

駕莫灣 流域의 汚染負荷 特性에 관한 研究

이 대 인 · 조 현 서*
부경대학교 환경시스템공학부 · 여수대학교 해양시스템학부
(2001년 10월 7일 접수; 2002년 9월 9일 채택)

A Study on the Characteristics of Pollutant Loads in Kamak Bay Watershed

Dae-In Lee and Hyeon-Seo Cho*

Div. of Environmental System Engineering, Pukyong National Univ., Busan 608-737, Korea

*Div. of Marine System, Yosu National Univ., Yosu 550-749, Korea

(Manuscript received 7 October, 2001; accepted 9 September, 2002)

The objective of this study is understanding and evaluation of temporal and spatial variation of pollutant loads by input sources for water quality management in Kamak Bay.

Flow rate of rivers and ditches ranges from about 2,592-63,072m³/d in October to 864-55,296m³/d in January. In particular, the R2 predominated flow rate among input sources. Total COD, BOD, DIN and DIP loadings in January were about 896kg/d, 718kg/d, 2,152kg/d, and 154kg/d, respectively, which exceeded those of October. Lower POC/TOC levels are estimated in R2, and also in October. Temporal variation of pollutant loads were closely related to the human activity.

Total discharging loadings of BOD, TN and TP by unit loading estimation were 4,993.0kg/d, 2,558.7kg/d, and 289.2kg/d, respectively, and were mainly affected by the population. Runoff ratio of BOD was about 0.14 in January. Mean NH₄⁺-N and PO₄³⁻-P loadings from sediment were 16.23mg/m³/d and 7.26mg/m³/d, respectively.

For the improvement of water quality in this area, not only pollutant loads of rivers and ditches but also benthic flux from sediment should be reduced within the limits of the environmental capacity.

Key words : Pollutant Load, Water Quality Management, Unit Loading Estimation, Benthic Flux, Environmental Capacity

1. 서 론

전라남도 여수지역에 위치한 가막만의 유역면적은 298.04km²로 여수시 전체면적의 59.9%를 차지하고 있고, 행정구역상으로 여수시, 돌산읍, 화양면, 화정면, 남면으로 둘러 쌓여진 반 폐쇄적인 천해역으로 서식생물의 분포가 다양할 뿐만 아니라 기초생산력이 커서, 만의 북쪽과 중앙에 굴, 진주담치의 수하식 양식과 만 입구에 해상 가두리 양식 등이 성행하므로 수산자원 보존지역 및 청정해역으로 지정 보호 받고 있다.¹⁾

그러나 최근들어 인구집중과 산업화로 인한 생활 하수유입의 증가, 주변 양식장으로부터 양식폐수의 유입 그리고 연안어장의 과밀양식에 의한 자가오염으로 퇴적물에서 용출하는 영양염의 과도한 부하로 인해 부영양화가 심화되어 적조현상이 빈발하고 북서 내만역에는 빈산소수괴가 발생하는 등 어장생산성의 향상과 해역의 환경관리를 위한 근본적인 수질대책이 필요한 실정이다.²⁻⁶⁾

효율적인 내만의 수질관리를 위해서는 우선 부하 발생원에 따른 오염배출량이 어느 정도 인지 확인하고 해역의 환경용량과 환경기준을 만족하기 위해서 부하삭감량을 산정하는 사전대책이 요구된다. 이러한 측면에서 최근 가막만은 환경관리해역으로 지정되어 오염총량규제를 통한 수질환경회복방안에 대해서 연구되고 있다.^{7,8)}

Corresponding Author : Dae-In Lee, Div. of Environmental System Engineering, Pukyong National Univ., Busan 608-737, Korea
Phone : +82-620-6430
E-mail : ldi444@hanmail.net

연안해역의 수질에 영향을 끼치는 부하발생원은 크게 점원오염원(Point Source)과 비점오염원(Non-point Source)으로 구분되는데, 비점오염원은 강우 시 도시지역이나 농경지 및 산림지역의 유출수로 파악될 수 있지만, 유입지점을 명확하게 찾기 어렵고 일간·계절간 배출량 변화가 크며 예측과 정량화가 어려워 관리가 힘든 특징이 있다. 이에 반해 점원오염원은 가정하수, 공장폐수로 구성되며 일정한 지점에서 일정량이 지속적으로 발생하여서 배출구와 배출단위가 파악가능하기 때문에 수질관리를 위한 부하산정량 산정의 주 대상이 되고 있다.

주지하는 바와 같이 오염원에서 발생한 부하량은 처리시설을 거치면서 일부만이 배출되며, 하천과 토양의 자정작용에 의해 배출부하량의 일부만이 연안해역에 도달하게 되는데, 이것을 유달부하량이라고 하고, 실제로 수질에 영향을 미치는 오염부하량은 이 유달부하량이므로 이를 세밀히 실측조사하고 모니터링하는 것은 중요한 수질관리 측면이라 할 수 있다.⁹⁾ 그러나, 현장 실측조사시 조사시기와 횟수, 소요시간과 인원동원 등 제약요건이 많이 따르는 이유로 해서 하천의 유량 및 오염부하량 자료는 빈약할 뿐만 아니라, 자료가 있다고 해도 결과에 대한 해석의 신중성이 요구되고 있는 실정이다. 기존의 가막만에 있어서 하천오염부하 조사자료는 주요한 몇 개의 하천에서 한 시점에서 단발적으로 조사하였기 때문에 오염부하량의 변동을 고려할 수 없었을 뿐만 아니라 또한 인위적 활동에 의한 시간적인 변동을 파악할 수 없었고, 발생 및 배출부하량과 연계한 유달율에 대한 정보도 없었다. 이러한 배경하에서 본 연구자들은 우선 유달부하량을 평가하기 위해 가막만으로 유입되는 하천 및 하수구에서 10월과 1월 각각의 조사시 시간대별로 세분화하여 실측하였고, 각 측정 시간대별로 유기물질과 무기물질을 정량·정성분석하였다. 또한 해저 퇴적물로부터의 무기물 용출을 평가해서 수질에 미치는 영향을 고찰하였다. 선행 연구에서 본 연구자들은 오염총량관리계획의 수립지침에 포함된 원단위 산정법에 따라서 가막만 지역의 생활하수, 공장폐수, 농축산폐수 및 비점오염원 등의 발생 및 배출부하량을 산정한 바 있다.⁸⁾

따라서 본 연구에서는 해역으로 유입하는 외부부하인 유달부하량과 내부부하인 퇴적물로부터의 용출량을 실측하고 분석해서 오염부하의 특성과 수질에 미치는 영향을 평가하고 그리고 지역의 발생과 배출부하량 산정결과와 연계해서 가막만의 효과적인 수질관리의 기본자료로 활용하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사시기 및 조사정점

Fig. 1에서 나타낸 바와 같이 1차 하천조사는 풍수기 이후인 2000년 10월 3일에서 4일까지, 그리고 갈수기를 고려한 2차 하천조사는 2001년 1월 26일에서 27일에 걸쳐 R1에서 R10까지 전 조사지점에 대해 현장조사를 수행하였다. 해저퇴적물의 용출조사는 2000년 6월 14일에 해역내 4개의 정점에서 실시하였다.

2.2. 오염원 조사방법 및 수질분석방법

각각의 유입하천 및 하수구에서 2~4시간 간격으로 직독식 전자유속계(ACM-200PC) 및 부표를 이용해서 유속을 측정하고, 단면적을 계산하여 각 유입원의 유량을 산정하였다.¹⁰⁾ 각 시점에서 채수한 하천수의 COD, BOD, TSS, VSS, DIN, DIP, POC와 DOC를 수질오염공정시험방법¹¹⁾과 Standard method¹²⁾에 의거하여 분석하여 유량과 곱해서 그 부하량을 산정하였다.

해저퇴적물은 중력식 코아채취기(Φ 4.2)를 이용하여 시료를 채취하여 코아관의 상하부를 막아 저니를 그대로 유지·운반하였다. 저니가 채집된 상층부에서 약 4cm위에 구멍을 뚫고 구멍에 사이폰을 연결한 후에 현장에서 채수한 해수를 일정한 유량으로 흘려주면서 일정한 시간간격으로 코아관의

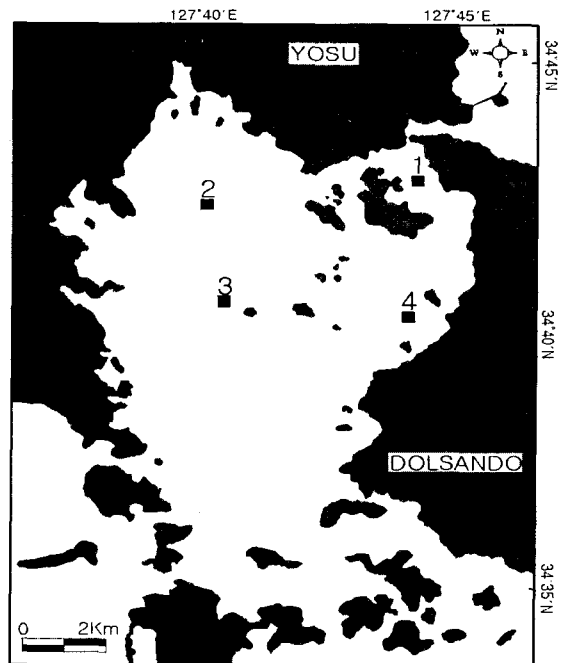


Fig. 1. Research points of rivers and sediments in Kamak Bay.

구멍을 통해서 흘러나오는 시료의 질소와 인을 정량하였다. 용출속도는 분석된 시료의 농도에서 공식처럼인 원수의 농도를 빼준 값에 분석중에 흘러준 유량을 곱해준 다음 코아관의 단면적으로 나누어서 산정하였다.¹³⁾

3. 결과 및 고찰

3.1. 유입원의 오염부하량 변동

3.1.1. 유량(Flow rate)

Table 1과 Fig. 2와 같이 1차 조사시 각 하천의 유량은 2,592~63,072m³/day범위로 R9와 R10(용주천)에서 최소를 R2(연동천)에서 최대를 나타내었고, 총유량은 약 169,230m³/day였다. 동계인 2차 조사시는 864~55,296m³/day범위로 R9에서 최소를 R2에서 최대를 나타내었고, 총유량은 약 144,288m³/day를 보였다. 2차 조사결과는 1차 조사시에 비해서 전체적으로 다소 낮은 유량을 보였고, 가막만으로 유입하는 하천에서 R2(연동천)가 가장 큰 유량(1, 2차 조사시 전체유량의 약 37%차지)을 차지함을 알 수 있었다.

3.1.2. 총부유물질(TSS)

Table 2 및 Fig. 3과 같이 TSS 부하량은 1차 조사시 17.21~624.29kg/day범위로 R10에서 최소를 R6(전체 부하의 37%)에서 최대를 나타내었고, 총부하량은 약 1,844kg/day였다. 2차 조사시는 13.01~1,661.31kg/day범위로 1차 조사시에 비해서 다소 높은 값을 나타냈으며, R10에서 최소를 R2(전체 부하의 34%)에서 최대부하를 나타내었고, 총부하량은 약 4,841kg/day였다.

3.1.3. 휘발성 부유물질(VSS)

총부유물질 중 유기물 함량의 지표인 VSS 부하량은 Table 2 및 Fig. 4와 같이 1차 조사시 6.09~359.19kg/day범위로 R10에서 최소를 R6(전체 부하의 33%)에서 최대를 나타내었다. 2차 조사시는 11.92~1,231.96kg/day범위로 1차 조사시에 비해서 높은 값을 나타냈으며, R10에서 최소를 R2(전체 부하의 34%)에서 최대부하를 나타내었다. 1차 조사시 유입원별 VSS/TSS비는 35.4~78.2% 범위였고, 2차 조사시에는 37.1~91.6%범위를 보여 1차 조사시보다 부유물질 중 유기물함량이 더 높음을 알 수 있었다. 공간적으로는 인구가 밀집한 R4~R9사이가 비교적 높게 나왔다.

3.1.4. 화학적 산소요구량(COD)

Table 1 및 Fig. 5와 같이 COD 부하량은 1차 조사시 3.51~159.57kg/day범위로 R10에서 최소를 유량이 큰 R2(전체 부하의 28%)에서 최대를 나타

내었고, 총부하량은 약 565kg/day였다. 2차 조사시는 2.89~363.75kg/day범위로 1차 조사시와 마찬가지로 R10에서 최소를 R2(전체의 부하의 41%)에서 최대부하를 나타내었고, 총부하량은 896kg/day를 나타내었다. 이러한 결과는 여수수산대학 수산과학연구소²⁾와 비교해 볼 때 R1은 유사한 값을 나타내었지만, R2는 1,455~2,082kg/day, R3는 616~622kg/day, R4는 205~210kg/day범위를 보였던 것과 비교해 보면 본 연구에서는 1차 조사와 2차 조사 모두 상당히 낮게 산정되었다.

3.1.5. 생물화학적 산소요구량(BOD)

Table 1 및 Fig. 6과 같이 BOD 부하량은 1차 조사시 13.92~122.37kg/day범위로 R10에서 최소를 유량이 큰 R2(전체 부하의 34%)에서 최대를 나타내었다. 2차 조사시는 12.27~260.29kg/day범위로 1차 조사시와 마찬가지로 R10에서 최소를 R2(전체의 부하의 36%)에서 최대부하를 나타내었다. 1월의 총부하량은 약 718kg/day로 이 시점의 COD 총부하량의 약 80%를 차지하였다.

3.1.6. 용존무기질소(DIN)

Table 1 및 Fig. 7과 같이 DIN 부하량은 1차 조사시 23.46~572.90kg/day범위로 R10에서 최소를 R2(전체 부하의 35%)에서 최대를 나타내었고, 총부하량은 약 1,626kg/day였다. 2차 조사시는 11.53~900.85kg/day범위로 R9에서 최소를 R2(전체 부하의 42%)에서 최대부하를 나타내었고, 총부하량은 약 2,152kg/day였다. 이러한 결과는 1991년도²⁾에 측정된 R2의 396.27~456.08kg/day, R3의 88.03~84.99kg/day, R4의 41.57~59.42kg/day범위 등과 비교해서 상당히 높은 값을 보여주었다.

3.1.7. 용존무기인(DIP)

Table 1 및 Fig. 8과 같이 DIP 부하량은 1차 조사시 0.43~96.45kg/day범위로 R10에서 최소를 유량이 큰 R2(전체 부하의 58%)에서 최대를 나타내었고, 총부하량은 약 166kg/day였다. 2차 조사시는 0.91~62.13kg/day범위로 R9에서 최소를 R2(전체 부하의 40%)에서 최대부하를 나타내었고, 총부하량은 약 154kg/day를 나타내었다. 이러한 결과는 DIN과 마찬가지로 1991년도의 측정값인 R2의 15.93~21.59kg/day, R3의 8.69~10.37kg/day, R4의 4.06~4.56kg/day범위 등과 비해서 상당히 높은 값을 보여주었다.

3.1.8. 입자성 유기탄소(POC)

Table 2 및 Fig. 9와 같이 POC 부하량은 1차 조사시 2.02~32.15kg/day범위로 R10에서 최소를 R5(전체 부하의 24%)에서 최대를 나타내었다. 2차 조

사시는 2.52~71.22kg/day범위로 R9에서 최소를 R6 (전체 부하의 32%)에서 최대부하를 나타내었다.

3.1.9. 용존성 유기탄소(DOC)

Table 2 및 Fig. 10과 같이 DOC 부하량은 1차 조사시 4.01~154.25kg/day범위로 R10에서 최소를 R2(전체 부하의 49%)에서 최대를 나타내었다. 2차 조사시는 1.30~114.99kg/day범위로 R10에서 최소를 R2(전체 부하의 32%)에서 최대부하를 나타내었다.

1차 조사시 총유기탄소(TOC) 총부하량은 약 448 kg/day였고, 이 중에서 POC가 차지하는 비율은 약 29%로 TOC의 존재형태가 대부분은 DOC로 존재한다는 것을 알 수 있었다. 2차 조사시 TOC 총부하량은 583kg/day로 POC가 차지하는 비율은 약 39%였다.

이와 같이 각 유입원의 유량은 1차 조사시기인 10월이 2차 조사시기인 1월보다 다소 높게 나왔으나, 오염물질의 부하량은 2차 조사시기가 오염농도

의 증가로 높게 산정되는 결과를 보여주었다.

3.2. 일 오염부하량의 시간변동특성

3.2.1. COD의 시간변화

각 유입원에서의 시간경과에 따른 오염부하량 변동특성을 1차 조사결과를 가지고 해석해 보았다. Table 4 및 Fig. 11과 같이 가장 큰 부하량을 보이는 R2는 22시와 자정에서 peak를 나타내고 아침 8시에 최소를 이루다가 서서히 증가하는 양상을 보였고, 오후 2시와 저녁 8시 사이는 일정함을 보였다. 다른 하천들도 대체적으로 인위적 활동이 큰 저녁 8시와 10시경 및 정오에 최대를 이루고 인위적 활동이 적은 새벽에 최소를 나타내었다.

3.2.2. DIN의 시간변화

Table 5 및 Fig. 12와 같이 가장 큰 부하량을 보이는 R2는 정오에서 2시 사이와 자정에서 peak를 나타내고 새벽에 최소를 이루다가 서서히 증가하는 양상을 보였다.

Table 1. Mean pollutant loads of input rivers and ditches to Kamak Bay

Input Sources	Flow rate (m ³ /day)		COD (kg/day)		BOD (kg/day)		DIN (kg/day)		DIP (kg/day)	
	Oct.	Jan.	Oct.	Jan.	Oct.	Jan.	Oct.	Jan.	Oct.	Jan.
	R1	8,294	12,066	17.60	10.86	22.95	17.74	35.31	77.52	0.99
R2	63,072	55,296	159.57	363.75	122.37	260.29	572.90	900.85	96.45	62.13
R3	6,912	7,776	36.85	42.43	42.01	39.44	112.17	110.43	9.64	6.56
R4	16,416	14,688	67.61	100.15	53.15	79.11	232.42	310.18	31.10	23.56
R5	24,192	7,776	47.86	49.12	44.02	44.04	87.72	74.24	13.98	6.59
R6	20,106	19,008	108.56	135.06	-	103.11	273.83	298.05	1.03	20.67
R7	19,584	19,008	75.24	139.64	-	106.25	163.07	244.27	1.03	19.89
R8	5,470	5,184	31.71	42.53	-	39.51	90.79	90.55	7.82	6.99
R9	2,592	864	16.51	9.13	56.91	16.56	34.19	11.53	3.92	0.91
R10	2,592	2,592	3.51	2.89	13.92	12.27	23.46	34.57	0.43	3.18

Table 2. Mean pollutant loads of input rivers and ditches to Kamak Bay

Input Sources	TSS (kg/day)		VSS (kg/day)		POC (kg/day)		DOC (kg/day)	
	Oct.	Jan.	Oct.	Jan.	Oct.	Jan.	Oct.	Jan.
	R1	20.82	76.31	10.00	28.31	3.13	6.14	5.03
R2	221.51	1,661.31	135.15	1,231.96	26.31	18.66	154.25	114.99
R3	153.23	195.14	68.04	151.61	4.61	10.93	12.47	24.73
R4	373.01	533.80	229.42	391.76	13.29	14.43	44.17	61.50
R5	105.59	79.22	57.77	58.15	32.15	11.01	19.09	22.50
R6	624.29	1,457.34	359.19	1,205.89	31.93	71.22	35.57	41.73
R7	183.45	597.34	117.86	382.70	13.76	63.96	26.55	56.04
R8	86.04	186.61	57.78	153.65	3.64	21.91	9.27	21.85
R9	58.79	41.31	45.97	34.11	1.03	2.52	5.50	4.54
R10	17.21	13.01	6.09	11.92	2.02	4.34	4.01	1.30

Table 3. Temporal flow rate(m³/day) variation of rivers and ditches in October, 2000

Time	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
12:00	7,091.7	77,178.7	8,173.4	52,668.5	-	34,559.4	39,597.0	4,112.6	-	-
14:00	4,714.0	73,109.2	6,652.8	21,037.4	22,792.3	11,923.2	8,265.6	10,243.6	-	-
16:00	7,741.4	63,037.7	7,223.0	8,122.8	18,233.9	11,923.2	8,265.6	10,243.6	-	2,674.9
18:00	6,718.5	59,253.2	6,842.9	11,690.0	31,274.2	15,455.5	3,938.5	10,243.6	-	2,697.5
20:00	7,838.2	72,966.3	8,294.4	13,750.1	31,909.3	15,455.5	3,938.5	10,243.6	-	2,674.9
22:00	7,907.3	59,002.7	5,529.6	11,587.1	32,544.3	15,455.5	3,938.5	2,052.9	-	-
00:00	9,331.2	73,531.7	6,169.0	12,196.2	17,077.0	21,770.0	19,870.0	2,052.9	2,814.2	3,076.0
04:00	13,271.0	44,733.7	6,566.4	7,028.8	17,077.0	21,770.0	19,870.0	2,052.9	2,363.9	-
08:00	10,174.5	46,175.8	7,050.2	9,993.2	21,042.7	11,920.2	24,064.0	2,052.9	3,582.0	3,191.5

Table 4. Temporal COD loads(kg/day) variation of rivers and ditches in October, 2000

Time	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
12:00	16.04	149.63	63.39	185.14	-	291.47	307.47	12.64	-	-
14:00	8.83	99.22	25.80	67.34	46.40	93.24	27.00	77.16	-	-
16:00	21.11	110.00	40.61	32.22	42.07	107.11	46.23	61.27	-	5.45
18:00	16.24	114.88	53.07	51.57	45.48	108.87	29.67	58.09	-	3.84
20:00	26.24	141.51	43.42	92.38	71.15	129.15	17.45	47.37	-	2.85
22:00	14.82	285.99	30.02	58.68	78.87	63.23	32.72	11.08	-	-
00:00	17.13	299.38	17.94	43.67	38.08	73.86	114.99	9.49	12.73	1.49
04:00	24.87	190.81	19.10	23.53	26.16	47.84	55.67	2.09	12.15	-
08:00	13.15	44.76	38.27	53.96	34.68	62.25	45.96	6.23	24.65	3.92

駕莫灣 流域의 汚染負荷 特性에 관한 研究

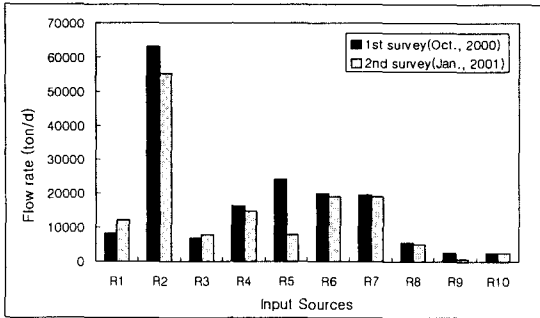


Fig. 2. Flow rate of each input sources.

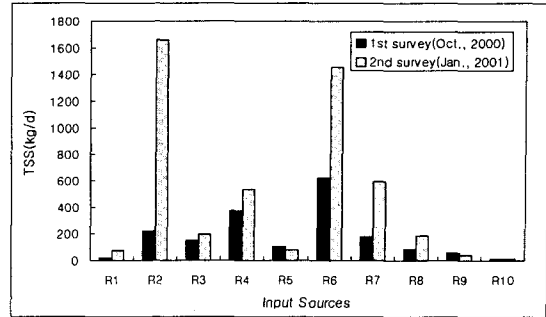


Fig. 3. TSS loads of each input sources.

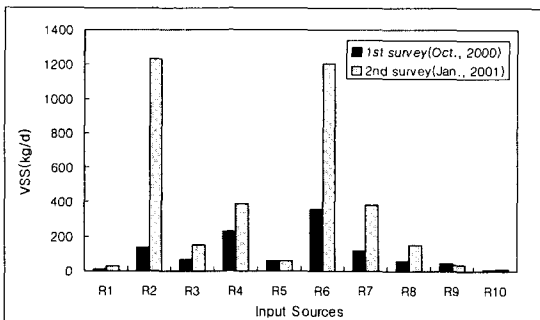


Fig. 4. VSS loads of each input sources.

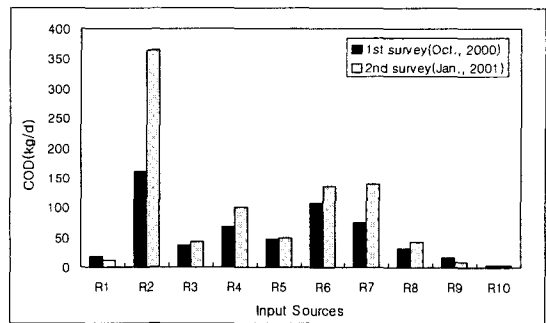


Fig. 5. COD loads of each input sources.

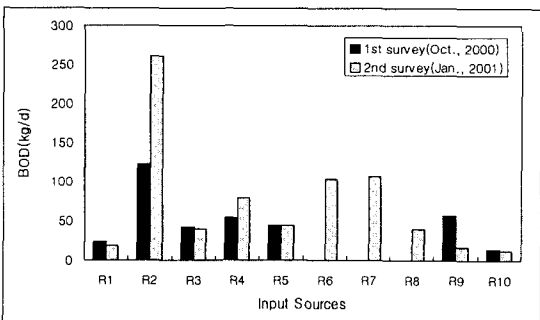


Fig. 6. BOD loads of each input sources.

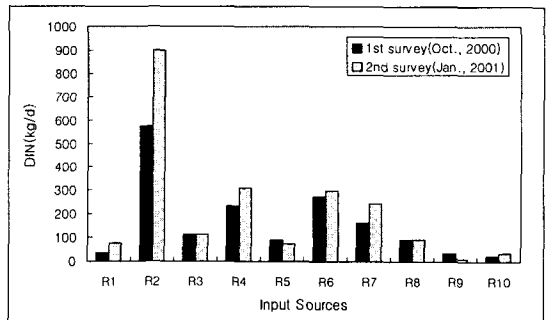


Fig. 7. DIN loads of each input sources.

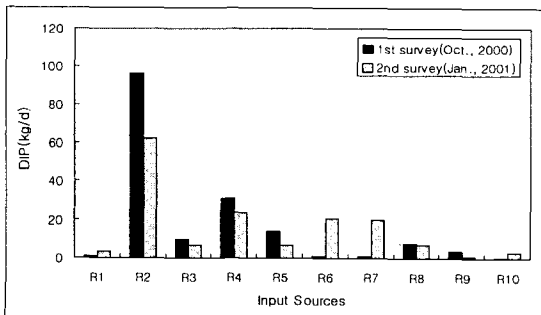


Fig. 8. DIP loads of each input sources.

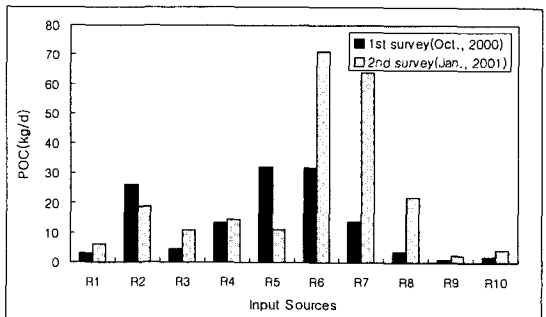


Fig. 9. POC loads of each input sources.

3.2.3. DIP의 시간변화

Table 6 및 Fig. 13과 같이 R2는 DIN과 유사한 경향을 보였다. 다른 하천들은 COD와 DIN에 비해 큰 변동을 보이지 않았지만 대체적으로 저녁 8시와 10시경 및 정오로 갈수록 최대를 새벽에 최소를 나타내었다.

Table 5. Temporal DIN loads(kg/day) variation of rivers and ditches in October, 2000

Time	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
12:00	30.29	655.43	209.74	717.39	-	-	-	-	-	-
14:00	20.46	721.22	90.72	186.70	91.17	862.88	647.59	32.48	-	-
16:00	32.66	709.36	69.30	99.79	65.66	246.81	120.93	238.36	-	25.50
18:00	29.70	525.72	69.84	115.23	119.31	180.27	115.38	84.26	-	21.39
20:00	45.81	573.64	217.84	138.53	134.37	300.93	50.26	205.98	-	20.67
22:00	29.36	467.26	58.86	214.18	139.69	309.92	14.41	133.41	-	-
00:00	35.78	709.05	37.16	246.40	72.34	214.69	55.33	22.62	35.07	24.67
04:00	54.59	391.79	115.88	69.77	73.40	14.97	351.38	48.23	8.74	-
08:00	39.14	402.68	140.19	303.83	5.78	171.52	61.53	22.15	58.76	25.09

3.3. 퇴적물의 용출 Flux

3.3.1. NH₄⁺-N

Table 7 및 Fig. 14와 같이 퇴적물로부터 암모늄 이온의 부하량은 정점 3에서 3.23mg/m³/day로 최소를 나타냈고, 수심이 얕고 양식장 주변 정점인 4에서 57.81mg/m³/day로 최대를 보였다. 이러한 값은

Table 6. Temporal DIP loads(kg/day) variation of rivers and ditches in October, 2000

Time	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
12:00	0.75	108.87	13.74	104.82	-	-	-	-	-	-
14:00	0.59	124.65	8.49	31.73	14.61	0.75	0.75	4.12	-	-
16:00	0.98	106.29	8.73	15.41	11.32	0.59	0.59	15.84	-	0.36
18:00	0.81	99.39	10.18	19.04	18.35	0.98	0.98	12.62	-	0.45
20:00	2.50	100.83	11.43	26.25	18.43	0.81	0.81	12.38	-	0.44
22:00	0.79	86.28	8.66	23.98	18.60	2.50	2.50	14.98	-	-
00:00	0.77	122.94	7.59	25.13	9.55	0.79	0.79	2.51	3.05	0.48
04:00	0.93	61.25	6.07	10.64	9.05	0.77	0.77	2.75	1.55	-
08:00	0.83	57.50	11.86	22.35	11.88	1.19	1.19	3.23	7.17	0.42

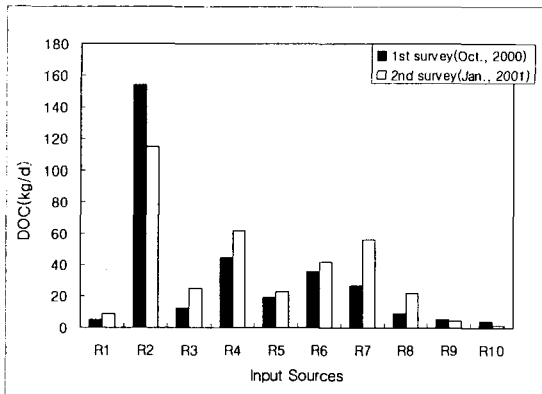


Fig. 10. DOC loads of each input sources.

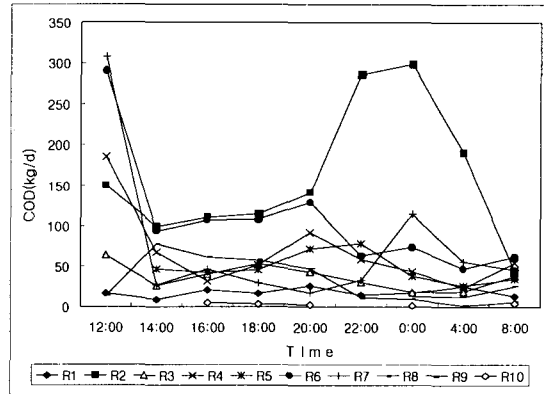


Fig. 11. Temporal COD loads variation of rivers and ditches in October, 2000.

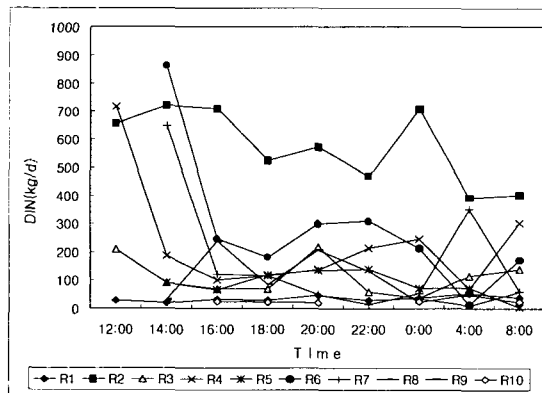


Fig. 12. Temporal DIN loads variation of rivers and ditches in October, 2000.

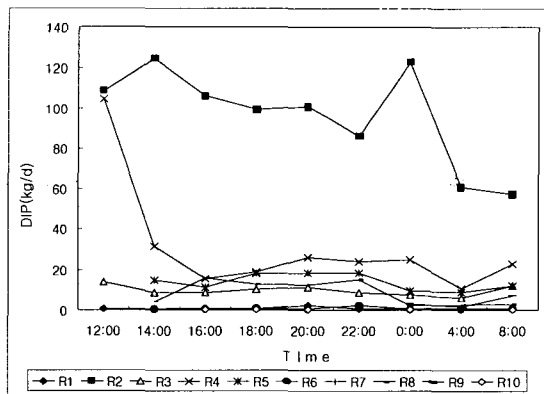


Fig. 13. Temporal DIP loads variation of rivers and ditches in October, 2000.

정점 4를 제외하고는 마산만의 36.4mg/m²/day,¹³⁾ 진동만의 14.9mg/m²/day,¹³⁾ 원문만의 17.8mg/m²/day,¹³⁾ 고성만의 7~15mg/m²/day¹⁴⁾에 비해서 낮은 값을 나타내었다.

Table 7. NH₄⁺-N and PO₄³⁻-P fluxes from sediments in June, 2000

	St. 1 (mg/m ² /day)		St. 2 (mg/m ² /day)		St. 3 (mg/m ² /day)		St. 4 (mg/m ² /day)	
	NH ₄ ⁺ -N	PO ₄ ³⁻ -P	NH ₄ ⁺ -N	PO ₄ ³⁻ -P	NH ₄ ⁺ -N	PO ₄ ³⁻ -P	NH ₄ ⁺ -N	PO ₄ ³⁻ -P
Mean	11.28	5.55	5.60	4.68	3.23	-	44.81	11.54

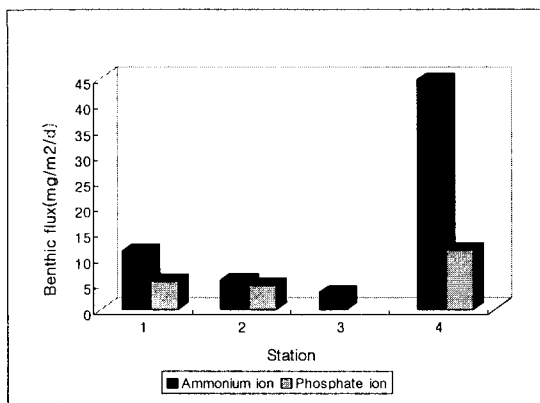


Fig. 14. Benthic flux of each station in Kamak Bay.

3.3.2. PO₄³⁻-P

Table 7 및 Fig. 14와 같이 퇴적물로부터의 인산염이온의 부하량은 정점 2에서 4.68mg/m²/day로 최소를 나타냈고, 정점 4에서 11.54mg/m²/day로 최대를 보였다. 이러한 값은 정점 4를 제외하고는 마산만의 8.2mg/m²/day,¹³⁾ 진동만의 7.0mg/m²/day,¹³⁾ 원문만의 7.1mg/m²/day,¹³⁾ 고성만의 4~7mg/m²/day¹⁴⁾에 비해서 낮은 값을 나타내었다.

3.4. 가막만 유역의 발생 및 배출부하량 산정결과
환경부고시 제 1999-143호로 발표된 오염총량관리계획의 수립지침에 포함된 원단위 산정법을 통해서 가막만의 BOD, TN 및 TP의 발생 및 배출부하량을 산정한 결과, Table 8과 같이 BOD 총발생부하량은 15,042.4kg/day로 이 중 72%가 인구, 11%가 토지, 7%가 산업에 의한 것이었고, TN의 경우도 전체 3,537.8kg/day 중 인구에 의한 비율은 70%, 토지는 18%, 축산의 기여율은 7%로 나타났다. TP는 전체 455.8kg/day의 발생부하 중 인구가 59%, 축산이 18%, 토지가 13%를 차지하고 있어 상대적으로 축산에 의한 부하가 큰 것이 특징이었다.

또한, Table 8과 같이 BOD 총발생량 중 약 33%

가 배출되며, TN은 72%, TP는 63%가 배출되는 것으로 계산되었다.

한편, Table 9와 같이 가막만 유역의 5개의 행정구역별 BOD 배출부하를 살펴보면, 여수시에 의한 부하가 76%로 가장 큰 것으로 나타났고, 돌산읍과 화양면이 각각 10%와 7%로 나타났다. TN의 경우도 여수시가 84%, 화양면이 7%로 나타났고, 그리고 TP는 여수시가 82%, 화양면이 9%, 돌산읍이 6%로 나타났다. Fig. 15와 같이 유역 전체의 BOD 배출부하에 기여하는 각 유입원별 분포를 살펴보면, BOD는 75%가 인구에 의해 기인되었고, 비점오염원과 육상양식에 의한 기여도가 각각 11%와 10%로 나타났다. TN은 인구에 의한 기여도가 81%, 비점오염원에 의한 기여도가 12%로 나타났고, TP는 인구가 80%, 육상양식에 의한 기여도가 10%로 나타났다. 이와 같이 배출부하량은 행정구역별로는 여수시가 가장 큰 부하를 보였고, 오염원별로는 인구에 의한 기여도가 가장 큰 것으로 나타났다.

Table 8. Generation and discharging pollutant loadings of Kamak Bay

Pollutant Loadings	Population (kg/day)	Stockbreeding (kg/day)	Industry (kg/day)	Non-point (kg/day)	Land Culture (kg/day)	Total (kg/day)
BOD Generation	10,844.0	993.0	1,001.5	1,651.8	552.1	15,042.4
BOD Discharging	3,764.9	25.2	116.4	534.2	552.1	4,988.8
TN Generation	2,473.6	235.4	91.2	629.8	107.8	3,537.8
TN Discharging	2,067.1	123	85.8	285.7	107.8	2,568.7
TP Generation	288.4	82.6	15.0	61.1	28.7	455.8
TP Discharging	231.1	1.8	12.3	15.3	28.7	289.2

Table 9. Discharging pollutant loadings of each region in Kamak Bay

Region	BOD (kg/day)	TN (kg/day)	TP (kg/day)
Yosu City	3,772.0	2,149.1	238.4
Doisan-eub	492.7	129.3	17.7
Hawyang-myeon	378.0	197.4	5.0
Hawjeong-myeon	294.5	69.4	25.5
Nam-myeon	55.8	13.5	2.6
Total	4,993.0	2,558.7	289.2

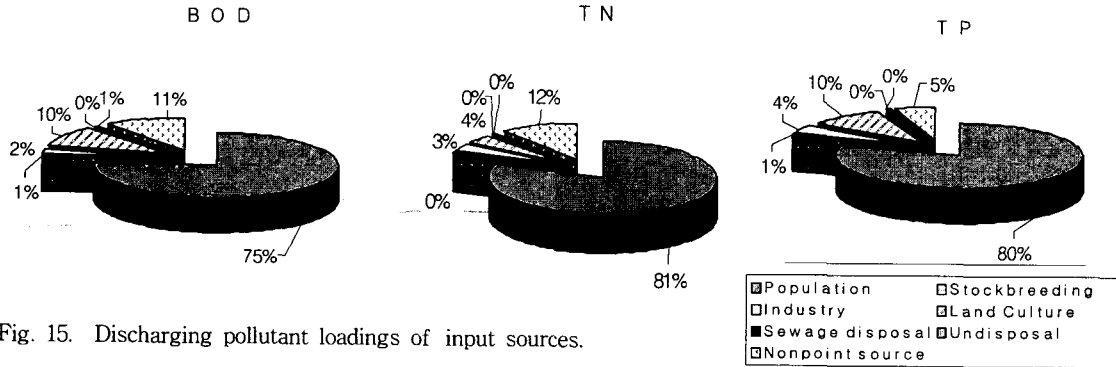


Fig. 15. Discharging pollutant loadings of input sources.

3.5. 각 부하량의 비교와 기여도 평가

각 하천 및 하수구를 통해서 가막만으로 유입되는 COD, BOD, DIN 및 DIP의 총부하량은 1차 조사시(10월)는 각각 약 565, 355, 1,626 및 166kg/day, 갈수기에 해당하는 2차 조사시(1월)에는 896, 718, 2,152 및 154kg/day로 산정되었다. 결과로 보면, 질소계 영양염의 부하량이 가장 크게 나타났고, 또한, 1차조사시(10월) 보다 2차조사시(1월)에 오염물질의 농도증가로 오염부하량이 크게 나타나서 해역에 미치는 영향이 더 크게 되리라 사료된다.

가막만으로 유입하는 하천 중 R2(연등천)의 부하량이 총부하량에 가장 크게 기여하는 것으로 나타나서 지속적인 모니터링과 오염원 관리가 필요한 것으로 평가되었다.

육상에 의한 배출부하량에서 비점오염원에 의한 기여율이 BOD, TN이 약 10%, TP가 5%로 낮게 나타났으나, 최근에는 수질관리에 있어서 중요한 요인으로 간주되고 있다.¹⁵⁾

최근에는 양식장이 밀집한 연안해역의 수질평가와 예측에 있어서 퇴적물로부터의 용출량을 중요한 요인으로 고려되고 있다.¹⁶⁾ 그래서, 본 연구에서는 가막만 퇴적물로부터의 부하량이 대략 어느 정도인지를 간접적으로 평가를 해 보기 위해서 Table 7에서 해저 퇴적물로부터 용출되는 질소계 영양염의 평균농도를 16.23mg/m³/day, 인계 영양염의 평균농도를 7.26mg/m³/day라 하고 가막만의 표면적을 134 km²라 한다면, 가막만 전체의 퇴적물의 내부부하는 각각 2,175kg/day, 973kg/day로 산정할 수 있다. 이러한 양은 Fig. 16에서 보는 바와 같이 육상에서의 총배출부하량과 비교해 보면, 비록 육상에서의 양이 TN과 TP인 것을 감안하더라도, 그 양이 상당한 것으로 평가될 수 있을 것이다. 이것은 육상에서 질적·양적으로 유기물과 무기물을 처리를 하더라도 퇴적물 환경이 개선되거나 정화되지 않으면 해역의 수질회복이 어렵다는 것을 암시할 수 있

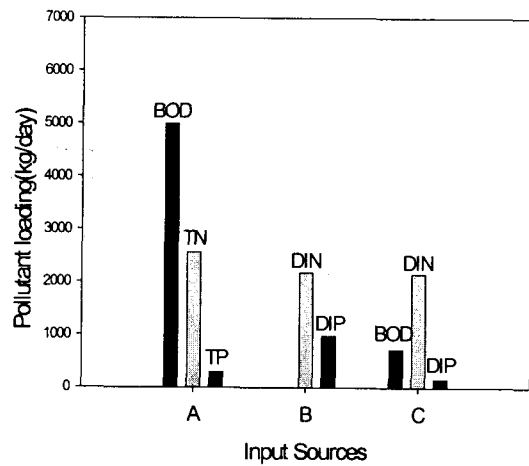


Fig. 16. The comparison with loads of input sources in Kamak Bay(A: Discharging pollutant loadings, B: Benthic Fluxes, C: Runoff pollutant loadings).

다. 이것은 부영양화 되었거나 어장양식이 활발한 연안해역의 공통된 수질관리측면이라 볼 수 있다.¹⁷⁾

해수면 양식장의 양식생물과 사료 등에 의한 내부부하 또한 상당히 중요하다고 판단되는데, 각 양식장의 크기, 패류의 종과 성육의 크기에 따라 배출량이 달라지므로 그 양을 평가하는데 기초자료 부족으로 무리가 있어서 본 연구에서는 고려하지 않았지만, 차후에 좀더 자세하고 체계적인 연구를 통해서 그 양을 추산해서 비교할 필요가 있다.

마지막으로 위에서 평가한 하천 및 하수구에 의한 총부하량이 육상 총배출부하량 및 퇴적물의 용출부하량과 비교한 것을 Fig. 16에 나타내었다. 육상 총배출부하량에서 갈수기시 하천총부하량이 차지하는 비율, 유달율은 BOD가 0.14로 나타났다. 원단위 산정에 의한 육상 총배출부하량은 TN 및 TP로 되어 있고 하천부하량은 DIN과 DIP로 실측하여 유달율을 평가할 수는 없지만, 유기질소를 뺀 TN

과 TP의 유달율은 각각 0.84, 0.53으로 정도로 나타났는데, 유기질소를 고려하면 이 값보다 더 높게 나올 것이라 기대된다. 이러한 유달율을 평가한 연구는 많지 않은데, 대부분의 연구에서 그 값의 범위가 폭넓게 나오고 있어서 이에 관한 보완연구가 필요하다고 사료된다.^{18,19)} 특히, 본 연구에 있어서 하천의 조사시기, 퇴적물 조사지점의 개수 등에 기인된 결과의 해석에 있어서 오차를 유발 할 수 있는 소지는 연구의 한계라 밝혀둔다. 앞으로 이러한 점을 보완해서 좀더 세밀한 평가가 이루어져야 할 것으로 본다.

결론적으로 가막만은 현재 COD 평균으로 볼 때 해역수질환경 II등급 기준인 2mg/L을 초과하고 있고, TN과 TP도 각각 II등급 기준인 0.6mg/L과 0.05mg/L이하로 나타나고 있다.⁸⁾ 따라서 가막만의 효율적인 수질관리를 위해서는 해역 환경용량하에서 오염물질의 부하삭감 대책이 절실히 요구된다. 이를 위해서는 유입하천 및 하·폐수 방류구의 지속적인 모니터링을 통한 외부부하 억제대책과 어패류 양식장의 과밀양식방지, 저질개선 등 내부부하의 억제대책이 필요하다. 그리고 유역의 행정구역별 발생 및 배출부하량을 기초로 해서 부하량 저감을 위해서 구역별로 분뇨 및 하수처리장을 확대하거나, 산업 및 축산폐수 배출부하량의 총량규제를 통해서 현재 가장 완화된 방류수 수질기준과 배출허용기준의 적용을 강화시킬 필요가 있다. 한편으로 하천을 통해 해역으로 유입하는 오염물질을 수생식물을 이용해서 걸러내는 방안을 강구하는 등 친환경적이고 구체적인 수질개선방안을 강구해야 할 것이다.

4. 결 론

- 1) 1차조사시의 총유량은 약 169,230m³/day, 동계인 2차 조사시는 약 144,288m³/day로 평가되었고, 유입하는 하천에서 R2(연등천)가 가장 큰 유량을 차지하였다.
- 2) 1차 조사시 COD 총부하량은 약 565kg/day였고, 2차 조사시는 896kg/day를 나타내었다. 또한 2차 조사시의 BOD 총부하량은 약 718kg/day로 COD 총부하량의 약 80%를 차지하였다.
- 3) DIN의 총부하량은 1차 조사시는 약 1,626kg/day, 2차 조사시는 약 2,152kg/day였고, DIP의 총부하량은 1차 조사시는 약 166kg/day, 2차 조사시는 약 154kg/day를 나타내었다.
- 4) 1차 조사시 총유기탄소(TOC) 총부하량은 약 448kg/day였고, 이 중에서 POC가 차지하는

비율은 약 29%로 TOC의 대부분은 DOC로 존재한다는 것을 알 수 있었다. 2차 조사시 TOC 총부하량은 583kg/day로 POC가 차지하는 비율은 약 39%였다.

- 5) 오염물질 부하량은 일중 인위적 활동이 큰 오후 8시와 12시 사이 및 정오에 최대를 이루었고, 인위적 활동이 적은 새벽에 최소를 보였다.
- 6) 원단위 산정법에 의한 총배출부하량은 BOD, TN 및 TP가 각각 4993.0, 2558.7, 289.2kg/day로 나타났고, 이 중 인구에 의한 기여도가 가장 큰 것으로 평가되었고, 행정구역별로는 여수시가 가장 큰 부하를 가지는 것으로 나타났다.
- 7) 유달율은 BOD가 0.14로 계산되었다.
- 8) 퇴적물로부터 용출되는 질소계 영양염의 평균 농도는 16.23mg/m³/day, 인계 영양염의 평균 농도는 7.26mg/m³/day로 나타났다.
- 9) 지속적으로 가막만의 해역환경수질기준을 만족시킬려면 하천을 통한 유입부하량 뿐만 아니라 해역자체의 내부부하량도 환경용량 이내 범위로 삭감시켜야 할 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 해양수산부의 환경관리해역 시범해역 관리 시행계획 수립연구로 시행된 연구내용의 일부입니다.

참 고 문 헌

- 1) 國立水産振興院, 全羅南道, 1982, 全南東部沿岸 養殖漁場 基礎環境 및 底棲貝類에 관한 調査.
- 2) 麗水水産大學 水産科學研究所, 1991, 駕莫灣 環境汚染 實態 및 保全對策 調査報告書.
- 3) 國立水産振興院, 1991, 沿岸 養殖漁場 環境容量 算定에 관한 研究.
- 4) 國立水産振興院, 1996, 한국 연안어장 환경오염 조사 결과보고서.
- 5) 趙恩一, 1996, 生態系모델을 이용한 漁場環境容量 算定, 釜山水産大學校 博士學位論文.
- 6) 이대인, 조은일, 박정길, 1999, 駕莫灣에서의 基礎生産力 향상방안에 관한 生態系 모델링, 한국 환경과학회지, 8(5), 575-586.
- 7) 한국환경기술개발원, 1996, 연안역에서의 오염물질 유입저감을 위한 총량규제 방안에 관한 연구.
- 8) 해양수산부, 2001, 환경관리해역 시범해역관리 시행계획 수립연구 -가막만 환경보전해역 현황 최종보고서-.
- 9) 이상훈, 조옥상, 2001, 소하천의 오염부하량이 수

- 질에 미치는 영향에 관한 연구, 환경영향평가, 10(1), 9-19.
- 10) 曹圭松 共譯, 1991, 湖水環境調査法, 동화기술.
- 11) 編輯部 編, 1998, 水質汚染·廢棄物·土壤汚染 공정시험방법, 동화기술.
- 12) APHA. AWWA. WPCF., 1992, Standard methods for the examination of water and waste water, 18th edition.
- 13) 金鍾九, 1994, 鎮海灣 海域의 夏季 富營養化 모델링, 釜山水産大學校 博士學位論文, 45~76.
- 14) 이원찬, 2001, 패류 양식장 어장환경용량 산정 모델개발 및 적용, 부경대학교 박사학위논문, 65-66.
- 15) Burroughs, R. H., 1993, Nonpoint Sources as External Threats to Coastal Water Quality: Lessons from Park Service Experience, Coastal Management, 21, 131-142.
- 16) Fraser, R. J. Jr., 1993, Removing Contaminated Sediments from the Coastal Environment: The New Bedford Harbor Project Example, Coastal Management, 21, 155-162.
- 17) 國立水産振興院, 1993, 養殖 漁場 底質改善 技術開發.
- 18) 서울시정개발연구원, 1994, 한강수질관리 효율화방안 연구.
- 19) 최지용, 신은성, 1998, 농업지역 비점오염원 관리방안 연구, 한국환경정책·평가연구원.