

工學碩士 學位論文

마산·창원 하수종말처리장의 처리수가
진해만의 수질환경에 미치는 영향에 관한 연구

A Study on the Effect to Water Quality of the
Masan · Changwon
Sewage Disposal in the Jinhae Bay

指導教授 鞠承淇

2004年 2月

韓國海洋大學校 大學院

海洋警察學科 裴仁仙

本 論 文 을 裴 仁 仙 의 工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함

委 員 長 工 學 博 士 李 殷 邦 (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)

2004年 2月

韓 國 海 洋 大 學 校 大 學 院

海 洋 警 察 學 科 裴 仁 仙

목 차

표목차	iii
그림목차	iv
ABSTRACT	vii
제1장 서론	1
1.1 연구의 배경	1
1.2 연구의 목적	1
제2장 진해만 주변해역의 해역현황	3
2.1 지리적 특성 및 자연환경	3
2.2 진해만의 수질환경	9
제3장 마산·창원 하수종말처리장의 현황	21
3.1 현황	21
3.2 마산·창원 하수도 정비 기본계획의 변경	26
3.3 수질현황	26
3.4 기존하수처리장 현황	29
3.5 확장계획	30
3.6 하수처리수 방류해역의 해양환경현황	37
제4장 해수유동 시뮬레이션	45
4.1 실험내용	45
4.2 수치모형의 구성	46
4.3 모델의 검증	52
4.4 수치실험 결과분석	53
제5장 수질확산 시뮬레이션	57
5.1 실험내용	57

5.2 현황의 오염 확산 시뮬레이션	58
5.3 하수종말처리장 확장계획에 따른 오염 확산 시뮬레이션	63
5.4 진해만에서의 수질개선방안	65
제6장 결론	70
참고문헌	74

표 목 차

<표 2-1> 계절별 풍향별 평균최대풍속	5
<표 2-2> 계절별 풍향별 발생빈도	5
<표 2-3> 진해항 부근의 조석특성	7
<표 2-4> 진해항 부근 해역의 조류	7
<표 2-5> 마산만의 조석조화상수 및 비조화상수	8
<표 2-6> 해양수질 조사지점의 위치	10
<표 2-7> 정점별 수질현황	13
<표 3-1> 마산·창원시 하수도 현황('93)	24
<표 3-2> 마산 및 창원시 분뇨배출량 및 수거현황('93)	24
<표 3-3> 마산·창원시 쓰레기 발생량 및 수거현황('93)	24
<표 3-4> 주요지점의 하수 수질현황	27
<표 3-5> 1994년 마산/창원 하수처리장 수질현황(평균)	28
<표 3-6> 년도별 생활하수 오염부하량 원단위	31
<표 3-7> 계획오염부하량 및 유입수질	33
<표 3-8> 설계수질	33
<표 3-9> 단계별 설계하수량	36
<표 3-10> 단위공정별 설계수질 및 처리효율	36
<표 4-1> 해수유동계산을 위한 입력조건	49
<표 4-2> 진해항 조석 검증결과	53
<표 5-1> 2002년 조사정점의 전층 COD 조사결과	58
<표 5-2> COD 현장관측조사결과	61
<표 5-3> 해역별 수질등급	63
<표 5-4> 각 CASE 별 개선방안	65

그 립 목 차

<그림 2-1> 바람장미도	4
<그림 2-2> 해양환경조사위치	11
<그림 3-1> 처리계통도	35
<그림 3-2> 마산·창원 하수종말처리장 방류 시스템	37
<그림 3-3> 마산·창원 하수종말처리장 방류구 위치	39
<그림 3-4> 하수처리수 방류전후의 방류지점 퇴적물 중금속 함량 비교	40
<그림 3-5> 방류지점과 인접지점의 퇴적층의 Zn 농도	41
<그림 3-6> 방류지점과 인접지점의 퇴적층의 Pb 농도	42
<그림 3-7> 방류지점과 인접지점의 퇴적층의 Cu 농도	42
<그림 3-8> 방류해역 동서방향 퇴적물 오염도(Zn)	43
<그림 3-9> 방류해역 남북방향 퇴적물 오염도(Zn)	44
<그림 4-1> 좌표계 정의	46
<그림 4-2> 유동계산의 흐름도	50
<그림 4-3> 대상해역의 격자망	51
<그림 4-4> 수심도	52
<그림 4-5> 조석관측 및 시뮬레이션 결과 비교	53
<그림 4-6> 최대창조류도	55
<그림 4-7> 최대낙조류도	55
<그림 4-7> 잔차류도	56
<그림 5-1> 오염 확산 시뮬레이션 결과	60
<그림 5-2> 오염 확산 시뮬레이션과 관측결과 비교	60
<그림 5-3> 하수종말처리장의 유출수의 영향을 고려한 시뮬레이션 결 과	62
<그림 5-4> 하수종말처리장 2차 확장공사에 따른 오염 확산 시뮬레이	

선	64
<그림 5-5> 해역별 수질등급 기준	64
<그림 5-6> CASE-1의 오염 확산 시뮬레이션	66
<그림 5-7> CASE-2의 오염 확산 시뮬레이션	67
<그림 5-8> CASE-3의 오염 확산 시뮬레이션	68

A study on the effect to Water Quality of the Masan-Changwon
Sewage Disposal in the Jin-hae Bay

Bae, In-Sun

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

Abstract

Jin-hae bay in enclosed sea area has been more serious water quality due to the eutrophication and red tides etc., since 1989. In order to deal with it, Government has spent totally 28.5billion from 1990 to 1994 and are doing the dredging work for removing contaminant in the bottom of the sea. Also government are operating sewage disposal plant but water quality is still bad.

Especially, the water quality in the ok-gye sea area is bad and the result comes from the environmental load of Masan-Changwon sewage disposal plant.

In this study, we carry out the sea water flowing simulation and understand the flowing characteristics of the objective sea area. By using that calculated flowing data, we construct the simulation

model of pollution diffusion and then through that simulation we aimed at grasping the characteristics of that water quality environment.

In case discharge of Masan-Changwon sewage disposal plant after the first existing treatment flow in the sea area, we calculate the distribution of COD.

In case the developed discharge after the second extension work flow in the sea area, we compare the distribution of COD to that and then we analyzed quantitatively the influence that the pollution load of Masan-Changwon sewage disposal plant are involved in the environment of sea quality in Jin-hae Bay.

제1장 서 론

1.1 연구의 배경

진해만은 폐쇄성 해역으로 1980년대 이후 만성적인 부영양화, 적조발생 등으로 악화된 수질환경을 유지하고 있다. 이를 개선하기 위하여 정부는 1990~1994년까지 총 285억원을 투자하여 마산만 저질 오염물질 제거를 위한 준설사업을 시행하였고, 일일 28만톤 규모의 하수종말처리장을 건설하여 운영중에 있으나 수질개선 효과는 미약하여 유기물 오염 지표인 COD는 Ⅲ등급($2 \sim 4\text{mg}/\ell$) 또는 Ⅲ등급을 초과하는 심각한 오염상태를 보이고 있다.

특히, 마산/창원 하수종말처리장의 방류수 배출지역인 진해 외만의 옥계해역의 수질상태는 내만과 비슷한 수준을 유지하고 있어 환경기초시설에 의한 2차 오염이 발생하고 있다. 이에 마산·창원 하수종말처리장 2차 확장공사가 진행중에 있으며, 2006년에는 수질개선 효과를 기대할 수 있을 것으로 보인다.

1.2 연구의 목적

본 연구에서는 진해만의 해수유동 시뮬레이션을 실시하여 대상해역의 유동특성을 파악하고, 계산된 유동 데이터를 이용하여 오염확산 시뮬레이션 모델을 구축하고 시뮬레이션을 하여 그 수질환경특성을 파악하는데 연구의 목적을 두고 있다.

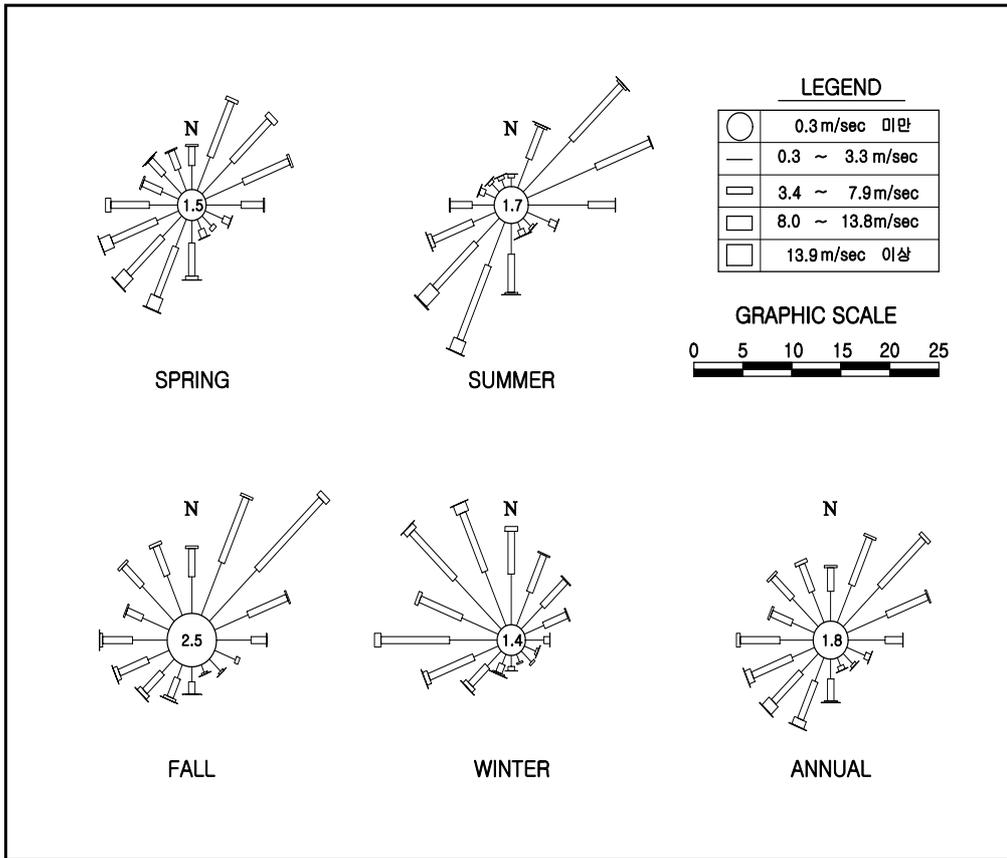
기존의 1차 처리만 거친 후 방류되는 마산·창원 하수종말처리장의 방류수가 해역내 유입될 경우의 영향을 COD 농도분포를 계산하여 알아보고, 2차 확장공사 후 개선된 방류수가 유입될 경우의 COD 농도분포와 비교하여 마산·창원 하수종말처리장의 오염부하가 진해만의 수질환경에 미치는 영향에 대하여 정량적으로 분석한다.

제2장 진해만 주변해역의 해역현황

2.1 지리적 특성 및 자연환경

2.1.1 바람

1985년부터 1993년까지의 기상 자료에 의한 평균 풍속은 <표 2-1>에서 보는 바와 같이 2.2m/sec 이며, 계절별, 풍향별 평균초대 풍속은 <표2-2>에 나타난 것과 같다. 풍향별 발생 빈도를 보면, 춘계(3-5월) 및 하계(6-8월)은 대체로 SE, SSE, S가 강세를 보이며, 추계(9-11월) 및 동계(12-12월)은 대체로 NW, NNW, N이 강세를 보인다. 전년을 통해서 발생빈도가 가장 높은 풍향은 NNW로 12.3%를 차지한다.⁴⁾



<그림 2-1> 바람장미도

<표 2-1> 계절별 풍향별 평균최대풍속

(단위 : m/sec)

계절	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
전년	8.1	6.2	5.9	4.8	4.3	4.7	7.7	9.6	9.2	7.2	5.6	4.7	8.0	9.3	10.1	9.5
봄	5.5	4.3	4.4	3.5	3.0	3.6	5.4	7.5	7.2	5.2	3.7	2.5	4.6	4.8	5.9	6.4
여름	5.1	4.0	4.0	2.9	2.7	3.6	5.8	6.3	7.1	5.4	3.3	1.4	2.9	4.7	4.8	5.2
가을	5.6	4.7	4.1	3.2	2.6	3.2	4.9	5.6	5.4	3.8	3.4	2.4	4.9	5.1	7.5	6.9
겨울	6.8	4.8	4.4	2.9	3.1	2.9	4.2	5.4	5.5	4.6	3.7	3.5	6.4	7.0	7.5	7.9

<표 2-2> 계절별 풍향별 발생빈도

(단위 : %)

계절	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	CALM
전년	10.9	6.5	6.6	2.8	2.9	2.7	7.7	10.6	9.8	3.1	3.7	1.3	3.0	2.6	7.9	12.3	5.7
봄	8.6	5.3	5.7	3.2	3.5	3.5	8.8	13.8	11.0	4.2	3.4	1.3	2.7	2.8	5.5	11.7	4.8
여름	6.5	3.5	3.8	1.9	2.6	3.4	14.2	20.1	19.7	3.8	2.7	0.5	0.9	1.1	3.0	7.1	4.5
가을	13.1	8.7	8.5	3.3	2.9	2.1	4.4	4.6	5.2	2.4	4.4	1.8	3.2	2.4	10.3	14.8	7.8
겨울	15.5	8.5	7.9	2.5	2.5	1.7	3.7	2.9	3.9	2.4	3.5	2.6	5.1	4.2	12.6	15.7	6.2

2.1.2 조석 및 조류

진해항의 조석은 조석형태수 0.14를 갖는 반일주조형으로서 매일 2회의 고조와 2회의 저조가 나타난다. 조고의 부등은 대조기 봄·가을에는 적고, 여름(겨울)에는 오전(오후)에 고고조에 이어 저고조가, 소조기 봄(가을)에는 오전(오후) 저고조에 이어 고고조, 여름(겨울)에는 오전(오후)에 저고조에 이어 고고조가 나타난다.

진해항의 평균 고조간격은 달의 자오선 경과 후 8시 21분으로서 동기간의 가덕도 8시 26분보다는 5분이 빠르며, 진해항의 대조차 및 소조차는 각각 175.0, 65.0cm로서 동기간의 가덕도 157.8cm 및 65.0cm에 비해 대조차는 17.2cm가 크고 소조차는 같다. 진해항의 약최고고조위는 199.4cm로서 동기간 가덕도 181.6cm 보다 17.8cm가 높다.

진해항 부근 해역의 창조류는 남서류~북류($238 \sim 358^\circ$), 낙조류는 북동류~남류($53 \sim 178^\circ$)하며 반일주조의 형태로서 규칙적인 창·낙조류가 일어난다.

이 해역의 창조류는 진해항 조석의 저조후 0.0~0.8시경에 남서류~북류하기 시작하여 저조후 2.2~4.8시경에 평균대조기 최강유속이 0.2~1.0kn에 달하며, 낙조류는 진해항 조석의 고조후 0.3~1.1시경에 북동~남류하기 시작하여 고조후 2.4~3.4시경에 평균대조기 최강유속이 0.1~1.3kn에 이른다.¹⁾

<표 2-3> 진해항 부근의 조석특성

구분	진해항		가덕도	
	'73.3 ~ '76.1	'98.4.21 ~ 5.20	'73.3 ~ '76.1	'98.4.21 ~ 5.20
평균고조간격	8h 21m	8h 21m	8h 18m	8h 26m
평균해면	103.6cm	99.7cm	95.3cm	90.8cm
대 조 차	182.6	175.0	166.0	157.8
평균조차	123.6	120.0	113.4	111.4
소 조 차	64.6	65.0	60.8	65.0
조 고 비		1.000		0.889
조 시 차		0min		5min
조석 형태수	0.14	0.14	0.15	0.15

<표 2-4> 진해항 부근 해역의 조류

구분	전류시	최강류시	최강유속(평균대조기)		비 고
			유향(°)	유속(kn)	
창조류	저조후(L+h) 0.0~0.8	저조후(L+h) 2.2~4.8	SW~N	0.2~1.0	중조기 : 대조기 유속의 약 0.67배 소조기 : 대조기 유속의 약 0.42배
낙조류	저조후(H+h) 0.3~1.1	저조후(H+h) 2.4~3.4	NE~S	0.1~1.3	

<표 2-5> 마산만의 조석조화상수 및 비조화상수

관측기관 위치 관측기간	수로국 마산항만청 '68.4.12~5.11		해양연구소 수출자유지역 '81.7.24~10.10		한국종합기술 마산시 창포동 '88.7.14~7.28	
	Amp	Phase	Amp	Phase	Amp	Phase
조화상수						
M2	65.0	244.4	58.9	245.4	620.2	236.3
S2	30.6	276.1	31.5	280.4	28.8	266.4
K1	7.0	142.6	7.0	136.1	7.3	155.3
O1	4.8	133.9	3.9	133.4	3.9	107.7
비조화상수 평균고조간격	8시간 25분		8시간 25분		8시간 25분	
대조승	203		191.7		189.7	
소조승	141.8		128.7		131.6	
대조차	191.2		180.8		178.0	
평균조차	130.0		117.8		120.4	
소조차	68.8		54.8		62.8	
평균해면	130.0		101.3		120.4	

2.1.3 자연환경

진해만은 해안선의 굴곡이 심하고 수심이 비교적 얕으며(평균 수심 10~13m) 바람과 해류의 영향을 적게 받는 지역이며 부도, 소모도, 돌섬 등 만 중심부에 위치한 섬들은 해수 유통을 저해하고 있다. 외해 해수와 유통이 느리고 해수의 잔류시간이 길어 육상으로부터의 유입수에 의해 오염이 가중되고 있다.

진해만은 반 폐쇄성 해역으로 마산시, 창원시, 진해시와 같은 대도시가 인접하여 있어 여기서 발생하는 오염원의 대부분이 유입되고 있다. 1970년대부터 마산 수출자유지역과 창원기계 공업단지가 조성됨으로써 이곳에서 발생하는 산업폐수와 1975년 마산·창원 인구가 41만명에서

1990년 80만에 이르는 시점까지 생활하수, 쓰레기 등이 유입되었고 이러한 오염물질의 외해유출·확산은 해수유통이 원활하지 못해 제한되었다. 따라서 진해만으로 유입된 오염물질은 외해로 유출되지 않고, 축적되는 경향이 있으며 이에 따라 적조, 빈산소수괴 발생 등의 부영양화 문제와 중금속 오염 등이 국내에서 가장 심각한 지역이 되었다.

대부분의 수질항목에 있어서 해역수질 III등급을 유지하고 있으며, 겨울철을 제외한 전 계절에 적조가 상시 발생하고 있으며, 어류를 비롯한 유영생물의 개체수와 종다양성이 낮으며 저서동물은 거의 사라지고 일부 오염에 강한 종들로만 구성되어 있다.

수질 항목을 기준으로 한 해양환경은 여름철에 악화되었다가 겨울철에 향상되는 반복성을 나타내며, 외해에서 내만으로 갈수록 수질이 악화되는 경향을 보이고 있으며, 1993년 이후 마산·창원 하수종말처리장의 방류로 진해외만 옥계해역의 수질이 악화되는 경향을 보이고 있다.²⁾

2.2 진해만의 수질환경

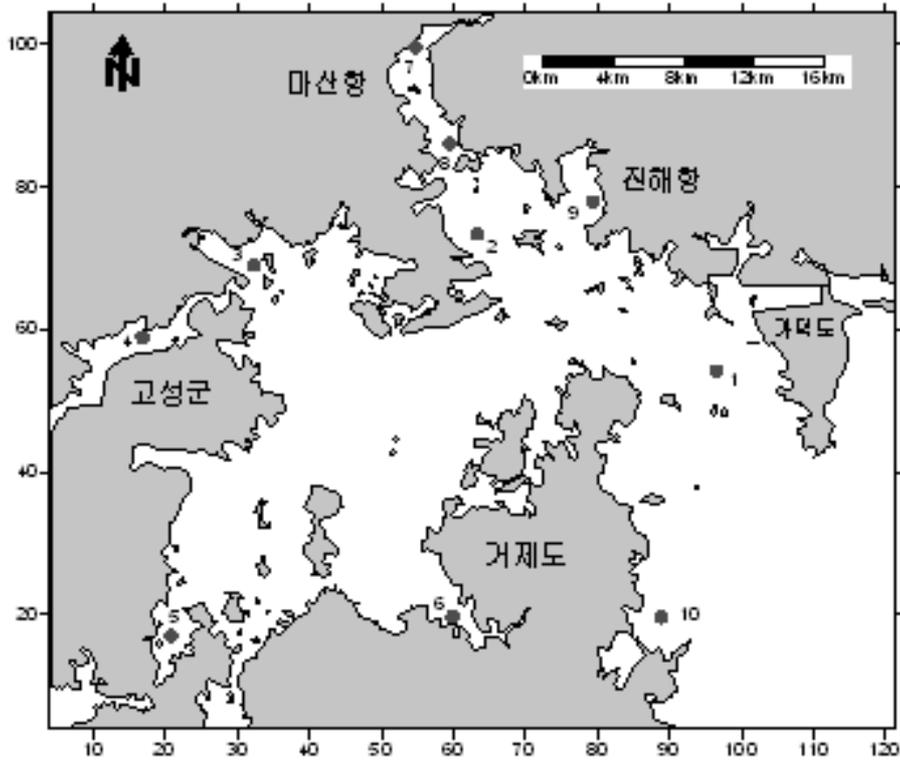
2.2.1 조사방법

진해만 해양수질의 조사는 국립수산과학원의 해양수질 조사자료를 이용하였으며, 조사지점의 위치는 마산·창원 하수종말처리장 주변 인접 영향권의 해양수질을 파악하기 위하여 방류구를 중심으로 10개 지점으로 구성하였으며, 조사지점의 위도와 경도는 <표 2-3>에 표시하였다.

조사기간은 2000~2002년 이며 각 조사지점에 대하여 표층수, 심층수에 대한 조사를 실시하였으며, 조사 항목으로는 수온, 수소이온농도(pH), 염분농도, 용존산소(DO), 화학적산소요구량(COD), 총질소(T-N), 총인(T-P), 부유물질(SS) 및 클로로필을 각각 측정하였다.

<표 2-6> 해양수질 조사지점의 위치

정점	북위	동경	개략위치
01	35°02'00"	128°46'00"	가덕도 서방
02	35°06'07"	128°37'15"	부도 서북방
03	35°05'10"	128°29'06"	송도 서방
04	35°03'00"	128°25'00"	당항포내
05	34°54'00"	128°26'03"	원문만내
06	34°54'35"	128°36'21"	고현성만내
07	35°11'45"	128°35'00"	돌섬 북방
08	35°08'50"	128°36'15"	묘도 서방
09	35°05'10"	128°29'06"	진해화학 서방
10	35°05'10"	128°29'06"	옥포항 앞



<그림 2-2> 해양환경조사위치

2.2.2 조사결과

(1) pH

수소이온농도지표인 pH는 조사기간동안 7.48 ~ 8.46의 범위로 평균 8.0의 값을 나타내었다. 지점별 평균 분포 특성을 살펴보면 8월달에 대부분 지점에서 8.3 이상을 나타내고 있으며, 2001년도에 전반적으로 7.8의 낮은 수치를 보이고 있다.

(2) 용존산소량(DO)

전 해역의 DO분포는 6.42 ~ 11.06mg/l으로 나타났고 전 지점별로 대체로 유사한 경향을 나타내었으나 전 해역의 2월 표층에서는 6.99 ~ 10.53mg/l으로 비교적 양호한 상태를 보였고, 8월 저층에서는 0.67 ~ 4.0 mg/l의 낮은 수치를 나타냈다.

(3) 화학적산소요구량(COD)

화학적산소요구량(COD)은 마산 돌섬 북방에서 2000년도에는 최고 5.7mg/l까지 나타났으나 2002년으로 갈수록 저감하는 경향을 보였다. 2002년도에는 전 해역에서 1.03 ~ 2.97mg/l 수준을 나타내었다.

(4) 총질소(T-N) 및 총인(T-P)

총질소(T-N) 및 총인(T-P)은 2002년도 부터 측정하여, 총질소는 0.169 ~ 0.722mg/l, 총인은 0.013 ~ 0.104mg/l로 분포하고 있으며, 돌섬 북방에서는 총질소가 최고 2.097mg/l, 총인이 최고 0.220mg/l로 나타나 돌섬 북방 및 묘도서방 등 마산항에서 대체로 높은 수치를 기록했다.

(5) 부유물질(SS) 및 클로로필

부유물질(SS)은 0.6 ~ 32.6mg/l, 클로로필은 0.21 ~ 33.40 μ g/l의 분포를 나타내고 있으며 SS는 32.6mg/l, 클로로필은 42.92 μ g/l로 모두 8월에 최고치를 나타내었다.

<표 2-7> 정점별 수질현황

01번 정점(북위 35°02'00" 동경 128°46'00") 개략위치 : 가덕도 서방

년도	월	층	수온 (°C)	염분 (‰)	pH	DO (mg/L)	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	SS (mg/L)	클로필 (µg/L)
2000	2	표층	10.3	33.69	7.80	8.84	2.03	-	-	2.9	0.49
		저층	9.8	33.92	8.00	8.72	2.35	-	-		0
		평균	10.05	33.81	7.90	8.78	2.19	-	-		-
	5	표층	15.4	33.63	8.28	7.85	1.35	-	-	2.6	3.65
		저층	13.9	33.96	8.25	8.74	1.57	-	-		0
		평균	14.65	33.80	8.27	8.29	1.46	-	-		-
	8	표층	25.2	23.90	8.25	7.55	3.01	-	-	3.4	14.93
		저층	20.8	31.34	8.38	4.97	2.20	-	-		0
		평균	23.00	27.62	8.31	6.26	2.61	-	-		-
11	표층	16.7	32.02	8.02	8.01	3.00	-	-	11.1	1.26	
	저층	16.4	32.38	7.91	4.78	2.30	-	-		0	
	평균	16.55	32.20	7.96	6.39	2.65	-	-		-	
2001	2	표층	6.2	32.25	8.12	6.88	2.38	-	-	7.4	0.31
		저층	6.1	32.63	8.20	6.85	2.42	-	-		0
		평균	6.15	32.44	8.16	6.87	2.40	-	-		-
	5	표층	15.1	33.23	7.85	8.17	1.35	-	-	4.6	2.61
		저층	14.4	33.46	8.00	8.28	1.18	-	-		0
		평균	14.75	33.34	7.92	8.22	1.26	-	-		-
	8	표층	24.4	30.91	7.78	6.99	2.42	-	-	5.6	17.60
		저층	17.4	32.63	7.74	7.77	1.76	-	-		0
		평균	20.90	31.77	7.76	7.38	2.09	-	-		-
11	표층	18.1	32.94	8.06	6.83	1.17	-	-	1.9	2.09	
	저층	18.0	33.49	8.03	5.68	1.17	-	-		0	
	평균	18.05	33.22	8.04	6.25	1.17	-	-		-	
2002	2	표층	9.5	33.52	8.06	10.26	1.29	0.411	0.035	2.2	0.21
		저층	9.2	33.53	8.09	10.44	1.70	0.412	0.050		0
		평균	9.35	33.52	8.07	10.35	1.50	0.411	0.043		-
	5	표층	15.4	31.51	8.02	3.74	1.10	0.172	0.045	6.5	3.45
		저층	15.0	32.95	8.00	3.80	0.92	0.115	0.022		0
		평균	15.20	32.23	8.01	3.77	1.01	0.144	0.034		-
	8	표층	25.8	31.11	8.02	11.42	1.80	0.169	0.032	3.4	10.27
		저층	17.9	33.40	8.02	10.70	1.87	0.342	0.044		0
		평균	21.85	32.26	8.02	11.06	1.84	0.256	0.038		-
11	표층	14.1	32.59	8.05	8.42	1.03	0.599	0.059	2.7	3.40	
	저층	14.3	32.82	8.06	8.35	1.04	0.572	0.050		0	
	평균	14.2	32.70	8.05	8.38	1.03	0.586	0.055		-	

02번 정점(북위 35°06'07" 동경 128°37'15") 개략위치 : 부도 서북방

년도	월	층	수온 (°C)	염분 (%)	pH	DO (mg/L)	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	SS (mg/L)	클로필 (µg/L)
2000	2	표층	5.7	32.70	8.11	9.74	3.19	-	-	2.5	3.72
		저층	6.0	33.03	8.05	9.74	3.71	-	-		0
		평균	5.85	32.87	8.08	9.74	3.45	-	-		-
	5	표층	16.1	33.04	8.41	8.44	6.64	-	-	2.9	3.12
		저층	14.5	33.70	8.27	7.71	2.64	-	-		0
		평균	15.30	33.37	8.34	8.07	4.64	-	-		-
	8	표층	25.9	26.45	8.33	7.04	1.99	-	-	5.2	11.37
		저층	20.2	31.63	8.14	1.35	2.34	-	-		0
		평균	23.05	29.04	8.23	4.20	2.17	-	-		-
	11	표층	16.4	31.49	7.93	8.09	2.85	-	-	9.6	1.50
		저층	16.5	32.00	7.96	8.48	2.47	-	-		0
		평균	16.45	31.75	7.95	8.29	2.66	-	-		-
2001	2	표층	6.4	32.53	7.96	6.97	3.02	-	-	6.0	0.93
		저층	6.3	32.74	7.94	6.98	2.67	-	-		0
		평균	6.35	32.63	7.95	6.97	2.85	-	-		-
	5	표층	16.8	32.45	7.77	7.94	2.00	-	-	8.2	8.86
		저층	15.0	33.46	8.02	8.18	2.56	-	-		0
		평균	15.90	32.95	7.89	8.06	2.28	-	-		-
	8	표층	25.4	31.70	7.88	6.89	2.10	-	-	6.6	20.97
		저층	20.4	32.13	7.84	7.41	2.85	-	-		0
		평균	22.90	31.91	7.86	7.15	2.48	-	-		-
	11	표층	16.8	31.86	8.05	7.78	2.50	-	-	3.8	3.89
		저층	16.8	31.99	8.06	7.10	2.42	-	-		0
		평균	16.80	31.93	8.05	7.44	2.46	-	-		-
2002	2	표층	6.4	32.70	8.06	10.44	1.69	0.722	0.071	2.7	1.02
		저층	6.9	32.94	8.09	10.72	2.40	0.567	0.070		0
		평균	6.65	32.82	8.07	10.58	2.04	0.645	0.071		-
	5	표층	17.4	29.23	7.99	5.71	2.10	0.693	0.095	8.7	19.57
		저층	17.8	30.14	7.91	2.67	2.02	0.397	0.040		0
		평균	17.60	29.68	7.95	4.19	2.06	0.545	0.068		-
	8	표층	24.7	27.37	8.07	5.03	2.67	1.388	0.081	4.3	12.25
		저층	21.3	32.06	8.04	2.88	2.01	0.402	0.072		0
		평균	23.00	29.72	8.05	3.96	2.34	0.895	0.077		-
	11	표층	13.5	31.68	8.08	8.57	2.08	0.607	0.069	3.1	2.26
		저층	13.4	31.88	8.02	8.55	2.01	0.625	0.065		0
		평균	13.45	31.78	8.05	8.56	2.04	0.616	0.067		-

03번 정점(북위 35°05'10" 동경 128°29'06") 개략위치 : 송도 서방

년도	월	층	수온 (°C)	염분 (%)	pH	DO (mg/L)	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	SS (mg/L)	클로로필 (µg/L)
2000	2	표층	5.7	33.46	7.80	8.16	3.15	-	-	3.1	2.38
		저층	5.5	33.19	7.94	9.59	2.83	-	-		0
		평균	5.60	33.33	7.87	8.88	2.99	-	-		-
	5	표층	16.8	33.17	8.22	7.64	2.72	-	-	7.5	2.49
		저층	14.1	33.51	8.10	6.56	1.03	-	-		0
		평균	15.45	33.34	8.16	7.10	1.88	-	-		-
	8	표층	27.1	27.07	8.45	6.00	3.26	-	-	14.0	29.48
		저층	22.4	34.76	8.41	4.26	2.16	-	-		0
		평균	24.75	30.91	8.43	5.13	2.71	-	-		-
	11	표층	16.6	31.52	7.94	8.71	1.55	-	-	10.4	13.7
		저층	17.4	32.10	7.89	5.73	1.86	-	-		0
		평균	17.00	31.81	7.92	7.22	1.71	-	-		-
2001	2	표층	5.8	32.23	8.07	7.07	2.07	-	-	3.6	0.68
		저층	5.1	32.74	8.04	7.17	2.34	-	-		0
		평균	5.45	32.48	8.05	7.12	2.21	-	-		-
	5	표층	16.5	32.39	7.94	8.00	2.47	-	-	8.8	3.14
		저층	14.3	33.29	7.88	8.30	1.90	-	-		0
		평균	15.40	32.84	7.91	8.15	2.19	-	-		-
	8	표층	26.1	26.68	7.96	6.88	2.76	-	-	5.2	22.28
		저층	21.1	32.27	7.97	7.22	2.42	-	-		0
		평균	23.60	29.48	7.96	7.05	2.59	-	-		-
	11	표층	17.4	31.60	7.92	6.42	2.31	-	-	2.0	3.03
		저층	16.8	31.52	7.88	6.27	1.91	-	-		0
		평균	17.10	31.56	7.90	6.34	2.11	-	-		-
2002	2	표층	6.3	32.87	8.04	10.53	1.40	0.337	0.030	1.8	0.57
		저층	6.4	32.90	8.05	10.21	2.48	0.307	0.026		0
		평균	6.35	32.88	8.04	10.37	1.94	0.322	0.028		-
	5	표층	17.7	29.28	8.02	4.92	1.63	0.307	0.041	4.1	7.88
		저층	15.6	30.30	7.99	4.75	1.60	0.248	0.038		0
		평균	16.65	29.79	8.01	4.84	1.62	0.278	0.040		-
	8	표층	22.7	16.60	7.88	6.18	1.87	0.712	0.073	32.1	8.58
		저층	20.7	32.05	7.88	1.07	2.29	0.416	0.086		0
		평균	21.70	24.32	7.88	3.63	2.08	0.564	0.080		-
	11	표층	13.2	31.44	8.02	8.64	1.78	0.657	0.066	3.4	1.00
		저층	13.1	31.62	8.08	8.62	1.73	0.393	0.070		0
		평균	13.15	31.53	8.05	8.63	1.75	0.525	0.068		-

04번 정점(북위 35°03'00" 동경 128°25'00") 개략위치 : 당항포내

년도	월	층	수온 (°C)	염분 (‰)	pH	DO (mg/L)	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	SS (mg/L)	클로필 (µg/L)
2000	2	표층	4.8	32.05	7.85	8.32	3.11	-	-	2.4	3.33
		저층	5.3	32.65	7.96	10.16	2.91	-	-		0
		평균	5.05	32.35	7.91	9.24	3.01	-	-		-
	5	표층	16.8	32.97	8.10	6.60	1.67	-	-	4.1	46.81
		저층	16.2	33.22	8.11	7.17	1.75	-	-		0
		평균	16.50	33.09	8.11	6.88	1.71	-	-		-
	8	표층	28.0	16.79	8.49	7.57	5.15	-	-	6.0	42.92
		저층	23.1	30.15	8.26	2.54	2.24	-	-		0
		평균	25.55	23.47	8.38	5.05	3.69	-	-		-
	11	표층	16.6	30.55	7.98	7.96	1.92	-	-	10.4	1.71
		저층	16.8	30.67	7.93	7.76	1.83	-	-		0
		평균	16.70	30.61	7.96	7.86	1.88	-	-		-
2001	2	표층	5.9	31.91	8.07	7.08	3.44	-	-	6.4	0.60
		저층	5.4	32.38	8.02	7.15	2.67	-	-		0
		평균	5.65	32.15	8.04	7.12	3.06	-	-		-
	5	표층	16.4	32.75	7.74	7.99	1.78	-	-	5.8	3.05
		저층	15.9	32.79	7.84	8.06	1.82	-	-		0
		평균	16.15	32.77	7.79	8.03	1.80	-	-		-
	8	표층	27.7	32.37	7.98	7.01	2.92	-	-	10.2	28.02
		저층	22.3	31.69	7.92	7.21	2.42	-	-		0
		평균	25.00	32.03	7.95	7.11	2.67	-	-		-
	11	표층	16.5	30.92	7.80	6.31	1.68	-	-	3.9	1.53
		저층	16.5	31.01	7.84	6.13	1.63	-	-		0
		평균	16.50	30.97	7.82	6.22	1.66	-	-		-
2002	2	표층	6.2	30.33	8.06	10.49	1.90	0.446	0.035	2.9	1.05
		저층	6.3	32.41	8.10	9.93	2.65	0.218	0.028		0
		평균	6.25	31.37	8.08	10.21	2.27	0.332	0.032		-
	5	표층	17.6	30.81	7.79	5.56	1.63	0.717	0.057	5.3	12.01
		저층	16.4	31.18	7.76	4.30	1.65	0.710	0.042		0
		평균	17.00	31.00	7.78	4.93	1.64	0.714	0.050		-
	8	표층	23.6	25.09	7.86	7.12	2.43	1.336	0.105	26.7	13.69
		저층	22.5	32.59	7.89	2.89	2.40	0.446	0.098		0
		평균	23.05	28.84	7.88	5.00	2.42	0.891	0.102		-
	11	표층	12.2	30.88	8.05	8.86	1.49	0.594	0.068	6.3	3.77
		저층	12.0	31.02	8.11	8.87	1.61	0.614	0.077		0
		평균	12.10	30.95	8.08	8.87	1.55	0.604	0.073		-

05번 정점(북위 34°54'00" 동경 128°26'03") 개략위치 : 원문만내

년도	월	층	수온 (°C)	염분 (%)	pH	DO (mg/L)	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	SS (mg/L)	클로필 (µg/L)
2000	2	표층	5.6	32.81	7.89	9.74	2.23	-	-	2.5	0.80
		저층	5.6	32.84	7.86	9.73	3.03	-	-		0
		평균	5.60	32.83	7.88	9.73	2.63	-	-		-
	5	표층	15.7	33.63	8.26	6.38	1.54	-	-	3.0	3.12
		저층	13.7	33.48	8.02	5.18	1.03	-	-		0
		평균	14.70	33.56	8.14	5.78	1.28	-	-		-
	8	표층	29.8	24.22	8.74	7.61	2.37	-	-	3.2	33.40
		저층	22.6	31.91	7.99	0.44	2.34	-	-		0
		평균	26.20	28.07	8.37	4.03	2.36	-	-		-
	11	표층	17.3	30.81	8.03	8.23	2.04	-	-	8.0	1.32
		저층	17.9	32.10	7.85	4.69	1.80	-	-		0
		평균	17.60	31.45	7.94	6.46	1.92	-	-		-
2001	2	표층	5.7	32.32	8.05	7.08	2.00	-	-	3.6	0.30
		저층	5.4	32.79	8.07	7.12	2.57	-	-		0
		평균	5.55	32.56	8.06	7.10	2.29	-	-		-
	5	표층	17.0	32.53	8.00	7.90	1.95	-	-	3.8	2.73
		저층	14.5	33.86	7.71	8.25	2.04	-	-		0
		평균	15.75	33.20	7.86	8.07	2.00	-	-		-
	8	표층	24.8	31.99	7.97	6.88	2.14	-	-	12.4	24.16
		저층	19.3	32.99	7.97	7.53	2.38	-	-		0
		평균	22.05	32.49	7.97	7.21	2.26	-	-		-
	11	표층	17.7	31.45	7.85	6.62	1.52	-	-	2.8	3.7
		저층	17.7	31.46	7.87	6.64	1.47	-	-		0
		평균	17.70	31.45	7.86	6.63	1.50	-	-		-
2002	2	표층	6.8	32.65	8.10	10.50	1.50	0.240	0.016	1.3	0.29
		저층	6.8	32.79	8.11	10.68	2.20	0.256	0.029		0
		평균	6.80	32.72	8.11	10.59	1.85	0.25	0.02		-
	5	표층	17.7	30.23	8.10	9.07	1.62	0.284	0.027	3.1	5.13
		저층	16.5	31.70	8.09	8.25	1.59	0.236	0.025		0
		평균	17.10	30.97	8.10	8.66	1.61	0.26	0.03		-
	8	표층	22.7	24.35	7.88	4.50	2.20	0.528	0.100	8.6	9.34
		저층	20.2	32.51	7.89	2.25	2.04	0.422	0.104		0
		평균	21.45	28.43	7.88	3.38	2.12	0.47	0.10		-
	11	표층	13.9	31.35	8.06	8.50	1.29	0.463	0.077	5.2	1.83
		저층	14.0	31.43	8.04	8.49	1.20	0.446	0.051		0
		평균	13.95	31.39	8.05	8.49	1.25	0.45	0.06		-

06번 정점(북위 34°54'35" 동경 128°36'21") 개략위치 : 고현성만내

년도	월	층	수온 (°C)	염분 (%)	pH	DO (mg/L)	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	SS (mg/L)	클로필 (µg/L)
2000	2	표층	5.9	33.14	7.98	8.47	3.35	-	-	2.5	2.54
		저층	6.0	33.34	7.99	8.92	2.51	-	-		0
		평균	5.95	33.24	7.99	8.70	2.93	-	-		-
	5	표층	15.5	33.49	8.39	8.08	2.11	-	-	1.6	0.98
		저층	12.7	29.66	8.06	7.79	2.84	-	-		0
		평균	14.10	31.57	8.22	7.93	2.48	-	-		-
	8	표층	26.2	28.34	8.50	7.47	4.45	-	-	11.2	31.18
		저층	20.3	32.83	8.06	0.61	2.12	-	-		0
		평균	23.25	30.59	8.28	4.04	3.29	-	-		-
	11	표층	17.5	31.18	8.00	8.50	1.52	-	-	7.4	1.04
		저층	17.7	32.32	7.97	5.24	1.90	-	-		0
		평균	17.60	31.75	7.99	6.87	1.71	-	-		-
2001	2	표층	5.5	32.36	8.12	7.12	2.67	-	-	2.2	0.31
		저층	5.4	32.65	8.09	7.13	3.11	-	-		0
		평균	5.45	32.51	8.11	7.13	2.89	-	-		-
	5	표층	16.9	32.89	8.05	7.90	1.54	-	-	4.2	1.98
		저층	14.1	33.50	7.94	8.34	2.06	-	-		0
		평균	15.50	33.20	8.00	8.12	1.80	-	-		-
	8	표층	25.2	30.15	8.00	6.88	1.03	-	-	5.2	30.54
		저층	21.0	32.41	7.99	7.32	2.90	-	-		0
		평균	23.10	31.28	8.00	7.10	1.97	-	-		-
	11	표층	18.1	31.51	8.05	8.22	2.51	-	-	1.2	4.76
		저층	18.3	31.67	8.05	7.46	1.93	-	-		0
		평균	18.20	31.59	8.05	7.84	2.22	-	-		-
2002	2	표층	6.9	31.41	8.11	9.98	1.43	0.347	0.035	1.9	0.28
		저층	6.9	32.92	8.12	9.55	2.01	0.280	0.037		0
		평균	6.90	32.16	8.12	9.77	1.72	0.314	0.036		-
	5	표층	16.5	30.57	8.04	4.37	1.70	0.241	0.047	3.9	7.61
		저층	14.5	31.36	8.07	3.68	1.73	0.226	0.013		0
		평균	15.50	30.97	8.05	4.03	1.72	0.234	0.030		-
	8	표층	22.2	24.21	7.85	3.80	2.53	0.460	0.093	7.2	9.28
		저층	20.5	32.37	7.87	2.13	2.07	0.390	0.085		0
		평균	21.35	28.29	7.86	2.96	2.30	0.425	0.089		-
	11	표층	13.8	30.70	8.04	8.56	1.84	0.641	0.082	4.6	3.69
		저층	14.1	31.32	8.04	8.47	1.75	0.605	0.076		0
		평균	13.95	31.01	8.04	8.52	1.79	0.623	0.079		-

07번 정점(북위 35°11'45" 동경 128°35'00") 개략위치 : 돌섬 북방

년도	월	층	수온 (°C)	염분 (‰)	pH	DO (mg/L)	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	SS (mg/L)	클로로필 (µg/L)
2000	2	표층	5.3	32.67	8.08	9.56	4.23	-	-	2.3	6.83
		저층	5.3	32.87	8.06	9.43	2.19	-	-		0
		평균	5.30	32.77	8.07	9.49	3.21	-	-		-
	5	표층	17.3	31.44	8.38	7.98	2.62	-	-	5.6	15.04
		저층	14.5	33.09	8.01	3.46	2.75	-	-		0
		평균	15.90	32.27	8.20	5.72	2.69	-	-		-
	8	표층	26.1	25.18	8.17	7.43	5.70	-	-	5.8	37.21
		저층	21.8	30.13	8.30	3.59	3.74	-	-		0
		평균	23.95	27.66	8.23	5.51	4.72	-	-		-
	11	표층	16.5	27.31	7.88	5.06	2.68	-	-	5.2	2.42
		저층	16.5	27.22	7.89	4.08	2.67	-	-		0
		평균	16.50	27.27	7.88	4.57	2.67	-	-		-
2001	2	표층	6.5	31.75	7.84	6.99	3.49	-	-	13.8	1.25
		저층	5.5	32.58	7.99	7.12	3.38	-	-		0
		평균	6.00	32.16	7.92	7.05	3.44	-	-		-
	5	표층	17.6	31.12	7.48	7.88	2.67	-	-	9.4	11.92
		저층	14.8	32.76	7.64	8.25	2.62	-	-		0
		평균	16.20	31.94	7.56	8.06	2.65	-	-		-
	8	표층	25.8	27.25	7.86	6.79	1.65	-	-	5.4	33.12
		저층	20.7	31.08	7.81	7.39	3.94	-	-		0
		평균	23.25	29.16	7.84	7.09	2.79	-	-		-
	11	표층	16.1	31.06	7.88	5.58	2.69	-	-	0.9	3.64
		저층	15.2	31.19	7.85	6.28	2.45	-	-		0
		평균	15.65	31.13	7.87	5.93	2.57	-	-		-
2002	2	표층	6.8	31.69	8.06	9.59	2.97	0.882	0.091	4.9	1.66
		저층	6.5	32.18	8.11	9.60	3.15	0.808	0.097		0
		평균	6.65	31.93	8.09	9.60	3.06	0.845	0.094		-
	5	표층	17.3	28.13	7.84	4.66	2.75	1.235	0.137	6.5	10.72
		저층	15.7	28.86	7.82	2.58	2.94	1.109	0.120		0
		평균	16.50	28.50	7.83	3.62	2.85	1.172	0.129		-
	8	표층	23.7	15.60	8.11	7.32	2.18	2.097	0.220	32.6	21.23
		저층	23.7	30.57	8.10	2.56	2.42	1.540	0.195		0
		평균	23.70	23.09	8.11	4.94	2.30	1.819	0.208		-
	11	표층	13.7	31.07	7.90	8.56	2.31	0.703	0.179	6.2	3.00
		저층	14.0	31.21	7.90	8.50	2.38	0.902	0.153		0
		평균	13.85	31.14	7.90	8.53	2.35	0.803	0.166		-

08번 정점(북위 35°08'50" 동경 128°36'15") 개략위치 : 묘도 서방

년도	월	층	수온 (°C)	염분 (‰)	pH	DO (mg/L)	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	SS (mg/L)	클로로필 (µg/L)
2000	2	표층	5.3	32.68	8.09	9.47	2.43	-	-	3.0	4.73
		저층	5.3	32.87	8.06	9.43	2.27	-	-		0
		평균	5.30	32.77	8.07	9.45	2.35	-	-		-
	5	표층	14.6	34.09	8.34	7.74	3.08	-	-	4.2	12.37
		저층	14.3	32.84	8.10	4.36	1.40	-	-		0
		평균	14.45	33.47	8.22	6.05	2.24	-	-		-
	8	표층	25.4	27.70	8.05	6.13	2.40	-	-	6.0	13.58
		저층	19.8	31.78	8.07	0.27	2.82	-	-		0
		평균	22.60	29.74	8.06	3.20	2.61	-	-		-
	11	표층	16.4	31.42	7.91	7.36	2.50	-	-	6.0	2.26
		저층	16.5	31.85	7.90	7.59	2.58	-	-		0
		평균	16.45	31.64	7.91	7.47	2.54	-	-		-
2001	2	표층	5.6	32.86	8.10	7.06	3.02	-	-	5.8	0.17
		저층	5.8	32.89	7.90	7.06	2.92	-	-		0
		평균	5.70	32.88	8.00	7.06	2.97	-	-		-
	5	표층	16.9	32.09	7.65	7.95	3.30	-	-	9.8	12.88
		저층	14.6	33.50	7.85	8.25	2.73	-	-		0
		평균	15.75	32.80	7.75	8.10	3.02	-	-		-
	8	표층	26.9	27.66	7.87	6.86	2.74	-	-	5.6	20.01
		저층	19.6	32.32	7.82	7.49	2.53	-	-		0
		평균	23.25	29.99	7.84	7.17	2.63	-	-		-
	11	표층	16.5	31.53	7.96	6.45	2.20	-	-	0.6	4.16
		저층	16.8	31.75	8.01	6.51	2.21	-	-		0
		평균	16.65	31.64	7.99	6.48	2.21	-	-		-
2002	2	표층	6.5	32.03	8.07	10.07	2.49	0.748	0.075	3.2	1.61
		저층	6.8	32.66	8.13	10.83	2.22	0.544	0.072		0
		평균	6.65	32.34	8.10	10.45	2.36	0.646	0.074		-
	5	표층	17.3	27.66	7.94	5.94	2.27	1.024	0.122	8.1	16.59
		저층	14.5	32.26	7.93	1.63	2.56	0.626	0.135		0
		평균	15.90	29.96	7.93	3.79	2.42	0.825	0.129		-
	8	표층	24.9	19.32	8.09	6.09	2.96	1.798	0.187	9.2	15.18
		저층	20.2	32.16	7.85	0.67	2.54	0.308	0.155		0
		평균	22.55	25.74	7.97	3.38	2.75	1.053	0.171		-
	11	표층	13.4	31.58	7.99	8.59	2.01	1.339	0.111	4.3	3.35
		저층	13.6	31.63	8.02	8.54	2.07	1.398	0.101		0
		평균	13.50	31.61	8.01	8.56	2.04	1.369	0.106		-

09번 정점(북위 35°05'10" 동경 128°29'06") 개략위치 : 진해화학 서방

년도	월	층	수온 (°C)	염분 (‰)	pH	DO (mg/L)	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	SS (mg/L)	클로로필 (µg/L)
2000	2	표층	6.0	3.05	8.04	9.25	3.15	-	-	2.8	3.79
		저층	6.2	33.09	8.03	9.81	5.38	-	-		0
		평균	6.10	18.07	8.04	9.53	4.26	-	-		-
	5	표층	16.5	33.28	8.37	7.32	1.62	-	-	5.0	6.68
		저층	14.6	33.68	8.21	7.52	1.95	-	-		0
		평균	15.55	33.48	8.29	7.42	1.78	-	-		-
	8	표층	25.8	24.89	8.28	5.34	2.07	-	-	4.4	14.18
		저층	22.3	30.14	8.21	2.17	1.59	-	-		0
		평균	24.05	27.52	8.24	3.75	1.83	-	-		-
	11	표층	16.7	32.07	7.98	8.10	2.83	-	-	10.4	2.07
		저층	16.7	31.04	7.98	7.03	2.54	-	-		0
		평균	16.70	31.56	7.98	7.57	2.69	-	-		-
2001	2	표층	6.3	33.08	8.05	6.96	2.54	-	-	12.2	0.97
		저층	6.4	33.08	8.00	6.95	2.89	-	-		0
		평균	6.35	33.08	8.03	6.96	2.71	-	-		-
	5	표층	15.5	32.93	7.97	8.13	2.26	-	-	10.4	7.80
		저층	15.3	33.08	7.93	8.16	2.42	-	-		0
		평균	15.40	33.01	7.95	8.14	2.34	-	-		-
	8	표층	25.6	31.09	7.72	6.81	2.60	-	-	4.4	20.02
		저층	20.7	32.30	7.74	7.39	2.11	-	-		0
		평균	23.15	31.70	7.73	7.10	2.36	-	-		-
	11	표층	17.0	32.15	8.07	8.21	3.10	-	-	1.5	2.51
		저층	17.2	32.26	8.06	6.92	2.48	-	-		0
		평균	17.10	32.20	8.06	7.57	2.79	-	-		-
2002	2	표층	7.3	32.80	8.12	10.14	2.67	0.557	0.095	1.2	1.38
		저층	7.4	33.23	8.13	9.52	2.77	0.486	0.088		0
		평균	7.35	33.02	8.13	9.83	2.72	0.522	0.092		-
	5	표층	16.0	30.42	7.82	5.05	2.21	0.822	0.221	5.7	10.91
		저층	15.3	30.47	7.77	4.07	2.43	0.625	0.235		0
		평균	15.65	30.45	7.79	4.56	2.32	0.724	0.228		-
	8	표층	27.4	30.49	8.15	12.74	3.06	1.785	0.171	4.8	15.51
		저층	20.9	31.84	8.13	4.00	2.81	0.790	0.142		0
		평균	24.15	31.16	8.14	8.37	2.94	1.288	0.157		-
	11	표층	13.3	31.71	8.00	8.58	2.44	1.491	0.187	3.9	3.86
		저층	13.5	31.91	7.98	8.55	2.30	1.551	0.141		0
		평균	13.40	31.81	7.99	8.56	2.37	1.521	0.164		-

10번 정점(북위 35°05'10" 동경 128°29'06") 개략위치 : 옥포항 앞

년도	월	층	수온 (°C)	염분 (‰)	pH	DO (mg/L)	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	SS (mg/L)	클로필 (µg/L)
2000	2	표층	11.7	33.52	7.95	6.51	1.59	-	-	3.0	0.74
		저층	11.2	34.15	7.99	8.24	1.04	-	-		0
		평균	11.45	33.84	7.97	7.38	1.31	-	-		-
	5	표층	14.6	34.09	8.34	7.74	0.41	-	-	2.5	2.49
		저층	13.3	34.07	8.24	8.08	2.78	-	-		0
		평균	13.95	34.08	8.29	7.91	1.60	-	-		-
	8	표층	26.0	21.80	8.46	8.06	5.25	-	-	5.4	35.23
		저층	29.4	32.06	8.23	2.84	1.54	-	-		0
		평균	27.70	26.93	8.35	5.45	3.40	-	-		-
	11	표층	17.1	31.63	8.03	8.55	1.97	-	-	11.2	1.17
		저층	17.1	32.81	7.92	5.51	1.25	-	-		0
		평균	17.10	32.22	7.97	7.03	1.61	-	-		-
2001	2	표층	11.8	33.98	8.12	6.12	0.85	-	-	4.8	0.20
		저층	11.0	33.86	8.18	6.23	0.95	-	-		0
		평균	11.40	33.92	8.15	6.17	0.90	-	-		-
	5	표층	16.4	32.71	7.83	7.99	1.10	-	-	8.0	4.46
		저층	14.3	33.80	8.11	8.27	1.54	-	-		0
		평균	15.35	33.26	7.97	8.13	1.32	-	-		-
	8	표층	23.7	30.31	8.05	7.09	2.76	-	-	4.6	20.54
		저층	19.5	32.88	8.04	7.50	2.01	-	-		0
		평균	21.60	31.59	8.04	7.29	2.38	-	-		-
	11	표층	17.9	32.65	8.09	7.79	1.09	-	-	1.2	1.93
		저층	18.0	32.17	8.08	5.58	0.98	-	-		0
		평균	17.95	32.41	8.09	6.68	1.03	-	-		-
2002	2	표층	9.9	33.80	8.10	10.21	1.37	0.327	0.031	2.6	0.27
		저층	10.3	33.88	8.13	10.07	1.57	0.391	0.030		0
		평균	10.10	33.84	8.12	10.14	1.47	0.359	0.031		-
	5	표층	16.5	30.39	7.93	7.84	0.79	0.443	0.016	3.1	2.66
		저층	14.4	33.41	7.98	7.73	0.63	0.287	0.020		0
		평균	15.45	31.90	7.96	7.79	0.71	0.365	0.018		-
	8	표층	23.4	31.43	8.08	12.38	1.19	0.193	0.041	5.0	5.01
		저층	20.5	32.79	8.05	8.92	1.19	0.132	0.021		0
		평균	21.95	32.11	8.06	10.65	1.19	0.163	0.031		-
	11	표층	14.5	32.45	8.01	8.38	1.30	0.561	0.029	2.8	1.55
		저층	14.5	32.59	8.10	8.33	0.93	0.467	0.039		0
		평균	14.50	32.52	8.05	8.36	1.12	0.514	0.034		-

제3장 마산/창원 하수종말처리장의 현황

마산/창원 하수종말처리장은 1978년에 예비조사를 완료하였고 외국건설회사와 합작으로 1981년 4월에 하수처리장의 기본계획을 수립하여 1981년 12월에 실시설계 후 1984년에 착공하였으나 인접지역 주민들의 처리장건설 반대와 주변해역의 수질기준이 크게 강화됨에 따라 1985년에 하수처리방법과 처리용량을 전면 재검토하여 1986년에 최종실시설계가 완료되었다. 마산시와 창원시의 생활하수 및 공장폐수를 처리하는 마산·창원 하수처리장은 1차 처리된 하수를 진해만의 외해에 방류함으로써 마산항의 수질을 개선하고 수역 이용도를 높여 인접지역의 쾌적한 환경조성에 이바지할 목적으로 건설되었다.

3.1 마산·창원 하수종말처리장으로 유입되는 오염부하 현황

3.1.1 하수도 현황

마산시 하수도 체계는 합류식으로서 우수 및 오수 관거를 통해 7개 하천으로 유입되고 있었으나 하수도 시설의 미비로 가정오수와 공장폐수가 미처리 상태로 유출되어 마산만의 오염을 날로 가중시켜, 이를 개선하고자 1985년 5월 위생하수관거를 설계하여, ABD 차관사업으로 1986년 10월부터 1991년 5월까지 위생하수관거 연장 245.1km를 매설하였으며, 1993년부터 연장 278km의 가정오수관 연결사업을 실시하여 1996년 완공하였다.

창원시는 계획도시로서 하수도 체계는 분류식으로 이루어져 있으며 총 연장 884km인 우수관은 1993년말 현재 97.3%인 861km가 완공되었고, 총연장 325km인 오수관은 95.3%인 310km가 완공되었으며 마산시 및 창원시의 하수도 현황은 <표 3-1>과 같다.

<표 3-1> 마산·창원시 하수도 현황('93)

구분	인구(천명)		면적(km ²)	매설(km)	보급률(%)		
	총인구	배수인구	배수면적	위생하수관거	인구기준	면적기준	시설기준
마산시	385	312	23.07	272.12	81.2	70.7	90.0
창원시	399	395	37.75	325	96.5	85.3	95.4

3.1.2 분뇨배출량 및 수거처리현황

마산시 하수통계에 의한 1993년말 현재 마산시의 변소 수세화율은 83.1%이며 처리대상인구 384,000명의 하루 배출되는 분뇨배출량은 1일 평균 422kl로, 수세화처리 및 자연처리되는 177kl/일을 제외한 245kl/일을 수거 처리하고 있다.

창원시 하수통계에서 1993년말 현재 창원시의 변소 수세화율은 94.9%이고 처리대상인구 399,393명의 하루 배출량이 약 399kl로 1일 1인당 1.0l 정도이며 이중 48.4%인 193kl/일이 수거처리되고 있으며 마산 및 창원시의 분뇨배출량 및 수거현황은 <표3-2>에 나타내었다.

<표 3-2> 마산 및 창원시 분뇨배출량 및 수거현황('93) (단위 :kl)

구분	배출량 (kl/년)	처리(kl/년)				1일 평균		수거율 (%)
		자연정화	수 거			배출량	수거량	
			계	분뇨	정화조			
마산시	154,030	64,605	89,425	24,820	64,605	422	245	58.0
창원시	145,635	75,190	70,445	20,440	50,005	399	193	48.4

3.1.3 쓰레기 발생량 및 수거현황

마산시의 청소구역내에서 발생하는 총 쓰레기 배출량은 <표3-3>에 나타낸 바와 같이 1993년 총 대상인구 384,689명이 1일 평균 총 764을 배출하는 것으로 나타났으며 1일 1인당 배출량 원단위는 1.99kg이다.

창원시의 청소구역내에서 발생하는 총 쓰레기 배출량은 <표3-3>에 나타난 바와 같이 1993년 총 대상인구 399,393명이 1일 평균 약 570톤을 배출하는 것으로 나타났으며 1일1 인당 배출하는 원단위는 1.43kg이다.

<표 3-3> 마산·창원시 쓰레기 발생량 및 수거현황('93)

구분	청소구역내 인구 (명)	배출량 (t/일)	수거량 (t/일)	수거율 (%)
마산시	384,649	764	764	100
창원시	399,393	570	570	100

3.2 마산·창원 하수도 정비 기본계획의 변경

마산시의 기본 하수도정비기본계획은 1984년도에 수립되었으나, 그 동안의 도시계획 및 인구지표의 변경, 분류식 위생하수관거 부설 등 여건변동으로 하수도 재정비계획의 필요성이 대두되었고, 하수관거 신설과 개량으로 인한 하수도 대장 추가작성 및 보완으로 체계적인 관리의 필요성이 요구되었고, 이에 기존하수도 단면검토를 시행하여 종합적인 개선 대책을 수립하여 공공하수도의 원활한 관리를 도모하게 되었다.

창원시는 우리나라 남부지역인 경상남도 남측 중심부에 위치하고 있으며 도청소재지로서 행정 및 산업경제의 중심도시로서 계속하여 시세가 확장되고 있으며, 1995년 1월 1일부터 정부의 전국적인 시·군통합정책에 따라 창원군 3개면을 흡수하여 행정구역 면적 291.64km²에 총인구는 432,724명에 이르렀다.

따라서, 인구증가와 산업발달에 따른 생활하수 및 산업폐수의 배출증가로 공공수역의 수질오염등 환경문제가 날로 증가되고 있는 실정이나 1985년 7월에 수립된 하수도 정비 기본계획이 상기 문제점을 충족시키지 못하여 이를 해결하고자 마산·창원 하수종말처장의 가동 및 2차 시설증설을 추진하여, 하수행정의 원활함, 쾌적한 도시생활환경개선, 환경보호 및 방류수역의 수질보전에 만전을 기하고자 한다.

3.3 수질현황

3.3.1 오염원조사 및 수질현황

마산·창원지역 하수 수질의 특성을 파악하기 위해 표본지역(19개지점) 및 펌프장 4개소(4개지점), 예비처리장(1개지점)등에 대한 BOD, COD, SS, DO등 16개 항목에 대하여 4회 측정하였다. 대표적인 조사내용 및 수질현황은 <표 3-4>와 같고 1994년 마산·창원 하수처리장 수질현황은 <표 3-5>와 같다.

<표 3-4> 주요지점의 하수 수질현황

(단위 :mg/l)

구분	지점	BOD	COD	T-N	T-P	Cl
공장폐수	5					
공 장	(4)	9.5-33	23-47	1-83	0-7	187
병 원	(1)	22-76	47-60	15-46	2-6	250
가정하수	8	14-48	11-51	1.3-26.4	0.6-4	70-4453
하 천 수	6	18-56	32-74	1.8-9.2	1.2-2.3	98-144
창원 1 펌프장		46.4	44.6	31.52	2.022	390
창원 2 펌프장		34.2	34.8	26.78	2.13	708
마산 1 펌프장		58.6	37	32.14	2.238	685
마산 2 펌프장		39	30	29.72	1.396	964
예비 처리장		37.8	32	38.40	1.312	1,210

<표 3-5> 1994년 마산/창원 하수처리장 수질현황(평균)

(단위 :mg/ℓ)

월	유 입 수				유 출 수			
	BOD	COD	SS	Cl	BOD	COD	SS	Cl
1	43.0	39.1	196.6	3,751	32.8	29.8	111.6	2,691
2	68.4	37.4	128	4,079	48.5	31.1	77	3,548
3	47.6	34.8	106	4,508	37.9	30.1	69	3,376
4	49.5	37.2	97	3,077	42.0	30.6	65	2,732
5	54.3	38.0	99	2,167	42.0	29.6	68	1,909
6	55.2	36.5	92	1,622	43.6	28.2	58	1,598
7	42.6	36.0	85	1,748	31.1	28.5	58	1,742
8	45.2	32.7	106	2,784	29.1	25.9	69	2,512
9	39.5	31.3	97	2,988	29.2	24.7	61	2,280
10	43.1	29.4	90	2,507	30.4	22.7	59	2,116
11	42.9	31.1	84	2,346	28.2	23.3	47	1,745
12	45.6	34.8	70	2,188	31.0	24.8	47	1,783
평균	44.83	34.86	104.2	2,813	35.5	27.4	65.8	2,336

3.3.2 조사결과 및 수질분석

마산·창원지역의 오염원 조사결과를 보면 BOD, COD의 농도가 통상 50mg/ℓ이하의 저농도였으며, T-N농도는 2mg/ℓ전후이고, Cl이온농도는 1,000mg/ℓ이하인데, 해안매립지에서는 해수의 관거침투로 인하여 수천mg/ℓ로 증가한다.

마산·창원지역의 경우하수발생량과 처리장 유입량의 차이가 큰 것은

합류식 관거를 분류식화하는데 따른 관거의 정비가 완전하지 않은 상태로 1994년 당시 46% 정도가 미처리되어 있는 실정에서 기인하였으며, 향후 관거정비가 완전하게 되는 시점에서는 유입하수량이 발생하수량에 근접하게 되고 수질 또한 안정되어질 것으로 사료된다.

오염원 조사에서 유입수질이 낮은 원인을 살펴보면, 생활오수의 오염부하량의 추정과 실제 발생오염부하량과의 차이가 있는데, 이는 가정하수의 농도가 추정치 만큼 높지 않고 시간에 따른 변화가 크고, 수세식 화장실 보급률 및 정화조 효율등에 의한 영향을 받으며, 가정의 위생관거가 분류식관거에 완전히 연결되지 않아 가정에서 발생하는 하수중 많은 양이 관거로 유입되지 않고 있으며, 공장폐수 또한 폐수처리공정을 거쳐 배출되고, 지하수나 해수가 유입되기 때문으로 분석된다.

3.4 기존하수처리장 현황

마산 및 창원 공업도시의 하수를 처리하기 위하여 ADB차관 사업으로 마산시 덕동리에 28,000m³/일 처리규모의 1차처리 하수처리장을 건설하여 1993년 6월 준공하여 현재 가동중에 있다.

처리장은 예비처리장과 본처리장으로 구분되며, 4개소의 중계펌프장으로 부터 예비처리장에 유입된 하수는 유입펌프실, 스크린실, 폭기침사지를 거쳐 터널을 통하여 사포지역의 본처리장에 유입되어 1차 침전지에서 침전처리되고, 처리수는 방류펌프장에서 펌핑되어 육상방류 관거를 거쳐 옥계 앞바다에 부설된 해양방류관거를 통하여 해양 방류하게 된다.

마산·창원 하수종말처리장의 기존슬러지 처리공정은 농축조, 소화조, 소화슬러지 농축조, 탈수시설의 공정으로 구성되며, 슬러지 처리과정에서 생성되는 메탄가스는 제반설비 및 사택 등에 공급하여 열에너지로 재활용되며, 슬러지 최종처분은 덕동 매립장에 매립하고 있다.

3.5 확장계획

3.5.1 계획목표년도

마산·창원 하수종말처리장은 2011년 720,000m³/일 규모의 시설용량을 목표로 설정하고 총 3단계 증설계획으로 구성되어 있으며, 이 논문에서 다루는 과업은 2단계 사업으로서 목표연도 2001년에 해당되며 각 단계별 목표연도는 다음과 같다.

- 1단계 : 1993년
- 2단계 : 2001년
- 3단계 : 2011년

당초 2단계 사업의 실시설계가 1996년 2월에 완료되어 2차 확장공사는 2001년 완공 계획이었으나 사업의 지연으로 2005년 완공될 예정이다.

3.5.2 계획오염부하량

하수처리장에 유입되는 하수수질은 처리구역에서 배출되는 생활하수와 공장폐수에 의해 결정된다. 마산·창원 하수종말처리장 2단계 증설공사에

서는 장래 하수량 증가 및 생활수준 향상 등에 따른 부하량 원단위 증가 요인을 고려하여 장래 주요 년도별 발생부하량 원단위를 설정하였으며, 각 계획 년도의 배출하수 수질은 계획 처리인구와 설정된 생활하수 오염 부하량 원단위와 공장폐수 오염부하량 원단위를 감안하여 결정하였다.

마산·창원 하수종말처리장으로 유입되는 연도별 계획오염부하량 및 유입수질은 <표3-7>과 같으며, 처리장 시설물 설계에 적용되는 설계수질은 일최대 하수량을 기준으로 하여 <표 3-8>과 같이 나타내었다.

<표 3-6> 연도별 생활하수 오염부하량 원단위

◆ 마산시

(단위 : g/인.일)

항목	구 분	1990	1993	1996	2001	2006	2011
BOD	잡 폐 수	23	24	25.0	26.7	28.3	30
	영업오수	11.5	12	12.5	13.3	14.2	15
	분 뇨	19	19	19.0	19.0	19.0	19
	계	53.5	55	56.5	59.0	61.5	64
COD	잡 폐 수	21	22	23.0	24.7	26.3	28
	영업오수	10.5	11	11.5	12.3	13.2	14
	분 뇨	15	15	15.0	15.0	15.0	15
	계	46.5	48	49.5	52.0	54.5	57
SS	잡 폐 수	13	14	15.0	16.7	18.3	20
	영업오수	6.5	7	7.5	8.3	9.2	10
	분 뇨	45	45	45.0	45.0	45.0	45
	계	64.5	66	67.5	70.0	72.5	75

◆ 창원시

(단위 : g/인.일)

항목	구 분	1993	1996	2001	2006	2011
BOD	잡 폐 수	25.8	28.8	33.8	38.8	43.8
	영업오수	7.1	8.1	9.5	10.9	12.3
	분 뇨	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9
	계	56.8	60.8	67.2	73.6	80.0
COD	잡 폐 수	28.6	30.1	32.6	35.1	37.6
	영업오수	8.0	8.4	9.1	9.8	10.5
	분 뇨	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9
	계	60.5	62.4	65.6	68.8	72.0
SS	잡 폐 수	22.9	24.4	26.9	29.4	31.9
	영업오수	6.4	6.8	7.5	8.2	8.9
	분 뇨	44.9	44.9	44.9	44.9	44.9
	계	74.2	76.1	79.3	82.5	85.1

<표3-7> 연도별 계획오염부하량 및 유입수질

구 분			1993	1996	2001	2006	2011
오 염 부하량 (kg/일)	생활하수	BOD	29,062	42,612	51,385	59,738	64,828
		COD	25,935	38,179	46,216	53,994	58,880
		SS	26,848	13,434	49,030	57,440	62,449
	공장폐수	BOD	12,836	16,404	18,192	19,177	19,177
		COD	13,905	17,771	19,708	20,775	20,775
		SS	12,836	16,404	18,192	19,177	19,177
계(kg/일)		BOD	41,898	59,060	69,577	78,915	84,005
		COD	39,840	55,950	65,924	74,769	79,655
		SS	39,684	55,838	67,222	76,617	81,626
설계하수량 (천 m ³ /일)		일평균	281.1	397.4	517.9	593.4	619.6
		일최대	312.7	450.3	597.0	689.2	721.5
유입수질 (mg/l)	일평균	BOD	149	149	134	133	136
		COD	142	141	127	126	129
		SS	141	141	130	129	132
	일최대	BOD	134	131	117	115	117
		COD	127	124	110	108	110
		SS	127	124	113	111	113

<표 3-8> 설계수질

구분	유입수질(mg/l)			설계수질(mg/l)			비 고
	BOD	COD	SS	BOD	COD	SS	
2001년	117	110	113	130	125	130	일최대 기준
2011년	117	110	113	130	130	130	

3.5.3 하수처리방식 및 처리공정

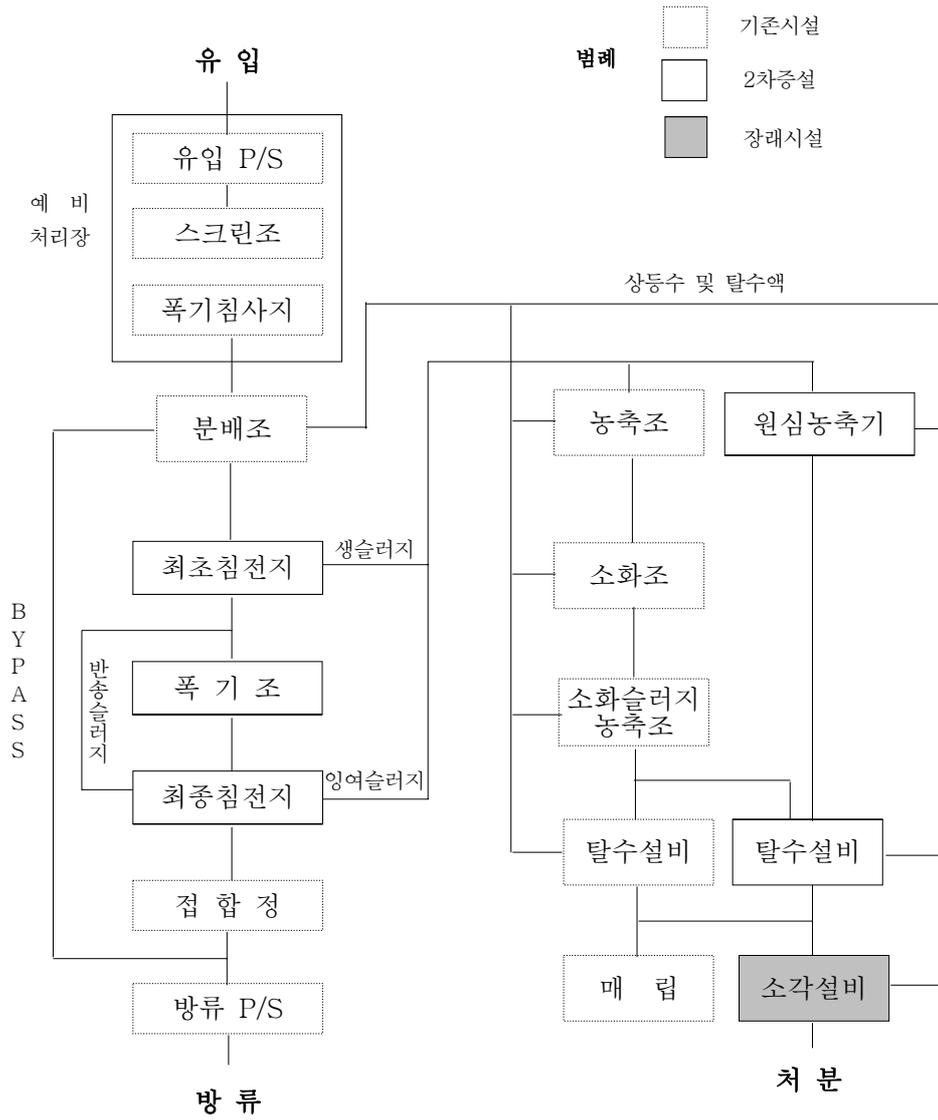
(1) 수처리 방식

마산·창원 하수종말처리장의 수처리 계획은 기 건설된 1차 처리시설에 2차 처리시설을 추가 증설하는 경우로 2차 처리방식 결정은 하수처리장 계획에 가장 중요한 결정사항 중의 하나이다.

2차 처리방식을 결정함에 있어 국내실적, 운전기술, 처리효율, 부하변동에 대한 대응, 경제성 및 장래 방류수질 강화에 대비한 고도처리시설로의 전환 가능성 등에 대하여 대표적인 2차 처리방식과 외국의 실용화된 처리방식 등과 비교검토한 결과, 국내외로 실적이 많아 운전기술이 축적되어있고, 안정된 처리효율, 경제성, 장래 고도처리시설로의 전환이 가능한 표준활성슬러지법을 채택하였다.

(2) 슬러지 처리방식

기존 처리장의 슬러지 처리계통은 수처리 시설의 운전과정에서 발생하는 슬러지를 중력 농축, 혐기성소화, 기계탈수 후 매립하는 방식으로 되어 있으나 2차 확장공사에서는 최종침전지에서 발생하는 잉여슬러지를 기존의 생슬러지와 분리하여 처리하는 방식으로 하며, 슬러지 최종처분 방법으로는 운전조작의 용이, 부지면적의 감소, 슬러지 열량 함유율 증대, 경제성 평가 등에서 유리한 분리농축→기계탈수→소각의 처리방식을 채택하였다.



<그림 3-1> 처리계통도

3.5.4 단위공정별 설계하수량 및 설계수질

마산·창원 하수종말처리장의 설계하수량 및 설계수질은 확장계획, 관리의 효율성 및 시공성 등을 고려하여 단계별로 계획하였으며 반송수 부하를 고려한 단계별 설계부하량, 설계수질 및 처리효율은 다음 <표 3-9>와 <표 3-10>과 같다.

<표 3-9> 단계별 설계하수량

(단위 : m³/일)

구 분	1단계	2단계	3단계	계
목 표 년 도	1993년	2001년	2011년	-
일평균 하수량	-	434,000	184,000	618,000
일최대 하수량	280,000	500,000	220,000	720,000
시간최대하수량	-	777,000	338,000	1,115,000

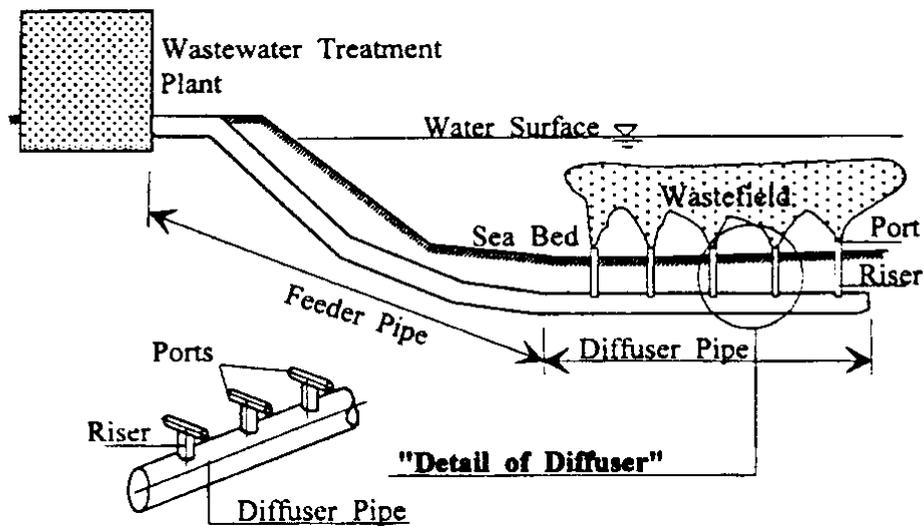
<표 3-10> 단위공정별 설계수질 및 처리효율

구분	유입수질 (mg/l)	설계수질 (mg/l)	최초침전지		포기조 및 최종침전지		총 제거율 (%)	
			제거율 (%)	유출수질 (mg/l)	제거율 (mg/l)	방류수질		
2001년	BOD	117	130	30	91	80.2	18	86.2
	COD	110	125	30	88	80.2	17	86.4
	SS	113	130	35	84	80.9	16	87.7
2011년	BOD	117	130	30	91	80.2	18	86.2
	COD	110	130	30	91	80.2	18	86.2
	SS	113	130	35	84	80.9	16	87.7

3.6 하수처리수 방류해역의 해양환경현황

3.6.1 하수처리수 방류해역 및 방류시스템

임해도시에서 발생하는 방대한 양의 하·폐수는 관로를 통해 하수종말 처리장에 차집되어 처리된 후 연안해역으로 방류된다. <그림 3-2>에서와 같이 해양 수중방류는 하·폐수의 연안 표층방류에 따른 연안수질오염을 저감시키기 위해 해류 등 자연조건을 이용하여 초기 혼합 희석을 최대화하도록 수심이 깊은 외해에 설치된 수중확산관을 통해 이루어진다. 최근 임해 도시인구의 증가로 인해 대규모의 오·폐수가 발생됨에 따라 환경에 대한 관심이 증대되면서 해양 수중방류 시설은 좀더 깊은 수심의 외해에 설치되고 있는 추세이다(Wood et al., 1993).

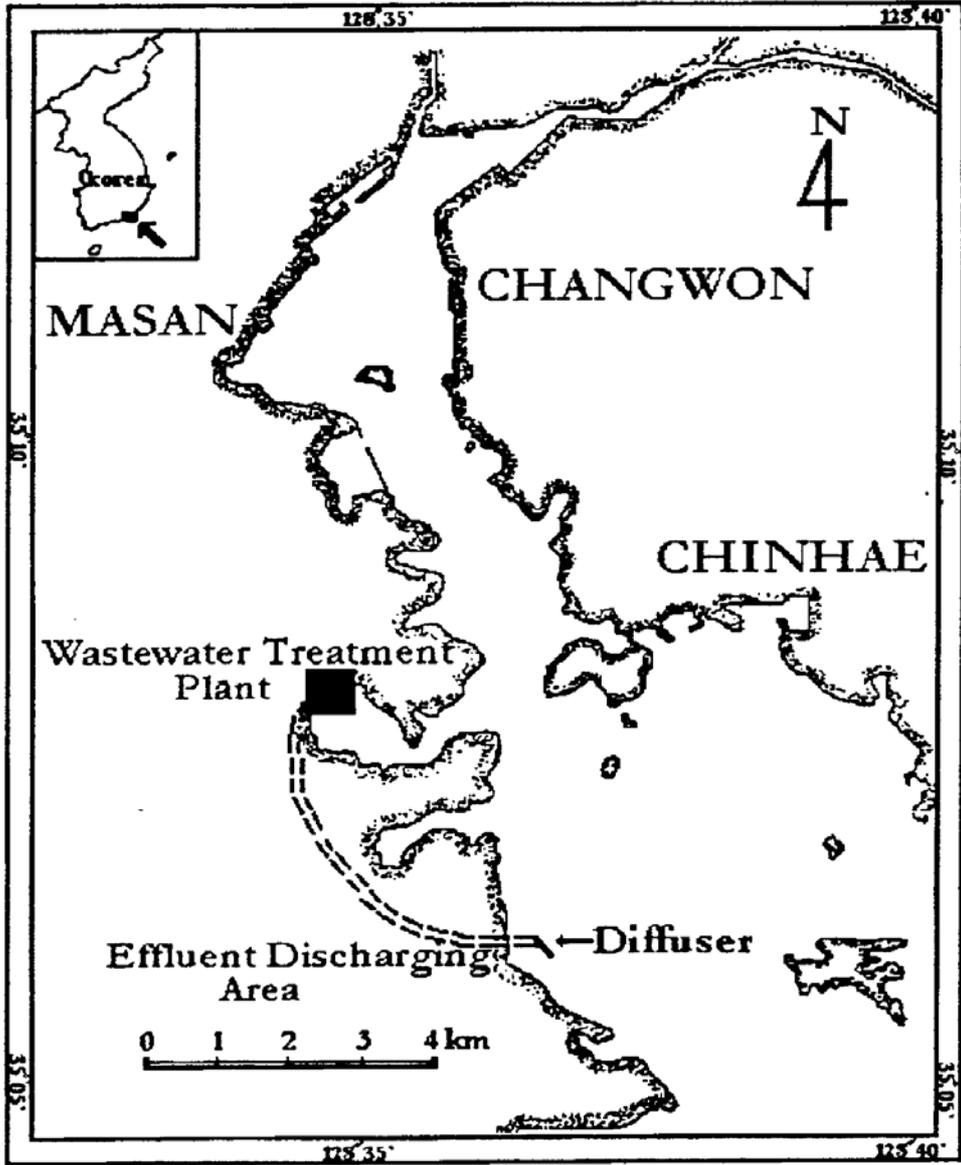


<그림 3-2> 마산·창원 하수종말처리장 방류 시스템

수중다공확산관의 경우 직선형태로 설치된 확산관에 일정한 간격으로 배치된 다수의 포트(port) 혹은 분사구(nozzle)를 통해 고속으로 하수를 해양에 방류하여 방류수가 지나는 운동량, 주변수와의 밀도차에 의한 부력, 주변해류의 난류성분등의 상호작용을 통해 방류수의 높은 희석과 분산을 일으키게 된다.

수중다공확산관을 통한 해양 수중방류는 국내외에서 날로 강화되고 있는 연안환경 수질기준을 충족시킬 수 있는 가장 실용화 된 엔지니어링 기술로 알려져 있다(Jirka and Akar, 1991).

마산·창원 하수종말처리장은 마산 및 창원시에서 발생하는 생활하수 및 산업폐수를 차집하여 처리용량 280,000m³/일 규모의 1차처리를 한후 <그림 3-3>의 경상남도 마산시 구산면 옥계리에서 수중다공확산관을 통해 해양방류를 시행하고 있다. 그러나 2단계, 3단계 증설 후에도 현재 설치된 수중방류시설물을 그대로 사용할 계획으로 있다.

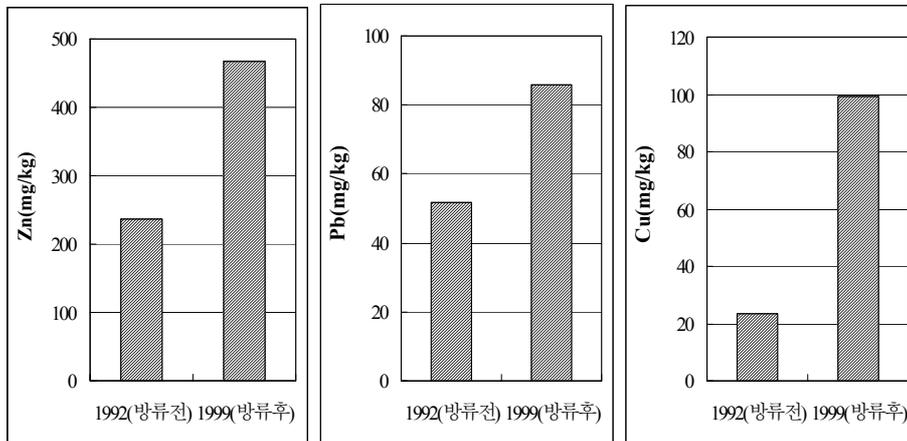


<그림 3-3> 마산·창원 하수종말처리장 방류구 위치

3.6.2 하수처리수 방류해역의 퇴적물 오염현황

마산·창원 하수종말처리장에서 처리수를 방류하기 전인 1992년 조사한 퇴적물 오염도 결과와 1993년 11월 가동개시후 평균 약 237,000m³/일의 처리수를 6년간 방류한 후인 1999년도의 퇴적물 오염도를 <그림3-2>에 비교하여 나타내었다.

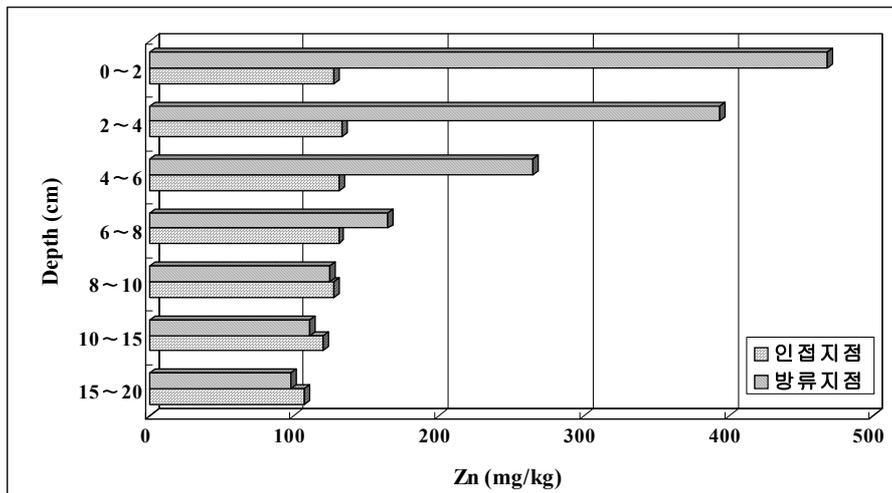
1992년 조사결과 Zn 236.0, Pb 51.8, Cu 23.6mg/kg이었으나 1999년에는 Zn 468.2, Pb 85.7, Cu 99.2mg/kg으로 오염도가 크게 증가한 것을 알 수 있다.



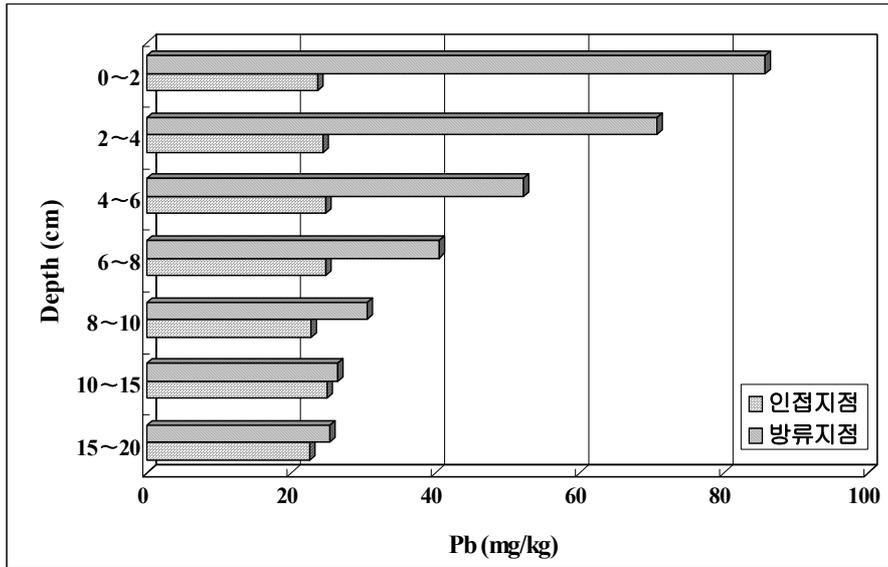
<그림 3-4> 하수처리수 방류전후의 방류지점 퇴적물 중금속 함량 비교

방류지점 및 인접해역 퇴적물을 표층에서부터 2cm 간격으로 나누어 퇴적층별 오염도를 조사한 결과를 조사 결과는 결과를 <그림 3-5>부터 <그림 3-7>에 나타내었다. 퇴적층 0~2cm는 가장 최근에 침강 형성된 퇴적물로서 최근에 유입된 오염물질의 영향을 받을 것이라 할 수 있고,

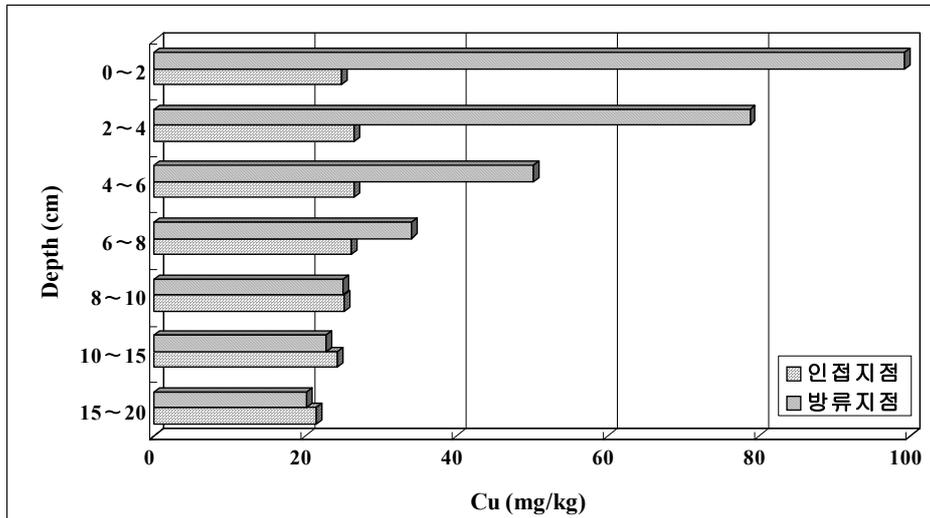
조사된 Zn, Pb 그리고 Cu 등의 층별 함량을 보면 진해만 방향의 인접해역에서는 퇴적층별 농도 변화가 거의 없어 최근 몇 년간 오염변동이 없었으나 방류지점에서는 표층에 가까울수록 오염도가 급격히 증가하고 있으며, 이는 최근 몇 년간 하수방류 해역에 중금속 부하량이 크게 증가하였음을 알 수 있다.



<그림 3-5> 방류지점과 인접지점의 퇴적층의 Zn 농도



<그림 3-6> 방류지점과 인접지점의 퇴적층의 Pb 농도

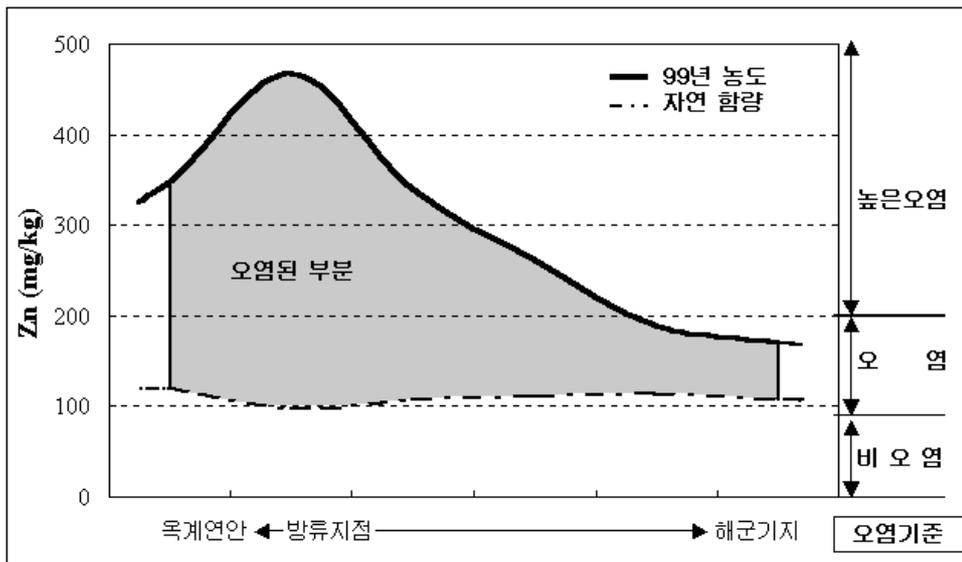


<그림 3-7> 방류지점과 인접지점의 퇴적층의 Cu 농도

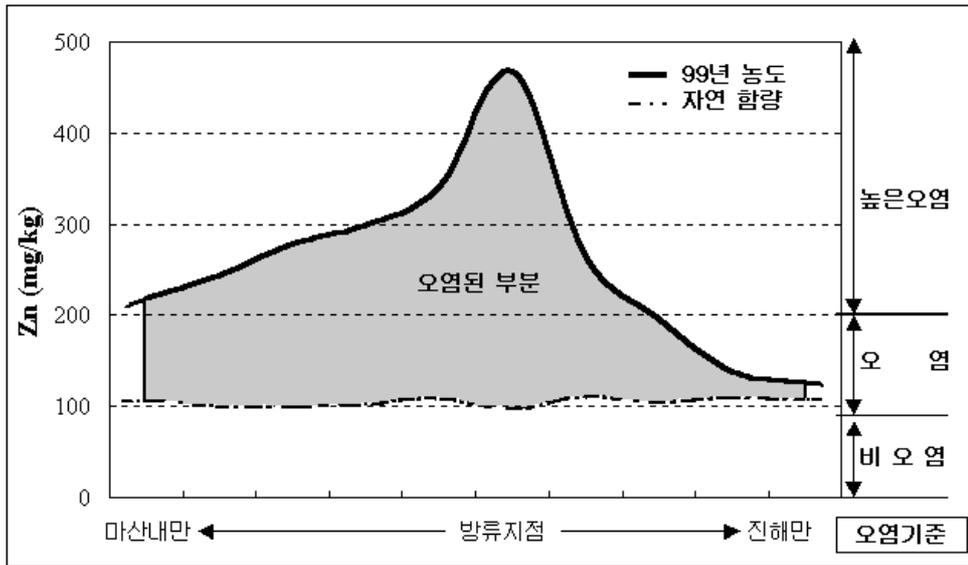
하수처리수 방류 해역은 해수의 유동 및 이동 확산이 아주 약한 지역으로, 방류된 오염물질의 외해로의 이동 확산은 미미하며 오히려 옥계 연안지역이나 마산만 내만 방향으로 이동 퇴적되고 있는 것으로 나타났다.

방류위치를 중심으로 하여 동서 방향(옥계 연안 ↔ 해군기지) 및 남북 방향(마산만 내만 ↔ 진해만)의 중금속 오염도를 <그림 3-4(동서방향)>과 <그림 3-5(남북방향)>에 나타내었다.

오염도 분포의 특징은 방류지점을 중심으로 볼 때 옥계 연안 해역이 진해 해군 군사기지 쪽보다 높게 나타났고, 또한 진해만 쪽으로 확산 될 것으로 기대한 오염 물질은 내만 쪽이 오히려 높게 나타나고 있어 외해로의 확산보다 내만 방향으로 퇴적되고 있음을 알 수 있다.



<그림 3-8> 방류해역 동서방향 퇴적물 오염도(Zn)



<그림 3-9> 방류해역 남북방향 퇴적물 오염도(Zn)

제4장 해수유동 시뮬레이션

내만이나 연안에 있어서 상승적조피해를 방지하기 위하여 주변해역의 해수유동 및 오염물질의 확산에의 영향을 예측하는 것은, 수질 및 환경보전의 입장에서도 극히 중요하다고 하겠다. 이렇기 때문에 우선 수리특성을 충분히 파악하여 주변 환경에 미치는 영향을 비교, 분석할 필요성이 있다.

통상, 이러한 종류의 문제에 대처하기 위하여서는, 과거의 풍부한 신뢰성이 있는 실측자료는 계절적 변화, 및 수심별 변화 등 시간적, 공간적인 변동이 현저하며, 수질오탁 기구를 구성하는 물리적, 생물·화학적인 작용의 복잡성 등으로 그 실태는 아직 충분히 파악되어 있지 않으며, 또한 어떠한 지역에는 실측이 거의 이루어지지 않아서 경우에 따라서는 그러한 자료라도 구하기는 매우 어려운 것이 우리의 실정이다.

그래서 해수 유동 및 오탁수질의 확산을 규제하는 요인 중에서 지배적인 것을 들어서 모델화하여 각각의 현상을 분석하여 갈 수밖에 없다. 이를 위하여 수치 모델이 주로 이용되고 있다.

본 장에서는 폐쇄성 해역으로서 상승적조 피해지역인 진해만에 있어서의 해수유동 및 오염물 확산시뮬레이션을 통하여 현황을 파악하고 관측자료와 비교분석하여 이 해역의 수질특성을 파악하고자 하였다.

4.1 실험내용

해수유동의 실험은 해수유동수치모델에 의한 해역모형의 구축, 예측실험 및 평가의 과정으로 수행되었다. 수치모형의 현장 적용성에 대한 검

증은 대상해역의 지형자료, 조석·조류관측자료를 이용한 수치모형에 의해 대조기 유동특성을 재현하고, 실측치와의 비교·검토에 의해 수행되었다.

4.2 수치모형의 구성

<그림 4-1> 좌표계 정의

연안해역의 유동은 <그림 4-1>과 같이 평균해면을 원점으로 하는 연직방향으로 z 축을 취하고, 수면 상에 x , y 축을 취한 좌표상에서의 비압축성 유체에 대한 운동방정식 및 연속방정식으로 나타낼 수 있다. 여기에 해면($z = \zeta$) 및 해저($z = -h$)의 조건을 도입하여 전체 해면하, 즉 ($-h \leq z \leq \zeta$)의 범위에 대해 적분함으로써, 다음과 같이 수심방향으로 평균화된 2차원 유동의 방정식으로 변화할 수 있다. 이를 2차원 단층유동모델의 기본방정식으로 사용하였다.

$$\frac{\delta \zeta}{\delta t} + \frac{\delta}{\delta x} [(\zeta + h)u] + \frac{\delta}{\delta y} [(\zeta + h)v] = 0 \quad \dots\dots\dots 4.1$$

$$\begin{aligned} & \frac{\delta u}{\delta t} + u \frac{\delta u}{\delta x} + v \frac{\delta u}{\delta y} - fv + g \frac{\delta \zeta}{\delta x} - A_h \left(\frac{\delta^2 u}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 u}{\delta y^2} \right) \\ & + \frac{gu \sqrt{u^2 + v^2}}{(\zeta + h) C^2} = 0 \quad \dots\dots\dots 4.2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{\delta v}{\delta t} + u \frac{\delta v}{\delta x} + v \frac{\delta v}{\delta y} + fu + g \frac{\delta \zeta}{\delta y} - A_h \left(\frac{\delta^2 v}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 v}{\delta y^2} \right) \\ & + \frac{gv \sqrt{u^2 + v^2}}{(\zeta + h) C^2} = 0 \quad \dots\dots\dots 4.3 \end{aligned}$$

여기서, u, v, A_h 는 $-h \leq z \leq \zeta$ 사이에서 평균화된 x, y 방향의 유속성분과 수평외동점성계수를 각각 나타내며, C 는 Chezy의 조도계수, f 는 Coriolis계수, ρ 는 해수 밀도, g 는 중력 가속도, t 는 시간, h 는 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 확산계산에 최근 널리 이용되고 있는 ADI(Alternating Direction Implicit Method)을 사용한다.

우선 대상 해역을 평면적으로 <그림 4-2>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 (4.1)~(4.3)을 각각 차분화한다. ADI법에서는 시간step을 2등분하여, 전반시간 step ($n+1/2$) Δt 에서는 식 (1)의 좌변 제 1항의 ζ , 제 2항의 u , 그리고 식(2)의 좌변 제 2항의 u (미분항은 제외), 제 5항의 ζ 를 음형식으로 나타내고 나머지 항을 양형

식의 이전 step값 또는 기지량으로 나타내는 다음 식과 같은 형태의 차분식을 도입하여, x방향의 i의 큰쪽에서 작은 쪽으로 ζ 와 u 를 순차적으로 구하고, 이들 값을 이용하여 식 (3.1)로부터 j의 작은 쪽에서 큰 쪽으로 양형식으로 v 를 구한다.

$$\zeta_{i,j}^{(n+(1/2))} = - P_{i,j} u_{i-(1/2),j}^{n+(1/2)} + Q_{i,j} \dots\dots\dots 4.4$$

$$u_{i-(1/2),j}^{(n+(1/2))} = - R_{i-1,j} \zeta_{i,j}^{n+(1/2)} + S_{i,j} \dots\dots\dots 4.5$$

다음 후반의 시간 step인 $(n+1)\Delta t$ 에서는 식(4.1)의 좌변 1항의 ζ , 제3항의 v 및 식(4.3)의 제3항의 v (미분항은 제외) 및 제5항의 ζ 를 음형식으로 나타내어 다음식과 같은 형태의 차분식을 유도함으로써, ζ , v 를 y방향에 따라 j의 큰 쪽에서 작은 쪽으로 ζ 와 v 를 순차적으로 구하고, 이들 값을 사용하여 u 를 양형식으로 구한다.

$$\zeta_{i,j}^{(n+1)} = - P_{i,j} v_{i,j-(1/2)}^{(n+1)} + q_{i,j} \dots\dots\dots 4.6$$

$$v_{i,j-(1/2)}^{(n+1)} = - \gamma_{i,j-1} \zeta_{i,j}^{(n+1)} + S_{i,j-1} \dots\dots\dots 4.7$$

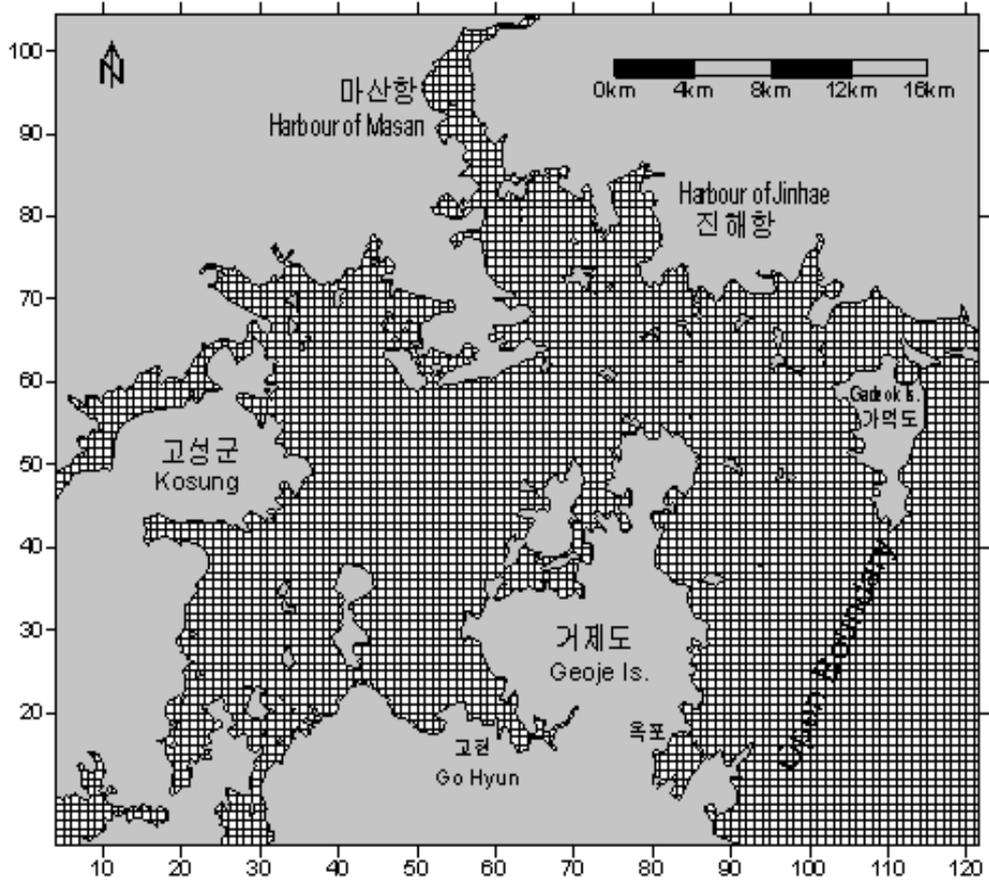
여기서 $P_{i,j}$, $Q_{i,j}$, $R_{i-1,j}$, $S_{i,j}$, $q_{i,j}$, $\gamma_{i,j-1}$, $S_{i,j-1}$ 은 $(n+(1/2))\Delta t$ 또는 $(n+1)\Delta t$ 시간 step보다 앞 단계 시각에서 결정된 기지량이다. 이러한 계산과정을 반복하여, 계산결과가 안정될 때까지 계산을 수행하면 대상해역 중앙 영역에서의 수위 및 유속을 구할 수 있다. 이상의 해법을 사용한 해수유동모형을 <그림 4-2>과 같은 흐름으로 구성하였다. 계산대상해역은 부산주변해역을 대상으로 하고, 계산대상해역

의 격자망은 <그림 4-3>와 같이 구성하였다. 수심자료는 이 해역에 대한 수로국간행 해도(No.206)로부터 취득하여 <그림 4-4>와 같이 입력하고 이 자료에 평균해면(M.S.L)값을 더하여 수심을 보정하였다. 계산시간간격(Δt)은 계산안정조건(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 <표 4-1>과 같다.

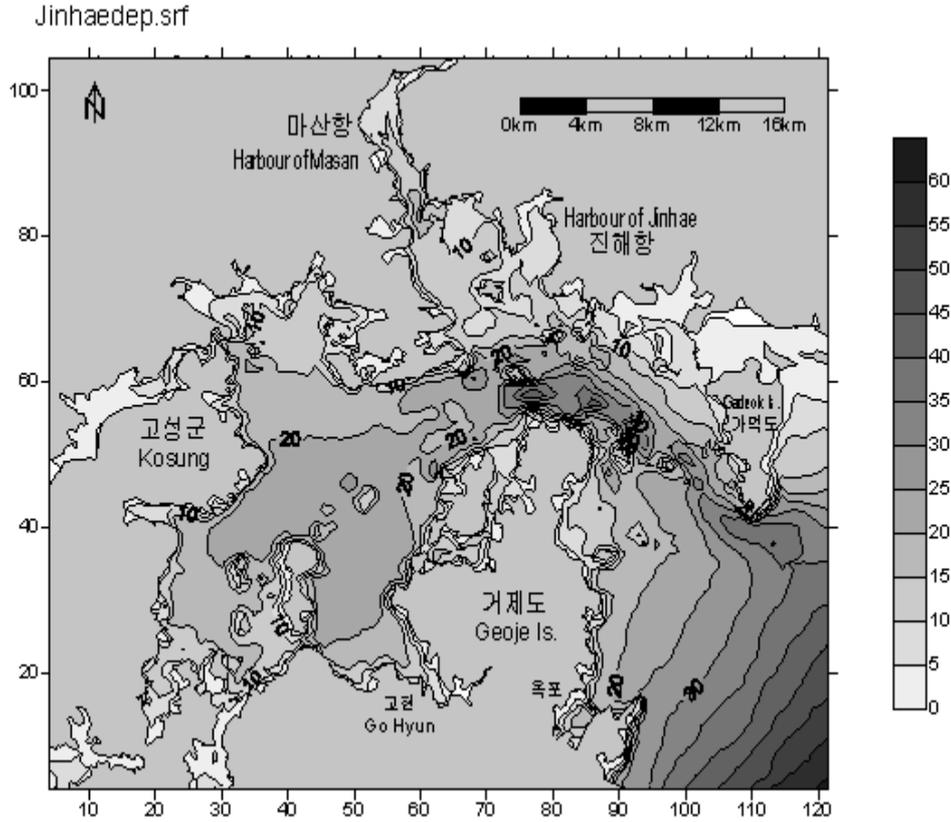
<표 4-1> 해수유동계산을 위한 입력조건

항 목	입력치
격자간격($\Delta x, \Delta y$)	400m
계산시간간격(Δt)	10sec(CFL 조건만족)
Coriolis 계수(f)	$f=2\omega\sin\Phi$, $\omega=2\pi/(24\times 60\times 60)$, $\Phi=35^{\circ}01'N$
조도계수(C)	$C=19.4 \ln$
경계조건	대조기 개방경계조건의 수위값을 결정
초기조건	전체 계산영역에서 수위 및 유속을 0.0으로 하여 계산시작

<그림 4-2> 유동계산의 흐름도



<그림 4-3> 대상해역의 격자망



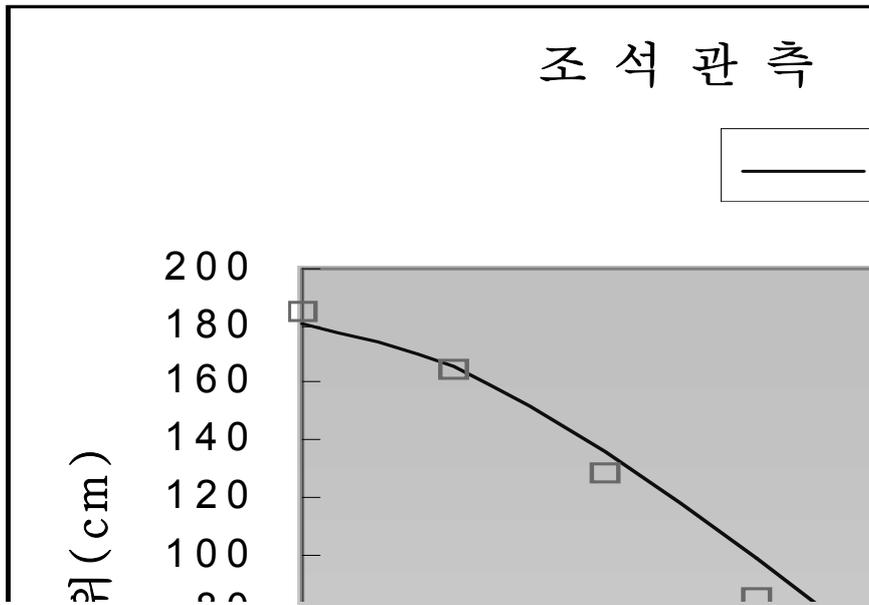
<그림 4-4> 수심도

4.3 모델의 검증

수치모델의 재현성을 검증하기 위하여 국립해양조사원에서 관측한 조석자료와 해수유동 시뮬레이션 결과를 비교하여 검증하였다. <표 4-2>는 진해항에서의 저·고조위 관측치와 계산치를 비교한 결과이며, <그림 4-5>는 그 대비 곡선이다. 표와 그림에서 알 수 있듯이 관측치와 계산치는 크게 다르지 않고 거의 일치한다.

<표 4-2> 진해항 조석 검증결과

구 분	관 측 치(cm)			계 산 치(cm)		
	저조위	고조위	조차	저조위	고조위	조차
진해항	12.2	187.2	175.0	7.1	180.9	173.8



<그림 4-5> 조석관측 및 시뮬레이션결과 비교

4.4 수치실험 결과분석

<그림 4-6>과 <그림 4-7>는 대상해역에서 유동시뮬레이션 결과의 대조기에서의 최대창조류와 최대낙조류의 유동형태이다. 영역내의 유동

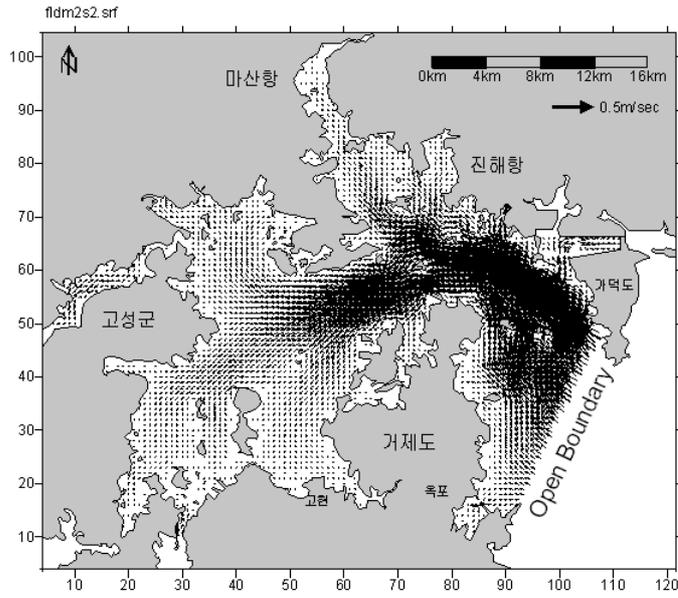
형태가 거의 국립해양조사원의 조류도와 잘 일치하고 있다는 것을 알 수 있다.

유동시물레이션의 결과 가덕수로 주변에서 창조류는 가덕수로 남동쪽에서 유입하여 북서측을 통하여 진해나 마산으로 흘러 들어가는 유향을 띤다. 즉, 가덕수로에서 진해만 입구까지는 창조류가 서북서 내지 북쪽으로 흐른다. 또한 저도 동서측 수로에서 창조류는 북북서 및 북쪽으로 흐른다. 그리고 거제도 북측수로로 진입하여 마산항으로 유입하는 북서류와 진해만 입구수로를 통하여 서 및 남서류로 분기하여 진행한다.

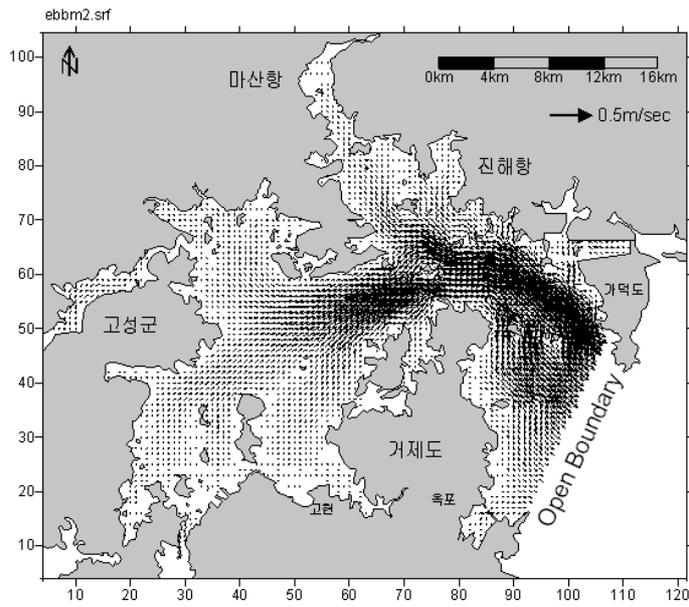
낙조류는 가덕수로 입구 부근에서 창조류와 반대 방향을 띤다. 가덕수도에서 진해만 입구까지는 동남동 및 남남동류한다. 저도 동서측 수로에서 낙조류는 남남동류하며, 마산항에서 남동향하여 거제도 서측에서 흐르는 조류와 합류하여 외해로 빠져나간다.

<그림 4-8>은 해수유동 시물레이션의 잔차류를 나타내고 있다.

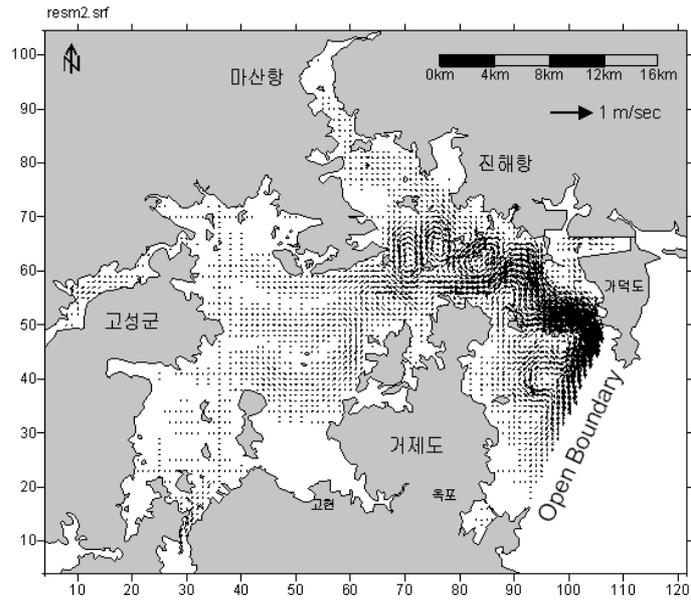
실측자료와의 비교분석하여 검증된 유동데이터를 이용하여 오염확산 시물레이션을 행하기 위하여 중조기의 1주석주기의 조류데이터를 저장하였다. 저장간격은 확산시물레이션의 Time Step 100 sec와 동일하게 설정하였다.



<그림 4-6> 최대창조류도



<그림 4-7> 최대낙조류도



<그림 4-8> 잔차류도

제5장 수질확산 시뮬레이션

5.1. 실험내용

5.1.1 오염물확산 지배방정식

2차원화된 물질확산의 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial[(z+h)C]}{\partial t} + \frac{\partial[(z+h)UC]}{\partial x} + \frac{\partial[(z+h)VC]}{\partial y} = \frac{\partial[(z+h)D_x \frac{\partial C}{\partial x}]}{\partial x} + \frac{\partial[(z+h)D_y \frac{\partial C}{\partial y}]}{\partial y} + q_m \dots\dots\dots(5.1)$$

여기서,

C : 수심 평균 농도

D_x, D_y : x, y방향의 확산계수

q_m : 유입부하량

5.1.2 오염 확산시뮬레이션

오염 확산시뮬레이션은 제2장에서 언급한 국립수산진흥원에서 진해만 내에서 관측하는 관측점의 데이터를 초기 조건으로 입력하여 정상상태가 될 때까지 시뮬레이션을 행하여 오염 확산 형태를 파악하였다. 오염물 확산의 계산조건 및 경계조건은 다음과 같다.

- 수평격자간격 $\Delta x = \Delta y = 400m$

- 시간간격 $\Delta t = 100 \text{ sec}$
- 확산계수 $D_x, D_y : 1.0 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{sec}$
- 개방경계에 있어서 경계조건
 창조시 $C = 0.0$
 낙조시 $-\frac{\partial^2 C}{\partial y^2} = 0$

5.2 현황의 오염 확산 시뮬레이션

5.2.1 하수종말처리장의 영향을 고려하지 않은 경우

먼저 <그림 2-2>에 나타난 국립수산과학원의 2002년 관측지점 10곳의 데이터를 이용하여 춘하추동 및 각 층별 평균을 구하여 <표 5-1>에 나타냈다.

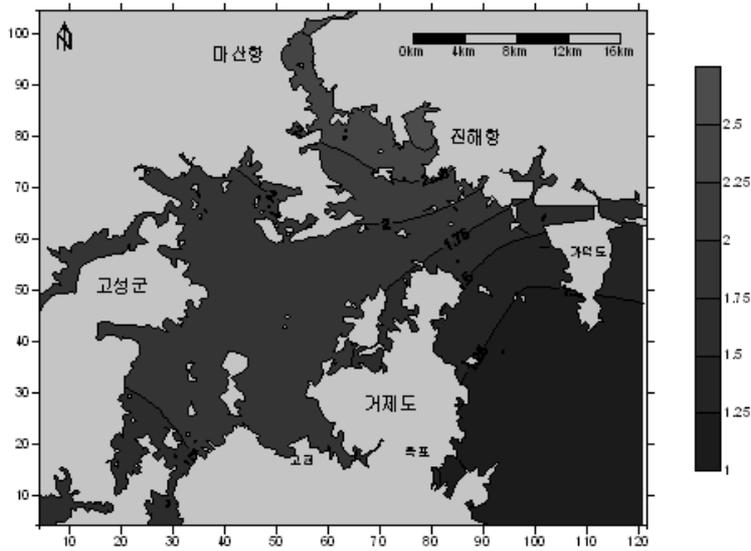
<표 5-1> 2002년 조사점점의 전층 COD조사결과

정점	춘	하	추	동	평균
1	1.01	1.84	1.03	1.5	1.29
2	2.06	2.34	2.04	2.04	2.15
3	1.62	2.08	1.75	1.94	1.82
4	1.64	2.42	1.55	2.27	1.87
5	1.61	2.12	1.25	1.85	1.66
6	1.72	2.3	1.79	1.72	1.94
7	2.85	2.3	2.35	3.06	2.50
8	2.42	2.75	2.04	2.36	2.40
9	2.32	2.94	2.37	2.72	2.54
10	0.71	1.19	1.12	1.47	1.01

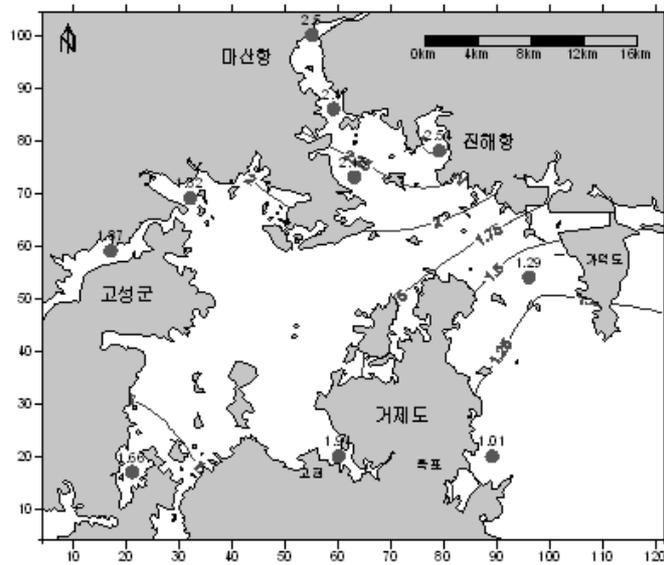
이 값을 이용하여 진해만 내의 초기값을 입력하고 시뮬레이션을 행하였다. 시뮬레이션은 정상상태에 이를 때까지 중조기(M2조)의 유동을 이용하여 실시하였다. 여기서 유동 데이터는 유동 시뮬레이션 시에 저장한 1조석 주기분의 데이터를 사용하였다.

<그림 5-1>에 오염 확산시뮬레이션 결과를 나타낸다. 오염확산 시뮬레이션의 결과를 검증하기 위하여 관측결과의 비교를 행하였다. <그림 5-2>는 오염 확산시뮬레이션의 결과와 관측결과를 비교한 것으로 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 여기서 등치선은 계산결과이고 점은 관측결과이다.

계산 결과에 따르면 마산항 및 진해항의 수질은 3등급 정도를 유지하고 있으며 거제도 서측은 2등급 정도 가덕수로에서 외해는 1등급을 유지하고 있는 것으로 나타났다. 그러나 이결과는 국립수산진흥원에서 조사한 결과를 이용하여 계산한 것이므로 다른 연구에서 관측한 자료와는 차이가 있는 것으로 나타났다.¹⁶⁾ <표 5-2>에 2002년 7월부터 11월까지 행한 현장관측조사결과를 나타낸다. 이 때는 진해만에서 적조가 한창 일어나고 있는 하절기로서 COD의 농도가 높게 나타나고 있다.



<그림 5-1> 오염확산시뮬레이션 결과



<그림 5-2> 오염확산시뮬레이션과 관측결과의 비교

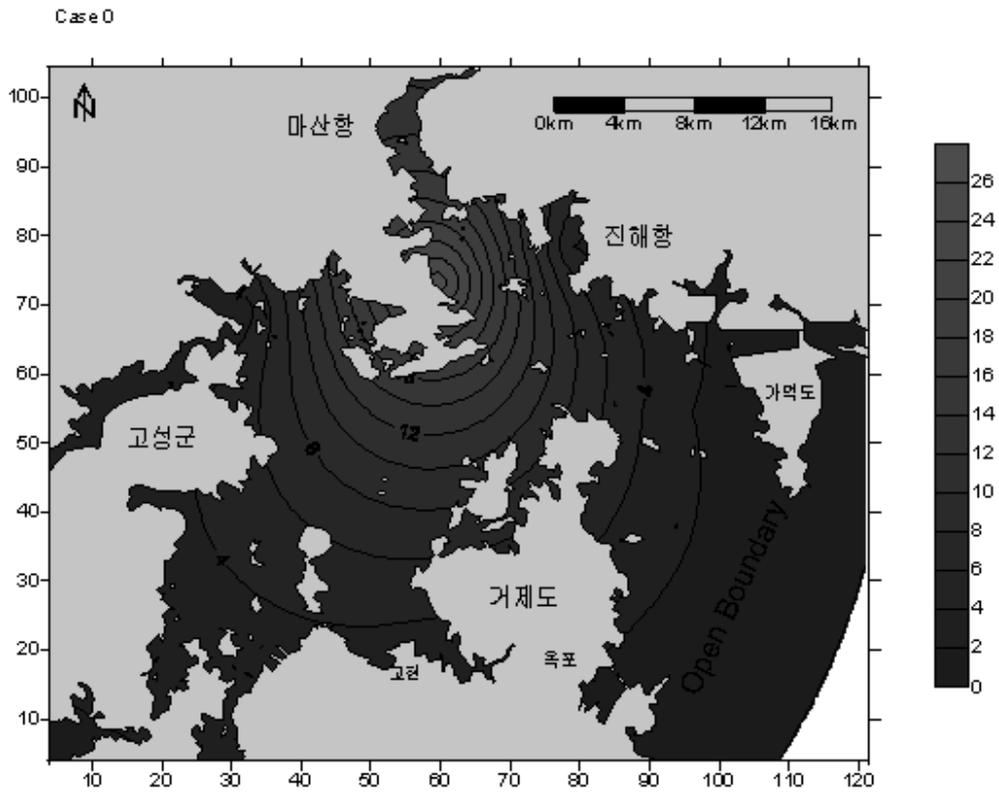
〈표 5-2〉 COD 현장관측조사결과

조사지점	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1차조사	4.62	4.44	4.00	4.36	4.74	4.32	4.92	5.42	4.88	5.00
2차조사	5.08	5.32	5.76	5.54	6.08	5.40	5.92	5.10	5.28	5.44
3차조사	5.02	4.72	5.12	4.64	5.36	4.52	5.34	4.46	5.12	4.98
4차조사	4.32	3.24	4.24	3.26	5.24	5.32	3.14	5.42	5.12	4.46
5차조사	4.28	2.56	4.18	2.86	5.38	2.56	2.62	6.22	4.34	3.10
평 균	4.66	4.06	4.66	4.13	5.36	4.42	4.39	5.32	4.95	4.60

5.2.2 하수종말처리장의 영향을 고려한 경우

여기서는 하수종말처리장에서의 유출수의 농도를 고려한 시뮬레이션을 행하였다. 제3장에서 살펴본 바와 같이 마산/창원 하수종말처리장의 유출수의 COD 농도는 년평균 27.4로 나타났다. 5.2.1절에서 검증된 모델을 이용하여 하수종말처리장의 유출수의 COD 농도를 고려한 오염 확산 시뮬레이션의 결과를 <그림 5-3>에 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 하수종말처리장의 주변의 수질이 악화 되어 있어서 마산항이나 진해항에 영향을 주고 있는 것으로 판단된다.

또한 진해만 전체에 대한 영향도 커서 특히 만의 안쪽에 위치하고 있는 고성주변 해역도 수질이 계속적으로 악화되고 있는 것으로 나타났다. 진해만 전체의 수질을 개선하기 위한 노력이 절실히 필요하다고 생각되며 종합적인 수질개선 대책이 수립되어야 할 것이다.



<그림 5-3> 하수종말처리장의 유출수의 영향을 고려한 시뮬레이션 결과

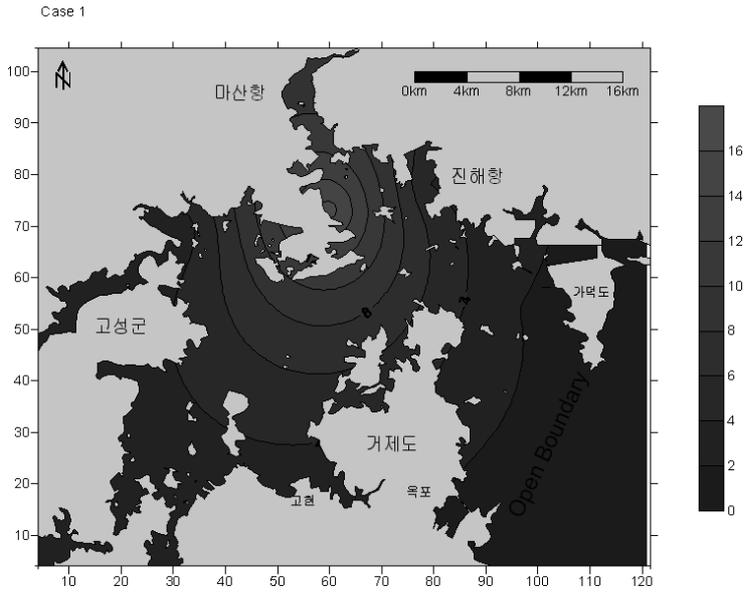
5.3 하수종말처리장 확장계획에 따른 오염 확산 시뮬레이션

진해만에서의 마산·창원 하수종말처리장의 유출수의 영향을 줄이기 위하여 하수종말처리장의 확장공사가 진행 중에 있다. 2단계 확장공사는 계획보다 지연되어 2005년에 완공될 예정이다. 또한 3단계 확장공사는 2011년에 완공될 예정으로 되어 있다. 여기서는 2단계 확장공사가 끝나는 2005년을 기준으로 한 COD 유출기준 오염 확산 시뮬레이션을 행하였다.

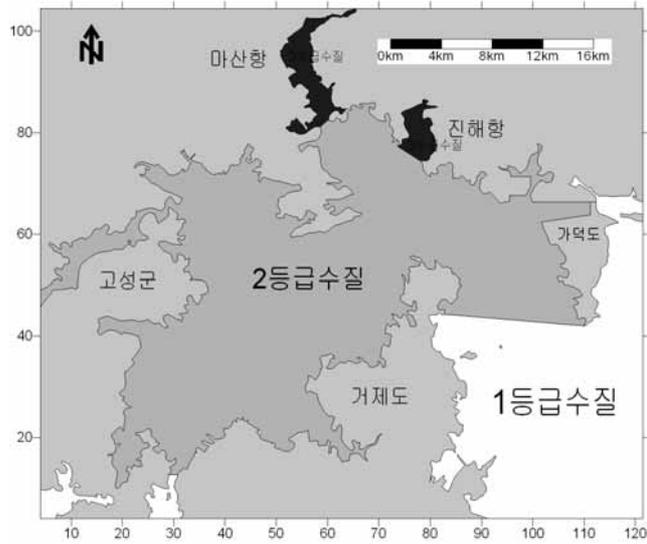
<그림 5-4>에 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 유출수의 유출 농도가 개선됨에 따라 확장공사 전보다는 수질이 개선된 것으로 나타나지만 여전히 마산항, 진해항 주위는 수질이 악화되어 있는 것으로 나타났다. 현재의 진해만에서의 수질등급과 비교하기 위하여 <표 5-3> 및 <그림 5-5>에 해양수산부 고시 수질등급 기준을 나타낸다.

<표 5-3> 해역별 수질등급

등급	기 준					
	수소이온 농도 (pH)	화학적산소 요구량(COD) (mg/L)	용존산소량 (DO) (mg/L)	용매추출 유분 (mg/L)	총질소 (mg/L)	총인 (mg/L)
I	7.8~8.3	1 이하	7.5 이상	0.01 이하	0.05 이하	0.007 이하
II	6.5~8.5	2 이하	5 이상	0.01 이하	0.1 이하	0.015 이하
III	6.5~8.5	4 이하	2 이상		0.2 이하	0.03 이하



<그림 5-4> 하수종말처리장 2차 확장공사에 따른 오염 확산시물레이션



해양수산부 고시(1998년 6월 9일)
 <그림 5-5> 해역별 수질등급 기준

5.4 진해만에서의 수질개선방안

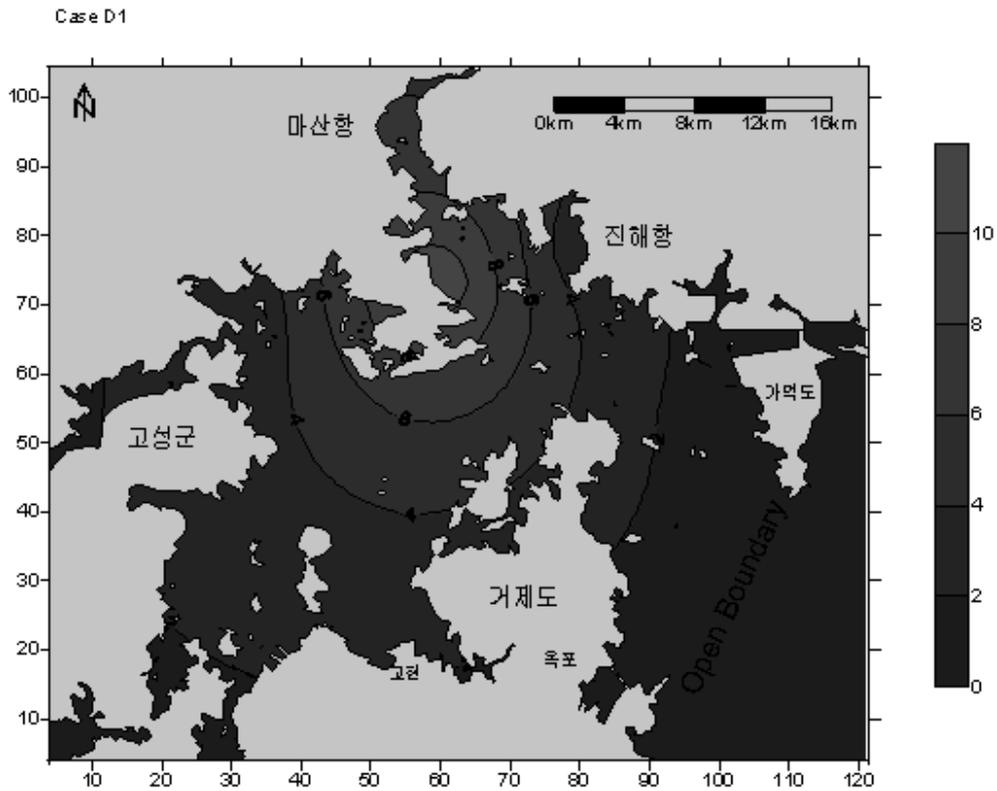
앞 절에서 살펴본 바와 같이 2차 확장공사가 끝나는 단계에서도 진해만 해역에 있어서의 수질은 여전히 수질등급 기준을 달성하지 못하고 있는 것으로 나타났다. 향후 마산·창원 하수종말처리장의 3단계 확장공사도 2011년 완공계획으로 진행 중에 있으므로 이를 상정하고, 수질개선을 위하여 각 Case를 <표 5-4>와 같이 설정하여 오염 확산 시뮬레이션을 행하였다.

<표 5-4> 각 CASE별 개선방안

	유출수의 COD 농도	주변의 수질
CASE-1	70%로 저감	70%로 저감
CASE-2	50%로 저감	50%로 저감
CASE-3	30%로 저감	30%로 저감

5.4.1 개선방안 1 (CASE-1)

마산·창원 하수종말처리장의 유출수의 COD 농도를 마산·창원 하수종말처리장 2단계 확장공사가 끝나는 단계의 70%로 줄이고 주변수역에 유입되는 유기물의 부하를 70%로 줄인 경우의 시뮬레이션을 행하였다. <그림 5-6>에 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

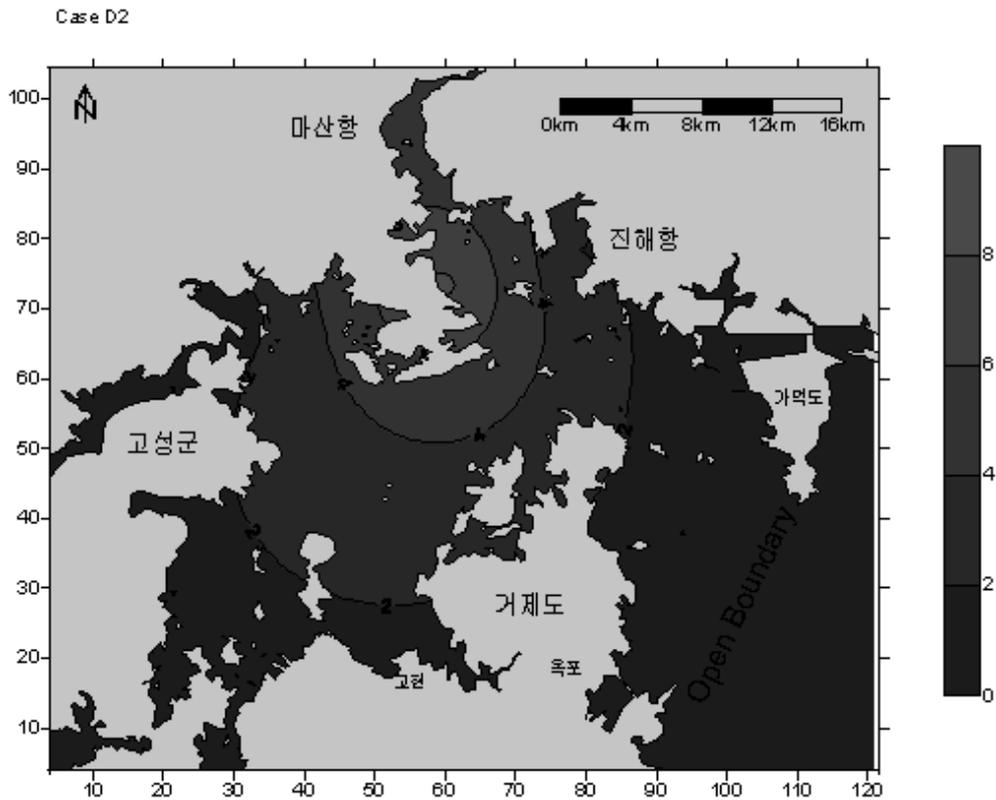


<그림 5-6> CASE-1의 오염 확산 시뮬레이션

<그림 5-6>에서 알 수 있는 바와 같이 오염물의 양을 2단계 확장공사 후의 70%로 줄였을 경우 수질등급기준을 맞추기 위하여서는 더욱더 노력이 필요한 것으로 나타났다. 특히 마산항의 수질이 계속적으로 악화 상태에 있는 것으로 보여진다. 마산항 지역은 COD 농도 6-8 mg/l로서 높게 나타나고 진해만 전체적으로도 4 mg/l 이상의 농도분포를 보여주고 있다.

5.4.2 개선방안 2 (CASE-2)

마산·창원 하수종말처리장의 유출수의 COD 농도를 마산·창원 하수종말처리장 2단계 확장공사가 끝나는 단계의 50%로 줄이고 주변수역에 유입되는 유기물의 부하를 50%로 줄인 경우의 시뮬레이션을 행하였다. <그림 5-7>에 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

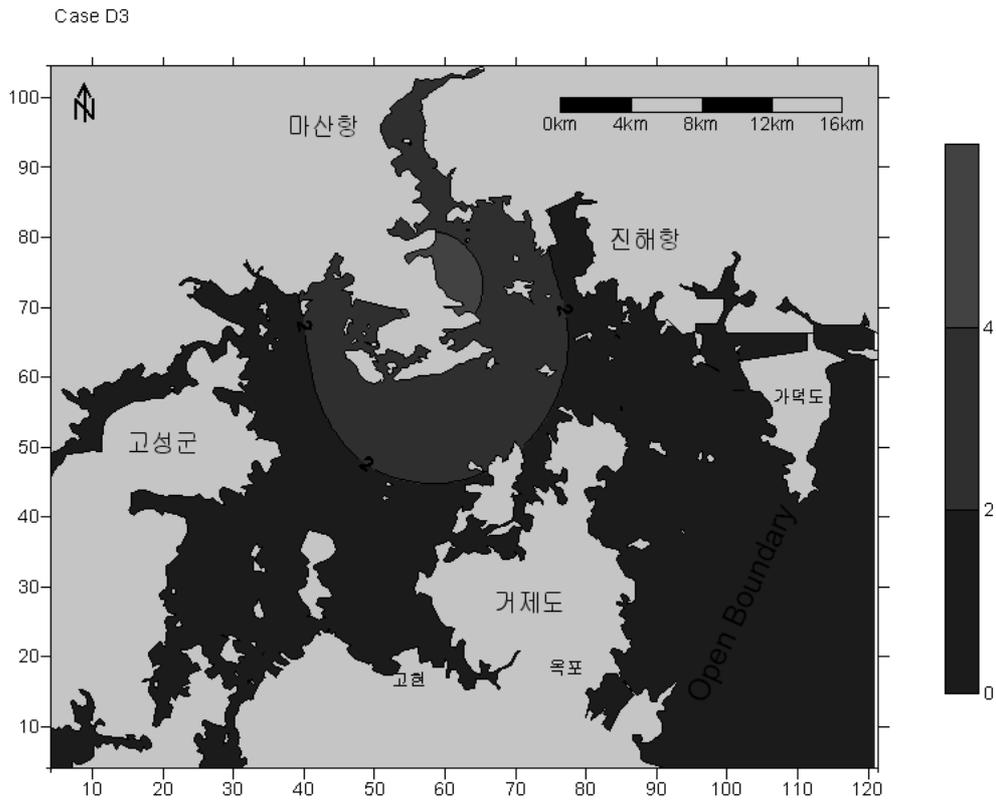


<그림 5-7> CASE-2의 오염 확산 시뮬레이션

<그림 5-7>에서 알 수 있는 바와 같이 CASE-1에 비하여 많이 개선된 것으로 나타나고 있다. 마산항에서 COD 농도 분포는 4-6 mg/l 정도이며 진해만 전체적으로 2-4mg/l 정도의 분포를 보여주고 있다.

5.4.3 개선방안 3 (CASE-3)

마산·창원 하수종말처리장의 유출수의 COD 농도를 마산·창원 하수종말처리장 2단계 확장공사가 끝나는 단계의 30%로 줄이고 주변수역에 유입되는 유기물의 부하를 30%로 줄인 경우의 시뮬레이션을 행하였다. <그림 5-8>에 시뮬레이션 결과를 나타낸다.



<그림 5-8> CASE-23의 오염 확산 시뮬레이션

<그림 5-8>에서 알 수 있는 바와 같이 CASE-1 및 CASE-2에 비하여 많이 개선된 것으로 나타나고 있다. 마산항에서 COD 농도 분포는 2-4 mg/l 정도로서 하수종말처리장 방류구 주변을 제외하면 수질등급 기준 3등급을 유지할 수 있을 것으로 보여진다. 또한 진해만 전체적으로도 방류구 주변 수역을 제외한다면 2mg/l 이하의 농도분포를 보여주고 있다.

각 CASE의 시뮬레이션 결과를 종합하여 보면, 2단계 확장공사가 끝나는 2005년 이후에도 진해만 전체에 있어서의 수질은 계속적으로 악화될 것으로 예상되며, 유출수의 농도를 단계적으로 낮추기 위한 노력이 계속적으로 필요할 것이며, 아울러 진해만 전체 수역에 있어서도 오염부하를 줄이기 위한 노력을 경주하여야 할 것이다. 여기서 설정된 CASE를 달성하기 위하여서는 수역 주변의 오수 및 하수의 방류를 제한하고 처리하여 낮은 농도의 유기물을 배출하여야 이 수역에서의 만성적인 수질환경피해를 줄일 것으로 판단된다.

제6장 결론

해양환경자료에 나타난 바와 같이 진해만은 봄, 여름, 가을에는 북동풍이 우세이고, 겨울에는 북서계절풍의 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 중국으로 북상하는 경로, ③서해를 북상하는 도중 우리나라 중부지방을 횡단하여 동해로 통과하는 경로 등으로 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 국립수산진흥원의 관측정점 10개 곳의 자료를 분석하였으며, 또한 오염 확산시뮬레이션의 입력 자료로 사용하였다. 조사 분석 항목으로는 해수온도, 염분도, 수소이온농도(pH), 용존산소(DO), 화학적 산소요구량(COD), 총질소(T-N), 총인(T-P) 및 클로로필-a 등 8개였다. 이는 COD 농도 분포를 가지고 볼 때 다른 연구에서 관측한 수치보다 낮게 나타나고 있음을 알 수 있다.

마산·창원 하수종말처리장의 현황을 파악하고 확장계획에 대하여 분석·정리하였다. 여기서 분석된 현황 및 확장계획에 대한 유출수의 농도는 오염 확산 시뮬레이션의 입력자료로서 사용되었다.

해수유동의 실험은 해수유동수치모델에 의한 대상해역모형의 구축, 예측실험 및 평가의 과정으로 수행되었다. 수치모형의 현장 적용성에 대한 검증은 대상해역의 지형자료, 조석·조류 관측 자료를 이용한 수치모형에 의해 대조기 유동특성을 재현하고, 실측치와의 비교·검토에 의해 수행되었다. 수치모델을 구성하고, 주변해역의 해수유동을 계산·검증해본 결과 최대창조류일 때는 가덕수로에서 내만으로 조류가 흐르고 있으며, 최대낙조류일 때는 내만에서 가덕수로로 조류가 흐르고 있다. 특히 저도 부근에서는 입구가 좁고 수심도 가덕수로보다 낮은 지역이어서 조류의 속력이 빨라짐을 알 수 있다.

또한 계산된 유동 data를 이용하여 오염 확산 시뮬레이션 모델을 구축하고 시뮬레이션을 행하여 그 수질환경특성을 파악하고자 하였다. 본 연구에서는 대상수역내의 국립수산진흥원의 조사 자료를 통하여 관측한 데이터를 이용하여 COD농도 분포를 계산하여 모델을 검증하고 현황시뮬레이션을 행하여 분석하였다.

그리고 현황 및 2단계 확장공사가 끝나는 2005년 이후의 수질현황을 파악하기 위하여 시뮬레이션을 행하였으며, 유출수가 진해만의 수질환경에 미치는 영향을 파악하기 위하여 2단계 확장공사 후에 수질 개선을 위한 방안을 CASE 별로 나누어 오염 확산 시뮬레이션을 행하였다.

각 CASE의 시뮬레이션 결과를 종합하여 보면, 2단계 확장공사가 끝나는 2005년 이후에도 진해만 전체에 있어서의 수질은 계속적으로 악화될 것으로 예상되며, 유출수의 농도를 단계적으로 낮추기 위한 노력이 계속적으로 필요할 것이며, 아울러 진해만 전체 수역에 있어서도 오염부하를 줄이기 위한 노력을 경주하여야 할 것이다. 여기서 설정된 CASE

를 달성하기 위하여서는 수역 주변의 오수 및 하수의 방류를 제한하고 처리하여 낮은 농도의 유기물을 배출하여야 이 수역에서의 만성적인 수질환경피해를 줄일 것으로 판단된다.

물론 해역의 수질오탁 기구는 매우 복잡한 양상을 띠고 있어서, 한 인자만으로 수질 특성을 전부 파악할 수 있는 것은 아니지만, 본 연구는 수질 오탁 기구를 파악해내기 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 연구 과제라 할 수 있다.

참고문헌

1. '98 진해·마산항 조류관측 결과, 1998. 9, 해양수산부 국립해양연구원
2. 환경관리해역 지정 및 관리기본계획 수립방안 연구, 1999.12, 해양수산부
3. 마산·창원 하수처리장 2차확장공사 실시설계보고서, 1996.2, 마산시
4. 기상연보, 1985-1993, 기상청
5. 마산만 특별관리해역 지역포럼 자료집, 2002.12, 한국해양수산개발원
6. 기상연보, 기상청
7. 물리해양학, 안희수, 오임상
8. 해양오염, 윤이용, 박재규 저 도서출판-동화기술
9. 物理海洋學通論, 李錫祐 圖書出版 集文堂
10. 水圏の環境, 有田正光 編著 池田裕一, 中井正則, 中村由行, 道奧康治, 村上和男 著 東京電機大學出版局
11. 干拓工學, 林迎春, 申東壽, 申文燮 共著. 圖書出版 京文社
12. 海洋技術者のための流れ學, 宇野木早苗·齊藤晃·小菅晋 著 東海大學出版社
13. 鞠承淇, 潮流殘差流の創造・制御による閉鎖性海域の水質改善に関する研究, 九州大學大學院 工學研究科(水工), 1998.
14. 부산주변해역에서의 해수유동 및 수질환경 특성에 관한 연구, 정봉훈
15. 연안역에 있어서의 적조예조 모니터링의 Visual system의 개발(최종보고서) 2003.02.10 -- 책임연구자 김동근, 연구원 국승기, 고성철, 손주영, 수에나가 요시히로.
16. 부산신항항로표지 배치 및 실시설계 연구용역-박진수, 김세원, 예병덕, 이은방, 설동일, 국승기, 이형기
17. 1998 鎮海·馬山港 潮流觀測 結果 報告書--海洋水産部, 國立海洋調査院

18. 1999 加德水道 潮流觀測 結果 報告書--海洋水産部, 國立海洋調査院
19. 이중우, 신승호, 영산강지구 대단위간척지 개발로 인한 조석변화에 대한 수치실험, 한국항만 학회지, 제5권 제2호, 1993.
20. 金子安雄, 堀江毅, 村上和男, ADI法による潮流汚染擴散の數値計算, 港灣技術研究報告書 第14券 第1號 1975.
21. 해양오염, 이중화 편저 도서출판, 신광문화사
22. 해양오염제어론, J.윌리엄스 저 최청일 역 도서출판, 동화기술
23. 수질모형관리, Robert V. Thomann, John A. Mueller 공저, 이시진, 윤세의, 박석순 공역, 도서출판 동화기술
24. 환경공학, 조영일, 김광렬, 박돈희, 박영규, 박홍석, 이수구, 정연규, 최재완 공역 도서출판-동화기술
25. 해안환경공학, Kiyoshi Horikawa 편저, 김남형, 신문섭 공역, 도서출판 원기술
26. 진해만 해역의 수질환경특성에 관한 연구, 박영남, 한국해양대학교 대학원, 2004. 2.