

## 목포항 수질개선에 대한 목포하수처리장의 기여율 산정

김광수<sup>(1)</sup>

### The Estimation of the contribution rate of Mokpo Municipal Sewage Treatment Plant to the Improvement of Marine Water Quality in Mokpo Harbour

by  
Kwang-Soo Kim<sup>(1)</sup>

#### 요 약

목포항 해양수질개선에 대한 목포하수처리장 가동의 기여도를 평가하고 목포하수처리장 가동 후에 목포항에 유입하는 오염부하의 변화를 산정하기 위하여, 하수처리장 가동 전인 1997년 여름부터 1998년 봄까지의 건조기에 육지로부터 목포항에 유입하는 오염부하를 조사하고 목포항 주변의 하천들과 처리장 유출수의 계절별 유량 및 수질을 기초로 하여 유입오염부하를 산정하였다. 또한 하수처리장 가동 후인 1998년 겨울부터 1999년 봄까지 목포항에 유입하는 오염부하를 조사하고 목포하수처리장의 유입수 및 유출수의 오염부하를 산정하였다. 하수처리장의 처리율은 화학적산소요구량(COD)이 약 49%, 총부유성고형물(TSS)이 약 76%, 휘발성부유물(VSS)이 약 79%, 총질소(T-N)가 약 3%, 용존무기인(DIP)이 약 7%, 총인(T-P)이 약 29%, 용존무기질소(DIN)가 약 -32%를 보였다. 하수처리장 가동으로 인한 목포항 내 항수역 유입오염부하 변화율은 COD가 약 56%, TSS가 약 78%, VSS가 약 84%, DIN이 약 45%, T-N이 약 22%, T-P가 약 34%, DIP가 약 -14%를 보였다. 목포항 전역으로 유입하는 총오염부하의 감소에 대한 하수처리장 가동의 기여율은 COD가 약 3%, TSS가 약 3%, VSS가 약 5%, DIP가 약 1%, T-P가 약 3%, DIN이 약 -1%로 나타났다.

#### Abstract

In order to evaluate the contribution of MMSTP operation to the improvement of marine water quality of Mokpo harbour and to estimate the change of pollution loads flowing into Mokpo harbour after the operation of Mokpo Municipal Sewage Treatment Plant (MMSTP), the pollution loads flowing into Mokpo harbour from land in dry weather were surveyed and estimated on the bases of the seasonal flow rates and the seasonal water qualities of streams and effluents located around Mokpo harbour from summer, 1997 to spring, 1998 before the operation of MMSTP, and the pollution loads of the inflow and the effluent of MMSTP were also surveyed and estimated from winter, 1998 to spring, 1999 after the operation of MMSTP. The treatment rates of MMSTP were shown to be about 49% in COD, 76% in TSS, 79% in VSS, 3% in T-N, 7% in DIP, 29% in T-P and -32% in DIN. The change rates of pollution loads flowing into the inner harbour of

(1) 목포해양대학교 해상운송시스템학부

Mokpo due to the operation of MMSTP were shown to be about 56% in COD, 78% in TSS, 84% in VSS, 45% in DIN, 22% in T-N, 34% in T-P and -14% in DIP. The contribution rates of MMSTP operation to the reduction of total pollution loads flowing into the entire Mokpo harbour were found to be about 3% in COD, 3% in TSS, 5% in VSS, 1% in DIP, 3% in T-P and -1% in DIN.

Keywords: 목포하수처리장(Mokpo Municipal Sewage Treatment Plant), 기여율(Contribution rate), 오염부하(Pollution loads), 처리율(Treatment rate), 화학적산소요구량(COD), 총부유성고형물(TSS), 휘발성부유물(VSS), 총질소(T-N), 용존무기인(DIP), 총인(T-P), 용존무기질소(DIN).

## 1. 서 론

한반도 서남권에 위치한 목포항 주변 지역에서 삼호공단과 대불공단이 가동되고 목포신의항 건설이 진행되는 등 서남권 경제활성화의 여건이 성숙됨에 따라 대외무역 관문항으로서 또한 생활지향으로서 목포항의 역할이 점차 증대되고 있다. 최근에는 영산호 주변의 남악신도시가 조성되고 있고, 목포항을 가로지르는 목포-고하도 연륙교 건설이 계획됨에 따라 목포항을 세계적 미항으로 가꾸기 위한 운동이 전개되고 있다. 그러나 광주광역시를 비롯한 담양, 나주, 영암, 함평, 무안 등의 영산강 상류 지역으로부터 생활하수 및 각종 폐수가 영산호를 경유하여 목포항으로 유입되고, 또한 대불공단의 방류수와 영암호나 금호호의 유출수가 목포항과 그 주변해역으로 유입되고 있을 뿐만 아니라 목포항 내에도 출·입항하거나 정박 중인 각종 선박 오염원이 존재하고 있어서 각종 오염물질들이 목포항으로 유입하고 있다. 특히 목포항은 해남반도와 달리도 등 많은 섬들로 둘러싸인 반폐쇄성 해역으로서 오염물질이 유입되면 외해로 쉽게 확산되거나 희석되지 못하고 항내수역에 축적됨으로써 부영양화에 따른 적조나 빈산소수괴가 형성되는 등 환경악화현상이 발생할 가능성이 높기 때문에 합리적 해역수질관리가 필요한 실정이다(농어촌진흥공사[1997a, 1997b]).

일반적으로 연안이나 항내 수역의 수질에 영향을 주는 가장 중요한 요소는 해역으로 유입하는 오염부하이고, 오염부하를 통하여 해수중으로 유입된 질소, 인 등의 영양염류가 식물플랑크톤에 섭취되면 내부생산이 증가하여 COD 상승의 원인이 되기 때

문에 COD와 더불어 질소와 인은 부영양화의 수질 지표이다. 복잡한 물질순환계를 가진 부영양화 해역에서는 수질이 쉽게 개선되지 않기 때문에, 수질 관리 항목인 COD, 질소, 인에 대한 환경기준을 강화하여 오염부하를 줄이고, 저질을 준설하거나 피복하여 용출부하를 억제하며, 수중구조물을 설치하여 통기를 활성화하고, 수로를 만들거나 변경함으로써 해역의 흐름을 변화시켜 해수교환량을 촉진시키는 공학적 수법을 도입하기도 하며, 수역의 환경용량을 고려하여 양식밀도를 적정 수준으로 유지하는 등 수질 개선 및 관리를 위한 여러 가지 방안이 제기되고 있다(환경부[1991]). 해역에 유입하는 오염부하를 제어하기 위한 하수종말처리장이나 폐수처리장의 규모, 위치, 처리공법, 가동율 등을 합리적으로 결정하기 위해서는 먼저 오염부하량을 정확히 파악하고, 미래의 오염부하 증가 추이를 정확히 예측하는 것이 필요하다. 오염부하는 보통 인구수나 가축수 등을 기준으로 원단위법을 이용하여 산정하기도 하고, 강우시에는 토지이용, 유출율 등 유역의 특성을 이용하여 산정하기도 한다. 그러나 목포항과 같은 반폐쇄성 해역은 주변에 위치한 유입 하천의 수와 위치가 뚜렷하기 때문에, 유입 하천의 수질 농도와 유입 유량을 이용하여 비강우시에 목포항으로 유입하는 오염부하량을 산정한 바가 있다(김과 이[2003]).

그리고 1998년 7월말부터 가동에 들어간 목포의 남해하수종말처리장은 목포시가지의 남동쪽에 위치한 내항지역을 처리대상구역으로 정하여 유입하수의 200mg-BOD/ℓ와 200mg-SS/ℓ를 각각 90%와 85%를 제거한 후 방류하도록 설계되었으며, 시설용량과 하수처리 계획인구는 최종목표연도 2001년에 각각 120,000m<sup>3</sup>/day와 258,000명으로 계획된 표준화성오니법의 하수처리장이다. 이 남해하수처리장은

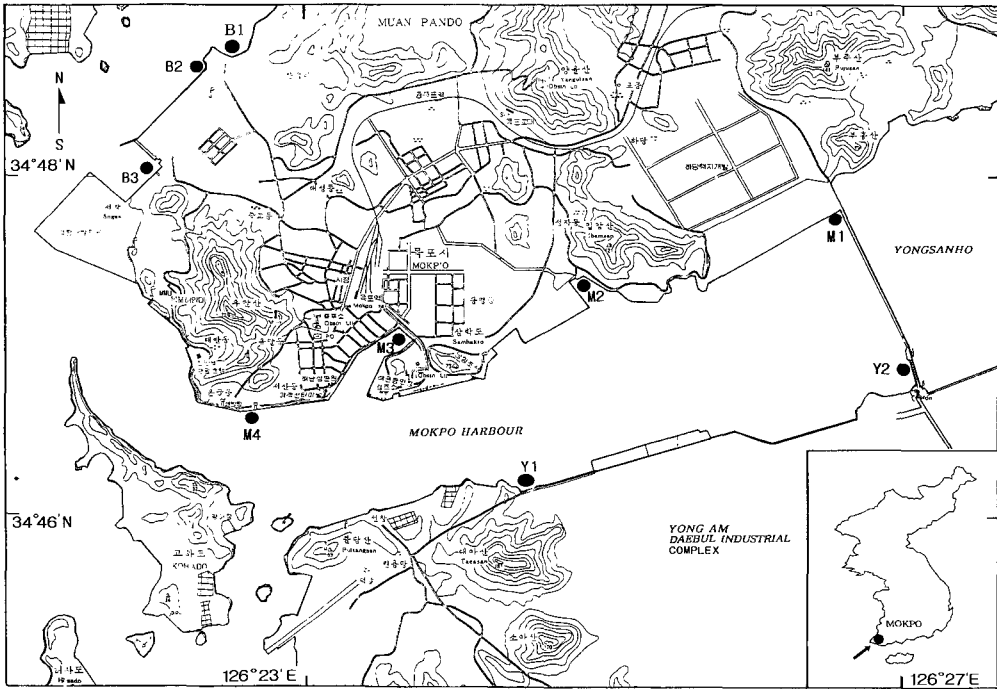


Fig. 1 Location of sampling stations in Mokpo Harbour.

COD를 기준으로 도시하수의 유기오염부하를 제어하는 데에 중점을 두고 있으나, 부영양화의 원인 물질인 질소나 인을 처리할 수 있는 고차처리에 대한 필요성이 제기되고 있는 실정이라서, 목포남해하수종말처리장의 가동으로 인하여 목포항으로 유입하는 유기오염 부하와 질소·인 부하의 변화를 파악할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 목포남해하수처리장의 가동이 얼마나 목포항 해양수질개선에 기여하는지를 알아보기 위하여 육상으로부터 목포항으로 유입하는 화학적 산소요구량(COD), 총부유성고형물(TSS), 휘발성부유물(VSS), 용존무기질소(DIN), 총질소(T-N), 용존무기인(DIP) 및 총인(T-P)의 부하량이 하수종말처리장의 가동으로 인하여 어느 정도의 변화가 있는지를 정량적으로 밝히고자 하였다. 이러한 연구 결과는 목포항과 인근 해역의 수질관리에 필요한 기초 자료로 활용될 수 있을 뿐만 아니라 2003년 10월에 목포시 북항에 완공될 예정인 북항하수종말처리장의 운영에도 도움이 될 것으로 기대된다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 연구 대상 지역

연구 대상 지역은 Fig. 1과 같이 용두와 서각을 잇는 구(舊)항계내의 목포 내항수역과, 서각, 장좌도, 정주도 및 목도를 잇는 목포 북항수역을 포함하며, 목포 북항구역(North harbour area), 내항구역(Inner harbour area), 대불공업단지(Daebul industrial complex) 방류구역(Y1), 영산호(Yongsan lake) 하구둑 수문(Y2) 및 기타로 구분하였다. 기타의 구역은 영암 용당의 군사지역 및 고하도 지역 등을 포함한다. 북항구역(B)에는 산정농공단지 방류지점(B1), 북항천(B2), 죽교천(B3)이 포함되고 내항구역(M)에는 삼향천(M1), 남해하수종말처리장(M2), 동명동 배수구(M3) 및 해안로 배수펌프장(M4)이 포함된다. 남해하수처리장에서 처리할 하수의 차집 범위는 정점 M1, M2, M3 및 M4를 포함하며, 본 연구에서는 하수처리장의 가동전과 가동후 각각에

대하여 차집구역(M1~M4)의 유입수의 수질과 유량 그리고 유출수의 수질과 유량을 각각 조사하여 남해하수처리장의 유입부하량과 유출부하량을 각각 산정하였다.

## 2.2 대상 지역의 하·폐수처리 현황

목포항의 북쪽에는 목포시가 위치하며, 남쪽으로는 영암군의 대불공단과 현대삼호조선(공단)이 자리잡고 있다.

목포시에서는 약 24만5천명의 인구가 하루평균 10만~11만<sup>m<sup>3</sup></sup>의 하수를 발생시키고 있지만, 1998년 7월말부터 남해하수처리장(M2 : M1, M3 및 M4를 포함)이 가동되면서 하루평균 6만~8만<sup>m<sup>3</sup></sup>의 하수를 차집하여 처리함으로써 현재는 목포시의 하수처리율이 70% 내외에 이르고 있으며, 2003년 10월에 완공 예정인 북향하수처리장(B2)이 가동되면 하루에 3만5천<sup>m<sup>3</sup></sup>의 하수를 추가로 처리할 수 있게 되어, 목포시에서 발생하는 하수를 거의 모두 처리하게 될 것으로 예상된다. 한편, 목포시의 북쪽에 위치한 산정농공단지 오폐수처리장은 산정농공단지(B1) 및 삼진산업단지에서 발생하는 오폐수를 하루평균 약 6백<sup>m<sup>3</sup></sup>를 처리하고 있으며, 영암군에 위치한 대불공단(Y1)과 현대삼호공단에서는 각각 하루평균 약 2만5천<sup>m<sup>3</sup></sup>과 약 2천5백<sup>m<sup>3</sup></sup>의 오폐수를 처리하고 있다.

## 2.3 체수 및 유량 산정

Fig. 1에 제시한 바와 같이, 목포남해하수종말처리장이 가동되기 전에는 오염부하가 큰 9개의 유입 지점에 대하여 1997년 8월부터 1998년 4월까지 계절별로 비강우시의 시료수를 해수의 영향이 적은 저조(Low water)시에 목포항으로 유입하는 각 하천의 유입 지점과 방류수로의 최하류부에서 채취하여 수질을 조사하였다. 그리고 유입 지점의 하천들이 복개되고 해수가 침입하여 하천의 유량을 실측하기 곤란하기 때문에, 목포시의 급수량 및 지하수 사용량 자료, 대불공업단지의 용수사용량 자료 및 영산호의 방류량 자료를 이용하여 유입 유량을 산정하였으며, 증발이나 지하침투 등 기상학적 인자와 유로의 특성은 고려하지 않았다(목포시[1998]; 영암군[1998]; 농어촌진흥공사[1998]). 또한 목포남해하수종말처리장이 1998년 7월말부터 가동된 후에는 1998년

12월부터 1999년 4월까지 매월 9개의 유입 지점에 대하여 수질과 유량을 조사하였다. 그러나 본 연구에서는 하수처리장(M2)의 유입수와 유출수에 대한 수질과 유량을 기초로 하여, 오직 하수처리장 가동 전후의 오염부하량 변화만을 제시하였다.

## 2.4 수질분석

시료수에 대한 수질분석은 수질오염공정시험법(환경부[1992])과 Standard Methods(APHA-AWWA-WPCF[1999])에 준하였으며, 화학적 산소요구량(COD), 총부유성고형물(TSS), 휘발성부유물(VSS), 암모니아 질소(NH<sub>3</sub>-N), 아질산 질소(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N), 질산 질소(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N), 총질소(T-N), 용존무기인(DIP) 및 총인(T-P)을 측정하였다. 그리고 용존무기질소(DIN)는 암모니아성 질소, 아질산성 질소, 질산성 질소의 합계를 말한다.

## 2.5 오염부하량 산정

각 수질항목의 농도와 유량의 곱에 의하여 오염부하량을 산정하였다. 즉, 화학적 산소요구량(COD), 총부유성고형물(TSS), 휘발성부유물(VSS), 용존무기질소(DIN), 총질소(T-N), 용존무기인(DIP) 및 총인(T-P)의 1일 유입량(kg/day)을 산정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 목포남해하수처리장의 처리율

목포항의 내항수역으로 유입하는 도시하수를 차집하여 처리하는 목포남해하수처리장의 유입부하량과 배출부하량을 항목별로 나타내면 Fig. 2와 같고, 항목별 하수처리율은 Table 1과 같다. 하수처리장의 처리율을 수질항목별로 살펴보면, COD는 1,835kg/day가 유입하여 928kg/day가 유출되므로 약 49%가 처리되며, TSS는 2,538kg/day가 유입하여 612kg/day가 유출되므로 약 76%, VSS는 1,506kg/day가 유입하여 315kg/day가 유출되므로 약 79%, T-N은 1,113kg/day가 유입하여 1,075kg/day가 유출되므로 약 3%, DIP는 70kg/day가 유입하여 65kg/day가 유출되므로

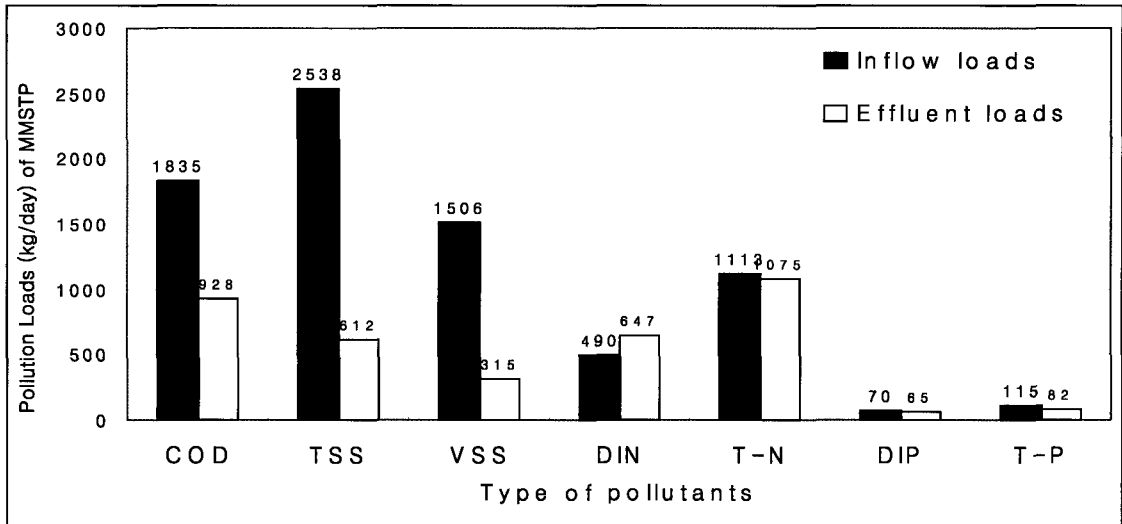


Fig. 2 Comparison of pollution loads between the inflow and the effluent of Mokpo Municipal Sewage Treatment Plant.

Table 1 Sewage treatment rates of Mokpo Municipal Sewage Treatment Plant (MMSTP).

Type of pollutants	COD	TSS	VSS	DIN	T-N	DIP	T-P
Treatment rate (%)	49.4	75.9	79.1	-32.0	3.4	7.1	28.7

약 7%, T-P는 115kg/day가 유입하여 82kg/day가 유출되므로 약 29%의 처리율을 보였으나, DIN은 490kg/day가 유입하여 647kg/day가 유출되므로 오히려 약 32% 증가하였다. 하수처리장으로 유입하는 오염물질의 농도를 200mg-BOD/ℓ와 200mg-SS/ℓ로 설정한 설계기준에 따라서 하수처리장이 건설되었지만, 현재의 유입 농도는 설계기준보다 훨씬 낮은 약 30mg-COD/ℓ와 약 40mg-TSS/ℓ이기 때문에, COD, TSS 및 VSS에 대한 처리율이 저조한 편이다. 영양물질인 질소와 인에 대한 처리율이 낮은 것은 유입 하수가 하수처리장에서 활성슬러지법을 이용한 2차처리를 거친 후에 유출수로 방류되기 때문이다. 즉, 고차처리를 하지 않기 때문에 영양물질인 질소와 인에 대한 처리율이 낮다. DIN은 유입부하보다 배출부하가 크게 나타난 것은 유입 하수에 포함된 유기질소가 일련의 하수처리과정에서 무기질소로 전환되는 무기화과정에 기인하는 것

으로 보인다.

### 3.2 하수처리장 가동후 목포 내항구역 유입부하량의 변화

목포 내항구역으로 유입하는 오염부하량의 변화는 하수처리장 가동전의 유입부하량과 가동후의 유입부하량과의 차이를 의미한다. Fig. 3과 Table 2에 제시된 바와 같이, 하수처리장 가동후의 목포 내항구역 유입부하량 변화율을 수질항목별로 살펴보면, COD는 가동전의 2,120kg/day가 가동후의 928kg/day로 약 56%가 감소하였고, TSS는 가동전의 2,720kg/day가 가동후의 612kg/day로 약 78%, VSS는 가동전의 1,967kg/day가 가동후의 315kg/day로 약 84%, DIN는 가동전의 1,171kg/day가 가동후의 647kg/day로 약 45%, T-N는 가동전의 1,374kg/day가 가동후의 1,075kg/day로 약 22%, T-P는 가동전의 124kg/day가

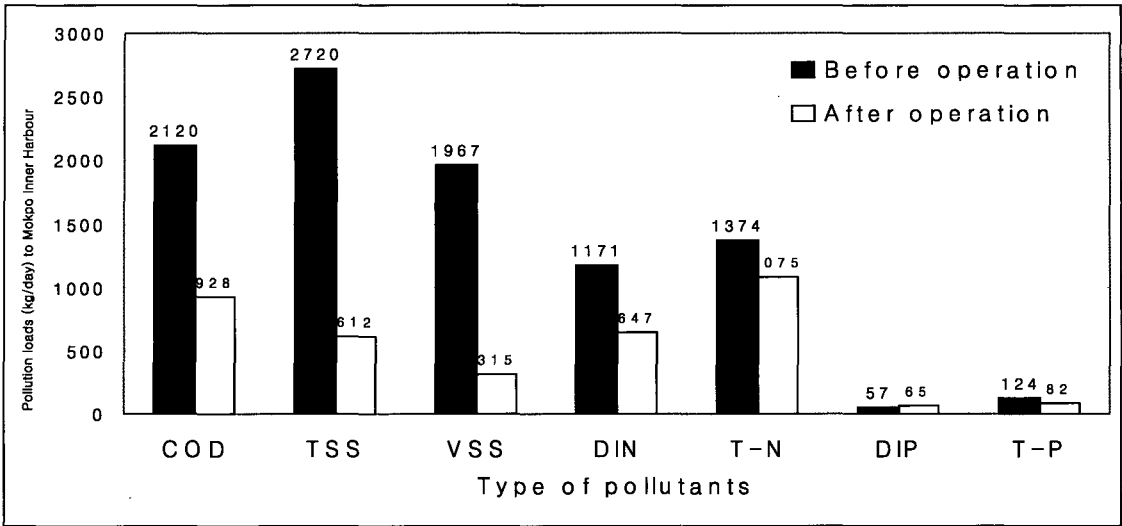


Fig. 3 Comparison of pollution loads to the Inner Harbour of Mokpo between before and after the operation of Mokpo Municipal Sewage Treatment Plant.

Table 2 Reduction rates of pollution loads to Mokpo Inner Harbour after the operation of Mokpo Municipal Sewage Treatment Plant (MMSTP).

Type of pollutants	COD	TSS	VSS	DIN	T-N	DIP	T-P
Reduction rate (%)	56.2	77.5	84.0	44.7	21.8	-14.0	33.9

가동후의 82kg/day로 약 34% 감소하였으나, DIP는 가동전의 57kg/day가 가동후의 65kg/day로 오히려 약 14% 증가하였다. DIP를 제외한 모든 수질항목에 대하여 목포 내항구역 유입부하량 감소율이 하수처리율보다 크게 나타난 것은 하수처리장으로 유입하는 오염부하량이 가동전보다 가동후에 더 적게 유입하였기 때문이다. 목포 내항구역에서 유입부하량이 가동전에 비하여 가동후에 감소한 것은 목포남해하수처리장으로 차집되어야 할 도시하수가 완전히 차집되지 않았기 때문에 그 중에서 하루동안 약 15,600m<sup>3</sup>의 하수가 처리장을 거치지 않고 목포 내항수역으로 유입되는 것으로 추정된다. 그러나 DIP의 경우, 하수처리장 가동전의 동·춘계에 비하여 가동후의 동일 계절인 동·춘계의 DIP 농도가 1.4배로 증가하였으나 유량은 0.8배로 감소함으로써 가동전에 비하여 가동후의 DIP부하량 변화

율은 14%정도 증가하는 것으로 나타났다.

### 3.3 목포항 총유입오염부하의 감소에 대한 하수처리장 가동의 기여율

목포남해하수처리장의 가동으로 인하여 목포 내항구역으로 유입하는 오염부하는 감소하였다. 이러한 내항구역의 오염부하 감소가 목포항 전역으로 유입하는 총유입부하에 얼마나 기여하는가를 알아보기 위하여 비강우시 계절평균 유입부하량(김과 이[2003])을 기준으로 하여 하수처리장에서의 부하삭감량 (= 유입부하량 - 배출부하량)을 백분율로 나타낸 기여율을 수질항목별로 Table 3에 제시하였고, 목포항 전역에 유입하는 총유입부하량과 부하삭감량을 항목별로 Fig. 4에 나타내었다. COD는 36,650kg/day의 총유입부하에 대하여 907kg/day이 삭감되므로 약 3%의 기

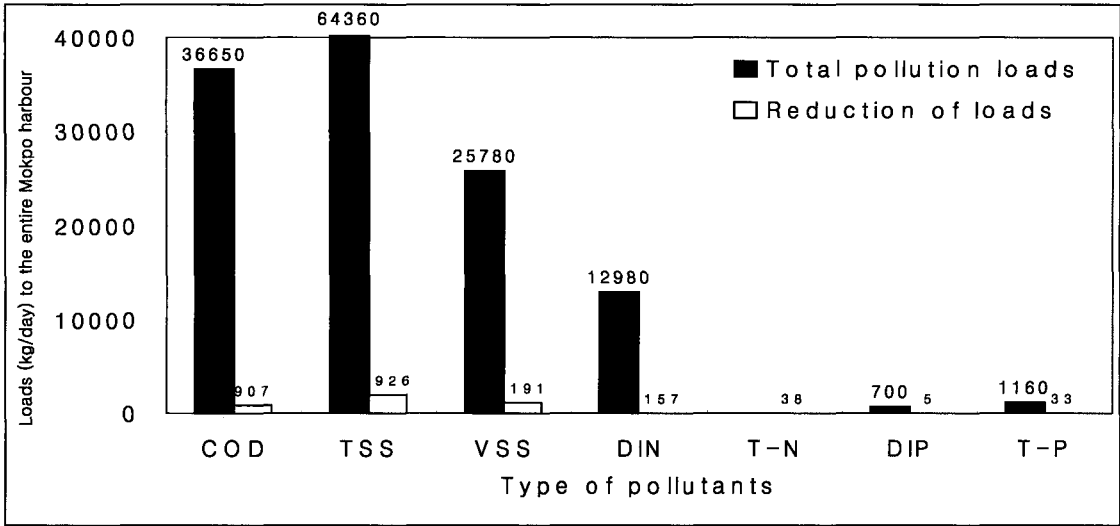


Fig. 4 Comparison between the total pollution loads and the reduction of pollution loads to the entire Mokpo Harbour.

Table 3 The contribution rate(%) of MMSTP operation to the reduction of total pollution loads flowing into the entire Mokpo harbour.

Type of pollutants	COD	TSS	VSS	DIN	T-N	DIP	T-P
Contribution rate (%)	2.5	3.0	4.6	-1.2	-	0.7	2.8

여율을 보였고, TSS는 64,360kg/day의 총유입부하에 대하여 1,926kg/day이 삭감되므로 약 3%의 기여율을 보였으며, VSS는 25,780kg/day의 총유입부하에 대하여 1,191kg/day이 삭감되므로 약 5%의 기여율을 보였고, DIP는 700kg/day의 총유입부하에 대하여 5kg/day이 삭감되므로 약 1%의 기여율을 보였으며, T-P는 1,160kg/day의 총유입부하에 대하여 33kg/day이 삭감되므로 약 3%의 기여율을 보였으나, DIN는 12,980kg/day의 총유입부하에 대하여 157kg/day이 증가되므로 오히려 약 1% 증가하였다. 모든 수질항목의 기여율이 5%이하로서, 목포항 전체의 수질 개선에 대한 하수처리장 가동의 기여도가 작은 것으로 평가된다. 따라서 목포항 수질개선에 기여할 수 있는 하수처리장을 목포항 주변지역뿐만 아니라 영산강 상류지역에 추가로 설치할 필요가 있다.

#### 4. 결 론

목포남해하수처리장이 가동되기 전인 1997년 하계부터 1998년 춘계까지 계절별, 유입지점별 목포항 유입오염부하를 조사·분석 및 산정한 다음, 하수처리장이 가동된 후인 1998년 동계와 1999년 춘계에 걸쳐서 하수처리장의 유입수 및 유출수를 조사·분석하고 부하량을 산정함으로써, 목포남해하수종말처리장 가동이 목포항 유입오염부하량의 변화를 통하여 목포항 수질개선에 얼마나 기여하였는지를 정리한 결과는 다음과 같다.

- 1) 하수처리장의 처리율을 수질항목별로 살펴보면, COD는 약 49%, TSS는 약 76%, VSS는 약 79%, T-N은 약 3%, DIP는 약 7%, T-P는 약 29%의 처리율을 보였으나, DIN은 오

히려 약 32%가 증가하였다. 따라서 질소와 인의 처리율을 높일 수 있는 고차처리공법을 하수처리장에 도입할 필요가 있다.

wastewater”, 17th Ed, Washington.

- 2) 하수처리장 가동후의 목포 내항구역 유입부 하량 변화율을 수질항목별로 살펴보면, COD는 약 56%, TSS는 약 78%, VSS는 약 84%, DIN는 약 45%, T-N는 약 22%, T-P는 약 34% 감소하였으나, DIP는 오히려 약 14% 증가하였다.
- 3) 하수처리장 가동이 목포항 총유입오염부하의 감소에 대한 기여율을 수질항목별로 살펴보면, COD는 약 3%, TSS는 약 3%, VSS는 약 5%, DIP는 약 1%, T-P는 약 3% 감소하였으나, DIN는 오히려 약 1% 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 목포남해하수종말처리장 가동이 목포항 전체의 수질 보전 및 개선에 기여하는 바가 매우 작은 것으로 평가된다. 따라서 목포항 수질개선에 기여할 수 있는 하수처리장을 목포항 주변지역 및 영산강 상류지역에 추가로 설치할 필요가 있다.

### 참고문헌

- [1] 김광수 · 이남일, 2003, 목포항에 유입하는 오염부하량 산정 - 비강우시 육상오염부하를 중심으로 -, 한국해양환경공학회지, 제6권, 제1호, 11~20.
- [2] 농어촌진흥공사 영산강 사업단, 1997a, “하국독관리연보(1992~1996)”, pp. 401~409.
- [3] 농어촌진흥공사, 1997b, “영산강(Ⅲ)지구 대단위간척지 종합개발사업 사후환경영향조사보고서”, pp. 119~126.
- [4] 농어촌진흥공사 영산강사업단, 1998, 영산호 배수갑문 조작현황(1997. 6~1998. 5).
- [5] 목포시, 1998, 급수 및 상수도 사용량, 지하수사용량 현황(1997. 6~1998. 5).
- [6] 영암군, 1998, 대불국가공업단지 용수사용량 현황(1997. 6~1998. 5).
- [7] 환경부, 1991, “진해만일원 오염실태 조사 보고서”.
- [8] 환경부 고시 제91-85호, 1992, “수질오염공정시험방법”, 동화기술, pp. 193~291.
- [9] APHA-AWWA-WPCF, 1999, “Standard method for the examination of water &