공학석사 학위논문

부산주변해역의 해수유동 및 수질환경 특성에 관한 연구

A Study on the Characteristics of Movement of Sea Water and Water Quality around the Pusan

지도교수 국 승 기

2002년 2월

한국해양대학교 대학원

해 양 경 찰 학 과

정 봉 훈

본 논문을 정 봉 훈의 공학석사 학위논문으로 인준함

委員長 理 學 博 士 尹 鍾 輝 (印)

委 員 地球環境科學博士 薛 東 一 (印)

委 員 工 學 博 士 鞠 承 淇 (印)

2002년 2월

한국해양대학교 대학원

해양경찰학과 정 봉 훈

목 차

표목차 iii
그림목차 iv
ABSTRACT v

제1장 서 론 1

제2장 주변해역의 지리적 특성과 해양환경 3

2.1 부산주변해역의 기상 상태 3
2.2 기상재해 8
2.3 해양수질 11
2.3.1 연안해역 등급 및 조사방법 11
2.3.2 해양수질 14

제3장 해수유동 시뮬레이션 23

3.1 실험내용 23
3.2 수치모형의 구성 23
3.3 수치실험 결과분석 31

제4장 해양환경 시뮬레이션 34

4.1 오염확산모델 34
4.2 수치실험 및 분석 36

4.2.1 Case 0(처리되지 않은 생활하수의 유입의 경우) ..37
4.2.2 Case 1(오염부하량을 70%로 경감하였을 경우) 37
4.2.3 Case 2(오염부하량을 50%로 경감하였을 경우) 37
4.2.4 Case 3(처리된 생활하수 유입의 경우) 37
4.2.5 수치실험결과 분석 42

제5장 결 론 43

참고문헌 45

표 목 차

<표 2-1> 부산기상관측소의 기상관측범위 3
<표 2-2> 기상현황 4
<표 2-3> 풍향별, 계절별 관측 횟수의 백분율 4
<표 2-4> 풍향별, 계절별 최대 풍속(m/s) 6
<표 2-5> 천기일수 6
<표 2-6> 주요 태풍현황 9
<표 2-7> 주요 호우현황 11
<표 2-8> 해양수질 조사지점의 위치 13
<표 2-9> 해역의 등급별 수질환경기준 19
<표 2-10> 춘계 해양수질 분석결과 20
<표 2-11> 하계 해양수질 분석결과 21
<표 2-12> 동계 해양수질 분석결과 22
<표 3-1> 해수유동계산을 위한 입력조건 27

그 림 목 차

<그림 2-1> 바람장미도 7
<그림 2-2> 태풍의 진로 10
<그림 2-3> 해역별 수질기준 12
<그림 2-4> 해양수질조사도 12
<그림 2-5> 평균 COD 분포 15
<그림 3-1> 좌표계 정의 24
<그림 3-2> 격자체계 25
<그림 3-3> 유동계산의 흐름도 28
<그림 3-4> 대상해역의 격자망 29
<그림 3-5> 수심도 30
<그림 3-6> 최대창조류 32
<그림 3-7> 최대낙조류 32
<그림 3-8> 계산한 최대창조류 33
<그림 3-9> 계산한 최대낙조류 33
<그림 4-1> 유입하천의 부하량 35
<그림 4-2> Case 0 - 15주기후의 오염물확산 결과 38
<그림 4-3> Case 0 - 60주기후의 오염물확산 결과 38
<그림 4-4> Case 1 - 15주기후의 오염물확산 결과 39
<그림 4-5> Case 1 - 60주기후의 오염물확산 결과 39
<그림 4-6> Case 2 - 15주기후의 오염물확산 결과 40
<그림 4-7> Case 2 - 60주기후의 오염물확산 결과 40
<그림 4-8> Case 3 - 15주기후의 해양오염 확산 결과 41
<그림 4-9> Case 3 - 60주기후의 해양오염 확산 결과 41
<그림 4-10> 각 Case 별, 주기별 잔존량 42

A Study on the Characteristics of Movement of Sea Water and Water Quality around the Pusan

Bong-Hun, Jeong

Department of Maritime Police Science,
Graduate School of Korea Maritime University

Abstract

It is very important to quantitatively assess the movement of sea water before or after constructing shore structures such as breackwaters considering marine environment. This assesment 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 the port of Pusan. The computational models adopting ADI Method(Alternating Direction Implicit Method) was already verified from the previous studies, was used here.

And the numerical calculations of pollutant transport in the sea water area were carried out to asses the effect of river inflow.
To achieve this purpose, 4 cases were set as follows;

1. case 0 : the present condition of river inflow into the sea area,
2. case 1 : 70% of the present condition,
3. case 2 : 50% of the present condition,
4. case 3 : be equipped with sewage treatment works(inflow concentration ; 20 mg/l of COD)

In each case, we could get the result of quantitative analysis. If the sewage treatment works for river discharge is equipped, the sea quality of the area will be more than the present condition.

As a result of this study, much of tidal data around the area could be gained to use the future study and to give the basic materials for the new city plans including the sea area around the city.

제1장 서 론

부산은 우리나라 제1의 항구도시로 태평양과 아시아 대륙이 연결되는 요충지에 자리하고 있다. 또한 제3차 국토종합개발계획에서 환태평양 및 동북아시아 지역의 국제무역, 금융의 도시로 개발방향이 세워져 있어 이에 부응하는 각종 도시계획사업인 해상신도시 건설, 컨테이너 수송 배후도로(광안대로)건설사업, 부산 하수처리장 건설 등이 추진 중에 있고, 부산 외항에는 많은 선박들이 묘박을 하고 있다.

이러한 계획들에 의해서 연안이나 만에 건설되는 해양구조물은 시시각각 변화하는 조류의 영향을 받게 되고, 주변해역의 해수유동 및 오염물질의 확산에 영향을 준다. 그러므로 구조물의 건설 전에 해당지형에 대한 수리특성을 충분히 파악하여, 건설 후의 주변환경에 미치는 영향을 비교, 분석할 필요성이 있다. 건설 전에 이러한 영향을 예측하는 것은 항만정비계획상 또는 수질 및 환경보전의 입장에서 보면 아주 중요한 일이다.

이러한 문제를 예측하기 위해서는 과거의 신뢰성이 있는 실측치가 필요하지만, 실제로 실측자료는 계절적 변화 및 수심별 변화 등 시간적, 공간적인 변동이 현저하며, 수질 오탁 기구를 구성하는 물리적, 생물·화학적인 작용의 복잡성 등으로 그 실태는 아직 충분히 파악되어 있지 않을 뿐만 아니라, 어떠한 지역에는 그러한 실측조차 이루어지지 않아서 제대로 된 자료를 구하기가 매우 어려운 것이 실정이다. 그래서 해수 유동 및 오탁 수질의 확산을 규제하는 요인 중에서 지배적인 것을 모델화하여 각각의 현상을 분석하여 갈 수 밖에 없고, 이를 위하여 수치 모델이 주로 이용되고 있다.

본 연구에서는 부산 주변해역의 해상 및 기상자료를 분석하고 해수유동 시뮬레이션을 실시하여 대상해역의 유동특성을 파악하고, 계산된 유동 data

를 이용하여 오염확산 시뮬레이션 모델을 구축하고 시뮬레이션을 행하여 그 수질환경특성을 파악하는데 연구의 목적을 두고 있다. 본 연구에서는 대상수역내의 유입하천인 감천천, 보수천, 초량천, 부산천 및 동천에서 처리되지 않은 생활하수 및 각종폐수가 수역내에 유입될 경우의 영향을 COD(Chemical Oxygen Demanded)농도 분포를 계산하여 알아보고, 그 부하량을 70%, 50%로 경감하였을 경우 및 하수처리 시설이 정비될 경우의 배출기준인 COD농도 20 mg/l(보통 15 20 mg/l)로 해역에 유입될 경우의 오염확산 시뮬레이션 하수정비가 수역의 수질개선에 얼마나 영향을 미치는가에 대하여 정량적으로 분석한다.

제2장 주변해역의 지리적 특성과 해양환경

2.1 부산주변해역의 기상 상태

주변해역의 기상현황을 파악하기 위하여 기온, 강수량, 증발량, 일조시간, 상대습도, 풍향, 풍속, 천기일수 등을 조사항목으로 설정하였고, 부산광역시 대청동 소재 부산지방기상청(1987 1996년)의 자료[1)]를 이용하여 분석하였다. <표 2-1>은 부산기상관측소의 기상관측범위를 나타낸다. 부산지방기상청의 기상자료를 분석하여 <표 2-2>에 기상현황을, <표 2-3>에는 풍향별, 계절별 관측 횟수의 백분율을 나타내었다. 기온을 조사한 결과 년 평균 기온이 14.7。C, 년평균 최고기온은 19.0。C, 년평균 최저기온은 11.3。C로 나타났다. 평균 년간 강수량은 1,369.2mm로 나타났다. 이중 6월부터 8월까지 3개월의 강수량이 734.2mm로 평균 년간 강수량의 53.6%를 차지하고 있어, 여름철에 집중적으로 내리는 것으로 조사되었다.

<표 2-1> 부산기상관측소의 기상관측범위

구분	북위	동경	H	Hb	Ht	Ha	Hr
부산지방 관측소	35°06′	129°02′	69.2	70.5	1.2	17.8	0.2

주) H : 노장의 해발높이(m)

Hb : 수은기압계의 해발높이(m)
Ht : 온도계의 지상높이(m)
Ha : 풍속계의 지상높이(m)
Hr : 우량계의 지상높이(m)

<표 2-2> **기 상 현 황**

월별	기 온			강수량	증발량	일조시간	상대습도	풍 속
	평 균	평균최고	평균최저	(mm)	(mm)	(hr)	(%)	(m/s)
1	3.7	8.4	0.2	46.6	126.9	195.1	51.2	3.8
2	5.0	9.9	1.3	55.0	131.4	178.1	54.2	4.1
3	8.4	13.1	4.7	89.0	169.2	180.1	60.4	4.3
4	13.6	18.3	9.7	109.1	226.8	222.6	62.2	4.4
5	17.4	21.5	13.9	122.5	244.0	231.1	69.8	3.9
6	20.5	24.1	17.7	189.2	216.2	175.3	80.1	3.6
7	24.2	27.5	22.0	282.1	235.2	182.4	85.0	4.3
8	25.7	29.2	23.2	262.9	263.3	211.3	81.1	4.0
9	22.1	26.1	19.3	110.2	206.1	170.2	73.9	3.7
10	17.5	22.5	13.8	37.0	198.1	217.0	64.8	3.6
11	11.7	16.7	7.9	44.8	144.9	199.6	59.5	3.7
12	6.2	11.0	2.3	20.8	131.9	205.1	53.0	3.8
전년	14.7	19.0	11.3	1,369.2	2,294.1	2,367.9	66.3	3.9

자료 : 기상연보(1987년 1996년), 기상청

<표 2-3> **풍향별, 계절별 관측 횟수의 백분율**

구 분	풍향별, 계절별 관측 횟수의 백분율				
	봄	여 름	가 을	겨 울	전 년
CALM	1.6	1.6	2.5	1.6	1.8
NNE	10.8	7.4	12.9	8.2	9.8
NE	9.2	14.8	17.8	6.1	12.0
ENE	9.1	12.2	6.5	5.6	8.4
E	5.9	8.0	4.7	2.3	5.3
ESE	2.9	3.1	2.4	1.4	2.4
SE	1.7	1.1	1.7	1.8	1.6
SSE	1.6	1.2	0.8	0.9	1.2
S	6.2	7.0	2.5	1.5	4.3
SSW	8.5	14.2	3.6	2.0	7.1
SW	8.9	11.9	4.4	4.8	7.5
WSW	8.0	7.4	5.6	8.2	7.3
W	6.7	4.8	7.1	11.7	7.6
WNW	4.6	1.7	5.4	8.5	5.0
NW	5.3	1.3	7.6	13.6	6.9
NNW	4.3	1.3	7.4	11.4	6.1
N	4.5	1.1	7.0	10.3	5.7

자료 : 기상연보(1987년 1996년), 기상청

연간 평균 증발량은 2,294.1mm로 나타났으며, 8월에 263.3mm로 최대치를, 1월에 126.9mm로 최소치를 보이고 있다. 평균 일조시간은 2,367.9hr로, 5월에 231.1hr로 최대치를, 9월에 170.2hr로 최저의 일조시간을 보이고 있다. 상대습도는 기온, 강수량 등에 의해 큰 영향을 받는 기후인자로 본 사업지역의 년평균 상대 습도는 66.3%로 나타나며,7월에 85.0%로 최고치를, 1월에 51.2%로 최저치를 나타내고 있다. 평균 풍속은 3.9m/s로 나타났으며, <표 2-4>에 풍향별, 계절별 관측 횟수의 백분율 및 최대풍속을 나타냈다. <그림 2-1>에는 풍향별, 계절별 관측횟수의 백분율에 따른 바람장미도를 나타냈는데, 보는 바와 같이 부산지방은 봄, 여름, 가을에는 북동풍이 우세하게 나타나고, 겨울에는 북서계절절풍의 영향으로 북서풍이 우세하게 나타난다. 년간으로 보면 북동풍이 우세한 것으로 관측되었다. 이 지역의 최근 10년간의 천기일수의 평균치는 <표 2-5>와 같이 맑은날의 수는 112일, 흐린날의 수는 109일, 강수(≥0.1mm)일수는 93일 등으로 조사되었다.

<표 2-4> **풍향별, 계절별 최대 풍속**(m/s)

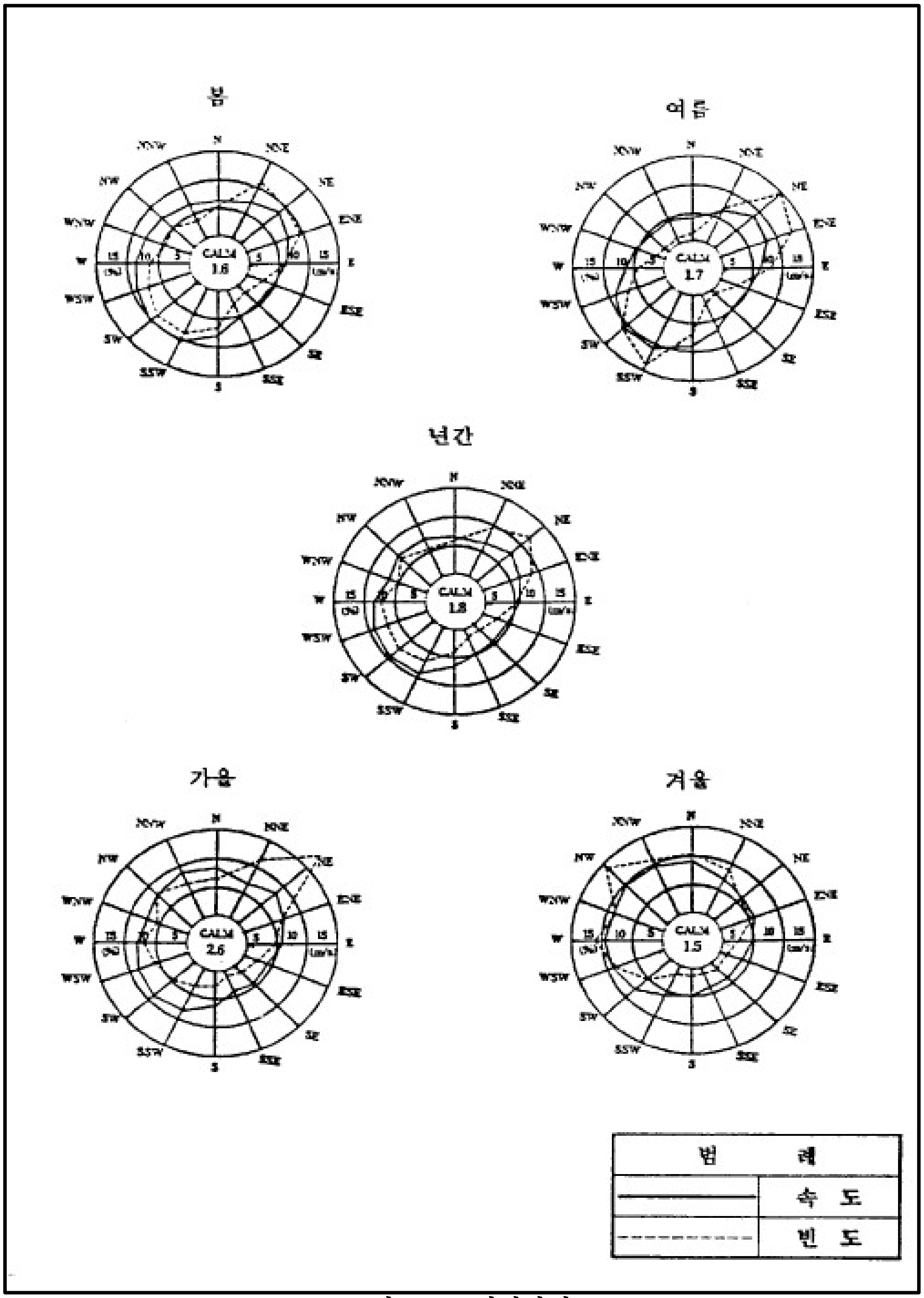
구 분	풍향별, 계절별 최대 풍속(m/s)				
	봄	여 름	가 을	겨 울	전 년
NNE	7.9	6.9	7.2	7.4	7.4
NE	8.2	8.9	8.1	6.5	7.9
ENE	7.7	8.0	6.9	5.8	7.1
E	6.3	6.3	5.6	4.8	5.8
ESE	5.2	4.8	4.2	3.6	4.4
SE	4.5	4.5	4.2	4.1	4.3
SSE	5.1	6.1	3.9	4.0	4.8
S	8.0	7.9	6.4	4.9	6.8
SSW	10.6	11.3	8.7	6.4	9.3
SW	10.4	11.6	9.0	8.1	9.8
WSW	10.0	9.0	8.6	9.2	9.2
W	9.0	6.9	7.9	9.7	8.4
WNW	7.5	5.3	7.0	8.6	7.1
NW	7.7	4.8	7.9	9.9	7.6
NNW	7.4	5.0	8.2	9.6	7.6
N	6.4	4.5	8.1	8.7	6.9

자료 : **기상연보**(1987년 1996년), **기상청**

<표 2-5> **천기일수**

구 분	눈	안 개	서 리	결 빙	황 사	뇌 전	맑 음	갬	흐 림	비(0.1mm이상)
평균일수	4.8	19.7	3.9	62.2	3.7	10.9	112.0	144.4	108.9	92.8

자료 : **기상연보**(1987년 1996년), **기상청**


봄
여름
년간
가을
겨울
CALM
1.6
1.7
1.8
2.6
1.5
N
NNE
NE
ENE
E
ESE
SE
SSE
S
SSW
SW
WSW
W
WNW
NW
NNW
범 례
속 도
빈 도

<그림 2-1> **바람장미도**

2.2 기상재해

1. 태풍

태풍은 일종의 열대성 저기압으로서 성열도에 따라 중심 최대풍속을 17m/sec이상부터 열대성 폭풍이라 하여 사실상 태풍으로 취급하고 있으며, 이 열대성 폭풍은 가장 파괴적인 자연현상으로 남대서양과 140°W 이동의 남태평양 해역을 제외한 모든 열대해상에서 발생한다. 우리나라에 영향을 주는 것은 북서태평양에서 발생한 태풍으로 해마다 발생 수는 다르지만 평균적으로 년 25개가 발생하여 그중 2 3개가 우리나라에 영향을 미치게 된다. 태풍의 경로는 남측 해상에서 발생하여 점차로 발달하면서 일본과 중국대륙해역을 북상하면서

· 우리나라 남해안을 거쳐 동해로 통과하는 경로

· 서해를 거쳐 만주로 북상하는 경로

· 서해를 북상하는 도중 우리나라 중부지방을 횡단하여 동해로 통과하는 경로 등으로 분류된다. 이들 태풍경로 중 남해를 거쳐 동해로 통과하는 태풍이 가장 위력적이고 큰 파랑을 유발케 하는 수가 많다. 이와 같은 태풍의 경로는 비교적 규칙적인 계절별 특징이 있으나, 실제로는 이상경로 및 사행을 나타낼 때도 있으며, 대체적으로 8 10월에 빈번한 것으로 나타났다. 부산을 포함한 경남지역의 주요 태풍현황은 <표 2-6>과 같으며, 1986년에서 6년간의 우리나라에 영향을 준 태풍의 경로를 <그림 2-2>에 나타냈다.

2. 호우

호우의 기상요인은 태풍, 저기압전선, 장마전선 등을 들 수 있다. 영남일대에서는 양자강이나 동지나해 방면에서 우리나라 남부지방 혹은 대한해협

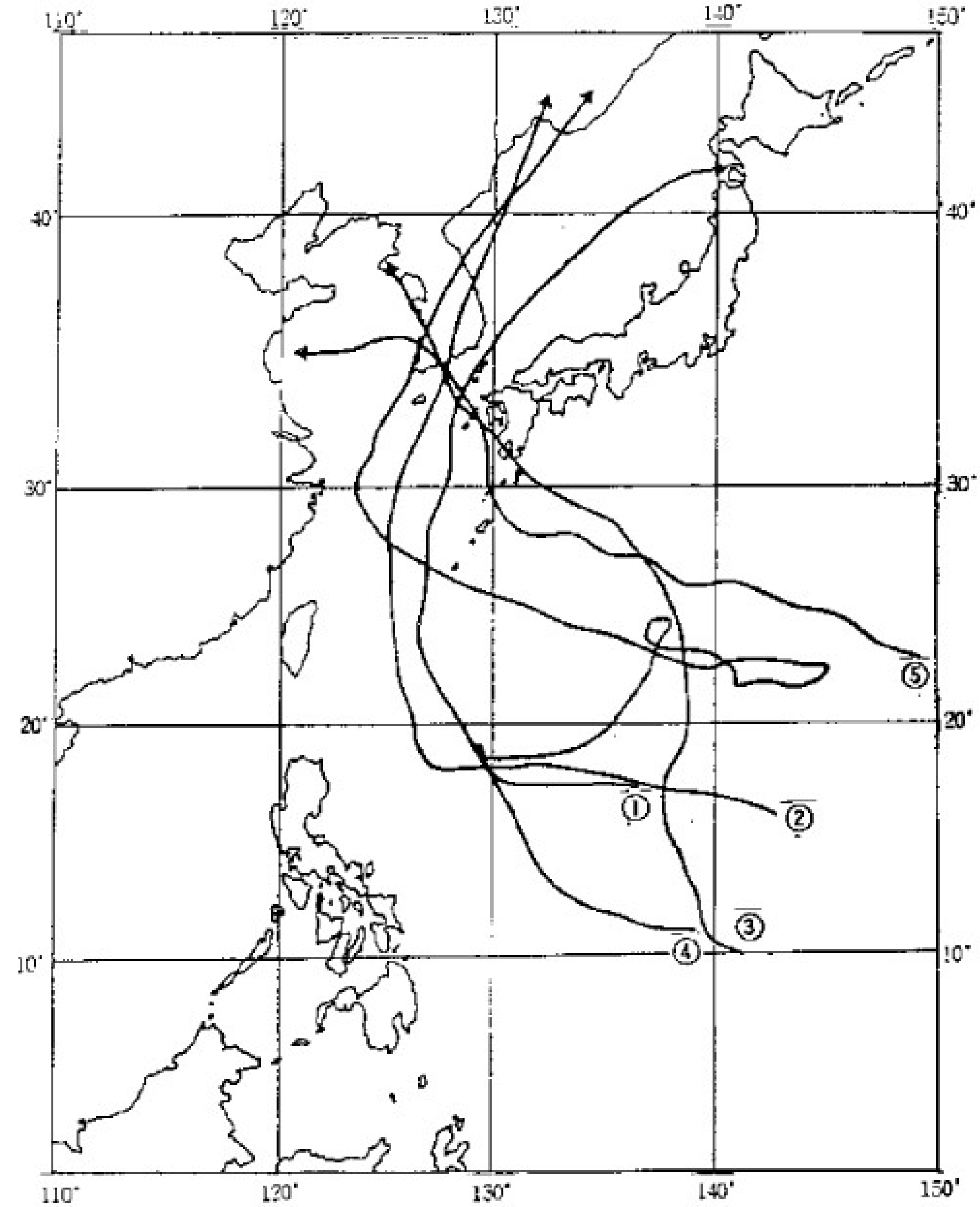
을 지나 동해나 일본 쪽으로 이동해 갈 때 저기압에 의한 많은 비가 내리게 되고, 한랭전선이 통과할 때는 가끔 뇌우와 돌풍을 일으키기도 한다.

이와 같이 저기압이나 전선의 통과에 따라 내리는 강수는 150mm정도이며, 그 이상의 강수량을 보이는 경우는 장마 전선상에서 내리는 비와 태풍의 간접적 영향이 있다. 장마전선이 남해안의 해안선을 따라 걸쳐 있을 때 부산 등 경남일대에는 짧은 시간에 많이 내리는 호우로 수해를 입는다. 또한 태풍이 멀리 동지나 해상이나 일본 오키나와 부근에 위치하여 다습한 수증기를 우리나라 쪽으로 밀어 부칠 때는 수백 mm의 강수를 내리게 한다. 집중호우는 국지성, 돌발성, 야행성의 특성을 지니고 있으며 또한 균일하게 지속되는 것이 아니고 3 4시간 정도의 주기를 가지는 것으로 나타났다. 최근 발생한 부산·경남지방의 주요 호우 현황을 보면 <표 2-7>과 같다.

<표 2-6> 주요 태풍현황

번호	태풍번호	태풍명	발생일	발생위치		중심 최저기압	중심 최대풍속	영향기간	피해구간
				N°	E°	(hPa)	(m/sec)		
①	8613	VERA	1986.8.15	17.5	30.0	925	45	8.27 8.29	전국
②	8705	THELMA	1987.7. 9	15.5	143.3	915	50	7.15 7.16	전국
③	8911	JUDY	1989.7. 9	16.5	137.7	940	50	7.28 7.29	영호남, 경기, 충청
④	9109	CATILIN	1991.7.22	12.8	139.0	940	40	7.28 7.30	경남북,부산,전남,제주
⑤	9112	GLADYS	1991.8.15	23.5	148.7	965	30	8.22 8.26	영호남,충청,제주
⑥	9306	PERCY	1993.7.28	23.5	129.2	975	30	7.29 7.30	부산,인천,경기,충남북
⑦	9307	ROBYN	1993.8. 2	10.0	146.0	940	43	8.8 8.11	부산,경남북,충남북 광주,강원,전남
⑧	9429	SETH	1994.10.2	12.0	143.0	910	55	10.10 12	전국
⑨	9503	FAYE	1995.7.16	18.0	141.0	950	40	7.22 7.24	제주,경남,전남

자료 : 기상연보(1987년 1996년), 기상청



<그림 2-2> **태풍의 진로**

<표 2-7> 주요 호우현황

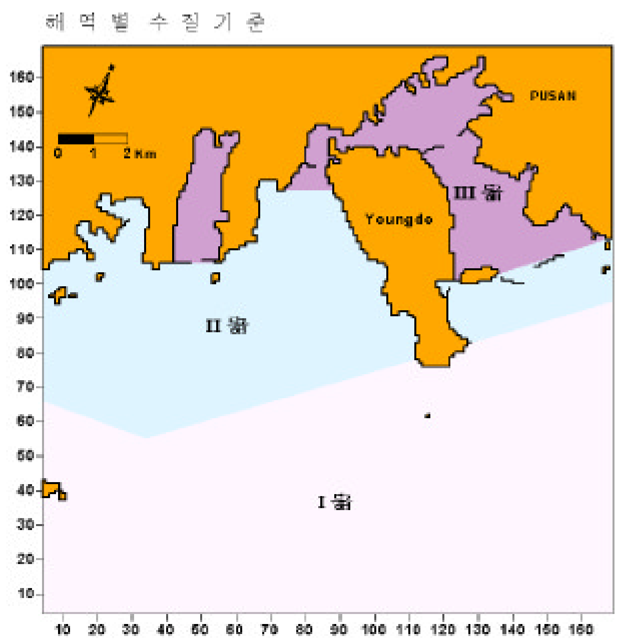
기 간	호우지역	1일 최다강수량(mm)	호우원인	비고
‘86. 6.23 25	전국	부산 152.2 울산97.2	장사전선,태풍(Nancy)	
‘87. 8.15 16 ‘87. 8.28 30	전국(경북지역제외)	부산 135.7 울산 197.7	저기압,강우전선	
‘88. 8.16	경북,경남	울산 122.7	장마전선	
‘89. 7.25 27	경남	부산140.5 울산 56.2	장마전선,태풍(Judy)	
‘90. 7.14	전국	부산 79.4 울산103.2	장마전선	
‘91. 4.17 18	경남해안	울산 137.8	저기압	
‘91. 8.22 26	전국	부산 439.0 울산417.8	태풍(Galdys)	
‘93. 8.10 20	전국	부산129.5 울산 208.3	태풍(Robyn),저기압	
‘95. 6.3	전국	부산 126.4	저기압	

자료 : 기상연보(1987년 1996년), 기상청

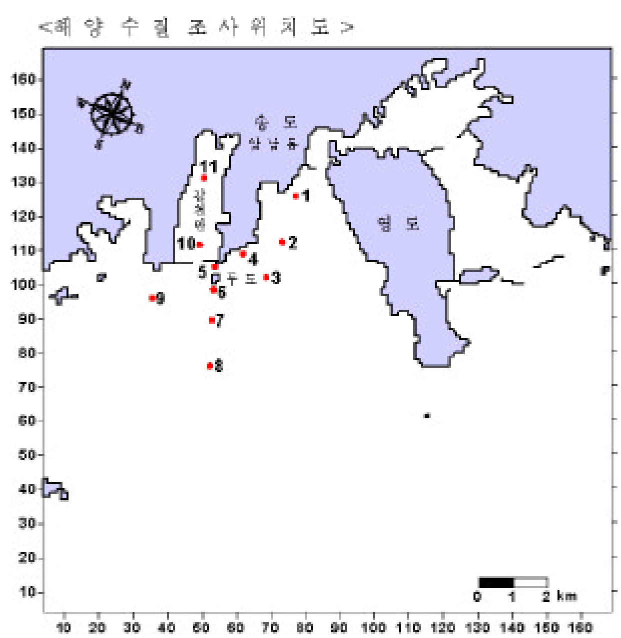
2.3 해양수질

2.3.1 연안해역 등급 및 조사방법

감천만 연안의 수질등급은 <그림 2-3>에 표시한 바와 같이 Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ등급으로 지정되어 있다. 해양수질의 조사는 부산광역시에서 중앙하수처리장 건설사업을 위하여 해양수질을 조사한 결과자료를 이용하였다.[2)] 이 조사에서 수행된 조사지점의 위치는 <그림 2-4>에 나타낸 바와 같이 중앙하수처리장 건설 사업지구 주변 인접 영향권의 해양수질을 파악하기 위하여 방류구를 중심으로 반경 5km인 내외만의 11개 지점으로 구성하였으며 조사지점의 위도와 경도는 <표 2-8>에 표시하였다.



<그림 2-3> **해역별 수질기준**



<그림 2-4> **해양수질조사도**

그리고 각 조사지점에 대하여 표수층, 심수층에 대한 조사를 실시하였다. 조사해역의 등급별 지정범위는 사하구 다대동 거북섬 남단에서 서구 암남동 남단을 연결한 안쪽 해면, 그리고 서구 암남동 송도 거북섬 동북측의 돌출부에서 영도구 남항동 영도여자상업고등학교 서단을 연결한 안쪽해면을 Ⅲ등급으로 하며 부산시 서구 암남동 남단에서 정남방으로 3해리되는 지점과 영도구 영도남단을 연결한 안쪽해면을 Ⅲ등급으로 하며 부산시 서구 암남동 남단에서 정남방으로 3해리되는 지점과 영도구 영도남단을 연결한 안쪽해면 중 Ⅲ등급을 제외한 해면을 Ⅱ등급 해역으로 분류한다. 그리고 Ⅱ, Ⅲ등급을 제외한 해면을 Ⅰ등급 해역으로 지정하고 있다.

<표 2-8> 해양수질 조사지점의 위치

구분	채취지점			비고
	방향	위도	경도	
S- 1	방류구 중심 북동측	35°04′00″	129°02′00″	송도해수욕장 외측
S- 2	방류구 중심 북동측	35°03′30″	129°02′00″	송도해수욕장 외측
S- 3	방류구 중심 동측	35°03′00″	129°02′00″	연안 외측
S- 4	방류구 중심 북동측	35°03′12″	129°01′18″	연안 외측
S- 5	방류구 중심 남측	35°02′54″	129°00′54″	방류구 방향 내측
S- 6	방류구 중심 남측	35°02′35″	129°01′00″	방류구 방향
S- 7	방류구 중심 남측	35°02′00″	129°01′00″	방류구 방향
S- 8	방류구 중심 남측	35°00′54″	129°01′00″	부산항계 외측
S- 9	방류구 중심 남서측	35°02′00″	129°00′00″	다대포거북선 남측
S- 10	방류구 중심 북서측	35°03′06″	129°00′28″	감천만 내측
S- 11	방류구 중심 북서측	35°04′00″	129°00′14″	감천만 내측

2.3.2 해양수질

환경정책기본법 시행령 제2조에서 밝히고 있는 해역의 등급별 환경기준은 <표 2-9>에 나타낸 바와 같고 조사해역의 11개의 조사지점에서 표수층과 심수층으로 구분하여 조사된 해양수질의 결과중에서 평균 COD 농도 분포를 <그림 2-5>에 나타낸다. 해양수질의 각 항목별로 분석된 특징 및 경향은 다음과 같이 정리될 수 있다.

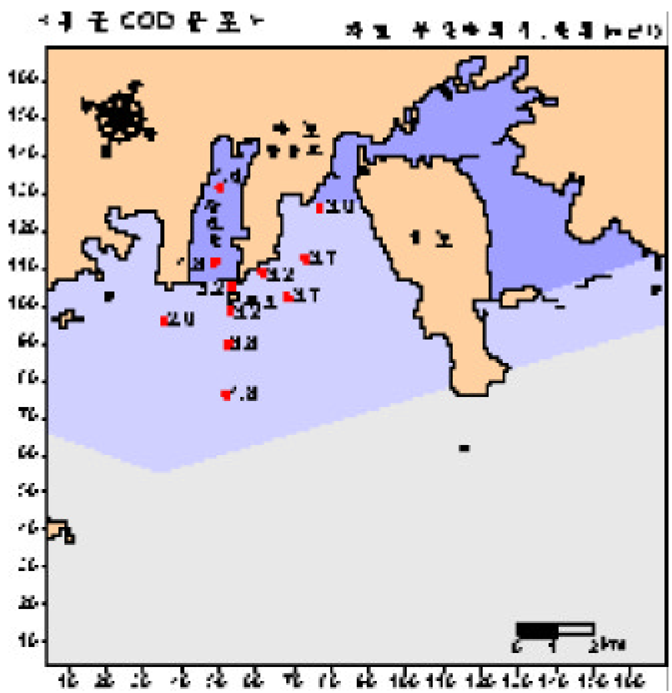
(1) pH

수소이온 농도지표인 pH는 조사기간동안 전지점을 통해 8.0 8.6의 범위로 평균값 8.35의 값을 나타내었다. 지점별 평균 분포특성을 살펴보면 송도해수욕장이 위치한 S-1에서 S-4까지의 수역은 8.3의 수준을 나타내었고, 방류구 예정지 방향인 S-5에서 S-8까지의 수역은 8.5, 그리고 감천만 수역은 8.0으로 대체로 비슷한 경향을 나타내었다.

(2) 화학적 산소 요구량 (COD)

수질의 유기오탁의 지표인 COD는 춘계에 0.24 3.80 ㎎/ℓ로 평균값 1.54의 값을 나타내었다. 지점별로는 송도해수욕장이 위치한 S-1 S-3이 3.14 3.4 ㎎/ℓ로 가장 높았으며 감천만 내역을 제외한 어장이 위치한 대부분의 지역은 0.4 2.6 ㎎/ℓ범위를 나타내었다. 각 지점별로 S-1, S-3, S-4, S-5, S-8, S-11지역의 표수층이 심수층에 비해 다소 높은 분포를 보이고 있으며 전 해역 대부분은 2등급에 해당하는 수질이었으며, 송도해수욕장 부근의 S-1에서 S-3까지의 수역은 유기오탁물에 오염되어 3등급 수질을 나타내었다. 그리고 감천만 내역은 간헐적으로 COD가 1 ㎎/ℓ이하로서 양호

한 수질을 나타내는 것으로 부산광역시의 수질측정망 자료에서 확인되었는데 1996 1998년의 부산항 수질오염도조사결과서에 의하면 감천항내의 COD는 0.8 4.9 ㎎/ℓ의 농도변화를 보였고 수질변화의 주기성은 없는 것으로 보인다. 유기물 및 영양염류 항목의 계절적 차이는 오염부하량 및 해양생물의 생육과 연관되는 변화로 추정된다.



<그림 2-5> 평균 COD 분포

(3) 용존 산소량 (DO)

전해역의 DO분포범위는 춘계에 9.4 10.8 ㎎/ℓ이며 평균값은 9.6 ㎎/ℓ이었다. 하계의 DO분포범위는 6.4 10.5 ㎎/ℓ이며 동계에는 9.9 12.6 ㎎/ℓ이었다. 전 지점별로 대체로 유사한 경향을 나타내고 표수층과 심수층의 전반에 걸쳐서 산소포화율이 95%이상을 유지하고 있다.

(4) 부유물질량 (SS) 및 탁도

부유물질은 전체 조사기간에 걸쳐 1 16 mg/ℓ의 분포범위로 춘계 평균값은 10.4 mg/ℓ를 나타내었다. 지점별로는 송도 해수욕장 부근 수역이 탁도가 높은 편으로 나타났으며 세키 디스크를 이용하여 측정된 투명도는 2.1 3.4를 나타내어 부유물질과 관련된 항목의 수질은 비교적 양호한 편이었다.

(5) 총질소

조사해역에서 춘계 총질소의 농도범위는 1.4 2.4 mg/ℓ로 나타났고 하계 농도범위는 1.09 3.15 mg/ℓ로, 그리고 동계 농도범위는 0.41 1.14 mg/ℓ로 조사되었다. 이는 조사해역에 지정되어 있는 2등급 해역수질인 0.1 mg/ℓ를 상당히 초과하는 값이다. 하계 총질소의 분석결과는 춘계와 동계의 분석결과 보다 대체로 높은 농도를 나타내어 계절적 편차를 보였다. 서구지역에서 발생하는 하수가 현재 처리되지 않고 해역으로 유입되고 여름철에 생활과 위락활동으로 물사용량이 늘기 때문인 것으로 보이는데 하수처리장이 완공되면 크게 개선될 수질항목으로 예상된다.

(6) 총인

조사해역에서 춘계 총인의 농도범위는 ND 0.009 mg/ℓ를 나타내었고 하계 농도범위는 ND 0.024 mg/ℓ로, 그리고 동계 농도범위는 0.012 0.046 mg/ℓ로 조사되었다. 2등급 해역수질에 해당하는 총인의 농도기준은 0.015 mg/ℓ이므로 춘계보다 높은 농도를 나타내는 하계와 동계에는 3등급 해역수질을 보였다. 여름철 농도의 증가는 생활용수량의 증가와 송도 해수욕장의 위락활동에 관련이 있는 것으로 예상되며 해역으로 유입되는 하수의 생물학적 처리와 고도처리가 시행되면 장래에 개선될 수질항목이다.

(7) 시안

조사해역에서 해수중의 시안을 조사한 결과 하계와 동계의 조사시점에는 모두 ND로서 나타나 검출되지 않았으며 춘계에만 두도남방의 해역을 중심으로 0.01 0.03 ㎎/ℓ의 농도범위로서 오염상태가 조사되었다. 본 조사에 사용한 수질오염공정시험법에서 시안의 유효측정농도는 0.01 ㎎/ℓ이상이며 인근해역에서 검출보고가 없었던 점으로 미루어 춘계에 일시적 오염이 있었던 것으로 보이며 앞으로 지속적인 감시가 필요하다. 시안오염은 대부분 산업폐수에 의한 것이며 관련오염원으로는 도금처리폐수, 유기합성폐수, 가스제조폐수, 연소로 배기세정폐수 등이 있다.

(8) 노르말헥산 추출물질

해수 중의 유분의 함량을 나타내는 노르말헥산 추출물질은 해역의 수질환경기준에서는 검출되어서는 안되는 수질항목인데 전체 조사기간에 걸쳐 조사해역 전반에서 0.05 2.0 ㎎/ℓ의 농도수준을 보이고 있다. 부산항에 출입하는 선박으로부터 유출되는 유분이 주종을 이룰 것으로 예상되는 적절한 관리대책이 필요한 항목이다.

(9) 중금속

조사해역에서 춘계 해수 중의 중금속을 조사한 결과 카드뮴, 납, 구리, 비소, 수은, 6가크롬은 검출되지 않았다. 다만 아연이 0.009 0.028 ㎎/ℓ의 농도범위로서 존재하는 것으로 조사되었는데 생태계에 미치는 영향은 거의 없는 수준이다. 하계와 동계 해양수질의 중금속 분석결과 카드뮴과 아연이 적은 값으로 검출되었는데 카드뮴과 아연의 해역 수질환경기준이 각각 0.01 ㎎/ℓ와 0.1 ㎎/ℓ이하이므로 해역의 수질환경기준 중 중금속 관련항목은 모두 만족하는 것으로 나타났다.

(10) **유기인**

조사해역에서 춘계, 하계 그리고 동계에 시료를 채취하여 분석한 결과 모두 검출되지 않았다. 유기인의 검출은 일반적으로 농약의 잔류량을 의미하는데 조사해역은 잔류농약의 영향을 전혀 받지 않는 것으로 판단된다.

(11) **폴리클로리네이티드비페닐**

조사해역에서 춘계, 하계 그리고 동계에 시료를 채취하여 분석한 결과 모두 검출되지 않았다. 폴리클로리네이티드비페닐은 보존성이 높은 물질인데 수질과 저질에서 모두 검출되지 않은 것은 조사해역이 본 항목에 대하여 상당기간 동안 직접적인 오염이 없었음을 보이는 것으로 판단된다.

이해역의 이러한 수질인자들은 <**표** 2-10>**과 같이 정리될 수 있다.**

<표 2-9> 해역의 등급별 수질환경기준

<table>
<tr><th rowspan="2">등급</th><th colspan="9">기 준</th></tr>
<tr><th>수소이온농도 (pH)</th><th>화학적산소요구량 (COD)</th><th>용존산소량 (DO) (%)</th><th>부유물질량 (SS) (mg/l)</th><th>대장균군수 (MPN/ 100ml)</th><th>노말핵산추출물질 (유분) (mg/l)</th><th>총질소 (mg/l)</th><th>총인 (mg/l)</th><th>무기물질등 (mg/l)</th></tr>
<tr><td>Ⅰ</td><td>7.8 8.3</td><td>1이하</td><td>포화율 95이상</td><td>10 이하</td><td>200 이하</td><td>검출되어서는 안됨</td><td>0.05 이하</td><td>0.007 이하</td><td rowspan="3">Cr:0.05이하
As:0.05이하
Cd:0.01이하
Pb:0.1이하
Zn:0.1이하
Cu:0.02이하
CN,유기인,Hg,PCB:검출되어서는 안됨</td></tr>
<tr><td>Ⅱ</td><td>6.5 8.5</td><td>2이하</td><td>포화율 85이상</td><td>25 이하</td><td>1000 이하</td><td>검출되어서는 안됨</td><td>0.1 이하</td><td>0.015 이하</td></tr>
<tr><td>Ⅲ</td><td>6.5 8.5</td><td>4이하</td><td>포화율 80이상</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>0.2 이하</td><td>0.03 이하</td></tr>
</table>

비고) 1. DO를 농도로 표시하는 경우 등급Ⅰ은 6mg/l,등급Ⅱ와 Ⅲ은5mg/l 이상이어야 한다.
2. 등급Ⅰ은 수산생물의 서식, 양식 및 산란에 적합한 수질을 말한다.
3. 등급Ⅱ는 해수욕등 해양에서의 관광 및 여가선용과 등급Ⅰ외의 수산생물에 적합한 수질을 말한다.
4. 등급Ⅲ은 공업용수, 선박의 정박등 기타 용도로 이용되는 수질을 말한다.
5. 총질소는 NO2-N, NO3-N, NH3-N의 합계를 말한다.
6. 총인은 PO4-P의 형태를 말한다.

< 표 2-10 > 춘계 해양수질 분석결과

조사지점		채취깊이	Time	Trans. (m)	Temp (℃)	pH	Sal. (‰)	탁도 (NTU)	SS (mg/l)	대장균군수 (MPN/100ml)
1	표수층	1m	13:30	2.5	15.0	8.1	33.83	3.4	12	2200
	심수층	10m			15.0	8.3	33.89	0.5	4	80
2	표수층	1m	13:15	2.7	15.0	8.4	33.83	0.7	6	80
	심수층	15m			15.0	8.4	33.90	1.5	5	50
3	표수층	1m	13:30	2.8	15.0	8.3	33.87	2.5	12	7
	심수층	15m			15.0	8.3	34.00	1.8	14	140
4	표수층	1m	13:40	2.8	15.0	8.5	33.92	1.5	16	30
	심수층	8m			15.0	8.5	33.83	1.0	13	50
5	표수층	1m	13:55	3.1	15.0	8.5	33.95	0.3	14	22
	심수층	8m			15.0	8.4	34.04	2.0	9	50
6	표수층	1m	14:05	2.8	15.0	8.5	33.92	1.6	9	30
	심수층	15m			15.0	8.5	34.02	0.4	11	26
7	표수층	1m	14:20	3.0	15.0	8.5	33.90	0.4	13	80
	심수층	15m			15.0	8.5	34.00	0.9	14	280
8	표수층	1m	14:35	3.3	15.0	8.3	33.89	0.4	9	4
	심수층	15m			15.0	8.2	34.01	1.9	7	50
9	표수층	1m	14:50	3.4	15.0	8.4	33.96	0.3	12	21
	심수층	15m			15.0	8.5	34.05	0.5	16	50
10	표수층	1m	15:15	2.5	16.0	8.3	33.74	0.3	10	60
	심수층	8m			15.3	8.2	33.87	0.8	7	60
11	표수층	1m	15:35	2.1	16.5	8.0	33.62	0.1	7	30
	심수층	8m			15.5	8.0	33.77	1.0	8	170

(계 속)

조사지점		채취깊이	DO (mg/l)	COD (mg/l)	T-N (mg/l)	T-P (㎍/l)	n-H (mg/l)	CN^- (mg/l)	유기인 (㎍/l)	PCB (㎍/l)
1	표수층	1m	9.6	3.40	1.40	9.27	4.00	0.02	N、D	N、D
	심수층	10m	10.0	1.00	1.71	N、D	1.75	0.01	N、D	N、D
2	표수층	1m	10.8	3.20	1.6	N、D	1.25	N、D	N、D	N、D
	심수층	15m	9.6	3.80	1.86	N、D	2.00	0.01	N、D	N、D
3	표수층	1m	9.4	3.64	1.25	0.48	1.75	N、D	N、D	N、D
	심수층	15m	9.3	0.60	1.28	3.99	1.50	N、D	N、D	N、D
4	표수층	1m	9.6	1.60	1.45	N、D	0.50	N、D	N、D	N、D
	심수층	8m	9.4	1.20	1.57	0.48	1.00	N、D	N、D	N、D
5	표수층	1m	9.6	1.20	1.58	N、D	N、D	0.01	N、D	N、D
	심수층	8m	9.4	1.08	1.21	N、D	1.73	N、D	N、D	N、D
6	표수층	1m	9.9	0.40	1.93	N、D	0.50	0.03	N、D	N、D
	심수층	15m	9.6	0.80	2.05	2.23	1.25	0.03	N、D	N、D
7	표수층	1m	9.6	2.60	1.93	2.23	0.50	0.02	N、D	N、D
	심수층	15m	9.4	3.20	2.02	N、D	1.00	0.03	N、D	N、D
8	표수층	1m	9.7	1.20	2.27	N、D	0.50	0.02	N、D	N、D
	심수층	15m	9.5	0.40	1.99	0.48	1.00	0.01	N、D	N、D
9	표수층	1m	9.4	1.20	2.11	0.48	0.50	0.02	N、D	N、D
	심수층	15m	9.4	1.40	2.40	N、D	N、D	N、D	N、D	N、D
10	표수층	1m	9.7	0.56	1.49	N、D	1.25	0.02	N、D	N、D
	심수층	8m	9.2	0.48	1.82	2.23	1.00	0.01	N、D	N、D
11	표수층	1m	10.6	0.24	2.21	N、D	1.75	N、D	N、D	N、D
	심수층	8m	9.4	0.62	1.83	N、D	1.00	0.01	N、D	N、D

<표 2-11> **하계 해양수질 분석결과**

조사지점		채취깊이	Time	Trans. (m)	Temp (℃)	pH	Sal. (‰)	탁도 (NTU)	SS (mg/l)	대장균군수 (MPN/100ml)
1	표수층	1m	13:30	4.0	21.5	8.2	31.34	0.02	16	220
	심수층	10m			20.0	8.2	32.50	0.01	7	220
2	표수층	1m	13:50	5.8	21.0	8.1	31.34	0.01	9	220
	심수층	15m			19.0	8.1	33.20	0.01	7	220
3	표수층	1m	14:10	5.5	21.2	8.1	31.36	0.01	13	280
	심수층	15m			18.9	8.1	33.31	0.01	8	280
4	표수층	1m	14:30	5.4	21.0	8.2	33.23	0.01	11	17
	심수층	8m			19.0	8.1	33.01	0.01	10	60
5	표수층	1m	14:55	5.2	21.0	8.2	31.57	0.01	13	17
	심수층	8m			18.0	8.1	33.30	0.01	9	50
6	표수층	1m	15:10	4.1	21.0	8.2	30.90	0.01	10	22
	심수층	15m			17.2	8.1	33.85	0.01	4	110
7	표수층	1m	15:20	5.5	21.7	8.2	31.18	0.00	5	80
	심수층	15m			18.5	8.1	33.73	0.00	6	90
8	표수층	1m	15:35	5.2	22.5	8.2	29.87	0.00	6	34
	심수층	15m			18.7	8.2	33.72	0.00	4	26
9	표수층	1m	15:50	3.0	21.0	8.2	31.23	0.01	11	50
	심수층	15m			17.0	8.1	34.00	0.01	6	90
10	표수층	1m	16:10	3.5	22.0	8.3	29.84	0.01	10	60
	심수층	8m			19.2	8.1	32.24	0.01	7	90
11	표수층	1m	16:30	3.1	23.0	8.4	29.75	0.01	8	50
	심수층	8m			19.2	8.1	32.12	0.01	11	30

(계 속)

조사지점		채취깊이	DO (mg/l)	COD (mg/l)	T-N (mg/l)	T-P (μg/l)	n-H (mg/l)	CN^{-} (mg/l)	유기인 (μg/l)	PCB (μg/l)
1	표수층	1m	8.5	2.63	1.34	4.50	2.00	N、D	N、D	N、D
	심수층	10m	8.2	2.11	1.53	0.76	1.75	N、D	N、D	N、D
2	표수층	1m	8.2	2.60	2.97	14.00	1.25	N、D	N、D	N、D
	심수층	15m	7.4	2.23	3.15	12.10	0.75	N、D	N、D	N、D
3	표수층	1m	7.8	1.98	2.46	4.50	1.00	N、D	N、D	N、D
	심수층	15m	7.3	2.36	3.70	21.60	0.75	N、D	N、D	N、D
4	표수층	1m	7.8	2.36	1.54	4.50	1.25	N、D	N、D	N、D
	심수층	8m	7.5	1.24	3.32	21.60	0.75	N、D	N、D	N、D
5	표수층	1m	7.7	4.71	1.73	17.80	0.75	N、D	N、D	N、D
	심수층	8m	6.9	2.23	4.29	12.10	2.00	N、D	N、D	N、D
6	표수층	1m	8.3	2.60	1.09	15.90	1.00	N、D	N、D	N、D
	심수층	15m	6.7	3.72	2.63	10.20	1.75	N、D	N、D	N、D
7	표수층	1m	8.1	3.53	1.97	8.30	0.50	N、D	N、D	N、D
	심수층	15m	7.3	1.86	3.04	4.50	0.75	N、D	N、D	N、D
8	표수층	1m	8.0	0.36	1.46	4.50	2.00	N、D	N、D	N、D
	심수층	15m	7.3	0.83	2.84	N、D	1.00	N、D	N、D	N、D
9	표수층	1m	8.0	0.99	1.98	0.76	1.00	N、D	N、D	N、D
	심수층	15m	7.7	1.30	3.89	12.10	2.00	N、D	N、D	N、D
10	표수층	1m	7.8	1.67	1.18	23.50	1.25	N、D	N、D	N、D
	심수층	8m	6.4	0.93	2.01	8.30	1.00	N、D	N、D	N、D
11	표수층	1m	10.5	1.36	0.63	44.30	0.75	N、D	N、D	N、D
	심수층	8m	7.2	1.50	1.97	12.10	1.00	N、D	N、D	N、D

<표 2-12> 동계 해양수질 분석결과

조사지점		채취깊이	Time	Trans. (m)	Temp (℃)	pH	Sal. (‰)	탁도 (NTU)	SS (mg/l)	대장균군수 (MPN/100ml)
1	표수층	1m	16:00	2.4	13.4	8.2	33.25	0.01	14	240
	심수층	10m			13.7	8.3	33.33	0.01	12	300
2	표수층	1m	15:50	2.4	14.3	8.2	33.45	0.01	5	30
	심수층	15m			14.0	8.2	33.36	0.02	8	130
3	표수층	1m	15:45	2.5	14.5	8.2	33.51	0.01	7	50
	심수층	15m			14.3	8.3	33.43	0.01	6	50
4	표수층	1m	15:35	2.5	13.7	8.2	33.38	0.01	13	240
	심수층	8m			13.9	8.2	33.35	0.01	12	240
5	표수층	1m	15:25	2.5	13.9	8.2	33.43	0.01	7	170
	심수층	8m			13.8	8.2	33.28	0.01	6	140
6	표수층	1m	15:15	2.5	13.6	8.2	33.42	0.01	4	140
	심수층	15m			13.7	8.2	33.40	0.01	6	30
7	표수층	1m	15:00	2.5	14.3	8.2	33.54	0.01	7	50
	심수층	15m			14.3	8.2	33.48	0.01	6	130
8	표수층	1m	14:45	3.5	14.3	8.2	33.32	0.01	7	50
	심수층	15m			14.5	8.2	33.45	0.01	5	80
9	표수층	1m	14:30	3.5	13.8	8.2	33.42	0.02	10	30
	심수층	15m			14.0	8.2	33.38	0.01	6	220
10	표수층	1m	14:15	3.4	12.9	8.2	33.03	0.01	12	230
	심수층	8m			12.8	8.2	32.93	0.01	12	500
11	표수층	1m	13:55	3.5	12.8	8.1	32.85	0.01	11	300
	심수층	8m			12.8	8.2	32.12	0.01	8	300

(계 속)

조사지점		채취깊이	DO (mg/l)	COD (mg/l)	T-N (mg/l)	T-P (μg/l)	n-H (mg/l)	CN^- (mg/l)	유기인 (μg/l)	PCB (μg/l)
1	표수층	1m	11.5	3.04	0.55	36.3	1.24	N·D	N·D	N·D
	심수층	10m	10.2	2.38	0.41	34.5	N·D	N·D	N·D	N·D
2	표수층	1m	12.0	5.32	0.71	19.5	N·D	N·D	N·D	N·D
	심수층	15m	10.8	4.44	0.79	40.1	0.52	N·D	N·D	N·D
3	표수층	1m	10.6	5.39	0.71	16.9	0.65	N·D	N·D	N·D
	심수층	15m	10.3	5.67	0.79	17.6	N·D	N·D	N·D	N·D
4	표수층	1m	10.7	5.69	0.70	13.9	N·D	N·D	N·D	N·D
	심수층	8m	9.9	6.37	0.69	30.7	0.88	N·D	N·D	N·D
5	표수층	1m	11.0	3.66	0.63	28.8	N·D	N·D	N·D	N·D
	심수층	8m	10.5	5.00	0.60	12.0	0.57	N·D	N·D	N·D
6	표수층	1m	10.5	6.58	0.87	13.9	N·D	N·D	N·D	N·D
	심수층	15m	10.8	4.47	0.79	13.9	0.58	N·D	N·D	N·D
7	표수층	1m	12.4	5.15	0.97	21.4	0.64	N·D	N·D	N·D
	심수층	15m	11.2	4.34	0.90	19.5	0.58	N·D	N·D	N·D
8	표수층	1m	11.1	3.90	0.88	25.1	0.95	N·D	N·D	N·D
	심수층	15m	11.6	4.42	1.11	32.6	N·D	N·D	N·D	N·D
9	표수층	1m	10.4	3.85	1.01	17.6	0.53	N·D	N·D	N·D
	심수층	15m	10.5	4.59	1.14	45.7	N·D	N·D	N·D	N·D
10	표수층	1m	12.5	3.16	0.75	17.6	0.75	N·D	N·D	N·D
	심수층	8m	11.4	3.31	0.94	17.6	N·D	N·D	N·D	N·D
11	표수층	1m	12.6	3.31	0.87	17.6	1.00	N·D	N·D	N·D
	심수층	8m	11.3	3.63	0.66	30.7	0.65	N·D	N·D	N·D

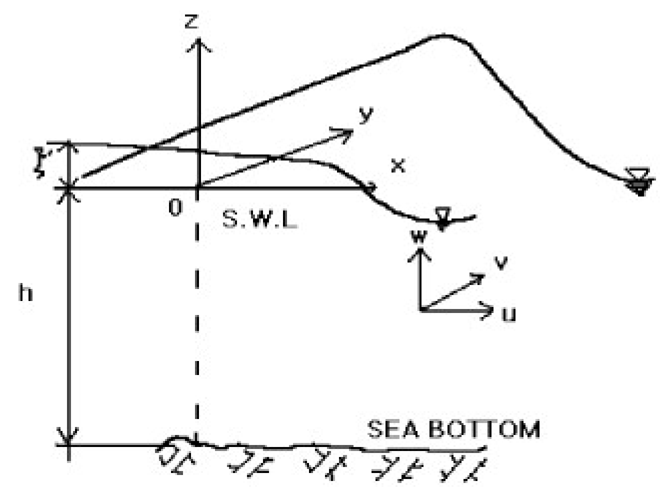
제3장 해수유동 시뮬레이션

3.1 실험내용

해수유동의 실험은 해수유동수치모델에 의한 대상 해역모형의 구축, 예측실험 및 평가의 과정으로 수행되었다. 수치모형의 현장 적용성에 대한 검증은 대상해역의 지형자료, 조석 · 조류관측자료 및 하천 유량 자료를 이용한 수치모형에 의해 대조기 유동특성을 재현하고, 실측치와의 비교 · 검토에 의해 수행되었다.

3.2 수치모형의 구성

연안해역의 유동은 <그림 3-1>과 같이 평균해면을 원점으로 하는 연직방향으로 z축을 취하고, 수면상에 x, y축을 취한 좌표상에서의 비압축성 유체에 대한 운동방적식 및 연속방정식으로 나타낼 수 있다. 여기에 해면($z=\zeta$) 및 해저($z=-h$)의 조건을 도입하여 전체해면하, 즉, ($-h \leq z \leq \zeta$)의 범위에 대해 적분함으로써, 다음과 같이 수심방향으로 평균화된 2차원 유동의 방정식으로 변환할 수 있다. 이를 2차원 단층유동모델의 기본방정식으로 사용하였다.



<그림 3-1> 좌표계 정의

$$\frac{\delta \zeta}{\delta t} + \frac{\delta}{\delta \chi}[(\zeta + h)u] + \frac{\delta}{\delta y}[(\zeta + h)v] = 0 \qquad \text{.....................(3.1)}$$

$$\frac{\delta u}{\delta t} + u\frac{\delta u}{\delta x} + v\frac{\delta u}{\delta y} - fv + g\frac{\delta \zeta}{\delta x} - A_h\left(\frac{\delta^2 u}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 u}{\delta y^2}\right)$$

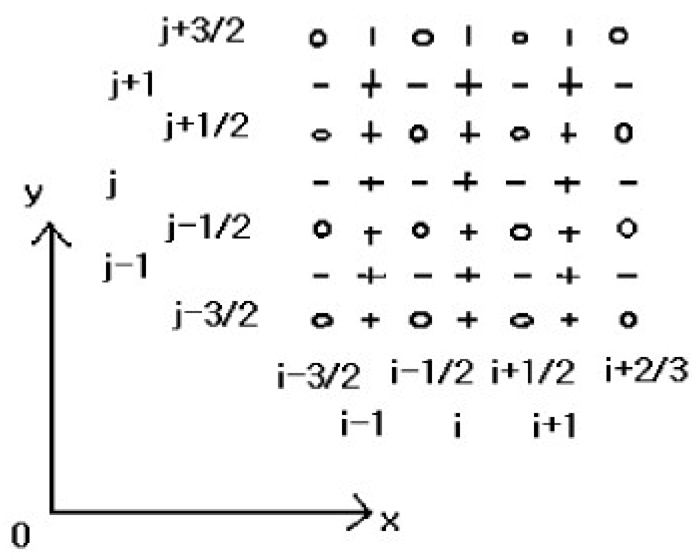
$$+ \frac{gu\sqrt{u^2 + v^2}}{(\zeta + h)\ C^2} = 0 \qquad \text{.....................(3.2)}$$

$$\frac{\delta v}{\delta t} + u\frac{\delta v}{\delta x} + v\frac{\delta v}{\delta y} + fu + g\frac{\delta \zeta}{\delta y} - A_h\left(\frac{\delta^2 v}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 v}{\delta y^2}\right)$$

$$+ \frac{gv\sqrt{u^2 + v^2}}{(\zeta + h)\ C^2} = 0 \qquad \text{.....................(3.3)}$$

여기서, u, υ, A_k **는** $-h \le z \le \zeta$ **사이에서 평균화된** x, y **방향의 유속성분**

과 수평와동점성계수를 각각 나타내며, C는 Chezy의 조도계수, f는 Coriolis 계수, ρ는 해수 밀도, g는 중력 가속도, t는 시간, h는 평균해면하의 수심이다. 식 1 3으로 나타내어지는 연속량을 차분법 또한 유한요소법에 의해 적당한 이산량으로 변환함으로써 수치해를 구할 수 있다. 이에 대한 많은 해법 중 해의 수렴성과 연산시간의 경제성 등이 탁월하여 조류 및 확산 계산에 최근 널리 이용되고 있는 ADI(Alternating Direction Implicit Method)을 사용한다.[3)]



<그림 3-2> 격자체계

우선 대상 해역을 평면적으로 <그림 3-2>에서 나타내는 바와 같이 격자분할하여, 수위(ζ), 유속(u, v), 수심(h)등을 정의하고, 점(i, j), (i+1/2, j) 및

(i, j+1/2)에 대하여 식 (3.1) (3.3)을 각각 차분화한다. ADI법에서는 시간 step을 2등분하여, 전반시간 step (n+1/2)Δt에서는 식(1)의 좌변 제 1항의 ζ, 제 2항의 u, 그리고 식(2)의 좌변 제 2항의 u(미분항은 제외), 제 5항의 ζ를 음형식으로 나타내고 나머지 항을 양형식의 이전 step값 또는 기지량으로 나타내는 다음 식과 같은 형태의 차분식을 도입하여, x방향의 i의 큰 쪽에서 작은 쪽으로 ζ와 u를 순차적으로 구하고, 이들 값을 이용하여 식(3.1)로부터 j의 작은 쪽에서 큰 쪽으로 양형식으로 v를 구한다.

$$\zeta_{i,j}^{(n+(1/2))} = -P_{i,j}\, u_{i-(1/2)}^{n+(1/2)} + Q_{i,j} \qquad \text{......................................(3.4)}$$

$$u_{i-(1/2),j}^{(n+(1/2))} = -R_{i-1}\, \zeta_{i,j}^{(n+(1/2))} + S_{i,j} \qquad \text{......................................(3.5)}$$

다음 후반의 시간 step인 (n+1)Δt에서는 식(3.1)의 좌변 1항의 ζ, 제3항의 v 및 식(3.3)의 제3항의 v(미분항은 제외) 및 제5항의 ζ를 음형식으로 나타내어 다음식과 같은 형태의 차분식을 유도함으로써, ζ, v를 y방향에 따라 j의 큰 쪽에서 작은 쪽으로 ζ와 v를 순차적으로 구하고, 이들 값을 사용하여 u를 양형식으로 구한다.

$$\zeta_{i,j}^{(n+1)} = -P_{i,j}\, v_{i,j-(1/2)}^{(n+1)} + q_{i,j} \qquad \text{.....................................(3.6)}$$

$$v_{i,j-(1/2)}^{(n+1)} = -r_{i,j-1}\, \zeta_{i,j}^{(n+1)} + S_{i,j-1} \qquad \text{.........................(3.7)}$$

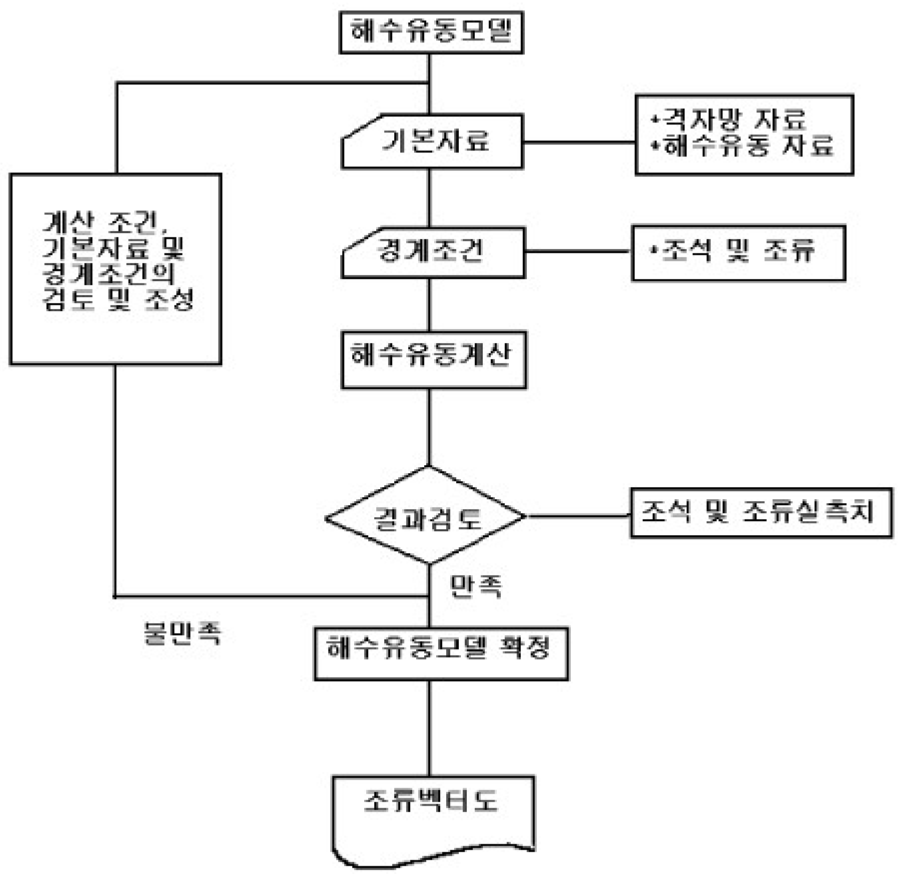
$$v_{i,j-(1/2)}^{(n+1)} = -r_{i,j-1}\, \zeta_{i,j}^{(n+1)} + S_{i,j-1} \qquad \text{.........................(3.8)}$$

여기서 $P_{i,j}$, $Q_{i,j}$, $R_{i-1,j}$, $p_{i,j}$, $q_{i,j}$, $r_{i,j-1}$, $s_{i,j-1}$은 (n+(1/2))Δt 또는 (n+1)Δt 시간 step보다 앞 단계 시각에서 결정된 기지량이다. 이러한 계산과정을 반복하여, 계산결과가 안정될 때까지 계산을 수행하면 대상해역 중앙 영역에서의 수위 및 유속을 구할 수 있다. [5] 이상의

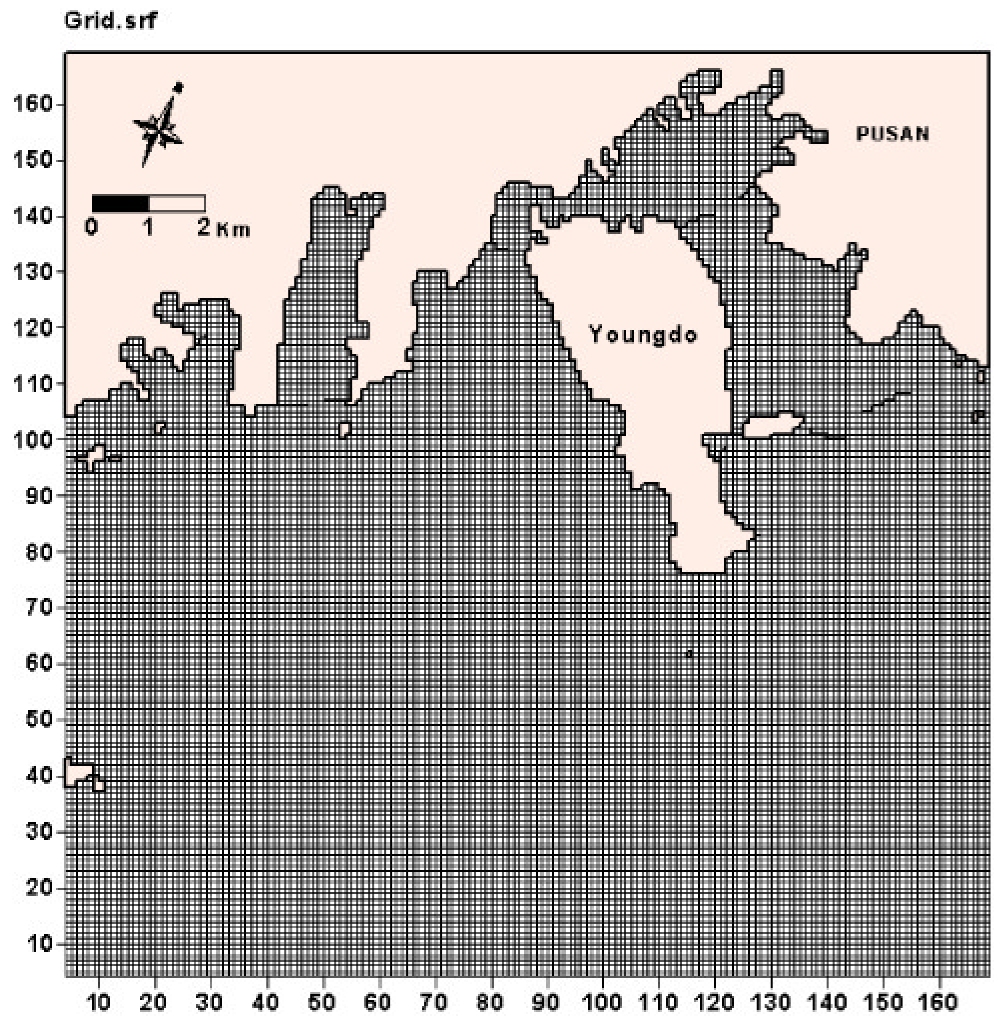
해법을 사용한 해수유동모형을 <그림 3.3>와 같은 흐름으로 구성하였다. 계산대상해역은 부산주변해역을 대상으로 하고, 계산대상해역의 격자망은 <그림 3.4>와 같이 구성하였다. 수심자료는 이 해역에 대한 수로국간행 해도(No. 228)로부터 취득하여 <그림 3.5>와 같이 입력하고 이 자료에 평균해면(M.S.L)값을 더하여 수심을 보정하였다. 계산시간간격(Δt)은 계산의 안정조건(CFL조건)을 만족하는 3sec로 하였으며, 경계조건은 개경계에서 매시간 step마다 조화상수에 의한 정현파로부터 주어지는 수위를 입력하였다. 또한 초기조건은 전체 계산영역에서 수위 및 유속을 0으로 하였다. 계산시 입력되는 각종 입력조건을 요약하면 <표3-1>과 같다.

<표 3-1> 해수유동계산을 위한 입력조건

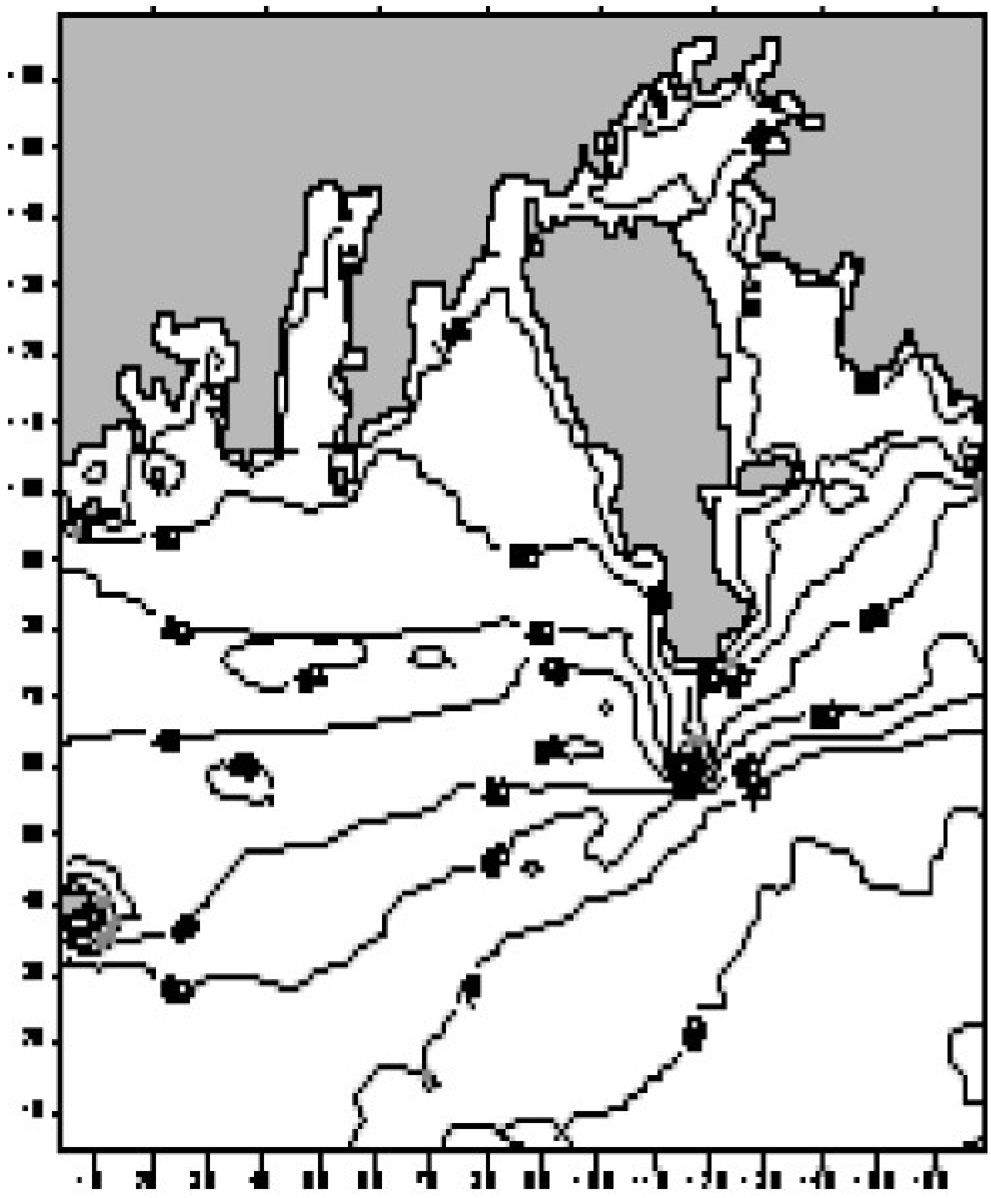
항목	입력치
격자간격 (Δx, Δy)	100m
계산시간간격(Δt)	3sec (CFL 조건 만족)
Coriolis 계수(f)	$f=2\omega\sin\Phi$, $\omega=2\pi/(24\times60\times60)$, $\Phi=35°06'N$
조도계수(C)	C=19.4 ln
경계조건	대조기 개방경계조건의 수위값을 결정
초기조건	전체 계산영역에서 수위 및 유속을 0.0으로 하여 계산시작



<그림 3-3> 유동계산의 흐름도



<그림 3-4> 대상해역의 격자망

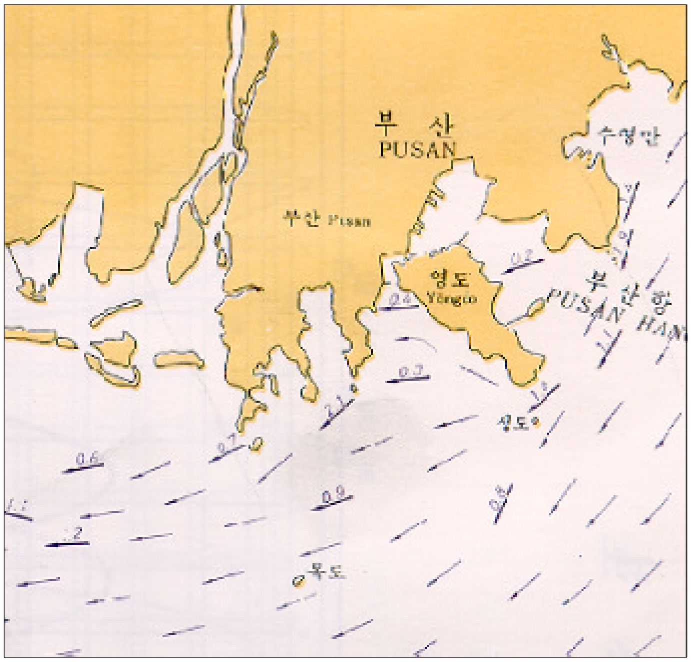


<그림 3-5> 수심도

3.3 수치실험 결과분석

수치실험의 재현성을 검증하기 위해 해양조사원에서 관측한 최대창조류 및 최대낙조류의 유속과 비교하였다.[4)] <그림 3-6>과 <그림 3-7>은 각각 해양조사원에서 관측한 조류도의 최대창조류와 최대낙조류이고, <그림 3-8>과 <그림 3-9>는 부산주변해역에서 계산한 최대창조류와 최대낙조류의 유동형태이다. 영역내의 유동형태가 거의 일치하고 있다는 것을 알 수 있다.

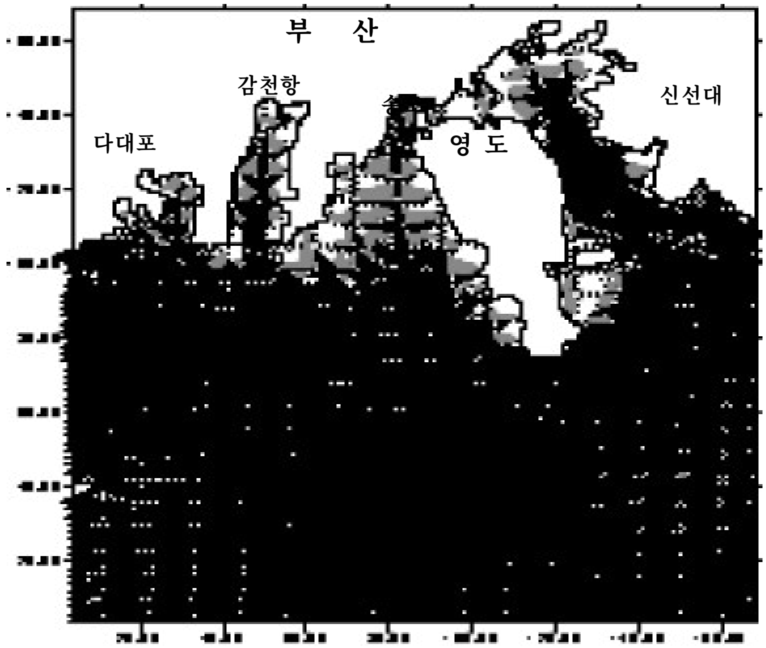
최대창조류일때는 동쪽에서 서쪽으로 조류가 흐르고 있으며, 최대낙조류일때는 서쪽에서 동쪽으로 조류가 흐르고 있다. 특히, 생도부근에서는 수심이 급격히 낮아짐에 따라 조류의 속력이 주위보다 빠르다는 것을 알 수가 있다. 뿐만 아니라 내항방파제와 조도방파제 감천항방파제등과 같이 입구가 좁아지는 해역에서도 조류의 속력이 빨라짐을 알 수 있다.



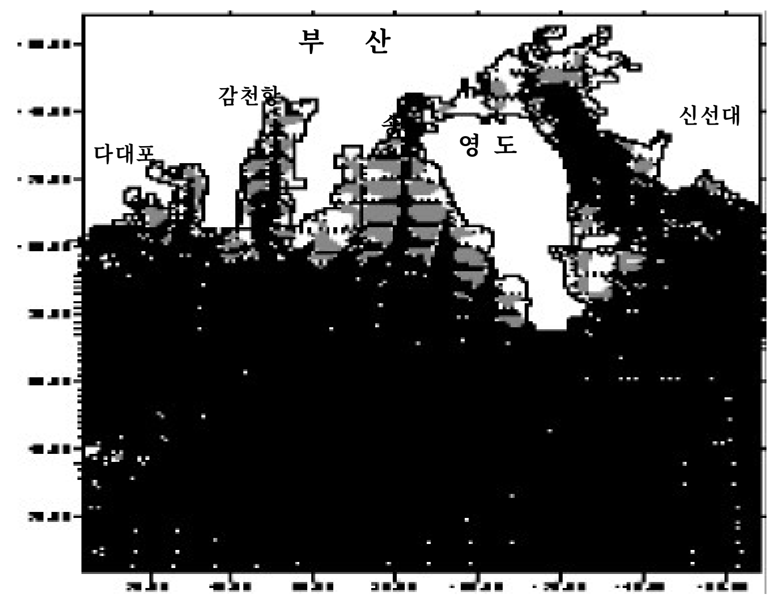
<그림 3-6> 최대창조류

<그림 3-7> 최대낙조류

부 산



<그림 3-8> 계산한 최대창조류



<그림 3-9> 계산한 최대낙조류

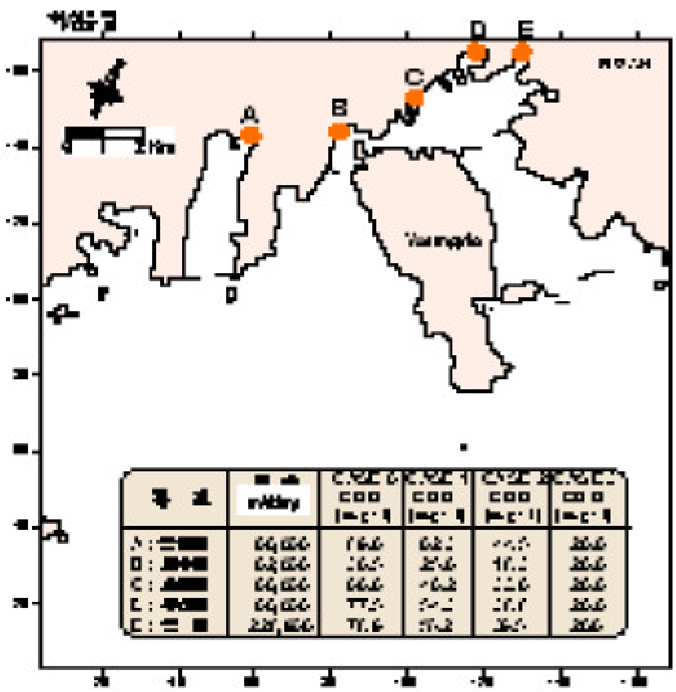
제4장 해양환경 시뮬레이션

해수유동 시뮬레이션에서 얻어진 유속 자료를 이용하여 해양오염물의 확산양태를 오염물 확산 시뮬레이션을 실시하여 개발의 영향을 평가하였다.

4.1 오염확산모델

해양 오염확산에 대하여서는, 계산의 초기시각에 있어서 항내부의 하천에서 부하되는 확산물질 및 항내의 오염물질이 많이 배출되고 있는 한 점을 선정하여 계속적으로 오염물질을 배출시켜서, 60주기의 조석변동에 따라 항내외에 유동 확산한 후, 항내에 잔류한 확산물질의 농도를 기본으로 하여 정량적으로 평가하는 방법을 사용했다.

즉, 대상수역내의 유입하천인 감천천, 보수천, 초량천, 부산천 및 동천에서 처리되지 않은 생활하수 및 각종폐수가 수역내에 유입될 경우의 영향을 COD(Chemical Oxygen Demanded)농도 분포를 계산하여 알아보고, 그 부하량을 70%, 50%로 경감하였을 경우 및 하수처리 시설이 정비될 경우의 배출기준인 COD농도 20 mg/l(보통 15 20 mg/l)로 해역에 유입될 경우의 오염확산 시뮬레이션 하수정비가 수역의 수질개선에 얼마나 영향을 미치는가에 대하여 정량적으로 분석한다. 각하천에서 처리되지 않은 경우의 COD 농를 Case0로 설정하고 그 부하량을 70% 경감한 경우를 Case1, 50%로 경감한 경우를 Case2로 하였으며 하수처리시설이 정비되었다는 가정하에 Cod 농도가 각 하천 공히 20mg/l일 경우를 Case3로 설정하여 각 Case에 대하여 각각 해양오염확산 시뮬레이션을 실시하였다. <그림 4-1>에 각 Case 설정에 따른 유입하천의 COD 부하량을 나타낸다.



<그림 4-1> 유입하천의 부하량

■ 확산계산의 기초식

· 이류확산방정식

$$\frac{\partial}{\partial t}[(h+\zeta)]+\frac{\partial}{\partial x}[(h+\zeta)UC]+\frac{\partial}{\partial y}[(h+\zeta)VC]$$

$$=\frac{\partial}{\partial x}[(h+\zeta)\ D_x\frac{\partial C}{\partial x}]+\frac{\partial}{\partial y}[(h+\zeta)\ D_y\frac{\partial C}{\partial y}]+\ q_m \qquad (4.1)$$

여기서, C : 수심평균농도

D_x, D_y :분산계수

q_m :유입부하량

4.2 수치실험 및 분석

유동해석결과의 유속 자료를 이용하여 <그림 3-4>에 나타난 지형에 대하여 계산영역을 설정하여 오염물 확산 계산을 실시하였다. 오염물의 확산계산에는 Komatsu et al.[5)]에 의해서 개발 검증되고, Komatsu et al[6)]에 의해서 확인된 모델이 사용되었다. 오염물 확산의 계산조건은 다음에 표시하는 바와 같다.

계산조건 및 경계조건

수평격자간격 $\Delta x = \Delta y = 100m$

시간격자간격 $\Delta t = 60sec.$

분산계수 $D_x, D_y : 1.0 \times 10^4 \ cm^2/\sec.$

개방경계에 있어서 경계조건

창조시 C=0.0

낙조시 $\frac{\partial^2 C}{\partial y^2} = 0$

먼저 오염물 확산 계산의 초기 조건으로서는 <그림 4-1>에 나타난 바와 같이 상대적으로 인구의 밀집지역에 속하는 항내에서 계속적으로 생활오수 등이 발생하여 하천을 통하여 항내에 유입되고 있는 점을 감안하여 각 유입하천점을 선정하여 각 Case에 따른 부하 농도를 일정하게 유지하여 계산을 실시하였는데, 조석의 주기변화에 따른 오염물질의 확산 양태를 알아보기 위하여 해수유동 계산에서 저장해 두었던 조류 Data를 이용하여 60주기까지 계산을 행하였다.

4.2.1 Case 0(처리되지 않은 생활하수의 유입의 경우)

해역의 유입하천인 감천천(COD 농도 89.0mg/l), 보수천(COD 농도 36.5mg/l), 초량천(COD 농도 66.0mg/l), 부산천(COD 농도 77.5mg/l), 동천(COD 농도 78.9mg/l)에서 처리되지 않은 생활하수가 그대로 수역에 유입될 경우의 오염물확산 시뮬레이션 결과를 <그림 4-2> 및 <그림 4-3>에 나타낸다.

4.2.2 Case 1(오염부하량을 70%로 경감하였을 경우)

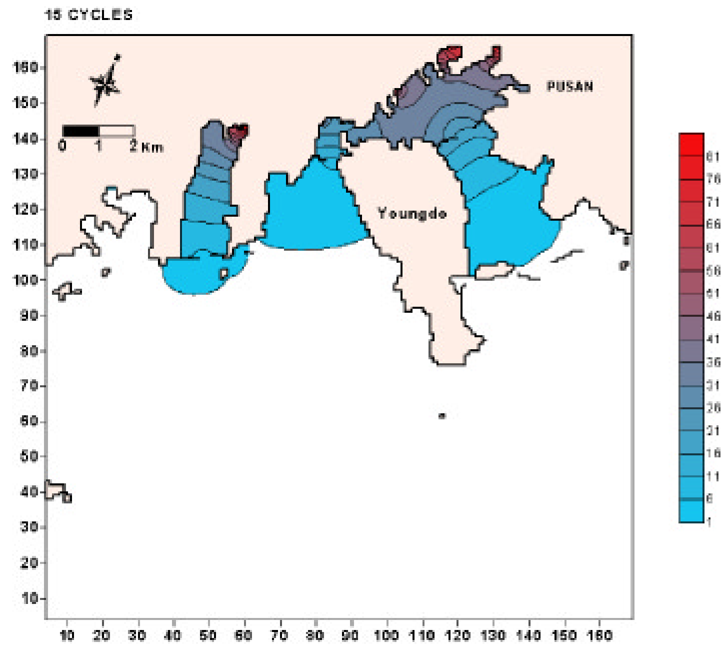
해역의 유입하천의 농도를 70%로 경감하였을 경우, 감천천(COD 농도 62.3mg/l), 보수천(COD 농도 25.6mg/l), 초량천(COD 농도 46.2mg/l), 부산천(COD 농도 54.3mg/l), 동천(COD 농도 55.2mg/l)에서 수역에 오염물이 유입될 경우의 오염물확산 시뮬레이션 결과를 <그림 4-4> 및 <그림 4-5>에 나타낸다.

4.2.3 Case 2(오염부하량을 50%로 경감하였을 경우)

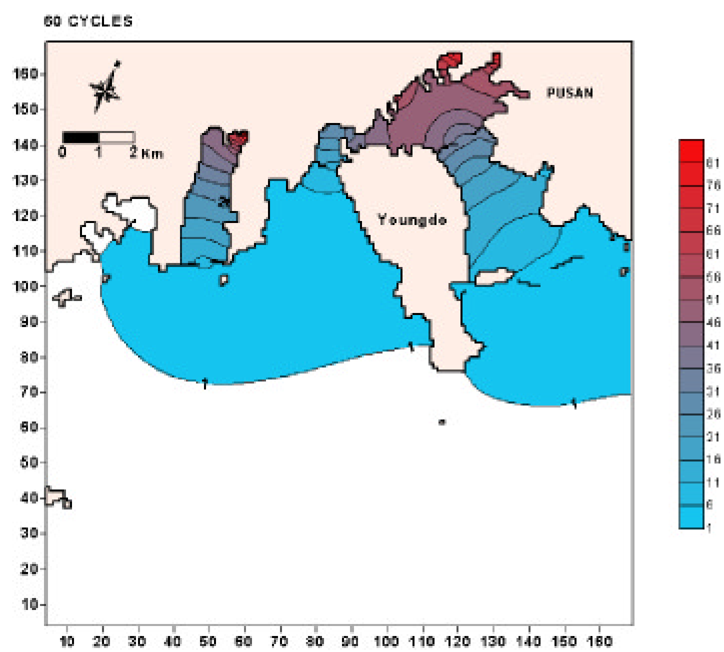
해역의 유입하천의 농도를 50%로 경감하였을 경우, 감천천(COD 농도 44.5mg/l), 보수천(COD 농도 18.3mg/l), 초량천(COD 농도 33.0mg/l), 부산천(COD 농도 38.8mg/l), 동천(COD 농도 39.5mg/l)에서 수역에 오염물이 유입될 경우의 오염물확산 시뮬레이션 결과를 <그림 4-6> 및 <그림 4-7>에 나타낸다.

4.2.4 Case 3(처리된 생활하수 유입의 경우)

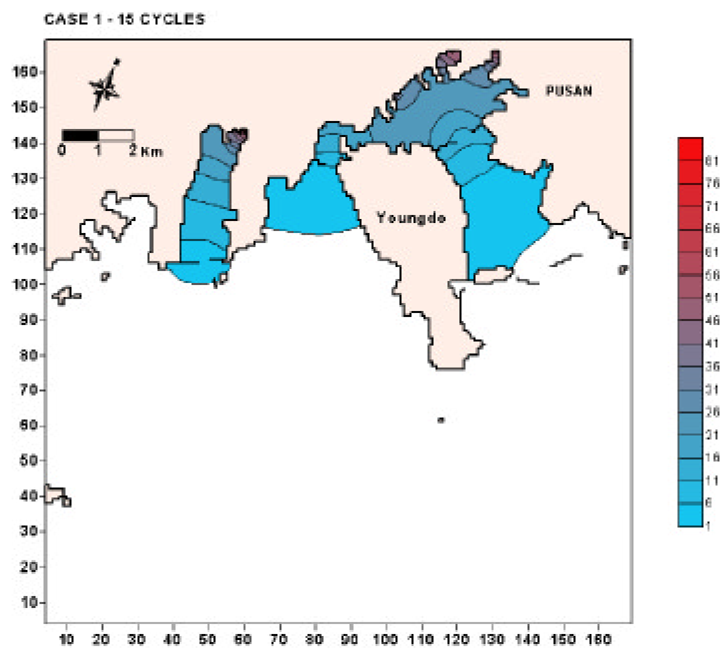
해역의 유입하천인 감천천(COD 농도 20.0mg/l), 보수천(COD 농도 20.0mg/l), 초량천(COD 농도 20.0mg/l), 부산천(COD 농도 20.0mg/l), 동천(COD 농도 20.0mg/l)에서 처리된 생활하수가 수역에 유입될 경우의 오염물확산 시뮬레이션 결과를 <그림 4-8> 및 <그림 4-9>에 나타낸다.



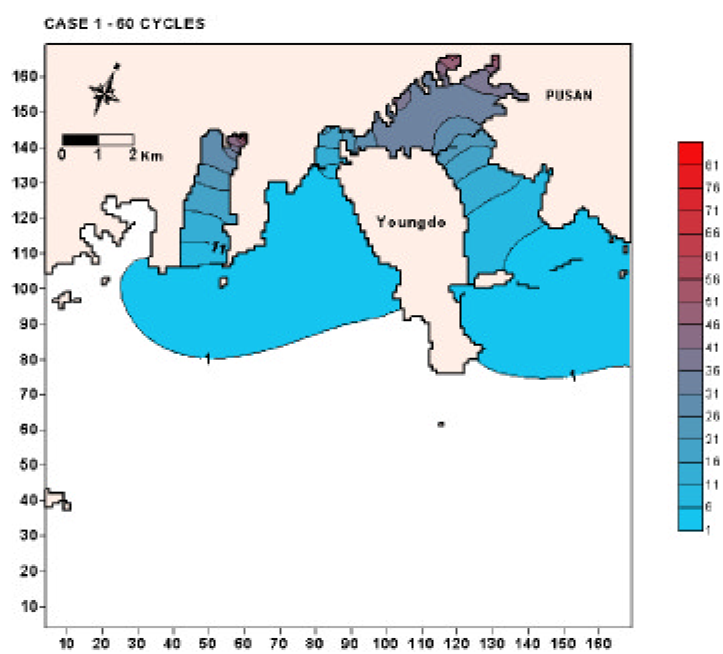
<그림 4-2> Case 0 - 15주기후의 오염물확산 결과



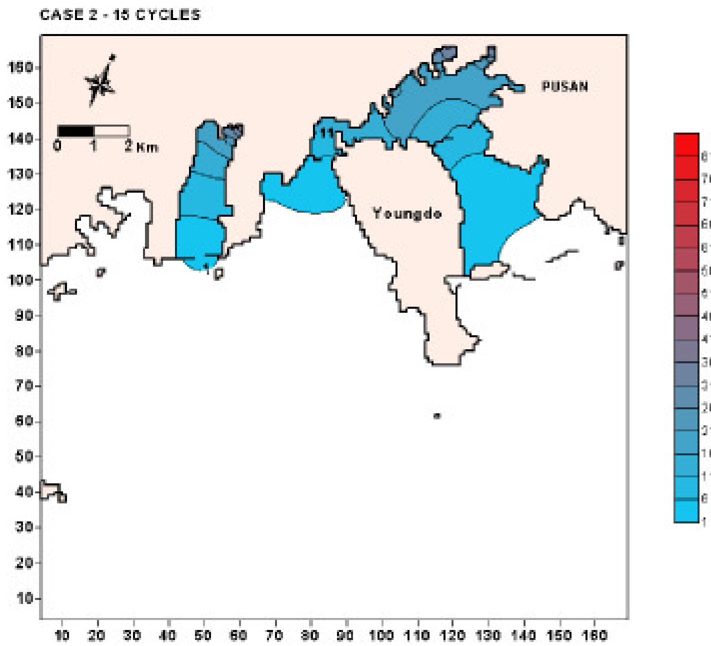
<그림 4-3> Case 0 - 60주기후의 오염물확산 결과



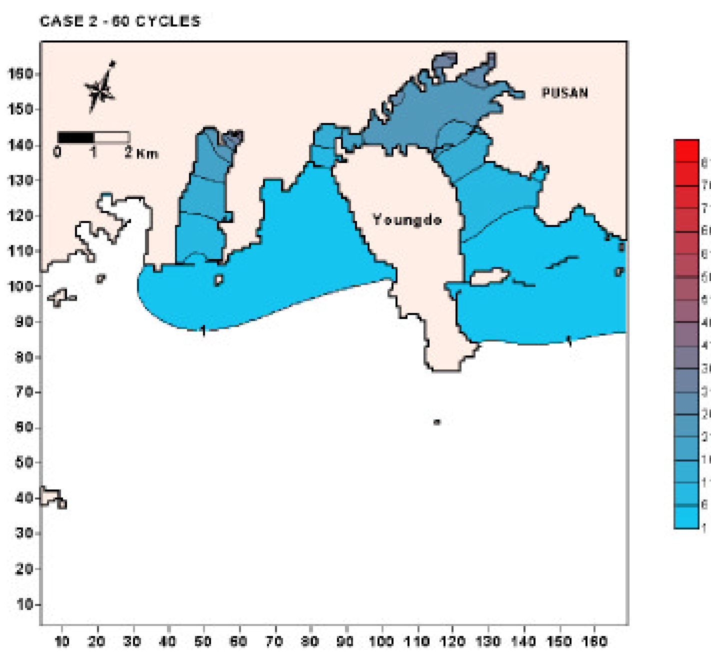
<**그림** 4-4> Case 1 - 15**주기 후의 오염물 확산 결과**



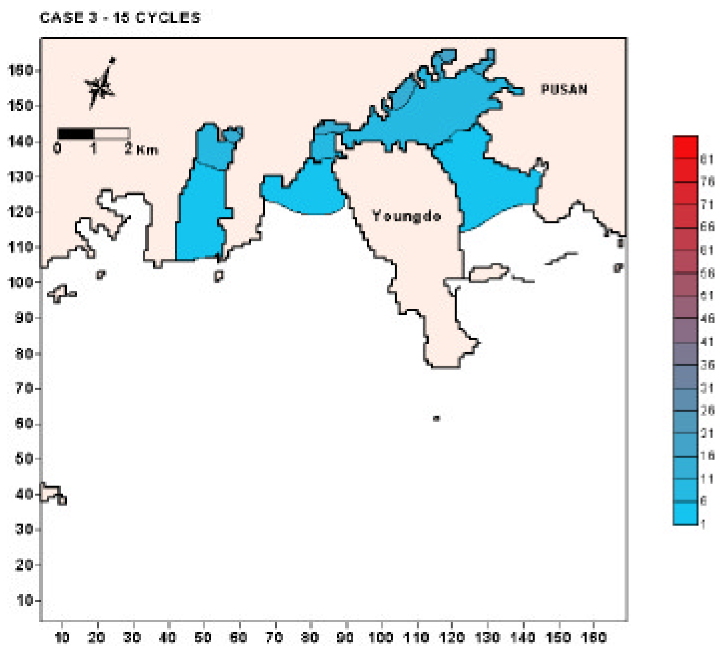
<**그림** 4-5> Case 1 - 60**주기 후의 오염물 확산 결과**



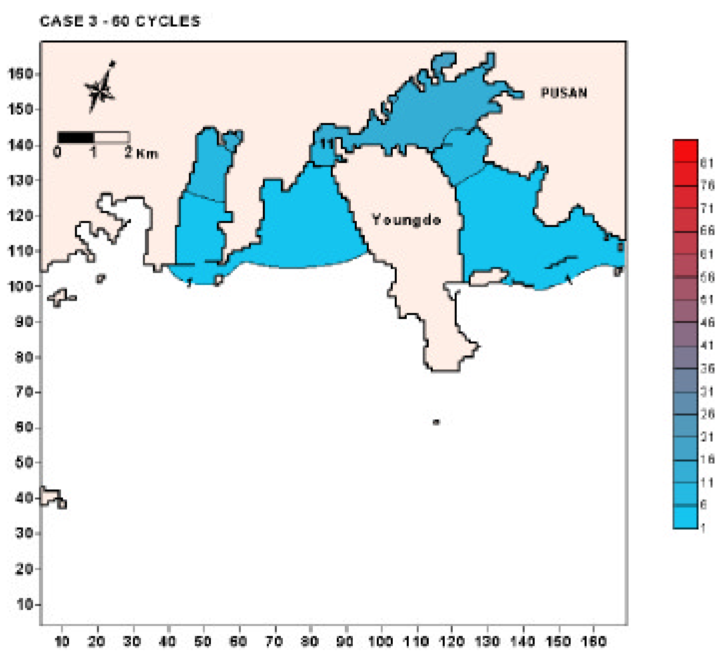
<그림 4-6> Case 2 - 15주기 후의 오염물 확산 결과



<그림 4-7> Case 2 - 60주기 후의 오염물 확산 결과



<그림 4-8> Case 3 - 15주기후의 오염물확산 결과

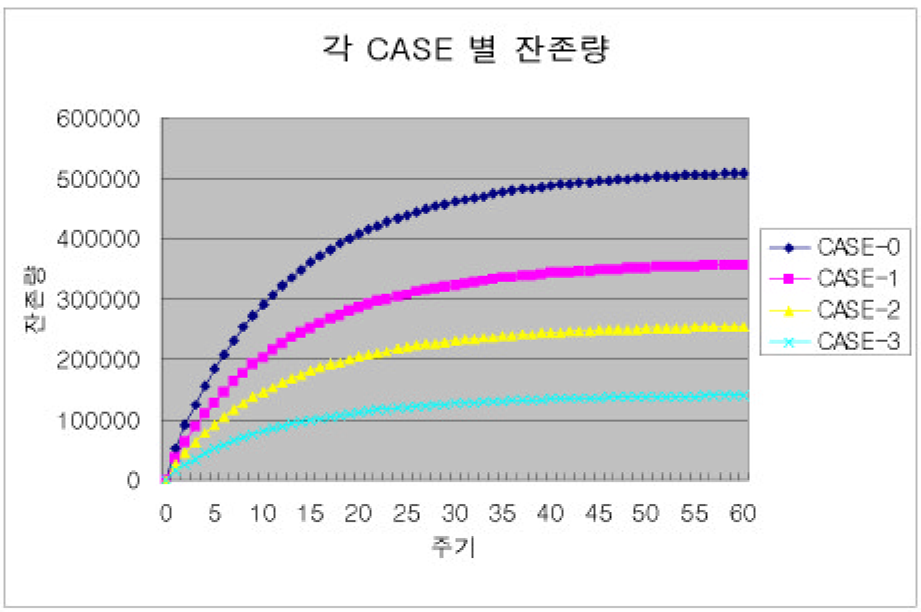


<그림 4-9> Case 3 - 60주기후의 해양오염 확산 결과

2.4.5 수치실험결과 분석

<그림 4-2> <그림 4-9>에서 알 수 있는 바와 같이 해당해역의 수질오탁현상을 경감하기 위하여 하천의 유입량을 경감할 경우 점차로 수질의 개선 효과가 나타나고 있으며 하수정비가 되었다고 가정하여 처리된 생활하수가 유입될 경우에는 상당한 효과가 있는 것으로 나타난다.

이를 정량적으로 표현하기 위하여 부산북항 내항(내항방파제의 안쪽), 남외항 내항(방파제의 안쪽), 감천항(방파제 안쪽), 다대포항(방파제 안쪽)에 남아있는 오염물의 잔존량을 산정하여 각 Case별로 주기에 따라 나타내면 <그림 4-10>과 같다.



<그림 4-10> 각 Case 별, 주기별 잔존량

그림에서 알 수 있는 바와 같이 부산주변해역에서의 수질오염을 경감하기 위한 노력에 따라서 잔존량도 정량적으로 감소하고 있으며, 하수처리 시설이 정비되어 유입될 경우에는 73%정도의 개선효과가 있는 것으로 나타난다.

제5장 결론

해양환경자료에 나타난 바와 같이 부산지방은 봄, 여름, 가을에는 북동풍이 우세하게 나타나고, 겨울에는 북서계절절풍의 영향으로 북서풍이 우세하게 나타난다. 년간으로 보면 북동풍이 우세한 것으로 관측되었다. 태풍의 경로는 남측 해상에서 발생하여 점차로 발달하면서 일본과 중국대륙해역을 북상하면서 ①우리나라 남해안을 거쳐 동해로 통과하는 경로, ②서해를 거쳐 만주로 북상하는 경로, ③서해를 북상하는 도중 우리나라 중부지방을 횡단하여 동해로 통과하는 경로등으로 분류되는데, 이들 태풍경로 중 남해를 거쳐 동해로 통과하는 태풍이 가장 위력적이고 큰 파랑을 유발케 하는 수가 많다. 대체적으로 8 10월에 빈번한 것으로 나타났다. 그리고 장마전선이 남해안의 해안선을 따라 걸쳐 있을 때 짧은 시간에 많이 내리는 호우로 수해를 입는다. 또한 태풍이 멀리 동지나 해상이나 일본 오키나와 부근에 위치하여 다습한 수증기를 우리 나라 쪽으로 밀어 부칠 때는 수백 mm의 강수를 내리게 한다. 집중호우는 국지성, 돌발성, 야행성의 특성을 지니고 있으며 또한 균일하게 지속되는 것이 아니고 3 4시간 정도의 주기를 가지는 것으로 나타났다. 해수유동의 실험은 해수유동수치모델에 의한 대상해역모형의 구축, 예측실험 및 평가의 과정으로 수행되었다. 수치모형의 현장 적용성에 대한 검증은 대상해역의 지형자료, 조석·조류관측자료 및 하천 유량 자료를 이용한 수치모형에 의해 대조기 유동특성을 재현하고, 실측치와의 비교·검토에 의해 수행되었다. 수치모델을 구성하고, 주변해역의 해수유동을 계산·검증해 본 결과 최대창조류일 때는 동쪽에서 서쪽으로 조류가 흐르고 있으며, 최대낙조류일 때는 서쪽에서 동쪽으로 조류가 흐르고 있다. 특히, 생도부근에서는 수심이 급격히 낮아짐에 따라 조류의 속력이 주위보다 빠르다는 것을 알 수가 있다. 뿐만 아니라 내항방파제와 조도방파제 감천항방파제 등과같이 입구가 좁아지는 지역에서도 조류의 속력이

빨라짐을 알 수 있다.

또한 계산된 유동 data를 이용하여 오염확산 시뮬레이션 모델을 구축하고 시뮬레이션을 행하여 그 수질환경특성을 파악하고자 하였다. 본 연구에서는 대상수역내의 유입하천인 감천천, 보수천, 초량천, 부산천 및 동천에서 처리되지 않은 생활하수 및 각종폐수가 수역내에 유입될 경우의 영향을 COD(Chemical Oxygen Demanded)농도 분포를 계산하여 알아보았고, 그 부하량을 70%, 50%로 경감하였을 경우 및 하수처리 시설이 정비될 경우의 배출기준인 COD농도 20 mg/l(보통 15 20 mg/l)로 해역에 유입될 경우의 오염확산 시뮬레이션 하수정비가 수역의 수질개선에 얼마나 영향을 미치는가에 대하여 정량적으로 분석한 결과, 하천으로 부터의 유입량을 줄이기 위한 노력에 따라 주변해역의 수질도 정량적으로 개선되고 있는 것을 알 수가 있었다. 특히, 주변하천에서 처리된 생활하수가 유입될 경우 수질개선 효과는 73%에 이르고 있음이 밝혀졌다. 이는 하천으로 부터의 유입이 주변해역의 수질에 상당한 영향을 미치고 있음을 시사해 주고 있다.

물론, 해역의 수질오탁 기구는 매우 복잡한 양상을 띠고 있어서, 한인자만으로 수질 특성을 전부 파악할 수 있는 것은 아니지만, 본연구는 수질 오탁 기구를 파악해나기 위한 정량적인 시도로서 의의가 매우 클 것이다.

하지만, 오염현상은 오탁물질간의 상호작용에 의한 상승효과 등이 있기 때문에 각 인자간의 영향 등을 밝혀내는 것, 다른 인자의 영향 등이 향후의 연구과제라 할 수 있다.

[참고문헌]

1) 기상청 : 기상연보, 1987-1996

2) 부산광역시 : 부산 중앙하수처리장 건설사업 환경영향평가서, 1999.2

3) 국승기 : 폐쇄성 해역에 있어서의 새로운 수질개선책에 관한 연구, 한국항만학회, 제12권 1호, 1998.6.

4) 조류도, 한국해양조사원, 1993.

5) Komatsu et al. : Numerical Calculation of Pollutant Transport in One and Two Dimensions, Journal of Hydroscience and Hydraulic Engineering, JSCE, Vol. 3, No. 2, 1985.

6) Komatsu et al. : Control and Ceation of Tidal Reidual Current in a Semi-enclosed Bay by Bottom Roughness With Directional Resistance Characterics, The 27th Congress of the International Association for Hydraulic Research (IAHR), 1997.8.