

# 시스템다이나믹스 관점에서 본 시화호 정책실패의 교훈

## Implications from the Sihwaho Policy at the System Dynamics Perspective

이미숙\* · 김도훈\*\*

Yi, Mi-Sook\* · Kim, Doa-Hoon\*\*

### Abstract

The Sihwaho Project got off to a bad start, which led to a series of mishaps and an imbalance of the whole project. The purpose of this study is to select the case of Sihwaho as a research subject, clean up the contamination caused by the ill planned project, develop suitable measures to stabilize the lake environment, and find the implications of similar development projects.

For this, the authorshave conducted three simulations after studying the structural reasons for the failure of the Sihwaho Policy by identifying cause and effect relationships, pre-testing a number of policy measures for the current lake project, and presenting measures for solving the contamination problem at the lake. The simulations have shown us that filling the lake with seawater is inadequate to solve the problem, and that we also have to make efforts to reduce the volume of wastes to the lake as well.

The authorshave also analyzed the degree of difference between the simulation and survey results for scenario 1, in which we have studied how much seawater can reduce the contamination of the Sihwaho Lake without the effort to reduce the volume of wastes into the lake. The survey showed that most citizens and employees of the Ministry of Environment did not think it would be serious as the simulation results pointed out, and the employees of the Ministry of Environment were more optimistic about the situation than the public.

**Keywords:** 시화호프로젝트, 시스템다이나믹스

(sihwaho project, system dynamics)

\* 숙명여자대학교 행정학과 박사과정 (제1저자, yimi@paran.com)

\*\* 숙명여자대학교 행정학과 교수 (공동저자, dhkim@sukmyung.ac.kr)

## I. 서론

### 1. 연구목적 및 필요성

대규모 간척사업이 야기하게 될 환경문제를 극명하게 보여주고 있는 사례인 시화호 담수화계획은 정부가 2001년 2월 11일 관계부처의 의견을 수렴하여 시화호를 해수호로 남겨 두기로 최종 결정함으로써 결국 백지화 되었다. 이로써 지난 5공 이래 16년에 걸쳐 추진된 시화호 담수화 계획은 방조제 건설비 6,220억원과 수질개선사업비 2,079억원 등 약 8,300억원의 세금만 낭비하게 되었다. 시화호 담수화 계획의 백지화는 환경을 무시한 개발정책이 얼마나 무모한 것인가를 적나라하게 보여주는 정책실패의 대표적 사례이다.

그러나, 시화호의 담수화 포기결정이 내려진 현시점에서 크고 작은 개발사업이 반(反)환경적으로 추진되고 있는 실정이므로 또다른 실패를 미연에 방지하려면 시화호와 같은 개발 실패사례에 대한 원인을 철저히 규명하여 그러한 실패가 반복되지 않도록 하는 것이 무엇보다 중요하다 할 것이다.

이에 본 연구는 시화호 정책이 실패하게 된 구조적 원인을 시스템 다이내믹스 기법을 활용하여 분석해 본 후, 시화호의 수질개선을 위한 현재의 정책대안이 향후 오염문제의 해결과 관련하여 어떠한 결과를 가져올 것인지를 예측해 보고, 현 정책결정이 최선의 대안인지를 비교·평가해보기 위해 여러 대안들을 모의실험해 보고자 하였다. 나아가 시화호 정책 관련자들이 환경문제를 어떤 방식으로 인지하고 있으며 이것이 반(反)환경적 정책입안에 궁극적으로 어떠한 영향을 미칠지를 검토해보는데 연구목적은 두고 있다.

### 2. 연구내용 및 방법

본 연구는 시화호 오염사례를 중심으로 정부조직의 개발에 대한 단선적이고 낙관론적 시각과 예측이 궁극적으로 이해당사자(stakeholder)와 주변환경 및 생태계에 어떠한 피해를 남게 되는지를 장기적이고 동태적인 관점에서 고찰해 보고자 한다. 또한 환경의 파괴는 단 시간에 급격하게 이루어지는데 반해, 이를 개발이나 개입이전의 수준으로 회복하는데 얼마나 오랜 기간과 노력이 필요한지를 시뮬레이션 결과를 통해 제시해 보고자 한다.

이에 본연구는 첫째, 시화호와 관련된 환경시스템과 경제시스템의 구성요소들간의 상호작용관계에 관한 피드백 구조를 모형화하고 이를 바탕으로 시화호 및 주변환경의 장기적인 변화행태와 패턴을 파악해 보도록 하겠다.

둘째, 시스템 다이내믹스기법을 활용한 분석결과를 기반으로 오염문제 해결을 위한 정책

대안을 모의실험해 봄으로써 균형과 안정화를 위해 적용가능한 해결방안을 비교·평가한 후 최선의 대안을 선별·제시하도록 하겠다.

셋째, 정부가 시화호 담수화계획을 전면 백지화하고 시화방조제의 배수갑문의 인위적인 조작을 통해 외해수를 유입하여 시화호 오염의 심화를 막고 있는 현시점에서 정부의 이러한 시화호의 수질개선을 위한 해수화 계획이 시화호의 향후 오염수준을 어떻게 변화시킬 것이라고 인식하는지를 분석하고자 하였다. 이를 위해 일반시민과 정책관계자들을 대상으로 간단한 인지분석을 실시해 봄으로써, 환경문제에 대해 집단별로 인지상의 차이가 있는지를 검토해 보고 일반적으로 환경문제를 어느 정도로 심각하게 인식하고 있는지를 분석해 봄으로써 정책실패가 개선되지 못하고 또다른 실패를 야기하게 될 새로운 개발정책으로 이어지는 이유를 인지적인 차원에서 규명해 보고자 하였다.

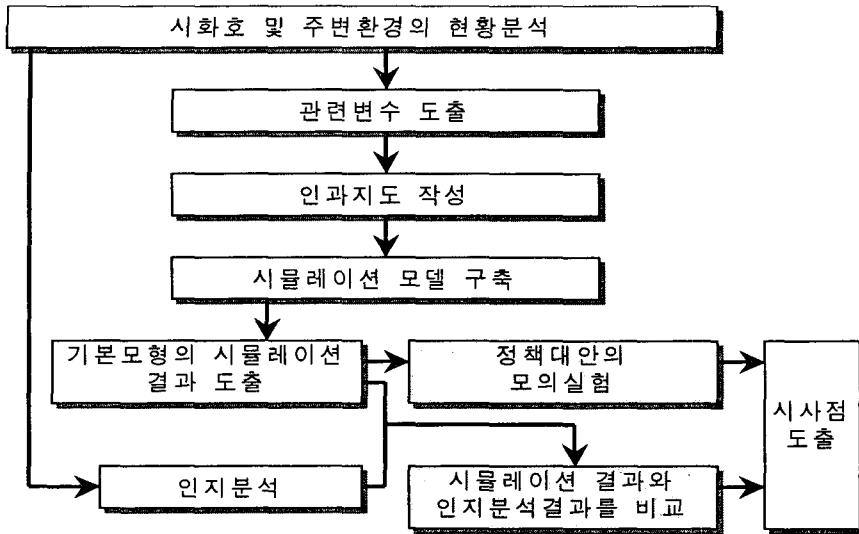
### 3. 연구체계

본연구는 다음과 같은 과정을 거쳐 수행되었다. 먼저 시화호 조성사업이 수립되게 된 배경과 정책집행 결과로 야기된 오염문제의 심각성 및 시화호의 현황을 개괄적으로 고찰해 본 후, 시화호와 관련된 변수들간의 상호작용관계를 반영하는 인과지도를 작성하여 시화호 정책이 실패하게 된 구조적인 원인을 분석해 보았다.

이와 같이 작성한 인과지도를 바탕으로 1998년을 새로운 정책의 시행시점으로 하여 현재 시화호 정책을 반영하는 여러 정책대안들을 모의실험해보기 위해 세가지 시나리오를 구성해 보았다. 해수화정책을 기본시나리오로 하여 산업부문과 생활부문의 오염물질 배출량을 현재의 10%수준을 저감하였을 경우(시나리오2)의 오염수준의 변화정도와 오염물질 처리시설의 증대로 현재 오염물질 배출량의 20%를 감소시킬 경우(시나리오3)의 오염수준의 변화패턴을 정책실험해 보았다.

다음으로 시나리오1의 상황조건을 전제로 하여 일반시민과 공무원들의 환경에 대한 직관적인 인식과 예측이 시뮬레이션 결과와 얼마나 차이가 나는지를 분석해 보았다.

이와 같은 정책효과분석과 환경문제에 대한 인지분석을 통해 시화호의 오염문제를 해결하기 위해 가장 바람직한 대안이 무엇인지와 환경문제의 인식에 있어서 인지상의 오류가 있는지에 대한 시사점을 도출하고자 하였다.



[그림 1] 연구의 흐름도

## II. 시화지구 현황분석

### 1. 시화호 조성사업의 배경

시화호의 탄생은 정부가 서해안의 광활한 간척지를 개발해 대규모 국토확장을 도모하기 위해 마련한 프로젝트의 산물이다. 시화지구개발사업이라고 명명된 이 프로젝트는 경기도 안산시, 시흥시, 화성군의 1도2시1군에 이르는 넓은 간척지를 방조제 5개소 12.7km를 축조하고 이중 개발잠재력이 높은 간척지 17,300ha를 집중개발하여 수도권인 인구분산, 공업용지의 확보에 기여하는 것으로 되어 있다.<sup>1)</sup> 특히 2천년대 식량의 안정적 공급을 위한 농지 조성과 6,100ha의 담수호를 조성하여 연간 1억8천만 톤의 수자원을 확보해 전천후 영농기반을 마련하는데 주안점을 두었다. 다시 말해서, 정부는 시화지구 간척사업을 통해서 농경지와 공업단지를 조성하고, 용수공급을 위한 담수호를 조성할 계획이었다.

이러한 시화지구 개발사업을 통해서 기대되었던 효과는 첫째, 169km<sup>2</sup>에 달하는 국토면적을 확장하고 101km의 해안선을 단축하여, 수도권 공장 1천6백여개를 공업단지에 유치함으로써 수도권의 인구분산 효과를 거두는 것은 물론, 고용증대와 관련 산업에 커다란 파급효과를 얻는 것이었다(한국해양수산개발원, 2000).

1) <http://www.ansannews.co.kr/new/host/shihwa/no1.htm>

둘째, 방조제 축조로 매년 발생하는 약 1억8천만m<sup>2</sup>의 담수를 이용하여 91.1km<sup>2</sup>의 농경지에 농업용수를 공급하여 대단위 기계화 영농단지를 개발할 예정이었다.

셋째, 서해안의 여러 섬들을 연결하는 방조제가 교통의 편리함은 물론 아름다운 서해안 경관을 이용한 새로운 관광명소로 각광을 받게 되어 낙후된 지역의 경제 및 문화발전에 기여할 것으로 기대되었다.

넷째, 인근 안산시와의 연계개발로 약 14만명을 수용할 수 있는 공단배후도시를 건설하여 기존의 수도권 도시들의 인구과밀현상을 완화할 것으로 기대되었다.

[표 1] 시화지구 간척지 개발사업 총괄현황

구분	계	반월 특수지역 개발사업					시화지구 간척사업
		안산신도시 건설사업		시화지구 개발사업			
		1단계	2단계	1단계	1단계확정	2단계	
조성면적(만평)	8,100	1,518	272	1,727	365	3,118 (시화호포합)	1,100
사업비(억원)	176,032	6,551	17,430	22,240	15,370	110,000	4,441
사업기간	1977 ~2001이후	1977 ~1993	1992 ~2000	1986 ~2006	1999 ~2006	2001이후	1999~2009
계획인구(만명)	97	30	14	14	10	29 (2021기준)	-
공장(개)	3,100	1,000	-	2,100	-	-	-
현공정(%)	-	사업종료	53.5	73.9	-	-	-
사업시행자	한국수자원공사						농어촌진흥공사

자료: 시화호 주변의 환경개선방안연구, 한국해양수산개발원, 2000. 12.

## 2. 시화호 조성에 따른 환경문제

시화지구 간척지 개발사업을 통해서 생성된 시화호는 1994년 1월 시화방조제 물막이공사 완료 후 농업용수와 공업용수로 사용가능한 담수호가 조성되리라는 당초 기대와는 달리 주변도시로부터 많은 양의 오염물질이 유입되면서 시화호의 환경개선이 새로운 과제로 대두되었다. 시화호의 수질은 방조제 공사 이전에는 인천 연안의 수질과 유사한 양상을 보였으나, 1994년 방조제 공사가 완료된 이후 급속한 수질악화 현상이 발생하여 공업용수 3등급을 훨씬 초과하는 수질악화 상태를 보였다.

시화호 정책의 계획단계에서부터 최근의 근황에 이르기까지의 주요사건을 요약·제시하

고 있는 [표 2]을 보면, 시화호의 조성에 따른 오염문제와 이와 관련된 정부와 환경단체와의 갈등과 대립양상이 시기별로 잘 나타나 있다.

[표 2] 시화호 관련 주요 일지

일자	주요 내용
1985년10월 11일 ~1986년 4월 8일	시화지구 개발 타당성 조사 및 기본 계획 수립 용역.
1987년 3월 21일	시화지구 외곽 시설(방조제 및 부대 시설) 공사 도급 계약 체결
1987년 6월 8일	시화지구 외곽 시설 사업 실시 계약 승인(건설부 고시 제220호) .
1989년 9월 30일	시화지구 개발 기본 계획 변경 고시 (건설부 고시 제509호).
1990년 12월 15일	시화지구 개발 기본 계획 사업 기간 연장 승인 고시 (건설부 고시 제335호).
1992년 4월 11일	반월특수지역 개발 구역 변경 고시(건설부 고시 제162호)
1992년 4월 15일	시화지구개발 기본 계획 고시 (건설부 고시 제67호).
1993년 12월 23일	시화지구 1호 방조제 물막이 공사 완료.
1994년 1월 24일	시화지구 2호 방조제 물막이 공사 완료.
1996년 6월 2일	환경부, 시화담수호 수질 개선 대책 회의 (방류 결정)
1996년 6월 20일	환경부,수자원공사,농어촌진흥공사,시화호의 저수량 3억 3천만 톤의 약 4분의 1에 해당하는 8천1백만 톤을 방류하기로 결정 . 환경 단체 등, 인근 해역이 '죽음의 바다'가 될 것이라며 강력히 반발.
1996년 6월 24일	환경 단체의 선상 시위로 시화호 물 방류 계획 무산.
1996년 6월 29일,30일	수자원공사, 시화호 방류. 환경부의 묵계하에 날치기 방류를 했다는 여론이 비등
1996년 7월 5일	시화호 수질 개선 대책 발표. 2001년까지 총 4천4백93억원 투입하여 하수처리장 3개소와 환(環)배수로 건설 예정.
1996년 7월 30일	수자원공사, 경기 지역의 집중 호우 때문에 불가피하다며 인근 주민과 환경단체의 반발에도 불구하고 5차례에 걸쳐 시화호의 물 7천50만 톤 방류.
1997년 3월 19일	수자원공사, 해양 생태계 조사를 이유로 지역 주민과 환경 단체의 반발에도 불구하고 시화호 담수 5백만 톤 방류 강행
1997년 7월 7일	환경부, 국회 제출 자료에서 시화호 수질 개선 대책을 1년 간 추진하였음에도 불구하고 수질이 악화되었음을 인정
1998년 1월 10일	대통령직인수위원회, 시화담수호사업을 경부고속철, 새 만금간척사업과 함께 3대 부실 사업으로 규정하고 전면조사 착수.
1998년 3월 26일이후	상시 배수갑문조작
1998년 12월 18일	농림부 담수호 물 농업용수 사용포기
2001년 2월 11일	정부 시화호 담수화 포기 발표

### 3. 시화호의 현황

시화호의 오염문제가 사회적 이슈로 부각되자 정부는 1996년 7월 시화호 수질개선 종합 대책을 발표하고 시화호 수질개선을 위해 4,493억원을 투자하기로 결정하여, 2000년 9월까지 총 1,940억원을 들여 하수처리장의 신·증설 및 인공습지 조성 등과 같은 수질개선사업을 추진해 왔다.

그러나 '96년 정부에서 발표한 수질개선 종합대책은 관계부처 협의결과 시화호를 해수호 상태로 유지하기로 함에 따라 담수호를 전제로 수립된 일부 대책에 대한 조정이 불가피해졌다. 따라서, 2000년 12월 관계기관인 환경부, 건설교통부, 농림부, 해양수산부, 경기도, 안산시, 시흥시, 화성시, 한국수자원공사의 협의 하에, [표 3]과 같이 2006년까지 시화호의 수질개선을 위해 당초 계획보다 403억원을 추가로 투자하기로 결정하고 사업내용을 일부 수정하였다.

[표 3] 수질개선 변경대책

(단위: 억원)

구 분	기 투자액 ( ' 00.9까지)	투 자 비		증감액
		기 존	변 경	
총 계	1,940	4,493	4,896	403
· 안산하수처리장(차집관로 신증설포함)	1,299	2,000	2,639	515
· 차집관로 신·증설	17	124		
· 시화하수처리장	357	600	680	80
· 화성군하수처리장	-	420	471	51
· 오접관로 조사·보수	9	76	20	▽ 56
· 유입지천정비	-	53	53	-
· 인공습지, 산화지	158	120	303	183
· 오염우수 임시차집수로	56	50	67	17
· 호수내 수질개선(저니토 준설등)*	44	850	448	▽ 402
· 환배수로*	-	200	175	▽ 25
· 시화호관련 용역	-	-	40	40

\* 표시된 것은 해양수산부의 용역결과에 따라 보완대책을 별도 수립하여 추진  
 자료: 환경부 홈페이지(www.me.go.kr)

이와 같은 노력에 힘입어 시화호는 [그림 2]에서 보는 바와 같이 현재 수질이 어느 정도 회복된 상태라고 볼 수 있다. [그림 2]의 COD 수치는 [표 4]와 같이 3개의 관측점에서 매달 측정된 값을 평균한 수치이다.

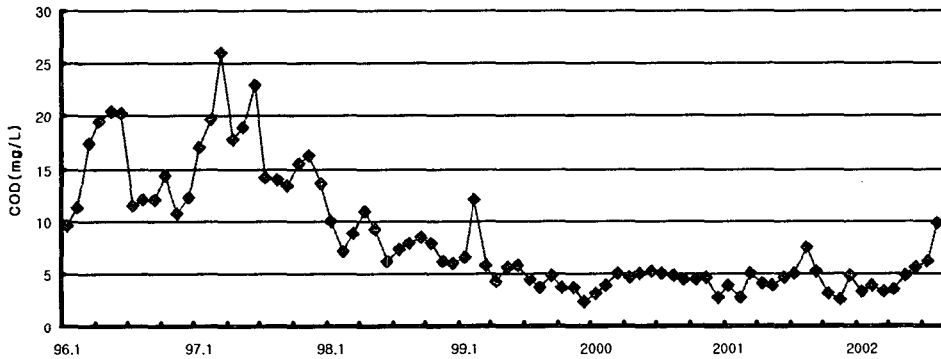
한국해양수산개발원의 연구자료에 따르면 시화호 내부의 수질 및 저질환경은 부분적인 해수교환을 통해서는 큰 개선효과를 기대하기 어려운 실정이라고 전망한 바 있지만, 시화

호의 해수화 정책과 수질개선 대책이 현재 기대 이상의 효과를 거두고 있음을 아래 그래프를 통해 확인할 수 있다.

[표 4] 시화호 수질측정 지점

	<b>〈채수지점〉</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 시화호1: 경기도 안산시 목내동 남방</li> <li>▪ 시화호2: 경기도 화성군 송산면 우음도 서남방</li> <li>▪ 시화호3: 경기도 안산시 대부동 동북방</li> </ul>
	<b>〈조사기관〉</b> 경인지방환경청

자료: 환경부, 수질측정망 운영계획 2002, 2002.



\* 측정값은 시화호 1,2,3 지점의 값을 평균한 수치임

[그림 2] 시화호의 COD 수치의 변화추이

그러나, 이러한 수질 개선 상황에도 불구하고 시화호 정책을 실패한 정책이라고 볼 수 밖에 없는 이유는 방조제 건설에 6,220억원을 투자하고, 수질개선 사업에 기존 투자액을 포함하여 4,896억원을 투입하여서 얻은 경제적 성과를 거의 찾아볼 수 없기 때문이다. 시화호의 수질이 방조제 완공 이전 수준으로 회복되더라도 담수화 계획을 전면 포기하고 시화호를 해수화하기로 결정하였기 때문에, 시화호의 물을 농업용수나 공업용수로 사용하는



것이 불가능해진 상황이라고 봐야 할 것이다. 그러므로, 시화호 담수화계획은 국민의 혈세만 낭비하고 당초의 계획을 전혀 달성하지 못한 정책이라고 할 수 있다.

따라서, 무모한 개발정책은 심각한 환경오염을 초래할 뿐 아니라, 개발이전의 상태로 환경을 회복하는데 막대한 비용이 지불되어야 하며, 장기적인 관점에서 개발의 실익을 거의 향유할 수 없다는 점을 시화호 사례를 통해 알 수 있다.

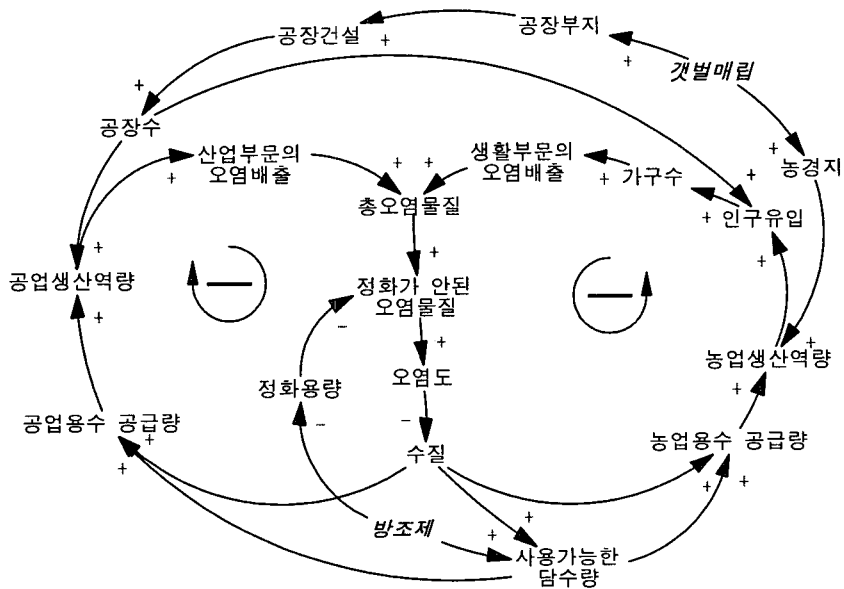
### Ⅲ. 모델구축: 인과지도와 Stock/flow 다이어그램

본 연구는 시화호 정책이 실패하게 된 구조적인 원인을 파악하는데 연구목적이 있으므로 시화호 관련 정책변수들이 정책수립단계에서 예상했던 기대효과를 거두지 못하게 된 근본적인 이유를 인과지도를 근거로 하여 규명해 보도록 하겠다.

시화호 정책은 크게 두가지 부분으로 나누어 볼 수 있는데, 간척사업을 통한 갯벌매립으로 간척지를 개발하여 공업단지를 조성하고 농경지를 확장하는 시화지구간척사업이 한 축을 이루고, 방조제를 축조하여 담수호를 조성해서 공업용수와 농업용수를 공급하려는 시화호 담수화계획이 또다른 축을 이루고 있다.

먼저 시화지구개발사업에 따른 갯벌매립이라는 정책변수가 시화호와 주변환경에 미친 영향을 살펴보면, [그림 3]의 인과지도에서 보듯이 갯벌매립은 공장이 들어설 수 있는 공업용지와 농사를 지을 수 있는 농경지의 확장을 가져오고, 공장부지의 증가는 신규공장건설이나 기존 공장의 증설을 촉진하여 시화지구에 조성된 공장의 수를 증가시키게 되어 산업부분의 생산역량을 증대시키는 효과를 가져온다. 여기까지는 시화호 정책 수립 당시 시화호 정책을 지지하던 사람들이 고려하였던 단선적인 인과관계이며, 공업생산역량의 증대에 따른 오염물질 배출량의 증가는 정책입안 당시 고려되지 않았던 부분이라 할 수 있다.

그러므로 증가하는 오염물질에 대한 처리시설을 확충하는 등 해결책을 마련하지 않고 공장의 유치에만 치중하였기 때문에 시화호 정책은 실패할 요소를 계획 당시부터 내재하고 있었다고 볼 수 있다.



[그림 3] 인과지도

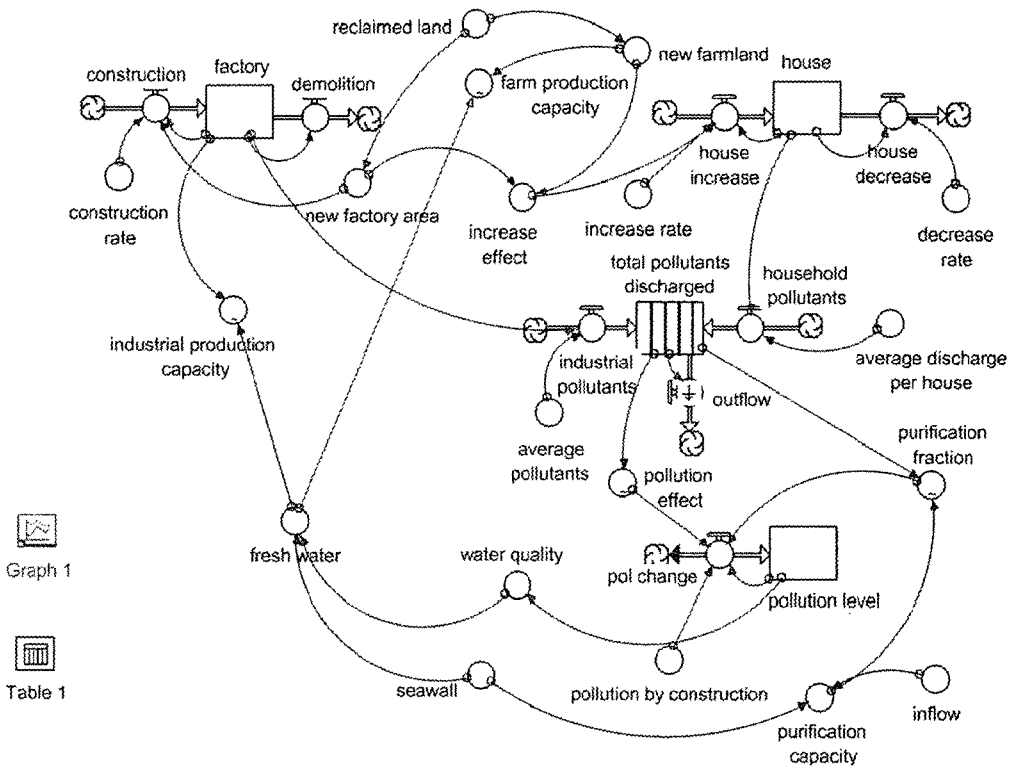
간척사업에 따른 전반적인 피드백루프를 살펴보면, 매립지 조성으로 인해 공장부지가 증가하면 공장 건설이 증대되어 공장수가 늘어나고, 공장에서 배출되는 오염물질의 양이 증가되게 된다. 이는 산업부문의 오염배출량을 증가시켜 시화호로 유입되는 하천의 오염을 심화시키고 결국 시화호의 수질악화를 초래하게 된다. 공업용수로 사용하는 것이 불가능할 정도로 오염이 심화되게 될 경우 공업용수의 부족문제로 생산역량이 저하되게 되므로 갯벌 매립으로 공업단지를 조성하는 것으로 해당지역의 산업생산역량을 증대시키는데는 한계가 있음을 알 수 있다.

또한 갯벌매립으로 농경지를 조성하는 방안도 농사를 지으려는 인구가 새로 유입되면 가구수가 증가하게 되어 가구당 오염물질 배출이 증가하게 되고, 이러한 생활하수의 배출로 인한 총오염물질배출량이 증가되어 시화호로 유입되는 하천의 오염수준이 심각해지고 이는 결국 시화호의 오염을 야기하게 된다. 시화호의 오염이 심화되면 당초 예상했던 것과는 달리 시화호를 담수화하여 농업용수로 사용하는 것이 불가능해지므로 갯벌매립에 따른 농경지 조성으로 농업생산역량을 증대시키는데에도 한계가 있다.

시화호 담수화 계획의 일환으로 건설된 방조제는 정책입안 당시에는 방조제 건설로 연간 약 1억 8천만톤의 담수를 이용할 수 있을 것이라 낙관적으로 예상하였으나, 실제 방조제건설은 시화호의 물을 가두어두게 되므로 정화능력을 한정짓게 된다. 이로 인해 결국 시화호의 정화능력이 한계에 달해서 정화가 안된 오염물질의 양이 계속해서 증가하게 되고,

이는 수질오염을 심화시켜 수질등급조건을 충족시키지 못할 정도로 오염이 악화되어 결국 담수를 사용할 수 없게되는 결과를 가져온다.

이와 같은 인과지도의 내용을 종합해볼 때 첫째, 시화호는 실패할 가능성을 정책입안단계에서 이미 내포하고 있었으며 둘째, 단기적인 관점에서의 정책효과는 장기적인 관점에서 봤을 때 초기에 예상했던 기대효과를 충족시킬 수 없는 제약요소를 갖고 있었다는 점을 인과지도를 통해 알 수 있다.



[그림 4] 흐름도

[그림 3]의 인과지도에서 수준변수에 해당되는 공장수, 가구수, 총오염물질의 양, 오염수준을 중심으로 stock/flow 다이어그램을 작성하면 [그림 4]와 같다. 다음에서는 이렇게 작성된 흐름도를 바탕으로 여러 대안들을 시뮬레이션해 보도록 하겠다.

## IV. 시뮬레이션 결과분석

### 1. 모의실험 설계

본 연구는 정부가 시화호 담수화계획을 전면 백지화하고 시화방조제의 배수갑문의 인위적인 조작을 통해 외해수를 유입하여 오염의 심화를 막고자 있는 현재의 해수화정책이 시화호의 오염문제를 어느정도 해결해 줄 수 있으며 선택가능한 가장 최선의 대안인지를 비교·검토하기 위해 [표 5]와 같이 여러 시나리오를 모의 실험해 보았다.

먼저 해수화정책을 기본모형으로 하여 산업부문과 생활부문의 오염물질 배출량을 현재의 10%수준을 감소시켰을 경우(시나리오2)의 오염수준의 변화정도와 오염물질 처리시설의 증대로 현 오염물질 배출량의 20%를 감소시킬 경우(시나리오3)의 오염수준의 변화패턴을 정책실험해 보았다.

[표 5] 모의실험 설계표

	시나리오1	시나리오2	시나리오3
정책방향	해수화정책 + 하수처리시설에 대한 투자를 하지 않음	해수화정책 + 총오염배출량을 10% 감소시 킴	해수화정책 + 총오염배출량을 20% 감소시 킴.
세부내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 오염된 시화호 물을 일부 바다로 방류함.</li> <li>▪ 해수를 유입함.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 시나리오1 + 오염물질의 처리시설을 확대하여 오염배출량을 10% 저감.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 시나리오1 + 오염물질의 처리시설을 확대하여 오염배출량을 20% 저감.</li> </ul>

### 2. 실험결과

#### 1) 시나리오 1

실제 1997년이후 시화호에 해수를 유입하기 시작하였으므로 첫 번째 시나리오는 1997년부터 해수를 유입하기 시작하여 1998년과 1999년에 각각 유입량을 일정량 증가시켜 해수 유입을 지속할 경우를 모형에 반영하였다. 해수유입을 나타내는 보조변수의 수식은 아래와 같다.

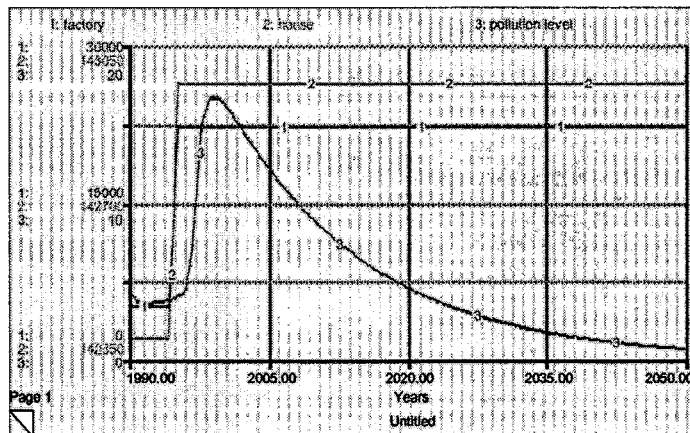
$$\text{inflow} = 0 + \text{STEP}(2000, 1997) + \text{STEP}(2000, 1998) + \text{STEP}(2000, 1999)$$

모형에서의 기본가정은 첫째, 1998년이후 시화호유역의 공장증가율과 감소율이 같다는 전제 하에 공장수의 변화나 가구수의 변동이 없으며, 둘째 시화호 오염의 원인이 되는 오

염물질 배출량을 저감시키려는 투자가 전혀 이루어지지 않는다는 것이다.

즉 시나리오1은 공단과 주거지에서 발생한 오염물질을 하수처리장에서 처리하여 오염배출량을 줄이려는 노력없이 단지 해수를 유입하고 오염된 시화호의 물을 바다로 일부 방류했을 경우의 오염수준의 변화추이를 모의실험해 본 것이다.

분석결과를 보면, 시나리오1 상황에서는 1997년 이후 해수를 유입하고 오염된 물을 바다로 방류하더라도 오염수준이 방조제 완공 이전 단계로 회복되는데는 대략 25년 정도 소요됨을 알 수 있다. 오염수준을 증가시키는 총오염물질 배출량을 줄이기 위해 하수처리장을 설치하는 등의 투자없이 해수를 유입하여 오염물질을 희석하는 정책으로는 오염의 심화를 막을 수는 있지만, 수질의 회복을 위해서는 다소 장기간이 소요되는 정책이라는 것을 시뮬레이션 결과를 통해 알 수 있다.



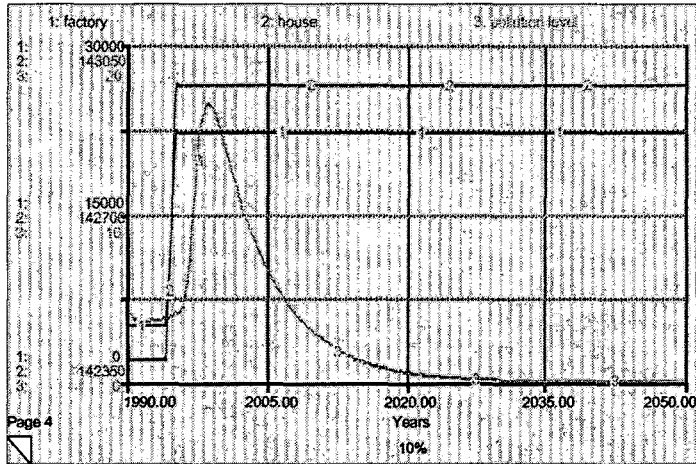
[그림 5] 시나리오1의 오염수준 변화 추이

## 2) 시나리오 2

두 번째 시나리오는 1998년부터 총오염배출량을 10% 감소시켰을 경우의 오염수준의 변화패턴을 파악하기 위해 설계되었다. 시나리오1에서와 같이 가구수와 공장수의 증감이 전혀 없는 상황에서 해수를 유입하여 시화호의 오염물질을 희석하고, 동시에 시화호 유역의 공단지역과 주거지역에서 배출되는 오염물질의 양을 10%정도 감소시키는 정책을 실시했을 경우의 오염수준의 변동을 모의실험한 결과는 [그림 6]과 같다.

분석결과를 살펴보면, 오염물질 배출량을 10% 저감시키면 그러한 노력이 전혀 없을 경우(시나리오1)보다 오염의 회복속도가 훨씬 빠르다는 것을 알 수 있다. 방조제 완공 이전의

오염수준인 COD 4mg/l 정도로 회복되는데 10년 정도 소요되므로 공단지역과 주거지역의 오염배출량을 감소시키지 않을 경우보다 회복기간을 15년 정도 단축시키는 정책효과가 있음을 정책모의실험 결과를 통해 파악할 수 있다.

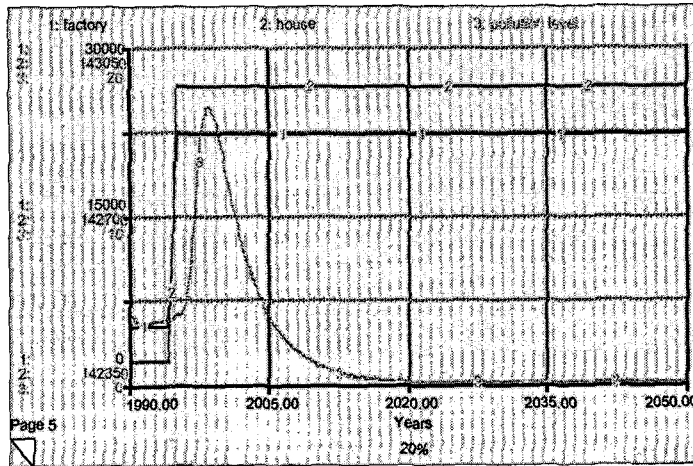


[그림 6] 시나리오2의 오염수준 변화 추이

### 3) 시나리오 3

시나리오2에서는 산업부문과 생활부문의 오염배출량을 10% 감소시키는 정책을 시행했을 경우의 정책효과를 분석하였던데 반해, 시나리오3에서는 오염물질 배출량을 20% 감소시켰을 경우의 오염수준의 변동정도를 분석하기 위해 변수값을 조정하여 시뮬레이션해 보았다. 물론 해수유입정도나 바다로 방류하는 시화호 오염물질의 양은 세가지 시나리오 상황에서 모두 같은 조건으로 설정되어 있으며, 오염물질을 배출하는 공장수와 가구수 조건도 모두 동일하다.

[그림 7]의 오염수준 변화곡선을 보면, 총오염물질배출량을 10% 저감하였을 경우에 비해 오염수준이 회복되는데 걸리는 시간이 어느정도 단축되는 것을 확인할 수 있다. 정책시행 시점인 1998년 이후 약 7년후 정도면 오염수준이 방조제 완공이전 단계인 COD 4mg/l 수준으로 회복되는 것으로 보아, 시나리오3은 시나리오2의 정책보다 오염수준의 회복기간을 3년 정도 단축시키는 효과가 있는 대안이라고 평가할 수 있다.



[그림 7] 시나리오3의 오염수준 변화 추이

2002년 현재 COD를 기준으로 하였을 때, 시화호의 전반적인 수질상황은 시나리오3의 정책실험결과와 유사한 양상을 보이고 있으므로 정부의 시화호 수질개선대책은 안산·시화·화성 하수처리장의 신·증설로 시화호로 유입되는 총오염물질배출량을 대략 20% 정도 저감하는 효과를 보았다고 할 수 있다.

## V. 인지분석 결과

### 1. 실험설계

본연구는 시화호 정책의 실패를 교훈삼아 또다른 개발정책의 폐해를 미연에 방지하기 위해 환경문제에 대한 인지상의 오류를 규명해내려는 의도로 간단한 질문지를 작성하여 환경오염의 심각성에 대한 인식정도를 집단별로 분석해 보고자 하였다.

이를 위해 시나리오1의 상황에서와 같이 시화호 오염의 원인이 되는 산업부문이나 생활부문의 오염물질 배출량을 감소시키려는 노력이나 투자가 전혀 없는 상황에서 해수를 유입하여 오염의 심화를 막고 시화호의 오염물질을 일부 외해로 방류하는 정책을 1998년 이후 계속해서 시행할 경우, 향후 오염정도가 어떻게 변화할 것이라 인식하는지를 테스트해 보았다.

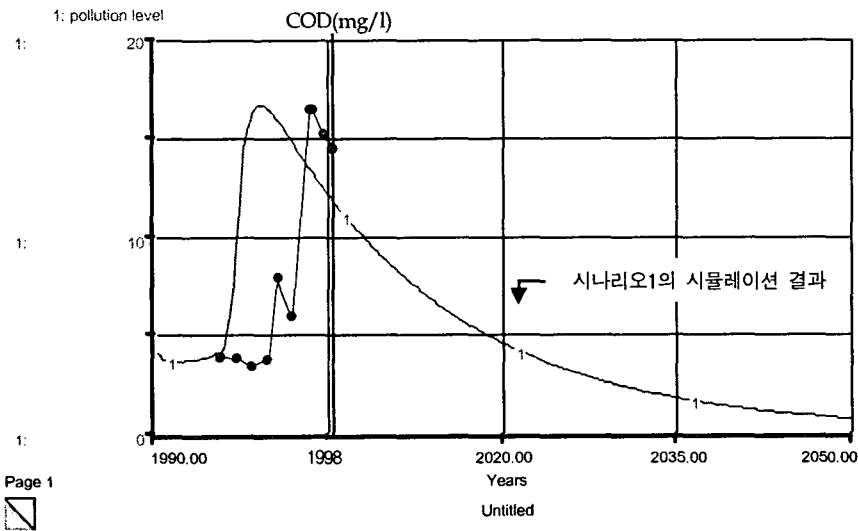
먼저 분석을 위해 피실험자들에게 향후 시화호의 오염수준이 위와 같은 전제조건 하에 COD의 변화량을 기준으로 어떻게 변화할 것이라 예상하는지를 그래프로 작성하도록 하였

으며, 구체적인 수치를 파악하기 위해 시화호의 수질이 공업용수3급으로 사용할 수 있는 수준인 COD 10mg/l 이하로 회복되는데 몇 년이 걸릴 것이라 생각하는지(질문1)와 시화호의 수질이 방조제 완공 이전 수질인 COD 4mg/l 이하가 되는데 몇 년이 소요될 것이라 예상하는지(질문2)를 기재하도록 하였다.

이와 같이 작성된 질문지를 환경부 공무원 20명과 일반시민 70명을 대상으로 응답하도록 하여 회수된 응답지 중에 질문내용을 이해하지 못하였다고 생각되는 응답지 4부를 제외한 나머지 응답내용을 빈도분석하였다.

## 2. 분석결과

시화호 오염의 원인이 되는 총오염물질의 배출량을 그대로 둔 채 해수화정책을 실시하는 시나리오1의 상황을 시뮬레이션해본 결과는 [그림 8]에서 보는 바와 같다.



자료: 실측치는 한국해양수산연구원의 보고서에서 인용함.

[그림 8] 시나리오1의 시뮬레이션 결과와 실제 자료

시화호의 오염수준이 COD 10mg/l이하로 되는데 소요되는 기간에 대한 질문에 일반시민은 절반이상이 5년 이내에 가능하다고 인식하고 있는 것으로 나타났다. 그러나 시뮬레이션 결과는 해수를 유입하더라도 1998년 이후 10년이 지나서야 그와 같은 정도로 오염수준이 회복되는 것으로 나타나 있어 일반시민의 예측과는 5년이상의 차이를 보이고 있다.



두 번째 질문인 시화호의 오염수준이 방조제 완공 이전 단계인 COD 4mg/l이하로 되는데 소요되는 기간에 대해서는 과반수가 10년 이내로 응답했다. 시뮬레이션 결과와 같이 1998년 이후 25년 정도가 소요된다는 것과 유사한 응답을 한 경우를 21년에서 25년 정도가 소요될 것이라 응답한 자로 본다면, 67명의 응답자 중 단 1명만이 시뮬레이션 결과와 일치하는 응답을 하였다.

[표 6] 질문1의 응답결과(일반시민)

구간	빈도	백분율
1 ~ 5년	40	59.70%
6 ~ 10년	16	23.88%
11 ~ 15년	3	4.48%
16 ~ 20년	5	7.46%
21 ~ 25년	0	0.00%
26 ~ 30년	2	2.99%
31 ~ 35년	0	0.00%
36 ~ 40년	0	0.00%
41 ~ 45년	0	0.00%
46 ~ 50년	1	1.49%
51년 이상	0	0.00%
합계	67	100.00%

[표 7] 질문2의 응답결과(일반시민)

구간	빈도	백분율
1 ~ 5년	7	10.45%
6 ~ 10년	29	43.28%
11 ~ 15년	5	7.46%
16 ~ 20년	6	8.96%
21 ~ 25년	1	1.49%
26 ~ 30년	3	4.48%
31 ~ 35년	1	1.49%
36 ~ 40년	0	0.00%
41 ~ 45년	0	0.00%
46 ~ 50년	10	14.93%
51년 이상	5	7.46%
합계	67	100.00%

환경부공무원의 전반적인 응답내용을 살펴보면, 일반시민보다 시화호의 오염수준을 개발 이전의 상태로 되돌리는데 걸리는 기간을 훨씬 더 단축해서 생각하고 있는 것으로 나타나 일반시민보다 환경문제를 낙관적으로 인식하고 있는 것으로 판단된다.

[표 8]에서 보는 바와 같이, 시화호의 오염수준이 COD기준으로 10mg/l이하로 되는데 소요되는 기간에 대한 질문에 응답자 전원이 10년 이하로 대답했으며 그 중 74%에 해당하는 응답자가 5년 이하로 예측하였다. 이러한 응답결과는 시뮬레이션 결과와 비교해 볼 때 오염의 회복에 대한 낙관적인 전망을 반영하고 있다고 하겠다.

두 번째 질문의 응답내용도 시뮬레이션 결과와는 상당한 차이를 보이고 있는데, 시나리오 1의 상황조건의 시뮬레이션 결과상 오염수준이 COD기준으로 4mg/l 이하로 회복되는데 25년정도 소요될 것이라고 나타난 반면, 환경부의 응답자들은 모두 20년 이내에 방조제 완공 이전 수준으로 오염수준이 회복될 것이라 예측하고 있어 시뮬레이션 결과보다 오염회복 시기를 앞당겨서 예측하고 있다. 이것은 일반시민의 응답결과와 비교해 볼 때, 일반시민이 환경부 직원보다 오염문제를 보다 더 심각하게 인식하고 있다는 것을 의미하는 것이다.

[표 8]과 [표 9]의 내용을 종합해 볼 때, 환경부의 공무원들은 오염의 원인이 되는 물질이 시화호로 유입되는 것을 감소시키려는 노력 없이 단지 해수유입만으로도 오염문제가 대

체로 10년 이내로 해결될 것이라고 보고 있어 현 해수호 정책에 대해 긍정적으로 생각하고 있는 것으로 해석할 수 있다.

[표 8] 질문1의 응답결과(환경부직원)

구간	빈도	백분율
1 ~ 5	14	73.68%
6 ~ 10	5	26.32%
11 ~ 15	0	0.00%
16 ~ 20	0	0.00%
21 ~ 25	0	0.00%
26 ~ 30	0	0.00%
31 ~ 35	0	0.00%
36 ~ 40	0	0.00%
41 ~ 45	0	0.00%
46 ~ 50	0	0.00%
51 이상	0	0.00%
합계	19	100.00%

[표 9] 질문2의 응답결과(환경부직원)

구간	빈도	백분율
1 ~ 5	4	21.05%
6 ~ 10	12	63.16%
11 ~ 15	1	5.26%
16 ~ 20	2	10.53%
21 ~ 25	0	0.00%
26 ~ 30	0	0.00%
31 ~ 35	0	0.00%
36 ~ 40	0	0.00%
41 ~ 45	0	0.00%
46 ~ 50	0	0.00%
51 이상	0	0.00%
합계	19	100.00%

## VI. 결론 및 시사점

시화호 정책은 한번 잘못 끼워진 단추로 인해 전체의 균형이 깨어지는 부조화의 연속이라고 할 수 있다. 이러한 시화호 사례를 연구대상으로 상정하여 무책임한 개발로 인한 심각한 오염상황을 극복하고 시화호 주변환경의 균형과 안정을 이끌어내기 위해 가장 적합한 대안이 무엇인지를 모색하고 유사한 개발사례에 정책적 시사점과 교훈을 제시하는 것이 본 연구의 목적이다.

이를 위해 시화호 정책이 실패하게 된 구조적 원인을 인과지도를 통해 고찰해 보고, 현 해수호 정책을 반영하는 여러 정책대안들을 모의실험해 봄으로써 시화호의 오염문제 해결을 위한 대책수립의 방향을 제시하기 위해 세가지 상황을 시뮬레이션 해보았다. 이를 통해 해수유입만으로는 시화호의 오염문제를 해결하는데는 역부족이므로, 오염의 원인이 되는 시화호로의 오염물질의 유입량을 저감하려는 노력이 병행되어야 한다는 시사점을 도출할 수 있었다.

또한 시화호로 유입되는 오염물질의 양을 줄이려는 노력이 전혀 없이, 해수를 유입하여 오염의 심화를 막으려는 시나리오1의 상황조건에서 시화호의 오염수준이 어떻게 변화할 것이라 인지하는지를 테스트해 봄으로써 시뮬레이션 결과와 응답결과 상에는 어느정도의 차이가 있는지를 분석해 보았다. 그 결과 일반시민을 비롯한 환경부 직원들 대부분이 오염

문제를 시뮬레이션 결과보다 심각하지 않게 생각하는 것으로 나타났고, 이러한 낙관적인 인식은 환경부 직원이 더 두드러진 것으로 판단된다.

응답자들이 오염수준에 대해 낙관적으로 인식하는 이유는 오염수준이 수준변수(저량)라는 점을 간과하였기 때문이라고 볼 수 있는데, 왜냐하면 오염물질의 유입량이 계속해서 누적되는 ‘오염수준’이라는 변수는 정화용량의 증대로 인해 오염수준의 유출량이 늘어나더라도 유입량이 줄어들지 않고 계속해서 유지될 경우 시간이 지남에 따라 오염정도가 계속해서 누적되기 때문이다.

오염물질의 양과 오염수준의 변화간의 동태성에 대한 인식의 부족으로 인해 오염문제의 회복을 피실험자들이 상당히 낙관적으로 예측했다고 본다면, 이와 같은 동태성에 대한 인식부족은 제2의 시화호의 사례를 양산할 가능성을 충분히 내포하고 있다고 할 수 있다. 그러므로 시스템 다이내믹스적 관점에서 시화호 사례를 고찰해 봄으로써 개발과 환경간의 상호작용과 수질개선대책과 오염수준의 변화간의 동태적 상호작용에 대한 이해를 증진시키고, 나아가 유사한 개발사례에 장기적이고 총체적인 안목과 통찰력을 제공해 줄 수 있을 것이라 기대한다. 무엇보다도 또다른 개발실패 사례를 미연에 방지하기 위해서는 시화호와 같은 정책실패 사례가 주는 교훈을 깊이 되새겨야 할 것이다.

## [ 참고문헌 ]

- 김성귀 · 이종훈 · 홍장원 · 윤진숙 · 박상우. (2000). 「시화호 주변의 환경개선방안 연구」 한국해양수산개발원.
- 김순정. (1998). 「시화호의 합리적 수질관리를 위한 수질모델링에 관한 연구」 충남대학교 환경공학과 석사학위논문.
- 송하진. (1994). 「정책실패의 제도화에 관한 연구-전북 농공단지 개발정책 사례를 중심으로-」 고려대학교 행정학과 박사학위논문.
- 시화담수호 환경보전 대책 심포지움. (1996). 안산YMCA.
- 시화호수질개선(변경)대책, 관계기관 합동(환경부, 건설교통부, 농림부, 해양수산부, 경기도, 안산시, 시흥시, 화성군, 한국수자원공사). (2000).
- 신재기 · 김동섭 · 조경제. (2000). 시화호에서 해수유입 전 · 후의 수환경 요인과 식물플랑크톤 동태. 「한국환경과학회지」 제9권 제2호.
- 신종이. (1996). 시화호 방류, 우리바다에 어떤 영향을 줄까. 「우리바다」.
- 안상은. (1997). 「시화호의 수질환경과 호수 수질회복방안에 관한 연구」 충남대학교 환경공학과 석사학위논문.
- 이기식. (1994). 「환경정책 결정과정과 언론의 역할-팔당호 골재채취 환경영향평가를 중심으로-」 고려대학교 행정학과 박사학위논문.
- 이현영 · 이승호. (1997). 한국의 대규모 간척사업이 주변의 환경 변화에 미치는 영향. 「대한지리학회지」 제32권 제4호.
- 정부경. (1997). 「정부조직의 학습실패에 관한 연구: 시화호 오염사례를 중심으로」 고려대학교 행정학과 석사학위논문.
- 홍민기 · 이문희 · 김동환 · 최남희. (2000). 지역환경 시스템과 지역경제 시스템간의 동태적 상호작용과 정책실험에 관한 연구. 「국토계획」 제35권 6호.
- 환경운동연합/(사)시민환경연구소. (1996). 바다의날 기념 시화호 수질대책 대토론회자료. \_\_\_\_\_ . (1996). 시화호 방류에 따른 해양생태계 영향조사. 안산시 · 인천시 후원.
- 한국물학술단체연합회. (1996). 시화호 수질대책 대토론회 자료.
- 한국해양수산개발원. (2000). 「시화호 주변의 환경개선방안 연구」
- John D. Sterman, Linda Booth Sweeney. Cloudy skies: assessing public understanding global warming. *System Dynamics Review*. Vol.18, No.2.

[http://kfem.or.kr/wet/cases/siwha\\_b4.html](http://kfem.or.kr/wet/cases/siwha_b4.html)

<http://www.ansannews.co.kr/new/host/shihwa/no1.htm>

<http://www.me.go.kr/>

