

KETRI/1996/RE-20
기본과제 연구보고서

연안역에서의 오염물질유입저감을 위한 총량규제방안에 관한 연구

1996. 12.

박원규
김성준

한국환경기술개발원
Korea Environmental Technology Research Institute

연안역에서의 오염물질유입저감을 위한
총량규제방안에 관한 연구

要 約 文

책임연구원 박원규

I. 연구의 목적과 의의

수질총량규제란 특정의 공공수역을 대상으로 하여 유역으로부터 대상수계에 유입되는 오염물질을 총량으로 규제하는 방식으로서 ‘규제’ 보다는 ‘환경계획’의 성격이 강하다. 이 제도는 수역의 환경기준을 배출허용기준(농도)만으로 달성·유지가 어려운 경우의 문제점을 해결하기 위한 방안으로 제시되었으며, 일반적으로 먼저 총량규제 대상수계의 상황 즉 오염부하량의 발생현황과 수질오염기작 등의 특성을 충분히 파악하여 총량적 관리를 위한 지정항목을 선정 또는 새로운 지표를 개발하고, 둘째로 당해수역의 수질보전상 목표수질을 달성·유지하기 위하여 필요한 오염물질의 허용한도량을 정하며, 셋째로 당해 수역의 수질이 허용한도량의 범위내로 상시 유지될 수 있도록 당해수역에 유입되는 오염부하량을 규제하는 방식이다. 연안역에서의 총량규제는 일본의 동경만, 이세만, 세토내해에서 1979년도부터 시행되고 있다.

한편, 우리나라는 선진국으로서의 도약을 위한 5차에 걸친 경제개발 수행과정을 통하여 임해공업단지(臨海工業團地) 건설, 임해발전소 건설, 간척매립사업의 추진, 양식장의 건설 등 많은 연안자원과 공간을 개발하였고, 연안역에서의 사회, 경제활동을 확대함으로써 지금까지는 연안역의 보전보다는 주로 이용에 치중한 정책을 시행하여 왔다.

이러한 추세는 우리 경제가 수출 지향적이며, 원자재 등의 수입의존도가 높아 연안항만을 비롯한 산업입지 형태가 임해지향적으로 재배치(U자형 국토개발 전략)되고 있으며, 이를 배경으로 하는 연안도시들의 성장이 더욱 신장되어짐에 따라 더욱 가속화될 것이다.

이같은 연안환경의 악화로 인하여 정부는 ‘82년부터 부산·울산연안, 광양만 및 마산만을 대상으로 특별관리해역을 설정, 관리해오고 있으며 ’96년부터는 관리대상지역을 육지부까지로 확대하여 해양으로의 오염부하량을 줄이기 위한 많은 오염저감대책을 계획하고 있다.

이 해역들중에서도 마산만 유역은 특히 해역의 폐쇄성(閉鎖性)이 강하고 마산수출자유지역 및 창원기계공단 등 많은 폐수배출업소가 산재해 있어 해양오염이 날로 심각해지고 있는 실정이다. ‘90년부터 시작된 마산만의 준설사업(浚渫事業)으로 어느 정도 양호한 수질을 보이는 듯하였으나 매년 만성적인 독성적조(毒性赤潮)의 발생 및 오염부하량의 과다로 인하여 해양수질의 개선이 이루어지지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는 마산만 유역에서의 해양환경을 개선하기 위한 방안으로서 총량규제 제도의 도입방안을 검토하였다

II. 마산만 유역에서의 총량규제 방안

1. 대상지역의 선정

마산만 유역에서의 대상지역(육지부)을 선정하기 위해, 배수구역을 1차 기준으로 정하였고, 배수구역상으로만 육지부를 설정하였을 때의 단점을 보완하기 위해 경제지역에서는 오염기여도를 고려한 행정구역을 보조적으로 사용하여 범위를 설정하였다. 그 결과, 마산시와 창원시를 대상지역으로 운영하는 것이 바람직한 것으로 분석되었다.

현재 환경부에서 계획하고 있는 특별관리해역 지정에는 진해시가 포함되어 있으나 진해시가 차지하는 오염물질 부하량이 전체의 약 1/10에 불과해 단기적으로는 총량규제 지정지역에서 제외하는 것이 타당하다고 판단된다.

2. 대상항목의 선정

일반적으로 육상수계환경에서는 인이 미생물의 성장에 제한요인으로 작용하며, 온대지방의 해양환경에서는 질소가 제한요인이 된다.

마산만의 경우 해양연구소의 연구에 의하면 하계에 내해역은 인이, 하계 외해역과 동계 전해역은 질소가 제한인자가 되고 있다.

따라서 마산만에서 총량규제를 시행한다면, 지정항목의 선정시 적조발생시기 등을 고려하여 마산만의 하계(夏季)특성을 우선적으로 고려하여야 한다. 즉 총인을 우선적으로 지정항목으로 정해야 하며, 2차적으로 동계적 성격을 고려하여 총질소를 지정항목에 추가하여야 할 것이다.

한편 일본에서 총인, 총질소를 지정항목으로 규정하는데 걸림돌로 작용하였던 경제성있는 기술의 개발도 거의 완료된 상태로서 국내에서도 용인 등 몇몇 하수처리장에서 탈인·탈질시설이 시험가동중이므로 이 항목들을 대상항목으로 지정하는데 기술적 문제점은 없다고 할 수 있다.

3. 총량규제의 형태

대상지역에서의 '96년 현재 전체 BOD 일일(一日)부하량이 58,072kg이며 그중 생활하수에 의한 오염부하량이 48,214kg/일로 전체 부하량중 82%를 차지하고 있고, 산업폐수에 의한 부하량은 전체 부하량의 11%인 6,138.5kg/일로 나타났다.

2001년에는 BOD 전체 부하량이 53,044.3kg/일로 덕동하수처리장의 증설에 힘입어 약간 감소할 것으로 추정된다. 생활하수에 의한 부하량은 42,067kg/일로 전체 부하량중 79%의 비중으로 '96년에 비해 감소될 것으로 보이나 산업폐수의 의한 부하량은 그 비중이 13%로 약간 증가한 6,783kg/일로 추정된다.

따라서 마산만에서 특히 마산시 및 창원시에서 배출되는 오염부하량중 생활하수에 의해 배출되는 오염부하량이 큰 비중을 차지하고 있는 현재의 단계에서는 생활하수에 의해 배출되는 오염부하량을 저감시키는 것이 효과적인 것으로 보인다.

즉 우리의 실정에서는 산업폐수에 중점을 두고 있는 미국에서 시행된 배출권거래제도와 같은 형태의 총량규제보다 생활하수 저감에 중점을 둔 일본에서 시행하고 있는 직접규제방식을 이용한 오염원별, 지역별 삭감량 할당제를 사용하는 것이 바람직하다. 그리고 장기적 차원에서 환경기초시설들이 확충된 후 산업체(공장)들에 대한 배출권거래제도 등의 도입을 고려해야 할 것이다.

Ⅲ. 총량규제 제도의 합리적 추진 방향

총량규제 제도는 그 제도 자체만으로 본다면 기존의 배출허용기준에 의한 규제보다 진일보한 대안임에 분명하다. 그렇지만 우리나라의 제반사정을 고려할 때 당장은 기대되는 성과보다 시행에 따르는 부작용이 더 클 수 있다. 총량규제를 실시하는데 따르는 문제점으로 다음과 같은 사항들을 들 수 있다.

첫째, 현실적으로 자연적 환경용량(環境容量)의 산정이 곤란하기 때문에 환경기준을 토대로 해서 수학적 모델링 등에 의한 방법으로 배출허용 용량을 산정해야만 하는데, 이 경우에 환경기준이 과연 합리적인가 하는 문제, 환경용량 산정방식의 타당성 문제 등이 해결되지 않으면 규제 자체가 곤란하다.

둘째, 목표로 하는 배출삭감량을 각 오염자들에게 공정하게 할당하기 위해서는 개별 오염자에 대한 정확한 오염배출 정보와 합리적인 할당기준이 요구되지만 현

재로서는 이러한 정보를 관리할 능력도 준비되어 있지 않은 상태이다.

셋째, 각 오염자가 오염물질 배출량을 삭감하기 위해서는 많은 경비를 투자해야 하고 공공부문에서도 충분한 경비의 뒷받침이 있어야 하지만 이러한 재원의 조달이 현실적으로 용이하지 않다.

넷째, 각 오염원들에서 배출되는 오염물질 부하량을 상시(常時) 감시할 수 있는 기술과 장비의 개발이 아직은 미흡하며 이 제도 실시를 위한 전문인력의 확보도 용이하지 않다.

이러한 문제들은 많은 인력과 비용이 추가되어야 하므로 총량규제 제도의 본격적인 도입의 장애물임에는 틀림없다. 그러나 현재와 같이 연안환경이 날로 악화돼가고 있는 상황에서 무한정 기다릴 수는 없으므로 총량규제 실시에 대한 입법예고를 통하여 투자에 대한 인센티브를 줌으로써 일정기간 준비할 수 있도록 하는 것이 바람직하다.

결론적으로 마산만 유역에서는 생활계, 1종이상의 폐수배출 산업체에 대하여 총인 및 총질소를 대상오염물질로 하는 총량규제가 실시되어야 할 것으로 보이며, 다음과 같은 방법(그림 참조)에 의해 대상해역에 대한 총량규제가 실시되는 것이 바람직하다.

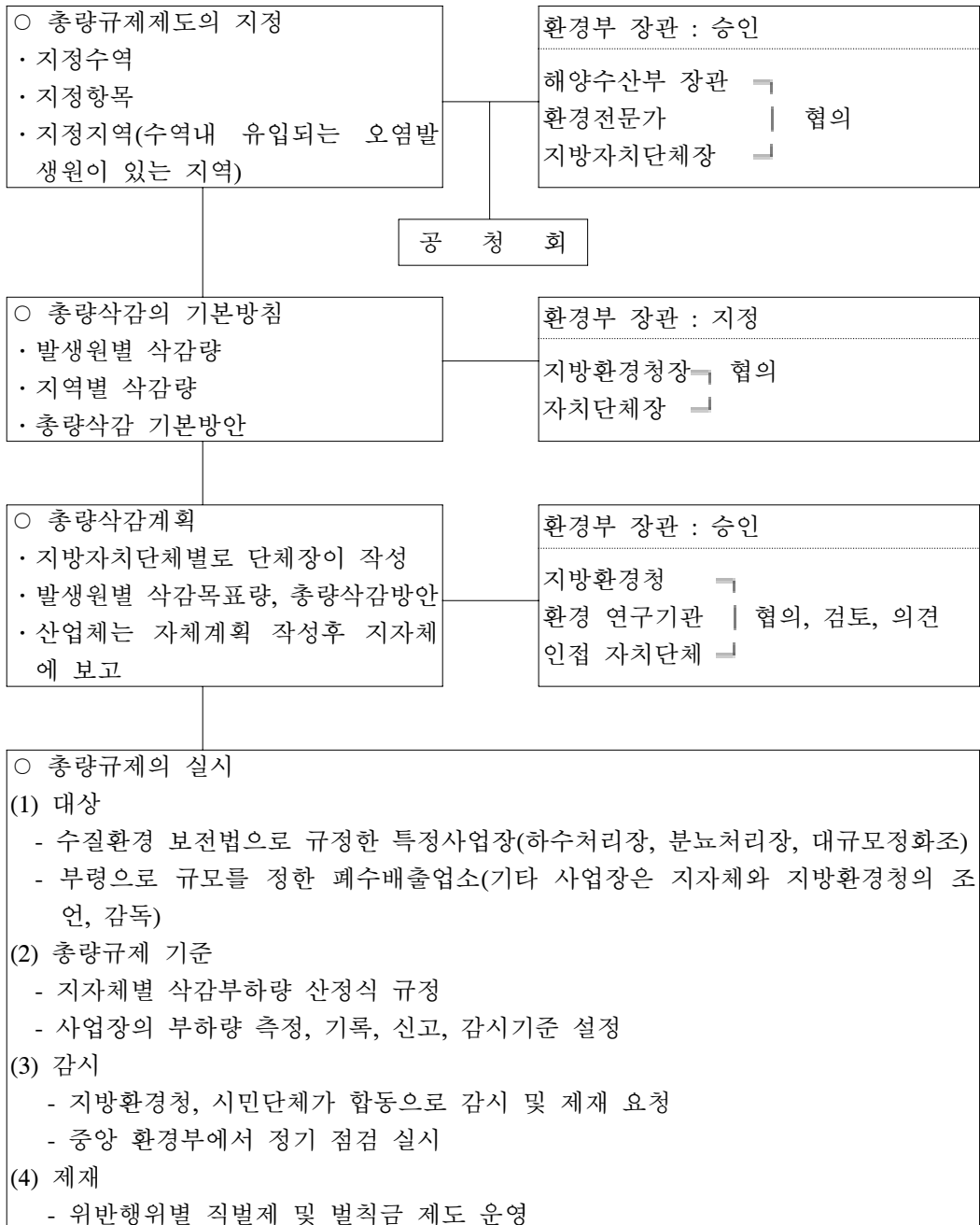
먼저 대상해역, 대상지역 및 대상항목은 공청회, 환경전문가 및 지방자치단체장과의 협의에 따라 환경부장관이 지정해야 하며 연안역인 점을 감안하여 해양수산부와의 협조체제가 필요하다. 또한 지방환경청과 자치단체장과의 협의를 통해 지정수역별로 총량삭감의 기본방침을 설정한다. 기본방침중에는 지정수역의 발생원별 삭감량, 지정지역내 지역별 오염부하량 삭감량 및 삭감방안 등이 포함되어 할 것이다.

지정된 지역에서는 지방자치단체장이 환경연구기관과 지방환경청의 조언과 지도를 받아 각 지자체의 실정에 맞는 생활하수의 총량삭감계획을 수립하고 산업체에서는 각 생산공정과 원료의 사용 및 폐수발생량에 따라 적절한 총량삭감계획을 지방자치단체장과 지방환경청장에게 제출하여 검토를 받아야 할 것이다. 단, 폐수배출업소중 그 부하량의 비중에 따라 어느 정도까지의 업소를 대상으로 할 것인지를 규정하여 대상업소 이외의 폐수배출업소에 대하여는 지방환경청과 자치단체에서 공동으로 관리하고 폐수배출에 대한 삭감방안에 대한 조언 및 지도를 실시해야 할 것이다.

계획된 총량삭감계획에 따라 지방자치단체 및 산업체에서 실시되는 총량삭감 실

행은 지방환경청에서 정기적으로 감시와 지도가 따라야 한다. 하수종말처리장, 분뇨처리장 및 폐수배출업소를 대상으로 오·폐수배출량과 대상항목의 오염부하량의 총량규제기준의 준수여부, 측정치에 대한 신고와 기록의 준수여부 등에 대하여 철저한 감독과 감시를 실시하고 미이행된 부분에 대해서는 법적으로 직벌제나 범칙금의 형태로 제재가 가해져야 할 것이다. 또한 감시체제에는 시민환경단체 등이 참여토록 하여 주민참여를 통한 민주적인 환경행정을 이루는 것이 바람직하다.

마지막으로 선진국의 사례를 보더라도 총량규제의 성공적인 실행을 위해서는 환경보호론자 및 시민단체, 산업계(폐수배출업소), 지방정부 등 다양한 이해관계자들의 이해와 협조가 필수적이며 이들에 대한 홍보 및 계몽이 이루어 져야 한다. 무엇보다 중요한 것은 오염물질의 배출량을 삭감하고 환경의 질을 높이하고자 하는 정부의 강력한 의지표명과 실천노력이 선행되어야 할 것이다.



<그림> 우리나라 수질총량규제제도(안)의 흐름도

목 차

I. 서 장	1
1. 우리나라의 연안 환경	1
2. 총량규제제도의 개념	3
3. 연안에서의 총량규제 적용에 대한 고찰	5
4. 연구의 목적 및 의의	6
5. 연구방법	7
II. 외국의 총량규제 사례연구	8
1. 일본의 수질총량규제 제도	8
1.1. 일본의 수질총량규제 개요	8
1.2. 총량삭감의 기본방침	9
1.3. 수질총량규제제도 내용	9
1.4. 제3차 총량규제의 시행현황	12
1.5. 일본의 제4차 수질총량규제 계획	13
1.6. 총량규제기준의 산정식(자료 : 東京都環境廳, 1996)	15
1.7. 오염부하량 측정 등의 의무	16
2. 미국의 연안역 관리	18
2.1. 미국의 연안역 관리 개요	18
2.2. 체사피크만의 연안역 관리 현황	21
2.3. 샌프란시스코 하구의 연안역 관리현황	22
2.4. 롱아일랜드 사운드의 연안역 관리현황	22
III. 마산만 유역의 오염원 현황	24
1. 마산만 유역의 인문환경 현황 및 전망	24
1.1. 마산만의 유역현황, 인구현황 및 전망	24
1.2. 마산만의 산업 현황	27
1.3. 마산만의 축산업 현황	31
1.4. 마산만의 토지이용 현황	31

1.5. 마산만의 항만 현황	32
2. 마산만 유입수 현황	33
3. 마산만 유역의 환경기초시설 현황	34
3.1. 하수처리장	34
3.2. 쓰레기 매립장	35
3.3. 분뇨처리장	35
3.4. 하수도 현황	36
IV. 마산만 유역의 오염원별 부하량 현황	37
1. 오염부하량 산정	37
1.1. 생활배수에 의한 오염부하량 산정	37
1.2. 산업폐수에 의한 오염부하량 산정	38
1.3. 축산폐수에 의한 오염부하량 산정	39
1.4. 토지이용에 따른 오염부하량 산정	40
2. 마산만 유역의 오염부하량 현황 및 전망	42
2.1 마산만 유역의 오염부하량 년변화 추이	42
2.2 오염부하량 현황 (1996년 오염부하량을 중심으로)	45
2.3. 지역별 오염부하량 현황	51
3. 마산만 유역 하천유입부하량	54
3.1. 유량의 변화	56
3.2. 마산만 오염물질의 농도 및 형태	56
3.3. 마산만 오염물질의 부하량	59
V. 마산만 유역의 해양환경 현황	61
1. 마산만의 물리적인 특성	61
2. 마산만의 해역별 수질오염 현황	62
2.1. 용존산소(DO)	64
2.2. 화학적 산소요구량(COD)	64
2.3. 총부유물질(TSS)	65
2.4. 총질소(T-N)	65
2.5. 총인(T-P)	66

3. 마산만의 해양수질 연변화	66
4. 마산만과 우리나라 연안해수질과의 비교	69
5. 마산만 적조발생 현황	70
5.1. 적조 발생의 변천과정 및 문제점	70
5.2. 유독 플랑크톤의 발생	71
5.3. 적조의 피해와 방제	71
5.4. 마산만의 적조발생 현황	73
VI. 마산만 유역의 총량규제 방안	75
1. 대상지역 선정 방안	75
1.1. 사용가능한 기준 및 장단점	76
1.2. 마산만 지정지역 설정(안)	79
2. 대상항목의 선정	81
2.1 개요	81
2.2. 대상항목중 질소 및 인의 선정	82
2.3. 마산만에서의 대상항목의 선정	84
3. 수질총량규제 실시수단	85
3.1. 직접규제	85
3.2. 배출부과금제도	86
4. 삭감량 배분방법	87
4.1. 일본의 삭감량 배분방법	87
4.2. 일정삭감률에 의한 방법	89
4.3. 배출량에 따라 삭감률에 차등을 두는 방법	90
4.4. 최소삭감에 의한 방법	91
4.5. 유달(流達)부하량에 비례한 삭감방법	92
5. 대상지역의 총량규제 방안	93
5.1. 총량규제의 절차	93
5.2 마산만에서의 총량규제의 방향	93
5.3. 총량규제 시기와 규제대상의 선정	94
5.4. 오염배출원 규제의 효율성	96
6. 총량규제제도의 합리적 추진 방향	97

VII. 마산만 유역의 오염부하량 삭감방안	100
1. 환경기초시설의 확충	100
1.1. 하수종말처리시설의 확충	101
1.2. 환경기초시설의 재원 확보	103
1.3. 하수관거의 확충 및 시설정비	105
1.4. 기타 환경기초시설의 확충	107
1.5. 비점오염원 관리대책	109
2. 부문별 수질보전대책	110
2.1. 오염원별 수질보전대책	110
2.2. 관리체계의 문제점	111
3. 수질관리의 문제점 및 극복방안	112
3.1. 배출원 규제방식	112
3.2. 생활오염원에 대한 규제미비	112
3.3. 환경기초시설 재원확보	113
VIII. 결 론	114
참고문헌	116
부록 I : 일본의 제4차총량규제의 세부사항	120
부록 II : 일본의 폐수처리기술 지침설정을 위한 기초조사	122

표목차

<표 I-1> 우리나라의 연안이용과 잠재력('92년말 현재)	1
<표 I-2> 경제사회의 여건과 연안활동의 변화	3
<표 II-1> 특정배출수의 오염상태와 양의 측정방법	17
<표 III-1> 마산만 유역의 인구추이	26
<표 III-2> 마산만 유역의 인구추정	27
<표 III-3> 마산만 유역의 폐수배출업소 현황	28
<표 III-4> 마산만 유역의 산업폐수 배출량	28
<표 III-5> 배출등급에 의한 산업체별 폐수배출량	29
<표 III-6> 축산업 현황 및 전망	31
<표 III-7> 토지이용 현황 및 전망	32
<표 III-8> 항만 현황	32
<표 III-9> 마산만 유역의 주요 하천현황	33
<표 III-10> 마산시 덕동 하수종말처리장의 현황	34
<표 III-11> 마산만 유역의 하수종말처리장 2차확장사업 추진계획('94~'99)	35
<표 III-12> 마산만 유역의 쓰레기 매립장 현황	35
<표 III-13> 마산만 유역의 분뇨처리장 현황	36
<표 III-14> 마산만 유역의 하수도 현황	36
<표 IV-1> 생활하수에 의한 오염부하량 원단위	37
<표 IV-2> 폐수배출허용기준	39
<표 IV-3> 가축에 의한 발생원단위	40
<표 IV-4> 가축에 의한 배출원단위	40
<표 IV-5> 토지이용에 의한 오염부하량 원단위	42
<표 IV-6> 생활하수에 의한 오염부하량	45
<표 IV-7> 산업폐수에 의한 오염부하량	46
<표 IV-8> 축산폐수에 의한 오염부하량	47
<표 IV-9> 토지이용에 의한 오염부하량	47
<표 IV-10> 총오염부하량	48
<표 IV-11> 우리나라 호소의 수질환경 기준	56

<표 IV-12> 마산만 유입수의 일반성분 농도	59
<표 IV-13> 마산만 유입평균 오염부하량	60
<표 V-1> 우리나라의 해역수질 기준	62
<표 V-2> 마산만의 해수질 현황	67
<표 V-3> 마산만과 기타연안해역의 해수질 비교	70
<표 V-4> 최근 마산만에서의 적조 발생 현황	73
<표 VI-1> 외국의 육상부 관리범위 사례	78
<표 VI-2> 각 기준설정의 장단점	79
<표 VI-3> 수질규제제도의 장단점 비교	87
<표 VI-4> 업종에 따른 산업폐수 부하량(1995년 기준)	95
<표 VII-1> 환경기초시설에 대한 투자비 부담율 현황	104
<표 VII-2> 마산만 유역의 하수관거 현황	106
<표 VII-3> 오염원별 수질보전대책	110
<표 VII-4> 관리체계별 수질보전대책	111

그림목차

<그림 II-1> 수질총량규제의 흐름도	11
<그림 III-1> 마산만 유역도(流域圖)	25
<그림 IV-1> 연도별 BOD오염부하량 변화 추이	43
<그림 IV-2> 연도별 T-N오염부하량 변화 추이	43
<그림 IV-3> 연도별 T-P오염부하량 변화 추이	44
<그림 IV-4> 연도별 SS오염부하량 변화 추이	44
<그림 IV-5> 마산만 유역의 BOD 오염부하량 현황(1996년)	48
<그림 IV-6> 마산만 유역의 T-N 오염부하량 현황(1996년)	49
<그림 IV-7> 마산만 유역의 T-P 오염부하량 현황(1996년)	49
<그림 IV-8> 마산만 유역의 BOD 오염부하량 현황(1990년 / 2001년)	50
<그림 IV-9> 마산만 유역의 T-N 오염부하량 현황(1990년 / 2001년)	51
<그림 IV-10> 마산만 유역의 T-P 오염부하량 현황(1990년 / 2001년)	51
<그림 IV-11> 지역별 BOD 오염부하량 비율 (1990년)	52
<그림 IV-12> 지역별 BOD 오염부하량 비율 (1996년)	53
<그림 IV-13> 지역별 BOD 오염부하량 비율 (2001년)	53
<그림 IV-14> 마산만 유역의 주요 유입하천 현황	55
<그림 V-1> 조사해역의 정점 표시도	63
<그림 V-2> 마산만의 COD 연변화	68
<그림 V-3> 마산만의 T-N 연변화	68
<그림 V-4> 마산만의 T-P 연변화	69
<그림 VI-1> 마산만 유역의 총량규제 대상 지역	80
<그림 VI-2> 우리나라 수질총량규제제도의 흐름도	99

I. 서 장

1. 우리나라의 연안 환경

우리 나라는 3면이 바다로 둘러싸여 있고, 3천개가 넘는 섬과 국토의 3.5배에 해당하는 넓은 대륙붕과 총 연장길이가 11,542km나 되는 긴 해안선을 가지고 있어 연안양식업, 레저활동, 간척, 매립 등 연안의 이용개발측면에서 유리한 여건(與件) (표 I -1)에 있다(길봉섭 외, 1994).

<표 I -1> 우리나라의 연안이용과 잠재력('92년말 현재)

(단위: km², %)

구분	이용대상면적		기개발면적		미개발면적	
계	11,482	100.0	6,886	100.0	4,596	100.0
간척 매립지	3,109	27.1	1,544	22.4	1,565	34.1
수산 양식장	3,038	26.5	1,130	16.4	1,908	41.5
항 만 수 역	1,517	13.2	1,387	20.1	130	2.8
염 전	138	1.1	138	2.0	-	-
자 연 공 원	2,649	23.1	2,649	38.5	-	-
해안 관광지	13	0.1	4	0.1	9	0.1
자연환경보전지	1,018	8.9	34	0.5	984	21.5

주 : 자연공원내에는 해수욕장 35개소 15.4km²(해면 4.9km²)가 포함됨

자료 : 해양연구소, 1993

그러나 최근 연안지역의 개발과 해역이용의 증대로 해양오염이 날로 심화되고 있어 이러한 연안역의 이용에 많은 문제점이 노출(露出)되고 있다. 특히 60~70년대 이후 개발과 성장에 중점을 둔 국가경제정책으로 인하여 환경보전보다는 경제 성장과 국토개발이 우선적으로 추진됨으로써 대규모 간척·매립사업에 따라 해양생태계가 파괴되고 있고 산업화 및 도시화로 인한 공장폐수, 생활하수, 쓰레기 등 각종 오염물질의 연안해역 유입이 급증하고 있다.

해양환경으로 유입되는 오염원의 상대적 기여도(寄與度)를 추정 한 결과를 보면

해상활동(海上活動)과 선박기원(船舶起源)의 오염은 오염총량(汚染總量)의 약 12%, 투기(投棄)가 10%, 근해개발이 1%에 불과하고, 반면 육상기인(陸上起因) 오염이 오염총량의 77%를 차지하는 것으로 보고되고 있다(GESAMP, 1990). 이는 육상기인 오염원의 감소없이 해양오염을 감소시키기 어렵다는 것을 의미한다.

우리나라의 이러한 잠재적 육상오염원은 1992년 기준 인구 4,356만명, 배출업소 14,720개소, 가축 3,615만마리로써 일일 오수 및 폐수배출량은 20,388천톤에 이르고 있으며, 이중 36%인 7,367톤만이 처리된 상태로 해양으로 유출되고 있다(한국해양연구소, 1993). 그 결과 전국 주요연안해역의 COD값은 수산생물의 서식, 양식 및 산란(産卵)에 적합한 1등급 수준을 모두 초과한 상태이며 마산, 군산, 부산 등의 해역은 공업용수이나 적합한 3등급 수준에 이르고 있어, 육상으로부터 유입되는 오염물질에 의한 연안역 피해가 크게 우려되고 있는 실정이다(해양경찰청, 1992).

이외에도 경제성장에 따른 해상교통량의 증가로 인하여 '95년 Sea Prince호의 경우와 같은 유류유출사고 또한 점차 대형화되고 있어, 우리나라 연안의 오염 현상은 대도시와 임해공단, 항만의 인접해역에서 부터 전국의 근해해역(近海海域)으로 점차 확대되는 추세에 있다.

특히 남해연안의 오염도(汚染度)가 다른 해역에 비해 매우 심각한 것으로 나타났다는데, 지난 '95년 9월부터 10월에 걸쳐 남해안 전역 및 동해안 일부지역에서 발생한 사상최대의 적조피해사태는 바로 이러한 광역화된 연안오염을 잘 대변(代辯)해 주고 있다(이동근 외, 1995).

한편, 이같은 해양오염추세는 대북방경제협력과 지방자치제 실시에 따라 지역경제의 활성화라는 명분으로 시행되는 무절제한 매립·간척사업, 임해공단건설, 해상활동 증대 등으로 인하여 더욱 가속화될 전망이다(표 I-2).

따라서 우리나라의 연안환경을 더 이상 파괴되지 않도록 보전하기 위해서는 원칙적으로 '환경적으로 건전하고 지속가능한 개발(Environmentally Sound and Sustainable Development; ESSD)'을 전제(前提)로 연안개발이 추진되어야 한다. 연안역에서의 오염물질 유입저감을 위한 총량규제방안은 바로 이러한 ESSD 개념을 적용한 제도로써 특히 오염우심해역관리의 중요한 수단이 될 수 있다.

<표 1-2> 경제사회의 여건과 연안활동의 변화

구 분	단 위	1991년	1996년	2001년	2011년
· 전국인구	(천 명)	43,628	45,248	47,150	49,704
· 국민총생산	(경상,조원)	168	357	607	---
· 1인당 GNP	(\$)	6,265	10,440	17,760	---
· 도시인구 (해안도시)	(천 명)	34,642 (10,390)	37,690 (11,528)	40,643 (12,719)	44,684 (15,048)
· 공업생산액 (임해지역)	(10억원*)	176,913 (79,186)	267,737 (121,553)	390,307 (179,541)	698,650 (347,229)
· 미곡수요	(천 톤)	5,480	5,112	4,668	4,473
· 수산물 수요	(천 톤)	3,519	4,417	5,022	6,371
· 관광수요 (해안지역)	(백만명)	325 (51)	418 (66)	530 (86)	610 (103)
· 항만시설수요	(백만톤)	276	359	496	813
· 전력수요	(MW)	21,160	28,106	35,725	62,095
· 주요광물	(천 톤)	689	944	1,297	2,182
· 폐기물	(백만톤)	53	82	121	173

* : 85년도 가격

자료 : 해양연구소, 1993

2. 총량규제제도의 개념

수질총량규제(水質總量規制)란 특정의 공공수역을 대상으로 하여 유역으로부터 대상수계에 유입되는 오염물질을 총량으로 규제하는 방식으로서 ‘규제’ 보다는 ‘환경계획’의 성격이 강하다. 이 제도는 수역의 환경기준을 배출허용기준(농도)만으로 달성·유지가 어려운 경우의 문제점을 해결하기 위한 방안으로 제시되었으며, 일반적으로 먼저 총량규제 대상수계의 상황 즉 오염부하량의 발생현황과 수질오염기작(水質汚染機作) 등의 특성을 충분히 파악하여 총량적 관리를 위한 지정항목(指定項目)을 선정 또는 새로운 지표(指標)를 개발하고, 둘째로 당해수역의 수질보전상 목표수질을 달성·유지하기 위하여 필요한 오염물질의 허용한도량(許容限度量)을 정하

며, 셋째로 당해 수역의 수질이 허용한도량의 범위내로 상시 유지될 수 있도록 당해수역에 유입되는 오염부하량을 규제하는 방식이다(박원규, 1994).

총량규제는 1978년부터 일본의 동경만(東京灣), 이세만(伊勢灣), 세토내해(瀬戸内海)의 3개 폐쇄성 해역에 대해 실시하고 있는 것으로 유명하다. 따라서 일반적으로 인식되는 총량규제의 기법(技法)은 다분히 일본에서 적용되고 있는 직접규제를 의미하기도 한다. 그러나 배출되는 오염물질의 총량에 대해 규제를 가함으로써 지역의 총오염량이 일정한 수준을 넘지 않게 한다는 취지는 같으나, 그 달성수단을 배출허용량 할당(割當)이라는 직접규제에 두지 않고 시장기구(市場機構)에 맡긴 오염배출권 거래제도도 총량규제의 일종이며 오염물질의 총량에 근거를 둔 배출부과금 제도도 이 범주에 포함된다고 할 수 있다(원도윤, 1994).

우리나라에서는 수질환경보전법 제9조에서 환경부 장관은 “환경기준을 초과하여 주민의 건강, 재산이나 동식물의 생육에 중대한 위해(危害)를 가져올 우려가 있다고 인정되는 구역 또는 특별대책지역중 사업장이 밀집되어 있는 구역의 경우에는 당해 구역안의 사업장에 대하여 배출되는 오염물질을 총량(總量)으로 규제할 수 있다”고 규정하고 있다. 최근 해양오염방지법의 개정을 통해 해양오염방지법 제4조에는 “해역별 수질기준의 유지가 곤란하고 해양환경의 보전에 현저한 장애가 있거나 장애를 미칠 우려가 있는 해역(해양오염에 직접 영향을 미치는 육지를 포함)을 특별관리해역으로 지정할 수 있으며, 환경보전을 위하여 대통령령이 정하는 바에 의하여 그 해역의 이용과 그 해역안의 시설설치를 제한할 수 있으며, 그 해역안의 사업장에 대하여 배출되는 오염물질을 총량으로 규제할 수 있다.”라는 조항이 있으나 아직 적용된 적이 없고, 이 분야에 대한 연구의 축적(蓄積) 또한 부족한 상태이다.

이전 수질의 총량규제에 대한 연구로는 “수질총량규제방식의 활용방안에 관한 연구(I):한국적 총량규제제도의 방향제시(한국환경기술개발원, 1993)”, “낙동강수계에서의 총량규제방안에 관한 연구(한국환경기술개발원, 1994)”, “총량규제시 효율적인 수질관리를 위한 삭감량 배분방법에 관한 연구(서울대학교 환경대학원, 1994)” 그리고 “특정지역에서의 수질총량규제 시행방안 연구(한국환경기술개발원, 1995)” 등이 있으나 모두 하천(河川)에서의 수질총량규제에 대한 연구로 국한되어 있었다.

3. 연안에서의 총량규제 적용에 대한 고찰

그동안 일본과는 달리 연안에서 총량규제에 대한 연구가 미비했던 것은 일본과 우리나라의 지형적 특성에 따른 차이점과 이에 수반되는 정책적 결정의 어려움 때문인 것으로 사료된다. 일본은 열도(列島)의 중앙에 산맥이 위치하고 있어 대다수 하천의 유로(流路)가 짧고 대부분의 대도시 및 산업이 연안지역에 위치하고 있어 오염물질이 바로 해양으로 유입·분산되기 때문에 동경만 등의 폐쇄성 해역에서만 심각한 수질오염문제가 발생하였고, 따라서 이러한 수역들을 중심으로 총량규제제도 실시되었다.

우리나라는 하천을 따라 산업 및 도시가 발달하였기 때문에 하류지역의 상수원 오염문제가 더 시급한 과제로 대두되어 왔고 그 해결도 아직 이뤄지지 못하고 있다. 따라서 하천의 수질문제를 뒤로하고 연안지역의 수질오염문제를 해결하기 위해 일본의 총량규제를 도입한다는 것은 재정적으로나 시간적으로 매우 어려운 문제이다.

우리는 선진국으로서의 도약을 위한 5차에 걸친 경제개발 수행과정을 통하여 임해공업단지(臨海工業團地) 건설, 임해발전소 건설, 간척매립사업의 추진, 양식장의 건설 등 많은 연안자원과 공간(空間)을 개발하였고, 연안역에서의 사회, 경제활동을 확대함으로써 지금까지는 연안역의 보전(保全)보다는 주로 이용(利用)에 치중한 정책을 시행하여 왔다.

이러한 추세는 우리 경제가 수출 지향적이며, 원자재 등의 수입의존도가 높아 연안항만을 비롯한 산업입지 형태가 임해지향적으로 재배치(U자형 국토개발 전략)되고 있으며, 이를 배경으로 하는 연안도시들의 성장이 더욱 신장되어짐에 따라 더욱 가속화될 것이다.

이같은 연안환경의 악화(惡化)로 인하여 정부는 '82년부터 부산·울산연안, 광양만 및 마산만을 대상으로 특별관리해역을 설정, 관리해오고 있으며 '96년부터는 관리대상지역을 육지부까지로 확대하여 해양으로의 오염부하량을 줄이기 위한 많은 오염저감대책을 계획하고 있다.

이 해역들중에서도 마산만 유역은 특히 해역의 폐쇄성(閉鎖性)이 강하고 마산수출자유지역 및 창원기계공단 등 많은 폐수배출업소가 산재해 있어 해양오염이 날로 심각해지고 있는 실정이다. '90년부터 시작된 마산만의 준설사업(浚渫事業)으로

어느 정도 양호한 수질을 보이는 듯하였으나 매년 만성적인 독성적조(毒性赤潮)의 발생 및 오염부하량의 과다로 인하여 해양수질의 개선이 이루어지지 않고 있다.

따라서 이러한 지역에서는 배출농도에 관계없이 사업장 및 하수처리장에서 배출하는 오염물질의 총량을 대상으로 규제기준을 정하는 총량규제를 특별관리해역의 주요 관리 수단으로 도입하는 것이 문제해결의 방안이 될 수 있으며, 이론적으로는 이런 문제를 해결하는 가장 완전한 방식이라고 할 수 있다(이두곤, 1990).

4. 연구의 목적 및 의의

본 연구는 연안에서의 오염물질 저감을 위하여 수질총량규제제도의 도입 타당성을 검토하고 도입의 방안을 제시하고자 한다. 특히 연안 오염우심해역에서의 육상 및 해상 기인 오염물질 유입을 저감시키기 위하여 배출규제 제도를 기존의 사업장별 농도중심에서 지역별 배출총량 중심으로 전환하는 방안을 제시하고자 한다.

대도시 또는 대규모 공단을 배후에 두고 있는 오염원(汚染源)이 많은 폐쇄성 내만의 경우, 기존의 사업장별 농도규제만으로는 연안오염방지에 한계가 있다. 오염원이 많을 경우 모든 오염원이 배출규제농도 이하로 방류(放流)하더라도 오염물질 배출총량은 해역의 자정능력(自靜能力)을 초과하기 때문이다. 따라서 이러한 지역에서는 배출농도에 관계없이 사업장 및 하수처리장에서 배출하는 오염물질의 총량을 대상으로 규제기준을 정하는 총량규제의 도입이 필요하다.

특히 마산만과 같은 지역은 해양오염특별관리법에 의해 특별관리해역으로 지정·관리하고 있으나 그 관리가 예전의 농도규제이외에는 실시되지 않아 행정적 관심에도 불구하고 그 오염도(汚染度)는 날로 심화되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 총량규제를 통한 폐쇄성 연안해역의 환경개선 방향을 제시하고 오염원 현황 및 오염부하량 그리고 오염기작(汚染機作) 등을 조사함으로써 총량규제제도의 지정항목을 선정하고, 이에 따라 여러 가지 사회적 여건을 고려하여 총량규제 실시 대상지역의 우선순위(優先順位)를 제공하며, 특별관리해역의 관리방안으로서의 효과적인 오염물질 저감대책 수립을 그 목적(目的)으로 하였다.

5. 연구방법

총량규제의 지정항목을 결정하기 위해 먼저 마산만 유역에서의 오염기작(汚染機作)을 조사하였다. 마산만유역에서 오염물질을 배출하는 실태를 조사한 결과 마산시 및 창원시에 의해 그 오염유입량이 가장 많은 것으로 밝혀져 2개 도시에 대한 인구, 산업활동, 축산활동, 토지이용 현황 등 인문사회학적 현황을 조사하여 마산만으로 유입되는 오염부하량 및 기여도(寄與度)를 산정하였으며, 마산만 내에서의 해양오염 현황과 오염기작을 조사 연구하였다.

또한 미국의 연안역관리프로그램과 배출권 거래제도, 그리고 일본의 총량규제제도의 사례를 조사 분석하여 우리나라 연안에서의 총량규제제도 이용가능성의 시사점(時事點)을 도출하였다.

그리고 현행 연안환경보전제도의 개선방향 등 지역의 실정에 맞는 총량규제 추진방향을 제시하며 오염원별, 지역별 삭감량(削減量)을 추정하여 총량규제의 기준 설정 및 효율적인 관리 방안을 제시하였다.

II. 외국의 총량규제 사례연구

1. 일본의 수질총량규제 제도

1.1. 일본의 수질총량규제 개요

인구증가와 산업생산규모의 확대 등으로 야기되는 오염증가를 적극적으로 수용하기 위하여 동경만(東京灣), 이세만(伊勢灣), 세토내해(瀬戸内海)의 3해역으로 오염물질이 유입되는 지역(육지부 포함)에서 오염물질을 농도단위가 아닌 양으로 기준하여 일정한도(限度) 이하로 억제시키는 총량규제 제도를 1979년부터 목표년도를 정하여 시행하고 있다.

이 제도는 기존의 농도규제만으로는 환경기준치가 달성, 유지되지 못하는 광역의 폐쇄성 수역의 수질개선을 목표로 하였기 때문에 시·공간적으로 제한하여 도입·실시되었는데 연차적으로 강화·확대되는 추세이다.

현재 화학적 산소요구량(COD)를 지정항목으로 하여 오염발생원별로 구체적인 삭감목표량을 지정하는 총량삭감계획을 시행하고 있고, 이로 인하여 아직까지 획기적인 수질개선이 이루어지지 않는다고, 점차 개선되어 가는 것으로 평가되고 있다. 또한 해당지역의 오염원의 증가 추세를 고려할 때, 총량규제를 통하여 상당한 수질개선이 이루어진 것으로 평가되기도 한다.

그러나 이러한 수질개선은 그동안 투자한 오염방지노력에 비해 미미한 것으로 평가(여전히 지정수역의 수질이 환경기준에 미달)되어 일본 정부는 이의 규명을 위한 대규모의 과학적 조사를 실시하였으며, 그 결과 제도상의 문제점이나 제도의 실시내재된 문제점도 없지 않으나 보다 근본적으로 COD만을 수질총량규제의 규제항목으로 정한 것이 주요 문제점으로 밝혀졌다(森谷 賢, 1996).

즉, 일반적으로 광합성의 제한인자인 인(P)의 폐쇄성 해역으로의 유입으로 인하여 해역이 부영양화됨으로써 일사(日射)조건과 수온이 조류(操類)의 증식에 적합한 하계에는 생체량이 평상시의 100여 배에 이를 정도로 해역에서의 내부 COD발생량이 해역으로 유입되는 COD와 양적으로 비교될 만한 수준에까지 도달하였기 때

문이다(順勝 陸一 外, 1995).

이러한 부영양화를 방지하기 위해서는 인(P)뿐만 아니라 질소(N)의 제거가 필수적인데, 아직까지는 질소와 인을 동시에 경제적으로 처리하기 위한 기술적 문제점으로 인하여 총량규제의 지정항목으로 지정하지 못하고 있는 실정이다.

1.2. 총량삭감의 기본방침

총량삭감의 기본방침에는 삭감목표와 목표년도 등 총량의 삭감에 관한 기본적인 사항들이 규정되어 있으며, 삭감의 목표는 지정수역의 지정항목에 관하여 정령(定令)에 지정되어 있는 범위와 내용에 따라 수질환경기준을 확보하는 것이다. 삭감 목표량은 해당지정수역에 유입되는 총오염부하량(1호 총량)과 목표년도의 인구와 산업의 동향, 폐수나 하수의 처리기술의 수준, 하수도의 정비사항과 계획을 감안하여 시행 가능한 삭감을 계획하는 경우의 총량(2호 총량)의 차이로 정하였다. 또한 지정지역의 발생원 및 지방자치단체별로도 삭감목표량(3호 총량)을 정하였다.

총량삭감의 기본방침에는 목표를 “해당 지정수역에서 해당 지정항목에 관한 수질환경기준을 확보하는 것을 꾀한다.” 고 규정한 것은 수질환경기준의 전면적인 달성을 전제로 하여 목표를 설정하는 데는 많은 무리가 따를 것을 예상하여, 인구 증가나 산업의 동향을 바탕으로 한 오염부하량의 추정과 하수도의 정비나 폐하수처리기술의 동향 등을 감안한 현실적인 목표치를 정하고 그 달성을 꾀하자는 것이라고 할 수 있다(森谷 賢, 1996).

1.3. 수질총량규제제도 내용

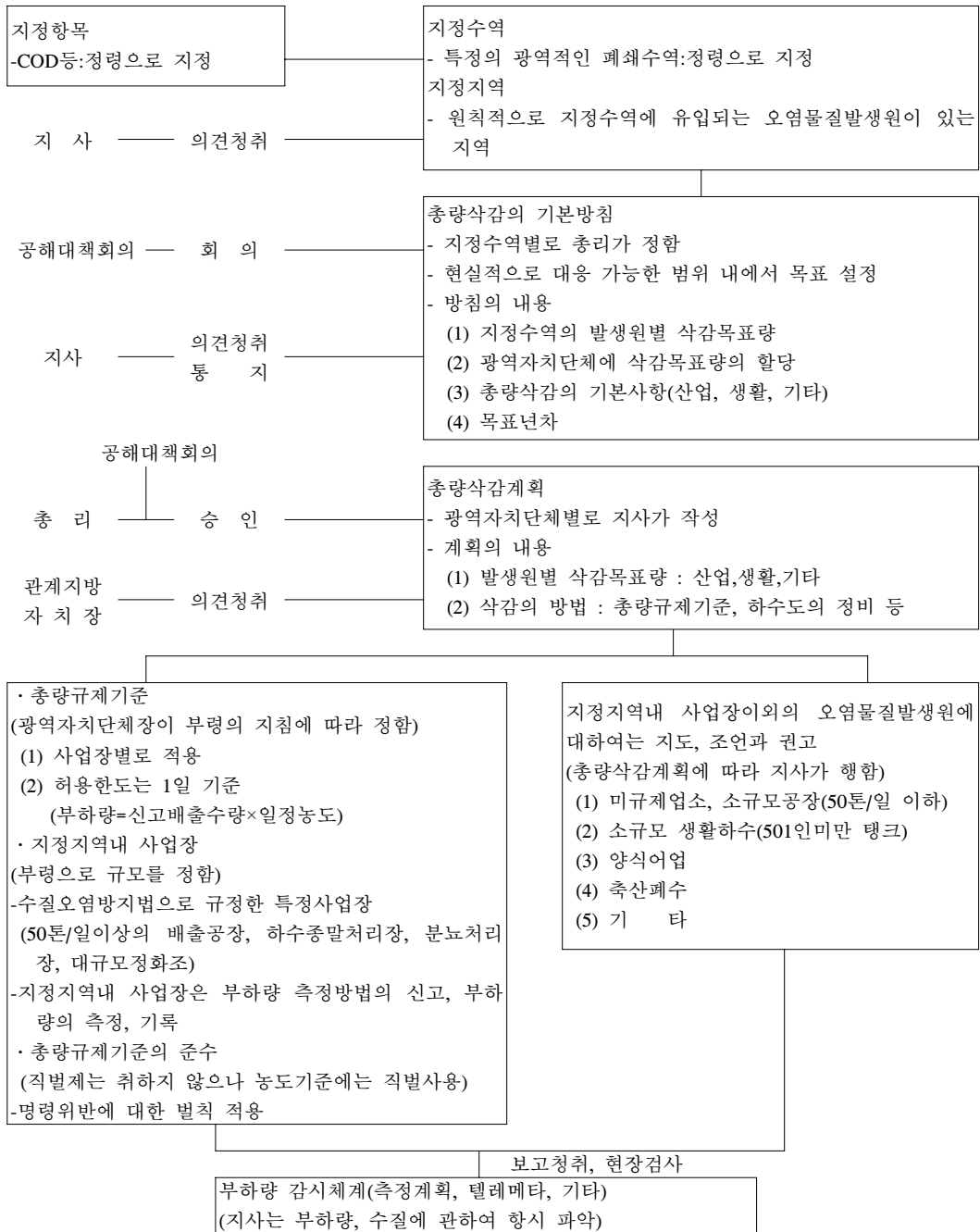
이 제도는 먼저 규제대상이 되는 수역과 지역 그리고 규제항목을 총리(總理)가 정령으로 지정하고 지정수역에 관하여 총량삭감기본방침을 결정하게 되어 있으며, 이에 따라 지사가 오염발생원별로 구체적인 삭감목표량을 지정하는 총량삭감계획을 결정하여 그 내용을 집행하고 감시하게 되어 있다.

지사(知事)는 이러한 삭감 계획에 따라 지정지역내 사업장에 대한 총량규제기준을 정하고 규제대상 이외의 사업장에 대해서도 지도, 조언과 권고를 하여야 한다.

그리고 계획의 정확한 시행을 위하여 지사는 관련사업장의 배출량을 체계적으로 감시하여야 하며, 지정항목이 아닌 오염물질에 대해서도 지도, 조언, 권고를 통하여 수질오염 감소를 위해 노력하여야 한다.

또한 이 제도는 이러한 공공부문의 노력에 상응하며 지역경제의 상황과도 조화를 이룰 수 있는 총량삭감계획이 민간부문에도 적용되어야 한다고 규정하고 있다.

그림 II-1은 일본에서 처음에 실시되었던 수질총량규제의 흐름도이다. 지정항목은 COD로서 지정지역과 함께 정령(定令)으로 지정되어 있다. 지사(知士)와 공해대책회의가 총량삭감의 기본방침수립의 주체가 되며, 총리(總理)는 이러한 방침을 승인하는 과정을 통하여 총량삭감의 기본방침을 결정하게 된다. 이에 따라 지사는 관계되는 하부 자치단체나 행정단위의 의견을 수렴하고 총리의 승인을 얻어 수질총량규제제도의 실질적인 중심축이라고 할 수 있는 구체적인 총량삭감계획을 작성한다.



<그림 II-1> 수질총량규제의 흐름도

자료 : 水質の總量規制について, 土屋陸夫, 1980

1.4. 제3차 총량규제의 시행현황

제3차 총량삭감기본방침은 평성(平成)3년(1990년) 1월 내각총리대신(內閣總理大臣)에 의하여 정해졌으며, 이에 따라 관련 지방자치단체에서 총량삭감계획을 작성하여 1990년 3월 내각총리대신이 승인함으로써 제3차 총량규제가 시작되었다. 이 제도는 평성6년(1993년)을 목표년도로 하여 각 해역의 발생원별, 지방별의 삭감목표량과 오염부하량의 총량삭감방침을 정하여 시행되었다.

1.4.1. 발생부하량의 추이

총량규제에 있어서 삭감목표량은 수질오염방지법의 규정에 따라 인구와 산업의 동향, 배수(排水)처리기술의 수준, 하수도정비의 전망 등에 따라 시행가능한도내에서 삭감을 하는 것으로 전제로 하여 결정하였다.

목표년도인 평성6년(1993)년의 삭감목표량은 동경만 308톤/일, 이세만 251톤/일, 세또내해 760톤/일로서 평성원년(1988년) 발생부하량의 87%(동경만), 92%(이세만), 91%(세또내해)이다. 발생원별로 보면 생활하수의 경우 삭감율은 12%, 산업체의 삭감율 9%, 기타 2%로 되어있다. 지방자치단체별로는 하수도의 정비전망, 과거의 삭감율 현황 등을 검토해 지자체별로 삭감율을 정하고 있다.

1.4.2. 각종대책의 시행현황

생활하수의 부하량을 저감하기 위해 도입된 방안은 1차적으로 하수도 보급률의 증가로서 이를 위하여 각 가정에 합병처리정화조(合併處理淨化槽)를 확대보급하였으며, 정화방법 개선, 처리기술 발전, 지도 및 주민계몽 등을 시행하였다.

산업계의 오염부하량을 저감하기 위해 지정지역내의 사업장에 대해서 배수처리시설의 완비, 용수(用水)의 합리적 사용, 제조공정 및 원료의 적절한 이용 등 주로 공정내(工程內) 대책을 활용하도록 하였고, 소규모 및 미규제(未規制)사업장에 대해서는 지자체에서 지도 및 기술공정의 감독 등을 통하여 그 대책을 세우도록 하였다. 또한 지정지역내의 사업장에 대해 오염부하량의 감시측정제도를 완비하여

총량규제의 철저한 시행을 계획하였다.

이같은 각각의 오염저감대책으로 인하여 인구, 산업의 신장(伸長)에도 불구하고 오염부하량은 감소하는 추세이다.

1.4.3. 지정수역의 수질현황(자료 : 岡田 光正, 1995)

3차 총량규제 이후 동경만 해수질의 COD 년평균자료를 보면 내만에서는 3~4mg/l 정도, 중앙부에서는 2~3mg/l 정도로 나타났다. 한편, 소화(昭和)58년(1979년)~60년(1981년)사이에는 높은 COD농도의 추이를 보였으나 소화61년(1982년)부터 점차 감소되는 추세를 보이고 있다.

총량규제가 도입되기 전과 도입이후의 해수질현황을 비교해보면 해수 중층(中層)부근에서는 수질이 개선되는 추세이며, 계절별 변화는 하계(7~9월), 동계(1~3월)에 높은 농도를 보였다. 그러나 환경기준치 달성면에서 볼 때 평성4년(1991년)까지는 환경기준치 달성률이 높았으나 평성5년(1992년)부터는 예전의 수준을 보여주고 있다.

이세만 해수질의 COD 년평균자료는 내만에서는 3~3.5mg/l, 중앙부에서는 2~3mg/l로 나타났으며 총량규제가 도입된 이후에도 수질의 큰 향상은 볼 수 없고 거의 제자리걸음을 하고 있다.

세또내해의 COD 년평균자료를 보면 3~3.5mg/l의 농도를 보이며 오사까만에 있어서는 해수질이 개선되는 양상이나 전체적으로는 거의 변화가 없으며, 周防灘, 伊予灘西部지역에서는 오히려 수질이 악화되는 실정이다. 또한 환경기준의 달성현황을 보면 거의 제자리 수준이나 평성5년(1992년)부터 점차 낮아지고 있다.

1.5. 일본의 제4차 수질총량규제 계획

1.5.1. 4차 수질총량규제 계획의 개요

지정수역내의 수질현황을 볼 때, COD오염부하량의 감소율이 큰 동경만, 오사까만은 개선되는 경향이다. 그러나 기타 다른 해역에서는 전체적으로 답보적인 상태

를 보이고 있고, 환경기준의 달성을은 담보적인 상태이며, 해양의 이용(레크레이션 등) 등 새로운 오염원이 나타남에 따라 적절한 수질개선대책이 필요한 것으로 보고되었다.

지정수역에 있어서 인구의 계속적인 증가는 하수관의 정비, 하수처리시설의 확충(擴充)에 의해 그 오염부하량을 저감시킬 수 있을 것이나, 산업체의 경우 대체적으로 현재의 처리기술수준으로는 대폭적인 산업폐수 오염부하량의 감소를 기대하기 어렵기 때문이다.

제4차 총량규제에는 폐쇄성해역에 있어서의 수질오염메카니즘을 고려하도록 하였다. 즉 수질개선을 위해서는 육상에서 유입되는 유기물의 유입 뿐만 아니라 내부생산(內部生産) 유기물과 저층에서 용출(溶出)되는 유기물까지 저감시킬 수 있는 대책이 필요하며, 이를 위해 육상에서 유입되는 COD유입저감대책과 내부생산 COD제어를 위한 질소·인 저감대책을 수립하도록 하였다(中央環境番會水質部會, 1994).

따라서 3차에 걸친 총량규제시행에 의한 COD오염부하량 저감대책은 계속적으로 시행하며, 이와 병행하여 점차적으로 질소·인의 저감대책을 강화함으로써 목표년도인 평성(平成)11년(1998년)에는 전체적으로 수질개선이 될 것으로 보고 있다.

1.5.2. 제4차 총량규제에 있어서의 대책

총량규제제도는 환경기준의 확보를 목적으로 하고 있으나, 그 삭감목표량에 대해서는 오염원처리기술, 하수도의 정비상태, 생활배수처리시설 완비 등에 따라 실현 가능한 대책을 전제(前提)로 하고 있다.

제4차총량규제에는 오염부하량중 많은 비중을 차지하는 생활계 배수대책을 더욱 강화하며, 산업계에서도 이에 상응하는 오염배출량 규제를 시행하여 균형있는 오염저감활동을 시행할 계획이다(東京都環境保全局, 1996).

1.5.2.1. 생활계 배수대책

생활하수에 의한 오염부하량이 전체오염부하량중 가장 많은 부분을 차지하기 때

문에 저감대책중 우선적으로 추진할 수 있도록 오염방지법상에도 정책 우선순위 1위로 규정하여 시행하고 있다. 구체적으로 하수도의 정비, 지역실정에 맞는 합병처리정화조 설치, 농어촌배수시설, 지역분뇨처리시설 등의 설치를 시행하고 있으며, 처리기술이 발전함에 따라 이들 시설에서 고도처리를 하여 생활계의 질소 및 인의 오염부하량을 감소시키려 노력하고 있다.

1.5.2.2. 산업계 배수대책

제4차총량규제에는 질소·인의 배출규제제도의 진척정도에 따라 공장·사업장의 배수수질의 실태, 배수처리기술의 동향, 오염부하량저감을 위한 대책, 폐수처리의 비용문제 등을 검토하여 적절한 범위에서 삭감량을 결정하고 있다.

소규모의 산업체에 대해서도 지도지침(指導指針)에 따른 보고제도의 활용 및 규제대상업체의 확대 등 오염대책을 강화하고 있다.

1.5.2.3. 기타 대책

축산폐수와 시가지 등에서의 강우(降雨)에 의한 비점오염물질 저감을 주요 대책으로 하고 있으며, 축산폐수 문제는 일차적으로 감독·감시의 강화를, 시가지의 강우에 의한 오염부하량의 배출은 합류식하수(合流式下水)의 개선사업 등을 통한 하수관거의 정비를 주요 방안으로 계획하고 있다.

또한 저층의 퇴적물의 오염정화, 양식장자가오염대책, 감시망체제 완비 등의 추진 및 하천과 갯벌의 생태계 보전·회복, 내부생산COD 관점에서의 질소·인의 배출규제 시행 등을 계획하고 있다.

1.6. 총량규제기준의 산정식(자료 : 東京都環境廳, 1996)

총량규제기준은 다음의 식에 의해 정해진다.

$$L = C \times Q \times 10^{-3}$$

L : 배출허용 오염부하량 (kg/day)

C : 지자체 지사가 정하는 일정의 COD농도 (mg/l)

Q : 특정배출수(배출수중 우수(雨水)처럼 사업활동이나 사람의 활동에 사용되지 않은 물과 냉각수처럼 일과성으로 쓰여져 오염부하량이 증가되지 아니한 물을 제외한 나머지 양) (m^3/day)

소화(昭和)55년(1981년) 7월 1일 이후의 신·증설된 사업장에 대해서는 다음의 식과 같은 방법으로 기준을 정한다.

$$L = (C_0 \times Q_0 + C_1 \times Q_1 + C_2 \times Q_2) \times 10^{-3}$$

L : 배출허용 오염부하량 (kg/day)

C_0 : 지자체 지사가 정하는 일정의 COD농도 (mg/l)

(Q_0 에 대응해 사용되는 수치로서 C와 같은 값)

C_1 : 지자체 지사가 정하는 일정의 COD농도 (mg/l)

(Q_1 에 대응해 사용되는 수치)

C_2 : 지자체 지사가 정하는 일정의 COD농도 (mg/l)

(Q_2 에 대응해 사용되는 수치)

Q_0 : 특정배출수의 양 (Q_1 및 Q_2 제외)

Q_1 : 소화55년(1981년) 7월1일 이후 평성3년(1990년) 6월 30일까지 특정시설의 설치 또는 구조 등의 변경에 의해 증가한 특정배출수의 양(소화55년 7월 1일 이후 평성3년 6월 30일까지 설치된 특정지역사업장에 관계되는 경우에 있어서의 특정배출수의 양) ($m^3/일$)

Q_2 : 평성3년(1990년) 7월 1일 이후 특정시설의 설치 또는 구조 등의 변경에 의해 증가된 또는 증가하는 특정배출수의 양(평성3년 6월 30일 이후 설치된 또는 설치하는 특정지역사업장에 관계되는 경우에 있어서의 특정배출수의 양) ($m^3/일$)

1.7. 오염부하량 측정 등의 의무

각 발생원에서의 오염부하량의 감시 관리는 수질총량규제제도의 적절한 운영에 필수적이다. 이를 위하여 지정지역내 사업장에서 배출수를 방류하는 사업장에게

오염부하량의 측정을 확실하게 이행하고 이것을 기록하여 오염부하량의 자기관리(自己管理)를 행하게 하고 있다. 이에 따라 해당되는 사업자에게는 해당배출수의 오염부하량을 측정하고 결과를 기록할 의무가 규정되어 있다.

오염부하량의 측정은 환경청장관이 정하는 바에 따라 측정결과에 바탕하여 하루 단위로 오염부하량을 산정하게 되어 있다(표 II-1).

<표 II-1> 특정배출수의 오염상태와 양의 측정방법

사항	측 정 방 법	개 요
특 정 배 출 수 의 오 염 상 태 측 정 방법	(1)수질자동계측기	· 자동 채수된 시료의 오염상태 계측하고 기구의 자동정산식에 의해 COD계측 · COD계, TOC계, TOD계, UV계 등
	(2) 샘플러+지정계측계	· 샘플러에 의해 채수되어 보존된 시료를 지정측정법에 의해 측정하여 유량변동에 대응한 일정시간의 평균수질을 산정 · 400m ³ /일 이상의 사업장에서 수질자동계측기의 설치가 기술적으로 불가능한 사업장에서 시행
	(3) 지정계측법	· JISK0102의 17에 의한 방법[100℃에서 과망간산칼륨법에 의해 소비량측정(COD)] · 1일 3회이상 시료채수
	(4) 간이계측법	· 간이COD계측기를 이용하여 측정 · 계측만이 자동화되어 있는 간이COD계 · 1일 3회이상 시료채수
특 정 배 출 수 량 측 정 방법	(1) 유량계나 유속계	· 자동적으로 수량을 측정하여 기록기능을 가진 유량계 혹은 유속계
	(2)적산체적계(積算體積計)	· 자동계측결과 기록형 기계
	(3) JISK0094의8이 정하는 기타방법	· 체적에 의한 방법 혹은 용기에 의한 측정에 의해 유량을 측정, 또는 수도메타를 사용한 방법

자료 : 東京環境廳, 1996

또한 측정빈도에 관하여서는 지정지역내 사업장의 하루 배출량이 :

- 400m³이상인 경우 배수기간중 매일
- 200~400m³인 경우 배출기간중 7일 이내에 1회 이상
- 100~200m³인 경우 배출기간중 14일 이내에 1회 이상
- 500~100m³인 경우 배출기간중 30일 이내에 1회 이상 측정하도록 되어 있다.

2. 미국의 연안역 관리

2.1. 미국의 연안역 관리 개요

미국은 연안역 과도이용(過度利用)이 문제가 됨에 따라 1972년에 연안역 관리법을 제정하였고, 이 법의 시행초기에 각 지방정부(주)가 주별(州別) 연안역관리 프로그램수립에 자발적으로 참여할 수 있도록 총 720만불을 보조금으로 제공함으로써 총 35개 주가 각주의 실정에 적합한 연안역관리 프로그램 수립에 참여하였다. 이에 힘입어 미국은 현재 29개의 공인된 주별 연안역관리 프로그램(CZMA¹⁾)이 자발적으로 운영되고 있으며 국가해양보호구역과 EPA가 주관하는 기수역(汽水域)보조구역을 지정하는 프로그램을 갖고 있다(한국해양연구소, 1995).

미국 연안역 정책은 시대별로 뚜렷하게 구분할 수 있는데 각 단계별 특징은 다음과 같다(Godschalk, 1992).

- 연안역 자원의 위기국면 공감 형성기(1962-1971) : 위기에 처한 연안역 자원을 관리하는데 기초를 둔 새로운 공공정책에 대한 요구가 형성되는 시기
- 1972년 CZMA 제정기(1969-1972) : 연안역 관리법을 제정하는데 따른 토지이용 및 기타정책 순위와의 경쟁 및 상충을 조정하는 시기
- 주정부 연안역 관리계획 수립기(1973-1980) : 각 주정부별로 독자적인 관리계획을 수립하는데 따른 연방정부의 지원과 주정부의 동참이 활성화되는 시기
- 레이건 행정부 아래에서의 침체기(1980-1988) : 레이건 행정부 기간동안 연방보조금을 삭감하려는데 맞서 국가연안역 정책을 실효성 있게 유지하려는 노력이 벌어지는 시기
- 연안역 정책 회복기(1988-1990) : 주정부 계획의 활성화 및 강화를 위한 국가정책 우선 순위 및 시행절차의 재확립 시기

연안역 계획은 그 발단부터 각 주정부가 정책 우선 순위를 설정하는데 있어 각 지방자치단체의 협조체제를 구축하는 것을 전제로 하였으며, 자발적인 참여를 유도하기 위하여 벌칙 대신에 보조금을 지급하는 형태의 장려정책을 이용하였다. 또한 각종 이익단체나 각급 정부기관간의 원활한 협조체제를 구축함으로써 개발과

1) CZMA : Coastal Zone Management Acts

보전의 조화 및 효율적인 연안역 관리가 이루어질 수 있도록 하였다.

해양오염방지 관련대책은 이러한 연안역관리에서 가장 우선순위를 차지하고 있는 사업으로서 이의 효율적인 시행을 위해 EPA에서는 최근 미국 23개 연안의 해양오염을 조사하였다. 그 결과, 영양염류와 병원균 그리고 유기물에 의한 오염이 해양오염의 주요인이며, 이는 기수역에서의 오폐수의 유입에 따른 결과로 밝혀졌는데, 특히 인구의 증가에 따른 생활하수의 유입이 그 주요오염원인 것으로 알려져 있다(David R.G., 1994).

한편 연안역으로의 오염물질 유입을 방지하기 위해 미국 수질청정법 제 IV장에 배출허가권제도의 시행을 규정하고 있다. 이 제도는 “국가오염물질배출제거시스템(National Pollutant Discharge Elimination System : NPDES)으로써 수질오염규제를 위한 국가적 노력을 수질기준에서 처리기술의 보다 엄격한 수준에 근거하고 있는 배출허가시스템 혹은 최종처리기술 기준으로 바꾼 것이다. NPDES허가권은 점오염원으로부터 미국내의 수계로 배출되는 오염물질에 관해 규정하고 있으며 국가적 목표는 자연생태계에 영향을 미칠 정도의 독성오염물질이 배출되는 것을 금지하고 있는 것이다.

NPDES 허가권의 유효기간은 5년이나 일정조건하에서 현재의 허가권을 수정할 수 있다는 조항이 있으며 기간이 만료되면 다시 신청해야 한다. ‘72~’76년 사이에 내준 NPDES 허가권에는 BOD, SS, pH, 기름과 grease 및 몇몇 중금속에 중점을 둔 전통적인 오염물질 규제방안이 제시되었으며 점오염원 배출에 대한 연방 및 주의 배출허용기준을 준수하기 위한 조건을 규정하고 있고, 공공소유 처리시설을 통한 간접적인 배출도 역시 규제대상에 포함되어 있다.

NPDES와 함께 광범위한 환경문제에 대한 정책수단으로 사용되는 배출권 거래제도(marketable permit system)는 배출부과금제도와 함께 환경문제에 적용 가능한 정책수단으로서 오염활동 혹은 오염방지활동에 대한 권리와 의무를 명확히 정의하고, 이에 대한 자율적 조정을 함으로써 최소의 사회적 비용으로 상정(上程), 환경의 질을 달성하고자 설계된 재산권제도의 하나이다²⁾.

배출권거래제도는 환경용량(環境用量) 산정과 산업체의 대응능력 분석을 통해 적정한 배출수준에 대한 목표치가 설정된 후 이에 상응하는 배출권이 각 오염원별

2) 오염배출권 거래제도에 대한 자세한 내용은 「수질총량규제방식의 활용방안에 관한 연구(I):한국적 총량규제제도의 방향제시」(박원규, 1993) 및 「배출권 거래제도 계획 및 환경문제에 대한 적용방안에 관한 연구」(안병훈, 1996)을 참조

로 할당되고 거래되는데, 한단위의 배출권은 일정량의 오염물질 배출에 대한 권리를 의미하며 오염업체는 배출권의 보유량 이하로 배출량을 줄이거나 다른 업체로부터 부족한 양만큼 배출권을 구입하게 된다.

오염물질의 배출저감비용이 작은 업체는 배출량을 더 삭감하는 대신 상대적으로 비용이 큰 업체에게 배출권을 판매함으로써 이익을 얻을 수 있다. 이때 배출권의 거래가격은 판매자의 추가적 배출삭감비용보다는 크고 구매자가 절약하게 되는 삭감비용보다는 작은 수준에서 결정되므로 결과적으로 총배출량이 증가하지 않으면서 양자(兩者)가 모두 이익을 얻을 수 있다.

이러한 배출권 거래제도는 미국의 대기오염문제에 적극적으로 활용되어 왔는데 미국에서 처음 적용된 것은 1976년 “상쇄제도(offset program)”인데, 오염우심지역의 설비증설로 인한 추가적인 오염량에 상응하는 만큼을 타오염원으로부터 삭감하도록 규정하고 있다. 이후에 미국환경보호청(US EPA)은 묶음(bubble), 상계(netting), 예탁(banking), 평균(averaging) 등 다양한 형태의 배출권 거래제도를 개발하고 시행하고 있으며, 대기오염 뿐만 아니라 수질 및 자원문제에 대해서도 적용하고 있다 (Pearce, Turner, 1990).

가장 대표적인 것은 산성비 방지를 위한 황산화물 배출허용권 거래제도(혹은 산성비 허가권 거래제도)를 들 수 있다. 수질부분에서는 위스콘신주의 Fox River와 콜로라도주의 Lake Dillon에 적용 시행된 배출권 거래제도가 대표적이다.

배출권거래제도의 가장 큰 잇점은 획일적인 직접규제방법들보다 훨씬 비용-효율적이란 점이다. 배출자 사이의 오염배출권 교환을 허용함으로써 오염으로 인한 전체 사회비용을 낮추면서 환경질을 개선할 수 있으며, 혁신적인 폐수감축 방안의 개발과 채택을 위한 인센티브를 제공할 수 있다. 또한 신규배출자가 배출권을 구매함으로써 쉽게 기존의 시장으로 진입할 수 있는 장점이 있다.

배출허가권은 규제당국에 의해 배출자에게 직접 분배되는 경우가 있고, 경매(競賣)와 같은 절차를 통해 판매되기도 한다. 배출권거래제도의 시행과 관리상의 용이성은 정착수단의 선택에 따라 차이가 난다. 배출자의 오염물질 배출량에 기초한 규제형태를 포함한 모든 배출권 프로그램의 시행은 배출에 대한 감시(monitoring)를 필수로 한다. 또한 개별배출자에 대한 등록업무를 운영해야 하며 수질모델의 개발과 활용을 필요로 하고 있다.

다음은 미국의 연안역 관리프로그램중 대표적인 체사피크만, 샌프란시스코 하구

및 롱아일랜드 사운드에서 실시되고 있는 연안역 관리 현황을 소개한다.

2.2. 체사피크만의 연안역 관리 현황

체사피크만 관리계획(Chesapeake Bay Program : CBP)의 대상지역은 해안선 길이가 11,200 km이고, 표면적은 2,200평방 마일이며, 웨스트 버지니아주, 뉴욕주, 델라웨어주, 메리랜드주, 펜실바니아주, 버지니아주, 워싱턴시의 64,000 평방 마일에 걸쳐있다. 이 지역은 인구 1,300만명 이상이 거주하고 있고, 상업·관광지이며 2개의 주요항구가 있는 지역이다.

체사피크만 하구는 메릴랜드주와 버지니아주의 약 3,000여개의 점오염원으로부터, 그리고 상류유역의 2,000개의 점오염원으로부터 폐수가 유입되며, 농업과 기타 비점오염원으로부터의 오염물질 유입 또한 체사피크만 해양 생태계를 위협해 왔다.

이처럼 미국에서 가장 크고 해양자원이 풍부한 하구인 체사피크만을 정화하기 위하여 정부와 민간단체간의 협력에 힘입어 체사피크만 회복 및 보호계획을 실행하였다(Hennessey, 1983).

체사피크만 회복 및 보호계획은 하구 시스템의 수질 및 생물자원을 개선시키기 위한 것으로서, 세부계획은 다음과 같다. 첫째 부영양화 감소를 위하여 오수처리, 하수범람 감소, 처리공장 유지, 영양염류 한계설정 및 강화, 농축산 배출물로부터의 영양화 감소, 도시하수구로부터의 영양염류류 감소 그리고 선박으로부터의 영양염류류 배출감소 등의 계획을 포함하였다. 둘째는 독성물질 감소 프로그램, 셋째 생물자원 보호, 넷째 만(灣)에 대한 환경프로그램의 영향평가, 다섯째 기관간의 협력관계 수립 등이다.

최근 체사피크만 관리 프로그램은 만내의 환경을 개선하기 위하여 체사피크만으로 유입되는 질소와 인을 40% 감축시키는 목표를 설정하여, 프로그램 활동의 대상지역을 지류(支流)로 확대시키고 있다.

2.3. 샌프란시스코 하구의 연안역 관리현황

미국의 캘리포니아주는 주 연안역의 지리적 구분에 따라 다른 법령에 의거해 수행되는 두 개의 상이한 연안 관리 프로그램을 보유한 유일한 주이다. 캘리포니아 연안위원회(California Coastal Commission)는 연안역의 해안선 지역을 관할하며, 샌프란시스코만 보존개발위원회(San Francisco Bay Conservation and Development Commission, BCDC)는 샌프란시스코만의 관리를 책임지고 있다.

샌프란시스코만은 이처럼 주정부 차원에서 BCDC에 의해 만내의 연안역 자원 개발 및 보존 프로그램을 실행하는 한편, 연방정부 차원에서는 전국 강하구 프로그램(National Estuary Program)의 일환으로 샌프란시스코만-삼각주-하구 프로그램을 통해 수질환경을 보호하고 있다(Travis, 1993).

샌프란시스코 하구관리사업은 캘리포니아 북부의 샌프란시스코만과 새크라멘토-상주앙(Sacramento-San Joaquin) 삼각주지역의 수질관련 환경자원을 보호하기 위해 연방정부에서 시작한 사업이다. 하구의 인접지역은 1,240km²의 해면을 포함하여 4,142km²에 달하고 인구가 700만 이상으로 급속히 증가하고 있는 지역이다.

샌프란시스코만 관리 프로그램에는 이해관계자 그룹간의 소위원회 및 과학자문위원회가 활동하고 있다. 만과 삼각주 보호를 위한 하구사업의 이해관계자 그룹에는 습지보전(토지개발업자), 담수배수료(생활용수 및 공업용수), 폐수배출자(기업, 주민, 농업 등), 준설 및 폐기물 처리(항만 및 해운) 등이 포함되며, 기술자문위원회에는 해양 및 내수면 생물학, 물리해양학, 생화학, 환경화학, 환경독성학, 환경/위생 공학, 수문학, 습지생태학 등 다양한 분야의 전문가로 구성되어 있다.

이러한 관리위원회는 샌프란시스코만의 환경과학적 분석과 정책대안 제시를 하고 있으며, 해안과 습지에 대한 보호에 많은 영향을 미치고 있다.

2.4. 롱아일랜드 사운드의 연안역 관리현황

Long Island Sound는 기수(brackish water)와 담수가 만나는 하구역으로서 생물학적으로 생산성이 높고 동식물종도 다양하다. 이 유역은 미국 최대의 수도권 지역 주민이 거주하고 있고, 어업, 관광 등으로 매우 높은 경제적 가치를 지니고 있다. 이 만은 생태적으로 고립된 기수역이 아니며 다른 기수역이나 개방(開放)해역과

서로 연계되어 있어 한 수계의 오염이 전체의 생산성에 영향을 미친다.

Long Island Sound Study(LISS)는 1989년 여름 미생물 오염으로 인해 해변이 폐쇄되고 용존산소가 기준치보다 낮아지게 되어 이를 해결하기 위해 촉진된 연구사업이다. 이 연구사업은 만이 스스로 회복되는 것이 매우 어렵고 지자체 정부와 만 전체 수역에 대해 특별한 조치에 의해서만 문제를 해결할 수 있다고 보고, 비용 효과적인 근본적 해결방법을 개발하였다(LISS, 1993).

관리계획중에서도 가장 중요한 LISS의 문제로 부각되고 있는 것은 용존산소증대 관리계획이다. 이 제도는 1단계로 질소 배출을 제한하기 위하여 “증가저지”(no net increase)정책을 수행하여 더 이상 악화시키지 않게 하고, 2단계로 질소배출을 줄이는 노력을 시작하며, 3단계로서 만내 오염원에서의 배출량을 계속 줄이고 용존산소 증대라는 대안을 통해 장기적 목표를 달성하고자 하는 것이다.

이는 계획수립, 모니터링 및 평가를 지속적으로 실시하고 새로운 정보와 수행상의 교훈으로부터 목표와 전략(戰略)이 수정되도록 함으로써 효과적인 관리가 되도록 하고 있다. 용존산소 증대 뿐만 아니라 유독물질 오염, 수질문제, 병원 오염물질 그리고 부유물질 등에 대한 연구도 진행중이다.

Ⅲ. 마산만 유역의 오염원 현황

1. 마산만 유역의 인문환경 현황 및 전망

남해안에 위치한 마산만(馬山灣)은 폐쇄성(閉鎖性)이 강한 천해(淺海)로서 인근 주변의 급속한 공업화와 도시화에 의해 오염된 대표적 지역이며, 연안오염특별관리해역으로 지정되어 있어 해당 시, 도청 및 중앙정부간의 관심이 매우 높은 지역 중의 하나이다.

이 지역에서는 '70년대 이후 지속적으로 적조(赤潮)가 발생하고 있어, 그 동안 이 지역의 적조발생에 대한 많은 연구가 이루어진 바 있다. 따라서 적조연구를 통한 일반수질, 생물분포 등의 자료가 다른 수역에 비해 비교적 많이 축적(蓄積)되어 있는 편이며, 사회, 경제적 자료 또한 상당히 축적되어 있다.

한편, 이러한 마산만에서의 생태계 변화 및 연안역 이용행위간의 상충관계에 대한 연구성과와 경험은 다른 해역을 관리하는데 많은 도움이 되고 있으며, 우리나라 연안역 관리의 쟁점들을 포괄적으로 보여주고 있다.

1.1. 마산만의 유역현황, 인구현황 및 전망

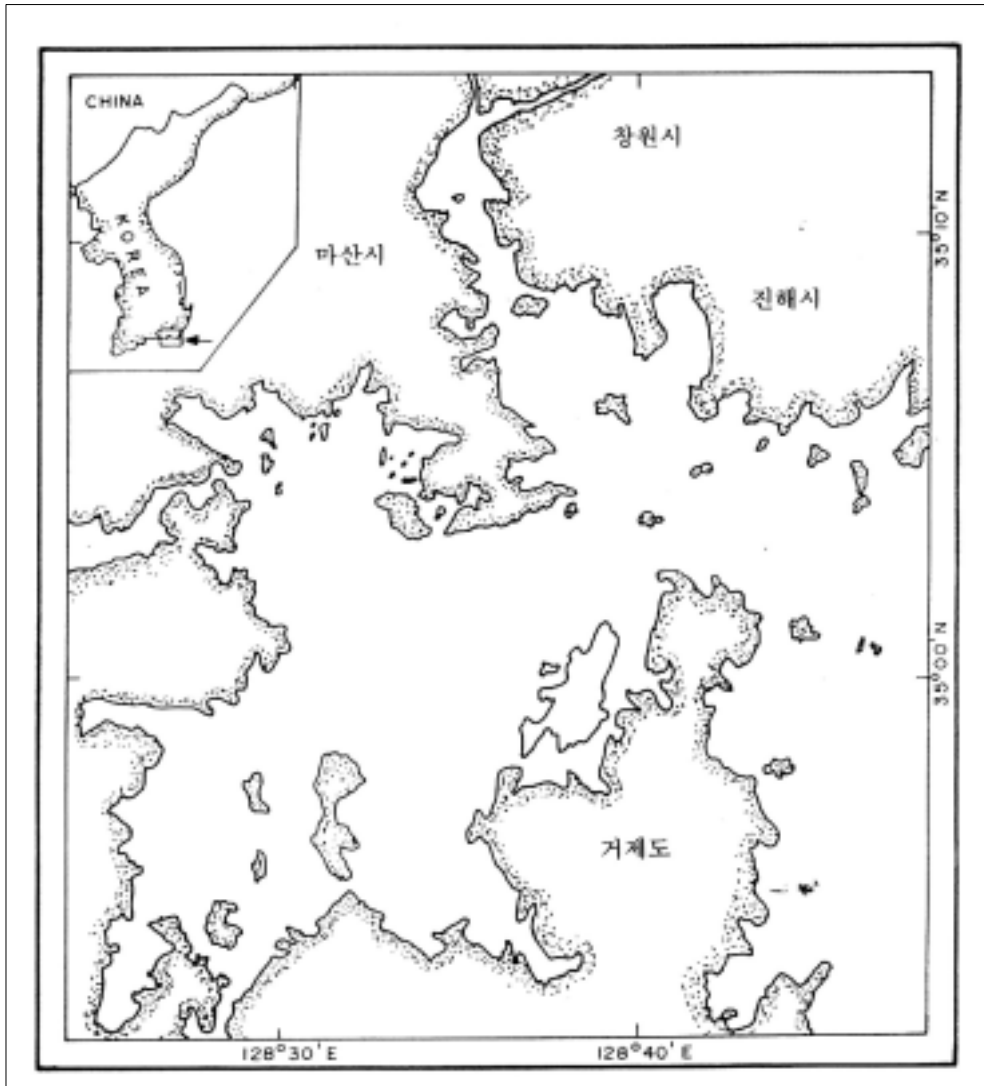
마산만은 해역의 지형 및 물리적인 특성면에서 전형적인 폐쇄성(閉鎖性) 해역이다. 육지부는 마산, 창원 2개시가 그 유역에 포함되며 총 유역면적이 453.51km²로서 마산시³⁾가 328.96km²로 72.5%를 차지하며, 창원시는 124.55km²이다.

또한 해역부는 해수의 유동 및 영향도를 고려하여 마산시 구산면 남포에서 부도를 지나 창원시 및 진해시의 경계지역인 창원시 삼귀동까지를 구획화(區劃化)하여 마산만으로 설정하였다.

마산만 유역의 기후는 비교적 온난한 해양성(海洋性) 기후를 나타내고 있으며

3) 1995년 1월부로 법령 제4774호에 의거 마산시 및 창원군을 통폐합

지난 5년간(1990~1994) 연중 평균 기온이 15°C 이며 최저 -7.9°C , 최고 34.9°C 로 나타났다. 그리고 5년간의 년평균 강수량은 1,668.5 mm, 평균상대습도는 65%, 평균 일조(日照)시간은 2,067.2시간, 그리고 평균풍속은 2.3m/sec로 나타났다(마산시 기상대, 1995).



<그림 III-1> 마산만 유역도(流域圖)

평년의 전국 평균기온이 12.5°C 인 것에 비교하면 비교적 높은 기온 분포를 보이고 있으며, 전국 평균강수량이 약 1,300mm에 비해 약 300mm정도 높은 강수량을 보이고 있어(기상청, 1995) 우리나라 남부지방의 대표적인 특성을 보이고 있다.

1994년 유역의 총인구는 약 93만 명이고, 마산시가 약 51%, 창원시가 49%를 차지한다(표 III-1). 창원시의 산업화에 따라 인구가 계속 증가하고 있지만 상대적으로 마산시 인구가 감소하여 '90년대 이후 마산만 유역의 총인구는 크게 변하지 않고 있다.

마산만에 직접적인 영향을 미치는 지역은 (구)창원군을 제외한 마산시와 창원시로 구분할 수 있다. 그 면적은 마산시가 73.3km², 창원시가 124.4km²으로 총 197.7km²에 이르며, 인구는 마산시가 '94년 현재 378,072명, 창원시가 459,813명으로 총 837,885명이다.

<표 III-1> 마산만 유역의 인구추이

(단위 : 명)

년 도	합 계	마 산 시		창 원 시
		마 산 시	(구) 창 원 군	
1980	586,268	386,751	87,826	111,691
1981	617,171	400,501	88,611	128,059
1982	634,983	413,034	87,212	134,737
1983	646,254	424,227	78,598	143,429
1984	677,957	440,773	76,782	160,402
1985	697,679	449,247	74,889	173,543
1986	721,013	458,538	73,514	188,961
1987	760,694	473,466	72,399	214,829
1988	808,050	484,405	70,324	253,321
1989	879,371	505,614	70,649	303,108
1990	892,144	496,639	72,367	323,138
1991	840,597	405,537	77,222	357,838
1992	863,456	392,928	85,712	384,816
1993	877,479	384,977	92,456	400,046
1994	934,742	378,072	96,857	459,813

자료 : 마산·창원시 통계연보, 1995

표 III-2는 마산만 유역의 주거지역, 상업지역, 공업지역을 시가화(市街化)지역으로 하고, (舊)창원군이었던 지역을 비시가화(非市街化)지역으로 분류하여 마산만

유역의 '90년의 인구현황과 '96년, 2001년 인구를 전망한 것이다. 비시가화지역의 인구는 감소하고, 시가화지역의 경우 계속적으로 증가하여 2000년도에는 시가화지역의 인구가 100만 명을 초과하게 될 것으로 추정되었다.

<표 III-2> 마산만 유역의 인구추정4)

(단위 : 명)

구 분	1990년		1996년		2001년	
	시 가	비 시 가	시 가	비 시 가	시 가	비 시 가
계	819,777	72,367	952,830	87,508	1,090,964	78,979
마 산 시	496,639	72,367	479,012	87,508	492,357	78,979
창 원 시	323,138	-	473,818	-	598,607	-

1.2. 마산만의 산업 현황

마산만은 천해의 임해공업단지(臨海工業團地) 조성지역으로서, 만 유역전체의 폐수배출업소는 총 521개 이다(마산시가 255개, 창원시가 266개)이다(표 III-3). 기계, 금속, 전자 등의 산업이 주종을 이루고 있으며, 폐수배출량은 총 $56,697\text{m}^3/\text{일}$ 이다. 수질환경보전법상 산업폐수 방류수질 기준 등급 4등급의 적용을 받는 하루 50m^3 이상 배출하는 업소수는 마산시 19개, 창원시 48개이다. 이중 하루 $2,000\text{m}^3$ 이상을 배출하는 업소수는 전체 7개 업소로 마산시에 3개업소 그리고 창원시에 4개 업소가 있다.

산업폐수배출량을 표 III-4에서 보면 총 합계 $56,697\text{m}^3/\text{일}$ 로서 마산시가 전체의 52.2%인 $29,586\text{m}^3/\text{일}$, 창원시는 $27,111\text{m}^3/\text{일}$ 로 나타났다. 마산시의 경우 전체 배출량의 91%를 수질환경보전법 1등급($2,000\text{m}^3/\text{일}$ 이상) 업체에서 배출하고 있으며, 창원시는 전체배출량의 48%가 1등급 업체에서 배출하고 있다. 전체적으로 등급1인 업체에서 배출하는 배출량이 전량(全量)의 71%로써 대규모의 공단이 위치하고 있음을 알 수 있다.

4) 표 III-1의 인구추이를 바탕으로 인구추정방법중 최소자승법을 이용하여 인구추정

<표 III-3> 마산만 유역의 폐수배출업소 현황

(폐수량 : m³/일)

구 분	배 출 량 별 업 소 수 (개)					
	합 계	2000 이상	2000~700	700~200	200~50	50 미만
합 계	521	7	5	17	38	454
마 산 시	255	3	-	3	13	236
창 원 시	266	4	5	14	25	218

자료 : 낙동강환경관리청, 1994년 8월 자료

<표 III-4> 마산만 유역의 산업폐수 배출량

구 분	총배출량 (m ³ /일)	비 율(%)	배 출 등 급 별 배 출 량 (m ³ /일)				
			2000이상	2000-700	700~200	200~50	50 미만
합 계	56,697	100	40,069	6,150	5,318	3,376	1,784
마 산 시	29,586	52.2	27,000	-	1,000	995	591
창 원 시	27,111	47.8	13,069	6,150	4,318	2,381	1,193

자료 : 낙동강환경관리청, 1994년 8월 자료

주요공단으로는 마산수출자유지역, 창원기계공단 등이 있고 경남의 산업개발계획에 따라 계속 발전해오고 있으며 자본집약적(資本集約的)인 산업이 주를 이루고 있다. 공단에 위치한 주요 배출업소의 폐수배출량은 표 III-5와 같다.

<표 III-5> 배출등급에 의한 산업체별 폐수배출량

구 분	소재지	업 소 명	배출량(m ³ /일)
2000 이상 m ³ /일	마산시	경남모직공업(주)	4,000
		조선맥주(주)	4,000
		한일합섬(주)	19,000
	창원시	(주)금성사 창원2공장	6,469
		(주)금성사 창원1공장	2,100
		삼미종합특수강(주)	2,500
		동서식품	2,000
2000~700 m ³ /일	창원시	대우조선공업(주)	1,200
		동원산업(주)	1,350
		삼성항공산업(주) 1공장	1,200
		동원냉동식품	1,500
		세방전자	900
700~200 m ³ /일	마산시	(주) 동남	350
		한국동경실리콘(주) 1공장	200
		대광실업	450
	창원시	금성산전(주)	500
		고려용접봉(주)	500
		고려강선	240
		(주) 남성 알미늄	422
		한국수자원공사	250
		한국철강(주)	200
		대림요업(주)	310
		삼미종합특수강(주)	230
		만호제강공업(주)	300
		영흥철강(주)	380
		경남금속(주)	286
		삼성라디에타공업	300
		쌍용중공업(주) 3공장	200
		세신실업(주)	200
200~50 m ³ /일	마산시	마산강관(주)	110
		마산제선강업(주)	60
		삼영광학공업 3공장	70
		신한공업	90
		한국성전(주)	70

<표 III-5> 계속

구 분	소재지	업 소 명	배출량(m ³ /일)
200~50 m ³ /일	마산시	한국태양유전(주)	80
		세경강업(주)	70
		해양식품공업사(주)	55
		한국산본(주)	100
		제일철강(주)	70
		한덕산업(주)	60
		성림산업(주)	70
		국립마산결핵병원	90
		마산수산물협동조합	50
	창원시	삼선공업(주)	80
		코렉스 스포츠(주)	60
		한국중공업	75
		효성기계공업	100
		대림자동차공업	137
		현대정공(주)	50
		동양물산기업(주)	60
		세일중공업(주)	130
		삼성항공산업(주) 2공장	150
		대우중공업(주) 2공장	86
		미진금속공업(주)	70
		부영공업(주)	135
		창원석제	66
		경동건설	89
		세일중공업(주) 3공장	130
		센트랄(주)	90
		성철사(주)	170
		동아건설사업(주)	120
		몽고식품	120
		삼우금속공업(주)	60
		우정정밀(주)	120
		삼성항공(주) 3공장	98
		동서유지(주)	60
		미원중기	75
50 미만	마산시	236개 업소	591
	창원시	218개 업소	1,193

자료 : 낙동강환경관리청, 1994년 8월 자료

1.3. 마산만의 축산업 현황

수질오염원으로 중요한 비중을 차지하고 있으면서도 그 관리상태가 부실한 분야가 축산시설(畜産施設)이다. 우선 축산시설의 운영자가 영세한 농민이며, 대부분 오수(汚水), 분뇨(糞尿) 및 축산폐수의 처리에 관한 법률의 규제대상 이하로서 자율적인 축산폐수 정화를 유도하는 행정지도에 의존할 수 밖에 없다. 또한 규제대상 시설인 경우에도 그 운영관리상태는 불량하며 민원이 야기되는 등 문제가 발생되고 있다.

마산만 유역의 축산업 현황은 표 III-6과 같으며, 대부분 과거 창원군이었던 농촌지역에서 대규모의 축산업이 행해지고 있으며 소, 돼지, 닭 등의 사육수가 점차 증가하고 있다.

‘96년 현재 (구) 창원군 지역을 제외한 마산시와 창원시에서는 한우 643마리, 젓소 1,386마리, 돼지 6,021마리 그리고 가금 21,825마리가 사육되고 있으나, 마산시에서 사육되는 가축 대부분은 (구)창원군지역인 구산면, 진전면, 진동면, 진북면 지역에서 사육되고 있다.

<표 III-6> 축산업 현황 및 전망

(단위 : 마리)

구 분	1990년				1996년				2001년			
	한 우	젓 소	돼 지	가 금	한 우	젓 소	돼 지	가 금	한 우	젓 소	돼 지	가 금
합 계	469	1,108	4,240	18,654	643	1,386	6,021	21,825	798	1,551	7,462	25,742
마산시	235	730	1,112	501	322	913	1,579	586	400	1,022	1,957	691
창원시	234	378	3,128	18,153	321	473	4,442	21,239	398	529	5,505	25,051

자료 : 수질보전장기종합계획수립보고서 부록(III), 환경처, 1992

1.4. 마산만의 토지이용 현황

표 III-7은 마산만 유역의 ‘90년도의 토지이용현황과 ’96, 2001년의 토지이용을 전망한 것이다. 시간이 지날수록 전, 답 등의 농지가 감소하고 대지 및 기타의 용도로 사용되는 면적이 점점 증가하고 있음을 알 수 있다.

‘96년 (구)창원군을 제외한 마산시와 창원시에서는 논 6.73km², 밭 18.48km², 임야 111.63km², 대지 20.08km² 그리고 기타 면적이 40.78km²의 토지이용을 보이고 있다.

<표 III-7> 토지이용 현황 및 전망

(단위 : km²)

구 분	1990년					1996년					2001년				
	전	답	임야	대지	기타	전	답	임야	대지	기타	전	답	임야	대지	기타
합 계	6.99	18.90	112.15	18.53	41.14	6.73	18.48	111.63	20.08	40.78	6.52	18.14	111.21	21.47	40.37
마산시	2.91	5.52	45.43	8.80	10.64	2.80	5.40	45.22	9.54	10.34	2.71	5.30	45.05	10.20	10.04
창원시	4.08	13.38	66.72	9.73	30.50	3.93	13.08	66.41	10.54	30.44	3.81	12.84	66.16	11.27	30.33

자료 : 수질보전장기종합계획수립보고서 부록(III), 환경처, 1992

1.5. 마산만의 항만 현황

우리나라 27개 무역항의 하나인 마산항은 1994년을 기준으로 10,000여척의 선박이 입출항하였다. 주요 취급화물은 시멘트, 유류, 목재순이며 마산수출자유지역과 창원기계공단에 필요한 입항화물이며, 연간 하역(荷役)능력은 약 910만 톤으로 추산하고 있다(표 III-8).

<표 III-8> 항만 현황

구분	선 박 입 출 항						화물운송량(천톤)		
	계		외 항 선		내 항 선		계	입항	출항
	척	천톤	척	천톤	척	천톤			
마산	10,355	27,034	2,306	19,339	8,049	7,685	9,611	8,059	1,552

자료 : 해운항만통계연보, 해운항만청, 1995

2. 마산만 유입수 현황

경남 해안유역에는 하천(河川)의 발달이 미미하여 대부분 하천의 유로연장(流路延長)이 짧고 유역면적이 타유역의 하천보다 상당히 작다. 마산만 배수구역내 하천은 창원시와 마산시의 산지(產地)에서 발원(發源)하여 시가지를 흘러 마산만으로 유입되는 도시하천이다.

창원시에 3개 하천, 마산시에 8개 준용하천(準用河川)이 있으며, 강수량에 의해 그 유량이 크게 변한다. 창원시의 하천 중 주거 밀집지역으로서 가정하수가 주 유입원인 창원천과, 창원공업기지 1, 2단지의 217개업체의 산업폐수가 주 유입원인 남천, 그리고 차룡단지의 약 100여개 업체의 오수가 소량 배출되는 내동천이 있으며, 마산시의 양덕천을 포함한 9개 하천이 있다.

각 하천의 유량을 정확히 실측(實測)한 자료는 없지만, 기 조사된 연구에 의하면 남천의 연평균 유출량은 $116 \times 10^6 \text{m}^3$ 이며 삼호천은 $25 \times 10^6 \text{m}^3$ 이다. 따라서 마산만의 담수유입(淡水流入)은 주로 남천을 통하여 이루어진다(한국해양연구소, 1995).

<표 III-9> 마산만 유역의 주요 하천현황

시 군	하 천 명	유량 (m^3/day)
창원시	내동천	$58,877 \pm 29,420$
	창원천	$199,040 \pm 94,882$
	남 천	$91,856 \pm 50,909$
소 계		$349,772 \pm 175,208$
마산시	양덕천	$23,578 \pm 3,416$
	삼호천	$28,520 \pm 8,489$
	팔용천	$30,767 \pm 10,705$
	회원천	$15,061 \pm 4,015$
	교방천	$9,311 \pm 5,039$
	척산천	$13,042 \pm 5,106$
	장군천	$6,898 \pm 1,921$
	창원천	$11,047 \pm 4,254$
소 계		$173,884 \pm 59,748$
덕동 하수처리장		$124,649 \pm 29,784$
총 계		$648,305 \pm 264,740$

3. 마산만 유역의 환경기초시설 현황

마산만 유역 내에 있는 환경기초시설로서는 하수처리장, 쓰레기 매립장 및 분뇨처리장 등이 있다.

3.1. 하수처리장

마산만 유역내의 하수종말처리장(下水終末處理場)은 '93년 11월 1차 처리시설이 준공되어 현재 가동 중에 있으며, 마산시와 창원시의 시가지로부터 배출되는 생활하수, 공장폐수 그리고 기타오수 등(하루 200,000톤)을 1차 처리시설로 정화하고 있다. 앞으로 1999년까지 2차처리(활성오니법)시설을 완공하여 일일 500,000m³의 폐수를 처리할 것을 계획하고 있다.

현재 덕동 하수종말처리장은 유입 BOD의 약 38%만을 처리하여 옥계 해역으로 방류하고 있으며 방류수질은 BOD 42.4mg/l이다. 처리효율이 낮은 이유는 유입수질이 낮은 때문인데(유입수질 68.6mg/l), 이러한 낮은 농도의 유입은 마산시내의 매립지(埋立地)내에 설치된 하수관거가 매립지 침하(侵下)로 인하여 일부 하수가 유출되고 있으며, 현재 대대적인 정비를 계획, 추진중이다.

<표 III-10> 마산시 덕동 하수종말처리장의 현황

처리구역	시설용량 (m ³ /day)	유입량 (m ³ /day)	오폐수 발생량 (m ³ /day)	처리방법	수 질 (mg/ℓ)		제거율 (%)
					유입수	방류수	
마산시 창원시	280,000	200,000	총361,000 생활하수 : 187,000 산업폐수 : 174,000	1차처리 (1차침전) (1999년 2차처리 시설완료)	BOD:68.6 SS:75.7 T-N:46.3 T-P:1.98	BOD:42.4 SS:45.0 T-N:38.2 T-P:1.72	BOD:37.7 SS:40.4 T-N:17.5 T-P:13.1

자료 : 마산시 하수도과 자료, 1996

<표 III-11> 마산만 유역의 하수종말처리장 2차확장사업 추진계획('94~'99)

구 분	하수처리량 (m ³ /일)	처리방법	방류계획수질(mg/l)
			COD
덕동하수종말처리장	500,000	표준활성오니법	17

자료 : 마산하수처리장사업보고서, 마산시 하수도과, 1996

3.2. 쓰레기 매립장

마산만 유역의 각 시에서 배출되는 쓰레기 발생량은 마산시가 1,036톤/일, 창원시가 550톤/일로 마산시가 가장 많은 쓰레기를 배출하고 있는 것으로 나타났다.

표 III-12는 마산만 유역의 쓰레기 매립장 현황을 나타내고 있으며, 대부분의 매립장이 포화상태(飽和狀態)로 쓰레기 증가에 따른 매립장의 확장(擴張) 혹은 재조성(在造成)이 시급한 편이다.

<표 III-12> 마산만 유역의 쓰레기 매립장 현황

위 치	면 적 (m ²)	총매립면적(m ³)	기매립량 (m ³)	매립년도
창원시 천선동	353,000	3,810,000	433,948	'92 - 2003년
마산시 덕 동	250,600	3,254,000	-	'95 - 2012년

자료 : 낙동강환경관리청, 1994

3.3. 분뇨처리장

마산만 유역내 시별 분뇨발생량은 마산시 252톤/일, 창원시 180톤/일로 조사되었다. 그러나 창원시의 분뇨처리장은 지난 '92년말 준공된 후 4년째 정상 가동되지 못하고 있는 것으로 알려져 있다(조선일보 '96년 1월 19일자). 배출수의 BOD농도가 기준치 40ppm보다 10여배가 높게 배출되어 감압증발식의 처리방법을 운영하지 못하고 전처리시설만 가동해 액상화(液相化)한후 해양투기하고 있어 분뇨처리장의 정상운동을 위한 대책이 필요하다. 현재 배출되고 있는 분뇨처리를 위해 설치된 분뇨처리장의 개요 및 기타 처리공법 등은 표 III-13과 같다.

<표 III-13> 마산만 유역의 분뇨처리장 현황

위 치	시설용량 (Kl/day)	처리량 (Kl/day)	처 리 방 법	수 거 대 상
마산시 덕 동	350	215.5	1차 : 호기성 소화 2차 : 활성오니법	마 산 시
창원시 창곡동	210	210	감 압 증 발 식	창 원 시

자료 : 시별 통계연보, 1994

3.4. 하수도 현황

마산만 유역의 하수도 보급현황은 표 III-14와 같다. 마산시의 경우 총면적 328.96km²(구(舊)창원구 포함)중 16.49km²가 하수처리되고 창원시의 하수처리는 총 도시면적 124.55km²중 31.94km²의 면적을 처리하고 있다. 인구별로 볼 때 마산시는 85,149명을 하수처리(물리적 처리)하고 있으며 창원시는 81,371명(물리적 처리)이 하수처리구역내 거주하고 있는 것으로 나타났다.

<표 III-14> 마산만 유역의 하수도 현황

지 역	인					구 (명)			
	총인구	우수 배수 인구	오수 배수 인구	처리 인구	수세식 인구	보 급 율 (%)			
						우수 배수	오수 배수	처리 인구	수세식 인구
	(F)	(G)	(H)	(I)	(J)	(G/F)	(H/F)	(I/F)	(J/F)
마산시	474,929	346,710	306,460	85,149	322,186	73.0	64.5	17.9	67.8
창원시	459,813	380,152	391,809	81,371	391,809	82.7	85.2	17.7	85.2

자료 : 하수통계표, 환경부, 1995

IV. 마산만 유역의 오염원별 부하량 현황

1. 오염부하량 산정

1.1. 생활배수에 의한 오염부하량 산정

생활하수는 각 가정에서 배출되는 생활하수와 영업장 및 공공시설에서 배출되는 일상 생활하수를 의미한다. 생활하수는 지역별 토지이용 현황, 생활수준 등에 의한 용수량(用水量) 및 음식물 등에 의해 그 양과 질이 결정된다.

생활배수량 및 오염부하량의 결정은 생활배수량 및 오염부하량의 원단위를 산정하고, 이 원단위(原單位)에 인구수를 곱하여 계산할 수 있다(표 IV-1). 오염부하량 원단위산정을 위하여 국내에서 조사된 것을 살펴보면, 가옥의 형태에 따른 수세식, 수거식의 구분 등 오염물질을 주거형태나 배출물질 등에 따라 분류하여 조사되었으며, 조사방법, 조사기관에 따라 많은 차이를 보이고 있다.

따라서 본 연구에서는 1992년 환경처(環境處)에서 제시한 인구에 의해 발생하는 생활하수에 의한 오염부하량원단위를 이용하였다.

<표 IV-1> 생활하수에 의한 오염부하량 원단위

(단위 : g/인 · 일)

구 분		BOD	SS	TN	TP
1990	시 가	59	59	7.75	1.63
	비 시 가	48	57	7.75	1.63
1996	시 가	65	65	7.75	1.63
	비 시 가	54	63	7.75	1.63
2001	시 가	70	70	7.75	1.63
	비 시 가	59	68	7.75	1.63

자료 : 수환경정책자료집(II), 환경처, 1992

한편, 생활하수의 일부는 하수처리장으로 유입되어 처리되므로 생활하수에 의한 유기물질(BOD) 오염부하량에서 이를 고려해줄 필요가 있다. 따라서 우선 원단위를 적용하여 오염부하량을 구한 후, 각 시의 하수처리장에서 처리되는 양을 제외

시켜 부하량을 계산하였다.

1.2. 산업폐수에 의한 오염부하량 산정

급속한 경제성장과 더불어 발생하는 산업폐수는 생활하수, 축산폐수 등과 함께 수질환경 오염의 주요인으로 작용하고 있는 실정이며, 특히 산업폐수는 중금속을 비롯한 생물학적 난분해성(難分解性) 물질을 많이 함유하고, 산업형태와 원료에 따라 배출되는 폐수의 성상(性狀)이 크게 달라져 일단 방류된 산업폐수중의 오염물질의 제어는 대응이 쉽지 않다는 점에서 날로 그 심각성을 더해가고 있다.

산업폐수에 의해 발생하는 오염부하량은 배출시설의 업종 및 규모에 따라 폐수의 특성과 양이 다양하게 변화하기 때문에 실질적으로 하천에 부하되는 오염부하량을 산출하기 위해서는 해당 배출시설에서 직접 실측(實測)을 통해 산정하는 것이 가장 바람직한 방법이다. 그러나 수질환경보전법(水質環境保全法)에 명시되어 있는 폐수배출시설의 관리체계를 살펴보면 폐수를 배출하는 업소에서는 폐수배출시설의 설치허가를 받은 후 방지시설을 설치하고 폐수를 직접 처리하여 배출허용기준 이내로 배출할 수 있도록 허용하고 있다. 배출허용농도는 배출시설이 설치된 지역에 따라 차등 실시 되고 있으나 업종에는 차이가 없이 시행되고 있는 바, 업종에 상관없이 실질적으로 수계에 유입하는 오염부하량은 해당지역의 배출허용기준 적용등급과 폐수량에 좌우된다고 볼 수 있다.

폐수의 배출허용기준은 개별(個別)배출업소에 적용되는 규제기준으로써 각 업소가 오염물질을 배출할 때 지켜야 하는 최대배출허용량 또는 허용농도를 말하며, 이러한 배출허용기준의 설정은 산업폐수를 처리한 후 배출되는 오염물질 농도가 하천에 유입되는 하천수에 희석되었을 때, 수환경(水環境)에서 생물이 서식하거나 사람의 건강을 해치지 않는 수준을 감안하여 결정되며 대개 하천의 자정능력(自情能力)을 고려하여 결정되어진다.

본 연구에서 산업배수에 의한 오염부하량은 환경부에서 산정한 방법을 사용하였는데, 이 방법은 기 산출된 수계별 폐수배출량에 해당 수계의 환경기준에 따른 배출허용농도를 곱하여 산업배수에 의한 오염부하량을 산정하는 방식을 사용하고 있다.

우리나라의 경우 수질환경보전법 제8조 및 동시행규칙 제8조에서 24개 항목에

대하여 폐수배출허용기준을 설정하고 있는데 지역별 구분은 4단계(청정, 가, 나, 특별지역)로 하였으며 또한 BOD, COD, SS, T-N, T-P 등의 경우 일일 폐수배출량 2,000 m³ 이상과 미만으로 구분 설정함으로써 폐수배출허용기준의 지역별 규모별 차등 적용의 폭을 넓혔다.

<표 IV-2> 폐수배출허용기준

(단위 : mg/l)

구 분	T-N	T-P	2,000 m ³ /day 이하			2,000 m ³ /day 이상		
			BOD	COD	SS	BOD	COD	SS
청정지역	30 이하	4 이하	30	40	30	40	50	40
[가] 지역	60 이하	8 이하	60	70	60	80	90	80
[나] 지역	60 이하	8 이하	80	90	80	120	130	120
특례지역	60 이하	8 이하	30	40	30	30	40	30

자료 : 수질보전장기종합계획수립 종합보고서, 환경처, 1992

주 : * 청정지역(가지역, 나지역) : 환경기준(수질)1등급(가지역-2등급, 나지역-3,4,5등급)정도의 수질을 보전하여야 한다고 인정하는 수역의 수질에 영향을 미치는 지역으로서 환경부장관이 정하여 고시하는 지역

* 특례지역 : 환경부장관이 공단폐수 종말처리구역으로 지정하는 지역 및 시장·군수가 산업입지 및 개발에 관한 법률 제89조의 규정에 의하여 지정하는 농공단지

1.3. 축산폐수에 의한 오염부하량 산정

국민경제의 발전과 더불어 국민의 식생활 구조는 점차적으로 육류(肉類) 소비량의 증가추세를 보였고, 또한 '80년대에 들어오면서 정부의 축산진흥정책 힘입어 소, 돼지, 닭 등의 가축수는 급진적으로 증가되었고 규모 역시 커지게 되었다. 이러한 축산업의 성행은 국민식생활 발전에 많은 기여를 하고 있는 반면 축산폐수에 의한 인접하천수의 오염, 상수원의 오염, 악취발생 등의 환경오염이라는 또 다른 측면의 문제점을 야기시키고 있는 실정이다.

축산 오폐수는 비록 소량이나 고농도 유기물질을 함유하고 있어 수질오염에 지대한 영향을 미친다. 축산폐수는 공장폐수나 생활하수와는 달리 중금속의 오염이 거의 없고 주로 유기물로 되어 있다. 이들 성분은 미생물에 의해 분해가 용이하고 영양성분을 골고루 갖추고 있어 기호성(嗜好性)을 가미할 경우 사료적 가치와 비료의 원료가 될 수 있지만, 처리가 되지 않는 상태로 방류될 경우 그 오염도는

BOD나 총인 기준으로 볼 때 그 비율이 높게 산출되어 부영양화의 주요인으로 간주되고 있는 실정이다.

표 IV-3 및 IV-4는 소, 돼지, 닭별로 구분하여 BOD, SS, T-N, T-P에 대한 각각의 발생원단위 및 배출원단위를 나타낸 것이다.

<표 IV-3> 가축에 의한 발생원단위

구 분		발 생 량 (g/두 · 일)			
		BOD	SS	T-N	T-P
소	한 우	640	3,800	128.0	72.0
	젓 소	170	4,345	126.5	187.0
돼 지		125	356	20.4	16.8
가 금		12.5	18	0.96	0.78

자료 : 수환경정책자료집(II), 환경처, 1994

가축에 의한 부하량은 발생부하량과 배출부하량으로 나눌 수 있다. 발생부하량은 분뇨를 포함하는 총 발생오염부하량을 나타내며, 배출부하량은 발생원에서 분은 제거되고 뇨와 세탁수를 포함하는 부하량을 가리킨다.

<표 IV-4> 가축에 의한 배출원단위

구 분	폐수배출량 및 농도 (mg/l)					배출원단위(g/마리 · day) 및 발생에 대한 배출(%)			
	폐수 발생량	BOD	SS	TN	TP	BOD	SS	TN	TP
한우	33(l)	2,900	1,230	446	60	95.7(15.0)	40.6(1.1)	14.7(11.5)	2.0(2.8)
젓소	40(l)	2,790	1,270			111.6(65.6)	50.8(1.2)	17.8(14.1)	2.4(1.3)
돼지	12.5(l)	2,510	1,660	450	150	31.4(25.1)	20.8(5.8)	5.6(27.5)	1.9(11.3)
닭	-	-	-	-	-	0.25(2.0)	0.36(2.0)	0.019(2.0)	0.016(2.0)

자료 : 수환경정책자료집(II), 환경처, 1994

1.4. 토지이용에 따른 오염부하량 산정

공공수역으로 유입되는 오염물질은 크게 점오염부하(占汚染負荷)와 비점오염부하(非占汚染負荷)로 구분할 수 있다. 점원 부하는 가정하수와 공장폐수 그리고 축산폐수 등으로 구성되며, 이들의 배출특성은 하루중의 시간별로는 차이가 있으나,

일평균적으로 볼 때 일간 배출량 변화는 강우시나 비강우시 큰 변동이 없다. 이에 비해, 비점오염부하는 면적으로 존재하는 오염물질로서 산림, 초지, 도시지역, 건설지, 농경지, 하상퇴적물, 도로, 지붕의 대기오염강하물 등의 부하를 포함하며, 일반적으로 이들 부하는 강우시 유출되기 때문에 일간, 계절간 배출량 변화가 크며 예측과 정량화가 어렵다(환경기술개발원, 1995).

현재 우리나라와 같이 점오염원의 규제가 잘 이루어지지 못하고 있는 경우에는 비점오염원의 중요성이 상대적으로 낮아질 수 있으나, 앞으로 도시하수 및 공장폐수의 고차처리(高次處理)가 이루어질 경우 비점오염원의 비중은 더욱 커질 것으로 예측할 수 있다. 비점오염원은 강우시 유출수에 의해 다량 배출되므로 강우특성과 지형, 지질 및 토지사용 형태에 따라 그 배출양상이 크게 좌우된다.

따라서 한 유역의 하수처리장에서 수개월동안 방류하는 이상의 부유물질이 한 번의 강우에 의해 단 몇 시간만에 하천으로 혹은 해역으로 유출될 수 있다. 갈수(渴水)시의 하수의 오염물질 농도와 합류식 하수관거의 강우시 농도를 비교해 보면 강우시에는 BOD나 질소, 인, 대장균 등은 농도가 감소되지만 부유물질은 강우시에 크게 증가하는 것이 일반적이다. 이러한 농도변화는 강우 강도와 강우 지속시간, 토지 이용현황, 최종 강우 후의 경과일수, 가로(街路)의 청소 상태, 강우후 경과시간 등에 따라 좌우되는 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 비점오염원에 의한 영향을 토지이용상태에 따라 구분하여 나타내기 위하여 전, 답, 임야, 대지, 기타 등 5가지로 분류하여 조사하였다. 비점오염원에서 오염물질 발생특성은 그 지역의 토지이용 현황과 지형적 여건에 따라 발생량이 다르다. 비점오염원에 의한 원단위가 지역별특성에 따라 차이를 보이기 때문에 해당유역에서 직접 조사·측정하는 것이 바람직하지만 본 연구에서는 연구의 여건상 4계절을 대표할 수 있는 원단위산출에 어려움이 있어 기 발표된 문헌에서 선정하여 사용하였다.

표 IV-5는 토지이용별로 오염부하량 원단위를 나타낸 것이다. BOD, SS의 경우에는 전, 답, 임야보다 대지로 이용될 때 오염부하량원단위가 월등히 높은 것에 비하여 총질소, 총인의 경우에는 전(田), 답(畓)으로 이용될 때의 원단위가 매우 높게 나타남을 알 수 있다. 이는 농경지에서의 비료, 농약 등의 사용으로 인해 영양염류류류가 많이 유출되기 때문이라고 할 수 있다.

<표 IV-5> 토지이용에 의한 오염부하량 원단위

(단위 : kg/km²일)

구 분	BOD	SS	TN	TP
전	7.1	7.59	2.33	0.17
답	5.12	4.4.1	2.33	0.17
임 야	0.96	1.26	0.55	0.013
대 지	87.59	227.73	0.759	0.027
기 타	0.96	1.26	0.759	0.027

자료 : 수환경정책자료집(II), 환경처, 1992

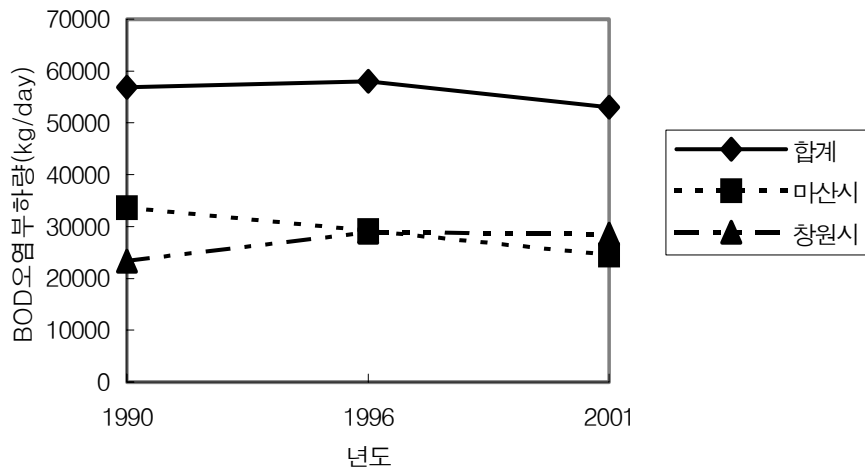
2. 마산만 유역의 오염부하량 현황 및 전망

2.1 마산만 유역의 오염부하량 년변화 추이

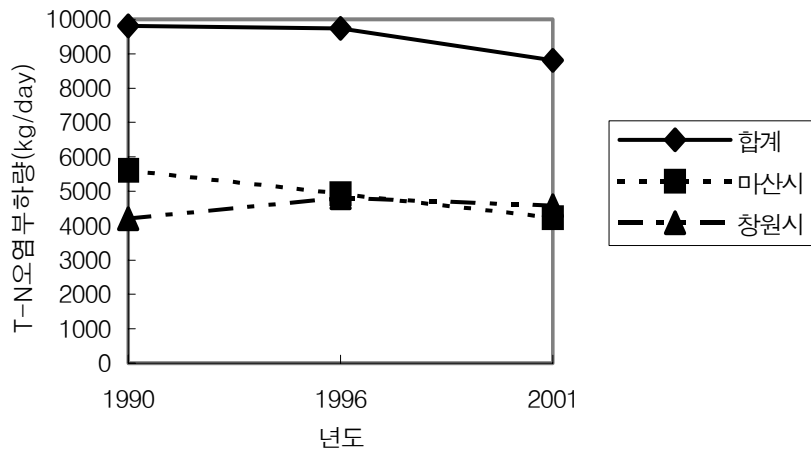
마산만 유역에서 발생하는 오염부하량의 1990년, 1996년 그리고 2001년까지의 변화를 그림 IV-1부터 그림IV-3까지 나타내었다.

BOD의 경우 '90년 56,918.9kg/일에서 2001년 53,044.3kg/일로 계속적으로 오염부하량이 증가하고, 특히 창원시의 경우 그 증가율이 마산시보다 높게 나타났는데(그림 IV-1), 이는 덕동하수처리장의 증설(增設)에도 불구하고 창원시의 산업화에 따른 인구증가의 영향으로 보인다. 부유물질의 부하량은 '90년 66,741.3kg/일에서 2001년 63,401.6kg/일로 약간 감소하여 덕동하수종말처리장이 증설되는 '99년 이후로는 '90년대에 비해 많은 양의 오염물질이 삭감되는 것을 볼 수 있다. 그러나 더욱 많은 양의 오염물질을 삭감할 수 있는 하수처리장이 필요하다(그림 IV-2).

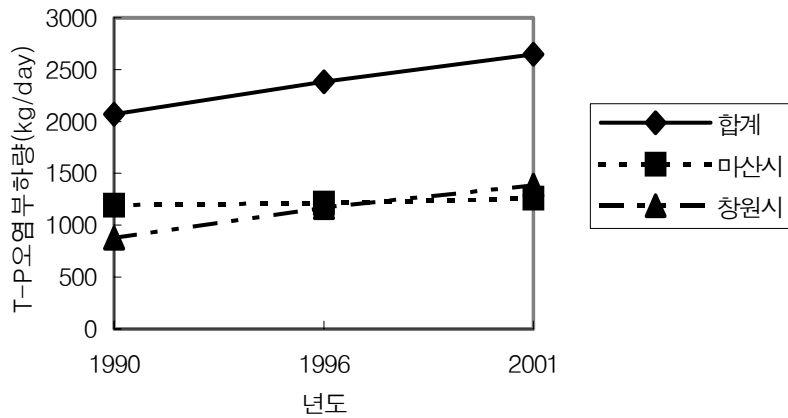
총질소의 경우 '90년 9,808.7kg/일에서 2001년 8,803.4kg/일로 오염부하량이 약간 감소하는 경향을 보였다(그림 IV-3). 이는 총질소의 배출이 많은 축산폐수가 2001년도의 축산폐수처리장 및 하수종말처리장의 증설 등에 따라 그 부하량이 감소하는 결과로 보인다. 반면 총인의 경우 '90년 2,068.3kg/일에서 2001년 2,650.1kg/일로 증가하였는데 마산시에서는 총인의 부하량이 감소하는 대신 창원시에서 배출되는 부하량이 증가하여 전체적으로 증가하였다(그림 IV-4).



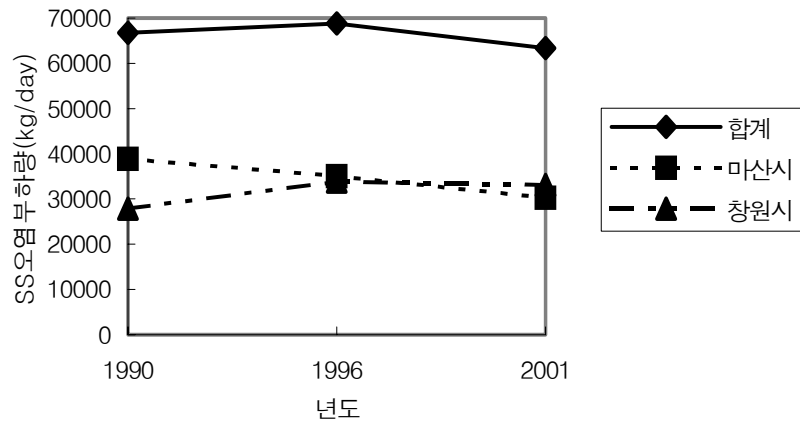
<그림 IV-1> 연도별 BOD오염부하량 변화 추이



<그림 IV-2> 연도별 T-N오염부하량 변화 추이



<그림 IV-3> 연도별 T-P오염부하량 변화 추이



<그림 IV-4> 연도별 SS오염부하량 변화 추이

2.2 오염부하량 현황 (1996년 오염부하량을 중심으로)

2.2.1 인구에 의한 오염부하량(생활하수 및 분뇨)

인구에 의한 오염부하량은 마산시 및 창원시의 통계연보(統計年報)를 바탕으로 최소자승법(最小自乘法)에 의한 인구추정식을 이용하여 '96년과 2001년의 인구를 추정하였다. '90년 인구에 의한 오염부하량은 '90년의 인구수에 생활하수에 의한 오염부하량 원단위를 곱하여 계산하였고, '96년과 2001년의 부하량은 추정인구에 오염부하량을 곱하고 덕동하수종말처리장에서 처리되는 오염부하량을 삭감(削減)하여 구하였다.

'96년 생활하수에 의해 발생하는 오염부하량은 BOD의 경우 48,214kg/일로 마산시가 24,237.2kg/일로 50.3%를 차지하며, 창원시는 23,976.8kg/일로 총부하량의 49.7%를 차지하였다. '90년에 비해 창원시의 인구가 증가하면서 전체 부하량중 창원시가 차지하는 비율이 증가하였으며, 2001년에는 덕동하수처리장이 20만 톤에서 50만 톤으로 증설(增設)되면서 처리량이 많아지지만 창원시의 인구증가율에 비해 하수처리장의 증설량이 부족하게 되어 오염부하량이 증가하게 되는 것으로 나타났다. 총질소(T-N)의 부하량은 '96년 5,763.9kg/일, 총인(T-P)은 1,648.6kg/일의 부하량을 보였다(표 IV-6).

인구에 의한 오염부하량은 전체부하량중 그 비중(比重)이 제일 높았는데, BOD의 경우 82%, 총질소(T-N)의 경우 59%, 총인(T-P)의 경우 63%를 차지하고 있다(그림 IV-5, 6, 7).

<표 IV-6> 생활하수에 의한 오염부하량

(단위 : kg/일)

구 분	1990년				1996년				2001년			
	BOD	SS	T-N	T-P	BOD	SS	T-N	T-P	BOD	SS	T-N	T-P
합 계	48,366.8	48,366.8	6,353.3	1,336.2	48,214.0	46,794.0	5,763.9	1,501.2	42,067.5	38,517.5	4,403.7	1,648
마산시	29,301.7	29,301.7	3,849.0	809.5	24,237.2	23,523.3	2,897.5	754.7	18,985.1	17,382.9	1,987.4	744.0
창원시	19,065.1	19,065.1	2,504.3	526.7	23,976.8	23,270.6	2,866.4	746.6	23,082.4	21,134.5	2,416.3	904.6

2.2.2 산업폐수에 의한 오염부하량

산업폐수에 의한 오염부하량은 환경부를 중심으로 관계부처 합동으로 '96년에 작성된 「해양오염방지5개년 계획」 수립시에 조사되었던 산업폐수배출량에 오염부하량 원단위를 곱하여 계산하였다.

'96년 산업폐수에 의한 오염부하량은 BOD의 경우 총 6,138.5kg/일로 전체 오염부하량중 11%의 비중(比重)을 차지하였다(그림 IV-5). 그중 마산시는 3,446.9kg/일로 산업폐수에 의한 오염부하량중 56.2%를 차지하였고 창원시는 2,691.6kg/일로 43.8%의 부하량을 나타내었다. 산업폐수에 의한 총질소의 부하량은 '96년 3,401.8kg/일로 전체부하량중 35%를 차지하였고(그림 IV-6), 총인의 부하량은 '96년 453.6kg/일로 전체부하량중 19%를 차지하였다(그림 IV-7).

<표 IV-7> 산업폐수에 의한 오염부하량

(단위 : kg/일)

구 분	1990년				1996년				2001년			
	BOD	SS	T-N	T-P	BOD	SS	T-N	T-P	BOD	SS	T-N	T-P
합 계	5,383.5	5,383.5	2,983.4	397.8	6,138.5	6,138.5	3,401.8	453.6	6,783.1	6,783.1	3,759.1	501.2
마산시	3,022.9	3,022.9	1,556.8	207.6	3,446.9	3,446.9	1,775.2	236.7	3,808.8	3,808.8	1,961.6	261.5
창원시	2,360.6	2,360.6	1,426.6	190.2	2,691.6	2,691.6	1,626.7	216.9	2,974.3	2,974.3	1,797.5	239.7

주 : 산업폐수에 의한 오염부하량 추정은 「해양오염방지5개년계획」(환경부, 1996) 참조

2.2.3 축산업에 의한 오염부하량

축산업(畜産業)에 의한 오염부하량은 '92년 환경부에서 조사한 「수질보전장기종합계획」의 자료를 바탕으로 오염부하량 원단위를 곱하여 계산하였다.

'96년 축산업에 의한 오염부하량중 BOD는 1,672kg/일로 전체오염부하량 중 3%만을 차지하였고 총질소는 401.2kg/일로 4%, 총인은 423.5kg/일로 18%의 부하량을 나타냈다(그림 IV-5, 6, 7).

정부의 축산진흥정책에 의해 '90년이후 축산업이 증가하는 추세에 있어 2001년까지 한우 등의 축산업 규모가 확대될 전망이나 현재로서는 축산폐수를 처리할 폐수

처리장의 건설이 부진하여 효과적으로 축산폐수를 처리하지 못하고 있는 실정이다.

<표 IV-8> 축산폐수에 의한 오염부하량

(단위 : kg/일)

구 분	1990년				1996년				2001년			
	BOD	SS	T-N	T-P	BOD	SS	T-N	T-P	BOD	SS	T-N	T-P
합 계	1,251.8	8,441.6	304.6	326.8	1,672.0	11,001.9	401.2	423.5	2,028.5	12,891.3	475.1	492.9
마산시	419.8	4,469.7	145.6	172.5	565.8	5,763.3	189.4	220.8	682.6	6,669.7	221.0	253.3
창원시	832.0	3,971.9	159.0	154.3	1,106.2	5,238.6	211.8	202.7	1,345.9	6,221.6	254.1	239.6

2.2.4. 토지이용에 따른 오염부하량

토지이용에 따른 오염부하량은 '92년 환경부에서 조사한 「수질보전 장기종합계획」의 자료를 바탕으로 오염부하량 원단위를 곱하여 계산하였다.

'96년 토지이용에 따른 오염부하량중 BOD는 2,047.5kg/일로 전체오염부하량중 4%만을 차지하며, 총질소는 166.3kg/일로 2%, 총인은 7.5kg/일로 전체오염부하량중 단지 0.3%만을 차지하고 있다(그림 IV-5, 6, 7).

<표 IV-9> 토지이용에 의한 오염부하량

(단위 : kg/일)

구 분	1990년				1996년				2001년			
	BOD	SS	T-N	T-P	BOD	SS	T-N	T-P	BOD	SS	T-N	T-P
합 계	1,916.8	4,549.4	167.4	7.5	2,047.5	4,897.4	166.3	7.5	2,165.2	5,209.8	165.5	7.4
마산시	873.6	2,121.1	59.5	2.5	936.1	2,287.6	59.0	2.6	992.3	2,436.2	58.7	2.6
창원시	1,043.2	2,428.3	107.9	5.0	1,111.4	2,609.8	107.3	4.9	1,172.9	2,773.6	106.8	4.8

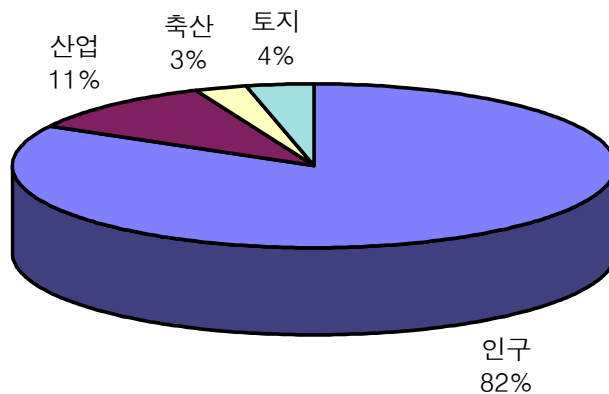
2.2.5. 총오염부하량

표 IV-10은 생활하수, 산업폐수, 축산폐수 그리고 토지이용에 따른 오염부하량을 모두 합한 것이다. BOD의 경우 '90년의 56,919kg/일에서 '96년에는 58,072kg/일로 약간 증가하였으나 2001년에는 하수처리장의 증설로 약 53,000kg/일 정도로 감소할 것으로 예측된다. 총질소도 '96년에는 9,733.2kg/일에서 2001년에는 8,803.4kg/일로 감소하나, 총인은 2,385.8kg/일에서 2,650.1kg/일로 약간 증가할 것으로 보여 하수처리장의 증설에도 불구하고 영양염류류류의 제거는 미진할 것으로 보인다.

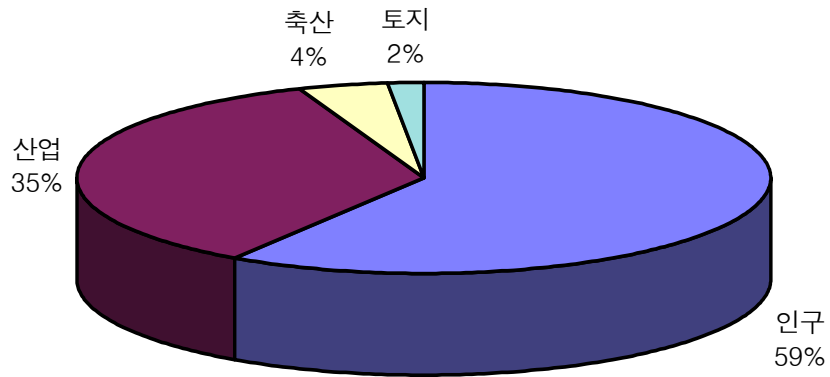
<표 IV-10> 총오염부하량

(단위 : kg/일)

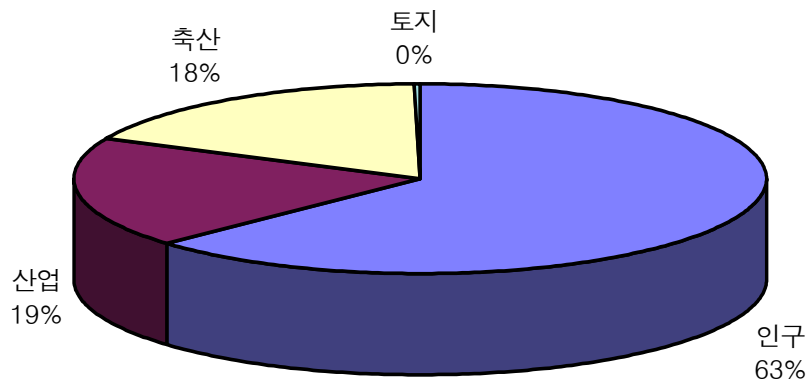
구분	1990년				1996년				2001년			
	BOD	SS	T-N	T-P	BOD	SS	T-N	T-P	BOD	SS	T-N	T-P
합계	56,918.9	66,714.3	9,808.7	2,068.3	58,072.0	68,831.8	9,733.2	2,385.8	53,044.3	63,401.7	8,803.4	2,650.1
마산	33,618.0	38,915.4	5,610.9	1,192.1	29,186.0	35,021.1	4,921.1	1,214.8	24,468.8	30,297.6	4,228.7	1,261.4
창원	23,300.9	27,825.9	4,197.8	876.2	28,886.0	33,810.6	4,812.2	1,171.1	28,575.5	33,104.0	4,574.7	1,388.7



<그림 IV-5> 마산만 유역의 BOD 오염부하량 현황(1996년)



<그림 IV-6> 마산만 유역의 T-N 오염부하량 현황(1996년)



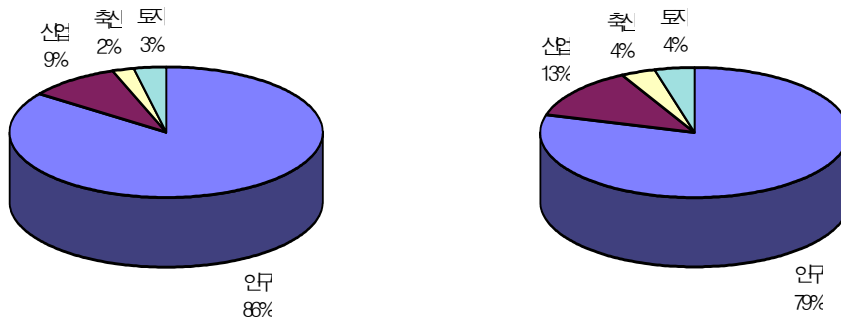
<그림 IV-7> 마산만 유역의 T-P 오염부하량 현황(1996년)

2.2.6. 오염원별 연도별 부하량 현황

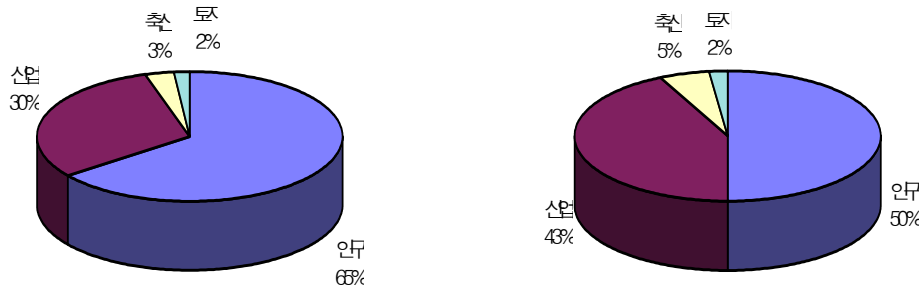
그림 IV-8~13은 각 유입원에 따른 오염부하량의 비중(比重)을 '90년도와 2001년 별로 나누어 나타낸 것이다.

BOD, 총질소 및 총인 모두 인구에 의한 오염부하량의 비중이 '90년에 비해 2001년에는 3~10% 이상이 감소하는 것을 볼 수 있는데 이는 덕동하수종말처리장이 20만 톤에서 50톤으로 그 규모가 확장되면서 발생오염부하량을 그만큼 더 처리하기 때문이다.

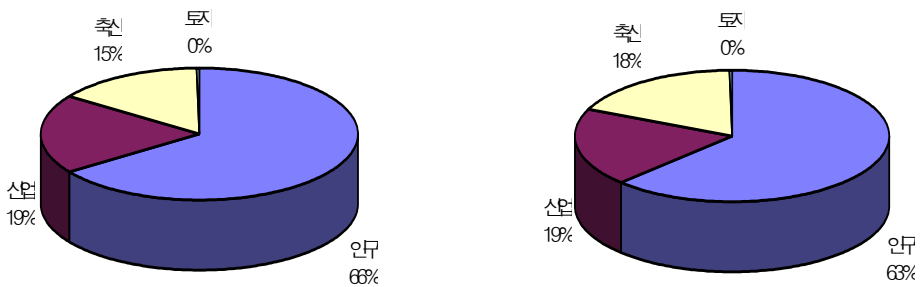
반면 산업폐수에 의한 오염부하량은 산업의 발달에 따라 전체 부하량중 차지하는 비중이 점차 증가하고 있어 그에 대한 삭감대책(削減對策)이 필요하다. 또한 비점오염원으로 분류할 수 있는 축산폐수 및 토지이용에 따른 부하량은 큰 변화는 없지만 생활하수나 산업폐수와 같이 부하량의 삭감대책이 쉽지 않다는 점에서 장기적인 오염부하량 삭감계획을 수립해야 할 것으로 판단된다.



<그림 IV-8> 마산만 유역의 BOD 오염부하량 현황(1990년 / 2001년)



<그림 IV-9> 마산만 유역의 T-N 오염부하량 현황(1990년 / 2001년)



<그림 IV-10> 마산만 유역의 T-P 오염부하량 현황(1990년 / 2001년)

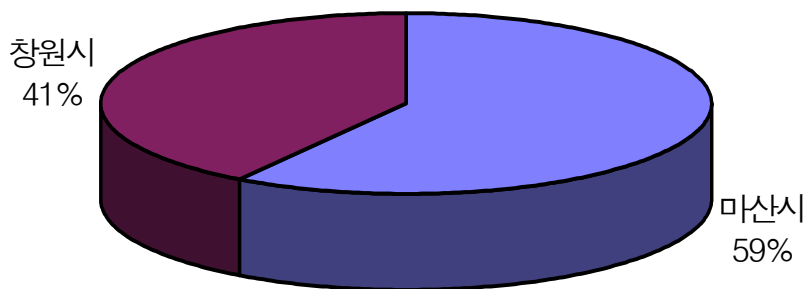
2.3. 지역별 오염부하량 현황

그림 IV-11~13은 마산시와 창원시가 마산만 유역의 오염부하량중 차지하는 비

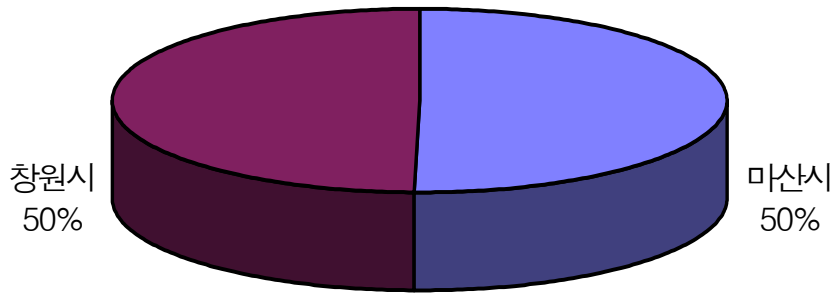
울을 나타낸 것으로 BOD의 경우 '90년에 창원시가 41%, 마산시가 59%로 창원시가 차지하는 비중이 작았으나 '96년에는 양도시(兩都市)간 오염부하량 책임비율이 비슷한 비중을 차지하고 있으며, 2001년에는 창원시가 54%, 마산시가 46%로 창원시가 더 높은 비중을 차지할 것으로 추정할 수 있다.

이는 신도시인 창원시에 산업화와 인구화가 집중되면서 인구가 급속히 증가하고 그에 따른 생활하수 및 분뇨(糞尿)의 발생량이 증가하게 되며, 산업화에 따라 신공단(新工團)의 조성(造成) 및 증설(增設)에 의해 산업폐수 발생량이 증가하여 나타나는 결과로 보인다.

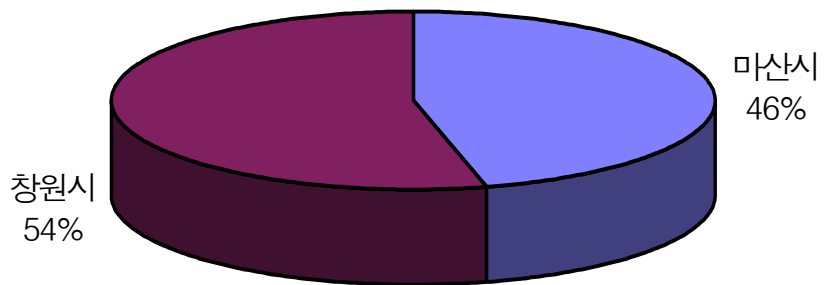
따라서 마산만 유역의 해양환경을 보전하기 위해서는 마산시와 창원시간의 책임부하량 비율에 따른 공동의 환경개선 노력이 필요하다. 현재 덕동하수종말처리장의 운영비 및 시설비 등의 비용(費用)은 마산시가 44.6%, 창원시가 55.4%로 나누어 부담하고 있으며, 최종 정산(精算)은 매년 초 하수처리장의 유입 수량계량기에 기록된 유량을 기초로 하여 공동부담하고 있는 것으로 알려져 있다(마산시 내부자료, 1996).



<그림 IV-11> 지역별 BOD 오염부하량 비율 (1990년)



<그림 IV-12> 지역별 BOD 오염부하량 비율 (1996년)



<그림 IV-13> 지역별 BOD 오염부하량 비율 (2001년)

3. 마산만 유역 하천유입부하량 5)

마산만은 한반도 남동쪽의 반폐쇄성 해역인 진해만의 동북쪽에 깊숙이 위치하고 있는 폐쇄성이 강한 내만으로, 항만이 병목처럼 좁고 길어서 조류 소통이 안되고 바다에 이어진 하천의 길이도 짧아 자정작용이 어려운 입지조건(立地條件)이며, 하천을 타고 흐르는 산업폐수 또는 가정하수의 자체 정화능력이 없어, 이들이 그대로 바다에 유입되고 있다.

이렇게 유입되는 가정하수와 산업폐수의 각종 오염물질을 상류로부터 하류에 운송하는 장소가 하천이며, 동시에 부유물의 침전(沈澱), 질소산화물의 산화(酸化), 유기물의 미생물 분해, 수생생물(水生生物)의 의한 영양염류류의 섭취 등 여러 가지 물질대사가 이 곳에서 진행된다.

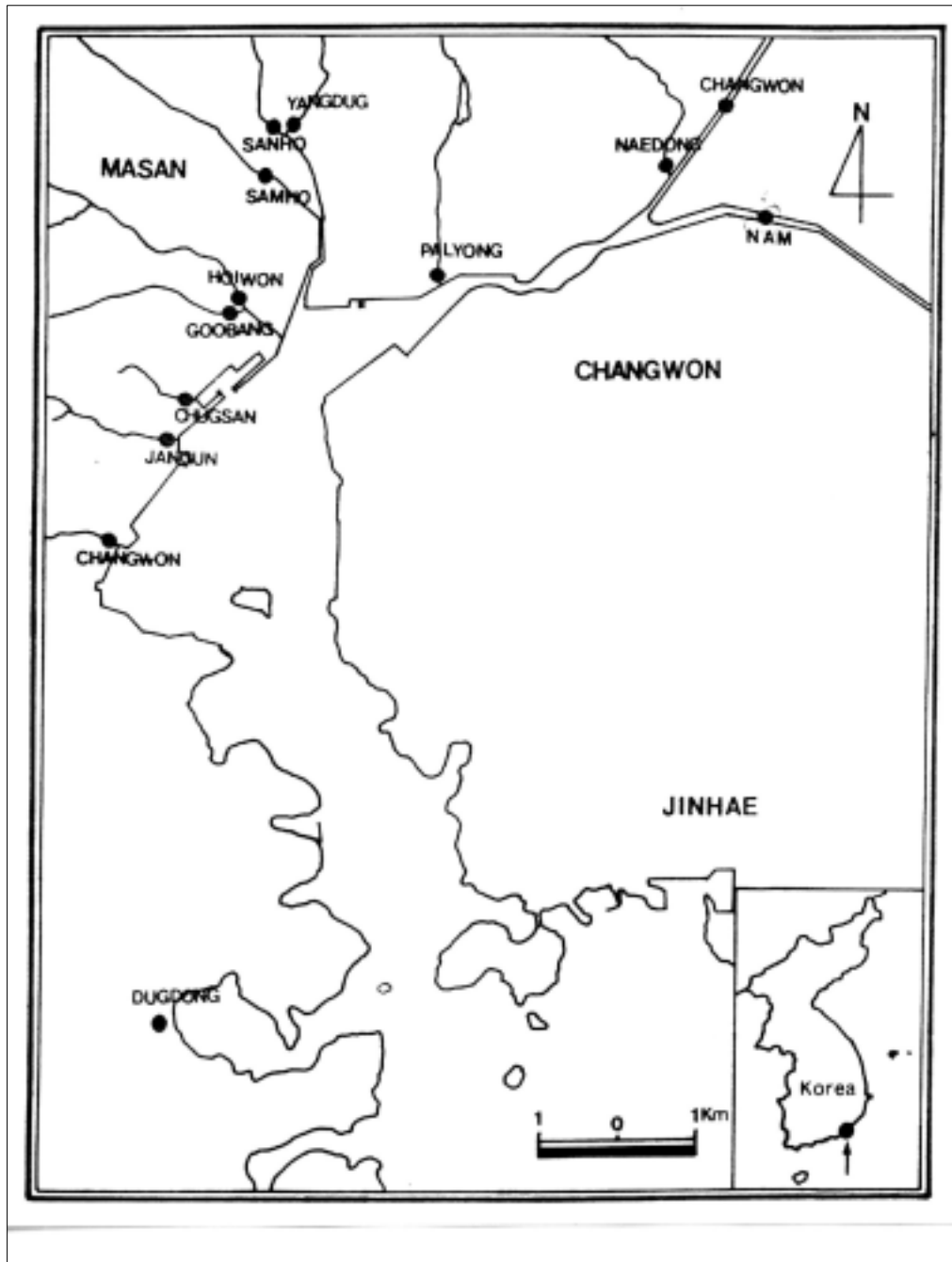
이러한 가운데 인간활동의 영향을 현저하게 받고 있는 도시 중소 하천에서는 수질변동이 시간에 따라 크게 변하며, 특히 우리나라의 경우 계절에 따른 강우량의 변화가 크고 오염물질이 불규칙하게 유입되기 때문에 하천의 수량 및 수질변화가 매우 크게 나타나고 있다.

마산만과 같이 폐쇄성이 강한 연안해역은 대부분 육지로 둘러싸여 있어 해수수질은 주변 육상 오염원의 오염물질 부하량에 크게 영향을 받는다. 따라서 폐쇄성 해역의 수질을 제대로 관리하기 위해서는 폐쇄성 해역으로 유입되는 오염부하량에 대한 정확한 조사 및 관리가 필요하다.

이에 본 장에서는 과거 해양연구소(1995)에서 조사한 마산만 해역에 부하(負荷)되는 수계별 오염물질의 부하량을 산정한 결과를 바탕으로 마산만으로 유입되는 하천수의 유입량, 계절별 변동 등 마산만 연안 유역의 오염부하 특성을 파악하고, 이들과 마산만 해역의 수질변화 특성의 관계를 고찰(考察)하고자 한다.

‘92년 12월부터 94년 12월까지 창원시의 3개하천, 마산시의 9개하천 그리고 덕동하수종말처리장에서의 오염부하를 평가하기 위하여 각종 수질항목 및 COD, T-N, T-P 등을 측정하여 각 지역별 오염의 분포를 나타내었다(한국해양연구소, 1995).

5) 한국해양연구소, 「연안역 이용 및 통합관리를 위한 연구」(1995) 중 “사례연구를 통한 통합관리 모형연구”의 마산만 유역의 하천 현황 자료 참조



<그림 IV-14> 마산만 유역의 주요 유입하천 현황

3.1. 유량의 변화

조사기간동안 마산만 유입 총 평균 유량 및 유입량의 분포는 648,305m³/일 이었다. 그중 창원지역이 349,772m³/일로 54%, 마산지역이 173,884m³/일로 27% 그리고 덕동하수종말처리장이 124,649m³/일로 19%로 나타났다. 하천의 유량은 하천유역의 주거지역이나 산업체들의 용수(用水)와 강우량에 의해 좌우된다.

본 조사지역 유입하천 주위의 인구증가와 생활수준의 향상으로 하천 유입량이 계속적으로 증가하고 있으며, 년 강우량의 70%이상이 발생하는 우기(雨期)의 강우량과 밀접한 관계가 있는 것으로 보인다.

3.2. 마산만 오염물질의 농도 및 형태

표 IV-11은 우리나라 호소의 수질환경기준을 나타낸 것이다. 마산시와 창원시를 흐르는 대부분의 하천은 유로가 짧고 유속이 느린 점을 보아 하천의 성격보다는 호소의 성격을 더 많이 가지고 있기 때문에 이하에서는 마산만 유입하천수의 수질 기준을 호소의 수질기준에 대비하여 살펴본다.

<표 IV-11> 우리나라 호소의 수질환경 기준

등 급	이용목적별 적용대상	COD(mg/l)	T-N(mg/l)	T-P(mg/l)	SS (mg/l)
I	상수원수 1급 자연환경보전	1 이하	0.2 이하	0.01 이하	1 이하
II	상수원수 2급 수산용수 1급 수영용수	3 이하	0.4 이하	0.03 이하	5 이하
III	상수원수 3급 수산용수 2급 공업용수 1급	6 이하	0.6 이하	0.05 이하	15 이하
IV	공업용수 2급 농업용수	8 이하	1.0 이하	0.10 이하	15 이하
V	공업용수 3급 생활환경보전	10 이하	1.5 이하	0.15 이하	-

자료 : 환경처, 1993

3.2.1. 화학적 산소 요구량 (COD)

마산만 유입하천수의 COD농도 및 형태 조사결과 창원시에서의 COD농도는 산업폐수가 주유입원(主流入原)인 남천에서의 농도가 주거밀집지역(住居密集地域)인 창원천의 농도보다 낮게 나타났으며, 이는 약 200여개의 기업체가 남천유역에 존재하여 유해성(有害性) 폐수가 아닌 유기성(有機性) 폐수의 농도가 작기 때문인 것으로 사료된다.

마산만 유입하천의 COD농도는 표 IV-12와 같으며, 우기(雨期)보다 건기(乾期)에 높은 농도를 보이고 있으며, 우기에는 강우량의 증가에 따른 유량의 증가로 그 농도가 감소하고 있는 것으로 보인다. 유입하천수의 COD 평균농도는 39.6~93.3mg/l로 우리나라 수질환경기준중 호소수의 수질기준 V등급(10mg/l 이하)보다 4~9배 이상의 높은 농도를 보이고 있어 공업용수로도 사용하기 어려운 수질을 보였다.

덕동하수종말처리장의 COD는 유입수 평균농도 $101 \pm 24 \text{mg/l}$, 방류수 평균농도 $87 \pm 25 \text{mg/l}$ 로서 그 제거효율은 약 14.2%였다.

마산만으로 유입되는 하천의 COD를 입자성 상태와 용존성 상태로 구분할 결과 마산시와 창원시의 용존성 성분이 각각 총 평균 66.6%와 66.5%로 나타났다. 또한 처리장 유입수와 방류수의 COD를 형태별로 구분한 결과는 유입수와 방류수의 용존성 성분이 각각 59.3%, 54.5%로 조사되었다. 유입수의 원소중 용존 COD가 높게 나타난 것은 이미 1, 2차 처리를 거친 산업폐수가 유입되고 있기 때문인 것으로 보인다.

3.2.2. 총질소 (T-N)

마산만 유입하천수의 질소를 측정한 결과 전 조사지역에 걸쳐 비슷한 농도 분포를 보였다(표 IV-12). 가정하수가 주유입원인 창원천에서 높은 값을 보였으며 마산만 유입하천수의 평균 총질소 농도는 12.9~31.5mg/l로 호소수질등급 V등급(1.5mg/l 이하)보다 8.6~21배까지 높은 분포를 보였다. 덕동하수종말처리장에서는 방류수 평균농도 $34.6 \pm 12.0 \text{mg/l}$ 로서, 마산, 창원지역의 하천과 비교해 볼 때 다소 높은 경향을 나타내었다.

유입하천수의 질소를 형태별로 분류해 본 결과 대부분의 하천에서 우기를 제외

하고 80% 이상이 용존성(容存性) 질소 형태를 보였으며, 우기에는 강우로 인한 토사(土沙)나 기타 부유물질의 증가로 인하여 용존성 성분의 비율이 감소하였다. 덕동하수처리장에서도 용존성 질소가 83%정도로 하천에서의 존재형태와 비슷한 경향을 보였다.

3.2.3. 총인 (T-P)

마산만 유입하천수의 인의 농도를 측정한 결과 건기에 그 농도가 최고치를 달하였으며, 우기에 최소값을 보였다. 창원지역 3개 하천의 평균농도는 1.12mg/l이며, 마산지역 9개하천의 평균농도는 2.01mg/l로 나타나고, 전체 평균농도는 1.12~2.16mg/l로 호소수질등급 V등급(0.15mg/l 이하)보다 7.4~14.4배 높게 나타나 매우 오염되어 있음을 알 수 있다. 덕동하수종말처리장 인의 유입수와 방류수의 평균농도는 각각 $2.2 \pm 1.6 \text{mg/l}$, $2.1 \pm 1.5 \text{mg/l}$ 로 나타났다(표 IV-12).

3.2.4. 총부유물질

부유물질은 상수나 공업용수에 있어 담수화공정 및 가정용수로서의 적합판정의 기준이 된다. 일반적으로 부유물질은 정수 처리시 여과, 응집처리 효율을 저하시키며, 어패류 호흡, 일광의 수중통과, 조류의 동화(同化) 등을 방해하며, 처리비용을 증가시킨다. 또한 하천의 자정작용을 저하시키며 생태계 변화를 초래한다.

마산만으로 유입되는 하천의 부유물질 농도는 우기에 최대값을 보였으며, 평균농도는 19.2~61.5mg/l로 호소수질등급 IV등급(15mg/l 이하)에 비해 1.3~4.1배 정도 높은 수치를 보여 강우량과 밀접한 관계가 있는 것으로 보인다. 덕동하수종말처리장의 총부유물질은 유입수 $113.2 \pm 17.2 \text{mg/l}$, 방류수 $82.0 \pm 31.1 \text{mg/l}$ 로서 그 제거율이 27% 정도로 나타났다(표 IV-12).

<표 IV-12> 마산만 유입수의 일반성분 농도

구 분		COD	T-N	T-P	TSS
		Mean±SD (mg/l)			
창원시	내동천	37±15	23±11.3	0.91±0.36	29±16.6
	창원천	67±27	23±12.3	1.32±0.60	46±25.8
	남 천	42±17	17±9.3	1.02±0.43	26±14.1
마산시	양덕천	73±24	24±10.8	2.38±1.40	75±35.7
	산호천	74±33	21±9.3	1.58±0.21	42±24.7
	삼호천	57±14	23±9.0	1.46±0.35	34±24.1
	팔용천	85±36	25±6.0	2.02±0.80	33±21.4
	회원천	69±29	22±8.8	1.71±0.51	39±17.9
	교방천	77±36	22±8.7	1.49±0.22	48±14.1
	척산천	75±27	23±4.9	2.05±0.61	38±17.5
	장군천	70±31	24±8.1	1.79±0.43	31±17.8
	창원천	71±33	20±13.0	1.93±0.36	43±24.0
하수처리장		87±25	35±18.2	2.09±1.52	82±31.1

3.3. 마산만 오염물질의 부하량

마산만으로 유입되는 COD는 일일 총 40,697kg이며 그중 창원지역이 16,661 kg/일(41%), 마산지역이 13,217kg/일(32%), 덕동하수종말처리장이 10,819kg/일 (27%)로 나타났다. 건·우기를 비교한 결과 유량(流量)차이에도 불구하고 마산, 창원지역 하천의 COD 부하량(負荷量)은 거의 일정하게 유입되는 것으로 나타났다.

총질소의 마산만 유입부하량은 일일 약 15,015kg정도이며, 창원지역이 6,424kg/일(43%), 마산지역이 4,280kg/일(29%), 하수처리장이 4,311kg/일(28%)로 유입되는 것으로 나타났다. 총질소 역시 COD와 마찬가지로 건·우기에 따른 부하량 변화가 크지 않음을 보여주었다.

마산만으로 유입되는 총인의 총량은 하루 999kg정도이며, 그 중 창원지역이 391kg/일(39%), 마산지역이 348kg/일(35%) 그리고 하수처리장의 일일 평균부하량은 260kg으로서 전체부하량의 26%를 나타났다. 총인 역시 건·우기에 따른 부하량 변화를 보이지 않고 있다.

유입하천수의 총부유물질 부하량은 일일 31,945kg정도이며, 창원, 마산, 하수처리

장이 각각 14,206kg/일(45%), 7,518kg/일(23%), 10,221kg/일(32%)로 나타났으며, 우기 평균 총부유물질 부하량이 건기(乾期)에 비해 약 4배 정도의 증가가 있는 것으로 나타났다.

<표 IV-13> 마산만 유입평균 오염부하량

구 분		COD	T-N	T-P	TSS
		Mean±SD (kg/day)			
창원시	내동천	1,842±761	1,188±788	52±33	1,961±1,708
	창원천	11,387±4,178	3,887±2,339	256±176	9,779±8,356
	남 천	3,431±1,288	1,351±730	84±33	2,466±1,791
	소 계	16,661±6,229	6,424±3,917	391±241	14,206±11,855
마산시	양덕천	2,080±903	704±308	70±32	2,352±330
	산호천	2,330±1,271	663±337	48±13	1,367±884
	삼호천	1,701±617	772±248	49±23	798±409
	팔용천	1,243±629	359±66	28±2	552±409
	회원천	2,909±1,143	945±648	77±55	991±476
	교방천	798±379	182±85	16±10	338±132
	척산천	844±31	270±48	26±9	428±131
	장군천	499±303	169±81	13±7	198±95
	창원천	814±528	216±154	21±10	493±344
	소 계	13,217±5,805	4,280±1,974	348±160	7,518±3,211
하수처리장		10,819±3,146	4,311±2,268	260±189	10,221±3,874
총 계		40,697±15,180	15,015±8,159	999±590	31,945±18,940

V. 마산만 지역의 해양환경 현황

1. 마산만의 물리적인 특성

남해안의 진해만내에 깊숙이 위치하고 있는 마산만은 해안선의 굴곡이 심하고 수심이 비교적 얕으며 바람과 해류(海流)의 영향을 적게 받는다. 외해수(外海水)와의 유통(流通)이 느리고 해수의 잔류시간(殘留時間)이 길어 육상으로부터의 유입수에 의해 계속 오염이 가중(加重)되고 있다. 이는 이 해역의 지리적 특성에 따른 해수유동이 원활치 못하고 자정능력(自淨能力) 이상으로 과다 유입되는 오염원에 있다고 판단된다. 마산만을 부도 남측을 경계로 하여 마산항 진해항을 포함한 광역의 마산만으로 구분할 때 이 해역은 동서방향 약 11.5km, 남북방향 15.5km인 폐쇄성이 강한 내만(內灣)으로서 오염물질의 유입에 민감하게 반응하고, 또한 각종 연안 개발사업이 진행되고 있다(마산시, 1994).

한편, 해수의 수송량(輸送量)은 마산만 입구인 부도 남측에서 관측된 유속(流速) 자료를 토대로 계산한 결과(한국해양연구소, 1980)에 의하면 약 $5,000\text{m}^3/\text{sec}$ 이고 마산만 중앙부인 소모도 서측 협수로(狹水路)에서 관측한 결과(한국해양연구소, 1988)는 대조기(大調期) 약 $680\text{m}^3/\text{sec}$, 소조기(小調期) 약 $410\text{m}^3/\text{sec}$ 로 나타났다. 이 결과는 조석(朝夕)의 특정 월령시(月領時)에 관측한 값을 근거로 할 때 유출입되는 해수의 약 10% 정도만이 마산내만 즉 마산항에서 유출입되고 있다는 것을 시사하고 있다. 이는 현재 마산내만의 오염상황을 해수의 물리적인 특성면에서 이해할 수 있는 자료로 평가된다.

내륙으로부터 유입되는 오염물질은 주로 하천 등을 통해서 담수(淡水)와 함께 내만에 들어오기 때문에 내만에서의 담수교체시간은 유입된 오염물질이 만내에서 얼마나 오랫동안 체류(滯留)하는 지를 개략적으로 나타낸다. 마산만을 대상으로 계산된 담수교체 시간은 약 139일 정도로 추정되었다(한국해양연구소, 1981).

2. 마산만의 해역별 수질오염 현황 6)

해역별 오염을 비교하기 위하여 육상으로부터 오염을 가장 많이 받고 있는 내만(內灣)해역을 1지점으로, 덕동해역을 5지점, 그리고 방류 인접해역으로 외해와 인접해 있는 7지점으로 구분하여(그림 V-1) 조사한 결과가 있는 바, 그 내용을 정리하면 다음과 같다.

<표 V-1> 우리나라의 해역수질 기준

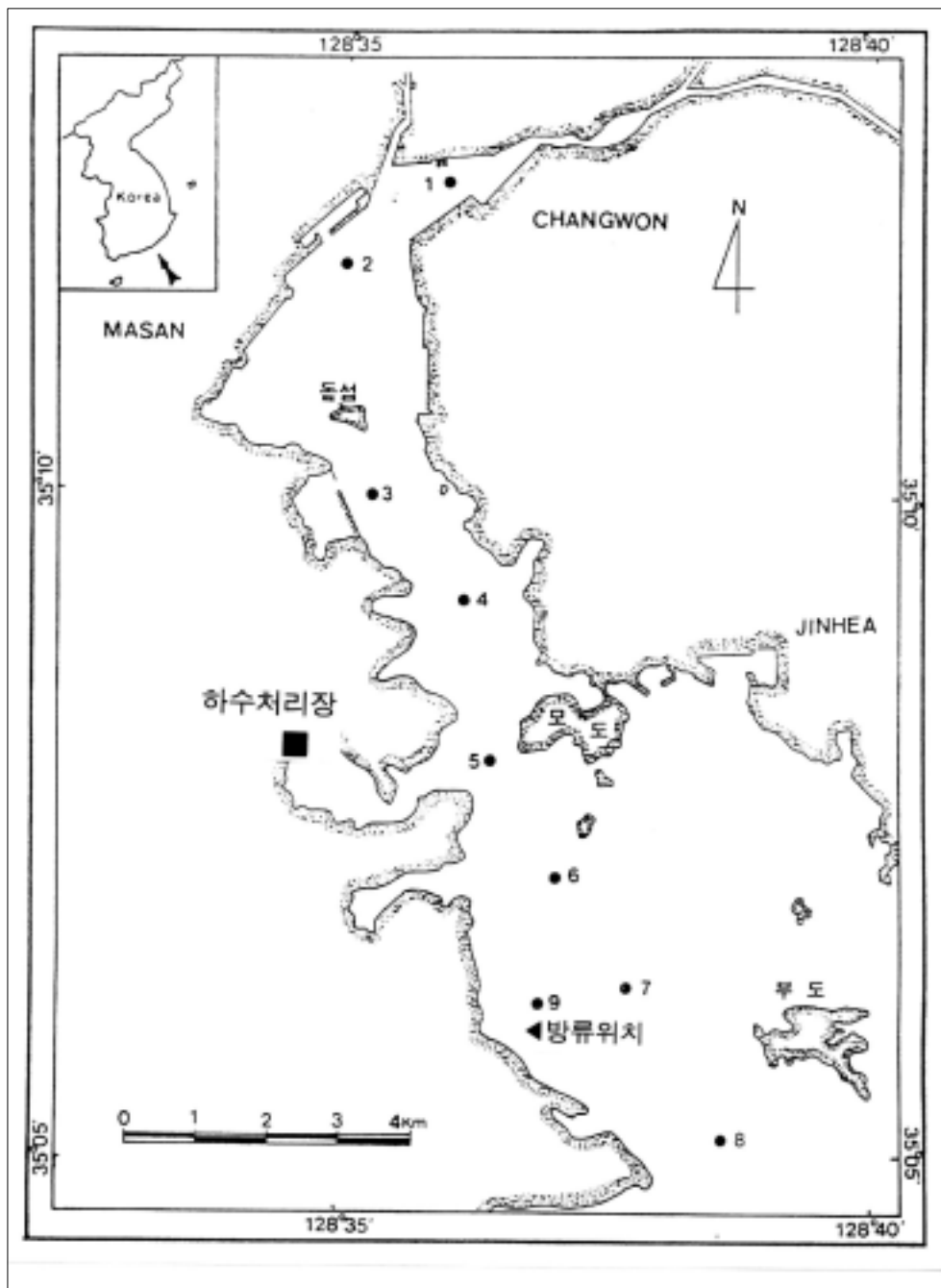
구 분	COD (mg/l)	DO (mg/l)	SS (mg/l)	T-N (mg/l)	T-P (mg/l)
I 등급	1 이하	6 이상	10 이하	0.05 이하	0.007 이하
II 등급	2 이하	5 이상	25 이하	0.10 이하	0.015 이하
III 등급	4 이하	-	-	0.20 이하	0.030 이하

I 등급 : 수산생물의 서식, 양식 및 산란에 적합한 해역

II 등급 : 해수욕 등 해양에서의 관광, 여가선용과 I 등급외의 수산생물에 적합한 수질

III 등급 : 공업용수, 선박의 정박 등 기타용도로 이용되는 수질

6) 한국해양연구소, 연안역 이용 및 통합관리를 위한 연구(I), pp.275-296, 1995



<그림 V-1> 조사해역의 정점 표시도

자료 : 한국해양연구소, 1995

2.1. 용존산소(DO)

‘90년 5월부터 ‘94년 10월까지 조사된 용존산소의 농도는 0.9~13.7mg/l로 넓은 분포를 보였으나, 정점 1, 2를 제외하고는 고른 분포경향(分布傾向)을 보였다. 저층에서는 계절별로 심한 변화를 나타내어 겨울철에 용존산소량이 최대를 보이며 봄부터 점차 감소하여 성층(成層)이 발달하는 여름에 가장 낮은 값을 보였다.

정점(定點)별 변화를 살펴보면 정점 1, 2, 3에서는 수온이 높은 7, 8월에 하층에서 무산소(無酸素) 상태를 보여 해수기준 III등급에도 못미치나, 외만(外灣)지점인 6, 7, 8 지점에서는 무산소 상태가 나타나지 않았다. 저층수의 무산소 상태는 하계에 다량으로 유입되는 암모니아성 질소가 질산성 질소로 산화(酸化)되는데 소비되는 질소산소요구에 의해 고갈되며 성층화에 의한 저층으로의 산소공급을 차단하고 식물플랑크톤의 대량번식(大量繁殖)을 일으켜 이들이 저층으로 가라앉아 분해되면서 산소소비량이 급증한 결과로 보인다.

2.2. 화학적 산소요구량(COD)

COD의 평균농도를 보면 1.0~14.9mg/l로 넓은 분포로 나타나 외만해역에서는 해역수질 등급 I 등급을 유지하나 내만해역은 해역수질등급 III등급에 비해 4배 정도 높은 수치를 보였다. ‘90년 6, 7월에 평균 8.1mg/l로 최고치를 보였으며, ‘91년 10월에 평균 2.2mg/l로 최저치를 나타냈다. 하계에 농도가 높게 나타나는 것은 계절의 변화에 따른 강우(降雨) 등의 영향으로 유입부하량 증가와 수온 상승으로 인한 미생물의 대량증식(大量増殖)으로 인한 적조의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다.

정점별 변화를 살펴보면 내만인 1, 2지점이 외만(外灣)인 7지점보다 높은 농도를 보였으며, 이는 마산만과 연결된 하천에서 나오는 오폐수가 이 해역으로 유입되어 COD의 농도를 높이는 것으로 보인다.

하수처리장의 방류(放流)에 따른 COD의 농도변화는 방류해역에서의 농도가 외만해역보다 비교적 높게 나타났는데, 하루에 방류되는 COD의 오염부하가 9,101kg으로서 하루에 많은 양의 COD가 방류수에 포함되어 배출되고 있음을 알 수 있다.

2.3. 총부유물질(TSS)

총부유물질의 분포는 3~15mg/l로 비교적 넓게 분포되어 있어 평균적으로 해역 수질 II등급의 수질상태를 보이고 있으나, 하계에 강우량의 증가에 따른 육수(陸水)의 유입으로 높은 농도를 보였다. 그러나 다른 해역에 비해 비교적 농도가 낮은 것은 해역이 정체(停滯)되어 침전되기 때문인 것으로 사료된다.

정점간의 차이는 육상으로부터 영향을 많이 받는 정점 1과 2에서 높은 농도를 보이며, 외만 해역에서는 비교적 낮게 나타났다.

2.4. 총질소(T-N)

해양에서 총질소는 아질산성 질소(NO_2^- -N)와 질산성 질소(NO_3^- -N) 그리고 암모니아성 질소(NH_4^+ -N)로 이루어져 있다. 아질산성 질소와 질산성 질소는 담수로부터의 유입과 식물성 부유생물의 대증식후 질소계 영양염류류의 재생산(再生産)으로 인해 해수내로 유출된다. 또한 암모니아성 질소의 유입원은 폐수, 생활하수, 강우(降雨), 해수내의 수직혼합과 동물의 배설작용, 유광층(有光層)에서의 미생물에 의한 분해 혹은 퇴적물에서의 용출작용 등으로 알려져 있으며, 식물성 플랑크톤의 직접적인 흡수나 또는 아질산성 질소나 질산성 질소로 전환된 형태로 흡수되기도 한다(Burton, 1976).

조사기간동안 총질소는 표층이 0.35~4.30mg/l로 넓은 분포를 보여 해역수질 III등급에 비해 1.7~21배 높은 경향을 보였으며, 유입부하량 증감에 따른 농도 증감(增減)을 나타내었다. 정점별 변화를 보면 내만해역인 정점 1에서 외해역보다 높은 농도를 보이고 외만해역으로 갈수록 농도가 감소하는 경향을 보였다. 또한 염분(鹽分)과 총질소의 상관관계에서도 좋은 부(附)의 상관관계를 나타내고 있으며 이는 조석(朝夕) 기간동안 식물에 의한 영양염류류류의 제거(除去)나 재생산(再生産)의 과정이 시간적으로 크지 못하고, 조석에 따른 수괴(水塊)의 물리적인 단순혼합이 주된 요인이기 때문인 것으로 사료된다(김성준, 1992).

2.5. 총인(T-P)

해양에서 총인은 인산염 인을 의미하는데, 인산염 인($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)은 생물학적 필수 원소의 하나로서 해양환경에는 여러 가지 형태로 존재하고 있다. 그러나 생물체에 존재할 수 있는 것은 유기인산과 인산염의 두 형태이며 또한 인산염 인은 식물플랑크톤의 1차생산에 크게 영향을 미치는 영양염류류이며 질소와 더불어 적조발생의 원인물질이다. 해수중 인산염 인의 농도는 육상기원 유입부하량, 퇴적물로부터의 용출량, 침전량, 적조미생물에 의한 소비량에 따라 결정된다(Aston, 1978).

총인의 분포는 0.001~0.290mg/l로 넓은 분포를 보이며 대체적으로 해역수질 III등급 이내인 것으로 보였으며, 하계(夏季)에 높은 농도를 유지하다 동계(冬季)로 갈수록 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 현상은 수온이 높은 여름에 성층현상으로 인해 하층에서 무산소층 형성과 함께 퇴적물중의 인산염 인($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)이 저층으로부터 용출(溶出)되어 나온 결과로 보인다.

정점별 변화를 보면 해수보다 많은 양의 인산염을 포함하는 육수(陸水)유입이 많은 정점 1, 2에서 평균 0.042~0.056mg/l로 높게 나타나 해역수질 III등급에 비해 1.4~2배 정도 높았다. 덕동하수처리장 부근에서도 0.025~0.031mg/l로 비교적 높은 편이나 외해로 갈수록 뚜렷이 감소하는 추세를 보였다. 인의 경우 외해와 내만의 차이가 심하게 나는 것을 볼 수 있는데, 이는 합성세제 사용 등에 따른 육상기원(陸上起源) 오염원이 매우 중요하며 내만에서의 인의 침전성(沈澱性)이 주요 요소로 작용함을 알 수 있다(김성준, 1992).

3. 마산만의 해양수질 연변화

한국해양연구소에서 1990년부터 1994년까지 조사한 마산만의 일반수질현황을 표 V-3가 요약하고 있으며, 과 그중 대표적으로 COD, T-N 및 T-P에 대한 연변화 추이를 그림 V-2~4가 다시 보여주고 있다.

전체적으로 지난 5년동안 오염물질의 농도가 감소하는 추세에 있는데, 이는 '90년 이후 마산만의 준설이 실시되어 저층에 퇴적되어 있던 유기물이 제거되면서 전체적으로 해양환경이 개선되었기 때문으로 판단된다.

COD와 T-N의 경우 '92년이후로는 크게 변함이 없는 경향을 보이고 있다. 마산

만의 외만해역에서부터 내만해역에 이르기까지 COD의 평균농도는 4~5mg/l로 공업용수 및 선박의 정박 등 기타용도로 밖에 사용할 수 없는 해양수질 Ⅲ등급(4mg/l이하)기준치를 초과하고 있다.

총질소의 경우에도 덕동해역과 외만해역의 경우 약 0.8mg/l, 내만해역의 경우 1.2mg/l이상의 평균값을 보이고 있어 해양수질 Ⅲ등급(0.2mg/l이하)을 훨씬 초과하고 있는 것으로 나타났다. 특히 내만해역의 총질소의 농도가 높아 육상에서 하천을 통하여 유입되는 질소의 오염부하량이 많음을 알 수 있다.

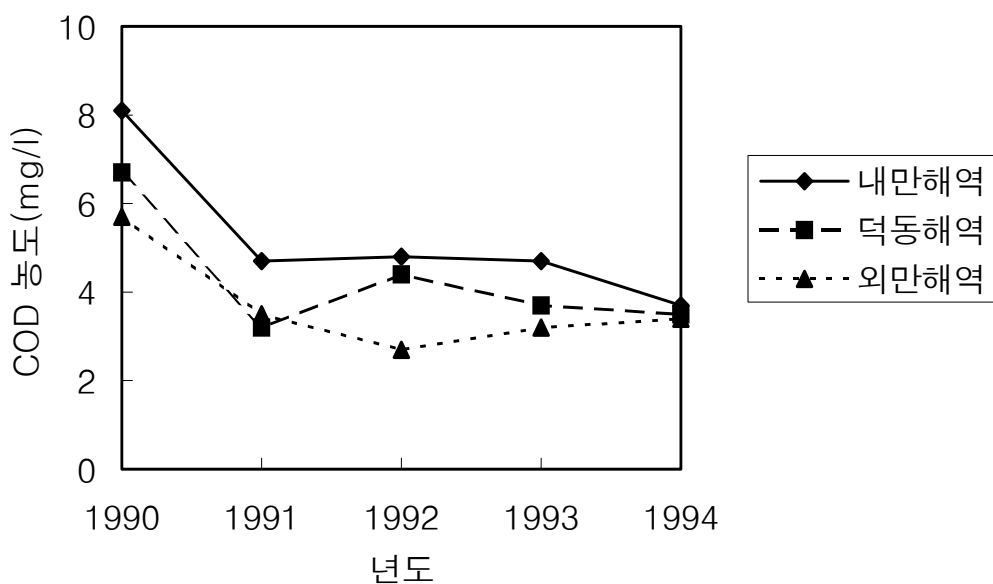
인산염-인의 경우 '90년에는 내만해역에서 0.08mg/l의 높은 농도를 유지하였지만 마산만의 준설사업후 점차 감소하는 경향을 보였으나 '92년을 고비로 점차 증가하는 경향을 보이고 있다. 외만해역이나 덕동하수처리장 주변해역은 지난 5년간 큰 변화없이 0.02~0.04mg/l의 범위를 보이고 내만해역은 0.04mg/l이상의 평균농도를 보여 해양수질 Ⅲ등급(0.03mg/l이하)을 초과하는 경향을 보였다.

<표 V-2> 마산만의 해수질 현황

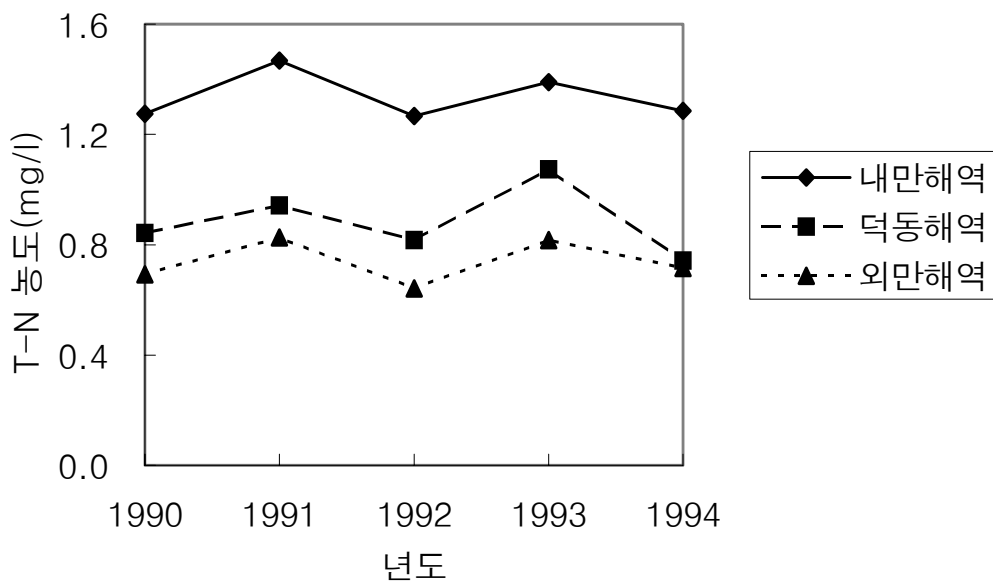
(단위 : mg/l)

항 목	구 분	1990	1991	1992	1993	1994	평 균
DO	내만해역	5.5	5.7	6.0	5.3	6.3	5.8
	덕동해역	7.6	5.9	6.0	5.5	6.8	6.4
	외만해역	6.8	7.1	7.3	6.3	6.9	6.9
	년 평균	6.5	6.1	6.3	5.6	6.5	6.2
COD	내만해역	8.1	4.7	4.8	4.7	3.7	5.2
	덕동해역	6.7	3.2	4.4	3.7	3.5	4.3
	외만해역	5.7	3.5	2.7	3.2	3.4	3.7
	년 평균	6.9	4.0	4.1	3.9	3.5	4.5
TSS	내만해역	11	9	8	8	10	9.2
	덕동해역	10	7	7	6	7	7.4
	외만해역	9	7	6	6	7	7.0
	년 평균	9	8	7	7	8	7.8
T-N	내만해역	1.274	1.468	1.266	1.389	1.285	1.336
	덕동해역	0.843	0.942	0.817	1.074	0.743	0.884
	외만해역	0.692	0.826	0.641	0.817	0.715	0.738
	년 평균	0.967	1.162	0.901	1.001	0.955	0.997
T-P	내만해역	0.075	0.054	0.030	0.047	0.051	0.051
	덕동해역	0.044	0.045	0.027	0.031	0.024	0.034
	외만해역	0.035	0.039	0.017	0.016	0.023	0.026
	년 평균	0.055	0.047	0.025	0.031	0.032	0.038

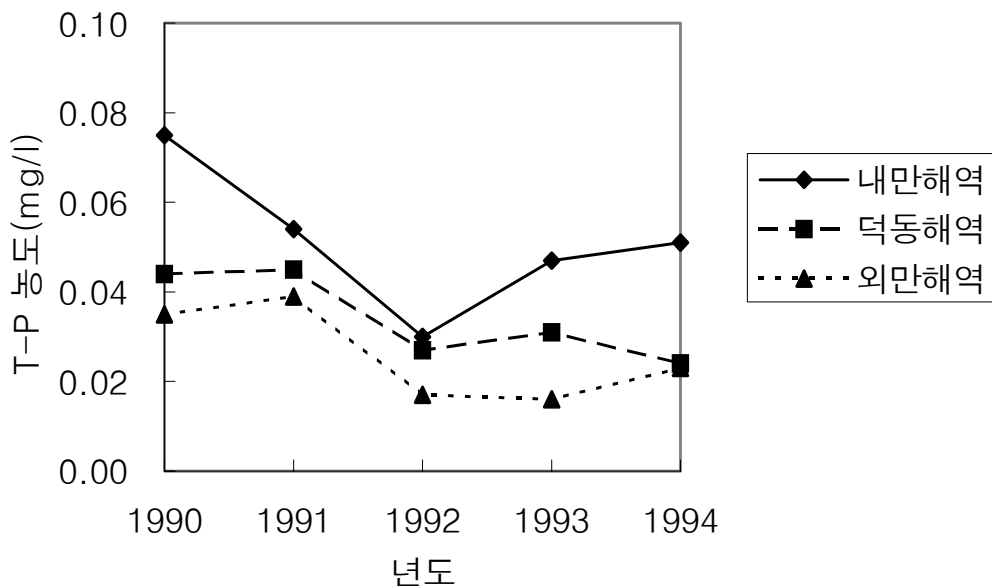
자료 : 한국해양연구소, 1995



<그림 V-2> 마산만의 COD 연변화



<그림 V-3> 마산만의 T-N 연변화



<그림 V-4> 마산만의 T-P 연변화

4. 마산만과 우리나라 연안해수질과의 비교

해양오염방지법에 의거 우리나라 연안(沿岸) 중 총 63개연안 254개지점에 대한 해수질 측정자료를 이용하여 마산만과 기타 주요연안의 해수질을 비교한 결과 표 V-3과 같이 나타났다.

COD의 경우 마산만의 평균농도 폭이 3.1~5.5mg/l로 다른 해역에 비해 높음을 알 수 있다. 또한 총질소와 총인의 경우에도 다른 해역에 비해 높은 값을 보이고 있어 다른 해역에 비해 매우 오염되어 있음을 알 수 있다.

특히 '95년의 COD 평균농도가 기타 해역에 비해 2~3.3배 정도 높아 하수처리장의 운영에도 불구하고 생활하수 및 산업폐수에 의한 많은 유기물이 배출되어 마산만내로 유입되고 있음을 알 수 있다.

<표 V-3> 마산만과 기타연안해역의 해수질 비교

(단위 : mg/l, ()안은 '95년 평균값)

구 분	COD	DO	T-N	T-P
마 산 만	3.1-5.5 (4.4)	8.4-9.9 (9.9)	1.070-1.967(1.967)	0.013-0.048(0.027)
인 천 연 안	1.4-1.6 (1.6)	6.1-8.9 (8.9)	0.762-1.555(0.762)	0.013-0.055(0.035)
군 산 연 안	2.0-2.7 (2.0)	6.4-8.3 (8.3)	0.328-1.200(0.973)	0.018-0.055(0.055)
목 포 연 안	1.8-2.0 (1.9)	8.3-9.3 (9.2)	0.198-0.611(0.611)	0.008-0.023(0.019)
광 양 만	1.9-2.5 (1.9)	8.2-9.6 (8.2)	0.240-0.344(0.344)	0.024-0.039(0.033)
진 주 만	1.0-1.6 (1.3)	7.9-8.7 (8.7)	0.925-1.119(1.059)	0.004-0.021(0.021)
고성 / 자란만	1.2-2.1 (1.7)	8.6-9.2 (9.1)	0.053-1.161(1.136)	0.001-0.012(0.012)
부 산 연 안	1.2-2.2 (2.2)	7.5-8.4 (8.4)	0.795-0.501(1.348)	0.005-0.034(0.029)
울 산 연 안	1.7-2.0 (2.0)	8.2-9.0 (8.5)	1.083-1.634(1.634)	0.006-0.031(0.031)
주 문 진 연 안	1.9-4.2 (1.9)	6.4-8.7 (8.7)	0.359-0.770(0.620)	0.051-0.129(0.083)
속 초 연 안	1.6-2.1 (1.6)	8.1-9.9 (9.9)	0.232-0.413(0.413)	0.023-0.088(0.023)

자료 : 한국환경연감, 1991-1995 평균농도의 최소값과 최대값, 환경부

5. 마산만 적조발생 현황

5.1. 적조 발생의 변천과정 및 문제점

하천, 호수, 바다의 부영양화로 수중의 식물플랑크톤 개체수가 돌발적으로 대량 증식하여 해수나 담수의 색깔을 변화시키는 현상을 적조(赤潮)라고 한다. 해수의 색깔은 적조의 원인생물, 그 생물이 갖고 있는 보조색소 및 생리(生理)상태에 따라 적색, 분홍색, 갈색, 황갈색, 청록색 등으로 변하고, 물이 탁해지며 다소 점성을 띄기도 하고 때로는 냄새를 풍기기도 한다. 일반적으로 물속에 플랑크톤이 대형은 해수 1ml당 1만개 이상, 소형은 해수 1ml당 10만~100만개 이상 번식할 때 적조가 발생한다고 알려져 있다(어촌문제연구소, 1995)

산업활동의 증가와 비례하여 적조가 심각한 사회문제로 대두하기 시작한 것은 우리나라에서는 1970년대부터라고 할 수 있다. 우리나라의 적조는 1962년 진동만

에서 발견된 이래 1977년까지는 대규모 적조를 볼 수 없었다. 그러나 1977년 6월 진해만 일대(마산만 포함)에서 발생한 미증유의 적조는 독수대라는 말을 낳게 할 정도로 어류의 폐사를 비롯한 막심한 어업피해를 초래하기에 이르렀고 급기야는 사회문제로 대두되었다.

그후 적조의 다발현상과 대규모화는 우리의 일상생활에도 심각한 문제를 야기시켰고 이후 이 해역은 연안오염특별관리해역으로 지정되기에 이르렀다. 그러나 적조에 의한 어업피해의 규모는 대형화하였고 1981년 7~9월에 진해만 일대에서 *Gymnodinium nagasakiense*에 의하여 발생한 적조 피해만도 무려 17억 3천만원에 이르고 있다. 또한 1980년대 후반에 가서는 적조의 발생빈도나 어업피해도 감소하는 경향을 보였으나 근년에 와서는 다시 대규모의 적조가 발생하고 있을 뿐만 아니라 독성화되어 가는 추세(趨勢)이다.

5.2. 유독 플랑크톤의 발생

유독 플랑크톤은 쌍편모조류가 주류를 이루고 있으며 적조에 의한 어류의 폐사 기구는 유독성 플랑크톤에 의한 중독사와 다량 발생한 비독성 플랑크톤에 의한 산소결핍의 질식사라 들 수 있다. 적조의 독성에 대해서는 편모조류와 남조류에 의한 약 20종 이상이 알려져 있다.

그러나 무엇보다도 유독 플랑크톤이 사람의 건강을 직접 위협하는 경우는 마비성 패독(PSP), 설사성 패독(DSP), 기억상실성 패독(ASP) 및 베네루핀 등이 유명하다. 독화현상은 서해안과 동해안의 일부 지역에서도 몇 번 관찰되었지만 남해안에서 50여회나 관찰되어 주로 이 지역에서 패류가 독화됨을 알 수 있었다.

5.3. 적조의 피해와 방제

우리나라의 적조발생 추이는 1970년대의 경우 무독성이면서 마산만에서만 주로 발생하던 것이 1980년 이후는 유독성으로 진해만, 광양만, 인천연안 뿐만 아니라 청정해역인 충무연안까지 확대되었으며, 그 피해액도 수십억원에서 수백억원으로 나타났다.

적조에 의한 수산물의 피해는 적조발생해역에서의 급성적 어패류 폐사현상을 일으키는 용존산소 결핍에 의한 질식사과 독성물질에 의한 중독사로 나타나는 직접적인 피해를 들 수 있다. 간접적인 피해로는 적조가 상습적으로 발생할 경우, 어장의 생산성 감소로 인한 어장가치 저하, 적조생물의 증가로 인한 해수교환 미흡에 따른 성장의 둔화(鈍化) 및 적조생물이 죽어 저층에 쌓이면서 분해되어 용존산소를 소비하는 등 저서환경이 변화되어 패류, 갑각류 등의 유용생물이 없어지는 피해 등을 들 수 있다. 그리고 2차적 피해로 수산물 피해 이외에 적조를 일으키는 곳의 물을 새들이 마시면 피해를 받을 수 있다는 보고나 미국 플로리다연안에서 *Gymnodinium* 적조가 발생했을 때 그 위를 지나온 바람을 쏘인 경우 눈, 호흡기 점막(粘膜)이 자극되었다는 보고 등이 있다. 또한 패류를 독화시켜 그것을 섭취하면 식중독을 일으키는 경우가 자주 발생하고 있다.

적조의 방제(防除)는 적조발생을 미리 방지하기 위하여 행하는 각종 수단을 말하며 여기에는 크게 나누어, 적조생물의 증식에 필수 또는 제한요인으로 작용하는 유기물질이나 미량금속의 연안유입을 차단하여 연안 부영양화 현상을 방지하는 행위, 저질환경개선, 해수유동촉진 등의 환경개선 행위 그리고 연안수역의 과학적 이용관리 행위가 포함된다. 적조발생 이후 적조피해를 방제하는 수단은 적조생물을 구제하는 방법과 또한 양식 시설을 대피하거나 양식물을 긴급 채취하는 피해 저감 방법이 있다.

현재까지 연구된 적조생물의 구제 및 제거방법은 적조생물의 세포를 파괴하는 화학 약품살포법, 적조생물을 여과 또는 원심분리하여 해면에서 회수하는 방법 그리고 점토 또는 고분자응집제를 이용하여 적조생물을 흡착, 응집시켜 침전하는 방법이 있다.

이중에서 비교적 효과가 높은 것은 점토흡착법으로 점토를 해수중에 살포하여 적조생물을 흡착하여 침강(沈降)시키고 또한 점토중의 알루미늄 이온이 용출되어 적조생물의 세포를 파괴시키는 성질을 이용한 방법이다. 이 방법은 일본에서 주로 연구되었으며 우리나라에서는 1985년부터 국립수산진흥원에서 연구가 수행되고 있다.

현재 적조예보(豫報) 및 방제기술 실용화(實用化)에 따른 주요 계획안은 다음과 같다(조선일보, 1996. 5. 10).

- 적조의 조기에보, 모니터링체계와 이동확산모델 개발

- 적조원인종의 생리, 생태 연구와 독성물질 분석
- 적조를 유발하는 환경요인 분석 및 대책 수립
- 해상 유출사고와 적조의 관련성 규명
- 생화학적 적조방제기술 개발 및 새로운 생리활성물질 탐색기술 개발

5.4. 마산만의 적조발생 현황

적조현상에 관하여는 1960년 진해만을 중심으로 연구된 이래 상당히 많은 연구가 보고되었다. 지금까지의 연구결과를 토대로 보면 1980년대까지의 적조현상은 일부 국지적인 해역에서 일주일 이내의 단기간에 발생하는 특징을 갖고 있었다.

<표 V-4> 최근 마산만에서의 적조 발생 현황

년 도	발생건수	적 조 원 인 생 물	밀도범위(cells/ml)
1991	14	<i>Heteroshigma akashiwo</i> <i>Gyrodinium sp.</i> <i>Skeletonema costatum</i> <i>Prorocentrum dentatum</i>	600 - 6,000
1992	4	<i>Skeletonema costatum</i> <i>Prorocentrum dentatum</i> <i>Prorocentrum micans</i> <i>Gymnodium mikimotoi</i>	1,000 - 3,500
1993	10	<i>Noctiluca scintillans</i> <i>Skeletonema costatum</i> <i>Heteroshigma akashiwo</i>	300 - 50,000
1994	10	<i>Eutreptiella gymnastica</i> <i>Gymnodium sp.</i> <i>Cochlodinium sp.</i>	300 - 45,000
1995	3	<i>Eutreptiella gymnastica</i> <i>Gymnodium sp.</i> <i>Cochlodinium sp.</i> <i>Ceratium furca</i>	1,100 - 3,000

자료 : 국립수산진흥원 연구자료, 1996

또한 적조를 일으키는 원인생물도 규조류에 속하는 *Skeletonema costatum spp.*, *Nitzschia spp.*, *Thalassiosira spp.* 등이 우세하게 발생하였으나 1980년 이후부터는

발생기간도 장기화하면서 원인생물종도 1981년의 진해만에서의 미증유의 대형적조가 발생한 후 *Noctiluca*, *Prorocentrum*, *Gonyaulax*, *Gymnodinium*속의 쌍편모조류나 *Heterosigma*, *Mesodinium*속의 적조형태로 서서히 변해가고 있다. 1990년에 들어서는 *Pseudonitzschia pungens*, *Eutreptiella gymnsatica*, *Skeletonema costatum*, *Prorocentrum spp.*, *Alexandrium sp.*, *Ceratium fusus* 등의 종류들이 빈번히 적조를 일으키고 있다. 특히 1994년에는 수산물의 피해를 유발시키는 독성조류인 *Cocholodinium sp.* 이 발견되어 앞으로의 큰 피해가 우려되고 있다(표 V-4).

이상에서 언급한 바와 같이, 진해만의 적조플랑크톤의 군집동태는 현장 생태계의 구조와 기능 및 서식환경에 의하여 시간과 장소에 따라 현저한 차이를 보이며 변화하고 있는 것으로 밝혀졌다. 즉, 대표적인 적조플랑크톤의 천이 기작은 무기영양염류의 동태와 가장 밀접한 관계가 있는 것으로 보인다. 마산만의 경우는 규조류의 대발생으로 인한 표층수에서의 일시적인 규소(silicate)의 고갈(枯渴)과 인의 제한이 천이(遷移)의 주요 원인인 것으로 나타났다.

VI. 마산만 유역의 총량규제 방안

대기, 수질오염물질의 총량규제란 문자 그대로 어떤 특정한 지역의 대기, 수질환경기준 달성을 위하여 그 지역에서 배출(排出)되는 대기·수질오염물질의 총량을 법으로 엄격히 제한하는 제도를 말한다. 이 제도는 현재 우리나라에서 오염물질의 주된 배출규제 수단으로 시행되고 있는 배출허용기준에 의한 규제보다 훨씬 진일보한 선진국형(先進國形) 오염물질 배출 규제 방안이다.

앞서 설명한 일부 선진국에서 채용되고 있는 제도라고 해서 그것이 우리나라에 그대로 적용 가능한 것은 아니다. 또 선진국들과 똑같은 제도를 도입한다고 해서 그들과 똑같은 효과를 기대할 수 있는 것도 물론 아니다. 그러나 현재 우리나라가 채택하고 있는 농도규제 방식보다는 환경개선 효과가 크고 합리적이므로 우리나라의 배출규제방식을 점차로 총량규제 방식으로 전환해야 할 것이다(홍욱희, 1995).

특히 대부분의 산업지역이 임해공단에 집중되어 있는 우리의 실정을 고려할 때 대도시, 또는 대규모 공장지역을 배후에 두고 있는 특별관리해역에서의 총량규제는 효율적인 오염원관리를 위해 필히 고려되어야 할 것이다.

1. 대상지역 선정 방안

수질오염의 경우 크게 육상수질오염과 해양수질오염으로 나누어 구분할 수 있다. 이중 본 보고서에서는 해양수질을 개선시키기 위한 목적으로 다루어지고 있기 때문에 해양수질오염부문을 고려하여 대상지역을 선정하고자 한다.

우리나라 연안중 오염이 심화(深化)된 지역은 인천연안, 군산연안, 부산연안, 광양만 그리고 마산만 등을 들 수 있다. 그중 인천, 부산, 군산연안 등은 비교적 대도시(大都市)를 배후(背後)에 두고 있어 많은 오염배출원이 있고 넓은 지역에 산재해 있다. 아직 총량규제에 대하여 그 실효성이 검증(檢證)되지 않은 상태에서 무리하게 대도시를 대상으로 시행한다면 해양수질 개선이라는 소기의 목적을 달성할 수 있을지도 지극히 불투명하다.

따라서 먼저 시범지역(示範地域)을 선정해서 일정기간을 시행해 본 후에 점차적으로 그 대상 구역과 대상 오염물질을 확대해 나가는 것이 시행에 따르는 부작용을 최소화할 수 있는 대안이라고 생각된다.

그 시범대상 구역을 선정(選定)함에 있어 먼저 고려해야 할 사항은 대상 유역권이 넓고 오염배출원 분포가 산재한 지역을 피해서 실시하는 것이 바람직하다. 두 번째로 해역의 수질오염 정도, 관리가능한 오염원들의 분포, 해역으로서의 중요성, 유역권의 규모, 기존 자료의 축적(蓄積) 정도 등을 고려해야 할 것이다.

이러한 기준을 감안할 때 비교적 소규모 지역이고 협역적(狹域的)인 마산만 지역이 시범실시 지역으로 적합하다. 이 지역은 해양학적으로 연구가 10년이상 지속되어 왔고, 주변 임해공단지역의 산업화 등의 중요성을 감안할 때 이 유역에 대해서 앞으로 5년내지 10년정도의 기간을 정해서 총량규제 제도를 실시해 본다면 이 제도가 우리나라 연안(沿岸)에 실시 가능한 적합한 제도인지 또는 그렇지 못한 제도인지의 여부를 충분히 검증할 수 있을 것이다.

또한 한 지역을 대상으로 총량규제를 실시한다고 가정했을 때 그 지역 안에서 어느 구역까지를 총량규제 대상지역으로 선정할 것인지를 정하는 것이 중요하다. 과도하게 넓은 지역을 설정한다면 오염원의 산재로 충분한 오염저감 활동을 실시하기가 어렵게 되고 너무 좁은 지역을 설정한다면 효과적인 해양수질 개선을 얻기가 힘들 것이다. 다음은 광역적 지역 안에서 총량규제 대상 지역의 설정을 위한 기본적인 고찰이다.

1.1. 사용가능한 기준 및 장단점

육상부 지정범위 설정방법중 가장 널리 사용되고 있고 효과적인 방법은 배수구역에 의한 분류, 행정구역에 의한 분류, 해수면으로부터의 거리에 따른 분류 등을 들 수 있다.

1.1.1. 배수구역에 따른 범위 설정

배수구역이란 육지부에서 직접 유래되는 표류수(表流水)가 모이는 지역으로, 이

때 다른 유역과의 경계를 분수계(分水界)라한다. 분수계와 배수구역은 지형도를 보면 알 수 있으며, 지형도에 기록된 하천도에 대하여 하류망(河流網)과 그 분수계를 백지도에 그려서 얻어낼 수 있다. 이 수계도 하류망에서는 하도(河道)의 위치를 알 수 있으나 하도가 갖는 규모나 하도의 활동을 나타내는 정보는 빠져있다. 이를 가장 간단한 지수로 나타내는 것이 수류차수(水流次數)이다.

배수구역의 수류차수를 설정하는 몇가지 방법이 있는데 최근에는 Strela법을 많이 사용하고 있다. 이 방법은 최상류 지천을 모두 일차지류로 하고 그들 두 개가 합류되어 이차 지류, 이후 같은 차수(次數)의 지천이 합류될 때까지 차수를 바꾸지 않고 그들이 합류되었을 경우의 합류하천을 일차(一次) 올린다.

이와 같은 배수구역 설정방법으로 하천도와 지형도를 배경으로 각 유역의 배수구역을 설정할 수 있다. 대부분의 해역이 반폐쇄성 해역이기 때문에 만내로 유입될 수 있는 지표수(地表水)의 흐름을 감안하여 배수구역을 설정한다(조규송 외, 1991).

배수구역 설정에 의한 관리해역의 육상부 지정은 가장 과학적이고 기술적이라고 할 수 있으나 부산, 울산과 같이 개방되어 있는 해역과 같은 경우에는 해역내로 유입하는 배수구역이 넓어질 수 있어 설정하기가 어려운 편이다.

또한 이러한 자연적 요소만을 고려할 경우 같은 행정구역안에서 어느 부분은 육상부로 포함되고 다른 부분은 그렇지 않게 되는 경우가 발생할 수 있다. 이러한 경우 관리에 있어서 지역별 차별적인 요소가 되어 관리하기가 어렵게 될 가능성이 높다.

1.1.2. 행정구역에 따른 범위 설정

해당 해역에 영향을 미치는 행정구역을 지정하여 육지부로 설정할 수 있다. 행정구역을 설정함에 있어 행정구역을 시·군단위로 혹은 더 자세하게 읍·면이나 리·동단위까지 나눌 수 있다.

시·군단위로 크게 나누다 보면 연안이 아니라 내륙(內陸)쪽으로 치우치게 되어 실제 배수되는 지형이 틀리게 되는 경우가 발생하게 된다. 이와 같은 경우에는 영향을 미치지 않는 지역에서 규제가 따르다 보면 지역의 반발이 커질 수 있다. 반면 읍·면이나 리·동까지 자세하게 나누다 보면 어디까지가 해역의 영향권인지를 알

수 없게 된다. 따라서 이와 같은 경우에는 행정구역을 배수구역과 함께 고려하는 것이 바람직하다.

우리나라와 같이 연안의 하수처리시설의 설치 및 오염원 관리가 미비한 지역에서는 해역에 영향을 미치는 육상부 전체 범위를 설정해야 효과적인 해양환경 개선을 이룰 수 있다. 총량규제 대상지역으로 지정할 경우 초기(初期)에는 배출원에 대한 규제가 시행되어야 하므로 규제에 대한 행정적인 용이성을 가지게 하기 위하여 배수구역이라는 자연적 요소뿐만 아니라 인문적 요소도 고려해야 한다.

1.1.3. 해수면까지의 거리를 이용한 범위 설정

미국을 비롯하여 몇몇 나라에서는 연안역의 환경개선을 위하여 관리지역을 설정하고 있는데 육상부를 설정함에 있어 배수구역과 행정구역은 고려하지 않고 단지 해안선으로부터의 거리만을 고려하여 설정하고 있다.

<표 VI-1> 외국의 육상부 관리범위 사례

국 가	설 정 범 위
미 국	· 캘리포니아주 : 평균대조차 수면으로부터 1000 yard · 워싱턴주 : 평균대조차 수면으로부터 200 feet · 플로리다주, 도서지역 : 전 지역
중 국	평균 고조선에서 500 m
코스타리카	평균 해면으로부터 200 m
인 도	대조차 수면으로부터 500 m

자료 : Sonja and Cormac, 1994

이러한 방법은 집중적인 관리가 가능하다는 장점이 있다. 해안선으로부터 수백 미터에서 수킬로미터까지 지정해 놓으면 짧은 거리 안에서 각종 건축물의 건설과 공유수면 매립 등의 규제가 쉽고 연안 폐수배출업소 등의 배출원에 대해 집중적인 감시가 가능하기 때문이다.

또한 우리나라와는 달리 하수처리시설이나 하수관거가 양호한 상태이므로 연안에 인접한 지역만 관리하여도 연안의 환경을 보전할 수 있기 때문에 가능한 방법이다. 외국의 이러한 설정방안은 연안습지나 연안생태계 등을 관리하는데 주목적을 두기 때문에 우리나라와 같이 전체 해역의 수환경 향상을 기대하는 목적에 부

합되지 않는다고 할 수 있다.

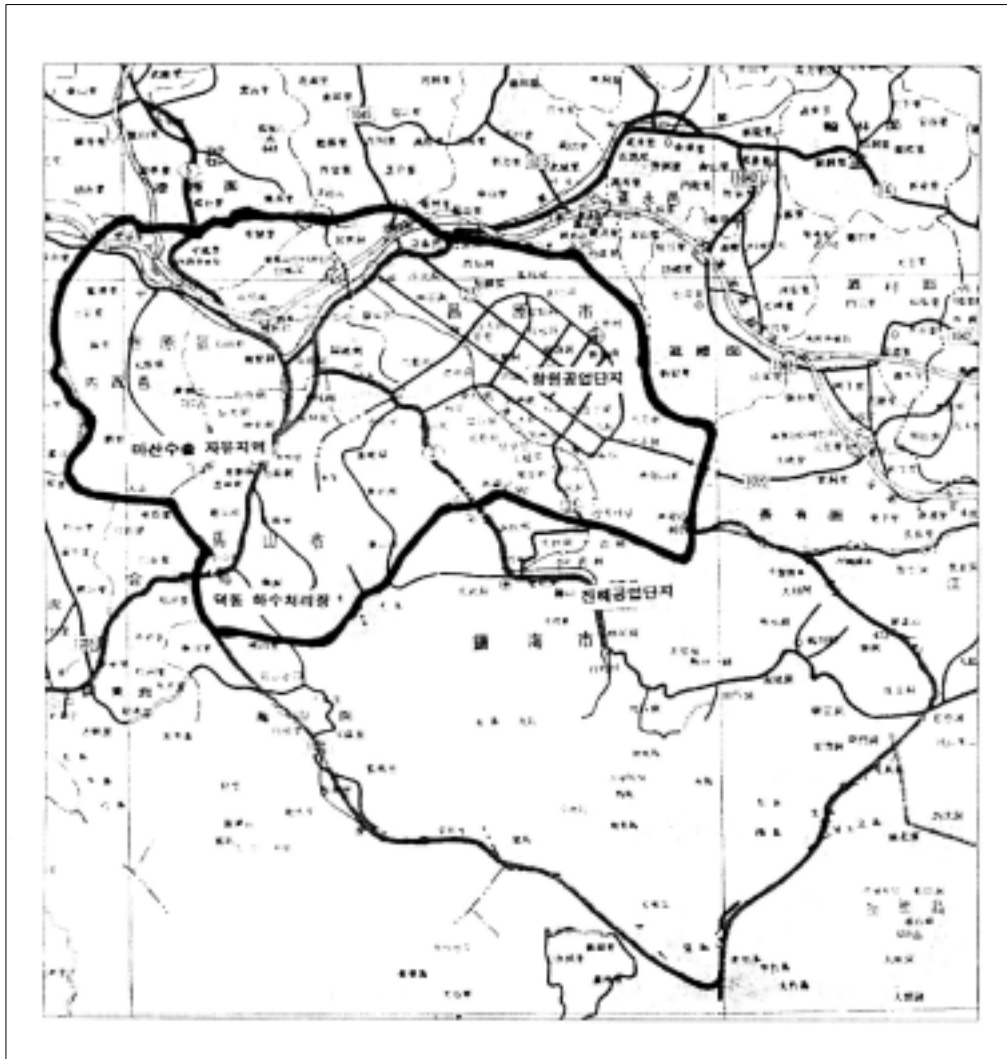
<표 VI-2> 각 기준설정의 장단점

구 분	행정구역상으로만 구분했을 경우	배수구역상으로만 구분했을 경우	연안까지의 거리를 고려하여 구분했을 경우
장 점	-관리의 용이성 증대 -책임구역 명백 -사회, 경제적, 법제도적 자료 수집 용이 -지정지역내 조직간 연계 용이	-과학, 기술적 접근으로 합리적 관리 -생태적 관리 용이	-설정용이 -좁은 지역에 대해 집중적인 관리 용이
단 점	-지정해역부에 영향이 없는 지역까지 포함, 또한 영향이 있는 지역 배제 -과학, 기술적 대안보다 법, 제도적 개선만 증가 -자연환경적 특성과악곤관	-해역별 특성 고려가 힘들 -책임구역 불분명 -미지정된 구역에서의 간접적인 오염발생에 대한 규제 어려움 -지정지역내 정부조직간 이해관계 대립	-책임구역 불분명 -환경기초시설 부족시 비효율적 관리 야기 -환경 및 자원 관리상의 타당성에 문제 발생

1.2. 마산만 지정지역 설정(안)

마산만에 영향을 미치는 유역을 육지부는 배수구역을 1차 기준으로 정하고 앞절에서 논의한 바와 같이 배수구역상으로만 육지부를 설정하였을 때의 단점을 보완하기 위해 경계지역에서는 오염기여도를 고려한 행정구역을 보조적으로 사용하여 범위를 설정하였다.

현재 환경부에서 계획하고 있는 특별관리해역 지정에는 진해시가 포함되어 있으나 진해시가 차지하는 오염물질 부하량이 전체의 약 1/10에 불과해 단기적으로는 총량규제 지정지역에서 제외하는 것이 타당하다고 판단된다. 그러나 장기적으로는 오염기여도가 높아질 수 있으므로 특별관리해역 지정에 포함시키는 것이 바람직하다.



<그림 VI-1> 마산만 유역의 총량규제 대상 지역

주) 굵은선 : 총량규제 대상지역

가는선 : 특별관리해역 대상지역 (예정) (굵은선 포함)

2. 대상항목의 선정

2.1 개요

총량규제제도를 환경법상의 규제대상이 되는 모든 항목에 대하여 시행한다는 것은 막대한 행정비용 및 자동측정 기기의 미개발 등 제반 관련기술의 미비로 인해 비현실적이다. 따라서 농도규제만으로는 특정지역의 배출총량을 환경기준이하로 통제하기 어려운 항목으로서 배출오염원이 광범위하고 다양한 유기물 오염항목 같은 것이 오염지표(汚染指標)로 선정되는 것이 바람직하다. 한편 이길철 외 (1981)에 따른 수질총량규제의 오염지표 선정에 위한 기준은 다음과 같다.

- 지역오염을 대표할 수 있을 것,
- 오염원이 다양하고 광범위할 것,
- 측정이 신속하고 자동계측이 가능할 것,
- 종합적 대책이 필요할 것.

이상의 요건을 만족하기 위하여 지표물질은 주로 유기물(有機物)이어야 하며, 지표항목은 유기물과 관련이 깊은 DO, BOD, COD, TOC, TOD 등에서 선택할 수 있다. 각 지표항목에 대하여 유기물과의 관계, 자동계측원리, 측정소비시간, 재현성(再現性), 국내보급현황, 국내기기 생산현황 등을 고려한 특성 및 장단점 비교결과 COD를 지표로 하는 것이 가장 타당하다고 할 수 있으나 수환경을 가장 잘 대표한다고 할 수 있는 DO와의 상관관계가 중간 정도인 것이 문제점으로 지적되었다 (이길철 외, 1981).

한편 이러한 오염지표의 선정과 관련된 외국의 예를 보면, COD의 경우 일본의 내만에서, BOD의 경우 미국의 하천(Fox river)에서, 인(P)의 경우 미국의 호수(Lake Dealon)와 독일의 호수(Lake Constance)에서 오염저감 및 환경회복을 위한 지표로 각각 사용되어 인(隣)은 목적을 달성하였으나 BOD와 COD는 예상하였던 성과는 이루지 못한 것으로 평가되었다.

2.2. 대상항목중 질소 및 인의 선정

2.2.1. 질소와 인의 발생

질소와 인은 자연상태에서 발생되기도 하고 인간활동에 의해 발생되기도 하는데 자연상태에서 발생하는 양은 자정작용(自靜作用)에 의해 순환되거나 제거될 수 있을 정도의 양으로서 문제가 되지 않는다. 이에 비해 인구 및 인간의 활동 증가에 따른 질소와 인의 발생량은 계속 증가추세에 있어 이에 대한 대책이 시급하다.

질소(N)의 주요 발생원은 분뇨, 비료 및 산업폐수 등이며 도시하수의 질소농도는 15~50mg/l 정도가 된다. 도시하수중의 질소는 약 60%가 암모니아성 질소이며 나머지는 유기질소인데 질소에 의한 문제점은 부영양화의 촉진 이외에도 질산화(窒酸化)가 진행되면서 산소를 소모한다는 것이다. 따라서 부영양화가 우려되는 지역에서는 총질소에 대한 규제를 하고 그 외의 지역에서는 질산화에 의한 산소소모를 방지하기 위해 암모니아성 질소에 대한 규제가 필요하다.

인(P)의 발생원도 다양하여 가정생활하수와 산업폐수에 포함되어 자연수계로 유입되며 농경지 유출수(流出水)나 축산폐수로부터 발생하는 양도 무시할 수 없다. 특히 우리나라의 경우 소규모 축산업 등 비점오염원의 영향이 커 이에 대한 적절한 대책마련이 필요하다. 도시생활하수에는 5~15mg/l의 인이 함유되는 것이 보통인데 이중 30~50%가 분뇨나 음식물찌꺼기로부터 발생되고 합성세제로부터 발생하는 양이 50%를 넘는다. 실제로 미국의 예를 보면 합성세제의 인 함유율(含有率) 규제가 없었던 1970년대에 도시하수중의 인 농도가 10mg/l이었으나 세계중 인 함유량을 0.5%이하로 규제함으로써 하수중의 인 농도가 5mg/l 정도로 감소되었다 (Morris et al., 1981).

2.2.2. 우리나라의 총질소, 인의 관리 및 규제현황

현재 우리나라에서 가동중인 하수처리장은 대부분 표준활성슬러지법을 적용하고 있어 인과 질소의 제거효율은 20~40%에 불과하다. 또한 환경관리공단에서 운영하는 폐수종말처리시설과 원인자부담으로 설치가동중인 폐수종말처리장, 그리고 농공단지 오·폐수처리시설들이 대부분 활성슬러지법에 의존하고 있어 부영양화의

방지에는 부적합한 실정이다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 우리나라는 1996년 1월부터 환경부장관이 정하여 고시(告示)하는 특정호소 등의 지역에 대해서는 총질소, 총인의 폐수배출허용 기준을 청정지역에서는 총질소 30mg/l, 총인 4mg/l 이하로 가, 나, 특례지역은 각각 60mg/l, 8mg/l 이하로 규제하고 있다. 또한 분뇨종말처리시설과 축산폐수공동처리시설은 각각 총질소 120mg/l, 총인 16mg/l 이하, 하수종말처리시설과 농공단지 오·폐수처리시설을 포함한 폐수종말처리시설은 각각 총질소 60mg/l, 총인 8mg/l 이하로 규제하고 있다.

2.2.3. 질소와 인의 제거

자연수계에서 질소는 다양한 형태로 존재하면서 수질오염에 기여하고 있다. 질소의 제거를 위해 물리/화학적인 처리방법과 생물학적 처리방법을 사용할 수 있다. 물리/화학적 처리방법은 총질소의 제거보다는 암모니아성 질소의 제거가 주된 목적이며 질산성 질소나 아질산성 질소 제거방법은 미생물에 의한 질산화와 탈질(脫窒)반응을 이용하는데 인의 제거와 동시에 진행되도록 개발된 방법들이 많다.

폐(하)수로부터의 인제거방법으로는 화학적인 방법과 생물학적인 방법을 사용할 수 있다. 종래에는 화학적인 처리방법이 인제거에 주로 사용되었으나 경제적이면서 효율이 높은 생물학적 인제거방법이 개발되면서 미생물을 이용하여 인을 제거하는 생물학적 처리시설이 증가되어 왔다. 최근에는 점차 인의 방류수 기준이 까다로워짐에 따라 보다 안정적인 수질을 얻기 위해 생물학적 처리방법과 화학적 처리방법을 병용(並用)하는 시설이 늘어가고 있다(이상은, 1995).

2.2.4. 수계생태계 보전을 위한 질소·인 동시제거 필요성

일본에서는 수역의 유기오염 개선을 위해 종래부터 생활하수, 산업폐수 등의 BOD를 저하시키는데 주안점을 두어 왔다. 그 결과 유기오염의 삭감효과는 확실히 인정되었다. 그러나 공공수역에서는 배수처리과정에서 제거되지 않는 질소, 인의 유입으로 부영양화가 진행되어 남조(藍潮) 및 적조(赤潮)발생이 큰 사회문제를 야

기시켰다.

해역에 대해서는 오염이 현저한 동경만 등 3개해역에 있어서 1978년에 수질총량 규제가 실시되어 COD를 지정항목으로 오염부하량의 삭감이 이루어졌다. 그 결과 적조발생건수는 1990년도에 동경만 46건, 이세만 11건, 세포내해 108건으로 발생건수가 일시적으로 줄어들었으나 최근에는 제자리 수준이다. 이 3개 해역의 환경기준 달성율(達成率)은 최근 10년간 거의 담보상태에 있다. 그 원인은 해역의 내부생산이 COD의 약 절반을 차지하고 있는데 기인한다(조류(潮流) 1mg은 COD_{MN}로 약 0.5mg에 해당).

따라서 앞으로 수질개선을 위해서는 조류증식의 제한인자(制限因子)인 질소, 인의 규제가 필요하며 이를 위해 해역의 질소, 인의 환경기준 설정과 기준적용을 받는 대상해역을 특정지어 수역의 유형지정 및 기준추가가 시급하다고 보고있다(Sudo외, 1995).

수계(水系)생태계는 부영양화가 일어나지 않는 상태에서 N/P비가 적정하면 분해자, 생산자, 포식자가 조화를 이루어 서식하여 자연정화기능을 발휘한다. 그러나 질소·인이 하·폐수처리에서 충분하게 제거되지 않아 그 농도가 수역에서 증가하면 조류증식 즉, 내부생산이 촉진되어 그 결과 수질이 악화되게 된다.

수역의 제한요인은 대개의 수역에서 질소제한, 인제한, 질소·인 동시제한 중 어느 하나이며, 계절이나 시대추이(時代推移)에 따라 변화하므로 부영양화 대책으로 질소·인을 모두 제거해야 한다.

2.3. 마산만에서의 대상항목의 선정

일반적으로 식물성플랑크톤의 평균 원소비가 N:P=16:1이므로 N/P가 16보다 크면 질소계 무기염류가 인산계 무기 영양염류류류보다 풍부하여 인이 식물성플랑크톤 성장의 제한요소가 되며, N/P가 16보다 작으면 질소가 제한요인으로 되는 것으로 일반화할 수 있다(Frank and Mary, 1992). 일반적으로 육상수계환경에서는 인이 미생물의 성장에 제한요인으로 작용하며, 온대지방의 해양환경에서는 질소가 제한요인이 된다.

해양연구소(1989)에 의하면 마산만은 전체적으로 N/P 몰비율이 해양 적정 원소비인 16을 크게 초과하고 있어 인이 제한인자로 작용한다고 보고하고 있다. 또한

앞장에서 살펴본 바와 같이 본 연구해역에서 내만해역의 경우 N/P비율이 외만해역보다 매우 높은 경향을 보이고 있으나 동계(冬季)의 경우 전 해역에 걸쳐 16이하의 값을 보여 하계(夏季)와는 다른 양상을 보이고 있다. N/P몰비로서만 판단한다면 하계에 내해역은 육수적(陸水的)인 성격을 가지고 하계 외해역과 동계 전해역은 순수해양적인 성격을 지닌다고 볼 수 있다.

특히 마산만은 육수적인 성격이 강한 지역이기 때문에 인을 규제해야 할 필요성이 높다. 이는 유기오염물질이 시간이 지남에 따라 자연 생태계내에서 미생물의 분해작용에 의해 정화되는 것과는 달리 인은 몇 번이든 퇴적될 때까지 광합성과정에 의해 유기물 증가에 이용되기 때문이다. 따라서 인을 규제하여야만 대상해역의 수질환경 개선을 얻을 수 있을 것이다.

한편 일본에서 총인, 총질소를 지정항목으로 규정하는데 걸림돌로 작용하였던 경제성있는 기술의 개발도 거의 완료된 상태로서 국내에서도 용인 등 몇몇 하수처리장에서 탈인,탈질시설이 시험가동중이다.

따라서 마산만에서 총량규제를 시행한다면, 지정항목의 선정시 적조발생시기 등을 고려하여 마산만의 하계(夏季)특성을 우선적으로 고려하여야 한다. 즉 총인을 우선적으로 지정항목으로 정해야 하며, 2차적으로 동계적 성격을 고려하여 총질소를 지정항목에 추가하여야 할 것이다.

3. 수질총량규제 실시수단

3.1. 직접규제

직접규제는 법규정, 행정명령, 또는 지시 등에 의해 강제력을 행사함으로써 사회적 가치의 실현을 방해하는 행위를 직접적으로 금지 또는 제한하는 방법이다. 직접규제정책은 기준, 승인(承認), 준수여부감시, 집행의 네 가지 행위로 구성된다. 첫번째로 중요한 요소는 기술수준과 성과기준을 근거로 하여 환경기준을 설정하는 것이다.

직접규제에는 여러 장, 단점이 있다. 우선 장점을 살펴보면 첫째, 이 방법은 환경당국이 규제조치를 취할 경우 오염수준이 얼마만큼 감소될 수 있는지를 예측할

수 있고, 둘째 사회적으로 바람직하지 못한 개인이나 기업의 행위를 금지할 수 있어 정치적 설득력이 강하다. 또한 직접규제는 모든 규제대상을 동등하게 취급하고 있다는 점에서 보편적인 형평성의 관념에 부합될 수 있다는 인식을 가져다준다. 셋째, 직접규제제도는 규제당국이 재량성(才量性)을 발휘할 수 있기 때문에 규제당국에 의하여 선호되는 경향이 있다.

반면에 단점을 살펴보면 첫째, 규제기준의 설정, 관련법규의 제정, 감시, 처벌 등이 모두 규제당국에 의하여 수행되기 때문에 오염물질 확인, 배출업소 지정, 배출량 결정 등에 상당한 양의 정보를 필요로 한다. 따라서 경제적 효율성의 증진이나 비용최소화, 혹은 환경목표의 달성을 이루기가 어렵게 된다. 둘째, 직접규제의 실효성은 기준 위반자에 대한 벌칙의 강도에 따라 좌우된다. 또한 벌칙의 강도는 기준이나 규칙위반행위의 적발 가능성과도 연관된다. 셋째, 일단 기준이 달성되면 환경개선기술을 혁신시켜 목표를 초과 달성하려는 유인(誘引)을 거의 제공하지 못한다는 단점을 지니고 있다.

3.2. 배출부과금제도

직접규제제도와 구별되는 또 하나의 환경규제제도는 시장유인적(市場誘引的) 규제제도라고 불리는 것으로 직접규제제도와 마찬가지로 개인이나 기업에 어떤 의무를 부과하기는 하되 기업이 자신의 경제적 판단에 따라 합리적으로 선택할 수 있는 여지를 부여한다. 직접규제제도가 통제적이고 경직적이며 규제효과가 직접적으로 나타난다고 하면, 시장유인적 규제는 유도적이고 신축적이며 규제효과도 간접적으로 나타난다.

대체로 배출부과금제도는 그 취지에 따라 경제적 최적화 배출부과금, 비용최소화 배출부과금, 그리고 규제행정상 배출부과금의 세 가지 형태로 변형되었다. 경제적 최적화 배출부과금제도와 비용최적화 배출부과금제도는 모두 오염물질 배출을 어떤 적정수준으로 억제한다는데 주목적을 둔다는 점에서는 공통적이다. 단지 전자(前者)가 환경오염의 사회적 피해를 최대한 반영하는 환경재의 가격을 통해서 목적을 달성하려는 반면, 후자(後者)는 환경목표를 최소의 처리비용으로 달성하기 위한 부과금을 통해 목적을 달성하려 한다는 것이다. 이에 반해 규제행정상의 배출부과금제도는 대체로 오염물질배출억제보다는 환경개선투자비 및 오염처리시설

운영비 조달(調達)에 더 큰 비중을 두는 편이다.

총량규제시 배출부과금 방법을 적용하는 의미는 행정당국이 처리해야할 오염물질 총량에 바탕을 둔 배출부과금요율을 정함으로써, 각 배출원이 스스로 이에 맞는 삭감률을 정한다는 것이다. 따라서 효율적인 오염제거기술을 가진 배출원은 오염물질을 많이 처리하게 되고, 오염제거기술이 발달하지 못한 배출원은 배출부과금을 납부하게 된다. 이때 행정당국은 지역의 오염물질 총량을 넘지 않게 하는 배출부과금요율을 정하는 것과 오염물질 모니터링에만 충실하면 된다.

직접규제제도와 배출부과금제도의 장단점을 요약하면 표 VI-3과 같다.

<표 VI-3> 수질규제제도의 장단점 비교

구분	직접규제제도	배출부과금제도
장점	· 결과예측이 쉬움 · 상태변화에 신속적으로 대처 가능	· 환경목표를 최소비용으로 달성가능 · 직접규제제도에 비해 윤리적 · 환경개선기술 개발 촉진 · 환경사업을 위한 재원 마련
단점	· 오염배출현황, 공정과정 등에 대한 많은 정보 필요 · 환경개선기술 개발 촉진에 대한 인센티브가 적음	· 실시효과가 신속하지 못하고 유동 · 부과금의 산정 및 징수에 많은 행정력과 행정비 소요 · 오염방지비용에 관한 많은 정보 필요 · 경제성장과 인플레이션이 있는 경우 적용이 어려움

4. 삭감량 배분방법⁷⁾

4.1. 일본의 삭감량 배분방법

총량규제 지정지역내 일정규모 이상(일평균배수량 50 m³이상)인 사업장에 대해서 종래의 농도기준이 의한 배출기준에 추가하여 총량규제기준이 적용된다. 여기

7) 원도윤 「총량규제시 효율적인 수질관리를 위한 삭감량 배분방법에 관한 연구」, 1992

서 총량규제기준은 지정지역내 사업장으로부터 배출되는 오염부하량에 대해 정하는 허용한도(許容限度)이다. 이때 총량규제기준은 다음 식에 따라 지정지역내 사업장마다 부여된다.

$$L = C_m \times Q_m \times 10^{-3} \quad (1)$$

L_m : 각 사업장에서 배출이 허용되는 1일의 오염부하량 (kg/일)

즉, 총량규제기준임

C_m : 지정지역내 사업장의 업종 등의 구분에 따라 지사가 정하는 일정의
COD값 (mg/l)

Q_m : 신고된 최대치 특정배출수의 양 (m^3 /일)

이를 자세히 살펴보면, C_m 값은 환경청고시로 업종별 구별에 따라 일정한 범위가 정해져 있는데, 이 범위 내에서 지사가 지역실정을 고려하여 정하게 되어 있다. 또 이 식에서 특정배출수(Q_m)라 함은 공정배출수(工程排水)를 의미하는 것으로 우수(雨水)처럼 사업활동이나 사람의 활동에 사용되지 아니한 물과 냉각수처럼 일과성(一過性)으로 쓰여져 오염부하량이 증가되지 않은 물을 제외한 나머지 양이다.

그리고 지정지역 내에 배출시설의 설치 등을 신고할 때에는 배수계통별 오염상태 및 양의 신고가 의무화되어 있는데, 이것에 의해 특정배출수의 오염상태 및 양의 통상(通常)의 값과 최대치가 제출된다. 위 식에서 Q_m 은 이 신고된 특정배출수 양의 최대치가 된다.

한편, C_m 은 C , C_0 , C_1 으로 구분되어 각각 상한치와 하한치를 두어 설정하는데, C_0 (증설된 사업장의 경우)의 하한치는 현재 가장 많이 보급되어 있는 처리기술, 평균적인 배수수질 실태 등을 감안하여 정한다. C_1 (신설된 사업장의 경우)의 하한치는 현재 실용화되어 보급되고 있는 처리기술중 COD제거효율이 가장 높은 처리기술을 감안하여 정한다. C , C_0 , C_1 의 상한값은 지자체에서 지금까지의 설정상황이나 배수수질 분포를 감안하여 설정한다.

이러한 방법은 총량규제기준이라는 허용기준을 설정하여 배출원으로 하여금 강제적으로 지키도록 하므로 직접규제식 성격을 띄고 있다.

4.2. 일정삭감률에 의한 방법

이 방법은 관심지역의 오염도가 다른 조건이 같다면 배출원에서의 배출량에 비례하므로, 이 지역의 오염농도를 목표치 이하로 낮추기 위해서는 배출량을 목표농도와 관심지점의 농도에 대한 비(比)만큼 줄이면 된다는 생각에서 출발한다. 따라서 배출허용량은 다음과 같게 된다.

$$p = C_s / C_g \quad (2)$$

위 식에서 p : 배출량 삭감률

C_s : 관심지점의 수질 목표치

C_g : 규제 이전의 관심지점의 농도

그러나 배출원 중에 총량규제의 대상이 되기 어려운 생활하수량은 규제량에서 제외되어야 하므로 결국 총량삭감률은 다음과 같이 되어야 한다.

$$r = 1 - (C_s - C_n) / (C_g - C_n) \quad (3)$$

여기서 r : 배출량 삭감률

C_n : 비규제대상 배출원에 의한 농도

그러면 오염농도가 목표치를 초과한 지점 가운데 계산된 r 값은 여러개가 될 것이며, 이 중 최소값을 대표값으로 하여 일률적으로 적용하면, 모든 지역에서 목표농도를 달성할 수 있다. r 의 최대치는 반드시 배출농도가 최대인 지점에서 발생하지는 않는다. 따라서 삭감률 r 은 아래와 같은 식의 형태를 띄게 된다.

$$r = 1 - p_{\min} = 1 - (C_s - C_n) / (C_g - C_n)_{\min} \quad (4)$$

그러나 “관심지점의 농도를 r 만큼 낮추어야 한다는 것”은 “이 관심지점에 영향을 미치는 모든 오염원의 배출량을 r 만큼 삭감해야 하는가”하는 문제가 발생한다. 보통 오염원의 오염물질 배출과 관심지점에 미치는 영향사이에 자정작용의 영향으로 반드시 일대일의 관계가 존재하는 것은 아니기 때문이다. 따라서, r · r' 만큼의 삭감만(削減)으로도 목표치를 달성할 수 있는 것은 r 만큼 삭감함으로서 r' 만큼 더 삭감하게 되어 사회적 비용이 증가하는 문제점을 가지고 있다. 따라서 일정삭감률

을 정하는 방법에도 좀더 경제적으로 효율적인 접근이 필요하다.

4.3. 배출량에 따라 삭감률에 차등을 두는 방법

이 방법은 소수의 대규모 오염원에 규제를 강화하고 소규모 배출원에 대해서는 삭감률을 줄이는 것을 취지를 하고 있다. 이 방법에서 각 업소에 할당되는 배출량은 다음과 같다.

$$Q_a = a \times Q^b \quad (5)$$

위의 식에서 a 와 b 는 1보다 작은 상수이다. b 가 1이면 일정삭감률에 의한 방법과 같은 방법이 된다. 이때 상수 a 와 b 의 결정방법이 중요하다. 오염원에서의 삭감률을 초과한 지점들에서의 농도 기여율(寄與率)에 비례하여 할당한다는 취지로 삭감량을 할당하면 다음 식과 같다.

$$Q - Q_a = k \times f \times Q \quad (6)$$

$$r = k \times f$$

여기서 k 는 상수, f 는 어느 목표치를 초과한 지점에서의 배출원별 기여도이다. 이 기여도 f 는 특정지점에 배출량에서 차이가 나는 오염원 여러개를 가상적으로 선정하여, 이 오염원들에 대해 수질오염 모델링을 함으로써 구할 수 있다. 기여도가 정해지면 우선 $k=1$ 로 가정하여 Q_q 를 구한 후 $Q_a = a \times Q^b$ 식에 근거하여 b 를 구할 수 있다. 이때 b 는 위 식 양변에 로그를 취하여 $(\ln Q_a)$ 와 $(\ln Q)$ 에 대해서 회귀분석을 하여 얻어진 기울기가 된다. 일단 b 가 정해지면 배출량은 Q^b 로 가정하여 농도를 예측한 후, 일정삭감률방법과 같은 방법으로 여전히 목표치를 초과한 지점 중에서 $(C_s - C_n) / (C_g - C_n)$ 를 계산하여 이 값의 최소치를 a 의 값으로 한다. 따라서 최종적으로 구해진 삭감률은 아래의 식과 같다.

$$r = Q - a \times Q^b / Q \quad (7)$$

이 방법도 일정삭감률방법에서 r 을 선정하는데 제기된 것과 같은 문제가 a 를 선

정하는 방법에 제기될 수 있다.

4.4. 최소삭감에 의한 방법

종래의 연구에서 가장 경제적인 총량규제기법으로 제시된 것이 최소삭감에 의한 방법이다. 최소삭감에 의한 방법은 선형계획기법을 사용하여 관심지점의 BOD 목표치를 초과하지 않는 제약 하에서 삭감되는 오염물질의 총량을 최소로 하는 것이다. 이 방법은 비용최소화라는 의도를 가지고 있으나 실제로 최소화되는 대상은 총삭감량으로 총삭감비용을 대상으로 할 경우와 상당히 다른 결과를 가져올 수도 있다.

선형계획법은 다른 계획법과 마찬가지로 목적함수와 제약식으로 이루어진다. (8) 식은 목적함수로서 삭감량이 최소가 되어야 함을 반영한 것이고, 제약식 (9)는 오염물질 배출로 인해 관심지역의 BOD 목표치를 초과하지 못하도록 하는 것을 보여준다. 제약식 (10)의 하한점(下限點)은 어떠한 오염원이라 할지라도 처리율이 0보다 적을 수 없음을 보여주며, 상한점은 기술의 한계점을 반영하는 것으로 경제적이고 기술적인 고려 하에서 가능한 최대의 삭감률을 의미한다.

$$\text{최소화} \quad Z = \sum_{i=1}^n FT_i \times X_i \quad (8)$$

$$\text{제약식} \quad \sum_{i < j} FT_i \times (1-x_i) \times d_{ij} + BOD_j \leq BOD_j^g \quad (9)$$

$$0 \leq x_i \leq x_u \quad (10)$$

위의 식에서

FT_i : i 지점에서의 총오염물 발생량 (BOD로 표시)

BOD_j^g : j 지점에서 BOD 목표치

BOD_j : j 지점에서 제어할 수 없는 BOD량

$i < j$: j 지점에 대한 상류에서의 배출 i

d_{ij} : i 지점에서 j 지점으로의 오염기여도

x_i : i 지점에서의 처리율

X_u : 경제적, 기술적인 고려 하에서 가능한 최대의 삭감률

지역적 배출허용량은 이렇게 계산된 업소별 배출량의 총계가 된다. 이때, 대규모 오염원들은 그 지역의 총배출량에서 차지하는 비율이 큰 만큼 오염농도에 미치는 영향이 크지는 않다. 이는 보통 오염농도가 목표치를 초과하는 지역은 주로 여러 배출원에 의한 중복효과가 큰 지역이 될 것이고, 그 지역에서의 1개 대규모 배출원에 의한 기여농도에는 한계가 있기 때문이다. 따라서 일정량의 오염농도를 줄이기 위해서라면 소규모의 배출원에서 보다 작은 삭감량으로 이를 달성할 수 있다. 그러므로 삭감량을 최소로 하는 선형계획법에서는 앞에서 언급한 삭감률에 차등을 두는 방법과는 반대로 소규모의 배출원의 규제에 편중(偏重)되게 된다.

이 방법은 지역 전체적으로 보아서 경제적이지만, 영세한 업소에 더 큰 삭감부담을 지워야 하므로 공평하지 못하고, 각 개개 업소별로 삭감부담이 다 달라지므로 시행이 어려운 단점을 가지고 있다.

4.5. 유달(流達)부하량에 비례한 삭감방법

이 방법은 각 배출원에서 오염부하량이 목표수역에 유달되는 양에 비례하여 삭감목표량을 할당하는 방법이다. 즉, 목표수역에 가까이 있거나 오염부하량이 많아 목표해역의 수질을 나쁘게 하는 배출원을 우선적으로 많이 삭감하자는 방법이다. 따라서, 삭감률은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$r = k \times a \quad (11)$$

위 식에서 a 는 배출원에 따라 목표수역에 이르는 유달율을 나타내고, 이 식을 만족하는 k 를 구하면 삭감률이 결정된다. 목표수역의 오염물질 부하량 중 각 배출원에 의한 비율을 b_i 라 했을 때 각 배출원별로 삭감하여야 할 양은 다음 수식을 만족시키는 값이 된다.

$$\Delta L_i = k \times b_i \quad (12)$$

$$\sum k \times b_i \times a_i = \Delta M \quad (13)$$

여기서 ΔL_i 는 배출원별로 삭감해야 할 양을, b_i 는 유달부하량 중 각 오염원별

비율로 표시한다.

5. 대상지역의 총량규제 방안

5.1. 총량규제의 절차

총량규제 실시는 크게 계획단계와 실시단계의 두 가지로 나눌 수 있다. 계획단계에서는 규제 실시지역, 대상오염물질, 지역환경용량, 총량규제 실시수단 등의 결정이 필요하다. 대상지역의 범위에 따라 허용배출량이 결정되기 때문에 대상지역의 선정이 첫 번째로 필요하며, 규제에 의하여 대상지역 전체에 효과를 거둘 수 있는 오염물질의 선정(選定)이 그 다음으로 필요하다. 총량규제의 범위와 대상항목이 정해지면 그 지역의 환경용량을 산정해야 하는데, 실질적으로 정확한 과학적인 계산은 어려우므로 현재 사용되고 있는 환경기준과 같은 목표기준에 따라 대체환경용량을 설정하여 허용한도량을 결정할 수 있을 것이다. 그리고 수계내의 생태계의 변동에 따라 이 기준을 상, 하향시킴으로서 경험적으로 환경용량에 접근시키는 것도 한 방법일 것이다. 그 다음은 총량규제 실시수단의 선택이 필요하다.

5.2 마산만에서의 총량규제의 방향

지금까지 대상 해역에서의 수질오염 실태(實態)와 오염부하량 현황, 환경기초시설 가동(可動) 실태, 규제대상 오염물질의 선정 및 삭감부하량 산정방법 등을 살펴 보았다.

‘96년 현재 전체 BOD 일일(一日)부하량이 58,072kg이며 그중 생활하수에 의한 오염부하량이 48,214kg/일로 전체 부하량중 82%를 차지하고 있으며, 산업폐수에 의한 부하량은 전체 부하량의 11%인 6,138.5kg/일로 나타났다.

2001년에는 BOD 전체 부하량이 53,044.3kg/일로 덕동하수처리장의 증설에 힘입어 약간 감소할 것으로 추정된다. 생활하수에 의한 부하량은 42,067kg/일로 전체 부하량중 79%의 비중으로 ‘96년에 비해 감소될 것으로 보이나 산업폐수의 의한

부하량은 그 비중이 13%로 약간 증가한 6,783kg/일로 추정(推定)된다.

그 결과 마산만에서 특히 마산시 및 창원시에서 배출되는 오염부하량중 생활하수에 의해 배출되는 오염부하량이 큰 비중(比重)을 차지하고 있는 현재의 단계에서는 생활하수에 의해 배출되는 오염부하량을 저감시키는 것이 효과적인 것으로 보인다.

즉 우리의 실정에서는 산업폐수에 중점을 두고 있는 미국에서 시행된 총량규제보다 생활하수 저감에 중점을 둔 일본에서 시행하고 있는 총량규제의 형태가 더욱 적합하다고 할 수 있다.

5.3. 총량규제 시기와 규제대상의 선정

위에서 본 바와 같이 마산만 유역은 육수적인 성격이 강하고 만성적으로 발생하는 적조를 방지하기 위해서 영양염류류류 특히, 총인의 규제가 필요하다. 그러나 총질소 및 총인을 포함한 총량규제의 실시 시기의 선정에는 많은 문제점을 내포하고 있다. 그 문제의 첫 번째로써 하수종말처리장의 고도처리(高度處理) 미흡이다. 비록 1999년에 표준활성오니법의 50만톤 규모의 하수종말처리장을 증설할 계획이나 표준활성오니법에 의해서는 질소 및 인의 처리효율이 30% 이내로써 마산만의 적조 등 악성적인 환경피해를 복원하기에는 역부족이기 때문이다. 따라서 현재 용인 등지에서 시험가동중인 고도처리기술을 도입해야 할 것이다. 현실적으로 예산의 확보와 건설기간 그리고 추가비용을 감안하면 단시일의 고도처리 시설완비가 불가능하다. 따라서 예산문제와 추가 건설시기 등을 감안하여 입법예고를 한 후에 적절한 유예기간을 두어 철저한 사전준비와 총량규제에 대한 계획이 완비(完備)되면 총인 및 총질소에 대한 총량규제제도가 시행되어야 할 것이다.

또한 규제대상을 살펴보면 우선 점오염원을 대상으로 실시하는 것이 현재의 실정에 적합하며 점오염원중 생활하수와 산업폐수에 의한 부하량을 삭감시키는 것이 중요한 과제이다.

생활하수에 의한 부하량 삭감은 적절한 하수관거와 하수종말처리장의 운영으로 시행되어야 하고 산업폐수에 의한 총량규제의 실시는 표 VI-4에서 보는 바와 같이 1종의 업소가 전체 산업폐수 부하량중 70%이상이며 기타 다른 업종의 경우 오염물질별로 다르지만 2~10%의 책임비율을 가지는 것을 감안할 때 초기에는 1종이

상의 대형업소를 대상으로 총량규제를 실시하는 것이 바람직하다.

따라서 규제초기에는 생활하수와 1종 이상의 대형업소의 산업폐수를 대상으로 총인과 총질소의 부하량을 삭감할 수 있는 총량규제 방안을 실시하는 것이 바람직하다.,

<표 VI-4> 업종에 따른 산업폐수 부하량(1995년 기준)

오염물질		총부하량	1종업소	2종업소	3종업소	4종업소	5종업소
BOD	kg/d	6138.5	4808.3	492.0	425.4	270.1	142.7
	%	100	78.3	8.0	6.9	4.4	2.3
COD	kg/d	6705.5	5209.0	553.5	478.6	303.8	160.6
	%	100	77.7	8.3	7.1	4.5	2.4
T-N	kg/d	3401.8	2404.1	369.0	319.1	202.6	107.0
	%	100	70.7	10.8	9.4	6.0	3.1
T-P	kg/d	453.6	320.6	49.2	42.5	27.0	14.3
	%	100	70.7	10.8	9.4	6.0	3.1

주 : 비율은 총부하량에 대한 각 업종의 산업폐수부하량의 비율

비점오염원(토지이용과 축산업에 따른 부하량)에 대한 규제(規制)는 추후 연구에 의해 그 실시시기와 대상을 정해야 할 것이다. 현재는 비점오염원으로부터의 정확한 부하량의 산정이 어려운 편이고 오염물질 처리기술도 전무(全無)한 상황이기 때문이다.

지하수와 표면수에 영향을 주는 비점오염원(non-point source)은 점오염원과는 달리 산재된 오염원으로부터 나오므로 오염이 쉽게 목격되지도 않으며 오염원으로 크게 부각되지도 않는다. 그리고 오염저감을 위한 목표를 항상 정량화할 수 있는 것도 아니어서 규제에 많은 어려움이 따른다. 법적 규제만으로는 비점오염원에 대한 통제가 쉽지 않은 관계로 가정, 사회, 농장, 산림 및 건설현장 등에서의 지속적인 교육과 계몽(啓蒙)활동으로 비점오염원의 배출을 최소화하는 노력이 뒤따라야 할 것이다.

마산만 유역에서 추정된 축산폐수에 의한 부하량은 1,672kgBOD/일(1996년 기준) 정도로 전체부하량의 3%를 차지하며, 총질소는 일일 401kg의 부하량을 보이며 전체 부하량의 3%정도를 차지하고 있다. 축산폐수에 의한 부하량은 차후 축산폐수 공동처리장 등의 건설로 인하여 2000년대에는 점차 감소될 것으로 보고 있으나(환

경부, 1992), 총인의 경우 '96년 423.5kg/일로 전체 총인부하량의 13%정도를 차지하고 있고 2001년에는 18%정도의 비중을 차지할 것으로 보인다. 따라서 생활하수와 산업폐수의 총인 부하량을 삭감한 후 산업폐수에 대한 총량규제가 실시되어야 할 것이다.

마산만 유역에서의 토지이용에 따른 오염부하량은 그 비중이 다른 오염원에 비해 극히 작으며 BOD의 경우 3~4%, 총질소의 경우 2~3% 정도만을 차지하고 있어 총량규제 시행초기에는 특별한 삭감계획이 필요하지 않을 것으로 보인다.

기타 비점오염원에 의한 부하량 역시 효과적인 소규모의 발생원개념(發生原概念)의 처리과정을 시행한다면 점차 삭감될 수 있을 것으로 보인다. 그러나 아직은 계획단계에 머물러 있어 중앙정부 및 지방자치단체들의 적극적인 호응과 관심이 극대화되어야 할 것으로 보인다.

5.4. 오염배출원 규제의 효율성

배출규제가 효과적으로 이루어지려면 항상 규제내용의 이행여부에 대한 적절한 감시 및 통제가 뒤따라야 한다. 그러나 우리나라에서는 '92년도 배출업소에 대한 지도, 점검회수가 1개 업소당 평균 1.8회정도 밖에 되지 않을 정도로 예산, 인력 등의 부족으로 효과적인 감시가 이루어지지 못하고 있다(과학기술자문위원회, 1992). 또한 지도 점검방식도 배출시설 및 방지시설의 적합성 여부 등에 대한 시설점검에까지는 미치지 못하고 있으며, 주로 방지시설을 거쳐 배출하는 오염물질의 시료채취 및 분석에만 의존하고 있는 실정이다. 이러한 상황에서는 규정내용을 이행하는 것보다는 오히려 규제내용 미이행(未履行)에 대한 처벌을 받는 것이 유리한 상황이 조성될 가능성이 높다고 할 수 있다. 따라서 감시인력도 적고 매일 배출업소를 감시할 수도 없는 현실정에서는 폐수 배출행위가 범죄행위라는 인식하에 강력한 제재조치를 강구하여야 한다. 결국 아무리 총량규제에 대한 계획이 철저하다 해도 효과적인 감시와 규제가 뒤따르지 않는다면 각 기업들이 오염량 삭감보다는 불법방류(不法放流)나 벌금을 선호하여 목적하였던 수질개선을 이룰 수는 없는 것이다.

감시망(監視網) 구축에 대해서는 비교적 많은 자동분석기기가 국산화되어 가고 있는 추세이므로 조만간 해결할 수 있는 문제점으로 사료된다. 사전에 대상해역에

대해 충분한 환경학적 조사가 이루어진 후 감시대상지역을 충분히 포함할 수 지역에 자동감시망 체제(體制)를 구축함으로써 비용, 효율적인 면을 극대화 할 수 있으리라 사료된다.

6. 총량규제제도의 합리적 추진 방향

우리나라에서는 어떤 제도나 법률이 신중한 검토나 사전준비없이 전격 실시됨으로써 원래 의도되었던 목적을 충분히 달성하지 못한 사례가 많이 있다. 환경관리 부문에서도 마찬가지였음은 물론인 바, 우리는 '95년 시행된 쓰레기수거 종량제에서도 철저한 사전준비없이 시행된 제도가 잉태(孕胎)하는 갖가지 문제점을 충분히 확인할 수 있었다.

총량규제의 도입을 검토하면서 쓰레기수거 종량제에서 얻을 수 있는 교훈으로 가장 중요한 것은 이처럼 사전준비(事前準備)가 철저히 시행되지 않고서는 충분한 환경개선 효과를 볼 수 없다는 것이다.

총량규제 제도는 그 제도 자체만으로 본다면 기존의 배출허용기준에 의한 규제보다 진일보한 대안(代案)임에 분명하다. 그렇지만 우리나라의 제반사정을 고려할 때 당장은 기대되는 성과보다 시행에 따르는 부작용이 더 클 수 있다. 총량규제를 실시하는데 따르는 문제점으로 다음과 같은 사항들을 들 수 있다.

첫째, 현실적으로 자연적 환경용량(環境容量)의 산정이 곤란하기 때문에 환경기준을 토대로 해서 수학적 모델링 등에 의한 방법으로 배출허용 용량을 산정해야만 하는데, 이 경우에 환경기준이 과연 합리적인가 하는 문제, 환경용량 산정방식의 타당성 문제 등이 해결되지 않으면 규제 자체가 곤란하다.

둘째, 목표로 하는 배출삭감량(排出削減量)을 각 오염자들에게 공정하게 할당하기 위해서는 개별 오염자에 대한 정확한 오염배출 정보와 합리적인 할당기준이 요구되지만 현재로서는 이러한 정보를 관리할 능력도 준비되어 있지 않은 상태이다.

셋째, 각 오염자가 오염물질 배출량을 삭감하기 위해서는 많은 경비(經費)를 투자해야하고 공공부문에서도 충분한 경비의 뒷받침이 있어야 하지만 이러한 재원의 조달(調達)이 현실적으로 용이하지 않다.

넷째, 각 오염원들에서 배출되는 오염물질 부하량을 상시(常時) 감시할 수 있는

기술과 장비의 개발이 아직은 미흡하며 이 제도 실시를 위한 전문인력의 확보도 용이하지 않다.

이러한 문제들은 많은 인력과 비용이 추가되어야 하므로 총량규제 제도의 본격적인 도입의 장애물임에는 틀림없다. 그러나 현재의 환경재해는 날로 심각해지고 있는 상황에서 무한정 기다릴 수 있는 문제이다. 따라서 총량규제 실시에 대한 입법예고를 통하여 투자에 대한 인센티브를 줌으로써 일정기간 준비할 수 있도록 하는 것이 바람직하다.

위와 같은 연구에 의해 마산만 유역에서는 생활계, 1종이상의 폐수배출 산업체에 대하여 총인 및 총질소를 대상오염물질로 하는 총량규제가 실시되어야 할 것으로 보이며, 다음과 같은 방법에 의해 대상해역에 대한 총량규제가 실시되는 것이 바람직하다.

먼저 대상해역, 대상지역 및 대상항목은 공청회(公聽會), 환경전문가 및 지방자치단체장과의 협의에 따라 환경부장관⁸⁾이 지정해야 하며 연안역인 점을 감안하여 해양수산부와의 협조체제가 필요하다. 또한 지방환경청과 자치단체장과의 협의를 통해 지정수역별로 총량삭감의 기본방침을 설정한다. 기본방침중에는 지정수역의 발생원별 삭감량, 지정지역내 지역별 오염부하량 삭감량 및 삭감방안 등이 포함되어야 할 것이다.

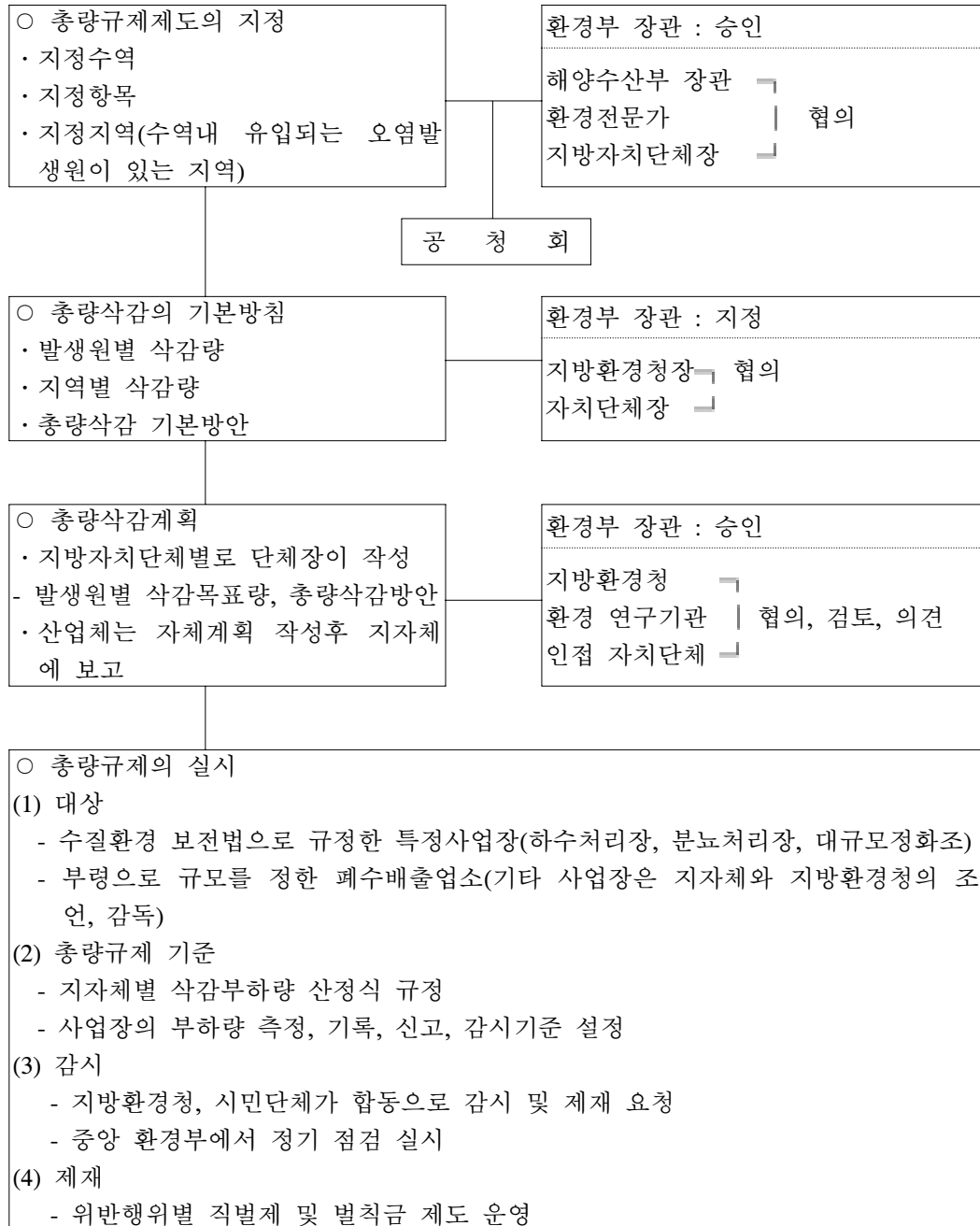
지정된 지역에서는 지방자치단체장이 환경연구기관과 지방환경청의 조언과 지도를 받아 각 지자체의 실정에 맞는 생활하수의 총량삭감계획을 수립하고 산업체에서는 각 생산공정과 원료의 사용 및 폐수발생량에 따라 적절한 총량삭감계획을 지방자치단체장과 지방환경청장에게 제출하여 검토를 받아야 할 것이다. 단, 폐수배출업소중 그 부하량의 비중(比重)에 따라 어느 정도까지의 업소를 대상으로 할 것 인지를 규정하여⁹⁾ 대상업소 이외의 폐수배출업소에 대하여는 지방환경청과 자치단체에서 공동으로 관리하고 폐수배출에 대한 삭감방안에 대한 조언 및 지도를 실시해야 할 것이다.

계획된 총량삭감계획에 따라 지방자치단체 및 산업체에서 실시되는 총량삭감 실행은 지방환경청에서 정기적으로 감시와 지도가 따라야 한다. 하수종말처리장, 분뇨처리장 및 폐수배출업소를 대상으로 오·폐수배출량과 대상항목의 오염부하량의 총량규제기준의 준수여부, 측정치에 대한 신고와 기록의 준수여부 등에 대하여 철

8) 현재 특별관리해역의 관할부서는 해양수산부이나 기타 육지에서의 총량규제 등과의 연관성을 고려할 때 환경부장관이 지정하는 것이 바람직함.

9) 마산만유역에서는 1종이상의 폐수배출업소로 그 대상을 규정하였음

저한 감독과 감시를 실시하고 미이행된 부분에 대해서는 법적으로 직벌제나 벌칙금의 형태로 제재가 가해져야 할 것이다. 또한 감시체제에는 시민환경단체 등이 참여토록 하여 주민의 참여를 통한 민주적인 환경행정을 이루는 것이 바람직하다 (그림 VI-2).



<그림 VI-2> 우리나라 수질총량규제제도의 흐름도

VII. 마산만 유역의 오염부하량 삭감방안

총량규제제도를 시행함에 있어 주요 삭감방안의 대상이 생활하수이므로 지방자치단체 차원에서의 환경기초시설의 확충과 부분별 수질보전방안 등이 수립·실시되어야 할 것이다.

따라서 본 장(章)에서는 총량규제 시행시 지자체에서 오염부하량 삭감을 위해 시행해야 할 사항들을 제시하고자 한다.

1. 환경기초시설의 확충

수질환경 오염물질의 배출을 효과적으로 억제하기 위해서는 기술적인 측면 뿐만 아니라 복잡한 환경오염현상의 과학적인 규명 및 환경기준과 배출기준의 설정 등을 통한 법적, 행정적인 규제측면, 그리고 효과적인 관리를 위한 관련분야의 기술 지식이나 환경자료들을 연계시키는 정보시스템과 이를 이용한 오염물질 처리공법 선정시스템 구축이 필요하다.

우리나라는 지금까지 거의 대부분 대도시를 위주로 1일 10만톤이상 규모의 처리장이 건설되어 왔으며, 그 처리공법 또한 1차처리 혹은 표준활성슬러지법이 주종을 이루어 왔다. 그러나 가정 및 소규모 사업장 등과 같이 오염물질 발생원이 낮은 밀도로 존재하는 중소도시나 농촌지역에 대도시형의 대규모 집중처리 방식인 하수관망을 보급시키는 것은 사회, 경제적 비용을 고려할 때 용이한 것이 아니며 오히려 비현실적이다. 최근에는 소규모 하수도, 부락단위 오수처리시설 그리고 생활하수의 단독처리 등에 따라 다양한 처리기술 개발이 추진되어지고 있다. 그러나 이들 기술개발은 개개의 처리수질을 개선하는 것을 목적으로 하므로 각각의 처리기술에 대해서만 검토되고 있을 뿐 어떤 지역이나 수역의 물 이용형태 등 지역특유의 조건을 반영한 처리방식에 대한 기술적, 사회적·경제적 검토는 이루어지지 않고 있다.

따라서 지역특성에 적합한 처리공법의 선정을 위해 오염원 및 배출규모별 처리

공법의 특성, 지역특성, 수질환경 관련 데이터베이스, 수질예측 관련인자 등이 연결된 Network System을 구축해야 할 필요성이 있다.

1.1. 하수종말처리시설의 확충

1.1.1. 하수종말처리시설의 설치 확대

환경부 계획에 의하면 2000년까지 전국 연안지역을 대상으로 하수처리장 63개소를 설치하고 현재 하수처리율 23%를 63%로 제고(提高)할 예정이다. 특히 특별관리해역내에서는 이러한 처리장이 단기간에 완성될 수 있도록 정부차원의 과감한 투자가 필요하다.

그러나 문제는 재정 및 정치행정적 어려움이 많아 설치계획상 차질이 크다는 점이다. 우선 중앙정부 재정의 한계, 환경세(環境稅) 도입의 어려움, 지방정부 재정의 취약 등으로 투자재원조달에 애로가 있다. 또 혐오시설로 인식한 주민들의 반대 때문에 지방자치단체의 고유업무임에도 불구하고 정책우선순위가 낮다.

그러므로 중앙정부는 적극적으로 지방자치단체로 하여금 하수종말처리장을 비롯한 환경기초시설을 설치·운영하도록 유도해야 한다. 그러나 현행 법령에는 지방자치단체로 하여금 환경기초시설을 설치하고 운영하도록 적극적으로 유도하도록 하는 메카니즘이 미흡하다. 따라서 지방자치단체로 하여금 환경기초시설을 촉진시키기 위한 방법으로 다음의 몇 가지 방안을 생각할 수 있다(정희성·이송호, 1995).

첫째, 환경기초시설의 설치와 운영에 소극적인 지방자치단체에 경제적인 불이익을 주는 방법을 생각할 수 있다. 이에는 환경기초시설의 설치운영과 정부의 개발보조금을 연계시켜 환경기초시설의 설치를 기피하거나 운영관리를 태만히 하는 지방자치단체에 대해 국고보조금을 삭감하는 것이다.

둘째, 환경기초시설의 설치를 집단화하는 것도 이의 설치운영을 용이하게 할 수 있는 방법이 될 수 있다. 이 방법은 동일지역에 하수, 분뇨, 공단폐수, 폐기물 처리시설 등을 가능한 한 통합 설치하는 방법이다. 이 방법은 넘비현상에 의한 주민반대에 대처하고 설치·운영상 능률을 기할 수 있는 수단이 될 수 있다.

끝으로, 환경기초시설의 주변지역에 대한 지원을 늘리는 것이다. 현재 폐기물처리시설 주변지역에 국한되고 있는 각종 복지 및 편의시설의 설치에 대한 지원을

폐기물 처리시설이외의 환경기초시설에도 확대 적용하는 방안이다.

1.1.2. 탈인, 탈질 시설의 설치

환경기초시설을 확충함에 있어 해양환경 보전측면에서 우선적으로 고려되어야 할 사항은 부영양화의 방지를 위한 질소 및 인의 제거로써 '96년부터 시행되는 배출수의 처리기준은 질소의 경우 60mg/l, 인은 8mg/l로 되어 있다¹⁰⁾. 그러나 이러한 기준은 육상에서 어떤 처리를 하지 않더라도 배출기준에 부합될 수 있는 수준으로서 실제 해양의 적조를 방지하기에는 적당한 기준이 아니다. 따라서 해양적조를 예방할 수 있는 차원에서 강력한 배출규제기준을 마련하고 질소·인 처리시설을 설치해야 할 것이다.

그러나 현 시점에서 질소 및 인의 처리가 간단하지는 않다. 일단 기존 처리시설에 탈질소, 탈인처리시설을 설치하려면 기존 설치비용의 40% 이상의 추가재원(財源)이 요구되므로 재원확보에 문제점이 많다. 또한 현재의 질소 및 인의 처리기술이 국산화가 되어 있지 않아 기술개발과 상용화에 투자가 있어야 할 것이다.

선진 외국에서는 하수의 질소와 인을 제거하기 위하여 이미 십여년전부터 A/O, A²/O, UCT, MUCT, VIP 등의 각종 공법(工法)을 개발하여 실운전중인 공정도 다수에 이르고 있으며, 국내에서도 이러한 공정을 도입하여 설계에 반영하려는 움직임도 보이고 있다. 그러나 선진 외국의 공법은 국내의 하수성상(下水性狀)에 맞지 않아 우리의 실정에 맞는 공법의 개발이 절실하다고 하겠다(박철휘 외, 1996).

한편, 총인과 총질소를 제거하는 기술은 국내에서는 현재 인과 질소를 동시에 제거할 수 있는 생물학적 처리방법을 개발하고 있고, 여기에는 총인과 총질소를 제거하는 공정이 기존의 활성슬러지처리 주공정에 포함되는지 아니면 일종의 보조 공정으로 포함되는지 여부에 따라 Main stream 방법(예; DNR 공정¹¹⁾)과 Side stream 방법(예; P/L 공정¹²⁾)으로 크게 구분하고 있다. 전자의 경우 제거효율이 질소

10) 청정지역에서의 배출기준은 질소 30mg/l, 인 4mg/l이다.

11) DNR(Daewoo Nutrient Removal) 공정 : 혐기성 미생물을 보유하는 혐기조와 탈질 미생물을 보유하는 무산소조 및 질산화와 인흡수반응의 효율을 증가시키는 호기조로 구성되어 질소 및 인을 동시에 제거하는 기술

12) P/L(Phostrip / Lime) 공정 : 생물학적 처리와 화학적 처리를 혼용하고 최초 혹은 최종침전지에 lime을 첨가하여 질소 및 인을 처리하는 기술

는 75~85%이고, 인은 80~90%로 알려져 있다. 후자의 경우 제거효율은 질소는 약 90%, 인은 약 63%로 평가하고 있다. DNR 공정의 설치비와 운영비가 P/L 공정보다 적게 드나 현재 기술수준으로는 P/L 공정이 이용가능한 것으로 알려져 있다(김승우, 1995).

1.1.3. 하수종말처리시설의 입지 선정

적합한 하수처리시설을 선정하기 위해서는 먼저 방류수역의 수질 및 용수 이용상의 기준에 의하여 정해진 허용 오염부하량으로부터 유입하수의 처리정도를 결정하고, 방류수역(放流水域) 수질기준 및 용수 이용상의 기준 등을 대상지역의 특성에 따라 그 지역의 처리등급을 결정한다. 일반적으로 환경기준을 만족할 수 있는 2차 처리가 가능한 처리시설이 주로 채택되지만 호소(湖沼)나 폐쇄성해역에 대해서는 적절한 영향물질의 처리시설을 고려해야 한다.

처리시설의 선정(選定)은 유입하수량과 수질의 부하변동, 방류수역의 유량 및 용수이용현황, 처리장 규모 및 입지조건, 유지관리상의 조건, 경제성 등의 제반요소를 고려하여 결정한다. 즉 이를 만족하는 여러 가지 대안들중 지역특성별로 처리규모, 입지조건, 유지관리정도 등의 요소에 대하여 적절한 기준을 설정함으로써 대상지역에 가장 적합한 방식을 선택한다(문현주, 1995).

폐쇄성이 큰 연안해역에서 하수처리시설을 설치하고 그 처리수를 연안에 방류할 경우 유기물 등의 집중적인 유입으로 해양의 부영양화가 전보다 더욱 활발해질 수 있다. 따라서 먼 외해까지 방류관(放流管)을 건설하여 방류해야 이러한 단점을 보완할 수 있게 된다.

1.2. 환경기초시설의 재원 확보

환경기초시설 설치를 유도하기 위한 여러 방법을 고려할 수 있으나 가장 중요한 문제는 재원확보이다. 우리나라의 시·군중 재정자립도가 50%미만인 곳이 전체 시군의 68.6%나 되어 지방자치단체의 능력이 매우 부족하다고 볼 수 있다. 현재 환경기초시설 설치에 대해 국고보조를 실시하고 있으나 나머지 지방분담금(分擔金)

조차 확보가 어려운 실정이며 지방자치단체들은 한정된 자원을 세수증대(稅收增大)를 가져올 수 있는 개발사업에 투입하려는 경향을 보이기도 한다(정희성, 이송호, 1995).

따라서 환경기초시설의 설치·운영을 위한 기초자치단체의 재원확보를 위한 대안들을 적극적으로 개발해야 한다. 이에는 다음의 몇 가지 방안을 고려해 볼 수 있다.

첫째, 새로운 세원(稅源)을 발굴하는 방안이다. 지방세 중 도시계획세 및 공동시설세의 일부를 한시적 목적세의 형태로 염출(廉出)하여 환경기초시설의 설치비로 활용하는 것을 고려할 수도 있고 한시적인 환경세의 도입을 생각할 수 있다.

둘째, 처리시설의 사용료를 인상하는 방안이다. 환경기초시설의 설치·운영 비용에 비해 사용료가 현저히 낮게 책정되어 자기부담(채산성)이 타 공공서비스에 비해 낮은 편이다. 예를 들어 전기요금의 채산성(採算性)은 100%이나, 하수도 요금은 41.10%(1994년 기준), 쓰레기 요금은 59.8%(1995년 20ℓ 쓰레기 봉투값 기준)밖에 안된다. 환경기초시설의 사용료를 적정수준으로 인상하여 채산성을 맞추면 환경기초시설의 설치·운영이 촉진될 것이다.

셋째, 중앙정부의 재정지원을 확대하는 방안이다. 재정자립도가 낮은 지방자치단체의 경우 설치비 전액을 중앙부담으로하거나 획일적으로 조정되어 있는 설치비 부담률을 다원화하는 것이다.

<표 VII-1> 환경기초시설에 대한 투자비 부담율 현황

(단위 : %)

구 분	국고	양 여 금	지 방 비	민 간	비 고
도시하수처리장	-	50	50	-	도청소재지
	-	70	30	-	시 · 군
소도시하수처리장	-	70	30	-	시 · 군
공단폐수처리장	-	-	-	100	
농공오·폐수처리장	30	-	-	70	일반지원
	50	-	-	50	추가지원
	70	-	-	30	우선지원
축산폐수처리장	70	-	30	-	
분뇨처리장	100	-	-	-	
	-	100	-	-	농어촌지역
하천정화사업	-	70	30	-	시 · 도

자료 : 환경개선중장기 종합계획, 환경부, 1996

또한 환경기초시설에 대해 공사화(公社化)를 추진하여 지방자치단체의 취약한 재정능력과 행정관리능력을 보완할 수 있으며, 민간경영인에 의한 위탁관리를 시도해 보는 등 다양한 환경기초시설 확충방안을 제고할 수 있다.

그러나 문제는 중앙정부가 기존에 많은 환경재정을 부담하고 있음에도 불구하고 더 이상의 투자로서 자치단체의 환경문제가 해결되리라는 보장이 없다는 것이다. 또한 환경의 추가적 개선을 위하여 환경지출(環境支出)이 기하급수적으로 증가해야 하고 이에 따라 자치단체 환경재정이 더욱 중앙정부에 의존하게 된다. 이미 환경투자(環境投資)에 사용하고 있는 부문에 대하여도 지역 경제 다른 부문에 투자하여 오히려 환경투자를 하여 환경이 개선된 만큼 더 오염을 발생시키는 결과를 낳을 수도 있다. 결국, 기존의 중앙정부 중심의 환경지원정책은 성공할 수 없을 뿐 아니라 자치단체의 환경재원 의존도 상승, 중앙정부 환경예산의 효율성 저하를 낳게 된다.

따라서 중앙정부의 자치단체 지원(支援)방식은 일정의 원칙에 입각하여 엄격히 적용되어야 한다. 그리고 자치단체간 환경이해(環境利害) 당사자간 조정 및 지원방식으로서 단체의 예산구조가 언제나 환경조정에 대하여 합리적으로 보조에 필요한 자금을 확보할 수 있도록 조정되어야 한다. 따라서 중앙정부는 자치단체가 예산구조를 이러한 방향으로 확립할 수 있도록 기존의 환경관련제도를 변화시켜야 한다. 즉, 그들이 자치단체간 보조금을 확보할 수 있도록 환경오염자부담금 혹은 요금인상 등을 통하여 환경예산의 증대와 함께 환경재정의 외부의존도(外部依存度)를 낮추어야 한다(김원식, 1995).

기존의 중앙정부 보조금은 오히려 자치단체의 노력 없이 환경오염의 실질적 비용을 떨어 뜨려서 환경오염의 유발(誘發)을 증대시킨 측면이 있다. 따라서 정부의 보조금을 자치단체 환경기금에 대한 각출(釀出)의 형태로 전환해야 할 것이다.

1.3. 하수관거의 확충 및 시설정비

1.3.1. 하수관거의 현황

우수배제를 주목적으로 하여 설치되어온 하수관거는 하수처리장 건설과 병행하여 개제, 신설되어야 하나 막대한 시설비 소요와 거미줄처럼 얽힌 지하매설물을

파해쳐야 하는 시공상의 난점과 지방자치단체의 재정부담능력부족 등으로 체계적인 정비가 이루어지지 못하고 있다.

1994년말 현재 마산만 유역의 마산시와 창원시의 하수관거 현황을 보면 총 매설 연장 가운데 27.6%만이 오수관거로 되어 있으며(표 VII-2), 하수관망 체계의 미비로 관거내로 흐르는 하수가 지하로 침투되거나 지하수가 하수관내로 역류함으로써 건기(乾期)에는 설계하수량보다 적은 양이 하수관거내를 흐르고 우기(雨期)에는 설계하수량보다 많은 양이 흐르게 된다. 또 지하수의 유입으로 하수처리장 유입하수의 유기물 농도가 낮아져 하수처리율이 떨어지고 있다.

<표 VII-2> 마산만 유역의 하수관거 현황

(단위 : m)

구 분	계획연장	시 설 연 장			비고
		계	오수관거	우수관거	
계	2,188,952	1,943,371	536,755	1,406,616	계 획 연 장 은 2001년 목 표 임
마산시	1,003,200	775,045	240,989	534,056	
창원시	1,185,752	1,168,326	295,766	872,560	

자료 : 하수도 통계, 1995, 환경부

1.3.2. 하수관거시설의 정비 및 확충

본격적인 하수처리장 건설과 함께 하수관거정비가 병행되어야 하나 현재 하수처리장 건설비에 대한 중앙정부의 지원은 크게 낮은 수준이다. 지방정부는 빈약한 지방재정 형편상 하수관거 정비에 적정 투자비를 배분하기는 극히 어려운 상황이다.¹³⁾

하수도사업은 하수도 사용료를 합리적으로(구조(構造) 및 수준(水準)) 조정함으로써 하수도사업에 필요한 재원을 자체 조달할 뿐만 아니라 하수배출자에게 하수배

13) '96년에는 환경개선 특별회계를 이용한 하수관거보급 용자사업을 일시적으로 시행하였으나 지방양여금과 환특용자금에 의한 국비지원율이 21.6%의 낮은 수준이었고, '97년 부터는 지방양여금의 하수관거사업에 대한 배분비율이 33/100으로 증가하여 이 문제를 다소 해소하게 되나 하수관거의 노후·파손 및 보급율을 감안할 때 아직도 크게 불충분한 수준임.

출 및 배제(排除)에 따른 비용신호를 올바르게 전달함으로써 합리적인 하수배출을 유도할 수 있다.

그러나 경남, 전남의 하수도 시설이 열악한 현실에서 신속한 대규모 투자의 필요성을 감안하여 초기투자를 위한 재원조달 방안이 마련될 필요가 있다. 하수도 사업의 초기투자 재원조달을 위한 대안은 하수도 사업이 사용료를 통한 재정자립을 원칙으로 한다고 할 때 보조금 지원보다는 재정융자나 채권발행 등 상환을 조건으로 하는 재원조달방안이 바람직할 것으로 보인다(문현주, 1995).

또한 지상에 노출된 건축물이나 시설물과 달리 지하에 매설되는 하수관거는 부실하게 시공될 가능성을 안고 있다. 따라서 '93년 2월 제정된 「하수도공사 시공관리지침」에 따라 엄격한 시공공사와 검사가 필요하다(곽결호, 1995).

1.4. 기타 환경기초시설의 확충

1.4.1. 축산폐수처리장

일부 대규모 축산농가(허가, 신고시설)를 제외한 대부분의 농가는 영세농 또는 부업농으로 분뇨의 퇴비화와 액비 이용이 적고 분은 적절한 곳에 야적하였다가 자체 농지 환원하여 자연처리하고 있으며, 뇨를 비롯한 액상(液狀)폐수는 축사마다 소규모의 저류조(低流槽)나 분뇨정화조를 거쳐 방류되고 있는 실정으로 이는 환경오염의 원인이 되고 있다.

오수·분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률로 규제하고 있는 신고시설 이상 규모의 축산시설에는 축산폐수 정화시설을 갖추도록 규정하고 있다. 따라서 이러한 축산시설의 발생폐수는 각 축산농가가 배출허용기준까지 처리해야 하며 규제미만의 소규모 시설에서 발생된 축산폐수도 축산분뇨정화 시설에서 처리하여 액비화(液肥化) 등을 거쳐야 한다.

한편 우리나라의 축산농가는 대부분이 소규모의 영세부업 축산농가로 이루어져 있는 실정으로 농작물의 경작(耕作) 시기에는 상당 부분이 농지환원(農地還元)을 통한 자연감량이 이루어지고 있다. 경북도내 축산농가중 규제미만의 간이축산폐수정화조 설치율은 소사육농가가 36.7%, 돼지사육농가가 53.4%로 나타났고, 허가대상 축산폐수정화시설 설치율은 91.4%, 신고대상은 59.2%로 나타나(경남통계연보,

1995) 축산폐수시설의 미설치로 인해 수질오염에 큰 문제가 야기되고 있다.

이러한 발생 및 처리경로를 감안하여 특별관리지역의 정화조를 확충하여 각 발생원에서 처리토록 하며, 처리수는 하수와 함께 하수처리장으로 유입 처리토록 계획하는 것이 바람직하다. 따라서 지역에 따라 하수처리의 혜택을 받지 못하는 축산폐수는 각 군별 축산폐수 공동처리장을 건설하여 수거 처리토록 계획해야 한다.

1.4.2. 분뇨처리장

우리나라 수질오염물질중 중요한 오염물질의 하나가 분뇨(糞尿)인데 이 분뇨는 수거식 변소인 경우에는 분뇨처리시설에서 처리되며, 수세식 변소의 경우는 정화조를 이용하여 처리되고 있다. 현재 운영되고 있는 분뇨처리시설은 시설비가 고가이고 운전이 복잡한 것이 결점이며 정화조의 경우에는 효율이 저조한 것이 단점이다.

이에 따라 장기적으로 볼 때 분뇨처리장의 운영은 분뇨의 단독처리보다는 하수처리장이나 축산폐수처리장과의 공동(共同) 또는 연계(連繫)처리가 바람직하다고 할 수 있다. 따라서 하수처리장으로 유입되는 유기오염물질의 적정부하량을 고려하여 분뇨나 축산폐수 등을 동시 처리하는 방안이 효과적이다.

그러나 우리나라의 실정을 보면, 하수처리율이 낮고 하수관거의 정비가 매우 부실한 실정을 감안하여 고농도의 폐수처리를 우선적으로 처리하기 위하여 사업기간이 짧고 예산이 적게 확보되는 분뇨처리장이 다수 설치되어 있다. 또한 2000년까지 읍급 이상 지역까지 소규모 처리장으로 하수처리시설이 설치되기 때문에 향후 분뇨는 하수처리장과 연계 처리하여 분뇨처리의 효율을 도모하는 것이 좋다.

분뇨는 분뇨처리시설과 하수종말처리시설에서 처리하는 것이 바람직하다. 따라서 인구밀도가 낮은 시골이나 산촌지역 등 비수세화 지역에서 배출되는 분뇨는 기존 분뇨처리시설에서 처리하고 인구밀도가 높은 읍(邑) 및 시(市)단위에서는 분뇨처리시설 또는 하수종말처리시설에서 처리토록 한다.

도시계획이 수립된 지역은 장차 시가화되면서 변소의 수세화가 이루어지므로, 차후 분뇨처리시설은 하수종말처리시설 부지와 연계되면 하수종말처리시설의 슬러지처리시설로 전용할 수 있을 뿐만 아니라 하수관거의 신규 투자를 절약할 수 있으므로 하수종말처리시설부지와 연계하여 입지(立地)를 선정하는 것이 타당하다.

주거문화의 변화에 따라 수세화율이 증가됨에 따라 분뇨처리장이 불필요하게 되므로 향후 분뇨처리시설의 효율적인 이용방안을 고려해야 한다.

사실상 소규모의 분뇨처리시설을 하수종말처리시설로 전용하여 사용하기에는 시설규모면에서 어려우며, 축산폐수 및 오수와의 공동처리시설로 전환시키거나 하수종말처리시설에서 발생하는 슬러지의 처리시설로 사용하는 것이 타당할 것이다.

1.5. 비점오염원 관리대책

비료는 농지에서 배출되는 오염물질 중 가장 큰 비중을 차지하고 비료의 적정사용량은 가장 중요한 농경지 관리대책중의 하나이다. 이를 위해서는 흡착용량이 큰 토양의 객토(客土), 유기물과 각종 토양개량제를 사용한 토양을 개량을 통해서 비료성분의 유지 기능을 강화하고 용해·유출을 억제하는 것이 필요하다.

또한 과다하게 사용된 농약은 토양(土壤) 및 작물(作物)에 잔류하여 인체에 위해를 줄 뿐만 아니라 토양 및 수질오염의 원인이 되고 있다. 농약의 적정사용량을 알고 적절한 시기에 적량을 사용하는 것은 농약으로 인한 오염문제를 해소하는 한 가지 방법이 될 수 있다.

뿐만 아니라 배수로(排水路)의 관리를 충분히 하고 수로에 침전한 토양 등은 논에 되돌리는 것도 필요하며, 농업용수가 필요한 시기에 집중되지 않도록 지역간의 용수사용 시기를 조절하여 반복 이용하도록 하여 이용률을 높이고, 오염물질의 유출을 저감시키는 것이 필요하다.

1.5.1. 농어촌 하수정화 시스템 개발

농어촌 지역은 먼 거리를 두고 마을이 산재되어 있어 하수관거를 통하여 하수를 한곳으로 모을 경우 많은 시설비와 유지관리비가 소요되므로 도시형의 하수처리장 설치하는 바람직하지 못하다.

변소의 수세화가 부진하고 하수관거의 정비가 미흡한 농어촌에는 마을단위 또는 가구단위로 분뇨와 생활잡배수(生活雜排水)를 함께 처리하는 시스템이 도입되어야 한다.

따라서 산간지역이나 농어촌지역에 대해서는 발생원 처리개념을 도입하여 소형의 하수종말처리장으로서의 역할을 하는 오수정화시설과 합병(合併)정화조의 기술개발이 필요하다.

2. 부문별 수질보전대책

2.1. 오염원별 수질보전대책

오염원은 크게 인구에 의해 발생하는 하수 및 분뇨에 의한 생활오염원과 산업폐수로 분류되는 산업오염원, 축산시설에서 발생하는 축산오염원, 토지 등에서 발생하는 비점오염원으로 나눌 수 있다. 이들 오염원별로 발생하는 문제점과 이의 기본대책안은 표 VII-3과 같이 정리할 수 있다.

<표 VII-3> 오염원별 수질보전대책

구 분	문 제 점	원 인	기 본 대 책 안
생 활 오염원	-오수차집 하수도 보급을 저조 -하수처리장시설 미흡	-시가화부분은 완전한 오수차집관거의 계획이 곤란 -하수관거 유지체계 미흡	-하수관망 G.I.S 도입 -기초시설기술진단제도 활성화
산 업 오염원	-폐수처리장설치미비 -산재업소 무단방류	-감시소홀	-원인자부담에 의한 처리장의 설치추진 -공단폐수T.M.S 구축
축 산 오염원	-영세축산농가 산재로 총오염부하량이 큼	-법적 처리대상 미만의 소규모 축산농가가 많아 관리의 어려움	-축산폐수처리장의 설치 및 축산단지의 집산화, 현대화
비 점 오염원	-토지유출부하량이 큼 -비관개기에 하천유량이 적음	-농경지로 이용되는 면적이 넓어 오염유출량이 큼 -농업용수로 이용하기위한 저수지에서의 수질 악화	-하천유지용수의 적정량 유하

주 : G.I.S¹⁴⁾, T.M.S¹⁵⁾

14) G.I.S : G.I.S(Geographical Information System)는 서로 다른 축척, 시간 형태의 시간 자료를 통합하여, 통합된 자료에서 필요자료를 압축, 가공하는 도구이다.

2.2. 관리체계의 문제점

관리체계상 연안도시지역에서 가장 시급한 현안문제는 하수관망의 확충문제이다. 기본적으로 하수처리장의 계획은 처리구역에서 발생하는 오염물질량을 전량 차집(借集)되어 하수처리장으로 이송될 경우로 가정한 것이기 때문에 실제로 하수처리장을 건설하고도 하수관망의 미비로 인하여 처리장으로 유입되는 오염물질 부하량이 적어 적절한 처리효율을 가지지 못하는 경우가 많다.

또한 공단폐수나 축산폐수의 이송관로(移送管路)의 보급률을 확대시키는 것이 각 처리시설을 적절하게 운영하는데 기본적인 여건이라고 할 수 있다.

관리체계의 문제점에 따른 대책은 표 VII-4에 요약되고 있다.

<표 VII-4> 관리체계별 수질보전대책

구 분	문 제 점	원 인	기 본 대 책 안
하수관망 계 획	-합류식하수도 지역의 면적과 유출오염부하량 큼	-일부 시가화지역을 제외하고는 오수차집율이 10%내외로 저조	-하수관망 G.I.S 구축 -공단폐수 T.M.S 구축
하수처리장 분뇨처리장	-하수처리시설용량의 부족	-기초시설 증·신설계획은 1997년까지 되어있고 장기계획은 미수립 -해안지역개발사업으로 개발에 치중	-장기계획에 의거한 기초시설 신설 -하수처리율90%달성전 disposer사용금지 -처리장운영 고도화
폐수 배출 시설 관리	-소규모공장의 무단방류	-취약시간대 무단방류 -폐수처리시설의 부적절한 운전	-시민감시체제 강화 -지도단속 강화
축산폐수 처 리	-축산농가의 처리시설 미비	-축산농가의 영세성 및 산재	-축산농가의 집단화 -지도단속 강화
시민홍보	-정부단독으로 환경문제해결 역부족	-시민, 언론, 기업, 학계의 참여도 활성화 필요	-교육, 시민홍보의 지속적 확대
총량규제	-1997년이후 도입계획	-농도규제는 장래 수질보전의 달성에 한계	-수질 T.M.S 구축

먼저 하수관망설계가 비교적 잘 되어 있는 최근개발지역이나 신규개발지역의 DATA입력과 하수관거의 노후화가 심한 도심부의 실태조사를 실시하고 2단계에 서는 실태조사 DATA를 입력하고 기타 보완실태조사를 실시하여 완성한다.

- 15) T.M.S : T.M.S(Telemetring Monitoring System)란 컴퓨터와 센서계측기를 연결하여 각 현재위치의 수질상태를 동시간대에 자동측정하여 측정결과를 정해진 일정시간마다 평균값으로 계산하여 on-line화하여 항상 감시 측정이 가능하다.

3. 수질관리의 문제점 및 극복방안

3.1. 배출원 규제방식

국내의 경우 배출규제방식은 배출허용 농도규제 방식을 채택하고 있어 허용농도만 법규정대로 지키면 아무런 규제를 받지 않고 오염물질 배출행위를 할 수 있다. 이로 인해 실질적인 오염물질 배출규제가 되지 못하여 오염물질 배출량의 감소가 제대로 유도(誘導)되지 못하고 있을 뿐만 아니라 배출부과금제도 또한 배출허용농도 위반에 대한 과징금적인 성격의 부과금이기 때문에 경제적인 유인장치로의 기능을 못하고 있는 실정이다. 그리고 부과금요율(附課金料率) 또한 낮아 효과를 반감시키고 있다(김상용, 1995).

또 배출업소에 대한 지도점검 횟수도 1개업소당 평균 1.8회(1992년)로 대단히 낮은 편이며(과학기술자문위원회, 1992), 이 또한 방지사설을 거쳐 배출되는 오염물질을 시료채취(試料採取)하여 분석한 내용으로 감시체계가 제대로 이루어지지 않고 있다는 데도 문제가 있다.

3.2. 생활오염원에 대한 규제미비

우리나라 환경관련 법규는 공장(사업장)에 대한 환경규제 내용이 대부분이다. 그러나 수질오염의 주범(主犯)은 생활하수라는 사실을 인식해야 한다. 우리는 경제성장에 따른 국민소득 향상에서 나타나는 소비과정의 오염문제를 다루지 못하고 있는 실정이다. 즉 생활오염이 가져오는 비중이 수년전보다 급격히 늘어나 수질오염의 경우 전체 오염부하량중 67%(전국 평균)나 되며 생활오염문제를 해결하지 않는 한 「맑은 물 가꾸기」란 구호(口號)에만 그칠 공산이 대단히 크다.

따라서 관련법규의 정비도 중요하지만 전국민(全國民)의 의지 없이는 이 문제의 해결은 대단히 어렵다고 생각된다.

3.3. 환경기초시설 재원확보

환경기초시설의 설치, 운영은 본질적으로 자치단체의 고유업무이다. 오염을 야기시킨 오염자, 오염저감대책의 수혜자(受惠者) 및 환경기초시설의 미설치로 인한 피해자가 대부분 설치지역 및 인근지역 사업자 및 주민으로 국한되기 때문이다. 우리나라의 경우 환경기초시설의 건설, 운영은 중앙정부와 지방정부가 각각 그 책임을 분담하고 있다. 환경기초시설의 설치 및 운영은 실질적으로 중앙정부가 주도하였고 환경문제에 대한 정책대응이 개발우선 정책으로 지연되어 환경기초시설의 재원확보가 항상 부족하였다.

또한 상수원보호정책의 일환으로 상수원지역에서 환경기초시설의 설치에 대해서는 많은 재원이 확보되었으나 연안지역과 같은 폐수종말지역(廢水終末地域)에서는 등한시해왔던 것이 사실이다.

따라서 중앙정부 및 지방자치단체는 해양오염을 방지하기 위한 환경기초시설의 설치 및 하수관거의 정비가 매우 중요하다는 것을 인식하여 이에 대한 지속적인 관심과 투자가 이루어져야 할 것이다.

VIII. 결 론

본 연구는 해양환경(海洋環境)을 개선하기 위한 방안으로서 총량규제 제도의 도입을 검토하였다. 현재까지 우리나라는 배출농도를 규제함으로써 환경개선을 꾀하여 왔다. 지금까지 오염원이 크지 않고, 배출량이 많지 않던 '70년대 초반에는 배출농도 규제만으로도 어느 정도의 환경개선 효과를 볼 수 있었다. 그러나 급격한 산업화가 이뤄지고 인구가 밀집되면서 환경용량을 초과하는 오염물질이 수역에 유입된 이후부터는 이러한 제도만으로는 현재의 환경상태를 개선시키기에는 역부족이 되었다.

이 경우에는 그 지역에서 발생하는 오염물질의 총량을 환경용량이 허용하는 수준 이하로 감축(減縮)시켜 자연계의 자정작용을 회복시키는 것이 최소의 투자로 최대의 효과를 기대할 수 있는 최선의 환경관리 대안이 된다.

본 연구는 이러한 측면에서 유역면적이 작고, 오염원 분포의 관리 가능성, 수질 오염 정도 등을 고려하여 마산만 지역중 배수구역과 행정구역을 바탕으로 마산시와 창원시를 시범적으로 운영할 수 있는 총량규제 대상지역으로 선정하였다.

본 연구지역인 마산만 유역의 오염부하량중 생활하수에 의한 오염부하량이 60% 이상이고 산업폐수에 의한 부하량이 약 35%정도를 차지하는 작금(昨今)의 시점에 서는 먼저 생활하수의 부하량 삭감 없이는 해양환경 개선을 이룰 수 없다.

따라서 배출권 거래제도의 도입보다는 일본의 직접규제방식을 이용한 오염원별, 지역별 삭감량 할당제를 사용하는 것이 바람직하며, 환경기초시설의 확충후 산업체(공장)들에 대한 배출권거래제도 등의 도입을 고려할 수 있다.

일본과 같은 직접적인 총량규제 방식을 도입한다면 총량규제 대상항목으로서 일본에서는 COD규제항목만으로는 충분한 환경개선 효과를 거둘 수 없었다는 단점과 현재 탈인, 탈질소시설의 시험가동중인 점 등을 감안하면 해역의 부영양화 방지, 환경개선 및 해양생태계 복원(復元)을 위하여 총인(T-P)과 총질소(T-N)를 선정하는 것이 타당하다.

본 연구유역의 생활하수 오염부하량을 삭감하기 위해서는 먼저 해당 유역의 환경기초시설을 확충·보완하는 것이 중요하다. 실제 마산만 유역의 하수관거는 매립지의 침하 등을 통해 매우 노후화(老後化)되어 있는 상태이며, 하수종말처리장

과 분뇨처리장의 용량이 전체 부하량에 비해 크게 모자라 충분한 재원을 확보한 후 적절한 하수처리 능력을 갖추어야 할 것이다.

이제까지 살펴보았듯이 총량규제 제도는 성공적으로 도입한다면 우리나라 오염물질관리에 획기적인 전환점(轉換點)을 마련할 수 있는 제도이다.

그러나 적절한 환경용량의 산정, 환경관리 재원의 확보, 전문인력의 양성(養成), 충분한 사전연구가 거듭되어야만 총량규제의 실시가 원만히 이루어 질 것이며, 그에 따른 대상해역의 환경개선 효과가 극대화될 수 있을 것이다.

선진국들에서조차도 총량규제 제도가 시행 초기(初期)에는 무수한 혼란과 시행착오(施行錯誤)가 뒤따랐다. 따라서 우리 정부가 총량규제 제도의 도입이라는 정책의지는 확실히 하되 충분한 계획수립 없이 성급히 추진하여 실패하는 일이 없도록 해야 할 것이다.

마지막으로 선진국의 사례(事例)를 보더라도 총량규제의 성공적인 실행을 위해서는 환경보호론자 및 시민단체, 산업계(폐수배출업소), 지방정부 등 다양한 이해관계자들의 이해와 협조가 필수적이며 이들에 대한 홍보(弘報) 및 계몽(啓蒙)이 이루어 져야 한다. 무엇보다 중요한 것은 오염물질의 배출량을 삭감하고 환경의 질을 높이하고자 하는 정부의 강력한 의지표명(意志表明)과 실천노력이 선행(先行)되어야 할 것이다.

참고문헌

- 과학기술자문위원회, 『과학기술자문백서』, 1992
- 곽결호, 「하수도 정책과 과제」, 『첨단환경기술 1995년 1월호』, pp.106-115, 1995
- 경상남도, 『경남통계연보』, 1995
- 기상대, 『기후통계연보』, 1995
- 길봉섭 외, 『해안선 및 무인도의 현황조사 및 보호대책 연구』, 한국환경과학연구 협의회, 1994
- 김원식, 『지방자치단체하에서의 자치단체간 오염규제보조금제도 연구』, 한국환경 기술개발원 연구보고서 KETRI/1995/RE-22, 1995
- 김상용, 「수질오염저감방안 -낙동강 유역을 중심으로-」, 『첨단환경기술 1995년 2월호』, pp.60-69, 1995
- 김성준, 『인천연안 기수해역의 영양염류류류와 미량금속의 생지화학적 동태에 관한 연구』, 인하대학교 석사학위 논문, 1992
- 김승우, 『특정지역에서의 수질총량규제 시행방안 연구』, 한국환경기술개발원 연구보고서 KETRI/1995/RE-09, 1995
- 류재근, 「오·폐수 방류수의 질소·인 배출규제 현황」, 『첨단환경기술 1995년 1월호』, pp.5-9, 1995
- 마산시, 『마산만 준설에 따른 해양환경 종합 모니터링』, 1994
- 마산시, 『마산시 기상조사표』, 1995
- 마산시, 『마산시 통계연보』, 1995
- 마산시, 『마산하수처리장사업보고서』, 1996
- 문현주, 『상·하수처리의 효율적 운영방안 연구(I)』, 한국환경기술개발원 연구보고서, KETRI/1995/RE-18, 1995
- 박원규, 『낙동강수계에서의 총량규제방안에 관한 연구 : 지정항목 및 지정지역의 선정을 중심으로』, 한국환경기술개발원 연구보고서 KETRI/1994/RE-11, 1994
- 박원규 외, 『수질총량규제방식의 활용방안에 관한 연구(I) : 한국적 총량규제제도의 방향제시』, 한국환경기술개발원 연구보고서 KETRI/1993/RE-06, 1993

- 박철휘 외, 「국내하수특성에 적합한 생물학적 질소·인 제거기술」, 『환경보전 6월호』, 1996
- 안병훈, 『배출권 거래제도의 계획 및 환경문제 대한 적용방안에 관한 연구』, 한국환경기술개발원 연구보고서 KETRI/1996/RE-02, 1996
- 어촌문제연구소, 『바다를 살리자』, 한국수산회, 1995
- 원도운, 『총량규제시 효율적인 수질관리를 위한 삭감량 배분방법에 관한 연구』, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문, 1994
- 이기철 외, 『수질총량규제 제도에 관한 조사연구』, 국립환경연구소 보고서 3호, 1981
- 이두곤, 『총량규제에 의한 수질오염 관리방안에 관한 연구』, 서울대학교 환경대학원 석사학위 논문, 1994
- 이상은, 「오·폐수의 질소·인 고도처리기술」, 『첨단환경기술 1995년 1월호』, pp.10-25, 1995
- 이용희, 『육상기인 해양오염 방지에 관한 국제법적 연구』, 경희대학교 박사학위 논문, 1992
- 정희성, 이송호, 『환경기초시설 설치·운영업무의 정부간 분담방향』, 한국환경기술개발원 연구보고서, KETRI/1995/RE-01, 1995
- 창원시, 『창원시 통계연보』, 1995
- 한국해양연구소, 『연안역 이용 및 통합관리를 위한 연구』, 1995
- 한국해양연구소, 『연안환경 및 수질변화 예측기술 연구』, 1995
- 한국해양연구소, 『연안환경 보전기술 개발연구』, 1988
- 한국해양연구소, 『진해만의 적조 및 오염모니터링 시스템 개발을 위한 연구』, 1981
- 한국해양연구소, 『해양장기발전 부문계획 수립연구』, 과학기술처, 1991
- 한국해양연구소, 『해양장기발전 부문계획 수립연구』, 과학기술처, 1993
- 한국환경기술개발원, 『비점오염원 조사연구사업 보고서』, 1995
- 해양경찰청, 『해양오염방제』, 1992
- 해운항만청, 『해운항만통계연보』, 1995
- 환경부, 『‘95공장폐수의 발생과 처리』, 1996
- 환경부, 『하수도 통계』, 1995
- 환경부, 『한국환경연감』, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995

환경부, 『환경개선중장기 종합계획』, 1996

환경처, 『수질보전장기종합계획수립 종합보고서』, 1992

환경처, 『수환경정책자료집(I)』, 1992, 1993

森谷 賢, 「第四次水質總量規制について」, 『用水と廢水 Vol.38』, pp.30-35, 1996

岡田 光正, 「沿岸海域の水質保全技術」, 『用水と廢水 Vol.35』, 1995

東京都環境廳, 『總量規制基準の 設定方法』, 1996

東京都環境保全局, 『排水處理技術 Guideline 設定調査』, 1994

東京都環境保全局, 『總量規制説明會資料』, 1995

中央環境番會水質部會, 『第四次 總量規制に當なつての基本的考え方について』,
1994

東京都環境保全局, 『東京都生活排水對策指導要綱』, 1996

順勝 陸一 外, 「水系生態界 保全の 窒素・隣 同時除去 必要性」, 『用水と 廢水』,
1995

Aston, S.R., "Estuarine chemistry", *Chemical Oceanography*, Vol. 7, pp.362-435, 1978

Burton, J.D., "Basic properties and processes in estuarine chemistry", *Estuarine Chemistry*, pp.10-26, 1976

Carl Cerco, *Simulation of water quality in Chesapeake Bay*, 1995

Hennessey, T.M., "Governance and adaptive management for estuarine ecosystem : The case of Chsapeake Bay", *Coastal Management*, Vol.22, pp.119-145, 1983

Long Island Sound Studt(LISS), *Comprehensive conservation and mandgement plan*,
1993

Frank J.M. and Mary L.S., "Chemical Oceanography", *CRC Press*, PP.331-333, 1992

GESAMP, "The state of marine environment", *UNEP Regional Seas Reports and Studies*, No.115, pp.1-3, 1990.

Godschalk, D.R., "Implementing coastal zone management(1972-1990)", *Coastal Management*, Vol.20, 1992

Morris A.W. et al., "Very low salinity regions of estuarine : Important sites for chemical and biological reaction reaction", *Science* vol. 274, pp.678-680, 1978

Sonja B.S. and Cormac C., "Legal and institutional aspects of integrated cpastal area

management in national legislation”, *FAO of UN*, 1994

Travis, W., “Saving San Francisco Bay : California’s other-and Program”, *Coastal Management*, Vol.21, pp.115-120, 1993

부록 I : 일본의 제4차총량규제의 세부사항

1. 업종및 기타의 구분

업종 등의 구분에 대하여는 종래의 구분을 기본으로 하며, 산업구조의 변화 등에 의해 불필요하다고 생각되는 구분은 제외한다.

2. 총량규제기준의 기본식

제4차총량규제에 있어서의 총량규제기준은 기본적으로 3차총량규제의 식과 같으며 단, C_2 에 대하여는 필요한 경우에는 신설 또는 증설의 시설에 적용되는 기준을 현실적으로 분류하는 것으로 한다.

① 현행의 총량규제기준의 기본식

$$L = (C_0 \times Q_0 + C_1 \times Q_1 + C_2 \times Q_2) \times 10^{-3}$$

소화55.6.30 소화55.7.1- 평성3.7.1이후

이전부터 평성3.6.30 신증설

있는 것 기간 신증설

(11년간)

② 총량규제기준의 기본식(제4차총량규제)

기본식은 ①식을 이용하며 단, C_2 , Q_2 는 다음과 같이 분류한다.

C_2 , Q_2 : 평성3년(1990년) 7월 1일부터 지자체 지사가 지정한 날(평성8년(1995년)

7월 1일에 있어서 신증설되는 시설에 관계되는 기준

C_2' , Q_2' : 지자체 지사가 정한 날(1995년 7월 1일) 이후에 신증설되는 시설에 관계되는 기준

3. COD농도의 설정방법

(1) 증설에 관계된 COD농도(C)의 값(C_0 , C_1 , C_2)

하한치는 원칙적으로 가이드라인과 처리기술 1등급¹⁶⁾ 및 부하량최대일의 수질

(50%치)을 참고로 해서 설정하며, 원칙적으로 그 어느 수질보다 낮은 농도가 되지 않도록 한다.

상한치는 원칙적으로 지자체에 있어서의 COD농도 값의 설정상황(공장, 사업장의 존재상황 참고), 부하량최대일의 수질(85% 혹은 90% 등)을 기초로 설정한다.

(2) 신설에 관계된 C의 값 (C_2')

하한치는 원칙적으로 가이드라인과 처리기술 2등급 및 부하량최대일의 수질(50%)을 참고로 해서 설정한다.

상한치는 원칙적으로 지자체에 있어서의 COD농도 값의 설정상황(공장, 사업장의 존재상황 참고), 부하량최대일의 수질(85% 등)을 기초로 설정한다.

4. 배려사항(配慮事項)

현재 C의 값이 비교적 양호한 수질의 수준으로 설정되어 있는 업종(C_0 의 범주가 [10~30], [20~40]으로 설정되어 있는 업종)에 대해서는 3차총량규제에의 C값과 동일시하며, 강화의 대상에서 제외한다.

해역의 질소외 인 배수기준이 적용되고 있는 업종 등에 대하여는 평성5년(1992년) 10월부터 5년간 일률적으로 배수기준에 적합토록 하기 위하여 배수대책 추진이 필요하기 때문에 증설에 관계되는 C값(C_0 , C_1 , 新 C_2)에 대해서는 원칙적으로 강화하지 않는다.

3차총량규제의 기간동안 배출부하량 감소율이 큰 업종(평성원년(1988년) 당해업종의 배출부하량과 비교해서 평성5년의 배출부하량이 20%이상 감소되고 있는 업종)에 대하여는 원칙적으로 강화하지 않는다.

발생부하량이 큰 업종 및 C값이 일률배수기준(C:160)을 초과하는 업종에 대해서는 중점적으로 감시, 검토한다.

유사한 업종이 있을 경우에는 그것들의 관계를 배려한다.

16) 가이드라인 처리기술 1등급 : 현재에 있어서 가장 많이 보급되어 있는 처리기술
 가이드라인 처리기술 2등급 : 현재 실용화되어 보급되어 있는 기술가운데 가장 COD제거율이 높은 처리기술

부록 II : 일본의 폐수처리기술 지침설정을 위한 기초조사

1. 목적

총량규제의 실시에 있어 지정지역내 사업장에 대한 배수대책의 강화를 도모하기 위해 현재의 배수처리기술을 적절하게 평가하고 비용효과 등을 감안하여 검토함으로써 새로운 총량규제 기준에 적절한 COD농도를 설정할 필요가 있다.

본 조사는 개별 환경청에서 실시한 오염부하량 삭감현황 및 배수처리기술의 보급상황 등을 앙케이트 조사한 결과를 받아 각 업종마다 공평성있는 오염부하량의 삭감의 관점에서 배수처리기술 등에 대하여 그 적용가능성을 검토하고 그 결과를 배수처리기술의 가이드라인으로 설정해서 새로운 총량규제기준의 COD농도(계산식의 C값)의 자료로 이용하는 것을 목적으로 시행한 것이다.

2. 조사내용 및 방법

(1) 기본방침

별도 시행한 앙케이트조사결과를 고려하여 다음 과제에 의해 가이드라인 설정 기본방침을 검토한다.

① 배수처리기술수준, 제조개선 공정 등 기타 오염부하량삭감대책의 시행상황에 대해 평가한다.

② 금후 배수처리기술의 개선 및 기타 오염부하량삭감대책에 대한 전망한다.

(2) 가이드라인의 설정

전항의 검토결과에 의해 업종별 상황을 설정하고 그 경제성 등을 검토하여 배수처리기술에 대한 가이드라인을 설정한다.

① 원수수질

② 배수처리기술

③ 배수수질

3. 검토결과

(1) 기본방침 검토결과

별도 시행한 앙케이트조사결과를 고려하여 공평성있는 관점에서 대책의 실시가능성에 대해 검토하고 다음의 기본방침에 의해 가이드라인을 설정한다.

(a) 원수(原水)수질의 설정

화학공업의 경우처럼 동일사업장이 복수업종인 사례가 많아서 앙케이트조사에도 불구하고 모든 사업장에 대한 업종분류가 불가능하였다.

따라서 복수 업종 사업장의 원수수질은 각 사업장의 평균값을 대표수질로 가정하였다.

(b) 업종의 총합

동일사업장에 있어서 복수의 업종과 기타의 구분에 걸치는 사업장에서는 여러 종류의 배수를 혼합해서 처리를 하는 경우가 많다. 배수처리기술의 분포나 비용을 업종 구분별로 집계하고 자료처리를 할 수 없어서 총합해서 취급한다. 사업내용이 많은 업종의 구분이나 배수수질 등의 특성 때문에 일본산업분류중 중분류로 하는 그룹에 총합한다.

(c) 배수처리기술

업종별로 가장 많이 보급되어 있는 처리기술, COD처리효과가 높은 처리기술을 조사하고 배수수질의 가이드라인을 설정하기 위하여 앞에서 총합한 업종그룹에 대하여 처리기술별로 COD농도와 제거율의 관계에서 회귀식을 구하여 처리율곡선을 작성한다.

이 회귀식에 전항에서 설정한 작업종별의 원수농도를 대입하여 배수처리기술별의 처리수질로 한다.

처리기술은 다음과 같이 설정한다.

- 현재 가장 많이 보급되어 있는 표준적인 기술
- 현재 실용화되어 있는 기술로 COD제거율이 가장 높은 기술
- 장래의 보급 전망이 좋은 기술 (COD제거율관점에서 기본적으로 위의 기술에 활성탄을 부가한 기술)

(d) 배수처리 비용

배수처리 비용은 기본적으로 처리시설의 설치비와 운영비(약품비+전력비)에 대하여 종합한 업종그룹별로 취한다.

(2) 원수수질

원수수질의 설정결과를 아래의 표와 같이 제시한다.

업종별 원수수질 조사표

업종 구분	n=	MIN	MAX	AVG	50% 值	前回 值	85% 值	前回 值
1. 축산산업(1000m ³ 이상)	1	3600	3600	3600	*	3076	*	3076
2. 축산산업(1000m ³ 이하)	17	80	5600	2081	1970	1940	3600	3200
4. 비금속광업	3	0	160	61	23	140	160	380
5. 육제품제조업	36	130	1150	400	352	350	463	700
6. 유제품제조업	93	1	3250	342	270	200	560	550
7. 축산식료품(제외 5,6)	31	24	1900	369	280	221	520	417
8. 수산 부월(缶詰)·병월(瓶詰)제조업	2	70	170	120	*	1100	*	1100
9. 한천(寒天)제조업	1	1600	1600	1600	*	720	*	720
10. 어육, 햄, 쏘세지제조업	4	168	925	418	200	120	925	120
11. 수산 런(練)제품제조업	9	120	500	296	240	180	500	293
12. 냉동수산물제조업	8	70	1000	399	300	110	620	560
13. 냉동수산식품제조업	16	92	1680	481	380	360	700	600
14. 수산식료품(제외 8-13)	32	20	9800	1267	533	730	2700	2000
15. 야채,과실부월 등 제조업	65	8	9000	853	500	600	1100	1164
16. 야채 지물(漬物)제조업	30	20	3100	825	420	400	1700	1260
17. 미분제조업	7	214	784	428	460	360	533	1500
18. 식용아미노제조업	35	92	7130	1060	483	360	1700	1700
19. 화학조미료제조업	4	300	1700	903	540	260	1700	463
20. 소스제조업	12	150	1500	552	440	360	1200	400
21. 식료제조업	5	90	500	286	270	400	500	480
22. 사탕제조업	9	137	1000	367	280	500	510	776
23. 포도당, 물엿제조업	11	185	1720	875	772	900	1700	1200
25. 빵제조업	15	30	7400	1077	530	270	900	598
26. 생과자제조업	23	160	7400	1240	590	650	2600	1500
27. 비스킷류,간(干)과자제조업	2	200	2500	1350	*	530	*	530
28. 미과(米菓)제조업	4	100	1200	573	150	640	1200	750
29. 빵, 과자(제외 25-28)	3	168	1600	716	380	786	1600	1100
30. 식물유지제조업	18	18	8587	1150	800	810	1780	2600
31. 동물유지제조업	1	1580	1580	1580	*	177	*	270
32. 식용유지가공업	9	44	1090	450	191	300	990	880
34. 전분제조업	10	450	2200	974	630	720	2100	1300
35. 면(綿)류제조업	35	17	3350	595	486	600	820	1000
37. 두부, 유장제조업	30	110	2000	711	596	600	1500	1040
38. 양꼬제조업	4	50	2700	1813	2000	1078	2700	1440
39. 냉동조리식품제조업	54	45	4499	431	280	350	550	510

업종 구분	n=	MIN	MAX	AVG	50% 值	前回 值	85% 值	前回 值
41. 청량식료제조업	66	2	9000	896	240	380	1252	800
42. 과실주제조업	1	480	480	480	*	900	*	900
43. 맥주제조업	10	168	1662	1010	1020	1190	1662	1575
44. 청주제조업	38	5	2900	769	640	500	1240	1500
45. 증류주, 희석수제조업	22	5	1500	359	239	300	800	500
46. 인스턴트커피제조업	2	120	390	255	*	440	*	440
47. 배합사료제조업	1	1000	1000	1000	*	*	*	*
48. 단체사료제조업	1	14	14	14	*	100	*	100
49. 유기질비료제조업	4	33	1000	441	270	15	1000	15
50. 담배제조업	7	123	808	335	171	109	632	350
51. 기계생사제조업	1	80	80	80	*	*	*	*
55. 제모(製毛)공정	10	50	5700	819	120	450	1200	1600
56. 부잠(副蠶)사정련공정	1	190	190	190	*	180	*	180
57. 마제직(麻製織)공정	2	15	200	108	*	1300	*	1300
58. 모직물기계염색정리공정	18	7	10000	835	120	300	1270	650
59. 직물기계염색정리공정	124	9	10000	533	312	400	810	894
60. 직물수가공염색정리공정	11	6	1100	469	390	350	900	750
61. 면상섬유	78	20	10000	349	200	150	387	300
62. 망, 레이스염색정리공정	35	5	1600	335	226	250	470	380
63. 섬유잡품염색정리공정	21	132	2000	380	300	272	388	770
64. 부직포제조공정	9	165	2200	642	310	329	1830	1140
65. 벨트제조공정	1	370	370	370	*	39	*	39
66. 방수직물제조공정	2	50	510	280	*	100	*	100
67. 섬유제위생재료제조공정	3	5	750	310	175	200	750	400
68. 섬유공업(제외 55-67)	7	120	15000	4667	320	170	15000	880
71. 합판제조업	12	2	45000	3821	28	160	385	200
76. 용해펄프제조공정	3	476	805	609	547	300	805	300
79. 미표백케미그란드펄프	3	300	1500	980	1140	450	1500	450
81. 미표백크라프트펄프	3	165	619	373	334	*	619	*
82. 표백크라프트펄프	4	205	805	525	521	800	805	804
83. 고지(古紙)제조공정	16	13	1500	429	300	340	514	800
84. 탈잉크표백펄프제조공정	21	108	1152	528	500	500	871	1120
86. 양지(洋紙)제조공정1	1	547	547	547	*	47	*	47
87. 양지제조공정2(제외 86)	19	16	2100	210	74	40	300	100
88. 판지제조공정	21	75	1062	357	360	255	500	350

업종 구분	n=	MIN	MAX	AVG	50% 值	前回 值	85% 值	前回 值
94. 셀로판제조업	8	150	230	196	195	350	220	750
96. 섬유판제조업(제외 95)	7	234	31000	4833	400	200	945	46
97. 펄프, 종이등 제조업(제외86-96)	8	14	1270	363	171	38	589	*
99. 출판업	4	8	164	59	13	*	164	140
100. 인쇄업	11	1	998	233	160	87	550	1700
102. 질소질, 인산질비료제조업	4	7	5000	1299	87	113	5000	250
103. 복합비료제조업	4	7	3007	1943	1750	250	3007	40
104. 화학비료 (제외102-103)	2	1	3	2	*	40	*	43
105. 소다공업	13	3	1000	213	36	43	300	20
106. 전기공업	1	29	29	29	*	20	*	200
107. 무기 안료제조업	20	2	5115	641	31	100	270	*
107-(1) 무기안료제조업(황연제조)	1	200	200	200	*	*	*	300
108. 무기화학(제외 105-108)	92	0	2×10^5	2796	22	20	427	6
108-(3). 무기화학(황산제조공정)	1	50	50	50	*	6	*	550
109. 석유,지방족계중간물	24	2	3200	510	250	200	900	*
109-(1). 석유,지방족계중간물(靑酸)	2	402	527	465	*	*	*	*
109-(2). 석유,지방족계중간물(기타)	1	334	334	334	*	*	*	750
110. 석유,환식(環式)중간물 등	29	2	8000	1011	87	550	*	800
111. 석유,PVC	25	7	94000	4004	170	200	589	*
111-(2). 석유,PVC(초산)	1	1100	1100	1100	*	*	*	1350
112. 석유, 합성GOM	1	110	110	110	*	1350	*	900
113. 석유,유기화학공업제품	11	1	12500	1670	161	500	2697	1500
114. 석유화학기기초제품(제외109-113)	18	88	5115	1254	317	253	3700	1000
115. 지방족계중간물제조업	38	10	50000	2928	500	350	2191	1410
115-(1). 청산수도품(靑酸誘導品)	4	7500	27902	14331	7500	1410	27902	410
115-(3). 에비크로히드산	1	1000	1000	1000	*	410	*	10
116. 메탄유도품제조업	10	10	2×10^5	23367	72	10	30000	700
117. 발효공업	19	170	14400	1795	230	499	1072	679
118. 콜탈제품제조업	6	184	5115	2217	1200	479	4716	1700
119. 조업	48	6	8700	1307	660	500	2278	890
119-(1). 합성염료중간물	5	36	30633	6786	188	65	30633	485
120. PVC제조업	78	1	2×10^5	4818	166	230	1561	*
120-(1). 메칠메탈클렌트지방지	2	429	1860	1145	*	*	*	300
121. 합성GOM제조업	9	11	1686	491	233	90	950	530
121-(1). 유화중화법	3	233	400	344	400	530	400	1700

업종 구분	n=	MIN	MAX	AVG	50% 值	前回 值	85% 值	前回 值
122. 유기화학공업(제외109-121)	122	5	2*10 ⁵	4973	611	610	2793	1230
122-(1). 유기물약품	2	1248	13857	7553	*	1230	*	1600
122-(2). 유기농약원본	3	35	3500	1272	280	900	3500	2063
123. 나일론제조	19	6	885	271	187	300	688	71
124. 아세티이트제조	3	90	910	597	790	71	910	1200
125. 합성섬유제조업	31	4	3800	353	156	357	453	*
126. 지방족, 글리세린제조업	6	240	1100	878	930	*	1090	50
127. 합성세제제조업	18	22	4100	1351	500	30	3800	200
128. 계면활성제제조업(제외127)	24	33	80000	3888	400	60	1200	1500
129. 도료제조업	11	7	5200	862	457	750	1000	1100
131. 의약품원료제조업	69	9	50000	2561	750	250	2800	85
132. 의약품제제(製劑)제조업	39	8	1072	181	134	55	230	30
133. 생물학적製劑제조업	2	8	129	68	*	30	*	840
135. 동물용의약품제조업	8	170	2000	595	210	840	1072	130
136. 화학류제조업	11	12	1100	639	750	130	1100	3540
137. 농약제조업	8	30	1072	364	200	3500	800	0
138. 합성향료제조업	1	590	590	590	*	700	*	1000
139. 향료제조업(제외138)	2	155	225	190	*	408	*	408
140. 화장품제조업	3	29	1000	476	400	*	1000	*
142. 접착제제조업	8	50	2000	557	300	350	830	350
143. 사진감광재료제조업	3	500	1800	973	618	443	1800	443
145. 이온교환수지제조업	2	161	184	173	*	*	*	*
146. 화학공업(제외 102-145)	23	18	29050	2081	230	230	2506	830
147. 석유정제업	43	5	12000	926	87	60	1700	164
147-(1). 석유정제업(윤활유제조공정)	2	48	58	53	*	3	*	3
148. 윤활유제조업	14	36	52000	4447	200	100	2500	300
149. 코크스제조업	4	1200	6149	4162	4420	2800	6149	4000
150. 석유코크스제조업	3	92	1120	571	500	162	1120	162
151. 자동차타이어제조업	2	10	261	136	*	*	*	*
152. 라텍스선형형선정공정	3	15	20	18	20	*	20	*
153. 고무제품(제외 151-152)	15	1	2605	315	71	60	480	870
154. 가죽제품제조업	4	510	1200	786	675	188	1200	188
155. 모피제조업	1	270	270	270	*	11	*	11
156. 판유리제조업	8	3	2317	300	8	*	50	*

업종 구분	n=	MIN	MAX	AVG	50% 值	前回 值	85% 值	前回 值
157. 판유리가공업	7	2	300	53	5	*	52	*
158. 유리가공소재제조업	2	8	23	15	*	*	*	*
159. 유리용기제조업	3	20	150	67	32	30	150	30
160. 이화학용유리기구제조업	3	11	20	15	15	200	20	200
161. 탁상용, 주방용유리기구제조업	1	12	12	12	*	19	*	30
162. 유리섬유(장섬유)	1	623	623	623	*	40	*	40
163. 유리섬유	3	40	512	197	40	610	512	610
164.. 유리(제외 156-163)	1	31	31	31	*	5	*	11
165. 생콘크리트제조업	2	10	10	10	*	*	*	*
166. 콘크리트제품제조업	9	8	165	61	30	19	115	42
166. 시멘트제품	13	2	550	118	42	49	274	90
168. 흑석전극제조업	4	1	7	5	5	5	7	5
169. 쇠석제조업	9	1	540	119	8	*	470	*
170. 광물,토석분쇄 등 처리업	4	13	40	24	18	4	40	5
172. 도자기유약제조업	4	3	550	150	7	20	550	24
173. 제강,압연,고로,제철업	16	3	1765	218	20	173	161	210
173-(1). (코크스)	1	3500	3500	3500	*	*	*	*
175. 합금제조업	1	100	100	100	*	3	*	3
177. 강압연업	4	3	272	82	15	32	272	32
178. 강·제강압연업	47	1	172	15	6	4	23	20
180. 냉간압연업	4	58	400	155	60	*	400	*
182. 강관제조업	3	11	97	51	46	7	97	59
183. 신강(伸鋼)업	4	5	12	8	5	*	12	*
184. 마봉제조업	5	10	400	91	12	16	400	80
186. 신사업(伸綿業)	14	4	200	48	30	20	80	30
187. 아연제조업	1	14	14	14	*	11	*	11
188. 아연철판제조업	10	11	70	32	20	24	60	130
189. 도금강관제조업	1	56	56	56	*	12	*	12
190. 도금강관선제조업	6	5	34	15	13	6	15	33
191. 표면처리강재제조업	8	11	190	79	38	20	180	79
192. 도강제조업	7	4	18	8	5	*	12	*
193. 도공품제조업	1	38	38	38	*	*	*	*
194. 봉강(鋒鋼)제조업	4	2	57	24	4	47	57	70
195. 선철봉물제조업	2	33	70	52	*	*	*	*
197. 가단봉철제조업	1	350	350	350	*	*	*	*

업종 구분	n=	MIN	MAX	AVG	50% 值	前回 值	85% 值	前回 值
199. 강철업	3	50	120	80	70	24	120	24
200. 비철금속제조업	37	2	2000	91	11	23	40	160
201. 전기재료업	62	0	2500	136	40	50	150	140
202. 금속제품제조업(제외201)	105	2	2000	131	46	40	210	110
203. 일반기계기구제조업	68	1	2100	203	39	40	370	100
204. 프린트배선기반제조업	36	1	2*10 ⁵	6441	26	34	200	100
205. 전기기계기구제조업(제외204)	81	0	3000	95	22	70	100	180
206. 운송용기계기구제조업	196	2	7400	289	84	60	410	240
207. 정밀기계기구제조업	22	5	332	75	30	45	150	113
208. 가스제조공업	13	1	400	44	8	6	25	21
208-(1). (석탄가스제조)	10	1000	1*10 ⁵	22240	4000	*	1*10 ⁵	*
209. 하수도업	369	3	440	91	85	95	120	150
209-(1). (고도처리)	24	46	150	87	85	*	110	*
210. 공병(空瓶)인쇄업	1	140	140	140	*	*	*	*
211. 공동조리장	59	5	956	233	180	197	340	400
212. 도시락판매·제조업	40	60	920	392	360	320	580	520
213. 식료품점	69	7	440	147	150	150	200	300
214. 여관	72	5	300	109	100	120	200	200
215. 세탁보조업	77	21	1200	186	140	143	270	240
216. 세탁업(제외 215)	21	25	7400	633	300	137	608	350
218. 사진관	9	34	110	63	58	140	78	192
219. 자동차정비업	9	3	42	17	14	78	24	150
220. 병원	98	4	2100	158	130	120	200	195
221. 분뇨정화조(501인이상)	88	2	250	100	92	103	200	220
222. 분뇨정화조(500-201인)	56	2	2*10 ⁵	4199	69	120	208	200
223. 분뇨처리업	85	2	44465	4723	4500	5270	6100	7000
223-(3). 분뇨처리(고도처리업)	144	68	9065	4253	4033	*	6000	*
224. 쓰레기처리업	31	7	3760	206	41	69	120	223
225. 폐유처리업	15	6	5115	840	75	18	1902	55
226. 산업폐기물처리업	12	5	7450	1147	87	104	3460	200
228. 도축업	15	270	1700	918	786	450	1600	810
229. 중앙인쇄시장	6	15	305	143	140	36	200	71
230. 지방인쇄시장	3	19	230	112	87	36	230	71
231. 시험연구기관	128	1	2*10 ⁵	1903	33	52	214	140
232. 기타	1144	0	2*10 ⁵	540	137	56	535	221

(3) 업종의 종합

(4) 배수처리기술과 처리효과

- 배수처리기술과 COD제거율 산정식을 아래와 같이 표시한다.

COD제거율 산정식

(R:제거율(%), C:원수COD농도(mg/l))

구 분	응 집 처 리	생 물 처 리	생물 + 응집처리
축 산	-	$R=(1-9.94*\ln C/C)*100$ n=16	-
식료품제조업	-	$R=(1-3.33*\ln C/C)*100$ n=316	$R=(1-2.75*\ln C/C)*100$ n=106
섬유공업	$R=(1-10.5*\ln C/C)*100$ n=32	$R=(1-8.47*\ln C/C)*100$ n=78	$R=(1-6.70*\ln C/C)*100$ n=37
종이,펄프공업	$R=(1-8.81*\ln C/C)*100$ n=34	$R=(1-10.6*\ln C/C)*100$ n=7	$R=(1-7.05*\ln C/C)*100$ n=13
무기화학공업	$R=(1-3.23*\ln C/C)*100$ n=20	$R=(1-5.10*\ln C/C)*100$ n=82	$R=(1-4.44*\ln C/C)*100$ n=37
유기화학공업	$R=(1-7.67*\ln C/C)*100$ n=18	$R=(1-5.10*\ln C/C)*100$ n=82	$R=(1-4.44*\ln C/C)*100$ n=37
요업(窯業)	$R=(1-3.57*\ln C/C)*100$ n=24	-	-
금속,기계,전기 공업	$R=(1-3.44*\ln C/C)*100$ n=137	$R=(1-2.91*\ln C/C)*100$ n=26	$R=(1-1.89*\ln C/C)*100$ n=16
생활계관거 및 기타사업	$R=(1-4.79*\ln C/C)*100$ n=72	$R=(1-2.76*\ln C/C)*100$ n=886	$R=(1-2.25*\ln C/C)*100$ n=109