

화성호 수질보전 보완대책 대안 검토

- 해수유통을 중심으로 -

2013. 5



제 출 문

과 업 명 : 화성호 수질보전 보완대책 대안검토 (해수유통을 중심으로)

1. 귀 기관의 무궁한 발전을 기원합니다.
2. 귀 기관에서 발주한 「화성호 수질보전 보완대책 대안검토(해수유통을 중심으로)」의 최종보고서를 제출합니다.

2013. 5.

주 소 : 경기도 수원시 장안구 파장동 179

상 호 : 경기개발연구원

대 표 자 : 홍 순 영

화성시장 귀하

참여연구진

연구책임

이 기 영 경기개발연구원 환경연구실 연구위원

공동연구원

송 미 영 경기개발연구원 환경연구실 선임연구위원

유 영 성 경기개발연구원 미래비전연구실 연구위원

연구원

한 송 희 경기개발연구원 환경연구실 연구원

문 희 일 경기개발연구원 환경연구실 연구원

비상임연구위원

김 용 주 서울디지털대학교 경영학과 교수

-차 례-

제1장 서론	3
1. 연구의 배경 및 필요성	3
2. 연구의 목적	3
3. 과업의 범위와 내용	4
1) 지역적 범위	4
2) 시간적 범위	4
3) 과업의 주요 내용	4
제2장 화성호 현황 및 수질대책 추이	7
1. 화성호 유역현황	7
1) 지리적 환경	7
2) 자연환경	8
(1) 기상	8
(2) 지형·지질	11
3) 인문·생활환경	11
(1) 인구현황	11
(2) 공공하수처리시설	12
4) 유입하천 현황	13
2. 화성호 수질보전대책 추이	15
1) 1단계 수질보전대책(1999~2010년)	15
(1) 수질보전대책의 추진 경과	15
(2) 2002년 수질보전대책의 주요내용	15

(3) 수질보전대책 변경 및 평가	18
(4) 수질보전대책 실적 평가	18
2) 2단계 수질보전대책	19
(1) 화성호 수질보전 보완대책(안)	19
(2) 화성호 수질개선을 위한 최적관리방안	20
(3) 이행평가체계의 구축	21

제3장 해수유통 요구와 사례조사25

1. 해수유통 요구25

1) 해수유통 필요성 제기	25
2) 기관별 입장	25
(1) 경기도	25
(2) 화성시	27
(3) 농어촌공사	29
(4) 농업정책 현재 상황	30

2. 해수유통 사례31

1) 시화호	31
(1) 시화호의 개요	31
(2) 시화호 오염 및 해수유통	32
2) 새만금 사업	33
(1) 사업개요	33
(2) 새만금 수질관리계획	34
(3) 해수유통 제기	35
3) 해외사례	36

(1) 네덜란드 휘어스호	36
(2) 독일의 흘머질	37
(3) 영국 런던 하구의 테임즈 배리어	38

제4장 화성호 수질예측41

1. 수질현황41

1) 화성호 유입지천 수질현황	41
2) 화성호 수질현황	43
(1) 호내 유입부분 수질	43
(2) 호내 수질	44
(3) 외해 수질	46
3) 인근 하구호와의 수질 비교	46

2. 수질모델47

1) 모델의 선정 및 구축	47
2) 수질모델 결과	50

제5장 경제성 분석57

1. 경제성 비교 공공사업 개요57

1) 대상사업 현황	57
2) 대상사업 추진 사항	58
3) 경제성 비교 대상	58

2. 경제적 타당성 비교 분석 개요58

1) 비용편익분석 개념	58
2) 비용편익분석 절차	59
3) 비용편익분석 지표	60

(1) 순현재가치(Net Present Value)	60
(2) 비용편익비율(Benefit-Cost Ratio)	61
(3) 내부 수익률(Internal Rate of Return : IRR)	62
(4) 비용편익분석 지표의 적용	63
4) 비용편익분석 범위의 한정	63
(1) 형평성 기준	63
(2) 불확실성의 범위	63
(3) 사회적 제도 요인	63
5) 비용편익분석 원칙	64
(1) 사업비 조정	64
(2) 사업생산물 물가수준 통일	65
3. 화성호 담수화 사업과 해수유통 사업의 경제성 비교	65
1) 기본전제	65
(1) 수질보전대책의 포함 여부	65
(2) 두 사업의 비교시 각각 및 공통 적용되는 부분의 구분	66
(3) 검토 대상항목의 명료화	66
(4) 경제성 분석의 시간적 범위	66
2) 담수화 사업의 비용편익분석	67
(1) 담수화 사업의 비용	67
(2) 담수화 사업의 편익	73
3) 해수유통 사업의 비용편익분석	78
(1) 해수유통 사업의 비용	78
(2) 해수유통 사업의 편익	80

4) 담수화 사업과 해수유통 사업의 비용 및 편익 흐름	83
(1) 담수화 사업의 비용 및 편익 흐름	84
(2) 해수유통 사업의 비용 및 편익 흐름	88
5) 두 사업의 비교 분석	92
(1) 담수화 사업의 비용편익 분석	92
(2) 해수유통 사업의 비용편익 분석	92
(3) 두 사업의 비용편익 분석 결과 비교	92

제6장 해수유통과 담수화에 따른 환경영향 분석97

1. 담수호가 환경에 미치는 영향	97
2. 화성호 담수호 조성에 대한 환경성 평가 방안	106
1) 기본방향	106
2) 간척지 개발에 따른 분야별 환경영향	107
3) 화성호의 수질 및 부영양화 전망	108

제7장 결론111

1. 화성호 해수유통 요구와 한계	111
2. 해수유통시 적정 수질개선 대책	111
3. 담수호와 해수유통의 경제성 분석	112
4. 담수호 추진시 환경에 미치는 영향	112
5. 화성호의 적정 이용 및 관리방안	113

참고문헌 115

- 표 차 례 -

〈표 2-1〉 수원 기상대 과거 10년('03~'12) 평균기온	8
〈표 2-2〉 수원 기상대 과거 10년('03~'12) 강수량	9
〈표 2-3〉 수원 기상대 과거 10년('03~'12) 상대습도	9
〈표 2-4〉 수원 기상대 과거 10년('03~'12) 상대습도	10
〈표 2-5〉 수원 기상대 과거 10년('03~'12) 일조시간	10
〈표 2-6〉 화성호유역 내 인구현황	11
〈표 2-7〉 화성호 유역 내 하수처리시설 현황	12
〈표 2-8〉 화성호 유역 내 공공하수처리시설 방류수질 현황	12
〈표 2-9〉 남양천 및 신남천 유역특성	13
〈표 2-10〉 자안천, 요곡천, 무봉천 유역특성	13
〈표 2-11〉 어은천 유역특성	14
〈표 2-12〉 화성호 수질보전대책 추진경과	15
〈표 2-13〉 기존 수질보전대책의 주요내용	16
〈표 2-14〉 수질보전대책의 관리내용	16
〈표 2-15〉 화성호 수질보전대책 변경 사항	18
〈표 2-16〉 화성호 수질보전대책 추진 실적	19
〈표 2-17〉 보완대책별 설치비 및 유지관리비 추정(안)	20
〈표 3-1〉 에코팜랜드 추진상황	26
〈표 3-2〉 에코팜랜드 소요예산	27
〈표 3-3〉 시화호의 연혁	32
〈표 3-4〉 시화호의 연혁	33
〈표 3-5〉 새만금 수질보전대책	34
〈표 3-6〉 해수유통의 찬반의견	35
〈표 4-1〉 2012년 월별 화성호 수질현황(호내 유입부분)	44
〈표 4-2〉 2012년 월별 화성호 수질현황(호내 부분)	45
〈표 4-3〉 2012년 화성호-시화호 호내 수질비교	46
〈표 4-4〉 2012년 평택호-남양호 호내 수질현황	47
〈표 4-5〉 화성호 유역 수질측정망 현황	51
〈표 4-6〉 HWL5 지점의 전층평균 수질결과	52

<표 4-7> 화성호 수질결과(HWL 1~9)	52
<표 4-8> 2012년 화성호-시화호 호내 수질비교	54
<표 5-1> 비용편익분석의 절차 및 단계별 주요 내용	59
<표 5-2> 투자효율지표의 타당성 판정 기준	63
<표 5-3> 경제성 분석을 위한 사업비 조정계수	64
<표 5-4> 화성호 수질보전 보완대책 (안)	68
<표 5-5> 화성호 수질보전 보완대책 (안)	68
<표 5-6> 추가 수질보전대책(안)'의 연차별 투자계획	70
<표 5-7> 에코팜랜드 조성 총 사업비	70
<표 5-8> 에코팜랜드 사업비 연차별 집행계획(기본계획)	71
<표 5-9> 에코팜랜드 사업비 연차별 집행계획(2012년 기준)	72
<표 5-10> 수질보전 보완대책(안)'에 의한 오염물질 삭감효과	73
<표 5-11> '추가 수질보전대책'에 의한 오염물질 삭감효과	74
<표 5-12> 종합 수질보전대책에 의한 오염물질 삭감량	74
<표 5-13> BOD 부하량에 따른 정수비용	74
<표 5-14> 축산 R&D 단지 편익	75
<표 5-15> 승용마 단지 편익	76
<표 5-16> 수출형 유리온실 경관농업단지 편익	76
<표 5-17> 한우 번식우단지 편익	77
<표 5-18> 체재형 주말농장 편익	77
<표 5-19> 세계농촌마을 편익	78
<표 5-20> 에코팜랜드 조성 편익(2012년 기준)	78
<표 5-21> 연도별 해수유입량과 호내 평균 COD	79
<표 5-22> 간척지의 경제적 가치 추정	79
<표 5-23> 갯벌의 가치 추정(미국 사례)	81
<표 5-24> 담수화 사업의 NVP 및 B/C 비	92
<표 5-25> 해수유통 사업의 NVP 및 B/C 비	92
<표 6-1> 농업용 호소 중점관리시설 지정 기준	99
<표 6-2> 호소의 영양상태 분류기준	100
<표 6-3> 남양호 연평균 수질 현황	101
<표 6-4> 평택호 연평균 수질 현황	103
<표 6-5> 간척지 개발에 따른 분야별 환경영향 예상	107

-그림 차례-

<그림 2-1> 화성호 유역내 행정구역도	7
<그림 2-2> 화성호 수질보전대책 위치도	17
<그림 2-3> 장래 추가대책 계획 및 위치	21
<그림 2-4> 보완대책 평가 일정 및 주요내용	22
<그림 3-1> 화성바이오밸리 내 수질자동측정망 계획	28
<그림 3-2> 쌀 수요량 및 소비량 현황	30
<그림 3-3> 시화호 및 시화호 유역	31
<그림 3-4> 새만금 방조제 현황	33
<그림 3-5> 새만금호의 목표수질 등급	34
<그림 3-6> 네덜란드 휘어스호 위치	36
<그림 3-7> 네덜란드 휘어스호의 잔트크리크 댐	37
<그림 3-8> 독일의 홀머질 수문과 주변 생태계	37
<그림 3-9> 영국 런던 테임즈 배리어	38
<그림 4-1> 2011~2012년 남양천 수질현황	41
<그림 4-2> 2011~2012년 자안천 수질현황	42
<그림 4-3> 2011~2012년 어은천 수질현황	42
<그림 4-4> 화성호 수질모니터링 지점	43
<그림 4-5> 화성호내 및 외측 수질 현황	46
<그림 4-6> HSPF 모델 진행단계	47
<그림 4-7> EFDC Hydrodynamic model의 개념도	48
<그림 4-8> EFDC 모델의 개요	49
<그림 4-9> EFDC 모델의 수질모의 기작	49
<그림 4-10> 유역모델 검·보정지점	50
<그림 4-11> HWL-5 지점의 수질변화	51
<그림 4-12> 전층 평균 수질결과(HWL 1~9)	52
<그림 4-13> 시나리오별 오염물질 결과비교	53
<그림 5-1> 화성호 대단위 간척사업 계획도	57
<그림 5-2> 화성호 유역 내 개발계획	81

<그림 5-3> 지역·지구 등의 지정 및 변경절차(토지이용규제기본법 제8조)	82
<그림 5-4> 주민의견청취 세부절차	83
<그림 5-5> 지형도면 등 고시 세부절차	83
<그림 6-1> 연도별 해면어업 생산량 변화(전국-경기도)	97
<그림 6-2> 화성호의 철새 모습	98
<그림 6-3> 남양호 측정지점 위치도	101
<그림 6-4> 남양호 연평균 수질 변화	102
<그림 6-5> 평택호 수질측정 지점	104
<그림 6-6> 남양호 연평균 수질 변화	105
<그림 6-7> 담수화에 따른 환경영향	106

제 1 장 서 론

제1장 서론

1. 연구의 배경 및 필요성

화성호는 당초 4,482 ha 의 농지조성을 목적으로 추진했던 화옹지구 사업 추진 결과 조성된 유역면적 약 235.8km²의 인공호이다. 2002년 방조제 체질이 완공된 이후 주된 쟁점은 농업용수 수질기준을 준수하기 위한 수질개선대책이었다.

2002년 경기도에서 화성호 수질개선대책을 수립하였고, 2012년에는 화성호 수질보전대책협의회 회의의 요구에 의해 한국환경정책·평가연구원에서 「화성호 수질보전보완대책」(2002)을 수립하였다.

하지만 수질보전대책에 대한 화성시의 부담과 주요 개발 사업이 한강유역환경청과의 협의 과정에서 화성호 수질보전을 이유로 승인이 늦어지게 되었고, 경기도에서 서해안 개발을 주장하면서 화성시와 경기도에서 해수유통을 주장하기 시작하여 해수유통이 쟁점으로 부상했다.

새만금과 시화호의 해수유통 사례에서 알 수 있듯이 해수유통을 해도 기 수립된 오염물질 처리 대책은 대부분 추진하는 것이 환경측면에서 바람직하다. 다만 농업용수 수질기준을 맞추기 위한 엄격한 수질관리 부담으로부터 어느 정도 벗어날 수 있을 것으로 판단된다. 또한 해수유통에 따른 간척지 활용계획 수립이 쟁점이 될 것으로 전망된다.

화성호 해수유통에 따른 수질개선대책 및 간척지 활용계획 등을 고려한 수질관리대책, 경제성 분석, 환경영향 등 관련 쟁점들을 현 시점에서 검토하여 기존의 담수호 조성과의 비교하여 향후 화성호 관리 및 이용 대책을 마련할 필요가 있다.

2. 연구의 목적

본 연구의 목적은 다음의 세 가지이다. 첫째, 해수유통에 따른 호내 수질영향을 분석하여 적정 수질개선대책을 제시하고, 둘째, 해수유통과 담수호일 경우의 경제성을 기존 자료 중심으로 분석하여 타당성을 검토하고, 셋째, 담수호와 해수유통일 경우의 환경영향을 예측하는 것이다.

3. 과업의 범위와 내용

1) 지역적 범위

- 대상지역 : 화성호 유역 (유역면적 235.8km²)

2) 시간적 범위

- 2012년 ~ 2047년 : 경제성 분석 기준

3) 과업의 주요 내용

- 화성호 및 유역현황 분석
- 해수유통 요구의 배경 분석
- 해수유통시 화성호의 수질예측 및 적정 수질개선대책
- 해수유통과 담수호 활용시의 경제성 분석
- 해수유통과 담수호에 다른 환경영향 분석
- 향후 화성호의 적정 관리 방안 제시

제 2 장 화성호 현황 및 수질대책 추이

제2장 화성호 현황 및 수질대책 추이

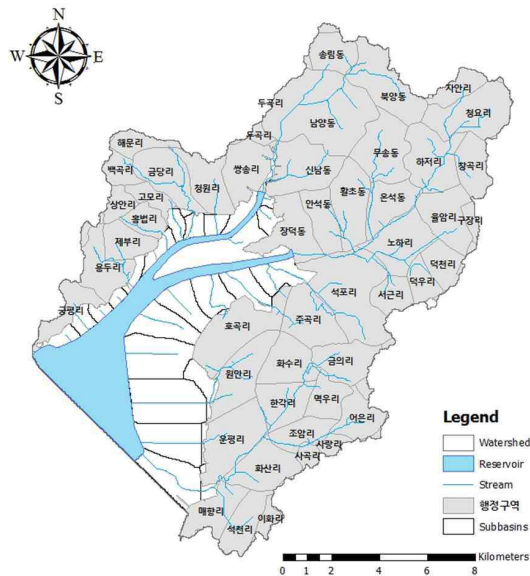
1. 화성호 유역현황

1) 지리적 환경

화성시는 한반도 중서부에 속하는 경기도의 서남해안을 끼고 위치해 있으며 육지로는 7개 시를 접하고 바다로는 서해의 평택항으로 충남과 경계되며 서쪽으로 선감도, 대부도를 마주하고 있다.

화성시는 면적이 844km²으로 경기도내 자치단체 중 5번째로 넓은 지역이며, 도시지역, 농촌지역, 어촌지역, 공업지역, 산간지역 등이 고루 분포한다. 경부, 서해안 양대 고속도로, 철도, 국도 등이 관동하는 사통팔달의 도로망이 연결되어 있으며, 각종 산업시설, 택지개발 등 대규모 개발사업의 가속화가 진행되고 대규모 간척사업의 시행지구이다.

화성호는 화옹지구 간척지 개발사업으로 조성되는 인공 하구호로 남양동, 신남동, 장덕동, 안석동, 활초동 등 11개 동을 포함하고 있으며 봉담읍, 우정읍, 비봉면의 55개 리를 포함하고 있다.



<그림 2-1> 화성호 유역내 행정구역도

2) 자연환경

(1) 기상

한반도의 중·서부에 속하는 화성시는 온난한 남부지방으로부터 대륙성의 북부지방으로 옮겨가는 전이지대에 속하고 있으며 특히 수심이 얕고 내해성인 서해에 연하고 있어 지형상으로도 저평한 평야지대에 위치하고 있어서 겨울 기온이 연안을 따라 낮은 특색을 보이고 있다. 온난습윤 기후로부터 한냉동계 소우 기후구로 옮겨가는 전이지대에 위치하여 한국의 소기후 구분상 중부서암형에 속하고 있다.

기상자료는 화성호 유역에 가장 근접한 수원기상대에서 관측한 시단위 자료로 사용하여 분석하였으며 기온, 강수량, 상대습도, 풍속 등에 대해 과거 10년간(2003~2012년) 자료를 활용하여 기상상태 변화정도를 파악하였다.

① 기온

수원기상대의 과거 10년간 평균기온을 조사한 결과 11.8~12.9℃로 연평균 기온은 12.4℃이며, 연도별로는 '06년, '07년이 평균 12.9℃로 가장 높았으며, '11년에 12.1℃로 가장 낮게 나타났다.

월별로 살펴보면 여름철(6~8월) 평균 24.4℃로 나타났으며 그 중 8월이 26.1℃로 가장 높은 기온으로 조사되었다. 최저기온은 겨울철(12~2월)이 평균 -0.9℃로 나타났으며 그 중 1월이 -2.8℃로 가장 낮게 조사되었다.

〈표 2-1〉 수원 기상대 과거 10년('03~'12) 평균기온

구분	월별 기온(℃)												연평균
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2003	-4.0	0.7	5.3	12.4	18.8	21.3	23.8	24.2	21.0	13.6	9.3	0.6	12.2
2004	-2.2	1.9	5.7	12.2	17.0	22.6	24.8	26.1	21.3	14.4	8.4	1.8	12.8
2005	-2.5	-1.7	4.1	12.6	17.1	22.4	25.3	25.4	22.2	14.4	8.2	-3.9	12.0
2006	-0.4	-0.1	5.0	11.3	18.2	21.7	23.6	27.5	21.3	17.6	8.4	1.2	12.9
2007	-0.1	3.3	6.0	11.1	17.8	22.6	24.0	26.1	21.2	14.8	6.2	1.6	12.9
2008	-1.6	-1.6	6.8	13.3	17.6	21.7	25.7	25.5	22.3	16.0	7.4	0.9	12.8
2009	-2.6	2.4	6.1	12.0	18.3	22.1	24.2	25.7	21.6	15.7	6.9	-0.7	12.6
2010	-4.5	1.4	4.6	9.6	17.1	23.1	26.0	26.9	22.2	14.4	6.4	-0.9	12.2
2011	-7.3	0.6	3.5	10.1	16.2	21.1	25.3	26.1	21.7	13.9	11.1	-0.4	11.8
2012	-2.7	-1.9	5.1	12.1	19.1	23.6	25.5	27.3	20.8	14.8	5.7	-3.9	12.1
월평균	-2.8	0.5	5.2	11.7	17.7	22.2	24.8	26.1	21.6	15.0	7.8	-0.4	12.4

자료) 기상청자료

② 강수량

수원기상대의 과거 10년간 강수량을 조사한 결과 1,217~1,974mm로 연평균 강수량은 1,493mm이며, 연도별로는 '11년 가장 높았으며, '04년에 가장 낮게 나타났다.

월별로 살펴보면 여름철과 장마시기인 6~9월에 1,107mm로 연중 강수량의 74%를 차지 하는 것으로 나타난다. 또한 1월에 15mm로 강수량의 계절적 편차가 심함을 나타내고 있다.

〈표 2-2〉 수원 기상대 과거 10년('03~'12) 강수량

구분	월별 강수량(mm)												연강수량 (mm)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2003	10	46	28	182	86	159	342	294	272	31	52	14	1,516
2004	18	43	14	64	125	136	382	157	183	2	68	25	1,217
2005	6	15	26	86	90	161	252	358	315	70	39	12	1,430
2006	39	20	7	60	133	157	755	66	22	18	62	25	1,364
2007	9	15	135	24	147	74	270	295	269	18	57	11	1,324
2008	14	9	56	42	93	198	541	217	102	36	19	17	1,344
2009	8	27	60	45	102	119	766	207	56	65	68	19	1,542
2010	27	57	79	59	101	116	207	373	376	30	18	29	1,472
2011	11	50	23	186	74	392	794	315	33	38	46	12	1,974
2012	10	1	43	126	17	101	572	426	241	99	67	47	1,748
월평균	15	28	47	87	97	161	488	271	187	41	50	21	1,493

자료) 기상청자료

③ 상대습도

수원기상대의 과거 10년('03~'12) 상대습도는 평균 67.58%로 나타났으며, 연도별로 2010년에 73.41%로 가장 높았으며, 2005년에 61.20%로 가장 낮게 나타났다.

월별로 살펴보면, 7월에 81.60%로 가장 높으며 2월에 60.87%로 가장 낮게 나타났다.

〈표 2-3〉 수원 기상대 과거 10년('03~'12) 상대습도

구분	월별 상대습도(%)												연평균 (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2003	60.80	64.50	62.35	62.56	61.09	70.05	74.96	77.94	73.80	61.35	65.93	59.06	66.20
2004	61.08	56.28	49.68	52.48	65.77	63.67	79.65	69.49	69.66	57.75	67.19	55.90	62.38
2005	52.02	46.82	53.57	54.60	56.97	70.72	77.46	76.18	70.74	66.05	57.14	52.10	61.20
2006	59.27	53.56	50.98	56.58	59.75	69.06	81.98	67.92	59.12	67.12	58.33	60.09	61.98
2007	65.10	66.40	69.77	64.10	69.21	69.16	81.54	82.24	80.70	70.17	65.44	71.38	71.27
2008	59.23	55.91	68.35	61.40	66.16	73.89	85.61	78.47	74.29	74.60	70.53	66.66	69.59
2009	64.14	70.96	62.30	64.38	69.18	73.86	83.28	78.10	74.89	70.82	71.51	66.76	70.85
2010	72.93	68.81	69.14	64.91	72.76	72.59	82.44	86.14	80.95	73.71	68.07	68.42	73.41
2011	65.37	70.04	62.73	66.43	57.63	73.03	86.66	82.46	71.30	69.92	71.14	62.59	69.94
2012	62.60	55.40	64.40	65.80	63.20	67.30	82.40	77.80	77.10	71.40	70.60	69.80	68.98
월평균	62.25	60.87	61.33	61.32	64.17	70.33	81.60	77.67	73.26	68.29	66.59	63.28	67.58

자료) 기상청자료

④ 풍속

수원기상대의 과거 10년간('03~'12년)의 평균 풍속은 1.85m/sec이며, '04~'06년도에 2.07m/sec로 가장 세게 나타났고, '08년에 1.68m/sec로 가장 약하게 나타났다.

월별로는 기온, 강수량, 상대습도와는 달리 봄철인 4월에 2.23m/sec로 높게 나타났고, 가을철인 10월에 1.47m/sec로 낮게 나타났다.

〈표 2-4〉 수원 기상대 과거 10년('03~'12) 상대습도

구분	월별 상대습도(%)												연평균 (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2003	1.12	1.06	1.55	2.27	2.09	2.12	2.28	2.04	1.88	1.87	1.80	1.86	1.83
2004	1.60	2.44	2.35	2.35	2.37	2.04	2.19	2.24	2.14	1.77	1.60	1.70	2.07
2005	2.02	2.64	2.68	2.48	2.13	2.10	1.84	1.86	2.13	1.31	1.48	2.11	2.07
2006	1.64	2.08	2.65	2.74	2.16	2.00	1.87	2.21	2.08	1.60	2.15	1.67	2.07
2007	1.41	1.54	2.04	2.02	1.84	1.77	1.87	2.10	1.87	1.43	1.28	1.45	1.72
2008	1.45	1.66	1.69	2.03	1.89	2.14	1.66	2.03	1.32	1.32	1.39	1.59	1.68
2009	1.40	1.68	2.29	1.94	1.79	1.73	1.82	1.84	1.41	1.45	1.83	1.84	1.75
2010	1.47	1.62	2.33	2.22	1.91	1.53	1.82	1.61	1.66	1.39	1.65	1.85	1.76
2011	1.52	1.40	2.20	2.07	1.86	1.91	1.72	1.78	1.69	1.24	1.65	1.56	1.72
2012	1.50	1.80	2.30	2.20	1.60	2.10	1.80	2.30	1.50	1.30	1.70	1.50	1.80
월평균	1.51	1.79	2.21	2.23	1.96	1.94	1.89	2.00	1.77	1.47	1.65	1.71	1.85

자료) 기상청자료

⑤ 일조시간

수원기상대의 과거 10년('03~'12) 연평균 일조시간은 4,583.8hr이며, 2004년에 5,134.0hr으로 가장 높았으며, 2012년에 2,291.6hr으로 가장 적게 나타났다.

〈표 2-5〉 수원 기상대 과거 10년('03~'12) 일조시간

구분	월별 일조시간(hr)												연 일조 시간 (hr)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2003	263.1	286.1	404.2	448.8	606.5	457.8	450.7	385.7	388.2	416.2	229.0	255.0	4,591.3
2004	290.1	361.0	495.0	555.4	545.0	523.8	403.6	524.7	443.9	459.0	268.8	263.8	5,134.0
2005	290.6	332.7	511.0	560.5	657.4	517.9	461.9	448.5	385.4	390.9	291.5	269.0	5,117.3
2006	247.3	329.6	484.4	451.5	574.1	531.8	332.5	579.7	477.6	374.8	250.5	216.6	4,850.4
2007	254.3	321.8	348.8	513.2	563.6	535.1	424.9	425.7	309.7	369.8	281.0	204.9	4,552.7
2008	240.4	357.1	411.5	512.6	579.5	523.0	416.6	533.5	446.1	364.5	258.2	227.3	4,870.3
2009	274.9	247.5	458.3	524.7	610.8	575.3	476.6	505.7	479.9	413.9	234.2	210.1	5,011.9
2010	256.3	280.0	347.2	476.4	557.5	587.5	471.1	409.6	405.0	380.8	273.0	219.3	4,663.6
2011	304.1	306.4	514.3	509.2	542.3	507.9	368.3	407.5	464.8	373.1	221.6	235.5	4,754.9
2012	181.9	210.1	178.0	209.8	247.1	222.3	145.9	147.9	168.0	231.7	167.6	181.3	2,291.6
월평균	260.3	303.2	415.3	476.2	548.4	498.2	395.2	436.9	396.9	377.5	247.5	228.3	4,583.8

자료) 기상청자료

(2) 지형·지질

화성호 유역은 대부분 평탄한 지형을 가지고 있으며, 표고는 5~290m로 분포하는 것으로 조사되었다. 유역 내 북동쪽의 청명산과 북서쪽의 해명산 등 대체로 북동쪽과 북서쪽으로 높은 산이 위치하고 있으며 남향 및 남서쪽으로는 대부분 평탄한 지형을 이루고 있다.

유역의 경사도는 0°~15°의 경사를 나타내는 지역이 70%이상으로 조사되어 대체로 경사도가 완만한 지형으로 나타났다.

유역 내에 주로 구성되어 있는 지질층은 선캄브리아기의 연천계와 대비되는 부천계에 해당하는 퇴적기원의 변성암류, 이들 지층을 관입한 중생대 쥬라기의 대보 화강암, 그리고 위의 모든 지층을 부정합으로 덮고 있는 제4기의 총적층으로 구성되어 있다. 또한 변성암류는 화성시 일대에 넓게 분포되어 있으며, 이는 편암과 편마암 등으로 구성되어 있다.

3) 인문·생활환경

(1) 인구현황

화성호 유역 인구현황을 '04~'11년까지 조사한 결과 화성호 유역 인구는 증가하는 경향을 나타냈다. 더불어 대상유역인구의 약 70%의 인구가 남양동 및 우정읍에 거주하는 것으로 조사되었으며, 그 외에도 마도면, 비봉면, 서신면, 장안면, 팔탄면은 크게 증감이 없는 것으로 조사되었다.

〈표 2-6〉 화성호유역 내 인구현황

구분	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
남양동	8,987	11,536	20,239	20,472	20,704	22,367	21,566	21,645
마도면	2,447	2,478	2,542	2,956	2,240	2,307	3,682	2,425
비봉면	765	812	885	958	977	905	817	958
서신면	2,057	1,973	1,988	2,002	2,017	2,040	2,185	2,129
우정읍	12,745	12,316	15,315	16,869	16,638	16,685	12,958	12,951
장안면	3,401	3,159	2,829	3,837	4,244	3,500	5,272	5,558
팔탄면	2,917	3,322	3,362	3,626	3,662	4,324	3,936	4,036
합계	33,319	35,596	47,160	50,720	50,482	52,128	50,416	49,702

자료) 「화옹지구 간척지 개발사업 담수호 수질관리 조사보고서」, 한국농어촌공사 농어촌연구원(2011)

(2) 공공하수처리시설

화성호 유역의 남양, 조암 하수처리장은 1998년 하수도정비기본계획에 계획된 사업으로 남양하수처리장은 처리용량 12,900m³, '07년부터 가동하고 있으며, 조암하수처리장은 처리용량 8,000m³, '06년부터 가동 중으로 가동률은 약 50%정도이며, 각각 남양천 하류, 어은천 하류로 방류하고 있다. 또한 시설용량은 당초계획보다 다소 작게 설치되었으나 점차적으로 증설시켜 나갈 계획이다

남양하수종말처리장은 2015년에는 26,000m³으로 증설계획이며, 현재 건설 중인 화성시가축분뇨공공처리장(190m³/일)과 연계 처리할 계획에 있다.

〈표 2-7〉 화성호 유역 내 하수처리시설 현황

구분	남양 공공하수처리시설	우정(조암) 공공하수처리시설
소재지	남양동 967-1	우정읍 화산리 194
시설용량(m ³ /일)	12,900	8,000
처리공법	HDF+급속섬유여과	
슬러지처리방식	유동판식 농축·탈수장치	
방류수역	남양천-화성호-서해	어은천-화성호-서해
부지면적(m ²)	20,280	14,000
가동시작연도	2007.7	2006.7
사업비(억원)	279	188

자료) 「화성시 하수도정비 기본계획 변경 보고서」, 화성시(2011)

화성호 유역의 공공하수처리시설의 방류수질 현황을 조사한 결과 BOD는 5.5mg/L, 조암 2.9mg/L, COD는 남양 9.6mg/L, 조암 8.2mg/L, TN는 남양 3.800mg/L, 조암 6.031mg/L 이며, TP는 남양 0.355mg/L, 조암 0.788mg/L로 조사되었다.

하천수질 기준을 적용해 BOD를 볼 때 남양 IV등급, 조암 II등급의 수질을 나타내지만 화성호로 유입되기 때문에 COD 기준으로 설정하여 적용한다면 IV~V 등급의 수질이 적용되기 때문에 화성호 수질 악화에 영향을 미칠 것으로 보인다.

〈표 2-8〉 화성호 유역 내 공공하수처리시설 방류수질 현황

구분	수온(℃)	DO(mg/L)	pH	BOD(mg/L)	COD(mg/L)	TN(mg/L)	TP(mg/L)
남양	17.2	8.4	7.7	5.5	9.6	3.800	0.355
조암	22.5	6.6	7.6	2.9	8.2	6.031	0.788

자료) 「화성지구 간척지 개발사업 담수호 수질관리 조사보고서」, 한국농어촌공사 농어촌연구원(2011)

4) 유입하천 현황

화성호 유역으로 유입되는 하천은 남양천, 자안천, 어은천 등이 있으며, 남양천은 지방하천으로 남양동과 비봉면, 팔탄면의 경계를 이루며 화성호 유입부까지 거리가 짧은 것이 특징이다.

남양천은 하천연장 총 5.0km, 유로연장 9.0km, 유역면적 19.6km²을 나타내며, 지류하천인 신남천이 유입된다. 남양하수처리장과 신남마을하수도가 위치하고 있으며 주변에는 농경지로 이루어져 있으나 하천하류지점에는 마도지방산업단지가 위치하고 있다.

〈표 2-9〉 남양천 및 신남천 유역특성

구분	하천연장 (km)	유로연장 (km)	유역면적 (km ²)	형상계수
남양천	5.0	9.0	19.6	0.24
신남천	1.8	3.8	4.2	0.29

자료) 하천일람(2011), 국토해양부

자안천은 지방하천으로 화성호 유역 북쪽 끝에서 발원하여 화성시 비봉면 자안리, 팔탄면 덕우리, 안석동, 장덕동을 지나 화성호로 유입된다. 자안천 상류유역은 주로 공장과 축산단지가 위치하며, 하류유역에는 주로 농경지가 위치한다.

자안천은 하천연장 총 9.77km, 유로연장 13.27km, 유역면적 53.15km²을 나타내며 지류하천으로는 요곡천, 무봉천이 있다. 유역 내 농경배수, 공장폐수, 축산폐수가 많이 유입되고 하류에는 기설 간척지와 현대자동차 주행시험장이 위치해 있다.

〈표 2-10〉 자안천, 요곡천, 무봉천 유역특성

구분	하천연장 (km)	유로연장 (km)	유역면적 (km ²)	형상계수
자안천	9.77	13.27	53.15	0.30
요곡천	1.87	3.23	4.40	0.42
무봉천	2.70	6.17	6.40	0.17

자료) 하천일람(2011), 국토해양부

어은천은 장안면 어은리에서 발원하여 서남방향으로 흐르는 지방하천으로 하천 상류유역에는 장안 첨단지방산업단지가 위치하고 있고 하류에는 조암하수처리장이 운영되고

있다. 어은천의 하천연장은 총 4.52km, 유로연장 6.51km, 유역면적 23.18km²을 보이고 있다.

〈표 2-11〉 어은천 유역특성

구분	하천연장 (km)	유로연장 (km)	유역면적 (km ²)	형상계수
어은천	4.52	6.51	23.18	0.55

자료) 하천일람(2011), 국토해양부

2. 화성호 수질보전대책 추이

1) 1단계 수질보전대책(1999~2010년)

(1) 수질보전대책의 추진 경과

'91년 착수한 「화옹지구 조성사업」과 관련하여 화성호의 수질보전을 위해 관리대책이 추진되었으며, 그동안의 경과를 정리하여 다음 표에 수록하였다.

〈표 2-12〉 화성호 수질보전대책 추진경과

일시	수질대책 내용
'99.03	· 화옹호 수질오염방지대책 수립 및 관계기관 통보 (국무총리실 수질개선기획단 → 관계기관)
'00.02	· 화옹담수화 수질개선대책(안) 제출 (농업기반공사 → 경기도)
'00.10	· 화옹호 수질오염방지종합대책(안) 건의 (경기도 → 환경부)
'02.02	· 경기도, 화옹호 수질보전대책 보완을 위한 연구용역 완료
'02.03	· 화옹담수호 수질개선대책(안) 제출 (경기도 → 환경부) · 수질보전대책(안)에 대한 관계기관 협의 및 확정 (환경부 → 농림부 등 5개 기관)
'02.04	· 화옹호 수질보전대책검토 요청(환경부 → 국립환경과학원)
'02.05	· 화옹호 수질보전대책 세부추진계획 확정
'03.05	· 화옹호 수질보전대책 변경계획

자료) 「화성호 수질보전대책 실적평가」, 2010.12

(2) 2002년 수질보전대책의 주요내용

2002년에 확정된 수질보전대책은 환경기초시설 설치 등 상류유역 대책과 하류대책인 호내 수질정화대책으로 구분하여 추진하며, 담수화 개시 이전인 2007년까지 완료하는 것으로 하였다. 단 담수화는 환경기초시설 설치 후 수질이 목표기준에 적합하다고 평가될 때 추진하고, 담수화 개시 이전까지는 농림부(농업기반공사) 주관 하에 관계기관 협의를 거쳐 배수갑문조작관리 규정을 마련하여 해수유통을 실시하고 지속적으로 수질관리를 진행해 왔다.

사업추진은 상류유역의 대책의 경우 화성시가 주관하여 추진하고 호내 대책은 농업기반공사가 화옹호 간척사업비(농지관리기금)에 포함하여 추진하며, 이행상황을 점검·평가하기 위해 경인지방환경관리청 주관으로 관계기관 및 환경단체가 참여하는 「수질보전대책협의회」를 설치·운영토록 하였다. 또한 수질보전대책은 추진성과 등을

평가·보완하여 원칙적으로 3년마다 연동대책을 수립·추진하기로 하였다.

상류유역 및 호내 대책으로 계획된 내용은 하수처리시설 설치, 마을하수도 설치, 비점오염원 저감 대책등 상류유역 대책과 인공습지 설치, 저류지 설치, 침강지 설치 등 호내 대책으로 나누어 진행되었다.

또한 수질보전대책을 관리하기 위해 각 기관별로 해당업무를 시행하여 화성호의 수질보전대책을 관리하여 진행토록 하고 있다.

〈표 2-13〉 기존 수질보전대책의 주요내용

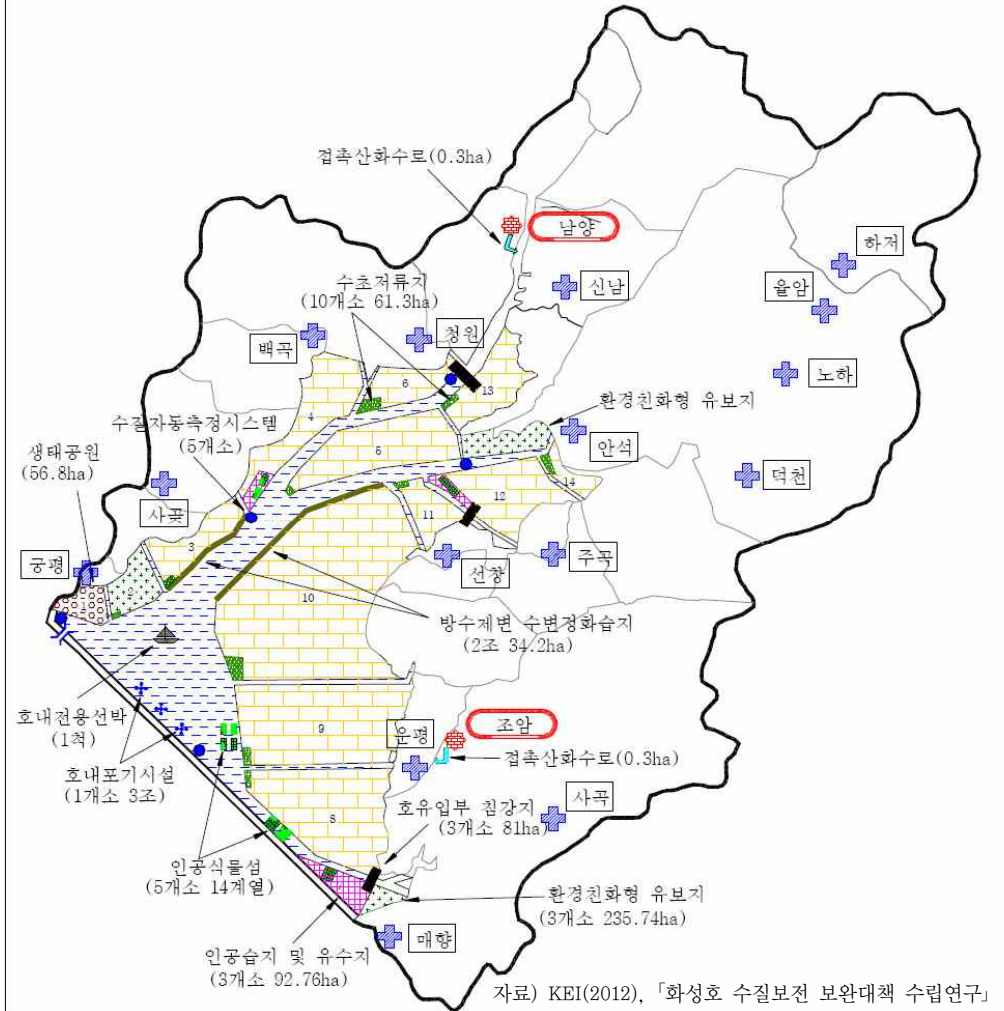
구분	대책 내용
상류유역	<ul style="list-style-type: none"> · 하수처리시설 설치 <ul style="list-style-type: none"> - 생활하수와 공장폐수를 처리하기 위해 2005년까지 하수처리장 2개소 설치 - 하수처리장 신설에 따라 하수관거 67km 신설 및 정비 · 마을하수도 설치 <ul style="list-style-type: none"> - 하수처리구역 외 산재된 소규모 마을단위 생활오수 처리를 위해 '07년까지 마을하수도 15개소 설치 · 축산폐수 관리대책 <ul style="list-style-type: none"> - 축산분뇨 수거처리를 위해 '06년까지 200톤 규모의 액비저장탱크 119개소 설치 · 비점오염원 저감대책 <ul style="list-style-type: none"> - 남양천 상류에 '07년까지 비점오염물질의 삭감·처리를 위해 하천정화시설 1개소 설치
호내	<ul style="list-style-type: none"> · 인공습지 설치 <ul style="list-style-type: none"> - 유역내 비점오염원 및 간척지 농경배수 정화처리를 위해 간척지 말단부 3개소에 총93ha 규모의 인공습지 설치 · 수초 저류지 설치 <ul style="list-style-type: none"> - 간척지 농경배수 처리를 위해 담수호 유입부 간척농지 10개소에 총61ha의 수초 저류지 설치 · 호수 유입부 침강지 설치 <ul style="list-style-type: none"> - 비점오염원, 초기강우 유출수 등의 침전 처리를 위하여 담수호 유입부 3개소(매항, 주곡, 남양침강지 총 81ha)에 설치 · 인공식물섬 설치 <ul style="list-style-type: none"> - 침강지의 부유영양물질을 흡수·처리하기 위해 우수지 및 간척지 앞 담수호에 5개소 설치

자료) 「화옹지구 간척지 개발사업 담수호 수질관리 조사보고서」, 한국농어촌공사(2011)

〈표 2-14〉 수질보전대책의 관리내용

업무	관계기관	내용
세부실천계획 수립	<ul style="list-style-type: none"> · 경기도 · 농업기반공사 · 경인지방환경관리청 	<ul style="list-style-type: none"> · 소기관별로 각 추진과제에 대한 세부실천계획 수립, 추진
수질모니터링 실시	<ul style="list-style-type: none"> · 경인지방환경관리청 · 농림부 · 해양수산부 · 농업기반공사 	<ul style="list-style-type: none"> · 화성호 유역 내의 유입하천, 호소의 수질오염 변화추이 등을 지속적으로 관찰하기 위해 수질모니터링 지점 설치/운영 · 유입하천은 경인지방환경관리청, 호소내부는 농림부, 해양수산부와 협조하여 농업기반공사가 측정 · 측정결과는 경인지방환경관리청, 농업기반공사 홈페이지에게시하여 일반인들이 쉽게 알 수 있도록 홍보
수질보전대책협의회 설치 및 운영	<ul style="list-style-type: none"> · 경기지방환경관리청 	<ul style="list-style-type: none"> · 화성호 수질보전대책의 이행상황, 수질모니터링 결과 등을 점검, 평가하기 위하여 경인지방환경관리청에 관계기관/환경단체 등이 참여하는 수질보전대책협의회 설치/운영
추진실적 평가 및 대책의 보완	<ul style="list-style-type: none"> · 경인지방환경관리청 · 경기도 	<ul style="list-style-type: none"> · 경인지방환경관리청 주관으로 수질보전대책 이행상황을 연1회 이상 평가하고 그 결과를 수질보전대책협의회에 보고 · 경기도는 대책 추진성과에 따라 3년마다 연동대책을 수립 · 환경부는 본 대책 확정 후 담수호 수질예측치에 대한 검증작업을 실시하고 필요시 대책을 수정토록 조치 · 농업기반공사는 수질예측 검증작업에 필요한 자료 및 연구인력 지원

화성호 수질보전대책 위치도



범		례	
	인공습지 및 유수지(3개소 92.76ha)		인공식물섬(5개소 14계열)
	수초저류지(10개소 61.3ha)		환경친화형 유보지(3개소 235.74ha)
	호유입부 침강지(3개소 81ha)		호내포기시설(3개소 3조)
	방수계변 수변정화습지(2개소 34.2ha)		하수종말처리장(2개소) 및 하수관거정비
	접촉산화수로(2개소 0.6ha)		마을하수도(15개소)
	수질자동측정시스템(5개소)		축산폐수처리용 저장액비탱크(119개소)
	호내 전용선박(1척)		비점오염원 저감시설(1개소 : 남양천 하류부)

〈그림 2-2〉 화성호 수질보전대책 위치도

(3) 수질보전대책 변경 및 평가

'02년 4월 환경부는 화성호 수질보전대책 확정시 화성호의 수질예측에 대한 검증작업을 거쳐 필요시 대책을 수정, 보완키로 의견을 제시하였다. 이로써 국립환경과학원에서 기확정된 대책을 기준으로 화성호의 수질을 재예측한 결과 TP가 농업용수 수질기준 0.1mg/L를 다소 초과할 것으로 예상되어 축산계 오염원 부하량을 삭감하기 위한 보완대책이 필요하다고 판정하였다.

따라서 화성시에서 마련한 가축분뇨처리보완대책에 대해 화성호 수질보전대책 실무협의회의 검토와 수질보전대책협의회의 의결을 거쳐 대책의 변경을 최종 확정하였다.

기존 보전대책에 보완으로 제시되었던 축산계 오염원을 삭감하기 위해 가축분뇨처리대책을 추가 보완하여 수질예측을 실시하여 다음 표에 제시하였다.

〈표 2-15〉 화성호 수질보전대책 변경 사항

변경사항	변경내용	수질예측결과
가축분뇨처리대책	<ul style="list-style-type: none"> · 액비저장탱크 시설규모 변경 - 소규모 개별시설을 집중관리식 대규모 시설로 변경 - 가축분뇨공공처리시설 신설 (70톤/일 규모의 시설을 유역외 설치) 	<ul style="list-style-type: none"> · COD 6.4mg/L, TP 0.094mg/L · 농업용수 기준 IV등급 달성 · TP는 다소 악화

(4) 수질보전대책 실적 평가

화성호 수질보전대책을 시행한 후 상류대책과 호내대책의 이행사항을 알아보기 위해 '10년 12월 기준으로 각 대책별 실적을 알아보았다.

상류대책은 하수처리장 2개소를 완공하였고 마을하수도는 15개 계획 중 14개를 완공하였으며 하수관거는 당초 대비 42.6%인 28.57km를 정비하였다. 상류대책은 '07년까지 완료 목표하였으나 대부분 사업들의 일정이 당초보다 지연되었다.

호내대책은 침강지와 인공습지의 경우 '11년에 완공하였으며 그 외 수질대책은 상류대책과 연관되어 지연되고 있다. 화성호의 수질을 개선하기 위해서는 상류유역의 수질대책이 선행되어야 하므로 호내대책의 일정은 상류유역의 일정에 따라 가변적일 수 밖에 없다.

〈표 2-16〉 화성호 수질보전대책 추진 실적

대책		사업량	사업기간	사업주체	
상류	하수처리장	남양 : 12,900톤/일 조암 : 8,000톤/일	'02~'07(완료) '02~'06(완료)	화성시	
	하수관거정비	28.57km	'03~'07(완료)		
	마을하수도	14개소	'03~'08(완료)		
	가축분뇨처리	액비저장	10,000톤/일 × 1개소 40톤/일 × 1개소		'03~'04(완료) '03~'12(진행중)
		공고처리	150톤/일		'06~'12(공사중)
	자연형하천	3개소	'04~'13(진행중)		
호내	인공습지	92.76ha	'04~'11(진행중)	농어촌공사	
	수초저류지	61ha(10개소)	'09~'15(진행중)		
	호소 유입부 침강지	81ha	'05~'11(진행중)		
	인공식물섬	5개소(15조)	'09~'15(예정)		

자료) 「화성지구 간척지 개발사업 담수호 수질관리 조사보고서, 한국농어촌공사 농어촌연구원(2011)

2) 2단계 수질보전대책

화성호 담수호 조성시 우려되는 부영양화, 수질오염방지를 위한 추가 대책의 마련이 필요하다는 의견이 화성호 수질보전대책협의회에서 제시되어 변화된 오염원 및 지역개발사업을 고려한 「화성호 수질보전보완대책(2012)」용역을 한국환경정책평가연구원에서 수행하였다.

(1) 화성호 수질보전 보완대책(안)

화성호의 수질개선을 위해 상류와 호내로 대책을 구분하였으며 1단계 계획에 반영되어 추진 중이거나 추진 예정인 대책은 제외하였다.

상류대책은 점오염원, 비점오염원 및 가축분뇨관리로 구분되며, 세부적으로 남양공공하수처리시설의 총인처리시설 설치(26,000톤/일), 자안천유역의 비점오염저감시설 설치(10,000톤/일), 어은천유역 가축분뇨첨단자원화시설 설치(100톤/일)를 계획하였다.

호내대책으로 유입수관리, 인공습지, 수초저류지 신설이 있으며, 내용으로는 자안 침강지(10ha) 신설 및 자안 수초저류지(40ha) 등이 계획되었다.

보완대책에 대한 총 설치비는 40,476백만원으로 추정되며, 가축분뇨첨단자원화시설이 14,598백만원(36.1%)으로 가장 많이 차지하며, 인공습지 및 수초저류지 13,112백만원(32.4%),

침강지 7,936백만원(19.6%)의 순으로 나타났다.

연간 유지관리비용은 총 1,608백만원으로 가축분뇨첨단자원화시설이 719백만원(44.8%)으로 가장 많이 차지하며 인공습지 및 수초저류지 393백만원, 침강지 238백만원의 순으로 나타났다.

<표 2-17> 보완대책별 설치비 및 유지관리비 추정(안)

구분	대책	사업량	설치비(백만원)	유지관리비(백만원/년)	주관기관	
계			40,476	1,608		
상류	점오염원	남양하수처리장 총인처리시설 설치	26,000톤/일	2,600	190	화성시
	비점오염원	자안천 유역 비점오염저감시설 설치	10,000톤/일	2,230	67	화성시
	가축분뇨	어은천 유역 가축분뇨첨단자원화시설 신설	100톤/일	14,598	719	화성시
호내	유입수관리	침강지 설치	자안(10ha)	7,936	238	농어촌공사
		인공습지 및 수초저류지 설치	자안(40ha) 기타(53.6ha)	13,112	393	농어촌공사

(2) 화성호 수질개선을 위한 최적관리방안

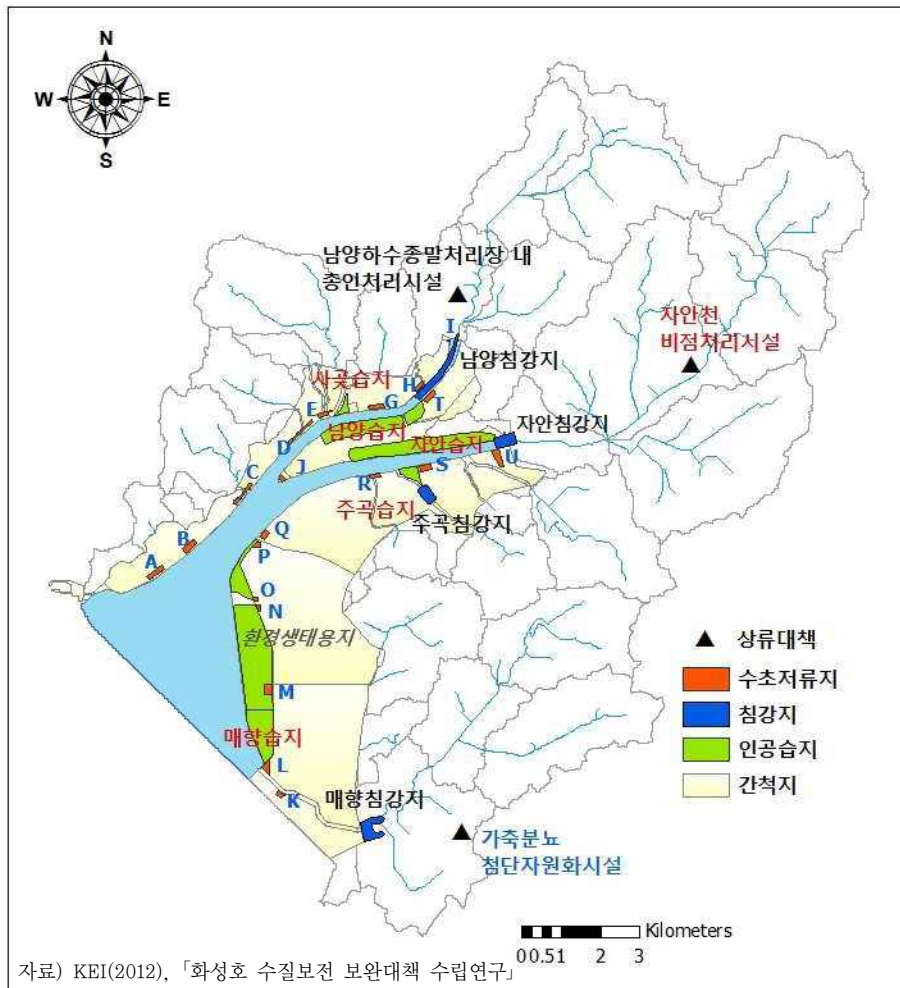
화성호 수질개선을 위해 상·하반기로 구분하여 제시되었으며 안정적인 수질보전을 위해 비구조적 방안도 추가적으로 요구되고 있다.

상반기 최적관리방안은 총인처리시설 설치, 인공습지, 수초저류지 등이 계획되어 있으며 하반기에는 토지계 비점오염원 관리를 자안천 유역 비점오염저감시설 설치 및 축산계 오염원 관리를 위한 가축분뇨첨단자원화시설 설치가 계획되었다.

이 중 가축분뇨첨단자원화 시설은 비용대비 수질개선효과가 높지 않을 것으로 분석되어 설치여부는 수질보전 보완대책의 중간평가 결과와 수질개선을 위한 오염원 및 오염부하량 여건변화에 맞춰 탄력적으로 결정하는 것이 타당할 것으로 제시되었다.

화성호 수질보전을 위해서는 구조적 방안과 더불어 비구조적 방안이 함께 고려되어야 목표수질을 보다 안정적으로 유지할 수 있을 것으로 판단되며 ①총인처리시설 도입을 위한 방류수 수질기준 강화 조례 제정, ②화성호 유역내 산업체 집단화유도, 배출시설 관리·감독 철저, ③가축사육제한지역에 대한 조례 제정, 자체 처리시설 설치 기준 강화 및 관리·감독 철저, 자체 처리시설 운영 기술 및 교육 지원, 가축분뇨의 이력관리 실시, 가축분뇨 처리업자의 관리·감독, 일정 규모이상 신규 사육시설에 대한 사전환경성 검토실시, ④신규 개발지역에 대한 LID 기법의 적극 도입, 농경지 배축수의 관리, ⑤오·폐수 처리수의 호외 방류 및 농업용수 재이용 등을 통해 호내 유입 최소화, 간척지 내 단지별 비점오염원 관리대책 추진, 수질오염사고 및 공사로 인한 수질영향 최소화 대책마련, ⑥부유쓰레기 관리방안 및 적·녹조

대응 방안 마련, 담수호 주변 오염원 관리 등 6가지의 추가적인 방안을 제시하였다.



〈그림 2-3〉 장래 추가대책 계획 및 위치

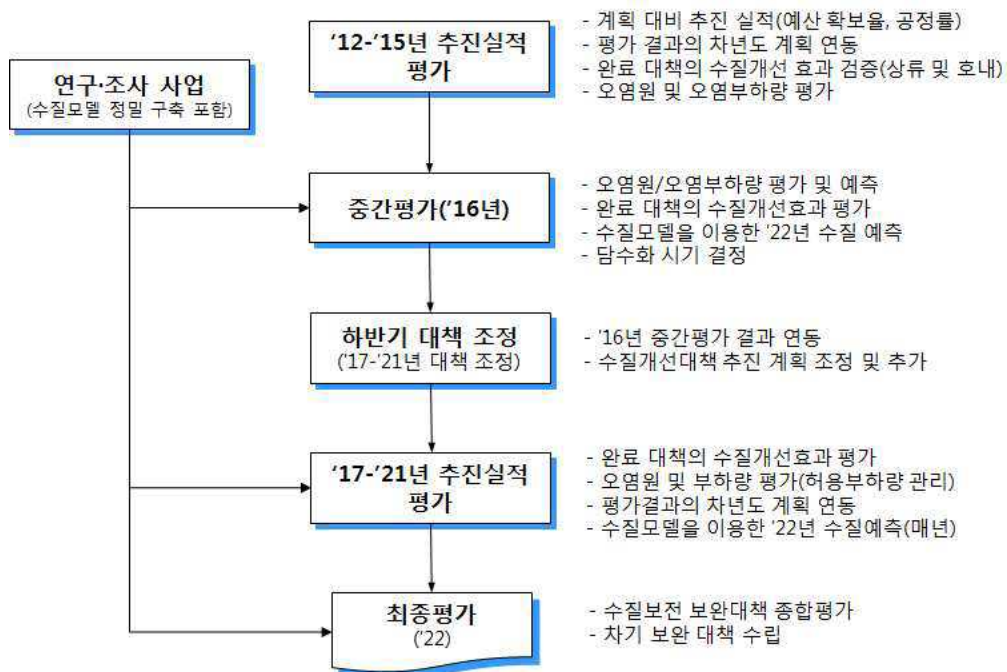
(3) 이행평가체계의 구축

보완대책에는 완공된 대책의 효과, 대책의 안정적인 추진, 수질예측의 불확실성 등이 존재하여 이를 극복하기 위해 이행평가체계를 구축하여 적시에 문제를 해결하는 것이 중요하다.

매년 보완대책의 추진성과를 평가하고 그 결과를 차년도에 반영하며 상류 및 호내 대책의 당초 계획 대비 실제 수질개선효과를 평가 및 검증하도록 구축한다. 또한 중간평가를 실시하여 대책의 추진상황, 완공대책의 수질개선효과, 허용부하량 관리, 장래 수질예측 등을 종합적으로 검토하여 화성호의 수질개선대책을 점검하고 이후의 대책에 대한 수정계획을 제시한다.

화성호의 담수화는 부하량관리 등 전반적인 여건을 반영한 중간평가에서 담수호의 목표수질 달성이 가능하다고 예측될 때 “수질보전대책협의회”에서 결정하여 추진하는 것이 바람직하다.

이행평가는 2012~2021년까지 수질보전대책 추진실적을 차년도에 평가하며, 계획대비 예산 확보율, 공정율, 완공 대책의 수질개선효과 평가, 오염원 및 부하량 평가를 통한 허용부하량 관리 등을 포함한다. 2016년에는 중간평가를 실시하여 2017~2021년의 추진계획 조정 등 중요사항 검토 및 평가를 실시하며, 완공대책의 수질개선효과 등을 반영하여 최종 목표연도인 2022년의 수질예측을 실시한다. 2022년 최종평가는 2021년까지의 추진실적을 포함하여 화성호 수질관리방향을 조정하고 차기 수질보전대책 수립을 계획하도록 한다.



〈그림 2-4〉 보완대책 평가 일정 및 주요내용

제 3 장 해수유통 요구와 사례분석

제3장 해수유통 요구와 사례조사

1. 해수유통 요구

1) 해수유통 필요성 제기

최근 화성호의 수질 보전대책 및 이용과 관련하여 해수유통이 새로운 쟁점으로 부상되고 있다. 농어촌공사에서는 지속적으로 담수호 조성이후 농경지 활용이라는 일관된 원칙을 가지고 있으나 화성시와 경기도에서는 해수유통도 대안으로 검토하고 있다.

화성시는 해수유통 차단시 수질오염 가중, 연안갯벌 오염, 지역경제 악영향 등을 이유로 담수화를 반대하고 있다. 표면적으로 드러난 이유 못지않게 화성호 수질개선을 둘러싼 각 기관 간의 갈등이 해수유통 요구의 주요 요인으로 작동하고 있다.

화성호 수질개선 대책에서 호내 대책은 거의 고정되어 있는 반면 유역의 경우 수질개선대책과 유역 내에서의 개발사업으로 인한 수질 영향까지 관리해야 하므로 주된 쟁점이 되어 왔다. 수질개선 대책에 대한 자원마련이나 주요 개발사업도 화성호 수질보전을 이유로 협의가 지연되거나 까다로운 조건으로 승인되는 사례가 발생하고 있다.

더구나 담수호로 계획했던 인근지역 시화호의 해수유통과 전라북도의 새만금에 대한 일부 해수유통 등의 움직임이 화성호 담수호 조성 계획에 영향을 주었다. 또한 화성호 해역의 어업에 미치는 부정적인 영향과 시민단체 중심으로 매항리 지역 습지보호지역 지정을 원하고 있어서 해수유통 요구가 제기되고 있다.

2) 기관별 입장

(1) 경기도

화성호의 담수화 방안을 놓고 각 기관들이 찬반 논란이 심해지고 있는 가운데 경기도는 초기에 담수화 방안에 화성시와 함께 해수유통을 주장하는 입장이었다. 화성호의 담수화 목적은 해수유통을 막아 간척지를 농지로 조성하려 하는 것인데 농어촌 공사는 1991년부터 대체농지 확보를 위해 개발 중에 있다.

경기도는 개발 초기 수질 악화를 이유로 담수화를 반대하였다. 화성호로 유입되는 수자원이

부족해 오염물이 발생해도 정화할 능력이 떨어진다는 이유가 있지만 서해안 개발구상과 관련하여 종합발전계획을 세워 간척지를 농지이외의 친환경 자동차 연구개발단지와 푸드바이오밸리, LED산업단지 등의 목적으로 활용하려해 담수화를 반대하는 화성시와 이해관계가 맞아 해수유통을 막아왔다.

하지만 최근 농림부가 추진하고 있는 화성호 담수화 작업을 막을 경우 화옹 4공구 일대에 진행되는 농축산 관광단지 에코팜랜드 환경영향평가에 불이익을 줄 수 있고, 농림부에서 에코팜랜드 사업시 지원되는 국비를 지원하지 않겠다는 입장 때문에 해수유통 입장에서 물러나 있는 상태이다.

에코팜랜드는 농·축산업의 과학화와 선진화 실현을 위해 농업, 축산, 화훼, 연구, 관광, 레저 등이 융·복합된 명품단지 조성과 농촌의 새로운 소득원을 발굴하고 지속가능한 신 성장산업을 육성하고자 계획되어졌다.

에코팜랜드는 축산 R&D, 유리온실, 종자연구복합단지 등이 건립될 예정이며, 총사업비 6,074억원이 소요될 예정이다. 2010년부터 개발계획이 이루어진 후 환경영향평가 및 토목설계, 도시관리계획 등 시행계획이 용역 중에 있다.

〈표 3-1〉 에코팜랜드 추진상황

구분	추진상황
환경영향평가	· 한국농어촌공사 재협의 용역('11.5 ~ '12.10)
토목설계 및 도시관리계획	· 유신, 한국중압기술 시행계획 용역('12.1 ~ '12.11)
기본계획 조정	· 생활하수 : 개별처리 → 마도산단 폐수종말처리장 연계 · 성토용 토취장 개발 : 경기도 주관 → 한국농어촌공사 위탁 · 상수도 : 광평배수지 → 마도산단 송수관로에서 분기 공급(신설배수지 연계)
기반시설 공사	· 도로확장 : 13.9km, 19,564백만원(도비 50%, 화성시 50%) · 연결도로 : 2.1km, 3,170백만원(국비 70%, 도비 15%, 화성시 15%) · 보도 : 11.8km, 2,185백만원(국비 70%, 도비 15%, 화성시 15%) · 교량 : 2개 480m, 13,921백만원(국비 70%, 도비 15%, 화성시 15%)

〈표 3-2〉 에코팜랜드 소요예산

구 분		사 업 명	면적 (ha)	사업비 (억원)	비 고
계			768	6,074	
한국농어촌공사		국비 기반조성	257	1,014	
참여기관	소 계	농축산·관광단지	511	5,060	
	경 기 도	축산R&D, 승용마단지	121	778	
	화 성 시	유리온실, 경관농업단지	70	1,572	
	한국마사회	말 조련단지	93	853	
	수 원 축 협	한우번식우단지	147	758	
	농우바이오	종자연구복합단지	26	424	
	기 타	주말농장, 세계농촌마을 등	54	675	

(2) 화성시

화성시는 원칙적으로 화성호 담수호 조성을 위해 노력했으나 최근 담수호 조성에 따른 수질개선 및 지역개발사업 추진 곤란 등을 이유로 해수유통을 새로운 대안으로 고려하게 되었다. 2012년 완료된 한국환경정책평가연구원의 용역결과 농업용수 공급에 적합한 담수호 조성이 가능한 것으로 나타났으나 화성시는 단위개발 사업 방류수의 외해방류에 따른 영향과 해수유통시의 효과에 대한 추가 용역을 요구하였다.

화성시는 수질에 영향을 주는 변수가 많아 수질목표를 달성하지 못할 때의 부담과 담수화 시 반경 2km내에 공장설립이 어렵게 되는 등 지역경제에 악영향을 줄 것을 우려하고 있다. 화성호는 유역면적이 작고 남양천, 자안천, 어은천 등의 하천 유량도 부족하여 담수호가 되었을 때 수질관리에 부담을 가지고 있으며, 외해로의 오·폐수 직접 방류는 연안 오염의 직접적인 원인이 될 수 있어서 민원 발생의 소지가 있다.

화성호는 방조제 끝물막이 완료 후 간석지는 급격하게 육상화가 진행 중이어서 갯벌이 파괴되고 있다. 갯벌 파괴는 그곳에 기대어 의지해 온 생명들이 사라지고 다른 생태계가 조성되는데 농업용수 수준의 담수호에서는 이전보다 생명력 있는 생태계 조성은 어려울 것으로 전망된다.

화성호 수질은 담수호 조성 과정으로 인해 점차 수질이 나빠지고 있는 추세이다. 이는 배수갑문을 통한 해수유통량을 줄이고 있는 것이 직접적인 원인이다. 그 결과 4월에서 10월이면 곳곳에서 부영영화에 의한 적조현상이 발생하며 저층에는 무산소 층이 형성되고 있다.

화성시는 바이오 밸리 및 마도 산업단지 추진시 화성호 담수 수질보전을 위해 한강유역환경청에서 사업협의를 지연시켜 담수호에 대해 부담을 가지고 있으며, 화성호 상류 유역에 대한

수질개선대책에 소요되는 비용 조달 문제도 크기 때문에 해수유통을 주장하고 있다.

화성바이오밸리 사업은 미래형 융합 산업단지 산업으로 화성시 마도면 청원리 일원에 위치할 예정이며, 약 53만평의 부지를 개발하는 사업이다. 화성 바이오밸리는 첨단산업과 바이오산업의 융합에 따른 창조적 생산단지를 설립하여 자원순환형 시스템을 구축할 예정이다. 하지만 습지와 공원녹지를 연계하는 Blue Green Network로 산업과 환경이 지속적으로 연계하여 발전하는 목적을 가지고 있다. 또한 내부에 수질자동측정망을 설치하여 생태습지 및 공원 내의 수질을 측정하고 하수관로 주요지점별 수질을 자동 측정하여 관리할 계획에 있다.



자료) 경기화성바이오밸리(<http://www.ghbv21.co.kr/>)

〈그림 3-1〉 화성바이오밸리 내 수질자동측정망 계획

(3) 농어촌공사

① 담수호 개발의 효과

농어촌공사는 담수호의 개발 목표를 수자원 개발 이외에도 침수방지, 염해방지 등 재해경감과 국토의 개발, 경제개발, 교통 환경개선 등의 직접적인 효과와 유역수질 개선, 친수환경 조성, 관광 자원 개발 등의 부수적인 효과 발생이라고 주장한다.

수자원개발은 농업용수나 생·공용수를 개발하고 염해방지, 침수피해를 막는 등 이수와 치수상의 효과를 목표로 한다. 국토개발은 하구둑이나 방조제 건설로 새로운 토지 자원을 개발하는 것과 지금까지 이용되지 않은 토지나 생산성이 낮은 농경지를 개발하는 등을 포함한다. 경제개발은 농업개발, 도시나 공업단지 개발 등으로 얻어지는 경제적 효과를 의미한다. 그 밖의 직접적 효과에는 하구둑과 방조제 도로나 철도를 병용/건설함으로써 지역의 교통환경을 개선하는 것이다.

농어촌공사는 담수호 건설이 지역 경제의 활성화에 기여하고, 교통 환경 개선, 관광자원 등으로 지속적으로 지역경제에 이바지할 수 있고 친수 환경이 조성되어 낚시나 수상 스포츠 등으로 활용할 수 있다는 의견이다.

② 담수화에 따른 변화

담수호는 담수호가 진행되면서 식생과 어패류 생태환경의 변화가 나타난다. 해양성 식생은 소멸해가고 담수화가 되면서 수중 식물 등이 생장하게 되며, 담수가 유입되는 부분으로부터 하류 방향으로 점차 번식된다.

담수화과정에서 식생의 번식은 소위 습지를 형성하는 것으로 이로 인해 담수호는 비교적 높은 수질 정화 기능을 갖게 될 것이고, 일반적으로 담수화 습지의 광합성 생산성은 염수에 비해 2~10배 정도 높으며, 식생의 발달과 함께 부유물의 침전과 여과력이 증가하게 된다. 또한 영양물질의 흡수, 정화 등이 발생하여 수질 정화 기능을 갖게 된다.

어류의 경우는 어패류가 사라지고 담수성 물고기의 생장률이 높아지게 되어 담수화 초기에 어패류 소멸이 일어나는 데 일시적인 현상으로 여기고, 담수화 과정에서의 생태계 변화는 일시적인 환경 피해를 발생한다.

이러한 이유로 농어촌공사는 담수호 건설이 환경파괴를 초래하는 것으로 받아들이는 것은 부적절하다고 주장한다. 담수호가 유역의 수문순환과 물질 순환과정에서 오염물질의 원인이 아니라 싱크기능을 가지므로 환경오염의 주범이 될 수 없다는 점이고, 일단 담수화가 진행된 이후 담수호의 생물 생산력은 담수호 이전보다 더 높다. 또한 담수호는 새로운 습지를

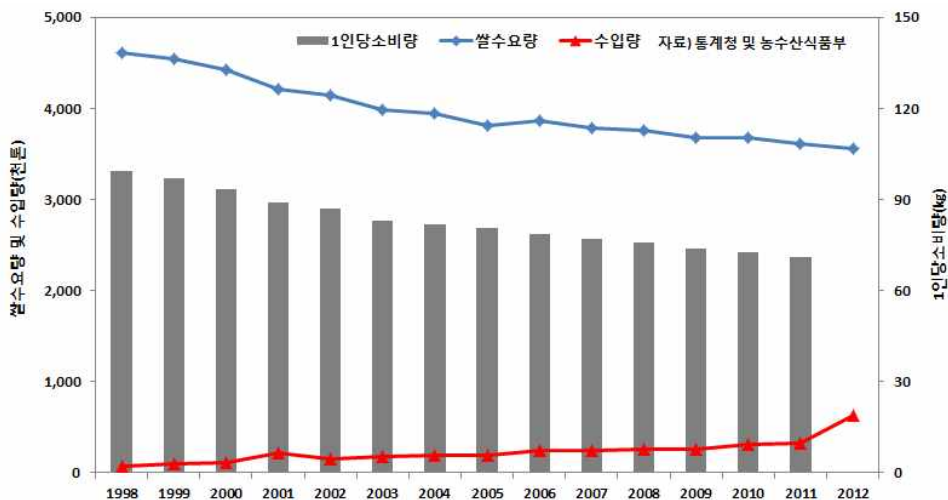
창출하므로 수질정화 기능과 함께 자연 생태계의 창출 기능을 담당하게 된다.¹⁾

농어촌공사는 화성호 담수화시 농업용수 공급에 필요한 수질보전에 문제가 없다고 주장하고 있으며, 한국환경정책평가연구원의 「화성호 수질보전 연구용역」 결과에서도 화성호 담수화가 가능하다는 결과 발표하여 담수화에 전혀 문제가 없다는 입장이다.

(4) 농업정책 현재 상황

국내 쌀 재배면적은 지난 1990년 124.4만ha에서 2000년 107.7만ha로 감소했으며, 2010년에는 89.2만ha까지 줄어 연평균 1.6% 하락하고 있는 실정이다. 특히 1993년 우루과이 라운드 협상이후 1995년부터 국내 의무 수입량(MMA:Minimum Market Access)이 시장에 유입되면서 2005년 22.6만톤을 시작으로 매년 약 2만톤씩 늘어나는 실정이다. 또한 한미 FTA에 미국산 쌀 수입 논의는 없지만 추후 논의 할 수 있다는 외교부의 언급이 있어 쌀 의무 수입량은 증가할 것으로 보인다.

쌀 수요량은 2000년 442.5만톤에서 2012년 355.6만톤으로 줄었으며, 1인당 소비량도 2000년도 93.6kg에서 2011년 71.2kg으로 지속적으로 감소하지만 수입량은 점차 늘어나 쌀의 재고량은 계속적으로 증가할 것으로 나타난다.



〈그림 3-2〉 쌀 수요량 및 소비량 현황

현대경제연구원(2011)에 따르면 2009년과 2010년에 초과 재고의 추가보관비용은 1,956억원이 소요된 것으로 분석되며, 2011년부터 2014년까지 초과 재고의 추가 보관비용은 총 9,022억원이 소요된다고 전망하였으며 재고량 누적 상황에서는 유통업체가 수확기 매입량을 줄이거나 매입시기를 분산시킴으로써 농가는 쌀 판매의 어려움과 가격하락이라는 이중고를 겪게 되는 등 농가소득의 불안정을 초래할 수 있다고 보고하고 있다.

1) 「하구담수호의 개발현황과 과제」, 박승우, 농어촌공사

2. 해수유통 사례

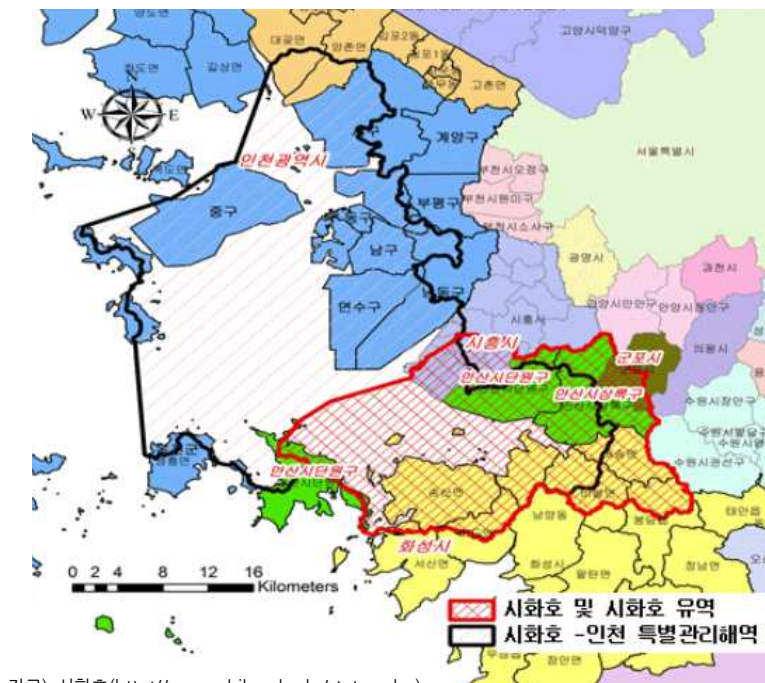
1) 시화호

(1) 시화호의 개요

시화호는 경기도 시흥시, 안산시, 화성에 둘러싸인 인공호수로 1970년부터 계획된 반월특수지역개발계획에 따라 조성되었다. 대단위 간척종합개발 사업의 일환으로 1987년 4월에 시작한 시흥시 정황동 오이도와 안산시 대부동 방아머리를 잇는 시화방조제 공사가 1994년 1월에 완공되면서 생성되었다.

시화방조제의 길이는 12.7km이고, 형성된 호수면적은 43.80km²이며, 시화호의 총 저수량은 332백만톤, 관리수위는 -1.0m, 최대수심은 18m에 달하며, 해수유입량은 380백만톤/년이다(건교부, 시화지구 장기종합계획 '06.5).

본래 간척지에 조성될 농지나 산업단지의 용수를 공급하기 위한 담수호로 계획되었다. 하지만 방조제 완공 이후 시화호 유역의 공장 오·폐수 및 생활하수의 유입으로 수질이 급격히 악화되어 1997년 이후 해수를 유입하기 시작하였고 2000년 12월에 정부는 시화호의 담수화를 포기하고 해수화를 확정하였다.



<그림 3-3> 시화호 및 시화호 유역

〈표 3-3〉 시화호의 연혁

일시	내용
1977. 4	안산신도시 개발을 위하여 반월특수지역 지정고시
1985. 10	시화지구 개발타당성 조사 및 기본계획 수립용역 착수
1987. 6	시화방조제 건설사업 착수
1994. 1	방조제 최종 물막이 공사 완공(12.7km)
1996. 6	시화호 오수의 외해 방류
1996. 7	환경부, 수질개선대책 발표(2005년까지 약 4,500억원 투입계획)
1996. 8	시화호에서 물고기 수십만 마리 떼죽음
1997. 3	시화방조제 배수갑문을 개발하여 해수유입
1998. 2	해수유통 전면 실시
1998. 12	건교부, 환경부, 농림부, 해양수산부는 시화호 배수갑문 상시개발 검토
2000. 12	정부, 시화호 담수화 공식 포기 발표, 해수호로 관리 확정
2002. 12	총리훈령으로 시화호 관리위원회 설치

(2) 시화호 오염 및 해수유통

시화지구 개발사업을 추진함에 있어 수질오염 문제가 대두되기 전에는 효과적인 대책이 추진되지 못하였으며 이로 인하여 방조제 물막이 공사 후 시화호의 수질은 크게 악화되었다. 이는 사전에 충분히 인지하여 대처할 수 있는 상황이었으나 예산부족으로 이유로 관계부처 협의가 원활하지 않아 개발사업의 추진과정에서 환경대책의 소홀로 인하여 발생한 대표적인 사례이다.

또한 호수규모에 비하여 유역면적이 너무 작아 수질관리가 어려운 형상을 지니고 있다. 시화호는 당시 국내에서 실시된 간척사업 중 최대규모이지만 유역면적이 좁아 유입된 물이 장기간 체류되는 특성이 있어 오염물질 유입시 수질이 악화되기 쉬운 여건이었다.

유역의 대부분이 200m 이하의 구릉지와 연장이 10km 이내인 소규모 하천인 점을 감안할 때 유입수량이 부족한 한계를 지니고 있다. 방조제 체절 당시 시화호로 유입되는 하수량에 비해 공공처리시설에서 처리 후 방류되는 양이 부족하여 시화호의 오염을 가중시켰다.

시화호는 방조제 건설('94.1)이후 시화호의 오수를 외해로 방류 시켰으나 '96. 8월 시화호에서 물고기 수십만 마리가 떼죽음을 당하면서 수질문제가 대두되기 시작하였다. 환경부에서는 수질개선대책을 발표하였으나 '97. 3월 시화방조제 배수갑문을 개방하여 해수를 유입토록 하였다. 하지만 정부는 '00년 12월 시화호 담수화를 공식 포기하고 해수호로 관리하기로 하였다.

2) 새만금 사업

(1) 사업개요

새만금 개발사업은 군산~부안을 연결하는 방조제 33.9km를 축조하여 간척토지 283km²와 호수 118km²을 조성하는 국책사업이다.



자료) 새만금아리울(<http://www.ariul.go.kr/>)

<그림 3-4> 새만금 방조제 현황

<표 3-4> 시화호의 연혁

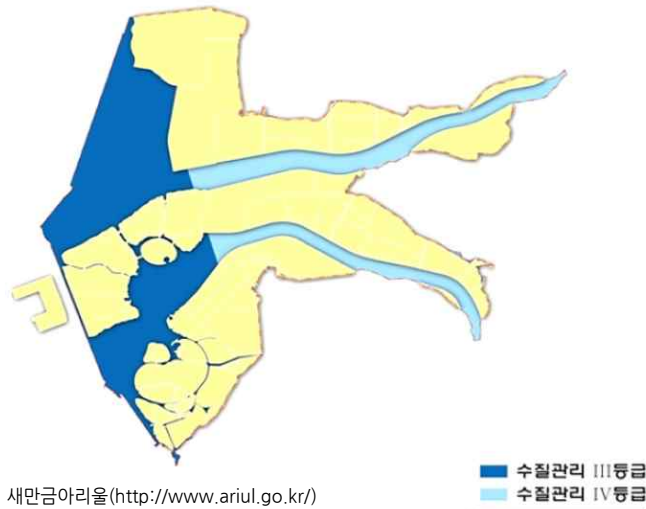
일시	내용
1989. 11	새만금사업 기본계획 수립(농지 100%)
1991. 11	방조제 착공
2006. 4	방조제 최종연결공사 완료
2007. 4	새만금 내부토지개발 기본구상 수립(농지 72%, 산업, 관광등 28%)
2007. 12	새만금사업 촉진을 위한 특별법 제정
2008. 10	새만금 내부토지개발 기본구상 변경(농지 30%, 비농업 70%)
2008. 12	새만금사업추진기획단 발족
2009. 1	새만금위원회 발족
2010. 1	새만금 내부개발 기본구상 및 종합실천계획 확정
2010. 4	새만금 방조제 준공
2011. 3	새만금 종합개발계획 확정

(2) 새만금 수질관리계획

새만금호는 강과 호소, 해양을 잇는 “깨끗한 물”의 확보라는 명목아래 새만금호의 중·상류 및 하류의 목표수질을 설정하여 계획·관리하고 있다.

새만금호의 중·상류는 농업용지 구간으로 설정하여 농업용수 공급에 활용될 수 있도록 IV등급을 목표로 하고 있으며, 하류는 관광·도시용지 구간으로 III등급으로 설정하여 관광 및 레저등 적극적 친수활동 보장 및 쾌적한 수변환경을 조성을 목표로 한다.

새만금호는 2020년을 목표로 담수화를 추진하되 2015년에 중간평가를 실시하고 필요시 추가대책을 추진할 예정에 있다.



자료) 새만금아리울(<http://www.ariul.go.kr/>)

〈그림 3-5〉 새만금호의 목표수질 등급

새만금 유역 내 하천, 호소 및 해양의 수질관리를 위해 총 45개를 설정하여 관리하고 있으며, 상류 24개, 호내 19개, 해양 2개에 해당하는 곳에서 모니터링을 실시하고 있다.

수질대책으로는 상류, 호내, 해양 수질대책 3가지로 구분되어 관리되고 있다.

〈표 3-5〉 새만금 수질보전대책

구분	내용
상류수질대책	<ul style="list-style-type: none"> • 1단계의 점오염원 위주에서 비점오염원·가축오염원 대책의 균형 추진 • 하천유지용수 확보등 유량 확보대책 반영
호내수질대책	<ul style="list-style-type: none"> • 상류대책의 삭감한계 및 과다 비용투입을 보완하고, 처리의 효율성을 제고하기 위해 호내 유입부 지점에 대책 집중 (침전지 및 인처리시설 등) • 오염원 발생시점 및 용지별 실시계획 수립시 추진하며, 환경영향평가 협의를 통해 이행조건으로 반영
해양수질대책	<ul style="list-style-type: none"> • 해양수질 및 환경(생태, 퇴적물, 수리수문 등)에 대한 모니터링체계 구축 • 새만금호 담수화에 따른 영향을 종합적으로 분석

자료) 새만금아리울(www.smac.go.kr)

(3) 해수유통 제기

새만금의 해수유통은 2000년대 초 전개됐던 새만금 사업 공사중단 논란에서 가장 중심에 있던 쟁점이었다. 당시의 해수유통은 새만금 방조제 중단으로 해석되면서 지역사회에서 엄청난 찬반논란이 일어났다.

2009년 9월 새만금사업 추진기획단, 농수산식품부, 문화부, 지식경제부, 국토해양부 등의 관계자들이 참석한 회의에서는 새만금호의 수질목표를 기존의 4급수에서 3급수로 상향조정할 것을 제안하였다.

새만금 내부개발 기본구상이 당초의 농지위주에서 복합산업단지로 변경됨에 따라 관광·레저 등 친수공간을 활용하는 것이 주요 과제로 떠올랐고 이를 위해서 깨끗한 수질이 필수적이었던 것이다. 3급수 이상의 수질이 필요했지만 당시 새만금 환경대책으로는 목표 달성이 어려워 해수유통이 대안으로 제시되었다.

중앙정부의 기본입장은 새만금의 담수호 조성이지만 해수유통이 수질개선이나 해양생태계 보전을 위해 바람직하다는 의견이 지속적으로 제기되고 있다. 2012년 9월 군산대학교와 한반도수산포럼이 공동으로 주최하는 콜로키움에서 논의된 새만금 해수유통 토론회에서는 새만금 해수유통 및 새로운 활용방안에 대해 논의가 되었다. 한반도 수산포럼 박덕배 교수는 상류 농업지역은 농업용수 확보를 위해 담수가 필요하지만 하류 측까지 담수화하는 것은 부적절하다고 주장했다.

새만금은 담수화가 원칙이지만 수질 모니터링 결과나 이용목적 변화에 따라 해수유통 가능성을 전혀 배제시키기 어려운 것이 현실이다.

〈표 3-6〉 해수유통의 찬반의견

구분	내용
해수유통 찬성	<ul style="list-style-type: none"> · 새만금의 생태적 건강성을 유지할 위해 부분적으로 해수유통 해야 함. · 해수유통을 배제하지 못해 시화호의 전철을 밟지 않아야 함 · 새만금호 수위가 낮아지면 호내 정체수역이 형성되어 오염물질 유입 등으로 수질이 악화될 가능성이 높아 해수유통 필요
해수유통 반대	<ul style="list-style-type: none"> · '09.6. 환경부장관 한국지방신문협회 기자간담회 -수질목표를 4등급에서 3등급으로 상향 조정해도 해수유통없이 목표수질을 달성시킬 수 있는 방법 모색 · '10.1. 새만금추진기획단 새만금 종합실천계획 도민 설명회 -새만금 계획에서는 해수유통이란 표현자체가 없으며, 향후 포함시키지 않을 것

3) 해외사례

(1) 네덜란드 휘어스호

네덜란드 휘어스호는 1962년 해일방지, 담수확보, 관광목적으로 네덜란드 남단의 하구를 막아 조성한 1억 1천만톤의 용량을 가진 담수호이다.

하지만 휘어스호의 수질이 점차 악화되면서 주민들의 심한 논쟁의 대상이 되어 잔트크리크담에 5.5×3m 터널 2개를 건설하여 수질변화와 생태계 모니터링을 수행하도록 하였다.



〈그림 3-6〉 네덜란드 휘어스호 위치

2004년 5월부터 3개월 동안 1차 모니터링을 한 결과 수질이 개선되었으며 거의 해수와 같은 조석현상이 발생하고 염분의 변화도 해수호로서의 형태를 보여주었다. 또한 볼케락호의 수질개선을 위해서 해수유통을 고려하도록 하는 계기가 되었으며 전체 델타프로젝트에 의해 건설된 하굿둑에 대한 방향을 수정하는 계기를 마련하였다.

2005~2006년의 2년간 모니터링 결과 오염수치는 현저히 줄었으며 플랑크톤, 저서생물, 어류 등의 생태계도 회복되어 주변의 해수와 같은 수질을 유지하고 있다.

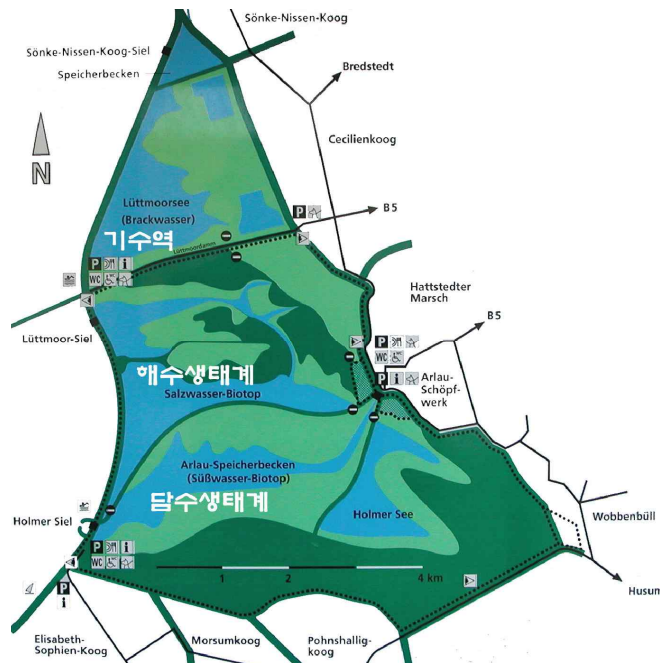


출처) 충남발전연구원(2009), 「바람직한 금강하구역 개선을 위한 해수유통방안」

<그림 3-7> 네덜란드 휘어스호의 잔트크리크 댐

(2) 독일의 흠머질

독일의 흠머질은 방조제에 설치된 수문으로 해수용과 담수용의 두 개로 되어 있다. 해수용 수문은 항상 열려있어 해수가 방조제 내로 유입될 수 있도록 하고 담수용 수문은 홍수통제를 위해 조절되도록 되어 있다. 또한 내부에 작은 독을 두어서 해수와 담수가 섞일 수 있도록 하여 생태계의 연결고리를 절단하지 않도록 배려했다. 그 결과 다양한 생태계를 보여 생물생태계를 매우 건강하게 유지하도록 설계되었다.

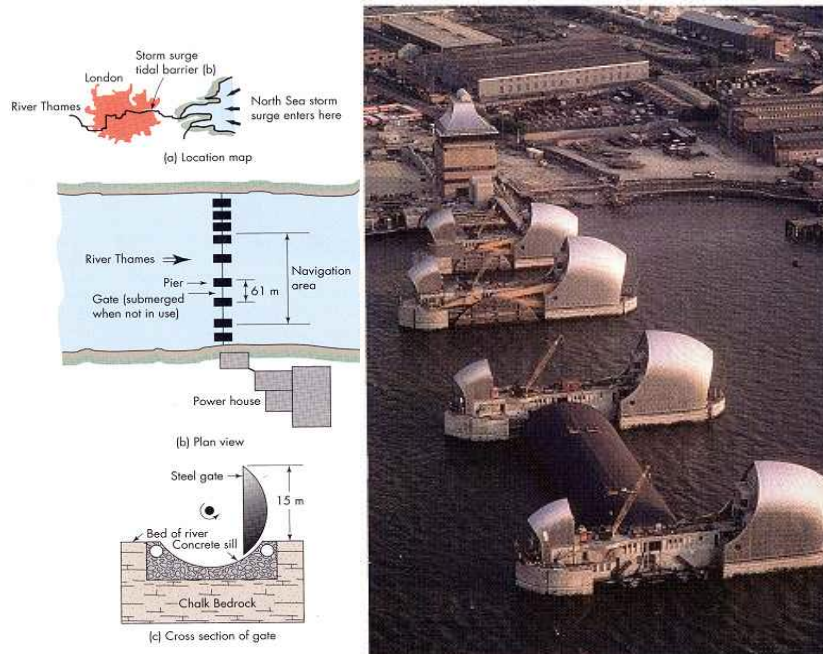


출처) 충남발전연구원(2009), 「바람직한 금강하구역 개선을 위한 해수유통방안」

<그림 3-8> 독일의 흠머질 수문과 주변 생태계

(3) 영국 런던 하구의 테임즈 배리어

네덜란드 기술자들에 의해 설계되어 1984년에 완성된 테임즈 강의 배리어는 백중사리와 폭풍이 만나 해일을 일으킬 우려가 있을 때에만 닫을 수 있도록 설계되어 있어 년 중 항상 열려있으며 작은 배들이 쉽게 런던까지 닿을 수 있다. 이것은 하구의 다양한 기능을 유지하기 위해서는 하구는 항상 열려있어야 한다는 철학을 실천한 것이다.



출처) 충남발전연구원 (2009), 「바람직한 금강하구역 개선을 위한 해수유통방안」
<그림 3-9> 영국 런던 테임즈 배리어

제 4 장 화성호 수질예측

제4장 화성호 수질예측

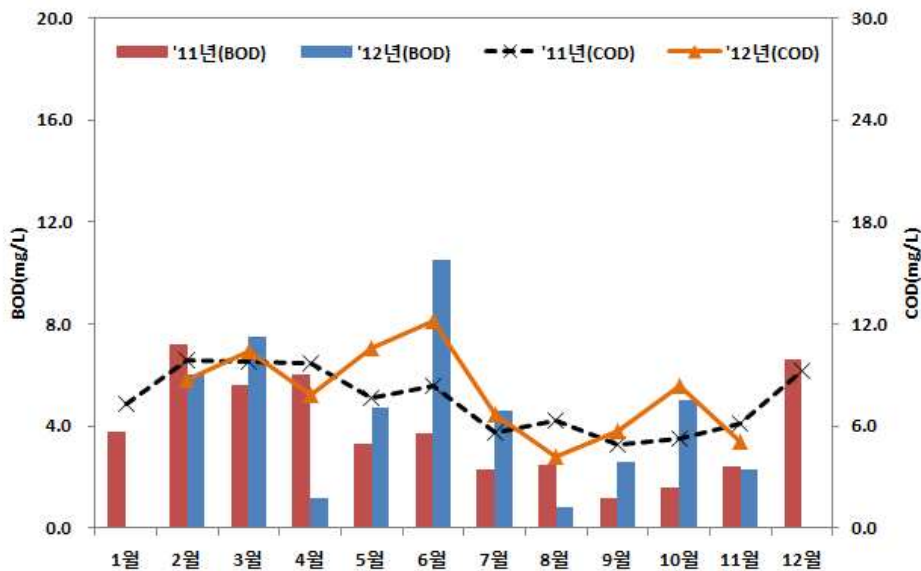
1. 수질현황

1) 화성호 유입지천 수질현황

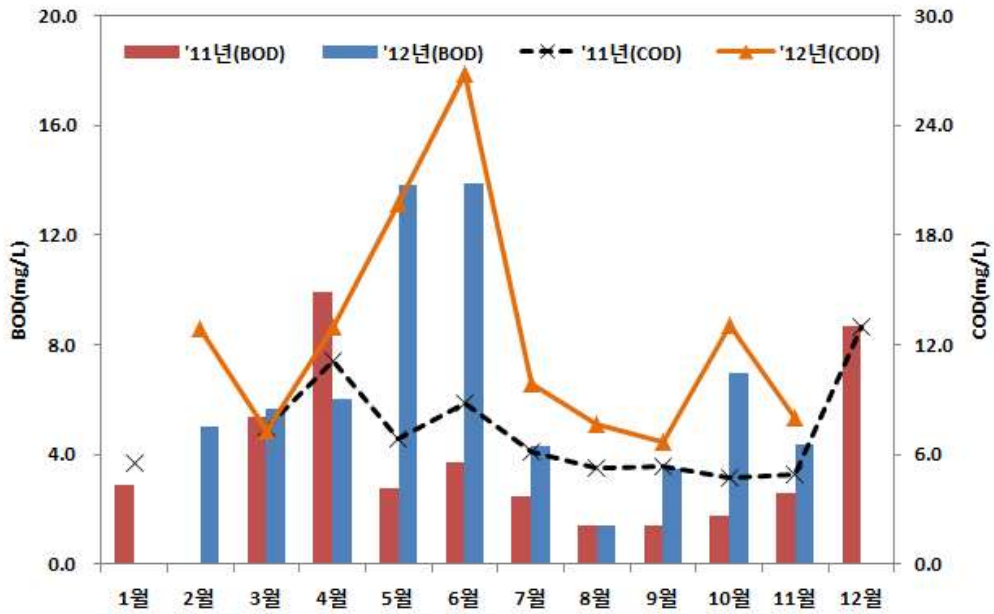
화성호로 유입되는 하천인 남양천, 자안천, 어은천에 대해 2011~2012년의 수질을 한강유역환경청의 자료를 바탕으로 조사하였다.

BOD의 경우 2011년에 비해 2012년에 대부분 증가추세를 나타내고 있다. 2012년의 남양천은 6월에 10.5mg/L로 가장 높았으며, 여름철인 8월에 0.8mg/L로 가장 낮았음을 보여주고 있다. 자안천은 5~6월에 13.8~13.9mg/L를 나타내며, 8월에 1.4mg/L를 보이며, 어은천은 3월에 8.6mg/L, 8월에 1.1mg/L를 나타내고 있다.

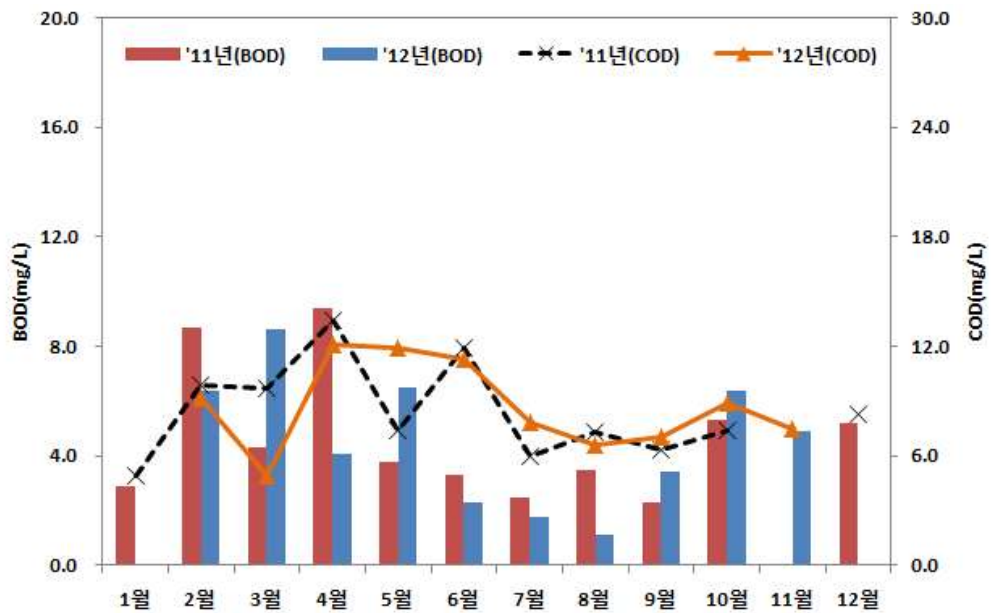
COD의 경우 BOD와 동일하게 2012년에 증가하고 있으며, 월별로는 남양천은 6월에 12.2mg/L(최대), 8월에 4.2mg/L(최소)를 나타내며, 자안천은 6월에 26.8mg/L(최대), 9월에 6.7mg/L(최소), 어은천은 5월에 11.9mg/L(최대), 3월에 4.9mg/L(최소)를 나타내고 있다.



〈그림 4-1〉 2011~2012년 남양천 수질현황



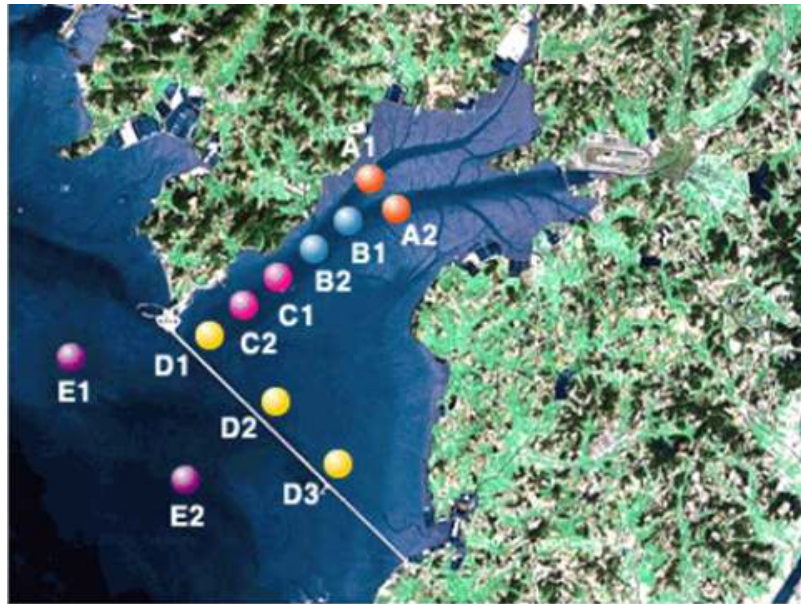
〈그림 4-2〉 2011~2012년 자안천 수질현황



〈그림 4-3〉 2011~2012년 어은천 수질현황

2) 화성호 수질현황

화성호 내 수질특성을 파악을 위해 남양천 합류부분(A1), 자안천 합류부분(A2), 어은천 합류부분(D3), 배수갑문(D1), 호내 중앙부분(B1~2, C1~2, D2), 방조제 외곽 부분(E1~2) 등 총 11개 지점을 대상으로 조사한 농어촌연구원 자료를 바탕으로 COD, TN, TP 세가지 항목에 대해 정리하였다.



출처) 농어촌연구원 (<http://rri.ekr.or.kr/rri/result/hwaseong/>)

〈그림 4-4〉 화성호 수질모니터링 지점

(1) 호내 유입부분 수질

호내 유입부분은 A1, A2, B1 지점으로 화성호 주요 유입하천인 남양천, 자안천 부분과 합류부분으로 나누어 수질을 파악하였다.

수질조사결과 A1지점은 남양천 합류부 지점으로 COD 2.0~9.8mg/L, TN 0.446~2.662mg/L, TP 0.017~0.205mg/L로 주로 12월에 낮은 값으로 조사되었으며, A2 지점은 자안천 합류부분으로 COD 2.0~13.6mg/L, TN 0.441~3.628mg/L, TP 0.037mg/L~0.234mg/L로 3월에 가장 낮은 값을 나타내었다. 합류부 지점인 B1은 COD 3.2~11.6mg/L, TN 0.451~2.799mg/L, TP 0.039~0.144mg/L로 3월에 낮은 값을 나타내고 있다.

〈표 4-1〉 2012년 월별 화성호 수질현황(호내 유입부분)

구분		A1	A2	B1
1월	COD	-	-	4.0
	TN	-	-	1.424
	TP	-	-	0.045
2월	COD	-	-	5.6
	TN	-	-	1.189
	TP	-	-	0.050
3월	COD	3.2	2.0	3.2
	TN	0.668	0.411	0.451
	TP	0.060	0.037	0.039
4월	COD	5.6	5.6	5.2
	TN	0.824	0.787	0.811
	TP	0.063	0.053	0.055
5월	COD	8.8	13.6	8.8
	TN	0.966	1.903	1.026
	TP	0.118	0.234	0.117
6월	COD	4.4	2.8	3.2
	TN	0.619	0.495	0.562
	TP	0.140	0.103	0.085
7월	COD	8.6	8.2	7.6
	TN	2.662	2.438	2.204
	TP	0.205	0.143	0.117
8월	COD	6.2	5.8	5.8
	TN	2.461	1.944	1.801
	TP	0.152	0.142	0.132
9월	COD	9.8	9.0	8.8
	TN	1.883	1.350	1.615
	TP	0.126	0.104	0.127
10월	COD	8.8	8.0	6.8
	TN	1.733	1.349	1.323
	TP	0.187	0.109	0.129
11월	COD	4.4	9.6	4.8
	TN	0.692	0.994	0.705
	TP	0.061	0.129	0.056
12월	COD	2.0	5.6	11.6
	TN	0.446	3.628	2.799
	TP	0.017	0.085	0.144
평균	COD	6.2	7.0	6.3
	TN	1.295	1.530	1.326
	TP	0.113	0.114	0.091

(2) 호내 수질

호내 부분은 B2, C1~2, D1~3 지점 등 6개 지점으로 화성호 중앙과 방조제 내측의 수질현황을 조사하였다.

수질조사결과 B2지점은 COD 2.4~14.4mg/L, TN 0.385~2.008mg/L, TP 0.033~0.174mg/L로 주로 3월에 낮은 값으로 조사되었으며, C1 지점은 COD 2.0~7.4mg/L, TN 0.380~1.887mg/L, TP 0.034mg/L~0.114mg/L로 2월에 가장 낮은 값을 나타내었다. C2는 COD 2.4~7.4mg/L, TN

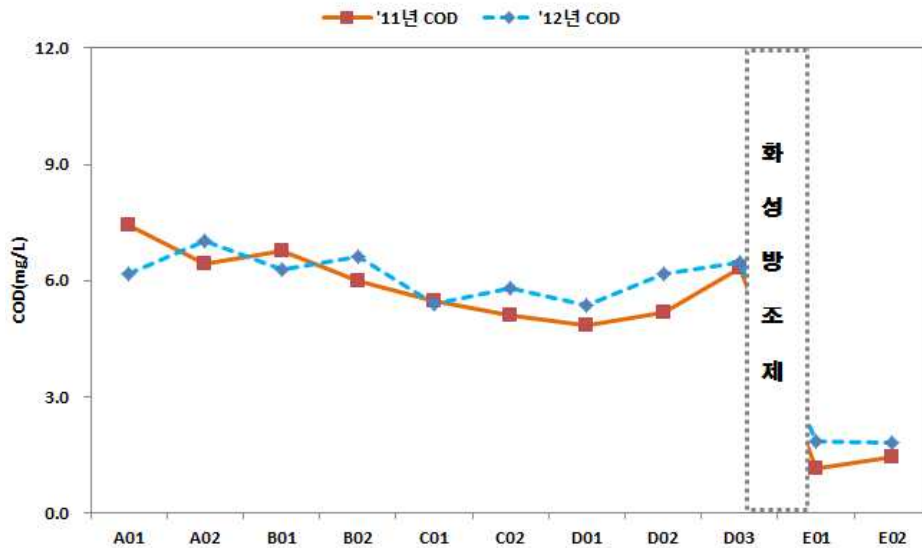
0.311~1.887mg/L, TP 0.028~0.133mg/L로 3월에 낮은 값을 나타내고 있다. 배수갑문 지점인 D1은 COD 0.8~8.8mg/L, TN 0.225~1.986mg/L, TP 0.030~0.107mg/L로 주로 3월에 낮은 값으로 조사되었으며, D2 지점은 COD 2.4~12.0mg/L, TN 0.301~1.695mg/L, TP 0.027mg/L~0.105mg/L로 3월에 가장 낮은 값을 나타내었다. 어은천 유입부인 D3는 COD 2.4~11.2mg/L, TN 0.309~1.673mg/L, TP 0.028~0.155mg/L로 3월에 낮은 값을 나타내고 있다.

〈표 4-2〉 2012년 월별 화성호 수질현황(호내 부분)

구분		B2	C1	C2	D1	D2	D3
1월	COD	5.6	6.0	5.2	4.8	4.8	4.4
	TN	1.444	0.667	0.604	0.634	0.565	0.544
	TP	0.068	0.042	0.034	0.040	0.047	0.040
2월	COD	4.4	4.4	4.8	4.4	3.6	6.0
	TN	0.670	0.655	0.748	0.670	0.756	1.001
	TP	0.035	0.034	0.047	0.034	0.035	0.045
3월	COD	2.4	2.0	2.4	0.8	2.4	2.4
	TN	0.385	0.380	0.311	0.225	0.301	0.309
	TP	0.033	0.037	0.028	0.030	0.027	0.028
4월	COD	5.2	6.8	6.4	1.2	4.0	4.0
	TN	0.732	0.930	0.836	0.479	0.750	0.739
	TP	0.054	0.067	0.063	0.032	0.057	0.056
5월	COD	6.4	5.6	6.4	5.2	6.0	5.6
	TN	0.838	0.729	0.719	0.692	0.814	0.935
	TP	0.099	0.073	0.069	0.044	0.044	0.052
6월	COD	4.8	5.2	6.0	6.0	4.8	6.4
	TN	0.584	0.661	0.715	0.728	0.617	0.770
	TP	0.083	0.083	0.079	0.087	0.066	0.083
7월	COD	7.0	7.4	6.8	8.0	7.0	8.0
	TN	2.008	1.931	1.887	1.765	1.695	1.673
	TP	0.113	0.095	0.092	0.098	0.087	0.155
8월	COD	6.2	6.4	6.8	7.0	7.0	6.8
	TN	1.807	1.786	1.824	1.986	1.398	1.344
	TP	0.129	0.114	0.133	0.107	0.105	0.120
9월	COD	8.0	6.4	7.4	7.8	8.4	8.6
	TN	1.168	1.229	1.078	1.017	1.024	0.859
	TP	0.098	0.077	0.078	0.075	0.101	0.088
10월	COD	6.4	5.2	5.2	6.0	5.6	6.0
	TN	1.085	0.907	0.790	0.683	0.845	0.914
	TP	0.095	0.059	0.055	0.047	0.059	0.084
11월	COD	8.8	4.0	5.2	4.4	8.4	8.4
	TN	0.860	0.642	0.746	0.807	0.976	0.839
	TP	0.077	0.049	0.051	0.044	0.082	0.098
12월	COD	14.4	5.2	7.2	8.8	12.0	11.2
	TN	1.943	1.299	1.001	0.952	1.174	1.368
	TP	0.174	0.055	0.047	0.073	0.098	0.098
평균	COD	6.6	5.4	5.8	5.4	6.2	6.5
	TN	1.127	0.985	0.938	0.887	0.910	0.941
	TP	0.088	0.065	0.065	0.059	0.067	0.079

(3) 외해 수질

외해 수질의 변화를 알아보기 위해 2011~2012년의 수질을 비교하여 정리하였다. 조사결과 화성호내 수질 뿐만 아니라 방조제 외측의 수질 또한 악화되고 있음을 알 수 있다.



<그림 4-5> 화성호내 및 외측 수질 현황

3) 인근 하구호와의 수질 비교

화성호의 수질이 타 하구호와 어떤 차이가 있는지 비교하기 위해 현재 해수유통을 하고 있는 시화호와 담수호로 운영 중인 평택호, 남양호의 수질을 비교·분석하였다.

2012년 수질을 비교하였으며 시화호는 시화01~06 등 6개 지점의 표층수의 평균값을 적용하였으며, 평택호와 남양호는 환경부지점으로 등록되어 관리 중인 각각 3개 지점의 평균 수질을 적용하여 비교하였다.

비교 결과, 화성호는 해수유통을 하고 있는 시화호에 비해 COD, TN, TP 모두 약 2배 이상 높은 수치를 나타내고 있음을 알 수 있다.

<표 4-3> 2012년 화성호-시화호 호내 수질비교

구분	COD	TN	TP
화성호	5.7	1.350	0.109
시화호	3.0	0.788	0.059

하지만 담수호로 운영 중인 평택호, 남양호와의 수질비교에서는 양호한 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다. 이는 해수로 인한 오염물 희석효과가 크다는 것을 나타내고 있음을 보여주고 있다.

〈표 4-4〉 2012년 평택호-남양호 호내 수질현황

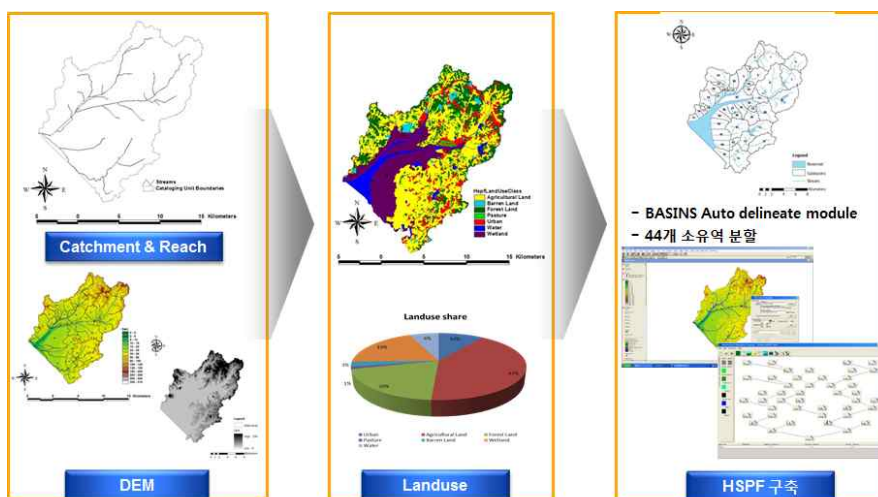
구분	COD	TN	TP
평택호	8.6	4.210	0.100
남양호	8.8	3.966	0.139

2. 수질모델

1) 모델의 선정 및 구축

화성호의 수질을 예측하기 위해서 유역모델과 수질모델 두가지로 구분하여 모델을 선정하여 적용하였다. 유역모델로는 HSPF(Hydrologic Simulation Program - Fortran)를 적용하였으며, 수질모델은 EFDC(Environmental Fluid Dynamic Code)를 선정하여 수질모의를 실시하였다.

HSPF는 광범위한 수문·수질과정을 장기모의가 가능하도록 일련의 구조화된 모듈로 구성되어 있으며, 하도에서의 1차원 수질 모의과정을 포함과 동시에 비정상상태를 수행할 수 있고 정상상태의 경우 유역 내의 수리·수문 및 수질을 동시에 모의가 가능하다. HSPF를 선정한 이유는 상류대책 및 호내 대책 적용에 적합하며, 대책 적용에 따른 호내 수질예측이 가능하다. 또한 해수유통, 담수화 적용의 유연성을 가지고 있어 유역모델로 선정하였다.



〈그림 4-6〉 HSPF 모델 진행단계

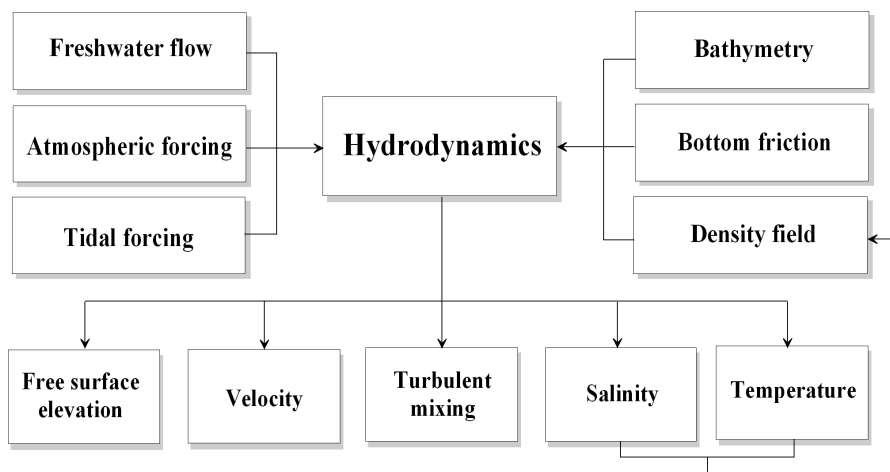
수질모델로 선정된 EFDC(Environmental Fluid Dynamic Code)모델을 선정·적용하였다. 최근 국내·외 하천 및 저수지 수리·수질 모델링에 광범위하게 적용되고 있으며, 국립환경과학원이 4대강 살리기 사업의 수질예측에 적용한 바 있으며 최첨단 사고대응예측시스템을 이용한 수질오염사고 대응 체계 구축을 위해 EFDC 모델을 선정하였다. 또한 일반적인 물의 흐름과 수질변화를 예측하는 모델로 바다와 육상의 담수에 모두 적용할 수 있으며, 담수호 유동해석 및 수질모의에 강점을 가지고 있어 화성호에 EFDC 모델을 적용하고자 하였다.

EFDC 모델은 연안, 하구, 호소, 습지, 저수지 등의 유동 및 물질수송을 모의하는 3차원 수치모델로서 미국 VIMS(Virginia Institute of Marine Science)에서 개발되었으며, 미국 환경청의 공인 모델로 지정되어 있다.

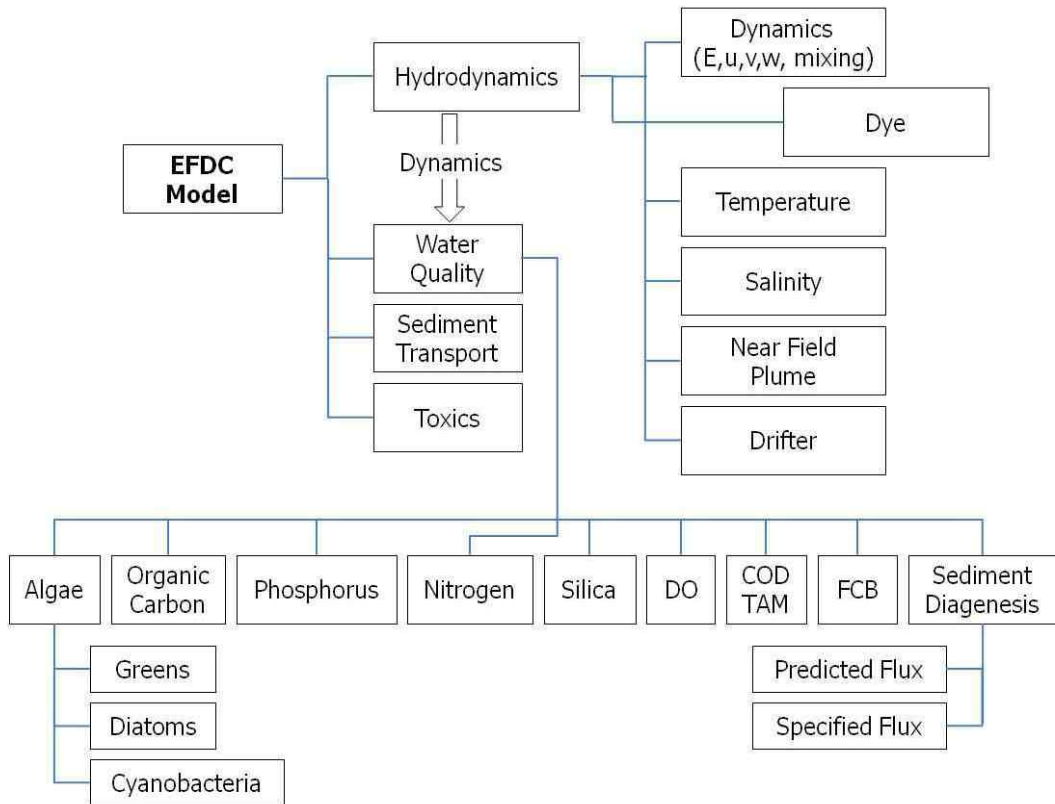
EFDC 모델은 크게 유동, 퇴적물이동, 수질의 세 요소로 구성되어 있으며, 유동 모델 부분은 수온과 염분이 함께 고려된 3차원 천수방정식을 기본으로 하고 있다. EFDC 모델은 연속방정식과 수평방향 운동방정식, 열염보존 방정식, 물 그리고 퇴적물을 포함한 물질 보존방정식들로 구성되어 있으며, EFDC 모델 중 수리역학 부분의 개념도를 <그림 4-7>에 나타내었다.

수질모델 부분은 CE-QUAL-ICM 또는 Chesapeake Bay water 수질모델(Cerco and Cole, 1993)을 기본으로 하고 있으며, 미국 환경청의 수질오염총량에 이용되고 있다. 수온, 염분을 비롯한 용존산소, 식물성 조류(3개 그룹), 탄소 순환계, 질소 순환계, 인 순환계, 규소 순환계를 포함하는 21개 상태변수를 모의하며, EFDC 모델과 연계되어 운용되고 있다.

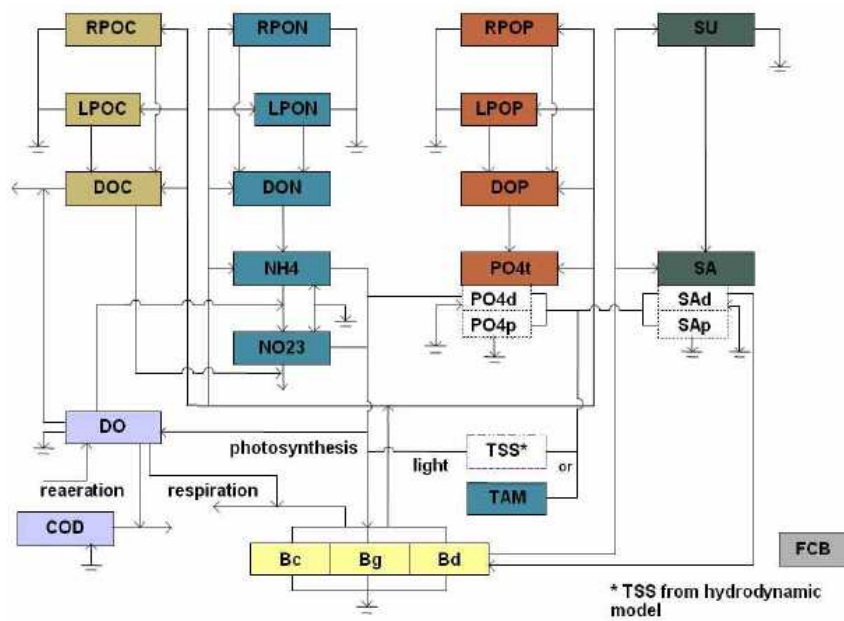
수질모델에서는 수체의 밀도를 결정하는 물리적 변수인 수온과 염분을 기본적으로 고려하게 되고 수온은 생화학적 반응 속도를 조절하는 가장 기본적인 수질변수이며, 염분은 보존성 추적자로 수질 모델의 transport 및 질량보존을 검증하기 위해 필요하다.



<그림 4-7> EFDC Hydrodynamic model의 개념도



<그림 4-8> EFDC 모델의 개요

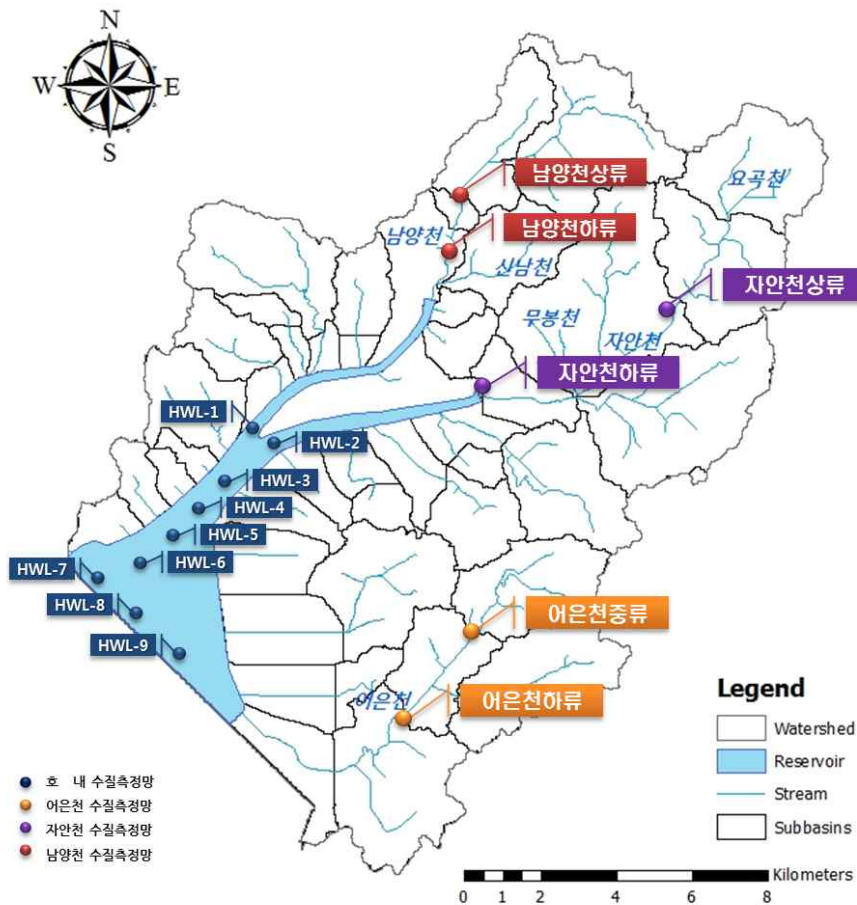


<그림 4-9> EFDC 모델의 수질모의 기작

장래 모델에 반영하기 위한 자료로는 KEGA가 제시한 담수호 수질개선대책과 연계하여 진행토록 하였으며, 세부적으로는 에코팜랜드, 화성바이오밸리, 마도지방산업단지 방류수를 호내 유입했을 경우를 고려한 장래 배출량을 반영토록 하였다. 또한 해수유통을 조건으로 2003년도의 해수유입량 약 4억톤/년을 반영하여 모델 수행을 진행하였다.

2) 수질모델 결과

유역모델과 수질모델의 보정을 위해 상류유역은 한강유역환경청에서 관할하는 측정지점(남양천, 자안천, 어은천 각 2개소)과 한국농어촌공사에서 관할하는 호소 측정망(HWL-1~9)의 자료(2009~2010년)를 이용하였다.



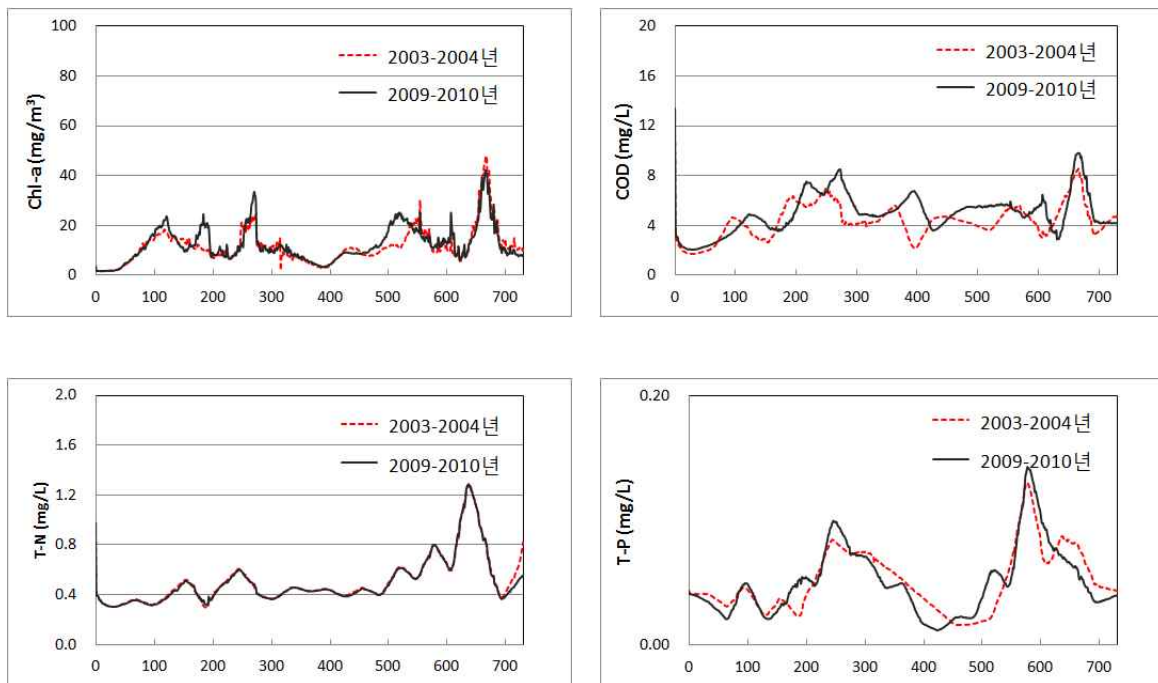
<그림 4-10> 유역모델 검·보정지점

<표 4-5> 화성호 유역 수질측정망 현황

구분	하천명	지점명	위치설명
유입하천	남양천	남양상류	남양동 우림아파트 앞
		남양하류	남양천 쌍송교
	자안천	자안상류	대성저수지 옆 대성교
		자안하류	현대자동차 옆 저류지 말단
	어은천	어은중류	먹우지 수문 앞
		어은하류	배다리교 하류부의 금성교
호소		HWL-1	남양천 유입부
		HWL-2	자안천 유입부
		HWL-3	남양, 자안천 호내 합류부
		HWL-4	
		HWL-5	
		HWL-6	호 중앙
		HWL-7	배수갑문 앞
		HWL-8	방조제 중앙
		HWL-9	어은천 유입부

시나리오는 2가지로 구성하였으며, 시나리오1은 2003~2004년의 유출입 수질자료로 구성하였으며, 시나리오 2는 2009~2010년의 유출입 자료를 이용하였을 경우의 조건으로 구성하였다.

일별 수질 변화를 알아보기 위하여 화성호의 중간 지점인 HWL-5번을 대상으로 <그림 4-11>에 나타내었다.



<그림 4-11> HWL-5 지점의 수질변화

HWL5 지점의 2003~2004년의 수질과 2009년~2010년의 수질 변화는 <그림 4-11>와 같으며, <표 4-6>에서 보는 것과 같이 Chl-a, COD, T-N 및 T-P의 수질 농도는 전체적으로 2009년~2010년 수질이 더 악화 된 것으로 분석되었다.

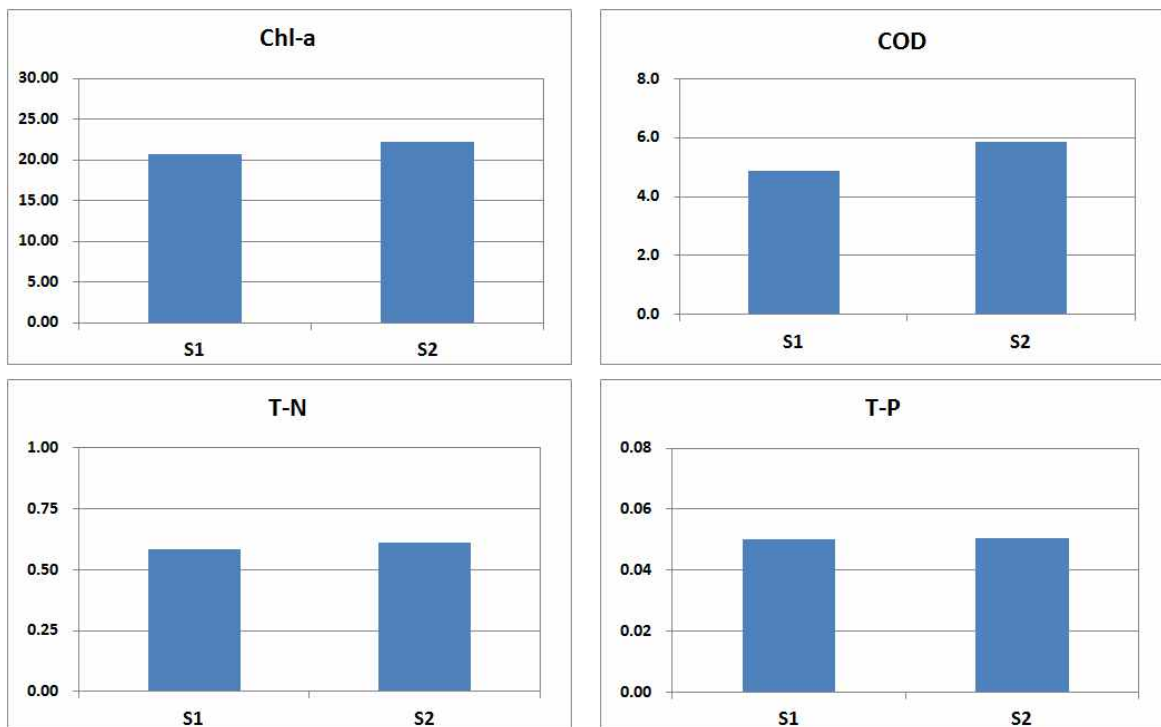
<표 4-6> HWL5 지점의 전층평균 수질결과

구분	Chl-a($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	COD(mg/L)	T-P(mg/L)	T-N(mg/L)
S1	16.847	5.055	0.050	0.573
S2	17.197	6.660	0.052	0.649

시나리오 S1과 S2의 HWL 1~9 지점의 Chl-a, COD, T-N, T-P의 전층 평균값은 <표 4-7>과 <그림 4-12>에 나타내었다.

<표 4-7> 화성호 수질결과(HWL 1~9)

구분	Chl-a($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	COD(mg/L)	T-P(mg/L)	T-N(mg/L)
S1	20.659	4.878	0.050	0.584
S2	22.179	5.843	0.051	0.611

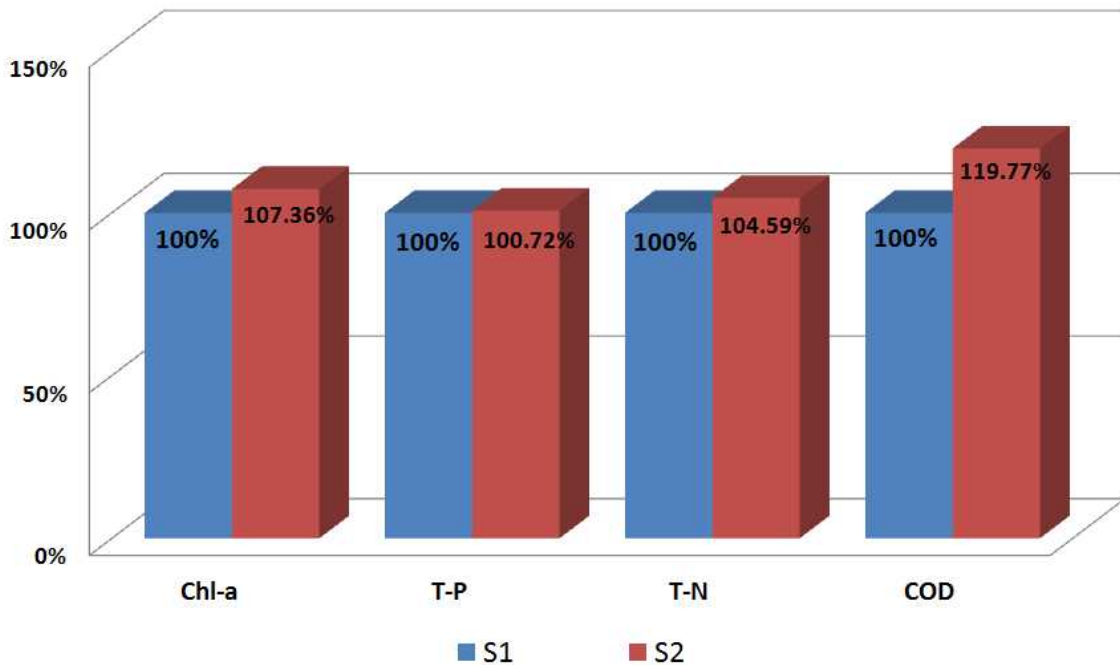


<그림 4-12> 전층 평균 수질결과(HWL 1~9)

시나리오 S1 지점(HWL1~HWL9)중 Chl-a 최대값과 최소값은 각각 30.374 mg/L, 15.298 mg/L로 나타났으며, 시나리오 S2의 지점별 최대값 최소값은 각각 24.934 mg/L, 17.360 mg/L 로 나타났다.

시나리오 S1 지점별 TN의 최대값 최소값은 각각 0.659 mg/L, 0.554 mg/L이며, 시나리오 S2는 0.756 mg/L, 0.648 mg/L 로 나타났다. 시나리오 S1 지점별 TP의 최대값 최소값은 각각 0.053 mg/L, 0.047 mg/L이며, 시나리오 S2는 0.054 mg/L, 0.051 mg/L 로 나타났다. 시나리오 S1 지점별 COD의 최대값 최소값은 각각 5.603 mg/L, 4.661 mg/L이며, 시나리오 S2는 6.921 mg/L, 6.694 mg/L 로 나타났다.

시나리오 S1과 비교하였을 때, 시나리오 S2의 Chl-a는 7.36% 감소된 반면, T-P는 0.72%, T-N은 4.59%, COD는 19.72% 증가하였다.



〈그림 4-13〉 시나리오별 오염물질 결과비교

위와 같이 해수유통량이 감소할수록 화성호의 수질은 악화 되는 것으로 나타났으며, 2012년 화성호 수질과 비교했을 때는 현저하게 차이가 나는 것으로 알 수 있다. 2012년 화성호의 전 지점 평균 수질은 COD 5.7mg/L, T-P 0.109mg/L 이지만, 시나리오 S1의 전지점 평균 수질은 COD 4.9mg/L, T-P 0.050mg/L로 COD는 0.8mg/L, T-P는 0.059mg/L 감소하는 것으로 나타났다.

또한 해수호인 시화호의 수질과 비교해 보면 COD는 시화호 보다 다소 높지만 T-N, T-P에서 모두 시화호 보다 양호한 결과를 나타내고 있으며, 담수호로 운영 중인 남양호, 평택호보다는

모두 양호한 수질을 나타내고 있다. 결과적으로 호내 수질이 해수유통 유입에 따라 큰 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 실제로 방조제 물막이 공사 완료 직후인 2003~2005년의 화성호 수질이 COD 3.1~4.3mg/L 였다는 사실을 고려하면 배수갑문 조작에 따라 수질이 더 개선될 수 있을 것 판단된다.

〈표 4-8〉 2012년 화성호-시화호 호내 수질비교

구분		COD	TN	TP	비고
화성호	2012년	5.7	1.350	0.109	
	시나리오 S1	4.9	0.584	0.050	
시화호		3.0	0.788	0.059	해수유통
평택호		8.6	4.210	0.100	담수호
남양호		8.8	3.966	0.139	담수호

제 5 장 경제성 분석

제5장 경제성 분석

1. 경제성 비교 공공사업 개요

1) 대상사업 현황

본 연구의 대상인 화성호 개발사업은 1991년 9월 공업화, 도시화로 인하여 전용되는 농지의 대체개발과 수자원확보를 목적으로 시행되고 있는 대단위 간척사업(농경지조성, 수자원확보, 농가소득 증대, 편리한 영농기반 조성, 쾌적한 농촌공간 조성, 육운개선)이다.

본 사업을 통해 5,802ha(배후지 개발 1,320ha, 간척지 개발[산업시설 및 농경지조성] 4,482ha)의 면적을 개발하고 5,440만m³/년의 수자원을 공급하고자 하였다. 화성호는 유역 면적(235.8km²), 호수면적(17.3km²), 방조제 길이(9.8km), 배수갑문(1개), 양수장(1개)의 현황을 보인다. 행정구역상 개발지역은 경기도 화성시 남양동, 마도면, 서신면, 우정읍, 장안면(1시 1동, 1읍, 3면)이고, 유역지역은 경기도 화성시 남양동, 마도면, 서신면, 비봉면, 팔탄면, 우정읍, 장안면(1시 1동, 1읍, 5면)이다.



<그림 5-14> 화성호 대단위 간척사업 계획도

2) 대상사업 추진 사항

대상사업은 원래 개발시기를 1991년~2012년(22개년)으로 잡고 추진되었다. 1991년 9월 외곽공사를 착공하고 2002년 3월 방조제 최종 물막이 공사를 완료하였다. 2007년 외곽시설을 완공하고, 2012년까지 내부개답공사 및 평야부 시설 완료예정이었다.

2002년 확정된 수질보전대책에 의하면 2012년 이후 화성호의 담수화를 시작할 계획이었으나, 주요 대책들의 지연으로 일정에 차질이 생긴 상태이다. 2002년부터 현재까지 화성호 수질보전 대책을 위해 세부실천계획을 수립 추진 중이며 지속적인 수질관리조사를 실시하고 있다.

3) 경제성 비교 대상

화성호 간척사업의 원래 목적은 화성호를 담수화하여 간척지를 조성하고 용수를 공급하는 것이었으나 이러한 목적의 변경가능성을 고려하였다. 대안적 방안으로 화성호를 해수유통하게 함으로써 간척지 조성과 용수공급을 포기하고 대신 타 용도로 사용하는 것이 있을 수 있다.

본 연구는 원래의 사업 목적에 부합하는 담수화 사업과 이에 대한 대안적 성격의 해수유통 사업을 경제적 측면에서 비교하여 어느 것이 보다 경제적으로 타당한지를 밝히는 것을 목적으로 하였다.

2. 경제적 타당성 비교 분석 개요

1) 비용편익분석 개념

비용편익분석(Cost-Benefit Analysis: CBA)은 전통적으로 어떤 공공 투자사업이나 공공정책의 경제적 효과를 평가하는 수단으로서 사업이나 정책에 투여되거나 이로 말미암아 야기되는 경제적 비용과 그 사업과 정책에 의해 얻게 되는 편익을 비교하여 사업이나 정책의 경제적 타당성을 판단하는 기법이다. 비용편익분석은 오늘날 핵심적인 경제성 평가 방법론으로 자리 잡고 있으며 후생경제학의 칼도-릭스원칙(Kaldor-Hicks principle)에 기초하는 분석 틀이다. 이 원칙은 경제적 총 편익이 총비용을 상회하는 사업은 그 수혜자가 피해자를 실제로 보상할 수 있는지 여부와 상관없이 경제성이 있다는 원칙이다.

정부가 추진하는 사업들의 대부분이 엄청난 예산과 노력을 투자하는 것으로 잘못된 판단에 의한 피해는 상당히 크고 그 후유증 또한 장기적이므로 정부의 공공투자사업은 시행 전 충분한 검토와 분석이 이루어져야 하고 그에 기초한 현명한 선택이 필요한데, 바로 이러한 공공투자사업의 현명한 선정에 비용편익분석이 활용될 수 있다. 최근에 와서 이러한 공공투자사업의

경제성 평가 부분에 환경에 미치는 영향을 고려하여 사회적으로 사람들의 후생에 미치는 정도를 반영하는 확대된 비용편익분석기법의 적용이 보편화되고 있다.

이러한 비용편익분석은 공공 투자사업이나 공공정책이 하나가 아닌 여러 개일 경우에도 적용될 수 있다. 이들 사업이나 정책간의 비교를 통해 최선의 대안을 찾는 데 유용하다.

2) 비용편익분석 절차

비용편익분석의 일반적 절차는 아래와 같은 총 8단계로 구성되는 것이 일반적이다.

- ① 1단계 : 공공사업의 정의
- ② 2단계 : 공공사업 영향의 식별
- ③ 3단계 : 고려해야 할 영향의 범위 확정
- ④ 4단계 : 영향의 물량적 파악
- ⑤ 5단계 : 영향의 화폐적 평가
- ⑥ 6단계 : 현재가치의 산정
- ⑦ 7단계 : 공공사업의 평가
- ⑧ 8단계 : 민감도 분석

비용편익분석 절차의 각 단계별 주요 내용은 <표 5-1>과 같으며, 비용편익분석 절차는 비교 대상이 되는 공공사업들이나 정책들에 동일하게 적용된다.

<표 5-9> 비용편익분석의 절차 및 단계별 주요 내용

B/C 분석 단계	주요 내용
공공사업의 정의	<ul style="list-style-type: none"> · 공공사업의 필요성, 사회적 배경 등을 명확히 해야 함. · 편익을 얻을 사람들과 잃을 사람들의 상황도 명확히 함.
공공사업 영향의 식별	<ul style="list-style-type: none"> · 자연과학적인 영향 뿐만 아니라 경제, 사회, 문화 등에 미치는 영향을 파악하여야 함.
영향의 범위 확정	<ul style="list-style-type: none"> · 해당 비용편익분석에 포함시킬 적절한 영향의 범위를 한정함.
영향의 물량적 파악	<ul style="list-style-type: none"> · 영향의 물리적 수량을 파악함. · 물리적 수량은 불확실하게 정해지기도 하므로 확률적으로 표현할 수도 있음.
영향의 화폐적 평가	<ul style="list-style-type: none"> · 물리적 영향을 비용과 편익으로 나누어 화폐가치로 표현함. · 평가할 때 주의를 기울여야 할 사항 첫째, 공공사업의 영향은 현재의 재화와 서비스에 부여된 가격만이 아니라 장래가격도 고려해야 함. 둘째, 시장이 효율적으로 조직되지 아니한 경우, 시장가격의 조정이 필요함.

B/C 분석 단계	주요 내용
	셋째, 물리적 영향에 관한 시장이 존재하지 아니하는 경우에는 가치화 방식을 통해 화폐가치로 환산함.
현재가치의 산정	· 공공사업이 장기간에 걸치는 경우 비용흐름과 편익흐름을 현재가치화하여 비교함. · 투자기회의 금리를 할인율로 사용하여 현재가치를 도출함.
공공사업의 평가	· 다양한 기법을 적용하여 공공사업의 타당성을 판단함. · 편익이 비용보다 큰 경우에 사업의 타당성이 존재함.
민감도 분석	· 원래의 비용편익분석 결과가 일정하다고 가정 한 파라미터 값들의 인위적 변화에 얼마나 민감한지 판단함.

3) 비용편익분석 지표

비용편익분석을 하는데 사용하는 지표로는 크게 순현재가치, 비용편익비율, 내부수익률이 있다.

(1) 순현재가치(Net Present Value)

사업에 따른 순증가 수익의 현재가치 총액으로 NPW(Net Present Worth)라고도 하며, 투자사업에서 자본의 기회비용으로 할인한 편익의 현재가치 총계에서 비용의 현재가치 총계를 공제한 순 차액을 말한다. 계산된 수치가 正(+)으로 나오면 사회적 기회비용 또는 사회적 할인율하에서 투자할 가치가 있는 사업이며 負(-)로 나오면 투자 대상으로 적합하지 않은 사업으로 판정한다. 분석대상 사업이 정해진 기간 내에 가져다주는 편익과 비용의 차이에 관심을 두는 지표이다.

시장이자율이 안정되어 사회적 할인율에 대한 신뢰도가 높고, 초기투자비에 대한 조달능력이 충분한 상황에 유용한 분석기법이다. 대형 투자자본의 조달이 정부 등 공익기관에 의해 보증되고 그 이자율도 사업초기에 확정금리로 정해지는 공공사업의 투자평가에 가장 적합한 평가방법일 뿐만 아니라 선진국에서도 가장 일반적으로 활용될 정도로 그 신뢰성이 높다. 순현재가치 지표는 독립사업의 경제적 타당성을 판단하기 위한 비용편익분석에서 가장 널리 쓰인다. 그러나 순현재가치법은 독립 사업이 아닌 여러 사업을 동시에 비교할 경우 대규모 사업일수록 큰 순현재가치가 발생하게 되어 통상 대규모 사업일수록 유리하게 된다는 취약점을 지니고 있다.

$$NPV = \frac{\sum_t B_t - \sum_t C_t}{(1+r)^t}$$

NPV : 순현재가치

B_t : t기간에 발생하는 편익

C_t : t기간에 발생하는 비용

r : 할인율

t : 기간(t=1, 2, ..., n)

n : 사업의 연수

(2) 비용편익비율(Benefit-Cost Ratio)

비용편익비율 지표는 투자사업으로 인하여 당해 사업의 내구연한 동안에 발생하는 편익의 현재가치 총액을 비용의 현재가치 총액으로 나눈 비율을 나타낸다. 주어진 할인율(자본의 기회비용)을 적용하여 편익/비용의 비율이 1이상이면 사업의 타당성이 있는 것으로 판단한다.

여기서 할인율은 자본의 사회적 기회비용(시장이자율 또는 사회적 시장선호율)을 말한다.

$$NPV = \frac{\sum_t B_t - \sum_t C_t}{(1+r)^t}$$

NPV와 거의 비슷한 기법으로서 정해진 기간 내에 분석대상 사업에 투입된 비용 대비 편익의 비율에 관심을 두는 지표이다. 이 기법의 유용성은 NPV가 단순히 ‘편익-비용’의 절대규모에 관심을 두는데 반해, 사업에 투자한 자본(혹은 비용)의 규모를 고려한 상태에서 편익의 크기를 확인할 수 있다는 것이다. 예를 들어 두 개의 사업이 NPV가 같은 경우라도 두 사업의 투자규모가 다르다면 규모가 작은 사업이 규모가 큰 사업에 비해 B/C가 크게 나오기 때문에 두 사업에 대한 투자 우선순위를 판단할 수 있다. B/C는 초기 투자비에 대한 부담이 있는 상태에서 여러 가지 투자 대안이 있을 경우 각각에 대한 우선순위를 평가할 때 사용하는 기법으로서, 단일한 투자대안에 대한 평가결과는 항상 NPV와 동일하다.

다만, 비용과 편익의 항목 선정에 따라 그 값이 변할 수 있다는 점 때문에 사업의 성격이 서로 다른 대안들을 비교할 경우 그 결과가 자의적으로 변할 수 있다는 문제를 안고 있다.

이 지표는 사업의 비용 1단위당 편익이 얼마인가를 보여 주는 것으로 복수의 사업을 비교할 때 소규모 사업일수록 높은 비율을 가지는 경우가 생겨 소규모 사업을 우선 순위의 사업으로 판정하기 쉽다는 약점이 있다.

(3) 내부 수익률(Internal Rate of Return : IRR)

내부수익율이란 투자사업의 전 기간에 걸쳐 발생하는 편익의 현재가치 총액과 비용의 현재가치 총액을 같게 하거나(NPB=NPC), 즉 순현재가치(NPV)가 0이 되게 하거나, 그 비율이 1이 되게 만드는 할인율(R)을 말한다. 내부수익율이 통용되는 시장이자율 또는 사회적 할인율보다 크다면 그 투자사업은 타당성이 있는 것으로 평가한다. 내부수익률을 사용하게 되면 개발사업의 평가에 사용할 할인율을 선택하여야 하는 어려움에서 벗어날 수 있다.

$$0 = \frac{\sum_{t=0}^n B_t - \sum_{t=0}^n C_t}{(1+R)^t}$$

IRR은 분석대상사업이 정해진 기간 내에 가져다주는 수익률과 시장 이자율의 비교평가를 위해 사용되는 기법이다. 예를 들어 시장 이자율이 불안정하여 정해진 기간 동안 5% - 10% 사이에서 불규칙적으로 변동한다고 할 때 NPV와 B/C를 계산하기 위해 할인율을 현재의 시장이자율인 7%를 사용했다면 그 결과에 대해 결코 신뢰할 수 없다. 이 경우에 IRR을 계산해서 그 값이 10% 이상이 나올 경우 사업의 타당성이 있다고 할 수 있고, 그렇지 않은 경우에는 보다 구체적인 재검토가 필요하다고 판정할 수 있다. 따라서 IRR은 NPV나 B/C를 통해 사업의 타당성이 인정되지만 시장이자율이 불안정하여 그 결과를 확신할 수 없는 상황에서 사용하는 기법이다.

만약 사회적으로 어느 정도 인정된 할인율을 사용한 NPV나 B/C의 결과가 타당성이 없다면 IRR은 비용과 편익의 현재가치 흐름에 따라 음의 값이 나오거나 비현실적으로 높은 수익률이 계산될 가능성이 높게 된다. 또한 이 기법은 경우에 따라 1개 이상의 값이 도출될 수 있어 여기에 제시된 세 가지 평가기법 중 가장 신뢰도가 떨어진다는 약점을 안고 있다. 따라서 이 기법은 NPV나 B/C를 통해 타당성이 검증된 사업에 대해 보완적으로 평가하는 기법이라 할 수 있다. 위의 세 가지 지표들이 구체적으로 투자사업의 경제적 타당성 판단을 하는데 사용되는 기준은 아래의 <표 5-2>와 같다.

〈표 5-10〉 투자효율지표의 타당성 판정 기준

지표	타당성 있음	타당성 없음	비고
B/C Ratio	$B/C > 1$	$B/C < 1$	적정이자율은 자본의 기회비용
NPV	$NPV > 0$	$NPV < 0$	
IRR	$IRR > \text{적정이자율}$	$IRR < \text{적정이자율}$	

(4) 비용편익분석 지표의 적용

사회적 할인율을 적용함에 있어 수반되는 불확실성을 없애기 위해 다양한 할인율을 사용하여 그 결과를 비교 검토할 필요가 있다. 본 과제에서는 이상 세 가지 기법 중에서 우선 NPV와 B/C를 이용하여 두 대안 사업의 경제성을 분석하여 상호 비교하고, 추후 NPV와 B/C의 결과가 두 대안의 경제적 우월성을 판단하는데 서로 상치될 경우 IRR을 보완하여 적용하면 된다.

이는 먼저 NPV와 B/C를 적용하고 IRR을 통한 분석은 추후 보완적으로 수행함에 따라, NPV와 B/C의 적용이 야기할지도 모르는 할인율 신빙성 문제를 해결해야 하기 때문이다. 이는 민감도 분석과도 자연스럽게 연계되는 작업이다.

4) 비용편익분석 범위의 한정

비용편익분석을 행하는데 배제하거나 분석범위의 한계에 포함시켜야 할 것들로 다음의 것이 있다.

(1) 형평성 기준

분석범위에서 해당 사업(두 가지 비교 대상) 수행으로 현세대 사람들 중에서 어떤 사람은 이득을 취하고 다른 사람은 손해를 보게 되는 점이 있다는 점은 인정하지만, 이를 비용편익분석에서는 다루지 아니한다.

(2) 불확실성의 범위

비교대상 사업이 미치는 영향의 불확실성과 위험(uncertainty and risk) 및 비가역적 결과(irreversible effects)는 분석대상에서 제외한다.

(3) 사회적 제도 요인

비교대상 사업에 명시적이든 암묵적이든 제약을 주는 사회내 제도적 요인은 동 분석에서 제외한다.

5) 비용편익분석 원칙

(1) 사업비 조정

해당 비교대상 사업의 재무적 비용은 경제적 비용(잠재가격)으로 조정한다. 사업비에 포함되어 있는 제세공과금, 업자이윤, 이자 등을 제외한 사업비 항목의 경제적 실질비용은 <표 5-3>과 같이 조정계수를 사용하여 조정한다. 모든 비용은 2012년 12월 불변시장가격으로 환산하고 해당 비교대상 사업이 현실적으로 유의미하게 비교되는 시점(2013년)의 현재가치로 환산하여 평가한다.

〈표 5-11〉 경제성 분석을 위한 사업비 조정계수

사업비 내역	조정계수	비고
1. 순공사비		
가. 노무비		
- 미숙련공 노임	0.850	노동의 기회비용
- 숙련공 노임	1.000	
나. 재료비	1.000	
다. 유류대	0.500	관세 및 내국세를 제외함
라. 중기사용료	0.878	관세 및 내국세를 제외함
마. 잡비	0.486	순공사비 수주별 조정계수 · 5억 이상 : 0.476 · 5~30억 : 0.486 · 30억 이상: 0.496
바. 간접노무비	0.850	노동의 기회비용
사. 산재보험료	1.000	
아. 부가가치세	0.000	
2. 지급자재대	-	
가. 자재대	1.000	
나. 부가가치세	0.000	
3. 용지매수보상비	0.820	부동산 투기가치 제외
4. 측량설계비	1.000	
5. 공사감독비	1.000	
6. 관리비	1.000	
7. 기타	1.000	

사업비 내역	조정계수	비고
8. 예비비	-	
가. 물량변동	(0.61)	순공사비의 가중평균
나. 단가인상	0.000	2012년 12월 불변가격 적용

자료: 새만금사업 환경영향 공동조사단(2000.5), 새만금사업 환경영향공동조사 결과보고서(경제성평가분야).

(2) 사업생산물 물가수준 통일

모든 사업 편익은 국내 물가수준으로 통일한다. 수입자재의 경우 수입균형가격(Import Parity Price)을 필요에 맞게 적용한다.

3. 화성호 담수화 사업과 해수유통 사업의 경제성 비교

1) 기본전제

(1) 수질보전대책의 포함 여부

원래의 사업이 담수화 사업이고 대안적 사업을 해수유통 사업으로 정의한다. 담수화 사업이든 해수유통 사업이든 일정 정도 화성호 내외의 수질보전을 위한 대책들을 필요로 한다. 수질보전대책은 일반적으로 호소의 담수화 사업의 경우에 호소의 수질기준을 맞추기 위해 수반되며, 호소수가 해수유통에 의해 바닷물이 될 경우 담수화 사업에 부응하는 수질보전대책은 불필요하다. 다만, 해수유통의 경우라 할지라도 화성호 내외에서 해역수질 기준을 달성하는 선에서의 수질개선대책은 필요할 것으로 상정한다.

담수화 사업과 해수유통 사업의 경제성 비교는 2012년 시점에서의 수질보전대책을 고려하였다. 현재 시점이 2013년임에도 불구하고 비용편익분석 기준시점을 2012년으로 잡는 이유는 수질보전 보완대책이 2012년부터 적용되기 때문이다. 2012년 이전에 수립되어 집행된 수질보전대책은 두 사업의 경제성 비교에서 경제적으로 고려대상이 되지 못한다. 소요된 비용은 소위 함몰비용(sunk cost)에 해당하여 0원으로 처리해야 한다. 본 분석에서는 기존 수질보전대책이 아닌 KEI가 본 연구의 수행 차원에서 제시하는 수질보전대책 보완대책(안)을 경제성 분석의 자료로 사용하였다. 해수유통의 경우에 적용될 수질보전대책은 수질모델링 결과에 근거하여 확보된 별도의 안을 수용하였다.

(2) 두 사업의 비교시 각각 및 공통 적용되는 부분의 구분

에코팜랜드의 경우 담수화 사업이 진행될 때에만 적용되는 사업이다. 해수유통 사업 진행시 에코팜랜드는 조성이 철회되는 것으로 정해져 있다. 화성바이오밸리 조성의 경우는 담수화나 해수유통 모두에 다 적용된다. 담수화 사업과 해수유통 사업의 비교 대상 항목에서 중복되게 다를 필요가 없으므로 화성바이오밸리 조성은 비용편익분석에서 제외시켜도 된다.

(3) 검토 대상항목의 명료화

담수화를 했을 경우 갯벌을 간척지로 변경하고 이 간척지에서 농사를 짓기 위한 농업용수를 확보하는 차원에서 담수호를 조성하는 특징을 보이므로 이에 수반되는 비용편익분석상 고려할 기본 항목들로서 식량생산, 서식지 기능, 재해방지기능, 수자원 공급, 수질정화, 대기정화, 토양형성, 심미적 가치 등이 있게 된다.

그런데 담수화의 경우 본 비용편익 분석에서 평가하는 대상은 기존의 계획에서 망라하는 대책과 가치를 다 포괄하는 것이 아니라 2012년 시점에서 추가적인 대책에 따른 비용과 그에 상응하여 발생하는 편익에 국한한다. 비용편익분석에서 추가적인 수질보전대책에 따른 소요비용만 고려대상이 된다. 이러한 추가 비용이 발생하는 이유는 추가적인 사업들(예: 에코팜랜드 조성)이 있기 때문이다. 편익적 측면에서 볼 때 위에서 열거한 기본 항목들은 기존에 이미 고려되었던 것들로 추가적인 고려대상이 못된다. 다만, 추가적인 사업으로 인한 추가 편익 항목들은 분석대상에 포함된다.

해수유통의 경우 간척지의 농업용 토지이용과 담수호의 기능이 죽게 되고 갯벌의 가치가 살아나게 되는 특징이 있다. 따라서 편익의 차원에서는 간척지와 개벌이 서로 토지영역 상 중복되는 부분에서 간척지의 가치와 개벌의 가치 간의 차이를 편익항목으로 다루어줘야 한다.

간척지에 해당하는 토지 중 해수유통과 더불어 갯벌이 아닌 타 용도로 사용되는 경우 그 토지 위 사업이 수반하는 비용과 편익을 항목으로 포함시켜야 한다. 다만, 현재 화성바이오밸리 조성 지역을 제외하고 별 다른 사업이 제시되지 않고 있으므로 이 지역 이외의 해당 토지면적의 가치를 갯벌의 가치에 준해 편익으로 상정할 필요가 있다. 해수유통을 하더라도 일정 정도 수질보전을 해야 하므로 이에 수반되는 대책 비용을 비용 항목에 포함시켜야 한다.

(4) 경제성 분석의 시간적 범위

두 대안 사업의 경제성 비교 분석의 시간적 범위는 2047년까지로 하였다. 에코팜랜드는 조성 후 경제적 수명이 30년을 간다고 보는 것이 합리적이므로 에코팜랜드를 2014년부터 조성하여 2018년에 완성한다고 할 경우 2047년까지 지속되는 것으로 봐야 한다. 에코팜랜드를 조성하는

데 소요되는 비용은 사업투자비가 투입되는 기간이 지난 후, 2047년까지 추가 사업투자비는 발생하지 않고 유지관리비만 2019년부터 2047년까지 매년 소요된다고 보았다. 담수화를 전제로 수립된 수질보전대책은 2021년에 완료되고 이후 2047년까지 이에 더 추가한 대책사업은 없으며 이에 소요되는 비용도 발생하지 않는다. 다만 유지관리비만 2022년부터 2047년까지 투입된다고 보았다.

2) 담수화 사업의 비용편익분석

(1) 담수화 사업의 비용

① 수질보전대책 비용

수질보전대책은 두 가지로 구별된다. 먼저 수질보전대책으로 2012년 이전에 제시된 보완대책이 있다(기본 대책). 여기에 2012년부터 추가적인 고려 대상이 되는 오폐수 방류 사업대상들에 의해 야기되는 오폐수를 처리하여 호내 방류하는데 따른 수질보전보완대책(추가 대책)이 있다.

□ 기본수질보전대책 비용

KETI 제시 ‘수질보전 보완대책(안)’ 및 이에 소요되는 비용(37,179백만원)은 <표 5-4>와 같이 제시되었다. 여기에 기 반영된 대책들의 비용은 함몰비용으로 제외되었다.

‘수질보전 보완대책(안)’의 비용은 아래 상자와 같은 근거에 입각해 추정하였다.

설치비
<ul style="list-style-type: none"> □ 인처리 시설 : 0.1백만원/톤 (새만금유역 제2단계 수질개선종합대책) <ul style="list-style-type: none"> ○ 국고보조율 : 읍이상 50%, 면이하 70% □ 비점오염저감시설 : 0.89백만원/톤 (새만금유역 제2단계 수질개선종합대책) <ul style="list-style-type: none"> ○ 국고보조율 : 읍이상 50%, 면이하 50% □ 가축분뇨공공처리시설 : 154.7백만원/톤(화성시 축산분뇨처리장 사업비 기준) <ul style="list-style-type: none"> ○ 국고보조율 : 80% □ 침강지 : 157.1백만원/ha (농어촌공사 화옹2, 3공구 침강지 건설 단가) □ 인공습지 : 91.8백만원/ha (농어촌공사 화옹2, 3공구 인공습지 건설단가)
유지관리비
<ul style="list-style-type: none"> □ 인처리 시설 : 20원/톤 (N사 자료) □ 비점오염저감시설, 침강지, 인공습지, 저류지 : 공사비의 3% (환경부. 2009 비점오염저감시설 모니터링 결과 중 “자연형 비점오염저감시설”) □ 가축분뇨공공처리시설 : 2백만원/톤 (환경부. 2006 축산폐수처리통계 중 “경기도” 자료를 2011년 소비자물가지수를 반영)

구분	관계기관	대책	사업량	총사업비(백만원)		연차별 투자계획(백만원)									
						'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21
한국농어촌공사	인공습지 증설 및 수초저류지	539.9ha	비												
			소계	4,943	989	989	989	989	989						
			국비	4,943	989	989	989	989							
			지방비												
화성시	남양하수처리장 총인처리	26,000 (증설계획 반영, 12,900 => 26,000)	소계	2,600		867	867	867							
			국비	1,300		433	433	433							
			지방비	1,300		433	433	433							
화성시	자안천 유역 비점오염저감 시설	10,000 톤/일	소계	8,921						1,784	1,784	1,784	1,784	1,784	
			국비	4,460						892	892	892	892	892	
			지방비	4,460						892	892	892	892	892	
화성시	어은가축분뇨 공공처리	100톤/일	소계	15,474						3,095	3,095	3,095	3,095	3,095	
			국비	12,379						2,476	2,476	2,476	2,476	2,476	
			지방비	3,095						619	619	619	619	619	

□ 추가 수질보전대책 비용

추가 수질보전대책(안) 및 이에 소요되는 비용은 다음과 같다. 추가 수질보전대책은 화성바이오밸리, 에코팜랜드, 마도지방산업단지에서 발생하는 오·폐수를 처리해 호내방류하는 경우에 대해 수립하였다. 구체적으로 마도지방산업단지의 에코팜 압송과 총인처리, 바이오밸리 총인처리와 습지 연계하는 것을 말하며, 이러한 대책들을 적용할 경우 수질이 T-P 0.0974 mg/L가 되어 목표수질을 달성하는 것으로 나타났다. 이러한 수질보전대책에 소요되는 최소 비용은 공사비 14,215백만원과 유지관리비 연간 321백만원이다. 추가 수질보전대책(안)의 연차별 투자계획은 <표 5-6>과 같다.

<표 5-14> 추가 수질보전대책(안)의 연차별 투자계획

(단위: 백만원)

총 추가공사비	2017년	2018년	2019년	2020년	2021년
14,215	2,843	2,843	2,843	2,843	2,843

② 에코팜랜드 사업의 비용

에코팜랜드는 사육시설, 승마장, 생태공원, 축산단지, 수출형 유리온실 등을 포함하는 대규모 단지를 말한다. 이를 조성하는 것과 관련하여 수립된 “에코팜랜드 조성을 위한 화옹지구(4공구) 농업생산기반정비사업 기본계획”, 경기도, 2011.10(이하 기본계획)에 의하면 사업지 개발을 위해 소요되는 총 투자비용은 5,421.88억원이다. 구체적으로 총사업비는 기반시설 사업비 615억원과 각 단지별로 투자되는 사업비 4,807억원(조사설계비 228억원, 단지조성비 1,110억원, 시설공사비 3,469억원)으로 구성된다. 개별 사업의 주체가 공공성향의 기관이므로 자본금은 100%로 가정할 필요가 있다.

<표 5-15> 에코팜랜드 조성 총 사업비

공 종	수 량	단 위	사업비(백만원)	비 고
합 계			542,188	
축산 R&D 단지	1	식	24,817	
승용마 단지	1	식	40,330	
수출형 유리온실 및 경관농업단지	1	식	144,566	
말 조련단지	1	식	85,275	
한우 번식우단지	1	식	75,813	
종자연구복합단지	1	식	42,418	
체재형 주말농장1(서측)	1	식	23,006	

공 종	수 량	단 위	사업비(백만원)	비 고
세계농촌마을1(서측)	1	식	17,302	
체재형 주말농장2(동측)	1	식	16,937	
세계농촌마을2(동측)	1	식	6,797	
환경용지	1	식	3,446	
기반시설	1	식	61,481	

기본계획에 의하면, 사업비의 연차별 집행은 2011년부터 시작하는 것으로 되어 있었다. 토목 설계비는 2011년과 2012년에 걸쳐 50:50의 비율로 투입하고, 건축설계비는 2013년에 100% 투입함. 감리비는 실제로 공사가 진행되는 2013년부터 2014년까지 50:50의 비율로 투입하였다. 단지 조성비와 기반시설 사업비는 토목 공사를 진행하는 2013년에 100% 투입하며, 시설공사비는 건축공사가 진행되는 2014년에 100% 투입하였다.

<표 5-16> 에코팜랜드 사업비 연차별 집행계획(기본계획)

공 종	사업비 (백만원)	2011년	2012년	2013년	2014년	2014년 이후
축산 R&D 단지	1단계 24,817	833	2,267	4,301	17,416	-
승용마 단지	1단계 40,330	1,705	4,610	8,717	25,298	-
	2단계	-	-	-	-	-
수출형 유리온실 및 경관농업단지	144,566	1,620	9,210	22,769	110,968	-
말 조련단지	85,275	2,552	5,940	10,166	66,617	-
한우 번식우단지	75,813	1,836	5,637	11,405	56,935	-
종자연구복합단지	42,418	1,218	2,516	3,893	34,791	-
체재형 주말농장1	23,006	366	911	1,634	20,096	-
체재형 주말농장2	16,937	263	684	1,263	14,728	-
세계농촌마을1	17,302	566	681	346	15,708	-
세계농촌마을2	6,797	225	321	288	5,963	-
환경용지	3,446	197	808	1,831	610	-
기반시설	61,481	-	30,741	30,741	-	-
합 계	542,188	11,380	64,325	97,353	369,129	-

에코팜랜드 조성이 기본계획에 의하면 2011년부터 사업비가 집행되도록 되어 있는데 2013년 현재 사업 집행이 이루어지고 있지 않으므로 집행년도를 조정할 필요가 생긴다. 본 연구의 분석의 편의를 위해 2014년부터 사업비가 집행되는 것으로 가정하며, 연차별 사업비 집행은 원 기본계획에서 정한 금액 그대로 연차적으로 뒤로 4년씩 밀리는 것으로 가정하였다. 위의 <표 5-8>에서 산정한 에코팜랜드 사업비는 2011년 기준 사업비이므로 2012년 기준 사업비로

조정해 줄 필요가 있다. 2012년 기준 산정된 사업비가 2014년부터 집행되는 것으로 하여 연차별 집행계획을 재정리하면 <표 5-9>와 같다.

<표 5-17> 에코팜랜드 사업비 연차별 집행계획(2012년 기준)

(단위: 백만원)

	2014년	2015년	2016년	2017년	합 계
사업비	11,631	65,747	99,505	377,287	554,170

관리운영비 및 임대료 산정시 다음과 같은 내용을 반영하였다. 사업별 특성을 고려하여 사업별 수익 대비 관관비 비율(한국은행, 2009년 기업경영분석 자료 참조)을 적용하였다. 유리온실의 경우 농림부 ‘첨단유리온실 경영실태 조사결과’에 따른 58.40%, 경관농업단지는 관광 및 연가관련서비스업 29.07%, 농촌테마관광농원은 부동산 및 임대업 51.13% 각각 적용하였다. 승용마 단지의 경우 기본계획서 관리운영비 비율을 준용하여 44.65%, 축산R&D와 한우번식우단지의 경우 전문 과학 및 종자개량을 등을 포함한 기술 서비스업 44.30%, 체재형 주말농장의 경우 부동산 및 임대업에 따른 51.13%, 세계농촌마을의 경우 관광 및 여가 관련서비스업에 대한 29.07%를 적용하여 각각의 관리운영비를 산정하였다. 임대료는 ‘한국 농어촌공사 간척지 임대관련 지침’상의 임대료 산정기준과 현 축산분뇨 처리시설 임대 사례를 검토하여 1,204원/㎡을 지불(2015년, 운영 1년차)하며 매년 생산자물가지수 임대료 지수 평균 증감률인 1.67%(10년 평균) 반영하였다. 토지임대비용은 향후 기관별 협의에 따라 정책적으로 결정될 사항으로 비용분석 항목에서 제외하였다. 관리운영 및 임대료는 기본계획에 의하면 2015년부터 집행되는데 2011년 기준 6,151백만원이 2015년에 집행되었다(기본계획은 기준년도 불변가격을 적용하지 않고 매년 물가상승률만큼 조정한 금액을 투입하는 것으로 설계됨).

이를 2012년 기준 불변가격으로 환산하면 6,286백만원이 되고 이 금액이 2018년부터 집행되는 것으로 상정되었다.

에코팜랜드를 조성함에 따른 사회적 비용(환경피해비용)은 발생하지 않는 것으로 상정하였다. 원래 이러한 대규모 단지를 조성하게 되면 이에 수반되는 각종 환경피해 비용이 발생하는 것이 맞다. 그런데 에코팜랜드가 기존의 간척지 조성 부지 위에 세워지므로 어떤 부수적 피해가 생긴다 하더라도 간척지와 관련되어 나타나는 피해에 해당하므로 이는 화성호 조성의 초기단계에서 간척지 조성 관련 기 비용(본 연구에서 함몰비용으로 취급)의 범위 내에 포함되어 취급되어야 할 사항이다.

(2) 담수화 사업의 편익

① 화성호 유역 수질개선 효과

‘수질보전 보완대책(안)’ 및 ‘추가 수질보전대책’을 추진함에 따라 화성호 유역의 수질이 개선되는 효과가 발생한다. 화성호 유역의 수질개선효과는 호내 수질과 호 상류부 유역의 유입천 수질에 모두 해당된다. 수질개선의 경제적 가치 추정은 여러 연구 결과가 있으나 화성호에 해당되는 것은 아직까지 존재하지 않는다. 따라서 대안적 방법으로 메타분석 결과를 적용하거나 아니면 수질오염물질 저감량(혹은 삭감량)의 경제적 가치로 대응하는 방법을 적용하는 것이 상례이다. 화성호의 경우 하천과 호소의 수질을 모두 다 포함하므로 기존 연구 중 이 둘을 대상으로 하는 경우는 극히 드물므로 메타분석 자체가 부적절할 수 있다. 오염물질 저감은 오염물질 자체가 사회적 차원의 비용이란 점에서 사회적 비용의 절감을 의미한다. 이는 사회적 편익 추정에 부합한 방법이란 점에서 본 연구에서는 수질오염물질 저감량의 화폐적 가치 추정 방법을 적용하기로 하였다.

수질오염물질 저감량은 배출부하량이 아닌 유달부하량을 대상으로 한다. 배출부하량의 경우 수질오염물질 발생원에서의 직접적인 오염물질 삭감이란 측면에서 보다 오염물질 대상에 초점을 맞춘 반면, 유달부하량은 일정한 오염억제 행위를 거치고 배출된 후 자연정화 과정을 거친 후에 나타난 부하량이란 점에서 공공수역의 수질수준에 직접적으로 영향을 주는 대상으로서 수질개선 여부를 설명하는데 보다 유효하다. 본 연구에서 수질개선의 가치에 보다 초점을 맞추고 있다는 점에서 유달부하량이 보다 적합한 대상이다.

수질오염물질이 줄어드는 양(유달부하량)은 ‘수질보전 보완대책(안)’과 ‘추가 수질보전대책’ 두 부분으로 구성된다. 먼저 ‘수질보전 보완대책(안)’의 적용에 의해 줄어드는 수질오염물질의 양은 <표 5-10>과 같다.

<표 5-18> 수질보전 보완대책(안)에 의한 오염물질 삭감효과

우선순위	대 책	유달부하량 삭감량(kg/day)		
		BOD	T-N	T-P
1	인공습지 증설 및 수초저류지	53.1	180.4	7.9
2	남양하수처리장 총인처리	30.1	15.7	2.6
3	장덕 침강지, 습지	32.5	79.7	2.6
4	어은 가축분뇨공공처리시설	5.2	7.5	0.8
5	자안전유역 비점오염저감시설	2.3	2.8	0.1

‘추가 수질보전대책’에 의해 줄어드는 수질오염물질의 양은 <표 5-11>과 같다.

〈표 5-19〉 ‘추가 수질보전대책’에 의한 오염물질 삭감효과

	BOD	T-N	T-P
유달부하량 삭감량(kg/day)	10.0	30.4	7.5

따라서 ‘수질보전 보완대책(안)’ 및 ‘추가 수질보전대책’에 의해 줄어드는 오염물질 유달부하량은 <표 5-12>와 같다.

〈표 5-20〉 종합 수질보전대책에 의한 오염물질 삭감량

	BOD	T-N	T-P
유달부하량 삭감량(kg/day)	133.2	316.5	21.5

BOD 부하량에 따른 처리(정수)비용은 경기도(2000) 자료²⁾에 의하면 다음 <표 5-12>와 같다. 엄밀한 수준에서는 BOD, T-N, T-P 삭감량 각각과 이들간의 상관관계 정도를 구하여 수질오염물질 삭감에 따른 처리비용을 구해야 한다. 본 연구에서는 자세한 자료의 부족 등의 이유와 오염물질 처리는 BOD를 삭감할 경우 T-N과 T-P도 같이 일정 비율로 연동되어 줄어들게 된다고 볼 수 있으므로 부하량 삭감에 따른 처리비용의 추정은 BOD를 대표로 하여 실시하였다. <표 5-13>에 의하면 1kg/일의 BOD 부하량이 삭감되는데 34,303원이 소요되었다. 따라서 종합 수질보전대책에 의해 유달부하량 133.2kg/일을 삭감하는데 5,629,574원이 소요되고, 이는 연 기준 2,055백만원에 해당한다. 이를 물가상승률을 반영하여 2012년 기준으로 환산하면 2,991백만원이 된다.

〈표 5-21〉 BOD 부하량에 따른 정수비용

번호	총 정수비용(원/일)	정수된 총 BOD 부하량(kg/일)
1	54,140,000	1,600
2	89,315,200	2,260
3	34,325,000	1,200
4	21,531,000	690
5	22,668,000	1,110
6	58,416,000	2,280
7	41,640,000	1,440
8	18,624,000	170
9	141,266,400	3,300
평균	53,547,289	1,561

2) 경기도(2000), 남한강정비사업에 대한 환경을 고려한 비용편익분석보고서.

② 에코팜랜드 조성에 따른 편익³⁾

에코팜랜드 조성은 사업에 의한 생산과 운영에서 편익이 발생한다. 단, 말 조련단지과 종자연구복합단지의 경우 앞에서 비용 상정을 하지 않았음에 상응하게 취급할 필요가 있어 편익항목에서도 제외한다. 이들은 별도의 수익을 발생시키지 않기도 하였다.

□ 축산 R&D 단지 편익

형질전환 동물생산 및 연구, 축산 체험/실습/교육장 운영, 동물 자원이용 다양성 연구, 한우암소개량 정보센터 구축, 가축 유전자원뱅크 운영 등의 사업을 진행한다.

축산위생연구소의 계획수요와 예정단가를 반영하여 연간 운영수입을 산정하였다. 조사료 생산 수익은 생산면적 대비 조사료 생산량을 기준으로 예정단가를 적용하였다.

〈표 5-22〉 축산 R&D 단지 편익

구 분		산출근거			산출금액	
대분류	중분류	계획수요	적용단위	예정단가(원)	원	백만원
한우	한우 출하	320	두	4,000,000	1,280,000,000	1,280
돼지	돼지 출하(자돈)	1,000	두	80,000	80,000,000	80
기타	재래닭(분양)	30,000	두	500	15,000,000	15
	오골계(분양)	5,000	두	500	2,500,000	3
	한우정액	270,000	스트로	10,000	2,700,000,000	2,700
생산	조사료	90,255	m ³	375	33,845,625	34
합계					4,111,345,625	4,111

□ 승용마 단지 편익

경기도 축산 대체 산업 지원, 승용마 생산 및 사육기술 지원을 통한 전문 승용마 단지를 조성하여 승마인구 저변확대를 통한 승마활성화 기반 시설을 개발한다.

페마 판매 및 승용마 판매는 기본계획상의 수요를 준용하며, 기승비는 일일 기승한정인원 120명(1.5만원/일), 관광객부대시설은 1인당 부대시설 이용요금 28,829원(한국관광공사 국민여행실태조사 자료 참조)을 적용하여 연간 운영수익을 산정하였다.

3) 편익 추정은 화옹지구(4공구) 농업생산기반정비사업 기본계획(2011, 경기도)에서 산정한 시설별 수익 내용을 주요 근거로 함.

〈표 5-23〉 승용마 단지 편익

구 분		산출근거			산출금액	
대분류	중분류	계획수요	적용단위	예정단가(원)	원	백만원
운영	폐마판매	10	두	600,000	6,000,000	6
	승용마판매	100	두	25,000,000	2,500,000,000	2,500
	인공수정	3,600	두	50,000	180,000,000	180
	기승비	43,800	명	15,000	657,000,000	657
	관광객 입장수입	1,095,000	명	3,000	3,285,000,000	31,568
	관광객 부대시설	1,095,000	명	28,829	31,567,756,000	31,568
생산	조사료 생산	314,993	m ³	375	118,076,250	118
합계					38,313,877,375	38,314

□ 수출형 유리온실 및 경관농업단지 편익

대단위 유리온실 및 육묘장을 조성하여 민간투자유치를 통한 수출형 작물을 재배하여 국산 농산물의 국제경쟁력을 향상시키기 위한 기반을 마련하기 위한 것이다. 민간이 참여하여 재배하는 유리온실 작물의 경우 농림수산물부의 유리온실 경영실태자료를 기초로 한 재배량을 적용하였다. 관광시설의 연간 입장객수는 수요추정상의 연간입장객에 사례 조사를 통한 대인 대 소인 비율(7:3)에 특화공원 입장료 사례값 평균을 적용하여 수익을 추정하였다. 임대형 체험농원의 경우 지자체 주말농장운영 사례를 참조하여 17m²당 1구좌, 구좌당 연간 임대가격은 3,272원을 적용하였다.

경관농업단지내 복합시설관과 피크닉광장내 F&B 시설은 유사사례(경기도 안양 평촌중앙공원 내 F&B 임대 사례) 연간 임대료(60,000원/m²)를 적용하여 연간 임대수익을 산정하였다.

〈표 5-24〉 수출형 유리온실 경관농업단지 편익

구 분		산출근거			산출금액	
대분류	중분류	계획수요	적용단위	예정단가(원)	원	백만원
유리온실	파프리카	118,045	m ²	48,000	5,666,169,600	5,666
	토마토	79,355	m ²	32,700	2,594,901,960	2,595
육묘장	육묘장 생산	12,600	m ²	40,300	507,780,000	508
경관농업단지	대인(70%)	592,305	명/년	3,000	1,776,915,000	1,777
	소인(30%)	253,845	명/년	2,500	634,612,500	635
	복합시설관(6개 동)	3,000	m ²	60,000	180,000,000	181
농촌테마관광농원	임대형 체험농장	7,601	구좌	3,272	24,871,951	26
피크닉광장	F&B 시설	500	m ²	60,000	30,000,000	30
합계					12,347,871,451	12,348

□ 한우 번식우단지 편익

축산농가와 축산업의 위치를 회복하고, 향후 지속적인 축산업 및 지역경제에 이바지 가능한 환경친화 축산농장을 조성하기 위한 것이다. 송아지와 비육우를 판매하며, 이때 계획수요와 예정단가는 수원축협 내부 계획을 반영하였다. 송아지와 비육우 성장기간을 고려하여 운영3차년도부터 생산수요 정상화를 가정하였다. 조사료 생산 수익은 생산면적 대비 조사료 생산량을 기준으로 예정단가를 적용하였다.

〈표 5-25〉 한우 번식우단지 편익

구 분		산출근거			산출금액	
대분류	중분류	계획수요	적용단위	예정단가(원)	원	백만원
한육우	송아지 판매	4,400	두	1,650,000	7,260,000,000	7,260
	비육우 판매	1,720	두	5,000,000	8,600,000,000	8,600
생산	조사료 생산	779,441	m ³	375	292,290,375	292
합계					16,152,290,375	16,152

□ 체재형 주말농장

주말을 이용해 농촌에 머물면서 텃밭 등을 활용해 농작물을 재배하고, 자연체험 및 휴양 등을 즐길 수 있는 임대형 농장이다. 사업지 인근의 지자체 운영 체재형 주말농장의 1개소당 연간 임대료(4,136,000원/년)를 적용하여 연간 임대수익을 산정하였다.

〈표 5-26〉 체재형 주말농장 편익

구 분		산출근거			산출금액	
대분류	중분류	계획수요	적용단위	예정단가(원)	원	백만원
운영	주말농장	594	개소	4,136,000	2,456,784,000	2,457
합계					2,456,784,000	2,454

□ 세계농촌마을 편익

국내외 각각의 테마를 부여한 농가를 조성하여 국가별 기념행사를 진행하거나 축제, 야외 결혼식, 가든파티 등의 다양한 이벤트 공간으로 운영할 것이다. 운영수입의 경우 수요 추정에 따른 연간 이용객수에 소규모 테마파크 입장료(사례분석)인 3,000원과 1,500원을 각각 적용하여 연간 운영수익을 산정하였다. 행사장 임대료의 경우 토/일 주 2회 장소임대(104회/년)를 기준으로 지자체 야외 공원 1회 임대료(5만원/회)를 적용하여 연간 임대수익을 산정하였다.

〈표 5-27〉 세계농촌마을 편익

구 분		산출근거			산출금액	
대분류	중분류	계획수요	적용단위	예정단가(원)	원	백만원
운영	대인(70%)	302,222	명/년	3,000	906,664,500	907
	소인(30%)	129,514	명/년	1,500	194,285,250	194
	행사장 임대	4	개소	50,000	20,800,000	21
합계					1,121,749,750	1,122

위의 편익들은 2011년 기준 화폐가치를 나타내므로 2012년 기준으로 전환하려면 물가상승률만큼 조정해 줘야 한다. 물가상승률을 반영한 에코팜랜드 조성 편익 추정 결과는 <표 5-20>과 같다.

〈표 5-28〉 에코팜랜드 조성 편익(2012년 기준)

(단위: 백만원/년)

항목	편익
축산 R&D 단지	4,202
승용마 단지	39,161
수출형 유리온실 및 경관농업단지	12,621
한우 번식우단지	16,509
체재형 주말농장	2,511

3) 해수유통 사업의 비용편익분석

(1) 해수유통 사업의 비용

① 수질보전대책 비용

화성호를 해수유통하면서 유지하여야 할 수질과 이를 달성하기 위한 수질보전대책 및 그 비용을 추정하여야 한다. 2011년 호내 해수유입량은 연간 82,619천톤으로 수질이 COD 6.1mg/L이며, 해수유통량은 2002년 물막이 공사이후 점차 감소시키고 있으며 2004~2005년에는 연간 약 350,000천톤이다. 해수유통이 결정되면 화성호내의 수질이 COD 4mg/L정도로 개선될 것으로 전망된다. 따라서 주요 사업들로부터 발생하는 오·폐수를 호내 방류하더라도 추가적인 오염물질처리 대책을 수립하지 않아도 될 것으로 판단된다.

〈표 5-29〉 연도별 해수유입량과 호내 평균 COD

구분	' 03년	' 04년	' 05년	' 06년	' 07년	' 08년	' 09년	' 10년	' 11년
COD (mg/L)	3.1	4.3	3.7	4.5	5.2	5.6	4.6	7.4	6.1
해수 유입량 (천톤/년)	400,081	354,772	341,656	147,508	89,145	78,706	104,372	80,950	82,619

단, 처리시설 소요비용인 에코팜랜드 오·폐수의 압송과 관로에 드는 공사비 6,348(백만원)과 유지관리비 63(백만원/년)가 비용 항목에 포함된다. 공사비의 경우 <표 5-5>에서 보이듯이 2017년부터 2021년까지 연간 1,270백만원이 집행되고, 유지관리비는 2022년부터 집행되는 것으로 설정한다.

② 간척지 포기로 인한 손실

화성호 해수유통으로 인해 간척지가 더 이상 간척지가 될 수 없음에 따라 해당 간척지 토지가 지닌 여러 가지 기능적 가치가 더 이상 생성될 수 없게 된다. 간척지를 조성함에 따라 수반되는 담수호 및 방조제의 부가적 기능도 간척지 포기로 인한 손실 부분에 포함된다. 갯벌을 개발하여 조성된 간척지가 지니는 기능적 가치는 크게 3 부문으로 대별할 수 있다. 첫째 농지에 의한 쌀 생산 및 홍수 방지, 수질 및 대기 정화, 둘째 방조제 및 담수호에 의한 해일 및 홍수 방지, 수자원 공급, 셋째 자연경관에 의한 휴식공간 제공 등 생태적, 심미적 가치로 구분할 수 있다.

이러한 간척지 개발의 포기로 인해 상실되는 경제적 가치는 농어촌진흥공사의 연구결과⁴⁾에 의하면 다음과 같다. 이 연구결과가 제시하는 경제적 가치는 1999년 기준 화폐가치에 해당하므로 2012년까지의 누적물가상승률 만큼 보정해서 사용하여야 한다. 누적물가상승률의 경우 전체 소비자물가지수를 일괄 적용한다.

〈표 5-30〉 간척지의 경제적 가치 추정

(단위: 원/ha/년)

항목	세부 기능별 경제적 가치(1999년 기준)		경제적 가치 (2012년 기준)
식량생산	쌀생산	10,102,000	14,696,390
재해방지	해일방지+홍수방지	8,461,000	12,309,063
수자원 공급	담수호+간척농지	11,152,000	16,223,930
수질정화	농업용수+퇴비사용	328,000	477,174
대기정화	광합성	3,016,000	4,387,677
심미적 가치	여행비용	2,063,000	3,001,252
합계		35,122,000	51,095,486

4) 농어촌진흥공사(1999), 간척지 개발과 갯벌상태의 경제성 비교분석에 관한 연구(최종).

화성호에 조성되는 간척지 용도의 토지면적은 4,482ha이므로 간척지 포기로 인한 경제적 손실은 2012년 기준 연간 2,290억 996만 8천원에 해당한다. 간척지는 수질대책이 완료되는 2021년 이후부터 활용이 가능하므로 간척지 포기 손실은 2022년부터 발생하는 것으로 간주하였다.

(2) 해수유통 사업의 편익

해수유통을 하게 되면 원래 의도했던 간척지 개발을 포기하게 되고 대신에 간척지에 해당하는 토지를 여러 용도로 활용가능하게 된다. 단 간척지에 해당하는 토지면적을 활용하는 계획이 사전에 확정되어 있지 않는 관계로 본 연구에서는 간척지가 포기될 경우 해당 면적이 갯벌로 전환되는 것으로 가정하였다.

간척지에 해당하는 토지의 갯벌 활용은 갯벌이 지니는 여러 가지 수반 가치를 지니는데 이들을 일괄하여 갯벌 가치로 통칭하기로 하였다. 갯벌의 수반 가치에는 기존 어업이 더욱 활성화됨에 따른 편익, 갯벌을 직접 이용하는 데서 오는 수산업 이익, 갯벌이 조성됨에 따른 홍수조절, 수질정화, 연안 해양 생태계의 건강성 증진, 그 밖의 오락적 낚시 및 관광 체험, 심미적 가치 등이 갯벌의 가치로 거론된다.

갯벌의 가치에 대한 추정은 국내 및 미국 등 외국에서 여러 차례 시도되었는데 연구자의 취향에 따라 다양한 방법론이 적용되었고, 그 결과도 다양하여 일률적인 적용이 어려운 실정이다. 본 연구에서는 갯벌의 가치 추정 관련 미국의 사례들을 정리한 한국해양연구소의 연구결과⁵⁾를 적용하도록 하였다.

① 화성호 유역 갯벌 조성에 따른 가치

미국의 경우 지역에 따라 생물상의 다양함 때문에 단위면적당 갯벌의 가치가 상당히 상이하게 나타난다. 미국 갯벌의 해역별 추정가치는 <표 5-23>과 같다. 이 가치는 우리나라와 비교할 때, 상당히 낮은 수준이다. 우리나라의 갯벌의 가치는 미국 보다 3배에서 7배까지 높음(환경부, 1996). 그 이유는 우리나라가 수산물 생산에서 해수면을 집약적으로 이용하고 있으며 갯벌의 개발로 인해 갯벌의 한계수익이 미국보다 상대적으로 높기 때문이다. 그런데 화성호 유역의 갯벌 이용 정도는 우리나라 다른 해역의 갯벌 이용에 비해 상대적으로 크다고 보기 어렵다.

화성호 갯벌 가치 추정에 이들의 평균값(에이커당 \$21,746)을 기본으로 하여 보수적 접근법에 의해 이 기본 값의 2배를 적용하였다. 화성호에 적용될 갯벌의 연간 가치는 1986년 기준

5) 환경부(1996), 갯벌보전과 이용의 경제성 평가, 한국해양연구소.

에이커당 \$43,492이다. 이는 단위를 에이커에서 ha로 전환할 경우(1acre=약0.4ha) 1986년 기준 ha당 \$17,397이다. 이를 물가상승률만큼 보정할 경우 화성호에 적용될 갯벌의 가치는 2012년 기준 ha당 \$52,606이다. 이를 원화 가치로 전환하면(\$1=1,150원 적용) ha당 연 60,496,900원에 해당한다. 갯벌이 조성될 수 있는 간척지 면적이 4,482ha이므로 갯벌의 가치는 연 271,147백만원이다.

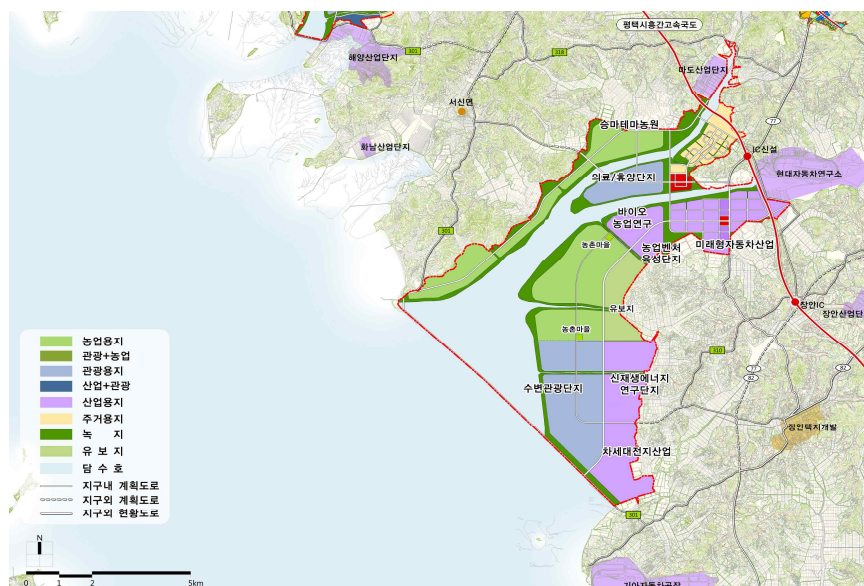
〈표 5-31〉 갯벌의 가치 추정(미국 사례)

지역	갯벌의 경제적 가치(에이커당 연간 가치: \$)
North Atlantic	28,454
Mid Atlantic	15,059
South Atlantic	12,826
Strait of Florida	12,486
Eastern Gulf of Mexico	12,110
Central Gulf	13,847
Western Gulf	14,270
Southern California	24,610
Central California	20,898
Northern California	58,289
Washington and Oregon	26,381
평균	21,746

자료: USDOI, 1986, 환경부(1986) 재인용

② 갯벌이외의 개발계획

화성시에서 해수유통시 간척지 활용에 대한 구체적인 계획은 수립하고 있지 않아서 경제성 분석을 할 수 있는 수준의 자료가 없는 상태이다. 참고로 경기도에서 추진했던 서해안권 개발계획에서 제시했던 내용 중 화성호와 관련된 사업은 다음과 같다.



〈그림 5-15〉 화성호 구역 내 개발계획

세부내용은 승마테마공원, 의료/휴양단지, 수변관광단지, 신재생에너지 연구단지, 차세대 전지산업, 농업벤처 육성단지, 바이오 농업연구 단지 등이 포함되어 있다. 이러한 계획을 기본 전제로 하여 경제성 분석을 시도해 볼 수 있다. 다만, 문제는 이를 수행하려면 해당 계획에 따르는 건설 및 유지관리비, 투자계획, 수익 등 구체적인 계획 내용이 확보되어야 하는데 현재 관련 자료가 부재한 상태이다. 또한 상기 개발계획 추진시 해수유통으로 화성호 수질에 미치는 영향을 분석하여 추가적인 수질개선대책과 소요예산을 재추정해야 하는데 현 단계에서는 이의 수행은 어려운 실정이다. 따라서 이 부분들을 고려한 경제성 분석은 불가능한 상태이다. 추후 해당 계획의 사업에 따르는 세부사항들이 구체적으로 확정되고 관련 자료가 확보될 경우 이를 기반으로 한 비용편익분석을 시도하는 것이 바람직하여, 본 연구에서는 이를 미정상태로 남겨 두고 앞에서 다룬 간척지 토지가 갯벌로 활용되는 경우에 한하여 분석을 한다.

경제성 비교 우위를 갖는 토지이용계획으로의 변경을 위해서는 우선 사업에 대한 예비타당성 조사가 이루어져야 한다. 예비타당성 조사는 총 사업비가 500억원 이상이면서 국가의 재정지원 규모가 300억원 이상인 건설사업, 정보화사업, 국가연구개발사업과 중기재정지출이 500억원 이상인 사회복지, 보건, 교육, 노동, 문화 및 관광, 환경보호, 농림해양수산, 산업·중소기업 분야의 사업 등 국가직접시행사업, 국가대행사업, 지방자치단체 보조사업, 민간투자사업 등 정부 재정지원이 포함하는 모든 사업을 대상으로 한다. 하지만 「국가재정법 시행령 제13조 제2항」에 해당하는 사업의 경우에는 예비타당성 조사를 면제하고 있다.

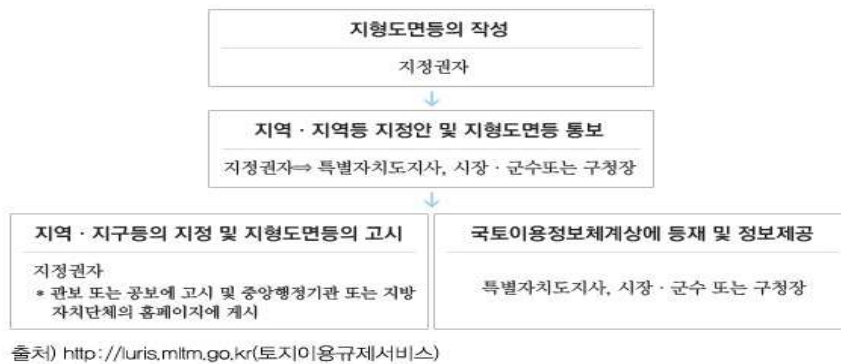
예비타당성조사 승인시 「토지이용규제 기본법」에 의해 지역·지구 등의 지정 및 변경시 아래와 같은 행정절차를 따르게 된다.



<그림 5-16> 지역·지구 등의 지정 및 변경절차(토지이용규제기본법 제8조)



〈그림 5-17〉 주민의견청취 세부절차



〈그림 5-18〉 지형도면 등 고시 세부절차

4) 담수화 사업과 해수유통 사업의 비용 및 편익 흐름

비용과 편익의 흐름은 2012년부터 2047년까지 나타나며 2012년 기준 불변가격으로 표시된다. 빈칸으로 표시되는 곳은 0의 값을 의미한다. 할인율로 할인한 값을 표기하는데 할인율은 3%, 5%, 7%로 구분한다. 이는 민감도 분석을 위한 할인율 변화를 적용하는 차원에서 3가지 할인율로 구분하는 것이다.

(1) 담수화 사업의 비용 및 편익 흐름

① 비용흐름

항목	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
수질보전보완대책 사업비	2,037	2,903	2,903	2,903	2,037	4,879	4,879	4,879	4,879	4,879
수질보전보완대책 유지관리비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
추가수질보전대책 사업비	-	-	-	-	-	2,843	2,843	2,843	2,843	2,843
추가수질보전대책 유지관리비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
에코팜랜드 사업비	-	-	11,631	65,747	99,505	377,287	-	-	-	-
에코팜랜드 유지관리비	-	-	-	-	-	-	6,286	6,286	6,286	6,286
합계	4,049	4,916	16,548	70,665	103,558	387,026	16,026	16,027	16,028	16,029
r=0.03	6,086	4,773	15,598	64,668	92,010	333,852	13,422	13,031	12,653	12,285
r=0.05	10,135	4,682	15,010	61,043	85,197	303,245	11,959	11,390	10,848	10,332
r=0.07	20,270	4,594	14,454	57,684	79,004	275,944	10,679	9,981	9,328	8,719

항목	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
수질보전보완대책 사업비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
수질보전보완대책 유지관리비	963	963	963	963	963	963	963	963	963	963
추가수질보전대책 사업비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
추가수질보전대책 유지관리비	332	332	332	332	332	332	332	332	332	332
에코팜랜드 사업비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
에코팜랜드 유지관리비	6,286	6,286	6,286	6,286	6,286	6,286	6,286	6,286	6,286	6,286
합계	9,603	9,604	9,605	9,606	9,607	9,608	9,609	9,610	9,611	9,612
r=0.03	7,146	6,938	6,737	6,541	6,351	6,167	5,988	5,814	5,645	5,482
r=0.05	5,895	5,615	5,348	5,094	4,852	4,622	4,402	4,193	3,994	3,804
r=0.07	4,882	4,563	4,265	3,986	3,726	3,482	3,255	3,042	2,844	2,658

항목	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041
수질보전보완대책 사업비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
수질보전보완대책 유지관리비	963	963	963	963	963	963	963	963	963	963
추가수질보전대책 사업비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
추가수질보전대책 유지관리비	332	332	332	332	332	332	332	332	332	332
에코팜랜드 사업비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
에코팜랜드 유지관리비	6,286	6,286	6,286	6,286	6,286	6,286	6,286	6,286	6,286	6,286
합계	9,613	9,614	9,615	9,616	9,617	9,618	9,619	9,620	9,621	9,622
r=0.03	5,322	5,168	5,018	4,872	4,731	4,594	4,460	4,331	4,205	4,083
r=0.05	3,623	3,451	3,287	3,131	2,982	2,840	2,705	2,577	2,454	2,338
r=0.07	2,484	2,322	2,170	2,028	1,896	1,772	1,656	1,548	1,447	1,352

항목	2042	2043	2044	2045	2046	2047	합계
수질보전보완대책 사업비	-	-	-	-	-	-	-
수질보전보완대책 유지관리비	963	963	963	963	963	963	-
추가수질보전대책 사업비	-	-	-	-	-	-	-
추가수질보전대책 유지관리비	332	332	332	332	332	332	-
에코팜랜드 사업비	-	-	-	-	-	-	-
에코팜랜드 유지관리비	6,286	6,286	6,286	6,286	6,286	6,286	-
합계	9,623	9,624	9,625	9,626	9,627	9,628	-
r=0.03	3,965	3,849	3,738	3,629	3,524	3,422	700,098
r=0.05	2,227	2,121	2,020	1,924	1,833	1,745	612,918
r=0.07	1,264	1,182	1,104	1,032	965	902	552,484

② 편익흐름

항목	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
수질개선효과	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
에코팜랜드 수익	-	-	-	-	-	-	76,151	76,151	76,151	76,151
합계	-	-	-	-	-	-	76,151	76,151	76,151	76,151
r=0.03	-	-	-	-	-	-	63,775	61,918	60,114	58,363
r=0.05	-	-	-	-	-	-	56,825	54,119	51,542	49,088
r=0.07	-	-	-	-	-	-	50,743	47,423	44,321	41,421

항목	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
수질개선효과	2,991	2,991	2,991	2,991	2,991	2,991	2,991	2,991	2,991	2,991
에코팜랜드 수익	76,151	76,151	76,151	76,151	76,151	76,151	76,151	76,151	76,151	76,151
합계	79,142	79,142	79,142	79,142	79,142	79,142	79,142	79,142	79,142	79,142
r=0.03	58,889	57,174	55,509	53,892	52,322	50,798	49,319	47,882	46,488	45,134
r=0.05	48,586	46,273	44,069	41,971	39,972	38,069	36,256	34,529	32,885	31,319
r=0.07	40,232	37,600	35,140	32,841	30,693	28,685	26,808	25,054	23,415	21,883

항목	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041
수질개선효과	2,991	2,991	2,991	2,991	2,991	2,991	2,991	2,991	2,991	2,991
에코팜랜드 수익	76,151	76,151	76,151	76,151	76,151	76,151	76,151	76,151	76,151	76,151
합계	79,142	79,142	79,142	79,142	79,142	79,142	79,142	79,142	79,142	79,142
r=0.03	43,819	42,543	41,304	40,101	38,933	37,799	36,698	35,629	34,591	33,584
r=0.05	29,828	28,407	27,055	25,766	24,539	23,371	22,258	21,198	20,189	19,227
r=0.07	20,452	19,114	17,863	16,695	15,603	14,582	13,628	12,736	11,903	11,124

항목	2042	2043	2044	2045	2046	2047	합계
수질개선효과	2,991	2,991	2,991	2,991	2,991	2,991	-
에코팜랜드 수익	76,151	76,151	76,151	76,151	76,151	76,151	-
합계	79,142	79,142	79,142	79,142	79,142	79,142	-
r=0.03	32,605	31,656	30,734	29,839	28,970	28,126	1,328,504
r=0.05	18,312	17,440	16,609	15,818	15,065	14,348	944,933
r=0.07	10,397	9,717	9,081	8,487	7,932	7,413	692,983

(2) 해수유통 사업의 비용 및 편익흐름

① 비용흐름

항목	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
수질보전대책사업비	-	-	-	-	-	1,270	1,270	1,270	1,270	1,270
수질보전대책유지관리비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
간척지포기손실	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
합계	-	-	-	-	-	1,270	1,270	1,270	1,270	1,270
r=0.03	-	-	-	-	-	1,096	1,064	1,033	1,003	973
r=0.05	-	-	-	-	-	995	948	903	860	819
r=0.07	-	-	-	-	-	905	846	791	739	691

항목	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
수질보전대책사업비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
수질보전대책유지관리비	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
간척지포기손실	229,010	229,010	229,010	229,010	229,010	229,010	229,010	229,010	229,010	229,010
합계	229,073	229,073	229,073	229,073	229,073	229,073	229,073	229,073	229,073	229,073
r=0.03	170,452	165,487	160,667	155,988	151,444	147,033	142,751	138,593	134,556	130,637
r=0.05	140,631	133,934	127,556	121,482	115,697	110,188	104,941	99,944	95,185	90,652
r=0.07	116,449	108,831	101,711	95,057	88,838	83,027	77,595	72,519	67,774	63,341

항목	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041
수질보전대책사업비	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
수질보전대책유지관리비	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
간척지포기손실	229,010	229,010	229,010	229,010	229,010	229,010	229,010	229,010	229,010	229,010
합계	229,073	229,073	229,073	229,073	229,073	229,073	229,073	229,073	229,073	229,073
r=0.03	126,832	123,138	119,551	116,069	112,689	109,407	106,220	103,126	100,122	97,206
r=0.05	86,335	82,224	78,309	74,580	71,028	67,646	64,425	61,357	58,435	55,652
r=0.07	59,197	55,324	51,705	48,322	45,161	42,207	39,445	36,865	34,453	32,199

항목	2042	2043	2044	2045	2046	2047	합계
수질보전대책사업비	-	-	-	-	-	-	-
수질보전대책유지관리비	63	63	63	63	63	63	-
간척지포기손실	229,010	229,010	229,010	229,010	229,010	229,010	-
합계	229,073	229,073	229,073	229,073	229,073	229,073	-
r=0.03	94,375	91,626	88,958	86,367	83,851	81,409	3,143,722
r=0.05	53,002	50,478	48,075	45,785	43,605	41,529	2,127,199
r=0.07	30,093	28,124	26,284	24,565	22,958	21,456	1,477,471

② 편익흐름

항목	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
갯벌 조성가치	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
r=0.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
r=0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
r=0.07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

항목	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
갯벌 조성가치	271,147	271,147	271,147	271,147	271,147	271,147	271,147	271,147	271,147	271,147
r=0.03	201,759	195,882	190,177	184,638	179,260	174,039	168,970	164,048	159,270	154,631
r=0.05	166,461	158,534	150,985	143,795	136,948	130,426	124,216	118,301	112,667	107,302
r=0.07	137,837	128,820	120,393	112,516	105,155	98,276	91,847	85,838	80,223	74,974

항목	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041
갯벌조성가치	271,147	271,147	271,147	271,147	271,147	271,147	271,147	271,147	271,147	271,147
r=0.03	150,128	145,755	141,510	137,388	133,386	129,501	125,729	122,067	118,512	115,060
r=0.05	102,192	97,326	92,692	88,278	84,074	80,070	76,258	72,626	69,168	65,874
r=0.07	70,070	65,486	61,201	57,198	53,456	49,959	46,690	43,636	40,781	38,113

항목	2042	2043	2044	2045	2046	2047	합계
갯벌조성가치	271,147	271,147	271,147	271,147	271,147	271,147	-
r=0.03	111,709	108,455	105,296	102,230	99,252	96,361	3,715,015
r=0.05	62,737	59,750	56,905	54,195	51,614	49,156	2,512,549
r=0.07	35,620	33,290	31,112	29,076	27,174	25,396	1,744,137

5) 두 사업의 비교 분석

(1) 담수화 사업의 비용편익 분석

담수화 사업은 순현재가치와 B/C ratio 모두 다 사업의 경제적 타당성을 보인다. 어느 할인율에서도 일관성을 보여 할인율에 민감하지 않은 결과를 나타낸다.

〈표 5-32〉 담수화 사업의 NVP 및 B/C 비

할인율(r)	비용(C) (백만원)	편익(B) (백만원)	순현재가치(NPV) (백만원)	B/C ratio
0.03	700,098	1,328,504	628,406	1.90
0.05	612,918	944,933	332,015	1.54
0.07	552,484	692,983	140,499	1.25

(2) 해수유통 사업의 비용편익 분석

해수유통 사업도 담수화 사업과 마찬가지로 순현재가치와 B/C ratio 모두 다 사업의 경제적 타당성을 보인다. 어느 할인율에서도 일관성을 보여 할인율에 민감하지 않은 결과를 나타낸다.

〈표 5-33〉 해수유통 사업의 NVP 및 B/C 비

할인율(r)	비용(C) (백만원)	편익(B) (백만원)	순현재가치(NPV) (백만원)	B/C ratio
0.03	3,143,722	3,715,015	571,293	1.18
0.05	2,127,199	2,512,549	385,350	1.18
0.07	1,477,471	1,744,137	266,666	1.18

(3) 두 사업의 비용편익 분석 결과 비교

담수화 사업과 해수유통 사업 모두 다 경제적 타당함을 보이는데 반해 두 사업을 비교하였을 시, 어느 기법을 적용하느냐에 따라 경제적 타당성의 정도에서 차이가 난다. B/C ratio의 경우 담수화 사업이 모든 할인율에서 해수유통 사업 보다 우월하다. 반면, 순현재가치법을 적용할 경우, 할인율(0.05와 0.07)에서 해수유통 사업이 담수화 사업보다 우월하다. 하지만 할인율(0.03)에서는 담수화 사업이 해수유통 사업이 보다 오히려 더 우월하다.

따라서 위 결과만을 놓고 볼 때 쉽게 어느 사업이 경제적으로 더 우월하다고 단정 짓기는 어렵다. 다만, 위 결과는 순현재가치법을 적용할 경우 기준 할인율을 0.05이라 할 때 할인율이 0.03과 0.07으로 변함에 따라 그 결과가 일관성을 보이지 못하고 민감하다는 것을 의미한다.

따라서 자연스럽게 순현재가치법을 적용한 결과는 신뢰하기 어려우므로 B/C ratio법을 적용한 결과에 의존해야 함을 말한다.

순현재가치법이 아닌 B/C ratio법을 적용한 결과인 담수화 사업이 경제적으로 더 우월하다는 결론이 신뢰할 수 있다. 하지만 해수유통 사업의 경우 간척지에 해당하는 토지면적을 갯벌로만 활용한다는 가정 하에서의 결과이므로 이 가정이 변할 시 그 결과도 달라질 수 있는 여지가 있다. 뿐만 아니라 갯벌의 가치를 추정함에 있어서조차 상당히 보수적인 접근을 하였는데 그 보수적인 접근 정도를 다소 이완했을 경우 담수화 사업 보다 해수유통 사업이 더 경제적으로 우월하다는 결과가 나올 가능성도 배제할 수는 없다.

제 6 장 **해수유통과 담수호에 따른**
환경영향분석

제6장 해수유통과 담수호에 따른 환경영향 분석

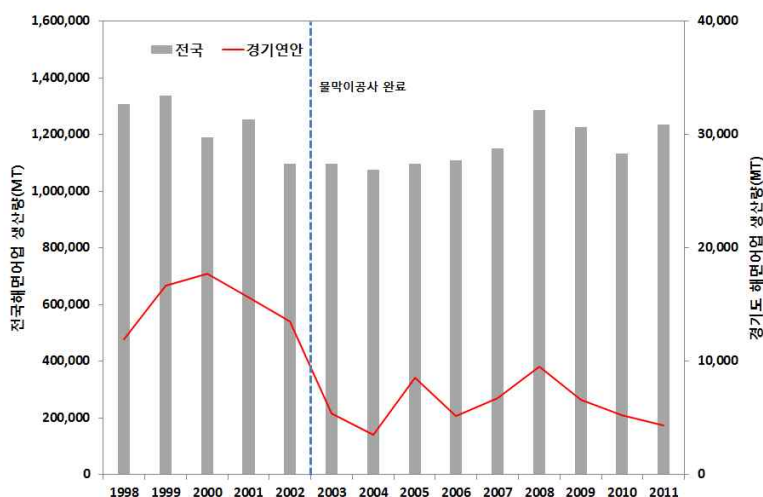
1. 담수호가 환경에 미치는 영향

1) 생태계

경기도 서해안은 조석간만의 차이가 심한 특성으로 인해 갯벌 조성이 양호한 지역이었으나 간척지 조성사업으로 인해 갯벌이 파괴되고 있다. 시화호, 화성호, 남양호, 평택호로 이어진 간척지 조성사업은 태고 때부터 정착되었던 해양 생태계를 변화시켰다.

화성호 물막이 공사는 이미 완공된 상태로 생태계 변화에 따른 부작용은 2002년 이후 이미 나타나고 있으며 새로운 생태계가 조성되고 있는 단계이다. 방조제 안쪽으로는 바다 생태계의 변화를 한눈에 인지할 수 있는 상태가 되었으며, 갯벌이 사라지고 있다. 갯벌과 바다에 기대어 생업을 이어가던 주민들은 새로이 변화된 생태계에 적응해서 삶을 영위해야 하는 어려움에 처하게 되었다.

새만금 호의 경우 사업이전의 하구는 어·폐류가 서식, 산란하기에 최적의 장소로 어류가 풍부해 어획활동을 하기에 좋은 환경을 지녔다. 하지만 새만금 사업 이후 교통 등 일상생활의 편리함을 얻었지만 어족의 변화로 양식장, 어장이 축소되는 등 생태적으로 많은 변화를 가져오게 되었다. 이는 해수를 막으면서 담수화하는 과정에서 해수유통이 원활하지 않아 조석간만의 차가 감소하여 갯벌이 사라지기 때문이다.



<그림 6-1> 연도별 해면어업 생산량 변화(전국-경기도)

결론적으로 생태계 측면에서만 보았을 때 담수화는 생태계에 부정적인 영향을 미친다고 할 수 있다. 가장 우려할 만한 생태계 훼손은 다음의 세가지이다.

첫째, 담수호 조성시 간척지 내의 식생이 키가 큰 갈대 등으로 변하기 때문에 간척지에 찾아오던 철새 이동에 변화가 있을 것이다.

둘째, 호내 생태가 해수유입 중단시 기존의 수생태는 파괴될 것이다.

셋째, 저장된 담수를 일시에 해양으로 배출시 인근 해양 생태계에 부정적 영향을 줄 것으로 예상된다.



<검은머리물떼새>

출처) 연합뉴스, 대안교육공동체 씨알살림배움터(<http://cafe.naver.com/dongtanspirit/103>)



<도요물떼새>

<그림 6-2> 화성호의 철새 모습

2) 수질 및 부영양화

물막이 공사후 해수유통이 원활하지 않아 일어나는 문제 중 가장 큰 것은 생성된 호수내의 수질오염이다. 대표적으로 시화호 사례가 있으며, 담수화 목적으로 생성된 시화호는 시화호 물막이 공사 후 COD가 급격하게 증가하였을 뿐 아니라 '96년에는 물고기가 집단 폐사하는 등 수질오염에 큰 문제를 가져 결국 해수호로 관리하도록 결정하여 담수화를 포기하여 해수유통을 통해 시화호의 수질은 점차 개선되고 있는 상황이다.

화성호도 수질오염 악화를 이유로 해수유통이 거론되고 있다. 화성호로 유입되는 수자원이 부족해 오염물이 발생해도 정화할 능력이 떨어진다는 것이다. 또한 화성호가 아닌 바다로 오·폐수로 직접 흘러 보낼 경우 갯벌의 오염도 일어나 해수유통의 문제가 제기되고 있다.

새만금 사업의 경우 2008년 하반기부터 2009년 상반기까지 새만금 호로 유입되는 만경강 수질항목 중 BOD가 4급수 수질기준인 8mg/L를 초과하는 경우도 많았다. 만경강의 수질이

개선된 때에는 용담댐의 방류량이 증가하는 시기이며, 부영양화를 일으키는 질소와 인의 농도도 감소된다. 환경기초시설이 추가로 건설되었으나 만경강의 수질은 악화되고 있는 실정이며 이는 바로 새만금 호의 수질로 연결된다. 만경강 수질을 개선하기 위해 용담댐의 방류량을 늘리 수도 없는 상황이다. 갈수기가 지속되고 있고, 용담댐 물을 식수용으로 사용할 경우 용담댐 방류량이 줄어들 수 밖에 없어 수질개선이 불확실한 상황에 있어 현재 해수유통을 해야 한다는 주장이 늘고 있다.

화성호의 수질개선대책을 수립하여 처리시설을 설치하더라도 담수호일 경우 해수유통에 비해 수질악화 및 조류발생 등의 문제가 발생할 가능성이 크다. 화성호의 수질개선대책은 농업용수 수질기준을 달성하도록 수립될 예정이지만 처리대책의 지연이나 예상하지 못한 변수 등의 원인이 발생할 수 있다.

농업용 호소 수질에 대한 등급 분류와 호소의 영향상태 분류기준이 <표 6-1>와 <표 6-2>에 제시되어 있다.

<표 6-1> 농업용 호소 중점관리시설 지정 기준

등급		pH	COD (mg/l)	SS (mg/l)	DO (mg/l)	T-P (mg/l)	T-N (mg/l)	Chl-a (mg/m ³)
매우 좋음	I a	6.5~8.5	2이하	1이하	7.5이상	0.01이하	0.2이하	5이하
좋음	I b	6.5~8.5	3이하	5이하	5.0이상	0.02이하	0.3이하	9이하
약간 좋음	II	6.5~8.5	4이하	5이하	5.0이상	0.03이하	0.4이하	14이하
보통	III	6.5~8.5	5이하	15이하	5.0이상	0.05이하	0.6이하	20이하
약간 나쁨	IV	6.0~8.5	8이하	15이하	2.0이상	0.10이하	1.0이하	35이하
나쁨	V	6.0~8.5	10이하	쓰레기 등이 떠있지 아니할 것	2.0이상	0.15이하	1.5이하	70이하
매우 나쁨	VI	-	10초과	-	2.0미만	0.15초과	1.5초과	70초과

〈표 6-2〉 호소의 영양상태 분류기준

구분 호소 상태	Vollenweider		OECD			EPA	
	총인 (mg/m ³)	총질소 (mg/m ³)	연평균 총인농도 (mg/m ³)	연평균 Chl-a농도 (mg/m ³)	최대 Chl-a농도 (mg/m ³)	Chl-a (mg/m ³)	투명도 (m)
극빈영양	<5	<200	≤4.0	≤1.0	≤2.5	-	-
빈중영양	5~10	200~400	≤10.0	1.0~2.5	≤8.0	<4	>3.7
중영양	10~30	300~650	10~35	2.5~8	8~25	4~10	2.0~3.7
중부영양	30~100	500~1500	35~100	8~25	25~75	>10	<2.0
부영양	>100	>1500	≥100	≥25	≥75	-	-

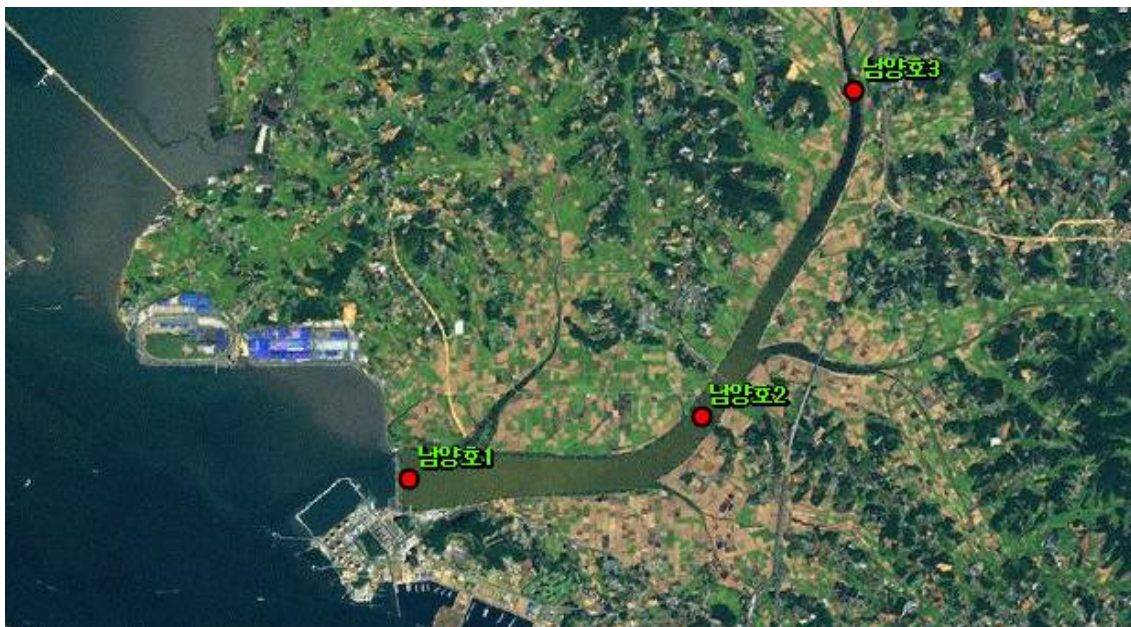
담수호의 영향을 분석하기 위해 화성호 인근에 위치한 담수호인 남양호와 평택호의 사례를 살펴보고자 한다. 남양호와 평택호는 대표적인 담수호로 주로 농업용수의 목적으로 활용되고 있다. 남양호는 1973년 화성시 장안면과 평택시 포승면 사이에 조성되었으며, 평택호 역시 1973년 평택시 현덕면과 아산시 인주면 해역의 아산만방조제를 축조하여 생성 되었다. 평택호의 경우 아산호라는 또 다른 명칭으로 부르기도 하며 관련 지자체 간의 명칭에 관한 논쟁은 지속되고 있는 상황이다.

(1) 남양호

남양호의 최근 3년간 수질추이 분석을 위해 수질측점지점 3곳의 COD, Chl-a, T-N, T-P 총 4개 항목의 연평균 농도를 분석하였다. 그 중 1, 2월의 수질 측정값이 누락되어 있는 경우가 많아 이를 제외한 3~12월의 자료를 이용하여 연평균 농도를 구하였다.

〈표 6-3〉 남양호 연평균 수질 현황

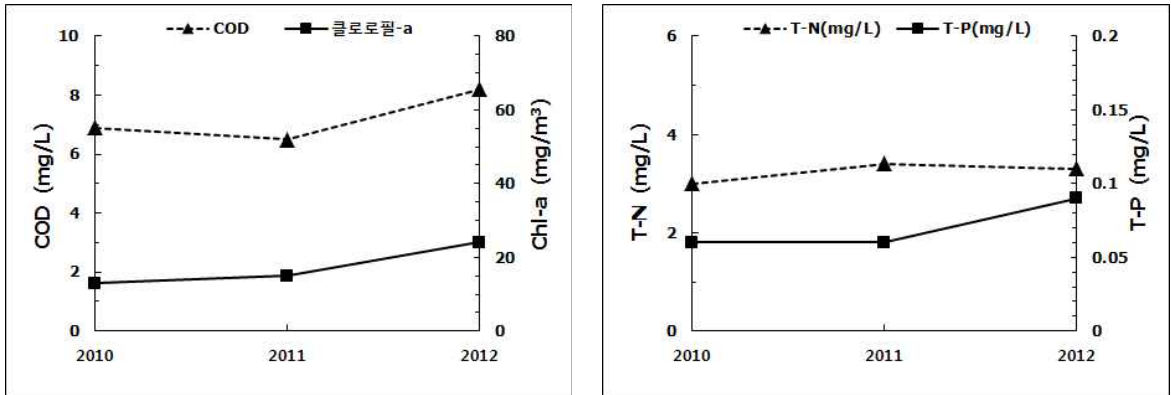
지점	년도	수질 항목				
		COD (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	T-N/T-P
남양호1	2010	6.9	13	3	0.06	50
	2011	6.5	15	3.4	0.06	57
	2012	8.2	24	3.3	0.09	37
남양호2	2010	7.8	21	3.4	0.08	43
	2011	7.7	24	3.6	0.08	45
	2012	9.2	38	3.1	0.11	28
남양호3	2010	7.8	15	2.8	0.07	40
	2011	7.2	11	5	0.14	36
	2012	9.1	20	4.3	0.18	24



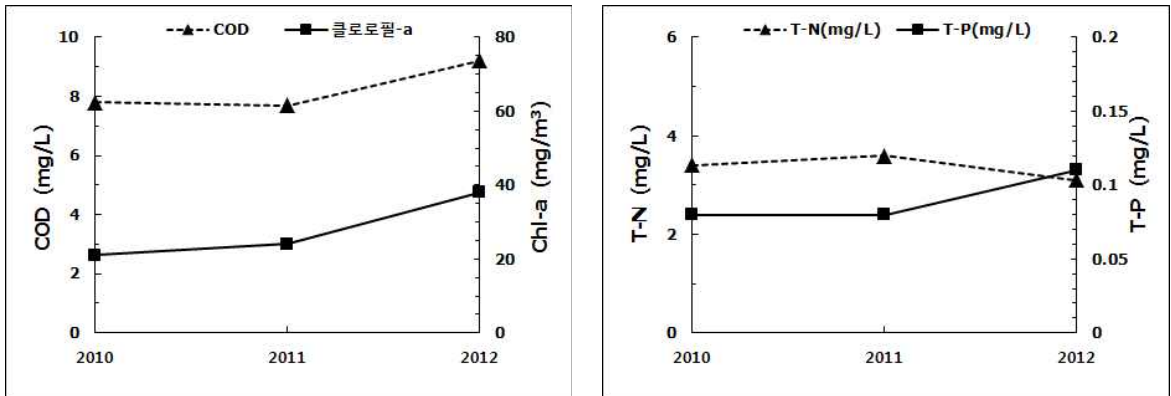
출처) 물환경정보시스템(<http://water.nier.go.kr/>)

〈그림 6-3〉 남양호 측정지점 위치도

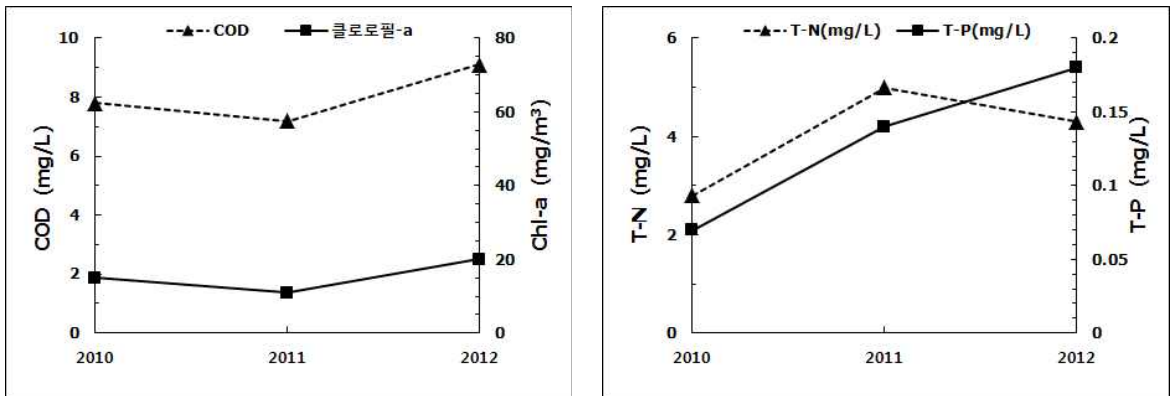
남양호1의 COD 6.9~8.2mg/L, Chl-a 13~23mg/m³으로 2012년에 가장 높은 농도를 나타내었다. T-N과 T-P의 농도는 각각 3~3.4mg/L, 0.06~0.09mg/L로 연도별 측정값의 변동이 크지 않음을 알 수 있었다. 남양호2, 3 지점은 COD 7.8~9.2mg/L, Chl-a 21~38mg/m³으로 2012년에 가장 높은 농도를 나타내었으며, 특히 3지점의 Chl-a 농도가 가장 높았다. T-N과 T-P는 각각 2.8~4.5mg/L, 0.08~0.18mg/L의 농도를 보였고 두 항목 모두 3지점에서 최고치를 나타내었다.



남양호1



남양호2



남양호3

<그림 6-4> 남양호 연평균 수질 변화

남양호의 2010~2012년도 3개 지점의 연평균 수질자료를 바탕으로 부영양화 정도를 평가하였다. 수질항목 중 호소의 부영양화에 큰 영향을 미치는 총인과 Chl-a의 농도를 OECD 분류기준에 적용하여 살펴보았다.

지점별 총인의 농도를 살펴보면 남양호1 지점은 60~90mg/m³으로 3년 동안 중부영양화 상태에 해당하였으며, 남양호2 지점은 중부영양화 상태이었으나 2012년도에 110 mg/m³으로 부영양화 상태를 나타내었다. 남양호3 지점의 경우 2010년을 제외한 총인의 농도가 각각

140mg/m³, 180mg/m³의 농도를 보임으로써 부영양화상태에 해당되었다.

Chl-a는 OECD 분류기준으로 8~25mg/m³이면 중부영양화, 그 이상이면 부영양화 상태에 해당한다. 남양호의 경우 남양호2 지점의 2012년도 Chl-a의 농도만이 부영양화에 해당하며 나머지는 모두 중부영양화 상태를 나타내었다.

남양호는 전반적으로 중부영양화 상태를 나타내고 있었으며 지점이나 시기에 따라 부영양화가 나타나 수질이 좋지 않음을 알 수 있다.

(2) 평택호

평택호 최근 3년간 수질추이 분석을 위해 수질측점지점 3곳의 COD, Chl-a, T-N, T-P 총 4개 항목의 연평균 농도를 분석하였다. 남양호와 마찬가지로 1, 2월의 수질 측정값을 제외한 후 연평균 농도를 구하였다.

〈표 6-4〉 평택호 연평균 수질 현황

지점	년도	수질 항목				
		COD (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	T-N/T-P
평택 호1	2010	8.1	25	5.1	0.13	39
	2011	7.9	35	5.0	0.11	45
	2012	7.8	25	4.1	0.09	46
평택 호2	2010	8.6	31	5.4	0.14	39
	2011	8.4	44	5.2	0.15	35
	2012	8.7	44	4.4	0.11	40
평택 호3	2010	10.2	60	5.8	0.17	34
	2011	9.7	48	5.5	0.14	39
	2012	9.3	75	4.2	0.11	38



출처) 물환경정보시스템(<http://water.nier.go.kr/>)

〈그림 6-5〉 평택호 수질측정 지점

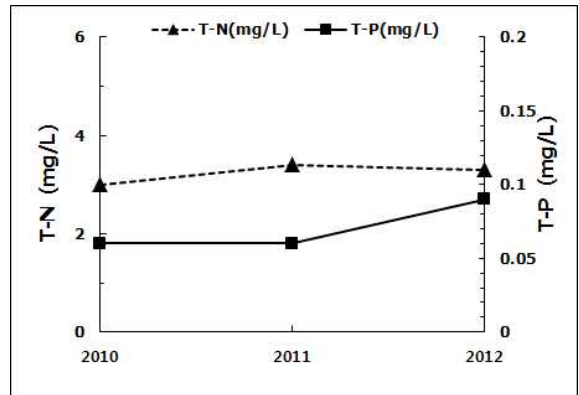
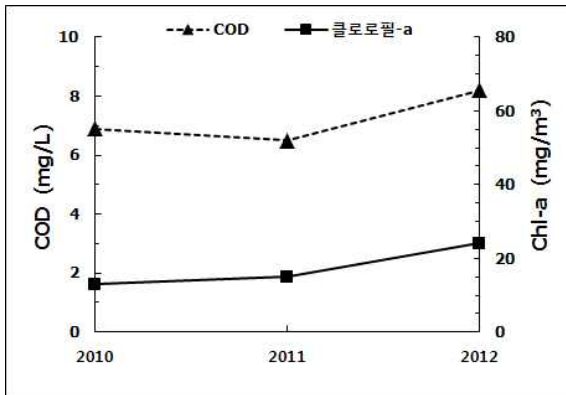
평택호1의 COD 8.1~7.8mg/L, Chl-a 25~35mg/m³으로 남양호와 달리 각각 2010, 2011년도에 가장 높은 농도를 나타내었다. T-N과 T-P의 농도는 각각 4.1~5.1mg/L, 0.09~0.13mg/L로 특별한 수질변동을 보이지 않았다. 평택호 2, 3 지점은 COD 7.8~9.2mg/L, Chl-a 21~38mg/m³으로 2012년에 가장 높은 농도를 나타내었으며, 특히 3지점의 Chl-a 농도가 가장 높았다. T-N과 T-P는 각각 2.8~4.5mg/L, 0.08~0.18mg/L의 농도를 보였고 두 항목 모두 3지점에서 최고치를 나타내었다.

평택호의 2010~2012년도 3개 지점의 연평균 수질자료를 바탕으로 부영양화 정도를 평가하였다. 수질항목 중 호소의 부영양화에 큰 영향을 미치는 총인과 Chl-a의 농도를 OECD 분류기준에 적용하여 살펴보았다.

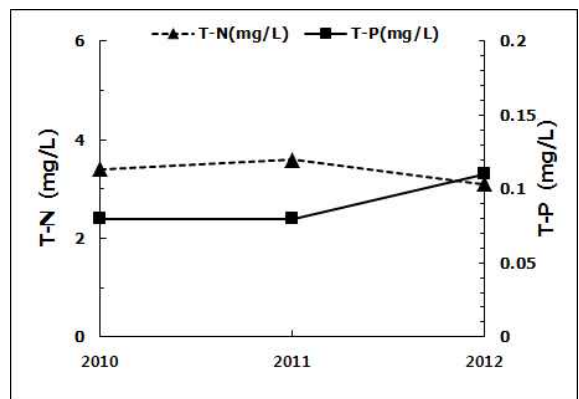
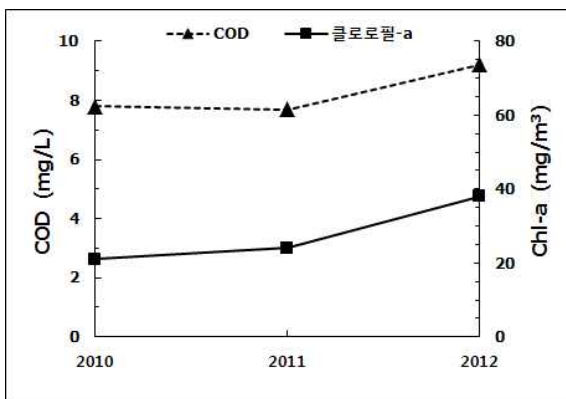
지점별 총인의 농도를 살펴보면 평택호1 지점은 90~130mg/m³으로 2012년도를 제외한 기간에서 모두 부영양화 상태를 나타내었다. 평택호2, 3 지점의 경우 110~170mg/m³의 농도를 나타냄에 따라 부영양화 상태가 지속되는 것으로 평가되었다.

평택호의 Chl-a 농도를 살펴보면 25~75mg/m³을 나타냄에 따라 3지점 모두 3년 동안 부영양화 상태에 해당하는 것으로 나타났다.

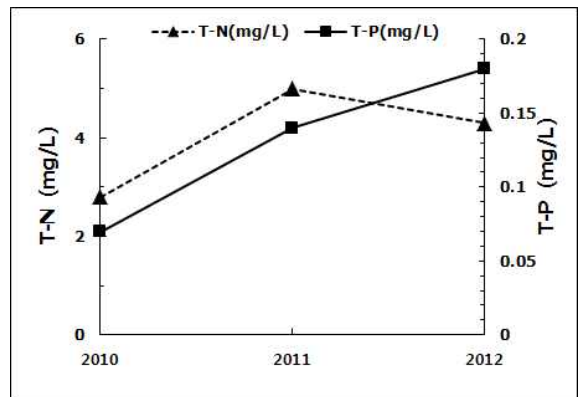
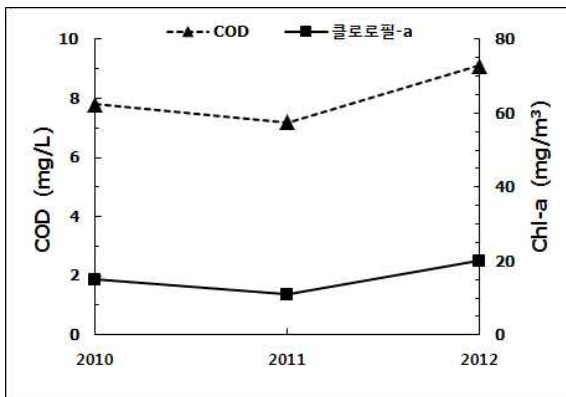
평택호는 OECD 기준에 의하면 대부분의 지점과 시기에 부영양화가 나타나 수질이 상당히 좋지 않음을 알 수 있다. 이는 평택호 유역의 개발이 가속화되었으나 이에 따른 수질개선대책이 부족하기 때문에 나타난 현상이다.



남양호1



남양호2



남양호3

<그림 6-6> 남양호 연평균 수질 변화

2. 화성호 담수화 조성에 대한 환경성 평가 방안

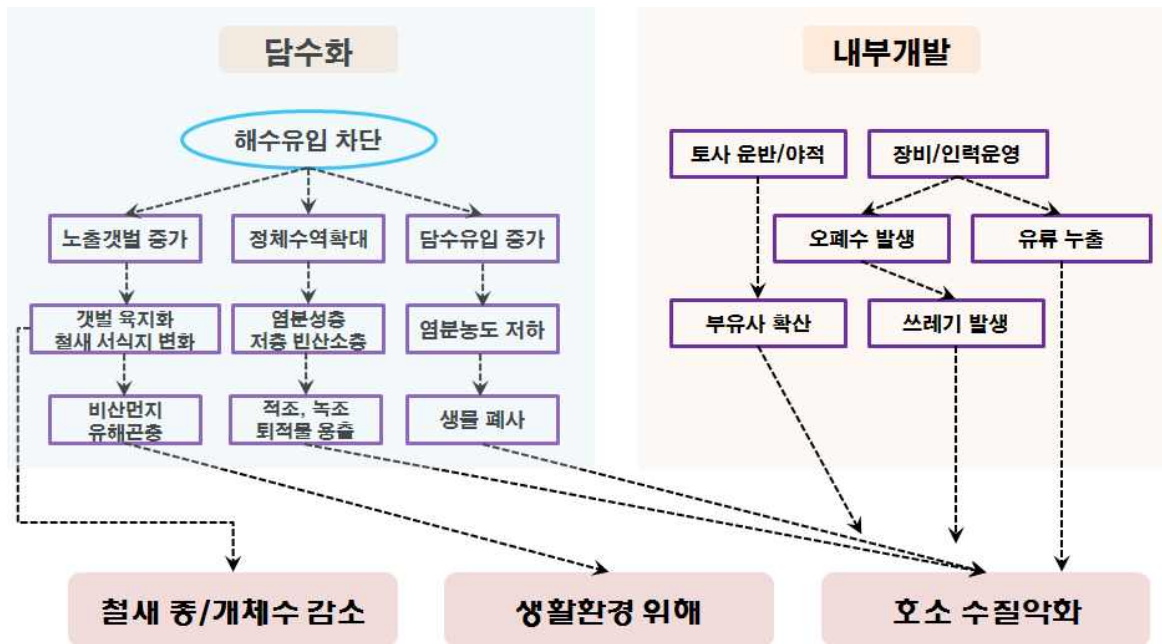
1) 기본방향

해수유통을 하고 있는 현 시점에서 담수화 조성에 따른 환경성 평가는 쉽지 않다. 환경성 평가는 해수유통이 중단된 시점에서 시작하는 것이 바람직하다. 따라서 본 연구에서는 환경성 평가 대상 및 방법을 제시하여 향후 현장 중심의 환경성 평가가 이루어 질 수 있기를 기대한다.

화성호 담수화에 따른 환경영향은 담수화로 인한 관리수위 감소, 내부개발에 의한 환경영향, 두가지로 구분될 수 있다.

담수화로 인한 환경에 미치는 영향은 해수유입이 차단되면서 정체수역의 확대, 담수유입의 증가 등으로 연결되고 이는 염분 농도 저하, 철새 서식지 변화 등을 거쳐 호소의 수질 및 생활환경의 악화를 가져오게 된다.

내부개발로 인한 환경 영향은 개발에 따르는 장비 및 인력 운용에 대한 오·폐수 발생, 쓰레기 발생 및 토사의 운반·야적으로 호소의 수질 악화를 초래하게 된다.



〈그림 6-7〉 담수화에 따른 환경영향

2) 간척지 개발에 따른 분야별 환경영향

화성호 방조제 건설로 생성된 간척지 개발에 의해 예상되는 환경영향은 수환경, 생태, 생활환경 등으로 나누어 볼 수 있다.

담수호로 인한 수환경 분야는 담수화 진행과 관리수위의 감소로 인한 해수유통량 감소와 하천수의 유입이 증가하고 정체수역이 증가하여 오·폐수와 비점오염물질의 증가로 수질악화가 예상되며 생태적으로 노출 갯벌 증가로 인한 육상화, 철새의 서식지 변화 등으로 해양 동·식물상의 폐사, 철새의 이동 및 특정 조류의 우점화가 나타날 우려가 있다.

생활환경에서는 노출 간척지에서 공사를 진행하면서 발생하는 비산먼지, 쓰레기 등으로 피해가 예상되며 유해곤충 등이 발생할 우려가 있으며, 작업용 선박 및 차량 등으로 유류사고 및 수질오염에 의한 적조 및 녹조의 발생을 예상할 수 있다.

〈표 6-5〉 간척지 개발에 따른 분야별 환경영향 예상

분야		환경영향 인자	예상 환경영향
수환경	담수호	-담수화 진행과 관리수위 감소 -해수유통량 감소, 하천수 증가 -정체수역 증가 -공사시의 부유사 및 오폐수 발생 -생물폐사 및 매립토 용출 등	-염분성층 강화와 정체수역 형성에 따른 수질악화 -오폐수, 비점오염물질 유입으로 인한 수질악화
	해양 동·식물상	-노출갯벌 증가 및 육상화 -토사 및 부유물질 등에 의한 광투과량 변화	-해양동식물상의 집단폐사 -광조사량 감소로 인한 해양생물 성장장애
생태	육상 동·식물상	-철새 등의 서식·섭식 환경변화	-철새의 이동 및 회피 -특정조류의 우점
	생활환경	-노출갯벌의 증가와 육지화 -공사차량 및 장비이동 -토사 야적	-비산먼지로 인한 생활환경 장애 -염분 함유한 비산먼지의 피해 증가
-쓰레기 유입		-강우시 간척지 및 상류유역의 쓰레기 유입	
-노출간척지의 쓰레기, 오폐수 유입 -준설토 야적지		-유해곤충 발생으로 생활환경 장애	
수질오염사고	-작업용 선박 및 차량 이동 -수질오염으로 인한 영양물질 유입	-선박 및 차량사고로 인한 유류오염 -적조 및 녹조 발생	

3) 화성호의 수질 및 부영양화 전망

화성호 수질개선대책을 수립하여 처리시설을 설치하더라도 남양호나 평택호 사례 분석에서 나타나듯이 수질악화나 부영양화는 피하기 어려울 것으로 예상된다.

화성호의 담수화는 농지조성을 통한 식량확보, 에코팜랜드 조성, 기반시설 확충 등을 통한 편익측면에서는 긍정적인 효과를 기대할 수 있으나 환경성측면에서는 부정적인 영향이 훨씬 크다.

제 7 장 결 론

제7장 결론

1. 화성호 해수유통 요구와 한계

화성호 사업은 당초 농업용지 조성 및 담수호로부터의 수자원 공급이라는 두 가지 목적을 달성하기 위해 추진되었으나 방조제 건설과정에서 해양 생태계 및 갯벌 훼손을 이유로 시민단체와 일부 주민을 중심으로 강한 반대 의견이 있었다. 간척지 조성을 통한 쌀 공급 확대 정책이 국내의 쌀 수요·공급 현황을 고려하면 현실적이지 못한 농업정책으로 판단된다.

방조제 체절이후 담수호로 방향을 결정하여 화성호 수질보전대책협의회가 중심이 되어 수질개선에 역점을 두고 사업을 추진해 왔다. 그 과정에서 간척지의 농경지 이외의 활용방안, 수질오염 우려, 해양생태계 훼손과 주민 피해, 유역내 대규모 개발사업의 추진 지연 등의 문제가 복합적으로 나타나 해수유통이 대안으로 제시되었다. 시화호의 해수유통, 새만금의 해수유통 필요성 제기 등 외적요인도 영향을 주었다.

하지만 당장 해수유통을 하게 되면 농어촌공사에서 추진하던 농경지 조성 및 내부개발 사업 추진 곤란, 간척지 농지불하 대기 농민의 민원발생, 인근 탄도호의 용수공급계획 차질 등의 문제가 복합적으로 발생하여 중장기적 관점에서 접근하는 것이 바람직하다.

2. 해수유통시 적정 수질개선 대책

해수유통을 하게 되면 배수갑문으로부터 해수의 유입량을 늘릴 수 있어서 수질은 개선된다. 현재 해수유통량의 5배 정도의 유입량을 기록했던 2003~2004년의 조건을 적용하여 수질예측을 할 경우 수질이 COD 4.9mg/ℓ, TP 0.05mg/ℓ 로 예측되었다.

해수유통을 해도 수질이 획기적으로 개선되지 않기 때문에 최소한 「화성호 수질보전 보완대책 수립 연구」(2012)에서 계획했던 수준의 수질개선대책은 추진하는 것이 바람직하다. 인근 시화호에서도 수질개선대책을 지속적으로 수립하고 수질오염총량관리제 시행을 계획하고 있는 사례에서 알 수 있듯이 화성호도 수질개선대책을 충실하게 수립해야 한다.

다만 2013년 한국환경정책평가연구원에서 수립 중인 주요 개발사업 방류수의 호내 방류에 따른 추가 수질개선대책은 해수유통에 의한 희석효과를 고려하여 제외해도 될 것으로 판단되며, 해수유통 조건에서는 화성호 유역의 대규모 개발사업에 대한 한강유역환경청과의 협의가 수월해 질 것으로 전망된다.

3. 담수호와 해수유통의 경제성 분석

경제성 분석결과 담수호와 해수유통 모두 순현재가치와 B/C ratio 에서 경제성이 있는 것으로 나타났다. 담수화 사업의 경우 할인율에 따라 B/C ratio가 1.25~1.9로 나타났으며, 해수유통의 경우 B/C ratio가 1.18로 나타났다.

B/C ratio로만 분석할 경우 담수호가 경제적으로 우월한 것으로 나타났으나 해수유통의 경우 간척지의 타 용도 전환에 따른 세부계획이 부재하여 단순히 갯벌로만 활용한다는 가정을 하였기 때문에 담수호가 더 경제적이라고 단언하기 어렵다. 또한 갯벌의 가치를 보수적으로 접근한 결과임을 감안해야 한다. 간척지를 고부가 가치의 토지이용으로 전환할 경우 해수유통의 경제성이 담수화보다 더 크게 나타날 것으로 판단된다.

담수호의 경우는 경제성 분석시 상대적으로 정확한 자료를 활용하였으나 해수유통은 불확실한 요소가 많이 포함되어 있고 장래 간척지 활용계획에 따라 경제성이 달라질 수 있다는 것이 본 연구용역의 한계이다. 따라서 화성시나 경기도에서 화성호 담수호를 최종결정하기 위한 중간 평가기간인 2016년 이전에 경제성 분석이 가능할 정도의 간척지 활용에 대한 구체적인 계획을 수립할 필요가 있다.

4. 담수호 추진시 환경에 미치는 영향

환경적인 측면에서만 볼 때 담수호 조성은 현재의 생태계를 훼손시키는 것이 자명하다. 담수호 조성시 간척지의 식생 변화로 철새 서식지가 파괴되고, 호내의 생태계가 담수호로 전환될 때 해수에 적응하고 있던 생물들은 사라지게 된다. 또한 담수호에서 저장된 물을 일시에 외해로 방류할 경우 인근 해역의 생태계 및 양식장 등에 피해를 줄 것으로 전망된다.

화성호 수질을 농업용수 수준으로 유지하기 위해 수질개선대책을 수립하여 추진할 예정인데 계획대로 추진되지 않을 경우 인근 남양호나 평택호처럼 농업용수 수준을 넘기거나 부영양화로 인한 수질악화가 우려된다.

담수화가 진행 중인 현 시점에서 환경에 미치는 부정적인 영향의 정도를 정확하게 판단하기 어렵다. 2016년 중간평가 이전에도 해수유통을 할 예정이므로 현재의 상황과 크게 달라지지 않을 것으로 판단되나, 개발추이나 처리시설 확충에 따른 화성호의 환경변화를 파악하려면 지속적인 모니터링과 주민들의 피해상황을 주시해야 한다.

5. 화성호의 적정 이용 및 관리방안

화성호 담수화 추진시 환경 측면에서는 부정적인 결과가 나타날 것으로 예상되는데 환경 악화의 정도가 수용할 수 있는 수준일지 여부와 환경 복원 대책으로 영향을 최소화시킬 수 있을지 여부를 현 시점에서 판단하기 어렵다.

경제성 분석 역시 해수유통시 간척지 용도를 갯벌이 아닌 관광, 산업, 연구단지 등 고부가 가치를 창출하는 용도로 전환할 경우 해수유통시의 경제성이 담수호일 경우보다 더 클 수 있을 것으로 판단되지만 경제성 분석 가능 수준의 구체적인 간척지 개발 계획이 없는 상태이다.

현 시점에서 해수유통을 주장하면 간척지 내부개발사업 추진이 어려워지고, 간척지 농지불하 대기 농민의 민원 발생 등의 문제가 발생할 수 있기 때문에 중간평가가 예정된 2016년 이후에 해수유통 여부를 정하는 것이 바람직하다.

따라서 화성시는 2016년 이전에 해수유통에 따른 간척지 활용에 대한 구체적인 개발계획을 수립한 이후 경제성을 분석하여 중간 평가시 화성호의 해수유통 여부 결정에 대비해야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 경기개발연구원(2009). 『화성호와 탄도호의 담수화 타당성 검토 연구』
- 경기도(2002). 『화성호 수질개선대책』
- 경기도(2011). 『에코팜랜드 조성을 위한 화옹지구(4공구) 농업생산기반 정비사업 기본계획』
- 국토연구원(2010). 『새만금 종합개발계획(MP) 수립을 위한 공청회』
- 농림수산식품부, 한국농어촌공사 등. 『화옹지구 농식품수출전문단지(첨단유리온실) 조성사업』
- 농업기반공사(2000). 『화옹지구 간척지 개발사업 담수호 수질개선대책 조사보고서』
- 농업기반공사(2005). 『새만금호 내부 수질개선대책 연구』
- 농업기반공사(2006). 『새만금호 내부 수질개선대책 연구(2차년도)』
- 이동주(2011). 『EFDC 활용 길잡이』
- 충남발전연구원(2009). 『바람직한 금강 하구역 개선을 위한 부분 해수유통 방안』
- 법제처. 『토지이용규제 기본법』
- 한강유역환경청(2011). 『화성호 수질보전대책 추진현황 보고』
- 한국농어촌공사(2011). 『화성호 수질현황 및 수질보전대책』
- 한국농촌공사(2008). 『화옹지구 간척지 개발사업 담수호 수질관리 조사보고서』
- 한국농촌공사. 『농업용수 수질개선 조사·설계 매뉴얼』
- 한국환경정책·평가연구원(2012). 『화성호 수질보전 보완대책 수립 연구』
- 한반도수산포럼(2012). 『새만금 해수유통과 이용방안』
- 현대경제연구원(2011). 『국내 쌀 수급의 문제점과 해결과제』

- 환경부(2010). 『새만금 환경 국제심포지엄』
- (주)경기화성바이오밸리(2012). 『경기화성바이오밸리 폐수종말처리시설 기본계획 보고서(안)』
- (주)경기화성바이오밸리(2011). 『경기화성바이오밸리 조성사업 환경영향평가서(요약문)』
- 공공투자관리센터. 『<http://pimac.kdi.re.kr>』
- 토지이용규제정보서비스. 『<http://luris.mltm.go.kr>』
- 화성시의원 이흥근 블로그. 『<http://blog.naver.com/PostList.nhn?blogId=ggl23697>』
- Bicknell, B.R., Imhoff, J.C., Kittle, Jr., J.L., Jobes, T.H., and Donigan, A.S. (2001), "Hydrological simulation program- FORTRAN(HSPF): User's manual for Version 12. U.S. Environmental Protection Agency", National Exposure Research Laboratory, Athenes, GA. pp. 1-845