

## Article

## 저서오염지수(BPI)를 이용한 시화호 환경평가

이재학\*<sup>1</sup> · 박자양<sup>1</sup> · 이형곤<sup>1</sup> · 박흥식<sup>2</sup> · 김동성<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국해양연구원 생태환경연구본부  
(425-600) 경기도 안산시 안산우체국 사서함 29  
<sup>2</sup>한국해양연구원 해양자원연구본부  
(425-600) 경기도 안산시 안산우체국 사서함 29

## Environmental Assessment of the Shihwa Lake by using the Benthic Pollution Index

Jae-Hac Lee\*<sup>1</sup>, Ja-Yang Park<sup>1</sup>, Hyung-Gon Lee<sup>1</sup>, Heung-Sik Park<sup>2</sup>, and Dongsung Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Ecosystem and Environment Research Laboratory, KORDI  
Ansan, P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea*  
<sup>2</sup>*Marine Resources Laboratory, KORDI  
Ansan, P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea*

**Abstract :** In order to assess the ecological changes induced by organic pollutants of the Shihwa Lake, BPI (Benthic Pollution Index) based on the benthic faunal community was employed. It was modified from Infaunal Trophic Index (ITI), and recommended as a pollution detecting method for the environmental assessment. The BPI values were calculated from the benthos data, which were collected for three terms: in 1980, before the Shihwa Lake was built up; in 1994-1997, which the Shihwa Lake was completely isolated from the outer seawater; in 1997-1999, after inflow of the outer seawater. Since the Shihwa Dike was constructed in February 1994, the pollution intensity of the lake had been increased from the narrow and inner part of the former Gyeonggi Bay and spread fast along the coast line of the Shihwa Lake. Then, in 1996 it showed the very high BPI levels all around the Lake. This serious polluted condition had been lasted till 1997, when the inflow of the seawater was begun. In 1998, from the nearest part of the Shihwa Gate, the BPI levels gradually became low in most area of the Lake, except its inner and narrow part. These greatly lowered BPI levels mean that the seawater inflow could be assumed to affect positively in the lake. Furthermore, BPI gave the same results from the other environmental assessment based on the abundance and the species richness of macrobenthic community. It shows that BPI could be useful as an effective method to assess the marine environment and evaluate the status of environmental conditions.

**Key words :** 환경평가(environmental assessment), 대형저서생물(macrobenthos), 저서오염지수(Benthic Pollution Index), 섭식유형(trophic type).

## 1. 서 론

현재도 끊임없이 진행 중인 연안지역 개발에 있어 보전과의 효율적인 공존체계를 확립하기 위해, 개발에 따른 환

경오염의 방지와 자원의 효과적인 보전 및 관리가 병행되는 객관성을 지닌 감시체계의 필요성이 그 어느 때보다 절실히 요구되고 있다. 이 같은 시점에서 1994년 2월 방조제 물막이 공사를 기점으로 인위적으로 조성된 폐쇄해역인 시화호는 급진전되는 호소의 오염에 따른 생태계의 변화에 따라 긍정적 감시가 수반되는 환경평가의 시급성

\*Corresponding author. E-mail : jahlee@kordi.re.kr

을 절감케 했고, 때맞추어 성장한 범국민적 환경의식 등에 힘입어 현재까지 수년간의 조사가 진행 중이며, 이에 효율적인 환경평가 방식의 선정은 조사연구의 효과증대를 위해 우선 고려되어야 할 과제로 등장했다.

환경변화를 나타내는 생물체를 대상으로 오염지역의 조사와 분석에 적합하도록 실용화 되어있는 생물학적 평가방법을 이용하면, 개발에 따르는 연안 환경파괴나 생태계 변화과정을 파악하고 향후 변화 양상을 가시적인 효과와 더불어 예측할 수 있다. 해양에서도 마찬가지로 생물은 그들의 서식환경이나 섭식유형에 따라 다양한 형태로 살아가고 있으며, 특히 저서환경의 변화는 저서동물군집에 영향을 미치는 까닭에, 생물상 변화의 분석을 통해 환경의 변화를 파악할 수 있다(Gray 1974, 1977, 1981; Hartley 1982). 예를 들어, 퇴적물 저층에 서식처를 마련해 살아가거나 해초나 암반에서 일생동안 고착생활을 영위하는 생물들은 일반적으로 이동성이 매우 적거나 거의 없어 서식지의 환경을 직접적으로 대변할 수 있는 조건을 갖추고 있다. 더욱이 이들은 급속히 진행되는 서식환경의 변화에 재빠른 대응이 불가능하기 때문에, 오염도와 오염경로 파악을 위한 환경변화 감시에 적합한 지표생물로 사용될 수 있다.

특히, 내서군집(infaunal community)을 대상으로 실시되는 환경조사는 군집구성원의 섭식유형을 분석함으로써 군집의 주된 변화 파악이 가능하다는 전제로부터 발단된다. 유기물을 먹이원으로 삼는 생물들의 섭식형태로서 크게 부유물식자(suspension feeder)와 퇴적물식자(deposit feeder)로 대별되는 두 종류의 섭식유형이 저서환경의 변화에 관한 지표를 제공한다는 이유로 관심의 대상이 되었고, 이 같은 이론적인 배경을 바탕으로 환경변화의 수리적 분석방법인 내서식성지수(ITI, Infaunal Trophic Index)가 개발되었다(Word 1978). 이 방식에 따른 환경평가는 비교적 광범위한 지역의 생태학적 분석과 다양한 방식의 시료채집에 따른 결과자료의 분석에 유용하게 적용시킬 수 있는 장점이 있으나, 각 그룹을 규정짓는 섭식형태를 무엇으로 정하는가에 따라 서로 상이한 결과가 도출될 수 있는 가능성까지는 배제할 수는 없다. 따라서, 이 방식의 효율적인 적용을 위해서는 각 생물종의 섭식유형 판별과 각 생물그룹의 섭식유형 분배에 정제된 자료가 바탕이 되어야 함이 전제가 된다.

이(1995)에 의해 연구 적용된 저서오염지수(Benthic Pollution Index) 산출·비교방식은 Word(1978)의 내서동물 식성지수 ITI(Infaunal Trophic Index)를 응용한 오염평가 방법으로서 저서생물의 서식특성을 고려한 환경평가 방법 중 하나이다. 환경오염평가를 위해 저서오염지수(BPI)를 이용한 분석결과는 군집다양도 지수를 이용한 기법(Gray and Mirza 1979), 대수-정규분포 곡선(Gray 1979, 1981; Gray and Pearson 1982), 순위빈도곡선(Fron-

tier 1985), 종-개체수-생체량 곡선(Pearson and Rosenberg 1978), 개체수와 생물량 비교법(Warwick 1986; Warwick et al. 1987; Warwick and Clarke 1994) 등 저서동물상을 대상으로 한 여타 분석방법에 의한 결과와 비교해볼 때, 각 방법의 해석에 기인하는 약간의 차이를 제외하고 모두 유의한 결과를 도출해내고 있음을 보고하고 있다(Lee et al. 1997). 이 같은 결론은 폐쇄기간에 속했던 1994년 6월부터 1995년 3월까지 한국해양연구소가 실시한 시화호 환경조사 보고서에도 피력되고 있다. 즉, 저서생물의 군집변화를 추적하고 폐쇄해역으로 유입된 유기물이 생태계에 미치는 영향을 파악하기 위해 저서오염지수(Benthic Pollution Index)를 이용한 결과 급격한 오염의 진행이 감지되었고, 이는 다른 조사분석방법의 결과와도 매우 유의한 결론을 도출해냈다. 따라서, 저서오염지수는 기존의 평가 기법에서 나타난 여러 가지 단점들을 보완하는 역할을 하였으며, 공간적 개념에서 상대적인 오염 평가 방법으로는 매우 효과적이었음을 기술하고 있음과 동시에 향후, 국내환경에 따른 오염 지시종의 선정과 우점종의 지역적인 생태특성에 관한 연구가 지속되어 보완된다면, 연안환경을 평가하는데 있어 가장 효과적 방법이 될 것으로 판단하고 있다(한국해양연구소 1995).

위와 같은 이론적, 실제적 연구결과를 배경으로 본 연구에서는 저서오염지수(Benthic Pollution Index) 산출·비교방식을 이용하여 수년간 축적된 연구결과 가운데 생물자료를 주축으로 시화방조제 내측의 폐쇄해역 오염실태를 파악하고, 각각의 시기에 실시된 저서생물 군집조사 결과를 비교·분석함으로써, 환경평가에 있어 저서오염지수(BPI)의 적용 타당성 및 효율성을 검증함과 아울러 시화호 폐쇄해역 생태계의 변화를 시·공간적으로 추적했다.

## 2. 연구의 개요 및 시료채취 방법

1994년 2월 시화방조제의 마지막 물막이 공사 이후 3년 동안의 폐쇄기간과 배수감문 조작을 통해 연차별로 차등을 두어 방류가 시행된 1997년 7월부터 1999년까지의 기간 등, 크게 두 시기로 나누어 시화호 내의 동일지역에서 실시된 환경조사 결과를 비교·분석하였다. 이에, 방조제 축조 이전과 이후로 대별되는 시간적 변화와 방조제리는 인위적 교란요인의 발생 전후 환경을 비교하기 위해 외해수와의 접촉이 원활하던 시기인 1980년부터 1981년까지 계절별로 세 차례에 걸쳐 모두 5정점에서 진행됐던 환경조사 결과를 대조자료로 추가·활용했다.

시화방조제가 완공됨으로써 외해와의 해수교환이 완전히 차단된 폐쇄수역 내에 시화호가 생성되었고, 점차로 심화되는 오염의 진행을 막기 위해 담수호화 계획이 파기된 이후로 현재까지 시화호를 포함한 호소 주변지역에서

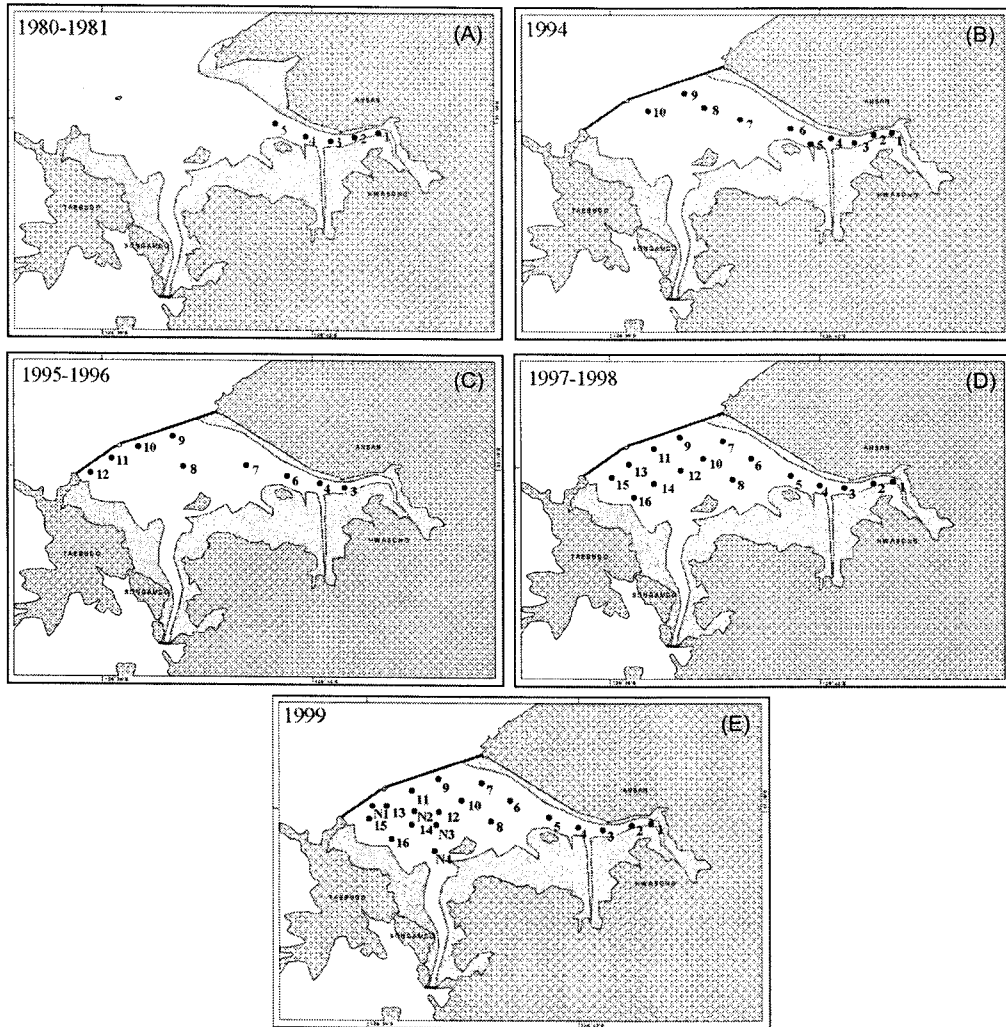


Fig. 1. Station maps of the environmental assessment in Shihwa Lake from 1980 to 1999.

매년 계절별 또는 월별로 시행되고 있는 환경조사 결과 중 수중 저서생물 자료를 바탕으로 폐쇄수역의 환경변화를 연차별로 추적하였다. 1994년 3월부터 계절별로 10정점에서 4차례의 조사가 시행되었으며(Fig. 1-B), 1995년에는 9정점에서 8회, 1996년은 1995년과 마찬가지로 9정점에서 11회(Fig. 1-C), 1997년과 1998년에는 16정점에서 각각 4회와 2회에 걸쳐 진행되었고(Fig. 1-D), 1999년에는 전년도에 비해 4개 정점이 추가되어 모두 3회의 조사가 이루어졌다(Fig. 1-E). 이들 조사를 통해 축적된 자료 중 출현 종 목록 및 저서동물군집 자료들을 바탕으로 출현저서생물의 섭식유형에 따른 정점별 저서오염지수(Benthic Pollution Index)를 산출하였고, 이를 폐쇄해역의 환경평가 및 시·공간적 변화추이를 평가하기 위한 기본 자료로 이용하였다(한국해양연구소 1997, 1998, 1999, 2000).

폐쇄해역의 수권 퇴적물에 서식하는 대형저서생물의 시

료는 저서동물 채집기인 van Veen grab( $0.1\text{ m}^2$ )을 사용하여 조사시기마다 동일한 방법으로 정점당 3회씩 채집하였다. 저서생물이 서식하는 퇴적물은 채집 현장에서 직경 1 mm의 체( $1 \times 1\text{ m}$ )에 거른 다음 잔존물 모두를 해수로 희석한 10% 중성포르말린 용액을 사용하여 고정하였다. 고정된 시료는 실험실로 운반하여 우선 잔존물로부터 생물체를 분리한 후 분류군에 따라 선별하였다. 최종적으로 현미경하에서 동정 계수하고 각 출현종의 생물학적 특성을 고려한 섭식유형 판별결과와 함께 정점별 출현종 목록이 작성되었다.

### 3. 자료분석 및 평가방법

저서동물의 유기물 오염에 대한 반응 정도는 그들의 섭식유형에 따라 다르게 나타난다는 가정하에, 각 정점의 우

점종을 중심으로 저서동물을 4개의 섭식유형군으로 나누고, Word(1978)가 제안한 식성지수공식(ITI)을 응용하여 이들의 섭식형 구조를 1~100 사이의 수치로 나타냈다(한국해양연구소 1995). 이 수치는 저서동물군집의 식생구조를 대별하는데, 즉 낮은 수치는 표층- 또는 내서퇴적물식자가, 높은 수치는 여과식자가 우점하고 있음을 시사함으로써 유기물 오염에 따른 환경의 변화를 간접적으로 나타

Table 1. Five BPI levels with the range of their values.

BPI level	Interval of BPI
I	61-100
II	51-60
III	41-50
IV	31-40
V	0-30

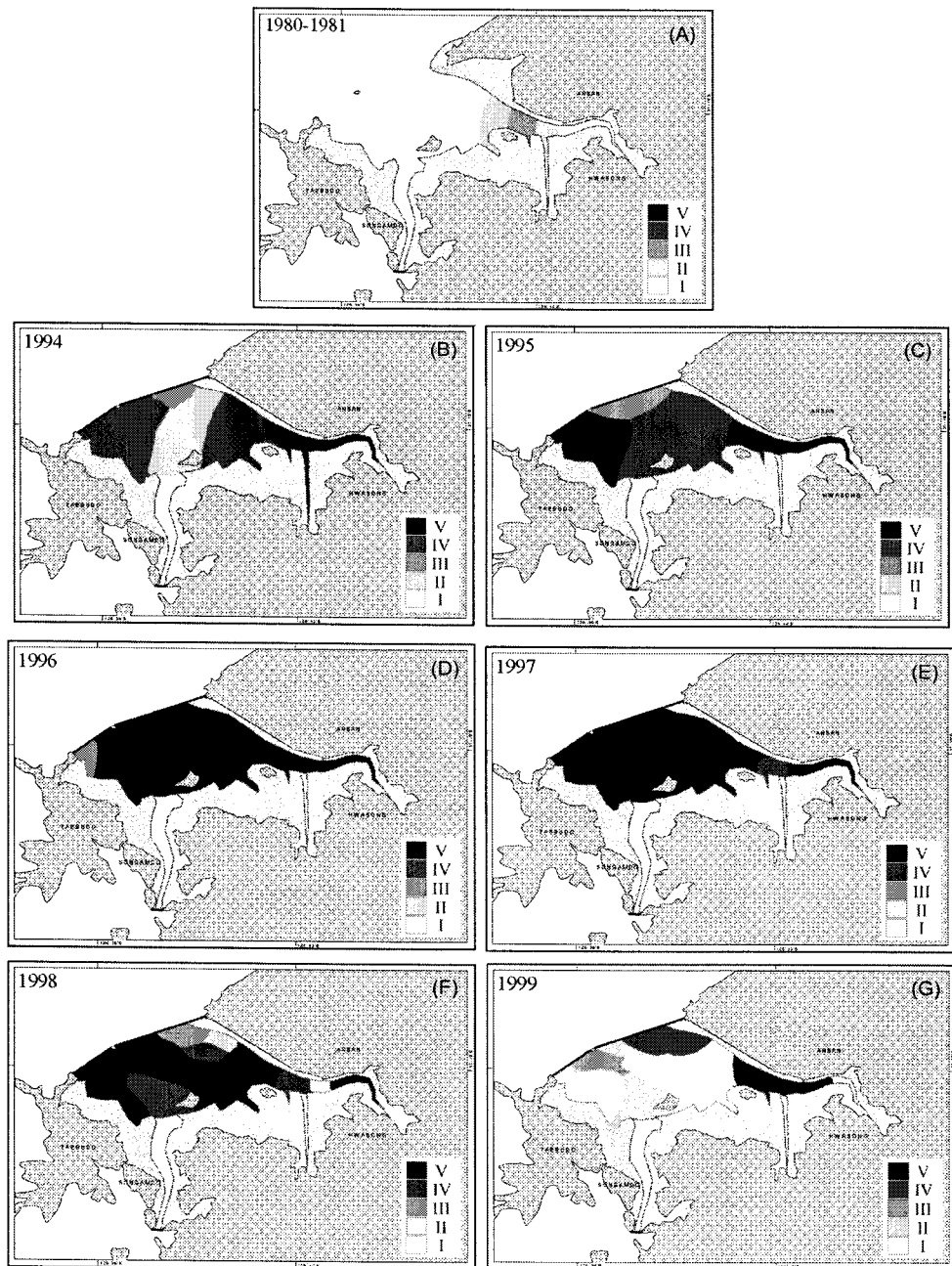


Fig. 2. Chronical changes of the polluting status in Shihwa Lake from 1980 to 1999, based on the BPI index I-V.

내 주는 저서오염지수(Benthic Pollution Index)로 사용하였다.

저서오염지수에 사용되는 종은 지수생물로서 각 정점별 우점종을 선택하였다. 우점종은 각 정점에서의 출현 개체수가 2개체/0.3 m<sup>2</sup> 이상인 종들 가운데 총 개체수에 대한 누적백분율이 대략 90%이내에 속하는 종을 최소 5종 이상 선택하였으며, 출현 종의 수가 5종 미만인 정점에 한해서는 출현한 종 모두를 동일 조사시기의 모든 정점에 고려하였다(Table 4-5). 종 수준까지 동정이 불가능한 개체는 문헌자료를 근거로 속(genus)이나 과(family) 수준의 상위 범주를 규정짓는 생태학적 특성을 고려하였다(Gosner 1971).

유기물 오염의 영향으로 환경에 저해가 생긴 후에는 군집의 조성이 달라지고 천이가 일어나게 되는데, 섭식형과는 무관하게 기회종이 출현하게 된다. 기회종은 유기물 오염에 따른 환경교란의 지시종으로서 역할을 하며, 자료분석을 위해 섭식형 구분에 있어 지시종으로 선택된 우점종은 섭식형과 천이형으로 고려하여 각 그룹별 구성원에 할당하였다. 즉, 제1군에는 여과식자(FE or SF, filter or suspension feeder)와 대형 육식자(CAR-1, carnivores 1)를, 2군에는 표층퇴적물식자(SDF, surface deposit feeder), 소형 육식자(CAR-2, carnivores 2), 그리고 여과식자와 표층퇴적물식을 동시에 하는 동물(filter feeder + surface

deposit feeder)을, 제3군에는 내서퇴적물식자(ssSDF, sub-surface deposit feeder)를, 제4군에는 오염지시종(PI, pollution indicator)을 할당하였다. 위와 같은 방법으로 선택된 지수생물은 섭식형과 유기물에 대한 반응 정도를 바탕으로 4개 군 중 하나에 귀속시켰다.

$$BPI = [1 - (0N_1 + 1N_2 + 2N_3 + 3N_4) / 3 \cdot (N_1 + N_2 + N_3 + N_4)] \times 100$$

N<sub>1</sub>: 제1군의 개체수

N<sub>2</sub>: 제2군의 개체수

N<sub>3</sub>: 제3군의 개체수

N<sub>4</sub>: 제4군의 개체수

한 조사시기의 각 정점별 BPI값을 구하고, 동일정점에서의 연도별 BPI 평균값을 조정했다. BPI지수의 비교를 용이하게 하기위해 1~100까지의 BPI 수치를 Table 1에서와 같이 임의의 5단계로 나누고, 구해진 BPI 평균값을 각각 5단계의 BPI-level로 나타냈다. 이렇게 구해진 BPI 등급 자료를 바탕으로, 시화호 전역에 걸친 오염도 구배 실태를 연도별로 도식화하였다(Fig. 2).

한편, 각 시기별 군집조사결과 가운데 저서생물군집의 평균서식밀도와 출현종수의 변화를 BPI 산출결과와 비교

Table 2. Annual variation of BPI levels (Benthic Pollution Index) at each station in the Shihwa Lake from 1980 to 1999.

Station	80-81	94	95	96	Station	97	98	99
1	I	V			1	V	V	
2	I	V			2	V	V	V
3	II	V	V	V	3	V	I	V
4	III	V	V	V	4	IV	IV	V
5	II	IV			5	V	V	V
6		V	V	V	6	V	V	I
7		IV	IV	V	7	V	II	IV
8		II	IV	V	8	V	V	I
9		III	III	V	9	V	III	IV
10		IV	III	V	10	V	IV	I
11			V	V	11	V	V	II
12			V	III	12	V	V	I
					13	V	V	III
					14	V	IV	I
					15	V	V	I
					16	V	V	I
					N1			II
					N2			III
					N3			II
					N4			II

함으로써, BPI 산출방식에 따른 환경평가의 결과도출의 효율성을 가시화 했다.

#### 4. 결과 및 고찰

1994년 2월의 시화방조제 완공은 이로 인해 폐쇄된 군자만 즉, 시화호 생태환경의 급변을 초래했고, 과중되는 오염의 진행을 막기 위해 1997년 3월 방조제 배수갑문을 통한 시험방류가 시행되었으며, 같은 해 7월부터 현재까지 꾸준한 방류량의 증가와 함께 외해수의 유통이 이루어지고 있다. 저서오염지수(BPI)를 이용한 저서생물 군집변화의 분석은 오늘날의 폐쇄해역인 시화호가 외해와의 접촉이 자연 그대로 원활했던 시기인 1980년과, 방조제 축조로 인해 외해수와의 교류가 완전히 차단되었던 시기인 1994년 2월부터 1997년까지 3년간의 시기, 그리고 1997년 3월 이후로부터 1999년까지 외해수의 유통이 재개된 이후 등 모두 세 시기로 나누어 진행됐다(Table 2).

외해와의 해수 유통이 원활했던 시기인 1980-81년에 육지로부터 우염도가 위치한 주변해역까지 좁은 내만의 5점 점에서 계절별로 세 차례에 걸쳐 조사가 수행되었다. 그 결과 저서오염지수의 4,5 등급을 제외한 세 개 등급만이 나타났으며, 이는 전반적으로 현저히 낮은 오염도를 보여주는 것으로 이 시기, 즉 시화방조제의 축조 이전의 경기내만은 육지 깊숙한 지역까지 청정했음을 말해준다(Table 2). 이 시기의 출현종 조성과 비율을 살펴보면, 4가지의 식성그룹이 비교적 고르게 출현하고 있는데 반해, 4군에 해당하는 오염지수종은 드물게 등장했다. 또한, 최우점종의 출현 양상이 계절에 따라 특징적으로 나타남으로

서, 서식종의 자연적인 생물학적 특성을 대변해준다. 다모류에 속하는 *Notomastus* sp.의 경우 계절변화와 무관하게 상위 우점종 서열에서 등장했으며, 종뿔(*Musculista senhousia*)과 단각류 종(*Corophium* sp.)은 각각 하절기와 추동철에 최적 번식기를 맞아 대량으로 출현했다. 이처럼 1980년대 초의 경기내만은 생물들의 자연적 특징이 있는 그대로 반영된 서식환경이 유지되고 있었음을 알 수 있다(Table 4).

Table 3. Seasonal comparison of BPI levels (Benthic Pollution Index) at each station in March and June 1998.

Station	March	June
1		V
2	V	V
3		I
4	V	I
5	V	V
6	IV	V
7	II	III
8	V	V
9	V	I
10	V	I
11	V	V
12	V	III
13	V	V
14	V	II
15	III	V
16	V	IV

Table 4. The lists of dominant species occurred in 1980-81.

Species	Feeding type	Station					Abundance	
		1	2	3	4	5	inds./m <sup>2</sup>	%
<i>Notomastus</i> sp.	3	47	56	66	214	9	1307	35.4
<i>Musculista senhousia</i>	1	149	64			1	713	19.4
<i>Pseudopolydora</i> sp.	4	21	50	1	1		243	6.6
<i>Anisorbula of venusta</i>	1	66					220	6.0
<i>Tharyx</i> sp.	2				8	32	133	3.6
<i>Laonome tridentata</i>	1					35	117	3.2
<i>Ophioglycera</i> sp.	2	1	2	3	9	7	73	2.0
<i>Ancistrosyllis hamaokai</i>	2	13	7	1			70	1.9
<i>Prionospio cirrifera</i>	2	18	3				70	1.9
<i>Balcis</i> sp.	2				20		67	1.8
<i>Eteone japonensis</i>	2	14	2		2		60	1.6
<i>Gattyana</i> sp.	1	14	2		2		60	1.6
<i>Bivalvia</i> indet. 14	1				17	1	60	1.6
<i>Sternaspis scutata</i>	3		1		11	3	50	1.4
<i>Chone</i> sp.	1					14	47	1.3

Table 4. Continued.

Oct-80		Station					Abundance	
Species	Feeding type	1	2	3	4	5	inds./m <sup>2</sup>	%
<i>Corophium</i> sp.	2		947		29		3253	61.2
<i>Notomastus</i> sp.	3	20	23	84	52	18	657	12.4
<i>Sternaspis scutata</i>	3	5	1	4	27	37	247	4.6
<i>Nephtys</i> sp.	1	29				29	193	3.6
<i>Tharyx</i> sp.	2	1		35		6	140	2.6
<i>Allopeas cf. Pyrgula</i>	1			35		1	120	2.3
<i>Amaeana trilobata</i>	2					15	50	0.9
<i>Loimia</i> sp.	2	13					43	0.8
<i>Tritodynamia ratbun</i>	2	9				4	43	0.8
<i>Brachyura</i> indet. 3	2	12					40	0.8
<i>Lagis bocki</i>	3	11					37	0.7

Feb-81		Station					Abundance	
Species	Feeding type	1	2	3	4	5	inds./m <sup>2</sup>	%
<i>Corophium</i> sp.	2			238			793	34.7
<i>Notomastus</i> sp.	3	3	7	18	12	142	607	26.6
<i>Nephtys</i> sp.	1	3	6	7	2	19	123	5.4
<i>Ophioglycera</i> sp.	2	6	3	4	2	10	83	3.7
<i>Prionospio cirrifera</i>	2	6	8	10		1	83	3.7
<i>Sternaspis scutata</i>	3		2	6	6	6	67	2.9
<i>Bivalvia</i> indet. 13	1	15		1			53	2.3
<i>Pseudopolydora</i> sp.	4	3	6	5			47	2.1
<i>Balanus albicostatus</i>	1			13			43	1.9
<i>Cirripecta</i> indet. I	1	13					43	1.9
<i>Tharyx</i> sp.	2				7	5	40	1.8
<i>Musculista senhousia</i>	1	5	6	1			40	1.8
<i>Nectoneanthes oxypoda</i>	1	3	3	4			33	1.5
<i>Balauns reticulatus</i>	1		10				33	1.5

시화방조제로 인해 외해수와의 격리가 시작된 1994년 2월부터 1996년 말까지 지역별 BPI 등급의 구배를 살펴보면, 이전 1980년의 결과와는 달리 3년간의 폐쇄기간동안 1등급은 찾아볼 수 없으며, 1994년에 육지와는 멀리 떨어진 방조제 부근 정점에서 2-4등급이 나타났다. 1995년에는 방조제 부근까지도 높은 오염도를 보이고 있고, 배수갑문 개방 결정 직전인 1996년의 결과에서는 거의 모든 정점에서 심각한 오염정도를 나타내고 있었다. 특히 80-81년에 매우 낮은 오염도를 보여주었던 내만 깊이 자리한 정점 지역에서 1994년 이후 모두 오염도의 최고치인 5등급을 나타냈다.

시화방조제의 마지막 물막이 공사 직후인 1994년 3월 조사에서는 해역폐쇄로 인한 생태계의 교란이 아직 본격적으로 나타나고 있지 않았으나, 3개월 후인 6월조사 결과에 의하면 내만 깊숙한 지역으로부터 진행되는 담수화의 영향으로 해양 및 기수생물의 출현이 눈에 띄게 감소

하고 있었다(Table 5). 이 시기가 지나고 1994년 12월부터는 기회우점종 즉, 오염지시종인 다모류의 등가시버들갯지렁이(*Capitella capitata*)와 긴얼굴갯지렁이 속류(*Polydora* sp.), 그리고 단각류 중(*Corophium* sp.) 등 몇몇 종들의 두드러진 우점현상이 폐쇄기간동안 지속적으로 나타남으로써, 최고오염도 등급인 5등급의 저서오염도 산출과 맥을 같이한다.

1997년 4차례의 계절별 조사 결과에 따른 BPI등급 구배를 보면, 전년도 못지않은 매우 높은 오염도가 전 폐쇄해역에 걸쳐 나타나고 있다. 이 같은 현상은 배수갑문의 운영을 통한 방류는 1997년 중반부터 시작되었으나 초기 방류량이 250-500만 m<sup>3</sup>/회에 불과했음을 고려해 볼 때, 해역 폐쇄로 인해 심하게 오염됐던 내해수가 소량의 방류를 통한 외해수와의 교환으로 오염도를 낮추기에는 시기상조였음과 동시에 역부족이었음을 시사하는 것이다.

1997년 12월부터 1998년 3월까지 배수갑문의 조석주기

Table 5. The lists of dominant species occurred in 1994-99.

Mar-94		Station										Abundance	
Species	Feeding type	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	inds./m <sup>2</sup>	%
<i>Heteromastus</i> sp.	3	1		1		3		2		10		57	12.8
<i>Potamocorbula cf. ustulata</i>	1		8		5							43	9.8
<i>Nephtys oligobranchia</i>	2	5			1	3			2	1		40	9.0
Glycindae unid.	1			1		6		1		2		33	7.5
<i>Macrophthalmus japonicus</i>	2		6	1		2				1		33	7.5
<i>Mactra veneriformis</i>	1					7						23	5.3
<i>Aricidea</i> sp.	2	2				2		1		2		23	5.3
<i>Nassarius festivus</i>	1					5				1		20	4.5
<i>Scolelepis</i> sp.	2					4		1				17	3.8
<i>Amaeana</i> sp.	2							4				13	3.0
<i>Chaetozone spinosa</i>	2							2	1			10	2.7
<i>Glycera chirori</i>	1	1			1						1	10	2.7
<i>Magelona</i> sp.	2					3						10	2.7
<i>Asthenognathus inaequipes</i>	2								3			10	2.7
<i>Protankyra bidentata</i>	2						1		1	1		10	2.7
Nemertina unid.1	1				1			1	1			10	2.7
<i>Laonome</i> sp.	1		2									67	1.5
<i>Nectoneanthes oxypoda</i>	1		2									67	1.5
<i>Prionospio japonicus</i>	2	1			1							67	1.5
<i>Sternaspis scutata</i>	3							2				67	1.5

Jun-94		Station										Abundance	
Species	Feeding type	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	inds./m <sup>2</sup>	%
<i>Nephtys oligobranchia</i>	2					4		1	24	8		123	14.9
<i>Polydora</i> sp.	4				13	1	13	2			2	103	12.5
<i>Potamocorbula cf. ustulata</i>	1	9	16									83	10.0
<i>Upogebia major</i>	2					1				17		60	7.2
<i>Prionospio japonicus</i>	2								11	6		57	6.8
Mysid unid.	1								5	12		57	6.8
<i>Heteromastus</i> sp.	3					5		1	2		4	40	4.8
<i>Glycera chirori</i>	1					2			5		1	27	3.2
<i>Tharyx</i> sp.	2					7	1					27	3.2
<i>Protankyra bidentata</i>	2					6		1				23	2.8
<i>Capitella capitata</i>	4				5				1			20	2.4
Glycindae unid.	1						2			4		20	2.4
<i>Chaetozone setosa</i>	2					3			1			13	1.6
Nemertina unid.1	1					2		1			1	13	1.6
<i>Borniopsis tsurumaru</i>	1								3			10	1.2
<i>Nitidotellina</i> sp.	2								3			10	1.2
<i>Diopatra sugokai</i>	1						1	1	1			10	1.2
<i>Mediomastus</i> sp.	3								3			10	1.2
<i>Asthenognathus inaequipes</i>	2					1		2				10	1.2
<i>Macrura</i> juv.	1		3									10	1.2
<i>Ophiactis</i> sp.	1										3	10	1.2





Table 5. Continued.

Jul-95		Station									Abundance	
Species	Feeding type	3	4	6	7	8	9	10	11	12	inds./m <sup>2</sup>	%
<i>Polydora ligni</i>	4					1	254				850	53.6
<i>Capitella capitata</i>	4				3		88				303	19.1
<i>Sigambra</i> sp.	2						59	1			200	12.6
<i>Cirrophorus furcatus</i>	2						18		1		63	4.0
<i>Tharyx</i> sp.	2						15				50	3.2
<i>Heteromastus</i> sp.	3					1	10				37	2.3
<i>Theora fragilis</i>	4						6				20	1.3
<i>Aricidea assimilis</i>	2						2	3			17	1.1
<i>Musculista senhousia</i>	1						4				13	0.8
Gastropoda unid.	1						2				7	0.4
<i>Tapes pilippinarum</i>	1									2	7	0.4
Hesionidae unid.	2						1				3	0.2
<i>Neanthes succinea</i>	1						1				3	0.2
<i>Prionospio</i> sp.	2						1				3	0.2
<i>Corophium sinense</i>	2									1	3	0.2
<i>Pitar indescoroides</i>	1						1				3	0.2

Aug-95		Station									Abundance	
Species	Feeding type	3	4	6	7	8	9	10	11	12	inds./m <sup>2</sup>	%
Mysidacea unid.	1						1				3	100

Sep-95		Station									Abundance	
Species	Feeding type	3	4	6	7	8	9	10	11	12	inds./m <sup>2</sup>	%
<i>Corophium sinense</i>	2						7				23	100

Oct-95		Station									Abundance	
Species	Feeding type	3	4	6	7	8	9	10	11	12	inds./m <sup>2</sup>	%
<i>Corophium sinense</i>	2				68	11	2644	18			9137	99.7
<i>Sigambra</i> sp.	2						2				7	0.1
Cirratullidae unid.	2						1				3	0.04
<i>Heteromastus</i> sp.	3						1				3	0.04
<i>Pseudopolydora kempfi</i>	4					1					3	0.04

Nov-95		Station									Abundance	
Species	Feeding type	3	4	6	7	8	9	10	11	12	inds./m <sup>2</sup>	%
<i>Corophium sinense</i>	2		126	81	1820	4775	1658	27	2		28297	99.9
<i>Pseudopolydora kempfi</i>	4						6				20	0.1
Mysidacea unid.	1		2	1			1				13	0.1
<i>Sigambra</i> sp.	2						1				3	0.01
<i>Tapes pilippinarum</i>	1						1				3	0.01

Dec-95		Station									Abundance	
Species	Feeding type	3	4	6	7	8	9	10	11	12	inds./m <sup>2</sup>	%
<i>Corophium sinense</i>	2				460	2125	11	17			8710	99.5
<i>Pseudopolydora kempfi</i>	4					5	1				20	0.2
Capitellidae unid.	2								3		10	0.1
<i>Neanthes succinea</i>	1						1				3	0.04
Mysidacea unid.	1					1					3	0.04
<i>Pitar indescoroides</i>	1						1				3	0.04

Table 5. Continued.

Feb-96		Station										Abundance	
Species	Feeding type	3	4	6	7	8	9	10	11	12	inds./m <sup>2</sup>	%	
<i>Neanthes succinea</i>	1						1				3	50.0	
<i>Sigambra</i> sp.	2						1				3	50.0	
Mar-96		Station										Abundance	
Species	Feeding type	3	4	6	7	8	9	10	11	12	inds./m <sup>2</sup>	%	
<i>Corophium sinense</i>	2				1	2	4			7	3	70	
<i>Polydora ligni</i>	4									3	10	15	
Cumacea unid.	1									1	3	5	
<i>Tapes pilippinarum</i>	1									1	3	5	
<i>Lineus</i> sp.	1		1								3	5	
Apr-96		Station										Abundance	
Species	Feeding type	3	4	6	7	8	9	10	11	12	inds./m <sup>2</sup>	%	
<i>Corophium sinense</i>	2					1	2			2	17	83.3	
Mysidacea unid.	1								1		3	16.7	
May-96		Station										Abundance	
Species	Feeding type	3	4	6	7	8	9	10	11	12	inds./m <sup>2</sup>	%	
<i>Polydora ligni</i>	4						1092	3			3650	83.8	
<i>Capitella capitata</i>	4						137			2	463	10.6	
<i>Pseudopolydora kempfi</i>	4						50				167	3.8	
<i>Neanthes japonica</i>	1						17				57	1.3	
<i>Heteromastus</i> sp.	3						4				13	0.3	
<i>Neanthes succinea</i>	1						1				3	0.1	
<i>Sigambra</i> sp.	2						1				3	0.1	
Jun-96		Station										Abundance	
Species	Feeding type	3	4	6	7	8	9	10	11	12	inds./m <sup>2</sup>	%	
<i>Polydora ligni</i>	4						1582				5273	77.4	
<i>Pseudopolydora kempfi</i>	4						379	1			1267	18.6	
<i>Corophium sinense</i>	2			1			70	1			240	3.5	
<i>Capitella capitata</i>	4						4				13	0.2	
<i>Neanthes succinea</i>	1						4				13	0.2	
<i>Neanthes japonica</i>	1									1	3	0.1	
Mysidacea unid.	1						1				3	0.1	
Zoea juv.	1							1			3	0.1	
Jul-96		Station										Abundance	
Species	Feeding type	3	4	6	7	8	9	10	11	12	inds./m <sup>2</sup>	%	
<i>Polydora ligni</i>	4						287	1			960	80.2	
<i>Corophium sinense</i>	2				1		34				117	9.8	
<i>Capitella capitata</i>	4						16				53	4.5	
<i>Pseudopolydora kempfi</i>	4						6				20	1.7	
Mysidacea unid.	1						3	1			13	1.1	
<i>Sigambra</i> sp.	2									3	10	0.8	
<i>Heteromastus</i> sp.	3						2				7	0.6	
<i>Neanthes japonica</i>	1									2	7	0.6	
<i>Neanthes succinea</i>	1								1	1	7	0.6	
<i>Goniada japonica</i>	2									1	3	0.3	

Table 5. Continued.

Aug-96		Station										Abundance	
Species	Feeding type	3	4	6	7	8	9	10	11	12	inds./m <sup>2</sup>	%	
<i>Polydora ligni</i>	4						861				2870	45.0	
<i>Capitella capitata</i>	4						514				1713	26.9	
<i>Pseudopolydora kempfi</i>	4						361				1203	18.9	
<i>Corophium sinense</i>	2						19			116	450	7.1	
<i>Neanthes succinea</i>	1						25				83	1.3	
<i>Balanus</i> sp.	1						1				3	0.1	
Pycnogonida unid.	1						1				3	0.1	
Zoea juv.	1					1					3	0.1	

Sep-96		Station										Abundance	
Species	Feeding type	3	4	6	7	8	9	10	11	12	inds./m <sup>2</sup>	%	
<i>Corophium sinense</i>	2									1639	5463	77.7	
<i>Polydora ligni</i>	4						375			11	1287	18.3	
<i>Neanthes succinea</i>	1						39				130	1.9	
Mysidacea unid.	1			1	3	5	14			2	83	1.2	
<i>Capitella capitata</i>	4						7				23	0.3	
<i>Heteromastus</i> sp.	3						1				3	0.1	
<i>Balanus</i> sp.	1									1	3	0.1	
Chitonida unid.	2		1								3	0.1	

Oct-96		Station										Abundance	
Species	Feeding type	3	4	6	7	8	9	10	11	12	inds./m <sup>2</sup>	%	
<i>Corophium sinense</i>	2		10	382	170	140	124	2		1139	6557	69.3	
<i>Pseudopolydora kempfi</i>	4		19	1	11	4	397			35	1557	16.5	
<i>Polydora ligni</i>	4		27	1	4		129			52	710	7.5	
Mysidacea unid.	1		5	41	25	5	11	4	47	4	473	5.0	

Nov-96		Station										Abundance	
Species	Feeding type	3	4	6	7	8	9	10	11	12	inds./m <sup>2</sup>	%	
<i>Corophium sinense</i>	2		128	256	1141	2918	90	103		843	18263	51.5	
<i>Pseudopolydora kempfi</i>	4		59		200	1645	1562	480		202	13827	39.0	
<i>Polydora ligni</i>	4		46		61	333	197	83		69	2630	7.4	
<i>Neanthes succinea</i>	1		2		54	20	4			2	273	0.8	
Mysidacea unid.	1		3		17	11	17	9	11	9	257	0.7	

Dec-96		Station										Abundance	
Species	Feeding type	3	4	6	7	8	9	10	11	12	inds./m <sup>2</sup>	%	
<i>Corophium sinense</i>	2	252	82	59	383	2532	19	6		136	11563	49.2	
<i>Pseudopolydora kempfi</i>	4	132	87	26	1275	709	497	1		55	9273	39.5	
<i>Polydora ligni</i>	4	122	83		99	87	51			18	1533	6.5	
Mysidacea unid.	1	24	21	14	47	8	35	62	8	39	860	3.7	

에 따른 상시개방으로 방류 초기에 비해 배가된 방류를 통해 외해수를 유통시킨 후 1998년 3월에 조사가 있었고,

동년 3월부터 배수갑문 조작관리규정 수정안에 의거하여 1회에 1,300-2,300만 m<sup>3</sup>를 방류하게 됨에 따라 방류초기

Table 5. Continued.

		Station																Abundance	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	inds./m <sup>2</sup>	%
<b>Mar-97</b>																			
Species	Feeding type	0	10	1610	20	99	782	1690	0	1139	4330	855	5966	0	10478	284	5082	107811	53.4
<i>Pseudopolydora kempfi</i>	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Corophium sinense</i>	2	0	0	0	23	449	591	479	0	489	2389	1350	1650	13	894	215	3554	40315	20.0
<i>Polydora ligni</i>	4	0	0	2287	3.3	109	792	172	0	139	1092	439	2666	0	2468	1449	162	39259	19.4
<i>Sternaspis scutata</i>	3	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0.01
<b>Jun-97</b>																			
Species	Feeding type	0	0	0	0	0	515	0	2145	0	0	0	139	0	0	0	1244	13475	32.8
<i>Pseudopolydora kempfi</i>	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	8338
<i>Corophium sinense</i>	2	0	0	0	13	0	3	1148	0	1158	0	142	0	0	0	0	320	7073	17.2
<i>Capitella capitata</i>	4	0	0	0	0	0	205	1069	0	221	0	307	0	0	0	0	0	0	5929
<i>Balanus albicostatus</i>	1	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	1769	0	0	0	0	0	0	2948
Mysidacea unid.	1	0	0	53	3	13	591	7	7	36	17	43	3	3	0	109	0	0	7.2
<i>Neanthes succinea</i>	1	0	0	17	66	0	56	0	0	7	0	56	0	0	0	3	682	1.7	0.9
<i>Musculista senhousia</i>	1	0	0	0	0	0	0	40	0	20	0	30	0	3	0	17	363	0.9	0.1
Gobiidae unid.	1	7	0	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	44	0.1	0.03
<i>Macoma</i> sp.	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	11	0.03	0.02
<b>Sep-97</b>																			
Species	Feeding type	0	0	0	0	0	0	122	0	0	0	0	0	0	0	0	0	407	32.2
<i>Pseudopolydora kempfi</i>	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31.3
<i>Capitella capitata</i>	4	0	0	0	0	0	0	119	0	0	0	0	0	0	0	0	0	396	28.7
<i>Polydora ligni</i>	4	0	0	0	0	0	0	109	0	0	0	0	0	0	0	0	0	88	7
<i>Neanthes succinea</i>	1	0	0	0	0	0	0	26	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0.9	0.02
Mysidacea unid.	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0.31
<i>Sternaspis scutata</i>	3	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02
<b>Dec-97</b>																			
Species	Feeding type	0	0	2204	3	3	0	4910	0	15127	231	762	0	3	472	4277	5247	110803	58.7
<i>Polydora ligni</i>	4	0	0	0	0	0	0	10771	0	0	0	0	0	3	950	449	40579	21.5	18.8
<i>Pseudopolydora kempfi</i>	4	0	0	0	0	0	0	2211	0	6531	13	0	3	7	43	403	35508	0.6	0.01
<i>Neanthes succinea</i>	1	0	33	1307	10	0	92	310	0	26	0	0	0	0	0	10	1155	0.6	0.01
<i>Capitella capitata</i>	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0.01	0.01
Gobiidae unid.	1	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01

Table 5. Continued.

		Station																Abundance				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	inds./m <sup>2</sup>	%			
Species	Feeding type																					
<b>Mar-98</b>																						
<i>Polydora ligni</i>	4	0	0	568	26	0	23	49451	85378	167693	20698	11053	0	0	101587	21384	122918	1935827.67	96			
<i>Pseudopolydora kempfi</i>	4	0	0	0	0	0	0	6653	2587	0	0	0	0	3	1478	211	1109	40139	2			
<i>Neanthes succinea</i>	1	0	0	1399	40	0	502	2798	33	109	3	0	0	0	0	634	6072	38632	1.9			
<i>Balanus albicostatus</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	376	20	0	0	0	0	0	0	0	1320	0.1			
<i>Corophium sinense</i>	2	3	0	10	0	3	7	0	0	3	0	0	0	0	3	30	10	231	0.01			
<i>Capitella capitata</i>	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	3	0	44	0.002			
<b>Jun-98</b>																						
Species	Feeding type	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	inds./m <sup>2</sup>	%			
<b>May-99</b>																						
<i>Neanthes succinea</i>	1	0	0	261	0	0	0	861	1577	1739	0	0	0	0	1178	0	257	19580	49			
<i>Polydora ligni</i>	4	0	0	0	0	0	0	921	746	1092	0	0	3	0	809	0	716	14289	35.8			
<i>Theora fragilis</i>	4	0	0	0	0	0	0	0	43	13	0	0	0	0	320	0	323	2332	5.8			
<i>Balanus albicostatus</i>	1	0	0	26	155	0	0	56	23	198	26	0	0	0	0	0	63	1826	4.6			
<i>Potamocorbula amurensis</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	175	583	1.5			
<i>Corophium sinense</i>	2	0	0	0	0	0	0	20	0	30	0	3	0	0	0	0	3	187	0.5			
<i>Gammaropsis</i> sp.	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	11	0.03			
<b>May-99</b>																						
Species	Feeding type	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	N1	N2	N3	N4	inds./m <sup>2</sup>	%
<i>Corophium sinense</i>	2	1007	1	2		10	1	1	1	8	103	60	897	711	298						10333	27
<i>Neanthes succinea</i>	1	94	114	93		15	138	367	11	194	78	222	12	245	259	104	24	2	151	376	8330	21.8
<i>Ruditapes philippinarum</i>	1		3				21	3		5	74	10	344	1785	185	19				10	8197	21.5
<i>Polydora ligni</i>	4	579	336	91			732	24	8	21	2	2	3	20	45		94	2			6530	17.1
<i>Musculista senhousia</i>	1	3	2	1				1	9			44	2	48	115	45				1	903	2.4

Table 5. Continued.

		Station																Abundance				
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	N1	N2	N3	N4	inds./m <sup>2</sup>	%
<b>Oct-99</b>																						
Species	Feeding type																					
<i>Ruditapes philippinarum</i>	1								4		226	180	397	7324	10	2	8	9	27200	77.8		
<i>Neanthes succinea</i>	1	1		1			194	2	126		122	1	9	3			1	39	1663	4.8		
<i>Musculista senhousia</i>	1						1				78	1	10	10	250		2		1173	3.4		
<i>Heteromastus filiformis</i>	3						1			1	44	71	76	7	28	3	20	2	843	2.4		
<i>Glycinde</i> sp.	1				1				2		14	1	6	13	107	5	8	3	533	1.5		
<i>Polydora ligni</i>	4	2	1					4	3	5					2		1		60	0.2		
<b>Dec-99</b>																						
Species	Feeding type																					
<i>Musculista senhousia</i>	1				1		519	2	17		227	12	2027	640	257	981	439	140	17540	39.8		
<i>Ruditapes philippinarum</i>	1						171	16	4		216	2	168	473	1998	977	431	13	14897	33.8		
<i>Polydora ligni</i>	4	406	193	5	38	7	9	11	191	157	21	1		6		6			3503	8		
<i>Neanthes succinea</i>	1	105	11	2	1	207	131	240	17	43	120	68	4	17		35	1	15	3390	7.7		
<i>Theora fragilis</i>	4							1	2	50	35	72	4	8	4	7	5	76	880	2		

인 1997년에 비해 현격히 증가한 외해수의 유통이 있은 후 같은 해 6월 또 한 차례의 조사가 시행되었다. 1998년 두 번에 걸친 조사결과에 의하면, 3월에는 거의 모든 조사 정점에서 나타나는 BPI 등급 구배는 대부분 지역에서는 전년도와 거의 같거나 대차를 보이지 않았으나, 담수원으로부터의 유입수가 도달하며 유기물 퇴적량이 시화호 중심부에서 보다 낮은 수치(한국해양연구소 1999)를 보이는 지역인 시화공단지역 앞에 위치한 정점 6과 7에서는 BPI 등급이 다소 상승하는 경향을 보이고 있었다. 한편, 6월의 결과를 보면, 특히 방조제 부근지역의 정점들에서 오염지수의 두드러진 강화 현상이 나타나고 있으며, 이 같은 현상은 때 맞춰 늘어난 해수 유통량과 무관하지 않은 것으로 생각된다(Table 3).

해수유통의 재개 3년째로 접어드는 1999년에는 늦봄, 가을, 겨울 등 계절별로 세 차례의 조사가 있었다. 예전의 청정구역이던 경기내만 심부 즉, 시화호 안쪽에 위치한 정점들에서는 배수갑문을 통한 외해수의 유통과는 거의 무관하게 여전히 심각한 오염 상황이 지속되고 있으나, 방조제로부터 우음도와 정도를 가로 잇는 선상까지의 시화호 중심부에 위치한 정점들에서는 배수갑문 개방 1,2차년 조사에서와는 달리 BPI 등급이 뚜렷하게 향상되었음이 나타났다. 이 같은 폐쇄해역 생태계의 회복 추이는 2000년과 2001년에 연이어 실시된 생태조사결과와 저서생물 출현종 목록에 폐쇄기간동안 완전히 자취를 감추었던 해양 저서생물종이 재등장함으로써 확인되고 있다(한국수자원공사 2002).

한편, 동일시기 저서생물군집의 평균서식밀도와 출현종수에 따른 환경변화를 살펴보면, BPI에 근거한 환경변화결과와 매우 유사한 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다. 1980-81년과 시화 방조제 마무리 공사 직후인 1994-95년도 조사결과를 비교에서, 평균서식밀도에 비해 매우 높은 출현종수를 기록하고 있으며, 이는 당시의 매우 건강한 경기만 일대의 해양생태계를 대변해 주는 간접적인 지표라 할 수 있다. 같은 맥락에서, 1994년 여름까지 다양한 생물종의 고른 출현분포를 볼 수 있었음에 반해, 1994년 가을 이후 1995년부터 본격적으로 나타난 급격한 출현종수의 격감 역시 병들어 가는 시화호 생태환경을 반증해 주는 결과로 파악될 수 있다(Fig. 3).

시화방조제에 설치된 배수갑문을 통해 해수유통이 개시된 1997년 봄부터 약간의 출현종수의 증가를 나타내고 있으나, 출현종수에 비해 월등히 높은 비율로 증가추세를 나타낸 평균서식밀도는 갑작스런 해수유통의 개시시기와 맞물려 배수갑문 주변으로부터 기회우점종을 필두로 다시 활성화되고 있는 것으로서, 시화호 내 해양생태계의 점진적 회복을 시사한다. 이 시기에 다모류(Polychaeta)에 속하는 *Polydora ligni*와 단각류(Amphipoda)에 속하는

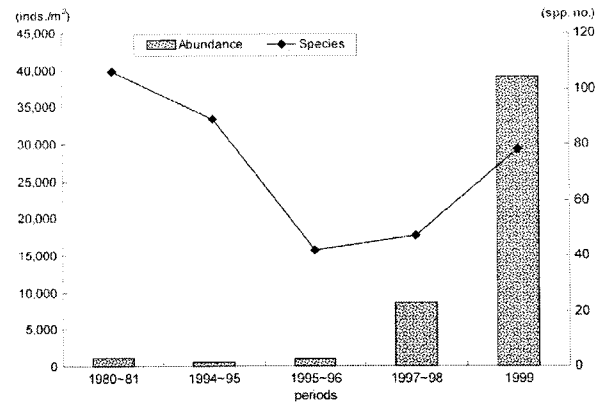


Fig. 3. Temporal changes of abundance and species number of macrobenthos from 1980 to 1999.

*Corophium sinense*가 기회우점종으로 수 년 간 등장하고 있으며, 계절 및 시화호 내 수환경의 오염도 변화에 따른 비주기적 변동이 관찰된다. 이것은 해수유통 이후 수환경의 점진적인 회복세에도 불구하고 여전히 불안정한 상태에 놓인 생태계를 반영하는 결과로 간주된다.

저서오염지수(Benthic Pollution Index)를 근거로 한 위의 분석결과를 종합해보면, 시화호 안쪽의 경기내만에 위치한 폐쇄해역은 시화방조제 축조 이후 특히, 육지로부터 우음도가 위치한 곳까지의 내만 깊숙한 좁은 지역으로부터 빠른 속도로 오염이 진행됐고, 이는 곧 1년 여 만에 전 지역으로 확산되었다. 이는 육지로부터 유입되는 유기물의 축적에 따라 저서생물군집에 변화가 야기되었음을 직·간접적으로 시사하는 것이다. 즉, 극심한 오염 상황이 지속되었던 만 3년여의 폐쇄기간을 거쳐 방류가 개시된 이후 폐쇄해역내의 오염분포 양상은 육지로부터 유입되는 유기물의 공간적 퇴적양상과 외해수의 유·출입으로 인한 폐쇄해역내의 물의 교체 및 순환범위가 함께 저서생물 군집구조의 변화에 작용하여 정점별 BPI 등급에 차이를 보이는 것으로 유추된다. 공간적으로는 방조제 부근의 대체로 수심이 낮은 정점들에서 극심했던 오염정도의 회복이 대체적으로 먼저 나타나는 것으로 확인되었고, 유기물 퇴적 추이와 맞물려 방조제로부터 먼 지역의 정점에서도 계절별로 약간의 회복 기미를 보여 주고 있다. 이 같은 변화는 저서생물 군집의 평균서식밀도와 출현종의 변화폭에서도 확연히 나타났으며, 이는 환경평가 방법의 하나로써의 저서오염지수(BPI) 산출비교방식을 향후 유용하게 적용할 수 있음을 시사하는 것으로 사료된다.

## 5. 요 약

저서생물의 유기물 오염에 대한 반응 정도를 간접적으



로 나타내주는 저서오염지수(Benthic Pollution Index)를 근거로 시화지구 폐쇄해역의 환경오염 및 생태계 변화추이를 파악하고, 그 결과를 동일시기의 저서생물 군집의 평균서식밀도 및 출현종 변화와의 비교분석을 통해 효율성을 타진함으로써, BPI 산출비교 방식을 향후 환경감시에 유용하게 사용할 수 있는 오염도 감식방법으로의 하나로 제안하였다.

시화 부근해역의 폐쇄 이전인 1980년 외해수와의 접촉이 원활하던 시기와, 1994년 초 시화방조제의 마지막 물막이 공사 이후 해역이 완전 폐쇄되었던 시기, 그리고 1997년 7월부터 1999년 하반기까지 방류량의 연차별 차등을 두고 정기적으로 외해수의 유동이 재개된 시기 등 세 시기별 생태계 변화추이를 동일지점에서 수행된 저서생태계 조사결과를 바탕으로 조사정점별 BPI등급을 이용하여 시·공간적으로 비교·고찰하였다.

1994년 2월의 시화방조제 완공이후 육지에서 가까운 좁은 내만 지역으로부터 급격히 악화되기 시작한 폐쇄해역의 생태환경은, 1995년에는 시화호의 중심부만을 제외한 폐쇄해역 주변부를 따라 오염이 진행되었고, 1996년으로 접어들자 폐쇄해역의 전역에 걸쳐 매우 낮은 BPI지수가 나타남으로써 심각한 오염 확산이 확인되었다. 배수갑문의 시험개방 직후인 1997년에는 여전히 매우 높은 오염도를 보였고, 증가된 방류량과 더불어 상시개방이 시행된 시기 이후인 1998년에 들어 방조제 부근으로부터 BPI 지수에 점진적인 변화가 나타나기 시작했다. 1999년으로 접어들면서 내만 깊숙한 지역을 제외하고 방조제 가까운 방향의 폐쇄해역에서 BPI 등급이 낮아지고 있는 것이 확인됨으로써 외해수 유출입이 긍정적인 영향을 끼친 것으로 추측된다. 한편, 각 시기의 저서생물 군집분석결과, 매우 유사한 경향을 나타냄으로써 저서오염지수(BPI) 산출방식과 유의한 결론이 도출되었으며, 이는 환경평가 방법의 하나로 저서오염지수(BPI) 산출방식의 효율성을 뒷받침 해주는 것으로 평가된다.

## 사 사

본 논문은 한국수자원공사의 “시화호 간석지 생태환경 보전방안 수립” 연구와 해양수산부의 “새만금 해양환경보전을 위한 조사연구 용역” 연구의 일환으로 수행되었다.

## 참고문헌

한국수자원공사. 2002. 시화호 간석지 생태환경 보전방안 수립. BSP1 32800-1458-3. 187 p.  
한국해양연구소. 1995. 해양 저서생물상에 의한 환경평가(해

- 양환경관리기술보고서). 환경부, 과학기술처. 339 p.  
한국해양연구소. 1997. 시화호의 환경변화조사 및 보전대책 수립에 관한 연구. BSPN 96325-985-4. 169 p.  
한국해양연구소. 1998. 시화호의 환경변화조사 및 보전대책 수립에 관한 연구. BSPE 97610-00-1035-4. 230 p.  
한국해양연구소. 1999. 시화호의 환경변화조사 및 보전대책 수립에 관한 연구. BSPE 98705-01-34. 363 p.  
한국해양연구소. 2000. 시화호의 해수화에 따른 환경변화 및 수질관리에 관한 연구. BSPE 99751-00-1202-4. 251 p.  
Frontier, S. 1985. Diversity and structure in aquatic ecosystems. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 23, 253-312.  
Gosner, K.L. 1971. Guide to Identification of Marine and Estuarine Invertebrates. Wiley-Interscience, a Division of John Wiley & Sohn, Inc. 693 p.  
Gray, J.S. 1974. Animal-sediment relationship. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 12, 223-261.  
Gray, J.S. 1977. The stability of benthic ecosystem. *Helgolander wiss. Meeresunters*, 30, 427-444.  
Gray, J.S. 1979. Pollution-induced changes in populations. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.*, 286, 545-561.  
Gray, J.S. 1981. Detecting pollution induced changes in communities using the log-normal distribution of individuals among species. *Mar. Pollut. Bull.*, 12(5), 173-176.  
Gray, J.S. and F.B. Mirza. 1979. A Possible Method for the Detection of Pollution-Induced Disturbance on Marine Benthic Communities. *Mar. Pollut. Bull.*, 10(5), 142-146.  
Gray, J.S. and T.H. Pearson. 1982. Objective Selection of Sensitive Species Indicative of Pollution-Induced Change in Benthic Communities. I. Comparative Methodology. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 9, 111-119.  
Hartley, J.P. 1982. Methods for monitoring off-shore macrobenthos. *Mar. Pollut. Bull.*, 13, 150-154.  
Lee, J.H., B.S. Koh, and H.S. Park. 1997. Marine Environmental Assessment based on the Benthic Macroinfaunal Composition in the Coastal Area of Incheon, Korea. *J. Korean Fish. Soc.*, 30(5), 771-781.  
Pearson, T.H. and R. Rosenberg. 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. Rev.*, 16, 229-311.  
Warwick, R.M. 1986. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities. *Mar. Biol.*, 92, 557-562.  
Warwick, R.M. and K.R. Clarke. 1994. Relearning the ABC: taxonomic changes and abundance/biomass relationships in disturbed benthic communities. *Mar. Biol.*, 118, 739-744.  
Warwick, R.M., T.H. Pearson, and Ruswahyuni. 1987.

Detection of pollution effects on marine macrobenthos:  
further evaluation of the species abundance/biomass  
method. *Mar. Biol.*, 95, 193-200.

*Coastal Water Research Project. Annual Report.*

---

Word, J.Q. 1978. The infaunal trophic index. p. 19-39. In:

*Received Apr. 7, 2003*

*Accepted May 26, 2003*