

목포항에 유입하는 오염부하량 산정
- 비강우시 육상오염부하를 중심으로 -

김광수⁽¹⁾, 이남일

Estimation of Pollution Loads flowing into Mokpo Harbour
- Centering on Pollution Loads from Land in Dry Case -

by
Kwang-Soo Kim⁽¹⁾ and Nam-Il Lee

요 약

비강우시 육상으로부터 목포항으로 유입하는 오염부하량을 목포항 주변에 위치한 하천 및 방류수의 계절별 유량과 수질을 기초로 하여 산정하였다. 4계절의 유량 자료에 의하여 산출한 목포항 유입하루평균유량은 약 $5.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{day}$ 이고 연평균유량은 약 $2 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{year}$ 로 나타났다. 영산호 방류수의 계절별 유량은 4계절에 걸쳐서 모든 유입원들의 총유량의 90%이상으로 나타났다. 4계절에 걸쳐서 하천과 같은 유입원의 9개 지점에서 측정된 화학적 산소요구량(COD), 총부유고형물(TSS), 총무기질소(TIN) 및 총인(TP)의 농도는 각각 $2.87 \sim 42.69 \text{ mg}/\ell$, $3.65 \sim 1080.32 \text{ mg}/\ell$, $0.083 \sim 89.744 \text{ mg}/\ell$ and $0.028 \sim 6.926 \text{ mg}/\ell$ 로 나타났다. 4계절 자료를 평균하여 산정된 목포항 유입 연평균부하량은 각각 약 37 ton-COD/day, 약 64 ton-TSS/day, 약 13 ton-TIN/day 및 약 1.2 ton-TP/day로 나타났다. 하계의 목포항 유입부하량은 각각 약 82 ton-COD/day, 약 159 ton-TSS/day, 약 14 ton-TIN/day 및 2 ton-TP/day로 산정되었다. 목포항으로 유입하는 주된 오염부하원은 영산호의 방류수로 밝혀졌다.

Abstract

The pollution loads flowing into Mokpo harbour from land in dry case were estimated on the bases of the seasonal flow rates and the seasonal water qualities of streams and effluents located around Mokpo harbour. Average daily amount of fresh water flowing into Mokpo harbour obtained by the inflow rate data of 4 seasons was found to be about $5.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{day}$ and annual inflow rate to be about $2 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{year}$. The seasonal flow rates of effluents from Yongsan lake were above 90% of total flow rates of all inflows in 4 seasons. The concentrations of COD, TSS, TIN and TP at 9 inflow stations from streams and effluents in 4 seasons were shown to be in the ranges of $2.87 \sim 42.69 \text{ mg}/\ell$, $3.65 \sim 1080.32 \text{ mg}/\ell$, $0.083 \sim 89.744 \text{ mg}/\ell$ and $0.028 \sim 6.926 \text{ mg}/\ell$, respectively. The average loads of COD, TSS, TIN and TP into Mokpo harbour estimated by the data of 4 seasons were found to be about 37 ton/day, 64 ton/day, 13 ton/day and 1.2 ton/day, respectively. The loads of COD, TSS, TIN and TP into Mokpo harbour in summer were shown to be about 82 ton/day, 159 ton/day, 14 ton/day and 2 ton/day, respectively. The main source of pollution loads into Mokpo harbour was found to be the effluent of Yongsan lake.

(1) 정회원, 목포해양대학교

Keywords: Pollution loads(오염부하), Flow rate(유량), Water quality(수질), Streams(하천), Effluents(유출수), Inflows(유입수), COD(화학적 산소요구량), TSS(총부유고형물), TIN(총무기질소), TP(총인).

1. 서 론

한반도 서남권에 위치한 목포항 주변 지역에서 삼호공단과 대불공단이 가동되고 목포신외항 건설이 진행되는 등 서남권 경제활성화의 여건이 성숙됨에 따라 대외무역 관문항으로서 또한 생활기지항으로서 목포항의 역할이 점차 증대되고 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 주변 해역으로 유입되고 있을 뿐만 아니라 목포항 내에도 출입항하거나 정박중인 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 해역수질관리가 시급한 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 때문에 COD와 더불어 질소와 인은 부영양화의 수질지표이다. 그래서 복잡한 물질순환 관계를 가진 부영양화 해역의 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 비강우시에는 뚜렷하기 때문에 유입 하천의 수질 농도와 유입 유량을 이용하여 유입 오염부하량을 산정하는 것은 타당성이 있는 방법이다(이 등[1998]). 그리고 98년 하반기부터 가동에 들어간 목포의 남해하수종말처리장은 COD를 기준으로 도시하수의 유기오염부하를 제어하는 데에 중점을 두고 있으나, 부영양화의 원인 물질인 질소나 인을 처리할 수 있는 고차처리에 대한 필요성이 지적되고 있는 실정이어서 목포항으로 유입하는 유기오염부하 뿐만 아니라 질소와 인의 부하량을 정확히 파악할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 비강우시에 육상으로부터 목포항으로 유입하는 총부유고형물(TSS), 화학적 산소요구량(COD), 총무기질소(TIN) 및 총인(TP)의 계절별 부하량을 정량적으로 산정하고자 하였다. 이러한 연구 결과는 목포항과 인근 해역의 수질관리에 필요한 기초 자료로 활용될 것으로 기대된다.

2. 연구 방법

2.1 연구 대상 해역

연구 대상 해역은 Fig. 1과 같이 용두와 서각을 잇는 구(舊)항계내의 목포 내항수역과, 서각, 장좌도, 정주도 및 목도를 잇는 목포 북항수역을 포함한다.

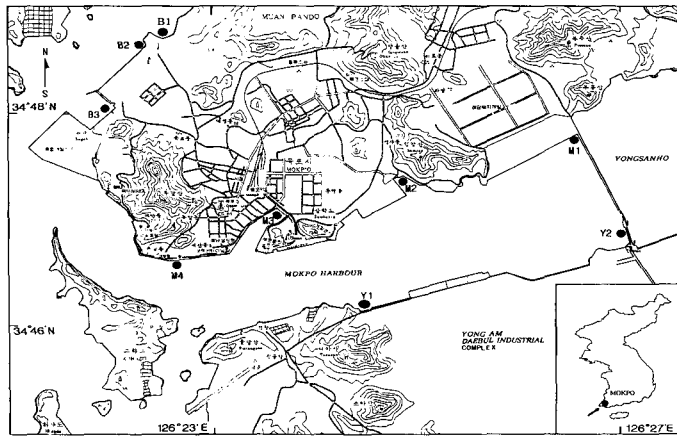


Fig. 1 Location of sampling stations in Mokpo Harbour.

2.2 대상 해역의 구역 분할

연구 대상 해역을 목포 북항구역(North harbour area), 내항구역(Inner harbour area), 대불공업단지(Daebul industrial complex) 방류구역(Y1), 영산호(Yongsan lake) 하구둑 수문(Y2) 및 기타로 구역을 분할하였다. 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), 입암천(M2), 동명동 배수구(M3) 및 해안로 배수펌프장(M4)이 포함된다.

2.3 채수 및 유량 산정

Fig. 1에 제시한 바와 같이, 목포시 오수 및 우수의 하수 계획 일반도를 참고하여 오염부하가 큰 9개의 유입 지점에 대하여 하계(97년 8월 19일), 추계(97년 10월 31일), 동계(98년 2월 14일) 및 춘계(98년 4월 30일)의 계절별로 비강우시의 시료수를 가능한 한 해수의 영향이 적은 저조(Low water)시에 목포항으로 유입하는 각 하천의 유입 지점과 방류수로의 최하류부에서 채취하였다. 그리고 유입 지점의 하천들이 복개되어 있고 해수의 침입으로 인하여 하천의 유량을 실측하기 곤란하여, 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]).

2.4 수질분석

시료수에 대한 수질분석은 수질오염공정시험법(환경부[1992])과 Standard Methods(APHA-AWWA-WPCF[1999])에 준하였으며 화학적 산소요구량(COD), 총부유성고형물(TSS), 암모니아 질소(NH₃-N), 아질산 질소(NO₂-N), 질산 질소(NO₃⁻-N), 및 총인(TP)을 측정하였다. 그리고 총무기질소(TIN)는 암모니아 질소, 아질산 질소, 질산 질소의 합계를 말한다(환경정책기본법시행령 별표 1[2000]).

3. 결과 및 고찰

3.1 유량

목포항으로 유입하는 계절별, 지점별 유량을 산정하여 Table 1에 제시하였다. 4계절 평균 일유입량은 약 550만m³/day로서 연간 약 20억m³가 목포항으로 유입하고 있다. 그 중에서 영산호(Y2)의 유량은 4계절 모두 전체유량의 90%를 상회하였고, 특히 하계에는 각 유입 지점의 일유량을 합계한 총일유량의 99%를 차지하는 것으

Table 1 The seasonal flow rates of streams and effluents flowing into Mokpo harbour.

(unit : 10³m³/day)

Stations & area		season				Seasonal Mean
		Summer	Autumn	Winter	Spring	
Northern Harbour	B1	1.2	1.1	0.8	0.9	1.0
	B2	15.6	15.4	15.0	14.0	15.0
	B3	9.2	8.3	12.0	11.6	10.3
	Total	26.0 (0.2%)	24.8 (1.8%)	27.8 (1.1%)	26.5 (0.5%)	26.3 (0.5%)
Inner Harbour	M1	27.1	26.3	25.7	24.8	26.0
	M2	38.1	37.1	35.5	33.5	36.1
	M3	14.7	13.8	13.9	12.4	13.7
	M4	5.4	5.6	5.1	5.1	5.3
	Total	85.3 (0.7%)	82.8 (5.9%)	80.2 (3.2%)	75.8 (1.3%)	81.0 (1.4%)
Daebul I. Complex	Y1	17.9 (0.1%)	15.0 (1.1%)	13.9 (0.5%)	13.2 (0.2%)	15.0 (0.3%)
Yongsan Lake	Y2	12,269.3 (98.9%)	1,279.0 (90.6%)	2,388.1 (94.8%)	5,596.2 (97.8%)	5,383.1(97.6%)
others		10.0 (0.1%)	10.6 (0.8%)	9.7 (0.4%)	9.2 (0.2%)	9.9 (0.2%)
Total (100.0%)		12,408.5 (100.0%) (56.3%)	1,412.2 (100.0%) (6.4%)	2,519.7 (100.0%) (11.4%)	5,720.9 (100.0%) (25.9%)	5,515.3(100%)

로 나타났다. 목포 내항지역에 위치한 입암천 (M2)은 4계절 평균 일유량이 약 3.6만m³/day로서 유입 지점들 중에서 영산호 다음으로 많은 유량을 보였다. 또한 목포항으로 유입하는 하계의 총일유량은 약 1,240만m³/day로서 각 계절의 총일유량을 합제한 4계절 총합계 일유량의 약 56%를 차지하여 다른 계절보다 훨씬 많은 유량을 나타내었고, 추계, 동계 및 춘계에는 각각 약 6%, 약 11% 및 약 26%를 나타내어 계절별로 큰 차이를 보였다. 이것은 영산강 유역에 내리는 계절별 강우 특성에 기인하는 것으로 보인다. 각 지점의 4계절 평균 일유량을 합하여 4계절 평균 총일유량을 구하고, 이 4계절 평균 총일유량에 대한 구역별 4계절 평균 일유입량의 비율을 살펴보면, 북항구역이 0.5%, 내항구역이 1.4%, 대불공업단지가 0.3%, 영산호가 97.6%, 기타가 0.2%로 나타났다.

3.2 유입 지점의 수질

목포항으로 유입하는 각 유입 지점별 계절별 수질 분석 결과를 Table 2에 제시하였다.

화학적 산소요구량(COD)의 계절별 유입 농도는 하계에 2.87~31.36mg/l, 추계에 7.55~42.69 mg/l, 동계에 4.90~34.72mg/l, 춘계에 5.97~35.96mg/l로 나타났으며, 추계의 산정농공단지 (B1) 방류수가 42.69mg/l로서 가장 높은 값을 보였다. 부유물질(TSS)의 계절별 유입 농도는 하계에 10.89~1080.30mg/l, 추계에 10.32~252.00mg/l, 동계에 11.57~48.65mg/l, 춘계에 3.65~116.00mg/l로 나타났으며, 하계의 동명동 배수구(M3) 방류수가 1080.30mg/l로서 가장 높은 값을 보였다. 총무기질소(TIN)의 계절별 유입 농도는 하계에 0.285~17.424mg/l, 추계에 0.083~89.744mg/l, 동계에 4.137~30.085mg/l, 춘계에 2.777~44.246mg/l로 나타났으며, 추계의 산정농공단지(B1) 방류수가 89.744mg/l로서 가장 높은 값을 보였다. 총인(TP)의 계절별 유입 농도는 하계에 0.043~6.926mg/l, 추계에 0.073~6.700mg/l, 동계에 0.114~2.927mg/l, 춘계에 0.028~2.480mg/l로 나타났으며, 하계의 동명동 배수구(M3) 방류수가 6.926mg/l로서 가장 높은 값을 보였다. 특히, 하계의 동명동 배수구(M3)의 방류수는 모든 항목의 농도가 비교적 높은 값을

목포항에 유입하는 오염부하량 산정

Table 2 The seasonal water qualities of streams and effluents flowing into Mokpo harbour from summer, 1997 to spring, 1998.

Season and station	Item	COD (mg/ℓ)	TSS (mg/ℓ)	TIN (mg/ℓ)	TP (mg/ℓ)
Summer	B1	3.68	14.69	14.219	0.946
	B2	10.00	401.82	7.909	0.916
	B3	15.14	32.09	12.088	1.379
	M1	16.97	27.00	11.911	1.428
	M2	20.51	21.43	17.424	1.300
	M3	31.36	1080.30	14.447	6.926
	M4	2.87	23.14	10.073	0.670
	Y1	20.86	32.44	0.285	0.043
Y2	6.49	10.89	1.038	0.138	
Autumn	B1	42.69	149.37	89.744	6.700
	B2	18.45	252.00	14.473	1.951
	B3	31.87	24.62	7.559	2.236
	M1	29.74	15.29	9.933	0.083
	M2	14.26	10.32	8.990	0.073
	M3	39.68	28.33	6.883	1.496
	M4	14.68	14.00	9.780	1.399
	Y1	29.90	198.57	0.560	2.857
Y2	7.55	26.15	0.083	1.261	
Winter	B1	8.79	21.57	29.211	1.363
	B2	26.77	48.65	19.126	2.566
	B3	23.25	31.51	22.745	1.844
	M1	34.72	32.85	30.085	2.927
	M2	21.87	32.18	14.271	1.674
	M3	16.32	33.06	14.605	1.123
	M4	15.75	26.83	8.874	1.002
	Y1	21.87	21.13	4.137	0.114
Y2	4.90	11.57	5.156	0.122	
Spring	B1	35.96	116.00	44.246	0.248
	B2	31.42	49.00	13.322	1.974
	B3	19.23	31.20	42.218	1.746
	M1	31.33	50.43	13.370	1.781
	M2	34.71	30.53	11.590	1.048
	M3	12.56	35.24	4.817	0.742
	M4	33.00	28.57	6.615	0.808
	Y1	18.32	14.69	2.777	0.028
Y2	5.97	3.65	3.580	0.047	

보였고, 추계의 산정농공단지(B1) 방류수는 COD, SS 및 TIN의 농도가 방류수 수질기준(40 mg-COD/ℓ, 30mg-SS/ℓ 및 60mg-TN/ℓ)을 초과하였다. 또한 추계의 대불공업단지 방류수의 경우, 부유물질(SS)이 약 200mg/ℓ로서 방류수 수질기준(30mg/ℓ)을 6배 이상 초과하였다.

영산호 방류수를 호소수질환경기준으로 평가하는 경우, COD는 하계와 추계에 각각 6.49mg/ℓ와 7.55mg/ℓ로서 IV급수에 해당하였으며, 동

계와 춘계에 각각 4.90mg/ℓ와 5.97mg/ℓ로서 III급수에 해당하였다. SS는 추계에 26.15mg/ℓ로서 V급수에 해당하였으며, 하계와 동계에 각각 10.89mg/ℓ와 11.57mg/ℓ로서 III급수에 해당하였고, 춘계에는 3.65mg/ℓ로서 II급수에 해당하는 수질이였다. TIN은 추계에 0.083mg/ℓ로서 I급수에 해당하였으나, 하계에 1.038mg/ℓ로서 V급수에 해당하였고, 동계와 춘계에 각각 5.156mg/ℓ와 3.580mg/ℓ로서 등급외의 수질을 나타냈다.

Table 3 The seasonal pollution loads from streams and effluents flowing into Mokpo harbour.

(unit : kg/day)

Season		Summer	Autumn	Winter	Spring	Seasonal Mean
Item and area						
COD loads	Northern harbour	299.7 (0.4%)	595.6 (4.6%)	687.6 (4.6%)	695.3 (1.9%)	569.6 (1.6%)
	Inner harbour	1,717.8 (2.1%)	1,941.0 (15.2%)	1,975.9 (13.3%)	2,263.8 (6.1%)	1,974.6 (5.4%)
	Daebul I. Complex	373.4 (0.5%)	448.5 (3.5%)	304.0 (2.1%)	241.8 (0.7%)	341.9 (0.9%)
	Yongsan Lake	79,627.8 (97.0%)	9,656.5 (75.5%)	11,701.7 (79.0%)	33,409.3 (90.5%)	33,598.8 (91.7%)
	Others	28.7 (0.0%)	155.6 (1.2%)	152.8 (1.0%)	303.6 (0.8%)	160.2 (0.4%)
	Total	82,047.4(100.0%)	12,797.2(100.0%)	14,822.0(100.0%)	36,913.8(100.0%)	36,645.1(100.0%)
	Annual percentage	56.0%	8.7%	10.1%	25.2%	
TSS loads	Northern harbour	6,581.2 (4.1%)	4,249.5 (10.1%)	1,125.1 (3.5%)	1,152.3 (4.6%)	3,277.0 (5.1%)
	Inner harbour	17,553.5 (11.1%)	1,254.4 (3.0%)	2,583.0 (8.1%)	2,856.1 (11.5%)	6,061.8 (9.4%)
	Daebul I. Complex	580.7 (0.4%)	2,978.6 (7.1%)	293.7 (0.9%)	193.9 (0.8%)	1,011.7 (1.6%)
	Yongsan Lake	133,612.7 (84.3%)	33,445.9 (79.5%)	27,630.3 (86.7%)	20,426.1 (82.1%)	53,778.8 (83.6%)
	Others	231.4 (0.1%)	148.4 (0.3%)	260.3 (0.8%)	262.8 (1.0%)	225.7 (0.3%)
	Total	158,559.5(100.0%)	42,076.8(100.0%)	31,892.4(100.0%)	24,891.2(100.0%)	64,355.0(100.0%)
	Annual percentage	61.6%	16.3%	12.4%	9.7%	
TIN loads	Northern harbour	251.7 (1.8%)	384.3 (28.5%)	583.2 (4.0%)	716.1 (3.3%)	483.8 (3.7%)
	Inner harbour	1,253.4 (8.7%)	744.5 (55.3%)	1,528.1 (10.5%)	813.3 (3.7%)	1,084.8 (8.4%)
	Daebul I. Complex	5.1 (0.0%)	8.4 (0.6%)	57.5 (0.4%)	36.7 (0.2%)	26.9 (0.2%)
	Yongsan Lake	12,735.5 (88.8%)	106.2 (7.9%)	12,313.0 (84.5%)	20,034.4 (92.5%)	11,297.3 (87.0%)
	Other	100.7 (0.7%)	103.7 (7.7%)	86.1 (0.6%)	60.9 (0.3%)	87.9 (0.7%)
	Total	14,346.4(100.0%)	1,347.1(100.0%)	14,567.9(100.0%)	21,661.4(100.0%)	12,980.7(100.0%)
	Annual percentage	27.6%	2.6%	28.1%	41.7%	
TP loads	Northern harbour	28.1 (1.5%)	56.0 (3.2%)	61.7 (11.9%)	50.1 (12.1%)	49.0 (4.2%)
	Inner harbour	193.7 (10.1%)	33.4 (1.9%)	155.4 (29.9%)	92.6 (22.4%)	118.8 (10.3%)
	Daebul I. Complex	0.8 (0.0%)	42.9 (2.4%)	1.6 (0.3%)	0.4 (0.1%)	11.4 (1.0%)
	Yongsan Lake	1,693.2 (88.1%)	1,612.8 (91.7%)	291.3 (56.0%)	263.0 (63.7%)	965.1 (83.1%)
	Others	6.7 (0.3%)	14.8 (0.8%)	9.7 (1.9%)	7.0 (1.7%)	9.6 (0.9%)
	Total	1,922.5(100.0%)	1,759.9(100.0%)	519.7(100.0%)	413.1(100.0%)	1,153.9(100.0%)
	Annual percentage	41.6%	38.1%	11.3%	9.0%	

그리고 TP는 춘계에 0.047mg/ℓ로서 III급수에 해당하였으나, 하계와 동계에 각각 0.138mg/ℓ와 0.122mg/ℓ로서 V급수에 해당하였고, 추계에는 1.261mg/ℓ로서 등급외의 수질을 보였다.

3.3 유입부하량 산정

목포항으로 유입하는 계절별 및 구역별 COD, TSS, TIN 및 TP의 부하량을 산정하여 Table 3에 제시하였다.

3.3.1 화학적 산소요구량(COD) 부하

하루에 목포항으로 유입하는 COD 부하량은 4계절 평균 약 37 ton/day이었으며, 그 중에서 영산호로부터 유입한 약 34 ton/day의 부하가 약 92%로서 가장 큰 부분을 차지하였고, 그 다음으로 내항구역이 약 2 ton/day로서 약 5%를, 북항구역이 약 0.6 ton/day로서 약 2%를, 대불공단구역이 약 0.3 ton/day로서 약 1%를, 그리고 기타의 구역이 약 0.2 ton/day로서 약 0.4%를 차지하였다. 영산호로부터의 COD 부하가 가장 크게 나타난 것은 영산호로부터 방류되는 담수의 COD 농도가 다른 구역의 COD 농도보다 작은 값을 보이지만, 영산호의 방류수 유량이 다른 구역의 유량에 비하여 절대적 우위를 보이기 때문이다. 목포항으로 유입하는 4계절 평균 약 37 ton/day의 COD 부하량은 마산만으로 유입하는 연평균 79 ton/day의 COD 부하량(이 등[1998])의 약 47%에 해당하였다. 마산만에 유입하는 유량은 연평균 약 84만 m³/day으로서 목포항에 유입하는 계절평균 유량 약 550만 m³/day의 15%정도에 지나지 않을 뿐만 아니라 마산만 유역 인구는 100만명을 초과하고 있어서 목포항 주변 지역의 인구를 훨씬 상회하는 특징을 지니고 있어서 마산만의 수질 문제는 심각한 수준에 이르고 있다. 따라서 목포항에 유입하는 COD 부하량은 결코 적은 양이 아니라고 판단된다.

하계의 유입 부하는 약 82 ton/day로서 4계절 총부하량의 약 56%를 차지하여 4계절 중에서 가장 큰 부하를 보였으며, 그 중에서 영산호가 약 97%, 내항구역이 약 2%, 대불공단구역이 약 0.5%, 북항구역이 약 0.4%를 점유하는 것으로 나타났다. 추계의 유입 부하는 약 13 ton/day로서 4계절 총부하량의 약 9%를 차지하여 4계절

중에서 가장 작은 부하를 보였으며, 그 중에서 영산호가 약 76%, 내항구역이 약 15%, 북항구역이 약 5%, 대불공단구역이 약 4%를 점유하는 것으로 나타났다. 동계의 유입 부하는 약 15 ton/day로서 추계의 부하량과 비슷한 부하를 나타내어 4계절 총부하량의 약 10%를 차지하였으며, 그 중에서 영산호가 약 79%, 내항구역이 약 13%, 북항구역이 약 5%, 대불공단구역이 약 2%를 점유하는 것으로 나타났다. 춘계의 유입 부하는 약 37 ton/day로서 4계절 총부하량의 약 25%를 차지하여 4계절의 평균 부하량과 비슷한 부하를 보였으며, 그 중에서 영산호가 약 91%, 내항구역이 약 6%, 북항구역이 약 2%, 대불공단구역이 약 1%를 점유하는 것으로 나타났다.

3.3.2 총부유성고형물(TSS) 부하

목포항으로 하루에 유입하는 TSS 부하량은 4계절 평균 약 64 ton/day이었으며, 그 중에서 영산호로부터 유입하는 약 54 ton/day의 부하가 약 84%로서 가장 큰 부분을 차지하였고, 그 다음으로 내항구역이 약 6 ton/day로서 약 9%를, 북항구역이 약 3 ton/day로서 약 5%를, 대불공단구역이 약 1 ton/day로서 약 2%를, 그리고 기타의 구역이 약 0.2 ton/day로서 약 0.3%를 차지하였다. 영산호로부터의 TSS 부하가 가장 크게 나타난 것은 영산호로부터 방류되는 담수의 TSS 농도가 다른 구역의 TSS 농도보다 작은 값을 보이지만, 영산호의 방류수 유량이 다른 구역의 유량에 비하여 절대적 우위를 보이기 때문이다. 목포항으로 유입하는 4계절 평균 약 64 ton/day의 TSS 부하량은 마산만으로 유입하는 연평균 41 ton/day의 TSS 부하량(이 등[1998])의 약 1.6배에 해당하는 높은 값으로 평가된다. 이것은 하계에 영산강 유역에 내린 강우로 인하여 다량의 부유물질이 영산호를 통하여 목포항으로 유입되기 때문으로 보인다.

하계의 유입 부하는 약 159 ton/day로서 4계절 총부하량의 약 62%를 차지하여 4계절 중에서 가장 큰 부하를 보였으며, 그 중에서 영산호가 약 84%, 내항구역이 약 11%, 북항구역이 약 4%, 대불공단구역이 약 0.4%를 점유하는 것으로 나타났다. 추계의 유입 부하는 약 42 ton/day로서 4계절 총부하량의 약 16%를 차지하였고, 그 중에서 영산호가 약 80%, 북항구역이 약 10%,

대불공단구역이 약 7%, 내항구역이 약 3%를 점유하는 것으로 나타났다. 동계의 유입 부하는 약 32 ton/day로서 4계절 총부하량의 약 12%를 차지하였으며, 그 중에서 영산호가 약 87%, 내항구역이 약 8%, 북항구역이 약 4%, 대불공단구역이 약 1%를 점유하는 것으로 나타났다. 춘계의 유입 부하는 약 25 ton/day로서 4계절 총부하량의 약 10%를 차지하여 4계절 중에서 가장 작은 부하를 보였으며, 그 중에서 영산호가 약 82%, 내항구역이 약 12%, 북항구역이 약 5%, 대불공단구역이 약 1%를 점유하는 것으로 나타났다.

3.3.3 총무기질소(TIN) 부하

목포항으로 하루에 유입하는 TIN 부하량은 4계절 평균 약 13 ton/day이었으며, 그 중에서 영산호로부터 유입하는 약 11 ton/day의 부하가 약 87%로서 가장 큰 부분을 차지하고, 그 다음으로 내항구역이 약 1 ton/day로서 약 8%를, 북항구역이 약 0.5 ton/day로서 약 4%를, 대불공단구역이 약 0.03 ton/day로서 약 0.2%를, 그리고 기타의 구역이 약 0.1 ton/day로서 약 0.7%를 차지하였다. 영산호로부터의 TIN 부하가 가장 크게 나타난 것은 영산호로부터 방류되는 담수의 TIN 농도가 다른 구역의 TIN 농도보다 작은 값을 보이지만, 영산호의 방류수 유량이 다른 구역의 유량에 비하여 절대적 우위를 보이기 때문이다. 목포항으로 유입하는 4계절 평균 약 13 ton/day의 TIN 부하량은 마산만으로 유입하는 연평균 30 ton/day의 TN 부하량(이 등[1998])의 약 43%에 해당하였다. 그러나 총질소(TN)는 총무기질소(TIN)과 유기질소(Organic Nitrogen)를 포함하고 있다는 사실뿐만 아니라 마산만과 목포항의 주변 도시 규모, 유역 인구 등을 고려하면, 목포항에 유입하는 TIN 부하량은 결코 적은 양이 아니기 때문에 목포항의 부영양화에 상당한 영향을 미칠 것으로 보인다. 하계의 유입 부하는 약 14 ton/day로서 4계절 총부하량의 약 28%를 차지하였으며, 그 중에서 영산호가 약 89%, 내항구역이 약 9%, 북항구역이 약 2%를 점유하는 것으로 나타났다. 추계의 유입 부하는 약 1 ton/day로서 4계절 총부하량의 약 3%를 차지하여 4계절 중에서 가장 작은 부하를 보였으며, 그 중에서 내항구역이 약 55%를 차지하여 가장 크게 나타났고, 북항구역이 약 29%, 영산

호가 약 8%, 대불공단구역이 약 1%를 점유하는 것으로 나타났다. 영산강의 부하가 동계와 춘계에 비하여 하계에 작게 나타난 것은 영산호 방류수의 TIN 농도가 동계와 춘계에 비하여 훨씬 작기 때문이고, 추계에 가장 작게 나타난 것은 영산호 방류수의 유량과 TIN 농도가 다른 계절에 비하여 훨씬 작기 때문이다. 동계의 유입 부하는 약 15 ton/day로서 4계절 총부하량의 약 28%를 차지하여 하계의 부하량과 비슷하였으며, 그 중에서 영산호가 약 85%, 내항구역이 약 11%, 북항구역이 약 4%, 대불공단구역이 약 0.4%를 점유하는 것으로 나타났다. 동계의 유입 부하가 하계의 유입 부하와 유사하게 나타났지만, 그 내용을 살펴보면, 영산강 방류수의 하계 유량이 동계 유량의 약 5배에 해당하였으나 영산강 방류수의 동계 TIN 농도가 하계 TIN 농도의 약 5배에 해당하기 때문에, 유입 부하의 지배 인자가 하계에는 유량이지만 동계에는 TIN 농도인 것으로 나타났다. 춘계의 유입 부하는 약 22 ton/day로서 4계절 총부하량의 약 42%를 차지하여 4계절 중에서 가장 큰 부하를 보였으며, 그 중에서 영산호가 약 93%, 내항구역이 약 4%, 북항구역이 약 3%, 대불공단구역이 약 0.2%를 점유하는 것으로 나타났다.

3.3.4 총인(TP) 부하

목포항으로 하루에 유입하는 TP 부하량은 계절 평균 약 1.2 ton/day이었으며, 그 중에서 영산호로부터 유입하는 약 1.0 ton/day의 부하가 약 83%로서 가장 큰 부분을 차지하고, 그 다음으로 내항구역이 약 0.1 ton/day로서 약 10%를, 북항구역이 약 0.05 ton/day로서 약 4%를, 대불공단구역이 약 0.01 ton/day로서 약 1%를, 그리고 기타의 구역이 약 0.9%를 차지하였다. 영산호로부터의 TP 부하가 가장 크게 나타난 것은 영산호로부터 방류되는 담수의 TP 농도가 다른 구역의 TP 농도보다 작은 값을 보이지만, 영산호의 방류수 유량이 다른 구역의 유량에 비하여 절대적 우위를 보이기 때문이다. 목포항으로 유입하는 4계절 평균 약 1.2 ton/day의 TP 부하량은 마산만으로 유입하는 연평균 약 2 ton/day의 TP 부하량(이 등[1998])의 약 60%에 해당하였다. 그러나 마산만과 목포항의 주변 도시 규모, 유역 인구 등을 고려하면, 목포항에 유입하는 TP 부

하량은 결코 적은 양이 아니기 때문에 목포항의 부영양화에 상당한 영향을 미칠 것으로 평가된다.

하계의 유입 부하는 약 1.9 ton/day로서 4계절 총부하량의 약 42%를 차지하여 4계절 중에서 가장 큰 부하를 보였으며, 그 중에서 영산호가 약 88%, 내항구역이 약 10%, 북항구역이 약 2%를 점유하는 것으로 나타났다. 추계의 유입 부하는 약 1.8 ton/day로서 4계절 총부하량의 약 38%를 차지하였으며, 그 중에서 영산호가 약 92%, 북항구역이 약 3%, 대불공단구역이 약 2%, 내항구역이 약 2%를 차지하였다. 하계의 유입 부하량이 추계의 유입 부하량과 유사하게 나타났지만, 그 내용을 살펴보면, 영산강 방류수의 하계 유량이 추계 유량의 약 9배에 해당하였으나 영산강 방류수의 추계 TP 농도가 하계 TP 농도의 약 9배에 해당하기 때문에, 유입 부하의 지배 인자가 하계에는 유량이지만 추계에는 TP 농도인 것으로 나타났다. 동계의 유입 부하는 약 0.5 ton/day로서 4계절 총부하량의 약 11%를 차지하였으며, 그 중에서 영산호가 약 56%, 내항구역이 약 30%, 북항구역이 약 12%, 대불공단구역이 약 0.3%를 점유하는 것으로 나타났다. 춘계의 유입 부하는 약 0.4 ton/day로서 4계절 총부하량의 약 9%를 차지하여 4계절 중에서 가장 작은 부하를 나타냈으며, 그 중에서 영산호가 약 88%, 내항구역이 약 8%, 북항구역이 약 4%, 대불공단구역이 약 0.2%를 점유하는 것으로 나타났다.

4. 결 론

1997년 하계로부터 1998년 춘계까지 계절별, 유입지점별 유량과 수질을 조사·분석하여 목포항에 유입하는 오염부하량을 산정한 결과와 다음과 같다.

(1) 목포항으로 유입하는 4계절 평균 일유량은 약 550만m³/day로서 연간 약 20억m³가 목포항으로 유입하고 있었다. 그 중에서 영산호 방류수의 유량은 모든 계절에서 총일유량의 90%를 상회하였고, 특히 하계에는 각 유입 지점의 일유량을 합계한 총일유량의 99%를 차지하였다. 또한 목포항으로 유입하는 하계

의 총일유량은 약 1,240만m³/day로서 각 계절의 총일유량을 합계한 4계절 총합계 일유량의 약 56%를 차지하여 다른 계절보다 훨씬 많은 유량을 나타내었고, 추계, 동계 및 춘계에는 각각 약 6%, 약 11% 및 약 26%를 나타내어 계절별로 큰 차이를 보였다. 4계절 평균 총일유량에 대한 구역별 4계절 평균 일유입량의 비율은 북항구역이 0.5%, 내항구역이 1.4%, 대불공업단지가 0.3%, 영산호가 97.6%, 기타가 0.2%로 나타났다.

(2) 목포항으로 유입하는 모든 지점에 대하여, 화학적 산소요구량(COD)의 계절별 유입 농도는 하계에 2.87~31.31mg/l, 추계에 7.55~42.69mg/l, 동계에 4.90~34.72mg/l, 춘계에 5.97~35.96mg/l로 나타났으며, 부유물질(TSS)의 계절별 유입 농도는 하계에 10.89~1080.30mg/l, 추계에 10.32~252.00mg/l, 동계에 11.57~48.65mg/l, 춘계에 3.65~116.00mg/l로 나타났고, 총무기질소(TIN)의 계절별 유입 농도는 하계에 0.285~17.424mg/l, 추계에 0.083~89.744mg/l, 동계에 4.137~30.085mg/l, 춘계에 2.777~44.246mg/l로 나타났으며, 총인(TP)의 계절별 유입 농도는 하계에 0.043~6.926mg/l, 추계에 0.073~6.700mg/l, 동계에 0.114~2.927mg/l, 춘계에 0.028~2.480mg/l로 나타났다. 그리고 영산호 방류수를 호소수질환경기준으로 평가하는 경우, COD는 하계와 추계에 IV급수, 동계와 춘계에 III급수에 해당하였다. SS는 추계에 V급수, 하계와 동계에 III급수, 춘계에 II급수에 해당하는 수질이였다. TIN은 추계에 I급수에 해당하였으나, 하계에 V급수, 동계와 춘계에 등급외의 수질을 나타냈다. 또한 TP는 춘계에 III급수, 하계와 동계에 V급수, 추계에 등급외의 수질을 보였다.

(3) 목포항으로 유입하는 COD 부하량은 4계절 평균 약 37 ton/day이었으며, 그 중에서 영산호로부터의 유입 부하가 약 34 ton/day로서 약 92%를 차지하였다. 하계에는 약 82 ton/day로서 4계절 총합계 부하량의 약 56%를 차지하여 4계절 중에서 가장 큰 부하로 나타났다. 추계에는 약 13 ton/day, 동계에는 약 15 ton/day, 춘계에는 약 37 ton/day로

산정되었다.

- (4) 목포항으로 유입하는 TSS 부하량은 4계절 평균 약 64 ton/day이었으며, 그 중에서 영산호로부터의 유입 부하가 약 54 ton/day로서 약 84%를 차지하였다. 하계에는 약 159 ton/day로서 4계절 총합계 부하량의 약 62%를 차지하여 4계절 중에서 가장 큰 부하를 보였으며, 추계에는 약 42 ton/day, 동계에는 약 32 ton/day, 춘계에는 약 25 ton/day로 나타났다.
- (5) 목포항으로 유입하는 TIN 부하량은 4계절 평균 약 13 ton/day이었으며, 그 중에서 영산호로부터의 유입 부하가 약 11 ton/day로서 약 87%를 차지하였다. 하계에는 약 14 ton/day, 추계에는 약 1 ton/day, 동계에는 약 15 ton/day, 춘계에는 약 22 ton/day로 나타났다.
- (6) 목포항으로 유입하는 TP 부하량은 4계절 평균 약 1.2 ton/day이었으며, 그 중에서 영산호로부터의 유입 부하가 약 1.0 ton/day로서 약 83%를 차지하였다. 하계에는 약 1.9 ton/day로서 4계절 총부하량의 약 42%를 차지하여 4계절 중에서 가장 큰 부하를 보였다. 추계에는 약 1.8 ton/day, 동계에는 약 0.5 ton/day, 춘계에는 약 0.4 ton/day로 나타났다.

한국해양환경공학회지 제1권 제2호, pp. 60~69.

- [7] 환경부, 1991, “진해만일원 오염실태 조사 보고서”.
- [8] 환경부 고시 제91-85호, 1992, “수질오염공정시험방법”, 동화기술, pp. 193~291.
- [9] 환경정책기본법 제10조 제2항, 환경정책기본법시행령 제2조 [별표1] 환경기준, 2000.
- [10] APHA-AWWA-WPCF, 1999, “Standard method for the examination of water & wastewater”, 17th Ed, Washington.

참고문헌

- [1] 농어촌진흥공사 영산강 사업단, 1997a, “하국독관리연보(1992~1996)”, pp. 401~409.
- [2] 농어촌진흥공사, 1997b, “영산강(Ⅲ)지구 대단위간척지 종합개발사업 사후환경영향조사보고서”, pp. 119~126.
- [3] 농어촌진흥공사 영산강사업단, 1998, 영산호 배수갑문 조작현황(1997. 6~1998. 5).
- [4] 목포시, 1998, 급수 및 상수도 사용량, 지하수사용량 현황(1997. 6~1998. 5).
- [5] 영암군, 1998, 대불국가공업단지 용수사용량 현황(1997. 6~1998. 5).
- [6] 이찬원·권영택·양기섭·장풍국·한성대, 1998, “폐쇄성 해역의 오염부하특성과 해역환경변화”,