 분류하며, 역삼투막은 반투막의 한 종류로서 pore의 크기는 수($1\text{\AA}=10^{-10}\text{m}$) 정도임

[표 3.5] 제염방식에 따른 원리 및 특징

방식		원리	장단점
증발법	다단 플래쉬법	순차적으로 감압상태의 관내에 과열 해수를 주입하여 자기 증발시켜 발생하는 수증기를 응축하여 담수생산	(장점) 대규모 장치에 많은 실적이 있고 생산수의 순도가 높음 (단점) 에너지 소비량이 많고, 부식의 방지 필요하며 부분부하 운전이 곤란함
	다중효용법	증발장치 내에 해수로부터 발생하는 수증기를 순차 감압상태에 있는 해수의 가열, 증발에 사용하여 응축하여 담수생산	(장점) 중규모 장치에 많은 실적이 있고 생산수의 순도가 높으며, 폐열 이용시 유리함 (단점) 에너지 소비량이 많고, 부식방지가 필요함
	증기압축법	증발장치내 해수로부터 발생하는 수증기를 압축에 의해 온도를 높인 후 해수의 가열 증발로 응축하여 담수생산	(장점) 소규모장치에 많은 실적이 있고, 가동시에만 열원이 필요함 (단점) 에너지 소비량이 많고, 대형 장치에는 대형의 증기 압축기가 필요함
분리막	역삼투법	반투막을 사이에 두고 해수의 삼투압보다 높은 압력을 가하여 담수생산	(장점) 최근에 실적이 급증하고 있으며, 에너지 소비량이 적으며 조작이 용이함 (단점) 분리막 내구성 문제(교체) 및 압력용기, 내압배관 및 전처리 및 후처리가 필요함
이온수지	전기탈염 희석법	+, - 두전극 사이에 교대로 배치한 양이온 및 음이온 교환막 사이에 해수를 흘려 해수중의 이온을 분리제거후 담수생산	(장점) 내압용기 및 내압배관이 불필요하고 온도변화에 대응이 용이함 (단점) 적용사례가 적음

- 역삼투막을 수처리에 사용할 경우 제거 대상물질은 부유물질, 대장균, 세균, 바이러스, 유기물, 취기물질, 농약성분 및 무기성 이온 등이며, 담수화에서는 수만 ppm(mg/L)의 고농도인 해수에서 수천 ppm(mg/L)의 저농도인 기수까지 염분제거 용도로 사용되고 있음
- 역삼투 공정은 기본적으로 전처리, 고압펌프 및 모듈의 3부분으로 구성되지만 실제 적용을 위해서는 취수시설, 전처리, 처리, 후처리 및 공급공정과 배수설비, 수변전설비 등의 부대설비가 필요함



[그림 3.17] 역삼투압 공정

※ 출처 : www.roplant.co.kr

2) 기술

- 일반적인 담수화 기술은 역삼투법이 주류를 이루고 있는데 물리적인 염분처리로 인해 과다한 에너지가 소요되고 필터도 주기적으로 관리해야 하는 등 유지관리에 비용이 많이 소요됨. 특히 수처리의 기본개념은 연중 쉬지 않고 공급하는 방법이 가장 효과적이지만 농업용수는 연중사용하지 않고 단기간에 많은 수량을 공급하기 때문에 일반적인 담수화 공정으로는 기술적, 경제적으로 타당성이 부족함
- 농업용수 분야에서도 도서지역 및 해안 간척지를 대상으로 담수화기술의 적용을 지속적으로 고려하고 있지만 지금까지 소개된 담수화 기술은 설치비가 고가이고 유지관리비도 많이 소요되어 경제적 타당성이 없다는 이유로 계획단계에서 무산되고 있음
- 그러나 담수자원 추가 확보가 불가능한 지역에는 담수화 방법이 유일한 대체수자원의 확보방안으로 상시적으로 물이 부족한 지역에 안정적으로 농업용수 공급하기 위해 담수화기술을 분석하여 농업용수 이용 가능성과 기술적용시 유지관리(O&M)비용을 최소화할 수 있는 방안에 초점을 맞추고 있음

가) 전처리 공정

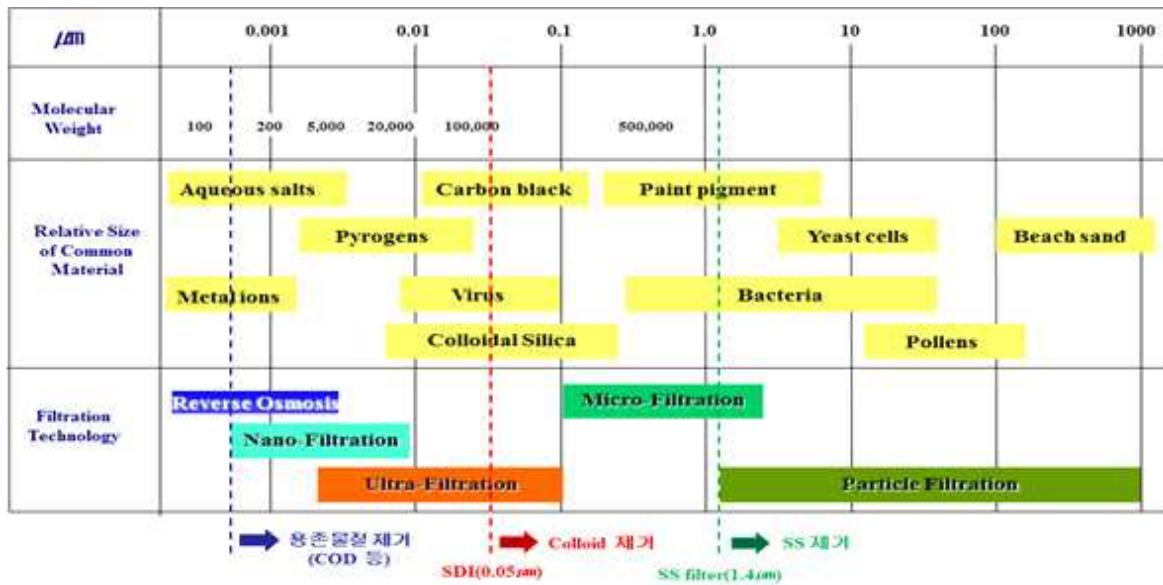
- RO필터는 이온성물질만 처리하기 때문에, 전처리를 통해 미세한 부유물질($1\mu\text{m}$ 이상)을 먼저 제거해야 함. 전처리용도로 UF가 가장 안전하지만, 설치비가 고비용이고 유지관리시 RO와 같이 분리막을 2~3년마다 교체해야 함
- 또한 유입수 성상에 따라 UF전 단계에서도 큰 부유물질($20\mu\text{m}$ 이상)이 유입이 되면 UF 제거 범위를 넘어서므로 추가 전처리 공정이 필요함

나) 주처리공정(RO)

- RO 공정에 사용되는 분리막의 종류는 중공사막, 평막으로 구분되는데 최근에는 세척문제 등으로 중공사막이 대부분 사용되며, 처리과정에서 멤브레인 보호를 위해 방청제와 환원제 등 약품이 사용됨

다) 후처리공정

- RO 및 UF 필터는 분리막이 유기계열의 멤브레인이기 때문에 수처리 과정에서 분리막 세척 공정이 필요함



[그림 3.18] 오염원 크기별 필터적용

라) 운전방법

- 운전방법은 연속공정이므로 압력과 투과량, 회수율을 일정하게 유지하기 위해서 자동밸브가 많이 투입됨에 따라 전문가가 운전하거나 전문업체 위탁하여 운영하는 것이 바람직함
- 특히 담수화공정에서 전문적인 부분은 분리막 세정방법과 농축수의 처리방법임. 기본적으로 분리막 세정은 기계에서 운전 중 분리막내에 압력이 증가하면 자동으로 공기세정이 이루어지지만, 일정주기를 두고 해야 하는 세정과정은 밸브가 많이 투입되어 복잡함
- 또한 세정시에 발생하는 농축수를 처분해야 하는데, 고농도의 염수를 처리하는 해수담수화 유입수의 50~60% 정도가 농축수로 배출되고, 비교적 저농도인 기수담수화는 유입수의 20~25% 정도가 농축수로 배출됨

3) 농업용수 담수화 적용방안

- 염분에 대한 농업용수 수질기준은 설정되어 있지 않지만 FAO(United Nations Food and Agriculture Organization)에서는 염분을 함유한 농업용수 수질관련 지침을 구체적으로 제시하고 있음
- 농작물에 영향을 미치는 염도기준은 전기전도도가 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이하, TDS가 450 mg/ℓ 이하로서 작물에 영향을 주지 않는 수준으로 제시되어 있음

- 경제적인 담수화 적용방안의 첫 번째는 수질목표에 부합한 처리기술의 적용으로 역삼투압 공정 처리수의 전기전도도는 $15\sim30\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 정도이며, 경제적인 수처리 공정을 도입하기 위해 작물에 영향을 주지 않는 수준(전기전도도 $700\mu\text{S}/\text{cm}$)까지 원수를 섞는 희석공정이 유효함
- 과업대상 담수호를 대상으로 농업용수 용도로 활용하기 위해 현재까지의 기술수준을 고려하면 해수담수화보다는 기수담수화 시스템의 농업용수 적용이 바람직할 것으로 생각됨
- 수질적인 측면에서도 기수담수화를 통해 생산되는 용수는 염분 제거뿐만 아니라 바이러스 및 탁도가 모두 제거되기 때문에 생산수량을 농업용수에 직접 적용이 가능함
- 특히 농업용수는 연중 일정량 공급방식이 아니라 파종 등 특정시기에만 다량의 용수를 공급하는 방식인데 필터수명이 사용량에 무관하게 줄어들어 생산단가가 상승되는 문제가 발생하므로 농업특성과 경제적 타당성이 고려된 농업용수 담수화공정 개량이 필요함
- 안정적인 수질의 유지와 함께 유지관리측면에서 보다 편리한 공급방법을 수립하기 위한 담수화 공정의 고려할 요소기술 사항은 ① 여과속도 측면, ② 운영방법 측면, 그리고 ③ 유지관리 측면임
- 농업용수 목적의 수처리 기술은 일반적인 정수기술에 비하여 상대적으로 설치비가 저렴하고 필터교체 최소화 및 단순한 운전 등 유지관리 성능이 기술 선택에 있어 매우 중요하며, 설치비용이 상대적으로 저렴해야 사용이 가능한 현실임
- 과업대상 담수호의 경우 과거 수질 분석 자료를 검토해보면 기수역 수준의 염분함량을 보이고 있고 부유물질의 농도가 평균 $50\ \text{mg}/\ell$ 수준으로 전처리시설을 최소화함으로써 여과속도를 증가시킬 수 있음
- 필터의 교체시기는 유기계열의 멤브레인의 경우 수처리를 하는 순간부터 수명은 기본적으로 결정되는데, 농업용수의 경우는 파종시기 등 특정한 기간에 다량의 용수를 사용하는 특성과 함께 물을 필요로 하는 농경지가 분산되어 있기 때문에 담수화 공정은 가뭄시기에 이동식으로 제작하여 담수호 뿐만아니고 염분농도가 높은 지하수에 대해서도 비상용수 공급용도로 사용하는 것이 운영방법 측면에서 유리한 것으로 생각됨

3.4.2 하수처리수 재이용

- 농촌도시화 등 개발로 인해 농업기반시설의 상·하류 지역 개발과 함께 하수처리장 건설도 이어지면서 배수 체계가 달라지고 농촌도시 비점오염원이 하천에 영향을 주는 등 농촌지역 물 순환에 영향을 주고 있음
- 기존에 만들어진 용수이용 체계에서는 지속되는 가뭄에 대응을 할 수 없는 상황이 지속되면서 대체 수자원으로서 하수처리수 재이용에 대한 관심이 증대되고 있음
- 하수고도처리를 통한 방류수 재이용은 대체수자원, 가뭄대비 용수공급에 매우 유용하며, 공공수역으로 방류되는 물의 위해성을 최대한 억제하는 효과가 있지만 하수처리수의 유해성 및 역효과를 배제하기 위해 특화된 하수재이용기술 개발 및 장기간 현장시험을 통한 실증화에 의한 검증이 필요함
- 특히 하수재이용사업의 성패는 물이용자에게 안전에 대한 신뢰감 줄 수 있는지의 여부에 달려 있으며, 이를 위해서 재이용기술에 담수화기술에 이용되는 역삼투법 분리막을 이용하여 사용자에게 가장 안전한 물을 제공하는 것이 필요함

제 4 장

오염원 및 수질 조사

- 4.1 담수호 특성
- 4.2 오염원 현장조사
- 4.3 시료 채취 및 수질 분석
- 4.4 담수호 배수갑문

제 4 장 오염원 및 수질 조사

4.1 담수호 특성

4.1.1 사업 진행사항

- 사업명 : 진촌지구 미완공 간척지개발사업
- 위치 : 인천광역시 옹진군 백령면 남포리, 진촌리, 북포리 일원
- 수혜면적 : 400ha
- 유역면적 : 2,220ha
- 사업기간 : 1991 ~ 2007
 - 외곽공사 : 1991. 6 ~ 1995. 9
 - 내부개답 : 1995. 8 ~ 2006. 11
- 총사업비 : 49,484백만원 (외곽공사 : 10,823, 내부개답 38,661)
- 사업내용
 - 외곽공사 : 방조제 1조 820m / 배수갑문 1개소(3.5×3.0×6련)
 - 내부개답
 - 담수호 1개소(총저수량 269.5ha-m) / 양수장 1개소(50HP×450mm×3대)
 - 농지조성 250ha(100m×50m, 125m×80m) / 방수제 2조 2,300m
 - 용수로 37조 23,546m / 배수로 42조 21,291m
- 사업시행자 : 한국농어촌공사 강화옹진지사장
- 2007년 간척지개발사업 준공 이후 현재까지 담수호의 수자원을 농업용수로 사용할 수 없어 주변 농업용지에서는 농업용 관정이나 농업용 소류지를 활용하고 있음
- 2001년 이후 백령면 연평균 강우량은 763.0mm로 인천지역 연평균 강우량 1,198.7mm 대비 63.6% 정도로서 4회의 가뭄이 발생하였고 이로 인한 농업용수의 부족이 심각함

- 방수제 건설사업 (2018년 용진군 사업계획)
- 해수유입 차단을 위한 방수제 설치
 - 백령 담수호 내 수자원의 농업용수 활용을 통한 영농편익 증진



- 사업내역 : 방수제 L = 350m, 연결도로 359m
- 사 업 비 : 6,000백만원
- 2019년 특수상황지역개발사업 예산 미반영 (농업용수 사용여부 불확실) 및 소규모환경영향평가서 반력에 따른 사업 장기화 (수질검사 등 누적데이터 필요)
- 담수호 내 수중측량 및 지반조사 등 기초자료 미비(토질, 심도 등)
- 사질토 지반에서 보일링(Boiling)현상에 의한 해수 유입
- 연평균 일정량 이상 강우로 제염 처리과정을 거쳐 농업용수로 사용하기 위해서는 최소 20년 이상 소요될 것으로 예측하였는데, 최근 이상기후로 인하여 용진지역 연평균 강우량이 감소 추세를 보이므로 훨씬 더 오랜 시간이 소요됨

4.1.2 기존 수질 분석 자료 검토

- 담수호 조성 공사가 시작된 1991년도에는 담수호의 규모가 작아 사전환경성검토 수준이었으며, 그 후 환경영향평가법이 개정되면서 담수호에 대한 모니터링이 필요하게 됨으로써 용진군에서는 2017년도부터 분기별로 담수호 수질에 대한 모니터링을 실시하고 있음

- 현재(2020. 10) 담수호 수질과 관련한 자료는 7건이 있는데, 2017년 소규모환경영향평가를 위한 3개 지점에 대한 1건, 2018년 5개 지점에 대한 2건, 그리고 2019년부터 6개 지점 5건에 대한 측정지점별 수질 분석 자료가 확보되었음
- 그러나 2019년을 기준으로 과거 3건의 분석 자료는 측정 지점에 대한 정확한 동일성을 확보하기 어려워 본 과업에서는 2019년 이후 동일한 분석항목으로 6개 지점에 대한 분석 결과인 5건에 대해서만 평가하였음
- 해당 측정 지점의 위치를 [그림 4.1]에 나타내었으며, [표 4.1]에 담수호의 기존 수질 분석 자료를 정리하였음
- 담수호 유입지천의 수질을 분석한 3개 지점, W-1, W-2, 그리고 W-6의 BOD 농도를 기준으로 살펴보면 하천의 생활환경기준인 Ⅲ(보통)~Ⅳ(약간나쁨) 등급의 수질을 나타내고 있음. 특히 화동천에서 담수호로 유입되는 W-6 지점은 측정시기에 따라 “매우나쁨”인 Ⅵ 등급을 보인 적도 있음



[그림 4.1] 수질 측정 지점

[표 4.1] 담수호의 기존 수질 분석 결과

지점 항목 측정일	W-1						W-2					
	2019. 06.21	2019. 09.03	2019. 12.18	2020. 06.21	2020. 08.31	평균	2019. 06.21	2019. 09.03	2019. 12.18	2020. 06.21	2020. 08.31	평균
pH	9.3	9.5	8.3	9.0	7.4	8.7	9.2	8.7	8.1	9.2	7.37	8.5
수온 (°C)	22.2	27.8	3.7	23.4	28.7	21.2	23.6	28.1	3.8	23.9	28.1	21.5
DO (mg/L)	5.4	11.2	13.5	7.4	6.8	8.9	8.3	9.4	12.2	7.1	6.8	8.8
BOD (mg/L)	5.3	5.8	3.2	4.4	5.7	4.9	3.8	5.6	3.3	5.6	4.2	4.5
COD (mg/L)	11.7	18.8	6.4	20.5	30.4	17.6	13.0	14.4	6.0	22.3	21.6	15.5
TOC (mg/L)	13.6	10.6	6.2	6.3	11.2	9.6	10.5	9.1	6.6	6.7	7.8	8.1
SS (mg/L)	10.0	39.3	3.0	87.3	59.2	39.8	8.0	19.3	5.3	140.0	87.2	52.0
T-N (mg/L)	1.42	3.28	0.53	3.12	2.36	2.14	1.16	1.79	0.96	2.75	2.33	1.80
T-P (mg/L)	0.480	0.182	0.029	0.100	0.090	0.176	0.077	0.101	0.048	0.180	0.080	0.097
Chl-a (mg/m³)	104.0	104.4	71.4	80.5	1.6	72.4	35.2	46.2	24.9	30.6	4.8	28.3
총대장균군 (군수/100 mL)	24	불검출	4	150	300	120	26	5,700	3,300	6,800	730	3,311
분원성대장균군 (군수/100 mL)	불검출	불검출	1	불검출	40	8	불검출	720	불검출	520	39	256
염분(%)	2.0	1.0	2.0	2.1	0.4	1.5	1.0	1.0	1.0	1.3	0.2	0.9

자료: 용진군청 건설과 내부자료

- 또한 W-1 지점인 솔개천 유출부와 W-6 지점인 화동천 유출부의 염분 농도가 5회 평균 1.5% 정도로 W-2 지점인 간척천 유출부의 평균 염분 농도 0.9%에 비하여 비교적 높음을 알 수 있음
- 한편, 담수호 내부의 수질 분석 자료인 W-3, W-4, W-5 지점의 TOC 평균 농도를 살펴보면 모두 호소의 생활환경기준 VI 등급인 “매우나쁨” 단계로서 담수호는 유입지천, 비점오염물질, 퇴적된 저질의 유기물 등에 의해 심각하게 오염된 상태로 평가할 수 있음

[표 4.1] 담수호의 기존 수질 분석 결과(계속)

지점 항목 측정일	W-3						W-4					
	2019. 06.21	2019. 09.03	2019. 12.18	2020. 06.21	2020. 08.31	평균	2019. 06.21	2019. 09.03	2019. 12.18	2020. 06.21	2020. 08.31	평균
pH	8.0	8.4	8.0	9.2	7.40	8.2	8.1	8.6	8.1	8.9	7.38	8.2
수온 (°C)	22.5	26.4	3.9	23.6	28.2	20.9	22.5	27.6	5.5	23.6	28.4	21.5
DO (mg/L)	6.7	7.9	12.8	7.1	6.5	8.2	6.7	10.4	12.3	7.4	7.0	8.8
BOD (mg/L)	9.8	6.1	4.3	5.7	5.0	6.2	4.7	6.6	7.7	3.7	4.5	5.4
COD (mg/L)	16.2	21.6	10.8	23.4	27.3	19.9	16.2	24.0	16.0	19.8	26.7	20.5
TOC (mg/L)	13.3	15.5	10.1	7.1	8.6	10.9	13.3	16.6	10.1	6.4	8.7	11.0
SS (mg/L)	4.0	80.0	20.3	127.8	60.0	58.4	8.0	71.0	22.0	111.0	52.0	52.8
T-N (mg/L)	2.19	2.54	2.35	3.23	2.28	2.52	2.19	3.14	2.32	3.40	2.23	2.66
T-P (mg/L)	0.187	0.182	0.134	0.170	0.070	0.149	0.187	0.178	0.130	0.200	0.090	0.157
Chl-a (mg/m³)	44.1	80.3	36.6	38.4	8.3	41.5	73.1	71.4	37.4	50.4	4.5	47.4
총대장균군 (군수/100 mL)	13	22,000	3,900	10,500	400	7,363	220	6,600	10	340	460	1,526
분원성대장균군 (군수/100 mL)	불검출	불검출	5	10	30	9	불검출	불검출	불검출	불검출	35	7
염분(‰)	4.0	3.8	4.0	1.7	0.2	2.7	4.0	4.7	5.0	1.6	0.2	3.1

- 또한, 담수호의 수질분석 자료를 살펴보면 2019년도 분석결과에 비하여 2020년도 분석 결과가 전 항목에서 매우 낮게 측정되었음을 알 수 있는데, 이는 측정일 2020년 8월 31일 이전 5일간 강우량이 119.2mm로 강우에 의해 희석된 효과가 있었던 것으로 판단됨. 결과적으로 2020년도에는 집중강우로 백령면의 강수량이 과거에 비하여 크게 증가하였지만 담수호의 평균 염분 농도는 약 3‰ 정도로 산정하는 것이 타당할 것으로 판단됨
- 한편, 담수호로 유입되는 3곳의 유입지천에 대한 유량자료가 없어 담수호에 대한 오염 부하량을 산정할 수 없음은 물론 각 지천 유역의 오염발생원에 대한 조사도 수행되지 않아 이들 자료만으로는 담수호의 수질개선을 위한 대책수립이 매우 어려울 것으로 판단됨

[표 4.1] 담수호의 기존 수질 분석 결과(계속)

지점 항목 측정일	W-5						W-6					
	2019. 06.21	2019. 09.03	2019. 12.18	2020. 06.21	2020. 08.31	평균	2019. 06.21	2019. 09.03	2019. 12.18	2020. 06.21	2020. 08.31	평균
pH	8.3	8.4	8.2	8.8	7.4	8.2	8.3	8.2	7.8	9.2	7.4	8.2
수온 (°C)	22.2	26.8	5.0	23.9	28.1	21.2	21.3	25.2	4.4	24.2	27.9	20.6
DO (mg/L)	6.4	7.9	12.6	7.5	6.6	8.2	6.6	7.7	8.5	7.3	6.9	7.4
BOD (mg/L)	6.9	7.7	4.7	3.2	4.2	5.3	13.8	6.8	8.6	5.8	4.3	7.9
COD (mg/L)	11.8	25.6	10.8	20.5	23.02	18.3	17.0	19.2	14.0	21.4	25.62	19.4
TOC (mg/L)	13.9	15.5	10.1	6.7	8.59	11.0	14.2	10.7	10.0	6.6	8.51	10.0
SS (mg/L)	8.5	60.7	20.3	67.8	45.0	40.5	12.0	17.3	23.3	127.8	50.0	46.1
T-N (mg/L)	2.14	3.17	2.35	2.72	2.31	2.54	2.12	3.23	4.49	3.78	3.72	3.47
T-P (mg/L)	0.158	0.168	0.134	0.120	0.120	0.140	0.134	0.149	0.504	0.040	0.130	0.191
Chl-a (mg/m³)	82.1	66.1	29.5	55.2	4.8	47.5	55.2	45.5	37.0	40.8	7.27	37.2
총대장균군 (군수/100 mL)	210	670	730	750	490	570	7,700	5,900	13	120	170	2,781
분원성대장균군 (군수/100 mL)	불검출	520	불검출	불검출	38	112	3,900	780	11	불검출	48	948
염분(%)	4.0	4.0	4.0	1.6	0.3	2.8	1.0	2.0	3.0	1.3	0.2	1.5

[표 4.2] 하천의 생활환경기준

등급	상태	상태	기준					
			수소이온농도 (pH)	생물화학적 산소요구량 (BOD) (mg/L)	부유물질량 (mg/L)	용존산소량 (mg/L)	대장균(군수/100mL)	
							총 대장균군	분열성 대장균군
매우좋음	Ia		6.5~8.5	10이하	250이하	7.50이하	500이하	100이하
좋음	Ib		6.5~8.5	20이하	250이하	5.00이상	5000이하	1000이하
약간좋음	II		6.5~8.5	30이하	250이하	5.00이상	1,000이하	200이하
보통	III		6.5~8.5	50이하	250이하	5.00이상	5,000이하	1,000이하
약간나쁨	IV		6.0~8.5	80이하	1000이하	2.00이상	-	-
나쁨	V		6.0~8.5	100이하	쓰레기 등 이 떠있지 아니할것	2.00이상	-	-
매우나쁨	VI		-	10초과	-	2.00미만	-	-

· 매우 좋음 : 용존산소가 풍부하고 오염물질이 없는 청정상태의 생태계로 간단한 정수처리 후 생활용수 사용
 · 좋음 : 용존산소가 많은 편이며, 오염물질이 거의 없는 청정상태에 근접한 생태계
 · 약간좋음 : 약간의 오염물질은 있으나 용존산소가 많은 상태의 다소 좋은 생태계로 일반적 정수처리 후 생활용수 또는 수영용수로 사용
 · 보통 : 용존산소를 소모하는 오염물질이 보통수준에 달하는 일반생태계로 고도의 정수처리 후 생활용수로 이용하거나 일반적 정수처리 후 공업용수 사용
 · 약간나쁨 : 상당량의 용존산소를 소모하는 오염물질이 있어 영향을 받는 생태계로 농업용수로 사용하거나, 고도의 정수처리 후 공업용수로 이용, 낚시 가능
 · 나쁨 : 과량의 용존산소를 소모하는 오염물질이 있어 물고기가 드물게 관찰되는 빈곤한 생태계로 산책 등 국민의 일상생활에 불편감을 유발하지 않는 한계이며, 특수한 정수처리 후 공업용수 사용
 · 매우 나쁨 : 용존산소가 거의 없는 오염된 물로 물고기가 살수 없음
 · 용수 목적상 당해 등급보다 수질요구조건이 낮은 수준인 하위등급 용도로 사용할 수 있다.
 · 생물화학적 산소요구량(BOD)을 비롯한 다양한 물질의 오염도 현황, 용수처리방법 등을 종합적으로 검토하여 당해 등급보다 수질요구조건이 높은 수준인 상위등급 용도로 사용 가능하다.

[표 4.3] 호소의 생활환경기준

등급		상대 (캐릭터)	기										준	
			수소이온 농도 (pH)	화학적	총유기 탄소량 (TOC) (mg/L)	부유 물질량 (SS) (mg/L)	용존 산소량 (DO) (mg/L)	총인 (T-P) (mg/L)	총질소 (T-N) (mg/L)	클로로 필-a (Chl-a) (mg/m³)	대장균군 (군수/100mL)			
				산소 요구량 (COD) (mg/L)							총 대장균군	분원성 대장균군		
매우 좋음	Ia		6.5~8.5	2 이하	2 이하	1 이하	7.5 이상	0.01 이하	0.2 이하	5 이하	50 이하	10 이하		
좋음	Ib		6.5~8.5	3 이하	3 이하	5 이하	5.0 이상	0.02 이하	0.3 이하	9 이하	500 이하	100 이하		
약간 좋음	II		6.5~8.5	4 이하	4 이하	5 이하	5.0 이상	0.03 이하	0.4 이하	14 이하	1,000 이하	200 이하		
보통	III		6.5~8.5	5 이하	5 이하	15 이하	5.0 이상	0.05 이하	0.6 이하	20 이하	5,000 이하	1,000 이하		
약간 나쁨	IV		6.0~8.5	8 이하	6 이하	15 이하	2.0 이상	0.10 이하	1.0 이하	35 이하				
나쁨	V		6.0~8.5	10 이하	8 이하	쓰레기 등이 떠 있지 않을 것	2.0 이상	0.15 이하	1.5 이하	70 이하				
매우 나쁨	VI			10 초과	8 초과		2.0 미만	0.15 초과	1.5 초과	70 초과				

4.2 오염원 현장조사

- 2020년 11월 6일부터 11월 7일까지 담수호 수질조사와 함께 유입지천 유역의 오염원 현장조사를 수행하였으며, 유역의 전경을 [그림 4.2]에 나타내었음
- 담수호로 유입되는 3개의 지천 유역에는 특별히 오염물질을 많이 배출할만한 시설이 많지 않았음. 또한 담수호 주변에 약 3곳 정도의 펜션이 건설되어 있었으나 현재 운영은 하지 않고 있는 것으로 판단되었으며, 다만 솔개천 유역 상류 지역에서 비교적 큰 규모의 축사시설이 운영되고 있음
- 지천의 수질오염 원인은 정밀하게 조사할 필요성은 있으나 대부분 비점오염원에 의한 오염이 주를 이루고 있을 것으로 생각됨
- 담수호로 유입되는 3곳의 지천 말단부는 갑문으로 차단되어 있어 결과적으로 지천의 하류역은 체류시간이 긴 저수지의 형태를 띠고 있음
- 결과적으로 담수호의 저수용량을 고려할 때 수질오염에 직접적으로 영향을 주는 3곳의 유입지천 유량이 적고 평상시에 배수갑문으로 차단되어 있음을 고려할 때 담수호의 수질개선을 위해 식생에 의해 일부분의 오염물질을 정화할 수 있는 자연형 하천으로의 전환을 고려할 필요성이 있음

4.3 시료채취 및 수질 분석

- [표 4.4]에 본 용역에서 수행한 담수호 및 유입지천에 대한 수질분석 결과를 정리하였음. 측정 항목은 수질환경기준의 항목에 준하였으며, 수질조사는 [표 4.5]에 요약한 바와 같이 “수질오염공정시험기준”에 준하여 측정·분석하였음
- 현장에서 즉시 측정하여야 하는 pH, DO, 수온 등의 항목은 Aqua TROLL[®] 500 다항목 수질계측기(In-Situ, USA)를 이용하였는데, [그림 4.3]에 각 지점에서의 수질측정 및 시료채취장면을 나타내었음
- [표 4.4]의 수질분석결과를 살펴보면 유입지천인 W-1, W-2, 그리고 W-6의 pH는 8.4 ~ 8.8의 범위이었으며, DO 농도의 범위는 9.9 ~ 11.3 mg/L 범위이었음. 한편 담수호 내부인 W-3, W-4, W-5지점의 pH 범위는 8.1 ~ 8.5의 범위, DO 농도의 범위는 9.6 ~ 9.9 mg/L 범위이었음



[그림 4.2] 유입지천 유역의 전경

- [표 4.2]를 기준으로 유입지천의 하천의 생활환경기준을 평가해보면 W-1 및 W-2는 “보통” 단계인 Ⅲ등급, 그리고 W-6는 “약간나쁨” 단계인 Ⅳ등급으로 나타났음. 또한 총유기탄소량을 기준으로 [표 4.3]의 호소의 생활환경 기준을 평가해보면 W-3, W-4, W-5지점 모두 6.0 mg/L 이상인 “나쁨” 단계인 Ⅴ등급의 수질을 보이고 있음을 알 수 있음
- 특히 담수호의 평균 염분 농도가 2.6‰ 정도로서 담수호는 농업용수로 이용이 불가능한 수질임을 알 수 있었음

[표 4.4] 수질 분석 결과

지점 항목	W-1	W-2	W-3	W-4	W-5	W-6
pH	8.4	8.8	8.5	8.1	8.2	8.2
수온(°C)	11.6	11.7	12.7	13.2	13.1	11.9
DO(mg/L)	11.0	11.3	9.9	9.7	9.9	9.6
BOD(mg/L)	3.3	3.2	3.3	3.3	3.3	5.6
COD(mg/L)	11.8	10.2	12.2	12.2	11.7	14.5
TOC(mg/L)	7.070	5.950	6.590	6.630	6.680	7.830
SS(mg/L)	21.0	13.0	38.0	57.0	35.5	29.5
T-N(mg/L)	0.880	0.764	0.948	0.940	1.016	1.092
T-P(mg/L)	0.065	0.043	0.056	0.058	0.071	0.061
Chl-a(mg/m ³)	0.351	0.456	0.536	0.531	0.612	1.187
총대장균군 (균수/100 mL)	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
분원성대장균군 (균수/100 mL)	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
염분(‰)	1.8	1.2	2.6	2.7	2.4	1.4

[표 4.5] 측정 항목 및 분석 방법

측정 항목	분석 방법	측정 원리
수소이온농도 (pH)	ES 04306.1b - Aqua TROLL [®] 500	기준전극과 비교전극으로 구성되어진 pH 측정기를 사용하여 양전극간에 생성되는 기전력의 차를 이용하여 측정하는 방법
수온	ES 04307.1a - Aqua TROLL [®] 500	써머스터를 사용하여 측정하는 방법
용존산소 (DO)	ES 04308.2b - Aqua TROLL [®] 500	시료중의 용존산소가 격막을 통과하여 전극의 표면에서 산화환원반응을 일으키고 이때 산소의 농도에 비례하여 전류가 흐르게 되는데 이 전류량으로부터 용존산소량을 측정하는 방법
생물화학적 산소요구량 (BOD)	ES 04305.1 - 20℃ 5일간 배양 - BOD meter	시료를 20℃에서 5일간 저장하여 두었을 때 시료중의 호기성 미생물의 증식과 호흡작용에 의하여 소비되는 용존산소의 양으로부터 측정하는 방법
화학적 산소요구량 (COD)	ES 04315.1b - 적정법-산성과망간산칼륨 - 항온수욕조	시료를 황산산성으로 하여 과망간산칼륨 일정과량을 넣고 30분간 수욕상에서 가열반응 시킨 다음 소비된 과망간산칼륨량으로 부터 이에 상당하는 산소의 양을 측정하는 방법
부유물질 (SS)	ES 04303.1 - 유리섬유여과지법 - GF/C 여과장치	미리 무게를 단 유리섬유여과지(GF/C)를 여과장치에 부착하여 일정량의 시료를 여과시킨 다음 항량으로 건조하여 무게를 달아 여과 전·후의 유리섬유 여과지의 무게차를 산출하는 방법
총질소 (T-N)	ES 04363.1b - 자외선/가시선 분광법 - UV/Visible Spectrometry	시료 중 모든 질소화합물을 과황산칼륨을 사용하여 약 120℃에서 유기물과 함께 분해하여 질소이온으로 산화시킨 후 산성상태로 하여 흡광도를 220 nm에서 측정하는 방법
총인 (T-P)	ES 04362.1c - 자외선/가시선 분광법 - UV/Visible Spectrometry	유기물화합물 형태의 인을 산화·분해하여 모든 인화합물을 인산염 형태로 변화시킨 다음 몰리브덴산 암모늄과 반응하여 생성된 몰리브덴산인암모늄을 아스코빈산으로 환원하여 생성된 몰리브덴산의 흡광도를 880 nm에서 측정하는 방법

[표 4.5] 측정 항목 및 분석 방법(계속)

측정항목	분 석 방 법	측 정 원 리
총유기탄소 (TOC)	ES 04311.1c - 고온산화법 - TOC Analyzer	시료 적당량을 산화성 촉매로 충전된 고온의 연소기에 넣은 후에 연소를 통해서 수중의 유기탄소를 이산화탄소로 산화시켜 정량하는 방법
클로로필-a (Chl-a)	ES 04312.1a - 자외선/가시선 분광법 - UV/Visible Spectrometry	아세톤 용액을 이용하여 여과한 여과지로부터 클로로필 색소를 추출하고, 추출액의 흡광도를 663 nm, 645 nm, 630 nm 및 750 nm에서 측정하여 클로로필-a의 양을 계산하는 방법
염분	ES 04356.3b 해양공정시험방법 제4장 제1항	수중에 전기전도도 원리를 이용한 염분측정기를 사용하는 방법
총대장균군	ES 04701.1d -배양기(Incubator)	페트리접시에 배지(m-Endo agar LES)를 올려놓은 다음 배양 후 금속성 광택을 띠는 적색이나 진한 적색 계통의 집락을 계수하는 방법
분원성 대장균군	ES 04702.1d -배양기(Incubator)	페트리접시에 배지(m-FC agar)를 올려놓은 다음 배양 후 여러 가지 색조를 띠는 청색의 집락을 계수하는 방법



W-1 지점에서의 수질분석 및 시료채취 장면



W-2 지점에서의 수질분석 및 시료채취 장면

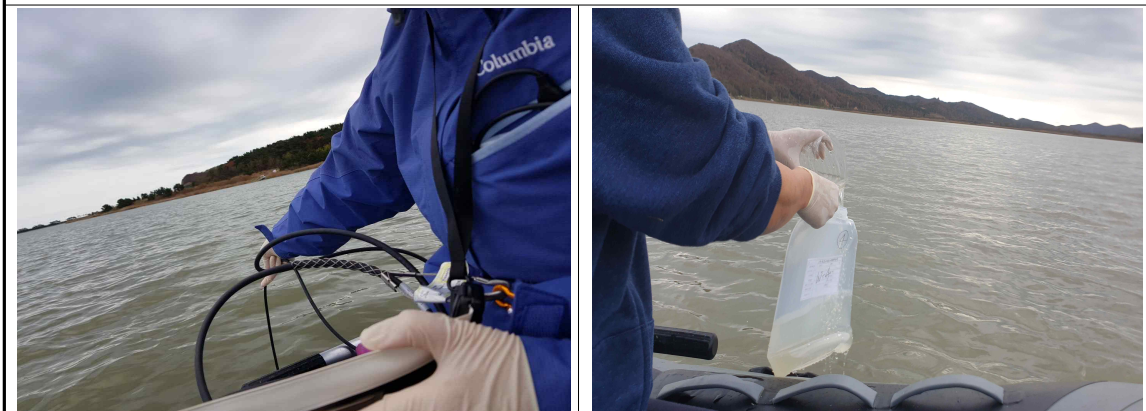


W-6 지점에서의 수질분석 및 시료채취 장면

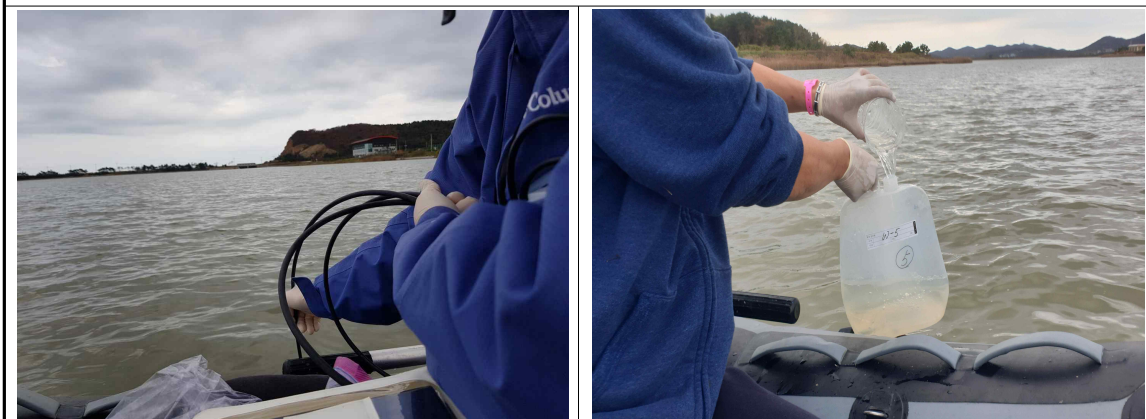
[그림 4.3] 수질측정 및 시료채취 장면



W-3 지점에서의 수질분석 및 시료채취 장면



W-4 지점에서의 수질분석 및 시료채취 장면



W-5 지점에서의 수질분석 및 시료채취 장면

[그림 4.3] 수질측정 및 시료채취 장면(계속)

4.4 담수호 배수갑문

- 현장조사시 인근 해역의 최대 간조시각은 15:07, 만조시각은 09:30이었음. 따라서, 해당 시각에 담수호의 배수갑문 상황을 조사하였음
- [그림 4.4]에 배수갑문의 특징과 간조시와 만조시의 담수호와 해역의 현황을 나타내었음. 간조시와 만조시의 담수호와 해역의 조위는 정밀하게 측정하여 평가하여야 하지만 우선 육안으로 담수호의 배수갑문을 통수할 경우를 가정하여 상대적 조위를 파악하고자 하였음
- 담수호 배수갑문은 총 6개의 수문이 설치되어 있으며, 담수호 내부 방면에서 2단계의 갑문이 설치되어 있고 해역 방향으로 게이트밸브 형식의 갑문이 최종적으로 설치되어 있음. 즉 담수호의 물을 해역으로 방류하기 위하여 일정 수로의 수문을 개시하면 물이 통수하면서 마지막 게이트밸브를 밀면서 해역으로 방출되는 구조로 설계되어 있는 것으로 파악됨
- 현장조사시 배수갑문이 2중으로 닫혀있어 간조시와 만조시의 [그림 4.4]의 사진을 비교해보면 담수호측의 수위는 비교적 일정한 수위를 유지하고 있는 것으로 파악되었으며, 간조시와 만조시 해역의 해안상황은 갯골의 폭이 넓어지는 차이만 보였음
- 배수갑문측 해역은 배수방향 좌측은 사곶해변, 우측은 돌출된 지형넘어 콩돌해변이 위치하고 있는데, 간조시에는 배수갑문과 해역간에 좁은 폭의 갯골이 남아있었지만 만조시에는 갯골의 폭이 매우 넓어지는 현상을 보였음. 육안상으로는 간조시와 만조시 약 2m 정도의 수위차가 발생할 것으로 추정됨
- 또한 현장 확인시 주민에 의하면 배수갑문을 개통하여 해수가 통수될 경우 담수호 가장 안쪽의 육지부분은 침수될 것으로 예측하였음
- 결과적으로 정밀한 해수유동모델링을 통하여 배수갑문의 통수시 담수호 내부의 수위변화에 대한 검토가 꼭 필요할 것으로 판단됨



[그림 4.4] 간조시 및 만조시 담수호 배수갑문 현황

제 5 장

담수호 관련 정책 검토

5.1 평화에너지섬 조성사업

5.2 소형공항 개발계획

제 5 장 담수호 관련 정책 검토

5.1 평화에너지섬 조성사업

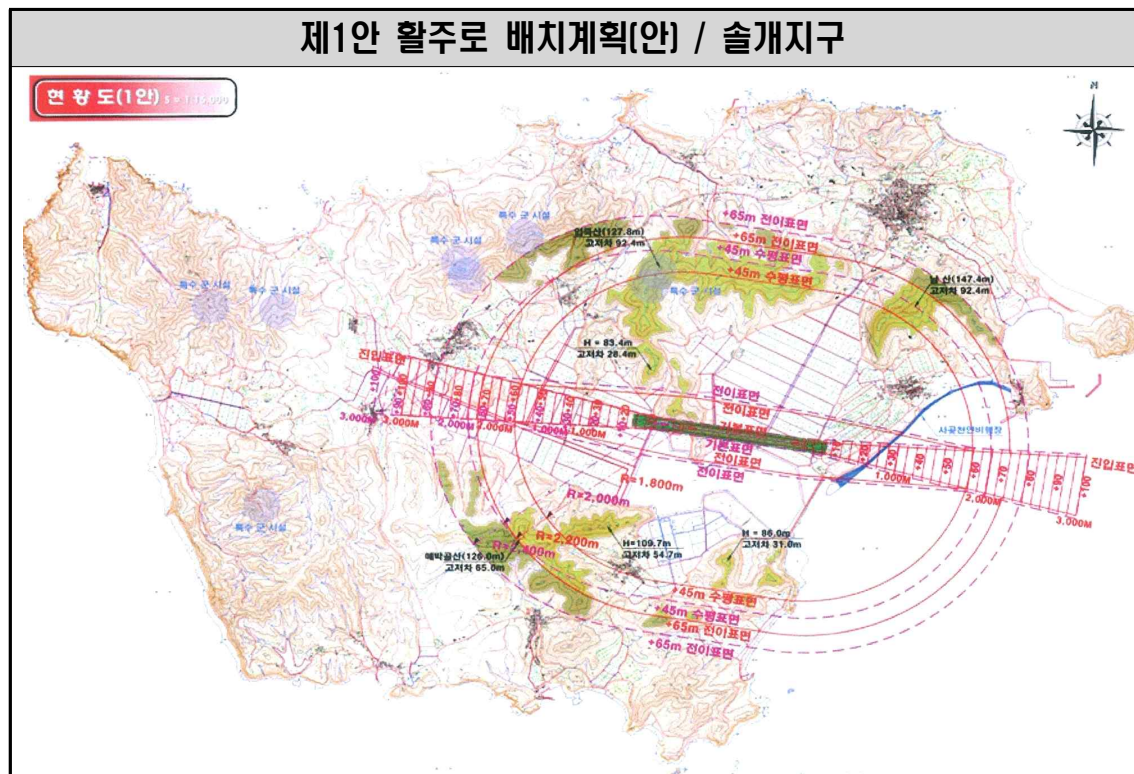
- 2018년 하반기에 인천광역시 서해5도 남북 평화에너지 공유체계 구상의 일환으로 신재생에너지개발·이용·보급촉진법, 도서지역 신재생에너지 발전 등 전력 거래에 관한 지침, 민간투자유치법 등에 근거하여 백령도 평화에너지섬 조성 정책을 추진하였음
- 이 사업의 목적은 “NLL지역 평화수역 지정 시 유동인구 증가와 인프라조성 등에 따른 전력수요 충족”과 “UN 대북경제제재 해제 이후 남북 해역의 풍부한 재생에너지 개발을 통한 평화에너지 공유체계 구축”을 목적으로 하여 기본모델을 ‘친환경에너지자립섬 + 남북 평화 에너지 교류’로 정하고 경제제재 시기인 1단계에서 친환경에너지자립기반 조성하고 경제제재 이후 2단계에서 교류확대를 위한 재생에너지공동개발 평화에너지체계 구축하고자 하였고 지역 4개 발전사업자와 민간투자(해외자본 등)를 통하여 사업추진을 시도하였음
- 계획에 의하면 1단계 사업시 민자유치를 통하여 담수호의 약 19%의 면적(247,500㎡)에 15MW, ESS 45MWh 규모의 수상태양광을 설치하여 백령도 전체 2017년도 전력사용량의 약 40%인 19GWh/년의 전력을 생산하고자 하였음
- 한편 담수호를 방수제로 분할하고 그 하류부에만 수상태양광을 설치하는 계획으로 추진되었음



- 그러나 2019년 이후 남북관계가 경색됨에 따라 현재 해당 사업은 중단된 상태임

5.2 소형공항 개발계획

- 여객용 소형항공기의 운항을 위한 소형공항 개발 계획이 용진군 백령면 진촌리 일원, 즉 담수호 인근을 대상으로 수립되었음
- 활주로의 시설규모는 길이 1.2 ~ 2km, 폭 30 ~ 45m로서 2016년도부터 추진되어 2017년 하반기 국토부 사전타당성 용역에서 B/C 4.86으로 매우 높게 평가되어 국방부와 비행방식 등 국방상 우려 및 영향요소에 대하여 협의하였음
- 이 때 국방부의 요구사항은 공항 개발계획과 매우 인접하여 시설물 간섭없도록 조치하고 태양광 발전소 전자파 및 담수호에 설치될 태양광 패널에 의한 빛 반사 등으로 인한 비행 영향에 대한 검토이었음



제 6 장

담수호의 적정 활용방안

6.1 담수호의 활용상태 평가

6.2 담수호 이용 목적별 관리 목표 검토

제 6 장 담수호의 적정 활용방안

6.1 담수호의 활용상태 평가

- 2007년 간척지개발사업 준공 이후 현재까지 농업용수로 활용할 목적으로 조성된 담수호는 강수량이 적은 지역특성 및 저질에서 용출되는 염분으로 인하여 평균적으로 3‰ 정도의 염분 농도를 나타냄으로써 당초 목적인 농업용수로 활용하기 불가능한 상태임
- 또한 강수량이 적어 배수갑문을 통하여 해역으로 방출되는 경우가 적으므로 물이 담수호내에서 오랫동안 체류하게 됨으로써 조류의 성장은 물론 담수호 연안에 파리, 모기 등 해충의 서식에 의한 민원이 발생하고 있음
- 한편 일부 주민들은 백령도의 주요 관광지인 콩돌해변 해안이 침식된 원인으로 담수호 방조제 건설로 인한 해류의 변동을 지목하고 있으나 이에 대한 연구는 아직 진행되지 못한 상태임
- 따라서, 담수호의 수자원을 향후 어떤 목적으로 사용할 것인지에 대한 정책이 재수립되지 않는다면 현재로서는 담수호를 그대로 방치할 수밖에 없는 현실임

6.2 담수호 이용 목적별 관리목표 검토

6.2.1 농업용수

- 담수호의 수자원을 당초 목적대로 농업용수로 활용하기 위해서는 수질개선공법을 적용하여 유기물의 농도를 저감시키는 한편 염분을 제거하여야만 가능한 상황임
- 3장에서 소개한 바와 같이 저수지나 담수호의 수질개선공법 적용은 일반적으로 인공섬 등 자연식생공법을 주로 이용하고 있고 우리나라에 적용된 실적이 많이 있어 크게 어려운 것은 아니지만 별도의 염분제거시설을 갖추어야 함
- 4장 수질분석 결과에 나타내지는 않았지만 담수호 및 담수호 유입지천의 전기전도도는 약 $1,500 \mu\text{S}/\text{cm}$ 정도의 수질을 보였는데, 작물에 영향을 주지 않는 수준인 전기전도도 $700 \mu\text{S}/\text{cm}$ 이하까지 처리하여 농업용수로 사용하기 위한 방안이 필요함
- 역삼투압 공정 처리수의 전기전도도는 $15\sim30 \mu\text{S}/\text{cm}$ 정도이며, 경제적인 수처리 공정을 도모하기 위해 원수를 섞는 희석공정도 조합할 필요성이 있음

- 4장에서 제시하였던 담수호의 수질분석 결과 담수호의 염분 농도는 평균 3‰ 정도로 판단되는데, 이 정도의 염수는 해수를 담수화하는 설비 수준보다 훨씬 경제적인 기수담수화시설만으로도 염분을 제거하여 농업용수로 활용이 가능함. 하지만 농업용수는 주기적으로 그 사용량이 달라 그 규모를 산정하기 어렵고 도서지역에서 그 설비를 운영·관리할 수 있는 전문 인력이 상주할 수 있는 상황이 아님을 고려하여 결정하여야 할 문제임
- 담수호의 수자원을 생활용수 및 관광·레저의 기능(관광레저형)을 갖추도록 그 수질을 관리할 경우 호소의 생활환경 기준 중 “약간 좋음” 단계인 Ⅱ 등급 이상을, 수변휴양의 기능(수변휴양형)을 갖추도록 그 수질을 관리하는 경우 호소의 생활환경 기준 중 “보통” 단계인 Ⅲ 등급 이상의 수질을 갖추도록 관리하여야 함
- [표 6.1]에 중수도 활용기준으로 담수호의 이용목적별 수질기준에 대해 요약하였음

6.2.2 담수호 배수갑문의 통수

- 담수호의 조성 목적인 농업용수로의 활용이 불가능한 상태에서 담수호 배수갑문을 전체 또는 일정 부분 개통하여 담수호를 선박의 피항지 등 별도의 목적으로 활용하고자 할 경우에는 해수의 유통에 의한 현상을 먼저 검토하여야 함
- 즉, 담수호의 배수갑문 통수에 따른 담수호의 수위 및 주변 해류의 변화 등을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 세밀하게 검토하여야 함. 이를 통하여 주민들에 의해 제기되는 배수갑문 건설로 인한 콩돌해변 해안의 침식현상을 단편적으로 평가하기에는 어려움이 있음. 주변 용기포 신항 개발 등 많은 원인을 종합적으로 고려하여 담수호 배수갑문의 존재 여부에 따른 주변 사곶해안과 콩돌해변 인근의 해류 흐름 변화는 대략적으로 확인할 수 있을 것으로 생각됨
- 담수호 배수갑문의 존재 여부에 따른 담수호 내부의 수위변화에 대해서는 반드시 검토하여 현재 담수호 내측 육지의 침수 상황을 검토하여야 하며, 만약 간척천 부근 육지가 침수될 경우 5장에서 언급한 평화에너지섬 조성사업에서 제안한 담수호의 중간 부분에 방수제를 건설하여 분리해주는 것도 방안이 될 수 있음

[표 6.1] 중수도의 용도별 수질기준

구분	청소·화장 실용수	세척·살수 용수	조경용수	친수용수	하천 등 유지용수	공업용수
총대장균군수 (개/100ml)	불검출	1,000이하	1,000이하	불검출	1,000 이하	수요자와 공급자간 협의에 따라 정하되, 비고 2의 기준을 따를 것
결합잔류염소 (mg/L)	0.2이상	—	—	0.1 이상	—	
탁도 (NTU)	2 이하	2 이하	2 이하	2 이하	—	
생물화학적 산소요구량 (BOD) (mg/L)	5 이하	5 이하	5 이하	3 이하	5 이하	
냄새	불쾌하지 않 을 것	불쾌하지 않을 것	불쾌하지 않을 것	불쾌하지 않을 것	불쾌하지 않을 것	
색도 (도)	20 이하	—	—	10 이하	—	
총질소 (T-N) (mg/L)	—	—	—	10 이하	20 이하	
총인 (T-P) (mg/L)	—	—	—	0.5 이하	0.5 이하	
수소이온농도 (pH)	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5	
염화물 (mgCl/L)	—	—	250 이하	—	—	

비고

1. 항목별 수질검사는 「환경분야 시험·검사 등에 관한 법률」 제6조제1항제5호에 따른 수질오염물질 공정시험기준에 따라 검사하여야 한다.
2. 공업용수의 수질기준은 제품의 생산공정에 사용하는 경우에만 적용하며, 타 사업장으로 중수도 원수를 이송 후 처리하여 사용하는 경우 중수도 원수는 다음 각 목의 기준을 준수하여야 한다.
 - 가. 법 제9조제1항 각 호의 시설물 또는 개발사업의 폐수배출시설에서 발생하는 폐수를 중수도 원수로 사용하는 경우: 「물환경보전법 시행규칙」 별표 13에 따른 배출허용기준
 - 나. 법 제9조제1항 각 호의 시설물 또는 개발사업에서 발생하는 오수를 중수도 원수로 사용하는 경우: 「하수도법 시행규칙」 별표 3에 따른 오수처리시설의 방류수수질기준

자료) 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률 시행규칙 [별표 1]

6.2.3 관광지로서의 담수호 개발

- 담수호에 산책로 건설, 숙박·위락시설의 건립 등을 통한 관광객 유치 목적으로 개발할 경우에는 담수호의 위치를 고려한 종합적인 계획수립이 필요할 것으로 판단됨. 즉, 담수호의 위치는 백령도의 관문인 용기포항과 거리가 떨어져 있고, 용기포항으로부터 직접 이동할 수 있는 해안도로가 없는 등 관광지로서의 접근성이 부족하고 군부대 면회객 또는 순수 관광객의 연령대가 대부분 중장년층임을 감안하여 관광지 개발계획을 수립하여야 함
- 5장에서 언급한 평화에너지섬 조성계획 중 수상 태양광의 설치계획 및 소형공항 활주로 건설계획을 고려하여 담수호의 활용계획을 종합적으로 검토하는 것이 바람직할 것으로 판단됨. 즉, 현재 중단되어 있는 관련 계획들이 향후 수행될 경우를 대비하여 담수호에 수상 태양광을 설치할 경우, 담수호를 수상 경비행기의 이착륙지로의 활용할 경우 등 현재로서는 담수호를 당초 조성목적인 농업용수로의 활용이 불가능한 상황에서 주민과 관광객을 위한 백령도의 대표적인 위락시설로 건설하고자 하는 경우 관련 계획을 종합적으로 고려하여 배수갑문의 통수 문제도 판단해야 할 것으로 생각됨

참고문헌

참 고 문 헌

- 2020 군정백서, 용진군, 2019
- 용진군 통계연보, 용진군, 2015~2019
- 하수도통계, 환경부, 2019
- 용진군 내부자료, 용진군, 2020
- 김호일, 김형중, 농업용수 수질측정망 자료 분석을 통한 농업용 호소의 수질관리방안, 한국관개배수 논문집, 19(1), pp.19~29, 2012
- 댐수원지 환경정비센터(재), 댐저수지의 수환경 Q&A, 일본 산해당, 2002
- 오마이뉴스, 물이 ‘간장’색. 낙동강 이번엔 갈조류 비상, <http://www.ohmynews.com>, 2013
- 경기개발연구원, 왕송호소 수질개선 및 관리대안 연구, 2011
- 경기도수자원본부, (주)이티워터, 기흥·왕송저수지 수질개선대책 연구용역,
- 충남연구원, 중앙호수공원 호소수 수질개선 방안
- 인천광역시 에너지정책과 내부자료

부 록

-
1. 수질개선 업무지침(환경부)
 2. 농업용 호소 수질개선지침(환경부)

[부록 1] 중점관리저수지의 지정 및 수질개선을 위한 업무처리지침

환경부 예규 제542호

중점관리저수지의 지정 및 수질개선을 위한 업무처리지침

제1장 일반사항

제1조(목적) 이 지침은 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」 제31조의2에 따라 오염된 저수지의 수질 개선을 통해 국민들에게 생활용수 및 관광·레저의 기능을 제공할 수 있도록 하기 위하여 중점관리저수지의 지정 및 수질개선대책의 수립·추진 등에 관한 사항을 구체적으로 규정함을 목적으로 한다.

제2조(적용범위) 이 지침은 중점관리저수지 수질관리 정책을 수립하고 수질개선사업 추진을 지원하는 환경부, 저수지 상류(호외) 수질개선대책을 수립·추진하는 시·도지사, 저수지 호내 수질개선대책을 수립·추진하는 수면관리자에 각각 적용한다.

제3조(정의) 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.

1. “중점관리저수지”라 함은 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」 제31조의2에 따라 환경부장관이 관계 중앙행정기관의 장과 협의하여 지정한 저수지를 말한다.
2. “수면관리자”란 다른 법령에 따라 호소를 관리하는 자를 말한다. 이 경우 동일한 호소를 관리하는 자가 둘 이상인 경우에는 「하천법」에 따른 하천관리청 외의 자가 수면관리자가 된다(「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」 제2조제15호).

제4조(달성목표) 환경부장관이 중점관리저수지를 지정하여 달성하고자 하는 목표는 다음 각 호와 같다.

1. 생활용수 및 관광·레저의 기능을 갖추도록 그 수질을 관리하는 경우 : 「환경정책기본법 시행령」 별표 1 제3호나목(2)에 따른 호소의 생활환경 기준 중 약간좋음(Ⅱ) 등급 이상(관광레저형)
2. 수변휴양의 기능을 갖추도록 그 수질을 관리하는 경우 : 「환경정책기본법 시행령」 별표 1 제3호나목(2)에 따른 호소의 생활환경 기준 중 보통(Ⅲ) 등급 이상(수변휴양형)
3. 해당 저수지를 기존의 목적으로 이용하는 경우 : 농업용수 등 기존의 목표수질 이상

제5조(지원기간) 중점관리저수지 지정에 따른 국고보조사업의 우선지원기간은 원칙적으로 5년으로 하되, 절대공기 소요 등 불가피한 경우 7년까지 연장할 수 있다.

제6조(중장기 계획의 수립) 환경부장관은 관계 중앙행정기관의 장, 시·도지사(특별자치도지사·특별자치시장을 포함한다), 저수지 수면관리자 등과 협조하여 수질개선이 필요한 중점관리저수지를 사전에 검토·선정하고, 중장기 수질개선 계획을 5년 단위로 수립·시행할 수 있다.

제2장 선정기준 및 지정절차

제7조(선정기준) ① 중점관리저수지의 선정기준은 다음 각 호와 같다.

1. 총 저수용량 1천만세제곱미터 이상
2. 저수지내 수질오염도가 『환경정책기본법』 시행령 제2조(별표)에서 정하는 호소의 환경기준(농업용저수지 4등급, 기타 3등급)을 초과
3. 환경부장관이 해당 수계의 수질보전을 위해 필요하다고 인정하는 경우

② 제1항에 의해 선정된 저수지에 대해 별지 제1호 서식에 따라 수질오염정도, 주민 접근성 및 활용성 등에 따라 총점 100점 만점으로 종합평가하여 우선순위를 정한다.

1. 수질(40점) : 최근 5년 평균 COD·T-N·T-P, Chl-a 의 수질 등급 배점의 합

※ 2016년부터 COD를 TOC로 대체할 수 있음

2. 접근성(40점) : 반경 5km 이내 인구, 10km 이내 인구 차등 배점
3. 활용성(20점) : 저수지 주변 주민 편의 시설, 산책로 등 조성여부

제8조(중점관리저수지 지정계획 통보) 환경부장관은 제7조의 기준에 따라 다음 각 호가 포함된 중점관리저수지 지정계획을 수립하여 중앙행정기관의 장과 협의를 거쳐 해당 시·도지사 및 저수지 수면관리자에게 통보하여야 한다.

1. 저수지 일반현황(저수지 위치, 시설관리자, 저수용량, 주변 오염원, 수질현황, 유역특성, 인구현황 등)
2. 지정근거
3. 지정목적 및 필요성
4. 기타 필요하다고 판단되는 사항

제9조(중점관리저수지 수질개선계획 제출) 제8조의 중점관리저수지 지정계획을 통보받은 시·도지사 및 저수지 수면관리자는 별지 제2호 서식을 참고하여 개괄적인 수질개선계획서를 작성하여야 한다. 시·도지사 및 저수지 수면관리자는 중점관리저수지 지정계획을 통보받은 날로부터 3개월 이내에 수질개선계획서 등을 환경부장

관에게 제출하여야 한다. 이 경우 저수지 수면관리자와 시·도지사는 공동으로 대책을 수립하여 제출할 수 있다.

제10조(중점관리저수지 지정 및 해제) ① 환경부장관은 제9조에 따라 해당 저수지를 관할하는 시·도지사 및 저수지 수면관리자가 제출한 수질개선계획에 대한 타당성 및 추진 가능성 등을 검토하여, 다음 각 호의 사항이 포함된 지정계획을 수립하여 관계 중앙행정기관의 장과 협의하여야 한다.

1. 대상저수지의 위치, 시설관리자, 저수용량, 오염도
2. 중점관리저수지 지정의 목적 및 필요성
3. 그 밖에 중점관리저수지의 지정에 필요하다고 판단되는 사항

② 환경부장관은 제1항에 따른 협의결과 및 중점관리저수지 지정을 위한 법적 요건 충족여부, 해당 시·도지사 및 저수지 수면관리자의 수질개선 노력 및 효과 등을 고려하여 중점관리저수지를 지정할 수 있다.

③ 환경부장관은 제2항에 따라 중점관리저수지를 지정하는 경우 수질개선 목표 달성기간 등을 고려하여 연차별로 지정 저수지의 수를 조정할 수 있다.

④ 환경부장관이 제2항에 따라 중점관리저수지를 지정한 경우에는 해당 시·도지사 및 저수지 수면관리자에게 중점관리저수지 지정결과 및 협조요청 사항을 통보하여야 한다.

⑤ 중점관리저수지로 지정된 이후 수질오염도가 제7조제1항2호에 따른 기준 이하로 2년 이상 계속하여 유지되는 경우에 한하여 그 지정을 해제할 수 있다.

제11조(수질오염방지 및 수질개선대책 계획수립 보고) 중점관리저수지 지정을 통보 받은 시·도지사 및 저수지 수면관리자는 통보받은 날부터 1년 이내에 별지 제3호서식에 따라 다음 각 호의 내용이 포함된 중점관리저수지 수질오염방지 및 수질개선대책을 수립하여 제출하여야 한다.

1. 중점관리저수지의 설치목적, 이용현황 및 오염현황
2. 중점관리저수지의 경계로부터 반경 2킬로미터 이내의 거주인구 등 일반현황
3. 중점관리저수지의 수질 관리목표
4. 중점관리저수지의 수질오염 예방 및 수질 개선방안
5. 그 밖에 중점관리저수지의 적정관리를 위하여 필요한 사항

제12조(수질오염방지 및 수질개선대책 승인 통보) 제11조에 따라 수질오염방지 및 수질개선대책을 제출받은 환경부장관은 3개월 이내에 별지 제4호 서식에 따른 검토결과 등을 포함한 적합 여부를 시·도지사 및 수면관리자에게 통보하여야 하며, 기술적 사항의 검토가 필요한 경우 한국환경공단 등 전문기관에 검토를 의뢰할 수 있다. 환경부장관은 수질오염방지 및 수질개선대책의 수정·보완을 필요한 경우 시·

도지사 및 수면관리자에게 보완을 요구하여야 하며, 이때 소요되는 기간은 검토기간 산정에서 제외한다.

제3장 예산편성 및 개선계획의 확정

제13조(수질개선대책에 따른 예산안 편성) ① 환경부장관은 제12조에 따른 중점관리저수지 수질개선대책 추진에 필요한 예산의 확보를 위해 노력하여야 하며, 시·도지사는 환경부장관에게 수질개선대책에 추진에 필요한 예산 지원을 요청할 수 있다. 다만, 호내 수질개선대책은 수면관리자의 별도 추진절차에 따른다.

② 제1항에 따른 예산안 편성 시 「보조금관리에 관한 법률 시행령」 제4조제1항의 ‘보조금 지급 대상 사업의 범위와 기준보조율’에 따른 사업별 국고보조율을 책정한다. 이 경우 국고보조율이 규정되지 아니한 사업은 관계기관 간의 협의를 거쳐 정하며, 국고보조금은 수질개선에 직접적으로 필요한 사업에 지원하는 것을 원칙으로 한다.

③ 제2항에 따라 우선적으로 반영하여야 하는 사업은 다음 각 호와 같다.

1. 하수처리사업
2. 생태하천 복원사업
3. 비점오염 저감사업
4. 공단폐수 처리사업
5. 가축분뇨 처리사업
6. 중점관리저수지 호외 오염물질 저감대책
7. 기타 해당 중점관리저수지의 수질개선을 위해 인정되는 사업

제14조(단계적 추진) ① 제13조에 따른 수질개선대책은 사업내용 및 예산소요 규모 등을 고려하여 단계적으로 추진할 수 있다.

② 제1항에 따른 투자사업의 규모, 총사업비, 연차별 투자계획 등은 별지 제5호서식에 따라 관리한다.

제4장 관리 및 평가

제15조(수질개선계획의 관리) ① 환경부장관은 제12조에 따라 승인한 중점관리저수지별 수질개선대책과 관련하여 예산 반영현황, 추진상황, 변경사항 등을 관리하여야 한다.

② 해당 시·도지사 및 저수지 수면관리자는 제12조에 따라 승인 받은 수질개선대책이 차질 없이 추진될 수 있도록 예산의 확보 및 집행, 당해 사업장에 대한 관리 체계를 갖추어야 한다.

제16조(수질 및 수생태계 건강성 조사) ①환경부장관은 제11조에 따른 중점관리저수지의 현황 파악 및 평가를 위하여 시·도지사 및 저수지 수면관리자의 자체 사업성과 평가와는 별도로 수질 및 수생태계 건강성 조사를 다음 각호와 같이 실시할 수 있다. 다만, 수질측정망이 운영되고 있거나 호소환경조사, 수생태계 건강성 조사가 주기적으로 수행되는 저수지의 경우에는 관련 조사결과를 활용할 수 있다.

1. 수질(수온, 전기전도도, pH, DO, BOD, COD, TOC, SS, TN, TP, Chl-a 등)은 매년 4회 이상

2. 수생태계 건강성은 매년 1회 이상 조사

② 환경부장관은 제1항에 따라 수질 및 수생태계 건강성 조사를 실시한 경우에는 제15조에 의해 해당 시·도지사 및 수면관리자가 실시한 자체 사업성과 평가에 대한 검토자료 등으로 활용할 수 있다.

제17조(사업성과의 평가 및 관리) ① 해당 시·도지사 및 저수지 수면관리자는 별지 제6호 서식에 따라 중점관리저수지에 대한 수질오염 방지활동 실적과 수질개선대책의 추진실적 등(매년 12월말 기준)을 작성하고, 중점관리저수지로 지정된 당해 연도부터 수질개선대책이 종료된 후 3년까지 다음 각 호의 사항을 자체 평가한 후 다음 연도 2월말까지 환경부에 제출하여야 한다.

1. 수질개선계획의 추진 및 완료 상황

2. 수질의 변화추이 및 개선정도

3. 수생태계 변화 상황

4. 개선사업에 대한 지역주민 만족도(사업이 완료된 경우에 한한다)

5. 대상 저수지에 대한 상시적 관리계획(사업이 완료된 경우에 한한다)

② 환경부장관은 제1항에 따른 개선성과의 종합적·객관적 평가 등을 위하여 한국환경공단 등 전문기관의 의견을 듣거나 해당 시·도지사 및 수면관리자에게 관련 사항의 조사·자료의 제출 등을 요구할 수 있다.

제18조(존속기한) 「훈령·예규 등의 발령 및 관리에 관한 규정」(대통령훈령 제334호)에 따라 이 지침 시행 후의 법령이나 현실 여건의 변화 등을 검토하여 폐지, 개정 등의 조치를 하여야 하는 기한은 2018년 3월 31일까지로 한다.

부 칙

이 지침은 발령한 날부터 시행한다. 다만, 2015년도 신규 지원대상 저수지의 선정 절차는 환경부장관의 별도계획에 따른다.

[부록 2] 농업용 호소 수질관리지침

(환경부) 농업용 호소 수질관리지침

[시행 2016. 8. 12.] [환경부훈령 제1228호, 2016. 8. 12., 일부개정.]

제1조(목적) 이 규정은 농업용 호소의 수질 조사 및 수질개선 대책을 수립 추진함으로써 농업용 호소 수질의 효율적 관리에 이바지함을 목적으로 한다.

제2조(정의) 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.

1. “농업용 호소”라 함은 「농어촌정비법」 제2조의 농업생산기반시설 중 저수지와 담수호를 말한다.
2. “시설관리자”라 함은 시장·군수·구청장(자치구의 구청장을 말한다. 이하 ‘시장·군수’라 한다), 한국농어촌공사 사장 등 농업용 호소를 관리하는 자를 말한다.
3. “목적 외 사용”이라 함은 「농어촌정비법」 제23조에 따라 농업용 호소의 수면이나 용수를 농업 등 본래 이외의 목적으로 사용하는 것을 말한다.

제3조(적용범위) 농업용 호소중 상수원으로 사용되는 호소를 제외한 호소의 수질 조사 및 수질개선 대책 수립·추진에 관하여 다른 법령에 규정한 것을 제외하고는 이 규정에 의한다.

제4조(수질조사) ①농업용 호소의 수질관리를 위하여 시설관리자 등은 농업용 호소에 대하여 수질조사를 실시하여야 한다

②농림축산식품부장관은 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」에 따라 환경부장관이 고시하는 ‘물환경측정망 운영계획’과 연계하여 수질조사를 실시할 수 있다.

제5조(중점관리 농업용 호소의 지정 등) ①농림축산식품부장관은 제4조에 의한 수질조사 결과 「환경정책기본법 시행령」 제2조에 의한 호소의 생활환경기준 중 “약간나쁨” 등급을 초과하는 농업용 호소 중 다음 각호의 어느 하나에 해당하는 경우에는 중점관리시설로 지정하여 시설관리자와 당해 시설의 유역을 관할하는 시장·군수, 유역환경청장 또는 지방환경청장으로 하여금 중점 관리하도록 할 수 있다.

1. 수질오염이 심각하여 조속한 수질개선대책이 필요한 호소
2. 도시 개발 및 토지이용 변화에 따른 급격한 오염 부하가 예상되어 수질유지가 필요한 호소
3. 기타 일정한 수질을 유지하거나 개선하기 위하여 특별히 관리할 필요가 있다고 인정되는 호소

②농림축산식품부장관은 중점관리 농업용 호소를 지정하거나 해제하고자 하는 경우에는 제10조에 의한 농업용 호소 수질관리협의회의 의결을 거쳐야 한다.

③ 제2항에 따라 지정된 중점관리시설은 「환경정책기본법 시행령」 제2조에 의한 호소의 생활환경기준 중 “약간나쁨” 등급 이내의 수질을 2년 연속 유지하는 경우에 해제할 수 있다. 다만, 지속적인 수질관리가 필요하다고 판단되는 경우에는 계속하여 중점관리시설로 지정·관리할 수 있다.

④시설관리자와 시장·군수는 중점관리시설로 지정된 농업용 호소에 대하여 수질오염 방지활동 실적과 수질오염 방지대책 추진결과를 매년 12월 말일을 기준으로 작성하여 다음년도 1월20

일까지 농림축산식품부장관에게 제출하여야 한다.

제6조(오염원 파악) ①시설관리자와 시장·군수는 중점관리시설로 지정된 농업용 호소의 효율적인 수질관리를 위하여 상류지역에 대한 오염원 현황을 파악하여야 한다.

②시설관리자와 시장·군수는 환경부가 실시하는 전국 오염원조사 자료를 기초로 5년마다 농업용 호소의 상류유역 오염원현황 등을 파악하고, 필요한 경우 현장조사 등을 거쳐 오염원 자료를 제10조에 의한 농업용 호소 수질관리협의회에 보고하여야 한다.

제7조(수질오염 감시 등) ①시설관리자와 시장·군수는 매년 중점관리시설로 지정된 농업용 호소 및 상류유역에 대해 수질오염 감시계획을 수립하고, 수질오염 방지 활동을 하여야 한다.

②시장·군수는 제5조의 규정에 의한 중점관리시설로 지정된 농업용 호소에 대하여 한국농어촌공사 사장과 합동 지도·점검을 실시할 수 있다.

③시설관리자는 농업용 호소의 수질이 「환경정책기본법 시행령」 제2조에 의한 호소의 생활환경기준 중 “약간나쁨” 등급을 초과하는 경우로서 목적 외 사용으로 인해 추가적인 수질오염이 우려되는 경우에는 목적외 사용 승인 기간의 갱신 또는 신규 목적 외 사용 승인 등을 하여서는 아니된다.

제8조(수질개선대책수립 등) ①농업용 호소의 수질은 「환경정책기본법」 시행령 제2조에 의한 호소의 생활환경기준 중 “약간나쁨” 등급 이내로 관리함을 원칙으로 한다.

②유역환경청장 또는 지방환경청장은 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」 제25조 규정에 따라 중권역 수질 및 수생태계 보전계획 수립 시 중점관리시설로 지정된 농업용 호소의 수질관리방안을 우선적으로 검토할 수 있다.

③시장·군수는 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」 제26조에 따라 소권역 수질 및 수생태계 보전계획을 수립 시 중권역 수질 및 수생태계 보전계획에 포함되지 않은 농업용 호소의 수질관리 방안도 소권역 수질 및 수생태계 보전계획에 포함할 수 있다.

④유역환경청장 또는 지방환경청장은 중권역 수질 및 수생태계 보전계획 수립 시 「중권역 물환경관리계획 수립·시행 지침」에 의한 중권역 물환경관리위원회에 한국농어촌공사 해당지역 관계자를 포함할 수 있다.

⑤농림축산식품부장관과 환경부장관은 제4조에 의한 수질조사 결과, 5개년간 지속하여 「환경정책기본법 시행령」 제2조에 의한 호소의 생활환경기준 중 “약간나쁨” 등급을 초과하는 농업용 호소는 제2항 내지 제3항의 규정에 의하여 수립되는 대책에도 불구하고 중·장기 수질개선 대책을 수립·시행할 수 있다.

제9조(관계기관과의 협조) 농림축산식품부장관과 환경부장관은 제8조에 의한 농업용 호소의 수질개선대책 수립과 관련하여 제12조에 의한 지역협의회 또는 한국농어촌공사 사장으로 하여금 다음 각 호의 내용을 제출하게 하거나 의견의 제시를 요청할 수 있다.

1. 제4조의 규정에 의한 수질조사 결과
2. 제6조의 규정에 의한 오염원조사 결과 및 호소 상류유역의 각종 개발 현황 등
3. 당해 호소 상류의 점오염원 처리대책, 비점오염원 저감대책 및 호소내 수질개선 방안

제10조(농업용 호소 수질관리협의회) ①농림축산식품부장관과 환경부장관은 농업용 호소의 수질관리와 다음 각 호의 사항을 협의·조정하기 위한 농업용 호소 수질관리협의회(이하 “협의회”라 한다)를 설치·운영한다.

1. 제8조제5항 규정에 의한 농업용 호소의 중·장기 수질개선 대책 수립·추진에 관한 사항

2. 제5조 규정에 의한 중점관리 농업용 호소의 지정 및 해제에 관한 사항
3. 그 밖에 협의회의 의장이 필요하다고 인정하여 협의회의 회의에 부치는 사항
- ②협의회는 의장 2인을 포함하여 12인 이내의 위원으로 구성하며, 의장은 농림축산식품부 식량정책관과 환경부 물환경정책국장이 공동의장이 된다.
- ③위원은 농림축산식품부·환경부 관계공무원 각 2인, 한국농어촌공사·한국환경공단 관계전문가 각 1인 및 농림축산식품부·환경부가 농림분야 또는 환경분야 전문가 중에서 각 2인을 위촉하여 구성하며, 각 부처에서 위촉한 위원의 임기는 2년으로 하되, 연임할 수 있다.
- ④협의회의 사무를 처리하기 위하여 협의회에 간사 2인을 두며, 간사는 공동의장이 소속공무원 중에서 각 1인씩 임명하며, 간사는 회의를 할 때마다 회의록을 작성하여 다음 회의에 보고하고 이를 보관하여야 한다.
- ⑤제1항 내지 제4항의 규정 외에 협의회의 운영 등에 필요한 사항은 의장이 협의회의 의결을 거쳐 정한다.

제11조(협의회 회의) ①협의회의 회의는 의장이 필요하다고 인정하는 때에 소집하며, 협의회 소집은 회의개시일 7일전까지 위원에게 통보하여야 한다.

②협의회의 회의는 재적위원 3분의2 이상의 출석으로 개의하고, 출석위원 과반수의 찬성으로 의결한다.

③ 협의회의 회의는 농림축산식품부와 환경부에서 1회씩 번갈아 개최하는 것을 원칙으로 한다.

제12조(지역협의회) ①시장·군수는 관할 지역내 농업용 호소의 수질관리와 다음 각 호의 사항을 협의하기 위해 지역협의회를 구성 운영한다. 다만, 농업용 호소의 유역이 2개 이상의 기초자치단체 구역에 걸쳐있는 담수호의 경우에는 관할 유역환경청장이 지역협의회를 구성 운영한다.

1. 농업용 호소 상류유역의 오염원 저감 대책에 관한 사항
2. 농업용 호소 내의 수질개선 대책에 관한 사항
3. 농업용 호소 상류유역의 오염원 현황 조사에 관한 사항
4. 기타 농업용 호소의 수질오염 방지와 관련된 사항

②지역협의회는 당해 기초자치단체의 부시장 또는 부군수 또는 부구청장(제12조제1항에 따라 관할 유역환경청장이 지역협의회를 구성 운영하는 경우에는 관할 유역환경청의 유역관리국장)을 의장으로 하고, 위원은 당해 기초자치단체·한국농어촌공사 지사·한국환경공단 지방사무소 및 농림분야 또는 환경분야 전문가 등을 위촉하여 구성할 수 있다.

③ 농림축산식품부장관과 환경부장관은 지역협의회 운영실적 및 성과가 우수한 지역의 수질개선사업을 우선 지원할 수 있다.

제13조(수당 및 여비) 제10조 규정에 의한 협의회 및 제12조 규정에 의한 지역협의회에 출석한 위원에 대하여는 예산의 범위에서 수당·여비 그 밖에 필요한 경비를 지급할 수 있다. 다만, 공무원이 그 소관업무와 관련하여 협의회에 출석하는 경우에는 그러하지 아니하다.

부칙 <제1228호, 2016. 8. 12.>

제1조(시행일)이 훈령은 2016년 8월 12일부터 시행한다.

제2조(존속기한)이 훈령은 「훈령·예규 등의 발령 및 관리에 관한 규정」(대통령훈령 제248호)에 따라 이 훈령을 발령한 후의 법령이나 현실 여건의 변화 등을 검토해야 하는 2019년 8월 12일까지 효력을 가진다.