

## 하수처리장 건설에 의한 마산만의 오염물질 수지변화 Pollutant Budget Change Due to Construction of Wastewater Treatment Plant in Masan Bay

조흥연\* · 채장원\* · 정신택\*\*

Hong Yeon Cho\*, Jang Won Chae\* and Shin Taek Jeong\*\*

**요 旨** : 마산만의 오염물질 수지변화를 파악하여 하수처리장 건설 효과를 정량적으로 분석하였다. 하수처리장 건설에 의한 유역의 오염부하량 삭감효과는 명확한 것으로 추정되었으나, 해역의 수질개선에 미치는 영향은 그에 상응하는 오염부하량 증가로 인하여 뚜렷하게 효과를 보이고 있지 않은 것으로 추정되었다. 하수처리장 건설에 의한 마산만(I 영역)의 오염부하량 삭감효과는 COD, SS, TN, TP 항목의 경우 각각 17.6%, 68.9%, 66.7%, 38%에 해당된다. 반면, 진해만 북부 방류해역(II 영역)은 하수처리장 방류수의 직접적인 오염부하와 오염된 퇴적물에 의한 용출부하(간접적인 효과)가 가중되고 있다. 따라서, 하수처리장 건설로 인하여 방류해역의 환경은 오히려 악화되어 가고 있는 것으로 파악되었다.

**핵심용어** : 마산만, 오염부하량, 하수처리장, 수지분석, 수질개선 효과

**Abstracts** □ The effects of the WTP construction are analysed quantitatively based on the pollutant budget change in Masan Bay. The reduction effects of the watershed pollutant loads are clearly shown, while the positive influence of the water quality (WQ) are not substantial because the pollutant load also increased continuously after WTP construction. The reduction effects of the COD, SS, TN and TP parameters are 17.6%, 68.9%, 66.7%, and 38%, respectively in Masan Bay (zone I). The environmental condition of the northern part of Chinhae Bay (zone II), however, is slowly degraded because of the direct and indirect effects - effluents discharge from the WTP and pollutants release from the sediment, respectively.

**Keywords** : Masan Bay, pollutant load, wastewater treatment plant, budget analysis, Water quality improvement effect

### 1. 서 론

마산만은 우리나라의 대표적인 폐쇄성 해역(면적 10 km<sup>2</sup>)으로, 수려한 경관 및 풍부한 수산자원으로 유명하였다. 그러나, 도시화·산업화에 의한 과도한 오염물질 유입 및 체류로 인하여 수질 및 저질의 오염문제가 매우 심각한 실정이다(이, 1991; 이, 1994). 정부 및 지방자치단체에서는 마산만의 수질을 개선하기 위하여 이 지역을 특별관리해역으로 지정(1982)하고, 하수처리장 건

설(1993) 및 퇴적오니 준설(1990-1994) 사업 등을 추진하였으나, 사업효과에 대한 정량적인 효과분석은 미흡한 실정이다.

해역의 수질개선사업, 특히 하수처리장 건설사업은 유입 오염부하량의削減(reduction)에 중점을 두어 수행되고 있으므로, 이에 대한 효과분석은 유역·해역의 오염물질 수지분석에 대한 정량적인 분석을 통하여 수행할 수 있다. 본 연구에서는 마산만으로 유입되는 담수 및 오염물질의 정량적인 수지양상을 파악·분석하였다. 또

\*한국해양연구소 연안·항만공학연구본부 (Coastal and Harbor Engineering Research Laboratory, Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan, Seoul 425-600, Korea)

\*\*원광대학교 건축·도시 토목환경공학부 (School of Architecture, Urban, Civil and Environmental Engineering, Wonkwang University, Iksan, Chonbuk 570-749, Korea)

한, 수지분석 결과를 토대로 하수처리장 건설이 마산만 및 하수처리장 방류해역의 수질변화에 미치는 영향을 정량적으로 분석하였다.

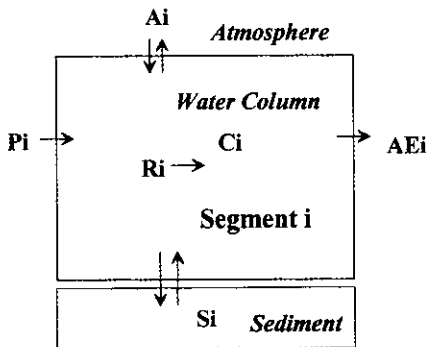
## 2. 오염물질 수지분석 모형

해역에서의 오염물질 거동은 해수 및 하천수의 이동과 밀접한 관련이 있으므로, 오염물질의 거동을 파악하기 위해서는 오염물질을 운반하는 매개체(물)의 수지분석이 선행되어야 한다(조·채, 1996). 유역의 유출(담수 및 오염물질 유출)모형은 해역(또는 만)에서의 오염물질 수지를 분석하는 모형의 입력자료를 제공하는 모형이다. 오염물질 수지분석 모형의 지배방정식은 식 (1)의 질량 보존방정식으로 표현할 수 있다.

$$\frac{d(VC)}{dt} = (M_C)_I - (M_C)_O + SISO \quad (1)$$

여기서, C=오염물질의 농도, V=분할된 영역의 체적,  $(M_C)_I$ =단위시간당 오염물질의 유입량,  $(M_C)_O$ =단위시간당 오염물질의 유출량, SISO=저면으로부터의 용출량 및 침전·분해에 의한 소멸량이다.

임의의 영역(연구대상해역의 분할구획, segment)에 대하여 오염물질 수지분석 모식도를 주요 항목별로 세분



### Description

- Pi :** Point and/or Nonpoint Sources from River, Effluent Pipe and Segments
- Ai :** Atmospheric Budget
- Si :** Sediment Budget
- AEi :** Advection and Diffusion Rate
- Ri :** Reaction Rate
- Ci :** Conc. of the i-th Segment

Fig. 1. Schematic diagram of pollutant budget model.

하여 작성하면 Fig. 1과 같이 표현할 수 있다. 구획에 유입(구획의 질량을 증가시키는 방향의 입력) 또는 유출(구획의 질량을 감소시키는 방향의 입력)되는 오염물질의 양은 다음과 같이 구분하였다.

- $P_i$ : (유입)오염부하량으로 하천 및 인공적인 시설물(하수관, 하수방류관, 도수관 등)을 통하여 유입, 차단 또는 이동되는 오염부하량 및 기타 점오염원; 강우에 의한 일시적인 오염부하량 및 기타 비점오염원; 수질개선 공법의 적용에 의한 인위적인 물질의 유입 또는 유출이 포함된다.
- $A_i$ : 대기와의 오염물질 교환량으로 대기로부터의 유입(대기중 오염물질 침강 및 산소공급); 대기로의 유출량(증발 또는 탈질산화 반응에 의한 대기유출 등)이 포함된다.
- $S_i$ : 수층(water column)과 퇴적물층(sediment layer)의 오염물질 교환량으로 저층의 오염퇴적물로부터의 오염물질의 용출량, 입자성 물질(particulate matter)의 침전량이 해당된다.
- $R_i$ : 반응 및 분해 등으로 인한 변환량(소멸량)이다.
- $A E_i$ : 인접구획 및 외해로의 질량이동량(이송·확산에 의한 이동량)이다.

## 3. 수지분석모형의 입력자료 추정과정

장기적인 오염물질 수지분석은 대상 기간동안 수체내의 오염물질량 변화율이 일정(평형상태 유지)하다고 가정하여 수행할 수 있다. 오염물질 수지분석에 수반되는 어려움은 수치기법상의 문제가 아니라 유입량 및 유출량의 적절한 산정에 있다. 특히, 자료가 부족한 상황에서 계절적인 영향, 강우의 영향, 지역의 토지이용도 변화에 따른 영향 등을 파악하고, 기존의 관측자료를 최대한 활용하여 보다 정도(accuracy)가 높고, 일반적인 경향(trend)을 반영하는 방법으로 유입량, 유출량을 추정하여야 한다.

마산만에서 물수지 및 오염물질 수지분석을 수행하기 위한 중요한 입력자료 중의 하나는 유역의 (담수)유출량 및 오염부하량 산정이다. 대표적인 오염부하량 추정 방법으로서 유량·오염부하량 관계를 이용할 수 있으며, 이를 위하여 유량의 연속관측 및 유량·오염부하량 관계식이 필요하다. 대부분의 연안하천과 마찬가지로 마산만으로 유입되는 소하천은 유량측정 기록이 매우 미흡한 실정이나, 일시적인 유량관측 및 오염부하량 측정성파로 인하여 유량·오염부하량 관계식 및 특성분석은 수행된 바

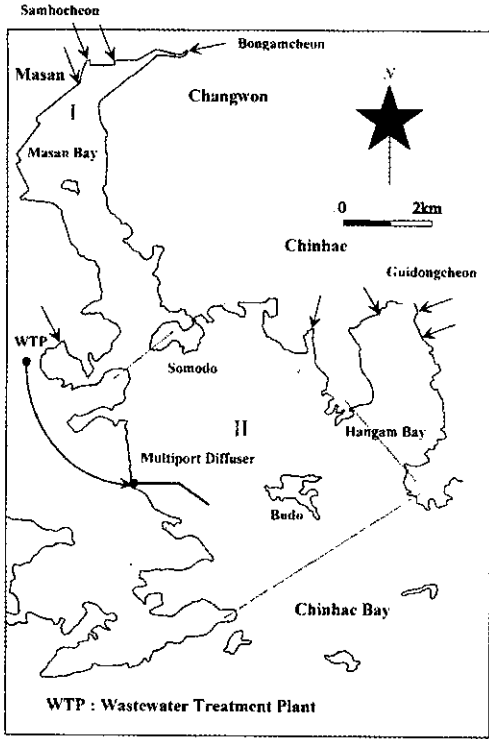


Fig. 2. Zonation of the Masan Bay (research coastal area).

있다(조·채, 1998). 한편, 대상 해역인 마산만은 오염물질의 혼합특성이 구분되는 것으로 사료되는 소모도를 중심으로 마산만 및 읍구만 영역(영역 I), 소모도 남단의 진해만 북부해역(하수처리장 방류해역: 영역 II)으로 분할하였다(Fig. 2).

3.1 유역의 담수유출량(해역으로의 유입량) 추정

유역의 담수유출량에 영향을 미치는 인자는 강우량, 용수공급량(낙동강 수계에서 공급; 마산만 유역의 수계), 하수차집관거에 의한 이동량 등이다. 유역의 월평균 일유출량은 유출계수(0.55; 한국해양연구소, 1998)를 이용하여 산정하였다. 즉, 해역 I의 유입량은 [유역유출량+용수공급량-하수처리장으로의 이동량]이며, 해역 II의 유입량은 하수처리장에서 방류량이다.

Fig. 3은 수지분석 기간(1990-1996) 동안의 월강우량(기상청, 1990-1996), 강우만에 의한 유출량, 차집관거에 의한 하수처리장으로의 이동량(해역으로의 하수방류량; 영역 II 담수유입량)이다. Fig. 4는 차집관거에 의한 담수 이동량, 용수공급량(한국수자원공사, 1993; 이, 1996)을 고려한 유역유출량(영역 I 담수유입량)이다. 유역의 유

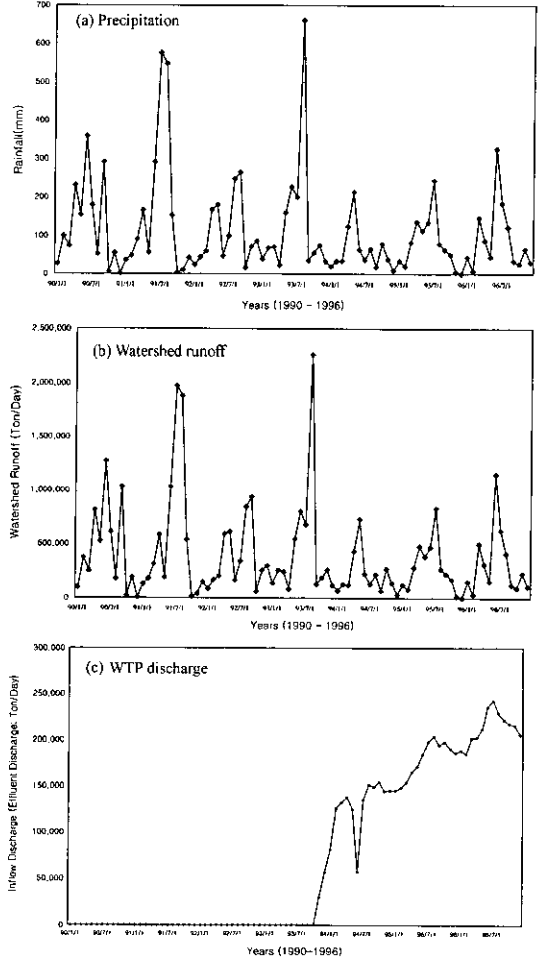


Fig. 3. Monthly rainfall, runoff, and WTP discharge: (a) Precipitation, (b) Watershed runoff, (c) WTP discharge.

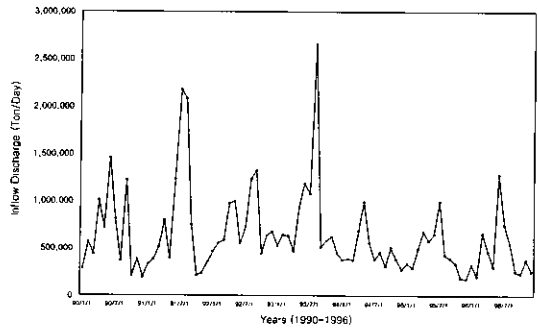


Fig. 4. Monthly freshwater inflow rate of Masan Bay (Zone I).

출량은 계절적인 편차가 크게 나타나고 있음을 알 수 있으며, 하수처리장을 통한 해역방류량은 1993년 이후 서서히 증가하여 1996년에는 약 200,000(Ton/Day; 이하

**Table 1.** Water supply discharge of Masan and Changwon areas.

연 도	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
용수공급량(Ton/Day)	189,000	203,690	383,530	390,095	387,763	360,461	358,296

T/D)를 유지하고 있음을 알 수 있다.

한편, 낙동강 수계에서 공급되는 생·공용수량은 마산시, 창원시 통계연보자료에 제시된 수치를 이용하였다 (Table 1). 용수공급량은 1992년 상수도 시설확장공사 완료로 인하여 용수공급량이 2배정도로 급상승하고 있음을 알 수 있다. 또한, 하수처리장에서의 처리용량 약 250,000(T/D)와 비교할 경우, 용수공급량은 1.5배정도에 해당하는 값이나, 현재 계획·추진되고 있는 하수처리장 확장공사(시설용량: 500,000(T/D))가 완료될 경우, 상당한 오염부하량 삭감효과가 예상된다.

**3.2 오염부하량 추정**

해역의 오염부하량은 유역으로부터의 오염부하량, 하수처리장을 거쳐 방류되는 오염부하량, 오염된 퇴적물로부터 용출되는 부하량으로 구분된다. 유역으로부터 유출되는 오염부하량은 진해·마산만의 오염부하량 특성분

석 연구결과에서 제시된 유량(Q; Ton/day) - 오염부하량 (kg/day) 관계식을 이용하여 추정하였다(조·채, 1998).

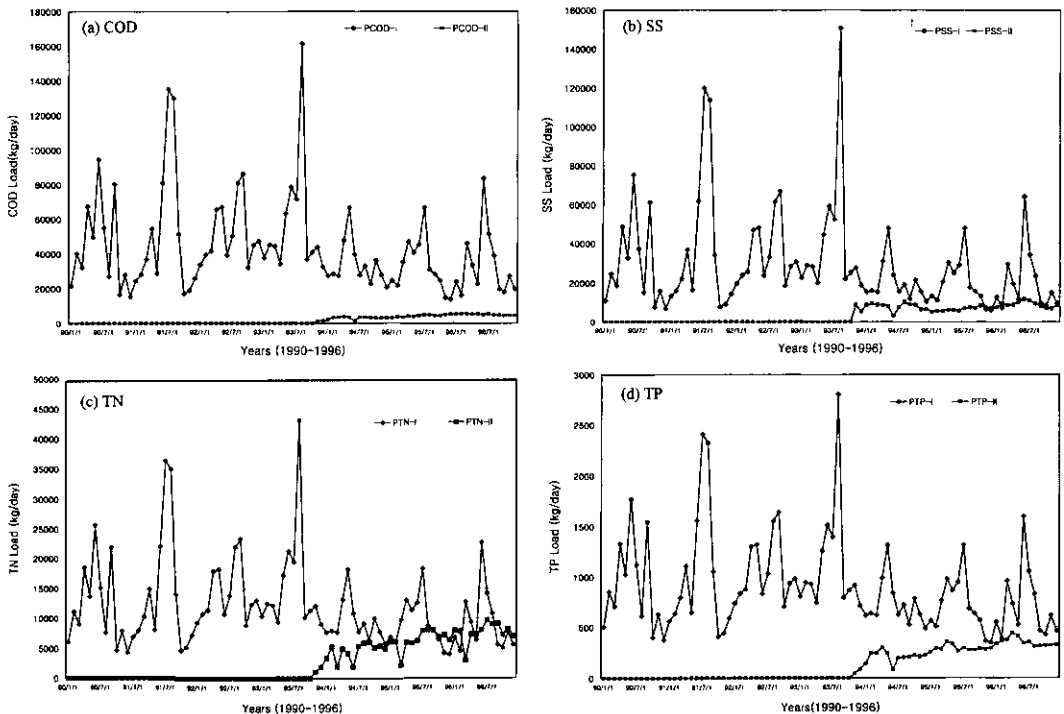
$$\text{COD Load} = \exp[0.90 \cdot \ln(Q) - 1.32]$$

$$\text{SS Load} = \exp[1.17 \cdot \ln(Q) - 5.38]$$

$$\text{TN Load} = \exp[0.88 \cdot \ln(Q) - 2.34]$$

$$\text{TP Load} = \exp[0.77 \cdot \ln(Q) - 3.45]$$

하수처리장에서 해역으로 배출되는 오염부하량은 마산시 하수종말처리장 자료(일단위 하수처리량 및 오염물질 농도, 오염부하량=(유량)×(오염물질농도))를 이용하여 산정하였다. Fig. 5는 I, II 영역의 수질항목별 오염부하량 추정결과이다. I 영역의 오염부하량은 편차가 매우 심하게 나타나고 있으며, II 영역은 하수처리장 건설로 인하여 새로운 오염부하가 발생하고 있으나 I 영역의 오염부하량에 비하면 매우 적은 비중을 차지하고 있음을 알 수 있다.



**Fig. 5.** Monthly pollutant loads in Masan coastal area: (a) COD, (b) SS, (c) TN, (d) TP.

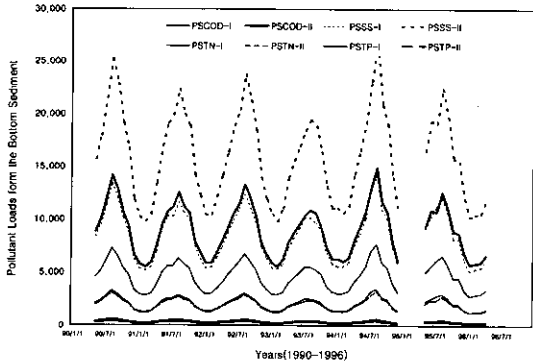


Fig. 6. Monthly pollutant release rate from bottom sediment.

한편, 오염된 퇴적물로부터의 부하량은 수온의 영향을 받는 인자이기 때문에 온도보정계수를 도입(수온의 영향을 고려)하여 추정하였다. 기준온도에 해당하는 20°C 오염물질 용출량은 1995년 돌섬 및 방류해역에서 관측한 자료를 이용하였다(한국해양연구소, 1998). Fig. 6은 수지분석 기간에 해당하는 오염부하량의 변화를 도시한 것으로, 오염부하량이 하계에 증가하고 동계에 감소하는 뚜렷한 계절적 특성을 보이고 있다.

### 3.3 오염물질의 외부유출량 및 침전량

대상 구획에서의 오염물질은 이송·확산, 반응(분해), 침전 등의 복잡한 변환과정을 거치게 된다. 물질수지분석을 위해서는 각각의 변환율에 대한 정보가 필요하게 되며, 변환율에 대한 정보가 부족할 경우에는 적절한 변환율에 대한 추정 또는 간략화(여러 변환과정을 하나의 변환과정으로 혼합)과정이 필요하게 된다. 해역으로 유입된 오염물질이 외부로 유출되는 양은 이송과정과 확산과정이 포함될 수 있으나, 물질수지분석 과정에서는 확산에 의한 영향을 고려하기 곤란하기 때문에 장기간의 평균 수체이동량에 의한 유출량을 외부유출량으로 산정하였다. 침전량은 유입되는 오염물질의 약 50% 정도가 입자성 오염물질이므로, 오염물질의 침전율은 50%를 사용하였다(이, 1994). 따라서, 오염물질의 수층에서의 소멸률은 분해 및 확산에 의한 외해 또는 타영역으로 이동량이 포함된 것으로 간주할 수 있다.

## 4. 오염물질 수지분석

### 4.1 하수처리장 건설 전·후의 오염물질 수지

질량보존방정식 (1)에 근거하여 I, II 영역의 오염물

질 수지분석을 COD, SS, TN, TP 항목에 대하여 월별로 1990년부터 1996년까지 수행하였다. 하수처리장 건설에 의한 오염물질 수지양상 변화를 파악하기 위하여 하수처리장이 건설·가동되는 시점을 기준으로 건설전(1991~1993), 건설후(1994~1996) 상황으로 구분하여 기간평균된 결과를 분석·제시하였다.

Table 2는 COD, SS, TN, TP 항목의 마산만에서의 오염물질 수지분석 양상이다. 표에 제시된 비율(%)은 마산만 영역(영역 I)으로 유입되는 오염부하량에 대한 비율이다. 대상 영역이 마산·창원 유역에서 발생하는 오염부하량과 직접적인 관련이 있기 때문에 마산만 영역으로 유입되는 오염부하량을 기준으로 비율을 산정하였다. 한편, 오염물질 수지양상의 특성을 분석과정에서 1991~1993년, 1994~1996년의 유출에 대한 절대량의 변화를 고려하여야 한다. 오염물질 부하량이 담수유입량의 함수로 산정하기 때문에, 기간동안의 오염부하량의 감소는 수지분석기간동안의 강우량의 영향으로 간주되어야 한다. 1991~1993년동안의 연평균강우량은 1,657(mm)로 1994~1996년 동안의 강우량 934(mm)보다 약 1.8배 정도 높다. 따라서, 1991~1993년 동안의 오염부하량은 강우에 의한 영향을 고려하면 1994~1996년 동안의 오염부하량에 비하여 약 1.6~2.0배 정도 높은 값으로 산정된다. 강우에 의한 오염부하량의 변화는 수질개선을 위한 공법(기술)의 적용과는 무관한 값으로, 오염부하량의 연 변동량에 해당하는 값이다.

#### ▶COD 항목:

I 영역의 오염물질 수지양상은 시기적으로 큰 변화를 보이고 있지 않다. 마산만으로 유입되는 유역의 오염부하량이 약 90% 정도를 차지하고 있으며, 약 10% 정도가 오염된 퇴적물로부터 유출되는 양상을 보이고 있다. 반면, II 영역에서는 1993년 이전에는 퇴적물로부터의 오염물질 용출량과 I 영역에서의 유입량이 대부분을 차지하고 있었으나, 1993년 이후에는 하수처리장에 의한 오염부하량이 전체 오염부하량의 30% 정도를 차지하고 있으며, 침전률도 약 15% 정도를 차지하고 있다.

#### ▶SS, TN, TP 항목:

SS, TN, TP 항목도 COD 항목과 전반적으로 유사한 양상을 보이고 있다. I 영역의 유입오염부하량이 차지하는 비율도 80% 정도이다. 시기적인 변화를 보면, 유역의 오염부하량 비율이 1993년 이전에 비하여 1994년 이후에 약 4~12% 정도 감소하고 있음을 알 수 있다. 한편, II 영역의 경우에는 1993년 이전에 비하여 1994년

Table 2. Pollutant budget pattern in Masan coastal area.

## (a) COD

항목(COD; Zone I)	1991~1993	1994~1996
유입량(kg/day)	+54,155(92.5%)	+33,420(88.0%)
유출량(kg/day)	-3,529( 6.0%)	-2,436( 6.4%)
용출율(kg/day)	+4,415( 7.5%)	+4,575(12.0%)
침전율(kg/day)	-27,078(46.2%)	-16,710(44.0%)
분해 · 확산율(kg/day)	-27,963(47.7%)	-18,849(49.6%)
수체내 잔존량(kg)	738,988	856,159

항목(COD; Zone II)	1991~1993	1994~1996
유입량(kg/day)	+3,529(28.8%)	+2,436(15.3%)
WTP 부하량(kg/day)	+84( 0.7%)	+4,596(28.8%)
유출량(kg/day)	-2,892(23.6%)	-2,392(15.0%)
용출율(kg/day)	+8,660(70.6%)	+8,908(55.9%)
침전율(kg/day)	-42( 0.4%)	-2,298(14.4%)
분해 · 확산율(kg/day)	-9,339(76.1%)	-11,250(70.6%)
수체내 잔존량(kg)	1,871,874	1,994,755

## (b) SS

항목(SS; Zone I)	1991~1993	1994~1996
유입량(kg/day)	+38,695(82.6%)	+20,231(70.6%)
유출량(kg/day)	-6,274(13.4%)	-4,413(15.4%)
용출율(kg/day)	+8,124(17.4%)	+8,417(29.4%)
침전율(kg/day)	-19,348(41.3%)	-10,116(35.3%)
분해 · 확산율(kg/day)	-21,197(45.3%)	-14,119(49.3%)
수체내 잔존량(kg)	1,357,768	1,774,480

항목(SS; Zone II)	1991~1993	1994~1996
유입량(kg/day)	+6,274(28.4%)	+4,413(15.5%)
WTP 부하량(kg/day)	+406( 1.8%)	+8,116(28.6%)
유출량(kg/day)	-5,051(22.9%)	-4,481(15.8%)
용출율(kg/day)	+15,416(69.8%)	+15,856(55.9%)
침전율(kg/day)	-203( 0.9%)	-4,058(14.3%)
분해 · 확산율(kg/day)	-16,842(76.2%)	-19,846(69.9%)
수체내 잔존량(kg)	3,297,012	3,965,070

## (c) TN

항목(TN; Zone I)	1991~1993	1994~1996
유입량(kg/day)	+14,837(88.1%)	+9,265(81.8%)
유출량(kg/day)	-1,034( 6.1%)	-551( 4.9%)
용출율(kg/day)	+1,996(11.9%)	+2,068(18.2%)
침전율(kg/day)	-7,419(44.1%)	-4,633(40.9%)
분해 · 확산율(kg/day)	-8,380(49.8%)	-6,149(54.3%)
수체내 잔존량(kg)	211,256	198,852

항목(TN; Zone II)	1991~1993	1994~1996
유입량(kg/day)	+1,034(28.8%)	+551( 6.4%)
WTP 부하량(kg/day)	+85( 0.7%)	+6,185(71.3%)
유출량(kg/day)	-707(23.6%)	-456( 5.3%)
용출율(kg/day)	+1,880(70.6%)	+1,933(22.3%)

Table 2. (Continued)

## (c) TN

항목(TN; Zone I)	1991~1993	1994~1996
침전율(kg/day)	-7,419(44.1%)	-4,633(40.9%)
분해 · 확산율(kg/day)	-8,380(49.8%)	-6,149(54.3%)
수체내 잔존량(kg)	211,256	198,852

항목(TN; Zone II)	1991~1993	1994~1996
유입량(kg/day)	+1,034(28.8%)	+551( 6.4%)
WTP 부하량(kg/day)	+85( 0.7%)	+6,185(71.3%)
유출량(kg/day)	-707(23.6%)	-456( 5.3%)
용출율(kg/day)	+1,880(70.6%)	+1,933(22.3%)
침전율(kg/day)	-43( 0.4%)	-3,093(35.7%)
분해 · 확산율(kg/day)	-2,249(76.1%)	-5,120(59.1%)
수체내 잔존량(kg)	465,509	401,257

## (d) TP

항목(TP; Zone I)	1991~1993	1994~1996
유입량(kg/day)	+1,082(81.3%)	+721(73.6%)
유출량(kg/day)	-33( 2.5%)	-20( 2.0%)
용출율(kg/day)	+249(18.7%)	+258(26.4%)
침전율(kg/day)	-541(40.6%)	-361(36.9%)
분해 · 확산율(kg/day)	-757(56.9%)	-598(61.1%)
수체내 잔존량(kg)	7,499	6,915

항목(TP; Zone II)	1991~1993	1994~1996
유입량(kg/day)	+33( 8.0%)	+20( 2.9%)
WTP 부하량(kg/day)	+4( 1.0%)	+286(41.3%)
유출량(kg/day)	-41( 9.9%)	-13( 1.9%)
용출율(kg/day)	+376(91.0%)	+387(55.8%)
침전율(kg/day)	-2( 0.5%)	-143(20.6%)
분해 · 확산율(kg/day)	-370(89.6%)	-537(77.5%)
수체내 잔존량(kg)	24,134	11,348

이후 WTP 오염부하량의 비율이 전체 오염부하량의 약 29%~71%를 차지하고 있다. SS 항목 29%, TN 항목 71%, TP 항목 41%로 영양염류 오염부하량의 비율이 매우 큰 비율을 차지하고 있음을 알 수 있다.

## 4.2 수체내 오염물질 총량의 변화

수체내의 월별 오염물질총량의 변화는 해역의 수질농도로부터 계산할 수 있다. 월별로 측정된 수질농도자료와 수체의 체적자료를 이용하여 오염물질 총량을 월별로 계산하고, 월별 오염물질의 변화량을 추가적으로 계산하였다. 일반적으로, 봄철에서 여름철로 가는 경우, 오염물질의 총량이 증가하고, 여름철 이후 가을, 겨울철로 가는 경우에는 오염물질의 총량이 감소하는 경향을 보

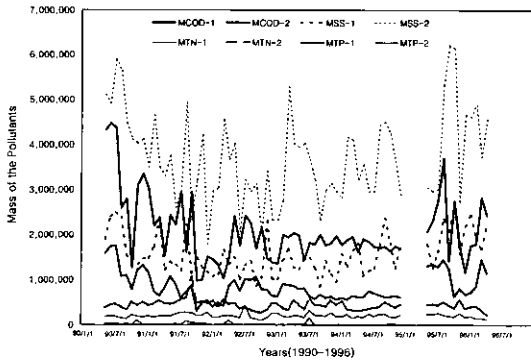


Fig. 7. Monthly total pollutant mass change in Masan coastal area.

이고 있다. Fig. 7은 I, II 영역의 오염물질 총량 및 변화량을 도시한 것이다. 수체내의 오염물질 변화량을 장기적인 관점, 즉 수지분석 기간동안의 수체내의 오염물질 총량의 순 변화량(net pollutants quantity change)을 수질항목별로 분석하였다.

오염물질 총량의 변화율은 수체내 잔존량을 기준으로 할 경우, COD 항목의 경우에는 I 영역에서 2.0%, II 영역에서 1.7% 감소하였으며, SS 항목의 경우에는 I 영역에서 0.1% 증가하고, II 영역에서 0.3% 감소하였다. 또한, TN, TP 항목의 경우에는, I 영역에서 각각 0.6%, 3.6% 감소하고, II 영역에서 각각 0.5%, 1.7% 감소하는 것으로 파악되었다. 그러나, 계절적인 오염물질 총량 변화량에 비하면 매우 작은 범위의 값으로 무시할 만한 정도의 양이다. 따라서, 유입되는 오염물질은 대부분이 수체에 축적되지 않고 침전, 분해 또는 외해로 확산되는 것으로 추정된다.

### 5. 결론 및 토의

하수처리장 건설에 의한 오염부하량 삭감 효과는 명확하다. 본 연구의 경우에는 I 영역의 오염부하가 II 영역으로 상당부분 이동되는 것으로 간주할 수 있으며, 하수처리율에 의한 영향은 COD, SS, TN, TP 항목에 대하여 각각 22%, 42%, 18%, 13% 정도로 파악되었다(조·채, 1998). 즉, 하수처리장이 건설되지 않았을 경우 II 영역의 오염부하량은 I 영역의 유역오염부하량으로 전가된다. COD, SS, TN, TP 항목의 경우, 각각 5,892(kg/day); 13,993(kg/day); 7,543(kg/day); 329(kg/day) 오염부하가 I 영역으로 부하되고, II 영역의 오염부하는 없어진다. 따라서, II 영역의 환경은 하수처리장에 의한 오

염부하 비율만큼 개선되고, 간접적으로는 I 영역에서 유출되는 오염부하에 의하여 수질이 보다 악화된다. 즉, 하수처리장 건설에 의한 I 영역의 오염부하량 삭감효과는 COD, SS, TN, TP 항목의 경우 각각 17.6%, 68.9%, 66.7%, 38%에 해당된다. 반면, II 영역은 직접적인 오염부하효과와 오염된 퇴적물에 의한 용출효과(간접적인 효과)가 가중되고 있다. 따라서, 하수처리장의 건설로 인하여 II 영역의 환경은 악화되어 가고 있음을 알 수 있으며, 마산만의 환경개선에는 크게 기여하고 있지 못하는 것으로 파악되었다. 그러나, 현재 계획·추진되고 있는 하수처리장 증축사업이 완료될 경우 마산만의 수질은 현저하게 개선될 것으로 사료된다.

### 사 사

본 연구성과는 G7 해양오염방지 및 환경회복기술 - '연안 환경 개선기술' 연구사업의 일환으로 수행되었으며, 연구사업에 재정적 지원을 해준 환경부에 심심한 감사를 표합니다. 또한, 본 논문의 세 번째 저자는 1999년도 원광대학교 교비지원을 받아 본 연구성과에 기여하였으며, 연구비지원에 감사드립니다.

### 참고문헌

기상청, 기상연보, 1990-1996.  
 이길성, 1996. 낙동강 수계 실시간 최적 저수관리 시스템 개발 (분석모델 부분) 보고서, 한국수자원공사.  
 이찬원, 1991. 진해만 일원 오염실태 조사보고서, 환경처.  
 이찬원, 1994. 마산만 준설에 따른 해양환경 종합 모니터링 (1990-1994), 경남대학교 환경문제연구소. 마산시.  
 조홍연, 채장원, 1996. 마산만의 장기간 물수지 및 해수교환 특성, 한국해양·해양공학회지, 9(2): 74-85.  
 조홍연, 채장원, 1998. 진해·마산만 오염부하량의 특성 분석, 한국해양·해양공학회지, 10(3): 132-140.  
 한국수자원공사, 1993. 낙동강 유역권 용수이용현황조사 자료집, IPD-93-6.  
 한국해양연구소, 1997. 연안환경 개선기술, 제2단계 1차년도 연차보고서, BSPN 00307-949-2, 환경부, 과학기술처.  
 한국해양연구소, 1997. 연안환경 개선기술, 제2단계 2차년도 연차보고서, BSPN 00307-949-2, 환경부, 과학기술처.  
 한국해양연구소, 1998. 연안환경 개선기술, 제2단계 3차년도 최종보고서, BSPN 00307-949-2, 환경부, 과학기술처.