

工學碩士 學位論文

연안해수의 정화를 위한 조간대 지역의  
생물학적 활성

Microbial activity of intertidal buffer zone for purification  
of polluted near shore water

指導教授 宋 永 採

2005年 2月

韓國海洋大學校 大學院

土木環境工學科 環境工學專攻

具 滋 濠

본 論文을 具滋濃의 工學碩士學位論文으로 認定함

委員長 : 工學博士 金 仁 洙 (印)

委 員 : 理學博士 高 星 撤 (印)

委 員 : 工學博士 宋 永 採 (印)

2005年 2月

韓國海洋大學校 大學院

土木環境工學科 環境工學專攻

具 滋 濃

# Abstract

A study on the role of intertidal buffer zone on the purification of polluted nearshore water was performed. Some gravel samples were taken from a intertidal zone, and their microbial activity was estimated using an aerobic respirometer system, and compared with that of suspended marine microorganisms existed in a near shore water. The maximum oxygen uptake rate of the suspended marine microorganisms, indicating the potential of purification of polluted near shore water was 0.15mg O<sub>2</sub>/L/hr. For the gravels from the intertidal zone, the maximum uptake rates of oxygen were affected by the vertical positions, but their gross value were around 0.77mg O<sub>2</sub>/L/hr, which was around 5 times higher than the purification potential of polluted near shore water by the microorganisms existed in the near shore water. This indicates that daily purification ability of the gravel in the intertidal zone is amount to around 18.5 mg BOD per cm<sup>2</sup> of gravel surface. However, microbial activity of the gravel and their purification ability of pollutants were severely affected by inflow of fresh water. As amount of fresh water flow into the sea water was increased to 10% of the total polluted water, the microbial activity, as well as the purification ability of pollutants was severely decreased, and at over 20%, they were approached to the minimum value. The microbial activity of the gravel was also affected by the concentration of pollutants. When the concentration of

pollutants exposed to the gravel was increased to 10 times of the normal concentration, the oxygen uptake rate, indicating microbial activity of the gravel for degrading of organic pollutants, was not so much different, but the total oxygen consumption was 1.6 times at the normal value. This indicates that the gravel intertidal zone plays an important role in controlling the non-point source pollutants from land, as well as self-purification of polluted near shore water by trapping and degrading the particulate organics.

# Table of Contents

Abstract .....	i
Table of contents .....	iii
List of Figures .....	vi
List of Tables .....	viii
I 서론 .....	1
II 문헌연구 .....	2
2.1 국내연안의 물리적, 지리적 특성 .....	3
2.1.1 연안의 지리적 구조와 특성 .....	3
2.1.2 해안선의 구조와 특성 .....	4
2.1.3 해저의 지형, 지질 구조 .....	6
2.1.4 우리나라 해상여건과 현상 .....	8
2.1.5 갯벌과 습지의 분포와 관리 .....	13
2.1.6 연안의 주요 시설 .....	18
2.2 국내 오염 현황 .....	29

2.2.1 해양환경오염의 원인 물질 및 영향 .....	29
2.2.2 육상기인 오염물질과 연근해 어장의 오염 실태 .....	33
2.2.3 연안오염의 영향 .....	33
2.2.4 국내의 연안오염 현황 .....	37
2.3 연안오염 관리 및 처리기술 현황 .....	42
2.3.1 현행의 연안 관리 체계와 유형 .....	42
2.3.2 해양오염 처리기술 .....	47
<b>Ⅲ 재료 및 방법 .....</b>	<b>49</b>
3.1 조간대 해변의 자갈 및 해수의 오염물 정화능 .....	49
3.2 조간대 해변의 자갈층별 활성 및 오염물질 정화능 .....	51
3.2.1 해변 자갈의 채취 및 특성 .....	51
3.2.2 생물학적 활성도 평가 실험 .....	52
3.3 조간대의 오염물 정화능에 대한 환경인자의 영향 .....	54
3.3.1 담수 유입에 의한 영향 .....	54
3.3.2 육상기원 고농도 오염물 직접 유입시의 영향 .....	55
3.4 조간대의 오염물 정화능에 대한 환경인자의 영향 .....	58
<b>Ⅳ 결과 및 고찰 .....</b>	<b>62</b>
4.1 조간대 해변의 자갈 및 해수의 오염물 정화능 .....	62

4.2	조간대 해변의 자갈층별 활성 및 오염물질 정화능 .....	65
4.2.1	연안해수내의 미생물의 활성 .....	65
4.2.2	조간대 자갈의 부착 미생물의 활성 .....	68
4.3	조간대의 오염물 정화능에 대한 환경인자의 영향 .....	71
4.3.1	담수 유입에 의한 영향 .....	71
4.3.2	육상기원 고농도 오염물 직접 유입시의 영향 .....	75
4.4	조간대의 오염물 정화능에 대한 환경인자의 영향평가 모델 .....	81
4.4.1	담수 유입에 의한 오염물 정화능 평가 모델 .....	81
4.4.2	고농도 오염물 직접 유입에 의한 자갈층의 영향평가 모델 .....	84
V	결론 .....	87
VI	장래 연구과제 .....	89
VII	참고 문헌 .....	90

# List of Figures

Fig. 2.1 Costal and near shore topography .....	4
Fig. 2.2 Distribution charts of noxious <i>Cochlodinium</i> (1995~2000) .....	35
Fig. 2.3 The system of special laws for the coastal maintenance .....	43
Fig. 3.1 Respirometer[AER-204 Mode; C.E.S] .....	50
Fig. 3.2 Photographs of the gravels used for the biological activity tests .....	51
Fig. 3.3 Experimental procedure for the biological activity test of the gravel from intertidal zone .....	53
Fig. 3.4 Total Consumed oxygen and endogeneous consumed oxygen .....	60
Fig. 3.5 Changes of endogeneous OURmax by initial Substrates .....	61
Fig. 4.1 Cummulative consumption during the microbial activity test of the near shore water and the gravels from intertidal zone .....	63
Fig. 4.2 Changes in TOC, NO <sub>3</sub> -N, and PO <sub>4</sub> -P in near shore water and gravels during the microbial activity test .....	64
Fig. 4.3 Cummulative consumption (a) and uptake rate (b) of oxygen during the microbial activity test of the near shore water .....	67
Fig. 4.4 Cummulative consumption (a) and uptake rate (b) of oxygen for the gravels from intertidal zone .....	69
Fig. 4.5 Cummulative consumption of oxygen during the microbial activity	

test of the near shore water .....	72
<b>Fig. 4.6</b> Cummulative consumption (a) and uptake rate (b) of oxygen for the gravels from intertidal zone .....	75
<b>Fig. 4.7</b> Cummulative consumption of oxygen during the microbial activity test of the near shore water .....	76
<b>Fig. 4.8</b> Cummulative consumption (a) and uptake rate (b) of oxygen for the gravels from intertidal zone .....	80
<b>Fig. 4.9</b> Estimated Changes in the COD, NO <sub>3</sub> -N and PO <sub>4</sub> -P for the intertidal gravels during the microbial activity test .....	83
<b>Fig. 4.10</b> Cummulative consumption of oxygen for the gravels from intertidal zone .....	84
<b>Fig. 4.11</b> Changes of OUR <sub>ex, max</sub> for the gravels from intertidal zone .....	85

# List of Tables

Table 2.1 Distance and types of coastline .....	5
Table 2.2 Tidal characteristics of Korea .....	10
Table 2.3 A height of wave for sea area of Korea .....	11
Table 2.4 A distribution of tideland .....	15
Table 2.5 Representative tidelands of Korea .....	18
Table 2.6 Port facilities of Korea '97 .....	19
Table 2.7 Distribution of costal fishing grounds .....	20
Table 2.8 costal fishing grounds of the 1st sort .....	21
Table 2.9 costal fishing grounds of the 3rd sort .....	22
Table 2.10 The distribution of small-scale ports .....	23
Table 2.11 Regional distribution of tide embankments .....	24
Table 2.12 Established chronologies of tide embankments .....	26
Table 2.13 superannuated degrees of costal facilities .....	27
Table 2.14 Dimensions of costal resorts in Korea .....	28
Table 2.15 Distributions of costal tourist attractions .....	28
Table 2.16 Changes of coastal pollution .....	37
Table 2.17 Concentrations of pollutants for near shore water '97 .....	38
.....	
.....	38
Table 2.18 The characteristics of near shore water '97 .....	39

Table 2.19 Chronological occurrence and characteristics of red tides .....	40
Table 2.20 Financial damages caused by occurrence of red tide .....	41
Table 2.21 Relevant laws of coastal maintenance .....	42
Table 2.22 Projects of organizations for coastal maintenance .....	44
Table 2.23 Coastal relevant laws and major plans .....	46
Table 2.24 The comparison of red-tide control methods .....	48
Table 3.1 Initial Characteristics of sea water for the intertidal zone .....	49
Table 3.2 Characteristics of medium used for the biological activity test for beach gravel .....	52
Table 4.1 Characteristics of medium used for the biological activity test for intertidal zone gravel .....	65
Table 4.2 Changes in SCOD, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N, and PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> -P in near shore water during the microbial activity test .....	67
Table 4.3 Changes in the soluble COD, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N and PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> -P for the intertidal gravels during the microbial activity test .....	70
Table 4.4 Changes in SCOD, T-N, and T-P in near shore water during the microbial activity test .....	72
Table 4.5 Changes in the COD, T-N and T-P for the intertidal gravels during the microbial activity test .....	74
Table 4.6 Changes in SCOD, T-N, and T-P in near shore water during the	

microbial activity test .....	77
<b>Table 4.7 Changes in the COD, T-N and T-P for the intertidal gravels</b>	
during the microbial activity test .....	78
<b>Table 4.8 Parameters of COD, NO<sub>3</sub>-N and PO<sub>4</sub>-P for the intertidal gravels</b>	
during the microbial activity test .....	82
<b>Table 4.9 Total, exogeneous and endogeneous oxygen uptake rate for the</b>	
<b>gravels from intertidal zone .....</b>	<b>85</b>
<b>Table 4.10 Estimated Model and parameters for the gravels from intertidal zone</b>	
.....	86

## I 서론

인류는 산업혁명 이후 산업의 고도화와 급속한 도시화로 인해 물질적 이기와 편의를 얻게 되었다. 그러나 무분별한 개발로 인해 육상에서는 엄청난 오염물질이 발생하게 되었으며, 바다는 그 동안 이들 오염물질의 최종처분지로서의 역할을 충실히 수행하여 왔다. 바다에 유입된 오염물질은 확산 및 희석작용과 해양미생물이나 조류 등과 같은 해양생물에 의한 분해, 흡수 등에 의한 자정작용에 의하여 정화되었다[해양수산부, 2001]. 그러나, 바다의 자정작용을 초과하는 오염물질의 유입은 해양을 오염시켜 해양생산성을 급격히 감소시키게 된다. 특히, 항만 등이 주로 위치하고 있는 내만의 경우 외해와 해수의 순환이 원활하지 않아 해수가 정체하게 되는 경우에는 심각한 수질오염에 직면하게 된다[해양수산부, 2003]. 현재 정체성 해역에서의 해양수질 개선을 위하여 제안된 기술은 대부분 해안구조물의 설치에 의한 해수순환율의 증가에 초점을 두고 있으나, 실효를 거두고 있지 못하고 있는 실정이다[Song, 2002]. 그러나, 연안의 경우 1차 생산력이 외양보다 높은 편이고 생물학적 작용이 다양하여 상호군집을 형성하고 있어서 오염물에 대한 정화능력은 탁월하다고 볼 수 있다. 해양에 있어서 해양미생물은 다양한 오염물을 분해시키는 분해자로서 물질순환과정에 중요한 역할을 담당하고 있다. 따라서 해양 미생물군집간의 상호보완적 집합체(consortia)를 형성하여 연안에서 서식하는 미생물의 활성을 높여주고, 오염된 해수와 접촉량을 확대시킬 경우 오염된 해수의 정화속도를 가속화시킬 수 있다. 미세한 점토, 또는 모래로 이루어지고 바다에 연하여 넓은 지역에 걸쳐 형성된 갯벌 또는 염습지의 경우 육상오염물을 정화하는 능력이 대단히 큰 것으로 알려져 있다. 그러나, 바닥경사가 큰 암석으로 이루어진 조간대의 경우

생물활동도가 상대적으로 작으며, 오염물을 정화할 수 있는 능력이 크지 않은 것으로 알려지고 있다[Ellis 등, 2003]. 자연적으로 형성된 연안에는 종종 자갈로 형성된 중간규모의 조간대가 있다. 자갈로 이루어진 조간대는 육상에서 유입되는 오염물의 여과작용을 담당하고 있으며, 암반 조간대에 비해 상대적으로 넓은 비표면적을 제공하기 때문에 생물활동도가 높을 것으로 추정된다. 그러나, 아직까지 오염된 연안수의 정화에 대한 자갈조간대의 역할을 규명하기 위한 연구는 거의 진행되지 않고 있다.

따라서, 본 연구에서는 자갈조간대를 구성하는 연안해수와 자갈들의 생물활성도를 호흡율을 이용하여 평가하고, 생물활성도와 오염물 정화능간의 상관관계 분석을 통해 자갈 조간대가 연안수질 개선에 기여하는 효과를 규명함으로써 자갈형 조간대 해변의 활성 및 정화능의 예측이 가능한 모델을 개발하고자 하였다.

## II 문헌연구

### 2.1 우리나라 연안의 물리적, 지리적 특성

#### 2.1.1 연안의 지리적 구조와 특징

반도국가인 우리나라는 아시아 대륙의 동북단에 위치하였으며 한반도와 약 3,300여개의 부속도서들로 구성되어 있다. 북한을 포함한 국토의 총면적은 약 221천km<sup>2</sup>이며 이중 남한의 면적은 약 99.8천km<sup>2</sup>이다. 전 국토의 70%이상이 산지로 이루어져 있으며 이 중 남한의 66%가 산지로 이루어져 있다. 연안의 경우를 보면 산과 육지의 오랜 시간동안의 침식으로 상당 부분의 토사가 강물에 의해 하구로 운반되어 쌓인 퇴적물로 이루어져 있다. 따라서 끊임없이 삼각주가 형성되고 장구한 세월에 걸쳐 바다로 넓게 확장됨으로서 하구와 광활한 천해(淺海)가 조성되었다. 그런데 썰물시에 드러나는 진흙벌판이나 모래벌판 또는 진흙과 모래 벌판은 갯벌로서 연안 생태계에서 매우 중요하고 다양한 기능을 수행하고 있다. 이러한 연안공간은 바다와 민물이 만나는 기수역(汽水域)이 포함되어 있어 각종 생물자원의 서식지가 되고 있으며 여기에는 연안생태계에서 없어서는 안 될 기초 영양분이 풍부하여 전체 해양의 약 10%에 불과한 면적에 90% 이상의 어류가 산란하고 성장하는 생태계의 보고를 이루고 있다는 점이다. 따라서 연안공간은 어류들의 먹이 장소이자 바다새들의 먹이 장소이며 연안 어민들에게는 생업을 위한 공간이 되고 있으며 거대한 육상기원 오염물질을 막아주고 정화해내는 기능을 수행하고 있다. 그러나 연안은 바다와 육지의 중간 환경대를 형성하고 있기 때문에 연안해역의 생태환경은 연안 배후의 도시산업, 임해에서의 어류산업,

연안 해운 및 해양 레포츠 등 다양한 인간 활동에 의해 지속적이고 직접적인 영향을 받게 된다. 또한 이에 따른 해역의 연안오염은 육지와는 달리 조수의 흐름에 따른 확산이 매우 광범위하고 장기간에 걸쳐 생물에 영향을 미치는 특성을 갖고 있어 이러한 해양 및 연안의 관리문제가 국제적 관심으로 등장하고 있다[해양수산부, 2002].

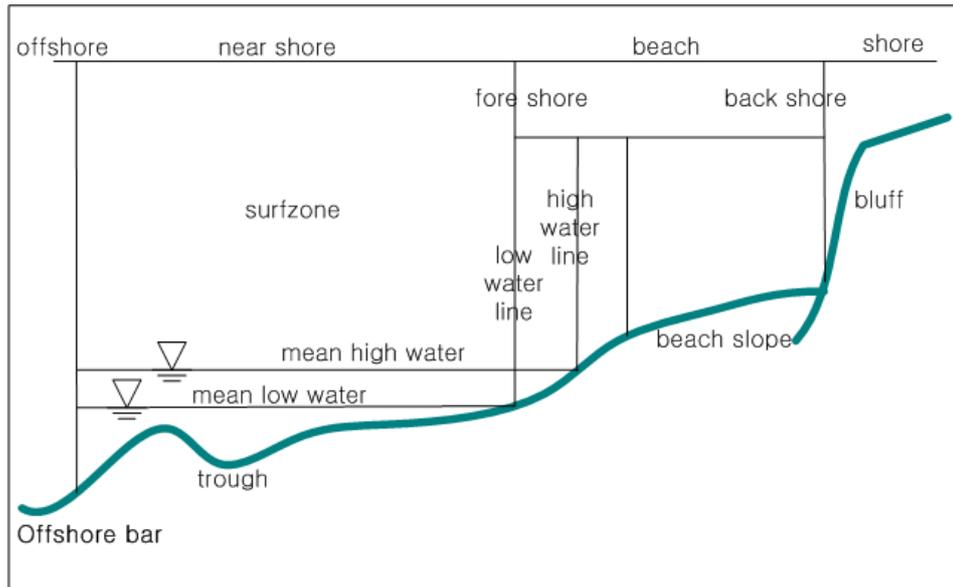


Fig. 2.1 Coastal and near shore topography [국토연구원, 1990]

### 2.1.2 해안선의 구조와 특징

우리나라의 해안선은 총 연장이 11,542.4km이며 이 중 서해안이 3,340.6km로 28.9%, 남해안이 7,510.1km로 65.1%, 동해안이 691.7km로 6.0%를 차지하고 있다. ‘대한식 해안’ 이라고도 불리는 우리나라의 서

남해안은 세계적인 「리아스」 식 해안으로, 복잡한 지형으로 인해 반 폐쇄성 해안이 많으며 동해안은 개구성 해안을 형성하고 있다[김, 2002]. 해안선의 구조에 있어서도 인공해안이 약 1,632km로 14.1%에 해당하며 사빈이 약 585.6km로 5.1%, 암빈이 약 980.2km로 8.5%, 그 외 8,344.5 km로 72.3%를 차지하고 있다. 전 국토 면적당 해안선을 비교하여 보면 우리나라가 국토면적 1,000km<sup>2</sup>당 해안선은 62.4km에 해당되는데 이는 일본의, 유럽의 17.7km, 미국의 16.5km, 남미의 7.9km에 비교하면 우리나라의 해안선은 상대적으로 매우 복잡한 형태로 이루어져 있음을 알 수 있다[해양수산부, 2002].

**Table 2.1 Distance and types of coastline (km, %)[국토연구원, 1992]**

Articles	Total		Continent's		Island's		Types			
	km	%	km	%	km	%	Artificial beach	Sand beach	Rock beach	Etc.
Entire	11,542.4	100.0	6,227.5	100.0	5,314.9	100.0	1,632.1	585.6	980.2	8,344.5
Inchoen	76.5	0.7	61.5	1.0	15.0	0.3	34.8	0.4	0.1	41.3
Kyoengki	1,171.0	10.1	367.1	5.9	803.9	15.1	252.0	7.9	1.8	909.3
Chungnam	968.7	8.4	763.7	12.3	205.0	3.8	235.8	108.4	86.1	538.4
Jeonbuk	444.8	3.9	266.7	4.2	178.1	3.4	174.0	12.5	0.7	257.6
Jeonnam	5,900.7	51.1	2,555.3	41.0	3,345.4	62.9	708.1	109.8	11.8	5,071.0
Gyoengnam	2,042.7	17.7	1,406.2	22.6	636.5	12.0	143.3	96.4	589.3	1,213.7
Busan	126.2	1.1	116.6	1.9	9.6	0.2	32.8	13.3	50.0	30.1
Gyeongbuk	332.4	2.9	274.9	4.4	57.5	1.1	15.4	112.7	88.1	116.2
Gangwon	216.5	1.9	215.4	3.5	1.1	0.02	21.1	105.6	80.6	9.2
Jeju	262.9	2.2	200.1	3.2	62.8	1.2	14.8	18.6	71.7	157.8

### 2.1.3 해저의 지형·지질구조

#### (1) 동해안

동해는 대륙 주변부 분지이며 태평양의 연해로서 아시아 대륙의 동편에 속한다. 동해의 면적은 1,300,000km<sup>2</sup>, 그중 수심 200m 내외의 대륙붕은 전체의 약 1/5인 280,000km<sup>2</sup>를 차지하며 용적은 2,110,000km<sup>3</sup>, 평균 수심은 1,543m이고 최심부는 4,049m이다. 동해의 해저지형을 보면 중심부에는 대화해령(大和海嶺)과 일본해분(日本海盆)이 분포하고 있으며 대화해령은 북동-남서방향으로 뻗고 있고 남부의 대화퇴와 북부의 북대화퇴로 구분된다. 대화퇴의 정상부는 280~330m의 평탄면으로 되어 있으며 북대화퇴의 정상부는 400~550m의 평탄면을 형성하고 있다. 영일만 앞바다에는 수심 1,500~2,500m의 대마해분(對馬海盆)이 분포하고 있으며 동해안의 대륙붕 수심은 200m이하(평균 150m)이고, 영일만과 주변 앞바다에서 긴 용기해령에 의해 대륙붕과 대륙사면의 경계가 이루어진다. 이 해령의 폭은 2km~8km, 길이 120km, 높이는 해저면으로부터 평균 120m 정도이고 후포항 앞바다에는 수심 5.6m~80m의 길이 13km, 폭 4km의 천퇴가 있다. 동해남서해역의 대륙붕은 60km이상으로 넓고 완만한 사면을 통해 울릉해분(鬱陵海盆)에 연결된다. 울릉해분은 해저계곡이나, 소협곡이 없는 비선형이고 최대수심이 2,300m 이상이며 독도와 울릉도사이의 Inter Plain Gap을 통해 일본해분(日本海盆)과 연결된다. 동해의 저질은 수심에 따라 셋으로 구분된다. 대략 300m까지는 육성사질이며 곳에 따라서는 암반, 모래, 자갈 등이 있고 300~800m에는 반양성(半洋性)의 청니로서 유기물의 침전이 많다. 800~3,000m에서 상부는 적니, 하부는 청니이고 상부의 적니는 산화철 또는 해연석으로 이루어져 있으며 3,000m이상은 적점토로 형성되어 있다[국토연구원, 1992].

## (2) 서해안

서해는 서태평양의 북서부에 위치하는 연해로서 중국대륙과 한반도에 의해 둘러싸여 있으며 남쪽은 제주도와 중국의 상해를 잇는 선에 의해 동중국해(東中國海)와 구분되고 북쪽의 발해만과 산둥반도를 연결하는 선에 의해 경계지어 진다. 서해는 남북간 약 1,000km, 동서간 약 700km로서 발해만을 제외한 면적은 404,000km<sup>2</sup>, 용적은 120,000km<sup>3</sup>이다. 평균 수심은 44m이며 60~80m의 비교적 깊은 부분도 편재되어 남북으로 뻗고 있으며, 최심부는 홍도 서방해역의 103m이며 해안선에 직각 되는 방향으로 많은 사퇴가 존재하고 육지를 향해 서서히 얕아진다. 서해안은 동해안과는 대조적으로 많은 반도와 만, 그리고 1,500여개의 도서로 이루어진 침강해안으로 충청남도의 경우 해안선 직선거리는 145km밖에 안되지만 254개의 도서를 합치면 총해안선의 길이는 약 1,000km에 달하며 한강평야는 해안으로부터 16~80km의 안쪽까지 뻗어 있다. 서해는 조차가 큰 편으로 연안에는 간사지인 이토사주가 연안으로부터 320km나 뻗고 있으며 저질은 대체로 입경 2mm~4 $\mu$ 의 육성의 모래와 침니 또는 이토로 구성되어 있다. 서해의 중부이북은 대체로 모래가 분포하나 중앙부에는 이토가 분포하며 남서부 연안에는 모래 또는 이토가 분포하고 있다[해양수산부, 2002].

## (3) 남해안

남해의 주 해협인 대한해협의 면적은 75,000km<sup>2</sup>, 용적은 7,630km<sup>3</sup>, 평균 수심은 101m이고 최심부는 서수도 부산영도 남동방 17해리의 228m이다. 동해의 남부인 대한해협은 대마도(對馬島)를 사이에 두고 서수도(西水道)와 동수도(東水道)로 구분된다. 대한해협은 그 양측의 육지부로부터 발달한 대륙붕(大陸棚)이 연속된 해저이므로 거의 대부분이 수심 120m이하의 얕은 해저로 이루어져 있다. 해협중앙부에 있는 대마도는

좁고 길게 북북동~남남서로 뻗은 섬으로서 전장 약 70km, 폭 약 15km이며, 북쪽의 상도, 남쪽의 하도로 분리된다. 남해의 제주해협(최심 120m)과 대한해협(최심 228m)등의 골을 제외하고는 수심 100m 내외로 평탄하며 남쪽 및 남동방향으로 점차 깊어진다. 남해의 대륙붕은 대체로 150m수심에서 해저단구(海底段丘)에 의해 대륙붕 및 대륙사면과 경계되고 있다. 대한해협 서수도에서는 한국연안으로부터 대마주상해분(對馬舟狀海盆)의 사면상반부에 걸쳐 이토질(泥土質) 퇴적물이 침전을 저해하는 해수의 흐름이 있다. 해협 중앙부에는 출암대등이 분포하며 또 「ㄱ」자형의 해조류 방향과 일치하므로 대한해협 중앙해저의 현재의 퇴적환경은 조류침식대로 추정된다[해양수산부, 2002].

#### 2.1.4 우리나라 해상여건과 현상

##### (1) 해류의 특징

우리 나라 근해의 해류의 원천은 쿠로시오 해류(Kuroshio Current)이다. 쿠로시오 해류(수심 200m까지 수온 15℃이상, 염분 34.5~35.1‰, 유량은 30~50sv., 주류의 유속은 3~5knot)는 아열대 해류로서 동중국해에서 갈라져서 그 주류는 일본의 동해안을 따라 북태평양을 향해 흘러가고 나머지는 우리 나라 쪽으로 흘러오는데, 황해 난류는 제주도 서방을 지나 황해로 유입되며, 남동 해안을 따라 북상하는 쿠로시오 해류의 지류는 두 줄기로 갈라져 동한 난류와 쓰시마 해류가 된다. 북쪽에서 리만 한류가 남하하여 북한 해역에서 북한 한류로 이어지며, 북위 40°근처에서 한류와 난류가 만나 그 경계에 조경이 형성된다.

쓰시마 해류(Tsushima Current)는 쿠로시오의 한 지류로서, 대한해협을 거쳐 동해로 유입하여 일본 열도의 서해안을 따라 북상한다. 동해의 난수원이며, 동해에 유입되면 3개의 분류로 나뉘어진다. 대한해협에서

표층 속도는 0.5~1knot정도(1knot = 0.5m/s)이고, 수심 200~300m에서는 미약하며 겨울 보다는 여름에 강하다. 유량은, 대한해협에서 0.3~2.2sv.(1sv. = 106m<sup>3</sup>/s) 이며 41°N에서 2~8sv 이다.

동한 난류(East Korean Warm Current)는 쓰시마 해류의 한 지류로서, 대마도의 서수도를 지나 우리 나라 동해안을 따라 북상한다. 측면 근해에서 남하하는 북한 한류와 만나 혼합되며, 때로 와류(소용돌이)를 형성한다. 수심 200m까지 수온 10℃이상, 염분 34.2%이상의 쓰시마 난류수가 차지한다. 유속은 표면에서 0.5~1knot정도이고 200m에서 매우 미약하다[경남지구 과학교과연구회, 2000].

## (2) 조석

동해안의 조석은 매우 적어서 조차는 0.3m 내외에 불과하며 일조부등은 매우 현저하여 1일 1회의 만조와 간조밖에 일어나지 않을 때도 있으나 봄, 가을철 삭,망 후에는 규칙적으로 1일 2회의 고조와 저조가 일어난다. 평균고조 간격은 대부분 약 3시간이지만 남단 부근에서는 남쪽으로 감에 따라 급격히 증가하여 부산항 부근에서는 약 8시간이 된다. 사리때 포항항 부근인 감포 이북은 0.3m 이하이며, 특히 포항항 부근은 0.2m에도 못미치는 우리나라 연안에서 가장 적은 곳이다. 울산에서 0.5m, 고리에서 0.7m, 부산에서 1.2m로, 남으로 갈수록 점차 증가한다. 평균수면은 3월에 가장 낮고 8월에 가장 높으며 포항 및 묵호항 등에서는 해면의 부진동 현상이 나타나 그 승강은 조석에 의한 승강보다 큰 경우가 있다. 서해안은 일조부등은 적으나 조차가 크므로 다소 큰 조고의 부등현상이 있으며 저저조 다음에 고고조가 일어나고 고고조는 봄,여름철에는 주간에, 가을,겨울철에는 야간에 일어난다. 평균수면은 2월에 가장 낮고 8월에 가장 높으며 그 차는 0.5m에 달한다. 평균 고조간격은 서해 남부에서 약 11시간이고 북쪽으로 가면서 점차 증가하여 목포 부

근에서 2시간, 군산 부근에서 3시간, 인천 부근에서 4.5시간이 된다. 사리는 서해 남부에서 약 3.0m로 나타나지만 북쪽으로 감에 따라 증가하여 목포항 부근에서 3.5m, 군산 부근에서 6.0m, 인천 부근에서 8.0m에 달한다. 기록상으로는 아산만이 8.0m를 넘어서 우리나라에서는 가장 크다. 남해동부에 있어서는 일조부등이 매우 적고 규칙적으로 하루 두 번 간만차를 일으킨다. 일조부등은 두 만조의 높이에 따라 다소 나타나며 고고조는 봄철에는 오전에, 가을철에는 오후에, 여름철에는 야간에, 겨울철에는 주간에 일어난다. 남해 서부에 있어서는 일조부등은 크지 않으며 저저조 다음에 고고조로 되고 고고조가 일어나는 시각은 동부와 같다[국립해양조사원, 2000].

평균 고조간격은 동부의 8시간으로부터 서쪽으로 감에 따라 증가하여 남해중부에서(여수 8시간45분) 9시간, 남해서부에서(완도 9시간47분, 제주 10시간31분)는 11시간이 된다. 대조차는 부산의 1.2m에서 서쪽으로 감에 따라 증가하여 여수에서 3.0m, 완도에서 3.1m, 제주에서 2.0m가 된다. 평균해면은 2월에 최저, 8월에 최고로 되며 그 차는 0.3m에 달한다[해양수산부, 2002].

**Table 2.2 Tidal characteristics of Korea [농어촌진흥공사, 1996]**

Articles	The west coast	The south coast	The east coast
Spring range	3.2~8.2m	1.2~3.0m	0.3m
Changes of the sea level	Low in February, high in August (difference : 0.5m)	Low in March, April high in July, August	Low in March, high in July (difference : 0.3m)
Daily inequality	A little	A little	Very much
High tide inequality	More in high tide	Same in low tide different in high tide	More in low tide
Day tide	Double day tide	Double day tide	Single day tide

### (3) 파랑

우리나라 연안에서 3m 이상의 큰 파고는 8~9월에 가장 많이 발생하며 대체로 1~2월에 가장 높고 5~6월에 가장 낮게 나타난다. 동해안은 주로 태풍이나 저기압에 의해 큰 파랑이 발생하며 파장은 파랑의 주기는 10~15sec, 파장은 150~350m이고 파고는 포항에서 약 5.2m 정도이며 삼척, 속초에서는 각각 약 8.4m, 8.0m로서 높은 편이다. 서해안은 대체로 작은 천해파로 나타나며 인천부근이 약 2.7m, 목포가 약 1.3m, 군산이 약 6.5m로 추산되고 있다. 파랑 주기가 6~8sec 정도이며, 천해역의 수심은 30~50m로서 서해의 반 이상이 천해에 속하게 된다. 남해의 큰 파랑은 주로 태풍에 의해서 발생, 발달하는데 주기는 10~14sec 정도며 파장은 150~300m가 되고, 부산에서 7.4m, 여수에서 5.6m, 완도에서는 1.2m 정도다[해양수산부, 2002].

**Table 2.3 A height of wave for sea area of Korea [해양수산부, 1998]**

Articles	The west coast			The south coast			The east coast		
	Incheon	Gunsan	Mokpo	Wando	Yeosu	Busan	Pohang	samcheok	Sokcho
The Height of the wave(m)	2.7	6.5	1.3	1.2	5.6	7.4	5.2	8.4	8.0
The direction of the wave	SW	SW	SSW	NNE	S-SE	SW	NE	NE-SE	NE
The average sea level(m)	4.635	3.623	2.338	2.002	1.808	0.641	0.123	0.175	0.195

### (4) 해면변화

평균적인 해면의 높이가 전지구적(全地球的)인 규모로 동시에 변화하는 현상으로 해수준(海水準)변화라고도 한다. 그 원인은 바다의 용적(容

積)변화와, 해수량의 부피변화를 생각할 수 있다. 전자에는 침식된 육지의 토사(土砂)가 해저에 퇴적하여 바다가 얕아지기 때문에 일어나는 퇴적성 해면변화와, 지각변동에 의하여 해저가 침강(沈降) 또는 융기하여 일어나는 구조운동성(構造運動性) 해면변화가 있다. 후자에는, 기후의 변화에 의하여 지구상의 물이 눈과 빙하가 되어 지상에 궤는 비율의 변동으로 생기는 빙하성(氷河性) 해면변화가 있다. 가장 크게 영향을 미치는 것은 빙하성 변화로서, 지구상의 평균기온이  $a^{\circ}\text{C}$  내려가  $b$ 년간 계속 되면 어림하여 평균해면은  $a \times b$  mm 내려 앉는다고 한다(기온이 상승할 때는 해면도 상승한다). 지금부터 약 2만 년 전의 빙름빙기(氷期)의 해면은 현재보다 약 100 m나 내려앉아 있었다고 한다[이, 1992].

그러나 단기적인 연안의 해면변화(海面變化)는 해역에 따라 차이가 있으나 대체로 조석과 파랑에 의한 것이 대부분이며 평균해면변화는 대체로 1년 주기의 계절적 변화가 주종을 이루고 연간 해면의 기압변화와 깊은 관련이 있다. 따라서 월평균 해면은 저기압 시기인 여름에 높고 고기압시기인 겨울에 낮다. 해면기압은 겨울철에 가장 높아 1월에 1,020 ~ 1,024hPa로 최대치를 나타내는데 이는 시베리아 고기압의 영향이다. 저기압이 자주 발생하는 여름철에 가장 낮게 나타나며 7월에 1,005 ~ 1,008hPa의 최저치를 나타내고 하계와 동계의 기압차는 20hPa(19.8cm) 정도이다[해양수산부, 2002].

#### (5) 수온분포

수온은 해양환경 요인으로서 매우 중요한데 해양 동물체의 생식주기, 대사율동 제반 생리적인 현상에 직접적으로 영향을 미침과 동시에 해수 내의 각종 가스의 용해도, 점도 및 해수의 밀도에도 영향을 끼친다[이, 1992].

서해의 수온은 연변화가 상당히 심하며 특히 연안 천해부에서는 여름

에 고온으로 상승하나 수온저하가 심하고 북부 연안은 결빙할 때도 있다. 표면수온의 분포를 보면 겨울에는 서해전체가 2~8℃정도이고 하계에 중부해역이 26~27℃, 남부해역이 27~28℃로서 연교차는 20~22℃로 나타나고 있다. 남해의 연평균 표면수온은 약 15~19℃ 정도로 제주도 부근이 가장 높고 남해동부가 비교적 낮지만 그 차이는 크지 않으며 여름철의 표면수온은 8월이 가장 높아 21~26℃, 겨울철은 2월이 가장 낮아 5~14℃ 정도이며 연교차는 10~18℃로 나타나고 있다. 동해의 연평균 표면수온은 약 18~27℃로 여름철에 남부해역은 26~27℃, 북부해역은 18~20℃를 나타내며 겨울철에는 남부해역이 14~18℃, 북부해역이 4℃이하로 나타나고 연교차는 13~20℃를 보이고 있다[해양수산부, 2002].

### 2.1.5 갯벌과 습지의 분포 및 관리

#### (1) 갯벌의 분포

일반적으로 갯벌은 육지의 하천 등에서 유입되는 토사와 해안에서 해수침용물질 등이 침전·퇴적되어 형성되는데 우리 나라는 조석간만의 차이가 큰 경기만 주변에서 대규모로 발달되어 있으며, 남쪽으로 갈수록 조석간만의 차이가 적어 단위면적이 적어지고 있음을 알 수 있다.[해양수산부, 1998]

Table 2.4에 의하면 우리나라 서·남해안에는 약 2,393km<sup>2</sup>의 갯벌이 분포되어 있으며 이는 국토면적의 2.4%에 해당된다. 그 중 서해안 지역에 전체 갯벌면적의 약 83%인 1,980km<sup>2</sup>가 분포되어 있으며 나머지는 남해안에 산재되어 형성되고 있다. 지역별로 보면 인천을 포함한 경기도 35%, 충남 13%, 전북 5%, 전남 44%, 경남(부산포함) 3%로서 경기지역

및 전남지역이 우리나라 갯벌의 대부분인 80%정도 분포하고 있으며 서해안 갯벌은 세계 5대 갯벌지역중 하나로 알려져 있다.

경기도(인천광역시 포함)지역은 경기만 해역으로 황해의 해수가 한강, 임진강, 예성강 등을 통하여 유출되는 담수에 의하여 희석되어지는 하구 환경이며, 갯벌의 발달형태 또한 복잡하게 나타나고 있다. 경기도의 갯벌분포도에서 보듯이 대부분의 갯벌은 한강 하구유역에 인접한 강화군에 속하는 강화도, 석모도, 불음도 등의 섬 주변과 인천광역시 중구에 속하는 영종도, 용유도, 무의도 등의 섬 주변에 대규모 갯벌이 분포되어 있으며, 용진군에 속하는 장봉도, 영흥도, 자월도, 덕적도, 대부도 등 외해와 직접 연하여 있는 서쪽해역에는 독립적인 갯벌이 산재되어 있다[해양수산부, 1998].

충청남도지역의 갯벌은 태안군의 안면도를 중심으로 해안에 고르게 분포되어 있으며, 가로림만 내측의 소규모 만에는 비교적 넓게 분포되어 있다. 천수만의 입구는 갯벌이 형성되어 있지는 않으나 내측 수로를 따라 올라가면 내측 깊숙히 남북방향으로 독립된 갯벌이 분포되어 있다. 보령·서천지역은 해안을 따라 갯벌이 고르게 발달하여 있으며, 비인만에서 장항항 부근까지 비교적 넓은 갯벌이 해안을 따라 조성되어 있고 군산·장항 외측해역의 유부도, 개야도 주변에 비교적 넓게 독립된 갯벌이 분포되어 있으며, 내측의 소규모 갯벌은 금강댐의 영향으로 갯벌 및 사주의 이동이 나타난다[해양수산부, 우리나라 갯벌의 분포 현황, 1998].

전라북도지역은 서해안에서 제일 단조로운 해안선을 이루고 있고 금강, 만경강, 동진강의 집수구역이라 할 수 있으며, 금강하구는 하구댐의 영향 및 군산·장항 항만개발사업이 계속적으로 추진중에 있으므로 이 부근은 앞으로도 갯벌조성에 많은 변화가 있을 것으로 예상된다. 줄포만(곰소만)주변지역은 만내에 비교적 넓은 갯벌이 존재하며, 만 입구의 남북으로 해안선을 따라 길게 분포되어 있다[해양수산부, 1998].

Table 2.4 A distribution of tideland (km<sup>2</sup>, %) [해양수산부, 1998]

Articles		Area	Cities	Counties	Area
the whole country W-coast:1,980km <sup>2</sup> S-coast: 413km <sup>2</sup>	35 places	2,393.0	Jeonnam 11 places (1,054.1km <sup>2</sup> /44.0%)	Yeongkwang	137.1
				Muan	204.7
Incheon : 5 places (685.0km <sup>2</sup> /28.6%)	Ganghwa	339.5		Mokpo	6.9
	Ongjin	148.0		Sinan	331.1
	Junggu	150.8		Jindo	17.3
	Seogu	2.6		Haenam	49.2
	Yeonsu	44.1		Wando	49.7
Kyeongki : 4 places (153.5km <sup>2</sup> /6.4%)	Gimpo	49.0		Goheung	110.5
	Hwaseong	81.7		Gangjin	78.8
	Ansan	5.2		Yeosu	65.9
	Pyeongtaek	17.6		Gwangyang	2.9
Chungnam : 6 places (304.2km <sup>2</sup> /12.7%)	Dangjin	28.4	Gyeongnam 5 places (59.0km <sup>2</sup> /2.5%)	Hadong	14.1
	Seosan	67.9		Namhae	17.3
	Taeon	102.1		Sacheon	19.4
	Hongseong	9.8		Goseong	5.3
	Boryeong	32.7		Masan	2.9
	Seocheon	63.3			
Jeonbuk : 3 places (113.6km <sup>2</sup> /4.8%)	Gunsan	22.3	Busan 1 place (23.6km <sup>2</sup> /1.0%)	Gangseo	23.6
	Buan	16.9			
	Gochang	74.4			

전라남도지역은 서해안에서 가장 복잡한 해안을 형성하는 다도해역으로 진도를 비롯하여 크고 작은 만들과 섬들이 산재하여 매우 복잡한 양상을 띠고 있다. 이 해역에는 임자도, 증도, 자은도, 암태도, 안좌도, 압해도, 비금도, 도초도, 하의도, 상태도, 하조도 등 크고 작은 섬들과 만이 있으며, 이들 주위에는 넓은 갯벌이 분포되어 있다. 특히, 목포 북쪽의 영광군, 무안군, 신안군의 해안과 섬 주위에는 넓은 갯벌이 분포되어 있으며, 목포항 내측의 영산강을 비롯하여 해남군 화원반도 주변의 해남강과 영암·금호지구에 방조제를, 내측에는 영암호와 해남호가 조성됨으로서 갯벌의 손실 및 주변의 갯벌 조성에 변화를 주었다[해양수산부, 1998].

전라남도(남해)지역은 육지근처의 작은 만들과 크고 작은 섬들이 산재하여 비교적 복잡한 양상을 띠고 있으며, 전라남도 남해를 행정구역(시·군·구)별로 구분하면 해남군 해남각동측을 포함한 완도군, 강진군, 고흥군, 여천군 지역으로 구분한다. 해남군과 강진군은 육지해안을 따라 갯벌이 분포되어 있고, 완도 북측과 인접한 해남군 육지해안에는 비교적 넓은 갯벌이 분포되어 있다. 고흥반도의 득량만과 여자만의 내측에는 비교적 넓은 갯벌이 있으며, 여천군에는 광양제철소 및 광양항 개발에 의한 간척·매립으로 많은 갯벌이 손실되었음을 알 수 있다. 또한 여천 국가산업단지 및 울촌지방산업단지 조성으로 인하여 갯벌이 상실되고 있다. 이 지역내 소안·청산지구, 나로도지구, 금오도지구, 거문·백도지구는 다도해해상국립공원으로 지정되어 있고 완도지구, 고금지구, 득량만지구, 여자만지구, 여호지구, 강산지구는 수산자원보전지구로 지정되어 있다 [해양수산부, 1998].

경상남도지역은 우리 나라 갯벌면적의 약 3%인 82.6km<sup>2</sup>가 분포되어 있으며 서해안에 비하여 조석간만의 차가 작고 조류 및 해류의 영향으로 갯벌이 발달할 수 있는 여건이 아니기 때문에 그다지 많은 갯벌이 분포되어 있지는 않으나, 비교적 해안의 굴곡이 심한 리아스식해안으로 대·소규모의 만들이 형성되어 있어 소규모의 갯벌이 산재되어 있다. 또한, 이 해역은 자연경관이 수려하여 남해군, 통영시, 거제시의 일부 및 부근 해역이 한려해상국립공원으로 지정되어 있으며, 창선·통영·한산만·진동만 지구 등 대부분의 해역이 수산자원보전지구로 지어되어 있는 자연환경보전지역이다. 따라서 이 지역은 간척자원도 충분하지 않아 대규모의 간척사업은 없으나 소규모 매립공사가 부분적으로 시행되고 있고 해도상에 나타난 매립사업은 부산광역시 강서구 송정도의 명지·녹산의 매립지로서 약 6.5km<sup>2</sup>의 갯벌이 상실됨을 알 수 있다. 또한, 바다와 인접한 낙동강 하구에는 퇴적물이 쌓여 비교적 규모가 큰 갯벌이 분포되어 있다[해양수

산부, 1998].

## (2) 습지의 분포

물새 서식 습지대를 국제적으로 보호하기 위해 1971년 2월 2일 이란의 람사(ramsar)에서 '물새 서식지로서 특히 국제적으로 중요한 습지에 관한 협약'(the convention on wetlands of international importance especially as waterfowl habitat)을 맺고 동년 12월에 발효하였다. 20세기 후반부터 생물다양성의 원천으로서 습지의 중요성이 부각됨에 따라 '90년대 말 람사협약 가입 나라가 당초 60개국에서 114개국으로 증가되었는데 우리나라는 '97년에 가입하였다[습지보전연대회의, 1999].

람사가입국들은 다음의 의무적인 사항에 동의하였다.

- ① 국제적 중요한, 소위[람사사이트]에 포함시킬수 있는 습지 한 곳 이상의 지정
- ② 지정한 습지의 생태학적 특성의 유지
- ③ 자신들의 영역에서 모든 습지를 현명하게 이용하기 위한 계획을 조직
- ④ 습지의 자연보호구 지정

협약 기준에 따라 국제적으로 중요한 습지로 분류되는 우리나라 습지는 62개소이며 이중 46개 지역이 연안습지이다. 특히 46개 연안습지 중 29개 지역이 갯벌습지이며 이중 22개 지역은 간척으로 서식환경이 위협받고 있는 것으로 조사되었다[자연보전국, 1998].

**Table 2.5 Representative tidelands of Korea [습지보전 연대회의, 1999]**

Orders	Wetland	Number of species	Types	Number of aquatic birds
1	Saemangeum	16	Tidland	126,278
2	The mouth of geumgang	16	Tidland	55,603
3	The mouth of Nakdong	13	Tidland	28,162
4	Asan bay	12	Tidland	75,880
5	Namyang bay	12	Tidland	29,613
6	Suncheon bay	10	Tidland	35,261
7	Ganghwa island	10	Tidland	24,037
8	The south in Yeongjong island	8	Tidland	24,966
9	Abhae island	8	Tidland	26,660
10	Hampyeong bay	7	Tidland	10,573
11	A,B area of Seosan reclaimed land	5	Lake	48,379
12	Geum river	5	The bank of an estuary	47,786
13	Haenam bay	5	Tidland	13,187
14	Maean	5	Tidland	8,102
15	Geumho lake in Haenam	4	Lake	123,347
16	The south sea	4	Tidland and coast	16,361
17	Cheonsu bay	4	Tidland	11,485
18	Yeongkwang	4	Tidland	5,233
19	Galsa bay in Gwangyang	4	Tidland	3,922
20	The north in Yeongjong island	3	Tidland	2,031

### 2.1.6 연안의 주요시설

#### (1) 항만시설

1999년 1월말 현재 우리 나라의 항만법상 항만은 무역항 28개소, 연안항 22개소 등 총 50개소이며 무역항의 입지분포는 남해안이 13개소로 가장 많은 전체의 46.4%를 차지하고 있으며 다음이 서해안 8개소(28.6%), 동해안 7개소(25.0%) 순이고 연안항의 경우 남해안 10개소(45.5%), 서해안 7개소(31.8%), 동해안 5개소(22.7%) 순이다. 1997

년말 현재 항만의 시설은 부두시설 122km로 접안능력 564선석, 하역능력 360백만톤/년, 취급화물량 774백만톤/년의 수준이며 28개 무역항의 부두시설은 안벽 82,205m, 호안 56,950m, 물양장 38,554m, 방파제 33,690m 등이고 연안항은 안벽3,683m, 방파제 16,506m, 물장장 13,338m등이 설치되어 있다[해양수산부, 1999].

**Table 2.6 Port facilities of Korea '97 [해양수산부, 1999]**

Articles Ports	Capacities		Facilities						
	Berth	Tons, thousands /year	Pier (m)	Moles (m)	Landing stages	Lighter's wharf(m)	Buildings	Warehouses	Fields (10 <sup>3</sup> .m <sup>2</sup> )
Total	564	359,929	85,888	50,196	137	51,892	33	19	6,023
Free ports	526	352,908	82,205	33,690	134	38,554	33	19	5,867
The west coast	133	81,716	17,488	2,473	76	8,553	11	2	2,356
The south coast	236	181,457	41,383	16,167	55	22,489	20	4	2,008
The east coast	157	89,735	23,334	15,050	3	7,512	2	13	1,503
Coastal ports	38	7,021	3,683	16,506	3	13,338	0	0	156
The west coast	2	703	140	3,800	3	2,271	0	0	0
The south coast	20	3,695	1,883	9,094	0	7,927	0	0	32
The east coast	16	(2,623)	1,660	3,612	0	3,140	0	0	124

(2) 어항시설

우리 나라에는 어항법의 적용을 받는 1, 2, 3종 어항이 410개소, 어항법의 적용을 받지 않는 소규모항이 1,829개소로 총 2,239개의 어항이 산재하여 있다. 제1종 어항은 이용범위가 전국적인 어업의 근거지로 전국에 69개소가 있으며 제3종 어항은 어장의 개발, 어선의 대피에 필요

한 낙도 또는 외지에 소재하는 어업의 근거지로 1종보다 개소수가 적은 36개소로서 해양수산부 장관이 관장하고 있다. 1998년말 현재 1종항의 연안별 분포는 서해안 13개소, 남해안 26개소, 동해안 30개소이고 3종항은 서해안 15개소, 남해안 18개소, 동해안 3개소로로서 1종항은 강원도가 14개소(20.3%)로 가장 많으며 3종항은 전라남도가 17개소(47.2%)로 많다. 제2종 어항은 이용범위가 지방적인 어업의 근거지로 시·도지사가 관장하는데 1998년말 현재 총 305개소가 산재하여 있으며 남해안이 가장 많은 138개소 이고 (45.2%), 서해안에 113개소(37.0%), 동해안에 54개소(17.8%)가 입지하고 있다. 전국의 소규모항은 1998년말 현재 1,829개소로 조사되었다. 이 중 해양수산부 장관이 관장하는 육지 소규모항은 971개소로 시도별 분포를 살펴보면 경상남도가 354개소(36.5%)로 가장 많고 다음이 전라남도 303개소(31.2%), 경상북도 92개소(9.5%), 제주도 71개소(7.3%) 순이다[해양수산부, 1998].

**Table 2.7 Distribution of costal fishing grounds [해양수산부, 1998]**

Articles	Total(%)	The 1-st ports(%)	The 3-rd ports(%)	The 2-nd ports(%)	Small ports(%)
The whole country	2,239(100.0)	69(100.0)	36(100.0)	305(100.0)	1,829(100.0)
The W-coast	662(29.6)	13(18.8)	15(41.7)	113(37.0)	521(28.5)
The S-coast	1,372(61.3)	26(37.7)	18(50.0)	138(45.2)	1,190(65.1)
The E-coast	205(9.1)	30(43.5)	3(8.3)	54(17.8)	118(6.4)

① 제1종 어항시설

전국 1종 어항 시설은 외곽시설인 방파제, 도제, 파제제, 돌제, 도류제, 방사제, 익제와 계류시설인 물양장, 호안, 선착장, 선류장, 선양장, 안벽 등 13개 중별로 나눌 수 있다. 시설 빈도가 낮은 도제, 도류제, 익제 및 선류장, 안벽을 제외한 나머지 8개종의 총 연장은 81,412m로

조사되었다[해양수산부, 1998].

**Table 2.8 Costal fishing grounds of the 1st sort (m, %)[해양수산부, 1999]**

Articles	Total	Break water	Lighter's wharf	Groin	Embankment	Slip way	Landing stage	Inner break water	Jetty wharf
The whole country	81,412 (100.0)	32,692 (40.2)	31,285 (38.4)	4,449 (5.5)	7,891 (9.7)	1,143 (1.4)	807 (0.9)	1,630 (2.0)	1,515 (1.9)
The W-coast	14,462 (100.0)	6,430 (44.4)	3,623 (25.1)	340 (2.4)	2,762 (19.1)	293 (2.0)	699 (4.8)	235 (1.6)	80 (0.6)
The S-coast	26,825 (100.0)	10,849 (40.4)	11,629 (43.3)	150 (0.6)	1,694 (6.3)	355 (1.3)	108 (0.4)	980 (3.7)	1,060 (4.0)
The E-coast	40,125 (100.0)	15,413 (38.4)	16,033 (40.0)	3,959 (9.9)	3,435 (8.6)	495 (1.2)	-	415 (1.0)	375 (0.9)

제1종항의 어항시설은 방파제가 전체의 40.2%에 해당하는 32,692m로 가장 많았고 물양장 31,285m(38.4%), 호안 7,891m(9.7%), 방사제 4,449m (5.5%) 순이다.

② 제3종 어항시설

제3종어항은 방파제, 파제제, 선양장, 호안 시설이 상대적으로 많으며 방파제가 전체의 47.9%인 15,356m로 가장 많고 물양장 10,458m(32.6%), 호안3,479m(10.8%) 순이다[해양수산부, 1998].

Table 2.9 Costal fishing grounds of the 3rd sort (m, %)[해양수산부, 1999]

Articles	Total	Break water	Lighter's wharf	Groin	Embankment	Slip way	Landing stage	Inner break water	Jetty wharf
The whole country	32,083 (100.0)	15,356 (47.9)	10,458 (32.6)	968 (3.0)	3,479 (10.8)	562 (1.8)	130 (0.4)	1,045 (3.3)	85 (0.2)
The W-coast	12,343 (100.0)	5,515 (44.7)	3,152 (25.5)	968 (7.8)	1,926 (15.6)	150 (1.2)	100 (0.9)	532 (4.3)	
The S-coast	16,698 (100.0)	8,041 (48.2)	6,186 (37.0)	-	1,553 (9.3)	375 (2.2)	30 (0.2)	513 (3.1)	
The E-coast	3,042 (100.0)	1,800 (59.2)	1,120 (36.8)	-	-	37 (1.2)	-	-	85 (2.8)

연안별로는 서해연안의 경우, 방사제(7.8%), 선착장(0.9%) 비중이 높으며, 남해연안은 선양장(2.2%), 물양장(37.0%), 동해연안은 돌제(2.8%)와 방파제(59.2%)의 비중이 높다. 특히 동해연안의 3종어항은 경상북도에만 입지해 있는데 방사제, 호안, 선착장, 파제제의 시설이 되어 있지 않으며 이와 같은 현상은 제주도도 마찬가지여서 어항시설로는 방파제 935m, 물양장 525m, 선양장 30m만 갖추고 있다[해양수산부, 1998].

### ③ 제2종 어항시설

제2종 어항의 시설은 방파제가 가장 많아 전체의 45.8%인 40,832m에 이르고 선착장 21,858m(24.5%), 물양장 14,348m(16.1%), 호안 12,154m(13.6%) 순이다.

방파제 시설은 전라남도가 10,928m(26.8%)로써 가장 규모가 크며 다음이 경상남도 6,427m(15.7%), 충청남도 4,630m(11.3%) 순이고 선착장 역시 전라남도의 점유율이 가장 높아 전체의 39.4%인 8,608m에 이르고 다음이 경상남도 3,420m(15.6%), 인천광역시 3,171m(14.5%) 순

이다[해양수산부, 1998].

물양장도 전라남도에 가장 많아 총연장 2,983m(20.8%)를 차지하나 두 번째 순위는 방파제나 선착장의 경우와는 달리 경상남도가 아닌 부산이 1,858m(12.9%)로 그 규모가 크며 호안은 전국의 총연장 12,154m 중 경상남도가 5,168m로 전체의 42.5%를 점유하며 부산이 25.4%인 3,088m를 보유하고 있다[해양수산부, 1998].

#### ④ 소규모항 시설

소규모항 시설은 총 164,855m이며 이중 선착장이 94,861m(57.6%)로 월등히 많고 호안 37,500m(22.7%), 방파제 17,871m(10.8%), 물양장 14,462m(8.8%) 순이다[해양수산부, 2002].

**Table 2.10 Distribution of small-scale ports (m, %) [행정자치부, 1999]**

Articles	Ports	Total	Quay-wall	Lighter's wharf	Landing stage	Break water	Groin	Embankment
The whole country	1,829	164,855 (100.0)	75 (0.05)	14,462 (8.8)	94,861 (57.6)	17,871 (10.8)	86 (0.05)	37,500 (22.7)
The W-coast	521	25,493 (100.0)		4,128 (16.2)	17,695 (69.4)	2,540 (10.0)		1,130 (4.4)
The S-coast	1,190	124,608 (100.0)		4,214 (3.4)	73,979 (59.4)	11,558 (9.3)	86 (0.07)	34,771 (27.9)
The E-coast	118	14,754 (100.0)	75 (0.5)	6,120 (41.5)	3,187 (21.6)	3,773 (25.6)		1,599 (10.8)

연안별 특징은 서해안의 경우 물양장의 비중이 전국평균에 비해 2배 정도 높으며 방파제와 안벽시설은 없는 것으로 조사되었고 남해안은 시설별 구성순위가 전국과 같으나 선착장과 호안 등의 구성비가 전국평균보다 높다.

(3) 방조제 시설현황

1998년말 현재 우리나라의 방조제는 총 1,892개소로서 전체 연장은 1,109,203m이다. 이 중 국가관리방조제는 7.3%인 138개소 248,837m(22.4%), 지방관리방조제는 92.7%인 1,754개소 860,366m(77.6%)이다. 전국 방조제에 의한 수혜면적은 1,062.3km<sup>2</sup>에 이르며 이는 전국 논면적 12,298.6km<sup>2</sup>의 11.6%에 해당한다. 방조제 1개소당 평균 수혜면적은 56ha인데 국가관리방조제의 경우는 554ha, 지방관리방조제의 경우는 17ha 정도가 되고 있다. 또한 방조제의 1개소당 평균 길이는 586.3m인데 이중 국가관리방조제는 1,803.2m로 약 3배정도 크나 지방관리방조제의 1개소당 평균길이는 490.5m 정도이다[해양수산부, 2000].

방조제의 시·도별 분포 및 수혜면적은 전라남도가 1,132개소(59.8%) 및 36,155.8ha(34.0%)로 가장 많았고 다음이 충청남도로 294개소(15.5%) 및 26,760.8ha(25.2%)로 나타났다.

Table 2.11 Regional distribution of tide embankments [농어촌진흥공사, 1999]

	Total			State-controlled			Region-controlled		
	Number (10 <sup>13</sup> )	Area (ha)	Distances (m)	Number (10 <sup>13</sup> )	Area (ha)	Distances (m)	Number (10 <sup>13</sup> )	Area (ha)	Distances (m)
Total	1,892	106,228.8	1,109,203	138	76,519	248,837	1,754	29,709.8	860,366
Busan	2	51.7	5,386	-	-	-	2	51.7	5,386
Incheon	165	6,408.1	138,774	20	4,361	41,092	145	2,047.1	97,682
Ulsan	1	26.6	188	-	-	-	1	26.6	188
Kyeonggi	91	20,748	91,374	2	17,812	4,624	89	2,936.0	86,750
Chungnam	294	26,760.8	142,492	15	21,630	21,445	279	5,130.8	121,047
Jeonbuk	64	13,614.3	116,141	17	11,822	73,789	47	1,792.3	42,352
Jeonnam	1,132	36,155.8	560,016	74	20,043	99,243	1,058	16,112.8	460,773
Kyeongnam	142	2,430.5	54,590	10	851	8,644	132	1,579.5	45,946
Jeju	1	33	242	-	-	-	1	33	242

또 방조제를 제령별로 보면 전국방조제 1,586개 지구 중 제령이 38년 이상인 것은 1,061지구로서 66.9%가 되고 그 미만은 525지구로서 33.1%가 되고 있다. 방조제의 수명을 40년으로 볼 때 절반 이상이 노후 되어 보수를 요하는 것으로 판단되고 있으며 이중 지방방조제가 95%이상을 차지하고 있다[농어촌진흥공사, 1999].

#### (4) 연안방재시설의 노후도 조사

연안방재시설로서 각종 제방, 호안, 배수갑문 등 수문, 항만·어항시설의 설치년도와 전국78개 연안시군구에서 정비를 요청한 사업을 대상으로 보수, 보강을 위한 각종시설물을 평가한 결과 총 3,669개소의 정비사업조사 지구중 576개소(15.7%)가 시설 노후화로 인한 보수·보강 사업지구로 조사되었다[농림부, 1998].

최근 항만·어항 시설물의 설계기준은 통상 50년 단위를 사용하나 대부분 자연발생적 해안시설이거나 지자체 시행사업의 소규모 시설이므로 노후기준 년도를 30년으로 기준하였다. 따라서 설치년도를 알 수 없는 2,969개소(80.9%)를 감안하면 실제로 노후시설은 3,500여개소(약 90%) 이상 될 것으로 추정되고 있으며 이러한 연안시설물은 천단고 제고, 피복재 복구 등 안전조치가 시급한 것으로 분석된다[농어촌진흥공사, 1998].

Table 2.12 Established chronologies of tide embankments[농어촌진흥공사, 1998]

Articles		Facilities	Chronicles established													
			~45		46~61		62~71		72~76		77~81		82~86		87~	
				%		%		%		%		%		%		%
Total	Total	1,586	759	48	302	19	327	21	81	5	52	3	20	1	45	3
	State	91	35	38	13	14	16	18	7	8	12	13	5	6	3	3
	Region	1,495	724	48	289	19	311	21	74	5	40	3	15	1	42	3
Busan	Total	2											2	100		
	State															
	Region	2											2	100		
Incheon	Total	95	37	39	32	34	19	20	1	1	3	4	2	2	1	1
	State	8			2	25	4	50	1	13	1	12				
	Region	87	37	43	30	35	15	17			2	2	2	2	1	1
Ulsan	Total	1											1	100		
	State															
	Region	1											1	100		
Kyeonggi	Total	49	9	18	25	51	8	17	3	6	2	4	1	2	1	2
	State	2														
	Region	47	9	19	25	53	8	17	1	2	2	5	1	2	1	2
Chungnam	Total	261	103	39	48	19	54	21	34	13	16	6	3	1	3	1
	State	14	3	22	5	36			1	7	3	21	2	14		
	Region	247	100	40	43	18	54	22	33	13	13	5	1	1	3	1
Jeonbuk	Total	56	18	32	11	20	12	21	13	23	2	4				
	State	12	9	75			2	17	1	8						
	Region	44	9	21	11	25	12	27	12	27	2	5				
Jeonnam	Total	985	534	54	168	17	192	20	22	2	20	2	10	1	39	4
	State	49	21	43	4	9	8	16	2	4	8	16	3	6	3	6
	Region	936	513	55	164	18	184	19	20	2	12	1	7	1	36	4
Gyeongnam	Total	136	58	42	18	13	42	31	8	6	8	6	1	1	1	1
	State	6	2	33	2	33	2	34								
	Region	130	56	43	16	12	40	31	8	6	8	6	1	1	1	1
Jeju	Total	1									1	100				
	State															
	Region	1											1	100		

(5) 친수공간시설

1998년 현재 각종 개별법에 의해서 연안에 지정된 관광·휴양지는 전국 273개소의 약 44.3%에 해당하는 121개소로 그 유형을 보면 국립공

원, 도립공원, 군립공원 및 관광지, 관광단지, 관광특구 등으로 되어 있다. 연안관광·휴양지 유형을 보면 해수욕장형이 대부분이며 해양종합형의 관광단지로는 제주도 중문 및 성산포지구, 경주 감포지구, 해남 화원지구 등이 있을 뿐 해양을 주제로 한 「테마형」의 관광지는 아직 개발되어 있지 않다. 관광진흥법에 의한 관광·휴양지의 지정은 관광지, 관광단지, 관광특구 등으로 분류되며 전국에 202개소, 2,982.8km<sup>2</sup>가 지정되어 있고 이중 임해 연안에 68개소, 2,625.1km<sup>2</sup>가 지정되어 있으며 특히 관광단지는 4개소 16.80km<sup>2</sup>가 지정되어 있다.

**Table 2.13 superannuated degrees of costal facilities [농림부, 1998]**

Articles	Ages						Consolidating project			
	Total	Under 10years	Under 20years	Under 30years	Over 31years	Unknown	Total	Creation	Repair	Etc
Total	3,669	38	34	52	576	2,969	3,669	1,349	642	1,678
Tide embankment	783	6	14	38	566	159	783	10	192	581
Sea wall	278	21	10	5	6	236	278	78	196	4
Corrosion-prevention	132	1	1	0	1	129	132	86	46	0
Submersion-prevention	47	1	7	0	0	39	47	27	20	0
Sand-prevention	2	0	0	0	0	2	2	2	0	0
Seaside road	253	8	2	7	3	233	253	54	66	133
Floodgate	12	1	0	2	0	9	12	3	9	0
Reclamation of public water surface	29	0	0	0	0	29	29	26	2	1
Water facilities	6	0	0	0	0	6	6	6	0	0
Ports	2,127	0	0	0	0	2,127	2,127	1,057	111	959

한편 지정관광지 이외의 연안자연관광 및 휴양을 위한 후보지 조사에 의하면, 전국 연안에 분포하고 있는 해수욕장이 224개소, 28.94km<sup>2</sup>에 이르고 있으며, 자연경관이 수려한 관광자원은 100개소 83.15km<sup>2</sup>에 이르는 것으로 조사되었다.

**Table 2.14 Dimensions of costal resorts in Korea [문화관광부 · 한국관광연구원, 1999]**

Articles	National(A)		Near shore cities(B)		Near shore counties(C)		B/A		C/A	
	Places	Area(km <sup>2</sup> )	Places	Area(km <sup>2</sup> )	Places	Area(km <sup>2</sup> )	Places	Area(km <sup>2</sup> )	Places	Area(km <sup>2</sup> )
Public sea area	71	7,528.83 (26,483.5)	34	5,351.08 (26,483.5)	22	4,510.89 (26,483.5)	47.9	71.1	31.0	59.9
Beach for leisure	224	28.94								
Vacation land	175	183.56	72	54.41	58	45.30	41.1	29.6	33.1	24.7
Tourist attraction	8	44.12	5	27.48	4	16.80	62.5	62.3	50.0	38.1
Special tourism zone	19	2,755.11	10	2,601.55	6	2,562.96	52.6	94.4	31.6	93.0

**Table 2.15 Distributions of costal tourist attractions [국토연구원, 1999]**

Articles	Total		Beach for leisure		Area for landscape	
	Places	Area(km <sup>2</sup> )	Places	Area(km <sup>2</sup> )	Places	Area(km <sup>2</sup> )
Total	324	112.09	224	28.94	100	83.15
The W-coast	102	41.07	60	22.44	42	18.63
The S-coast	70	52.02	35	2.28	35	49.74
The E-coast	139	17.89	116	3.11	23	14.78
Jeju	13	1.11	13	1.11	-	-

## 2.2 국내 오염현황

국제기구의 해양학자들에 의하면 해양오염은 "인간에 의해 직접 간접적으로 해양환경-하구를 포함에 유입되는 물질들로서 생물자원을 손상시키거나 인간의 건강에 해가 되며 해양활동을 저해하고 또는 쾌적한 환경을 저해하는 모든 유해한 영향을 유발하는 것"으로 정의되어 있다. 국제 자문기관 등도 "오염은 인간에 의해 물질 또는 에너지가 직·간접적으로 해양환경으로 유입되어 생물자원 및 인체에 대한 악성영향 및 어로행위 등을 포함하는 해양활동의 방해, 해수수질의 악화, Amenities의 감소 등과 같은 악 영향의 결과를 유발하는 것"으로 정의하고 있다. 이들을 요약하면, "해양오염은 인위적 활동에 의한 해양환경의 오염이나 생태계의 변화"라고 할 수 있다[조, 2003].

우리나라 해양오염의 진원지를 보면 육상유입이 80%, 해양투기가 10% 그리고 나머지는 자가 오염 등에 기인하고 있는 것으로 보고되었다[해양수산부, 2002]. 이와 같은 육상오염물질의 해양유입은 연안역의 부영양화현상을 초래하고 이로인해 최근에 유해적조가 매년 대부분의 연안해역에서 발생하여 해양환경을 훼손하고 수산업에 막대한 피해를 일으키고 있다.

### 2.2.1 해양 환경오염의 원인 물질 및 영향

연안환경은 주변의 육상 및 대기환경과 직접적으로 연결되어 있으며, 육지와 연접한 연안수역은 육지의 영향을 많이 받고 있다. 따라서 해양오염의 주된 원인물질은 일상생활에서 발생하는 오수, 분뇨, 산업활동에서 발생하는 산업폐수 및 산업폐기물, 영농활동에서 사용하는 비료, 농약 등 각종 화학물질과 축산폐수, 대규모 매립 및 간척사업에서 발생하

는 부유토사 등의 오염물질이다. 이외에 해양시설에서 발생하는 오·폐수 및 해저자원 개발, 해난사고에 의한 기름유출 등의 해상기인 오염물질과 방사선 물질 및 산성비, 비산먼지 등과 같이 대기로부터 오는 오염물질도 해양오염을 증가시키는 요인이 되고 있다.

이들중 가장 주된 오염원은 육상기인 오염물질로서 해양오염의 약 80%를 차지하고 있으며, 황해의 경우 중국의 양쯔강등과 우리나라의 한강, 금강 등 주요수계를 통하여 유입되고 있다. 특히 앞에서 설명한바와 같이 육상기인의 오염물질이 황해와 남해안으로 대량유입되므로써 이들 해역에서는 매년 유해적조가 광역적으로 그리고 장기간동안 발생하고 있다. 해양환경오염의 원인물질은 다양한 형태로 나타나지만 크게 나누면 다음과 같다.

#### (1) 생활하수

주로 가정에서 배출되어 연안으로 유입되며, 최근 연안오염의 주요 원인으로 되고 있다. 생활하수는 각종 부패성 유기물질, 부유물질, 합성세계 등으로 구성되며 특히 연안역에서의 유기물질의 부패로 인한 용존산소 고갈 및 질소, 인등의 영양염류의 과잉공급으로 인한 부영양화 등의 악영향을 유발시켜 연안역의 수질을 크게 악화시키고 있다.

#### (2) 산업폐수

산업체에서 생산 활동의 결과 생성되는 각종 폐수로서 다양한 성질의 폐수를 연안지역으로 방출하고 있다. 특히 임해공단이 밀집해 있는 연안지역에 위치한 해역의 오염이 심각하며, 유독성 화학물질이 유입되고 있는 곳에서는 생물에의 농축으로 기형어 등이 나타나기도 한다.

### (3) 기름유출

주로 선박사고나 유조선의 침몰로 인한 원유의 대량유출이 원인이 되며 이 밖에도 육상으로부터의 석유관련 시설, 선박(유조선의 밸러스트수 포함), 해저 유전, 해양시설 등으로부터도 지속적으로 유출이 되고 있다. 우리나라의 경우 1991년부터 1997년까지 총 2,430여건의 유조선 사고가 발생하여 35,500kl의 기름이 유출되었고, 약 3,300억원의 어업피해가 발생하였다. 지금까지 100톤 이상의 대형 유출사고는 20여건에 불과하지만 전체 유출량의 90% 이상을 차지한다. 예로 1995년의 시프린스 사고와 같은 대형 유조선 사고시에는 13,604kl의 기름이 유출되어 연안을 크게 오염시켜 많은 피해를 입혔다[해양수산부 안전정책제도기획단, 2004].

### (4) 농·수·축산 폐수

소규모 단위의 영농활동이나 수산 및 축산활동으로부터 배출되는 고농도의 유기물질을 함유한 폐수이다. 최근 이들 산업의 기업화 추세로 폐수의 양이 급격히 증가하고 있으며 수역의 부영양화 현상을 초래하기도 한다[조, 2003].

### (5) 비점원 오염(Nonpoint sources)

산림·농경지의 비료성분 및 농약성분, 도로 및 도시 시가지 등으로부터의 오염물질은 특히 강우시 고농도로 일시에 연안역으로 유입되어 부유물질 및 영양염 등의 증대로 해역의 부영양화 등 악영향을 초래하고 있다. 특히 농약 및 도시 시가지로부터 유입되는 화학물질중에는 자연조건에서 잘 분해되지 않고 장기간 해수중에 체류하여 Food-chain(먹이연쇄)을 통해 생물체내에 고농도로 농축되기도 한다[조, 2003].

## (6) 자가 오염

연안 위락시설(식당, 숙박시설, 놀이시설, 여객터미널, 유·도선장 등)에 의한 폐기물 및 쓰레기의 해양배출과 이를 방치하는 경우와 연안휴양객 및 관광객에 의한 음식찌꺼기·생활쓰레기 배출과 바다낚시 과정에서 발생하는 쓰레기 배출등을 들 수 있으며 강 및 하천을 통한 육상기인 쓰레기의 해양으로의 투입등이 대표적인 예이다. 또한 수산활동이나 어패류의 양식등으로 인해 발생하는 오·폐수 및 쓰레기의 해양배출과 골재채취, 공유수면 매립, 항만공사, 준설 등 해안시설의 부적절한 처리 등 다양한 형태의 자가 오염원이 급증하고 있는 추세이다[해양수산부, 2003].

## (7) 화학물질

화학물질에 의한 오염은 물질의 종류도 영향도 다종다양하여 광범위하게 일어나며, 미량으로 존재하여 모니터링이 어렵고 분해가 잘 안되는 물질이 많으며 미량이라도 독성이 강한 등의 특징을 가지고 있다. 이러한 화학물질에 의한 오염은 DDT, PCB, 다이옥신 등과 같은 유독한 오염물질의 형태로 잘 알려져 있으며 최근에는 화학물질의 국가간 이동 및 높은 농축특성 등의 문제로 국제적인 관심 및 규제의 대상이 되고 있는 물질이 많다. 가령, 선체 바닥도료의 주성분으로 사용되어 선체를 부착생물의 부착으로부터 방지하는 능력이 탁월한 TBT(Tributyltin)와 같은 물질은 최근에 해양생물에 대한 독성이 강한 것으로 판명되어 선진 각국에서 규제를 받고 있다. 주로 소각장의 소각과정에서 합성되어 배출되는 다이옥신과 같은 맹독성 오염물질은 폐기물의 처리를 곤란하게 할 뿐만 아니라 모유에서도 검출되는 등 생태계를 크게 위협하고 있다[해양수산부·국회해양수산정책연구회, 2002].

## 2.2.2 육상기인 오염물질과 연근해어장의 오염 실태

연안환경은 육상과 해양의 경계점으로서 육상기인 오염물질의 직접적인 부하를 받는 곳으로 육상기인 오염원의 영향을 가장 많이 받는 곳이다. 따라서 해양오염의 주된 원인물질은 일상생활에서 발생하는 오수, 분뇨, 산업활동에서 발생하는 산업폐수 및 산업폐기물, 영농활동에서 사용하는 비료, 농약 등 각종 화학물질과 축산폐수, 대규모 매립 및 간척 사업에서 발생하는 부유토사 등의 오염물질과 이외에 해양시설 및 선박 등에서 발생하는 오·폐수 및 오염물질도 해양오염을 증가시키는 요인이 되고 있다. 지금까지의 연근해해역에 대한 해양환경수질을 정기적으로 조사한 결과 우리나라의 근해 수질은 I등급 수질기준을 유지하고 있으나 연안수질은 1991년 이후 계속 II등급(COD 2mg/l이하) 수질을 유지하고 있다. 최근에는 경제규모의 확대와 교역량의 증가에 따른 해상 물동량의 급증, 연안역 이용행위의 증가 등으로 인한 해양오염물질의 배출량이 계속 늘어나고 있으며 그로 인해 남해안 등에서는 부영양화 현상이 심화되어 적조현상과 빈소수괴 등이 더욱 자주 발생할 것으로 전망하고 있다 [해양수산부·국회해양수산정책연구회, 2002].

## 2.2.3 연안 오염의 영향

### (1) 유해적조의 상습발생으로 인한 어업피해

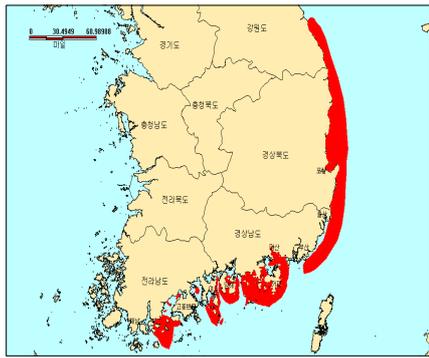
우리나라에서 적조발생은 오랜 옛날부터 있었던 것으로 기록되어 있는데, 신라시대부터 적조현상이라고 생각할 수 있는 내용이 삼국사기 선덕여왕조의 기록에 남겨져 있다. 조선왕조실록을 보면, 1403년(태종 3년) 8월과 10월에 경남 기장, 고성, 거제연안 및 진해만 일대에서 해수가 적

색으로 변하면서 고기가 떼죽음을 당했다는 기록이 있고, 1412년에는 순천연안에서, 1423년에는 거제도 연안에서, 1928년에는 마산 앞 바다에서 해수가 붉게 변해 고기가 죽었다는 기록이 있다.

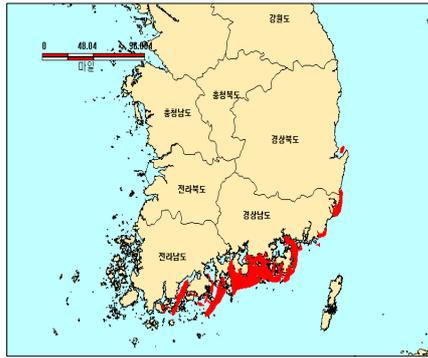
과학적으로 조사·연구된 기록으로는 국립수산진흥원에 의해 보고된 1961년 10월의 진동만 적조발생이 최초라 할 수 있다. 1970년대 중반까지는 진해만 일원 등에서 좁은 해역의 단기성 적조가 주로 발생하였으나, 1981년부터는 유해조류에 의한 광역, 장기성 적조로 변화되어 왔다. 특히, 1995년에 경남 통영해역에서 발생하여 남해안 전역과 포항 등 동해남부까지 확산된 대규모 적조가 어업에 큰 피해를 준 예도 있다.

적조 발생시기는 1981년까지는 주로 7, 8월에 발생하였으나 이후에는 3월에도 적조가 발생, 점점 빨리 발생하는 조기화 추세를 보였으며 최근 어떤 해역에서는 11월까지도 적조현상이 관찰되는 등 발생기간의 폭이 넓어지고 있다. 또한 적조발생지역은 남·서해의 일부 내만에서 소규모로 발생하였으나 1980년대 이후로 편모조에 의한 단독종 적조가 진해만 일원에서 상당히 상습적으로 발생하였다. 한편 1990년대에는 남해, 서해, 동해의 전 연안수역으로 광역외연화 되었고 유독종 적조 발생으로 어패류 양식장에서 대규모 수산피해가 발생하기 시작하였다[이, 1992].

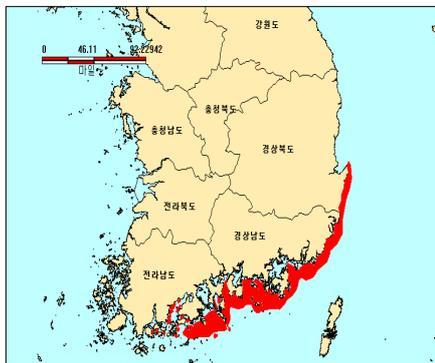
Fig. 2.2 는 1995년도 이후 *Cochlodinium* 적조의 발생지역을 나타낸 것이다. 우리나라 연안어장에서 가장 대규모 적조가 발생한 1995년도에는 단독종 적조를 일으키는 적조생물 40여종 중 맹독성의 *Cochlodinium* 적조가 8월 29일 전남 고흥군 동일면 덕흥리 내나라도 지선에서 발생하여 남해, 동해연안에서 약 2개월 동안 지속하면서 대규모 수산피해를 초래하였다. 그리고 1996 - 2000년도에도 남해안과 동해남부 연안수역에서 발생하여 수십억의 수산피해를 야기하였고 특히 2001년도에는 상당히 광역적으로 장기간 발생하여 약 84억원의 수산피해를 일으켰다[해양수산부·국회해양수산정책연구회, 2002].



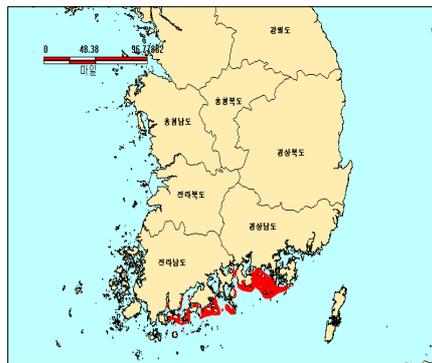
1995



1996



1997



1998



1999



2000년

Fig 2.2 Distribution charts of noxious Cochlodinium(1995~2000)

## (2) 하계 연안 저산소 수괴의 출현

미생물의 분해로 산소 소비가 증가하여, 해저 층은 빈·무산소 상태로 변하게 되고, 산소 결핍으로 인해 서식하고 있는 해양 생물이 피해를 입는 경우이다. 대량의 플랑크톤이 발생하여 일정 기간이 지나면 대량으로 폐사한다. 이에 따라 해수 중에 유기물질의 양이 크게 증가하고 세균의 활동이 왕성해져 복잡한 분해작용이 진행된다. 이 때 많은 양의 산소를 소모하게 되어 해수 순환이 활발하지 않은 여름철에는 바다 밑의 산소가 거의 고갈 상태에 이르게 된다. 무산소 환경은 어류 및 저서 생물에 치명적인 피해를 주기 때문에 저서 생태계 파괴 뿐만 아니라, 양식장이 밀집된 지역에서는 양식물이 대량폐사 하기도 한다[국립수산진흥원, 1998].

우리나라 남해안의 진해만과 같은 적조가 상습적으로 발생하고 있는 반폐쇄성 내만은 수년전부터 저층에 부패성 유기물질이 많이 퇴적되었으며 그 양은 저질 강열감량으로 추정했을 때 10%이상일 때도 있다. 따라서 퇴적된 이들 유기물질이 고수온기에 분해될 때에는 저층의 용존산소를 대량 소비한다. 특히 고수온기에 표·저층간에 형성된 수온약층은 용존산소의 수직혼합을 방해하므로 저층에 저산소 심하면 무산소 수괴가 형성된다. 우리나라 진해만의 저층 용존산소의 수평적 분포를 보면 용존산소량이 1mg/l이하의 거의 무산소 수괴(anoxia)가 진동만, 마산만과 진해만 서부의 당동 - 원문만 - 고현만 수역에 출현하고 있다.

한편 진해만 같은 곳에서는 저층에 빈산소수괴가 존재하고 표층수를 밀어주는 북풍 또는 북서풍이 강하게 불거나 무거운 외해수가 압박해 오면 연안측인 진동만, 원문만, 고성만, 자란만 같은 곳에서 청수대가 출현할 수 있는 조건이 형성된다. 이와같이 저층에 저산소 수괴가 형성되면 영양염류의 용출활동이 활발해짐으로서 수질의 부영양화 진행이 가속화되어 적조를 일으키는 환경을 조성하게 된다[해양수산부, 2003].

## 2.2.4 국내 연안오염 현황

우리나라 해안의 평균 수질상태를 보면, 제주도 연안이 가장 양호한 데, 해류의 흐름이 원활하여 오염물질의 정체가 일어나지 않으며, 제주도의 인구분포와 산업구조상 다른 해역과 비교할 때 기본적으로 오염부하량이 적기 때문이다. 이에 비해 동해 연안은 평균오염도가 높은 것으로 나타나는데, 이는 동해안 전체 해역의 오염상태가 아닌 청초호의 오염현황을 반영하고 있기 때문이다.

전체 연안의 평균오염도는 대체로 개선되고 있으나, 적조발생의 주요 원인물질로 지적되고 있는 총질소(總窒素 : total nitrogen), 총인(總磷 : total phosphorus) 등 영양염류의 오염도는 해수 수질기준을 크게 초과하고 있어 질소인 제거시설을 갖춘 하수처리장, 축산폐수처리장 등 환경기초시설의 신·증설이 시급한 과제로 대두되고 있다[해양수산부, 2003].

Table 2.16 Changes of coastal pollution (mg COD/ℓ) [환경부, 1999]

Area \ Year	90	92	94	96	98
Nationwide aver.	2.4	1.7	1.8	1.5	1.2
The W-coast	2.0	1.6	1.8	1.5	1.2
The S-coast	2.0	1.5	1.9	1.7	1.8
The E-coast	4.6	2.2	2.0	1.8	1.0
Jeju	1.5	1.1	1.3	1.3	1.1

### (1) 주요 연안의 해역별 해수 수질

동해연안은 단조로운 해안선과 육지로부터의 오염 부하량이 적기 때문에 청초호를 제외한 해역에서는 남해와 서해에 비해 양호한 수질을 유지

하고 있다. 남해안은 진해·마산만, 동해안은 온산, 울산 연안 등의 COD가 매우 높으며, 현재 특별관리해역으로 지정·관리되고 있는 해역이 집중되어 있다[해양수산부, 2003]. 서해연안은 지형·지질학적 특성에 따라 육상으로부터 부유토사의 유입량이 막대하여 해양의 일차생산에 영향을 미치는 부유물질의 비율이 매우 높다.

**Table 2.17 Concentrations of pollutants for near shore water '97**  
**[해양수산부, 1998] (mg/l)**

Classify Sea area	COD	SS	DO	T-N	T-P
The middle W-coast	0.5	51.8	8.1	0.018	0.001
The south W-coast	1.0	50.3	6.9	0.024	0.001
The east E-coast	0.1	1.7	6.5	0.022	0.005
The west S-coast	0.1	1.2	6.3	0.011	0.001
The south E-coast	0.6	4.1	6.8	0.017	0.007
The middle E-coast	0.4	13.8	6.6	0.017	0.002

한편 우리 나라 근해의 오염도(COD 기준)는 비교적 낮은 수치를 보이고 있으며, 연도별 오염도는 1995년까지 다소 악화되는 경향을 보이다가 그 이후 개선되고 있다. 해역별로는 서해가 한강, 황하, 양자강을 통한 막대한 양의 토사유입으로 인해 부유물질의 수치가 매우 높게 나타나고 있다[해양수산부, 1998].

Table 2.18 Characteristics of near shore water '97 [환경부, 1999]

Coast		Temp (°C)	pH	DO (mg/l)	COD (mg/l)	T-N (mg/l)	T-P (mg/l)	SS (mg/l)
The W-coast	Incheon	14.5	7.98	8.56	1.54	0.449	0.030	41.5
	Asan	14.7	8.01	8.24	1.01	0.313	0.026	31.0
	Taeon	14.9	8.14	8.62	0.70	0.102	0.014	23.9
	Gunsan	15.0	7.99	8.72	1.77	0.642	0.022	47.7
	Mokpo	16.1	8.07	8.27	1.81	0.277	0.020	12.7
	Wando	16.6	8.09	8.23	0.94	0.055	0.014	14.0
The S-coast	Yeosu	17.2	8.12	9.12	1.77	0.088	0.044	10.7
	Gwangyang bay	18.3	8.19	10.21	2.21	0.145	0.058	14.6
	Samcheonpo	17.0	8.07	7.93	1.74	0.169	0.024	6.2
	Tongyeong	16.6	8.03	7.94	2.01	0.190	0.022	5.4
	Jinhae bay	17.6	8.22	8.41	2.23	0.268	0.031	3.5
	Masan bay	17.4	8.31	7.75	3.85	0.894	0.110	6.4
	Busan	17.5	8.15	7.84	1.66	0.320	0.050	3.5
The E-coast	Onsan	17.6	8.23	8.37	2.06	0.310	0.032	4.5
	Ulsan	17.9	8.08	7.66	1.84	0.642	0.045	5.2
	Yeongil bay	16.3	8.06	8.05	1.09	0.177	0.013	9.3
	Ganggu	14.8	7.90	7.97	1.36	0.218	0.023	9.3
	Samcheok	14.8	8.13	8.15	0.72	0.102	0.011	9.2
	Jumunjin	14.9	7.94	7.84	1.09	0.192	0.024	9.5
	Sokcho	15.1	8.14	8.79	1.37	0.188	0.014	8.9
Jeju	Jeju	18.7	8.13	7.14	1.42	0.286	0.026	7.1
	Seogwipo	19.4	8.22	7.78	1.25	0.223	0.017	6.6
	Pyoseon	20.3	8.19	7.11	0.91	0.043	0.015	6.8

적조발생시기는 4월부터 10월까지의 여름철에 주로 많이 발생하고 있으며, 우리나라 연안에서 발생한 적조는 1980년대까지는 대부분 1주일 정도 지속되었으나 최근 *Cochlodinium* 적조는 1~2개월 정도 지속되고 있는 것이 특징이다.

**Table 2.19 Chronological occurrence and characteristics of red tides [국무총리실 수질개선기획단·해양수산부, 1999]**

Articles	Species		Characteristics
In 1970's	Diatom	35genuses 123species	Diatom redtide - Short term(within a week) low density red tide(5,000cells/ml) - locally
	Cochlodinium	14genuses 67species	
In 1980's	Diatom	49genuses 163species	Cochlodinium - Long term(over 10 days), high density red tide(5,000cells/ml) - widely
	Cochlodinium	28genuses 120species	
In 1990'	Diatom	49genuses 170species	Appearance of new venomous red tide fish and fishshells fall dead
	Cochlodinium	28genuses 123species	

1993년 이후 1998년까지 우리나라 연안에서 발생한 적조건수는 377건이다. 이를 연도별로 살펴보면, 1993년이 38건이었으며, 1994년 및 1995년이 각각 29건과 65건이었다. 1998년에는 전년도 발생치의 2배에 해당되는 122건의 적조가 출현하였다. 적조 발생해역은 우리나라 전 연안에서 발생하는 전국적인 현상을 보이고 있다. 그러나 발생빈도는 통영·고성·거제연안 등 양식어장이 크게 발달한 남해안 지역에서 높게

나타나고 있다. 1998년의 적조 발생건수 122건 가운데 17건을 제외한 105건이 남해안에서 발생하였다[국무총리실 수질개선기획단·해양수산부, 1999].

**Table 2.20 Damages by red tide [국무총리실 수질개선기획단·해양수산부, 1999]**

Year	Area	Damaged lives	Financial damage(won)	Frequency
1993	Tongyeong, Goseong, Geoje	Amberjack, Perch, Flatfish	84 billion	38
1994	Geoje	Flatfish	5 billion	29
1995	The S-coast, The E-coast, Wide	Flatfish, Mya Arenaria, Amberjack, Ear shell, Sea-squirts, Bluepoint	764 billion	65
1996	Gyeongnam, Jeonnam	Flatfish, Mya Arenaria, Amberjack	21 billion	61
1997	Gyeongnam, Jeonnam, Busan, Gyeonbuk	Fflatfish, Tthread-sail, Filefish	15 billion	62
1998	Tongyeong, Namhae	Mya Arenaria, Aamberjack, Ooplegnathide	1.6 billion	122

## 2.3 연안오염 관리 및 처리기술 현황

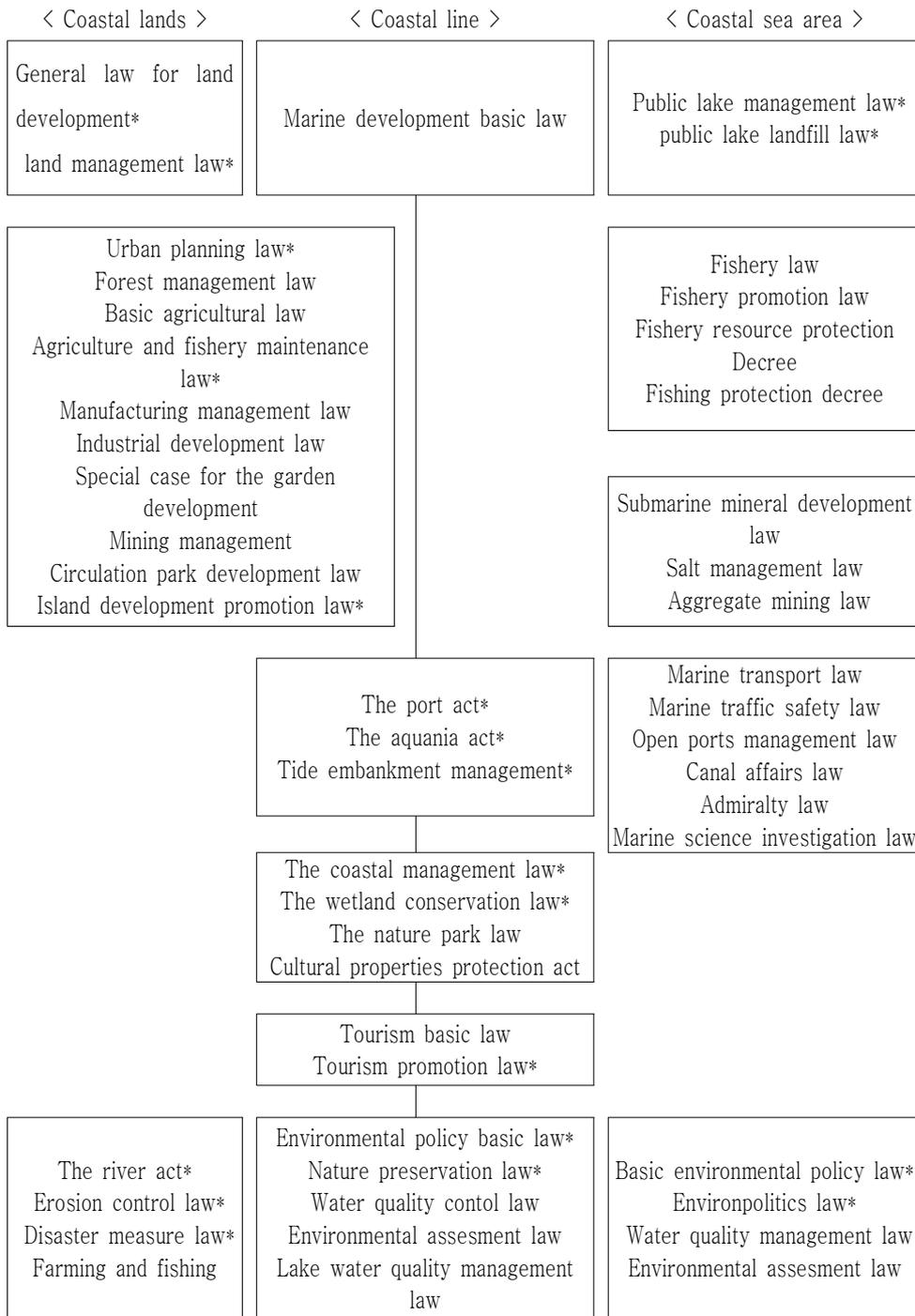
### 2.3.1 현행의 연안관리 체계와 유형

#### (1) 연안정비관련법 및 체계

연안정비에 있어서 연안보전, 연안해역개선, 친수연안의 조성과 관련된 우리나라의 법률을 보면 46개의 연안관련 전체 법률 중 20여개의 법률과 6개부처가 이에 관련되어 있는데 재해는 행정자치부, 해역개선은 환경부 및 해양수산부, 친수연안은 문화관광부 등으로 관장업무가 다원화되어 있다. 그러나 이러한 법률들이 개별부처중심으로 운영되고 있어 연안정비에 대한 각양각색의 시책과 계획이 경합되거나 중복되는 경우가 있으며 개별법과 각 부처별 기능에 따라 각각 실시됨으로서 통합적 정비에 어려움이 있다[해양수산부, 2003].

**Table 2.21 Relevant laws of coastal maintenance**

	Type I	TypeII	TypeIII
Articles	Relevant law for basis policy	Laws for spacial utilization and management	Maintenance of coastal facilities and improvement of sea area
Statutes	<ul style="list-style-type: none"> <li>· General plan for land development</li> <li>· Marine development basic law</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Use and management of territory</li> <li>· Public lake management law</li> <li>· Urban planning law</li> <li>· Tourism promotion law</li> </ul>	14 laws <ul style="list-style-type: none"> <li>· The port act</li> <li>· The aquania act</li> <li>· Tide embankment management act</li> <li>· The coastal management law</li> </ul>



**Fig. 2.3 The system of special laws for the coastal maintenance**

(2) 관리주체와 범위

연안정비사업의 시행주체는 앞에서 언급한 바와 같이 6개 부처 및 시도지사로 다원화되어 있으며 자연재해 및 방재는 행정자치부가, 해안시설부분에 있어서 어항·항만은 해양수산부가, 해안방조제와 해안사방은 농림부가 각각 관장하고 있다.

**Table 2.22 Projects of organizations for coastal maintenance**

Org.	Project	Org.	Project
Administration	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Planning and operating of preventing disaster</li> <li>▶ Emergency measure of disaster</li> <li>▶ Planning and supervising of disaster relief</li> <li>▶ Other disaster relative affairs</li> <li>▶ Developing islands</li> </ul>	Ministry of Agriculture and Forestry	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Management of sea wall</li> <li>▶ Coastal erosion control</li> <li>▶ Establishing counterplans for agriculture</li> <li>▶ Maintenance of agriculture and fishery</li> </ul>
		Ministry of Construction & Transportation	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Maintenance of river</li> <li>▶ Maintenance of road and railroad</li> </ul>
Ministry of maritime affairs and fisheries	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Maintenance of coastal facilities</li> <li>▶ Improvement of coastal area</li> <li>▶ Special supervision of polluted coast</li> </ul>	Ministry of environment	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Conservation of wetland</li> <li>▶ Conservation and restrict of environment</li> <li>▶ Expansion facilities for water supply</li> <li>▶ Treatment of garbage and manure</li> </ul>
		Ministry of Culture & Tourism	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Constitution of tourist attraction area</li> </ul>

한편 연안정비와 관련된 사업의 목적과 유형을 보면 지역의 소득증대를 위한 생산·생활환경개선과 관련된 법으로서 도서개발촉진법, 오지개발

축진법, 농어촌정비법(어촌종합개발 등)등이 있으며 물류기반 및 지역기반 조성 관련법으로서 항만법, 어항법, 지역균형개발 및 지방중소기업육성에 관한 법률이 있고 연안오염방지 및 해역개선 관련법으로서 해양오염방지법, 환경정책기본법, 습지보전법 등이 있다.

이들 개별법이 추구하고 있는 계획의 형태를 보면 10개년 종합개발계획등의 방식을 통하여 추진하거나, 개별사업계획을 통하여 추진하는 경우가 있으며 환경관련법에서는 일종의 용도지역제를 통하여 관리하거나 이중 일부를 사업계획방식으로 추진하는 경우도 있다.

이들 개법법상의 연안정비사업을 연안관리법에 의한 연안정비사업과 관련하여 보면 다음의 표에서 보는 바와 같이 대부분의 사업이 연안정비사업의 범위와 영역에 포함된 사업들로서 기존의 연안정비사업과 연안관리법에 의한 연안정비사업간의 관리범위의 조정이 필요한 것으로 판단되고 있다[해양수산부, 2003].

**Table 2.23 Coastal relevant laws and major plans**

Relevant law	Planning and methods	Doubled project with coastal management
Local balancing	▪Plan of grobraum and promoting development	▪Jurisdiction of related ministries
Maintenance of agriculture and fishery	▪Plan of settlement living space in fishery	▪Local development project
	▪Fishery development	▪Break water, sea wall, etc.
Promotion of backlands developing	▪Backlands development plan	▪Construction of landing stage, lighter's wharf, tide embankment
Promotion of islands developing	▪10 year plan for island general development	▪Break water, sea wall, tide embankment
Tourism promotion	▪Tourism development basic plan	▪Construction of seashore
Environmental policy	▪Specification and management of special area	▪Improvement of marine environment
Maintenance of nature	▪Instructional management of ecosystem conservation zone	▪Construction of marine ecosystem park
Marine environmental control	▪Specification and management of special administrative coast and environmental preservative coast	▪Improvement of water quality in marine environment
Maintenance of wetland	▪Swamp conservation basic plan	▪Construction of wetland ecosystem park
Harbor law	▪Habor development plan	▪Quay-wall, sea wall, tide embankment
Port law	▪Port development	▪Quay-wall, sea wall, tide embankment
Management of sea wall	▪5 year plan for maintenance of tide local embankment	▪Maintenance of local control tide embankment
Erosion control project	▪Erosion control plan	▪Coastal erosion control

### 2.3.2 해양오염 처리 기술

#### (1) 연안 오염 처리기술 현황

오염된 연안퇴적물의 직접적으로 제거하는 준설작업의 경우 과도한 준설 비용으로 인해 경제성을 만족시키지 못하고 준설시 오염물이 재확산 되거나 타 지역으로 이동할 우려가 있다. 내만과 외양의 해수의 교환율을 높여 내만의 오염을 제어할 수 있는 해수 교환방파제의 경우 지리적 요인과 해수 흐름에 따른 해수 교환율의 불규칙성과 해수흐름의 또 다른 장애 요인으로 역효과를 낼 가능성이 있으며 아직 실효성의 검증이 미비한 상태이다. 해양 유류오염이나 액손발데즈 사건과 같은 고농도로 오염된 지역에 적용이 가능한 생물학적 정화기술은 자생미생물의 활성화 유도하므로 경제적인 기술로 평가되며 가장 환경친화적인 기술로 평가 된다.

#### (2) 유류오염 및 적조 발생시 처리 기술

강이나 하천으로부터의 기름이 해양으로 유입되거나 유입될 우려가 있으면 물의 유속, 강의 폭, 유량 등을 고려하여 적절한 형태의 펜스나 물막이를 설치하여 기름의 유입, 확산을 방지토록 한다. 해조류나 갈대 등이 성장하는 지역은 기름이 식물에 부착하여 제거가 곤란하므로 식물을 베거나 해변에 떠다니는 협착물을 모아 소각 처리한다. 기름이 덩어리 형태일 때에는 건초 등을 이용하여 흡착시켜 소각하고, 액체상태일 경우에는 Beach cleaner를 투입하여 기름을 흡입한 후 유처리제를 뿌려서 처리한다. 이용도가 많은 갯벌인 경우에는 분말석탄, 모래 등을 다량 투입하여 흡착 처리하거나 유처리제를 사용할 수 있으나 수거처리가 상당히 곤란하다.

지금까지 알려진 적조원인생물의 제거방법은 화학약품 살포법, 초음파 및 오존처리법, 해면회수, 침강법 및 황토살포법 등이 있다[국립 수산

진흥원, 1998].

① 화학약품 살포법

황산동(CuSO<sub>4</sub>)을 살포하는 방법으로서 과거부터 이용되어 왔는데, 적조원인 생물외에 다른 해양생물에까지 영향을 미치고 지속성이 떨어지며 비경제적이라는 단점이 있다.

② 초음파 및 오존처리법

초음파 처리법은 초음파로 적조원인생물의 세포를 파괴하는 방법이고 오존처리법은 적조발생 수역에 고압의 오존을 투입하여 적조로 인한 독성을 중화시키는 방법이다. 두 방법 모두 실용화단계에는 이르지 못하고 있다.

③ 해면회수 및 침강법

원심분리기, 응집분조, 혼합조 및 가압부상조로 구성된 가압부상 분리장치를 이용하여 기포를 발생시켜 적조 생물을 흡착, 부상시키고 해수 표면에서 회수하는 방법으로 우리나라에서 널리 사용하고 있다.

④ 황토 살포법

황토를 해수중에 살포하여 적조생물을 흡착 침강시키고 황토속의 알루미늄이온이 적조원인생물의 세포를 파괴시키는 성질을 이용한 방법으로 우리나라에서 널리 사용하고 있다.

Table 2.24 Methods for red-tide control [국립 수산 진흥원, 1998]

Methods	Principles	Applied materials
Chemical circumfusion	Extinction	Blue stone, Organic compounds
Sonication	Break cells	Ultra sonic(160~400KHz)
Ozonation	Neutralizing poison	Ozone
Withdrawal sedimentation	Cohesion and filtration	Centrifuge, Inorganic cohesive agents
Yellow earth circumfusion	Adsorption	Surfactant soil(Montmorillonite)

### Ⅲ 재료 및 방법

#### 3.1 조간대 해변의 자갈 및 해수의 오염물 정화능

본 연구에서는 해수 중 부유성 미생물과 해수면에서 채취한 작은 자갈 표면의 부착성 미생물의 활성과 해수 수질개선에 대한 기능성을 비교평가 하였다. H대학 인근 해변에서 직경 2~3cm 의 자갈과 동일한 지점의 해수를 채취하였다. Table 3.1은 채취한 해수의 초기성상을 나타낸 것이다. 채취한 해수를 총용량 750mL(유효용량 500mL) 용기에 250mL를 채운 후 채취한 자갈을 주입하여 전체 용량을 500mL로 맞추었으며 동일한 다른 용기에 해수 500mL 를 취하였다. 오염도가 심한 연안을 기준으로 각 용기에 포도당, KNO<sub>3</sub>, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>를 주입하여 TOC, NO<sub>3</sub>-N 및 PO<sub>4</sub>-P의 농도를 40, 3 및 1mg/L 로 인위적으로 조정하였고 2개의 용기를 항온수조에 담고 당시 해수 온도인 18℃로 배양하였다. 본 연구에서 호흡량의 측정에 사용된 호흡율 측정기[AER-204 Mode; C.E.S.]를 이용하여 용기내의 미생물들에 의한 산소 이용량을 실시간으로 관측하였다. 산소 이용량의 변화가 더 이상 일어나지 않는 시점에서 각 용기내의 해수를 취하여 해수내의 TOC, NO<sub>3</sub>-N 및 PO<sub>4</sub>-P 등을 분석하여 배양 전후의 오염물질 제거량을 비교평가 하였다. Fig. 3.1은 본 연구에 사용된 호흡율 측정기[AER-204 Mode; C.E.S.]이다.

Table 3.1 Initial Characteristics of sea water for the intertidal zone

pH	Temp. (℃)	DO (mg/L)	Alkalinity (mg/L)	Salinity (‰)	TOC (mg/L)	Nitrate (mg/L)	Ammonia (mg/L)	Total-P (mg/L)
8.12	18	7.28	128	32	10.27	0.02	0.3	0.0037

배양 전 초기해수와 배양 후 해수의 성상 및 주요 특성은 Standard Methods(1995)에 준하는 방법으로 분석하였다. 총 유기탄소는 TOC 분석기(TOC-5000A, Shimadzu)를 이용하여 분석하였고 해수 중 COD의 농도는  $COD_{Mn}$  방법으로 분석하였다. 실험에 사용된 해수내의 질산성 질소 및 인산염 인은 각각 부루신법과 염화제일 주석법에 의하여 자외선 분광광도계 [SPEKOL 1200 ; C.Z.T] 를 이용하여 분석하였다. 이 때 시료 중 질산성 질소와 인산염 인이 저농도 이므로 자외선 분광광도계의 분석영역을 고려하여 투과거리가 20mm인 Cell [1.14947 ; MERCK]을 이용하였다.



Fig. 3.1 Respirometer[AER-204 Mode; C.E.S.]

## 3.2 조간대 해변의 자갈층별 활성 및 오염물질 정화능

### 3.2.1 해변 자갈의 채취 및 특성

본 연구에서 활성도 평가에 사용된 자갈은 P 광역시 T 공원의 인근에 위치한 해변에 자연적으로 형성된 조간대 자갈층에서 햇볕에 노출되어 건조상태를 유지하고 있는 표층부 5cm, 습윤상태를 유지하고 있는 심도 10-20cm의 중층부, 그리고 심도 30cm 이상의 하층부에서 채취하였다. 표층부의 자갈은 Fig. 3.2에서 보는 바와 같이 굵은 자갈과 잔자갈이 혼재되어 있었으며, 중층부는 주로 잔자갈로 구성되었다.



Fig. 3.2 Photographs of the gravels used for the biological activity tests((b) upper ; (c) middle and (d) bottom parts)

하층부의 자갈은 잔자갈과 굵은 모래가 혼합되어 있었으며, 비표면적이 상층부 또는 중층부에 비하여 상대적으로 큰 것으로 평가되었다. 또

한, 자갈을 채취한 곳과 같은 해변에서 해수를 채취한 뒤 오염도가 심한 연안수를 기준으로 포도당과  $\text{KNO}_3$  및  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 를 사용하여  $\text{COD}_{\text{mn}}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$  및  $\text{PO}_4\text{-P}$ 의 농도를 각각 5.88, 1.01 및 1.029mg/L로 조정된 뒤 활성도 실험을 위한 배지로 사용하였다. Table 3.2에서는 초기 해수 및 활성도 실험에 사용된 배지의 특성을 보여주고 있다.

**Table 3.2 Characteristics of medium used for the biological activity test for beach gravel**

Content	pH	$\text{COD}_{\text{mn}}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{PO}_4\text{-P}$
Raw sea water	7.4	2.88	0.01	0.029
Medium	7.4	5.88	1.01	1.029

### 3.2.2 생물학적 활성도 평가실험

Fig. 3.3 은 조건대를 구성하는 자갈의 생물학적 활성도 평가 실험 절차이다. 먼저 총부피가 750mL인 3개의 유리병에 인공 배지 250mL씩을 주입하였으며, 대상 해변에서 채취한 표층부, 중층부 및 하층부에서 채취한 자갈시료를 각각 주입하여 총 부피가 500mL가 되도록 하였다. 이때 표층부 및 중층부의 활성을 평가하기 위하여 사용한 자갈은 등각구형으로 환산한 직경이 1.42cm이고 자갈 전체의 표면적은 약 1,140cm<sup>2</sup>이었다. 하층부의 잔자갈과 굵은 모래가 혼재된 시료의 표면적은 4,449.17cm<sup>2</sup>으로서 표층 및 중층부 자갈의 약 3.9배에 달하였다. 나머지 1개의 유리병은 해수내 부유성 미생물의 활성도를 평가하기 위해 해수 250mL만을 주입하였다. 준비가 완료된 유리병은 자갈시료 채취시기의 해수 평균온도인 21℃의 항온에서 호흡율 측정기[AER-204 Mode; C.E.S.]를 이용하여 산소소모량의 변화를 관찰하였다.

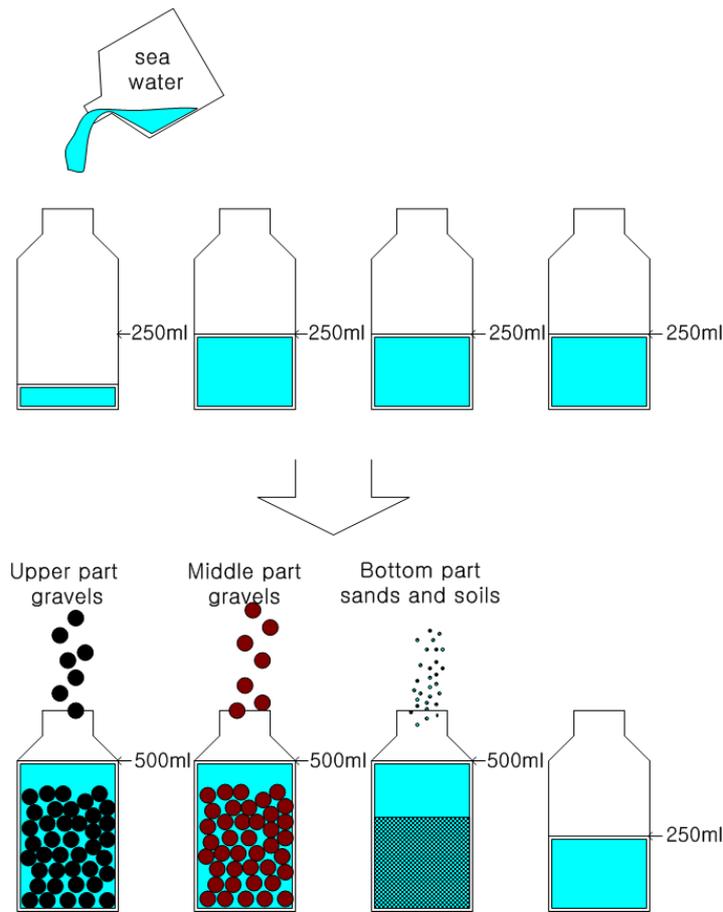


Fig. 3.3 Experimental procedure for the biological activity test of the gravel from intertidal zone

산소의 소모량이 더 이상 일어나지 않을 때 유리병을 개봉하였으며, 잔류한 COD, NO<sub>3</sub>-N 및 PO<sub>4</sub>-P를 앞서 3.1절과 동일한 방법으로 분석하였다.

### 3.3 조간대의 오염물 정화능에 대한 환경인자의 영향

#### 3.3.1 담수 유입에 의한 영향

지구상의 해수의 양은 극히 방대하여 육상으로부터의 담수의 유입에 큰 영향을 받지 않으나 해수의 교환율이 낮은 내만의 경우 지속적인 담수의 유입으로 충분히 직접적인 영향을 받게 될 것이다. 따라서 IBZ(Intertidal buffer zone)로의 담수 직접유입으로 인해 IBZ에서 나타날 염분 농도구배의 변화에 따른 생물활성 및 정화능의 변화를 평가할 필요성이 있다. 본 연구에서는 담수의 유입량 변화에 따른 생물활성도 변화와 오염물질 정화능을 측정하여 연안에서의 담수 유입에 대한 완충력을 평가하고자 하였다.

##### (1) 재료 및 방법

실험재료는 선행 연구와 동일한 지점에서 비표면적당 활성 및 정화능력이 가장 높은 결과를 보였던 중층부 자갈(심도 10~20cm)과 해수를 수집하였다. 자갈의 크기, 표면적 등의 물리적 특성을 측정한 후 실험에 사용될 용기에 주입되는 자갈의 총량을 증류수와 함께 주입하여 초음파로 탈리시키고 자갈과 분리된 액과 증류수 소량으로 자갈을 세척한 액을 시료로 취하였으며, 이와 같은 과정으로 초음파로 몇차례 반복한 후 얻어진 액의 강열 잔류 중량을 측정하여 자갈표면에 부착된 생체량을 추정된 결과 약 0.07 g/m<sup>2</sup> 로 나타났다. 또한 해수내의 클로로필-a를 측정하여 해수내의 식물성 플랑크톤의 양을 추정된 결과 약 4 µg/L 로 나타났다.

부착성 미생물의 활성 및 정화능을 평가하기 위해 먼저, 총용량

750ml(유효용량 500ml)의 유리용기 4기에 고온고압 하여서 멸균한 해수를 증류수와 함께 주입하여 증류수의 농도가 각각 0%, 5%, 10%, 15%가 되도록 250ml를 주입하고 채취한 자갈을 전체 주입량이 500ml가 될 때까지 채운 후 인위적으로 COD, T-N 및 T-P를 부산연안 수질에 해당하는 2.0, 0.3 및 0.05ppm을 각각 주입하여 당시 해수온도인 25℃에서 호흡을 측정기[AER-204 Mode; SIMADZU]를 이용하여 배양하였다.

부유성 미생물의 활성 및 정화능의 평가를 위해 위와 동일한 용기 4기에 멸균하지 않은 해수를 증류수와 함께 주입하여 증류수의 농도가 각각 0%, 5%, 10%, 15%가 되도록 500ml를 주입한 후 인위적으로 COD, T-N 및 T-P를 부산연안 수질에 해당하는 2.0, 0.3 및 0.05ppm을 주입하여 당시 해수온도인 25℃에서 호흡을 측정기[AER-204 Mode; C.E.S.]를 이용하여 배양하였다.

8기의 유리용기내에서의 호흡에 의한 산소의 이용량을 동시에 모니터링 하면서 반응이 종료된 후 각 시료의 잔류한 COD, NO<sub>3</sub>-N 및 PO<sub>4</sub>-P를 앞서 3.1절과 동일한 방법으로 분석하여 초기 농도에 대한 제거량을 비교 평가하였다.

### 3.3.2 육상기원 고농도 오염물 직접 유입시의 영향

내만에 있어 낮은 해수 교환율과 육상 비점오염원의 유입은 연안의 자정작용의 한계를 초래하고 있다. 따라서 자정작용을 극대화하기 위한 IBZ에 형성된 고정상 생물막의 효용성을 검증하기 위해 실제 연안의 육상기원 오염원의 유입을 고려하여 유입 비에 대한 활성의 변화를 평가하여 연안에서의 육상 오염원 유입에 대한 완충력을 평가할 필요성이 있

다. 본 연구에서는 해수중의 부유성 미생물 및 미세 조류, 박테리아 등의 간섭을 인위적으로 억제하여 고정상 생물막의 활성을 평가하고 해수 자체의 자정능력을 평가하고자 한다.

#### (1) 재료 및 방법

실험재료는 선행 연구와 동일한 지점에서 중층부 자갈(심도 10~20cm)과 해수를 채취하였다. 자갈의 크기, 표면적 등의 물리적 특성을 측정한 후 초음파로 탈리과정을 거쳐 실험에 사용될 용기에 주입되는 자갈의 표면에 부착된 생체량을 추정된 결과 약 0.078 g/m<sup>2</sup> 로 나타났다. 또한 해수내의 클로로필-a를 측정하여 해수내의 식물성 플랑크톤의 양을 추정된 결과 약 3.2 µg/L 로 나타났다.

부착성 미생물의 활성 및 정화능을 평가하기 위해 먼저, 총용량 750ml(유효용량 500ml)의 유리용기 4기에 고온고압 하여서 멸균한 해수를 250ml씩 주입한 후 채취한 자갈을 전체 주입량이 500ml가 될 때까지 채운 후 인위적으로 COD, T-N 및 T-P를 부산연안 평균수질(COD 약 2.0ppm, T-N 약 0.3ppm, T-P 약 0.05ppm)의 1배, 10배, 20배, 100배에 해당하는 농도를 주입하였다. 준비된 4기의 유리용기를 당시 해수온도인 25℃에서 호흡을 측정기[AER-204 Mode; C.E.S.]를 이용하여 배양하였다.

부유성 미생물의 활성 및 정화능의 평가를 위해 위와 동일한 용기 4기에 멸균하지 않은 해수를 500ml씩 주입한 후 인위적으로 COD, T-N 및 T-P를 부산연안 평균수질(COD 약 2.0ppm, T-N 약 0.3ppm, T-P 약 0.05ppm)의 1배, 10배, 20배, 100배에 해당하는 농도를 주입하였다. 준비된 4기의 유리용기를 당시 해수온도인 25℃에서 호흡을 측정기[AER-204 Mode; C.E.S.]를 이용하여 배양하였다.

8기의 유리 용기 내에서의 호흡에 의한 산소의 이용량을 동시에 모니

터링 하면서 반응이 종료된 후 각 시료의 잔류한 COD, NO<sub>3</sub>-N 및 PO<sub>4</sub>-P를 앞서 3.1절과 동일한 방법으로 분석하여 초기 농도에 대한 제거량을 비교 평가하였다.

### 3.4 조간대의 오염물 정화능에 대한 환경인자의 영향 평가 모델

유기물의 생물학적 분해과정에서 산소는 전자수용체로서 필요로 한다. 따라서, 산소흡수율 또는 호흡율(OUR)은 유기물의 분해동력학과 밀접한 상관관계를 가진다.

$$OUR = - \frac{dm_{O_2}}{dt} = \frac{m_{O_2,1} - m_{O_2,2}}{t_2 - t_1}$$

호흡율 시험용기에서 산소소모율은 미생물의 내생호흡 및 외생호흡 양 쪽으로부터 계산된다.

$$\frac{dC_{O_2}}{dt} = - OUR_{end} - OUR_{ex} = - OUR_{tot}$$

미생물에 의한 기질의 분해과정에 대한 속도식은 다음과 같이 biomass 농도가 일정하다고 가정할 때 율속인자로 작용하는 산소와 기질에 대한 Michaelis-Menton 동력학에 근거를 두었다.

$$\frac{dS}{dt} = - v_{max} \left( \frac{S}{K_s + S} \right) \left( \frac{C_{O_2}}{K_{O_2} + C_{O_2}} \right)$$

여기서,  $v_{max}=kX$ 로서 기질의 최대분해속도이다.  $X$ 는 미생물 생체량이며,  $k$ 는 최대 비기질이용율이며,  $C_{O_2}$ 는 산소농도이다.  $K_s$ 는 기질의 반속도상수이며,  $K_{O_2}$ 는 산소의 포화농도이다. 기질첨가로 인한 미생물 생

체량의 성장은 주어진 시간내에 무시가능하다는 전제하에  $X$ 를 상수로 두었다. 순산소를 사용하는 호흡을 측정기에서 산소농도는 높게 유지될 수 있으며,  $C_{O_2} \gg K_{O_2}$ 이라면, 기질분해에 대한 위의 식은 다음과 같이 간략히 표현된다.

$$\frac{dS}{dt} = -v_{\max} \left( \frac{S}{K_s + S} \right)$$

측정된 외생  $OUR$ 은 아래 식에서와 같이 기질 분해율에 비례하며 여기서,  $v$ 는 제거된 단위기질당 소모된 산소의 양이다.

$$OUR_{ex} = -v \frac{dS}{dt}$$

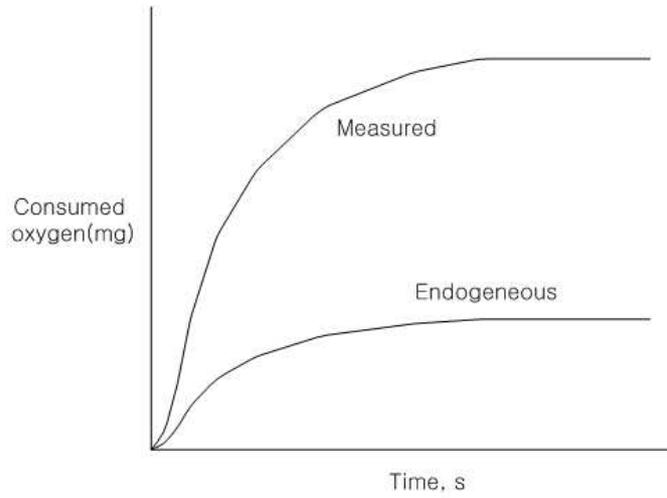
시간에 대한 외생  $OUR_{ex}$ 의 의존성은  $OUR_{tot}$ 에서 내생  $OUR_{end}$ 를 제외하여 계산하였다.

$$OUR_{ex}(t) = OUR_{tot}(t) - OUR_{end}(t)$$

$OUR_{end}$ 는 기질을 주입하지 않은 대조군 호흡을 측정기 용기의 산소이용량곡선으로부터 구하였다.

호흡을 측정실험에서 인위적인 기질의 주입에 의해서 유발되는 외생 호흡에 의한 산소소모량의 변화는 측정된 총 산소소모량으로부터 내생산소소모량을 제함으로서 계산 가능하다. 또한, 최대 산소흡수율  $OUR_{\max}$ 는 산소흡수 곡선으로부터 쉽게 결정가능하며, 다음과 같이 첨가된 기질농도( $S_0$ )와의 관계를 설명하였다.

$$OUR_{\max} = Y_{O/s} V_{\max} \frac{S_0}{K_s + S_0}$$



**Fig. 3.4 Total Consumed oxygen and endogeneous consumed oxygen**

호흡을 측정실험에서 기질농도는 연속적으로 변화하는 반면 반응속도는 기질농도의 변화에 따라 감소한다. 따라서, OUR은 시간에 따라 감소한다.

위의 식에서 계수  $Y_{O/s}$ 는 단위 기질 제거량에 대한 산소이용량의 비로서 다음 식으로부터 계산하였다.

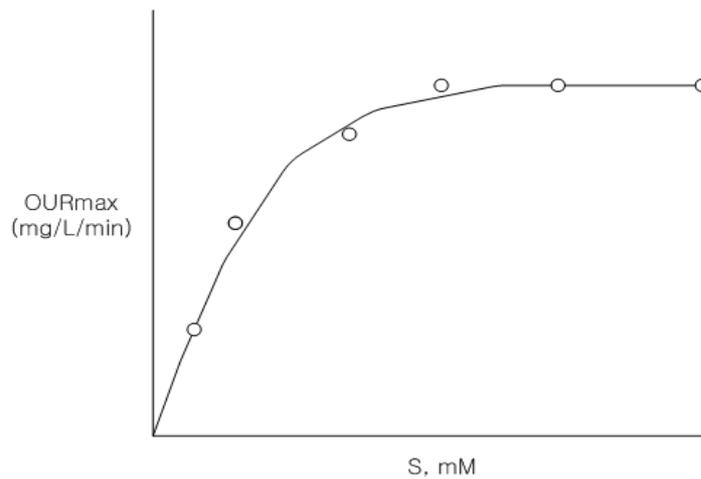
$$Y_{O/s} = \frac{\int_0^{t_f} OUR dt}{S_0 - S_f} = \frac{m_{O_2, total}}{S_0 - S_f} \text{ (mg } O_2/\text{mg } COD)$$

첨가된 기질의 양이 작다면,  $OUR_{\max}$ 는 주어진 기질의 양에서 분해속

도를 나타낸다. 그러나, 첨가된 기질의 양이 충분히 많다면 OUR 곡선이 평평해질 것이며, 이 것은 기질이 과량으로 존재할 때 더 이상의 OUR 증가가 없다는 것을 나타내며, 기질의 농도가 대단히 높다면,  $OUR_{max}$ 는 최대 값에 근접할 것이다. 따라서, 최대 산소소모율은 다음과 같이 표현된다.

$$V_{O_2,max} = Y_{O/S} V_{max}$$

호흡을 측정용기에 첨가된 다양한 농도의 기질에 대한  $OUR_{max}$  값들이 계산하고 기질농도에 대한  $OUR_{max}$ 의 의존성을 다음 그림과 같은 형태로 나타내었다.



**Fig. 3.5 Changes of endogeneous  $OUR_{max}$  by initial Substrates**

이 그림에서 동력학적 상수들과  $K_s$ 는 최소자승법을 이용한 비선형회귀분석에 의하여 결정하였다.

## IV 결과 및 고찰

### 4.1 조간대 해변의 자갈 및 해수의 오염물 정화능

Fig. 4.1은 호흡율 측정기를 이용하여 부착성 해양생물과 부유 해양생물의 호흡율을 비교한 결과이며 부착성 해양 미생물의 호흡율이 약 3배 이상 큰 것으로 평가되었다. 이는 자갈에 형성된 부착성 생물체의 양이 부유성 미생물의 양보다 3배 이상 밀집되어 있거나 군집간의 상호작용에 의한 상승효과가 있음을 보여주고 있는 것으로 판단된다. Fig. 4.2는 호흡율 측정 전후의 시료를 분석한 결과이며 부착성 생물에 의한 유기물, 질소 및 인의 제거량이 부유성 미생물의 제거량보다 더 많은 양이 제거되었다. 이는 복합생물막의 오염정화능력이 부유성 미생물의 정화속도보다 상대적으로 탁월함을 보여주고 있는 결과이다. 모형수변시스템의 운전을 통해 중속영양생물이 생물막을 형성하는데 소요되는 시간은 약 2주 정도인 것으로 판단되며, 복합생물막이 형성된 반응조에서 보다 높은 유기물의 감소가 관찰되었다. 오염물의 제거 속도는 복합생물막이 차지하는 부피에 비례하는 것으로 나타났다.

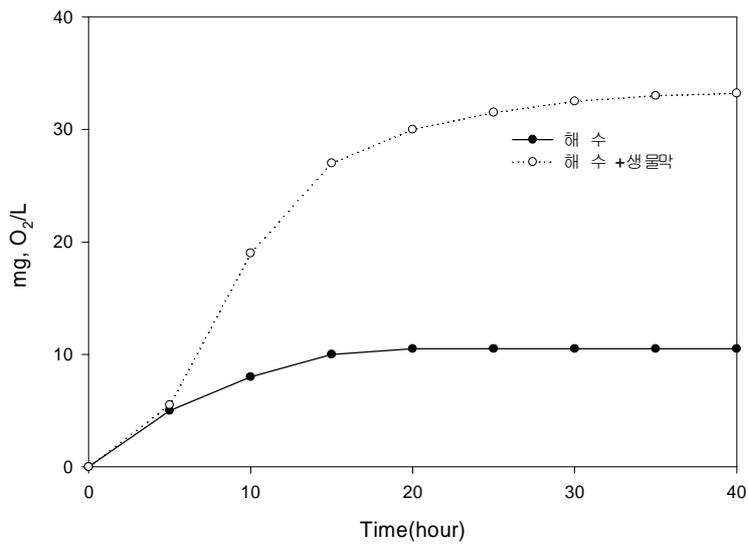
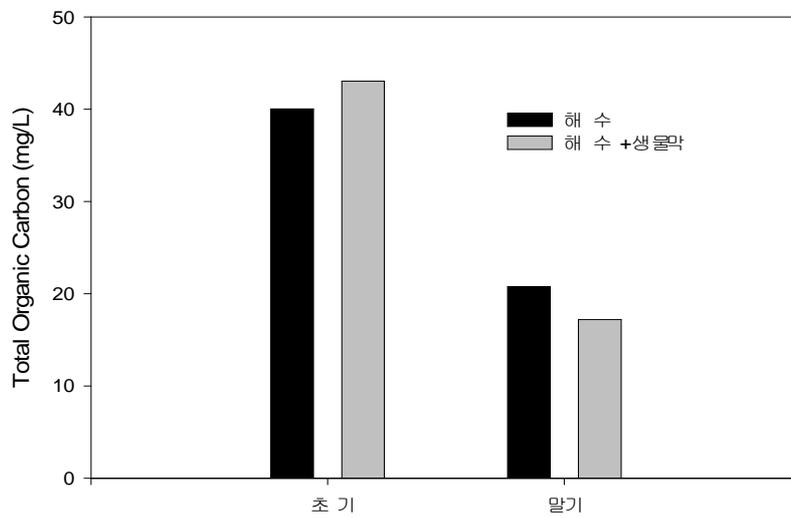


Fig. 4.1 Cumulative consumption of oxygen during the microbial activity test for the near shore water and the gravels from intertidal zone



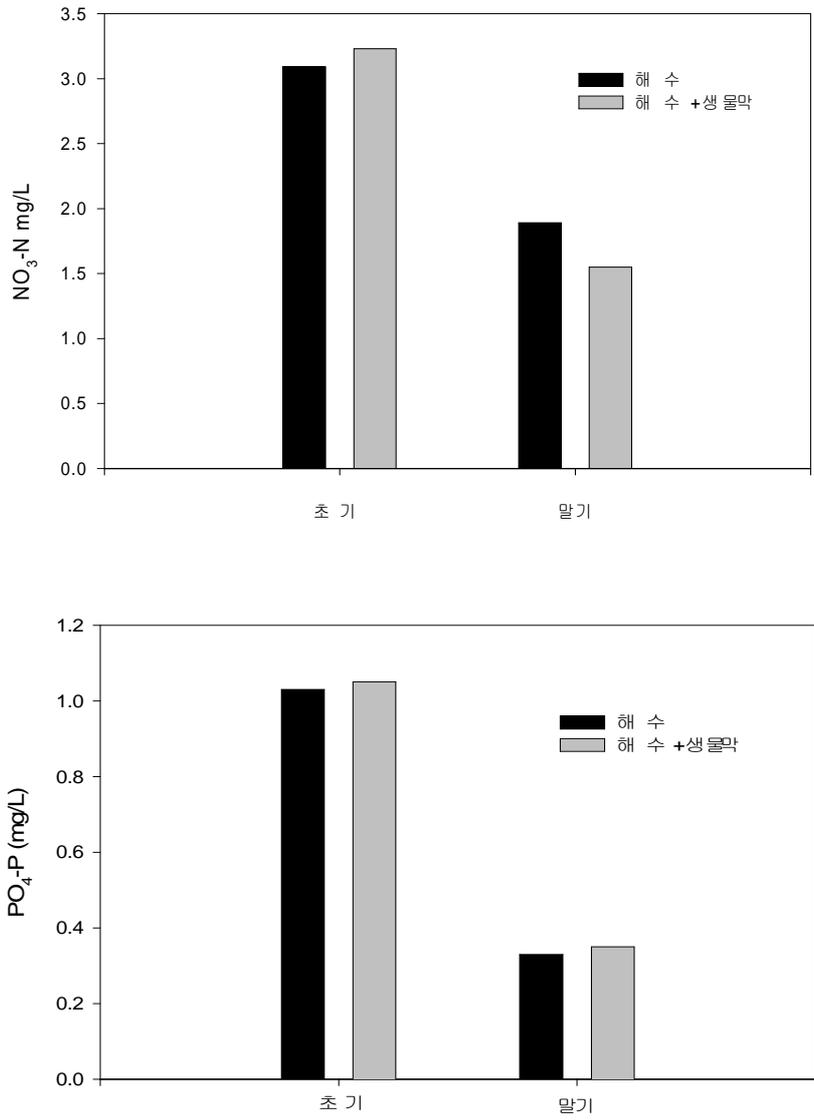


Fig. 4.2 Changes in TOC, NO<sub>3</sub>-N, and PO<sub>4</sub>-P in near shore water and gravels during the microbial activity test

## 4.2 조간대 해변의 자갈층별 활성 및 오염물질 정화능

### 4.2.1 연안해수내의 미생물의 활성

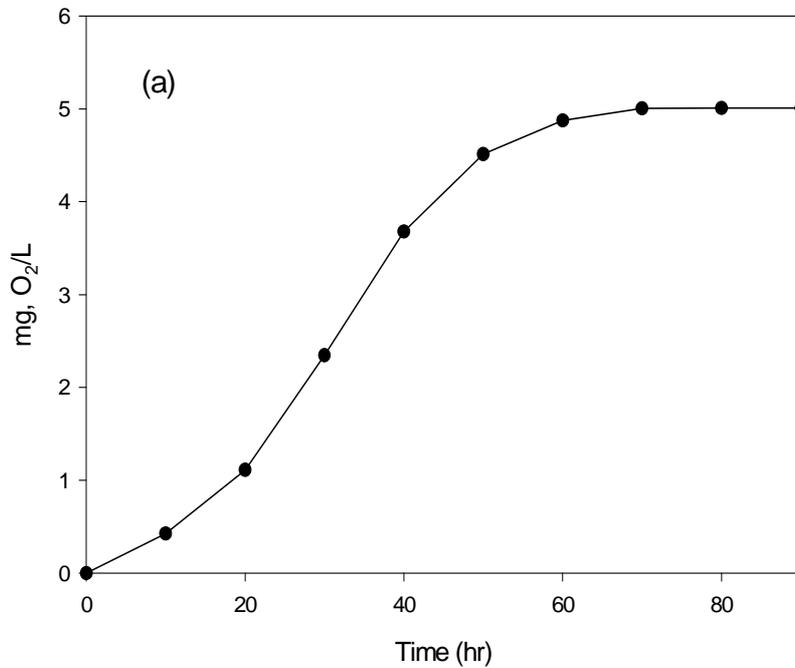
호기성 미생물에 있어 산소는 일반적으로 미생물이 유기물을 산화하는 과정에서 필요한 에너지의 생산에 필수적인 전자 수용체로 이용된다 (Ritmann 등, 2001). 이는 미생물의 활성은 곧 산소의 소모량과 직결함을 의미한다. Table 4.1은 채취한 해수의 초기 성상과 인위적으로 오염물질을 주입한 후의 농도이다.

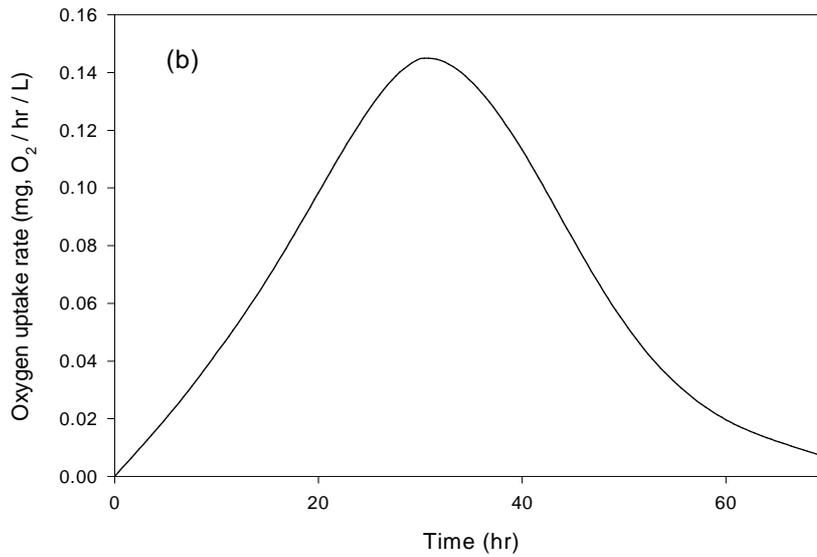
**Table 4.1 Characteristics of medium used for the biological activity test for intertidal zone gravel**

Content	pH	COD	NO <sub>3</sub> -N	PO <sub>4</sub> -P
Near shore water	7.4	2.88	0.01	0.029
Medium	7.4	5.88	1.01	1.029

Fig. 4.3 은 활성 평가 결과, 연안 해수내의 부유 해양 미생물들에 의한 산소의 소모량과 소모율을 나타낸 것이다. 약 90시간 동안의 실험기간 동안 총 산소 소모량은 5.01mg O<sub>2</sub>/L 였으며 최대 산소소모율은 약 30시간이 경과 했을 때 0.15mg O<sub>2</sub>/hr/L 였다. 여기서, 산소 소모율은 미생물의 활성과 직결하고 산소의 총 소모량은 곧 BOD로서의 유기물 제거량과 관련이 있다. 따라서 이 결과는 연안 해수내에 부유 해양 미생물이 다량 존재함을 보여준다. 그러나, Table 4.2에서 보듯이 SCOD의 제거량은 0.76mg/L으로 전체 산소 소모량의 15%에 불과했다. 이것은 생분해 가능한 입자상 유기물질이 해수내에 다량 존재하기 때문인 것

으로 사료된다. 담수 미생물의 경우, 유기물의 합성에 질소를 필요로 하는 미생물들이 약 1/20 존재하며, 그 중 무기인을 필요로 하는 미생물들의 경우 약 1/5 가량 존재하는 것으로 알려져 있다(Ritmann 등, 2001). 본 연구에서 질산성 질소의 제거량은 0.13mg NO<sub>3</sub>-N/L로 인산염 인의 제거량과 그리 큰 차이를 보이지 않는다. 그리고 BOD의 제거량은 질산성 질소의 제거량의 약 38.5배로 담수의 경우와는 상이한 결과를 보였다.





**Fig. 4.3 Cummulative consumption (a) and uptake rate (b) of oxygen during the microbial activity test of the near shore water**

**Table 4.2 Changes in SCOD, NO<sub>3</sub>-N, and PO<sub>4</sub>-P in near shore water during the microbial activity test**

Content		pH	SCOD(mg/L)	NO <sub>3</sub> -N(mg/L)	PO <sub>4</sub> -P(mg/L)
Initial	Sea water	7.4	5.88	1.01	1.03
Final	Sea water	7.3	5.12	0.88	0.90

그러나 특이한 점은, 산소 소모량을 통해 추정된 유기물의 총 제거량에 비해 인산염 인의 제거량이 비교적 높은 결과를 보였다는 점이다. 이는 연안 해수내에는 담수와는 달리 미세조류와 종속영양 미생물 만큼

이나 많은 독립영양 미생물 군집이 다량 존재하기 때문인 것으로 보인다. 연안 해수내의 미생물의 활성을 평가함으로써 연안 수질이 자체 정화능으로 개선될 수 있음을 확인하였다. 그러나 실험실 조건과는 달리 실제 연안에서는 온도, 용존산소 그리고 기질과 영양염 등 다양한 환경 인자들의 복잡한 간섭으로 인해 현장에서의 활성은 본 연구 결과에 비해 다소 낮은 경향을 보일 것이다.

#### 4.2.2 조간대 자갈의 부착 미생물의 활성

Fig. 4.4 는 자갈형 조간대 해변의 층별 자갈에 대한 총 산소 소모량과 산소 소모율을 나타낸 것이다. 가장 높은 산소 소모율을 보인 중층부 자갈의 경우 최대 산소소모율이 0.90mg O<sub>2</sub>/hr/L로 연안 해수의 약 6배에 달했다. 이는 조간대 자갈 표면에 생물막이 잘 형성되어 있으며 연안 해수내의 부유 미생물들에 비해 월등히 높은 활성을 지니고 있음을 보여 준다. 활성 평가 결과 총 산소소모량이 25.5mg O<sub>2</sub>/L로 SCOD 제거량인 3.18mg/L의 약 8배 높은 값을 보였다. 이는 조간대의 중층부 자갈들이 많은 입자상 유기물질을 포집하고 있고 생물막에 의한 제거가 이루어지고 있음을 말해준다. 인의 제거량은 0.83mg PO<sub>4</sub>-P/L로 질산성 질소와 유사한 제거량을 보였다. 이는 담수내의 미생물 군집에 비해 무기 인의 소모가 훨씬 크기 때문이며 조간대 해변의 자갈 표면에 부착 성장하는 미생물 군집의 종과 특성이 매우 상이한 이유인 것으로 보인다 [Ritmann 등, 2001].

상층부 자갈의 경우, 최대 산소 소모율은 0.52mg O<sub>2</sub>/hr/L 로 중층부 자갈의 58%에 불과했다. 이는 상층부의 경우 햇볕에 직접적으로 노출되며 해수와의 접촉시간이 짧아 건조되기 쉽고 유기물 등의 접촉량이 상대적으로 적어 생장이 가능한 미생물의 종이 극히 제한적이기 때문인 것

으로 보인다. 총 산소 소모량은  $11.6 \text{ mg O}_2/\text{L}$ 로 질산성 질소와 인의 제거량에 비해 각각 18.4 및 15.9배로 중층부 자갈에서의 비와는 약간의 차이를 보였다.

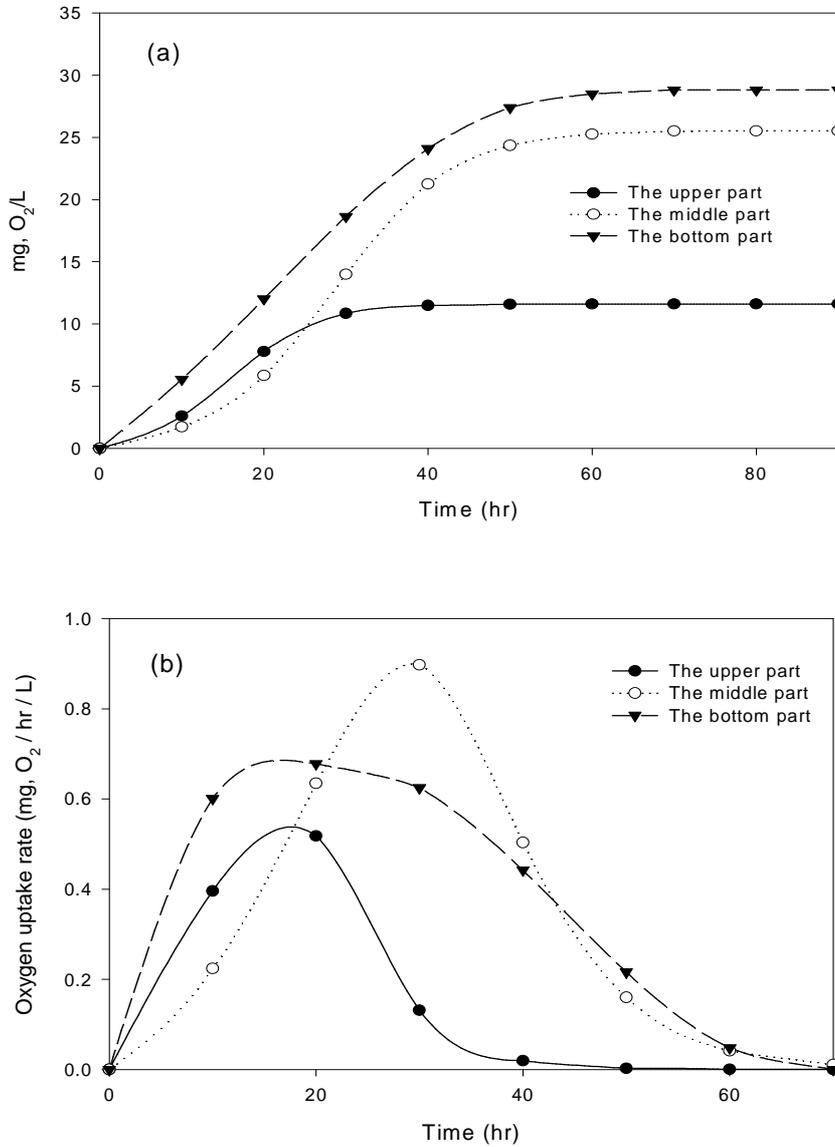


Fig. 4.4 Cumulative consumption (a) and uptake rate (b) of oxygen for the gravels from intertidal zone

심층부 자갈 및 모래의 경우, 총 산소 소모량은 28.8mg O<sub>2</sub>/L로 중층부 자갈에 비해 높게 나타났다. 이는 Table 4.3에서 보듯이 심층부 자갈 및 모래의 표면적이 상층부나 중층부 자갈의 표면적에 비해 약 4배 가량 커서 다른 층에 비해 유기물 포집량이 많기 때문인 것으로 보인다. 그러나, 최대 산소소모율은 0.68mg O<sub>2</sub>/hr/L로 중층부 자갈의 75.6%에 불과했다. 이는 심층부가 자갈 및 굵은 모래로 구성되어 있어 공극이 작아 유기물, 영양염류 및 산소의 공급이 원활하지 못하기 때문인 것으로 보인다. 질산성 질소와 인의 소모량은 중층부 자갈의 경우와 유사한 결과를 보여 중층부 자갈의 미생물 군집과 유사한 것으로 사료된다.

**Table 4.3 Changes in the soluble COD, NO<sub>3</sub>-N and PO<sub>4</sub>-P for the intertidal gravels during the microbial activity test**

Content		pH	SCOD(mg/L)	NO <sub>3</sub> -N(mg/L)	PO <sub>4</sub> -P(mg/L)
Initial	Upper		6.4	1.148	1.031
	Middle	7.4	7.2	1.154	1.035
	Bottom		8.34	1.167	1.037
Final	Upper		3.96	0.517	0.306
	Middle	7.3	4.02	0.344	0.204
	Bottom		5.38	0.236	0.124

## 4.3 조간대의 오염물 정화능에 대한 환경인자의 영향

### 4.3.1 담수 유입에 의한 영향

(1) 해수 중 부유미생물의 활성화에 대한 담수 유입의 영향

Fig. 4.5는 자갈형 해변 해수내 부유미생물의 산소 소모량과 산소 소모율에 대한 담수유입비의 영향을 나타낸 것이다. 담수를 유입하지 않은 경우와 담수를 5% 유입한 경우 총 산소 소모량은 1.12mg O<sub>2</sub>/L로 유사하게 나타났으며 담수 유입비가 10%를 넘으면서 총 산소 소모량이 0.8mg O<sub>2</sub>/L로 감소하는 경향을 나타냈다. 그러나 다소 작은 폭의 변화를 보였으며 이는 담수의 유입비 만큼 희석되어 부유 해양 미생물의 양이 감소하였기 때문인 것으로 보이며 담수의 유입이 부유 해양 미생물의 활성화에 크게 제한 요소로 작용하지는 않는 것으로 사료된다.

오염물질의 제거량에 있어서 SCOD의 경우는 담수 유입비가 0%, 5%일 때 0.18mg/L, 0.25mg/L 가 제거되었으나 10%, 15%일 때는 0.11mg/L, 0.14mg/L의 제거량을 보였다. 그러나 T-N의 경우는 담수의 유입비가 0%, 5%, 10% 및 15%일 때 각각 0.06, 0.02, 0.06, 0.18mg/L의 제거량을 보였으며 T-P의 경우도 담수의 유입비가 0%, 5%, 10% 및 15%일 때 각각 0, 0.003, 0.01, 0mg/L의 제거량을 보여 담수 유입비에 따른 T-N 및 T-P의 제거량의 변화는 뚜렷한 경향을 나타내지 않았다.

본 연구의 범위내에서 해수내 부유미생물에 대한 담수의 유입은 10% 이내 일 때에 미생물의 활성화 및 유기물의 제거능에 영향을 받지 않는 것으로 평가되었다.

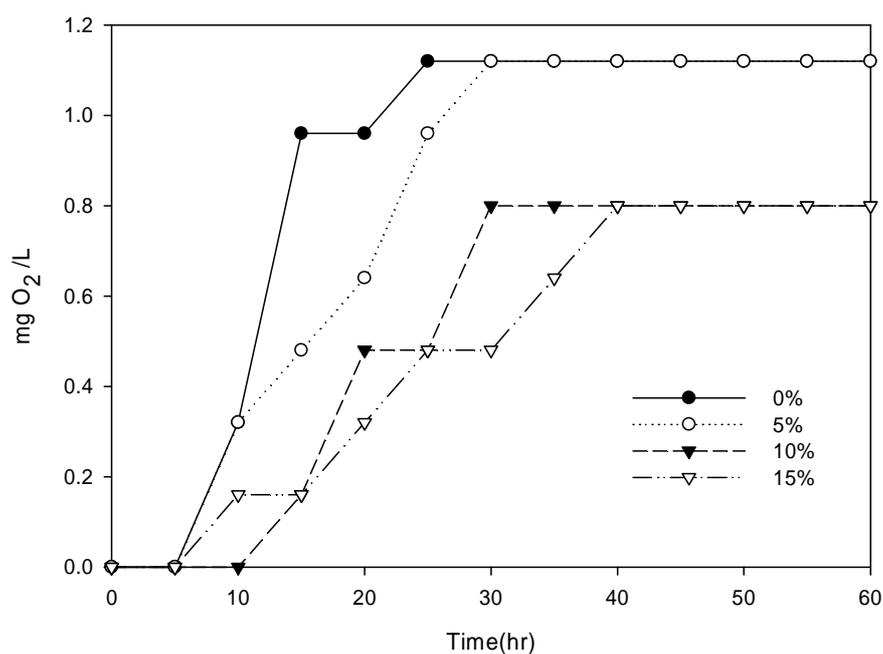


Fig. 4.5 Effect of fresh water inflow on the cumulative consumption of oxygen during the microbial activity test for the near shore water

Table 4.4 Changes in SCOD, T-N, and T-P in near shore water during the microbial activity test

Content		SCOD(mg/L)	T-N(mg/L)	T-P(mg/L)
Initial	Sea water	2	0.3	0.05
Final	Fresh water 0%	1.82	0.24	0.05
	Fresh water 5%	1.75	0.28	0.047
	Fresh water 10%	1.89	0.24	0.04
	Fresh water 15%	1.86	0.12	0.052

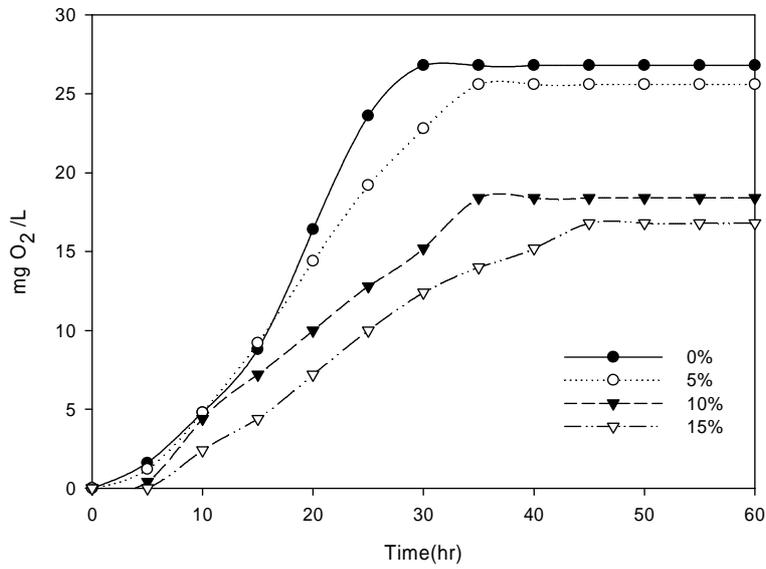
## (2) 조건대 자갈 부착 미생물의 담수 유입에 의한 영향

Fig. 4.6은 자갈형 조건대 자갈의 부착미생물의 담수 유입비에 대한 산소 소모량과 산소 소모율을 나타낸 것이다. 담수를 유입하지 않은 경우와 담수를 5% 유입한 경우 총 산소 소모량은 26.8, 25.6mg O<sub>2</sub>/L로 유사하게 나타났으나 담수 유입비가 10% 및 15%일 때는 총 산소 소모량이 18.4 및 16.8mg O<sub>2</sub>/L로 감소하는 경향을 나타냈다. 최대 산소 소모율은 담수유입비가 0%, 5%, 10% 및 15%일 때 1.6, 1.18, 0.67 및 0.55mg O<sub>2</sub>/hr/L로 나타나 담수 유입비가 15%일 때는 담수를 유입하지 않은 경우에 비해 약 1/3의 활성을 나타내 담수의 유입이 부착 미생물의 활성에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Table 4.5의 오염물질의 제거량에 있어서 COD의 경우는 담수 유입비가 0%, 5%일 때 1.19mg/L, 1.17mg/L로 유사한 제거량을 보였으나 10%일 때는 0.98mg/L로 제거량이 다소 감소했고 담수의 유입비가 15%일 때는 0.73mg/L로 제거량이 감소했다. T-N의 경우는 0%, 5%일 때 0.16mg/L의 제거량을 보였으나 10%일 때는 0.12mg/L로 제거량이 다소 감소했고 담수의 유입비가 15%일 때는 0.09mg/L로 담수를 유입하지 않은 경우와 유입비가 5%인 경우의 약 1/2로 제거량이 감소했다. T-P의 경우는 0%, 5%일 때 0.03mg/L의 제거량을 보였으나 10% 및 15%일 때는 0.02mg/L로 제거량이 다소 감소했다.

Table 4.5 Changes in the COD, T-N and T-P for the intertidal gravels during the microbial activity test

Content	Fresh water(%)	Concentration (mg/L)			
		Initial	Final	Removed Conc.	Removal rate
COD	0	2	0.81	1.19	60
	5		0.83	1.17	59
	10		1.02	0.98	49
	15		1.27	0.73	37
T-N	0	0.3	0.14	0.16	53
	5		0.14	0.16	53
	10		0.18	0.12	40
	15		0.21	0.09	30
T-P	0	0.05	0.02	0.03	60
	5		0.02	0.03	60
	10		0.03	0.02	40
	15		0.03	0.02	40



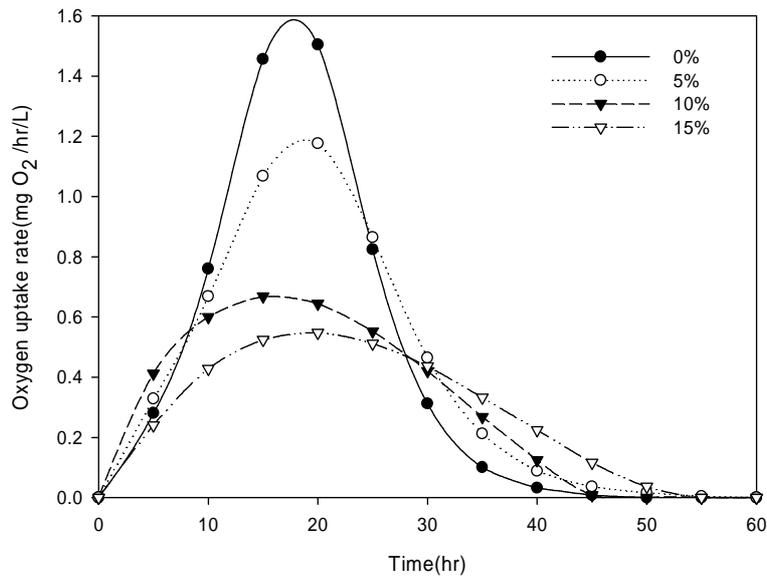


Fig. 4.6 Effect of fresh water inflow on the cumulative consumption (a) and uptake rate (b) of oxygen for the gravels from intertidal zone

#### 4.3.2 육상기원 고농도 오염물 직접 유입시의 영향

(1) 해수내 부유미생물의 고농도 오염물 유입에 의한 영향

Fig. 4.7은 자갈형 해변 조간대 해수내 부유미생물의 고농도 오염물 유입시 산소 소모량과 산소 소모율을 나타낸 것이다. 부산연안 평균 오염물질 농도만을 유입한 경우 총 산소 소모량은 0.8mg O<sub>2</sub>/L를 나타냈으며 오염물질을 평균 농도의 10배, 20배 및 100배로 유입하였을 때 총 산소 소모량은 각각 1.28, 1.28, 1.32mg O<sub>2</sub>/L로 나타나 고농도의 오염물질을 유입하였을 때 부유성 해양미생물의 총 산소 소모량이 다소 높아

졌으나 오염물질의 평균 유입농도가 20배 및 100배로 유입하였을 경우는 총 산소소모량이 더 이상 증가하지 않는 경향을 보였다.

Table 4.6은 고농도 오염물질 유입배수에 따른 오염물질 제거량을 나타낸 것이다. 오염물질의 제거량에 있어서 SCOD의 경우, 평균 농도를 유입하였을 때 0.4mg/L로 가장 낮은 제거량을 보였으며 오염물질을 평균 농도의 10배, 20배 및 100배로 유입하였을 때 SCOD의 제거량은 각각 0.7, 0.5, 0.6mg/L로 나타나 총 산소소모량 변화와 유사한 경향을 보였다. 그러나 T-N 제거량의 경우, 오염물질을 평균 농도, 10배, 20배 및 100배로 유입하였을 때 각각 0.03, 0, 0.72, 1.74mg/L로 나타났고 T-P의 경우는 오염물질을 평균 농도의 10배, 20배 및 100배로 유입하였을 때 각각 0, 0.02, 0.068, 0.13mg/L로 나타나 오염물질의 유입비가 높아질수록 T-N 및 T-P의 제거량이 점차 증가하는 경향을 보였다.

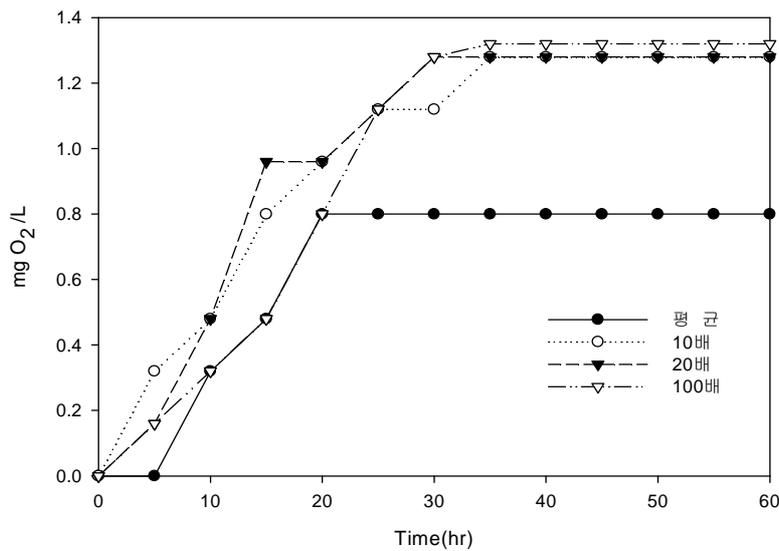


Fig. 4.7 Effect of fresh water inflow on the cummulative consumption of oxygen during the microbial activity test of the near shore water

**Table 4.6 Changes in SCOD, T-N, and T-P in near shore water during the microbial activity test**

Content	Times of pollutant	Concentration (mg/L)		
		Initial	Final	Removed Conc.
SCOD	Aver. Con.	2	1.6	0.4
	10 times	20	19.3	0.7
	20 times	40	39.5	0.5
	100 times	200	199.4	0.6
T-N	Aver. Con.	0.3	0.27	0.03
	10 times	3	3.00	0
	20 times	6	5.28	0.72
	100 times	30	28.26	1.74
T-P	Aver. Con.	0.05	0.05	0
	10 times	0.5	0.48	0.02
	20 times	1	0.932	0.068
	100 times	5	4.87	0.13

(2) 조건대 자갈 부착 미생물의 고농도 오염물 유입에 의한 영향

Fig. 4.8은 자갈형 해변 조건대 자갈의 부착미생물의 고농도 오염물 유입시 산소 소모량과 산소 소모율을 나타낸 것이다. 부산연안 평균 오염물질 농도만을 유입한 경우 총 산소 소모량은 26.4mg O<sub>2</sub>/L를 나타냈으며 오염물질을 평균 농도의 10배, 20배 및 100로 유입하였을 때 총 산소 소모량은 각각 41.6, 43.2, 43.6mg O<sub>2</sub>/L로 나타나 고농도의 오염물질을 유입하였을 때 부유성 해양미생물의 총 산소 소모량이 크게 높아졌으나 오염물질의 평균 유입농도가 20배 및 100배로 유입하였을 경우

는 총 산소소모량이 더 이상 증가하지 않는 경향을 보였다.

그러나 최대 산소소모율은 평균 농도, 10배, 20배 및 100배일 때 1.43, 1.86, 1.71 및 1.44mg O<sub>2</sub>/hr/L로 크게 차이가 나지 않아 고농도 오염물의 유입이 부착미생물의 활성화에 직접적인 영향을 끼치지 않는 것으로 보인다.

**Table 4.7 Changes in the COD, T-N and T-P for the intertidal gravels during the microbial activity test**

Content	Times of pollutant	Concentration (mg/L)		
		Initial	Final	Removed Conc.
COD	Aver. Con.	2	0.78	1.22
	10 times	20	15.0	5.0
	20 times	40	27.2	12.8
	100 times	200	186.7	13.3
T-N	Aver. Con.	0.3	0.16	0.14
	10 times	3	2.46	0.54
	20 times	6	3.6	2.4
	100 times	30	27.8	2.2
T-P	Aver. Con.	0.05	0.03	0.02
	10 times	0.5	0.41	0.09
	20 times	1	0.54	0.46
	100 times	5	4.37	0.63

Table 4.7 은 고농도 오염물질 유입배수에 따른 오염물질 제거량을 나타낸 것이다. 오염물질의 제거량에 있어서 COD의 경우, 평균 농도를 유입하였을 때 1.22mg/L로 가장 낮은 제거량을 보였으며 오염물질을 평균 농도의 10배, 20배 및 100배로 유입하였을 때 COD의 제거량은 각각 5.0, 12.8, 13.3mg/L로 나타나 오염물을 20배로 주입하였을 때는 평균농도만을 유입한 경우의 약 10배의 제거량을 보였다. T-N의 경우, 평균 농도를 유입하였을 때 0.14mg/L로 가장 낮은 제거량을 보였으며 오염물질을 평균 농도의 10배, 20배 및 100배로 유입하였을 때 T-N의 제거량은 각각 0.54, 2.4, 2.2mg/L로 나타나 오염물을 20배로 주입하였을 때는 평균농도만을 유입한 경우의 약 17배 이상의 제거량을 보였다. T-P의 경우는 평균 농도를 유입하였을 때 0.02mg/L로 가장 낮은 제거량을 보였으며 오염물질을 평균 농도의 10배, 20배 및 100로 유입하였을 때 T-P의 제거량은 각각 0.09, 0.46, 0.63mg/L로 나타나 오염물을 100배로 주입하였을 때는 평균농도만을 유입한 경우의 약 31배 이상의 제거량을 보였다.

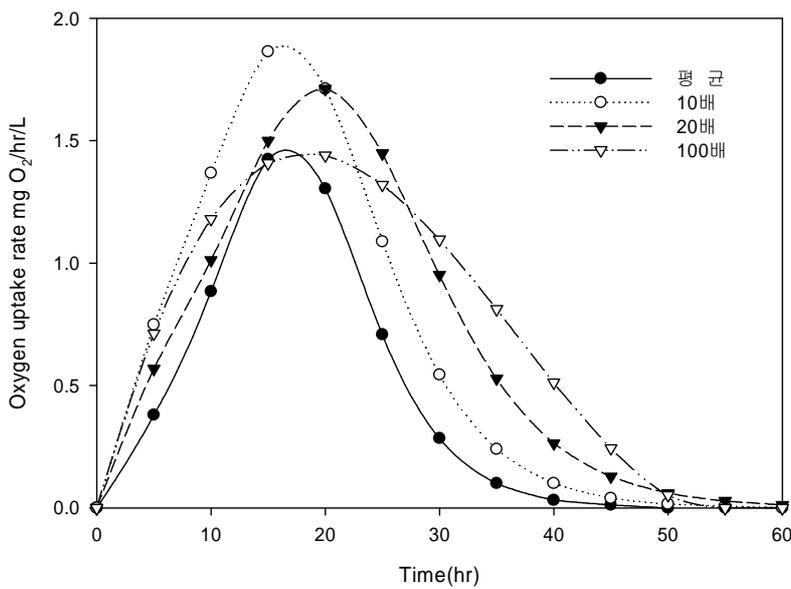
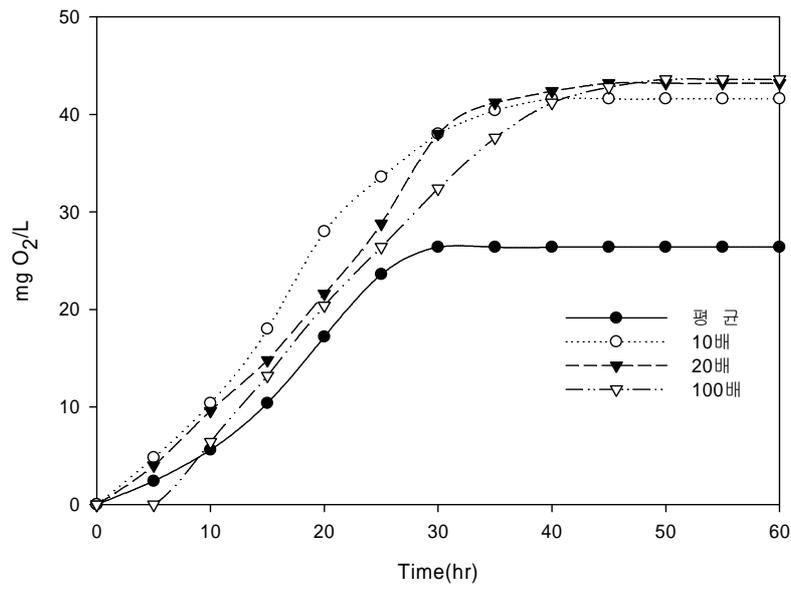


Fig. 4.8 Effect of fresh water inflow on the cummulative consumption (a) and uptake rate (b) of oxygen for the gravels from intertidal zone

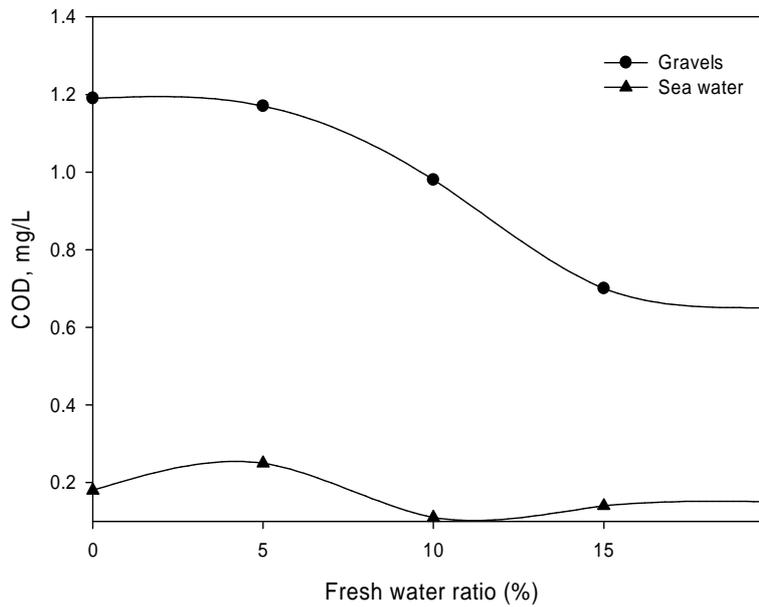
## 4.4 조간대의 오염물 정화능에 대한 환경인자의 영향평가 모델

### 4.4.1 담수 유입에 의한 오염물 정화능 평가 모델

Fig. 4.9 는 담수 유입비에 따른 오염물질별 제거능력을 평가한 결과이다. 담수유입비가 0%, 5%, 10%, 15% 일 때의 각 오염물질의 제거량을 이용해 최소자승법으로 회귀분석한 결과 담수를 유입하지 않았을 때에는 COD, NO<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P 의 제거량이 약 1.19, 0.16 및 0.3 mg/L로 나타나 담수 유입비가 약 5%일 때까지는 오염물질의 제거능이 서서히 감소하는 경향을 보였으나 5%를 경과하면서 급격한 제거능의 감소를 보여 담수 유입비가 15% 였을 때는 COD, NO<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P의 제거능이 각각 0.73, 0.09 및 0.02g/L의 제거능을 나타냈다. 최소자승법에 의해 회귀분석한 모델에 의하면 약 20% 이상의 담수가 유입될 시 각 오염물질의 제거량은 최저치에 근접할 것으로 추정된다. 그러나 해수의 경우는 최대 산소이용량 및 산소소모율이 매우 낮으며 오염물질 제거량의 변화 또한 매우 근소하여 담수 유입비의 변화에 대한 오염물질 제거량의 변화를 도출할 수 없었다. Table 4.8 은 각 오염물질 제거능 예측모델과 매개변수들을 나타낸 것이다.

Table 4.8 Parameters of COD, NO<sub>3</sub>-N and PO<sub>4</sub>-P for the intertidal gravels during the microbial activity test

Articles		COD	NO <sub>3</sub> -N	PO <sub>4</sub> -P
Model		8th degree polynomial	7th degree polynomial	5th degree polynomial
Parameters	a	26.853485	1.1911403	0.029850816
	b	-0.35568597	-0.01424766	0.00016794991
	c	0.16228928	0.013593975	5.7638316e-005
	d	0.021194796	-0.0044967522	-3.0366313e-005
	e	-0.024248695	0.00059692153	2.2312311e-006
	f	0.0040610884	-4.1908082e-005	-4.7653398e-008
	g	-0.00029066477	1.5118408e-006	-
	h	9.7390998e-006	-2.173805e-008	-
	i	-1.2566142e-007	-	-



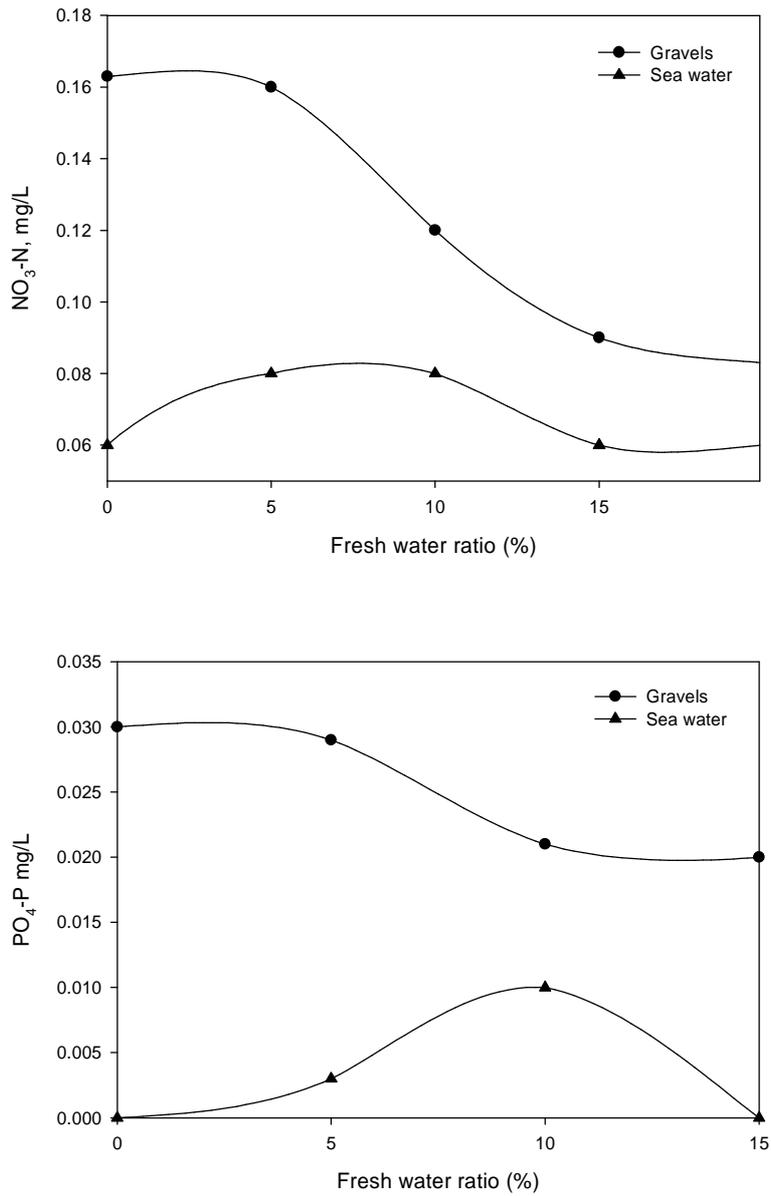


Fig. 4.9 Estimated Changes in the COD, NO<sub>3</sub>-N and PO<sub>4</sub>-P for the intertidal gravels during the microbial activity test

#### 4.4.2 고농도 오염물 직접 유입에 의한 자갈층의 영향평가 모델

Fig. 4.10 은 IBZ의 자갈층에 있어 내생 호흡에 의한 총 산소소모량과 호흡율을 배제하기 위해 오염물을 주입하지 않은 실험결과를 나타낸 것이다.

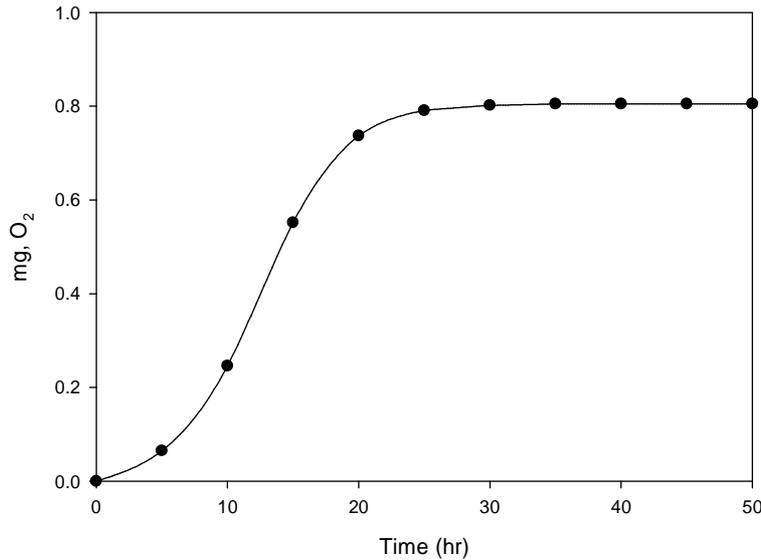


Fig. 4.10 Cumulative consumption of oxygen for the gravels from intertidal zone

기질을 인위적으로 주입하여 측정한  $OUR_{tot, max}$  에서  $OUR_{endo, max}$  를 빼주어 외생 산소소모량과  $OUR_{ex, max}$  를 Table 4.9에 나타내었다. Fig. 4.10 은 기질 주입량에 대한  $OUR_{ex, max}$  의 곡선을 나타낸 것이며 비선형회귀분석에 의해  $K_s$  값을 도출한 결과를 Table 4.10에 나타내었다. 기질의 초기 주입량에 따른  $OUR_{ex, max}$  의 추정 결과 Saturation-growth rate model 에 의해 예측할 수 있었으며  $K_s$  는

1.339,  $kX(=Y_{O/S} V_{max})$  는 0.687로 나타났다.

본 연구에서 구한 동력학적 상수들은 향후 연안 수질 정화를 위한 조건대의 기능을 모델링하고 예측하는데 유용하게 사용될 것으로 판단된다.

Table 4.9 Total, exogenous and endogenous oxygen uptake rate for the gravels from intertidal zone

S (mg/L)	2	20	40	200
$OUR_{tot,max}$	1.5	1.87	1.712	1.44
$OUR_{endo,max}$	0.511	0.511	0.429	0.429
$OUR_{ex,max}$	0.989	1.359	1.283	1.31
mg, $O_2$ total	26.67	41.581	43.481	43.122
COD removal (mg/L)	1.22	10	12.8	13.3
$Y_{O/S}$	21.861	4.158	3.397	3.242

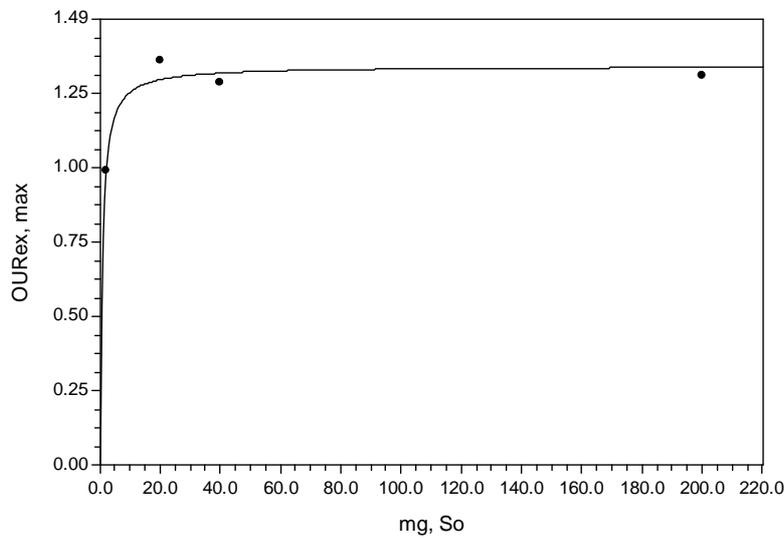


Fig. 4.11 Changes of  $OUR_{ex,max}$  for the gravels from intertidal zone

Table 4.10 Estimated Model and parameters for the gravels from intertidal zone

MODEL	$K_s$	$Y_{O/S} V_{max}$	Standard Error	Correlation Coefficient
$OUR_{max} = Y_{O/S} V_{max} \frac{S_0}{K_s + S_0}$	1.339	0.687	0.0444432	0.9977262

## V 결론

자갈 및 해수의 오염물 정화능 평가 결과, B광역시 H대학 인근 해변의 경우, 부착 생물막이 형성된 자갈이 해수내의 부유성 미생물의 호흡량에 비해 3배 이상 높은것으로 평가되었다.

조간대 해변의 자갈층별 활성 및 오염물질 정화능 평가 결과, 총산소 소모량은 심층부 토사층이 가장 많으나 산소 소모율은 중층부 자갈층이  $0.9\text{mg O}_2/\text{L/hr}$  로 가장 높은 활성을 보였다. 연안해수의 생물학적 활성은  $0.15\text{mg O}_2/\text{L/hr}$ 이었고 자갈층의 평균 생물학적 활성은  $0.77\text{mg O}_2/\text{L/hr}$ 로 연안해수의 약 5배에 달했다. 이는 BOD기준으로 일일  $18.48\text{ mg/cm}^2$ , gravels 의 유기물을 정화할 수 있음을 의미한다.

IBZ의 오염물 정화능에 대한 담수 유입의 영향 평가 결과, 해수의 경우, 담수의 유입이 10% 이상일 때 부유 미생물의 활성과 COD의 제거량이 다소 감소하였으나 질소, 인의 제거량은 뚜렷한 차이를 보이지는 않았다. 자갈층의 경우, 담수유입에 대한 활성의 변화가 뚜렷이 나타났으며 담수 유입비에 대해 오염물 제거능이 예측 가능한 모델을 도출할 수 있었다.

IBZ의 오염물 정화능에 대한 고농도 오염물 직접유입시의 영향 평가 결과, 해수의 경우 평균 농도의 오염물 유입에 대해  $0.8\text{mg O}_2/\text{L}$  의 산소소모량을 보였으며 10배 이상의 고농도 오염물 유입시 약  $1.3\text{mg O}_2/\text{L}$ 로 유사하게 나타났다. 자갈층의 경우, 10배 이상의 고농도 오염물 유입시 총산소 소모량이 평균농도의 오염물 유입시에 비해 약 1.6배 이상 높게 나타났으나 산소 소모율의 차이는 뚜렷하지 않았다. 모델의 도출에 있어 해수의 경우는 부유성 미생물의 낮은 산소이용량으로 인해 OUR의 뚜렷한 경향을 보이지 않아 모델의 도출이 사실상 불가능하였다. 그러나 자갈층의 경우는 뚜렷한 OUR와 두드러진 오염물질 정화능의 변화로  $K_s$  값이  $1.339\text{ mg COD/}$

$\ell$ ,  $Y_{O/S}$ ,  $V_{max}$  값이  $0.687 \text{ mg vss}/\ell\cdot\text{d}^{-1}$ 로 기질의 초기주입 농도에 따른 최대 산소소모율을 충분히 도출할 수 있었다.

## VI 장래 연구과제

연안의 다양한 환경인자와 변수들에 대한 각각의 영향과 복합적인 영향을 지속적으로 연구해야 하며 여러 인자들 간의 상관관계를 규명한 후 pilot-scale의 연속식 실험을 수행하여 연안 해수의 오염물 정화자로서의 현장 적용성을 검토하여야 한다.

자갈형 조간대의 활성평가 모델을 이용하여 타 지역의 자갈형 조간대의 모델 적용 결과와 실제 실험을 통한 결과를 이용해 비교함으로써 좀더 구체적인 매개변수를 입증해 모델의 신뢰성을 높여 다양한 조간대에 적용 가능한 모델을 개발할 필요성이 있다.

또한 조류 및 어류에 의한 영향과 상호관계를 입증하고 연안 해수의 정화에 대한 동력학적 모델을 성립함으로써 해수 정화능력을 극대화할 수 있는 시스템의 구축으로 자연 친화성, 경제성 그리고 장기적인 효율을 모두 갖춘 복합적인 생물학적 시스템을 개발할 필요가 있다.

## VII 참고 문헌

- APHA, AWWA and WEF, "Standard methods for the examination of waste and wastewater," 19th ed. Washington, DC.(1995).
- Barak, Y., E. Cytryn, I. Gelfand, M. Krom, and van J. Rijn, "Phosphorus removal in a marine prototype, recirculating aquaculture system," *Aquaculture*, 62078, 1~14(2002).
- Blanchard, G.F., Paterson, D.M., Stal, L.J., Richard, P., Galois, R., Huet, V., Kelly, J., Honeywill, C., de Brouwer, J., Dyer, K., Christie, M., and Seguignes, M., "The effect of geomorphological structures on potential biostabilisation by microphytobenthos on intertidal mudflats," *Continental Shelf Research*, 20, 1243~1256.
- Choi, B.J., and Yoo, S.H., "Investigation of water quality and its analysis," *Dongwha technology Ltd.*, 143~145(1998).
- Decho, A.W., "Microbial biofilms in intertidal systems: an overview," *Continental Shelf Research*, 20, 1257~1273(2000).
- Dyer, K.R., Christie, M.C., and Wright, E.W., "The classification of intertidal mudflats," *Continental Shelf Research*, 20, 1039~1060(2000).
- Ellis, D.V., "Rocky shore intertidal zonation as a means of monitoring and assessing shoreline biodiversity recovery," *Marine Pollution*

Bulletin, 46, 305~307(2003).

Hisano, T. and Hayase, T., "Countermeasures against water pollution in enclosed coastal seas in Japan," Marine Pollution Bulletin, 23, 479~484(1991).

Jilan, SU, Lixian, D., "Application of numerical models in marine pollution research in China," marine Pollution Bulletin, 39, 1~12, 73~79(1999).

Laws, E.A., D. Ziemannb, D., Schulman, D., "Coastal water quality in Hawaii : the importance of buffer zones and dilution," Marine Environmental Research, 48, 1~21(1999).

Leonard, N, J.P. Blancheton, and J.P. Guiraud, "Populations of heterotrophic bacteria in an experimental reciculating aquaculture system," Aquacultural Engineering, 22, 109~120(2000).

Mohammed, S.M., "Pollution management in Zanzibar: the need for a new approach," Ocean & Costal Management, 45, 301~311(2002).

Rittmann, B.E. and McCarty P.L., "Environmental biotechnology: principals and applications," McGraw Hill International Eds, 221~280(2001).

Song, Y.C., "Marine pollution and it's pollution," Aquaculture

Technology, 58~110(2002).

Thompon, F.L. and P.C. Abreu, Wilson wasielesky "Importance of biofilm for water quality and nourishment in intensive shrimp culture," Aquaculture, 203, 263~278(2002).

Wang, F.C., "Dynamics of intertidal marshes near shallow estuaries in Louisiana," Wetlands Ecology and Management, 5, 131~143(1997).

국립 수산 진흥원, 적조(1998).

국무총리실 수질개선기획단·해양수산부, 해양환경 업무편람(1999).

국토연구원, 연안정비사업 관련자료(1999).

국토연구원, 해안편람(1990).

국토연구원, 해안편람(1992).

농어촌진흥공사, 방조제 현황(1999).

농어촌진흥공사, 방조제 현황(1998).

농어촌진흥공사, 한국의 간척(1996).

문화관광부 · 한국관광연구원, 관광동향에 관한 연차보고서(1999).

습지보전 연대회의, 국제적으로 중요한 한국의 습지(1999).

조현서, 해양 환경오염과 보전대책(2003).

해양수산부, 어항편람(1998).

해양수산부, 어항편람(1999).

해양수산부, 연안의 정비환경과 주요쟁점(2000).

해양수산부, 우리나라의 갯벌(1998).

해양수산부, 육상기인 오염물질 해안 배출관리를 위한 세미나(2003).

해양수산부, 항만건설업무편람(1999).

해양수산부, 항만편람(1998).

행정자치부, 항만시설현황(1999).

환경부, 환경백서(1999).