

영일만 유입오염부하량의 계절 변동에 관한 연구

윤한삼 · 이인철* · 류청로* · 박종화
(주)한국연안개발기술, 부경대학교 해양공학과*

Seasonal Variation of Pollutant load flowing into Yeong-II bay

HAN-SAM YOON, IN-CHEOL LEE*, CHEONG-RO RYU* AND JONG-HWA PARK

Korea Coastal Development Technology Co., Ltd., Seoul 121-703, Korea

*Dept. of Ocean Engineering, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

KEY-WORD: Yeong-II bay 영일만, Hyeong-san river 형산강, Tank model 탱크모델, precipitation 강우량, evaporation 증발량, pollutant load 오염물질, seasonal variation 계절변동, spatial distribution characteristics 공간분포특성,

ABSTRACT: This study investigates the seasonal variation and spatial distribution characteristics of pollutant load, as executing the quantity valuation of pollutant load inflowing into Yeong-II bay from on-land including the Hyeong-san river. Annual total pollutant generating rate from Yeong-II bay region are 202ton to BOD, 620ton to SS, 42ton to T-N, 16ton to T-P respectively. if expressly point out, pollutant generating rate from the Hyeong-san river is the greatest, which BOD ratio is 78.2%, SS 88.5%, T-N 62.5%, T-P 73.1%. As calculating Tank model with input value of daily precipitation and evaporation of 2001 year in drainage basin of the Hyeong-san river, Estimated result of the annual total river discharge effluencing from this river is $830 \times 106 m^3$. As result to estimating annual total effluence rate outflowing at the rivers from each drainage basins, annual total inflow pollutant rate are BOD 10,633ton, SS 19,302ton, T-N 15,369ton, T-P 305ton. The III basin which is population congestion region of the Pohang-city drain away a good many pollutant load than the V basin including the Neang-Chun with wide drainage area. Especially, a great many T-N than T-P inflow into Yeong-II bay. The accumulation of pollutant load effluenced from on-land will happen on at the inner coast region of Yeong-II bay, finally we would make a prediction that the water quality will take a bad turn.

1. 서 론

해양오염의 원인은 일반적으로 육상에서 기인하는 것, 대기에서 기인하는 것, 자연에서 기인하는 것 등으로 나눌 수 있으며 이중 인간의 노력에 의해 관리 및 통제가 가능하며 현 상황에서 가장 절실히 요구되는 부분은 육상유입오염물질의 저감 또는 방지대책수립 등이다. 이러한 오염물질 관리에 대비하여 육상에서 유입되는 오염물질 부하량의 정량적 평가는 연안수질오염의 영향정도를 파악하고 이에 대한 방지대책 수립을 위해 절실히 요구되어진다.

영일만은 청정해역인 동해 남동부 해역으로 개방된 지형적 구조특성을 바탕으로 경북 포항시 흥해읍 달만갑과 대보면 호미곶(구 장기갑) 사이의 약 10 km에 달하는 개구부로 이루어진 반달형 내만이다. 그러나 포항제철을 비롯한 대규모 공업단지에서 배출되는 산업폐수와 인근도시지역에서 배출되는 생활폐수 등이 영일만에 유입됨으로써 만내오염물질의 절대량이 증가하여 영일만의 수질이 점차 악화되고 있는 실정이다(강 등, 2002).

영일만으로 유입되는 오염물질 유입원은 형산강, 냉천을 포함한 6개의 소하천, 포항제철의 3개 배수구, 포항구항의 도시하천 유입구 등이 있으며, 이러한 오염물질의 유입 및 확산으로 인해 오염부하량(COD) 및 영양염류(T-N, T-P)의 증가, 해수 및 저질의 오염정화능력 저하와 더불어 적조 및 부영양화 등 만내 수질 및 생태계에 미치는 영향이 크게 증가하고 있다. 특히 형산강은 울주군 두서면 내와리에서 발원하여 경주시 및 포항시를 지나

영일만해안으로 유입되는 총연장 62.2km, 유역면적 1,166km²인 하천이며, 유하시간은 28.1시간(평균기 기준)으로 유하거리가 짧고 하상경사가 매우 급해 하천으로서의 자정능력이 떨어지는 자연적 조건으로 인해 영일만내 오염물질의 유입량이 큰 것으로 보고된 바 있다(김, 1992).

본 연구는 형산강을 비롯하여 영일만내로 유입되는 육상오염 부하량의 정량적 평가를 수행함과 아울러 강우특성과 밀접한 관계를 가지고 있을 것으로 판단되는 유입오염부하량의 계절별 변동 및 공간적 분포특성을 고찰한다. 이를 통해 영일만내 수질변동예측과 오염물질 확산기구 규명을 위한 실시간 수질변동모델 계산의 기초입력자료로서 사용하고자 한다.

2. 연구내용 및 방법

영일만내로 유입되는 각 하천의 유역에서 발생하는 오염물질이 영일만의 수질에 미치는 영향을 시·공간적 분포특성으로 살펴보기 위해 Fig. 1과 같이 대표적인 6개 구역(I~VI)과 형산강 유역에 대해서 5개의 소유역으로 구분하여 선정하였다. 또한 영일만내로 유입되는 오염물질 유입원은 만내와 인접한 대·소하천과 도시 생활폐수 및 포항공단 배수구로 한정하였으며 기존 연구자료와 문헌을 바탕으로 유역특성을 분석한다.

유역별 오염원조사는 형산강 및 주변 유역이 위치한 포항시, 경주시, 울주군의 통계연보(2001)를 바탕으로 인구 및 토지이용, 가축사육현황 등 유역에 대한 2001년도의 점오염원 및 비점오염

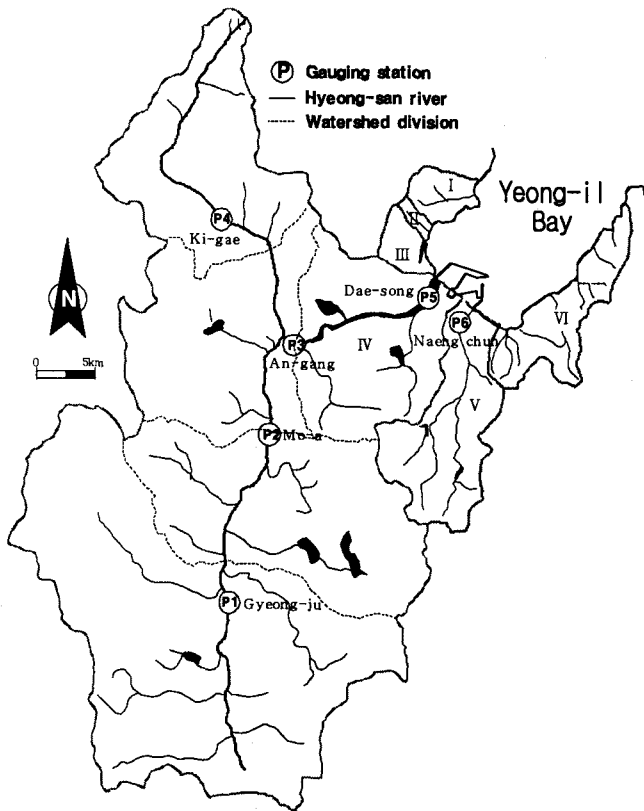


Fig. 1 River basin of Yeong-II bay and gauging station location.

원현황을 조사하고 이를 바탕으로 유역별 일평균 오염부하량을 산정한다.

일반적인 원단위를 통한 오염부하량 산정방법은 평균치의 개념으로 계절변동특성을 분석할 시에는 무리가 따른다. 따라서 구역별 만내 유입지점에서 얻어진 수질자료를 통해 유입오염부하량을 산정하고 이를 통해 오염부하량 유달을 산정하였다.

또한 계절변동에 따른 오염부하량산정에 있어 요구되어지는 유역별 하천유량은 포항관측소 2001년 일별강우량 자료를 바탕으로 Tank 모델을 사용하여 임의 유역 하천유량을 산정하였으

Table 1 Pollutant sources from six area basins

Source Area	Populations		Livestocks						Land Use(km ²)					Industries						
	Head (%)	Sum (%)	Cattle			Pig			Sum (%)	Field	Paddy Field	Forest	Lot	Others	Sum (%)	Industrial Class				
			Korean Cattle	Cow	Rate (%)	Capital	Rate (%)	1								2	3	4	5	
I	50,284 (9.1)	61 (0.03)	25	0	0.05	36	0.03	14.79 (1.1)	1.20	2.24	8.80	1.27	1.27	35 (3.0)	-	-	1	-	34	
II	44,689 (8.1)	164 (0.09)	114	0	0.26	50	0.04	7.49 (0.6)	0.41	0.50	4.47	0.88	1.23	38 (3.5)	-	-	-	-	38	
III	184,304 (33.2)	9 (0.01)	9	0	0.02	0	0	16.17 (1.2)	0.61	0.71	4.02	6.00	4.84	264 (24.3)	-	-	1	1	262	
IV	205,109 (37.0)	170,954 (97.63)	39,784	14,544	98.24	116,626	97.33	1,180.06 (86.8)	85.09	200.61	925.50	31.29	51.72	557 (51.3)	3	4	4	8	538	
V	54,667 (9.9)	2,932 (1.67)	433	199	1.14	2,300	1.92	97.15 (7.1)	3.07	5.09	57.23	3.37	28.39	167 (15.4)	3	42	11	12	99	
VI	15,519 (2.8)	1,004 (0.57)	128	66	0.35	810	0.68	43.61 (3.2)	4.36	4.73	30.92	0.88	2.72	24 (2.2)	-	12	-	-	12	
Total	554,572 (100)	175,124 (100)	40,493	14,809	100	119,822	100	1,359.27 (100)	94.8	213.9	1,030.9	43.7	90.2	1,085 (100)	6	58	17	21	983	

며, 수질자료는 환경부 수질관측망자료를 바탕으로 형산강(5개 지점), 냉천의 총 6개 지점의 월별 평균 COD, T-N, T-P를 비롯한 수질오염물질 5개 항목을 이용하였다. 일별 수질변동값은 월별 수질자료를 등분할하여 산출하였고, 이를 통해 각 유역별 하천에서 발생하는 오염부하량은 산정된 1일간 유량에 수질오염물질 농도를 곱하여 일별 오염물질부하량을 산정하였다. 이를 통해 각 유역별 만내 오염부하량을 정량화하였으며 계절특성은 4계절로 나누어서 비교하며, 만내 유입오염부하량의 공간적 분포를 제시하여 그 특성을 고찰한다.

3. 유역별 오염발생부하량

각 유역별 발생오염부하량을 산정하기 위하여 점오염원 및 비점오염원을 조사한 결과는 Table 1과 같다. 유역별 오염원 조사는 점오염원으로 인구에 대한 생활오염원과 가축사육에 의해 발생하는 축산오염원 및 공장 등 산업시설에서 배출되는 공장폐수를 대상으로 하였으며, 비점오염원으로는 전, 답, 임야, 대지 및 기타지역 등 토지로부터의 유출수에 의해 발생하는 오염원을 대상으로 하였다. 각 오염원에 Table 2의 원단위를 곱하여 BOD, SS, T-N, T-P 항목에 대한 오염물질발생량을 산정하였다.

Table 2 Pollutant sources

Source	Item	Pollutant Sources			
		BOD	SS	T-N	T-P
Population (g/p · day)	Urban	62.0	62.0	7.75	1.63
	Rural	51.0	60.0	7.75	1.63
Livestock (g/h · day)	Korean Cattle	640.0	3,800.0	128.0	72.0
	Cow	170.0	4,345.0	162.5	187.0
	Pig	125.0	356.0	20.40	16.80
Land Use (kg/km ² · day)	Field	7.1	7.59	2.33	0.17
	Paddy Field	5.12	4.41	2.33	0.17
	Forest	87.59	277.73	0.759	0.027
	Lot	0.96	1.26	0.55	0.013
	Others	0.96	1.26	0.759	0.027
Wastewater (g/m ³)	"Clean" Area	30	30	23.9	6.8
	"A" Area	60	60		

Table 3 Total Pollutant loading from six area basin

(Unit: kg/day)

Source Area	Total				Populations				Livestocks				Land Use				Industrial Wastewater			
	BOD	SS	T-N	T-P	BOD	SS	T-N	T-P	BOD	SS	T-N	T-P	BOD	SS	T-N	T-P	BOD	SS	T-N	T-P
I	4,427	6,741	1,246	322	2,564	3,117	389	81	20	108	4	2	793	2,466	16	1	1,050	1,050	837	238
II	3,897	5,610	1,277	340	2,279	2,770	346	72	79	451	16	9	399	1,249	7	1	1,140	1,140	908	258
III	17,696	20,150	7,751	2,097	9,399	11,058	1,428	300	6	34	1	1	371	1,138	13	1	7,920	7,920	6,309	1,795
IV	158,338	549,461	26,161	11,742	10,460	12,306	1,589	334	42,512	255,891	9,835	7,544	82,776	258,674	1,425	75	22,590	22,590	13,312	3,789
V	13,487	27,598	4,635	1,335	2,788	3,280	423	89	598	3,328	135	107	5,091	15,980	86	4	5,010	5,010	3,991	1,135
VI	4,472	11,358	785	226	791	931	120	25	194	1,061	44	35	2,767	8,646	47	3	720	720	574	163
Total	202,317	620,918	41,855	16,062	28,281	33,462	4,295	901	43,409	260,873	10,035	7,698	92,197	288,153	1,594	85	38,430	38,430	25,931	7,378

산업폐수 배출 업소 중 IV구역에 해당되는 형산강 유역이 557개(51.3%)로 가장 많고 대체로 형산강 하류에 위치해 있으며 업종별로는 대체로 4~5종 업소이다. 산업폐수의 유기물질 배출허용기준을 적용하기위한 지역구분은 형산강 수역내 가지역으로는 안강읍 외 9개 지역이며 그 외 지역은 청정해역으로 구분하였으며, 폐수배출업소에 대한 대상규모는 형산강 수역내 용강공업단지 외 7개의 대규모 공단시설을 고려하여 1일 폐수배출량 2000m³이상으로 동일하게 고려하였다(경주상공회의소, 1996).

영일만 인근의 각종 육상오염원에 의해 발생하는 일일 총오염발생량 및 연간 총오염발생량의 계산결과는 Table 3과 Table 4에 나타내었다. Table 3에서 오염발생량의 총량은 BOD와 SS가 각각 202ton, 620ton이고, T-N 및 T-P는 42ton, 16ton인 것으로 나타났다. Table 4에서는 영일만 인근 오염발생량 중 형산강으로부터 발생하는 오염부하량이 가장 많으며 BOD는 78.2%, SS는 88.5%, T-N은 62.5%, T-P는 73.1%의 비율을 나타냈다.

Table 4 Annual total pollutant loads (Unit: ton/year)

Source Area	Pollutant loads			
	BOD	SS	T-N	T-P
I	1,615.86 (2.2)	2,460.47 (1.1)	454.79 (2.9)	117.53 (2.0)
II	1,422.41 (1.9)	2,047.65 (0.9)	466.11 (3.1)	124.1 (2.1)
III	6,459.04 (8.8)	7,354.75 (3.2)	2,829.12 (18.5)	765.41 (13.1)
IV	57,793.37 (78.2)	200,553.3 (88.5)	9,548.77 (62.5)	4,285.83 (73.1)
V	4,922.76 (6.7)	10,073.27 (4.5)	1,691.78 (11.1)	487.28 (8.3)
VI	1,632.28 (2.2)	4,145.67 (1.8)	286.53 (1.9)	82.49 (1.4)
Total	73,845.72 (100)	226,635.11 (100)	15,277.1 (100)	5,862.64 (100)

4. 강우-유량 산정

Tank 모델의 개요 및 입력조건

Tank 모델은 이수계획서 필요한 일단위 장기유출량을 추정하는데 많이 사용되는 모형으로 대부분의 다른 유출 모형이 복잡한 구조를 가지고 있으며, 매개변수를 보정하는데 있어 많은 실

측자료를 필요로 하고 있는데 반해, Tank 모델은 일별 유출량을 추정하는데 있어 구조의 단순성과 적은 양의 입력자료가 요구된다는 점에서 좋은 모형으로 간주할 수 있다.

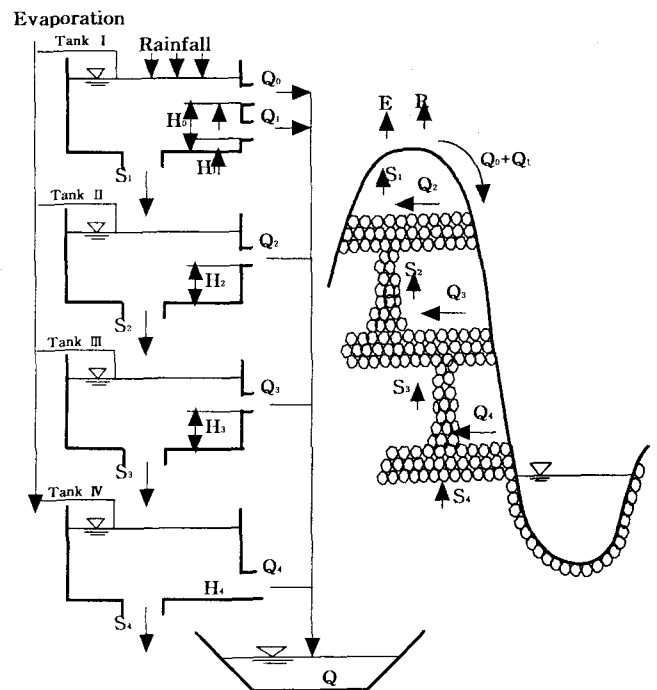


Fig. 2 Schematic of the Tank model

본 연구에서 하천유량의 일별 유출량을 구하기 위해서 사용된 Tank 모델은 Fig. 2와 같이 직렬로 배치된 4개의 Tank로 구성되며 각 Tank의 우측 유출공과 바닥 침투공은 강우가 발생하면 강우가 저류하여 해당 유출공의 수심에 도달하면 Tank I에서 Tank II로 유출한다는 이론으로써 각 Tank의 유출공에서 유출되는 유출량의 합계를 유역의 총유출량으로 산정하는 이론이다. Tank 모델에서 1단은 홍수유출(단기유출, 2일 이내), 2단은 지표수유출(1주일정도), 3단(1개월정도)과 4단(1년정도)은 지하수유출 특성을 나타낸다. 사용되어진 Tank 모델의 첫 번째 Tank에서의 기본식은 다음과 같다.

$$X_1 = X_1 + R - E \quad (1)$$

$$Q_0 = A_0 \cdot (X_1 - H_0) \quad (2)$$

$$Q_1 = A_1 \cdot (X_1 - H_1) \quad (3)$$

$$S_1 = B_1 \cdot X_1 \quad (4)$$

여기서, R 강우량(mm/일), E 증발산량(mm/일), Q_0, Q_1 유출량(mm/일), A_0, A_1 유출계수, H_0, H_1 바닥에서 유출공까지의 높이(mm), X_1 저류고(mm), S_1 침투량(mm/일), B_1 침투계수이다. 또한 두 번째 이하 Tank에서의 기본식은 다음과 같다.

$$X_i = X_{i-1} + S_{i-1} - E \quad (5)$$

$$Q_i = A_i \cdot (X_i - H_i) \quad (6)$$

$$S_i = B_i \cdot X_i \quad (7)$$

여기서, Q_i i단의 유출량(mm/일), A_i i단의 유출계수, H_i i단의 바닥에서 유출공까지의 높이(mm), X_i i단의 저류고(mm), S_i i단의 침투량(mm/일), B_i i단의 침투계수, A_i 전일의 i단 저류고(mm)이다. 이상에서의 각 Tank의 모델유출량을 구하고 이들 유출량의 합계를 다음식을 통해 하천유량으로 구한다.

$$Q(\text{m}^3/\text{sec}) = (Q_0 + \sum_{i=1}^n Q_i) \times \text{유역면적}(\text{km}^2) / 86.4 \quad (8)$$

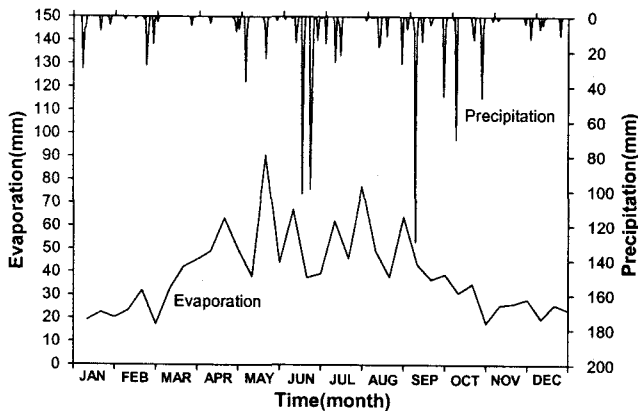


Fig. 3 Monthly precipitation and evaporation(2001)

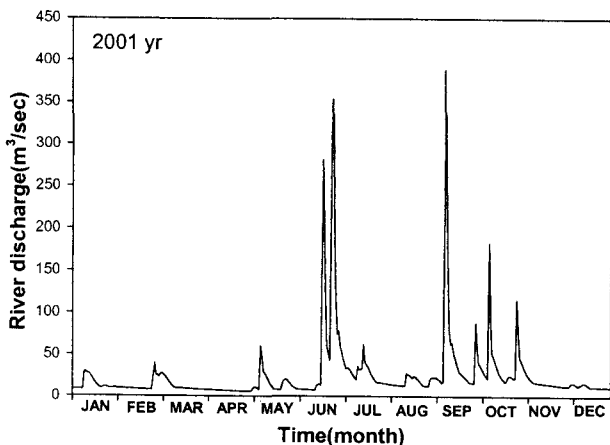


Fig. 4 Annual variation of Hyeong-san river discharge(2001)

Tank 모델의 계산결과

Tank 모델은 앞서 장점에 비해 매개변수의 초기값 추정과 매개변수결정 과정에서 대상해역의 실측자료와의 검증이 요구되어진다. 따라서 형산강 수계 5개 수위관측소로부터 관측되어진 자료와의 검증을 통해 매개변수의 초기값과 매개변수를 시행착오법을 통해 보정하였다. Fig. 8과 같이 2001년 형산강 수계의 일별 강우량과 증발량을 입력값으로 계산되어진 형산강 수계 연간 하천유량변동을 Fig. 9에 나타내었다. 형산강을 제외한 나머지 구역에 대해서는 형산강 Tank 모델계산시 조건을 동일하게 적용하여 Table 5에 각 구역의 월별 하천유량을 산정하였는데 형산강이 $830 \times 10^6 \text{m}^3$ 로 가장 많았다.

Table 5 River discharge of each area in 2001 yr.

Division Year	River discharge of each area ($\times 10^6 \text{m}^3$)					
	I	II	III	IV	V	VI
JAN	0.45	0.23	0.52	38.20	3.14	1.39
FEB	0.35	0.18	0.40	29.81	2.45	1.09
MAR	0.41	0.20	0.46	34.15	2.81	1.24
APR	0.21	0.11	0.24	17.79	1.46	0.65
MAY	0.53	0.27	0.61	44.70	3.67	1.63
JUN	2.19	1.10	2.51	184.76	15.19	6.73
JUL	1.00	0.50	1.15	84.59	6.95	3.08
AUG	0.56	0.28	0.64	46.84	3.85	1.71
SEP	1.67	0.83	1.91	140.67	11.56	5.13
OCT	1.44	0.72	1.65	121.48	9.99	4.43
NOV	0.60	0.30	0.69	50.54	4.15	1.84
DEC	0.43	0.22	0.49	36.48	2.99	1.33
Total	9.84	4.94	11.27	830.01	68.21	30.25

5. 유역별 하천수질 특성

2001년 환경부 수질관측망 월별수질자료 분석을 통해 Fig. 1의 형산강 소유역 5개 지점, 냉천 지점의 월별 수질농도의 경년변동을 나타낸 것이 Fig. 5~Fig. 8이다.

COD의 월별변동을 나타낸 Fig. 5에서 형산강 상류로부터 하류로 흐르는 과정에서 수질농도가 증가하다가 포항제철과 인접한 정점 5에서 급격히 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 형산강의 상류지점인 경주와 기계천은 냉천에서의 COD유입 부하량보다 낮지만 안강지점의 경우는 높게 나타났는데 이는 경주지역의 도시생활하수와 공단폐수로 인한 것으로 판단된다.

영양염류인 T-N, T-P의 월별변동은 Fig. 6과 Fig. 7에 나타내었는데 COD에서와 마찬가지로 형산강 상류로부터 하류로 이르는 과정에서 수질농도가 증가하는 경향을 보였다. 형산강으로부터의 T-P의 경우 강우량이 많은 여름철과 가을철에 급격히 떨어져 인근 냉천보다도 작게 나타났다. 또한 부유물질 SS의 경우 형산강이 대체로 겨울철이 높게 나타났다.

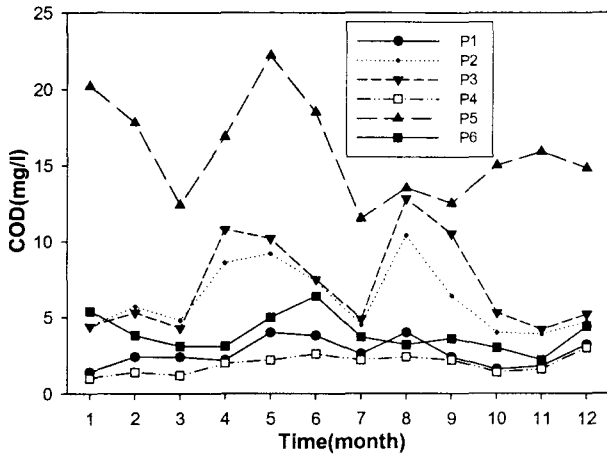


Fig. 5 The monthly variation of COD loads

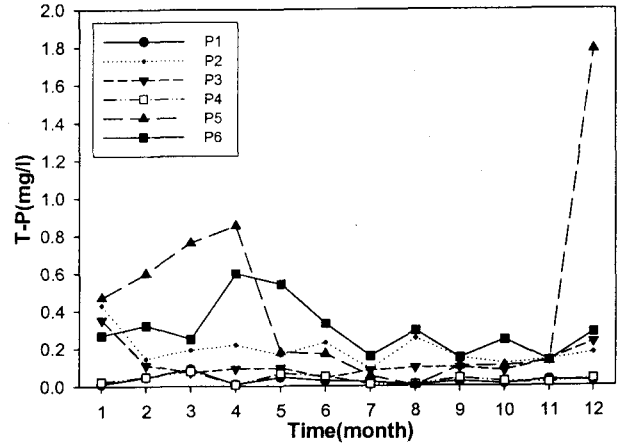


Fig. 7 The monthly variation of T-P loads

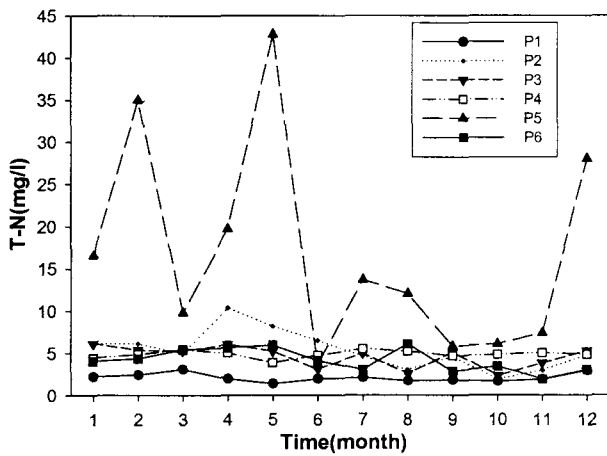


Fig. 6 The monthly variation of T-N loads

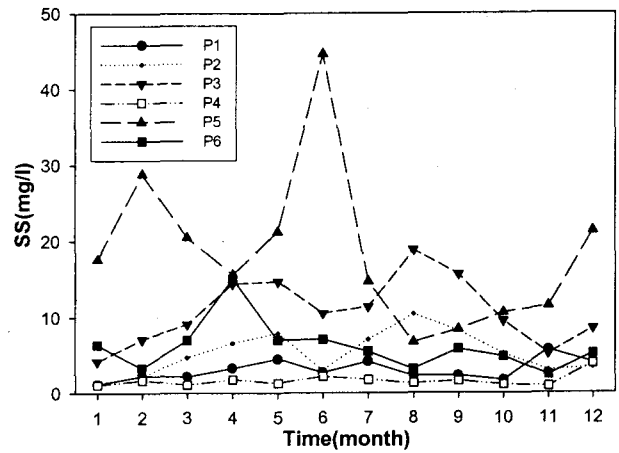


Fig. 8 The monthly variation of SS loads

이처럼 겨울철에 대체로 수질농도가 높은 것은 하천유량이 빈약한 상태에서 오염이 더욱 가중되어 있기 때문으로 생각되며, 이에 반해 홍수시는 많은 하천유량에 의해 수질농도가 희석됨으로 인한 것으로 판단된다. 또한 하천수는 중·하류에 이르면서 생활폐수와 농업폐수로 인해 수질오염이 심화되면서 결국 최종적으로 하구에 위치한 포항제철 옆을 지나 영일만으로 유입될 때에는 농업, 도시, 산업폐수의 복합체로서 바닷물에 섞이는 것이다(Kim, 1993).

강 등(2002)은 영일만의 수질환경의 변동은 질산질소의 유입의 영향을 많이 받는다고 집중관리 대상 영양염류로 질소라고 보고한 바 있다. 따라서 본 연구는 형산강 하천수질자료 정점별 T-N/T-P 비에 따라 제한영양염류를 살펴보기 위해 나타낸 것이 Fig. 9이다. 질소가 제한영양염이 될 가능성이 높은 질소/인 비 10이하의 경우는 0%에 불과하고, 10~20은 10%, 20~40은 23.3%, 40이상은 66.7%로 대부분의 하천이 인제한으로 나타났다. 이는 인의 오염부하량이 적어서라기 보다는 역설적으로 질소의 오염부하량이 지나치게 많기 때문이라고 해석할 수 있기 때문에 인 제한상태에 있다하더라도 인 뿐만 아니라 지나치게

높은 질소의 오염부하량 삭감대책 마련이 시급할 것으로 판단된다. 현 수질상황에서 형산강내로 인화합물의 다량유입이 있을 경우 부유식물의 다량번식에 의한 적조 발생도 우려된다.

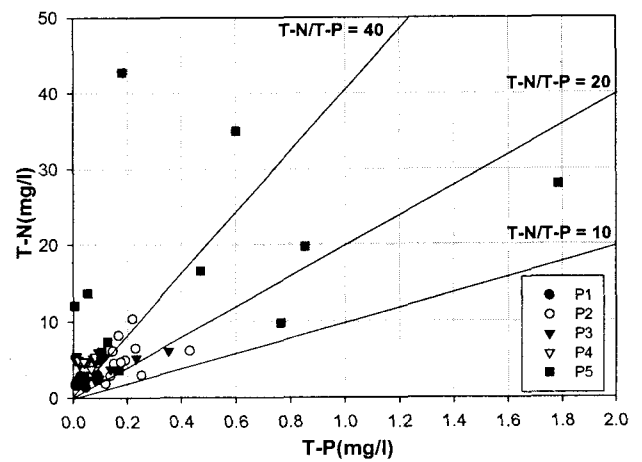


Fig. 9 Criteria diagram of eutrophication(T-N/T-P ratio)

6. 유달부하량 산정

오염물질 발생시 인근 수계에 유입된 후 대상하천의 하류부에서 실측된 오염부하량은 오염원에서 발생하는 총 발생부하량에 비해 작게 나타나는데 이때 실측 오염부하량과 발생부하량과의 비를 유달율이라 한다.

Table 6은 영일만내 수질에 가장 크게 영향을 미칠 것으로 판단되는 형산강의 월별 각 수질오염물질의 유출부하량을 수질실측치로부터 추정하였으며 이를 통해 유출부하량과 발생부하량과의 비인 유달율을 산정하였다. 일반적으로 유하거리가 짧으면 적은 양의 오염물질이라도 극히 일부만 제거되고 대부분은 만내로 유입된다고 볼 때 유하거리가 상대적으로 긴 형산강의 유출율을 다른 구역에 동일하게 적용함에는 대체로 유출부하량이 과소평가될 소지가 있다. 따라서 대상으로하는 구역별 하천 유달율은 차이를 나타낼 것으로 생각된다.

Table 6 Monthly total effluence rate at Hyeong-san river

Division Year	Total effluence rate(ton/year)				
	BOD	COD	SS	T-N	T-P
JAN	783.1	771.6	672.3	632.8	18.0
FEB	357.7	530.6	858.5	1,042.4	17.9
MAR	263.0	423.5	700.1	334.4	26.1
APR	275.8	300.7	277.5	350.8	15.2
MAY	871.7	992.3	947.6	1,912.3	8.1
JUN	2,254.1	3,418.1	8,240.3	668.7	31.4
JUL	972.8	972.8	1,243.5	1,158.48	4.6
AUG	299.8	632.3	313.8	565.5	0.2
SEP	759.6	1,758.4	1,181.6	817.0	14.5
OCT	680.3	1,822.2	1,287.7	741.2	12.9
NOV	465.0	803.6	581.2	373.6	6.4
DEC	339.3	539.9	777.0	1,021.3	65.1
Total	8,322.2	12,966	17,081.1	124,308	220.4
Effluence ratio(%)	14.40	-	8.52	100.41	5.14

※ Effluence ratio=Effluence rate/Pollutant generation×100

Table 7 Annual total effluence rate(2001yr)

Source Area	Yearly total effluence rate(ton/year)			
	BOD	SS	T-N	T-P
I	232.7	209.6	456.7	6.4
II	204.8	174.5	468.0	6.7
III	930.1	626.6	2,840.7	41.3
IV	8,322.0	17,081.3	9,618.2	220.3
V	708.9	858.2	1,698.7	26.3
VI	235.1	352.2	287.7	4.5
Total	10,633.6	19,302.4	15,370.0	305.5

그러나 영일만 유입하천에 대한 실측 수질자료의 미흡으로 대상 구역별 유달율을 산출함에 있어서는 어려움이 따른다. 따라서 본 연구에서는 형산강의 유달율을 대표값으로 선택하여 그

의 다른 구역에도 동일하게 적용하였다. 경주 및 포항 등의 도시와 농촌이 함께 밀집되어 있는 형산강의 유달율의 경우 BOD는 14.4%, SS는 8.52%, T-N은 100.41%, T-P는 5.14%로 나타났다. T-N의 유달율이 다른 항목에 비하여 매우 높게 나타났는데 이는 하천에서 질소화합물의 자정능력이 떨어짐을 의미한다. 강등(2002)은 계절별 수질조사결과를 바탕으로 영일만의 주요염원은 하천수 유입시 질산질소의 과다 유입에 따른 것으로 보고한 바 있다.

Table 7은 영일만과 인접한 각 구역별 하천으로부터의 연간 총오염유출량을 추정한 것으로 연간총유입 BOD는 10,633ton, SS는 19,302ton, T-N은 15,369ton, T-P는 305ton이었다.

7. 오염부하량 계절변동

Fig. 1에서의 6개 구역별로 산출되어진 영일만 유입오염부하량의 BOD, SS, T-N, T-P 수질항목별 영일만내 유입량의 공간적 계절별 분포를 Table 7로부터 추정하였다. 오염물질부하량은 계절별 강우사상에 따라서 영향을 받는데 이는 점오염원 유출부하량에 비점오염원으로부터의 유출부하량이 부가되어 유량변화에 정비례하게 유출되는 것으로 판단하였다.

따라서 Table 7의 연간 총오염유출량을 일별 하천유량에 비례하게 분배하여 계절변동 및 공간적 분포 특성을 고찰하여 계절별로 Fig. 10~Fig. 13에 나타내었다.

6개 구역에 대한 계절별 분포특성을 살펴보면 태풍이나 폭우 등 이상기온현상이 심한 여름과 가을이 오염유입량이 많으며 그 중 형산강이 더욱 두각을 나타낸다. 형산강의 경우 여름의 경우 BOD이 약 3170ton, SS 6507ton, T-N 3664ton, T-P 84ton이며 가을은 이와 비슷한 경향을 나타낸다. 또한 포항구항의 인구밀집지역인 III구역이 BOD와 T-N, T-P의 경우는 구역면적이 넓은 냉천지역의 V구역보다 각각 크게 나타났으며 SS의 경우는 적음을 알 수 있다. T-N과 T-P의 경우 4계절 모두 T-P에 비해 T-N이 월등히 높은 수치를 나타내었는데 이는 앞서 상술한 바와 같이 하천수 유입에 따른 질산질소의 과다 유입에 기인한 것으로 생각된다.

이상의 결과를 통해 공간적인 분포를 살펴보면 대체로 영일만 내측 해안에 오염물질이 집중적으로 유입되는 것을 살펴볼 수 있는데 이로 인해 영일만내 수질의 악화가 더욱 심화될 것으로 사료된다. 이러한 오염구역은 크게 포항신항을 사이에 두고 형산강하구와 포항구항 전면 해역, 냉천 전면해역과 약전동 해수욕장의 두 지역으로 오염 우심지역이 예측되는데 이는 만내의 해수유동구조나 물질수송특성에 따라서 혼합, 희석, 확산 등의 복잡한 현상이 일어날 것으로 생각된다.

8. 결 론

본 연구는 형산강을 비롯하여 영일만내로 유입되는 육상오염부하량의 정량적 평가를 수행함과 아울러 강우특성과 밀접한 관계를 가지고 있을 것으로 판단되는 오염부하량의 계절별 변동 및 공간적 분포특성을 고찰하였다.

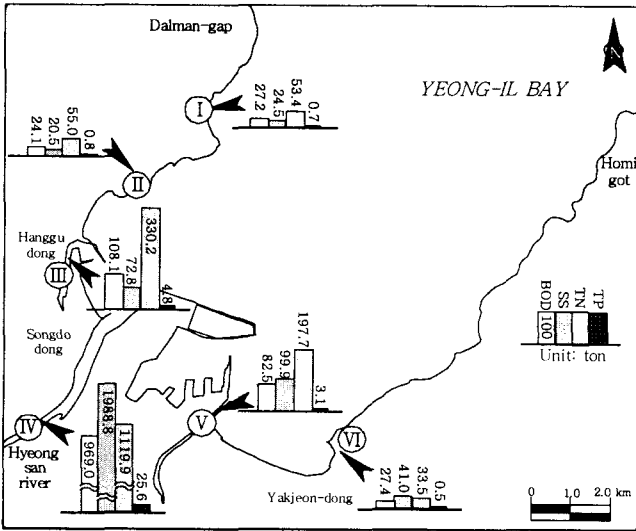


Fig. 10 Distribution of inflow pollutant loads(2001, Spring)

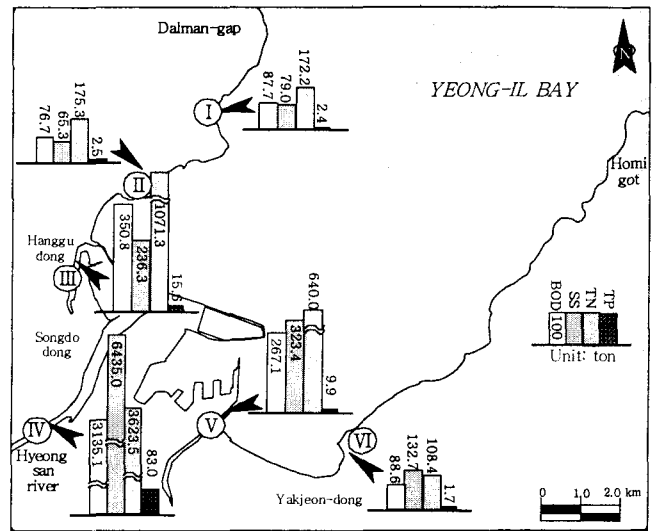


Fig. 12 Distribution of inflow pollutant loads(2001, Autumn)

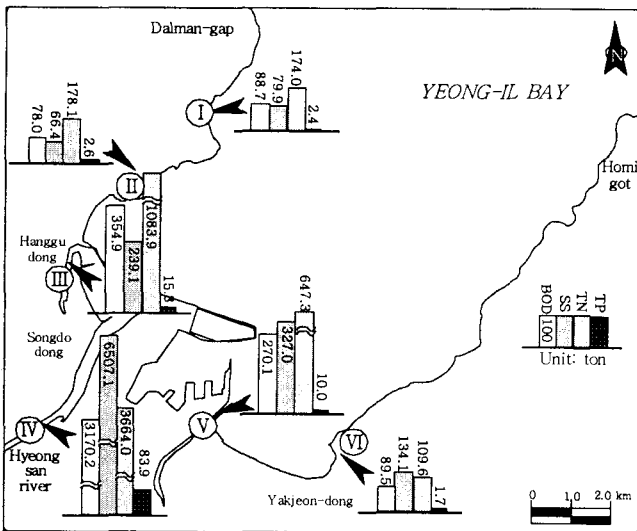


Fig. 11 Distribution of inflow pollutant loads(2001, Summer)

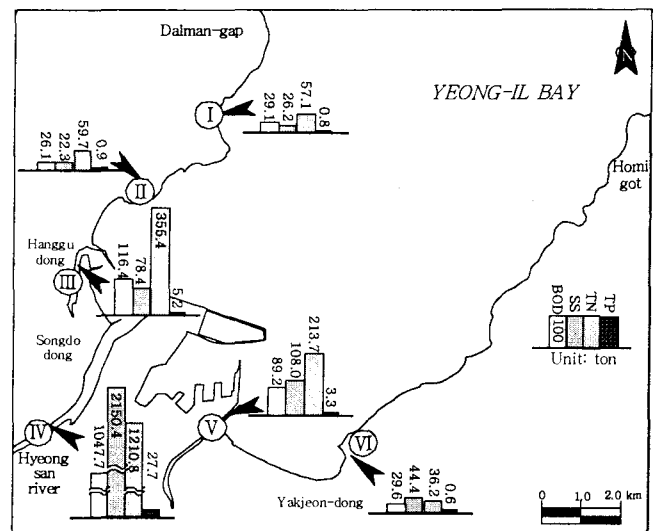


Fig. 13 Distribution of inflow pollutant loads(2001, Winter)

본 연구를 통해 얻어진 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

1. 형산강 유역 및 주변 유역이 위치한 포항시, 경주시, 울주군의 통계연보(2001)를 바탕으로 인구 및 토지이용, 가축사육현황 등 유역에 대한 2001년도의 점오염원 및 비점오염원 현황을 조사하고 이를 바탕으로 유역별 총오염발생량을 산정하였다.
2. 2001년 형산강 수계의 일별 강우량과 증발량을 입력값으로 Tank 모델을 계산하여 영일만내로 유입되는 총하천유량을 산정한 결과 형산강이 $830 \times 10^6 \text{ m}^3$ 로 나타났다.
3. 형산강 하천수질자료 정점별 T-N/T-P비에 따라 제한영양염류를 살펴보았는데 질소가 제한영양염이 될 가능성이 높은 총질소

/총인=10이하의 경우는 약 0%에 불과하고, 10~20의 경우는 약 10%, 20~40의 경우는 23.3%, 40이상의 경우는 66.7%로 대부분의 하천이 인 제한으로 나타났다.

4. 영일만과 인접한 각 유역별 하천으로부터의 연간 총오염유출량을 추정된 결과, 연간 총유출부하량은 BOD는 10,633ton, SS는 19,302ton, T-N는 15,369ton, T-P는 305ton이었다.
5. 6개구역에 대한 계절별 분포를 살펴보면 여름과 가을이 오염 유출량이 많으며 형산강이 여름의 경우 BOD이 약 3170ton, SS 6507ton, T-N 3664ton, T-P 84ton이었다. 또한 인구밀집 지역인 포항구항이 유역면적이 넓은 냉천지역보다 오염물질의 유출이 많으며 T-N과 T-P의 경우 4계절 모두 T-P에 비해 T-N이 월등히 높은 수치를 나타내었다.
6. 육상으로부터 유입된 오염물질은 영일만 내측 해안에 집중적으로 축적될 것이며, 이로 인해 이 수역의 수질 악화가 더욱 심화될 것으로 예측된다.

참 고 문 헌

- 강양순, 김귀영, 심정민, 성기탁, 박진일, 공재열(2002), 영일만 수질의 시공간적 변동, 한국수산학회, 제35권 4호, p431~437.
- 김기태(1992), 동해 남부 해역의 연구, 영남대 출판부, p17~33.
- 건설교통부 낙동강 홍수통제소(1999), 형산강 수계 유량측정조사 보고서.
- 건설교통부 낙동강 홍수통제소(2000), 형산강·태화강 수계 유량측정조사 보고서.
- 국무총리실 수질개선기획단(2000), 전국호소의 부영양화 관리 방안, (수질개선지원기관)연구발표보고서1999, p461~483.
- 경주시(2001), 경주통계연보.
- 경주상공회의소, 경주지역경제연구센터(1996), 형산강 경주권 수계의 수질 환경조사와 자연형 하천 보전 방안 연구, p11~36.
- 백경훈(1998), 낙동강유역의 수질오염 부하량 산정, 부경대학교 석사학위논문, p11~31.
- 이인선, 김창수, 류덕희, 신동석, 김소년, 박선영, 홍기협, 이충렬, 조민제, 최선락, 조기돈, 류재근(1999), 하천수질의 계절별 변동특성에 관한 연구(I), 국립환경연구원보, 제21권, p231~240.
- 이재관, 신동석, 김창수, 이인선, 이덕길, 조민제, 최희락, 조기돈, 김태규, 허영희(2000), 하천수질의 계절별 변동특성에 관한 연구(II), 국립환경연구원보, 제22권, p251~264.
- 울산시(2001), 울산통계연보.
- 윤한삼, 이인철, 류청로, 박중화(2002), 영일만내 개발에 따른 오염물질의 시·공간적 변동특성, 한국수산학회, 춘계학술발표논문.
- 포항시(2001), 포항통계연보.
- 최강호(1993), 영일만의 해양학적 특성, 부산수산대학교 석사학위논문, P47.
- 한국수자원공사(1992), 다목적댐 저수지 수질조사보고서..
- 환경관리연구소(2001), 환경산업총람, p206~363.