

제 1 주제

시화호 수질개선대책과 추진현황

이 명 섭 / 한국수자원공사

차 례

1. 서론	11
2. 시화호 오염부하 및 수질관리	12
2.1 일반 현황	12
2.1.1 기상현황	12
2.1.2 유역현황	12
2.2 시화호 현황	13
2.3 시화호 수질현황	13
2.4 시화호 유입유량 및 주요오염 부하량	14
2.5 유역내 하수처리장 및 환경기초시설 현황	14
2.5.1 환경기초시설 현황	14
2.5.2 향후 추진계획	15
2.6 시화호 수질오염 원인	16
3. 수질개선 종합관리대책	16
3.1 단기대책	16
3.1.1 산화지	16
3.1.2 인공습지(수생식물 재배)	17
3.1.3 임시차집수로 설치	18
3.1.4 약품살포	19
3.1.5 수중폭기장치 설치	20
3.1.6 퇴적저니토 준설	21
3.1.7 배수감문 조작관리	22
3.2 중·장기대책	23
3.2.1 하수처리장 신·증설	23
3.2.2 기존 하수관로 보수	23
3.2.3 자연수로 설치(환배수로)	23
4. 수질개선 효과	24
4.1 시화호로 유입되는 오염부하량	24
4.2 시화호 예상수질	25
5. 결론	25

시화호 수질개선대책과 추진현황

이 명 섭

1. 서 론

시화지구 개발사업은 경기도 안산시, 시흥시, 화성군의 1도 2시 1군에 이르는 광활한 간석지를 개발하는 대규모 국토확장사업으로 반월만에 방조제 12.6km를 축조하여 시화1단계 공단 및 배후도시를 개발하여 수도권의 인구분산 및 공업용지의 확보에 기여하고 방조제 축조에 따른 사업효과로 수도권내 도시 및 농지조성등 대규모 국토확장과 해안선 단축(101km)에 따른 육운 개선 등에 기여할 것으로 기대된다.

안산과 시화지구 사업은 1977년에 국토의 균형적 확장사업의 일환으로 고용을 증대시키고 경기진작을 선도하면서 수도권내 인구 및 산업소산을 위해 국내 최초의 계획적인 대규모 도시개발과 공단을 조성하는 것이 대전제였다. 이에 따라 안산신도시는 1977년 3월 28일 최초로 반월 신공업도시 기본계획이 결정, 고시되어 오늘에 이르고 있으며, 인접한 시화지구사업은 10년 뒤인 1986년에 반월 특수지역 개발구역으로 확대지정 및 기본계획이 고시되어, 시화공단과 국내 최장의 방조제 축조사업이 시작되었으며 안산지역과 동일하게 1998년 완공을 목표로 현재 사업이 추진중이다.

1994. 1월 방조제 끝물막이공사가 완성됨에 따라 제방내측에는 간석지 약 3,300만평과 시화호 약 1,700만평이 생성되었다. 매일 2차례 조수의 이동으로 방조제 축조공사를 중단할 수 없는 여건에서 안산신도시 및 반월공단에 유입인구와 공장이 계획보다 많이 입주한 반면 이에 따른 환경기초시설의 설치가 지연되어 호수에는 무처리된 하·폐수가 계속 유입되고 있었다.

이로 인해 문제가 된 시화호 수질에 대하여는 정부와 협의하여 저회 수공에서는 그 문제점을 직시하고 유관기관과 전문가들을 초빙하여 10여 차례 대책을 논의한 끝에 수질문제 해결을 위한 단기대책 및 중장기대책을 마련하였다. 본고에서는 각 계의 전문가와 실무자들에 의해 마련된 시화호의 수질개선 대책과 현재까지 추진하고 있는 결과를 설명하고자 한다.

2. 시화호 오염부하 및 수질현황

2.1 일반 현황

2.1.1 기상현황

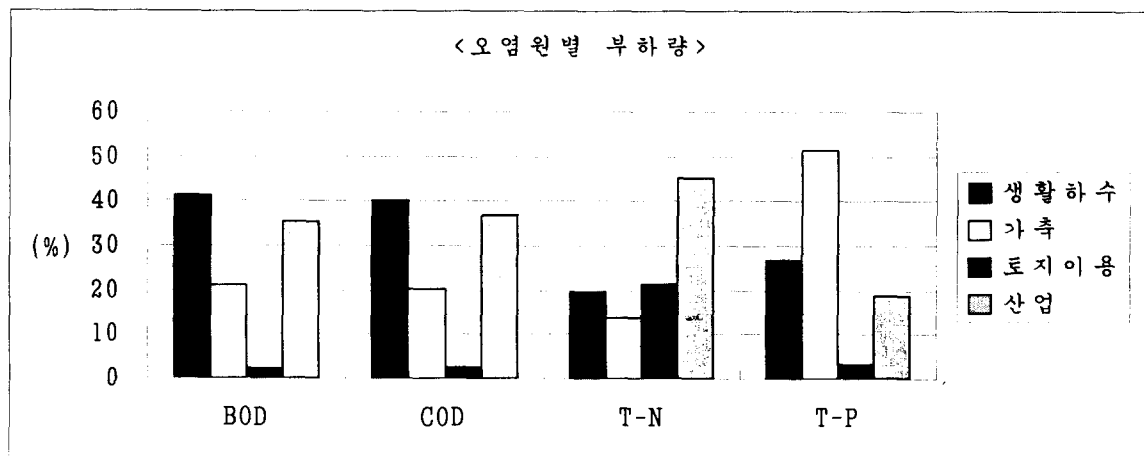
- 년평균 기온 : 11.9℃
- 년평균 강우량 : 1,252.3mm(우리나라 년평균 강우량 : 1,274mm)
- 년평균 강우일수 : 106일

2.1.2 유역현황

- 유역면적 : 476.5km²(육지면적 249km²)(논 21.8%, 밭 14.3%, 대지 3.7%, 임야 40.8%, 기타 19.4%)
- 주요유입하천 : 반월천, 동화천, 삼화천, 화정천, 안산천
- 인 구 : 595,000명 ('97년 8월 기준)
- 가 축 : 소 21,000두, 돼지 14,000두, 닭 387,000두
(법적 규제를 받지 않는 소규모 농가로 “오수·분뇨및축산폐수의 처리에 관한 법률에 규제되는 허가대상은 없고, 신고대상은 돼지 약30%, 소 약7%)
- 공 장 : 3,100개소 (2,968개소 입주)
- 오염부하량(발생부하량)

< 표1 오염부하량(발생부하량) >

내 용 오염원	BOD	COD	T-N	T-P	비 고
생활하수(%)	41.3	40.3	19.6	26.6	
가 축(%)	20.8	20.3	13.6	51.3	
토지이용(%)	2.3	2.4	21.5	3.3	
산 업(%)	35.6	37.0	45.3	18.8	



< 그림1 오염부하량(발생부하량) >

2.2 시화호 현황

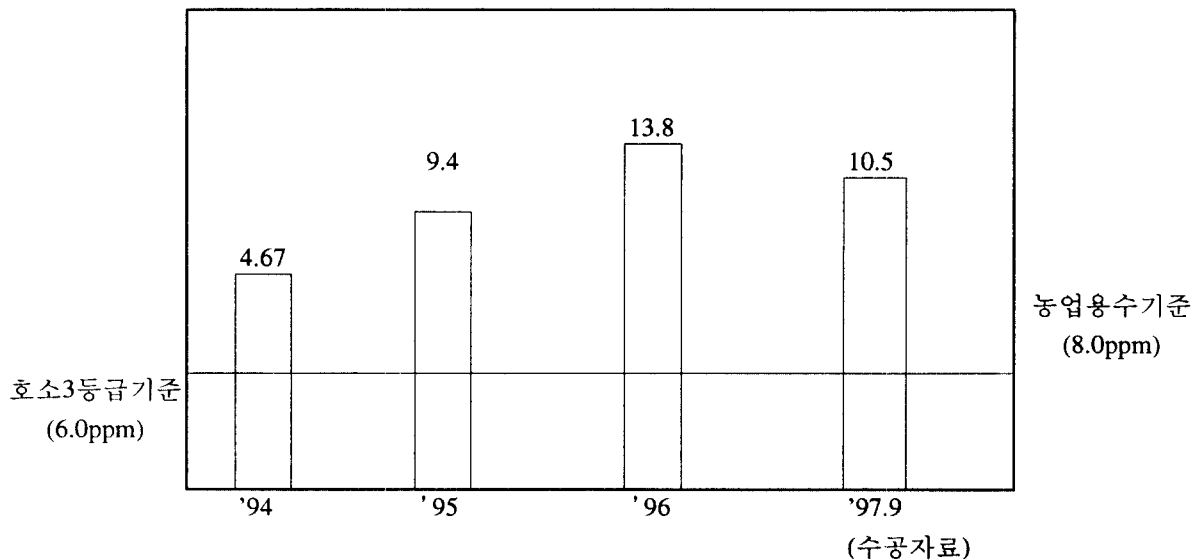
정부의 국토확장사업의 일환으로 생성된 시화호 현황은 다음과 같다.

- 호수 면적 : 56.5 km² (약 1,700만평)
 - 유역 면적 : 476.5 km²
 - 총 저수량 : 332백만m³
 - 유효저수량 : 181백만m³ (EL.-5m ~ EL.-1.0m)
 - 홍수조절량 : 62백만m³ (EL.-1.0m ~ EL.+0.1m)
 - 용수공급량 : 181백만m³ (농업용수)
 - 배수갑문 : 2개소 108m (배수능력 2,386m³/초, 100년 빈도)
- ※ 연간유입량 : 340백만m³

2.3 시화호 수질현황

시화호의 수질현황으로는 유역내 안산시를 중심으로한 도시인구의 급격한 증가와 반월공단, 시화공단의 입주업체 증가 및 농촌지역의 가축사육 등의 증가로 유역으로부터 유입된 오염물질이 호수내에 축적되어 수질이 악화, '97년 현재 농업용수의 허용기준을 초과하고 있으며 시화호의 수질현황은 다음과 같다.

< 표2 시화호 수질현황(COD) >



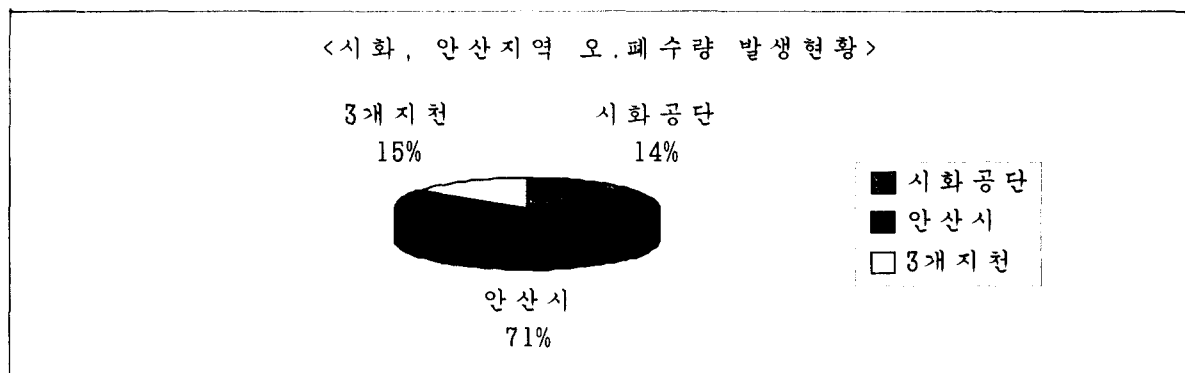
2.4 시화호 유입유량 및 주요오염 부하량

환경기초시설 설계 유입량 및 부하량, 유역내 행정계통 등을 이용하여 조사한 자료를 검토 산정한 시화, 안산지역의 오폐수 발생량은 약 490,000m³/일이다.

< 표3 시화·안산지역 오폐수 발생량 >

(단위: 천톤/일)

지역구분	발생지역	발생량	총발생량
시화공단	하수처리장 유입수	50	70
	간선수로	20	
안산시	신길천	27	348
	반월공단토구	73	
	안산하수	179	
	안산천	39	
	화정천	30	
3개지천	반월천	26	72
	동화천	41	
	삼화천	5	
합 계			490



2.5 유역내 하수처리장 및 환경기초시설 현황

2.5.1 환경기초시설 현황

시화호 수질개선대책에 의거 현재 시화 하수처리장 및 안산 하수처리장을 건설, 가동 중에 있으며 시화 및 안산 하수처리장의 시설개요는 다음과 같다.

< 표4 환경기초시설현황 >

구 분	시화하수처리장	안산하수처리장
시설용량 (m ³ /일)	176,000	179,000
처 리 방 법	활성슬러지법	활성슬러지법
처 리 효 율 (%)	생활 : 90%, 공장 : 90%	생활 : 90%, 공장 : 90%
유입수질(BOD,mg/ℓ)	생활 : 200, 공장 : 240	생활 : 194, 공장 : 201
방류수질(BOD,mg/ℓ)	생활 : 20, 공장 : 25	생활 : 19, 공장 : 20

주) 안산하수처리장은 총용량 385,000m³/일 중 '97. 3월 이전에는 1차처리 시설용량121,000m³/일 이었으나 '97.3월부터 179,000m³/일 (2차처리) 처리중임

2.5.2 향후 추진계획

시화 및 안산 하수처리장 시설을 확장하여 유역내 발생 하·폐수를 전량 처리 후 외해 로 방류할 계획으로 사업추진 중이며 향후 추진계획은 아래표와 같다.

< 표5 안산하수종말처리장(사업시행자 : 안산시) >

구 분	기 존	증 설 중	장 래	비 고
목표년도	1994	1999	2011	
시설용량 (m ³ /일)	121,000	385,000	534,000	179,000m ³ /일은 '97.3 완공
처리방법	1차처리	2차처리	2차처리	
건설시기	'81~'86	'93~'97	'98 ~ 2000	

< 표6 시화하수종말처리장(사업시행자 : 수자원공사) >

구 분	기 존	장 래	비 고
목표년도	1994	2001	
시설용량(m ³ /일)	176,000	250,000	
처리방법	2차처리	3차처리	
건설시기	'91~'95	'97~'99	

2.6 시화호 수질오염 원인

'97년 현재 시화호 유역내 총하수발생량 490천톤/일중 72%인 355천톤/일만 하수처리장으로 유입, 2차처리후 외해방류되고, 28%인 135천톤/일이 미처리 상태로 시화호로 유입되고, 시화 및 안산하수관거 오점등으로 인한 폐수가 50천m³/일이 호수로 유입되고 있다. 또한 반월·시화공단의 2,800여개 입주 업체중에 오·폐수 불법배출 행위가 상존하고 있으며, 담수와 해수가 성층화 되어 오염물질이 하부에 축적되므로써 오염현상이 야기되고 있다.

3. 수질개선 종합관리대책

3.1 단기대책

시화호 유입오염원을 근본적으로 차단할 수 있는 수질개선대책은 건설과 운영에 많은 시간과 예산이 소요되며 효과가 나타나기까지 장시간이 필요하므로 최단시일에 최소경비로 효과를 거둘 수 있는 수질개선 단기대책을 다음과 같이 계획하였다.

3.1.1 산화지

가. 시설의 개요

안산천 및 화정천 유역의 오·폐수는 기존 하천에 독을 쌓아서 신설 하천으로 유입시켜 산화지의 역할을 담당케하고 시화공단 배출수는 시화유수지를 활용하여 산화지로서 역할을 담당케하여 오·폐수를 침전, 산화 처리하도록 계획하였으며 시설의 개요는 다음과 같다.

< 표7 산화지 시설개요 >

구 분	안산천	시화유수지	3간선수로	화 정 천
설치면적	6,600평 (550m × 40m)	55,000평 (600m × 300m)	900평 (180m × 17m)	8,500평
체류시간	7hr	48hr	24hr	16hr
오·폐수량	61,670m ³ /일	35,000m ³ /일	5,000m ³ /일	42,000m ³ /일
표면폭기	6개소	25개소	5개소	5개소
부레옥잠	3,000평	2,100평	500평	6,000평

나. 추진현황 및 계획

- '96. 8~10까지 안산천, 시화유수지, 3간선수로 산화지 공사 완료 및 '97.6 화정천 산화지 공사 완료후 정상 운영중
- 학생 및 국민들의 환경교육 현장 학습장으로 활용중

다. 기대효과

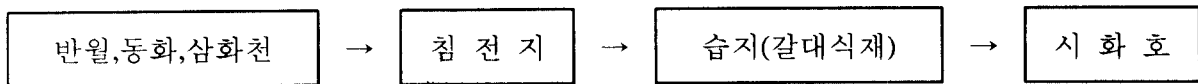
- COD는 18~23%, T-P(인)는 10~20% 개선효과를 나타냄

3.1.2 인공습지 (수생식물 재배)

가. 시설의 개요

반월천, 동화천 및 삼화천 유역의 수질 정화대책으로 대상 하천유역의 주요염원은 축산폐수가 주종을 이루고 있고 대부분 비점오염원으로 여기저기 산재되어 있기 때문에 오염물질의 차집이 현실적으로 불가능하다.

각 하천 유역에서 발생하는 축산폐수는 각 하천 합류부인 하류의 넓은 간석지를 이용하여 자연 정화공법을 이용한 인공습지 설치 및 갈대, 습지식물 등의 수생식물을 식재하여 수질을 정화함으로써 사업의 효과를 가져올 수 있도록 할 계획으로 시설의 개요는 다음의 표와 같다.



< 표8 인공습지 시설개요 >

구 분	계	반 월 천	동 화 천	삼 화 천	비 고
유입수량 (m ³ /일)	71,600	25,600	41,400	4,600	
시설규모 (m ²)	811,794	416,875	306,634	88,285	(245천평)

나. 추진현황 및 계획

- 기본 설계 : '96.10
- ※ 외국전문가 자문 : 미국 HARZA Eng.CO.(’96.9~10)
- 실시설계 : '97. 7
- 공사시행(예정) : '97. 9 ~ 2000
- 조성완료후에는 야생동물 서식지 확보등 자연생태공원을 조성하여 자연 학습장으로 활용하고, 국내 멸종위기의 자생수초 재배지 추가 조성

다. 기대효과

이 지역을 생태계 보전지역이나 자연 학습장으로 개발할 계획이며 상기 시설의 설치로 기대되는 수질개선 효과는 다음 표와 같다.

< 표9 인공습지 수질개선 효과 >

(단위:mg/ℓ)

구 분	반 월 천	동 화 천	삼 화 천	비 고
유입BOD	15	15	5	
유출BOD	4	5	3	
처리효율(%)	73	67	40	

3.1.3 임시차집수로 설치

가. 개요

안산신도시 건설 및 시화지구 개발에 따라 안산 및 시화하수처리장이 건설되어 가동중에 있다. 안산하수처리장에서 일최대 121,000m³/일의 하수를 '95. 7 ~ '97. 2월말까지 1차 처리하여 시화하수처리장에 유입, 2차처리 후 해양방류하였으나 안산시 하수처리장 2차 처리 공사(179,000m³/일)가 '97. 3월에 완공됨에 따라 시화 하수처리장에 여유용량이 발생(116,000m³/일)하였다. 이 여유용량을 최대한 활용하기 위하여 미처리 방류되는 반월공단 우수토구, 신길천 및 시화유수지의 유량을 차집하여 시화 하수처리장으로 유입시켜 2차 처리 후 해양방류시키는 계획이며 시설의 개요는 다음과 같다.

- 시설개요
 - 차집수로 : 11km(관수로 : 7.5km, 개수로 : 3.5km)
 - 펌프설치 : 8개소

나. 추진현황

- '96.10월 공사착공
- '97. 2월 : 안산하수처리장 생활계열 가동시('97. 3월)까지 차집수로공사 완료
- '97. 3월이후 : 시화하수처리장 이송처리

다. 기대효과

- 하·폐수처리율 : 하수 490,000m³중
176,000m³(36%) → 355,000m³(72%)로 증대
- 시화호 전체 하수발생량중 약 72%의 처리가 가능하여 단기대책중 효과가 가장 큰 것으로 판단됨

3.1.4 약품살포

시화호로 유입되는 오염원을 장·단기 대책을 통하여 차단하여도 호소내 플랑크톤의 영향으로 수질개선 효과가 미흡 하리라 예상됨에따라 수질개선대책과 병행하여 호소내 약품투입을 통한 조류(물이끼) 발생을 제거하므로서 수질개선이 예상된다.

가. 개요

- 호수내 과영양상태로 인한 조류(물이끼)발생을 제거하기 위하여 응집제를 투입 침전처리

나. 추진현황 및 계획

- 실내시험
 - 시험약품 : 액체황산알루미늄, 황토, 생석회
 - 시험방법 : 혼합투여시험
 - 시험기간 : '96. 7 ~ 8월

- 현장적용실험(1차)
 - 시험포제작 5m(L) × 5m(W) × 7m(H) × 6지
 - 실험기간 : '96. 9~10월
 - 실험결과 : 생석회와 황토 혼합투여로 COD 10%, Chl-a 50% 개선
- 동절기 2차 시험 실시('96.10~11월)
- '97년이후 계절별 조류(물이끼) 특성에 따라 조류발생시 약품을 수시투입 제거

다. 개선효과

- 현장실험

< 표10 약품살포개선효과 >

응집제 \ 수질항목	COD 개선(%)	염록소(a)개선(%)	총인개선(%)
생석회+황토	12	56	4

※ 약품투여는 생석회(Lime)와 황토의 혼합투여가 가장 효과 큼

3.1.5 수중폭기장치 설치

가. 개요

- 호수저층에 공기를 공급하여 상·하층간 강제순환으로 부영양화 방지(조류제거 및 심층수 수질개선)

< 표11 수중폭기장치 설치 >

구 분		설 치 내 역	비 고
설치수량		100기	방조제 배수갑문옆 (수심 12m)
영향 영역	수표면	580천㎡	호수면적이 1/97
	수체적	5,740㎡	총저수량의 1/58 유효저수량의 1/30

나. 추진현황

- '96. 8 ~ 9 : 10기 시험설치운영(배수갑문 주변)
- '96. 9 ~11 : 90기를 추가설치하여 현재 100기 가동중

다. 기대효과

- 2일후 성층파괴 : 수온 및 용존산소가 일정하게 분포
- 용존산소 : 표층은 포화농도 감소, 심층은 증가
- 폭기직후 악취(메탄 및 황화수소) → 2~5일후 악취 소멸
- 수질개선효과 : COD 약 15%감소
엽록소-a(조류) 10~20% 감소

3.1.6 퇴적 저니토 준설

시화 방조제 건설이후 연간 퇴사량이 32천m³(시화지구개발 외곽시설(방조제 및 부대시설) 설계보고서('86.11 ; 산업기지개발공사, 농업진흥공사))에 달하고 있으며, 또한 우기시 오염물 유출에 대한 별도 대책이 없어 이에따라 오염된 퇴적물의 준설로 시화호의 수환경을 개선토록 계획하였으며 계획의 개요는 다음과 같다.

가. 개요

- 시화호내 오염이 심한 퇴적저니토 준설로 수질환경 개선

나. 추진현황

- 시험준설 실시
 - 준설위치 : 반월공단 폐수 방류구 주위
 - 준설기간 : '96. 7.27 ~ 8. 5
 - 준설토 처리방식 : 약품침전처리
 - 준설물량 : 400m³
- 준설토 성분분석
 - 분석기관 : 고려대학교 환경기술정책연구소
 - 분석결과 : 성분분석결과 유해성이 낮은 것으로 판단되나 조사지역이 매우 협소하여 광범위한 추가조사 필요

다. 향후계획

- 시화호 저니토 분포, 심도, 성분 및 수질에 미치는 영향 등의 조사분석 시행
(조사분석기관 : 물학술단체 연합회)

3.1.7 배수갑문 조작관리

가. 근 거

- '96.7.18 환경사범대책위원회에서 시화방조제 배수갑문의 효율적인 조작관리로 시화호의 수질을 개선함과 동시에 인근해양오염을 최소화하기 위한 “시화호 배수갑문 조작관리 규정”을 심의 확정하였으며,
- 시화호 수질개선대책 추진에 최소한 5년 정도의 기간이 소요되므로 단기적인 시화호 수질개선의 일환으로 해수의 원활한 소통을 위한 배수갑문 개방운영으로서, 외해에 미치는 영향을 최소화하기 위해 대한환경공학회, 수자원학회등이 포함된 한국물학술단체 연합회에서 여러전문가의 자문을 받아 작성한 시화호 수질개선을 위한 배수갑문 시험개방 계획(안)이 '96.12.19 환경사범대책위원회에서 심의 확정되었다.

나. 시험방류

- “시화호 배수갑문 시험개방계획”에 의거 '97.3.11 1차로 500만톤을 시험방류
- 조사기관 : 한국해양연구소, 한국물학술단체연합회, 농어촌진흥공사 농공기술연구소, 인하대 환경공학연구소, 안산 YMCA

다. 시화방조제 배수갑문 조작관리규정(초안)에 따른 운영

- '97.3.11 시험개방에 따른 외해영향조사 결과를 토대로 마련한 시화방조제 배수갑문 조작관리규정(초안)에 따라 단계별 운영
- 시화방조제 배수갑문 조작관리규정(초안) 조작방안
 - 방류량 및 해수유입량을 관리수위별, 조석주기의 특성을 살려 소조기에는 가능한 한 적은량으로 시작하고 대·중조기에는 250만톤/회 이내에서 상시조작
 - '97. 7.22부터 배수갑문 조작규정(초안)에 따라 소·중·대조기에 따라 최소 100만톤/회에서 최대 250만톤/회까지 해수유통 운영중이며 한국해양연구소 및 한국물학술단체연합회에서 필요한 내·외해 영향조사 실시

라. 향후 추진계획

- o '97.6.10 2차 외해영향조사 결과를 토대로 시화방조제 배수갑문 조작관리규정(초안)을 작성 운영하고 '98. 6까지 계속 외해영향조사분석을 통하여 단계별 운영계획

3.2 중 · 장기대책

3.2.1 하수처리장 신 · 증설

가. 개 요

- 안산, 시화, 화성 등에 3개소의 하수처리장을 신 · 증설하여 처리능력을 2001년 355천톤/일에서 789천톤/일로 제고

나. 추진현황

구 분		안산하수처리장	시화하수처리장	화성군축산폐수처리장
용량	현재	179천 m ³ /일	176천 m ³ /일	-
	계획	534천 m ³ /일	250천 m ³ /일	5천 m ³ /일
준공년도		2001	1999	1999

3.2.2 기존 하수관로 보수

가. 시화지구

- CCTV 조사 : 전체 405km중 397km조사완료
- 조사결과 하자 6,979개소중 6,954(99.6%) 보수완료

나. 안산지구

- 전체 하수관로(1,114km) 중 514km CCTV조사
(수공) : '96. 9 ~ '97. 8 현재
 - 공공하수도 오접 : 215개소(11%) → 205개소 조치완료(수공)
 - 건축오접 : 1,868개소(89%) → 안산시에서 조치중

3.2.3 자연수로 설치(환배수로)

시화호 북측을 대상으로 각각의 수질개선 대책을 시행한 후에도 시화호로 방류되거나 하천을 통하여 유입될 비점오염 부하량을 줄이기 위하여, 반월, 동화, 삼화, 안산, 화정, 신길천 및 시화공단내의 수로를 통하여 유하하는 유량을 차집하여 장래 건설될 녹지공간에 환경 친화적 시설로서 토사수로를 설치하고 수생식물을 이용, 정화후 방류하는 방안으로 시설의 개요는 다음과 같다.

가. 개 요

- 시화호 유역 6개 지천 및 시화공단내의 수로를 통하여 배출되는 오·폐수를 차집하여 자연정화후 방류하는 방법
 - 개 수 로 : 18km(저폭 6m~12m)
 - 수 로 바 닥 : 갈대식생으로 자연정화
 - 수 로 주 변 : 녹지대 형성으로 친환경조성

나. 향후계획

- 시화1단계 확장단지 개발사업의 진행상황과 병행하여 추진

4. 수질개선 효과

본 수질예측에 BOD 부하와 COD 부하는 동일한 것으로 추정하여 처리대책 시행에 따른 수질개선효과를 추정하였으며 본 시화호의 수질개선 장·단기대책이 차질없이 추진될 경우 2001년 이후에는 수질이 많이 개선될 것으로 추정되었다.

4.1 시화호로 유입되는 오염부하량

< 표14 오염부하량 >

(단위 : kg/day)

구 분	BOD	T - N	T - P
시화공단 및 신길천	9,635	4,667	229
반 월 공 단	7,208	4,676	404
화정천 및 안산천	6,556	1,575	153
본오배수구	2,382	598	60
반월천, 동화천, 삼화천	1,193	499	27
계	26,974	12,014	873

* 평수량 기준