

공학석사학위논문

# 새 만금 개발에 따른 수질 개선에 관한 연구

지도교수 국 승 기

2005년 2월

한국해양대학교 대학원

해양경찰학과 나 윤 만

## 목 차

그림목차	iii
표목차	iv
ABSTRACT	vi
<b>제1장 서론</b>	<b>1</b>
1.1 연구의 목적	1
1.2 연구내용 및 방법	1
<b>제2장 기상 및 해양환경</b>	<b>3</b>
2.1 기상	3
2.2 해양환경	22
<b>제3장 해수유동 시뮬레이션</b>	<b>54</b>
3.1 대상사업의 개요	54
3.2 사업추진에 따른 문제점	58
3.3 수치모델의 구성	62

제4장 수질확산 시뮬레이션	70
4.1 모델의 구성	70
4.2 수치실험 및 분석	71
제5장 결론	76
참고문헌	77

## 그 립 목 차

<그림 2-1> 관측소별 월평균기온변화 .....	5
<그림 2-2> 연도별 연평균 기온변화 .....	6
<그림 2-3> 관측소별 월평균 상대습도 변화 .....	7
<그림 2-4> 월평균 상대습도 변화 .....	8
<그림 2-5> 관측소별 월평균 강수량 변화 .....	10
<그림 2-6> 연간 강수량 변화 .....	10
<그림 2-7> 관측소별 월평균 풍속변화 .....	12
<그림 2-8> 월평균 안개일수 .....	13
<그림 2-9> 연간 신적설량 변화 .....	13
<그림 2-10> 월별 강수량 변화 .....	17
<그림 2-11> 월별 상대습도의 분포 .....	18
<그림 2-12> 해양조사위치도 .....	23
<그림 3-1> 해수유동시뮬레이션 계산 격자망 .....	66
<그림 3-2> 해수유동시뮬레이션 계산 수심도 .....	66
<그림 3-3> M2 분조 등조석도 .....	68
<그림 3-4> 방조제 건설에 따른 조간대의 변화 모식도 .....	68
<그림 3-5> 건설 단계에 따른 조간대의 변화분포도 .....	69
<그림 4-1> 수질확산시뮬레이션 계산 격자망 .....	72
<그림 4-2> 수질확산시뮬레이션 계산 수심도 .....	72
<그림 4-3> 수질확산시뮬레이션 결과 .....	73

## 표 목 차

<표 2-1> 월평균 기온변화 .....	4
<표 2-2> 월평균 상대습도 변화 .....	7
<표 2-3> 월평균 강수량 변화 .....	9
<표 2-4> 월평균 풍속변화 .....	11
<표 2-5> 월평균 안개일수 변화 .....	12
<표 2-6> 사업지구에 영향을 미친 주요 태풍 .....	14
<표 2-7> 월별 기온의 변화 .....	16
<표 2-8> 월별 강수량의 변화 .....	17
<표 2-9> 월별 상대습도 분포 .....	18
<표 2-10> 월별 증발량의 분포 .....	19
<표 2-12> 월별 풍향과 풍속 .....	20
<표 2-13> 월별 기타 기상 개황 .....	21
<표 2-14> 대조기 최강유속 및 유향 관측 결과 .....	27
<표 2-15> 소조기 최강유속 및 유향 관측 결과 .....	28
<표 2-16> 부표추적 조사결과(1차) .....	31
<표 2-17> 부표추적 조사결과 .....	32
<표 2-18> 방파제 개방구간의 부유물질 및 조류속 조사결과 .....	35
<표 2-19> 담수호 예정수역의 부유물질 조사결과 .....	37
<표 2-20> 해저퇴적물 입자 분류 .....	38
<표 2-21> 해저퇴적물 입도분석 결과 .....	41
<표 2-22> 방조제 인근의 연도별 퇴적물 입도 구성변화 .....	42
<표 2-23> 해저퇴적물의 유기물 및 중금속 함량 .....	44
<표 2-24> 조사지점별 해저퇴적물의 유기물 및 중금속 함량(1차) .....	46
<표 2-25> 조사지점별 해저퇴적물의 유기물 및 중금속 함량(2차) .....	47
<표 2-26> 새만금지구 및 서해연안의 퇴적물 성분 비교 .....	48

<표 2-27> 퇴적물 성분간 상관계수 .....	49
<표 2-28> 방조제 개방구간의 길이 및 평균수심 .....	51
<표 2-29> 방조제 개방구간에서의 영양염 유,출입량 .....	53

# **A Study on the Water Quality Improvement for the Development of Saemangeum Area**

by Ra, Yun-Man

Department of Maritime Police Science

The Graduate School of Korea Maritime University

Busan, Republic of Korea

## **Abstract**

It is very important to quantitatively assess the movement of sea water before or after constructing sea dike. The assessment is possible through the use of simulation models designed to predict water movement in a certain area.

In this study, the numerical computations were carried out to predict the sea water movement and quality around Saemangeum developing area. The computational models adopting ADI Method (Altering Direction Implicit Method) that was already verified from the previous studies, was used here.

In Saemangeum developing area, the major water masses are offshore water, Keum River diluted water, Mankyung River Diluted water and Gomso bay diluted water. The diluted waters are characterized by lower salinity in

all seasons, and higher temperature from the end of Feb. to summer and lower temperature in November.

Tidal water movements various. Slack waters occur at high and low tides, and maximum current speeds at 2-3 hrs after high and low tides. And the seasonal variations of water quality are more dominant than spatial variations, while the salinity inside of the Dike is usually lower than the outside salinity.

To test the model performance of simulating the pollutant transport, the field data of the other research was used in comparing the result of modelling computation. The model results showed a relatively good agreement with observations.



# 제1장 서론

## 1.1 연구의 목적

대한민국은 3면이 바다로 둘러싸인 해양국가로써 위치는 아시아 환 태평양 지역의 중심지역 위치에 있으며 서해안 지역은 인도양과 아시아 대륙이 연결되는 운송지이다.

그 가운데서도 새만금지구는 앞으로 군산항이 동북아 물류 중심 항만으로, 육성하기 위하여 서해안 새만금 지구 간척사업을 건설하고 있다.

이러한 시점에 서해안의 새만금 지구 간척사업이 완공되면 갯벌의 생태계 파괴와 새만금 지구에 공업화가 활성화 되면서 공업해수와 생활폐수가 새만금 지구에 유입되면서 새만금 지구에 적조 피해 방지와 앞으로 새만금 수질을 개선하기 위해서는 끝없는 노력과 연구가 필요한 것이다.

새만금 지구가 완공되면 상습적 적조현상이 발생됨이 예상되며 이러한 해역에 있어서 수질이 악화되는 지역에 대하여 수질환경 조서를 통하여 수질특성을 조사하고 또한 기상 지형, 지질, 동식물성 해양환경 등의 자연환경과 대기질, 수질, 수온 및 폐기물 등의 생활 환경분야에 대하여 파악하고 이를 수치모델을 통하여 구현하여 검증을 거쳐 유동특성을 검증하고 파악된 유동 특성을 토대로 새만금 지구 수질환경 시물레이션을 실시하여 수질조사 및 시물레이션 결과를 비교분석하여 이 해역의 있어서의 수질환경특성을 규명하고자하는데 목적이 있다.

## 1.2 연구내용 및 방법

본 연구는 크게 세단계로 나누어 진행하였다.

**제1단계**는 연구해역에서의 자연환경을 조사하기위하여 기상조건, 해양조건 등 자연조건들을 구분하여 자료를 분석하였다.

**제2단계**에서는 새만금지역에서의 수질환경과 해양생태계에 대한 해양 환경조건의 자료를 수집 정리하여 분석하였다.

**제3단계**에서는 수질환경 시뮬레이션을 실시하기 위하여 대상해역의 유동특성을 파악하고 계산된 유동 데이터를 이용하여 수질확산 시뮬레이션 모델을 행하여 그 수질 환경특성을 파악하여 새만금지역내에 생활하수 및 각종 해수가 수역내에 유입될 경우의 영향을 알아보고 새만금지역의 수질개선의 위한 방안을 제안하였다.

## 제2장 기상 및 해양환경

### 2.1 기 상

#### 1) 조사개요

본 사업장이 위치한 곳의 기후와 그 변화를 파악하여 친환경사업의 추진에 필요한 기초자료를 제공하고 사업에 따른 영향을 파악하기 위해서 조사되었다.

우리나라의 기후는 지리적으로 중위도 온대성 기후대에 위치하여 봄, 여름, 가을, 겨울의 사계절이 뚜렷하게 나타난다. 겨울에는 한랭 건조한 대륙성 고기압의 영향을 받아 춥고 건조하며, 여름에는 고온 다습한 북태평양 가장자리에 들어 무더운 날씨를 보이고, 봄과 가을에는 이동성 고기압의 영향으로 맑고 건조한 날이 많다.

기온은 중부산간지방을 제외하고, 대체로 연평균 기온은 10~16℃이며, 가장 무더운 달인 8월은 23~27℃, 5월은 16~19℃, 10월은 11~19℃, 가장 추운 달인 1월은 -6~7℃이다(20년 이상 연속 관측한 60개 지점 1971~2000년 평년값 기준).

연강수량은 중부지방 1,100~1,400mm, 남부지방, 경남해안 일부지역 1,800mm 정도, 제주도지방 1,450~1,850mm이다. 계절적으로는 연 강수량의 50~60%가 여름에 내린다.

바람은 일반적으로 겨울에 북서풍, 여름에는 남서풍이 강하며, 계절에 따른 풍계가 뚜렷이 나타난다. 습도는 7월과 8월이 높아서 전국적으로 80% 정도이고, 9월과 10월은 70%내외이다. 장마는 6월 중순 후반에 제주도 지방으로부터 시작하여 6월 하순 초반에 점차 중부지방에 이르게 되며, 장마기간은 대략 30일 정도이다. 태풍은 북태평양 서부에서 연중 28개 정도가 발생하며, 이중 2~3개가 우리나라에 직·간접적으로 영향을 준다.

#### 2) 조사방법

새만금지구 간척종합개발사업으로 인한 기상변화를 파악하기 위하여 사

업지구 내에 위치한 부안관측소 기상자료를 이용하여 기온, 상대습도, 강수량, 풍향 및 풍속, 안개일수 등의 항목을 조사하였다. 또한, 공사현장에 설치된 간이기상관측시설 자료를 이용하여 기온, 상대습도, 강수량, 풍속 등을 비교하여 수록하였다. 부안관측소의 최근 31년간(1973~2003년) 기상자료를 공사시행 전·후로 비교하였다. 공사현장에서 관측된 간이기상자료를 2000년 이후 자료를 이용하였다.

### 3) 조사결과

#### (1) 기온

방조제 공사 시행 전·후의 연평균 기온은 각각 12.2℃, 12.6℃로 유사한 값을 나타내었으나, 각 공사현장별 간이기상관측시설 관측자료에 의하면 연평균 기온이 13.4℃로 부안관측소의 자료보다 조금 높게 나타났다. 2003년 연평균 기온(부안관측소 자료)은 13.7℃로 예년보다 1℃정도 높게 나타났으며, 8월에 25.8℃로 가장 높고, 1월에 -0.1℃로 가장 낮았다.

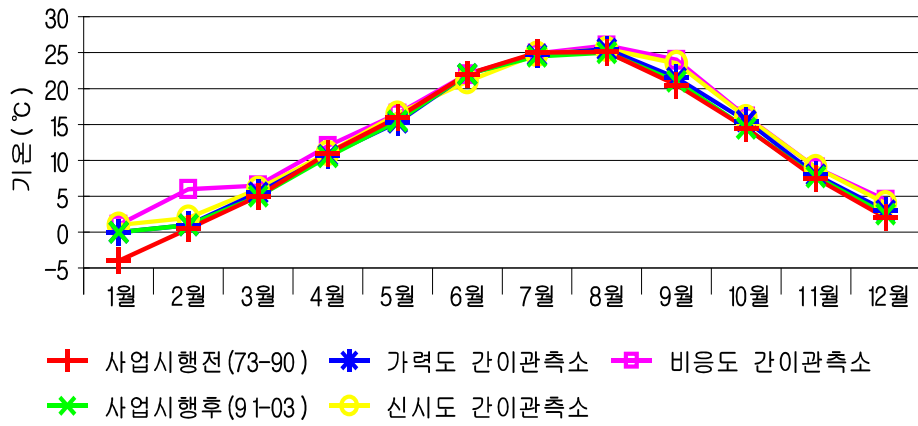
각 간이기상관측시설 관측자료에 의하면 연평균 기온은 가력도가 13.3℃, 신시도 비응도가 13.4℃로 나타났다. 월평균 기온이 가장 높은 달은 모두 8월로 가력도 25.7℃, 신시도 25.1℃, 비응도 25.6℃로 각각 관측되었다. 한편 월평균 기온이 가장 낮은 달은 가력도, 신시도, 비응도 모두 1월이었으며, 각각 1.0℃, 1.4℃, 0.4℃로 조사되었다.(<표 2-1>)

<표 2-1> 월평균 기온 편화 (단위:℃)

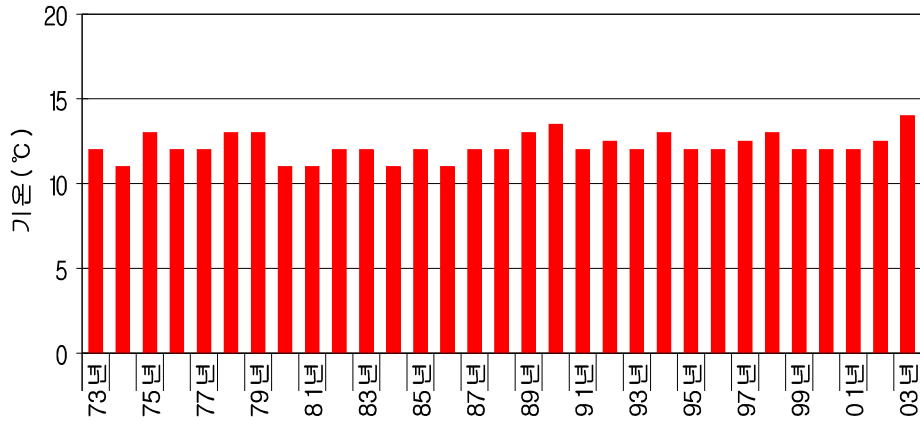
구분		기간	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	평균
부안 관측소	시행전	'73-'90	-1.3	0.4	4.9	11.2	16.5	21.1	24.8	25.5	20.3	14.2	7.5	1.6	12.2
	시행후	'91-'03	-0.1	1.4	5.6	11.4	16.6	20.9	24.9	25.2	20.8	14.4	8.1	2.3	12.6
간이 관측소	가력도	'00-'03	1.0	2.2	6.4	11.7	16.4	20.7	24.8	25.7	21.7	16.0	9.3	3.7	13.4
	신시도	'00-'03	1.4	1.8	6.4	11.4	16.5	20.9	24.6	25.1	22.8	16.4	9.3	3.7	13.4
	비응도	'00-'03	0.4	5.6	7.2	10.6	15.9	21.1	24.3	25.6	22.2	15.9	8.4	3.0	13.4

월평균 기온 변화는 <그림 2-1>과 같으며 공사시행 전·후 자료와 각 공사 현장에 실시된 간이기상관측시설의 관측자료 모두 비슷한 양상을 나타내었다.

1973년 이후 연평균 기온 변화(부안관측소 자료)를 <그림 2-2>에 나타내었으며, 1973년부터 2003년까지의 연평균 기온 범위는 11.3℃(1980년)~13.5℃(1998년)로 전체적으로 큰 변화는 나타나지 않았다.



<그림 2-1> 관측소별 월평균 기온변화



<그림 2-2> 연도별 연평균 기온 변화 (1073~2003, 부안관측소)

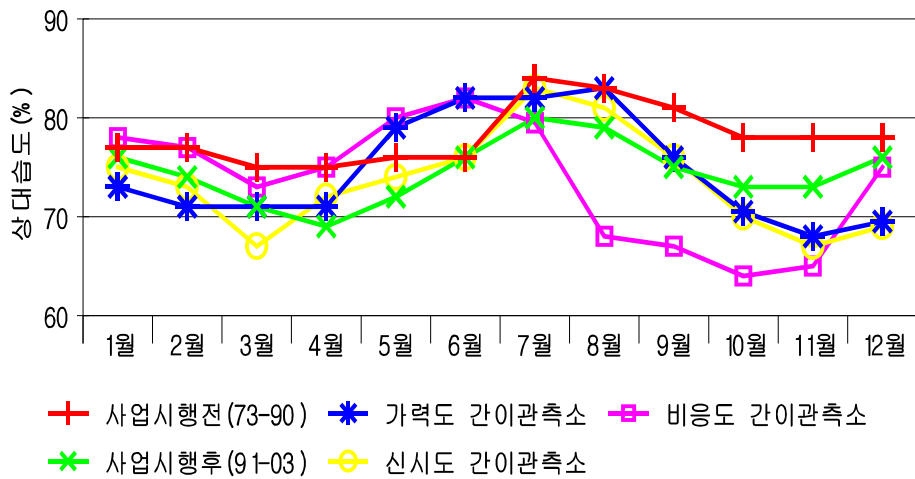
(2)상대습도

방조제공사 시행 전·후의 연평균 상대습도는 각각77.9%, 74.3%로 약 3.6%가 감소하였다. 가력도, 신시도 및 비응도 간이기상관측시설에서 측정된 자료에 의하면 연평균 상대습도는 각각 74.6%, 73.5%, 73.3%로 나타났고, 가력도는 5월~8월이, 신시도는 7월과 8월이, 비응도는 5월과 6월이 상대적으로 높은 값을 보였다.<표 2-2>

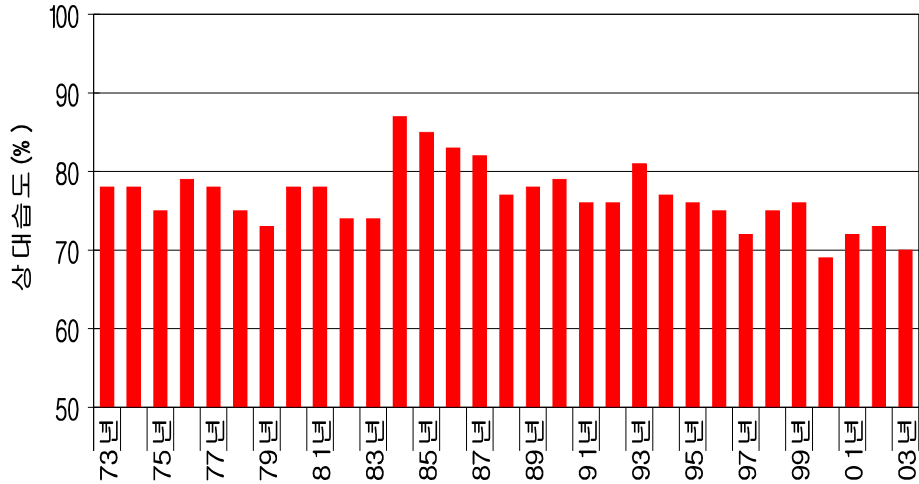
부안관측소와 각 공사현장에 설치된 간이기상관측시설의 월평균 상대습도 변화는 <그림 2-3> 및 <2-4>에 나타내었으며, 상대습도에 있어 다소 차이가 있었으나 전체적인 양상은 비슷한 것으로 나타났다.

<표 2-2> 월평균 상대습도 변화 (단위:%)

구분	기간	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	평균
부안 관측소	시행전 '73-'90	76.7	76.5	74.9	75.1	76.2	76.3	82.6	82.4	80.4	77.3	77.5	77.8	77.9
	시행후 '91-'03	76.0	73.1	71.0	68.9	71.4	76.5	79.8	78.9	75.4	72.5	72.4	75.5	74.3
간이 관측소	가력도 '00-'03	73.3	71.3	71.1	71.2	79.2	81.6	81.3	82.6	76.2	70.4	68.2	69.2	74.6
	신시도 '00-'03	75.0	72.4	67.0	71.9	73.3	76.3	82.4	80.7	76.1	69.8	67.1	69.5	73.5
	비응도 '00-'03	78.2	76.4	72.4	74.5	80.4	81.7	79.5	67.9	67.2	63.5	64.0	74.4	73.3



<그림 2-3> 관측소별 월평균 상대습도 변화



<그림 2-4> 월평균 상대습도 변화

(3) 강수량

공사시행 전·후의 연평균 강수량은 각각 1,249mm, 1,247mm로 비슷한 값을 나타냈었고, 월 평균 강수량은 7월에 266.8mm, 240.4mm로 각각 최고값을, 1월과 2월에 34.8mm, 35.6mm로 각각 최저값을 나타내었다.

2003년 연강수량은 1,830.9mm(1월~11월)였고, 월별로는 8월에 307.5mm로 가장 많은 강수량을 2월에 43.6mm로 가장 적은 강수량을 보였다. 한편 각 공사현장에서 관측한 결과는 가령도에서 연평균 1,560.0mm(최고 8월 307.5mm, 최저 2월 14.0mm), 신시도에서 연평균 1,450.3mm(최고 7월 480.5mm, 최저 1월 30.0mm), 비응도에서 연평균 1,152mm(최고 7월 452.5mm, 최저 10월 9.0mm)의 강수량을 각각 나타내었다.<표 2-3>

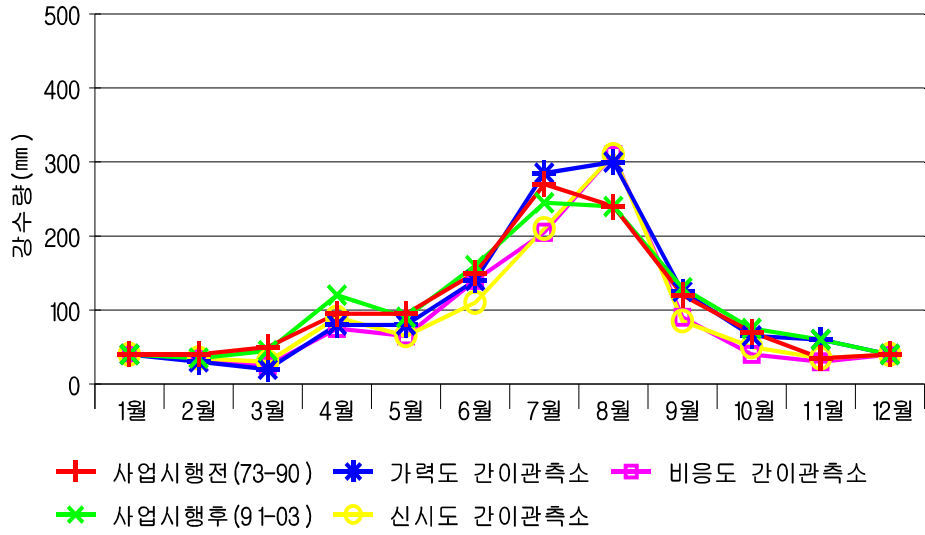


<표 2-3> 월평균 강수량 변화 (단위:mm)

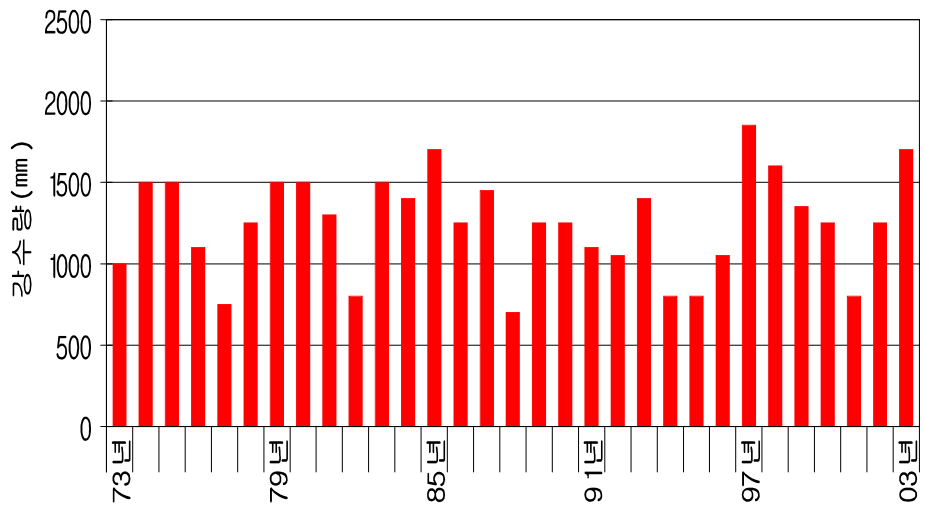
구분		기간	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	계
부안 관측 소	시행 전	'73-'90	34.8	40.4	52.8	97.2	93.3	150.3	266.8	234.5	123.8	58.3	55.4	41.7	1,249
	시행 후	'91-'03	38.0	35.6	45.3	125.9	82.5	165.3	240.4	236.3	131.1	59.7	53.1	34.5	1,247
간이 관측 소	가력 도	'00-'03	39.8	27.6	17.4	78.0	70.9	136.3	280.6	301.3	118.9	53.8	33.5	36.8	1,560
	신시 도	'00-'03	38.3	31.0	24.8	81.5	77.8	133.1	246.5	417.9	108.3	59.1	32.8	34.2	1,450
	비응 도	'00-'03	39.3	27.0	21.5	67.0	55.5	114.9	208	315.4	81.4	38.7	26.3	42.3	1,152

관측소별 월평균 강수량 변화를 <그림 2-5>에 나타내었으며, 관측소별 강수량에는 큰 차이가 없고 월별 강수량은 우리나라의 강우특성과 동일하였다.

1973년 이후 연간 강수량 변화(부안관측소 자료)는 <그림 2-6>과 같으며, 1973년부터 2003년까지의 연간 강수량 범위는 705.6mm(1988년)~1,671.4mm(1985년)로 연도에 따라 변화폭이 큰 것으로 조사되었다.



<그림 2-5> 관측소별 월평균 강수량 변화



<그림 2-6> 연간 강수량 변화 (1973~2003, 부산관측소)

(4) 풍속

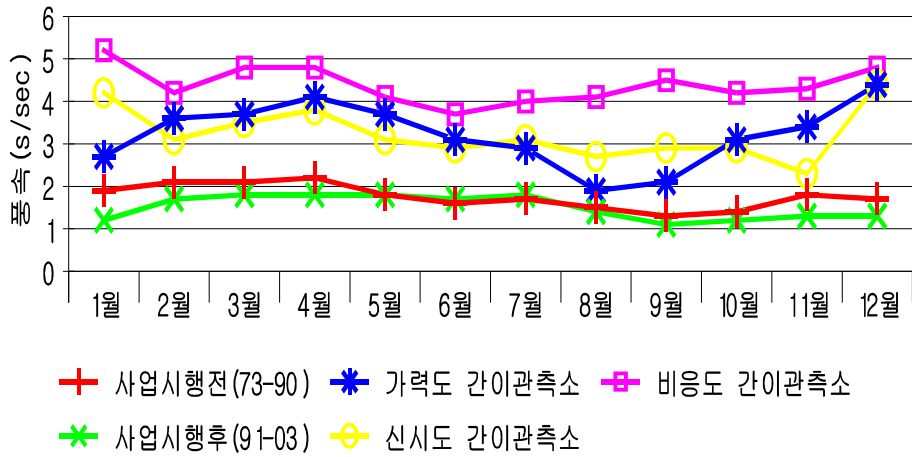
공사시행 전·후의 연평균 풍속(부안관측소)은 각각 1.7㎧, 1.5㎧였고, 각 공사현장별로 가력도는 3.4㎧, 신시도는 3.2㎧, 비응도는 4.4㎧로 나타나, 비응도에서 바람이 가장 강하게 불어, 부안과는 큰 차이가 있는 것으로 조사되었다.(<표 2-4>)

월평균 풍속은 공사시행 전·후 각각 4월(2.2㎧)과 3월~5월(1.8㎧)에 가장 높은 값을 보였으며, 9월에 1.4㎧와 1.2㎧로 각각 최저값을 기록하였다.

관측소별 월평균 풍속 변화는 <그림 2-7>에 나타내었으며, 전체적으로 부안관측소에서 관측된 연평균 풍속보다 각 공사현장별 연평균 풍속이 크게 조사되었으며, 이는 각 공사현장별 간이기상관측시설이 해안에 가깝게 위치한 결과로 판단된다.

<표 2-4> 월평균 풍속 변화 (단위:㎧)

구분		기간	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	평균
부안 관측 소	시행 전	'73-'90	1.9	2.1	2.1	2.2	1.8	1.6	1.7	1.5	1.4	1.4	1.7	1.7	1.7
	시행 후	'91-'03	1.3	1.6	1.8	1.8	1.8	1.6	1.7	1.4	1.2	1.3	1.3	1.3	1.5
간이 관측 소	가력 도	'00-'03	4.6	3.5	3.6	4.1	3.6	3.1	2.8	1.9	2.1	3.1	3.4	4.4	3.4
	신시 도	'00-'03	4.2	3.1	3.4	3.7	3.1	2.8	3.1	2.5	2.8	2.8	2.3	4.3	3.2
	비응 도	'00-'03	5.2	4.2	4.6	4.6	4.1	4.6	4.0	4.2	4.5	4.3	4.4	4.8	4.4



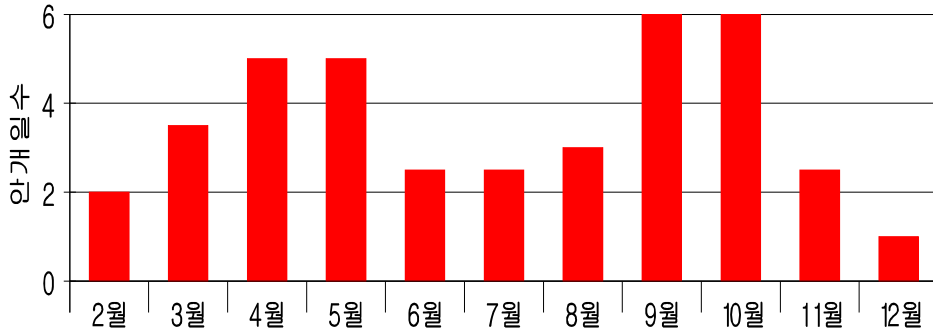
<그림 2-7> 관측소별 월평균 풍속 변화

(5)안개일수

1973년부터 2000년도까지 부안관측소에서 관측된 연간 안개일수는 41.8일이며, 월평균 안개일수는 3.5일이었으며, 9월과 10월에 6.4일로 가장 많이 관찰되었으며, 12월에 0.8일이 관찰되어 가장 적은 값을 나타내었다.(<표 2-5>)

<표 2-5> 월평균 안개일수 변화 (단위 : 일)

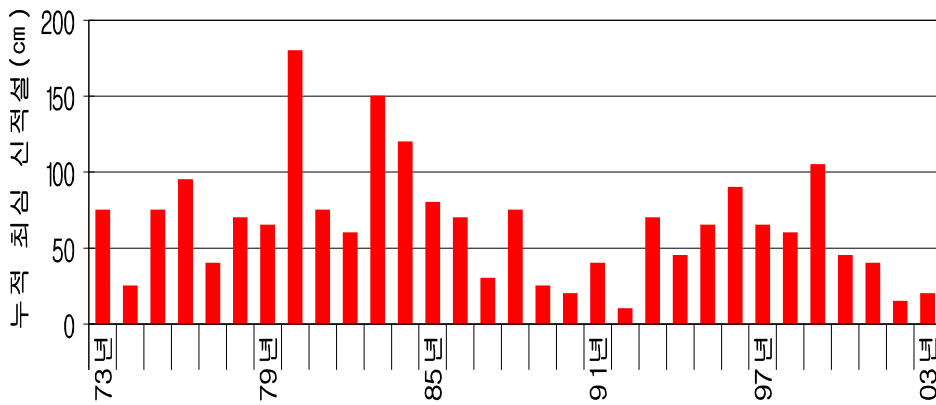
구분구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	평균
안개일수	2.9	2.0	3.5	5.1	5.1	2.4	2.4	3.1	6.4	6.4	1.7	0.8	3.5



<그림 2-8> 월평균 안개일수 (1973-2000, 부안관측소)

(6) 적설량

2003년도(12월 제외) 부안관측소에서 관측된 신적설량은 21cm였고, 1973년도부터 2003년까지 신적설량은 1992년도에 10.9cm로 가장 적었으며, 1980년도에 183.8cm로 가장 많은 것으로 나타났다. 연도별 신적설량은 <그림 2-9>와 같이 연간 변화폭이 큰 것으로 나타났다.



<그림 2-9> 연간 신적설량 변화 (1973-2003, 부안관측소)

(7) 태풍

2003년은 태풍으로 인한 사업지구 내 피해는 발생하지 않았으며, 1973년 이후 사업지구에 영향을 미친 주요 태풍의 현황은 <표 2-6>과 같다.

<표 2-6> 사업지구에 영향을 미친 주요 태풍

태풍명	기 간	최대순간 풍향 및 풍속	강 수 량(mm)			비고
			1시간 최대	1일최다	합계	
JEAN	'74(7.20~7.22)	SE :11.4	20.0	112.5	137.0	군산
TD	'74(8.28~8.31)	E :17.8	27.4	172.8	231.5	군산
BABE	'77(9.10~9.12)	NE :19.2	9.0	21.9	22.0	군산
WENDY	'78(8. 1~8. 3)	NW :15.3	0.5	0.6	0.6	군산
IRVING	'79(8.15~8.18)	NNW :29.3	11.2	64.3	64.3	군산
VERA	'86(8.27~8.29)	W :29.8	30.7	117.6	136.9	군산
ABBY	'86(9.20~9.21)	ENE :17.6	15.9	47.3	92.3	군산
ROBYN	'90(7.10~7.12)	ENE :17.0	17.4	65.8	68.5	군산
OFELIA	'90(6.24~6.26)	SE :25.7	21.3	122.6	163.0	완도
ABE	'90(9. 1~9. 2)	SSE :15.0	27.9	52.3	59.8	전주
TED	'92(9.22~9.26)	NNE :20.0	15.1	108.5	110.5	서산
ELLIE	'94(8.14~8.16)	SSE :13.5	25.6	46.8	57.5	광주
JANIS	'95(8.25~8.27)	SW :23.5	69.5	361.5	397.5	보령
NEIL	'99(7.26~7.28)	NE :26.8	10.1	54.9	83.7	군산
OLGA	'99(8. 2~8. 4)	SSW :21.8	37.3	275.0	436.0	서산
ANN	'99(9.16~9.19)	ENE :17.6	20.0	46.0	85.1	군산
BART	'99(9.23~9.24)	NW :5.3	24.5	119.0	122.0	전주
PRAPIROO	'00(8.31~9. 1)	S :58.3	21.1	74.6	74.7	흑산도

#### 4) 지역기후

우리나라는 아세아 대륙의 동부에 위치한 반도인 관계로 대륙성 기단과 해양성 기단의 영향을 크게 받아 하기에는 고온다습하고 동기에는 한랭건조하여 기온의 연교차가 큰 대륙성 기후이다. 이러한 관계로 북

쪽일수록 한서의 차가 크고 해안지대보다는 내륙으로 갈수록 대륙성 기후를 나타낸다. 1964년에 한국기상학회와 지리학회 공동으로 조사설정한 한국의 기후분포를 보면 한반도를 크게 냉대와 온대로 대별하고 다시 5등분하여 남해안 일대의 남해안형과 서해안일대의 남부서해안형과 내륙지방의 남부내륙형 동해안 일대의 남부동해안형 대구특수형으로 구분하였다.

본 지구는 한반도의 남서부해안의 위치한 지구로써 한서의 차도 타지방의 비해 적고 강수량이 많은 온화한 기후지대를 형성하고 있다. 본지구와 관련된 주요 측후소 기상자료에 의하면 연평균 기온은 군산지역이 12.3℃, 부안지역이 12.1℃로써 전국 평균 12.6℃보다 약간 낮으며, 연평균 강수량은 군산지역이 1,206.2mm, 부안지역이 1,226.3mm로써 전국 평균 1,159mm보다 다소 많다. 지구내 기후의 특징은 동고서저의 지형이기 때문에 지형적 영향을 크게 받아 기온차가 남북보다는 동서의 차가 크다.

## 5)국지기상

### (1) 기온(temperature)

본지구와 관련된 주요 측후소의 기상자료에 의하면 연평균 기온은 군산지역이 12.3℃, 부안지역이 12.1℃로써 전국평균 12.6℃보다 약간 낮으며 최난월인 8월의 평균기온은 군산지역이 25.5℃, 부안지역이 25.3℃이고 최한월인 1월의 평균기온은 군산지역이 -0.6℃, 부안지역이 -1.9℃로써 연평균 기온차는 각각 26.1℃ 26.7℃이다. 관측 개시년부터 1998년까지의 최고 기온은 군산지역이 35.2℃(73. 7. 17), 부안지역이 36.1℃(78. 7. 28)이며, 최저기온은 군산지역이 -14.5℃(71. 1. 6), 부안지역이 -22.6℃(81.1.27)로써 내륙 쪽으로 갈수록 한서의 크다는 것을 알 수 있다. <표 2-7>은 월별 기온의 변화를 나타낸 것이다.

<표 2-7> 월별 기온의 변화

(단위:mm)

월 별 지역	월												전년	
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월		
군산	평균	-0.6	0.4	4.3	10.9	16.2	20.7	24.6	25.5	21	14.9	8	2.1	12.3
	최고	15.9	17.3	20.5	27.3	29.1	31.6	35.2	34.7	32.7	28.8	23.7	18.4	35.2
	최저	-14.5	-12.4	-8.5	-1.4	4.8	11.8	14.1	14.5	9.2	1.3	-7.4	-13.6	-14.5
부안	평균	-1.4	0.4	4.7	11	16.4	21	24.8	25.3	20	14.2	7.3	1.5	12.1
	최고	16.3	18.3	21.6	28.7	31.9	33.2	36.1	34.8	33	29.5	26	18.2	36.1
	최저	-22.6	-18.7	-10.2	-3.6	2.7	7.7	14.7	12.6	4.9	-2.2	-9.8	-20.2	-22.6

(2)강수량(Precipitation)

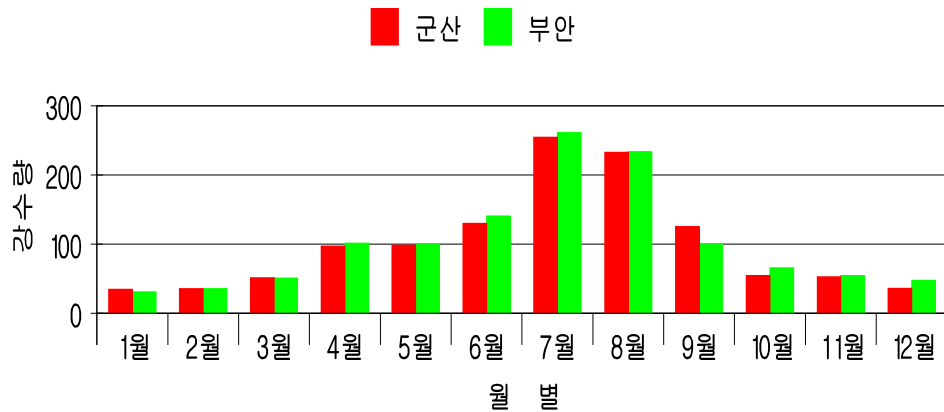
본 지구는 전형적 계절풍대 강우형에 속하고 있어 남동계절풍이 탁월한 여름철에는 남태평양의 고온다습한 기후의 영향을 받아 강수량이 많고 겨울철의 기온은 한냉건조하므로 강수량이 적어 계절적으로 현저한 차이를 보이고 있다. 관측 개시년부터 1988년 까지의 년평균 강수량은 군산지역이 1,206.2mm, 부안지역이 1,226.3mm로써, 우리나라의 연평균 강수량 1,159mm보다 다소 많으며 계절별로는 여름철인 6,7,8월에 연평균 강수량의 약 50%이상이 집중되고 있어 우리나라의 강우 특성과 일치한다. 본 지구의 연최대 강수량은 1769.1mm(1987년) 부안지역이 1,737.8mm(1934년)이며, 연최소 강수량은 군산지역이 708.9mm(1997년), 부안지역이 588.5mm(1939년)이었다. 또한, 월 최대강수량은 군산지역이 611.5mm(1987. 8), 부안지역이 621.6mm(1933. 7)이고, 일최대강수량은 군산지역이 261.1mm(1979. 8. 5), 부안지역이 181.5mm(1979. 8. 5)이었다.

<표2-8>과 <그림 2-10>은 월별 강수량의 변화를 나타낸 것이다.



<표 2-8> 월별 강수량의 변화 (단위: mm)

월별 측후소	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	전년
군산	34.7	35.8	51.6	97.2	98.6	130.3	254.9	233.2	125.6	54.8	53	36.5	1,206.2
부안	31.1	36	51	101.5	99.9	141	261.6	234	100.5	65.8	54.8	47.7	1,226.3



<그림 2-10> 월별 강수량의 변화

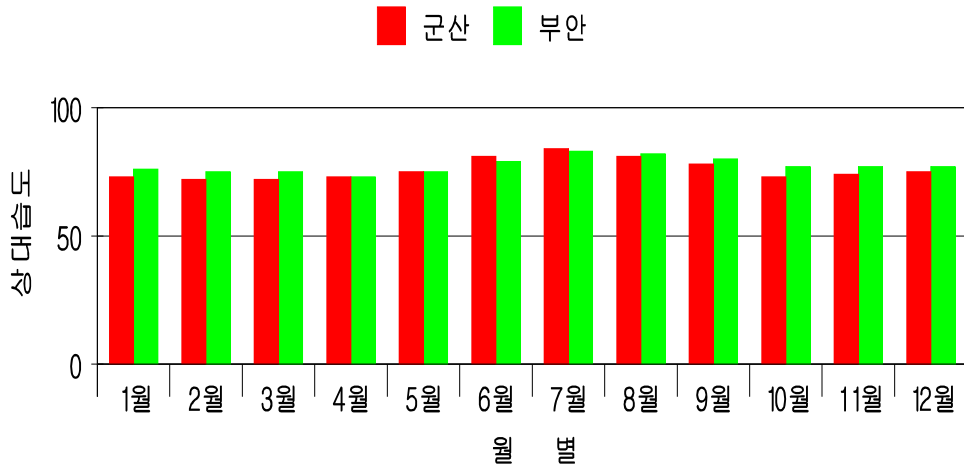
(3) 습도(humidity)

습도는 대기의 건조상태를 표시하는 요소로써 온도와 밀접한 관계가 있으며, 모든 물질의 미생물의 번식, 생산품의 보존, 부식상태에 지배적인 요소가 된다. 본지구의 연평균 상대습도 군산이역이 76%, 부안지역이 77%로써, 비교적 높은 편이며 비가 많은 7,8월이 81~84%로 가장 많고, 2,3,4월이 72~75%로 가장 낮았다. 1968년부터 1988년 사이의 최소습도는 군산지역이 18%(1970. 5. 22) 부안지역이 17%(1973. 3. 31.)이었다. <표 2-9> 및 <그림 2-11>은 월별 상대습도의 분포를 나타낸 것이다.

<표 2-9> 월별 상대습도 분포

(단위:%)

월 별 측 후 소	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10 월	11 월	12 월	전년
	군산	73	72	72	73	75	81	84	81	78	73	74	75
부안	76	75	75	73	75	79	83	82	80	77	77	77	77



<그림 2-11> 월별 상대습도의 분포

(4) 증발량(evaporation)

본지구의 연평균 증발량은 군산지역이 1,164.9mm, 부안지역이 1,228.7mm로서 우리나라에서 증발량이 가장 많은 포항, 여수지방보다는 250~400 정도가 적었다. 증발량의 월별 분포를 살펴보면 군산지역에서는 8월이 151.6mm로 가장 많고 1월이 41.8mm로 가장 적으며 부안 지역에서는 5월이 153.8mm로 가장 많았고 12월이 42.6mm가장 적었다.

<표 2-10> 월별 증발량의 분포 (단위 : mm)

월별 측후소	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10 월	11 월	12 월	전년
군산	41.3	49	80.3	106.8	136.8	138.6	140	151.6	117.4	97.6	60.5	45.1	1,164.9
부안	447	54.2	89.3	125	153.8	149.3	147.8	151.6	118.7	97.5	57.2	42.6	1,228.7

(5) 풍향, 풍속

본지구의 연평균 풍속은 군산지역이 4.1㎧, 부안지역이 1.8㎧로서 해안에 위치한 군산지역이 부안지역보다 훨씬 강하며 겨울철과 봄철이 여름철과 가을철보다는 공히 강한 바람이 었고, 최대풍속은 군산지역이 31.7㎧(1980. 10. 25) 부안지역이 14.5㎧(1980.4.18)이었다. 연중 최다 풍향은 군산지역과 부안지역이 북서풍이며, 풍속13.9㎧이상의 연평균 폭풍일수는 20~30일로 내륙지방에 비하여 많은 편이다. <표 2-12>는 월별풍속을 나타낸 것이다.

<표 2-12> 월별 풍향과 풍속

(단위:m/sec)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	전년		
군산	평균풍속	41	45	47	45	42	39	37	38	38	38	39	37	41	
	최대	풍속	223	22	317	233	187	233	267	27	20	317	233	267	317
		풍향	WNW	WSW	WNW	WNW	WNW	W	WNW	WNW	WNW	WNW	W	NNW	WNW
	최다풍향	NW	NW	WNW	W	W	W	W	EWE	EWE	EWE	EW E	EWE	WNW	
부안	평균풍속	2	22	21	23	19	16	17	16	14	15	18	18	18	
	최대	풍속	11	11	115	145	11	11	13	125	10	95	11	95	145
		풍향	NE	SSE	SW	SSW	SSE	S	NNE	S	SSE	SW	NW	NNE	SSW
	최다풍향	N	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NE	W	N	N	NW	

(6) 기타기상

본 지구와 관련된 주요 측후소의 기상자료에 의하면 최심적설량은 군산지역이 36.6cm(1968. 1. 16) 부안지역이 59.5cm(1980. 12. 30)이며, 연평균 적설일수는 군산지역이 30.9일, 부안지역이 31.4일이었다. 연평균 일조시간은 군산지역이 2,245.1hr이고, 부안지역이 2,557hr이었다. 천우일수는 군산지역이 맑은 날의 일수 76.3일, 흐린 날의 일수 119.6일, 안개일수 37.3일, 서리일수 41.8일, 결빙일수 93.6일이므로 부안지역은 맑은날의 일수 93.5일, 흐린 날의 일수 110.7일, 안개일수 32.5일, 서리일수 92.4일, 결빙일수 112.4일로 나타났다. <표 2-13>은 월별 기타기상의 개황을 나타낸 것이다.

<표 2-13> 월별 기타기상 개황

구분1		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	전년		
군	적설 (cm)	최심	36.6	17.2	12.2								25.4	27	366	
		년일	68.1 6	69.4	69.4								75.25	69.9	1968 1.16	
	일조시간		156. 7	163. 8	207. 1	212. 7	229. 4	197. 2	166. 7	210. 4	194. 8	209.3	159.2	137.7	2,245.1	
	산	천기 일수	맑음	6.5	6.2	7.8	7	7.3	3.5	2.6	5.3	6.3	10.5	7.1	6.2	76.3
			흐림	8.9	9.3	8.2	9.2	9.6	13.2	16.9	10.8	9.4	6.9	8.3	8.9	119.6
		안개	1.4	1.5	3.2	4.4	3.4	4.1	3.4	2.7	3.4	3.2	4.2	2.4	37.3	
		결빙	28.3	22.7	15.6	0.5								4.9	21.6	93.6
		서리	9.8	10.1	7.7	0.8							0.1	3.6	9.7	41.8
		적설	12.9	7.4	1.2									2.3	7.2	30.9
	부	적설 (cm)	최심	176	184	93								23	59.5	59.5
			년일	76.2 3	80.2	72.1								72.25	80.30	1980 12.30
		일조시간		165	1612	1971	2364	2818	2551	2432	2634	2305	2117	161	1501	2557
안		천기 일수	맑음	7.7	6.7	10	8.9	9.4	5.9	3.7	6	7.1	11.7	8.8	7.6	93.5
			흐림	8.3	7.8	7.4	8.7	9.4	11.2	14.4	9.8	9	7.3	9.1	8.3	110.7
		안개	1.8	1.4	1.3	1.3	1.8	2.4	2.9	3.3	6	5.6	2.7	1.9	32.5	
		결빙	29.3	24.3	18.4	2.7							0.6	10.7	26.4	112.4
		서리	18.9	16.6	18.2	4.6							2.1	11.6	20.4	92.4
		적설	13	7.4	0.9									1.5	8.5	31.4

## 2.2 해양환경

해양환경에 대한 분석은 농업기반공사가 실시한 새만금지구 간척 종합 개발사업 환경영향조사 보고서를 바탕으로 분석하였다.

### 1) 조사개요

본 사업지역은 북쪽의 금강하구와 남쪽의 계화조간대에 약 208km<sup>2</sup>의 넓은 조간대가 발달해 있으며, 조석의 영향이 지배적인 대조차 환경으로 반일주조(semi-diurnal type)의 특징을 보인다. 조간대 대부분이 경사가 완만하고 수심이 얕은 천해연안으로 서해의 다른 조간대에 비해 모래의 함량이 높은 퇴적물로 구성되어 있다. 2003년 6월 4호방조제 체절 후, 12월 현재 2.7km의 개방구간을 통해 대조시 일평균 72억톤의 해수가 유·출입되고 있다.

새만금방조제 공사로 인한 해양환경영향을 파악하기 위하여 방조제 개방구간의 조류속관측, 조류(藻類) 이동 방향 및 범위 파악을 위한 부표추적 조사, 부유물질 조사, 방조제내측 및 외측의 해저퇴적물 조사, 변산 및 선유도해수욕장의 해빈 지형조사 등을 실시하였으며, 각 분야별 조사 시기는 다음과 같다. 단, GAP3지점은 체절로 인해 조류속·부유물질·영양염수지조사를 1차조사만 수행하였다.

조류속, 부유물질, 영양수지조사

1차 : 대조기 2003. 3. 19~20

소조기 2003. 4. 9~10

2차 : 대조기 2003. 9. 26~27

소조기 2003. 10. 20~21

부표추적 1차 : GAP1 2003. 6. 29~7. 2

GAP2 2003. 6. 16, 6. 17

2차 : GAP1 2003. 9. 25, 9. 27

GAP2 2003. 9. 24, 9. 26

퇴적물조사 1차 : 2003. 6. 16~7. 2

2차 : 2003. 9. 24~9. 27

해빈조사 1차 : 2003. 4.

2차 : 2003. 10.

## 2) 조사지점 및 방법

### (1) 조사지점

① 조류속, 부표추적, 부유물질, 영양염수지조사

GAP1: 제2호방조제 개방구간(No.25)

GAP2: 제2호방조제 개방구간(No.90)



### ① 조류속 조사

2003년 3월과 9월의 대조기, 4월과 10월의 소조기에 2호방조제 개방구간 GAP1, GAP2, 4호방조제 GAP3에서 도플러유속계를 사용하여 25시간 동안 조류속 관측을 실시하였으며 2차조사에는 RDI Corp.의 초음파도플러유속계(ADCP, Acoustic Doppler Current Profiler)를 이용하였다. 도플

러 유속계는 센서의 흔들림을 방지하고자 선박에 고정 장치를 설치하여, 3개의 개방구간 중앙에서 동시에 관측하였다. 유속, 유향, 수온 자료는 해수면 아래 1.5~2m지점에서 1분 간격으로 연속측정하여 얻었다. 초음파도플러유속계는 해수면 아래 1.0m에서 1분간격으로 유속, 유향 및 수온자료를 취득하였다. 4호방조제 개방구간은 6월에 물막이가 완료되어 이후 조류속 측정을 실시하지 않았다.

### ②부표추적조사

부표추적 조사는 조류의 이동방향 및 범위를 동시에 나타낼 수는 있는 라스랑지안 방법으로 GAP1 및 GAP2 지점에서 실시하였다. 조사시기는 2003년 6월과 9월로, 조차가 큰 대조기 창조 및 낙조에 실시하였다. 새만금이 위치한 서해의 조석은 일조부등의 반일구조로 약 12시간 25분의 주기를 갖고 있으며 약 6시간 동안 낙조와 창조가 교대로 반복되는 대조차 환경으로 강하 조류의 특징을 보인다. 이러한 조류의 영향을 해수리 이류 및 확산을 크게 하여 환경영향 범위를 넓게하고 해저지형 및 해양생태에 큰 영향을 준다.

본 조사에 사용된 부표는 가로 50cm, 세로 60cm의 스테인레스판 2개를 십자로 직교한 형태로 제작하여 모든 방향의 흐름을 반영하도록 하였다. 부표의 이동을 효율적으로 추적하기 위하여 깃발과 점멸식 전등을 부착하였고 스테인레스판이 수심 1m 깊이를 유지하도록 부리(buoy)로 부력을 조절하였다. 조류의 흐름이 없는 정조시간에 부표를 투하하고 창·낙조 지속시간 동안 30분 간격으로 GPS로 부표이동 위치를 파악하였다.

### ③부유물질 조사

부유물질 조사는 조석현상에 의한 농도변화를 파악하기 위하여 방조제 개방구간인 GAP1, GAP2, GAP3지점에서 조류속 조사와 동시에 30분 간격으로 연속관측을 실시하였다. 또한 새만금호 예정수역에서 매월 조사를 실시한 새만금호 수질측정말 부유물질 조사 결과도 함께 수록하였다. 채수는 표등1m아래에 실시하였으며, 월별 수질측정망조사는 만조 1시간 전·후에 채수를 하였다.



#### ④ 퇴적물 조사

퇴적물조사는 방조제 내측과 해측의 중간 및 끝단지점과 담수호 예정 수역중 만경수역 및 동진수역의 주수로부와 조간대 상부에서 연 2회 실시하였다. 해저퇴적물 시료는 그랩형 채니기(Grab Sediment Sampler)를 이용하여 선상에서 채취하였으며, 1호방조제 외측(1D-1~4)과 동진수역 상부조간대(DJ-4)의 퇴적물은 간조시 도보로 이동하여 표층퇴적물을 채취하였다.

퇴적물 입도 및 유기물 분석은 해양환경공정시험방법 해저퇴적물편 제 1항 입도 및 제7항유기탄소량 분석방법에 따라 분석을 실시하였다. 중금속 분석(EPA Method 3051)은 퇴적물 1g에 진한 질산 10mL을 가한 후 175℃에서 초음파 분해를 실시하여 유도결합발광플라즈마 분석기(ICP)로 측정하였다.

#### ⑤ 영양염 수치(budget)조사

영양염 수치조사를 위하여 2003년 3월과 9월의 대조기, 4월과 10월의 소조기에 방조제 개방구간에서 25시간 조류속과 영양염 항목 등을 30분 간격으로 연속 관측하였으며 표층 1m이하 수심에서 채수하였다.

인산염은 몰리브덴산 암모늄용액, 황산, 아스코르빈산, 타르타르산 안티모닐 칼륨용액의 혼합시약으로 반응시킨 후 885nm에서 정량측정하였다. 암모늄염은 페놀로 고정후 니트로프루시드나트륨용액, 산화제로 반응시킨후 640nm에서 정량 측정하였다.

아질산염은 술페닐아미드 용액과 나프틸에틸렌디아민이염산염 용액으로 반응시킨 후 543nm에서 측정하고 질산염은 카드뮴-구리 환원관을 통과시켜 아질산염으로 환원시킨 후 아질산염과 동일한 방법으로 측정하였다. 규산염은 몰리브덴산 암모늄용액, 메톨(metol-sulfite)용액, 옥살산용액, 황산을 이용하여 810nm에서 분광광도계(UV-160A, SHIMADZU)로 정량 측정하였다.

### 3) 조사결과

(1)조류속조사

조류속 관측은 대조기 (3. 19. 11:00~3. 20. 12 : 00, 9. 26. 10:00~9. 27. 16:00)와 소조기(4. 9 14:30~4.10. 15:30, 10. 20. 10:00~10. 21. 11:00)에 개방구간에 선박을 정선시킨 후, 25시간동안 연속관측을 수행하였으며, 4호방조제 개방구간인 GAP3지점은 6월 체질이 완료되어 조류속측정을 실시하지 않았다.

새만금 방조제 개방구간의 현황을 보명 2002년 3월과 4월조사시 GAP1은 2.2km, GAP2는 1.1km, GAP3는 2.9km, 10월조사시 GAP1은 1.6 km, GAP2는 1.1km, GAP3는 1.8km가 개방된 상태였다. 2003년 12월 현재 새만금방조제 개방구간은 4호방조제 GAP3 1.8km가 2003년 6월에 폐질이 완료되어, 2호방조제 GAP1이 1.6km, GAP2가 1.1km로 총 2.7km만 남아있는 상태이다.

①대조기 조류속 조사결과 (3월, 9월)

대조기 조류속 관측결과를 조사시기별 군산외항의 조차·지속시간과 방조제개방구간의 최강유속 등을 <표 2-14>에 나타내었다.

3월 대조기 조류속 관측결과 최강유속은 GAP1구간 4.13‰, GAP2구간, 4.34‰, GAP3구간 3.42‰로 나타났으며, 1차 사석제 진행에 따른 통수단면 축소 등으로 3구간에서 모두 '02년 10월조사보다 0.17~0.23‰증가하였다. 또한, 창조시 유속이 낙조시보다 0.59~1.28‰크게 나타났다. 유향 결과를 2002년 10월과 비교하면, 낙조시 GAP1구간 267°→256°, GAP2구간은 191°→217°, GAP3구간은 297°→274°로 변화하였다. 창조시 유향은 GAP2구간은 76°→98°로 변화하고 GAP1과 GAP3구간은 유사하게 나타났다.

대조기 조류속 관측결과 최강유속은 GAP2 4.49‰로 나타났으며, 4월 대조기와 비교하여 0.15‰증가하였다. GAP2구간의 저조에서 최대유속이 발생하는 시간이 짧아져 유속이 증가한 것으로 판단된다.

GAP1구간은 급격한 해상기상악화로 조류속 데이터를 취득하지 못하였으며 구간별 유속 비율을 적용하여 계산하였다. 구간별 유속비율에 의한 계산결과 GAP1구간의 최강유속은 3.95‰로나타났다. GAP2구간의 창조시 유속이 낙조시보다 0.45~0.48‰크게 나타났는데, 이는 창조시의 조

시, 조차(5시간34분, 6.89m)가 낙조시의 조시, 조차(6시간48분, 6.57m)보다 조시 간격이 짧고 조차가 컸기 때문이다.

즉, 내만 및 하구에서 창조지속시간과 낙조지속시간이 일치하지 않는 조석비대칭 현상과 낙조지속시간이 창조지속시간에 비해 약 1시간 정도 길기 때문에 낙조류가 창조류에 비해 약간 작게 발생된다. 유향의 변화를 보면 낙조시 GAP2구간은 남측방향(217°→255°), GAP1구간은 유사하게(256°→266°)변화하였으며, 창조시 GAP1구간(68°→79°)로 약간 동측 방향으로 변화하였다.

<표 2-14> 대조기 최강유속 및 유향 관측 결과

조사 시기	구분	군산외항조위		제2호방조제				제4호방조제	
				No.25 (GAP1)		No.90 (GAP2)		No.70 (GAP3)	
		조차	간격	유속( m/s)	유향	유속( m/s)	유향	유속( m/s)	유향
'03. 03	창조	7.23	5:37	4.13	68°	4.34	98°	3.42	109°
	낙조	7.22	6:50	2.85	256°	3.22	217°	2.83	274°
'03. 09	창조	6.89	5:34	-	-	4.49	80°	2003년 6월 체절완료	
	낙조	6.57	6:48	3.47	266°	4.04	255°		

② 소조기 조류속 조사결과 (4월, 10월)

소조기 조류속 관측결과를 조사시기별 군산외항의 조차·지속시간과 방조제개방구간의 최강유속 등은 <표 2-15>에 나타내었다. 4월 소조기 조류속 관측결과 개방구간별 최강유속은 GAP1구간 1.78m/s, GAP2구간 1.88m/s, GAP3구간은 1.48m/s로 나타났다. GAP1구간은 전년도 10월 조사결과와 유사하게 나타났으며, GAP2구간은 0.11m/s, GAP3구간은 0.13m/s 정도 감소하였다. 소조기 유향은 GAP1구간에서 2002년 10월 조사 결과와 비교하면 큰 변화를 보이지 않았으나 GAP2구간은 창조시 유향이 2002년 10월 조사결과에 비해 약간 북쪽방향(89°→73°)로 변화하

였다.

10월 소조기 조류속 관측결과 개방구간별 최강유속은 GAP1구간 1.86㎍, GAP2구간 2.13㎍로 나타났다. GAP1과 GAP2구간은 4월조사 결과보다 각각 0.08㎍, 0.25㎍증가하였다. GAP2구간의 유향은 4월조사에 비하여 큰 변화를 보이지 않았으나 GAP1구간은 창조시 유향이 4월조사 결과에 비해 약간 동쪽방향(65°→78°)로 변화하였다.

<표 2-15>소조기 최강유속 및 유향 관측 결과

조사 시기	구분	군산외항조위		제2호방조제				제4호방조제	
				No.25 (GAP1)		No.90 (GAP2)		No.70 (GAP3)	
		조차	간격	유속(㎍)	유향	유속(㎍)	유향	유속(㎍)	유향
'03. 04	창조	3.53	6:27	1.78	65°	1.88	73°	1.48	110°
	낙조	3.10	6:34	1.45	263°	1.64	259°	1.44	281°
'03. 10	창조	3.02	6:47	1.86	78°	2.13	72°	2003년 6월 체절완료	
	낙조	2.83	7:01	1.70	257°	1.92	261°		

③방조제 축조에 따른 개방구간의 최강유속 변화

새만금 방조제 체절에 따른 개방구간 축소로 인해 각 조사지점에서의 최강유속이 증가하고 있다.

조사결과 새만금방조제 개방구간의 대·소조기 최강유속이 나타나는 시간은 만조 2시간~3시간 전·후로 나타났으며, 최저조위에서 유속이 가장 작은 것으로 나타났다.

1991년 새만금방조제 축조공사를 착공할 때에는 개방구간 28.7km에 걸쳐 해수가 자유로이 유통되고 있었으며, 착공당시 방조제설계노선에서의 조류속 관측결과 2호방조제 No.25(GAP1), No.90(GAP2) 및 4호방조제 No.60(GAP3) 지점의 최강유속은 각각 1.2㎍, 1.4㎍, 1.1㎍로 조

사되었다.

GAP1지점의 창조류 최강유속은 1991년 10월 1.21㎥/s로 관측된 이후, 방조제의 전진에 따라 1995년 11월에는 1.80㎥/s, 1999년 10월에는 2.47㎥/s로 증가하였으며, 2001년 10월(개방구간 6.7㎥/s)에는 3.52㎥/s로 증가하였다. 2002년 4월과 10월에는 각각 3.2㎥/s, 3.5㎥/s로 조사되었으며, 2003년 3월과 9월에는 각각 4.13㎥/s, 3.95㎥/s로 전년도보다 0.45~0.93㎥/s 증가하였다. 낙조류 최강유속은 1991년 방조제 공사 착공 당시 최강유속이 1.01㎥/s이었으나 개방구간 축소에 따라 유속이 증가하여 2001년 10월에는 3.38㎥/s, 2002년 3월과 10월에는 각각 3.76㎥/s, 3.96㎥/s로 증가하였다. 2003년 3월과 9월에는 각각 2.85㎥/s, 3.47㎥/s로 전년도보다 1차조사는 0.91㎥/s, 2차조사는 0.49㎥/s 감소하였다.

GAP2지점은 2호방조제 신시도 남측수로로써, 1991년 10월 최강유속이 1.4㎥/s로 관측되었으나, 2002년에는 개방구간이 4.5㎥/s로 축소되면서 최강유속은 47.11㎥/s로 2.7㎥/s 이상 증가하였다. 2003년 6월에 4호방조제가 체절된 후, 개방구간이 2.7㎥/s인 상태에서 2003년 9월 GAP2지점의 최강유속은 4.49㎥/s로 관측되었다. 같은 조사시기에 낙조류의 최강유속은 4.04㎥/s로 창조시 유속이 낙조시보다 11%정도 큰 것으로 나타났다.

비응도 남측의 GAP3지점의 조류속 측정은 1998년부터 수행되었으며, 개방구간 9.7km였던 1998년 10월 창조류 최강유속이 1.96㎥/s로 관측된 이후 개방구간 축소에 따른 통수단면적 감소로 인해 최강유속은 점차 증가하였으며, 2003년 4월에는 창조류 최강유속이 3.42㎥/s로 조사되었다.

2003년 6월 4호방조제 체절전·후 각 개방구간의 최강유속을 비교한 결과, 창조시 GAP1과 GAP2지점은 각각 4.13㎥/s와 4.34㎥/s에서 3.95㎥/s와 4.49㎥/s로 큰 변화는 보이지 않았다. 그러나 낙조류 최강유속은 GAP1와 GAP2지점에서 각각 2.85㎥/s와 3.22㎥/s에서 3.47㎥/s와 4.04㎥/s로 크게 증가하는 것이 관측되었다.

## (2) 부표추적 조사

조석현상에 의해 발생하는 조류의 이동 범위를 파악하기 위한 부표 추적조사는 2003년 6~9월중 대조기 창조 및 낙조에 2호방조제 개방구간(GAP1, GAP2)두 곳에서 실시되었다. <표 2-16>. 2002년 부표추적조사는 방조제 개방구간 세 곳에서 실시하였으나 2003년은 4호방조제 개방구간(GAP3)의 물막이가 완료됨에 따라 두 곳에서(GAP1,GAP2) 실시하였다. 현재 2호방조제 개방구간의 거리는 GAP1 1.6km, GAP2 1.1 km이다. 부표이동 위치는 휴대용 GPS(USA Trimble Co.)를 이용하여 30분 간격으로 측정하였다.

① 1차 조사

2호방조제 개방구간 gap1에서 창조시작 전에 투하된 부표(N35°45' 20", E126°30' 48")는 북동방향으로 이동하여 계화도 앞(N35°49' 59", E126°37' 30"), 동진강과 연결된 조수로(tidal channel) 지역까지 13.0km를 이동하였다. 부표의 이동거리를 관측시간으로 나눈 평균유속은 0.82 m/s이며, 이동방향과 거리는 2002년도 조사결과와 유사하게 관측되었다. GAP1에서 창조시 조류의 주방향은 동북방향(68°)으로 관측되었다. 낙조시작 전에 투하된 부표(N35°45' 20", E126°30' 40")는 비안도 앞을 지나서 남서쪽 격포 방향(N35°38' 14", E126°23' 25")으로 총 16.3km를 이동하였다. 평균유속은 0.75m/s로 창조시보다 약간 작은 것으로 나타났다. 이동방향 및 거리는 2002년 조사결과와 유사하게 나타났다.

<표 2-16> 부표추적 조사 결과 (1차)

지 점	일 시	조 위 (m)	조 차 (m)	총이동거리 (km)	평균유속 (%)	동-서 범위 (km)	남-북 범위 (km)
GAP1	6. 29 (창조)	1.7~5.6	3.9	13.0	0.82	10.3	10.5
	7. 02 (낙조)	1.6~6.7	5.1	16.3	0.75	12.6	12.9
GAP2	6. 16 (창조)	1.1~6.0	4.9	12.6	0.64	12.6	2.5
	6. 17 (낙조)	1.2~7.3	6.1	13.0	0.60	10.5	7.7

2호방조제 개방구간 GAP2에서 창조시작 전에 투하된 부표(N35°48' 30", E126°29' 12")는 동북쪽 방향으로 만경강과 동진강의 경계지역(N35°49' 30", E126°37' 29")까지 총12.6km를 이동하였다. 낙조시작 전에 투하된 부표(N35°48' 31", E126°29' 00")는 신시도를 우회하여 남서쪽(N35°45' 05", E126°20' 02")으로 총 13.0km를 이동하였다. 2002년 조사결과에 비해 이동거리는 약간 줄었으나 이동방향은 거의 일치하였다. 창조 및 낙조시 평균유속은 각각 0.64%, 0.60%로 유사하며 창조시 약간 큰 것으로 나타났다.

② 2차 조사

2호방조제 GAP1에서 창조시작 전에 투하된 부표(N35°45' 12", E126°30' 42")는 동북쪽 계화도 앞 해역(N35°49' 16", E126°38' 33"), 동진강 하구 주수로지역까지 13.0km를 이동하여, 2003년 1차조사 결과의 이동방향 및 거리와 매우 비슷하게 나타났다. 낙조시작 전에 GAP1에서 투하된 부표(N35°45' 12", E126°30' 42")는 비안도 앞을 지나서 남서쪽 격포 방향(N35°40' 45", E126°24' 25")으로 13.1km를 이동하였다. 2003년 1차조사결과보다 이동거리가 약간 줄었으나 방향은 유사하게 나타

났다. 창조 및 낙조시 평균유속은 각각 0.70㎥/s, 0.80㎥/s로 1차조사 결과와 비슷하였다.

2호방조제 GAP2에서 창조시작 전에 투하된 부표(N35°48' 25", E126°29' 05")는 북동 방향으로 만경강과 동진강 주수로의 경계부(N35°50' 55", E126°38' 59")까지 17.0km 이동하였다. 평균유속은 0.86㎥/s로 1차조사결과보다 약간 크며, 이동방향은 거의 일치하였다. 낙조시작 전에 투입된 부표(N35°48' 24", E126°29' 03")는 신시도 앞을 지나 남서방향(N35°44' 58", E126°19' 48")으로 14.8km를 이동하였으며, 평균유속은 0.82㎥/s로 1차조사결과와 거의 일치하였다.<표 2-17>

<표 2-17> 부표추적 조사결과

지 점	일 시	조 위 (m)	조 차 (m)	총이동거리 (km)	평균유속 (㎥/s)	동-서 범위 (km)	남-북 범위 (km)
GAP1	6. 29 (창조)	0.4~7.2	6.8	13.0	0.70	10.5	7.7
	7. 02 (낙조)	1.0~6.4	5.4	13.1	0.80	10.5	7.7
GAP2	6. 16 (창조)	0.7~6.9	6.2	17.0	0.86	16.8	2.5
	6. 17 (낙조)	1.5~5.9	4.4	14.8	0.82	12.6	7.7

부표의 이동거리는 조석간만의 차와 조류속의 크기, 해저지형 및 해상 장애물에 크게 영향을 받는다. 새만금지역의 경우, 계화 방조제 앞과 1호방조제 외측해역에 설치된 해태 양식장은 부표의 이동 방향 및 거리에 영향을 주는 것으로 나타났다. 부표추적에 의한 표층의 평균유속은 새만금지역에서 0.6~0.8㎥/s, 화옹지구(2002년)는 0.3~0.4㎥/s로 조사되었다. 새만금지역의 평균유속이 큰 이유는 방조제 체절이 완료되지 않아서 개방구간에서 유속이 크기 때문이다.

### (3)부유물질 조사



### ①방조제 개방구간 연속관측

방조제 공사로 인한 부유물질 영향을 파악하기 위하여 대조기(3월,9월)와 소조기(4월,10월)에 방조제 개방구간 GAP1 No.25, GAP2 No.90 및 GAP No.70 3개 지점에서 30분 간격으로 한 조석주기동안 실시하였다. 4호 방조제 GAP3지점은 6월에 물막이가 완료되어 2차조사에는 GAP1, GAP2지점에서 실시하였다.

일반적으로 부유물질의 농도는 계절에 따른 풍속, 파랑, 기상상태 및 생물학적 요인등에 의하여 크게 좌우된다. 조류가 우세한 해양환경에서 부유퇴적물의 이동률은 유속의  $n$  제곱( $n>3$ )에 비례하는 것으로 알려져 있다.(Owen and Thorn, 1978). 하지만  $n$ 값은 창조와 낙조시에 있어 모두 일정한 값으로 적용되는 것은 아니다. 또한 부유퇴적물의 순 이동방향이 조류의 주방향과 일치하지 않을 수도 있다.

방조제 개방구간의 부유물질 조사결과는 조위차가 크게 발생하고 조류속이 강한 대조기가 소조기보다 높은 농도를 보였으나 부유물질의 농도와 유속은 직선적인 비례관계는 보이지 않았다. 4호방조제 GAP3 지점에서 한 조석주기동안의 부유물질농도와 유속 및 조위의 관계및 부유물질 농도의 시간대별 분포는 조류속보다는 조위의 변화와 유사하게 나타났으며, 유속과 조위가 가장 작을 때 부유물질의 농도도 가장 낮게 나타났다. 부유물질의 최고농도는 최강유속 1~2시간 전·후에 나타났다.

부유물질의 평균농도는 대조기 40.4mg/L, 소조기는 7.2mg/L로 5배정도 차이를 보였다. 2002년 분석결과를 살펴보면 대조기에 평균 부유물질의 농도가 52.8mg/L, 소조기는 11.0mg/L로 2003년 결과보다 다소 높게 나타났다. 조사시기별 부유물질의 농도는 1차조사시 27.6mg/L, 2차조사시 18.1mg/L로 나타났으며, 2002년 조사결과는 1차조사시 18.6mg/L, 2차조사시 46.4mg/L로 2차조사결과가 2배이상 크게 나타났다. 하지만, 2003년 조사결과는 1차 조사결과가 2차조사결과보다 더 크게 나타났다.

2호방조제 GAP1지점의 부유물질 농도는 3월과 9월의 대조기에 각각 15.5~97.8mg/L, 7.6~149.6mg/L로 나타났으며 한 조석주기 동안 평균 조류속은 9월에 2.48mg/L로 나타났으며, 3월에는 조류속 자료를 얻

지 못하였다. 4월과 10월의 소조기 조사결과는 각각 6.0~17.6mg/L, 3.1~8.9mg/L로 나타났으며, 평균 조류속은 10월에 1.19mg/L, 4월의 조류속자료는 현장사정으로 취득하지 못하였다. 부유물질 농도의 범위는 대조기가 소조기보다 훨씬 크게 나타났다. 대조기의 평균 부유물질 농도는 40.6mg/L, 소조기에는 7.6mg/L정도로 대조기가 소조기보다 5배정도 크게 나타났다. 2호방조제 GAP2지점의 부유물질 농도는 3월과 9월의 대조기에 각각 25.9~63.9/L, 11.2~120.4mg/L로 나타났으며, 한 조석주기 동안 평균 조류속은 3월에 2.33㎍, 8월에 3.07㎍로 나타났다. 4월과 10월의 소조기 결과는 각각 5.7~12.6mg/L, 1.9~4.2mg/L로 나타났으며, 평균 조류속은 10월에 1.19㎍로 나타났다. 4월의 조류속자료는 현장사정으로 취득하지 못하였다. 대조기의 평균 부유물질 농도는 36.5mg/L 소조기에는 9.8mg/L정도로 대조기가 소조기보다 3배이상 크게 나타났다. 4호방조제 mg/L3지점의 부유물질 농도는 3월 대조기에 30.8~102.9mg/L, 4월 소조기에 7.9~15.5mg/L로 나타났다. 대조기 평균 조류속은 3월에 1.16㎍, 소조기 0.94㎍로 조사되었다. 대조기 및 소조기의 평균조류속 크기는 비슷하지만 부유물질의 농도는 대조기가 35.3mg/L, 소조기가 15.1mg/L로 2배이상 차이를 보였다.

<표 2-18> 방파제 개방구간의 부유물질(mg/L)  
및 조류속(%) 조사결과

조사지점	조사시기		조사결과				
			부유물질('03)	25시간 평균			
				부유물질('02)	부유물질('03)	조류속('02)	조류속('03)
GAP1	대조	1차	15.5~97.8	17.9	47.8	3.62	-
		2차	7.6~149.6	99.9	33.3	3.95	2.48
	소조	1차	6.0~17.6	5.4	10.0	1.44	-
		2차	3.1~8.9	13.4	5.1	1.73	1.19
GAP2	대조	1차	25.9~63.9	24.3	42.2	3.39	2.33
		2차	11.2~120.4	70.3	30.7	3.67	3.07
	소조	1차	5.7~12.6	6.1	7.4	1.24	-
		2차	1.9~4.2	13.4	3.1	1.67	1.33
GAP3	대조	1차	30.8~102.9	35.3	47.8	2.98	1.16
		2차	-	68.9	-	3.09	-
	소조	1차	7.9~15.5	15.1	10.6	1.25	0.94
		2차	-	12.5	-	1.58	-

② 새만금 해역 및 담수호 예정수역의 부유물질 조사 결과

새만금 해역 및 담수로 예정수역의 부유물질 조사결과는 1998년 3월부터 매월 새만금 해역 6개 지점에서 조사된 새만금호 수질치정망 조사 결과이다.

만경강권역이 동진강권역보다 높은 농도분포를 보였으며 하구역에서 해역으로 갈수록 낮은 농도분포를 보였다. 부유물질의 농도는 월별 변화가 크게 나타났으며, 이는 조사시기의 조차, 조류속, 파랑, 기상상태 등에 큰 영향을 받기 때문이다.

만경1지점은 만경강 하구역에 위치하고 있으며, 만경강으로부터 유입되는 담수의 영향을 비교적 많이 받고 있다. 또한 낮은 수심으로 조

석과 과량의 영향을 많이 받아 부유물질 농도가 높게 나타났다. 부유물질 평균농도는 72.2mg/L로 조사되었으며, 최소값은 7월에 15.7mg/L, 최대값은 5월에 158.5mg/L로 조사시기에 따라 큰 농도 변화를 보였다. 만경2지점은 만경강 하구역과 4호방조제 GAP3지점의 중간 해역에 위치하며 부유물질 평균농도는 30.5mg/L로 나타났다. 만경3지점은 4호방조제 mg/L3지점의 외해역에 위치하고 있으며, 부유물질 평균농도는 14.4mg/L로 조사되었으며, 부유물질 평균농도가 적은 것은 4호방조제 체질로 mg/L3지점을 통한 해수유통이 없어졌기 때문이다. 2003년 상반기에 4호방조제 개방구간에서의 한 조석주기동안의 부유물질의 평균농도는 33.3mg/L로 월별 평균농도보다 높게 나타났다.

동진 1지점은 동진강 하구의 계화도 해역에 위치하고 있으며, 부유물질의 평균농도는 39.7mg/L로 2002년의 평균농도 37.8mg/L와 유사하게 나타났다. 월별 농도변화는 8.5~85.0mg/L로 2002년 3.2~141.8mg/L보다 변화폭이 작았다. 동진2지점은 동진1지점과 2호방조제 개방구간 GAP1지점 사이에 위치하며 부유물질 평균농도는 32.8mg/L, 월별 농도분포는 4.3~55.3mg/L로 나타났다. 동진3지점은 2호방조제GAP1지점의 외해역에 위치하며, 월평균농도는 29.7mg/L로 나타났다. GAP1지점에서 한 조석주기동안 부유물질의 평균농도는 24.5mg/L로 월평균 농도와 유사하게 나타났다.

<표 2-19> 담수호 예정수역의 부유물질 조사결과

구분	만경1	만경2	만경3	동진1	동진2	동진3
1월	49.4	64.65	47.38	72.53	45.74	43.94
2월	72.33	31.74	21.40	57.05	40.80	40.50
3월	65.97	28.24	13.94	27.94	31.20	44.15
4월	45.00	34.90	25.00	17.30	55.30	32.50
5월	158.50	24.70	13.90	56.90	27.30	39.60
6월	28.40	18.60	22.90	12.40	4.30	2.40
7월	15.70	20.80	3.40	8.50	7.00	12.10
8월	121.80	15.70	4.70	85.00	12.80	12.50
9월	85.90	21.60	2.20	22.60	26.60	44.40
10월	33.90	45.20	3.60	27.40	22.00	11.60
11월	115.10	8.90	5.20	50.80	19.70	9.20
12월	86.8	50.5	9.6	38.2	101.3	62.9
평균	72.2	30.5	14.4	39.7	32.8	29.7
최대	158.50	64.65	47.38	85.00	55.30	44.40
최소	15.70	8.90	2.20	8.50	4.30	2.40

(4) 퇴적물 조사

퇴적물의 물리적특성을 나타내는 입도조성과 화학적 특성을 나타내는 유기물분포는 저서생물의 종과 성장 및 분포에 밀접한 관계를 보이므로 이들의 환경변화를 정확히 파악할 필요가 있다. 시료 채취는 선상에서 그랩 채취기(Grap sampler)를 이용하였으며, 조간대 상부지점의 시료는 저조시 도보로 이동하여 플라스틱 주격으로 표층퇴적물을 채취하여 해양환경 공정시험방법 및 미국 환경보호국 'ETA method 3051'에 따라 분석을 실시하였다.

① 해저퇴적물 입도분포 및 퇴적물 유형(Sediment type)

퇴적물의 입도는 Udden-Wenworth의 mm단위와 Krumbein의  $\Phi$  단위를

사용하여,  $\Phi$  는  $-\log_2[\text{입자의 직경mm}]$ 이다. 퇴적물 크기에 따른 입자분류는 <표 2-20>과 같이 모래  $1 \sim 4\Phi(2 \sim 0.062\text{mm})$ , 실트  $4 \sim 8\Phi(0.062 \sim 0.004\text{mm})$ , 점토  $8\Phi$ 이하( $0.004\text{mm}$  이하)로 정의된다.

<표 2-20> 해저퇴적물 입자 분류, Udden-Wentworth

입자 분류		입자 크기	매쉬(mesh)	파이( $\Phi$ )
왕자갈(boulder)		256mm		-5
왕자갈(cobble)		64mm		-4
자갈(pebble)		4mm	5	-2
모래 (Sand)	왕 모래	2mm	10	-1
	조립사	1mm	18	0
	조립사	0.5mm	35	1
	중립사	0.25mm	60	2
	세립사	0.125mm	120	3
	미세립사	0.0625mm	230	4
실트 (silt)	실트	0.0625mm		4
		0.0039mm		8
점토 (Clay)	점토	0.0039mm		8

해저퇴적물의 침식, 운반 및 퇴적운동과 유속간의 관계는 모래가 가장 쉽게 침식되거나 퇴적되는 것을 알 수 있으며, 점토 퇴적물이 침식되려면 모래 및 실트보다 더 많은 에너지가 필요하고 부유상태에서 해저로 퇴적되기 위해선 유속이 낮은 에너지 환경이 유지되어야 한다. 입도가 10mm인 잔자갈은 해저에서 유속이 2%에 달할 때 이동이 시작되고 입도가 1mm인 조립사는 유속이 0.5%일 때 이동하는 것으로 알려졌다.

해저퇴적물의 입자들은 해저에서 구르거나 뛰는 입자들로 운반되는데

모래 퇴적물은 밑점(bed load)의 형태로 구르거나 도약(saltation)하여 운반되고, 점토 퇴적물은 뜬점(suspended load)의 형태로 부유하다가 침강 퇴적하는 것으로 알려져 있다.

새만금지역의 퇴적물 유형(Sediment type)을 알아보기 위하여 Folk의 퇴적물 삼각분류법을 이용하였다. 48개 퇴적물 시료들의 모래, 실트 및 점토 함량을 삼각도형(Triangular diagram)에 표시하고, 퇴적유형은 Folk의 분류에 따라 10개로 분류하였다.

조 사 지 점	2003년 1차						2003년 2차					
	분급 도 (Φ)	평 균 입 도 (Φ)	모 래 -1~4Φ (%)	실 트 4~8Φ (%)	점 토 <8Φ (%)	퇴적 물 유형*	분급 도 (Φ)	평 균 입 도 (Φ)	모 래 -1~4Φ (%)	실 트 4~8Φ (%)	점 토 <8Φ (%)	퇴적 물 유형*
1D-1	1.6	5.4	13.0	73.5	13.5	sZ	0.6	2.9	92.0	6.8	1.2	S
1D-2	0.6	3.0	90.0	9.0	1.0	S	0.8	3.2	86.5	10.5	3.0	zS
1D-3	0.5	3.6	78.0	20.8	1.2	zS	0.5	3.1	95.0	4.0	1.0	S
2D-1	1.6	3.9	54.0	39.5	6.5	zS	1.4	4.0	57.5	36.5	6.0	zS
2D-2	1.3	3.3	75.0	22.8	2.2	zS	1.2	3.4	78.5	18.0	3.5	zS
2D-3	1.5	3.8	63.5	31.5	5.0	zS	1.5	3.3	64.0	32.5	3.5	zS
2D-4	2.1	5.0	27.5	60.5	12.0	sZ	0.8	3.4	81.5	15.5	3.0	zS
3D-1	1.4	4.3	42.0	51.5	6.5	sZ	1.3	4.1	56.0	37.5	6.5	zS
3D-2	1.6	5.0	23.0	66.5	10.5	sZ	1.6	4.9	26.0	64.5	9.5	sZ
3D-3	1.6	4.5	46.5	47.0	6.5	sZ	1.2	3.1	78.0	19.7	2.3	zS
4D-1	1.0	3.6	76.0	20.0	4.0	zS	1.7	4.6	45.0	48.5	6.5	sZ
4D-2	1.7	4.8	33.0	58.0	9.0	sZ	1.7	5.2	28.0	61.0	11.0	sZ
4D-3	0.7	3.2	87.5	10.5	2.0	zS	0.6	3.2	89.0	10.0	1.0	zS
4D-4	0.5	4.0	57.0	35.5	7.5	zS	0.5	3.1	92.0	6.0	2.0	S
4D-5	1.6	4.7	38.5	53.5	8.0	sZ	0.9	3.8	62.0	33.8	3.2	zS
4D-6	1.1	4.1	47.5	48.3	4.2	sZ	1.5	4.7	29.5	63.5	7.0	sZ
4D-7	0.6	3.4	87.0	11.0	2.0	zS	0.8	2.0	93.5	6.5	0.0	S
DJ-1	1.2	2.3	88.5	9.3	2.2	zS	0.9	2.2	92.0	5.0	2.0	S
DJ-2	0.6	3.2	90.5	7.5	2.0	S	0.6	3.3	89.0	10.0	1.0	zS
DJ-3	0.6	3.0	92.0	7.0	1.0	S	0.9	4.1	48.0	47.0	5.0	sZ
DJ-4	1.2	4.3	40.0	54.8	5.2	sZ	0.8	4.1	45.5	50.5	4.0	sZ
MK-1	0.7	3.2	81.5	16.5	2.0	zS	1.0	4.1	47.0	48.5	4.5	sZ
MK-2	0.6	3.5	83.0	15.0	2.0	zS	0.7	3.4	82.5	17.4	0.1	zS
MK-3	0.5	3.7	76.5	23.4	0.1	zS	0.7	4.0	53.5	63.3	3.2	zS
평 균	1.2	3.9	62.1	33.0	4.9		1.0	3.6	67.2	29.0	3.8	
편 차	0.5	0.8	24.7	21.3	4.4		0.4	0.8	23.0	20.5	2.8	
최 대	2.1	5.4	92.0	73.5	13.5		1.7	5.2	95.0	64.5	11.0	
최 소	0.5	2.3	13.0	7.0	0.4		0.5	2.0	26.0	4.0	0.0	

주) 퇴적물유형 : S - sand, zS - silty sand, sZ - sandy silt

$$\text{평균입도 } (\Phi) = \frac{(\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84})}{3},$$

$$\text{분급도 } (\Phi) = \frac{(\Phi_{84} - \Phi_{16})}{4} + \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{6.6}$$



총48개의 퇴적물시료(n=48)dp 대하여 입도유형을 살펴보면 모래의 함량이 90% 이상인 Sand는 전체 퇴적물중 17%, 모래함량이 50~90% 미만인 Silty Sand는 50%, 모래함량이 10~50% 이하인 Sandy Silt는 33%를 차지하는 것으로 조사되었다.

따라서 새만금지구의 퇴적물 유형은 전반적으로 Silty Sand와 sandy Silt로 구성되어 있다. 2002년 퇴적물 유형과 비교하면 Sand의 유형이 전체적으로 줄어들고 Sandy Silt의 유형이 늘어났다.

세부적으로 퇴적물 유형의 분포형태를 살펴보면 1호방조제 외측 신규 갯벌지역은 모래함량이 많은 Sand, Silty Sand가 우세하여 2002년 조사결과와 유사하게 나타났다. 4호방조제 개방구간의 물막이가 완료됨에 따라 4호방조제 내측 비응도앞 갯벌은 니질의 함량이 증가하였다. 3호방조제의 내측과 1호방조제 내측의 해수유동이 느려진 지역은 점차 니질이 우세하게 나타나고 있다. 방조제 개방구간 및 만경강 동진강 주수로부의 지점들은 모래함량이 우세하게 나타났다.

새만금지구 방조제 내측, 외측 및 담수호 예정지에서 두 차례 실시된 퇴적물 분석결과 <표2-21>과 같이 평균입도는 3.8Φ(0.072mm)로 나타났다. 입도구성은 모래 64.7%, 실트31.0%, 점토 4.3%로 분석되어, 2002년 퇴적물 조사결과와 비교할 때 모래함량은 8.3% 감소, 니질함량은 8.4% 증가하여 전반적으로 퇴적물이 세립화되고 있다.

<표 2-21> 해저퇴적물 입도분석 결과 (n=48)

구 분	평 균	최대값	최소값	범 위	표준편차
평균입도(Φ)	3.8	5.4	2.0	3.4	0.8
모래(%)	64.7	95.0	13.0	82.0	23.8
실트(%)	31.0	73.5	4.0	69.5	20.8
점토(%)	4.3	13.5	0.0	13.5	3.3

새만금 방조제 공사 착공이후 방조제 인근에서 퇴적물의 입도구성 변

화를 살펴보기 위하여 1992년부터 2003년까지 환경영향조사에서, 수행되었던 퇴적물 입도구성자료를 <표 2-22>에 나타내었다. 지난 11년간 조사된 성분별 함량은 모래 64.7~91.9%, 실트 3.7~31.0%, 점토 2.5~22.1%로 나타났으며, 연도별 입도조성을 비교하면 모래와 니질의 함량이 크게 변화하는 과정에 있으며, 특히 2001년 이후 모래함량은 감소하고 니질함량이 상대적으로 증가하는 경향을 보이고 있다.

<표 2-22> 방조제 인근의 연도별 퇴적물 입도 구성변화

조 사 년 도	모 래(%)	실 트(%)	점 토(%)
1992	78.6	14.2	7.2
1993	75.3	16.4	8.3
1994	82.7	13.7	3.6
1995	75.5	20.4	4.1
1996	81.8	15.0	3.2
1997	91.9	3.7	4.4
1998	87.3	10.1	2.6
1999	89.1	8.4	2.5
2000	81.8	13.8	4.4
2001	80.6	4.4	15.0
2002	73.0	22.6	4.4
2003	64.7	31.0	4.3

방조제 외측 및 내측의 해수유동은 해저퇴적물 입도소정과 밀접한 관계가 있으므로, 최근 3년간 변화가 큰 지역의 퇴적물 입도조성을 비교함으로써 2003년 6월 4호방조제 물막이 완료에 의한 영향을 파악하였다.

새만금호예정수역(만경수역) 주수로에 위치한 MK-1, MK-3지점은 물막이 이후 실토 함량이 20~30% 정도 증가하고 반대로 모래는 감소하는 것으로 나타났다. 4호 방조제 내측지점(4D-6)은 실트와 점토의 함량이 점진적으로 증가하고 모래는 감소하는 경향을 보이고 있다. 2003년 퇴적

물의 입도변화가 2001~2002년보다 크게 나타난 것은 4호 방조제 물막이 완료에 따른 해수유동변화와 밀접한 관련이 있을 것으로 판단되며, 지속적으로 퇴적물의 이보조성변화를 관찰할 계획이다.

3호방조제 외측(3D-2)지점은 야미도, 신시도, 3호방조제에 둘러쌓여 조류의 유통이 활발하지 못하여 외해보다 유속이 상대적으로 약한 지역이다. 퇴적유형은 실트함량이 60%이상으로 Sandy Silt에 해당되며 표층 퇴적물은 검은색으로 환원상태를 보였다. 또한 2001년보다 실트의 함량이 6배정도 증가하였으며, 세립화가 확대될 것으로 판단된다. 3호 방조제 내측지점(3D-3)은 '01~'02년 동안 모래 함량이 80%이상 우세하게 나타났으나 '03년의 경우 모래 함량이 30%정도의 큰 변화를 보였다. 4호방조제가 물막이 완료된 후 GAP3지점으로 통과하던 많은 양의 해수가 신시도 앞 3D-3지점으로 통과하고 있다. 따라서 해수의 유량과 유속의 변화로 3D-3지점의 퇴적물 입도 변화도 크게 나타나고 있다.

새만금호예정수역(동진수역) 주수로이며, 2호방조제 개방구간 내측에 위치한 DJ-1지점의 입도구성은 sand 함량이 80%으로 최근 3년간 큰 변화가 없었다. 2호 방조제 북가력도 해측 끝단 지역인 2D-4지점은 2002년 1차조사 이후 실트 함량이 계속 증가를 보였으나 2003년 2차조사시 10% 정도 감소하고 sand가 우세하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

특히 GAP1과 인접한 지점일수록 해수유동변화에 따른 표층퇴적물의 연간변화가 크게 나타나고 있으며, 1호방조제 외측의 신규갯벌지역인 1D-2지점은 최근 3년간 입도조성에 큰 변화는 없었으나 모래 함량이 80%이상 차지하고 실트 함량이 약간씩 증가함을 보였다. 1호방조제 종점부 해측의 1D-1지점은 연간 입도조성 변화가 크게 나타나고 있다.

## ②퇴적물의 유기물 및 중금속 함량

퇴적물내의 중금속은 오랜 시간동안 지속성을 갖고 대기나 수계를 통하여 유입되어 축적되거나 여러 생지화화학적 반응과정을 통하여 재용되기도 한다. 또한 미량의 중금속들은 먹이사슬을 통하여 고차소비자인 동물과 인간에게 많은 양이 축적될 경우 독성을 일으키기도 한다. 세계 각국에서는 일부 중금속에 대해서 유해물질로 규정하여 규제를 하고 있으

며 우리나라도 일부 항목은 환경기준으로 지정되어 있다.

새만금지역 퇴적물의 유기물 및 중금속 분석결과를 살펴보면, 유기물 0.2~2.6%, 알루미늄(Al) 0.3~1.7%, 망간(Mn) 88.7~386.3mg/kg, 구리(Cu) 1.4~19.7mg/kg, 카드뮴(Cd) 0.5~4.3mg/kg, 크롬(Cr) 5.8~33.4mg/kg 납(Pb) 15.5~61.7mg/kg로 조사되었다.

<표 2-23> 해저퇴적물의 유기물 및 중금속 함량 (n=48)

구 분	평 균	최대 값	최소 값	범 위	표준편차
평균입도 (Φ)	3.8	5.4	2.0	3.4	0.8
유기물 (%)	0.62	2.60	0.16	2.44	0.5
Al (%)	0.85	1.67	0.26	1.41	0.37
Mn (mg/kg)	202.131	386.286	88.663	297.623	61.544
Zn (mg/kg)	31.291	62.661	12.397	50.264	11.763
Cu (mg/kg)	6.551	19.696	1.402	18.294	4.630
Cd (mg/kg)	2.033	4.255	0.543	3.712	0.920
Cr (mg/kg)	17.092	33.410	5.819	27.591	6.804
Pb (mg/kg)	33.719	61.686	15.469	46.217	10.630

퇴적물 내 유기물 함량은 0.2~2.6%로써 평균 0.6%이었으며, 1호방조제 외측(1D-1)에서 평균 2.6%로 가장 높게 나타났다. 지역별로 1,3호 방조제 인근지역은 각각 0.7%, 0.9%로 비교적 높고, 만경수역 및 동진수역 주수로에서는 각각 0.3%, 0.4%로 낮은 분포를 보였다. 다른 문헌에서는 4.5~10.9%(김 등, 2003), 4.6~10.9%(새만금사업 환경영향공동조사단, 2000년)로 비교적 높게 보고되었으나, 이는 조사지점의 차이에 따른 것으로 풀이 된다.

알루미늄(Al)은 퇴적물중의 농축계수 및 과잉량을 결정하는 기준원소로 많이 이용되는 보존성원소이다. 조사결과 Al은 0.3~1.7%(평균 0.8%)로 나타났으며, 3,4호방조제 인근지역이 0.9~1.0%로 높고, 동진수역 주

수로지역이 평균 0.5%로 낮게 나타났다. 퇴적물내의 Al과 다른 중금속의 상관계수는 0.75~0.99로 매우 양호하게 나타났다.

구리(Cu)는 1.4~19.7 mg/kg(평균 6.5mg/kg)으로 조사되었으며, 2, 3호방조제 인근지역이 7.6~9.4 mg/kg의 평균에 유사한 분포를 보였다. Kim(2001)이 시화호에서 조사한 자료를 보면 12.5~318 mg/kg(평균 76.2 mg/kg)으로 새만금지역보다 10배 이상 높게 보고되었으며 이는 시화호 인근의 공단의 영향으로 판단된다.

아연(Zn)은 12.4~62.7 mg/kg(평균 31.3mg/kg)으로 조사되었으며, 방조제 인근지역은 28.7~39.2 mg/kg으로 2002년의 5.5~75.9 mg/kg과 거의 유사한 분포를 보였다. Kim(2001)의 시화호 조사결과는 37.9~199 mg/kg(평균 84.7 mg/kg)으로 새만금지역보다 2배 이상 높았으나, 고병성 등(1997년)의 인천연안 조사결과는 16.5~86.2 mg/kg으로 조사되었다. 지역별로는 방조제 인근지역에서 35.4~40.9 mg/kg으로 비교적 높았으며, 동진수역 주수로지역에서는 25.2 mg/kg으로 낮은 분포를 보였다. 본 조사결과는 김종구 등(2003)의 새만금지역 조사자료 14.3~62.9 mg/kg(평균 26.1 mg/kg), 심 등(1997년)의 시화호 조사결과 42.9 mg/kg와 유사하게 나타났다.

크롬(Cr)은 5.8~33.4 mg/kg(평균 17.0 mg/kg)으로 조사되었으며, 지역별로 방조제 인근 및 만경수역 주수로지역은 15.1~21.3 mg/kg으로 유사한 분포를 보였으며, 동진수역 주수로지역은 11.9 mg/kg으로 가장 낮은 분포를 보였다. 본 조사결과는 김병구 등(2003)의 새만금지역 조사결과 11.2~86.6 mg/kg(평균 47.2 mg/kg) 및 심무준 등(1998년)의 시화호 조사결과 103 mg/kg에 비해 각각 2배 및 6배 이상 높은 분포를 보였다.

카드뮴(Cd)은 0.5~4.2 mg/kg(평균 2.0 mg/kg)으로 나타났다. 지역별로 2, 3, 4호방조제 인근 및 간경수역 주수로지역은 2.0mg/kg, 1호방조제 및 동진수역 주수로지역은 1.5~1.8 mg/kg으로 나타났다. Kim등(2001)의 시화호 조사결과 0.09~1.4 mg/kg(평균 0.42 mg/kg)으로 본 조사결과보다 5배 정도 낮게 나타났으며, 이는 분석방법상의 차이 때문으로 판단된다.

<표 2-24> 조사지점별 해저퇴적물의 유기물 및 중금속 함량(1차)

조사지점	유기물 (%)	Al (%)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Pb (mg/kg)
1D-1	2.60	1.61	302.891	62.661	19.696	4.171	33.410	61.686
1D-2	0.28	0.49	203.850	20.394	1.683	1.958	10.620	24.436
1D-3	0.21	0.60	201.001	25.099	2.322	1.959	12.938	26.002
2D-1	0.89	0.94	195.576	30.288	5.134	2.218	14.541	31.367
2D-2	0.61	0.65	187.188	30.288	5.134	2.218	14.541	31.367
2D-3	0.67	0.93	219.425	35.930	6.343	2.734	19.653	37.370
2D-4	0.94	1.54	386.286	48.437	14.700	3.653	28.168	51.022
3D-1	1.02	1.28	235.984	46.336	7.833	3.450	26.322	48.351
3D-2	2.17	1.67	264.990	58.415	12.106	4.255	31.977	59.334
3D-3	0.82	1.36	258.850	47.714	8.805	3.471	26.480	48.641
4D-1	0.67	0.66	137.137	25.694	4.390	1.959	14.214	30.712
4D-2	0.79	1.50	295.210	44.375	9.985	3.731	26.806	46.982
4D-3	0.26	0.51	149.006	21.649	1.949	1.68	10.303	30.498
4D-4	0.97	1.41	198.204	44.265	8.579	3.375	25.534	46.204
4D-5	0.93	1.08	223.100	39.929	10.855	2.937	21.745	39.271
4D-6	0.73	1.02	205.090	33.971	5.125	2.753	20.170	35.295
4D-7	0.25	0.54	88.663	21.375	1.478	1.762	12.035	24.194
DJ-1	0.23	0.40	223.161	18.259	1.912	1.591	8.141	20.408
DJ-2	0.32	0.41	118.327	18.799	1.267	1.683	9.562	22.780
DJ-3	0.27	0.52	197.562	22.919	2.305	1.859	11.711	25.867
DJ-4	1.22	1.07	186.264	37.751	8.571	2.756	20.829	37.668
MK-1	0.19	0.86	184.064	26.742	3.610	2.393	15.548	31.336
MK-2	0.17	0.68	147.560	29.461	3.444	2.127	14.781	29.005
MK-3	0.17	0.62	118.452	25.029	2.992	2.118	13.075	25.790

<표 2-25> 조사지점별 해저퇴적물의 유기물 및 중금속 함량 (2차)

조사지점	유기물 (%)	Al (%)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Pb (mg/kg)
1D-1	0.39	0.46	249.605	19.857	1.732	0.846	10.286	25.237
1D-2	0.47	0.64	132.283	24.163	7.075	1.189	13.243	27.864
1D-3	0.49	0.46	188.423	19.930	1.860	0.933	10.250	41.250
2D-1	0.64	1.03	211.181	40.173	16.154	1.741	20.550	51.250
2D-2	0.50	0.75	151.099	28.232	7.895	1.441	15.45	30.110
2D-3	0.50	0.67	314.915	29.059	8.777	1.132	14.510	30.631
2D-4	0.34	0.61	142.992	24.120	6.34	1.084	13.449	25.412
3D-1	0.77	0.97	193.732	37.370	8.232	1.595	19.641	36.931
3D-2	0.36	0.56	165.768	22.270	4.501	1.011	11.876	26.427
3D-3	0.42	0.55	182.753	22.902	4.298	0.948	11.610	25.871
4D-1	0.94	1.24	221.160	45.366	10.177	2.225	24.494	45.743
4D-2	1.14	1.58	350.000	53.519	13.807	2.707	28.260	54.187
4D-3	0.44	0.76	261.715	23.086	2.674	1.516	14.152	30.051
4D-4	0.36	0.70	204.631	20.423	2.24	1.427	12.272	29.694
4D-5	0.44	1.08	183.766	33.232	5.153	1.881	20.844	36.513
4D-6	0.81	1.33	242.184	43.878	9.507	2.358	25.431	45.792
4D-7	0.16	0.38	200.649	12.397	1.540	0.652	5.819	18.681
DJ-1	0.24	0.26	143.214	12.814	1.626	0.543	6.113	15.489
DJ-2	0.32	0.39	115.090	18.322	1.402	1.010	9.417	21.818
DJ-3	0.36	0.67	24.360	29.980	6.626	1.375	15.145	30.111
DJ-4	0.54	0.64	143.990	27.527	17.249	1.365	14.645	27.443
MK-1	0.73	0.83	228.679	35.020	9.543	1.705	18.363	32.002
MK-2	0.29	0.74	140.616	23.470	2.485	1.579	15.496	31.748
MK-3	0.76	1.14	165.628	33.101	7.441	2.129	21.057	37.057

새만금지구의 퇴적물조사는 본 환경영향조사이외에도 여러차례 조사되어 왔으며, <표 2-26>에는 최근 새만금지구에서 수행된 퇴적물조사결과를 요약정리하여 수록하였다.

새만금지구 환경영향조사결과(2000~2993년)와 새만금공동조사단 조사결과(2000), 조영길 등(2001)의 자료와 비교하면 중금속, 유기물, 평균입도 등 유사한 결과를 보였으나, 심무순 등(1998)에 의해 조사된 시화호 저층 퇴적물의 중금속 농도에 비해 낮은 값을 보이고, 인천연안 조하대 퇴적물(고병성 등, 1997)의 중금속 농도와 유사한 범위를 나타내고 있다.

<표 2-26> 새만금지구 및 서해연안의 퇴적물 성분 비교

조사지역	평균입도(Φ)	유기물(%)	Mn(mg/kg)	Zn(mg/kg)	Cu(mg/kg)	Cd(mg/kg)	Cr(mg/kg)	Pb(mg/kg)
새만금(1)	2.3~5.4	0.2~2.6	88~386	12.4~62.7	1.4~19.7	0.54~4.26	5.8~33.4	15.5~61.7
새만금(2)	1.0~5.7	0.2~1.9	34~451	5.5~75.9	0.2~13.0	0.23~2.74	2.8~36.4	5.5~59.9
새만금(3)	2.2~6.9	0.1~2.0	105~361	14.6~70.1	1.3~14.8	0.48~2.62	7.6~38.1	19.3~75.2
새만금(4)	4.6~10.9	0.5~5.8	240~1870	37.9~199.0	8.9~75.3	-	11.2~86.6	14.3~62.9
새만금(5)	2.8~6.7	0.04~0.95	308~1155	21.0~71.0	4.0~24.0	-	25.0~77.0	16.0~53.0
인천연안(6)	3.2~7.3	0.2~5.2	191~1755	16.5~86.2	1.8~19.9	0.07~0.65	4.1~42.9	10.7~54.3
시화호(6)	-	-	476~998	243	113	-	103	42.9
새만금(8)	4.6~10.9	0.5~5.8	180~2140	37.9~199	8.9~75.3	-	11.2~86.6	14.3~62.9

- 주 (1) 새만금지구 환경영향조사 2003년 (2) 새만금지구 환경영향조사 2002년  
 (3) 새만금지구 환경영향조사 2001년 (4) 새만금사업 환경영향 공동 조사단(2000년)  
 (5) 조영길 등(2001년) (6) 고병성 등(1997년)  
 (7) 심무순 등(1998년) (8) 김종구 등(2003년), 유선재 등(2003)

새만금지구 퇴적물 성분간의 상관계수를 분석한 결과는 <표 2-27>에 정리하였다. 퇴적물에서 중금속의 흡착과 탈착반응은 순간적인 평형과정이 아



닌 시간 의존적이며 확산에 의해 흡착된다고 알려져 있다. 이러한 흡착 및 탈착반응에 있어 유기물의 함량에 따라 중금속의 흡착력이 크게 달라진다고 보고된 바 있다.

퇴적물의 유기물함량과 Al, Zn, Cu, Cd, Cr, Pb의 상관계수는 0.74~0.86으로 높은 정의 상관성을 나타내고, Mn은 다소 낮은 0.52정도로 나타났다. 이는 김무순등(2003)이 새만금 갯벌의 중금속분포 특성연구에서 보고한 유기물과 중금속과의 상관계수 0.42~0.75보다 더 높은 상관성을 보이고 있다. 특히 Cr, Al과 다른 중금속들의 상관계수는 0.61~0.99의 높은 상관성을 보이고 있다. 하지만 평균입도와 중금속의 상관계수는 0.45~0.61로 유기물과의 상관정보다는 낮은 것으로 나타났다. 새만금지역 퇴적물의 유기물함량과 중금속은 정의 상관 관계로 나타났으며, 유기물 함량의 증가에 따라 중금속 농도가 증가함을 볼 수 있었다.

<표 2-27> 퇴적물 성분간 상관계수 (r)

구 분	유기물	평균 입도	Al	Mn	Zn	Cu	Cd	Cr	Pb
유 기 물	1.000								
평균입도	0.567	1.000							
Al	0.793	0.604	1.000						
Mn	0.518	0.452	0.644	1.000					
Zn	0.860	0.595	0.865	0.860	1.000				
Cu	0.742	0.545	0.747	0.541	0.818	1.000			
Cd	0.747	0.454	0.865	0.513	0.860	0.567	1.000		
Cr	0.831	0.614	0.988	0.617	0.983	0.780	0.872	1.000	
Pb	0.849	0.610	0.976	0.654	0.979	0.767	0.866	0.610	1.000

(5) 영양염 수지(BUDGET)조사

영양염수지조사는 2003년 3, 4월과 9, 10월의 각 대조 및 소조에 개방구간 GAP1, GAP2, GAP3지점에서 25시간 조류속 및 영양염 항목 등을 30분 간격으로 연속관측하였다. 4호방조제 개방구간인 GAP3지점은 2003년 계절이 완료되어 2차조사에는 GAP1, GAP2지점에서 실시하였다. 영양염수지조사와 조류속조사는 동시에 이루어졌으며, 조류속자료는 도플러유속계와 ADCP로 25시간동안 계류시켜 취득하였다. 조류속 결과자료 중 3월 대조시 GAP1지점과 4월 소조시 GAP1, GAP2지점은 자료의 신뢰성이 낮아 제외시켰다. 영양염수지조사는 단순히 방조제 개방구간을 통해 창조 및 낙조시 해수유동에 의한 플럭스만을 구하였다. 실제로 새만금해역에서 영양염의 유·출입에 관련되는 요인중 만경강 및 동진강을 통해 유입한 개방구간은 조류속이 강하기 때문에 각 수층에서 채수를 실시할 수 없어서 표층의 영양염 농도만 구하였다.

총 4회에 걸쳐 실시된 조사는 새만금 방조제를 중심으로 창조시 외측해역에서 개방구간을 통하여 내측 담수호 예정수역으로 유입되는 양과 낙조시 내측 담수호 예정수역에서 개방구간을 통하여 외측 해역으로 유출되는 양으로 구분하여 영양염 유·출입량을 계산하였으며, 방조제 개방구간에서 조사된 각 대조 및 소조의 창조, 낙조별 평균 유속 및 영양염평균 농도를 구하였다. 개방구간을 통해 유·출입되는 물질의 순이동은 다음 식과 같으며 유입량은 플러스(+값), 유출량은 (-)값을 갖는다.

$$F_5 = (1/T) \int_T CVdt$$

여기서,  $F_5$  는 표층에서 물질의 순이동률(net nutrients flux:  $kg/m^2 \cdot sec$ ),  $C$  영양염류의 농도( $kg/m^3$ ),  $V$ 는 유속( $m/sec$ ),  $T$ 는 채수횟수( $T=25$ )를 의미한다.

영양염의 플럭스를 구하기 위하여 각 개방구간에서 도플러 유속계로부터 측정된 10분간 평균 유속자료를 이용하였으며, 영양염 농도는 한 조석주기이상 동안 30분 간격으로 25회를 채수하여 분석한 값을 사용하였다. 개방구간의 수심은 각 개방구간의 평균수심을 적용하였으며, 간조와 만조시 조차를 적용하여 시간에 따른 개방구간의 단면적을 구하여 유량을 계산하였다. 따라서 개방구간에서 한 조석주기동안 물질의 순이동량( $kg$

/sec)은 다음과 같은 식으로 표현될 수 있다.

$$M_s = (1/T) \int_T F A dt$$

여기서,  $M_s$ 는 물질의 순이동량(kg/sec),  $F$ 는 표층의 물질 순이동률(kg/m<sup>2</sup>·sec),  $A$ 는 개방구간의 단면적(m<sup>2</sup>)을 의미한다. 단 수심별 영양염의 농도와 유속은 표층과 동일하다고 가정하였다. 유량계산에 적용된 방조제 개방구간의 길이와 수심은 <표 2-28>과 같다.

<표 2-28> 방조제 개방구간의 길이 및 평균 수심

구분		GAP1	GAP2	GAP3
1차(3~4월)	수심(m)	9.0	16.0	7.0
	길이(m)	1,600	1,100	1,800
2차(9~10월)	수심(m)	9.0	16.0	-
	길이(m)	1,600	1,100	-

방조제 개방 구간의 영양염 농도분포를 보면 대조기가 소조기보다 높고 3월보다는 10월이 더 높은 농도를 보였다. 이는 해양의 일차부유생물의 분포와 밀접한 관계가 있다고 알려져 있다. 원양의 경우 봄과 여름에 수온상승과 영양염류가 풍부해지면 일차생산자의 대번식이 발생하여 영양염의 대량소비가 일어나기도 한다. 방조제 개방구간의 영양염농도에 가장 큰 영향을 주는 요인으로 만경강과 동진강의 담수 유입이 있다. 만경강의 담수영향권에 속하는 GAP3지점이 동진강 담수영향권에 속하는 GAP1지점 보다 높은 영양염류 농도분포를 보이고 있다. 하지만 부유물질은 계절별 농도변화가 뚜렷하지 않았으며 개방구간에서는 계절적인 변화보다는 조석주기와 유속에 따른 일변화가 더 뚜렷하게 나타났다.

방조제 개방구간에서 영양염의 순이동량의 가장 큰 요인은 영양염의 농도분포보다 유·출입량에 의해 좌우된다. 유·출입수량은 개방구간의 단면적과 유속의 곱으로 표현되므로 결국 개방구간의 유속에 가장 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.

영양염 및 부유물질의 조사시기별 평균농도를 살펴보면, 1차조사결과는 T-N 0.054 mg/L, PO<sub>4</sub>-P 0.004 mg/L, SiO<sub>2</sub>-Si 0.016mg/L, SS 27.595 mg/L이며, 2차조사결과는 T-N 0.156 mg/L, PO<sub>4</sub>-P 0.017 mg/L, SiO<sub>2</sub>-Si 0.533 mg/L, SS 18.019mg/L로 나타났다.

개방구간에서 대조기에 영양염류 평균농도는 T-N 0.145 mg/L PO<sub>4</sub>-P 0.012 mg/L, SiO<sub>2</sub>-Si 0.296 mg/L 이며, 소조기에는 T-N 0.046 mg/L PO<sub>4</sub>-P 0.006 mg/L, SiO<sub>2</sub>-Si 0.148 mg/L로 나타났다. 전반적으로 대조기가 소조기보다 약 2배정도 높은 농도를 보였다.

개방구간에서 창조와 낙조시 영양염의 농도차이는 거의 없었다. 부유물질 농도는 대조기의 창조시 47.714mg/L, 낙조시 32.946 mg/L로 창조류에 더 높은 농도분포를 보였다. 소조기의 창조시에는 평균 7.244 mg/L, 낙조시에는 7.153mg/L로 비슷한 농도분포를 보였다. 따라서 부유물질의 농도는 대조기가 소조기보다 4배이상 컸으며, 창조 및 낙조에 따른 농도는 크지 않는 것으로 나타났다. 한 조석주기동안 개방구간을 통한 평균조석량은 대조기의 창조시 43,129 m<sup>3</sup>/sec로 나타났다. 개방구간을 통한 평균조석량은 대·소조기 모두 창조가 낙조보다 컸으며, 대조시 창조의 평균조석량은 소조시보다 2배이상 큰 것으로 나타났다.

새만금방조제 개방구간의 한 조석주기동안 물질의 순이동량을 살펴보면, 인산염(PO<sub>4</sub>-P), 총용존무기질소(T-N), 규산염(SiO<sub>2</sub>-Si), 부유물질(SS) 전항목이 외해역에서 담수호 예정수역으로 유입되고 있다. 대조기의 평균이동량은 T-N 7.235 ton/hr, PO<sub>4</sub>-P 0.045 ton/hr, SiO<sub>2</sub>-Si 11.084 ton/hr, SS 4,822 ton/hr로 나타났다. 소조기의 평균이동량은 T-N 0.473 ton/hr, PO<sub>4</sub>-P 0.180 ton/hr, SiO<sub>2</sub>-Si 5.293 ton/hr SS 66 ton/hr 으로 나타났다. 대조기의 T-N, SiO<sub>2</sub>-Si, SS의 순이동량은 소조기보다 각각 15배,2배,73배정도 큰 것으로 나타났다. PO<sub>4</sub>-P의 순이동량은 소조기가 대조기보다 4배정도 크게 나타났다. 1차조사결과중 대조기의 SiO<sub>2</sub>-Si은 0.08 ton/hr, 소조기의 PO<sub>4</sub>-P은 0.01 ton/hr, SS는 104 ton/hr가 담수예정수역에서 외해역으로 유출되는 것으로 나타났다. 금년도 조사결과를 2002년도 자료와 비교하면 대조기 T-N, SiO<sub>2</sub>-Si SS의 유입량은 증가하였으나 PO<sub>4</sub>-P의 유입량은 감소하였다. 특히 SS의 경우, 2002년 대

조기에 3,076 ton/hr정도가 외해역으로 유출되었으나 2003년은 4,822 ton/hr정도가 담수예정수역으로 유입되는 것으로 나타났다.

새만금해역에서의 영양염류 수지분석조사는 새만금환경영향공동조사단(양재삼 교수, 2000년)에 의해 수행된 바 있으며 조사결과 질소는 방조제 외측 해역에서 방조제 내측으로 유입되고, 인은 방조제 내측에서 방조제 외측으로 유출되는 것으로 보고되었다.

<표 2-29> 방조제 개방구간에서의 영양염 유·출입량

조사시기	구 분	P-N	PO4-P	SiO-Si	SS
1차	대 조	6.369	0.252	-0.079	1,557
	소 조	0.134	-0.01	0.187	-104
2차	대 조	8.102	-0.162	23.084	8,087
	소 조	0.601	0.369	10.399	237
평균 (2003)	대 조	7.235	0.045	11.084	4,822
	소 조	0.473	0.180	5.293	66
평균 (2002)	대 조	1.950	0.350	9.100	-3,076
	소 조	2.400	0.150	15.500	64

## 제3장 해수유동시물레이션

### 3.1 대상사업의개요

#### 1) 개요

새만금지구 간척종합개발사업(이하 새만금사업)은 전북 군산시, 김제시, 부안군에 인접한 하구역 40,100ha를 28,300ha의 토지와 11,800ha의 담수호로 개발하는 사업으로 1991년에 착공하여 2003년까지 방조제 공사의 82%가 진행된 사업이다.

이 사업의 목적은 농지를 조성하여 생산되는 14만톤의 미곡으로 주곡의 자급유지에 기여하고, 담수호 조성에 따른 연간 10억톤의 수자원을 확보하여 지역의 물 부족을 해소하고 새로운 물 수요에 대비하는 것이다. 이 밖에도 육운개선 및 종합관광권을 형성하며, 12,000ha의 상습침수지역을 수해로부터 보호하는 등의 부수적 효과가 있다.

새만금방조제는 부안군 변산면 대항리에서 시작하여 가력도, 신시도, 야미도를 연결하고 군산시 비응도까지 잇는 4개의 방조제로 구성되어 있다. 2p1호방조제는 부안군 변산면 대항리부터 군산시 옥도면 남가력도를 연결하고 있으며, 길이 4.7km의 방조제가 1998년 12월에 준공되었다. 제2호방조제는 남가력도에서 신시도까지 9.9km구간으로, 2003년 현재 7.2km가 시공되어 있다. 군산시 옥도면 신시도와 야미도 사이를 잇는 길이 2.7km의 제3호 방조제는 1994년 7월 25일에 끝막이가 완료되었다. 제4호방조제는 군산시 야미도에서 비응도까지 11.4km구간으로 2003년 6월에 연결공사가 완료되어 현재 보강공사 중이다.

또한, 가력배수갑문은 2003년 12월 31일에 기전분야가 준공되었으며, 신시배수갑문공사는 터 파기, 문비제작 등 약 30%가 진행되었다.

새만금사업의 환경영향조사는 1990년 환경영향과가 협의 후 1991년부터 시작되었으며, 기상, 지형·형질, 동·식물상, 해양환경 등의 자연환경과 대기질, 수질, 소음 및 폐기물 등의 생활환경분야에 대하여 실시하고 있다. 그리고 환경영향조사 결과에 따라 공사로 인한 환경변화를 파악

하고 적절한 저감방안을 수집·시행함으로써, 본 사업이 환경친화적이고 지속가능한 개발이 되도록 노력하고 있다.

## 2) 사업추진 경위

- 1987. 12. : 새만금지구 타당성조사 완료
- 1987. 12. : 대통령 지시에 의거 농림수산부에서 정부 추진계획을 발표
- 1988. 2. : 새만금사업단을 설치하여 기본조사 실시
- 1991. 6. : 새만금지구 환경영향평가서 협의 완료
- 1991. 11. 16 : 새만금사업 시행인가 고시(고시 제91-36호)
- 1991. 11. 28 : 새만금사업 기공
- 1992. 6. 10 : 제2, 3, 4호방조제공사 착공
- 1994. 7. 25 : 제1, 3호 방조제사석제 끝막이 완공
- 1995. 8. 3 : 새만금전시관 준공 및 개관
- 1998. 12. 30 : 제1호방조제 공사 준공
- 1999. 5. : 새만금사업 환경영향 민관공동조사단 구성
- 2000. 8. : 새만금사업 환경영향 민관공동조사단 보고서 제출
- 2001. 5. 25 : 새만금사업 친환경적 순차개발계획 확정
- 2001. 8. 6 : 새만금사업 순차개발 세부후속조치(안)발표
- 2003. 6. 10 : 제4호방조제 사석제 연결 완료
- 2004. 10현재 : 방조제 공사 89%진행

## 3) 사업 구역

- 전라북도 김제시, 군산시, 부안군 일원(1도 2시 1군 18읍·면·동)

## 4) 사업 목적

○ 산업화, 도시화에 따라 급증하는 토지 및 물 수요와 농지잠식에 적극 대처하기 위한 새로운 대체농지 확보와 담수호 조성으로 주곡의 안정적인 수급에 기여하고,

- 연간 10억톤에 달하는 수자원을 확보하기 지역의 물 부족 해소와

새로운 물 수요에 대비하며, 만경강, 동진강 주변 12,000ha를 막아, 28,300ha의 토지와 11,800ha의 담수호를 조성하는 사업이다.

### 6) 개발 면적

- 자원조성 면적
  - 토지조성 : 28,300ha
  - 담수호 : 11,800ha
  - 총면적 : 40,100ha

### 7) 주요시설

- 방 조 제 : 4조, 33km
  - 위치 : 전북 부안군 변산면 대경리~고군산 신시도~군산시 비응도
  - 규모 : 길이 33km, 높이 36m, 밑너비 평균 290m, 총체적 7,300만<sup>3</sup>m
  - 부설도로 : 35km (폭 17m 4차선 포장도로)
  - 축조공법 : 사석·해사 성토공법
- 배수갑문 : 2개소, 656m
  - 어도, 통선문, 저층수 배제시설

구분	가 력 배 수 갑 문	신 시 배 수 갑 문
규 모	30m×15m×8런	30m×15m×10런
연 장	287.5m	268.5m
형 식	유압식 선형갑문	유압식 선형갑문
홍수 배제량	7,050 m <sup>3</sup> /sec	8,812 m <sup>3</sup> /sec
통 선 문 (어도겸용)	4.0m×30m×1개소 (10톤급 선박)	16m×65m×1개소 (400톤급 선박)
저층수 배제시설 (제염암거)	Φ2,200mm×2런×2,650m Φ800mm×1런×890m	Φ2,200mm×2런×1,200m

- 양·배수장 : 13개소



- 용 · 배수로 : 35개소 320km
- 내 방수제 : 6조 138km

## 8) 사업 기간

- 사업기간 : 1991년~2011년(예정)
- 외곽시설 : 1991년~2006년
- 내부개답 : 외곽시설 완료년도 착공~2011년

## 9) 사업효과

- 국토확장 : 40,100ha
- 농경지 잠식 대체 효과
- 수자원(담수호) 확보 : 연간 10억톤
- 배후 농경지 침수난 해소 : 12,000ha
- 육운 개선 및 종합관광권 형성
- 지역교통 개선 및 국제항 건설 여건 조성

새만금 간척종합개발사업은 국토확장, 산업용지 및 농지조성, 치수 등의 목적으로 당시 농림수산부에서 구 농촌근대화촉진법 제92조, 제93조 및 제96조와 공유수면매립법 제4조의 규정에 따라 계획된 대규모 간척사업이다.

현재 새만금 사업의 총괄기획과 매립면허는 농림부에서 맡고 있고, 설계, 공사, 감리등의 업무는 농어촌진흥공사에서, 지역개발과 보상업무는 전라북도에서 담당하고 있다.

1998년 말, 56%의 공정율을 보이고 있으나 주관측인 농림부와 농어촌진흥공사는 공유수면매립법과 환경영향평가법 규정에 의한 사업계획의 변경이나 영향평가 등 절차를 무시하고 '농지조성'이라는 매립면허된 내용과는 달리 도시, 공업단지 및 농수산용지가 포함된 '복합상업단지'를 조성하는 것으로 토지이용계획을 1994년도부터 변경추진중이다.

현재는 환경단체의 새만금 간척사업 중단촉구 운동으로 총리실 산하 수질개선기획단에 새만금 민관공동조사반이 구성되어 새만금 간척사업의

타당성조사를 하고 있다.

### 3.2 사업추진에 따른 문제점

#### 1) 간척사업 현황

##### (1) 현황

- 위 치 : 전라북도 군산시, 김제시, 부안군 일대 갯벌
- 개발면적 : 40,100ha ~ 여의도의 140배 규모(토지조성 28,300ha, 담수호 11,800ha)
- 사업기간 : 1991 ~ 2004년 공사기간은 향후 늘어날 것으로 보임.)
- 사 업 비 : 2조 510억원(현재까지 9,000억원 이상이 방조제 공사와 보상비로 지급된 상화, 전체 공사비는 공기연장과 환경시설의 추가로 늘어날 것임.)

##### (2) 공사추진현황

구 분	단 위	총계획	2002년까지	2003년시행
1. 방조제				
○ 방조제 길이				
- 사 석 제	km	27.9	23.44	1.80
- 해측피복석	km	27.9	19.32	1.95
- 분 설 성 토	km	28.2	22.36	2.20
- 바닥보호골	km	21.4	21.40	-
2. 배수갑문공사				
- 토 목 공 사	식	1	0.62	1.10
- 기 전 공 사	식	1	0.54	0.12
3. 부 대 공 사	식	1	0.78	0.11



구 분	규 모	구 분	규 모
생태마을	30ha	종합관광농원	60ha
인습공지	1,090ha	침전지	200ha
인공수초섬	1개소	마을하수처리장	2개소
저류지	2,163ha	저층수배제시설	2개소
철새도래지	120ha	환배수로	28km
생태공원 자연학습장	100ha	동진·만경 연결수로	3km
어도	2개소	인처리시설	1개소
금강물유입수로	14.2km		

## 2) 새만금 간척사업의 문제점

(1) 새만금 담수호 오염문제는 현재의 정부계획으로 해결될 수 없다.

이미 새만금호에 영향을 미칠 만경강과 동진강 유역의 최하류지점에서  
의 수질을 시화호의 수질과 비교해보면 만경강의 수질은 '96년 평균  
COD가 17.6ppm으로 동기대비 시화호의 수질보다 1.3배 높은 것으로 나  
타났고, 시화호의 물막이 공사가 완료되기 전인 '93년과 비교하면 4.6배  
나 높은 것으로 나타났다.(97년 국정감사 자료)

특히 만경강과 동진강의 경우 축산폐수량이 많아 호수의 부영양화의  
원인이 되는 총인과 총질소의 양이 만경강의 경우 T-N은 기준치 12.9  
배, T-P는 8.9배, 동진강의 경우 T-N은 4.6배에 이르고 있어 새만금호  
에 영향을 주는 하천의 수질개선을 위한 획기적인 대안이 마련되지 않는  
다면 지금 흘러 들어오는 물을 가두어 두더라도 시화호보다 더 오염될  
것이라는 예측이 가능하다.

(2) 환경기초시설의 제기능 불능의 문제

새만금호의 오염문제를 해결하기 위해서는 환경기초시설의 정비와 함  
께 하수관거정비계획이 수립되어야 하며, 이는 부설하수관거 정비와 하  
수관거 신설계획이 함께 진행되어야 한다.

상류하천의 수질을 개선하기 위하여 전라북도와 환경부는 환경기초시  
설 52개소(하수처리장 34개소, 분뇨처리장 12개소, 축산폐수처리장 6개  
소)를 설치하는 것을 대책으로 세우고 있다.

그러나 새만금 유역의 오폐수 찾집관로가 부설(오접, 파손, 관리부  
실 등)하여 오폐수가 하수종말처리장으로 유입되지 않고 유역의 하천으  
로 유입되어 새만금호 오염을 더욱 가중시킬 가능성이 높다.

계획대로 하수관거가 설치된다고 하더라도 우리나라의 하수관거 설치비는  
종말처리장 건설비의 2.1%에 불과해 하수종말처리장만 건설하고 오폐수  
찾집관로는 설치하지 않거나 부실하게 시공되고 있어 제구실을 할 수 있  
을지 의문이다.

(3) 새만금 간척사업의 예산이 앞으로 얼마나 증가할지는 예측할 수 없다.

새만금 간척사업은 공사허가시 사업기가 8천 2백억원에서 1조 3천 510억원으로 그리고 사업지연에 따른 물가인상과 보상비 증가로 1998년 말 현재 2조 510억원으로 2.56배 증가하였다. 여기에 향후 추가될 환경관련 시설 및 조치에 따른 비용은 예측할 수 없다.

게다가 전라북도에서는 10조~18조원의 추가투자를 요구하는 복합산업단지 개발안까지 마련하여 추진하고 있어 경제적 타당성이 없다고 할 수 있다.

(4) 새만금 간척사업으로 사라지게 되는 갯벌 20,000ha의 갯벌이 주는 가치는 무엇으로도 대신할 수 없다.

새만금 간척사업으로 인하여 전라북도 지역의 갯벌이 90% 이상 사라지게 된다. 갯벌이 수산물 생산과 생물들의 서식지, 오염정화, 재해방지, 레크레이션 등의 다양한 기능을 하는 등 그 가치는 이루 말할 수 없다. 이미 환경부 연구보고서를 통해 갯벌이 농경지와 김했을 때 3.3배이상 경제적 가치를 가지고 있는 것이 확인되었다.

현재 공정률이 60% 정도된 상황에서 조류시간 2시간 이상 늦어지는 등 해양생태계의 변화가 눈에 띄게 나타나고 있다. 뿐만 아니라 서해안 일대는 갯벌매립으로 인해 89년 5,899톤에 이르던 패류의 생산량이 96년에 978.4톤으로 약 84.5%가 감소되었다. 바지락은 1,000톤이던 것이 60~70톤으로, 백합류와 가무락은 계통판매에서 자취를 감추었다. 서식처가 간척지가 아닌 해수에 잠겨있는 조하대인 피조개를 제외하고는 판매량이 급감하고 있으며, 미끼생물류서 한때는 상당한 수출량을 보였던 갯지렁이 등은 100% 소멸될 것이라 보여지고 있어 수산자원의 고갈이 예상되고 있다. 이는 단순히 전북지역의 수산물 생산뿐만이 아니라 전라남도, 충청도 지역등 서해안 전체에 영향을 미치게 될 것이다.

또한, 만경강, 동진강 하구는 봄, 가을 도요·물떼새들이 통과하는 중요한 지역이다. 98~99년 환경운동연합을 비롯한 습지보전연대회의 조사에 의하면 126,282마리의 국제적으로 중요한 물새들이 확인되었다. 특히 검은

머리갈매기, 채두루미등, 회귀조류 다수가 서식하는 곳이 간척사업으로 그 서식지가 위협받고 있다.

### 3.3 수치모델의 구성

#### 1) 지배방정식

장파이론에 기초를 둔 평면 2차원 유체의 기초방정식은 다음과 같이 표현된다. 단, 압력항은 정수압만을 고려하는 것으로 하였다.

가) 연속방정식

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}[M] + \frac{\partial}{\partial y}[N] = q \quad (3.1)$$

나) x방향 운동방정식

$$\begin{aligned} & \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial UM}{\partial x} + \frac{\partial UN}{\partial y} - fN \\ &= -g(h+\zeta) \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ v_t \frac{\partial M}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ v_t \frac{\partial M}{\partial y} \right] - \frac{v_b^2}{(h+\zeta)^2} M \sqrt{M^2 + N^2} \end{aligned} \quad (3.2)$$

다) y방향 운동방정식

$$\begin{aligned} & \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial UN}{\partial x} + \frac{\partial VN}{\partial y} + fM \\ &= -g(h+\zeta) \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ v_t \frac{\partial N}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ v_t \frac{\partial N}{\partial y} \right] - \frac{v_b^2}{(h+\zeta)^2} N \sqrt{M^2 + N^2} \end{aligned} \quad (3.3)$$

여기서,  $U, V$ :  $x, y$  방향의 단면평균유속:

$M, N$ :  $x, y$  방향의 선유량( $m^2/sec$ )

$\zeta$  : 조위,  $h$  : 평균수심,  $g$  : 중력가속도  
 $v_t$  : 와동점성계수  
 $\gamma_b^2$  : 해저마찰계수  
 $f$  : 코리올리계수

## 2) 차분방정식

다음은 위의 과정을 밟아서 정리된 차분방정식을 나타낸 것이다. 공간 격자에 대해서는 Staggered Grid계를 이용하고, 이류항의 차분 Scheme에는 Donor Cell Scheme을, 점성항의 2계 미분항에는 중앙차분을 적용한다.

가) 연속방정식

$$\frac{\zeta_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - \zeta_{i,j}^n}{\frac{1}{2} \Delta t} + \frac{M_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} - M_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x} + \frac{N_{i,j+1}^n - N_{i,j}^n}{\Delta y} = q_{i,j} \quad (3.4)$$

나) x방향 운동방정식

$$\begin{aligned} \frac{M_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - M_{i,j}^n}{\frac{1}{2} \Delta t} + \frac{F_{X,i,j}^n - F_{X,i-1,j}^n}{\Delta x} + \frac{F_{Y,i,j}^n - F_{Y,i,j-1}^n}{\Delta y} = \\ -gHX^n \frac{\zeta_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - \zeta_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x} + DM_{i,j}^n - \gamma_b \frac{M_{i,j}^n \sqrt{(M_{i,j}^n)^2 + (N_{i,j}^n)^2}}{(HX_{i,j}^n)^2} \end{aligned} \quad (3.5)$$

다) y방향 운동방정식

$$\begin{aligned} & \frac{N_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - N_{i,j}^n}{\frac{1}{2} \Delta t} + \frac{FF_{X_{i,j}}^n - FF_{X_{i-1,j}}^n}{\Delta x} + \frac{FF_{Y_{i,j}}^n - FF_{Y_{i,j-1}}^n}{\Delta y} = \\ & -gHY^n \frac{\zeta_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - \zeta_{i,j-1}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta y} + DN_{i,j}^n \gamma_b \frac{N_{i,j}^n \sqrt{(M_{i,j}^n)^2 + (N_{i,j}^n)^2}}{(HY_{i,j}^n)^2} \end{aligned}$$

(3.6)

라) x방향 점성항

$$\begin{aligned} DM_{i,j}^n &= \frac{1}{\Delta x} (v_{t,i,j} \frac{M_{i+1,j}^n - M_{i,j}^n}{\Delta x} - v_{t,i-1,j} \frac{M_{i,j}^n - M_{i-1,j}^n}{\Delta x}) \\ &+ \frac{1}{\Delta y} (\frac{1}{4} (v_{t,i,j} + v_{t,i-1,j} + v_{t,i,j+1} + v_{t,i-1,j+1}) \frac{M_{i,j+1}^n - M_{i,j}^n}{\Delta y} \\ &- \frac{1}{4} (v_{t,i,j} + v_{t,i-1,j} + v_{t,i,j-1} + v_{t,i-1,j-1}) \frac{M_{i,j}^n - M_{i,j-1}^n}{\Delta y}) \end{aligned}$$

(3.7)

마) y방향 점성항

$$\begin{aligned} DN_{i,j}^n &= \frac{1}{\Delta x} (\frac{1}{4} (v_{t,i,j} + v_{t,i+1,j} + v_{t,i,j-1} + v_{t,i+1,j-1}) \frac{N_{i+1,j}^n - N_{i,j}^n}{\Delta x} \\ &- \frac{1}{4} (v_{t,i,j} + v_{t,i-1,j} + v_{t,i,j-1} + v_{t,i-1,j-1}) \frac{N_{i,j}^n - N_{i-1,j}^n}{\Delta x}) \\ &+ \frac{1}{\Delta y} (v_{t,i,j} \frac{N_{i,j+1}^n - N_{i,j}^n}{\Delta y} - v_{t,i,j-1} \frac{N_{i,j}^n - N_{i,j-1}^n}{\Delta y}) \end{aligned}$$

(3.8)

바) x방향 플럭스

$$\begin{aligned} F_{X_{i,j}} &= \frac{1}{4} ([ (U_{i+1,j} + U_{i,j}) + |U_{i+1,j} + U_{i,j}| ] M_{i,j} \\ &+ [ (U_{i+1,j} + U_{i,j}) - |U_{i+1,j} + U_{i,j}| ] M_{i+1,j}) \end{aligned}$$

(3.9a)



$$FF_{X_{i,j}} = \frac{1}{4} ( [(U_{i+1,j} + U_{i+1,j-1}) + |U_{i+1,j} + U_{i+1,j-1}| ] N_{i,j} + [ (U_{i+1,j} + U_{i+1,j-1}) - |U_{i+1,j} + U_{i+1,j-1}| ] N_{i+1,j} )$$

(3.9b)

사) y방향 플럭스

$$FY_{i,j} = \frac{1}{4} ( [(V_{i,j+1} + V_{i-1,j+1}) + |V_{i,j+1} + V_{i-1,j+1}| ] M_{i,j} + [ (V_{i,j+1} + V_{i-1,j+1}) - |V_{i,j+1} + V_{i-1,j+1}| ] M_{i,j+1} )$$

(3.10a)

$$FF_{Y_{i,j}} = \frac{1}{4} ( [(V_{i,j+1} + V_{i,j}) + |V_{i,j+1} + V_{i,j}| ] N_{i,j} + [ (V_{i,j+1} + V_{i,j}) - |V_{i,j+1} + V_{i,j}| ] N_{i,j+1} )$$

(3.10b)

아) 그 이외의 방정식

$$HX_{i,j} = \frac{1}{2} ( h_{i,j} + h_{i-1,j} + \zeta_{i,j} + \zeta_{i-1,j} )$$

(3.11)

$$HY_{i,j} = \frac{1}{2} ( h_{i,j} + h_{i,j-1} + \zeta_{i,j} + \zeta_{i,j-1} )$$

(3.12)

$$\overline{M} = \frac{1}{4} ( M_{i+1,j} + M_{i+1,j-1} + M_{i,j} + M_{i,j-1} )$$

(3.13)

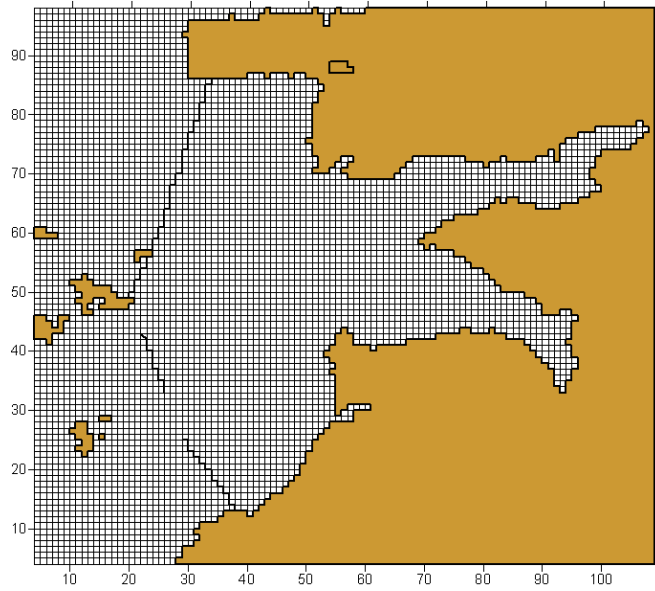
$$\overline{N} = \frac{1}{4} ( N_{i,j} + N_{i,j+1} + N_{i-1,j} + N_{i-1,j+1} )$$

(3.14)

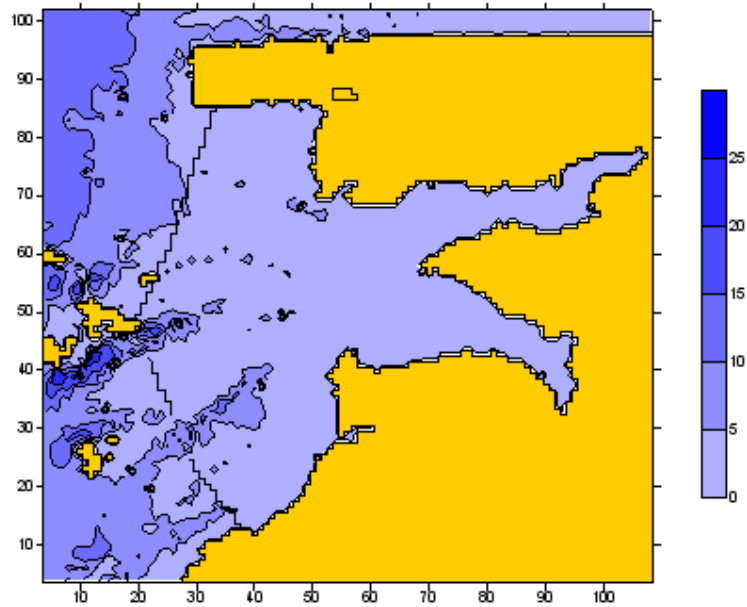
### 3) 격자 및 수심

해수유동시물레이션을 실시하기 위하여 해당해역을 375m로 나누어 수평방향으로 108개, 수직방향으로 102개, 즉, 108\*102로 계산격자를 만들

었다.<그림 3-1> 각 cell의 수심의 대표값을 해도에서 읽어서 수심도를 작성하였다.<그림 3-2> 사용된 해도는 국립해양조사원 간행의 336도(상왕등도에서 어청도)를 사용하였다.



<그림 3-1> 해수유동시물레이션 계산격자망



<그림 3-2> 해수유동시물레이션 계산 수심도

#### 4) 실험 및 결과분석

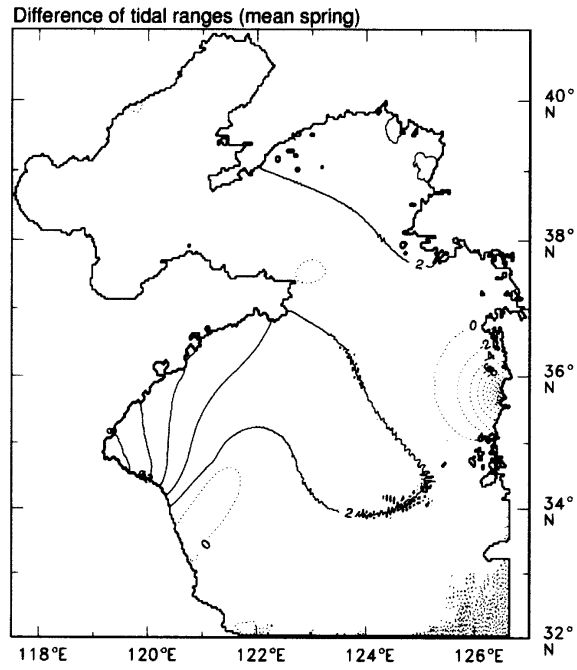
새만금 사업으로 인하여 해안선이 변경되고 해저지형이 변하여 해양의 순화과 조류, 조석 및 해수분포가 변화하게 되며, 특히 해안지형의 변화는 방조제 내부는 물론 방조제 외부의 해수유동의 특성에 대한 지대한 영향을 미치게 된다. 이러한 해황과 해수유동의 변화는 연안역 퇴적물 이동 및 지형변화, 갑문을 통한 방류로 인한 연안 수질 악화와 연안생태계의 변화 등이 일어날 수 있다. 또한 방조제 완공 후 인위적인 배수갑문 조작에 의한 해수유통은 방조제 내측과 외측수역 사이에 해수교환 뿐만 아니라 오염물질의 수송을 담당하게 된다. 따라서 유출수는 방조제 외측환경을 변화시키게 되며, 유입수는 내측 환경을 변화시킨다.

새만금사업의 진행과 새만금 방조제 완공 후의 해양환경보전 대책을 수립하기 위하여 해수유동을 모니터링하고 예측하는 것이 필수적이라 하

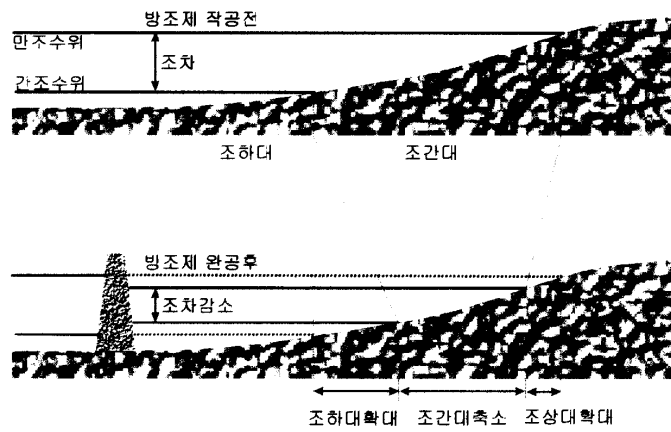
겠다. 본 연구에서는 이러한 새만금 사업의 해수유동 영향에 대한 계산을 통하여 해수유동의 현황과 예측을 목적으로 하였다.

대상해역을 포함한 광역에서의 M2 분조 등조석도를 <그림 3-3>에 나타낸다. 무조점이 황해와 발해만에서 나타나고 있음을 알 수 있다. 방조제 건설 이후 새만금 해역에서는 감소하며 황해북부의 중국연안에서는 증가하고 있음을 알 수 있다.

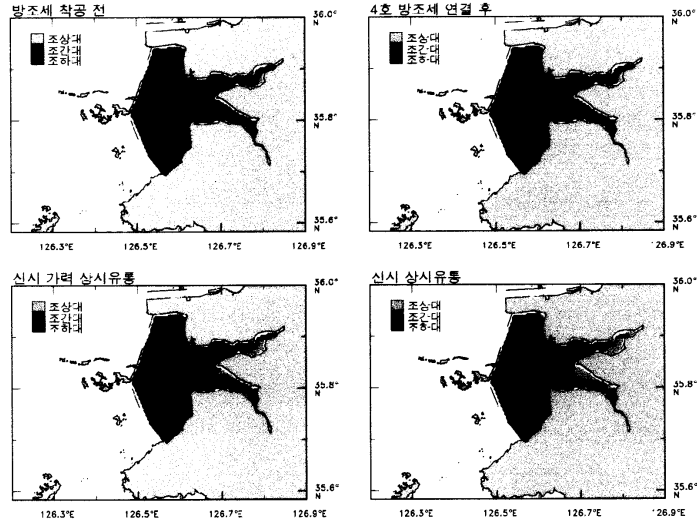
방조제 건설에 따른 새만금 해역의 해양환경의 변화를 파악하기 위하여서는 방조제 건설과정과 개방구간의 조건에 따라서 변하게 된다. 그러므로 방조제 건설과정에 따른 착공전, 4호 방조제 연결 전후, 방조제 완공 후의 갑문구간개방(신시/가력 갑문 구간) 등에 따른 변화를 알아 볼 필요가 있다. <그림 3-4>에 방조제건설에 따른 조간대의 변화모식도를 나타낸다. <그림 3-5>에 각 건설 단계별 조간대의 변화분포를 나타낸다.



<그림 3-3> M2 분조 등조식도



<그림 3-4> 방조제 건설에 따른 조간대의 변화모식도



<그림 3-5> 건설 단계에 따른 조간대 변화분포도

새만금 지역은 조류에 의한 해수유동의 황해로 유입되는 입구이며 이 해역의 해안선 변화는 황해의 조석변화에 영향을 미치는 것으로 보여지게 된다. 또한 방조제 건설로 인하여 조간대(갯벌)의 면적이 크게 감소할 것으로 예상되며, 방조제 체절로 인한 해수유동의 변화 및 유속의 저하로 방조제 내부가 호소화되어 하계성층이 형성되는 등 수질 악화가 예상된다.

## 제4장 수질확산 시물레이션

### 4.1 모델의 구성

해수유동 시물레이션에서 얻어진 유속 Data를 이용하여 사업 후 배출수의 확산형태를 확산 모델을 통해 시물레이션을 행하고 방류계획에 대한 영향을 평가하였다. 확산계산의 기초식은 이류확산 방정식을 사용하였으며, 이를 Implicit scheme을 사용하여 차분방정식으로 변환하였다.

#### 1) 이류확산 지배방정식

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t}[(h+\zeta)] + \frac{\partial}{\partial x}[(h+\zeta)UC] + \frac{\partial}{\partial y}[(h+\zeta)VC] \\ & = \frac{\partial}{\partial x}[(h+\zeta)D_x \frac{\partial C}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y}[(h+\zeta)D_y \frac{\partial C}{\partial y}] + q_m \end{aligned} \quad (4.1)$$

여기서,  $C$  : 수심평균농도

$D_x, D_y$  : 분산계수

$q_m$  : 유입부하량

#### 2) 이류확산 차분방정식

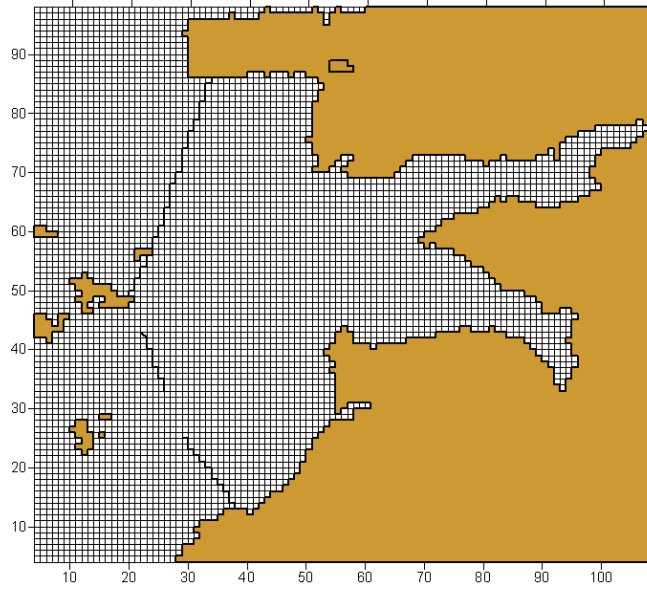
$$\begin{aligned} & C_{i,j}^{(k+(1/2))} (\tilde{h} + \zeta_{i,j}^{(k+(1/2))}) - C_{i,j}^{(k)} (\tilde{h} + \zeta_{i,j}^{(k)}) = \\ & \frac{\Delta t}{2\Delta S} [(\bar{h}^y + \bar{\zeta}^{x(k)}) u^{(k+(1/2))} \bar{C}^{x(k+(1/2))}]_x \\ & + \frac{\Delta t}{2\Delta S} [(\bar{h}^x + \bar{\zeta}^{y(k)}) v^{(k)} \bar{C}^{y(k)}]_y \\ & - \frac{\Delta t}{2(\Delta S)^2} [(\bar{h}^y + \bar{\zeta}^{x(k+(1/2))}) D_x^{(k+(1/2))} C_x^{(k+(1/2))}]_x \\ & - \frac{\Delta t}{2(\Delta S)^2} [(\bar{h}^x + \bar{\zeta}^{y(k)}) D_y^{(k)} C_y^{(k)}]_y - \frac{\Delta t}{2} S_m \end{aligned} \quad (4.2)$$

$$\begin{aligned}
& C_{i,j}^{(k+1)} (\bar{h} + \zeta_{i,j}^{(k+1)}) - C_{i,j}^{(k+(1/2))} (\bar{h} + \zeta_{i,j}^{(k+(1/2))}) = \\
& \frac{\Delta t}{2\Delta S} [(\bar{h}^y + \bar{\zeta}^{x(k+(1/2))}) u^{(k+(1/2))} \bar{C}^{x(k+(1/2))}]_x \\
& + \frac{\Delta t}{2\Delta S} [(\bar{h}^x + \bar{\zeta}^{y(k+(1/2))}) v^{(k+1)} \bar{C}^{y(k+1)}]_y \quad (4.3) \\
& - \frac{\Delta t}{2(\Delta S)^2} [(\bar{h}^y + \bar{\zeta}^{x(k+(1/2))}) D_x^{(k+(1/2))} \bar{C}_x^{(k+(1/2))}]_x \\
& - \frac{\Delta t}{2(\Delta S)^2} [(\bar{h}^x + \bar{\zeta}^{y(k+(1/2))}) D_y^{(k+1)} \bar{C}_y^{(k+1)}]_y - \frac{\Delta t}{2} S_m
\end{aligned}$$

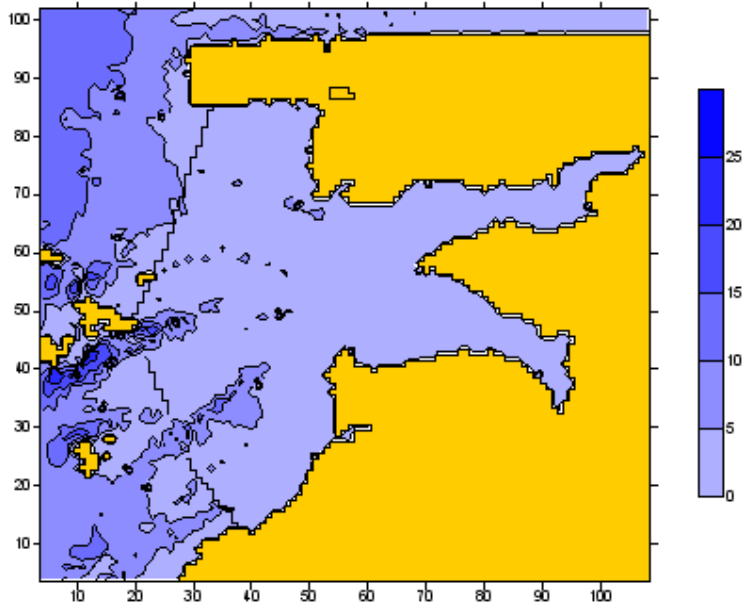
## 4.2 수치실험 및 분석

수질확산시뮬레이션은 계산초기의 시각에 있어서 방조제 내부의 하천에서 부하되는 확산물질을 대상으로 하여 정상상태에 도달 할 때 까지 계산을 실시하였다. 사용된 격자와 수심은 유동시뮬레이션을 행할 대와 동일하다.<그림 4-1>, <그림 4-2> 입력 data의 값은 해양수산부(2002)의 조사내용을 이용하였다. 계산결과를 <그림 4-3>에 나타냈다. 조사결과와 잘 일치하고 있음 알 수 있으며 수심과 유속이 약한 방조내만의 안쪽 부근에 오염물질이 높은 농도로 축적되고 있음을 알 수 있다. 방조내만의 수질개선을 위한 노력을 경주하여 할 필요가 있다.

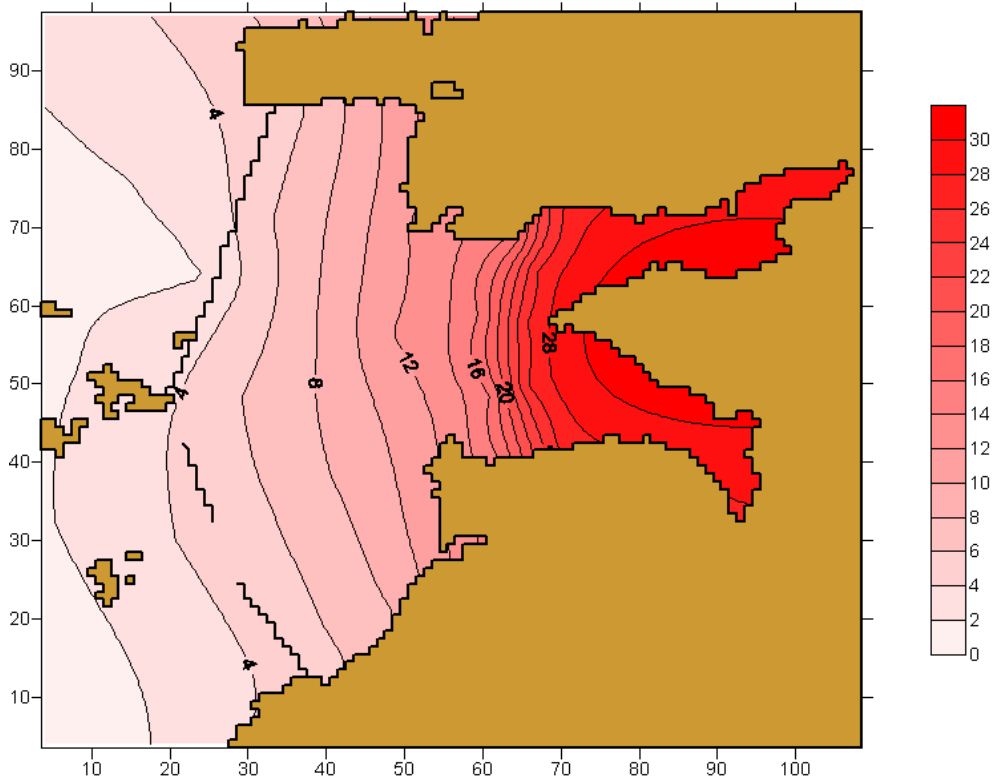




<그림 4-1> 수질확산시물레이션 계산격자망



<그림 4-2> 수질확산시물레이션 계산 수심도



<그림 4-3> 수질확산 시뮬레이션 결과

### 1) 해수 유동 및 확산

새만금지구의 개발은 방조제개획선으로부터 3km 거리에 위치하는 전북최대의 해수욕장이 위치 함으로서 이의 영향에 대한 적절한 평가 필요하다. 방조제의 건설은 하구역으로 공급된 퇴적물의 차단을 의미하며 동시에 외측의 해역의 퇴적물에도 영향을 미치게 된다. 변산해수욕장은 연장 800m 폭 300~400m 총면적3만평의 규모로서 1971년 전라북도도립공원으로 지정 되었다. 해수욕장의 수용능력은 1일 15만명으로 년 50만명의 피서객이 찾는 곳이다.

해수욕장을 구성하는 모래의 특성은 중앙부에는 비교적 새사로 구성되며 북단에는 조사로 구성되어 있다. 이 이해역에 지배적인 풍향은 W, WNW, NW, NNW이며 파고는 약 0.26m로 추정된다.(부록 표 24). 또

한 여기서 발생하는 해류는 수평유속(longshore current)는 0.22~0.34m /sec 이며 수직유속(cross-shore current)은 0.20~0.25m/sec의 범위에서 발생=-한다. 위의 여건을 고려하여 추정된 방조제건설후의 유사량은은 북향으로 11,300m<sup>3</sup>/yr이다. 이동되며, 남향으로 16,700m<sup>3</sup>/yr 이동되어 침식되어 유실되는 양은 5,400m<sup>3</sup>/yr이다.

이는 약 2.3cm/yr의 유실에 해당된다. 그러나 현상태에서 5,100m<sup>3</sup>/yr의 퇴적환경에서 방조제건설후는 5,400m<sup>3</sup>/yr의 침식 환경으로 변하여 약 10,500m<sup>3</sup>/yr만큼의 손실을 가져오게 된다.

## 2) 어업자원

사업지구는 4,100ha의 해역을 육지와 담수로 바꾸게 된다. 따라서 방조제 노선 및 내부에 위치한 양식어업 제 1종 공동 어업 및 제 3종 공동어업은 유실된다. 따라서 3개군에 분포하는 430건의 6,758ha의 어장은 폐쇄되며 외측에 분포하는 58건의 684ha어장은 직접 혹은 간접으로 환경적 영향을 받게 된다.

이러한 환경적 영향을 받는 어장과 폐쇄되는 어장의 어업권자들은 전액보상이나 제한 보상을 받게 된다. 간척지의 상실과 동시에 사업지구 내부에 위치한 종래 보호 구역도 폐쇄되며 이의 영향은 인근 해역의 전반적인 자원량의 감소를 수반하게 될 것이다. 유형동물은 일정한 공간을 회유하면서 생활하기 때문에 이 해역에서 산란하거나 어린 시기를 보내는 어류는 크게 감소하여 근해의 자원량 감소를 수반하게 된다. 특히 하천과 강화란 기수역이 상실 되므로 간헐적으로 폐쇄되는 폐수간문과 통선문을 통하여 회유를 하거나 철치되는 좁은 어도를 이용해야하므로, 이러한 종류의 생존률은 감소하고 장기적으로는 자원량의 감소가 수반된다.

## 3) 해안선의 변화

본사업지구가 개발되면 옥구군 미성읍에서 고군산군도의 다수의 도서가 육로로 연결되며 부안군 산내면까지 육로가 연결된다. 따라서 현재의 92km 해안선은 32.8km의 방조제로 대체되며 53km해안선이 단축된다. 간척지는 육지와 담수조로 변하게 되며 방조제 외측의 해안선은 비교적

급한 경사를 가지게 된다. 현재 발생하는 동북-남서방향의 조류는 유속과 유향을 바꾸게 되며, 이것은 이 해약의 침식 및 퇴적체계의 변화를 수반한다. 고군산군도의 북측에서는 조류의 방향이 남북으로 형성될 것이며, 신시도와 두리도 사이에서 발생하는 강한 조류는 크게 약화되면서 남북방향으로 방향을 바꾸게 된다. 두리도와 부안군해안사이의 조류속도 크게 약화되며 동서방향의 흐름을 가지게 될 것이다.

## 제5장 결론

새만금 사업에서 해양수질의 문제는 새만금 방조제 내측의 수질악화와 악화된 내수의 갑문을 통한 외측으로의 배수에 의한 영향으로 볼 수 있다. 새만금 지구가 완공되면 상습적 적조현상이 발 내생됨이 예상되며 이러한 해역에 있어서 수질이 악화되는 지역에 대하여 수질환경 조서를 통하여 수질특성을 조사하고 또한 가상 지형, 지질, 동식물성 해양환경 등의 자연환경과 대기질, 수질, 수온 및 폐기물 등의 생활 환경분야에 대하여 파악하고 이를 수치모델을 통하여 구현하여 검증을 거쳐 유동특성을 검증하고 파악된 유동 특성을 토대로 새만금 지구 수질환경 시물레이션을 실시하여 수질조사 및 시물레이션 결과를 비교분석하여 이 해역의 있어서의 수질환경특성을 규명하고자하는데 목적이 있다.

본 연구는 크게 세단계로 나누어 진행하였다.

**제1단계**는 연구해역에서의 자연환경을 조사하기위하여 기상조건, 해양조건 등 자연조건들을 구분하여 자료를 분석하였다.

**제2단계**에서는 새만금지역에서의 수질환경과 해양생태계에 대한 해양환경조건의 자료를 수집 정리하여 분석하였다.

**제3단계**에서는 수질환경 시물레이션을 실시하기 위하여 대상해역의 유동특성을 파악하고 계산된 유동 데이터를 이용하여 수질확산 시물레이션 모델을 행하여 그 수질 환경특성을 파악하여 새만금지역내에 생활하수 및 각종 해수가 수역내에 유입될 경우의 영향을 알아보고 새만금지역의 수질개선의 위한 방안을 제안하였다.

향후 연구의 발전을 위하여 보다 다양한 Case를 설정하여 현황을 파악하고 분석하여

## 참고문헌

- 1) 부산지변해역의 해수유동 및 수질환경특성에 관한 연구, 정봉훈, 한국해양대학교 대학원, 2002년 2월
- 2) 해저방류에 의한 유출수의 확산에 관한 연구, 조석태, 한국해양대학교 대학원, 2001년 8월
- 3) 해양환경공학, 국승기, 다솜출판사, 2003년 12월
- 4) 새만금지구 간척종합개발사업 환경영향조사보고서, 농업기반공사, 2003년
- 5) 새만금 해양환경보전대책을 위한 조사연구(1차년도), 해양수산부, 2002년
- 6) 새만금 해양환경보전대책을 위한 조사연구(2차년도), 해양수산부, 2003년